

## A New Approach to Atmospheric Aqueous Disperse Dyeing of Polyester

Dr. Ludwig Rebenfeld, R. D. Matkowsky and H.-D. Weigmann, Textile Research Institute Princeton, New Jersey

The effectiveness of dyeing assistants is dependent on the extent of their ability to penetrate and thoroughly saturate textile substrates. Certain organic liquids diffuse rapidly through the polyester structure at low temperatures and can serve as effective transport media for more slowly diffusing species that enhance dyeability. Model room temperature pretreatment procedures for the rapid and more efficient incorporation of dyeing assistants throughout the fiber structure are discussed in terms of diffusion kinetics, dyestuff exhaustion, practical dye cycles, and environmental considerations.

Die Wirksamkeit der Färbehilfsmittel hängt vom Ausmaß ihrer Fähigkeit ab, in textile Substrate einzudringen und sie gründlich zu durchdringen. Bestimmte organische Flüssigkeiten diffundieren rasch durch die Polyesterstruktur bei niedrigen Temperaturen und können als wirksames Transportmittel für langsamer diffundierende Substanzen verwendet werden, welche die Anfärbbarkeit erhöhen. Modellvorbehandlungsverfahren bei Raumtemperatur für die rasche und wirksamere Inkorporation von Färbehilfsmitteln durch die Faserstruktur werden unter Diffusionskinetik, Farbstofferschöpfung, praktischen Färbekreisläufen und Umweltschutzüberlegungen besprochen.

### Introduction

Energy conservation and pollution control are among the major current concerns of the worldwide textile industry. Since 1972 the costs of energy have increased greatly, and there is every indication that these costs will continue to increase in the future. Of the total energy consumed by the textile industry, it is estimated that approximately one third is represented by dyeing and finishing processes. It is for this reason that these processes are under special scrutiny with regard to energy requirements, production efficiency, and product quality. Efforts to reduce energy consumption in dyeing and finishing processes are currently focused on equipment maintenance, on decreasing liquor volume, and on increasing load capacity. The amount of energy that can be saved through these means is substantial, but there are practical limitations to which such modifications can be carried without affecting product quality. Although there have been several new developments in solvent and vapor phase dyeing, which would allow major reductions in energy consumption, many of these processes still require significant refinements in order to become practical. It is therefore not unreasonable to assume that aqueous dyeing processes of textile materials will continue to predominate.

The dyeing of polyester presents a particularly acute problem with regard to energy consumption as well as a unique opportunity to achieve important reductions. Aqueous dyeing of polyester usually involves high temperature pressure dyeing conditions, frequently using carriers as dyeing assistants. These dyeing technologies require a great deal of thermal

energy in view of the high temperatures and the necessary long dye cycles.

Many approaches have been taken to reduce energy consumption in the aqueous dyeing of polyester. One concept that has not received much attention is that of using chemical energy prior to dyeing to replace a portion of the thermal energy normally required in polyester dyeing. This paper explores the concept of pretreatment of polyester in selected chemical systems in order to improve subsequent dyeability.

The mechanism of disperse dye diffusion in polyester is one of polymer segmental motion and free volume generation. The onset of segmental motion is determined by the effective glass transition temperature of the polymer. For many years it has been known that there are a number of organic compounds that possess the ability to reduce the effective glass transition temperature of polyester. This phenomenon has led to the development and extensive use of the wide range of commercial dye carriers. As these dyeing assistants or carriers are currently used in commercial practice, they diffuse into the fiber structure during dyeing and act as plasticizing agents within the fiber<sup>1-5</sup>. By increasing segmental mobility in the noncrystalline domains, there is a lowering of the effective glass transition temperature ( $T_g$ ), and a corresponding decrease in the effective dyeing transition temperature ( $T_p$ ). In normal carrier dyeing procedures, it can be assumed that carrier diffusion precedes dye diffusion but is far from complete when dyeing begins. This is because carriers experience similar diffusion barriers, although not to the same degree, as are faced by disperse dyes. Usually, only a portion of the carrier that is added to the dyebath finds its way into the fiber structure. Also, since carriers are usually added in emulsion form, a substantial portion of the carrier remains in the dye liquor and does not penetrate the fiber. Consequently, in many instances the full potential of the carrier to increase segmental mobility and decrease  $T_g$  of the polymer is not attained.

In recent studies conducted at TRI, it has been shown that certain low molecular weight organic liquids diffuse rapidly through polyester at low temperatures<sup>6</sup>. Although these compounds do not themselves improve dyeability to a useful extent, they can function as transport media for the introduction of the plasticizing agents<sup>7,8</sup>. A thorough and uniform deposition of these agents within the polymer structure should yield a maximum reduction in the effective glass transition temperature and produce uniform dyeings at lower dyeing temperatures.

Accordingly, studies have been undertaken of the influence of brief low-temperature pretreatments of polyester in biphenyl/methylene chloride systems on their subsequent dyeing behavior.

Biphenyl was chosen as a suitable model dye carrier, and methylene chloride as an effective transport medium because of its known capacity to penetrate polyester rapidly even at room temperature.

### Experimental Procedures

Several types of polyester in both filament and fabric form were investigated. Samples were treated in biphenyl/methylene chloride solutions of different con-

centrations for various treatment times. Typically, filament and yarn samples were treated in a 5% solution of biphenyl in methylene chloride for 45 seconds at 21°C (room temperature). After treatment the samples were air dried for an arbitrarily chosen time of 16 hours to remove the methylene chloride.

With the exception of the dyestuffs used for diffusion studies, standard commercial preparations were used. The dyestuffs were chosen so as to represent the wide range of energy levels that may be encountered in commercial practice. Exhaustion profiles were studied for dyestuff concentrations as high as 4.0% (owf). The dyebaths also contained 0.1% Avalon® I. S. Dispersing agent, and 1.0% (owf) glacial acetic acid. Dyeings were conducted in open beaker systems at a carefully maintained liquor ratio of 35:1. Samples were introduced into the dye bath at a starting temperature of 65°C, and the temperature was increased to 100°C at a rate of 1.1°C/min. After dyeing and rinsing, the fabric samples were air dried and heat set on a pin frame at their approximate original dimensions. Heat setting was conducted at approximately 170°C for 2 minutes.

Dye diffusion studies were performed on Dacron® 55 filament yarn utilizing purified press cake dyestuffs at an „infinite“ dye bath concentration and a liquor ratio of 400 to 1. Dye uptake was determined by extracting the dyed samples with methylene chloride and determining dye content spectrophotometrically. As an additional means of establishing fabric dyeability, experiments were carried out in accordance with procedures suggested by Mobay Chemical Corporation<sup>9</sup>. These procedures involve dyeing weighed pieces of fabric in a 1.0% (owf) Resolin® Blue FBL dye bath for 1/2 hour at 96°C. The fabric is then replaced in the partially exhausted dye bath with a fresh piece of equal weight and the remaining dyestuff is exhausted onto the fabric at 130°C. Visual comparison of the shades of the dried dyed fabrics against a standard scale is made and a relative fabric dyeability (V-rating) is estimated.

The carrier content of treated polyester samples was determined either by direct weighing or by thermogravimetric analysis using a DuPont 951 Thermogravimetric (TGA) accessory attached to a DuPont 990 Thermal Analyzer. Samples (approximately 5-10 mg) are heated at a heating rate of 10°C/min in either nitrogen or air atmospheres at flow rates of 50 cc/min.

Thermomechanical analysis (TMA), involving measurements of dimensional changes as a function of temperature, was used as a means of estimating the polymer glass transition temperature. Length changes of polyester yarns after various treatments were determined under a constant load of 5 g using a DuPont 924 Thermomechanical accessory attached to a DuPont 990 Thermal Analyzer. A heating rate of 10°C/min in air or in water was used.

## Results and Discussion

### Glass Transition Temperatures of Carrier/Solvent Treated Polyesters

As previously discussed, the incorporation of plasticizing molecules into the polyester structure increases segmental mobility within the polymer chains. The onset of segmental mobility is measured by the glass transition temperature ( $T_g$ ), which in turn is closely

related to the dyeing transition temperature ( $T_D$ ) at which rapid dye diffusion occurs<sup>2-4</sup>. The polymer  $T_g$  can be estimated by TMA involving measurements of changes in the rate of deformation under constant load as a function of temperature.

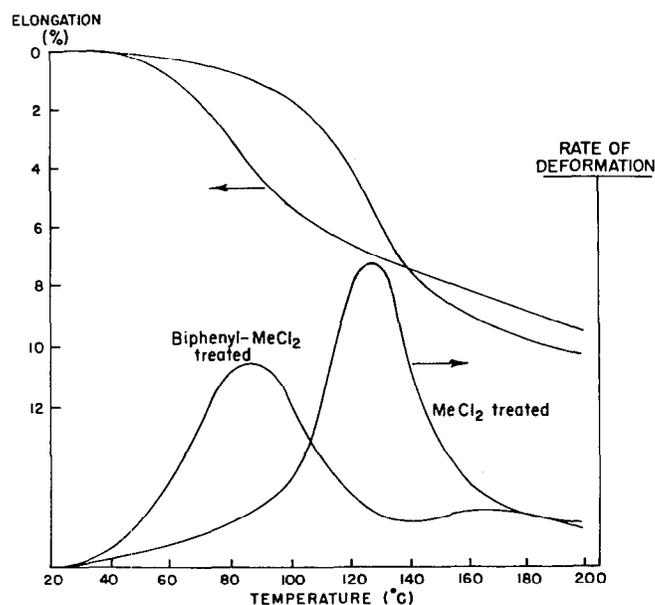


Fig. 1 TMA and derivative curves for Dacron® 55 filament yarns treated with MeCl<sub>2</sub> and biphenyl/MeCl<sub>2</sub> (add-on of ~ 5%)

The TMA curve in air of a polyester yarn that had been treated with a biphenyl/methylene chloride solution is compared in Figure 1 with the TMA curve after a blank treatment, i. e., a treatment with methylene chloride only. The derivative curve which represents the rate of deformation (elongation in this case) shows a maximum at a temperature which is linearly dependent on the concentration of the plasticizer inside the fiber structure (Fig. 2). It is assumed that this maximum in the rate of deformation corresponds to the maximum in segment mobility in the noncrystalline

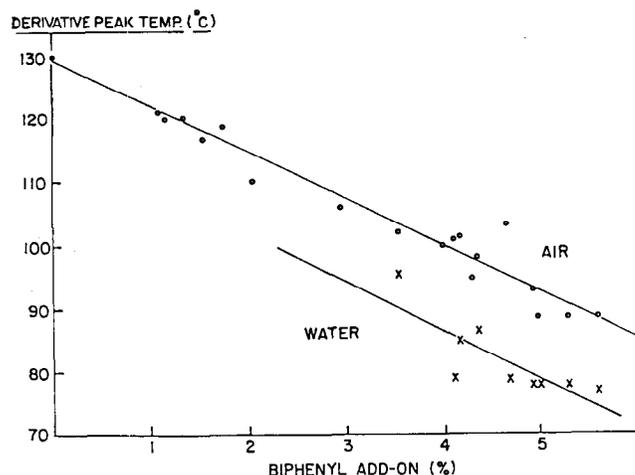


Fig. 2 Derivative peak temperature (TMA in water and air) for Dacron® 55 yarns as a function of biphenyl add-on

domains of the fiber. Introduction of 5% biphenyl into the fiber structure through a biphenyl/methylene chloride treatment produces a downward shift of about 20°C in the derivative peak temperature. If the experiment is carried out in water, the TMA derivative peak temperature is further lowered by approximately another 15°C.

Since only the biphenyl that is inside the fiber can contribute to the lowering of  $T_g$ , it was of interest to determine the extent of surface deposition at any given level of biphenyl add-on. Accordingly, biphenyl desorption measurements were undertaken using thermogravimetric analysis. As a control, biphenyl was deposited on the surface of a glass fabric from a methylene chloride solution in an identical manner as described for polyester fabric treatments. Figure 3 compares the desorption of biphenyl at 25°C from a polyester fabric with that from the glass fabric. As can be observed PE Dacron® 56 yarn loses biphenyl at a much slower rate than the glass fabric, this behavior is attributed to the fact that most of the biphenyl must diffuse out of the internal fiber structure in the case of polyester, whereas sublimation from the surface is the only possible mode of desorption from the glass fabric.

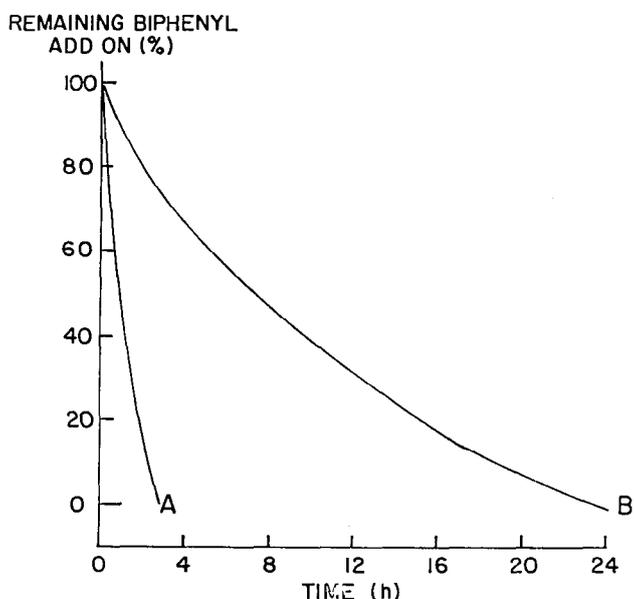


Fig. 3 Isothermal weight loss at 25°C of biphenyl from A) glass fabric; B) 2.5% biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated Dacron® 56 fabric

Further confirmation of the lowering of  $T_g$ , as a result of the biphenyl/methylene chloride treatments can be obtained from a comparison of dye diffusion coefficients in untreated and biphenyl/methylene chloride treated polyester yarns. As shown in Table 1, a 5% biphenyl content increases the dye diffusion coefficient by about 2 orders of magnitude, while the corresponding amount of biphenyl in the dye bath results only in a minor increase in the dye diffusion coefficient.

The temperature dependence of the apparent dye diffusion coefficients (Fig. 4) clearly shows the substan-

Table 1: Dye Diffusion Coefficients at 100°C and Estimated Dyeing Transition Temperatures

Conditions	Diff. Coef. $\times 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s)	Est. $T_D$
Untreated control	24.8	110°C
5.0% (owf) Biphenyl in Dye bath	72.1	—
2.5% (owf) Biphenyl — MeCl <sub>2</sub>	368.9	85°
5.0% (owf) Biphenyl — MeCl <sub>2</sub>	2750.0	65°

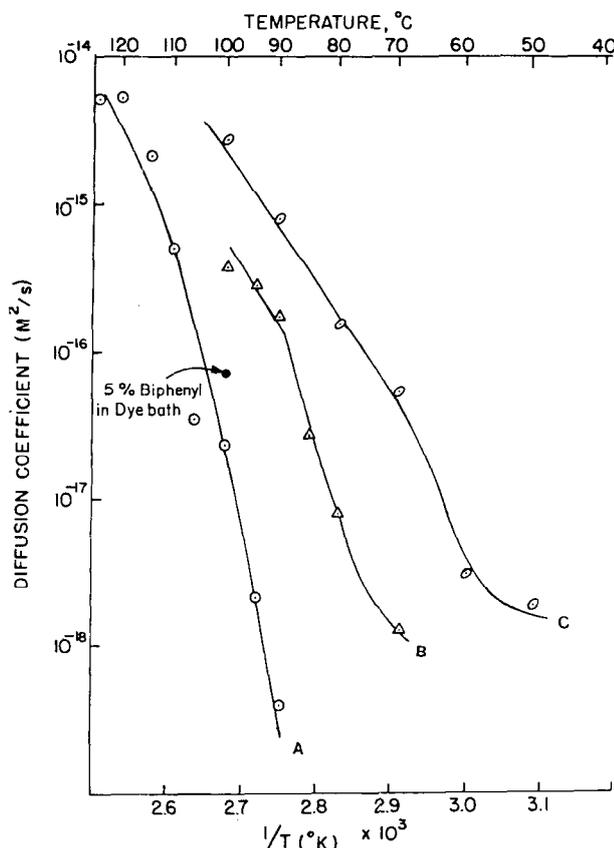


Fig. 4 Temperature dependence of diffusion coefficients of Resolin® Red BBL in untreated Dacron® 55 yarns and in yarns containing, 2.5 and 5.0% biphenyl

tial shift to lower temperatures for the 5% biphenyl-containing polyester yarns. A slightly smaller shift is observed for the lower uptake level.

The temperature dependence of dye diffusion permits an estimate of a dyeing transition temperature  $T_D$  which is related to the glass transition temperature of the fibers. At dyeing temperatures above  $T_D$  an approximately linear dependence of the dye diffusion coefficient as a function of  $1/T$  is observed. A non-linear decrease in  $\log D$  occurs as the temperature falls below the dyeing transition temperature. Values for the inflection points defining  $T_D$  were determined through linear regression analyses and are also shown in Table 1. The dependence of  $T_D$  on biphenyl content is shown in Figure 5, which includes a comparison with the corresponding derivative peak temperatures obtained from TMA. A linear relationship appears to exist between both transition temperatures and biphenyl add-on.

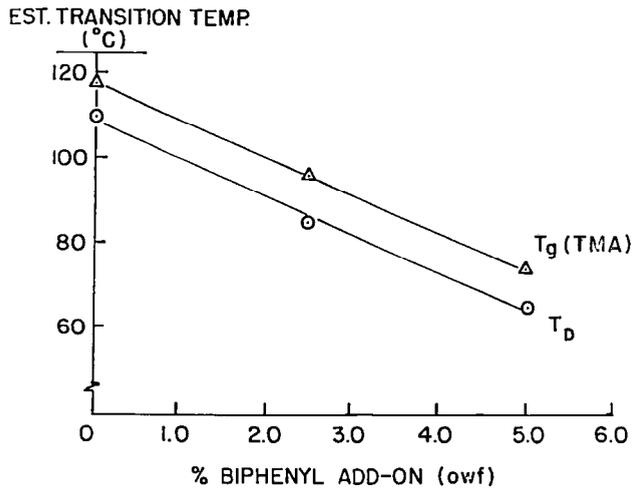


Fig. 5 Estimated glass and dyeing transition temperatures for pretreated Dacron® 55 yarns as a function of biphenyl add-on

**Dyeability of Carrier/Solvent Pretreated Polyester Fabrics**

As discussed above, the introduction of plasticizing molecules into polyester yarns using a fast diffusing transport medium results in a lowering of the glass transition temperature and a corresponding increase in dye diffusion rate. These changes are reflected in the exhaustion profiles of various polyester fabrics that have been treated with biphenyl/methylene chloride solutions under what would appear to be acceptable production conditions, i. e., 45 seconds at 21° C.

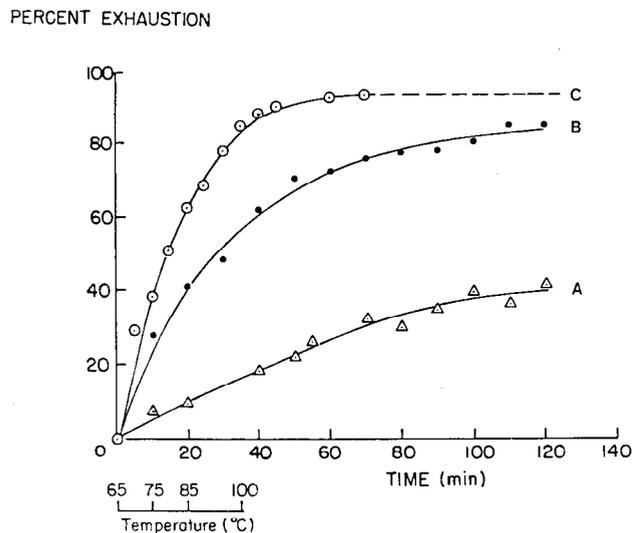


Fig. 6 Dye bath exhaustion profiles for Dacron® 56 fabric. Dyestuff 2.0% (owf) Resolin® Blue FBL: A) Untreated; B) Commercial carrier in dye bath; C) Biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated

The dye bath exhaustion profiles under atmospheric dyeing conditions of three pretreated polyester fabrics are compared in Figures 6, 7 and 8 with the exhaustion profiles of the corresponding untreated materials. Figure 6 also includes the exhaustion profile of a Dacron® 56 fabric from a dye bath containing 5.0 %

(owf) of a commercial biphenyl-based carrier. The treated fabrics begin to exhaust the dye bath almost immediately after temperatures are increased above 65° C and reach an acceptable equilibrium exhaustion level within 15 to 20 min after attaining 100° C. A comparison of dyed samples against pattern card standards indicates identical color yields. As would be expected,

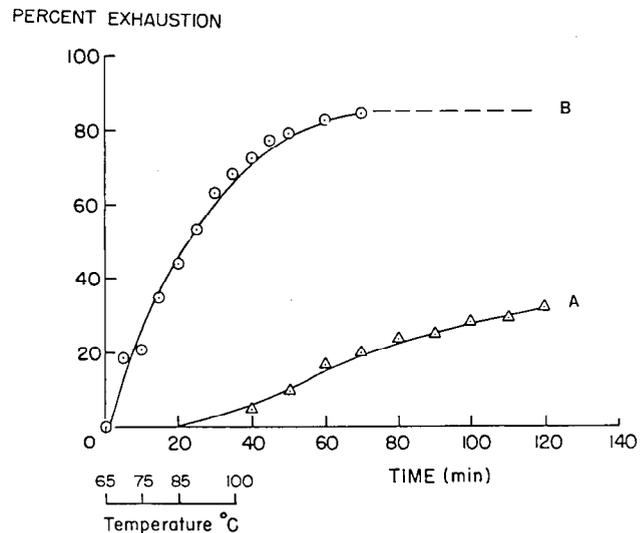


Fig. 7 Dye bath exhaustion profiles for Fortrel® 760 fabric. Dyestuff: 2.0% Resolin® Blue FBL A) Untreated; B) Biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated.

the untreated fabrics never achieve equilibrium exhaustion levels under these conditions even after a dyeing time of 120 min. Dye bath exhaustion of the pretreated Dacron® 56 fabric is also significantly faster than untreated samples dyed in the presence of the commercial carrier. It should be noted that the effects of pretreatments in methylene chloride alone give only a marginal improvement in dyeability. Cross-sections of yarns from pretreated and dyed fabrics usually show complete fiber penetration by

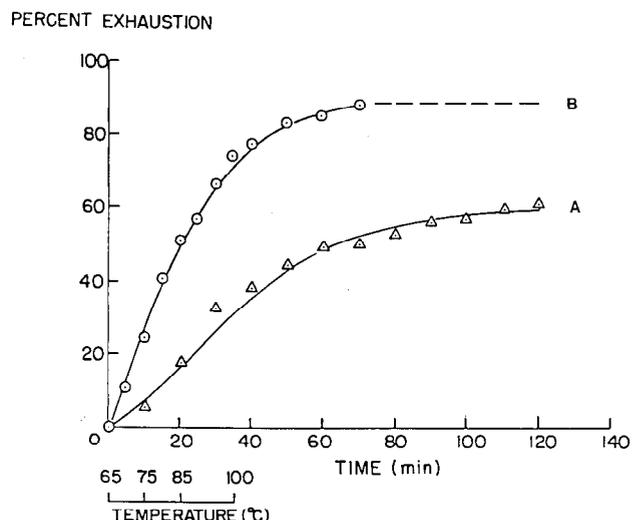


Fig. 8 Dye bath exhaustion profiles for Dacron® 54 fabric. Dyestuff 2.0% Resolin® Blue FBL A) Untreated; B) Biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated.

the dyestuff, suggesting a uniform distribution of the carrier throughout the fiber.

An alternative demonstration of the effect of the carrier content inside the polyester structure on fabric dyeability is shown in Figure 9 where V-ratings (reflecting dyeing rate) of biphenyl/methylene chloride treated Fortrel® 760 fabric samples are shown as a function of carrier content. A linear relationship between the dye speed rating and carrier add-on is observed, and the maximum value of 8 is reached with a carrier content slightly greater than 5.0 % (owf).

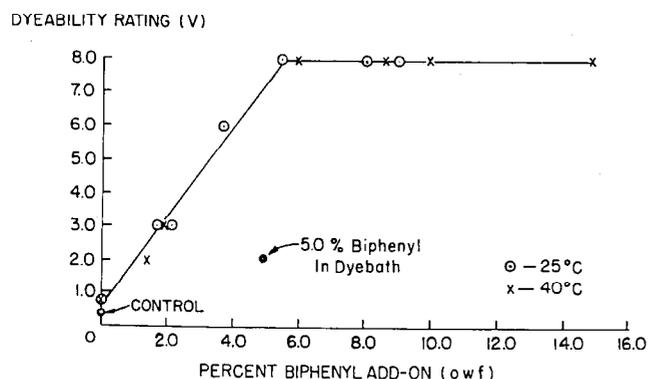


Fig. 9 Dye speed ratings (V) for biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated Fortrel® 760 fabric as a function of biphenyl add-on

Higher dyeing speeds cannot be determined due to the limitation of the comparison standards. The V-rating dependence on the biphenyl content of the fabric does not appear to be influenced by the temperature of the pretreatment. The addition of 5.0 % (owf) biphenyl to the dyebath increases the fabric dyeability to the same degree as approximately 1.5 % (owf) of biphenyl introduced into the polyester through the transport medium.

#### Dyeability as a Function of Prior Thermo-mechanical History

Various dyeing uniformity problems including that of barré are due to differences in the prior thermome-

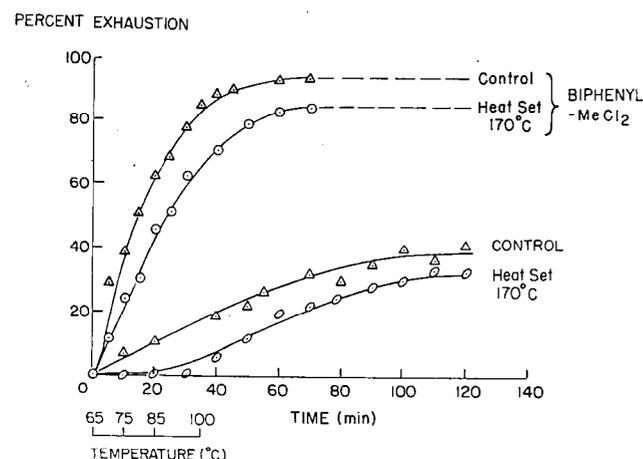


Fig. 10 Dye bath exhaustion profiles for Resolin® Blue FBL on heat set Dacron® 56 fabric untreated and treated with biphenyl/MeCl<sub>2</sub>

chanical history of the yarns. Although yarn producers take every precaution to assure that identical merge numbers possess physical properties that are as closely matched as possible, observed variations can be significant. Further variations in dyeing characteristics may be caused by texturing or by proprietary finishing procedures.

Since variations in the prior thermal and mechanical history of a yarn or fabric can pose real problems in terms of product quality, efforts were made to establish the effects of prior heat treatments on the effectiveness of the biphenyl/methylene chloride system. In Figure 10 are shown exhaustion profiles with and without treatment in a 5 % biphenyl/methylene chloride solution of fabrics that have been heat set on a tenter frame (with slight extension) at 170°C for 2 minutes. Comparison with corresponding control (not heat set) samples is also shown. The effectiveness of the carrier inside the polyester structure is only slightly lowered by the prior heat treatment and accompanying structural changes. These results suggest that the biphenyl/methylene chloride pretreatment is capable of overcoming structural differences which could result in dyeing nonuniformity.

#### Dyestuff „Energy Levels“

Disperse dyes are conveniently assigned to groups of dyestuffs of various energy levels. Diffusion coefficients and affinity of the dye generally govern the

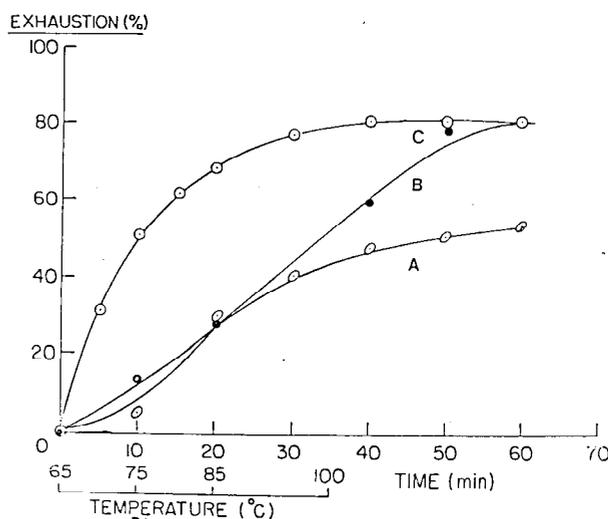


Fig. 11 Dyebath exhaustion profiles for 1.56 % (owf) Resolin® Blue GRL on Dacron® 56 fabric: A) Untreated; B) Carrier-assisted dyeing; C) Biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated

group assignments, the energy required to achieve dyeing being the guiding principle. Fast diffusing dyes are therefore low energy dyes, while high energy dyes have low diffusion coefficients. The effects of biphenyl/methylene chloride pretreatments on the dyebath exhaustion behaviour of dyes belonging to various energy groups have been studied. Figure 11 shows exhaustion profiles associated with Resolin® Blue GRL (1.56 % owf), a low energy dye. The untreated control reaches only about 50 % exhaustion in 60 min and exhaustion does not begin until a tem-

perature of about 75°C is exceeded. In contrast, biphenyl/methylene chloride pretreated samples reached equilibrium exhaustion levels within approximately 35 min, with high exhaustion rates observed even at low temperatures. A commercial carrier in the dyebath does produce equilibrium exhaustion levels within 60 min, but the exhaustion rates are much lower than those for the pretreated samples, and further dyeing time is required for leveling. Figure 12 shows the exhaustion profiles obtained with a dyebath containing 2% (owf) Latyl® Yellow 5R, a medium energy dyestuff. As would be expected, the untreated control

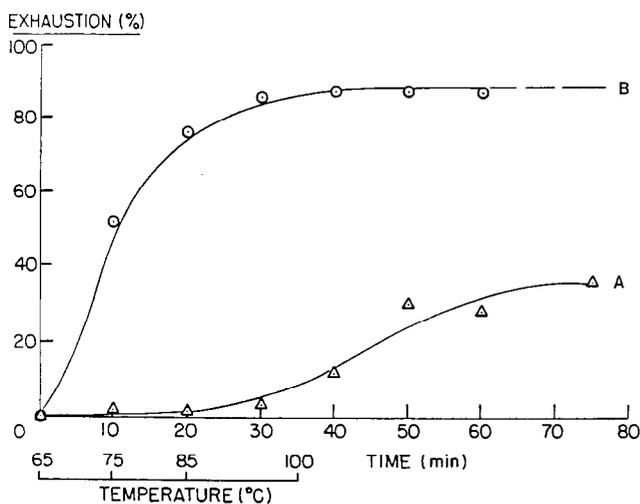


Fig 12 Dye bath exhaustion profiles for 2.0% (owf) Latyl® Yellow 5R on Dacron® 56 fabric:  
A) Untreated; B) Biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated

exhausts this dyestuff at a significantly lower rate and requires even higher dyeing temperatures than those for the low energy dyestuff shown in Figure 11. Pretreatment with biphenyl/methylene chloride again results in rapid exhaustion even at lower temperatures reaching an exhaustion level of 88% in about 35 to 40 min. Figure 13 shows exhaustion profiles for Bucron® Rubine 2BNS, a high energy dyestuff, at a 1.5% (owf)

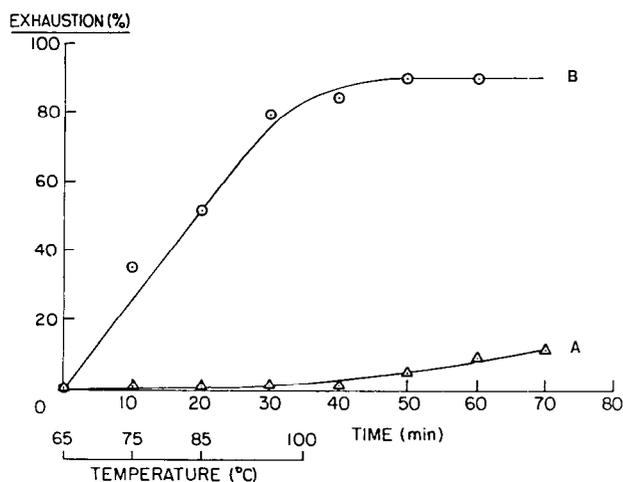


Fig 13 Dye bath exhaustion profiles for 1.5% (owf) Bucron® Rubine 2BNS on Dacron® 56 fabric:  
A) Untreated; B) Biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated

dyebath concentration. The control sample shows extremely slow exhaustion even at 100°C, resulting in less than 10% exhaustion in 60 min. In comparison there is a rapid exhaustion rate and an equilibrium exhaustion level of 90%, which is reached within 45 min, for the biphenyl/methylene chloride pretreated fabric.

The effect of biphenyl/methylene chloride pretreatments with respect to dyestuff energy levels is most clearly demonstrated in Figure 14, which compares the exhaustion rates from a constant dye concentration of 2.0% (owf) of three dyes of different energy level prior to and after carrier incorporation. While overall exhaustion rates of 0.53% per min, 0.33% per min, and 0.15% per min were observed for the three dyestuffs, pretreatment with biphenyl/methylene chloride essentially eliminated the differences.

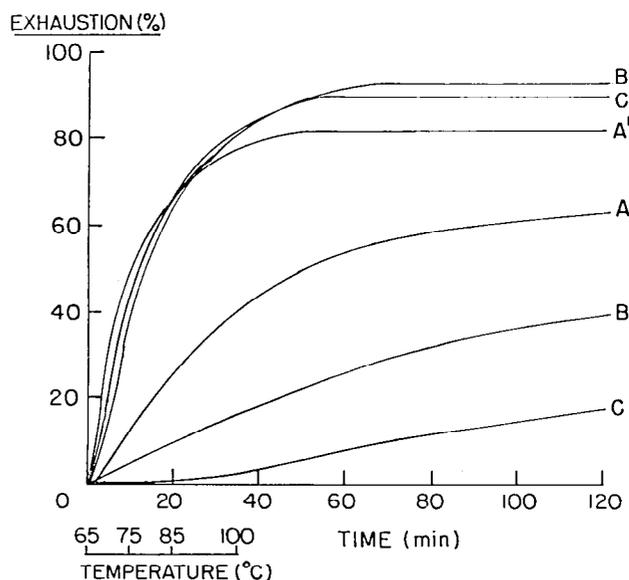


Fig 14 Dye bath exhaustion profiles for 2.0% (owf) dyeings on Dacron® 56 fabric:  
A) Resolin® Blue GRL; B) Resolin® Blue FBL; and C) Bucron® Rubine 2BNS. A, B and C untreated fabric; A', B' and C' biphenyl/MeCl<sub>2</sub> treated fabric

Physical and Aesthetic Properties

Low temperature (21°C) treatments with biphenyl-methylene chloride solutions result in only minor levels of shrinkage. As would be expected the shrinkage is dependent on yarn properties and fabric construction. Mechanical properties are not adversely affected by the pretreatment and dyeing procedures. Subjective evaluations of fabric hand and drape reveal no changes. The stability of the dyed fabrics to dry cleaning fluids (perchloroethylene), and wet and dry crock fastness appear to be good. Lightfastness of pretreated and dyed polyester fabrics as determined in preliminary exposure tests showed no significant difference from corresponding high-temperature dyed fabrics.

Energy Conservation

The incorporation of carriers into polyester prior to dyeing results in a substantially more energy efficient

dye cycle. These savings would result not only from lower dyeing temperatures but also from greatly reduced dye cycle times. Typical commercial polyester dyeing cycles require approximately 3 hours and temperatures between 120 and 130°C. Of these 3 hours, about 1 hour is consumed in heat-up, about 45 and 60 min during the dye migration period, and about 40 min during cooling. In the case of biphenyl/methylene chloride pretreated fabrics, modifications could be programmed into the dyeing cycle which would result in substantial savings of time and energy. Figure 15 gives a comparison between a typical commercial cycle and one which might be visualized for pretreated fabrics.

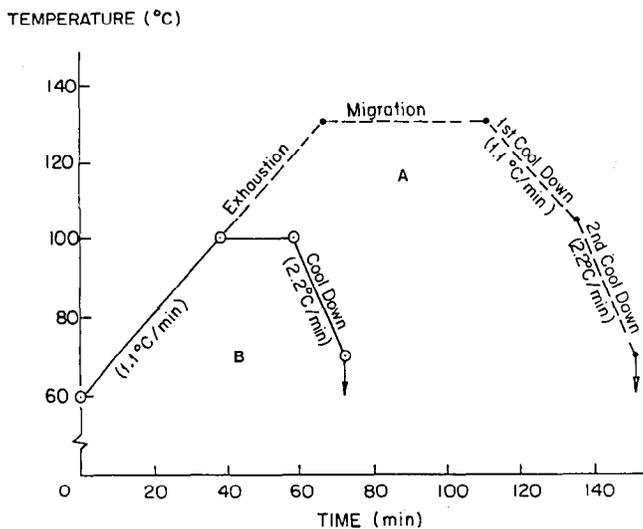


Fig. 15 Comparison of temperature and time requirement of:  
A) Conventional high temperature dye cycle;  
B) Rapid low temperature dye cycle for biphenyl/MeCl treated polyesters

Based on standard conditions and a normal thermal maintenance efficiency, a 36% reduction in energy consumption can be anticipated for this cycle. The total dye cycle time (including loading and unloading) might be reduced by approximately 40%, which should allow a significant increase in productivity. This increase in productivity should significantly offset the cost incurred by the fabric pretreatment.

### Conclusions and Summary

The effectiveness of any dyeing assistant is dependent upon its ability to penetrate a textile substrate. The use of rapidly diffusing compounds as transport media for dyeing assistants permits their uniform and rapid introduction into the fiber structure at room temperature. Thermomechanical analysis of the resulting carrier-containing fibers shows a lowering of the effective polymer glass transition temperature. The enhanced dye diffusion in these pretreated structures results in rapid exhaustion rates even under atmospheric dyeing conditions. Complete and uniform penetration of the fiber cross section is achieved within relatively short periods of time, reflecting the uniform distribution of the carrier during the pretreatment. Preliminary data suggest that barré coverage would be improved by the carrier/solvent pretreatment. Differences in the exhaustion rates of low, medium, and high-energy dyes are essentially eliminated by the pretreatment so that multicomponent formulations containing dyes of different diffusivity can be used successfully without any special process modifications. Mechanical properties and fastness properties are essentially unaffected and comparable to those observed after high temperature dyeing. Energy consumption is significantly reduced, since dyeing time and dyeing temperature are decreased. The savings may more than compensate for the cost of the pretreatment step.

### References:

- Schuler, M. J.; *Text. Res. J.* **27**, 352 (1957)
- Ingamells, W., Peters, R. H., and Thornton, S. R.; *J. Appl. Polym. Sci.* **17**, 3733 (1973)
- Gur-Arieh, Z. and Ingamells, W.; *J. Soc. Dyers. Col.* **90**, 8 (1974)
- Rosenbaum, S. J.; *Polym. Sci.* **A3**, 1949 (1965)
- Dodd, G. S. and Ingamells, W.; *J. Soc. Dyers Col.* **93**, 74 (1977)
- Rebenfeld, L., Makarewicz, P. J., Weigmann, H.-D., and Wilkes, G. L.; *Macromol. Sci. — Rev. Macromol. Chem.* **C15**, (2), 279-393 (1976)
- Olson, E. S.; *Text. Chem. Col.* **9**, 34 (1977)
- Mendoza, C.; Thesis, Clemson University, 1974
- The Resolin® "S" Process, Technical Bulletin TDS 1308, Verona Dyestuff Division, Mobay Chemical Corp., Union, N. J.

## A Review of Current Yarn Production Methods — their Scope, Advantage and Future Potential

A. A. Chisholm B. A. (Cantab), Platt Saco Lowell Accrington, Lancashire, England

The development of new spinning systems has been the pre-occupation of textile machinery makers for hundreds of years, primarily as a result of a continuing demand for processing equipment capable of producing yarns at higher speeds and lower production costs.

While available systems can be categorised into groups determined by their fibre length handling capability, a further sub-division is possible based on the fundamental principles employed. A grouping criteria is therefore established which is used as a basis to analyse various available systems. In particular, limitations imposed on spinning methods by the different technologies employed are discussed, and these in turn are used to provide an indication of the most suitable areas of application. Highlighted also is the importance of taking into account the properties of the yarns produced which can play such a vital role in determining whether a particular system can be rated as being commercially acceptable or not.

The paper is concluded by an economic study of the principle costs incurred in the total fibre to yarn conversion process, with emerging factors being used to forecast future trends. This forecast deals not only with spinning machine specifications but also with changes which might occur in earlier preparation processes. In this latter study particular reference is made to rotor spinning — a process still subject to changes, which themselves are the subject matter of much debate.

Seit Hunderten von Jahren war die Entwicklung neuer Spinnmethoden eine Hauptbeschäftigung der Textilmaschinenhersteller, was in erster Linie wohl eine Folge der ständigen Nachfrage nach Verarbeitungseinrichtungen ist, die in der Lage sind, Garne schneller und zu niedrigeren Herstellungskosten zu erzeugen.

Während man vorhandene Methoden in Gruppen aufgliedern kann, die durch die verschiedenen Faserlängen bestimmt sind, ist eine weitere Unterteilung möglich, nach den grundlegenden Prinzipien, die eingesetzt werden. Es ist somit ein Gruppierungskriterium hergestellt, das als Grundlage zur Analyse verschiedener bestehender Systeme dient. Insbesondere werden Beschränkungen, welche den Spinnmethoden durch die verschiedenen angewandten Techniken auferlegt sind, besprochen, und dieselben werden dann wiederum dazu benutzt, einen Hinweis auf die günstigsten Anwendungsgebiete zu verschaffen. Hervorgehoben wird ebenfalls die Wichtigkeit, die Eigenschaften der hergestellten Garne in Betracht zu ziehen, was eine wesentliche Rolle spielen kann, wenn zu bestimmen ist, ob eine spezielle Methode rein finanziell als akzeptabel bezeichnet werden kann oder nicht.

Die Abhandlung schließt mit einer wirtschaftlichen Studie der grundsätzlich anfallenden Kosten des kompletten Faser/Garn-Umwandlungsprozesses, wobei die daraus hervorgehenden Angaben zur Vorhersage zukünftiger Tendenzen dienen. Diese Vorhersage befaßt sich nicht nur mit der Spezifizierung von Spinnmaschinen, sondern auch mit den Veränderungen, die in den vorhergehenden Zubereitungsvorgängen stattfinden können. Diese letztere Studie nimmt besonders Bezug auf das Rotorspinnen, ein Vorgang, der noch Änderungen unterliegt, welche selbst wiederum den Hauptgegenstand vieler Debatten darstellen.

### 1. Introduction

The development of new spinning systems has been a pre-occupation of textile machine makers for hundreds of years, and while initial progress may have been slow due to limitations in known engineering technology, changes may have resulted in a continuing improvement in machine productivity (Fig. 1).

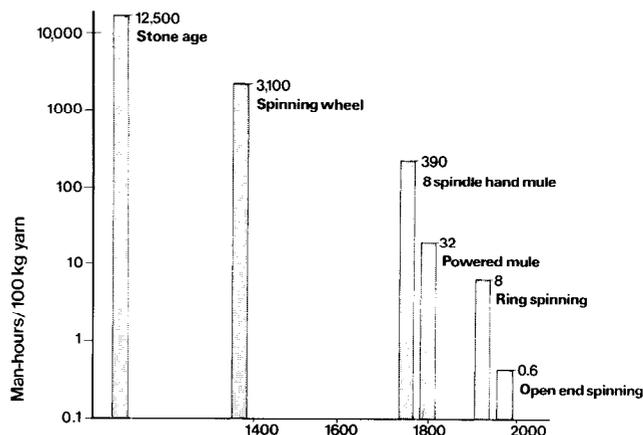


Fig. 1: Development of yarn spinning systems

Looking back, one can see that early work concentrated primarily on two aspects: raising the twist insertion rate to increase production and improving the fibre feed arrangements to better yarn regularity and appearance, by reducing the incidence of weak places. While steady progress was maintained, ultimately a stage was reached where the requirement to increase both spun package size as well as its rotational speed, resulted in an incompatibility which demanded that twist insertion and package rotation to wind up the yarn should become independent functions. Only new spinning systems could provide such a solution, and it is to examine those which resulted from attempts to meet such a requirement, that this paper has been written.

### 2. Classification of Methods

#### 2. 1. User Considerations

Arbitrary selection of a particular spinning system because of real or apparent advantages is of course not

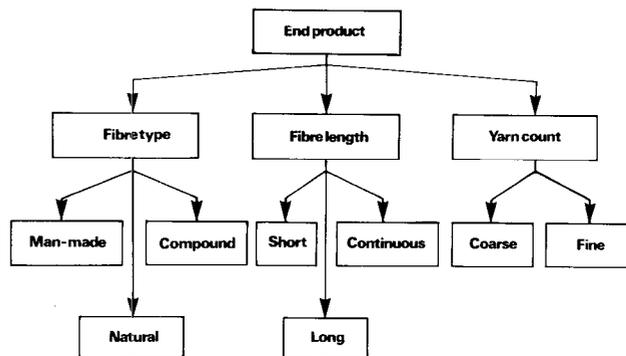


Fig. 2: System selection — user considerations

possible, because end product requirements frequently demand a yarn which can only be produced by certain spinning systems. Selection is therefore a user function dominated by fibre type, fibre length and yarn count considerations. Alternatives are depicted graphically in figure 2 in which each major division is further subdivided to help in the analysis.

## 2.2. System Groupings

Next it is necessary to marry these user requirements to the different systems available, based on their parameters and capabilities, so that a means is available for selecting the most suitable system to satisfy a given set of conditions.

Principle system groupings are shown in figure 3 which for the purpose of this analysis have been limited to four major headings: ring spinning, open end systems, self twist producing and lastly twistless spinning systems. No claim is made for completeness as continuing developments and compounding of systems makes the number of possibilities endless.

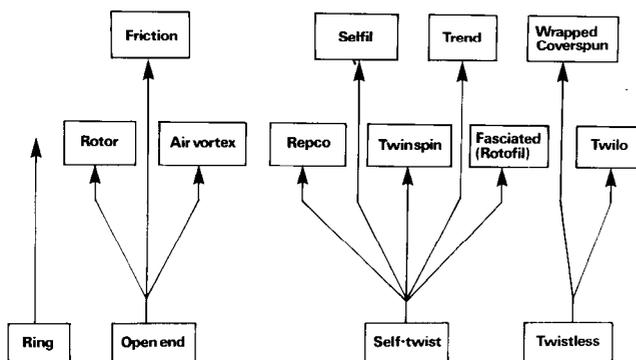


Fig 3: System selection — system parameters

Combining the two diagrams by introducing application lines, gives a means of selecting spinning systems based on end product considerations. Clearly while a lot more must be known about each system before a final selection is made such a diagram shows possibilities, without reference to relative economics, yarn quality, power and labour requirements per kilogram of yarn produced or other considerations.

## 3. Analysis of Spinning Systems

### 3.1. Ring Spinning

It is perhaps only right that one should begin with ring spinning, for this system is still the most flexible in terms of fibres handled, yarn count range, and versatility of application. Ring spinning, in fact, still sets the standards against which other systems are judged. In spite of the known factors limiting further increase in production capacity ring spinning continues to maintain a dominant and competitive position. It is well known for example, that where economic conditions allow a slightly smaller package size and a higher end breakage rate, very high spindle speeds are being used, resulting in traveller speeds of up to 35,6 — 39,6 m/s (120 — 130 ft/s) on machines with 45 mm (1,3/4 ins) diameter rings. Such figures apply to

short staple fibres, such as cotton and polyester, but in suitable form, ring spinning can of course also be applied to the spinning of longer staples using the woollen, worsted or semi-worsted spinning systems.

But, besides the tendency to use reduced ring diameters with automated high speed winding machines, examples have recently been quoted of even higher production rates possible through the use of rotating rings, allowing it is claimed, as much as 10 — 15 % increase in short staple spinning speeds.

Other evident trends are:

- Longer machines (up to 1000 spindles possibly with smaller gauges) allowing lower costs per spindle, not so much of the basic machine, but of the relatively high cost of automation features (such as automatic piecing and doffing) as well as programmed spindle speeds.
- Lubrication of the balloon control area particularly for man-made fibres to avoid yarn damage often the direct result of higher speeds.

All the above are relatively recent improvements which confirms that development of the ring frame is not yet completely dead.

### 3.2. Open End Spinning Systems

It has often been said that an open end spinning system can be devised by condensing fibres on virtually anything that rotates. While this is certainly an over-statement of the facts a very large number of methods have been tried. But, as is to be expected many never reached a stage where they could be considered to be commercially successful.

Nevertheless, open end spinning systems have the required fundamental advantage over ring spinning that there is a break between fibre feed and the yarn package, with the result that twist insertion is independent of package rotation.

#### 3.2.1. Rotor Spinning

With more than 2 million rotors operational in the world today, after a period of approximately 10 years since the first commercial machines were installed, there can be little doubt concerning the success of the rotor method of open end spinning. The only question remaining to be answered is how much more, than the current 5% of all short staple yarns will be produced by this method. While it must be accepted that the different physical characteristics of rotor yarns may prevent their use in all applications, the generally accepted factors acting as restraints on the process are now considered to be mainly economic and technological.

Reference to figure 4 will show the main elements of such a spinning system, and I would like to draw particular attention to the fibre opening system, as this is the most important part of the process.

Yarn sales statistics will confirm that most rotor spun yarns produced today are coarser than 30 tex (Nm 34/Ne20s), so any further market penetration can only be expected if the system can be developed to spin fine yarns. From a technological point of view, with a requirement of between 90 — 120 fibres in the cross-section of the yarn, depending on machine parameters and fibre type, finest yarn counts spun commer-

cially have not yet reached the technological limit. However, as this is approached better utilisation of the fibre within the yarn must be achieved and this requires still better fibre control after opening right up to the point where the fibres are deposited in the rotor.

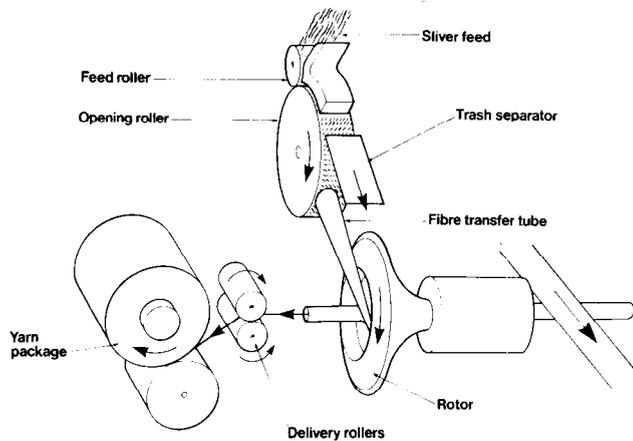


Fig. 4: Rotor spinning system

As a next step, to increase the number of fibres in the yarn cross-section, a reduction in fibre fineness can be expected and already there are evident signs of movement in this direction through the use of ultra fine fibres 0,64 — 0,91 dtex (0,7 — 1,0 denier).

Equally important however for fine count spinning is the need for a fibre stock free from solid impurities which otherwise can have such a detrimental effect on end breakage rates.

On the other hand, more favourable economics demand that the break — even yarn count relative to ring spinning should become finer. Two possibilities exist: one is to increase the rotor speed beyond the 60.000 — 70.000 rpm already available, with at the same time a reduction in rotor diameter to maintain mechanical forces acting on the fibres during yarn formation, at current levels. While this will undoubtedly put pressure on fibre producers to make available shorter man-made fibres (less than 32 mm in length), the resultant length will be more in keeping with the finer fibre fineness previously mentioned. The other is to reduce what is currently the highest cost element in rotor spinning, capital repayment and interest charges. This requires a reduction in machine cost which can only be achieved by reducing the sophistication of machine design.

### 3. 2. 2. Air Vortex Spinning

The real advantages of air vortex spinning depicted in figure 5 (which shows the cross-section of the spinning head as used in the Polish PF. 1 machine) is that the fibres are twisted together by an air vortex and not by the rotation of mechanical components. Emphasis in this machine therefore no longer centres on the functional efficiency and life of high speed bearings, but on projecting the incoming fibres into the fibre ring and rotating that ring at constant speed.

Earlier problems of fibre loss experienced by Goetzfried have been adeptly overcome by ensuring that

fibres are fed into a swirling air current rotating in a static plane, that is, without axial velocity. All fibres consequently end up in the yarn. Another interesting feature of this process is that, the finer yarn spun, the fewer the fibres in the fibre ring, and the faster the fibre ring rotates. Consequently there is not the same fall off in yarn delivery rate with finer yarns, as is the case with so many spinning systems. In vortex spinning yarn delivery rate is more dependent on fibre type than on count of yarn spun. For example, typical yarn delivery speeds for 30 — 25 tex (Nm 40 — 33/Ne 24 — 20) yarns lie between 150 — 120 m/min. and while these speeds are higher than can be obtained

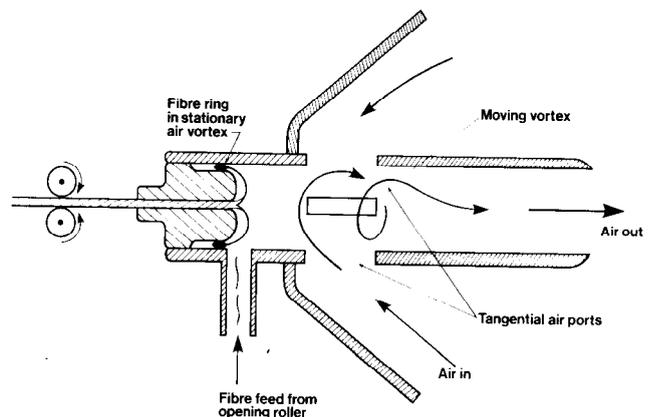


Fig. 5: Air vortex spinning (Polish PF1)

when rotor spinning yarns of the same count, it should be noted that certain system limitations apply to offset the advantage:

- Cotton fibre content must not exceed 35 %
- Fibre parameters must not exceed 50 mm length and 2,2 dtex (2 den)

There is also evidence to suggest that vortex spun yarns can be lower in strength than rotor yarns, but machines are in commercial operation in Poland and in the United States. American machines are reported to be spinning acrylic hosiery yarns, with best results being achieved using fibres cut to a rectangular, as opposed to a trapezoidal diagram.

### 3. 2. 3. The DREF System

The DREF open end spinning system developed by the firm of Dr. Ernest Fehrer employs the basic principle of revolving fibres between two rotating hollow perforated cylinders, in close contact with each other, to form the yarn (Fig. 6).

The machine is fed by gilled or drawn sliver, or card sliver in some instances, which passes through a conventional drafting system on to a miniature card like cylinder. Fibres are removed from this cylinder by a knife edge and with the help of blown air directed to the nip of the two perforated rollers rotating in the same direction. The rollers contain suction ducts to hold the fibres on their surfaces while they are twisted together, the formed yarn being drawn off in a direction parallel to the roller axes.

The advantage of the system is that rotational speeds in the machine are low (not exceeding 3.000 rpm) but yet

yarn delivery speeds, high — for current machines spinning fibres 60 — 200 mm long, being on average about 150 m/min.

The yarns produced compare favourably with ring yarns in terms of strength regularity and extension at break, though their apparent bulk and different structure would appear to favour particular applications, in the blanket and upholstery fabric area. The machine is however, capable of further development and has already been applied to the production of special effect yarns.

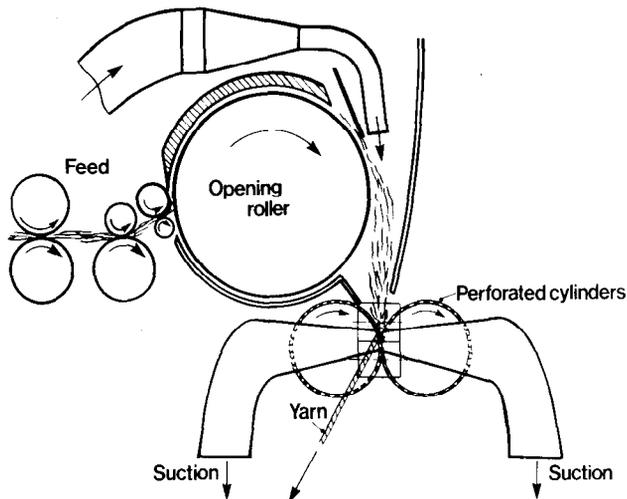


Fig. 6: Dref spinning system

It is known, that a number of other firms are working with systems employing the same basic principle, that of friction spinning. This is no doubt due to the extremely attractive economics which apply when conversion costs are considered and which must inevitably result in the system being applied to the spinning of short staple fibres into fine count yarns. Current patent activity indicates this is being tried, and one can therefore rightly wonder whether friction spinning in some form or other will not be the spinning system for the future.

### 3. 3. Self Twist Systems

Self twist spinning systems employ the principle of allowing two strands, containing alternating twist, to come into contact and untwist round each other, to form what is basically, a two-fold or bi-component yarn.

#### 3. 3. 1. The REPCO ST system

How this is applied in the original system invented by C.S.I.R.O. of Australia is shown in figure 7. Because the strands are rolled between two rollers having a reciprocating movement to each other, extremely high twist insertion rates are possible, which on the latest machines allows a yarn delivery rate of 300 m/min.

While for normal weaving applications the yarn is subjected to a twisting operation, to change the alternating 'S' and 'Z' twist into a unidirectional but constantly varying twist, increasing quantities of high bulk acrylic yarns are being knitted into hosiery products, in the self twisted form.

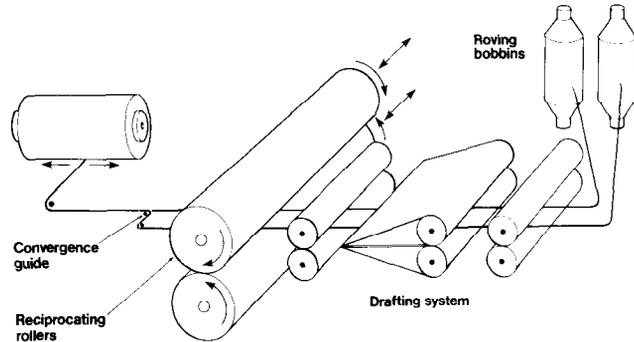


Fig. 7: Repco spinning system

#### 3. 3. 2. REPCO Selfil

If instead of a second strand, drafted fibre is combined, in a phased relationship with two fine denier filaments, to result in a wrapped fibre, a single yarn is formed with sufficient strength for further processing (Fig. 8). This is known as a Selfil yarn which has found application in hosiery, such as the sock and stocking sector where there is a requirement for a reinforced yarn. But also such yarns have been applied in the production of fine fully fashioned knit-wear, as for instance one using a 13,3 tex (Nm 75/Ne 45) yarn spun from an 80s quality wool, with a wrapper of polyester filament.

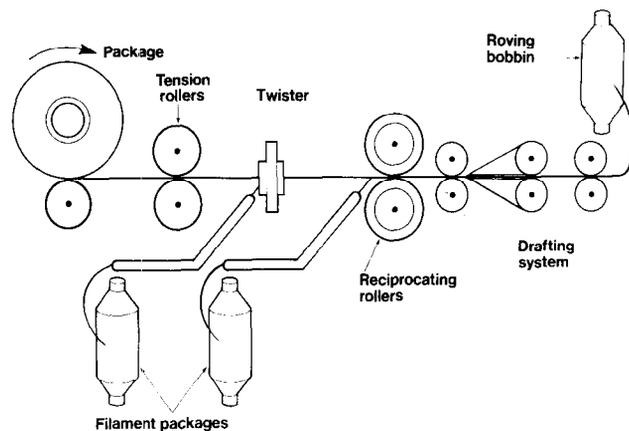


Fig. 8: Repco Selfil system

#### 3. 3. 3. The TREND process

An interesting variant of the self twist process has been devised by Trend Carpets Inc (USA) for producing a 2 ply heat set yarn using two stages of air vortex twisting: the first being used to apply unidirectional, and the second alternating twist (Fig. 9).

The two twisted strands are laid side by side on a pulley, but are kept apart by a central flange. The process is so arranged that the half cycle twist length in the strands is the same as the pulley circumference, so that the zero twist points always come to the same place on the pulley. A small abrasive disc driven by an electric motor comes into contact with the strands at this point and causes the two strands to entangle. Interlocking the zero twist points in this way makes it unnecessary for the strands to have to converge immediately after twisting, and results in more uni-

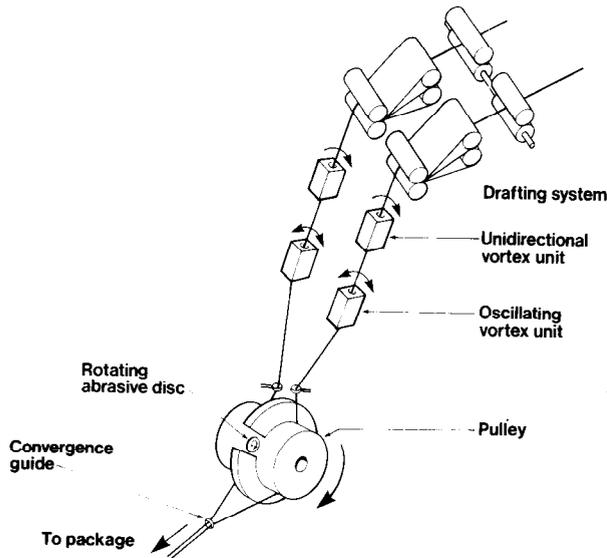


Fig. 9: Trend spinning system

form distribution of ply-twist after convergence and in improved yarn strength. After heat setting, the yarn is suitable for shag-pile and other types of carpet.

3. 3. 4. The Twin-Spin System

A further interesting variant of the self twist process is *Twin-Spin*, which is one of several known methods of producing a two ply yarn directly at the ring frame.

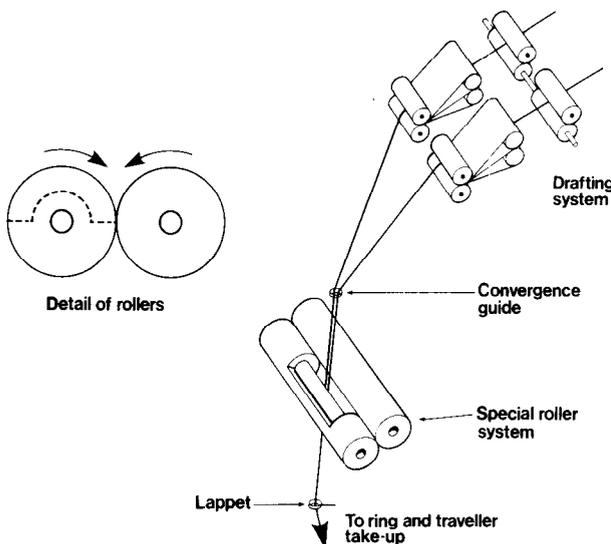


Fig. 10: Twin-spin spinning system

Details of the system are shown in figure 10. Two rovings are drafted through one apron of a drafting system and the emerging strands allowed to converge at the convergence guide. The folded yarn then passes through a nip roller system and is taken up on a spindle using a standard ring and traveller spindle take-up.

The particular feature of the system is in the design

of the nip rollers, one of which is half cut away so that the yarn is held only intermittently. Cyclical changes are therefore induced in the level of twist in the plied yarn. It should be noted that the system relies on twist generated by the ring and traveller, being shared between the strands and the folded yarn and that the twist levels are interdependent, that is to say: while the twist is uni-directional it is of a varying level, in both the two strands and in the folded yarn.

The process is certainly economically attractive for the production of weaving and knitting yarns, on the assumption that existing ring frames will be converted. But, it is yet too early to predict the degree of market penetration to be expected by the yarns, and whether this will be in the short or long staple sectors.

3. 3. 5. Fasciated Yarn Systems

In this type of spinning system of which there are a number of variants being worked on by Du Pont (USA), Murata and Toyobo (Japan) and others, the Du Pont's *Rotofil* system (figure 11) is perhaps representative.

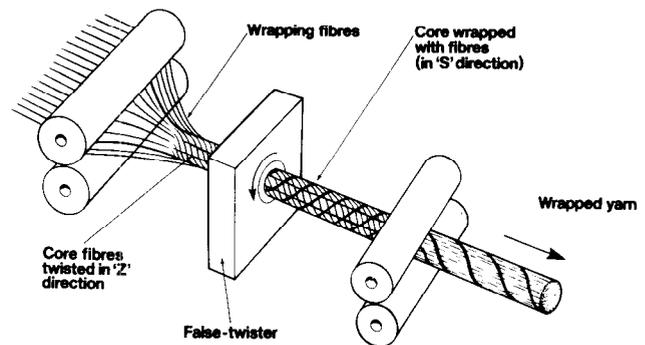


Fig. 11: Fasciated yarn spinning system (ie Rotofil)

Basically this is a fine count spinning system capable of producing yarns with as few as 60—70 fibres in the yarn cross-section, that is to say: as fine as 6 tex (Nm 170/Ne 100). The principle employed is as follows: A sliver produced by stretch breaking is subject to a high draft (350 — 900) and then strongly false twisted in an air or steam operated twister tube, so as to form a strand with differential twist.

As shown in the sketch, the twister inserts 'S' twist into the core of the fibre strand but very little twist into the edge fibres, so that when the yarn untwists these outside fibres wrap round the outside surface in a Z-direction to form a coherent yarn.

The fact that yarns as fine as 13 tex (Nm 76/Ne 45), to give an example from patent literature, are being produced at speeds around 150 metres/min makes it quite possible that a great deal more will be heard about this system.

3. 4. Twistless Systems

3. 4. 1. Coverspun

Coverspun is the trade name given to a wrap yarn spinning system developed by Leasona Corp (USA) for spinning worsted type and other apparel yarns. As

the name implies yarns, claimed generally to be 50 % stronger than corresponding ring yarns are produced by wrapping a filament yarn round a core of drafted but untwisted staple fibres without inducing twist in the core. Yarns in the count range 88 — 13 tex (Nm 11 — 80/Ne 6,5 — 48) can be spun, and it is claimed that the resultant structure ensures that the filament is almost completely hidden.

Figure 12 shows how the yarn is formed. A roving package is placed in a standard ring frame creel and drafted by a typical three roller drafting system.

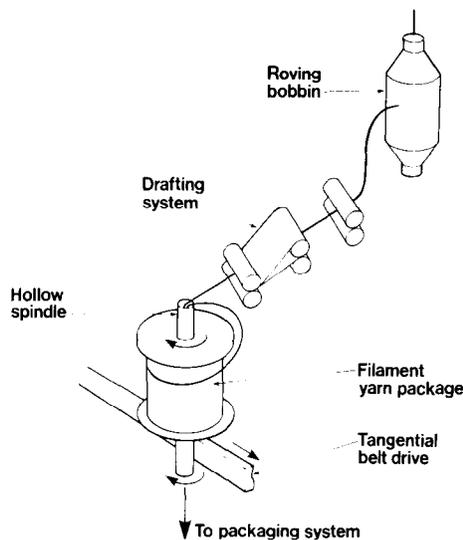


Fig. 12: Wrapped yarn spinning system

Fibres emerging from the nip of the front roller immediately enter a hollow vertical spindle on which is mounted a spool of filament. The end of the filament also enters the top of the hollow spindle with the staple, so that as the spindle rotates the filament is wrapped round the staple to form the yarn, which is then wound up on 2 kg cylindrical packages.

The interesting technological feature of the system is that only about half the number of fibres normally found in the cross-section of a yarn, are required. This means that finer yarns can be spun from coarser fibres, giving a saving, as coarser fibres are generally less expensive.

The economics of the process are however dependent on the cost of filament, and while released information refers to the spinning of fine count yarns, it remains to be seen whether the process can also be applied to the spinning of short fibres.

### 3. 4. 2. TWILO — Twistless Spinning

The basis of the TWILO system is the incorporation of an adhesive component, in the form of a textile fibre in the stock to be spun during the preparation stages. This binder, which has been specially developed for the process is a polyvinyl alcohol (P.V.A.) fibre and makes up about 5 — 10 % of the blend weight.

During spinning (figure 13) the prepared sliver is first wetted out by passing it through a water bath after which it is drafted using a conventional high draft three roller system. A false twister immediately after

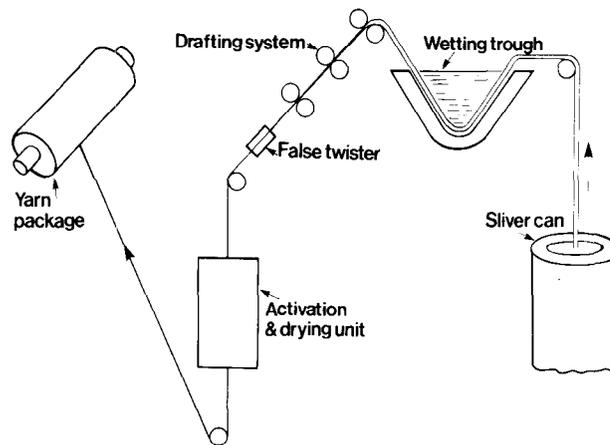


Fig. 13: Twistless spinning system (Twilo)

the front roller keeps the fibres together as they pass through the drying unit, after which the yarn is packaged.

Twistless spinning systems are always interesting because, as the absence of twist implies, high winding and therefore production should be within reach. With claimed speeds of up to 400 metres/min this is certainly the case.

The yarn produced is flat and gives good cover in lightweight fabrics but its very low elongation has raised doubts as to its suitability as warp in woven fabrics or in double jersey applications. It is reported however, that a different type of adhesive is being sought to allow greater linear extension, to overcome this problem.

### Future Trends

In conclusion it is perhaps only right to say that no review of current yarn production methods would be complete without at least a few words on what might be expected from the future.

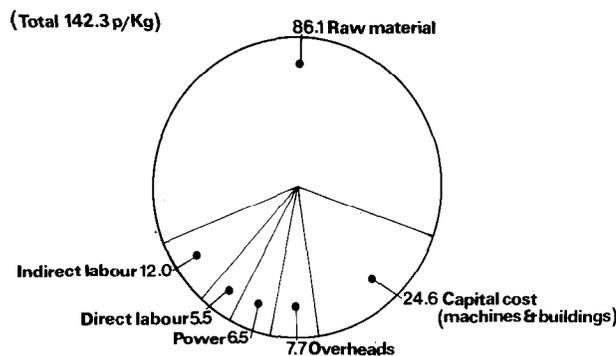


Fig. 14: Breakdown of yarn cost (p/kg); Ne 24s Rotor spun yarn

Developments in staple fibre spinning will in my opinion continue to be motivated by one dominant factor, that of reducing yarn production cost, with greatest concentration of effort being applied to the development of finer count spinning systems.

From an economic point of view referring to figure 14, showing the breakdown of total conversion costs of a 24,7 tex (Nm 42/Ne 24) cotton rotor spun yarn, taken to be representative of current situations, it will be seen that after the major item of 86,11 p/kg for raw material costs (assumed to be fixed), the next biggest

ning process, being 16,32 p/kg or 66 % of total capital costs.

For this reason it is in the development of spinning and not preparation processes that further development effort should and can be expected, but whether the hoped for cost reductions can be achieved by further improvements to existing spinning systems or whether more reliance must be placed on new techniques, is the real question to be answered.

(Total 24 6p/Kg)

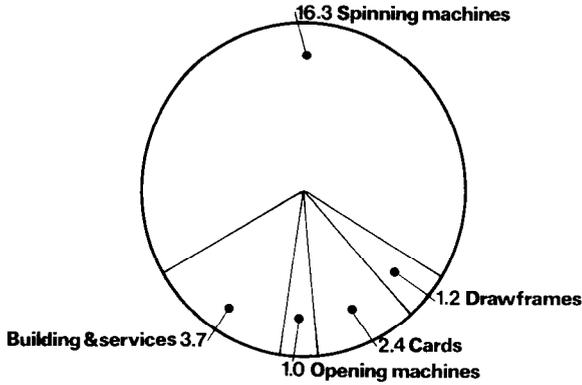


Fig. 15: Breakdown of capital costs (Ne 24s Rotor spun yarn)

is 11.19 p/kg for capital costs. It is through a reduction in the latter costs therefore that perhaps the greatest impact on reducing today's conversion costs can be achieved.

Reference to figure 15 will show that the highest capital and depreciation costs still relate to the spin-

**References Chisholm**

- 1) W. Jablonski — New yarn making techniques their development and application  
Conference: Lodz. 15 — 17 May, 1978 „Theory and Practice of New Spinning Techniques“ (Pp 22 — 32)
- 2) Dr. Ing. Ryszard Jozwicki — Spinnmaschine, Modell PF 1 für das Lufwirbelspinnverfahren  
Textiltechnik 1978 — 11 (Pp 685 — 687)
- 3) Dr. H. Stalder — Neuartige Spinnverfahren  
Textil Praxis Int. 1976 — 7 (Pp 747 — 751)
- 4) P. Lennox — Kerr — Coverspun: first major advance since *Ambler's Superdraft?*  
Wool Record 1979 — 2 (Pp 55 — 57)
- 5) Offenlegungsschrift: DE 27 22 319  
(Fasciated Yarns)

*.. und* **KSB** *liefert Pumpen, Kompressoren, Armaturen ..*

Senden Sie mir bitte kostenlos und unverbindlich ausführliches Informationsmaterial über:

Pumpen

Kompressoren

Armaturen

Name: .....

Anschrift: .....

Bitte ausschneiden und einsenden an:

**KSB Österreich**  
Gesellschaft mbH.  
1140 Wien, Rottstr. 24

## Prinzipien und Grenzen der Möglichkeiten zur Entwicklung schwerentflammbarer Fasern

Prof. Dr. H. Herlinger, Dr. U. Einsele, Dr. A. Püntener, Dr. P. Meyer, Dr. W. Metzger, Dr. A. Gröbe und Dr. K. Veese

Institut für Chemiefasern, Stuttgart

Seit der Initiierungsphase zur Entwicklung schwerentflammbarer Fasern und Textilien hat die Betrachtungsweise dieser Problematik zahlreiche Stadien durchgemacht. All die Schwarz-Weißzeichnungen von Gefahren, Problemlösungen, Polemik und Versprechungen führten letzten Endes zu einigen grundsätzlichen Erkenntnissen darüber, was um jeden Preis und was zu praktikablen Kosten realisierbar ist und wo kaum Hoffnung auf einen kurzfristigen Erfolg besteht. Insbesondere aber wurden in den letzten Jahren klare Erkenntnisse über die zur Herstellung von schwerentflammbaren Textilien notwendigen Randbedingungen gewonnen.

Es wurden präzisere Antworten auf die Fragen gefunden: Nach welchen Mechanismen erfolgt ein Brandablauf eines Textilmaterials? Welche Beeinflussungsmöglichkeiten des Brandgeschehens haben wir? Welche zusätzlichen Randbedingungen sind zu beachten, welche sind erfüllbar, welche nicht? Welche Kompromisse bezüglich textilmechanischer, physiologischer und textilchemischer Art müssen unter Umständen in Kauf genommen werden? – Daß die Antworten auf alle diese Fragestellungen für jedes der klassischen Faserpolymeren, angefangen von der Zellulose über Polyamid, Polyester zu Polyacrylnitril, anders lauten, ist für den mit der Materie vertrauten selbstverständlich.

Die Fortschritte der letzten Jahre beinhalten einige Antworten auf die vorstehenden Fragen. Sie zeigen, daß euphorische kurzlebige Erfolgsmeldungen klaren sachlichen Aussagen weichen mußten. Als wesentliches Ergebnis der letzten Jahre darf festgehalten werden, daß Anforderungsprofile klarer definiert und Eigenschaftsprofile schwerentflammbarer Textilien präziser und umfassender mit allen Vor- und Nachteilen beschrieben werden können.

Since the initial phase in the development of flame retardant fibers and textiles the approach on the problematic nature varied very often.

All black-and-white drawing of dangers, solution of problems, polemics and promises at last led to the fundamental perception of the facts, what can be realized at every price, what can be realized on practicable costs and where exists hardly hope on a short term success. Especially in the last year we obtained clearly defined knowledge on the restrictions for the production of flame-retardant textiles. More precise answers were found on the questions. What is the mechanism of burning of textile materials? Which possibility do we have to influence propagation of burning. Which additional conditions do we have to obtain, which one can be fulfilled, which not. What kind of compromises in respect to textile-mechanical, physiological or textile chemical behaviour do we have to accept. For people who know this subject it is evident, that for each one of the classical fiber polymers, beginning with cellulose to polyamide, polyester or polyacrylonitrile the answers of the mentioned questions are different. The progress of the recent years gives some answers on this questions. This answers show, that euphoric shortlived progress reports had to give way for clear realistic statements.

The most important result is, that the profiles on requirements and properties of flame retardant textile were more precisely and more comprehensively defined including all advantages and disadvantages.

## Einleitung

Die Problematik der Herstellung schwerentflammbarer Textilien war schon häufig Gegenstand von Tagungen und Vorträgen, so auch bei der Chemiefasertagung 1975. Man war damals bemüht, die gesamte Problematik von allen Seiten zu beleuchten und so zu einer objektiven Bestandsaufnahme – wo stehen wir? – zu kommen.

Es gibt jedoch im Textilbereich einige Themenkreise, die offensichtlich nicht ohne Emotionen diskutiert werden können. Beispiele wären die Faserpräparation, die Bekleidungsphysiologie und auch das Brennverhalten von Textilien. Mit diesem Eindruck mußte der Tagungsteilnehmer 1975 nach Hause gehen.

Es soll dies daher ein neuer Versuch einer Bestandsaufnahme über die „Grenzen und Möglichkeiten zur Herstellung schwerentflammbarer Textilien“ sein.

In den letzten Jahren wurden für spezielle Einsatzzwecke geeignete Fasermaterialien entwickelt, wie beispielsweise die Aramide und Polyheterocyklen; diese Materialien seien allerdings ausgenommen, da uns hier vor allem die Frage interessiert: Welche Fortschritte wurden in den letzten Jahren bei der Modifizierung klassischer Chemiefasern und bei der Baumwolle gemacht?

Der Grund für dieses Vorgehen ist sehr plausibel: Keine der speziellen Neuentwicklungen wird in der Lage sein, die klassischen Faserpolymeren zu verdrängen. Also kann bei entsprechenden Anforderungen die Arbeitsrichtung nur lauten: Modifizierung, d. h. schwerentflammbar machen von klassischen Fasermaterialien.

Diese Problematik zu diskutieren, ist ungleich schwerer, als über ausgefallene Entwicklungen zu berichten, denn hierbei sind viel mehr Anforderungen und Randbedingungen in Betracht zu ziehen.

## Anforderungen an schwerentflammbare Textilien

Wenn wir die Forderung aufstellen würden: „Schwerentflammbar unter Erhalt aller sonstigen Eigenschaften, inklusive Preis!“, dann wären wir bereits am Ende!

Ein Textil hat nicht nur eine Eigenschaft, sondern eine Vielzahl von Eigenschaften, und wir stellen daher nicht eine Anforderung, sondern eine Vielzahl von Anforderungen.

Betrachten wir die klassischen Textilmaterialien, so weist jeder der Faserstoffe ein bestimmtes Eigenschaftsspektrum auf. Von der Verbraucherseite – den Textilherstellern und Endverbrauchern – werden die Anforderungen vorgegeben. Bereits die Harmonisierung der Eigenschaftsprofile mit den Anforderungsprofilen in den klassischen Textilbereichen erforderte die volle Anstrengung aller, die an den Produktionsstufen beteiligt waren.

Noch schwieriger wird sich das Problem schwerentflammbarer klassischer Chemiefasern darstellen, denn diese Fasern bestehen bekanntlich aus organischen Polymerverbindungen mit ca. 60 - 80 % Kohlenstoff und Wasserstoff.

Fügen wir den Anforderungen auch nur eine weitere hinzu, z. B. Schwerentflammbarkeit, so sind die Auswirkungen auf alle Eigenschaften zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Optimieren deutet bereits an, daß wir Kompromisse eingehen müssen. Das Textil mit dem Eigenschaftsspektrum „Ästhetik wie Seide, Bekleidungskomfort wie Baumwolle, Elastizität wie Gummi und Schwerentflammbarkeit wie Asbest“, wird wohl niemand erwarten.

Wir müssen deshalb zuerst einmal fragen: Welche Eigenschaften müssen unter allen Umständen erhalten bleiben und wo werden möglicherweise Kompromisse akzeptiert?

Die folgende Zusammenstellung zeigt, welche textilen Eigenschaften wir bei der Forderung „Schwerentflammbarkeit“ zu beachten haben:

**Forderung:** Schwerentflammbarkeit unter Berücksichtigung der wesentlichsten Eigenschaften.

*Textile Eigenschaften:*

- Ästhetik, Struktur, Fall;
- Festigkeit, Modul, thermochemische Beständigkeit;
- Färbbarkeit, Lichtechtheit, Waschbeständigkeit;
- Physiologisch unbedenklich: bei Produktion und Gebrauch;
- Preiswürdigkeit.

Ohne näher darauf einzugehen, ist leicht ersichtlich, daß auf ein bestimmtes Niveau der näher markierten Eigenschaften auf gar keinen Fall verzichtet werden kann; so beispielsweise sicher nicht auf: Echtheiten, Gebrauchswert, physiologische Unbedenklichkeit und Preiswürdigkeit. Unsere Forderung lautet also zunächst wie schon angeführt: Schwerentflammbarkeit unter Berücksichtigung der wesentlichsten Eigenschaften!

Bei der Entwicklung schwerentflammbarer Textilien steht zunächst eine Eigenschaft im Vordergrund: die *Schwerentflammbarkeit*. Um hier die richtige Arbeitsrichtung einschlagen zu können, benötigen wir zunächst Auskunft über das unterschiedliche *Brennverhalten* der zu modifizierenden Faserrohstoffe.

Dieses Brennverhalten wird selbstverständlich unter verschiedenen *Brandbedingungen* extrem verschieden sein.

Um also von einem Textil sagen zu können, es sei *schwerentflammbar*, müßten wir theoretisch sein Verhalten unter allen denkbaren Brandbedingungen testen.

Einflußparameter wären, um nur beispielsweise einige zu nennen, folgende:

- textile Konstruktion,
- Anordnung im Brandfall,
- Zündart,
- Umgebungstemperatur,
- Luftangebot,
- Verbund mit anderen brennbaren Materialien.

Die textile Konstruktion und deren Einsatzgebiet, beispielsweise bei Gardinen, legen die Anordnung im Brandfall bereits fest. Es ist unwahrscheinlich, daß hierbei ein eventueller Brand durch ausgelaufenes Benzin eingeleitet wird. Das gleiche Material wird sich als Polsterbezug eines Autositzes, z. B. auf Polyurethanschaumstoff bei einem Autobrand, ganz anders verhalten.

**Schlußfolgerung:** Wir können die Vielfalt des *Brandablaufes* nicht voraussehen und deshalb nicht alle Brand-situationen durch geeignete Tests in Betracht ziehen.

Damit bleibt nur ein anderes Vorgehen: Wir vergleichen zunächst die verfügbaren Materialien unter Standardbedingungen und untersuchen, welche Eigenschaften im Brandfall von Bedeutung sind.

In einer zweiten Stufe untersuchen wir, durch welche Maßnahmen, d. h. Modifizierungsmittel und Modifizierungsverfahren, Schwerentflammbarkeit erzielt werden kann.

In der dritten Stufe fragen wir den *Kunden*, ob er bereit ist, die notwendigen Kompromisse zu akzeptieren und vor allem, ob er bereit ist, die Kosten für eine latente Schutzmaßnahme zu tragen, die trotz vieler Brandfälle eine geringere Wahrscheinlichkeit hat als eine Autokollision.

Kehren wir zu einer präzisen Bestandsaufnahme zurück. Die Vielfalt der Brandgeschehen erfordert eine Normierung der Beurteilung von *Brennbarkeit*.

Standardbedingungen seien zunächst Versuchsbedingungen, bei denen der Sauerstoffgehalt ermittelt wird, der zum Weiterbrennen einer brennenden Textilprobe erforderlich ist (Tab. 1).

**Tabelle 1: LOI-Werte klassischer Textilmaterialien unter verschiedenen experimentellen Bedingungen**

	g/m <sup>2</sup>	freies System	Verbundsystem a)
Bw	180	17,8	18,0
PAC	165	17,5	19,1
PA 6	150	22,8	20,6
PES	150	25,0	20,8
PES/Bw	190 b)	18,4	19,2

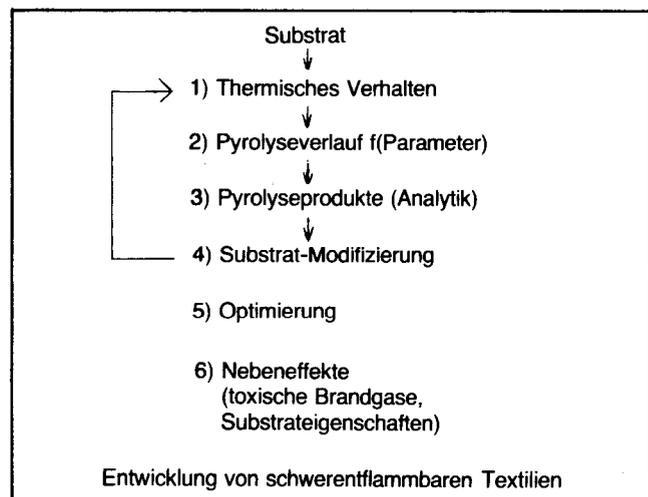
LOI-Werte (Sauerstoffbedarf) klassischer Textilmaterialien:  
 a) Abschmelzen verhindert, z. B. durch Glasfasergewebe  
 b) PES-Bw-Mischgewebe 50 : 50

Die ermittelten LOI-Werte sind im Verbundsystem durchwegs niedriger, wenn ein Abtropfen verhindert wird, d. h., auch bei diesem Test wird nicht nur die Pyrolyse, sondern das komplette Brennverhalten miterfaßt. (Eine Ausnahme scheint unter den experimentellen Bedingungen PAC zu sein.) Bei einer Modifizierung von Textilien ist deshalb die Änderung des thermomechanischen Verhaltens und des Schmelzverhaltens unbedingt zu beachten.

Brennverhalten und Sauerstoffbedarf beim selbständigen Weiterbrennen charakterisieren jedoch nur das äußerlich erkennbare Verhalten eines Textilmaterials im Brandtest. Zur gezielten Entwicklung schwerentflammbarer Textilien benötigen wir tiefere Einblicke in den Pyrolyseverlauf, den Pyrolysemechanismus, den Brandverlauf und den Brandmechanismus.

Wir benötigen Auskunft auf die Frage: Welche Spalt-

**Tabelle 2: Studien zur Entwicklung schwerentflammbarer Textilien**



produkte entstehen bei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von Sauerstoffkonzentration, Wärme- fluß, Stofftransport in der Gasphase, um nur einige Parameter zu nennen? Wir haben neben der Variation des Substrats durch Modifizierung eine Vielzahl von Parametern und deren Einfluß auf den Brandablauf zu beachten.

Nachdem die Zeit der schnellen empirischen Suche nach den „flammfesten“ oder sogar „feuerlöschenden“ Fasern vorüber ist und Euphorie nüchterner Betrachtung gewichen ist, haben sich einige Arbeitskonzepte für die Entwicklung schwerentflammbarer Textilien ergeben (Tab.2).

Wir studieren daher:

- das chemische Verhalten,
- den Pyrolyseverlauf in Abhängigkeit der notwendigen Parameter, z.B. Luftangebot, Temperaturgradient usw.,
- die Pyrolyseprodukte, d.h. primäre Spaltprodukte, stabilere Zwischenprodukte, faßbare Endprodukte in Abhängigkeit von Versuchsbedingungen und vom Brandablauf,
- die Modifizierung durch Additive, Copolymerisation, Ausrüstung,
- die Optimierung der Effekte und
- die Nebeneffekte, wie toxische Brandgase und veränderte Substrateigenschaften.

Anhand dieses Arbeitsschemas soll nun der Stand der Technik und Entwicklung der letzten Jahre diskutiert werden.

### Zellulosehaltige Fasern

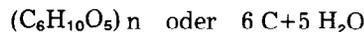
Vom Brennverhalten her brauchen wir zwischen Viskosefasern und Baumwolle nicht zu unterscheiden. Für die Entwicklung schwerentflammbarer Fasern ist jedoch bei den Viskosefasern die Applikationstechnik in der Weise erweitert, daß zur Polymerlösung beim Naßspinnen nieder- und hochmolekulare Additive zugesetzt werden können.

In bezug auf die Schwerentflammbarkeit ist die Entwicklung bei zellulosehaltigen Textilien am weitesten fortgeschritten. Der Grund liegt einmal darin, daß Zellulose in relativ hohen Prozentsätzen chemisch, z. B. auch mit flammhemmenden Agentien, umgesetzt werden kann, ohne daß textile und textilchemische Eigenschaften in einem nicht tolerierbaren Maß verändert würden. Einzelprobleme wie Griffveränderung sind durch spezielle Applikationstechniken zu beherrschen.

Auch in den Chemismus des Brandablaufes und der Wirkung flammhemmender Additive haben wir tieferen Einblick als bei sämtlichen anderen Fasermaterialien:

- Der Pyrolyseverlauf der Zellulose ist bekannt<sup>1-14</sup>. Wir wissen weitgehend, welche chemischen Verbindungen unter welchen Bedingungen entstehen, d. h. der Pyrolysechemismus und die Pyrolysekinetik sind in ausreichendem Maße untersucht.
- Wirksame flammhemmende Agentien konnten entwickelt werden und sind im Handel.
- Die synergistischen Effekte von phosphor- und stickstoffhaltigen Verbindungen sind bekannt.
- Über den Wirkungsmechanismus von Phosphorverbindungen besteht einigermaßen Klarheit; über die Fortschritte auf diesem Gebiet möchte ich hier einiges ergänzend berichten.

Zellulose ist ein polymeres Kohlenhydrat, d. h., ihre Zusammensetzung ist:



Wenn es also gelingt, diese Dehydratisierungsreaktion schnell und quantitativ durchzuführen, so würden keine brennbaren flüchtigen Verbindungen entstehen.

Elementarer Kohlenstoff brennt als Festkörper gar nicht so leicht, das weiß jeder, der schon einmal ein Koksfeuer machen wollte.

Nun verläuft aber diese Reaktion mit keinem Katalysator unter Brandbedingungen gerade ausschließlich in Richtung Dehydratisierung. Es war deshalb von Interesse, die Optimierung der Zellulosedehydratisierung zu untersuchen. P. Meyer<sup>14</sup> konnte in seiner Dissertation zeigen, daß beispielsweise mit Phosphorsäure unter optimalen Bedingungen die Wasserabspaltung zu 65 % der Theorie (36,2 von 55,5 %) erfolgt<sup>2</sup>.

Die Bildung der Gesamtwassermenge läßt aber keinen zwingenden Schluß auf die Schwerentflammbarkeit zu; so konnte nämlich gezeigt werden, daß nicht nur der möglichst quantitative Verlauf der Dehydratisierung entscheidend ist, sondern auch die Geschwindigkeit der Wasserabspaltung in einem bestimmten Temperaturbereich (Abb. 1).

Bestimmt man die Bruttoreaktionsgeschwindigkeit der Wasserabspaltung unter verschiedenen Bedingungen und trägt man die Geschwindigkeitskonstanten gegen den LOI-Wert auf, so ist ersichtlich, daß eine direkte Pro-

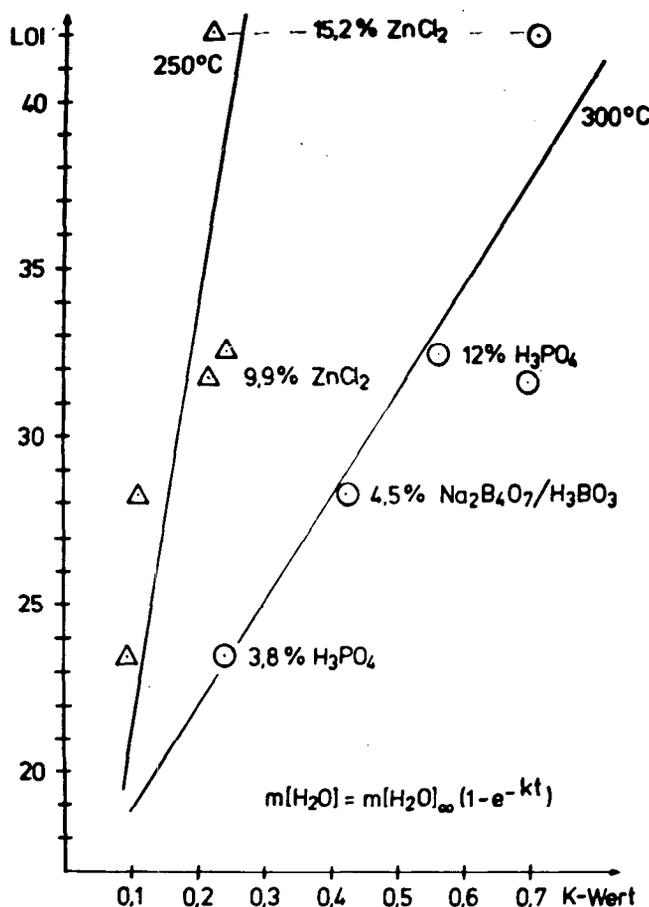


Abb. 1: Zusammenhang zwischen LOI-Wert und Dehydratisierungsgeschwindigkeit von Zellulose

portionalität zwischen der Geschwindigkeit der Dehydratisierungsreaktion und dem LOI-Wert besteht<sup>14</sup>.

Als Quintessenz dieser Untersuchungen können die Anforderungen an eine flammhemmende Komponente in Zellulose folgendermaßen definiert werden:

- Eine phosphororganische Verbindung wirkt in Zellulose dann als Flammenschutzmittel, wenn unter Brandbedingungen eine möglichst vollständige Umsetzung zu Phosphorsäure erfolgt<sup>15</sup>.
- Flammhemmende Mittel müssen in der Lage sein, bei Temperaturen von 250 - 350 °C rasch mindestens 3 Mol Wasser pro C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>-Einheit abzuspalten<sup>16</sup>.
- Der flammhemmende Effekt (LOI-Wert) ist proportional der Geschwindigkeit der Wasserabspaltung.

Neben der Dehydratisierung sind noch weitere, auch basisch katalysierte Reaktionen der Zellulose möglich, die zu einem erhöhten Verkohlungsrückstand bei nur geringer Wasserabspaltung führen.

Dieses Prinzip der Dehydratisierung zur Erzielung eines hohen Verkohlungsrückstandes, d. h. der Bildung möglichst geringer Mengen brennbarer Spaltprodukte, ist nur bei wenigen Faserpolymeren denkbar, so z. B. auch bei Polyvinylalkoholfasern.

Als Applikationsmöglichkeiten kommen bei Chemiefasern auch die chemische Modifizierung der Zellulose vor dem Spinnprozeß oder das Verspinnen von Zellulose/Polymer-Mischungen in Frage. Ein Beispiel hierzu ist die von Lenzing entwickelte schwerentflammbare Zellulosefaser: Viscose FR.

Die Zellulose eignet sich besonders für die textilchemische Modifizierung. Da nur ein Teil der Textilien schwerentflammbar gemacht werden muß, stellt sich immer wieder die Frage, ob es sich lohnt, spezielle Fasertypen zu entwickeln, wenn mit textilchemischen Verfahren die gleichen Effekte erzielt werden könnten. Gleich heißt hier allerdings totale Übereinstimmung der Endigenschaften bei Zellulosetextilien, z. B. auch Griff, Tragekomfort, Waschbarkeit usw.

Gerade diese Eigenschaften werden jedoch durch die erforderlichen hohen Konzentrationen an Ausrüstungsmitteln nachteilig beeinflusst.



Abb. 3: Oberfläche einer Baumwollfaser (REM-Aufnahme)

Aus diesem Grund sind spezielle Applikationstechniken trotz der bekannt guten Wirkung von flammhemmenden Ausrüstungsmitteln auch derzeit noch von Interesse. Bekanntlich führen die nach textilchemischen Methoden applizierten Systeme aufgrund ihrer Neigung zur Harzbildung zu einer Griffversteifung des Textils.

Betrachtet man die Oberfläche eines solchermaßen ausgerüsteten Gewebes unter dem Rasterelektronenmikroskop, so ist ersichtlich, daß das Ausrüstungsmittel nicht nur durch eine Reaktion in der Faser gebunden wird, sondern daß auch eine harzartige Ablagerung auf der Oberfläche erfolgt (Abb. 2). Dies ist letztlich der Grund für die Griffversteifung.

Vergleichsweise zeigt hierzu die Baumwolle eine glatte Oberflächenstruktur (Abb. 3). Durch eine strahlenchemische Pfropfung können nun Derivate der Vinylphosphonsäure in ausreichender Konzentration auf Baumwolle fixiert werden (Abb. 4), so daß zum einen ein ausreichender flammhemmender Effekt resultiert, zum anderen jedoch keine Griffversteifung erfolgt.



Abb. 2: Oberfläche einer schwerentflammbaren, harzausgerüsteten Baumwolle (REM-Aufnahme)

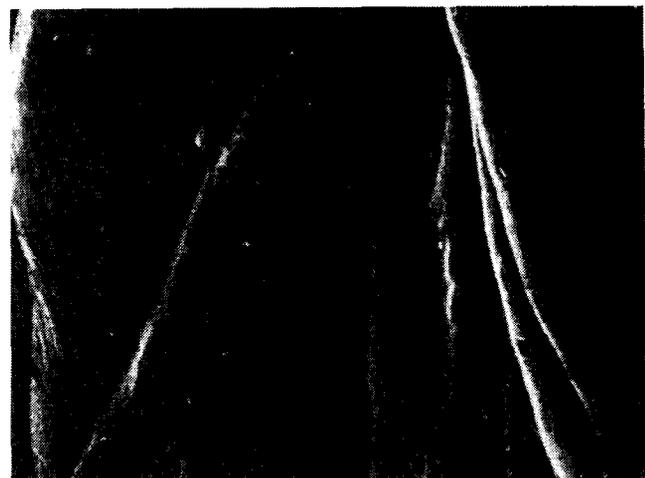


Abb. 4: Oberfläche einer mit Vinylphosphonsäure gepfropften Baumwollfaser

**Bilanz:** Bei zellulosehaltigen Fasern ist eine schwerentflammbare Ausrüstung mit technisch und wirtschaftlich tragbarem Aufwand möglich. Die Bildung kohlenstoffreicher Rückstände durch Dehydratisierungsreaktionen ist zunächst auf Polymere mit kohlehydratartiger Struktur beschränkt.

**Polyamidfasern**

Bei den Polyamiden ist eine Pyrolysebilanz in der Richtung Kohlenstoff und Wasser schon theoretisch nicht möglich.

Nun erfordert die Bildung kohlenstoffreicher Pyrolyserückstände das Vorhandensein vorgebildeter spezieller Strukturen, wie wir beim Polyacrylnitril noch sehen werden.

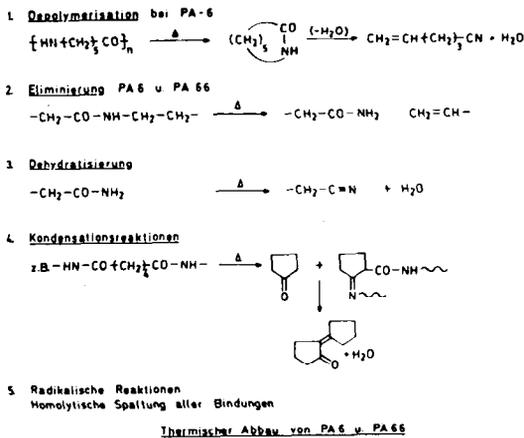
Sind chemische Reaktionen unter Ausbildung von schwerentflammaren Verbindungen nicht möglich, d. h., führt die Summenformel letztlich zu einem Überschuß an Kohlenstoff und Wasserstoff, so resultieren bei der Pyrolyse brennbare kohlenwasserstoffhaltige Verbindungen.

Welche Spaltprodukte entstehen bevorzugt bei Polyamiden? Im realen Brandfall erfolgt weder eine reine Pyrolyse, d. h. thermolytische Spaltung, noch liegt eine vollständige Oxydationsreaktion der pyrolytischen Spaltprodukte vor.

Bei der Pyrolyse von Polyamiden entsteht eine Vielzahl von Spaltprodukten.

$C_6H_{11}ON$  liefert theoretisch  $5 C + HCN + H_2O + 8 H$ .

Wie bei der Zellulose läuft jedoch auch bei den Polyamiden die Reaktion nicht nur in Richtung kohlenstoffreicher Rückstände.



1. Depolymerisation im Falle des PA 6
2. Eliminierungsreaktionen
3. Dehydratisierung
4. Kondensationsreaktionen der Spaltprodukte

Abb. 5: Thermischer Abbau von PA6 und PA66

Es treten je nach Polyamidtyp in mehr oder weniger großem Umfang die in Abbildung 5 gezeigten Spaltreaktionen auf.

Hierüber gibt es eine Vielzahl von Veröffentlichungen, die nur auszugsweise referiert werden können<sup>17-23</sup>

Die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Pyrolyse und

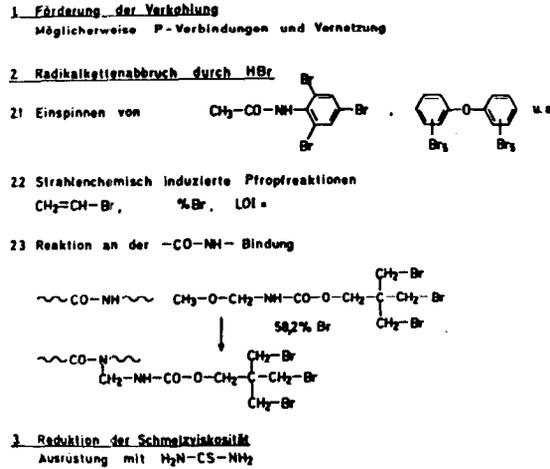


Abb. 6: Mechanismen und Modifizierungsmöglichkeiten zur Erzeugung schwerentflammbarer Polyamide

des Brennverlaufes bei Polyamiden sowie die Substanzen, die in den verschiedenen Mechanismen wirksam sind, sind in Abbildung 6 ersichtlich.

Für die Verkohlung wirksame Substanzen sind halogenfreie Phosphorverbindungen, die meines Erachtens noch nicht in ausreichendem Maße untersucht worden sind.

Den Eingriff in den Chemismus der Flamme beeinflussen möglicherweise organische Bromverbindungen. Als Applikationsmöglichkeiten kommen in Frage:

- das Einspinnen,
- das Thermosolieren und
- textilchemische Operationen, wie z. B. die Reaktion an der Carbonamidbindung.

**Reduktion der Schmelzviskosität**

Die bekannte Applikation von Thioharnstoff auf Polyamid führt zu einem veränderten Brennverhalten, das lediglich auf einer Reduktion der Schmelzviskosität beruht. Wird das Abtropfen der Schmelze verhindert (Apex-Test), so resultiert das gleiche Brennverhalten wie beim nichtmodifizierten Polyamid<sup>24</sup>.

Ergänzend sei erwähnt, daß auch versucht wurde, durch eine starke Vernetzung die Verkohlung des Polyamids in der Flamme zu erreichen. Auf diesem Prinzip der Verkohlung nichtschmelzender vernetzter Polymerer beruht die Entwicklung der Phenolharzfaser Kynol.

Versucht man jedoch, Polyamide stark zu vernetzen und nimmt man ihnen dadurch ihr thermoplastisches Verhalten, so resultieren leicht brennbare Materialien, z. B. Gewebe, die ein ähnliches Brennverhalten wie Baumwollgewebe aufweisen<sup>25, 26</sup>.

**Eingriff in den Chemismus der Flamme**

Hier sind organische Bromverbindungen von Interesse, die beim Verbrennen Bromradikale und Bromwasserstoff bilden.

Für die Anwendung von Bromverbindungen stehen bei Polyamiden folgende Methoden zur Verfügung:

- Zusatz von bromhaltigen Verbindungen zur Polyamid-schmelze beim Schmelzspinnen;
- textilchemische Verfahren, d. h. Einbringen von Bromverbindungen nach Thermosolverfahren - Umsatz mit

reaktiven Bromverbindungen oder strahlenchemisch induzierte Pfprefreaktionen.

Aus sämtlichen Studien über Zusammenhänge von Bromgehalt und LOI-Wert geht hervor, daß zur Erzielung einer akzeptablen reduzierten Brennbarkeit so große Prozentsätze an Bromverbindungen aufgebracht werden müssen, daß bereits eine nichtakzeptierbare Reduktion aller textilen Eigenschaften erfolgt.

Bei Versuchen, entsprechende Additive einzuspinnen, hört die Fadenbildung und Verstreckbarkeit bereits bei nicht ausreichend wirksamen Konzentrationen auf<sup>27</sup>. Das heißt, Bromverbindungen scheiden wegen ihrer mangelhaften Wirkung aus. Die Verwendung von Bromverbindungen wäre unter dem Aspekt unserer Forderung: „Es dürfen keine zusätzlichen toxischen Gase beim Brennen gebildet werden“, ohnehin ein schlechter Kompromiß, denn beim Verbrennen sämtlicher bromhaltiger Fasern wird der Bromanteil nahezu quantitativ in gasförmigen Bromwasserstoff umgewandelt<sup>28</sup>.

Zur Wirkung von HBr und Br-Radikalen in einer Kettenabbruchreaktion in der Flamme sei hier noch einiges bemerkt: HBr muß in der Flamme in dem Augenblick an jenem Ort verfügbar sein, an dem augenblicklich die Kettenreaktion abläuft. Entstehen bei der Pyrolyse leichtflüchtige brennbare Verbindungen, so wird ein relativ großer Raum mit diesen Verbindungen erfüllt sein. Damit reicht unter Umständen die verfügbare HBr-Menge nicht aus, um eine ausreichende HBr-Konzentration aufzubauen. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Abtransport der Brenngase bewirken den gleichen Effekt.

**Bilanz:** Stellen wir die harte Forderung: „Ein echter flammhemmender Effekt muß *substanzbedingt* sein“, so müssen wir feststellen, daß dieses Ziel bei aliphatischen Polyamiden bisher noch nicht erreicht ist. Teilerfolge beruhen auf der Reduktion der Schmelzviskosität, die nur in speziellen Brandfällen zum Tragen kommt, oder auf der Veränderung des Brandmechanismus in der Flamme mit dem Nachteil der Bildung von Bromwasserstoff und der Veränderung der textilen Eigenschaften.

**Polyäthylenterephthalatfasern**

**Brennverhalten:** Sie zeigen das typische Brennverhalten eines Thermoplastes. Aufgrund dieser Eigenschaft sind beispielsweise PES-Übergardinen nur mit Mühe in Brand zu setzen.

Das typische Brennverhalten ist in einem Vergleich von Baumwoll- und PES-Gewebe ersichtlich (Abb. 7).

Ein Baumwollgewebe brennt aufgrund des niederen LOI-Wertes sehr rasch ab. Im Vergleich dazu wird ein Polyestergewebe an einer Zündflamme teilweise aufgeschmolzen und weicht so von der Flamme zurück. Dieses Brennverhalten ist allerdings auf spezielle Brandsituationen beschränkt.

**Beeinflussung des Brennverhaltens**

Dieser Effekt des Zurückweichens des thermoplastischen Gewebes kann nun gezielt am Polymermaterial eingestellt werden, beispielsweise durch Copolymerisation oder Zusatz von Additiven beim Schmelzspinnen<sup>27</sup>. Die Forderungen dabei sind:

- keine Beeinflussung des Schmelzspinnprozesses,
- stark temperaturabhängige Schmelzviskosität am Zersetzungspunkt der Schmelze.

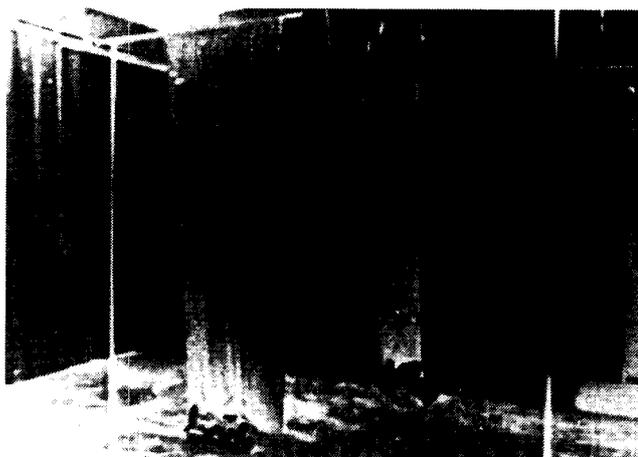


Abb. 7: Vergleich des Brennverhaltens von Polyester- und Baumwollgardinen

Ein Beispiel hierfür stellt die Heimfaser® dar, bei der in Polyäthylenterephthalat ein sulfongruppenhaltiger Polyphenylphosphonester eingesponnen ist. Selbstverständlich resultiert hierdurch keine substanzbedingte Schwerentflammbarkeit.

PES brennt unter geeigneten Bedingungen. Der Grund hierfür ist, daß bei der Pyrolyse unter anderem Acetaldehyd, Benzol und CO gebildet werden, also brennbare flüchtige Verbindungen<sup>29-32</sup> (Abb. 8).

Bei der Pyrolyse sämtlicher CHO-haltiger Fasermaterialien entstehen Kohlenwasserstoffe, kohlenwasserstoffgruppenhaltige Verbindungen und bei allen CHON-haltigen Verbindungen zusätzlich Nitrile. Ob diese Verbindungen tatsächlich in den Brandabgasen vorliegen oder rasch einer weiteren Reaktion unterliegen, ist eine Frage der äußeren Reaktionsbedingungen, also z. B. des Luftangebots, der Luftströmung usw.

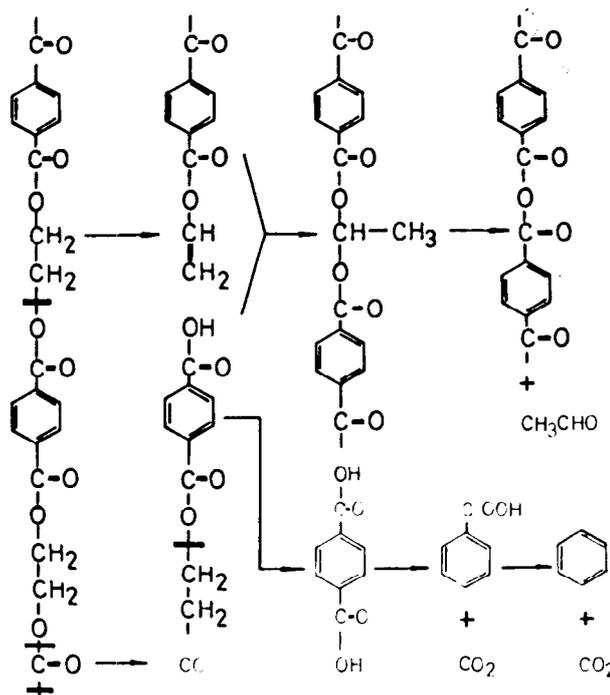
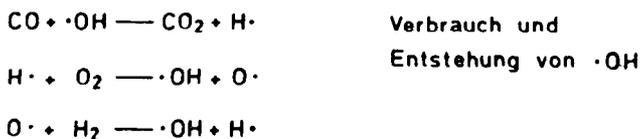


Abb. 8: Pyrolyseprodukte von Polyester (formales Reaktionsschema)

Wichtig ist jedoch die Erkenntnis, daß Verbindungen mit Mehrfachbindungen, also CO, HCN, Benzol, Nitrile, bei hohen Temperaturen gebildet werden..

Das primäre Oxydationsprodukt von Kohlenstoff und von Kohlenwasserstoffverbindungen ist Kohlenmonoxid. Seine weitere Verbrennung zu CO<sub>2</sub> verläuft mit besonders großer Wärmetönung.

Nun verläuft diese Reaktion nicht nach dem Schema 2CO + O<sub>2</sub> → 2CO<sub>2</sub>, sondern in einer Radikalkettenreaktion (Abb. 9).



**Flammhemmung**

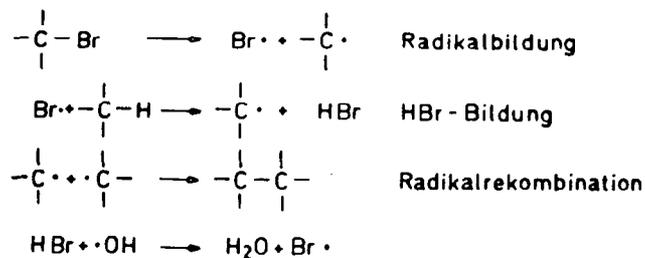


Abb. 9: Mechanismus der Verbrennung von CO und Flammhemmung durch Br-Radikale (nach van Krevelen)

CO wird von einem OH-Radikal zu CO<sub>2</sub> umgesetzt, wobei ein H-Radikal gebildet wird, das mit O<sub>2</sub> über ein Hydroperoxiradikal in zwei Radikale, ein O-Radikal und ein OH-Radikal, zerfällt.

Die Bilanz der Reaktionskette zeigt, daß aus einem Radikal in Folgereaktionen mehrere hervorgehen. Damit beschleunigt sich eine solche Reaktion autokatalytisch.

Als ein Prinzip der Flammhemmung bei Fasern haben wir schon vorher die Anwendung von Bromverbindungen kennengelernt. Die C-Br-Bindung wird bei höherer Temperatur gespalten in ein C- und ein Br-Radikal.

Der in der Reaktionskette gebildete Bromwasserstoff reagiert letztlich mit einem OH-Radikal zu Wasser und liefert ein Br-Radikal, das aus dem Substrat oder den Pyrolyseprodukten wieder ein H-Atom unter HBr-Bildung abspalten kann.

Wenn wir wiederum als Kompromiß die Bildung eines toxischen und korrosiven Gases im Brandfall akzeptieren – vielleicht eben deshalb, weil wir derzeit keine andere Alternative haben –, so gibt es eine Reihe von Möglichkeiten der Applikation von Bromverbindungen in PES, wobei der Wirkungsmechanismus letztlich auf einem Eingriff in den Chemismus der Flamme beruht.

Als Applikationstechniken kommen in Frage:

- Die Modifizierung des Polyesters mit bromhaltigen Monomeren
- Nachteil: teuer, erfordert Herstellung spezieller Polymertypen

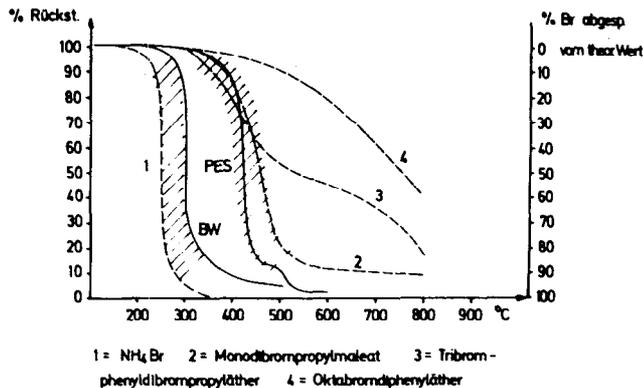


Abb. 10: HBr-Bildung aus Bromverbindungen bei der Pyrolyse im Vergleich zum Pyrolyseverlauf von Polyester und Baumwolle

- Zugabe von bromhaltigen Additiven beim Schmelzspinnen
- Vorteile: Verwendung des üblichen PES-Polymers
- Nachteile: niedermolekulare Bromverbindungen beeinflussen in zu starkem Maße die technologischen Eigenschaften
- Ausrüstung fertiger PES-Textilien mit bromhaltigen Verbindungen in textilchemischen Prozessen
- Ausrüstung von Textilien durch strahlenchemisch induzierte Pfropfreaktionen geeigneter Verbindungen

Um die Bedingungen für die Einsatzmöglichkeit ausgewählter Bromverbindungen zu verstehen, ist es notwendig, nochmals auf einige Voraussetzungen für deren Wirksamkeit einzugehen:

- Wirksames Agens ist der Bromwasserstoff, der in dem Moment zur Verfügung stehen muß, in dem die Oxydationsreaktion in der Flamme abläuft, d. h., er muß zu dem Zeitpunkt und zu der Temperatur gebildet werden, zu dem die maximale Pyrolyse verläuft (Abb. 10). (Diese Verhältnisse wurden untersucht und sollen hier nicht weiter diskutiert werden<sup>28</sup>.)
- Es besteht ein Zusammenhang zwischen Bromgehalt der Faser und realisierbarem LOI<sup>34</sup> (Abb. 11).

Die applizierte Bromverbindung bringt im allgemeinen ebenfalls einen organischen Ballastanteil mit, der zum

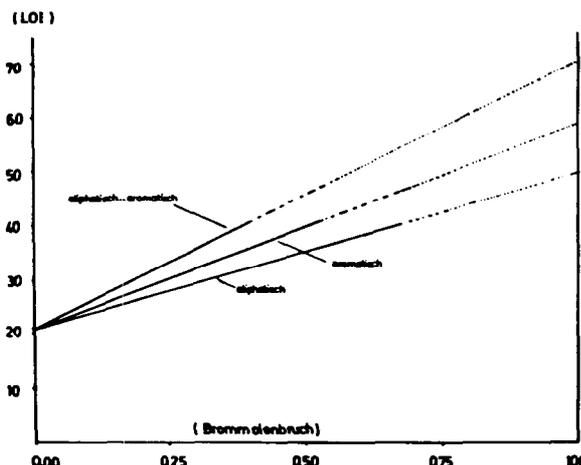


Abb. 11: Zusammenhang zwischen LOI, Art und Menge vorhandener Bromverbindungen

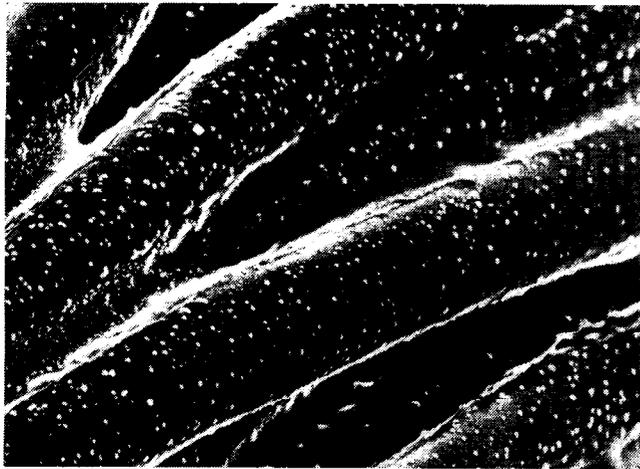


Abb. 12: Tris-tribrompropylphosphat auf einer Polyesterfaser nach Thermosolierung und einmaligem Waschen

Brennen beiträgt. Berücksichtigt man diesen Anteil, so kann ein zu erwartender LOI-Wert bei Applikation einer Bromverbindung im voraus abgeschätzt werden.

Die Applizierbarkeit und minimale Änderung der ursprünglichen Fasereigenschaften ist selbstverständlich eine Grundvoraussetzung für die Entscheidung, welche Verbindung nun eingesetzt werden soll.

Welche Pannen hierbei passieren können, sei am Beispiel des Tris-dibrompropylphosphats demonstriert.

Bringt man 15 % Tris in einem Thermosolprozeß auf PES-Fasern auf und führt die nach dem Thermosolprozeß übliche Wäsche durch, so ist auf der Oberfläche trotzdem noch Tris abgelagert (Abb. 12).

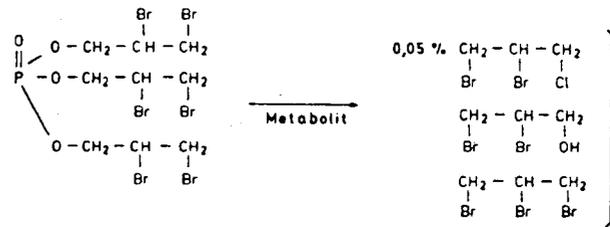
Erst nach 12 Haushaltswäschen und zusätzlich 6 Chemischreinigungen ist die Oberfläche Tris-frei (Abb. 13).

Sie können sich vorstellen, in welchem Umfang bei breiter Anwendung von Tris eine Verteilung über Abwasser und auch auf ihre Kleidung bei einer Chemischreinigung dieses Produktes erfolgt.

Tris ist ein polyfunktionelles Alkylierungsmittel und als solches prinzipiell kanzerogenverdächtig; von seinen Metaboliten ist ebenfalls die Kanzerogenität nachge-



Abb. 13: Faser Oberfläche aus Bild 12 nach 12 Haushaltswäschen und sechsmaliger chemischer Reinigung



Tris - dibrompropyl - phosphat.

Als polyfunktionelles Alkylierungsmittel "cancerogen" mutagen, Allergie sensibilisierend

Verbrauch in Textilien u. Kunststoffen 500 000 kg/Jahr!

Abb. 14: Metaboliten des Tris-tribrompropylphosphats

wiesen (Abb. 14). Die Folge war ein Verbot dieser in PES an sich sehr wirksamen Verbindung; der Text dieses Verbotes lautet:

Der „Tris“-Bann

Das Verbot von „Tris“ tritt am 8. 4. 1977 in Kraft. Im Handel befindliche Produkte sind verboten und müssen vom Handel, Großhandel, von jedem Hersteller oder anderen, die diese Waren verkauft haben, zurückgekauft werden.

Verbraucher, die nichtgewaschene „Tris“-behandelte Kinderbekleidung oder Meterware besitzen, müssen den vollen Kaufpreis zurückerstattet bekommen.

Mögliche textilrelevante Nebeneffekte von Bromverbindungen

Als wesentliche Forderungen bei der Entwicklung schwerentflammbarer Textilien hatten wir folgende 3 Punkte genannt:

1. Schwerentflammbarkeit,
2. keine toxischen Produkte in Produktion, Gebrauch und beim Verbrennen,
3. keine nichttolerierbare Änderung der textilmechanischen und textilchemischen Eigenschaften.

Wir haben gesehen, in welchem Umfang der Punkt 2 mit Bromverbindungen realisierbar ist. Bromwasserstoff wird vor allem aus Bromverbindungen gebildet: einige sind toxisch und unter Umständen kanzerogen, mutagen und Allergien sensibilisierend.

Die Forderung 3, nämlich keine Änderung der Eigenschaften des textilen Endprodukts, ist ebenfalls in diesem Fall nur schwer realisierbar.

Zahlreiche Bromverbindungen reduzieren, in Polyester eingebracht, die Lichtbeständigkeit von Färbungen.

Dabei sind nach unseren Untersuchungen die verschiedensten Farbstofftypen betroffen<sup>36</sup>.

Dies läßt die Vermutung zu, daß die Farbstoffe, selbst in ihren lichtangeregten Zuständen, mit den Bromverbindungen reagieren und C-Br-Bindungen spalten (Abb. 15). Die hierbei gebildeten Radikale wirken nun ihrerseits auf die Farbstoffe und Fasern ein, was zu Vergilbungen und Farbtonverschiebungen führt.

Die Echtheitsverminderung beträgt je nach Farbstoff und Bromverbindung 2-3 Noten. Dies sind Werte, die ein Textilveredler niemals akzeptieren kann. Sicher kann auch dieser Nachteil durch die Auswahl geeigneter Farb-

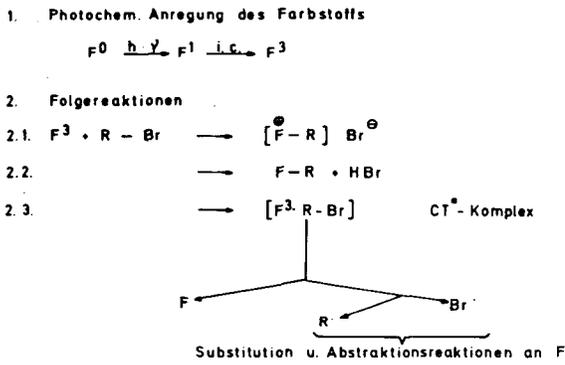


Abb. 15: Mögliche Mechanismen, die zur Verminderung der Lichtechtheit von Färbungen durch Bromverbindungen führen

stoffe behoben werden, doch ist auch dies mit einem weiteren Aufwand und weiteren Kosten verbunden.

Bei diesen Untersuchungen konnte Püntener im Rahmen seiner Dissertation feststellen, daß mit bromfreien Phosphorverbindungen keine Lichtechtheitsbeeinflussung der Färbungen erfolgt.

Wir verfolgten deshalb ein anderes Wirkungsprinzip von flammhemmend machenden Additiven, nämlich die rasche Verkohlung der organischen Substanz im Brandfall. Im folgenden sei dies am Beispiel des PES und PAC geschildert.

Hierzu wurde zunächst am PES untersucht, inwieweit organische Phosphorverbindungen die Bildung kohlenstoffreicher Rückstände bei der Pyrolyse fördern und

welche Art von Verbindungen hierbei besonders wirksam sind (Abb. 16).

In einer größeren Versuchsreihe hat Weber verschiedenartige halogenfreie Phosphorverbindungen auf Polyester aufgebracht und ihre Wirksamkeit im LOI-Test in Abhängigkeit vom Phosphorgehalt des Polyesters untersucht<sup>37, 38</sup>.

Es zeigt sich, daß mit den unterschiedlichen Phosphorverbindungen eine durchaus unterschiedliche Brennbarkeit des behandelten Polyesters resultiert.

In bezug auf die Bildung von Verkohlungsrückständen sind roter Phosphor, phosphorige Säure und Vinylphosphorsäure optimal wirksam (Abb. 17). Einige Verbindungen führen jedoch auch zu einer Reduzierung des LOI und der Verkohlung, z.B. das Triphenylphosphin<sup>38</sup>.

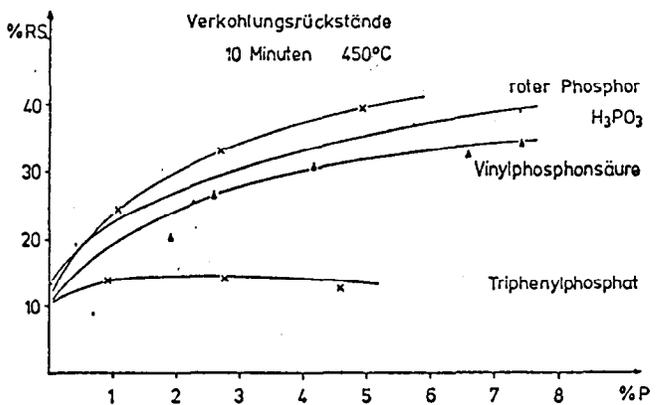


Abb. 17: Bildung von Verkohlungsrückständen des PES in Abhängigkeit von Art und Menge der eingesetzten Phosphorverbindungen

Die waschbeständige Applikation von flammhemmenden Additiven ist nun bei Polyester besonders schwierig. Eine ausreichende Waschbeständigkeit und Echtheit in der Chemischreinigung kann sicher nur durch eine chemische Fixierung, d.h. Reaktion mit dem Faserpolymeren, oder eine entsprechende Beschichtung mit einem Polymeren erfolgen.

Nun ist aber Polyäthylenterephthalat ausgerechnet das Faserpolymer, dessen Baugruppen die kurzlebigen Radikale sämtlicher Faserpolymerer bilden<sup>36</sup> und damit für eine Pfropfreaktion extrem ungeeignet.

Bei Versuchen zur Pfropfreaktion von vinylgruppenhaltigen Phosphorverbindungen sind daher energische und spezielle Reaktionsbedingungen notwendig.

Aufgrund der Erfahrungen über die geringe Veränderung der Oberflächenstruktur von Bw bei Pfropfreaktionen mit Vinylmonomeren war auch beim PES eine gleichmäßige Beschichtung der Oberfläche zu erwarten, die letztlich den Griff nur wenig oder gar nicht beeinflusst.

Es war deshalb zu prüfen, ob für eine ausreichende Waschbeständigkeit eine echte Pfropfreaktion erforderlich ist oder ob nicht bereits eine Polymerisation geeigneter Monomere auf der PES-Oberfläche ausreicht.

Eine Kombination von Methylendisacrylamid mit einem niedermolekularen Vinylphosphonsäureäthylenglykol-ester ergibt auf PES eine schwerentflammbare wasch-

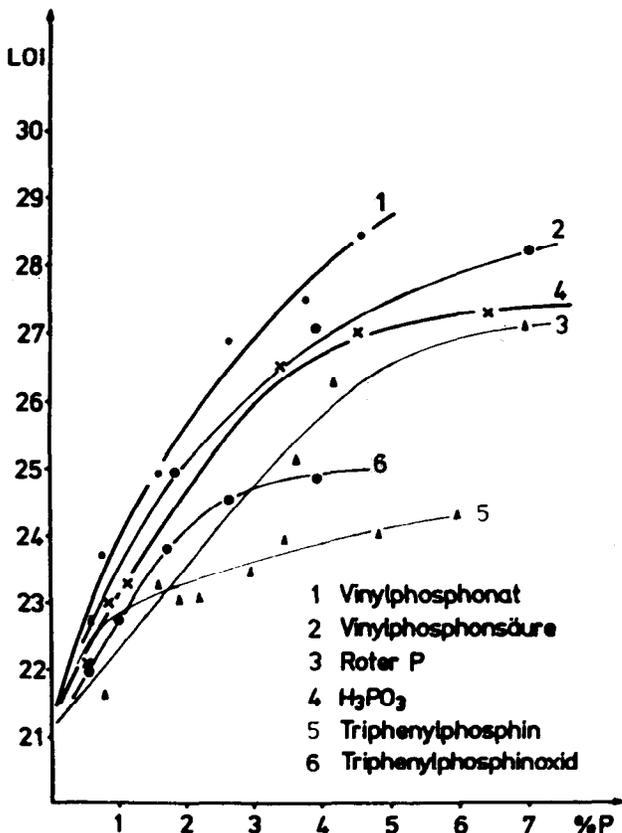


Abb. 16: Wirksamkeit verschiedener Phosphorverbindungen bei PES im LOI-Test (Prinzipuntersuchung)



Abb. 18: Oberfläche von PES-Fasern gepropft mit einer Kombination von Methylen-bis-acrylamid und einem niedermolekularen Vinylphosphonsäureäthylenglykolester

beständige Ausrüstung. Die Abbildung 18 zeigt eine PES-Faseroberfläche nach 10facher Wäsche bei 60° C à 30 min. Hierbei geht der LOI-Wert lediglich von 28,5 auf 27,4 zurück.

**Bilanz**

- PES kann durch Copolymerisation oder durch Zugabe von halogenfreien, unter Umständen phosphorhaltigen Additiven in seinem Schmelzverhalten so beeinflusst werden, daß unter bestimmten Brandbedingungen eine Schwerentflammbarkeit resultiert.
- Halogenhaltige Additive und Ausrüstungsmittel wirken nur in der Gasphase der Pyrolyseflamme. Sie beeinflussen die spinntechnischen, textilchemischen Eigenschaften sowie die Gebrauchseigenschaften (Lichtechtheit) in einem nicht tolerierbaren Maß.
- Substanzbedingte waschbeständige Schwerentflammbarkeit ist bei PES durch geeignete textilchemische Ausrüstungsverfahren erzielbar. Inwieweit hierbei Gebrauchseigenschaften verändert werden, bleibt abzuwarten.

**Polyacrylnitrilfasern**

Die Pyrolyse des Polyacrylnitrils führt zu einer Reihe von flüchtigen, brennbaren Verbindungen, insbesondere zu Nitrilen, Blausäure und Kohlenmonoxid<sup>39, 40</sup>. Polyacrylnitril schmilzt im Brandfall nicht oder nur unvollständig, es erfolgt kein Abtropfen.

Für eine textilchemische Modifizierung und Ausrüstung sind nicht genügend reaktive Gruppen vorhanden.

Damit bleiben für die Applikation flammhemmender Komponenten zunächst folgende Möglichkeiten:

- Zusatz von Additiven zur Polyacrylnitril-Spinnlösung;
- Modifizierung des Polyacrylnitrils durch Copolymerisation mit flammhemmenden Comonomeren.

Ansatzpunkt der Entwicklung schwerentflammbarer Polyacrylnitrilfasern ist wieder:

- Reduktion der Bildung flüchtiger brennbarer Verbindungen, d. h. Förderung der Rückstandsbindung durch Verkohlungsreaktionen;

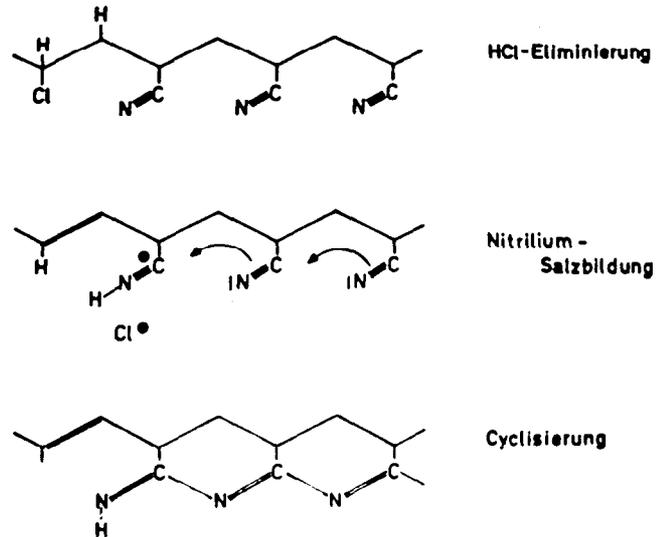


Abb. 19: Eliminierungs- und Cyclisierungsreaktionen bei der Pyrolyse von Modacrylfasern

- Reduktion flüchtiger Verbindungen und Eingriff in den Chemismus der Flamme.

Das zweite Wirkprinzip ist realisiert in Modacryltypen, in denen als Comonomeres Vinylchlorid oder Vinylidenchlorid einpolymerisiert wurde<sup>40</sup>.

Die reduzierte Brennbarkeit dieser Modacrylfasern sei unbestritten. Tatsache ist jedoch, daß auch hier beim Brennvorgang ein Großteil des eingebauten Chlors in Form von Chlorwasserstoff abgegeben wird.

Aus dem Chemismus der Herstellung von Kohlenstofffasern ist bekannt, daß durch Chlorwasserstoff die Cyclisierung von Polyacrylnitril katalysiert wird.

Bei den genannten Modacryltypen beginnt die Chlorwasserstoffabspaltung schon bei 200° C; im Bereich von 400-600° C ist jedoch die Bildung flüchtiger Spaltprodukte geringer als bei Polyacrylnitrilfasern.

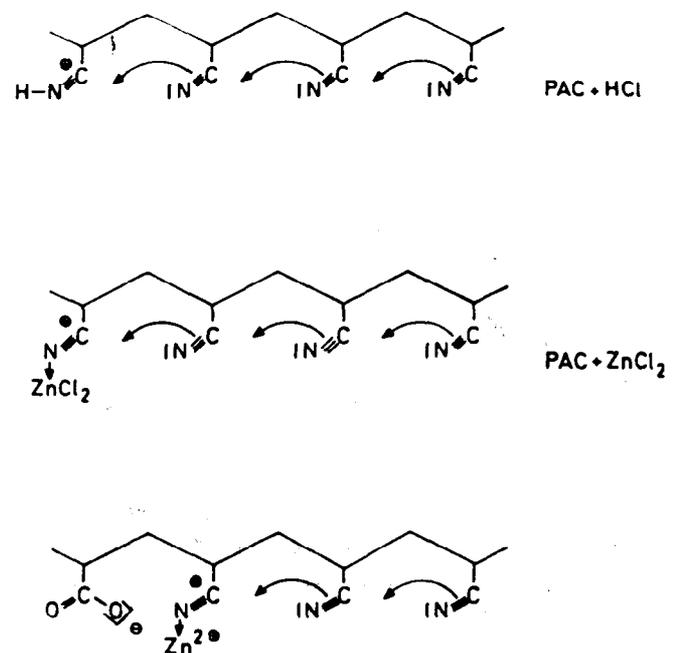


Abb. 20: Metallionen-katalysierte PAC-Cyclisierung

Nach einer Eliminierung von Chlorwasserstoff erfolgt die Bildung eines Nitriliumsalzes, das zu ringförmigen Zwischenprodukten cyclisiert, wie sie auch bei der Kohlenstofffaserbildung auftreten (Abb. 19).

Es gilt nun, diese Cyclisierungsreaktion so zu beschleunigen, daß diese Reaktion so weit als möglich extrem schnell, d. h. bei einer Kurzzeitpyrolyse, abläuft.

Schaut hat deshalb in seiner Dissertation zunächst die Einwirkung von Zinkchlorid auf Polyacrylnitril bei höherer Temperatur untersucht.

In Gegenwart von Chlorwasserstoff, Zinkchlorid oder Zinkacrylat finden wir eine beschleunigte Cyclisierungsreaktion (Abb. 20).

Bei der unkatalysierten Pyrolyse des Polyacrylnitrils ist das Polymere bei höherer Temperatur an sämtlichen Bindungen spaltbar (Abb. 21). Es resultieren dabei Nitrile und Kohlenwasserstoffe.

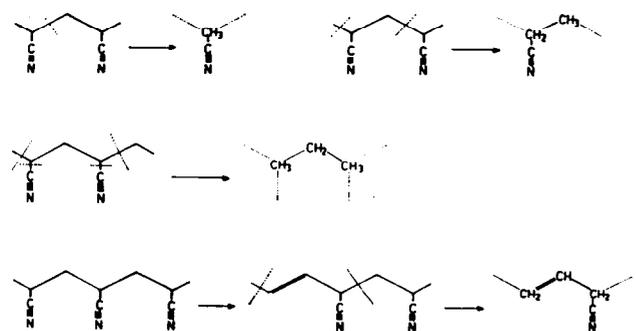


Abb. 21: Radikalische Spaltreaktionen des PAC (Bildung von Acetonitril, Propionitril, Propylen, Alkylcyanid usw.)

Werden diese radikalischen Reaktionen durch schnell-ablaufende ionische Reaktionen zurückgedrängt, so erfolgt eine Reduzierung flüchtiger Produkte.

Ein Vergleich der Pyrolysegaschromatogramme des PAC und des PAC-poly-zink-acrylat-copolymeren zeigt dies deutlich <sup>42</sup> (Abb. 22). Im letzten Falle resultieren wesentlich weniger flüchtige und brennbare Spaltprodukte.

Auch Copolymere mit sauren Gruppen katalysieren die Nitrilgruppencyclisierung. Die Copolymerisation des Acrylnitrils mit Vinylphosphorsäure führt unter geeigneten Bedingungen zu einem weiteren Acrylnitrilcopolymerisat, bei dem eine schnelle Cyclisierungsreaktion ablaufen kann <sup>43</sup>.

Schließlich ist es nicht erforderlich, die Aktivierung der Nitrilgruppe mit einer Protonensäure durchzuführen, auch die Alkylierung der Nitrilgruppe führt zu einer positiven Ladung, die eine schnellablaufende Cyclisierung bewirkt (Abb. 23).

Phosphorsäurealkylester sind derartige Alkylierungsmittel bei höheren Temperaturen – hier sei nur an die Arbusovreaktion erinnert.

Das hier gezeigte ACN-Copolymerisat ist zudem leichter herstellbar als das ACN-Vinylphosphorsäurecopolymerisat, da die Acrylester leichter copolymerisieren.

An einem derartigen Copolymerisat kann nun studiert werden, bei welchem Phosphorgehalt selbstverlöschende Eigenschaften und eine Schwerentflammbarkeit nach unserer Definition auftreten. Im Bereich von 2,8 – 3 % Phosphor, entsprechend 10 Mol % Comonomeres, liegen die LOI-Werte von Strickproben über 27.

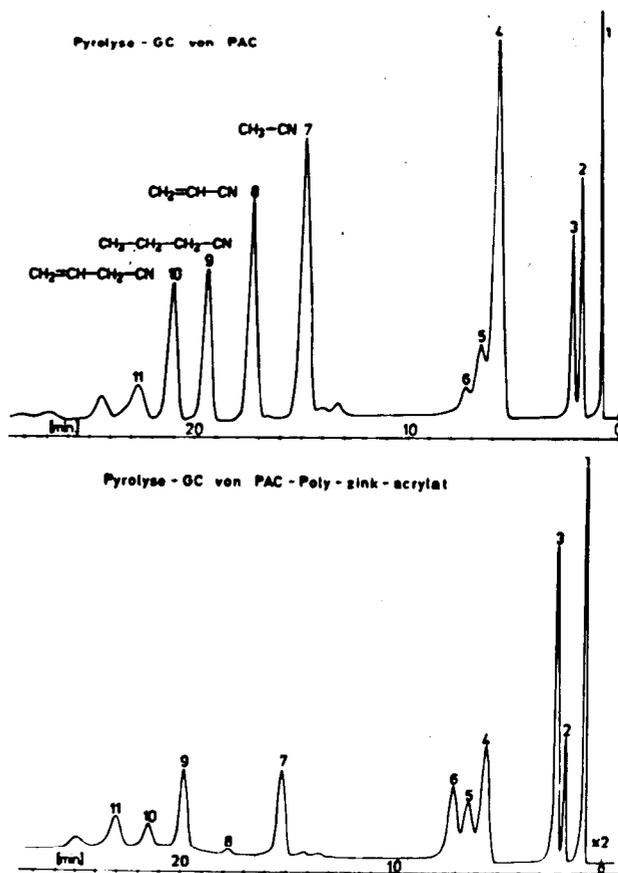


Abb. 22: Gaschromatographischer Nachweis der reduzierten Bildung von brennbaren Spaltprodukten bei Poly-zinkacrylatmodifiziertem Polyacrylnitril

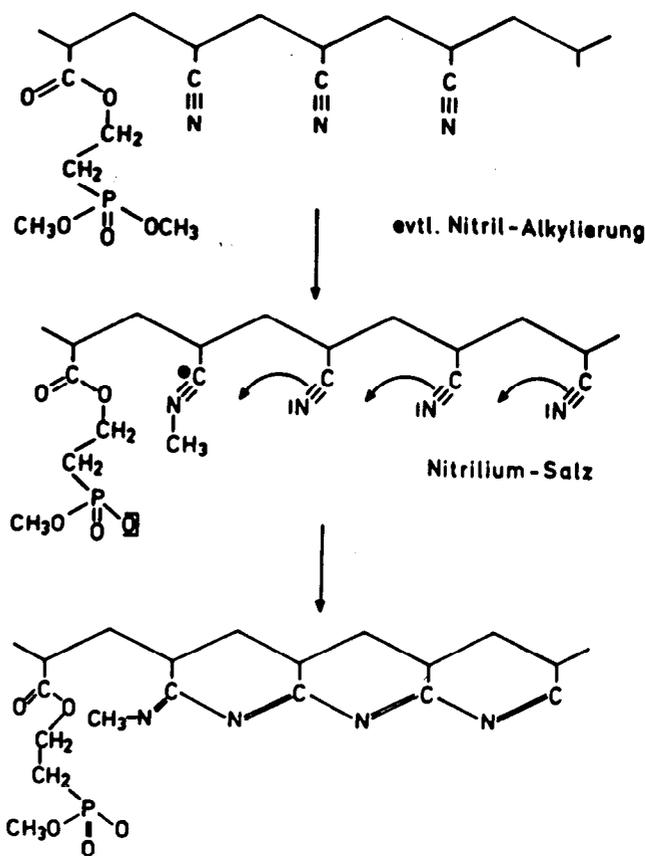


Abb. 23: Cyclisierungsverlauf bei Poly-acrylnitril-phosphonester-Copolymeren

**Bilanz**

- Durch Copolymerisation von Vinylchlorid und Acrylnitril sind Modacrylpolymerer herstellbar, aus denen schwerentflammbare Modacrylfasern gefertigt werden können.
- Die Copolymerisation von vinylgruppenhaltigen Phosphonsäuren mit Acrylnitril führt ebenfalls zu schwerentflammbaren Polyacrylnitrilen. In diesem Fall liegt eine substanzbedingte Schwerentflammbarkeit vor.

**Zusammenfassung**

Die 14. Internationale Chemiefasertagung war der Diskussion über das Brennverhalten von Textilmaterialien gewidmet.

In meinem Referat habe ich den Versuch gemacht, die Gesamtproblematik nach dem heutigen Stand der Kenntnisse zusammenzufassen.

Die fortgeführte sachliche Auseinandersetzung mit der Thematik „Schwerentflammbare Textilien“ hat klarwerden lassen, daß schwerentflammbare Textilien nicht durch Gesetze verordnet werden können, so lange das Können so weit hinter dem Wollen zurückliegt.

In den letzten Jahren konnte jedoch gezeigt werden, wo die Grenzen der Möglichkeiten, klassische Chemiefasern flammhemmend auszurüsten, liegen. Man hat die wesentlichen Mechanismen des Brandablaufes und deren Beeinflussung näher erkannt und insbesondere auch die Tatsache berücksichtigt, daß bei schwerentflammbaren Textilien die gewohnten Eigenschaften nicht negativ beeinflußt werden dürfen.

Erfolge auf diesem Gebiet kommen in kleinen Portionen. Vergleicht man die Zahl der Patente und Publikationen mit den praktischen Erfolgen, so stehen hier Aufwand und Ertrag im umgekehrten Verhältnis zueinander. Ich wollte in meinem Vortrag selbstverständlich die gemachten Fortschritte nicht schmälern, ich habe vielmehr versucht, *sachlich* und hart noch vorhandene übertriebene Hoffnungen in die Schranken zu verweisen.

Die langwierige und schwierige Forschung auf dem Gebiet schwerentflammbarer Fasern erfordert außerordentliche Zielstrebigkeit.

Zahlreiche im Vortrag zitierte Ergebnisse entstammen Forschungsprojekten, die von dem Forschungskuratorium Gesamttextil und dem Bundeswirtschaftsministerium über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen finanziell unterstützt wurden. Den genannten Organisationen danken wir hierfür bestens.

**Literatur:**

- 1) G. A. Byrne, D. Gardiner, F. H. Holmes; J. Appl. Polym. Sci. 11, 210 (1961), 16, 81 (1966)
- 2) J. B. Berkowitz-Mattuk, T. Noguchi; J. Appl. Polym. Sci. 7, 709 (1963)
- 3) S. L. Madorsky; Polym. Rev. 7, 1964
- 4) A. E. Lipska, W. J. Parker; J. Appl. Polym. Sci. 10, 1439 (1966)
- 5) A. E. Lipska, F. A. Wodly; J. Appl. Polym. Sci. 13, 851 (1969)
- 6) D. P. C. Funy; Tappi 52, 319 (1969)
- 7) Y. Tsuchiya, K. Sumi; J. Appl. Polym. Sci. 14, 2003 (1970)
- 8) U. Einsele; Text. Ind. 72, 984 (1970)
- 9) G. v. Hornuff, G. Müller; Faserforsch. Textiltech. 23, 466 (1972)
- 10) D. Heck; Dissertation Univ. Stuttgart 1973: Vergleichende Untersuchungen über den pyrolytischen Abbau von Zellulose und chemisch modifizierter Zellulose
- 11) A. Jemaitaitis, V. Kolodzeiskis u. H. J. Flath; Faserforsch. Textiltech. 24, 195 (1973)
- 12) A. Basch, M. Lewin; J. Polym. Sci. 11, 3071 (1973), 11, 3095 (1973)
- 13) P. D. Garn, C. L. Denson; Text. Res. J. 1977, 485, 535, 591
- 14) P. Meyer; Dissertation Univ. Stuttgart 1977: Untersuchungen über die Dehydratisierung von Zellulosefasern im Hinblick auf eine Optimierung von Flammenschutzmitteln
- 15) U. Einsele; Melliand Textilber. 57, 64 (1976)
- 16) U. Einsele, P. Meyer, H. Herlinger; Cellul. Chem. Technol. 13, 57 (1979)
- 17) J. Goodman; J. Polym. Sci. 13, 175 (1954)
- 18) P. Rochas, J. C. Martin; Bull. Inst. Text. France, 83, 41 (1959)
- 19) F. Wiloth, E. Schindler; Chem. Ber. 100, 2372 (1967), 103, 757 (1970)
- 20) L. H. Peebles, M. W. Huffman; J. Polym. Sci. A-1, 9, 1807 (1971)
- 21) U. Einsele; Melliand Textilber. 53, 1395 (1972)
- 22) Th. Reardon, R. H. Barker; J. Appl. Polym. Sci. 18, 1903 (1974)
- 23) J. Lüderwald u. H. R. Kricheldorf; Angew. Makromol. Chem. 56, 173 (1976)
- 24) U. Einsele; Lenzinger Ber. 33, 115 (1972)
- 25) R. Herzog; Diplomarbeit Universität Stuttgart 1974
- 26) W. Metzger, H. Herlinger; Chemiefasern Text. Ind. 28/80, 559, 625 (1978)
- 27) A. Gröbe, W. Metzger, H. Herlinger, H. Meinander; Chemiefasern Text. Ind. 28/80, 957, 1050 (1978)
- 28) U. Einsele; 14. Int. Chemiefasertagung Dornbirn 1975; Melliand Textilber. 57, 64 (1976)
- 29) H. Zimmermann, E. Leibnitz; Faserforsch. Textiltech. 16, 282 (1965)
- 30) S. L. Madorsky; Polym. Rev. 7; Thermal Degredation of Organic Polymers; Interscience Publishers 1964
- 31) K. Yoda, A. Tsuchi, M. Wada, R. Yamadera; J. Appl. Polym. Sci. 14, 2357 (1970)
- 32) J. Mitera, S. Svec; Faserforsch. Textiltech. 28, 23 (1977)
- 33) E. B. Hencourt, J. Ecmis, W. K. Walsh; Am. Dyest. Rep. 1978, S. 32
- 34) A. Püntener, H. Herlinger, U. Einsele; Melliand Textilber. 59, 412 (1978)
- 35) A. Püntener; Dissertation Universität Stuttgart 1977
- 36) R. Herzog; Strahlen- und photochemisch initiierte Pflropf- und Polymerisationsprozesse zur Ausrüstung von Polyäthylenterephthalatfasern mit halogen- und phosphorhaltigen Vinylverbindungen; Dissertation Univ. Stuttgart 1977
- 37) N. Weber; Untersuchungen über die Wirksamkeit und die Wirkungsweise von Phosphorverbindungen bei der flammhemmenden Ausrüstung von Polyesterfasern; Dissertation Universität Stuttgart 1979
- 38) U. Einsele, N. Weber, H. Herlinger; Textilveredlung 14, 192 (1979)
- 39) U. Einsele, J. Tarakcioglu; Melliand Textilber. 58, 52 (1977)
- 40) B. W. Mapperley, P. R. Sewell; Eur. Polym. J. 9, 1255 (1973)
- 41) R. K. Kennedy; Modacrylic Fibers in Man-Made Fibers; Interscience Publishers New York 1968, Bd. 1, S. 199 (187 Lit. Zitate)
- 42) G. Schaut; Analytische und mechanistische Untersuchungen über die thermische Zersetzung von modifizierten Polyacrylnitrilfasern in Gegenwart von Luft; Dissertation Universität Stuttgart 1977
- 43) K. Veaser; Herstellung schwerentflammbarer Polyacrylnitrilfasern durch Copolymerisation von Phosphonsäurederivaten; Dissertation Universität Stuttgart 1979

## Neue Arbeitsweisen und Erkenntnisse der Forschung in der Kunststoffverarbeitung mit Hinweisen auf die Übertragung in das Gebiet der Herstellung und Anwendung synthetischer Fasern

Prof. Dr. Ing. G. Menges, Aachen, Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH-Aachen (IKV)

Die Aufklärung der Vorgänge bei den Prozessen der Kunststoffverarbeitung macht rasche Fortschritte. Mathematische Modelle auf der Basis finiter Elemente erlauben eine ungeahnte Rationalisierung von Entwicklungsarbeiten, die Beschleunigung und Verbesserung bei der Auslegung von Werkzeugen und Anlagen durch die Simulationsrechnung und die Prozeßsteuerung mit Hilfe von Prozeßrechnern. Die Einführung von dimensionslosen Kennzahlen auf Ähnlichkeitstheoretischer Basis gestattet die schnelle Abschätzung des Einflusses von Prozeßparametern. Die auf dieser Basis aufgebauten Modellgesetze gestatten auch den Vergleich großer und kleiner ähnlich gebauter Extruder bzw. die Ermittlung der Einstelldaten einer Großanlage aus den Versuchserkenntnissen von ähnlich gebauten Laboranlagen. Anhand einiger Beispiele, die dem Spinnen und Verstrecken von Fasern nahekommen, werden die Methoden erläutert und Erkenntnisse gezeigt. Da aber derartige Übertragungen bisher nicht auf dem Fasergebiet vollzogen wurden, wird auch am Beispiel der Zulassungskriterien für technische Gewebe im Bauwesen eine eben realisierte Übertragung von Erkenntnissen der Kunststofftechnik in der Faserstoffkunde vorgestellt.

Finding an explanation for the processes that take place during the processing of plastics is in a state of rapid progress. Mathematical models based on finite elements not only make it possible to achieve an undreamt-of rationalisation of development work, but also enable the design of tools and machinery to be accelerated and improved through simulation calculation and process control with the aid of process computers. The introduction of dimensionless parameters based on the similarity theory enable an estimate to be made of the effect of process parameters. Model laws built up on this basis also make it possible to compare large and small extruders of similar construction, or to determine the settings for a large machine from the test findings of similarly designed laboratory machines. Using a few examples related to the spinning and drawing of fibres, the methods are explained and the findings shown. However, since findings such as these have not been applied in this way to the fibre sector before now, a very recent example is presented, in which findings from plastics technology are applied to fibre technology, taking as an example the criteria used for approving technical fibres in the building sector.

### Einleitung

Kunststoffe haben sich in überraschend kurzer Zeit einen beachtlichen Markt erobert. Die Ursachen hierfür waren ein ungeheurer Aufwand der rohstoffzeugenden Großchemie, nicht nur für die Produktentwicklung, sondern auch für deren Verarbeitung und Anwendung. Diese erste Entwicklungsstufe der Kunststoffverarbeitungstechnik war besonders dadurch gekennzeichnet, daß man alle bekannten Technologien der Werkstoffum- und -urformung auf die Kunststoffe zu übertragen versuchte. Dieser Entwick-

lungsabschnitt scheint weitgehend abgeschlossen zu sein. Es sind kaum noch offene Möglichkeiten zu sehen. Es ist jedoch sicher, daß derzeit lediglich eine Innovationspause besteht; der nächste Entwicklungsschub scheint nahe bevorzustehen. Die dafür verantwortlichen Gründe sind vielfältig. Es sind dies:

- günstigere Rohstoffkosten als bei konkurrierenden Werkstoffen,
- günstigere Fertigungskosten bei Kunststoffen im Vergleich zu Metallen, je höher die Energiekosten anwachsen.
- Optimierung der Prozesse auf Basis der Erkenntnisse der Polymerphysik,
- Einzug moderner Meß-, Regel- und Rechentechniken in Betriebe, Labors und Konstruktionsbüros.

Die Betriebe werden unabhängiger von manueller Bedienung und damit werden sie reproduzierbarer und produktiver fertigen.

Der Aufwand von Entwicklungen und Konstruktionsarbeiten wird niedriger, und die Ergebnisse werden schneller verfügbar.

Die modernen Methoden der Betriebsorganisation und Rationalisierung beginnen eben erst, vereinzelt Eingang in die Betriebe der Kunststoffverarbeitung zu finden.

Bei der Frage, wie und ob die auf synthetischen Fasern basierende Industrie an diesen Entwicklungen teilhaben kann, kommt man unschwer zur Thematik des vorliegenden Beitrages. Dabei werden die Methoden der Prozeßverbesserung sicherlich das bevorzugte Interesse verdienen. Ist es doch gerade das komplizierte thermodynamisch rheologische Stoffverhalten, welches in besonderem Maße die Prozeßabläufe in beiden Fällen gleichermaßen erschwert. Dessen Erfassung und die Übertragung auf die Fertigung und Prüfung soll daher hier behandelt werden. Es ist dabei weniger der Sinn, die Fertigungsverfahren selbst zu behandeln, als die neuen Arbeitsmethoden zur analytischen Erfassung vorzustellen. Die gewählten Fertigungsverfahren sind als Beispiele anzusehen; die Arbeitsmethoden werden heute von uns bei Analysen aller möglichen Prozesse benützt. Sie dienen uns dann als Simulationsmodelle für Programme zur Prozeßsteuerung mittels Prozeßrechnern oder zur rechnergestützten Konstruktion von Werkzeugen. Eben beginnen fortschrittliche Firmen, sich dieser Methoden, die in den letzten acht Jahren erarbeitet wurden, zu bedienen. Das IKV war an der Erstellung und Einführung maßgebend beteiligt, so daß der vorliegende Beitrag weitgehend auf eigenen Arbeiten aufbaut. Damit soll aber keineswegs zum Ausdruck gebracht werden, daß nicht anderen Ortes ähnlich und erfolgreich vorgegangen wird.

### Herstellung von Schmelzen

Die verbreitetste Maschine zur Erzeugung von Schmelzen aus thermoplastischen Kunststoffen ist die Schneckenmaschine in Form der Einschnecke, der sogenannte Einschneckenextruder. Hier gibt es zwei Maschinentypen (Abb. 1), die auf etwas unterschiedlichen Arbeitsprinzipien beruhen. Neben der konventionell arbeitenden Einschnecke, die auf dem Prinzip der *Schmelzepumpe* basiert, wird seit zehn Jahren die Einschnecke mit *Feststoffpumpen*prinzip benützt. Bei

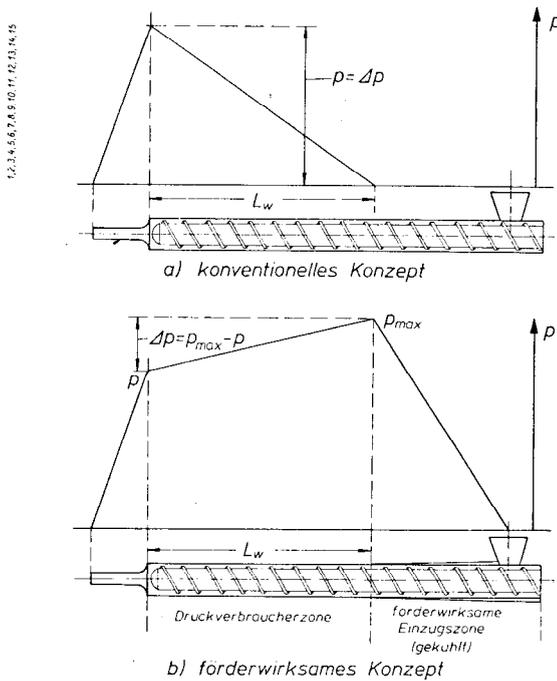


Abb. 1a: Druckaufbau beim konventionellen förderwirksamen Konzept

dieser Maschine wird der gesamte Förderdruck im Feststoffbett im ersten sorgfältig gekühlten Teil der Schnecke unmittelbar hinter dem Trichter erzeugt.

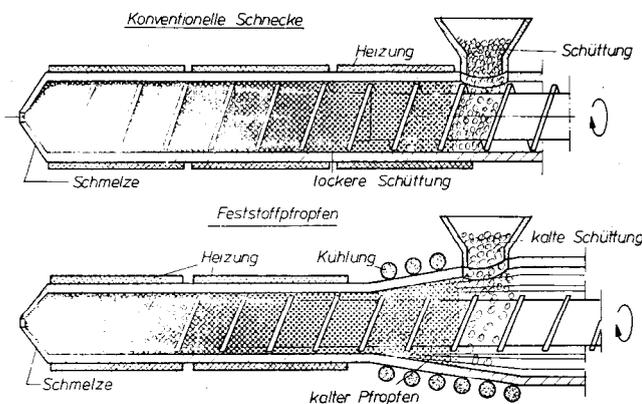


Abb. 1b: Konstruktive Gestaltung

Da hier sowohl die Nuten im Zylinder als auch deren konische Gestaltung zur Entstehung eines Feststoffpfropfens führen, der durch die Nuten im Zylinder am Mitdrehen verhindert wird, entsteht eine Art von einer sich ständig neu bildenden und vorne stetig abschmelzenden Spindelmutter, welche die Schmelze durch das Werkzeug treibt (Abb. 2).

Dieses neue Arbeitsprinzip<sup>1,2</sup> erlaubt es nun, insbesondere:

- sehr hochmolekulare Polymere mit sehr hoher Viskosität schonend aufzuschmelzen.
- sie mit Zusätzen zu mischen und
- besonders gleichmäßig zu fördern (Ausstoßschwankung  $\sim 1/4 - 1/10$  gegenüber einer konventionellen Einschnecke<sup>3</sup>),

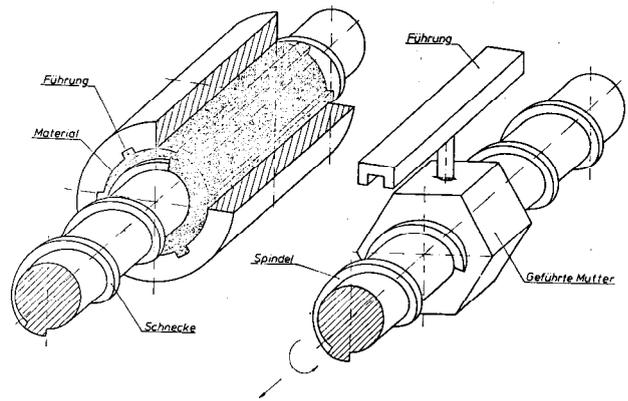


Abb. 2: Spindelmutter als Modell für eine Feststoffpumpe

- eine erhöhte Ausstoßleistung zu erbringen (bis zum doppelten Ausstoß) gegenüber einer konventionellen Einschnecke und

- Pulver und Gries als Rohmaterial anzunehmen.

Von besonders großer Bedeutung aber, auch für die Verarbeitung von Faserrohstoffen, könnte dabei die Möglichkeit sein, eine besonders intensive Mischarbeit an der Schmelze zu leisten, indem man die gesamte Schnecke zum Zwangsmischer macht<sup>4,5</sup> (Abb. 3).

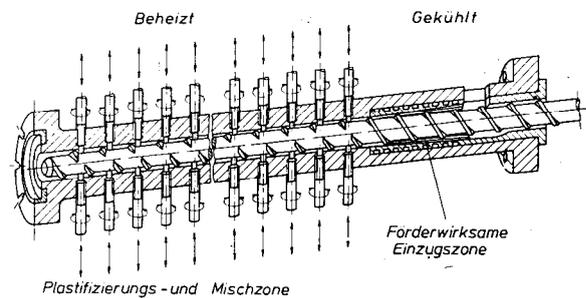


Abb. 3: Extrusionsschnecke: Kennixmischteil

Die Stifte — beispielsweise je sechs auf dem Umfang in einem Mischquerschnitt — tauchen in die Schneckenengänge ein und reißen den Materialstrom auf, sie schaffen eine künstliche Turbulenz (Abb. 4). Mit ähnlichen Mischsystemen wurden am Institut für Chemiefasern von Herlinger und Gröbe<sup>6</sup> Pigmente in Faserschmelzen eingearbeitet und die Gewebe aus solchen Fasern mit solchen aus konventionellen Einschnecken bzw. mit Stiften auf der Schnecke verglichen. Nur solche auf diese Weise intensiv gemischte Schmelzen erbrachten eine brauchbare Gewebegleichmäßigkeit<sup>6</sup>. Man kann aus den Erfahrungen, die man mit Mischungsqualitäten von Kunststoff- und Elastomermischungen machte — es existieren bereits Anlagen für ca. 1,5 t/h aufbereitete Elastomerschmelze<sup>5</sup> — erkennen, daß sich diese Maschinen für die Herstellung von Polymermischungen mit Partnern von sehr unterschiedlichen viskosen und elastischen Eigenschaften sowie hohem Gehalt an agglomerierfreudigen Füllstoffen bevorzugt eignen.

Es mag nun im Sinne dieses Beitrags von besonderem Interesse sein zu sehen, wie man solche Anlagen ver-

gleichen kann, um aus den Erfahrungen mit kleindimensionierten Maschinen die Auslegungsdaten für große Maschinen zu gewinnen. Im IKV wurde dazu in jüngster Zeit eine Modelltheorie für Einschneckenmaschinen entwickelt<sup>3,7</sup> und an einer größeren Zahl Baureihen verschiedener Extruder- und Spritzgießmaschinenhersteller geprüft<sup>9</sup>. Diese Modellgesetzmäßigkeit beruht auf der Dimensionsanalyse benutzenden Ähnlichkeitstheorie, die nach ihrem Erfinder Buckingham auch  $\pi$ -Theorem genannt wird<sup>8</sup>.

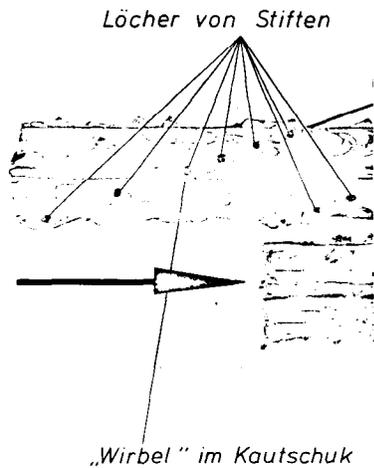


Abb.4: Aufgeschnittene Kanalfüllung aus Kautschuk bei einem Stiftextruder

Es würde zu weit führen, auf diese Methode hier näher einzugehen, jedoch beruhen die großen Erfolge der chemischen und mechanischen Verfahrenstechnik sowie der technischen Thermodynamik und der Aerodynamik in den letzten Jahrzehnten auf der Anwendung dieser Methode. Sie hat den besonderen Vorteil, daß man eine Vielzahl von Einflußgrößen eines Prozesses auf eine geringe Zahl von dimensions-

Bezeichnung	Gesetz
$L \sim$	$D^1$
$h \sim$	$D^\psi$
$\dot{m}/n \sim$	$D^{2+\psi}$
$n \sim$	$D^{2\psi-2}$
$M_d \sim$	$D^{2+\psi}$
$P_s \sim$	$D^{3\psi}$
$\dot{m} \sim$	$D^{3\psi}$

$\psi = 0,725$  für amorphe und teilkristalline Thermoplaste mit höheren Viskositäten

Abb.5: Ähnlichkeitsgesetz für Einschneckenextruder

losen Kennzahlen reduzieren kann. (Die wohl am meisten bekanntgewordene dimensionslose Kennzahl ist die Reynoldszahl zur Beschreibung von Strömungsformen.)

Unsere Reihe dimensionsloser Kennzahlen für Einschneckenextruder (Abb. 5) baut auf dem Schnecken-durchmesser  $D$  auf, worauf alle für die Dimensionierung wichtigen Größen bezogen werden. Diese Modellreihen enthalten einen Exponenten  $\alpha$ , welcher von den thermisch rheologischen Eigenschaften der verarbeiteten Schmelzen und vom Arbeitsprinzip der Maschine abhängt, soweit das hierauf Einfluß nimmt.

Man gewinnt die Kennzahlen aus einer Energiebilanz (Abb. 6) an dem betrachteten Prozeßteil — hier dem Extruder. Für den Anlagenhersteller bieten diese Modellgesetze natürlich die Möglichkeit einer schnellen Extrapolation der Auslegungsdaten von einer kleinen Labormaschine auf große Fertigungsanlagen.

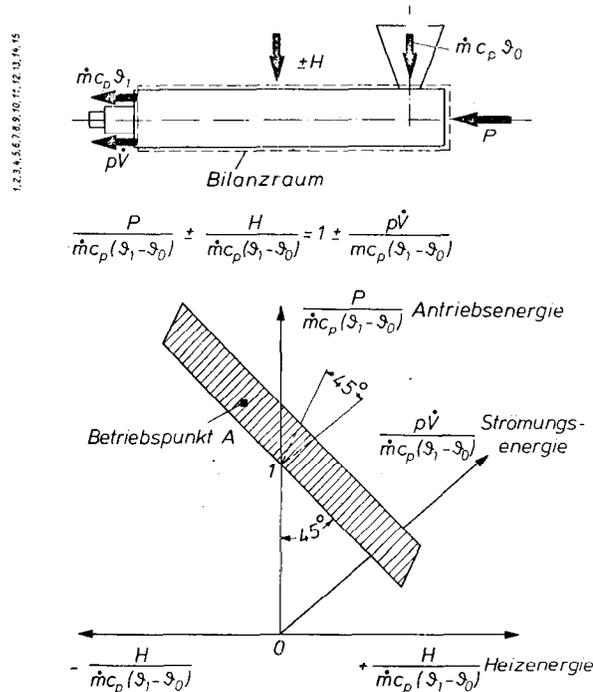


Abb.6: Energiebilanz und energetisches Kennzahlenfeld eines Extruders

Wir konnten an Einschneckenmaschinen mit verschiedenen Arbeitsprinzipien und Bauformen jeweils unterschiedlicher Hersteller sowohl für Thermoplaste als auch für Elastomere die Gültigkeit zwischen  $D = 40$  mm bis  $D = 200$  mm Schneckendurchmesser nachweisen.

Für den Anlagenbetreiber aber ergibt sich der besondere Vorteil, daß er Erkenntnisse vom Laborextruder, aber nur bei gleicher Bauweise, auf die Großanlage übertragen kann. Die Ähnlichkeit des physikalischen Verhaltens ist natürlich nur dann gegeben, wenn diese auch geometrisch eingehalten worden ist.

Es sei hierzu abschließend bemerkt, daß sich diese Methode bei uns nicht nur für ganze Extruder bewährt hat, sondern auch für die Auslegung von Teilen, wie Mischköpfe<sup>2</sup>, Förderzonen<sup>10</sup> usw. Des weiteren benutzen wir sie mit großem Erfolg zur Beschreibung

des Füllvorganges eines Spritzgießwerkzeuges<sup>11</sup> u. a. mehr. Dabei ist es jeweils besonders vorteilhaft, daß der Rechenaufwand gering ist und man keiner besonderen Hilfsmittel bedarf, so daß insbesondere die Abschätzungen vereinfacht werden.

**Erstellung von Prozeßmodellen**

Technische Prozesse beruhen auf physikalischen und — gelegentlich damit verbunden — auch chemischen Gesetzmäßigkeiten. Diese Gesetze sind seit 50 — 150 Jahren bekannt, und man kann sie mit Hilfe von Differentialgleichungen beschreiben. Lösungen allerdings liegen aber bisher nur für wenige und idealisierte Bedingungen vor. Es war daher nicht verwunderlich, daß diese Lösungen zwar von den Ingenieuren und praktisch tätigen Naturwissenschaftlern angewandt wurden, aber im großen und ganzen nur der Abschätzung dienen konnten. Der reale Prozeßablauf war im allgemeinen viel zu komplex, um mit der Lösung einer Differentialgleichung befriedigend erfaßt werden zu können. Hier lag ein wesentlicher Grund für das Auseinanderklaffen von Theorie und Praxis. Nun hat die Verfügbarkeit von Großrechnern hier völlig neue Möglichkeiten eröffnet.

Indem man nun nämlich nicht mehr das unendlich kleine Differential, sondern ein endliches kleines Teilchen — eine *finite Differenz* — betrachtet, kann man die Differentialgleichungen in Form von numerischen Rechnungen, das bedeutet sehr viele einzelne Rechenschritte, lösen.

Dieses nun sofort an dem praktischen Beispiel der Abkühlung eines Stranges — hier eines Hohlstranges konstanten Querschnittes — erläutert werden<sup>14</sup>. (Es könnte dies genauso — mit etwas größerem Aufwand — ein Faden mit sich änderndem Querschnitt sein. Solche Lösungen liegen bereits vor, z.B. für einen Strang konstanten Querschnitts<sup>12</sup> bzw. für ein Rohr mit sich verjüngendem Querschnitt<sup>13</sup>.)

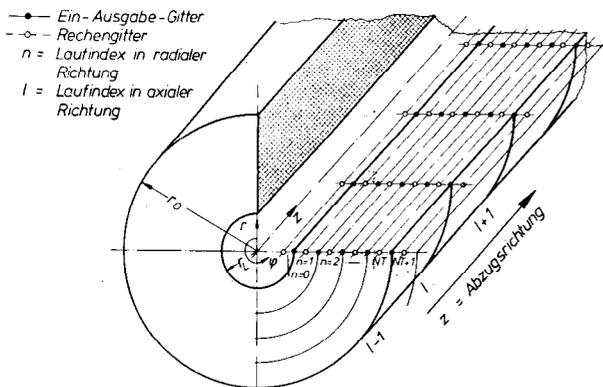


Abb. 7: Schichtmodell für eine Differenzenrechnung (Rohr)

Wie die Abbildung 7 zeigt, löst man den Produktstrang in ein Netzwerk auf, in welchem die Vernetzungspunkte den sie umgebenden Stoff vertreten. Von dem bei unserem Beispiel gewählten, aus einer Extruderdüse austretenden Schmelzestrang kennen wir — oder nehmen wir zunächst an — die Temperatur in der Austrittsebene. Es ist uns nun möglich, in-

dem wir die bekannten Wärmeaustausch- und Wärmeleitungsgesetze benutzen, die Temperaturen der nächsten in einem Zeitschritt  $\Delta t$  vor Düse liegenden Knoten zu berechnen. Wenn wir das auf diese Weise fortsetzen, kann man die Temperaturverteilung bis ans Ende des Stranges errechnen. Dabei spielt es keine Rolle, ob wir hier die Bedingungen des Wärmeaustausches von Luft auf Metallberührung wechseln oder ob sich der Stoff von der Schmelze zum kristallinen oder amorphen Festkörper ändert. Man wechselt dann an denjenigen Knoten, wo dieser Wandel im Programm eintritt, die Wärmeaustausch- bzw. die Stoffbedingungen und die Wärmeübergangsgesetze.

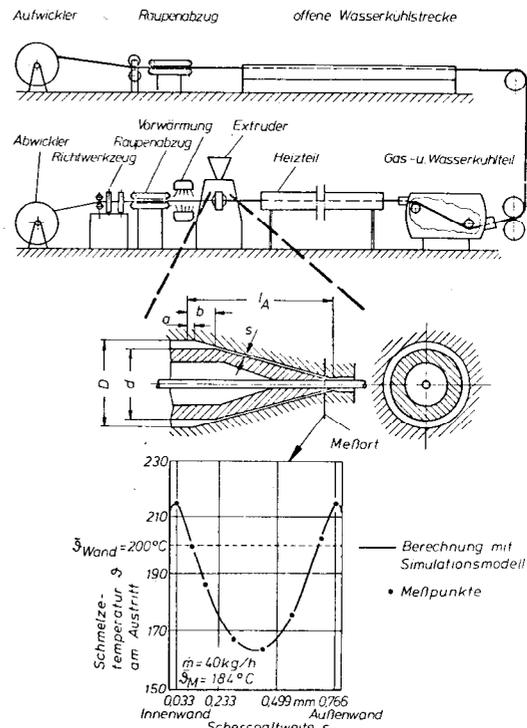


Abb. 8: Simulationsmodell für eine Extruderdüse

Man erkennt, daß man damit nun ein mathematisches Modell dieses Vorganges — hier die Abkühlung eines Bandes — erhält, welches, da diese Methode auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten beruht, auch auf kleinen Laboranlagen geprüft und auf beliebige Anlagen ähnlicher Bauweise übertragen werden kann. Der Prüfungsaufwand des Modells beschränkt sich auf wenige Stichproben an extremen Stellen. Er ist gegenüber früher, wo man sich aus sehr vielen Untersuchungen ein vollständiges Bild eines Prozesses machen mußte, sehr viel kleiner; ihr Wert ist, da die Modelle größenunabhängig und meist modular aufgebaut sind, unvergleichlich größer.

Das hier gezeigte Modell eines abkühlenden Stoffstranges, im Prinzip beliebiger Geometrie<sup>16, 17</sup>, gestattet eine Vielzahl von Aussagen über die im Stoffstrang — hier mit dem Abkühlen — verbundenen Stoffänderungen, z. B.

- das Einfrieren von Orientierungen<sup>14</sup>,
- die Kristallisation,

— die Eigenspannungen<sup>13</sup> und ihre Verteilung über den Querschnitt sowie deren Beeinflussung durch die gewählten Abkühlbedingungen.

Man erkennt, daß damit bereits bei Vorstudien eines Prozesses ohne Material im Rechner, anhand eines solchen Modells, Simulationen möglich sind, die es erlauben, die bestmöglichen Prozeßbedingungen zu finden, um dann erst die Anlage danach aufzubauen<sup>14</sup>. Man wird weiter sofort einsehen können, daß es solche Prozeßmodelle natürlich nicht nur gestatten, die Wärmeaustausch- und Leitungsvorgänge einzubauen, sondern sich auch vielfältig, z. B. auf Vernetzen oder Verstrecken usw., erweitern lassen. So existieren heute bereits Prozeßmodelle für ganze Kabelummantelungsstraßen<sup>18</sup> (Abb. 8) einschließlich des Strömens durch das Werkzeug mit Dissipationserwärmung (Abb. 9) und nachfolgender Vernetzung in einem Durchlaufofen mit Gasüberdruck und Strahlungs- sowie Konvektionserwärmung.

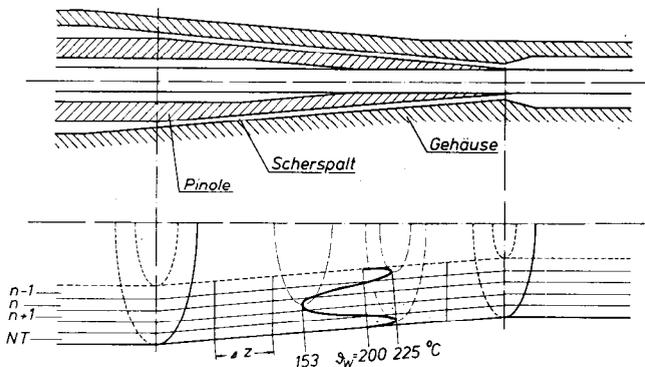


Abb.9: Temperaturverteilung im Werkzeugkanal (aus einer Differenzenrechnung)

Ein anderes Modell beschreibt den kompletten Prozeß der Herstellung von Hohlkörpern im Hohlkörperblasverfahren<sup>16,17</sup>. Während das Modell der Kabelummantelung in erster Linie zur Auslegung von Anlagen und zur Qualitätsoptimierung dient, ist das Prozeßmodell für die Hohlkörperblasanlage erstellt worden, um eine vollautomatisch arbeitende Rechnersteuerung solcher Anlagen zu ermöglichen<sup>20</sup>. Deren Vorteil, darauf sei kurz hingewiesen, ist dann bei diesem mit häufigen Rüstzeiten belasteten Prozeß, daß die Anlagen selbst ohne menschliche Bedienung den optimalen — qualitativ und wirtschaftlich — Arbeitspunkt nach einem Produkt- und Werkzeugwechsel anfahren und einhalten. Die qualitativen und kostenmäßigen Vorteile sind evident.

Man kann sicher sofort einsehen, daß auch hier Teile solcher Modelle, z. B. diejenigen des Durchströmens einer Düse, benutzt werden können, um die optimale Auslegung der Düse zu ermitteln. Dies sei als Beispiel gezeigt<sup>21</sup>. Es ist von Interesse, in welchem Maße die Gestaltung einer Düse sowie ihres Einlaufes den Aufbau von elastischen Deformationen in der Schmelze bewirkt und dabei zu einem Schmelzbruch oder zu Schwellen bzw. Knoten bei Fäden, die abgezogen werden, führt.

Genau wie das bereits geschildert worden ist, wird auch hier der Produktstrom, die Schmelzeströmung,

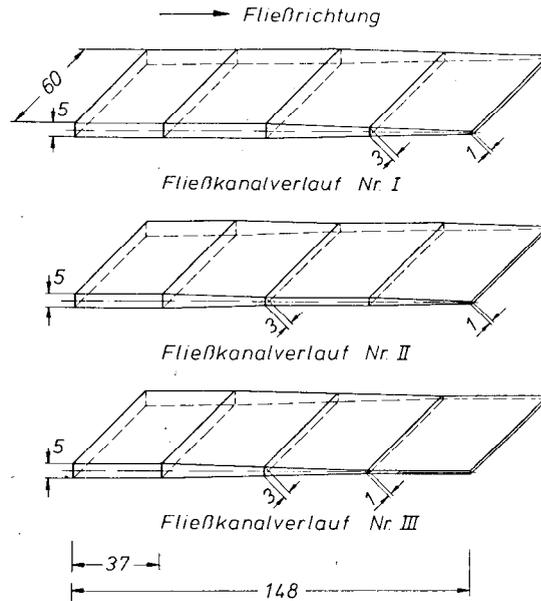


Abb.10: Drei unterschiedlich berechnete Fließkanäle

vom Eintritt in die Düse in ein Netzwerk aufgelöst (Abb. 10). In diesem Fall nun ist außer den Wärmeaustausch- und Leitbedingungen in der Schmelze die Erzeugung von Wärme durch Dissipation und die Änderung der Viskosität der Schmelze, die sowohl hierdurch als auch durch die unterschiedliche Geschwindigkeit verursacht wird, zu berücksichtigen, um den wahren Strömungsverlauf richtig beschreiben zu können. Man kann dann weiterhin das elastische Verhalten des Werkstoffes in das Modell einbauen und die, wie Abbildung 10 zeigt, in jedem Abschnitt bewirkte Deformation und Relaxation berechnen. Man erhält so, wie die Abbildung 11 zeigt, wertvolle Informationen darüber, was sich im Hinblick auf einen eventuellen Schmelzbruch in der Düse an elastisch gespeicherten Deformationen einstellt. So zeigt die Abbildung 11 für eine CAB-Schmelze und Düsen mit verschiedenen Einläufen die unterschiedlich großen Spitzen der elastisch gespeicherten Deformation am Ende verschieden steiler Einläufe. Weiterhin erkennt man, wie diese Deformationen um so stärker durch Relaxation abgebaut werden, je länger die der Querschnittsveränderung folgende sogenannte *Bügelzone* ist. Man erkennt, daß das Maß an gespeicherter nichtrelaxierter Deforma-

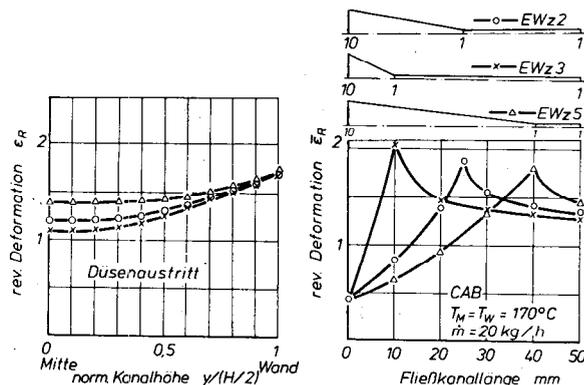


Abb.11: Einfluß der Bügelzonenlänge auf die reversiblen Deformationen für CAB

tion um so höher ist, je kürzer die Bügelzone ist. Wenn man diese Erkenntnisse auf eine Fadendüse überträgt, kann man daraus direkt entnehmen:

- wie steil der Einlauftrichter sein darf, um noch keinen Schmelzbruch zu erhalten,
- wie lang die zylindrische Düsenbohrung sein soll, um eine gewünschte elastische Deformation im Faden am Austritt aufzuweisen und
- wie schnell man abziehen muß, um eine Knotenbildung zu vermeiden.

Es läßt sich nun die Verstreckung im festen Zustand bzw. im Übergang von der Schmelze zu einem festen, kristallinen Zustand im Hinblick auf die eingefrorene Orientierung (Deformation) relativ leicht berechnen, was derzeit von uns weiter für Bänder versucht wird und für Rundstränge sicher viel einfacher ist. Es könnte auf diese Weise dann erstmals gelingen, die Verfahrensbedingungen so einzustellen, daß man die optimale Verstreckung erhält. Es spielt für die Anwendbarkeit der Reckung sicher keine Rolle, ob man einen solchen Prozeß nun unmittelbar nach der Düse oder diskontinuierlich in einem Streckwerk betreibt. Jedenfalls erhält man die tatsächliche im Stoff verbleibende Verstreckung bzw. gespeicherte Deformation. Damit läßt sich dann die Festigkeit und anderes mehr voraussagen, sofern man also die Korrelation zwischen diesen Werten und den eingefrorenen Deformationen kennt.

**Stoffgesetze und Stoffdaten**

Wenn man solche Rechnungen mit Erfolg durchführen will, ist es unumgänglich, über das Stoffverhalten und die Stoffgesetze genaue Kenntnisse zu haben. Hier müssen leider noch erhebliche Mängel behoben werden.

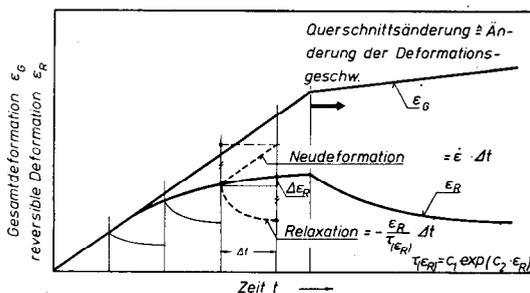


Abb.12: Aufbau reversibler Deformationen (Schwellenpotential) in Extrusionsdüsen (schematisch)

Ausreichende Kenntnisse liegen eigentlich nur über das Fließen von Schmelzen und über deren Wärmeleitfähigkeit bzw. über die Temperaturleitfähigkeit vor. Völlig unbefriedigend sind die Kenntnisse über den Wärmeübergang; es fehlen gültige Wärmeübergangszahlen für die verschiedensten Bedingungen. Man kann nur bedingt auf die beispielsweise im VDI-Wärmeatlas angegebenen Werte zurückgreifen. Nahezu nichts, auch keine Stoffgesetze, sind über das dynamische Relaxationsverhalten bekannt, d. h. über die von Temperatur und Geschwindigkeit abhängigen elastischen Eigenschaften von Schmelzen. Wir mußten uns deswegen für diesen Zweck selbst ein brauchbares Stoffgesetz entwickeln<sup>22</sup>. Die Abbildung 12 zeigt sche-

matisch die Vorgangsweise, die wiederum in kleinen Zeitschritten  $\Delta t$  erfolgt. Das Stoffgesetz ist nun dadurch ausgezeichnet, daß man anstelle der in Feder-Dämpfer-Modellen üblicherweise benutzten konstanten Relaxationszeiten nun eine solche benützt, die vom Maß der jeweils vorliegenden Deformation abhängt. Dies ist also ein Stoffgesetz, welches bereits im Aufbau ganz auf die numerische Rechnungsweise eingerichtet ist und sich daher nur so benutzen läßt.

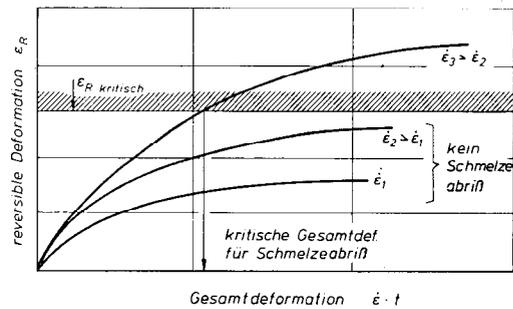


Abb.13: Schmelzeversagen bei Überschreitung einer kritischen reversiblen Deformation

Durch Versuche bestimmt man die Stoffkoeffizienten des Relaxationsverhaltens. Auch sie lassen sich auf verschiedene Temperaturen mit Hilfe bekannter, für Polymere brauchbarer Zeit-Temperatur-Verschiebungsgesetze (WLF-Gleichung) übertragen. Weiterhin aber kann man die einem gegebenen Polymeren bzw. seiner Schmelze zumutbare Grenzdeformation durch Versuche ermitteln (Abb. 13) und hierzu Berechnungen gegen Schmelzbruch oder Abritt bei Verstreckungsvorgängen anstellen. Es muß allerdings gesagt werden, daß wir gerade erst damit beginnen, solche Deformationsgrenzwerte für Schmelzen und kristallisierende Schmelzestränge zu bestimmen.

Diese Grenzdeformationen, die man so für die bestimmten Prozeßbedingungen ermitteln kann, geben aber auch gleichzeitig eine Information über den damit tatsächlich in der Faser gespeicherten Verstreckungsgrad und somit die Voraussage von Festigkeit und Elastizitätsmodul. Man ist dann mit Hilfe eines solchen Modells auch in der Lage, wie oben geschildert, die optimalen Prozeßbedingungen durch Simulationsrechnungen mit Hilfe eines Rechners zu ermitteln.

Bei Coextrudatfäden (Mehrschichtfäden) läßt sich aus der unterschiedlichen Rückstellung und den damit in den Fasern bewirkten Eigenspannungen auf das Maß an Kräuselung schließen.

Man kann sich somit auch in der Faserherstellung und -verarbeitung in erheblichem Maß Informationen für die Prozeßführung verschaffen. Allerdings sind diese Ideen zunächst nur Vorstellungen.

Im nächsten Abschnitt soll demgegenüber ein Beispiel einer bereits vollzogenen Transformation von Erkenntnissen der Kunststoffwerkstoffkunde auf die Faserstoffkunde vorgestellt werden.

**Langzeitprognosen für technische Gewebe**

Die Lebensdauervoraussage ist für tragende Bauwerke und Bauteile von eminenter Wichtigkeit, hängen doch

nicht nur hohe materielle Werte, sondern Leib und Leben von solchen Voraussagen ab. Dies gilt auch beispielsweise für technische Membrankonstruktionen aus beschichteten Geweben aus synthetischen Fasern und Seilen. Wir haben uns in den letzten Jahren besonders um die Langzeitfestigkeitsvoraussage (15 Jahre) bei Membranen, insbesondere für Zeltkonstruktionen bemüht<sup>23</sup>. Dabei wurde von uns das insbesondere an Rohren aus Thermoplasten und dem allgemeinen Kriechverhalten von Thermo- und Duroplasten ermittelte Stoffverhalten auf dasjenige der synthetischen Fasern mit Erfolg übertragen. Großräumige Membrankonstruktionen, die der Bauzulassung unterworfen sind, werden heute bereits nach diesen Regeln geprüft, und die Konstruktionen dimensioniert<sup>24, 25</sup>.

Man kann die Erkenntnisse wie folgt zusammenfassen: Die elastischen Eigenschaften und Festigkeitseigenschaften verstreckter Polymerer in Fadenform können genau wie diejenigen von Polymeren in unverstreckter Form oder von Schmelzen nach dem Zeit-Temperatur-Verschiebungsprinzip der linearen Viskoelastizität behandelt werden.

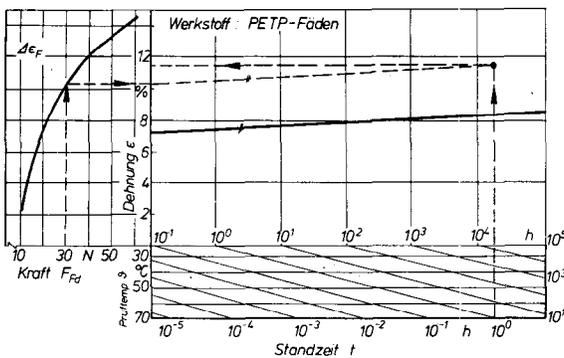


Abb.14: Nomogramm zur Ermittlung des Zeit-Dehn-Verhaltens von PETP-Fäden

Die Abbildung 14 zeigt als Beispiel, wie die Dehnung von verstreckten Polyesterfasern von der Beanspruchungsgeschwindigkeit oder von der Temperatur beeinflusst wird. Diese Kenntnis läßt bereits die Voraussage zu, daß man eine Prüfung zur Datenermittlung in einem angenehmen Temperaturbereich über eine gewisse Zeit durchführen kann und daraus auf das Verhalten über sehr große Zeitbereiche innerhalb

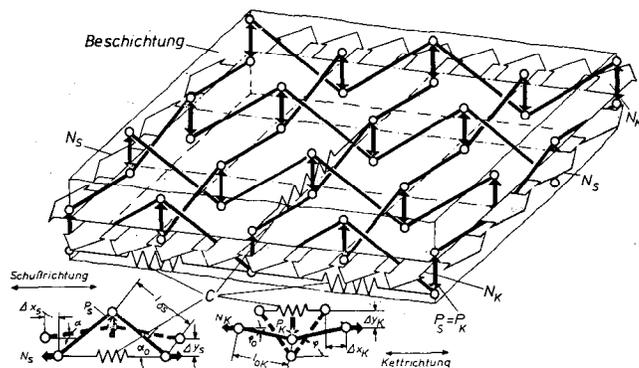


Abb.15: Modell zur Berechnung des Kraftverformungsverhaltens beschichteter Gewebe

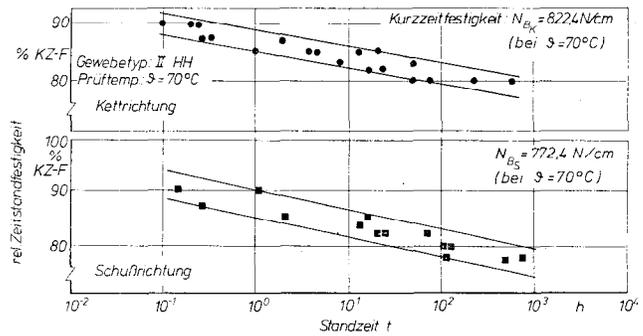


Abb.16a: Relative Zeitstandfestigkeiten — konstante einachsige Belastung

der Temperaturen schließen darf, innerhalb welcher der Zustand des Stoffes sich nicht ändert.

Im Hinblick auf das Bruchverhalten zeigte sich, was bei einem solchen Stoff und einer solchen Geometrie auch erwartet werden konnte, daß für eine Faser aus einem gegebenen Stoff der Bruch dann eintritt, wenn kurzfristig oder langfristig, d. h. durch Kriechen, eine bestimmte Grenzdeformation erreicht wird (Abb. 16).

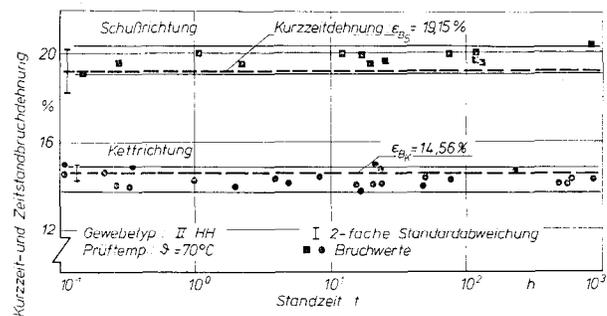


Abb.16b: Vergleich zwischen Kurzzeit- und Zeitstandbruchdehnungen — konstante einachsige Belastung

Wenn man nun noch, wie wir es getan haben, an Hand eines Modells zeigt (Abb. 15), wie die Fasereigenschaften in diejenigen eines Gewebes eingehen, dann kann man von den Fasereigenschaften auf die Deformationen des Gewebes und auf ein gefährliches Erreichen von Grenzdehnungen in den Fasern bei beliebiger Temperatur ( $T \leq 70^\circ C$ ) bzw. Deformationsgeschwindigkeit umrechnen (Abb. 16).

Literatur

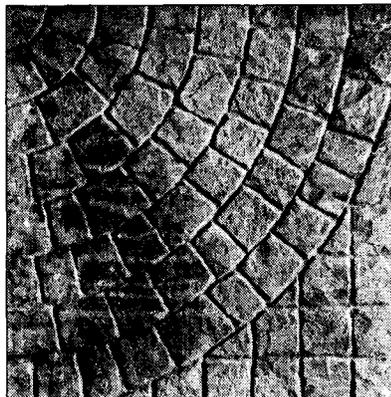
- 1) Schneiders, A.: Vortrag beim 4. Kunststofftechnischen Kolloquium des IKV-Aachen 1968; vgl. auch Fuchs E.; Plastverarbeiter, Bd. 19, S. 765-771, (1968)
- 2) Hegele, R.: Untersuchungen zur Verarbeitung pulverförmiger Polyolefine auf Einschneckenextrudern: Dissertation RWTH Aachen 1972
- 3) Fischer, P.: Auslegung von Einschneckenextrudern auf der Grundlage verfahrenstechnischer Kenndaten; Beitrag zur Systematik im Kunststoffmaschinenbau, Dissertation RWTH Aachen 1976

- 4) Menges, G. und Hoffmanns, W.: Verarbeitung von PVC auf dem Einschneckenextruder bei Verwendung eines kämmenden Zwangsmischsystems; Kunststoffberater 20, S. 32-39, (1975) 1
- 5) Menges, G. und Harms, E.: Beitrag zur Verarbeitung von Kautschukmischung auf Einschneckenextrudern; Kunststofftechnik 9, S. 469-475 (1972) 10
- 6) Herlinger und Gröbe: Persönliche Information am 12. Jänner 1979
- 7) Potente, H. und Fischer, P.: Modellgesetze für die Auslegung von Plastifiziereinschneckenextrudern; Kunststoffe 67 H. 5. (1977)
- 8) Buckingham, E.: Phys. Rev. 4 (345) 1914
- 9) Potente, H.: Eine umfassende Modelltheorie für Einschneckenmaschinen der Kunststoffverarbeitung; 9. Kunststofftechnisches Kolloquium des IKV-Aachen, 8. - 10. 3. 1978; vgl. auch Rheol. Acta 17, S. 404-414, (1978)
- 10) Schneider, K.: Fördervorgang in der Einzugszone eines Extruders; Dissertation RWTH Aachen 1967
- 11) Thienel, P.: Der Formfüllvorgang beim Spritzgießen von Thermoplasten; Dissertation an der RWTH Aachen 1977
- 12) Menges, G. und Michaeli, W.: Abkühlung von Kunststoffsträngen beim Stranggranulieren; VDI-Handbuch: Granulieren von thermoplastischen Kunststoffen; 1974
- 13) Franken, H.: Unveröffentlichte Diplomarbeit am IKV; Archiv-Nr. SA 78/15, Betreuer: P. B. Junk
- 14) Michaeli, W.: Zur Analyse des Flachfolien- und Tafelextrusionsprozesses; Dissertation RWTH Aachen 1975
- 15) Dierkes, A.: Eigenspannungen und Wege zur Berechnung des Schrumpfes in extrudierten Folien und Tafeln; Vortrag auf dem 25. Kolloquium des SKZ, Würzburg, Dez. 1977
- 16) Kulik, M.: Ein Beitrag zur Analyse des Extrusionsblasformens; Dissertation RWTH Aachen 1974
- 17) Junk, F. B.: Betrachtungen zum Schmelzverhalten beim kontinuierlichen Extrusionsblasformen; Dissertation RWTH Aachen 1978
- 18) Forschungsantrag: Vernetzung von Kabelummantelungen; IKV zusammen mit sieben Firmen der Kabelindustrie beim BMFT 1975
- 19) Franzkoch, B.: Analyse eines neuen Verfahrens zur Herstellung von vernetzten Polyäthylenkabeln; Dissertation RWTH Aachen 1979
- 20) Dormeier, S.: Beitrag zur Automatisierung des Extrusionsblasverfahrens; Dissertation RWTH Aachen 1977
- 21) Wortberg, J.: Werkzeugauslegung für Ein- und Mehrschichtextrusion; Dissertation RWTH Aachen 1978
- 22) Junk, P. B., Wortberg, J., Vogt, U.: Berechnung des Schrumpfes von extrudierter Flachfolie; Kunstst. J. H. 10, S. 24-28, 1978
- 23) Meffert, B.: Mechanische Eigenschaften PVC-beschichteter Polyestergerewebe; Dissertation RWTH Aachen 1978
- 24) Blumberg, H., Krummheuer, W., Nebe, J.: Zeitstandverhalten von PVC-beschichteten Polyamid 66- und Polyestergereweben in Praxis und Labrprüfungen; Kunststoffe 66, S. 97-103, (1976) 2
- 25) Blumberg, H., Krummheuer, W.: Das Verhalten von PVC-beschichteten Polyestergereweben bei intermittierender Belastung; Kunststoffe 67, S. 772-775, (1977) 12



*Betonstein und Fertigteil-Elemente!*

**FÜR HAUS- UND GARAGENZUFahrTEN,  
GARTEN-UND GEHWEGGESTALTUNG, HÖFE,  
VORPLATZ UND ANLAGEN.**



*neu*

**Kopfstein-Platten**  
50 x 50 cm grau, anthrazit

**Washbeton-Platten**  
in feiner und grober Körnung  
50 x 75 cm  
50 x 50 cm  
50 x 25 cm

in Sichtbeton  
50 x 75 cm  
50 x 50 cm  
50 x 25 cm

*...erhältlich im Fachhandel*



**Wessenthaler**  
4800 Attnang-Puchheim Salzburger Straße 75 Tel.: (07674) 2455-0

## Neue Zellulosefasern und Herstellungsverfahren

Dr. Thomas E. Muller, Associate Director of Research, ITT-Rayonier, Inc., Stamford, CT, USA

Das derzeitig erneut große Interesse für zellulosische Chemiefasern ist leicht zu verstehen. Es ist heute sehr schwierig, die Verfügbarkeit und den Preis der Baumwolle vorzusagen. Die Produktion der meisten synthetischen Fasern auf Erdölbasis ist nicht profitabel; auch läßt der besonders wichtige Komfortfaktor dieser Fasern viel zu wünschen übrig. Die heutige Zeit ist eine wirkliche Reyonrenaissance. Neue Fasertypen erscheinen fast täglich im Handel. Einige dieser Fasern erfüllen entweder in 100%igen Stoffen oder in Gemischen mit synthetischen Fasern alle Anforderungen ebensogut wie die Baumwolle. Weitgehende Verbesserungen in der Konstruktion der Herstellungsanlagen für Viskosereyon und durchgreifende Umweltschutzmaßnahmen haben zu hochautomatischen Verfahren geführt, welche eine höhere Produktivität mit einer fast vollkommenen Rückgewinnung aller Nebenprodukte verbinden können. Eine nennenswerte Verringerung des Kapitalbedarfs kann man jedoch für das Viskoseverfahren nicht beanspruchen. Aus diesem Grunde haben verschiedene Laboratorien auf der ganzen Welt begonnen, Verfahren für neue Nichtviskose-Reyonfasern zu entwickeln. Die Ziele sind:

- zellulosische Chemiefasern mit Textileigenschaften wie die der Baumwolle und
- Herstellungskosten wie die der Polyesterfasern.

Das Ausgangsmaterial für solche Fasern — der Zellstoff — ist glücklicherweise ein nachwachsender Rohstoff. Bäume nützen die Sonnenenergie für ihr Wachstum aus. In diesem Vortrag wird über neue Entwicklungen in der Viskosereyontechnologie berichtet, und bisherige Ergebnisse und künftige Aussichten auf dem Gebiet ganz neuer Nichtviskose-Reyonfasern werden besprochen.

The reasons for the present vigorous, renewed interest in manmade cellulosic fibers is not difficult to understand. Cotton's availability and price are harder to predict than ever. Most synthetic fibers based on petroleum feedstocks have not been profitable to produce. Also, such fibers continue to lack the all-important comfort factor. Rayon is in a period of true renaissance. New generation fibers appear on the market almost routinely. Fabrics made of some of these rayons perform as well as cotton, either in 100% constructions or blended with synthetics. Major improvements in viscose rayon equipment design and environmental control have resulted in highly automated processes which are more productive, and are capable of virtually complete by-product recovery. No significant reduction in capital requirements can be claimed for viscose rayon, however. For this reason, development work has been initiated in various laboratories around the world to design new, nonviscose rayon systems. The goal is a manmade cellulosic textile fiber similar in properties to cotton, and to polyester in manufacturing cost. Fortunately the raw material for such fibers, wood pulp, is a replenishable resource. Trees utilize solar energy for their growth. Recent developments in viscose rayon technology are reported. Results and forecasts in the field of completely new, nonviscose rayon fibers are discussed.

### Einleitung

Der Wald dient seit langer Zeit als Quelle von Nahrungsmitteln, von Baumaterialien und als Energiequelle. In den letzten Jahren hat man jedoch auf der

ganzen Welt begonnen, den Wald als eine mit Sonnenenergie betriebene Fabrik anzusehen, aus der man chemische Rohstoffe beziehen kann, ohne fürchten zu müssen, daß diese Quelle erschöpft werden könnte. Es ist bemerkenswert, daß sich die Reihe dieser Holzchemikalien von den einfachsten organischen Verbindungen bis zu den Hochpolymeren, von Alkoholen bis zu Zellulose und Lignin, erstreckt. Isolierung, Reindarstellung und Verwendung dieser Chemikalien für nützliche, konkurrenzfähige Handelsprodukte stellen große Anforderungen an die Holzverarbeitende Industrie und ihre Kunden. Der wichtigste aus Holz gewonnene Stoff ist die Zellulose, das am weitaus häufigsten vorkommende Polymere auf der Erde. Zellulose aus Holz zu isolieren und rein darzustellen, ist verhältnismäßig einfach. Verfahren zur Herstellung von Chemiefasern und anderen Kunststoffen aus Zellulose sind schon seit mehr als 100 Jahren bekannt. Warum spielen dann zellulosische Chemiefasern und Kunststoffe eine so verhältnismäßig kleine Rolle bei der Befriedigung des Weltbedarfes an Fasern und Kunststoffen?

### Wirtschaftliche Aspekte

Sehen wir uns erst einmal ein paar statistische Werte aus dem Textile-Organon<sup>1</sup> an. Im Jahre 1978 betrug die in der ganzen Welt installierte Viskose- und Azetatfaserkapazität 3,855 Millionen Tonnen (Mio t): davon 1,350 Mio. t Garn und 2,505 Mio. t Stapelfaser. Im selben Jahr war die Weltproduktion von zellulosischen Chemiefasern: 1,155 Mio. t Garn und 2,150 Mio t Stapelfaser, zusammen 3,305 Mio. t, was einer Kapazitätsausnutzung von 86 % entspricht. Die Produktion von Zelluloseazetat für Zigarettenfilter, ungefähr 0,3 Mio. t, ist in diesen Zahlen nicht eingeschlossen.

Tabelle 1: Weltproduktion von Textilfasern — 1977

	Mill. t	%
Viskose und Azetat	3,540	12,5
Synthetische	9,380	33,2
<i>Kunstfasern, gesamt</i>	12,920	45,7
Baumwolle	13,930	49,2
Wolle und Seide	1,450	5,1
<i>Naturfasern, gesamt</i>	15,380	54,3
Weltproduktion	28,300	100,0

Quelle = CIRFS, 1978

Im Februar 1979 stand eine umfangreichere Reihe von statistischen Werten für das Jahr 1977 zur Verfügung. Die vielleicht beste Zahlenquelle, welche die Lage und Tendenz des Welthandels bei Textilfasern beschreibt und analysiert, ist ein Bericht, den das Development and Market Research Committee des CIRFS im November 1978 herausgab<sup>2</sup>. Der Bericht enthält eine Untersuchung über die Zukunftsaussichten von Viskose- und Modalstapelfasern. In Tabelle 1 ist die Weltproduktion von Textilfasern für 1977 gegeben. Diese Zahlen stimmen nicht genau mit jenen überein, die im Textile-Organon projiziert und veröffentlicht wurden.) Tatsächlich zeigt die Reyon- und Azetatfaserproduktion zwischen 1977 und 1978 eine Zunahme von 1 — 2 %.

Es ist bemerkenswert, daß diese Produktion nur 12,5 % der gesamten Produktion von 1977 — 78 ausmacht, verglichen mit den 14 % im Jahre 1972; das bedeutet also eine geringe Abnahme. In der selben Zeit nahm auch der Anteil der Baumwolle ab (von 54 % auf 49 %), während der Anteil der synthetischen Fasern von 25 % auf etwas über 33 % anstieg.

**Zellulosechemie**

Trotzdem sind wir berechtigt, das Jahr 1979 als ein Jahr der Renaissance in der Technik und in der Erforschung zellulosechemischer Fasern, besonders Viskosefasern, zu sehen. Es gibt eine Anzahl von wichtigen Gründen, warum zellulosechemische Fasern heute auf der ganzen Welt mit erneutem Interesse betrachtet werden:

- Erstens ist das Erdöl ein Rohstoff, der sich nicht erneuern läßt. Synthetische Fasern auf Petroleumgrundlage unterliegen daher, mit der Energiekrise verbunden, politischen Unsicherheiten. Dies hat einen starken Einfluß auf ihren Preis und ihre Preisstabilität.
- Zweitens haben diese synthetischen Fasern einen sehr niedrigen *Komfortfaktor*. Komfort — jene Eigenschaft der Fasern, die es der Kleidung ermöglicht, Feuchtigkeit aufzunehmen und abzuleiten — ist besonders wichtig in Gegenden mit einem warmen, feuchten Klima. Es sind das gerade solche Gegenden auf der Welt, wo die Bevölkerungszunahme am größten ist.
- Drittens verursacht die Notwendigkeit, eine immer größere Zahl von Menschen zu ernähren, eine zunehmende Konkurrenz für fruchtbares Land. Man kann daher erwarten, daß die Produktion der Baumwolle in Zukunft eher abnehmen wird und daß ihr Preis Schwankungen unterliegen wird mit einer deutlichen Tendenz zu höheren Preisen.
- Viertens haben neue und bedeutsame technische Fortschritte in der Erzeugung und Verwendung von Viskosefasern diese Industrie, die schon vor der Jahrhundertwende entstand, wiederbelebt und ihr neue, einträgliche Aussichten eröffnet.

Aus dem CIRFS-Bericht ersieht man, daß die Bevölkerung der Welt im Jahre 1977 4,2 Milliarden betrug, mit einem Pro-Kopf-Faserverbrauch von 6,7 kg. Wenn man annimmt, daß die Weltbevölkerung bis 1985 auf 5 Milliarden ansteigen wird, dann wird der Faserbedarf der Welt, ohne eine Änderung des Pro-Kopf-Faserverbrauchs, in jenem Jahre 34 Mio. t sein, das entspricht einer Zunahme von 5,7 Mio. t oder 19 % gegenüber 1977. Eine jährliche Zunahme des Pro-Kopf-Faserverbrauchs von nur 0,1 kg würde diesen Bedarf auf 38 Mio. t erhöhen; 9,7 Mio. t oder 33 % mehr als 1977. Diese Schätzungen sind konservativ. Woher werden diese Fasern kommen? Im Hinblick auf die gleichbleibende oder abnehmende Baumwollproduktion und die oben genannten Einschränkungen der synthetischen Fasern hat man auf der ganzen Welt zu erkennen begonnen, daß der einzige nachwachsende Rohstoff, der für die Textilfaserproduktion zur Verfügung steht, die Zellulose ist.

**Technische Aspekte**

Die beste, praktischste Zellulosequelle ist das Holz. Durch Variationen des Sulfit- oder Sulfatverfahrens

kann man Faserzellstoffe mit verschiedenen erwünschten Eigenschaften aus vielen verschiedenen Holzarten herstellen. Die Energiequelle für das Wachstum der Bäume ist die Sonne; der Waldboden ist nur selten für den Anbau von Nahrungspflanzen geeignet. Trotzdem haben die großen Chemie- und Textilfaserfirmen seit dem Zweiten Weltkrieg der Forschung, Entwicklung und Absatzförderung von synthetischen Fasern auf Petroleumgrundlage große Summen zugewendet.

Betrachten wir einmal die Bedingungen, die entweder in der letzten Zeit erfüllt wurden oder noch zu erfüllen sind, um das weitere Wachstum der bedeutendsten Zellulosefaser, der Viskosefaser, zu sichern; diese sind:

- die Errichtung neuer Kapazitäten für die Erzeugung von Viskosezellstoff,
- die Entwicklung automatisierter, kontinuierlicher Viskosefaseranlagen, um die Arbeitskosten zu verringern.
- die Fähigkeit, Umweltschutzprobleme unter Kontrolle zu halten,
- die kommerzielle Einführung hochwertiger Stapelfasern, die der Baumwolle in jeder Beziehung ebenbürtig sind, und die entweder als 100%iger Ersatz oder in Mischgeweben mit synthetischen Fasern an Stelle der Baumwolle verwendet werden können.

**Tabelle 2: Fortschritte im Viskoseverfahren**

Stufe	Diskontinuierlich	Kontinuierlich
1- Alkalisieren	Blatt	Maische, Sini-Doppeltauchen
2- Pressen	Tauchpresse	Walzen, Schnecke, Band
3- Zerfasern	Z-Schaufeln	Mühle, Walze
4- Vorreife	Büchse	Drehrohr, Turm, Transportband
5- Sulfidieren	Baratte	CBX, Schraube, Naßbaratte
6- Lösen	Vissolver	Kontinuierlich
7- Filtrieren	Platten/Rahmen	Viscomatic, Funda
8- Entlüften	Stationär	Viskosefilm
9- Reifen	Stationär	Kontinuierlich

Früher verlief der Viskoseprozeß als eine Reihe komplizierter arbeitsintensiver Einzelprozesse, so daß es nicht schwer zu verstehen ist, warum diese Industrie, um rentabel zu bleiben, die Automatisierung einführt. Heute kann das Viskoseverfahren kontinuierlich und größtenteils automatisch durchgeführt werden. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Fortschritte im Viskoseverfahren angeführt und den konventionellen Einzelprozessen gegenübergestellt. Maurer, Chemtex und andere Firmen haben Reyonspinnmaschinen für endlose Fäden und Stapelfasern neu entworfen. Die Verbesserungen resultieren in einer größeren Produktion pro Arbeiter und einem Verfahren mit besserem Umweltschutz einschließlich der Faserwäsche, die vollkommen nach dem Gegenstromprinzip ausgeführt wird. Ein vollkommen kontinuierliches Stapelfaserverfahren wurde von der Firma Chemtex

bei der 4. Internationalen Dissolving Pulp Conference (1977) beschrieben<sup>3</sup>.

Diese Neuentwicklungen haben die Viskosereyonindustrie weitaus weniger arbeitsintensiv gemacht. Das notwendige Kapital für den Bau einer neuen Reyonfabrik ist aber zu hoch.

**Tabelle 3: Chemikalienrückgewinnung und Wasserreinigung beim Viskoseprozeß**

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	— Verdampfung, Kristallisation — Elektrolyse
ZnSO <sub>4</sub>	— Fällung — Ionenaustausch — Extraktion — Elektroflotation — Elektrolyse
CS <sub>2</sub>	— Kondensation — Ab/Adsorption — Oxidation/Verbrennung
H <sub>2</sub> S	— Laugenwäsche — Ab/Adsorption — Oxidation/Verbrennung
Zellulose	— Biologische Zersetzung — Belebtschlamm

Auch was den Umweltschutz betrifft, wurden im Viskoseverfahren bedeutende Fortschritte gemacht. Automatisierte, kontinuierliche Herstellungsverfahren haben zu einem geschlosseneren System geführt, und leistungsfähige Verfahren für die Chemikalienrückgewinnung wurden entworfen und in Betrieb gesetzt.

**Tabelle 4: Typische Umweltbelastung durch Viskosereyon**

(Pro 100 kg Reyon)	
<b>Abwasser</b>	
Wasser	20 — 25 m <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	35 — 45 kg
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20 — 30 kg
ZnSO <sub>4</sub>	2 — 10 kg
Hemizellulose	4 — 6 kg
Zusatzmittel, Nachbehandlung	0,5 — 1 kg
<b>Abluft</b>	
Luftvolumen	3000 — 3500 m <sup>3</sup>
CS <sub>2</sub> oder Äquivalent (bei 50 % Rückgewinnung)	14 — 17 kg

Unter diesen sind zu nennen:

- die Zinkrückgewinnung durch Ionenaustausch, Elektrolyse, Elektroflotation, Fällung oder Gegenstromextraktion;
- die Glaubersalzverdampfer-Kristallisatoren mit Vielfacheffekt;

- das Abfangen von Schwefelkohlenstoff durch Kondensation oder nach der Lurgi-Methode, die mit der Abscheidung von Schwefelwasserstoff kombiniert werden kann, durch
- die Adsorption an Kohle und schließlich
- die Primär- und Sekundärbehandlung der Abwässer der Reyonfabrik, um den biologischen Sauerstoffbedarf (BSB) möglichst zu verringern.

Einige Verfahren für die Rückgewinnung von Viskosereyonchemikalien sind in Tabelle 3 verzeichnet, während Tabelle 4 typische Werte für Reyonabwässer und Abluft zeigt.

#### Neue Entwicklungen für Viskosefasern

Die Entwicklung von Faserprodukten, insbesondere von Stapelfasern, hat in den letzten Jahren mit den Fortschritten im Herstellungsverfahren der Fasern Schritt gehalten. Diese *neue Generation* von Reyonprodukten kann zu sehr schönen Stoffen verarbeitet werden, die vorzügliche Tragbarkeit und *wash-and-wear*-Eigenschaften aufweisen. In Europa war im Jahre 1979 der Absatz von Reyon (endlose Fäden) sehr gut, während in den USA die Zellwolle (Stapelfaser) den größten Teil des Reyonmarktes ausmachte.

Im Jänner 1979 veröffentlichte die Zeitschrift „Textile World“ einen Artikel mit dem Titel „Rayon's Market Comeback is for Real“<sup>4</sup>. Seit langem war kein Artikel über Reyon mit so positivem Titel erschienen. Er ist eine Besprechung der wichtigsten positiven Eigenschaften von Reyonstapelfasern und der jüngsten kommerziellen Entwicklung im US-Handel mit Reyonfasern und Stoffen aus Reyon. Der Artikel kommt zu dem Schluß: *Die Aussichten für diese Faser (Stapelreyon) sind gut. Sie hat seit 1975, als man begann, an Bedeutung gewonnen. Die Sorgen wegen der Baumwolle sind ein Segen für Reyon. Es ist aber vielleicht von größter Bedeutung, daß in diesem Artikel auch Erweiterungspläne für die Herstellung von Stapelreyon in den USA erörtert werden.*

Man kann jetzt allgemein annehmen, daß die *zweite Generation* von Stapelreyon, sei es unter den Namen HWM, Modal, Polynosisch oder unter irgend einem anderen Namen, ein lebensfähiges und erwünschtes Erzeugnis ist. Solche Fasern werden mit Erfolg in Frankreich, Italien, Österreich, England, Kanada und den USA erzeugt und verkauft. Diese zweite Generation von Fasern umfaßt Lenzings 333, Snias Koplön, Courtaulds Vincel 64, Avtex's Avril I und II, Enkas Fiber 700 und andere. Die aus diesen Fasern erzeugten Stoffe besitzen gute Dimensionsstabilität und Festigkeit.

Im Laufe der letzten Jahre wurde eine *dritte Generation* von Fasern entwickelt, die mehr baumwollartige Eigenschaften haben. Die aus diesen Stapelfasern erzeugten Stoffe besitzen hervorragenden Griff und hervorragende Opazität und Deckkraft. Diese Fasern eröffnen große neue Absatzgebiete für 100 %ige Reyonstoffe und für Mischungen, wie Reyon/Polyester-mischungen für Wirkwaren. Spezielle Anwendungsgebiete dieser Fasern sind 180-Perkall-Betttücher und Druckwaren mit Polyester gemischt. Technisch können diese Viskosefasern der dritten Generation auf verschiedene Weise hergestellt werden. ITT

Tabelle 5: Typische Eigenschaften von Viskosespinnfasern

	Regulär	HWM	Poly-nosisch	Prima
Denier (meist gebraucht)	1,5	1,5	1,5	1,5
Festigkeit, g/den				
Konditioniert	2,8	4,0	4,4	3,5
Naß-	1,8	2,6	3,2	2,3
Schlingen-	1,0	0,9	0,8	0,8
Knoten-	1,5	1,5	1,7	1,5
Dehnung, %				
Konditioniert	18,0	14,0	10,0	13,0
Naß-	25,0	18,0	12,0	14,0
Naßmodul, g/den	0,2	0,5	1,2	0,5
Quellwert, %	95	70	64	80
DP	325	400	580	450
Löslichkeit in 6,5 % NaOH bei 20° C, %	30	15	7,5	10

Rayoniers Prima beispielsweise, ist eine chemisch gekräuselte Faser mit hohem Naßmodul. Andere Beispiele solcher Viskosespinnfasern der dritten Generation sind Avril III der Firma Avtex, eine hochnaßfeste Faser mit dreilappigem Querschnitt, und Courtaulds Viloft, eine Hohlfaser.

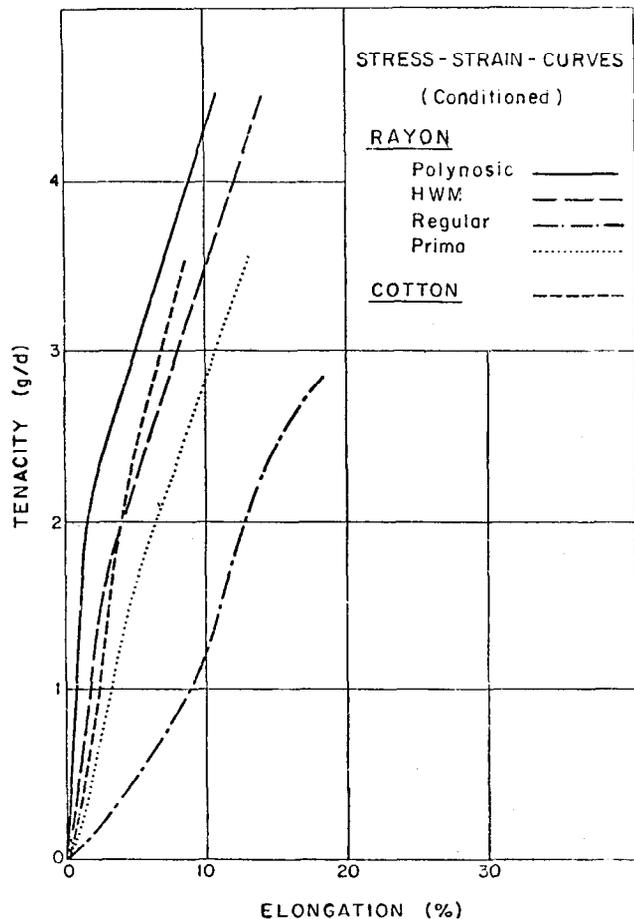


Abb. 1: Kraft-Dehnungs-Diagramme (konditioniert)

Typische physikalische und chemische Daten für verschiedene Viskosespinnfasern zeigt die Tabelle 5: re-

guläre Fasern — erste Generation; HWM (hochnaßfest) — und polynosische Fasern — zweite Generation, Prima — dritte Generation, eine gekräuselte, hochnaßfeste Stapelfaser. Die Abbildung 1 zeigt die Kraft-Dehnungs-Diagramme dieser Fasern und der Baumwolle zur Illustration ihrer physikalischen Eigenschaften.

Die Hersteller von Viskosefasern können jetzt als vorzüglichen Stellvertreter für Baumwolle von mittlerer und hoher Qualität eine hochwertige Zellulosefaser anbieten, die nicht unter Preisschwankungen leidet. Anlagen, welche für die Erzeugung von Viskosefasern der zweiten Generation geeignet sind, genügen vollkommen für die Herstellung von Prima-Fasern; es wird keine Spezialapparatur benötigt. Wird Prima an Stelle der Baumwolle eingesetzt, so kommt es wegen der größeren Gleichmäßigkeit der Viskosefaser zu einer geringeren Anzahl von Garnbrüchen. Streichgarnspinnereien können daher bei der Erzeugung von kammgarnähnlichen Qualitäten beträchtliche Ersparnisse machen. Für den Verbraucher bringen die Viskosefasern der dritten Generation sowohl Komfort, Stil- und Farbauswahl in dauerhaften Kleidungsstücken, die nur wenig schrumpfen, als auch andere Textilmaterialien für Heim und Industrie.

Das alles bedeutet, daß eines der wichtigsten technischen Ziele für eine zellulosische Chemiefaser entweder schon erreicht ist oder im Begriff ist, erreicht zu werden: Es gibt jetzt Viskosefasern, die der Baumwolle in der Qualität gleichen und im Einsatz mehr Vorteile bieten.

Ein zweites wichtiges Ziel wurde aber noch nicht erreicht: die Entwicklung eines technischen Verfahrens für die Erzeugung einer zellulosischen Chemiefaser, das weniger Kapital benötigt als eine Polyesterstapelfaserfabrik.

### Neue Wege zur Herstellung von Reyonfasern

Die nötige Kapitalanlage für den Bau einer neuen, modernen Viskosestapelfaserfabrik mit allen erforderlichen Anlagen für den Umweltschutz ist hoch: ungefähr S 2,50/kg jährliche Faserkapazität. Das bedeutet eine ungefähr 40 % höhere Kapitalanlage als für eine Polyesterstapelfaserfabrik von vergleichbarer Größe. Ferner berechnet sich der gesamte Energiebedarf für die Erzeugung von hochnaßfestem Reyon zu 2,8 kg Erdöläquivalent pro kg Stapelfaser, verglichen mit 2,6 kg Erdöläquivalent pro kg kontinuierlich erzeugter Polyesterstapelfaser. Obwohl Reyon also nicht aus Petroleum hergestellt wird, ist der Energiebedarf für seine Erzeugung doch nicht gering. Es ist daher wahrscheinlich, daß ein sprunghafter Anstieg der Reyonstapelfaserkapazität erst dann kommen wird, wenn ein neues, andersgeartetes Herstellungsverfahren zur Verfügung stehen wird.

Betrachten wir also die Erfordernisse eines solchen Zellulosefasersystems, das nicht auf Viskose beruht:

- ein mit dem der Polyesterstapelfaser vergleichbarer Kapitalbedarf;
- ein automatisiertes, arbeitssparendes Verfahren;
- ein Lösungsmittel, das eine einfache Folge von Lösen, Filtrieren, Trockenspinnen zuläßt;

- Spinnengeschwindigkeiten von mehreren Hundert Metern pro Minute;
- ein geschlossenes System mit einfacher, leistungsfähiger Chemikalienrückgewinnung;
- ein Fasererzeugnis mit baumwollartigen Eigenschaften.

Forschungsstätten auf der ganzen Welt, sowohl in der Industrie als auch an Universitäten, sind derzeit damit beschäftigt, neue Lösungsmittelsysteme für die Zellulose zu entwickeln. Ein rascher Überblick über die jüngsten Fortschritte auf diesem Gebiet ergab die unglaubliche Zahl von 55 Literaturreferenzen, fast alle aus den letzten 3 bis 4 Jahren.

#### Neue Zelluloselösungsmittel

Das N-Äthyl-pyridinchlorid/Zellulose-System wurde in Pilotanlagen bereits eingesetzt<sup>5-8</sup>. Der beobachtete Abbau der Zellulose hängt von der Gegenwart des Sauerstoffs ab. Stickstofftetroxid oder Nitrosylchlorid in organischer Lösung kann die Zellulose durch Bildung von Zellulosenitrat in Lösung bringen; die Lösung kann für die Erzeugung von Fasern und Filmen verwendet werden<sup>9-12</sup>. Schwefeldioxid in organischer Lösung löst Zellulose und andere synthetische Polymere verhältnismäßig leicht auf<sup>13-15</sup>. Es wird berichtet, daß Hydrazin Zellulose und sogar Holz in Konzentrationen bis zu 20 — 25 % zu lösen vermag<sup>16</sup>. Es ist aber schwer, mit dem Hydrazinsystem zu arbeiten, sodaß bisher über keine Spinnversuche mit diesem Lösungsmittel berichtet wurde. Aminoxide lösen Zellulose bei erhöhter Temperatur; aus diesen Lösungen kann man Fasern und Filme bereiten<sup>17-18</sup>. Komplexe, wie Kupferäthylendiamin und das Natriumsalz vom Eisen(III)-tartrat, lösen die Zellulose in niedriger Konzentration<sup>19-21</sup>. Solche Lösungen sind meistens luft- und lichtempfindlich. Das Kupferoxidammoniakverfahren ist gewiß nicht neu, aber es wird erneut mit Interesse in Betracht gezogen, besonders in der Sowjetunion<sup>22-25</sup>. Es war und ist noch immer ein kommerzielles Verfahren für die Herstellung von Fasern und Filmen. Obwohl das Spinnen von hochfestem Kupferreyon möglich ist, leidet dieses Verfahren an den selben Einschränkungen wie das Viskoseverfahren. Auch die Kombination Dimethylsulfoxid/Paraformaldehyd ist ein gutes Lösungsmittel für Zellulose<sup>26-29</sup>. Die Auflösung findet über die Bildung von Methylolzellulose statt. Zellulosesulfit kann man in einer Mischung von Schwefeldioxid und Amininen herstellen<sup>30-33</sup>.

Dies ist nur ein kurzer, unvollständiger Überblick über mögliche Wege, die zu Nichtviskosereyonfasern führen könnten. Keiner dieser Wege scheint heute alle wünschenswerten Elemente für ein erfolgreiches System zu enthalten, das sowohl niedrige Kapital- und Betriebskosten als auch einen geschlossenen chemischen Kreislauf und ein baumwollähnliches Erzeugnis besitzt, aber nur wenige dieser Wege wurden schon völlig untersucht.

Eine der interessantesten neuen Entwicklungen ist die der optisch anisotropen Zellulosesysteme<sup>34</sup>. Man hat gefunden, daß man aus anisotropen Lösungen, welche die selbe Ordnung wie flüssige Kristalle besitzen, hochfeste Fasern aus Zellulosederivaten spinnen kann. Beim Beginn der Anisotropie haben

diese Lösungen ein Viskositätsminimum. Das Resultat ist eine doppelbrechende, meistens opaleszierende Lösung. Diese Art der Molekulanordnung der Zellulosederivate hängt von der Steifheit ihrer Konformation ab. Das Phänomen tritt nur bei sehr hohen Konzentrationen (>20%) von Zellulosederivaten auf, deren mehr oder weniger steife Moleküle ein Verhältnis: Länge zu Durchmesser von wenigstens 13 : 1 haben. Im Viskoseverfahren kommen so hohe Konzentrationen nur während der Koagulations- und Regenerationsphasen vor. Hochfeste Fasern mit niedriger Dehnung wurden durch anisotropes Spinnen aus Zelluloseazetat und Zelluloseäthern erzeugt.

#### Zusammenfassung

Die Gegenwart und die Zukunft von Zellulosefasern, besonders der Viskosefasern, sieht glänzend aus. Ein weiteres Wachstum von zellulosischen Chemiefasern ist durch hinreichende Reyzonstoffsicherungen gesichert. In jüngster Zeit wurden bedeutende Fortschritte hinsichtlich der Herstellung von Fasern und deren Einsatz gemacht. Neue, einträgliche Textilmärkte öffnen sich für neue Fasern mit vielen Vorteilen. Da man die *Faser-für-jeden-Zweck* noch nicht erfunden hat, mischt man schöpferisch verschiedene Fasern, um Stoffe mit einer optimalen Kombination von Eigenschaften zu erzeugen. Ganz neue Nichtviskosereyonfasern werden sehr bald erscheinen.

Zellulosische Chemiefasern werden weiter wie bisher im Textil- und *Non woven*-Handel eine einträgliche Rolle spielen. Weitere Forschungs- und Entwicklungsbestrebungen auf dem Gebiet zellulosischer Chemiefasern werden sicher reichlich belohnt werden.

#### Literatur

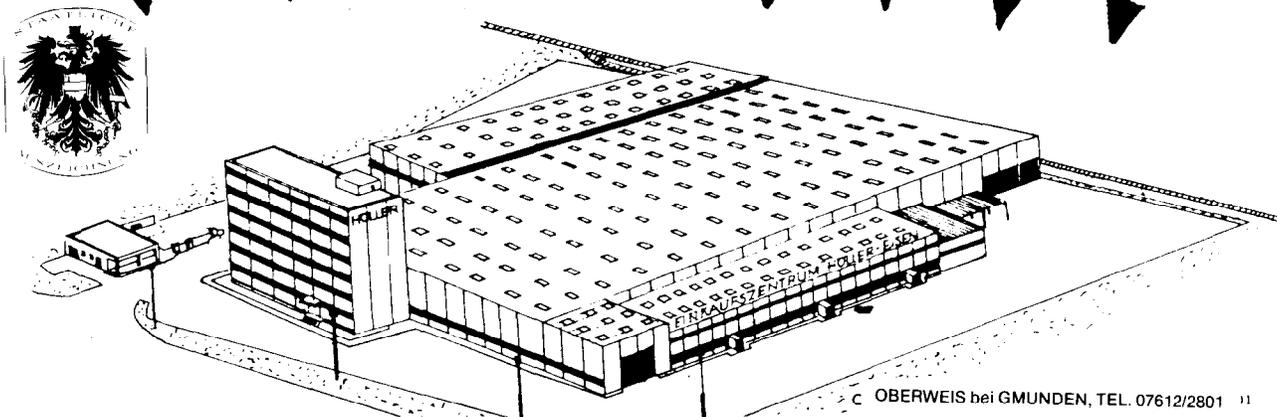
- 1) Textile Organon, July 1978 and February 1979
- 2) CIRFS Development and Market Research Committee, Report of the Working Party on the Future of Viscose and Modal Staple (November 1978)
- 3) von Bucher, H. P.; Tappi **61**, 91 (April 1978)
- 4) „Rayon's Market Comeback is for Real“, Textile World Special Report (January 1979)
- 5) Schweiger, R. G.; German Pat. 1,902.373 (1970)
- 6) Husemann, E. and Siefert, E.; Makromol. Chem. **128**, 288 (1969)
- 7) Pohjola, L. and Aarnikoivu, P. L.; Pap. Puu. No. 4,331 (1976)
- 8) Pohjola, V. J., Aaltonen, O., Karvinen, J., Kamppa, V. and Pohjola, L.; Pap. Puu. No. 11, 739 (1977)
- 9) Schweiger, R. G.; Tappi **57**, 86 (1974); US Pat. 3,702.843 (1972)
- 10) Nakao, O.; Can. Pat. 876.148 (1971)
- 11) Pasteka, M. and Mislovicova, D.; Cell. Chem. Techn. **8**, 107 (1974)
- 12) Turbak, A. F., Hammer, R. B., Portnoy, N. A. and West, A. C.; Cellulose Division Preprints, A. C. S. Meeting, New Orleans, LA (1977)
- 13) Philipp, B., Schleicher, H. and Laskowski, I.; Faserforsch. Textiltech. **23**, 60 (1972) and **23**, 286 (1972)
- 14) Kimura, Y., Yamamura, T., Kawai, A. and Nagai, S.; C. A. **77**, 36668c (1972)

- 15) Yamazaki, S. and Nakao, O.; C. A. **81**, 154860g (1974)
- 16) Litt, M., Cellulose Division Preprints, A. C. S. Meeting, New York NY (1976)
- 17) Graenacher, C. and Sallman, R.; US Pat. 2,179.181 (1939)
- 18) Johnson, D. L.; US Pat. 3,508.941 (1970)
- 19) Jayme, G.; High Polymers Vol. V Part IV, Wiley Intersciences, New York, NY (1971)
- 20) Philipp, B. and Schleicher, H.; C. A. **74**, 127361b (1971); C. A. **77**, 50396u (1972)
- 21) Petrov, A. G.; C. A. **63**, 10161g (1965)
- 22) Hayashi, K. and Yoshida, N.; C. A. 180930y (1976)
- 23) Gal'braikh, L. J., Petrova, T. V., Nikolaeva, N. S., Samoilov, V. I., Borik, A. G. and Filicheva, T. B.; Prepr-Mezhdunar. Sinp. Khim. Volokna **2**, 58 (1977)
- 24) Petrova, T. V., Gal'braikh, L. J., Rogovin, Z. A., Ivanova, T. L., Mogilevskii, E. M. and Shimko, I. G.; Khim. Volokna No. 6, 60 (1977)
- 25) Gallina, O.; US Pat. 3,798.297 (1974)
- 26) Johnson, D. C., Nicholson, M. D. and Haigh, F. C.; Appl. Polym. Symp. No. 28, 931 (1976); US Pat. 4,097.666 (1978)
- 27) Rhone-Poulenc-Textile S. A.; Fr. Pat. 2,358.477 (1978); US Pat. 4,129.640 (1977); US Pat. 4,129.451 (1977)
- 28) Hammer, R. B. and Turbak, A. F.; Cellulose Division Preprints, A. C. S. Meeting, New Orleans, LA (1977)
- 29) Hammer, R. B., O'Shaughnessy, M. E., Strauch, E. R., and Turbak, A. F.; J. Appl. Polym. Sci. **23**, 485 (1979); US Pat. 4,022.631 (1977)
- 30) Schleicher, H., Linow, K. J. and Schubert, K.; Faserforsch. Textiltech. **23**, 335 (1972)
- 31) Philipp, B., Schleicher, H. and Wagenknecht, W.; Chemtech. 702 (1977)
- 32) Kimura, Y., Yamamura, T., Kawai, A. and Nagai, S.; Jpn. Pat. 71,28,296 (1971)
- 33) Yamazaki, S., and Nakao, O., Sen'i Gakkaishi **30** (5-6), T234-T244 (1974)
- 34) E. I. du Pont de Nemours and Co., German Pat. Disclosure 2,705.382 (August 11, 1977).

## Auch Ihr Einkaufszentrum für

Werkzeuge    Maschinen    Beschläge    Baubedarf

Eisenwaren    Sanitäre    Baustähle    Rohre    Großküchen  
Ausstattungen



# Höller Eisen

## Technische Bewertung neuer Herstellungsverfahren für Spinnfasergarne

Dr. Ing. J. Gayler, Enka AG, Wuppertal

Die seit langer Zeit stagnierende Entwicklung neuer Faser-garnspinnverfahren ist, vermutlich ausgelöst durch den verhältnismäßig guten Erfolg der Rotorspinnmaschine, in den letzten Jahren wieder in eine kreative Phase getreten, so daß die Spinnereitechnologen gezwungen sind, in immer kürzeren Zeitabständen den Stand der Technik zu überprüfen und seine wirtschaftliche Bedeutung zu bewerten. Dabei spielen nicht nur die von den Maschinenherstellern herausgestellten Leistungsdaten und Produktivitätssteigerungen eine Rolle, ebenso wichtig sind die systembedingten Qualitätsdaten und Garnstrukturen, die maßgeblich den Artikelausfall beeinflussen. Daß dabei die konventionellen, ringgesponnenen Garne den festetablierten Standard bilden, wird oft mit dem Argument zerstreut, man müsse für die neuen Garne angepaßte Artikel schaffen. Obwohl dies selbst für die heute in großem Umfang hergestellten Rotorgarne in vielen Fällen nicht gelungen ist, ist von der Produktionsleistung her das Rotorspinnen zu einem weiteren technischen Standard geworden, an dem neue Verfahren gemessen werden müssen.

In dem Vortrag wird der Versuch gemacht, einige neue Verfahren nach den genannten Gesichtspunkten zu beurteilen und nach ihren potentiellen Möglichkeiten zu bewerten. Neben dem systemrelevanten Potential für eine weitere Leistungssteigerung spielen u. a. die Möglichkeiten für die Automatisierung und Prozeßintegration eine Rolle.

The development of staple fibre spinning processes, which has been stagnating for a long time, has experienced a powerful revival during the past few years. This has been stirred perhaps by the almost unexpected success of the Rotor Spinning Machine. Thus, the technologists are forced — in ever shorter intervals of time — to evaluate the state of the art in staple fibre spinning and to judge its technical and economical possibilities. In these observations not only the data on efficiency and productivity supplied by the machine manufacturers should play a role, but also the characteristics of the new yarns in terms of quality data and outer appearance which strongly influence the performance and aesthetics of fabrics. It should not be forgotten, that the conventional ring spun yarns have set the quality standards over a long period of time. The argument that new articles should be created in order to be adjusted to the new yarns does normally not solve the problem. Even for the rotor-yarns with their great market potential, this has not been solved satisfactorily in all cases. Nevertheless, rotor spinning has become a technical standard today and thus has become an established measure for the performance of new spinning processes, as well.

In this paper an attempt is made to evaluate some of the new spinning methods in terms of the above mentioned points of view and to judge their potential possibilities. Relevant features are, a. o., the potential to further increase the production, as well as the possibilities for automation and process integration.

### Einleitung

Abgesehen von konjunkturell bedingten Schwankungen und oft erheblichen Unterschieden zwischen einzelnen Ländern, müssen wir, global gesehen, im Schnitt der letzten Jahre deutliche Schwächeerscheinungen in der Investitionstätigkeit der Textilindustrie

feststellen. Fast in umgekehrtem Verhältnis dazu stehen dagegen die Anstrengungen, die die Textilmaschinenindustrie unternimmt, neue Technologien zu entwickeln. Vordergründig sind dies Anstrengungen, dem mörderischen Verdrängungswettbewerb auf dem Markt für konventionelle Textilmaschinen auszuweichen. Dahinter stehen aber auch sich immer deutlicher abzeichnende Chancen, grundlegend neue Technologien mit Erfolg in der Textilindustrie einzuführen, die wiederum deren Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig beeinflussen können. Die Marktlage ist allerdings so, daß selbst die revolutionär zu nennende Entwicklung der Rotorspinnerei mit ihrem fast unerwarteten technischen Erfolg nur zu evolutionären Substitutionsphasen in der Fasergarnspinnerei geführt hat. Man hat sogar den Eindruck, daß wir uns gegenwärtig in einer besonders zähflüssigen Phase befinden. Die Gründe dafür sind vielfältig und werden einer fortlaufenden Analyse durch die Wirtschaftsforscher unterzogen, wobei die primitivste, aber nichtsdestoweniger stichhaltigste Erklärung die seit Jahren hinter den Prognosen zurückbleibende allgemeine Bedarfsentwicklung bei Textilien ist, so daß die Marktlage durch ein anhaltendes und auch nicht kurzfristig zu änderndes Überangebot gekennzeichnet ist. Während das generelle Problem nur durch eine weltweite Neuorientierung auf geringere Zuwachsraten zu lösen ist, kann das Problem für den einzelnen Betrieb und in entsprechendem Maße für die Textilmaschinenindustrie erfolgreich durch eine konsequente Entwicklung und die Markteinführung echter Innovationen gelöst werden. Dies als Erklärung für die beachtenswerte und letzten Endes hoffentlich auch wirklich lohnende Entwicklungstätigkeit, speziell bei der europäischen Textilmaschinenindustrie.

Am Beispiel der Fasergarnspinnerei soll dargestellt werden, daß ein technologisch noch so interessantes Verfahren einen immer dornenvolleren Weg bis zur Markteinführung zurückzulegen hat, der, wie schon in der Vergangenheit, jetzt aber in deutlich zunehmendem Maße, die finanziellen Kräfte einer Textilmaschinenfabrik übersteigen kann. Dies führt in Einzelfällen schon dazu, daß im volkswirtschaftlichen Interesse bestimmte Länder staatliche Mittel für die Entwicklung des Produkts bis zur Marktreife einsetzen; das ist eine zunehmende Notwendigkeit, die aber von den verantwortlichen Institutionen bisher meistens nur für solche Technologien gesehen wird, die in der Öffentlichkeit eine breitere Beachtung finden, wie z. B. die Entwicklung der Elektronik oder der Kernkraft. Es ist deshalb heute eine wichtige Aufgabe der Textiltechnologen, die volkswirtschaftlichen Chancen ihrer Entwicklungen wirkungsvoller als bisher an die Öffentlichkeit zu bringen. Dies muß allerdings von einer objektiven Beurteilung der Erfolgsaussichten begleitet sein, um nicht durch vermeidbare Rückschläge gegenteilige Reaktionen in der Öffentlichkeit, der Textilindustrie und bei den verantwortlichen Institutionen auszulösen.

Die naheliegendsten und offensichtlichsten Kriterien der technischen Bewertung neuer Herstellungsverfahren für Spinnfasergarne sind die Eigenschaften der erzeugten Garne und die Wirtschaftlichkeit ihrer Produktion, wobei das erste Kriterium weitgehend gegenwartsbezogen, nämlich gemessen am Maßstab des Bestehenden, das letztere aber stark zukunftsbezogen

gesehen werden muß. Die Schwierigkeiten liegen dabei in der spekulativen Natur der zukunftsbezogenen Parameter, die, abgesehen von ihrer sachlichen Relevanz, in zunehmendem Maße politische Bedeutung bekommen. Hierbei sind zu nennen:

- die Umweltschutzaufgaben.
- die Humanisierung des Arbeitsplatzes,
- die Energiebeschränkungen bzw. -kosten.
- die Marktpolitik, die für die betreffende Region im allgemeinen maßgebend ist, und die Kapitalmarktpolitik im besonderen und
- die Situation auf dem Arbeitsmarkt.

Durch die generelle Forderung, Arbeitsplätze zu erhalten, darf man das äußerst wichtige Automatisierungspotential eines Verfahrens nicht nur wirtschaftlich betrachten, sondern muß es auch politisch sehen, da es in der öffentlichen Diskussion oft heruntergespielt wird.

Die Wichtigkeit dieser politisch zu sehenden Kriterien gehört, wie gesagt, heute weitgehend noch in den spekulativen Bereich und wird sich von Land zu Land verschieden entwickeln. Man denke nur an die Möglichkeit einer Regierung, trotz drohender Erschöpfung der Ressourcen die Energiekosten aus den verschiedensten Gründen künstlich zu begrenzen, während sie in anderen Ländern durch staatliche Verordnung zur selben Zeit künstlich erhöht werden! Im Extremfall kann man sich zukünftig sogar staatliche Auflagen zur Begrenzung des Energieverbrauchs von Neuentwicklungen vorstellen.

Mit anderen Worten: Bei einer objektiven technischen Bewertung können solche Kriterien nur angesprochen, aber nicht im eigentlichen Sinne bewertet werden, es sei denn, sie sind so offensichtlich vorteilhaft oder nachteilig, daß sie bereits mit den Maßstäben von heute für Gedeih oder Verderb eines Verfahrens ausschlaggebend sein können. Trotzdem ist es für den Technologen wesentlich unverfänglicher, über objektiv meßbare Kriterien, wie das gegenwärtige Leistungsniveau und das theoretisch errechenbare Potential für

die mögliche Leistungssteigerung eines Verfahrens, zu sprechen. Es ist auch vergleichsweise einfach, den für ein bestimmtes Verfahren charakteristischen Garnaufbau und die damit verbundenen Einsatzmöglichkeiten zu diskutieren. So ist es zumindest möglich, ohne eine verantwortliche Aussage über die letzten Erfolgchancen machen zu müssen, einerseits Einsatzbeschränkungen und andererseits spezielle Einsatzpräferenzen vorauszusagen.

Technische Voraussetzung in der Vergangenheit war in solchen Diskussionen das ringgesponnene Garn, das Maß aller Dinge, wobei wir nicht vergessen dürfen, daß die Ringspinnmaschine tatsächlich in der Lage ist, praktisch alle wichtigen textilen Rohstoffe zu nahezu optimalen Garnen, nach den heutigen Maßstäben, zu verarbeiten. Trotzdem konnte sich das Rotorspinnverfahren (Abb. 1) technologisch weitgehend durchsetzen; die Gründe für den bisher begrenzten Markterfolg liegen, wie ich eingangs zu erläutern versuchte, auf anderen Ebenen, das heißt, daß neben das Ringspinnverfahren heute auch das Rotorspinnverfahren als weiterer, nicht mehr zu vernachlässigender Maßstab für die technische Bewertung neuer Verfahren getreten ist.

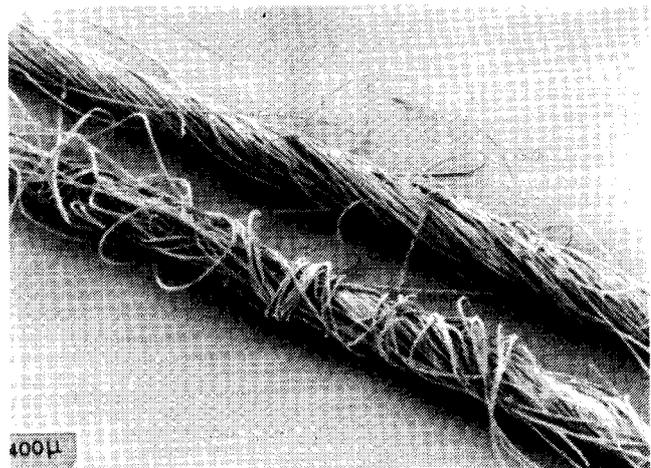


Abb. 2: Vergleich von Ringgarn und Rotorgarn

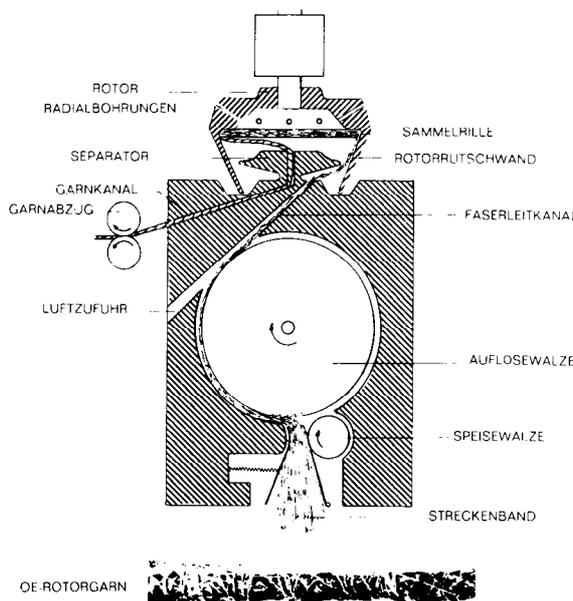


Abb. 1: OE-Rotorspinnverfahren

Zur Veranschaulichung zeigt die Abbildung 2 den Vergleich eines typischen Ringgarns mit einem typischen Rotorgarn. Interessant ist dagegen auch eine Gegenüberstellung von auf unterschiedlichen Maschinen gesponnenen Rotorgarnen (Abb. 3). Abgesehen von der unterschiedlichen Dicke bei gleicher Garnnummer und gleichem Spinnalpha, sind aber keine prinzipiellen Unterschiede zwischen den Garnen zu erkennen. Es ist dennoch eine Tatsache, daß nach dem heutigen Stand der Technik Rotorgarne nicht so gezielt hergestellt werden können, daß sie, wie in vielen Fällen die Ringgarne, heute von diesem und morgen von jenem Lieferanten und, von unterschiedlichen Maschinen kommend, austauschbar im gleichen Artikel eingesetzt werden könnten. Der sehr aufwendige Versuch, der gezielt vom Rohstoff bis zum ausgerüsteten Endartikel durchgezogen wurde und eine Gemeinschaftsarbeit mehrerer interessierter Firmen darstellt, zeigte erhebliche Unterschiede im Artikelausfall, hauptsächlich was die global mit *ästhetischen Eigenschaften* bezeich-

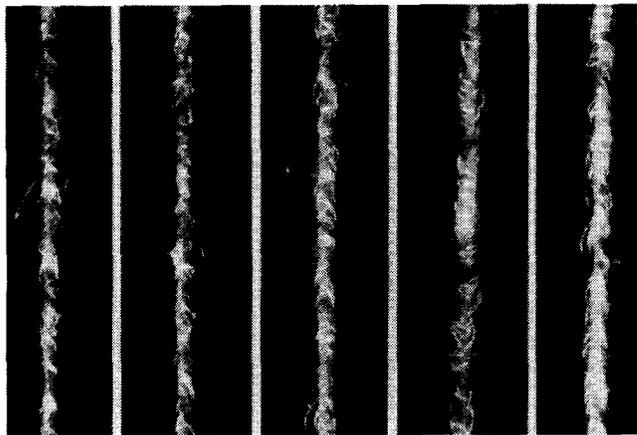


Abb. 3: Vergleich verschiedener Rotorgarne

neten Charakteristika betrifft. Dies sei nur erwähnt, um eine heute und wahrscheinlich auch in absehbarer Zukunft noch gültige Beschränkung für Rotorgarne aufzuzeigen.

Wieviel kritischer mag das werden — um einen Aspekt dieses Vortrages vorwegzunehmen —, wenn wir es mit Garnen zu tun haben, die nach Verfahren hergestellt worden sind, die auf der Kombination unterschiedlicher Komponenten, wie Spinnfasern mit Filamentgarnen oder mit Klebstoffen oder gar mit beiden gleichzeitig, beruhen!

Die zu dieser etwas ausführlichen, aber doch notwendigen Einleitung aufgezählten Kriterien, die ich zur Bewertung heranziehen möchte, sind teils politisch spekulativ, d. h., von Land zu Land mehr oder weniger relevant, doch alle im weitesten Sinne von technischer Natur. Bei einigen Hauptkriterien ergeben sich Überschneidungen, so daß eine Anzahl von Unterkriterien zwei- oder mehrfach genannt ist. Über die Rangfolge der Gewichtung könnte man diskutieren, mit der anschließenden Reihenfolge möchte ich aber trotzdem eine Möglichkeit für eine Rangfolge andeuten.

### Kriterien für die technische Bewertung neuer Herstellungsverfahren für Spinnfasergarne

#### 1. Garnqualität

- Systembedingte Garnstruktur ( ▶ Artikelbeschränkungen bzw. -präferenzen), Auspinn Grenzen, Gleichmäßigkeit auf der Schautafel
- Gleichmäßigkeit bezüglich Mischung, Färbung und Optik (im Garn und im Endartikel)
- Festigkeit, Dehnung usw. ( ▶ Sicherheit in der Weiterverarbeitung)
- Gebrauchs- und Anmutungseigenschaften im Endartikel

#### 2. Kostenfaktoren

- Investition, Kapitalzins, Abschreibung, Lizenzkosten
- Lohnkosten, Energiekosten, verfahrensspezifische Rohstoff- bzw. Hilfsmittelkosten
- Platzbedarf, Gebäudekosten, Klimakosten

- Allgemeine Kosten für Betriebsumstellung, Markteinführung des neuen Produktes
- Abfallkosten (Möglichkeit der Wiederverwendung)

#### 3. Leistungsdaten

- Gegenwärtige Leistungsgrenze (bezogen auf den zu verarbeitenden Rohstoff), erwarteter Wirkungsgrad
- Zukünftiges Potential für Produktionssteigerung durch Nachrüstung, Weiterentwicklung, Optimierung, Automatisierung
- Produktionssicherheit (gleichbleibende Qualität der Produktion und geringe Störanfälligkeit) (Ist Dauerbetrieb möglich/notwendig? Gibt es Schwierigkeiten, Fadenbrüche, Abfall beim Wiederauffahren? Gibt es systembedingte, rohstoffbedingte Stillstände und Reinigungsintervalle?)

#### 4. Automatisierung

- Gegenwärtiger Automatisierungsgrad (für den geplanten Garnnummernbereich wirtschaftlich oder unwirtschaftlich?)
- Ist zukünftiges Automatisierungspotential durch Nachrüstung bzw. Weiterentwicklung vorhanden?
- Ist die Automatisierung unabdingbare Voraussetzung für den angestrebten Hochleistungsbetrieb, Nachtbetrieb, Dauerbetrieb?

#### 5. Energiebedarf

- Energiekosten, Energiekostenentwicklung, energieverbrauchsbezogene Auflagen
- Energieverfügbarkeit und gesicherte Versorgung
- Führt Wärmeentwicklung bei hohem Energieverbrauch zu Schwierigkeiten in der Klimatisierung?

#### 6. Prozeßintegration

- Inwieweit ist die Vorbereitung des Vorlagematerials noch notwendig?
- Ist Vollintegration oder Teilintegration möglich?
- Werden weiterverarbeitungsfähige Großspulen ohne/mit Garnreinigung bzw. -überwachung erzeugt? Ist ein Umspülprozeß notwendig?

#### 7. Arbeitsplatzqualität

- Staub, Lärm, Geruch, Hitze, gesundheitsschädigende Gefahren aller Art
- Bedienungsfreundlichkeit hinsichtlich Geschicklichkeit, Intelligenz, körperlicher und nervlicher Belastung (gelernte/ungelernte Bedienungskräfte erforderlich?)

#### 8. Umweltschutz

- Standortbedingte Auflagen, Abwasserbelastung, Nachtruhestörung

#### 9. Rohstoffprobleme

- Welche Minimalforderungen gibt es bezüglich Sauberkeit, technologischer Daten, Gleichmäßigkeit, gleichbleibender Qualität, Verfügbarkeit der Rohstoffe?
- Forderungen bezüglich Titer, Schnittlänge, Avivage bei Chemiefasern (speziell oder standard?)

- Rohstoffbeschränkungen, z. B. bezüglich thermischer Belastbarkeit oder Mattierung bei Chemiefasern, Längen- und Stärkenbegrenzungen bei Fasern generell
- Sind Rohstoffmischungen möglich oder Mischungsbeschränkungen nötig?
- Preissituation bei systembedingten Hilfsmitteln und Zusatzkomponenten und deren Verfügbarkeit

10. Standortabhängigkeit

- Energie- und Rohstoffverfügbarkeit, -kosten, -beschränkungen
- Transportkosten, Installationskosten, Servicekosten, Ersatzteilkosten
- Verfügbarkeit geeigneter Bedienungskräfte (gelernt/ungelernt), Spezialisten, Führungskräfte, Servicepersonal
- Sozialgesetzgebung, Arbeitsmarktpolitik, Mitbestimmung, Gewerkschaften
- Gesetzliche Auflagen, z. B. bezüglich Nacharbeit und Feiertagsarbeit
- Kapitalkosten, Steuersätze, Vergünstigungen, wirtschaftliche Stabilität
- Klimatische Beschränkungen bzw. unverhältnismäßig hohe Klimatisierungskosten
- Gesetzliche Auflagen aller Art bezüglich Arbeitsplatzqualität, Sicherheit, Umweltschutz usw.
- Gefahr der Betriebsunterbrechung durch Versorgungsschwierigkeiten, Naturkatastrophen, Streiks, politische Verhältnisse usw.

11. Zukunftssicherheit des Verfahrens

- Zeichnen sich irgendwelche Tendenzen ab, die eine Anwendung des Verfahrens besonders vorteilhaft oder aber fragwürdig erscheinen lassen?

Bis hierher kann jedes der vorgenannten Kriterien von 1 — 10 eine ausschlaggebende Rolle spielen.

Es würde diesen Rahmen sprengen, alle im folgenden zu behandelnden Verfahren nach obiger Checkliste Punkt für Punkt zu analysieren. Ich möchte mich vielmehr darauf beschränken, pro Verfahren nur die auffallenden, potentiellen Möglichkeiten und eventuell die besonders einschneidenden Beschränkungen herauszustellen. Zu diesem Zweck möchte ich die Verfahren in Systemgruppen nach untenstehendem Schema einteilen, so daß es in vielen Fällen genügen wird, gemeinsame Kriterien einer ganzen Gruppe herauszustellen.

**Versuch einer Einteilung neuer Herstellungsverfahren für Spinnfasergarne in Systemgruppen**

*OE-Echtdrallverfahren*

- OE-Rotor
- DREF
- PF 1

*Echtdrall-Umwindungsverfahren*

- Coverspun
- Ingolstadt I

*Falschdrall-Umwindungsverfahren*

- Ingolstadt II
- Selfil
- Toyo Boseki

*Drallübertragungsverfahren*

- Du Pont

*OE-Drallübertragungsverfahren*

- Roller
- ITF-Nord
- Bobtex-ABS

*Verfahren mit Filamentkern als Spinnhilfe und Drallübertragung*

- Elektrostatisches Corespin-Verfahren
- Bobtex ICS

*Drehungslose Verfahren mit Klebefasern*

- Twilo

Die erste Gruppe, die *OE-Echtdrallverfahren*, wird bis heute weitgehend noch durch das bereits zu den klassischen Verfahren zählende, schon mehrfach erwähnte *Rotorspinnverfahren* repräsentiert<sup>1</sup>. Seine technologischen Vorzüge und Nachteile sind so gut bekannt, daß sie hier nicht im einzelnen behandelt werden, sondern vielmehr, wie schon eingangs vorgeschlagen, wie das Ringspinnverfahren als Vergleichsmaßstab für neue Technologien dienen sollen.

Die leistungsmäßige Begrenzung liegt bekanntlich in den spinntechnologisch bedingten Mindestabmessungen der Rotoren, die maßgebend sind für die in der Praxis erreichbaren Drehzahlen, wobei nicht der Maschinenbau die Grenzen setzt, sondern die Beanspruchbarkeit des zu verspinnenden Faserguts und last not least der Energieverbrauch mit seiner ständig zunehmenden gesamtwirtschaftlichen und oft unangemessen hochgespielten politischen Bedeutung. Wir können es uns nicht leisten, Verfahren, die die Wettbewerbsfähigkeit unserer Textilindustrie sichern, wegen zu hohen Energieverbrauchs zu verteufeln!

Die Leistungsgrenzen verschieben sich schlagartig in noch unbekannte Höhen, wenn man ganz auf Rotoren verzichten kann.

Ein *rotorloses OE-Echtdrall-Spinnverfahren* ist das *Friktionsspinnen*, repräsentiert durch das in kurzer Zeit populär gewordene *DREF-Spinnverfahren* (Abb. 4). Dieses wird auf dieser Tagung in einem anderen Vortrag so ausführlich beschrieben, daß ein kurzer Blick auf die Schemazeichnung ausreichend ist. Die hohen, hiermit erreichbaren Garndrehzahlen sind durch das große Durchmesser Verhältnis zwischen Siebtrommel und Garn, abzüglich Schlupf, gekennzeichnet. Ein Vergleich hinsichtlich des Leistungssprungs, der beim Übergang vom Spindeltexturieren zum Friktionstexturieren erreicht wurde, liegt nahe. Einer offensichtlich geringen Faserbeanspruchung bei der Garnbildung und beim Garnabzug steht allerdings eine weniger exakte Kontrolle des Garnbildungsvorgangs gegenüber. Dies äußert sich in einer ausgeprägten Inhomogenität der Drehungsverteilung über den Garnquerschnitt, überlagert von der systembedingten Tendenz einer abnehmenden Drehungsdichte vom

Garnkern zur Garnhülle. Die kontinuierliche Beaufschlagung der Garnbildungszone durch eine breite Faserwolke gewährleistet einen Rückdoublierungseffekt, der bei gut kontrollierten Einspeisungsverhältnissen, wie beim Rotorspinnverfahren, zu einer besonders guten Garnleichmäßigkeit über kurze Längen führen müßte. Über große Längen gilt, wie für alle Spinnverfahren, günstigstenfalls das Gesetz der proportionalen Abhängigkeit vom Vorlagematerial. Das Schemabild macht auch deutlich, daß von den Dimensionen des Aggregats her gesehen, die Rohstoffbegrenzungen sicher außergewöhnlich gering sind. Die Maschine ist tatsächlich ein ausgesprochener Allesfresser mit der Möglichkeit, z. B. Noppen für Effektgarne einzustreuen, einen Filamentkern zulaufen zu lassen und vieles andere mehr. Ihr theoretisches Leistungspotential ist sehr hoch, die Grenzen setzt hier wiederum der Garnbildungsvorgang als solcher und nicht der Maschinenbau.

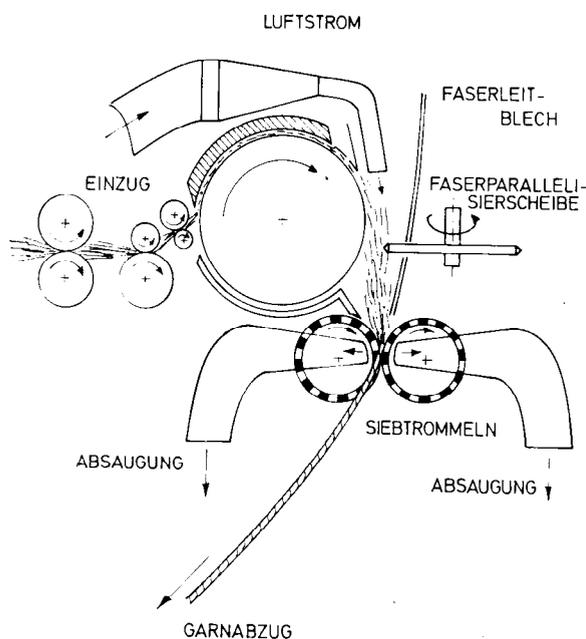


Abb. 4: Das DREF-Verfahren

Im Gegensatz zum Friktionsspinnverfahren ist das als nächstes gewählte Beispiel eines OE-Echtdrallverfahrens, nämlich das Luftwirbelspinnverfahren, in der verarbeitbaren Rohstoffpalette begrenzt. Sein zur Zeit bekanntester Vertreter, das polnische PF1-Verfahren (Abb. 5), wird ebenfalls in einem Spezialvortrag gewürdigt und wird deshalb hier nur kurz vorgestellt. Die Schemazeichnung macht deutlich, daß an dem eigentlichen Garnbildungsvorgang keine bewegten Maschinenteile mehr beteiligt sind. Die Leistungsbe-grenzung liegt demzufolge in der Effektivität der Drehungsübertragung vom Luftwirbel auf den frei in der Schwebe rotierenden Faservorratsring (der ein Analogon zum Faservorratsring der Rotorspinnmaschine darstellt) und auf die Garnkurbeln<sup>2</sup>, d. h., man hat es bei diesem Verfahren mit mehreren Garnkurbeln zu tun, die ja immerhin bei zunehmender GARDrehung ein beachtliches Gegenmoment entwickeln. Ein neueres Patent von Monsanto unterstützt den

Kurbelantrieb durch einen Garnkanal, der als Falschdrallröhrchen ausgebildet ist. In der Dimensionierung ist das Aggregat zur Zeit noch so gehalten, daß nur relativ kurze Fasern, vorzugsweise möglichst gleichmäßige Chemiefasern, bzw. deren Mischungen (z. B. mit Baumwolle) verarbeitbar sind.

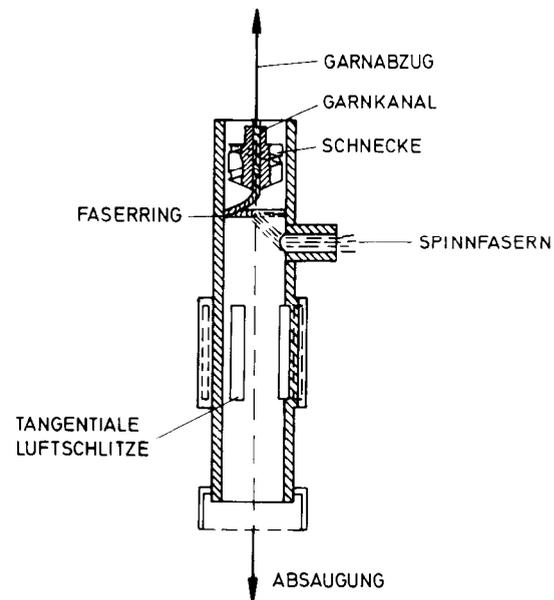


Abb. 5: Das PF1-Verfahren

Die hier vorgestellten OE-Echtdrallverfahren haben als Gemeinsamkeit eine „sauerkrautähnliche“ Garnstruktur mit mehr oder weniger ausgeprägten Bauchbinden. Die daraus sich ergebenden Garneinsatzbegrenzungen wurden in den vergangenen Jahren von zahlreichen Autoren behandelt, so daß ich sie hier als bekannt voraussetzen möchte. Als zusätzliche Gemeinsamkeit der OE-Echtdrallverfahren wäre ihr ausgesprochen günstiges Automatisierungspotential, andererseits aber auch ihr hoher Energieverbrauch zu nennen.

Gänzlich unterschiedlich von der Konzeption her ist die Gruppe der Echtdrall-Umwindungsverfahren. Die Schemazeichnung des Coverspun-Verfahrens von Leesona (Abb. 6) spricht für sich selbst. Die Faserlunte, die das ganze Aggregat axial durchläuft, bleibt völlig drehungslos, während ein möglichst dünnes Filamentgarn, das auf einem speziellen, mit hoher Drehzahl rotierenden Spülchen gespeichert ist, nach der altbekannten Methode der Umwindungsmaschine um die Faserlunte gewunden wird. Durch die weitgehende Parallellage der Fasern in der Lunte entwickeln sich durch die Umwindung hohe Haftkräfte Faser/Faser, die für eine außergewöhnlich gute Garnfestigkeit, schon bei einem relativ geringen Filamentanteil von beispielsweise 5—15%, sorgen. Die offensichtliche Leistungsbe-grenzung dieses Verfahrens liegt in der Notwendigkeit, einen, wenn auch noch so kleinen Garnträger zu drehen (Kraftverbrauch, Unwucht, teure Spindelkonstruktion); auch stellt die Vorbereitung der Spülchen einen erheblichen Kostenfaktor dar.

Beim Ingolstadt-(I)-Verfahren (Abb. 7, links) haben wir dank der Anwendung des Doppeldrahtprinzips für die

Filamentkomponente eine *feststehende* Vorratsspule; dies kann zwar die Leistungsgrenze deutlich nach oben verschieben, es müssen aber nach wie vor spezielle Vorratsspulen angefertigt werden. Sie können jedoch wesentlich größer als beim *Coverspun*-Verfahren sein, was große unterbrechungsfreie Lauflängen bedeutet und einen höheren Wirkungsgrad der Maschine ermöglicht.

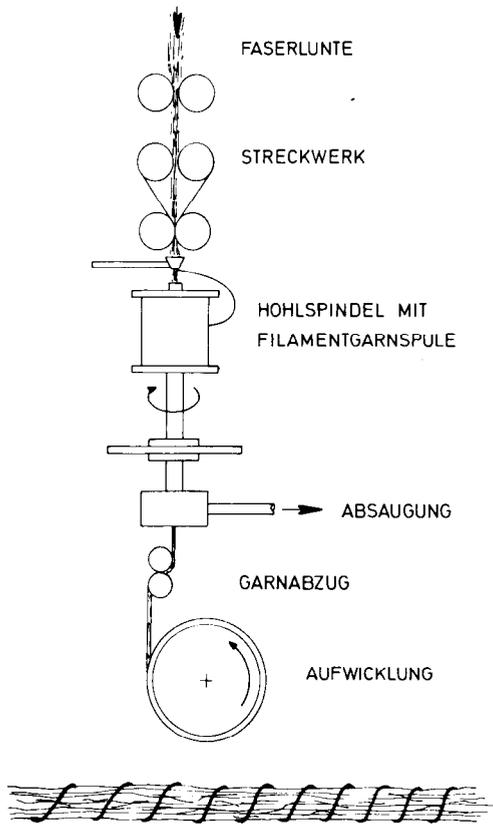


Abb. 6: Das Echte-Drall-Umwindungsverfahren

Das *Ingolstadt-(II)-Verfahren* (Abb. 7, rechts) stellt nun einen Grenzfall zwischen *Echte-Drall*- und *Falschdrall-Umwindungsverfahren* dar. Ingolstadt (I) und (II) ist gemeinsam, daß die Faserlunte jeweils einen *Falschdrall*-prozeß durchläuft, demzufolge sie im Endprodukt eigentlich in völlig ungedrehtem Zustand vorliegen müßte. Dies ist im Schnitt bei Ingolstadt (I) zwangs-

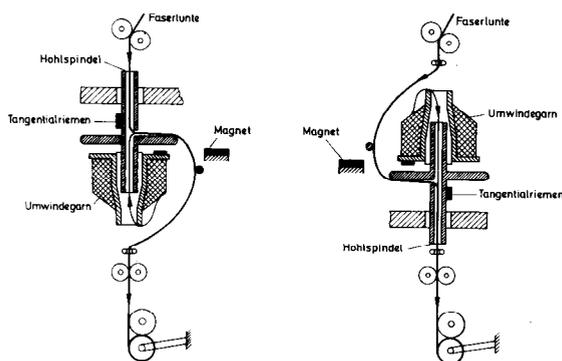


Abb. 7: Das Ingolstadt-Verfahren

läufig der Fall, bei Ingolstadt (II) liegt hingegen eine echte Drehung sowohl der Faserlunte als auch der Filamentkomponente im Endprodukt vor. Die prinzipielle Entstehung von einem *Echte-Drall* durch einen *Falschdrall* wurde erstmals in einem alten AKU-Patent beschrieben<sup>4</sup> und liegt dem heute noch angewandten sogenannten *Direktkordierverfahren* zugrunde. Bei den Ingolstadt-Konzeptionen fühlt man sich an typische *Doppeldrahtzwirnm*aschinen mit der bekannten *Arretierung* der Vorratsspule durch ein magnetisches Feld erinnert. Die *Bedienungsfreundlichkeit* und das *Automatisierungspotential* ist bei beiden Verfahren sicher gering, umsomehr muß konstruktiv für lange bruchfreie Laufzeiten gesorgt sein. Der *Kraftbedarf* richtet sich nach den Dimensionen des *Fadenballons* oder nach der Größe des in derselben Patentschrift<sup>5</sup> beschriebenen, mit der *Hohlspindel* drehfest verbundenen *Ballonbegrenzungstopfes*, der in den vorliegenden Schemazeichnungen weggelassen wurde.

Ein sehr ähnliches Gedankengut wird auch in einer *Offenlegungsschrift* der Firma *Hoechst*<sup>6</sup> dargelegt, wie überhaupt das ganze Gebiet der *Umwindungs-garne* zur Zeit ein bevorzugtes Feld für neue *Patent-anmeldungen* ist<sup>7</sup>.

Man fragt sich, ob nicht diese vielerorts begonnenen *Aktivitäten* auf dem Gebiet der *Filament/Faserkombinationen* durch das Bekanntwerden des *Selfil-Verfahrens* (Abb. 8) stimuliert wurden. Das *Selfil-Verfahren* ist der *Klassiker* unter den *Falschdrallumwindungsverfahren* und bedient sich dazu des bekannten *Repc*o-*Self-Twist-Prinzips*: Damit werden, unabhängig von der *Garnnummer*, *Liefargeschwindigkeiten* von weit über 300 m/min möglich — Werte, die von den bisher beschriebenen *Umwindungsverfahren* kaum erreicht werden dürften. Während ich bezüglich der *Funktionsweise* und der *Garneigenschaften* von *Selfil* wieder auf die *Literatur*<sup>8</sup> verweisen möchte, soll hier doch auf eine offensichtliche *Beschränkung* der *Selfil-Garne*

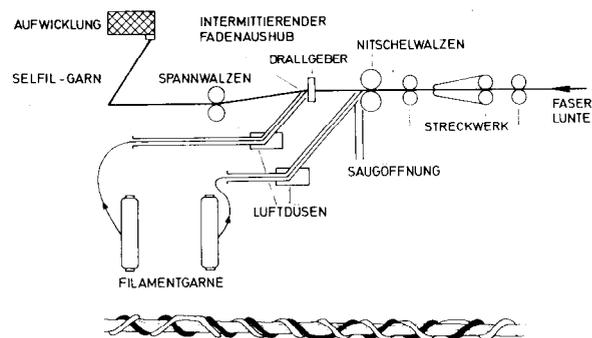


Abb. 8: Das Selfil-Verfahren

hingewiesen werden. Die außergewöhnlich hohe *Produktionsleistung* wird erkauft durch die *Notwendigkeit*, zwei *Umwindungsfilamentgarne* *gleichzeitig* einzusetzen, wie man an dem *idealisierten Garnbild* (Abb. 8) erkennen kann. Dies ist zum einen *kostspielig* und bedingt eine *ziemlich komplizierte Maschine* und kann zum anderen auch bedeuten, daß der *Filamentgarnanteil* unerwünscht hoch wird, so daß sich *stärkere Artikelbeschränkungen* ergeben können.



Abb.9: Selfil-Garn

Die Abweichung praktisch hergestellter Garne vom theoretischen Idealbild wird in Abbildung 9 demonstriert. Die hier vorzufindenden unterschiedlichen Faser/Filament-Konfigurationen sind eigentlich fast zu erwarten und bei dem angewandten Umwindungsprinzip so gut wie unvermeidbar.

Beim Toyo-Boseki-Verfahren (Abb. 10) handelt es sich ebenfalls um ein *Falschdrall-Umwindungsverfahren*.

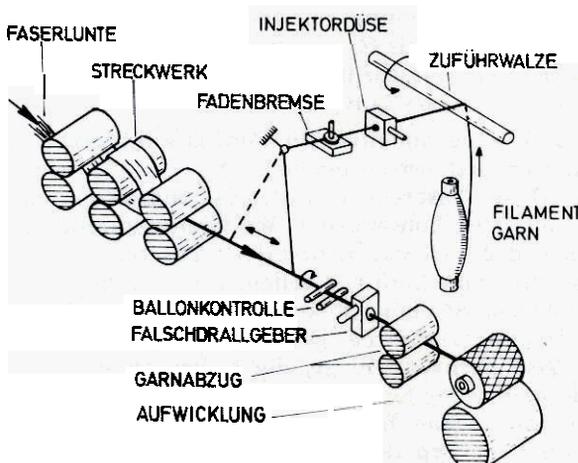


Abb.10: Das Toyo-Boseki-Verfahren

Diesmal haben wir es aber mit einem Garnerzeugnis zu tun, bei dem nur ein Umwindungspartner, aber in wechselnder Richtung, in größerer Menge und in mehr oder weniger *zufälliger* Anordnung aufgewunden ist. (Sollte sich die Umwindung in ihrer Intensität aus irgend einem Grund systematisch, z. B. periodisch, ändern, so ist allerdings die Gefahr einer Bilderrung im Fertigartikel groß.) Beim Selfil-Garn ist dagegen vom Prinzip her eine systematische Periodizität eingebaut, es findet hier aber keine lokale Anhäufung der Filamentumwindung statt, so daß die Bilderrungsgefahr geringer ist.

Bei Toyo-Boseki wird nicht wie bei Selfil dem Garn wechselweise ein S- und Z-Drall, sondern ein *kontinuierlicher Falschdrall* in einer Richtung aufgezwungen. [Die deutsche Offenlegungsschrift<sup>9</sup> erwähnt z. B. einen pneumatischen Drallgeber.] Durch die Kontinuität der Drallerteilung und durch die Tatsache, daß nur die Garnkomponenten selbst noch bewegt werden müssen, ergibt sich ein maximales Leistungspotential, das jenes der bisher beschriebenen Verfahren deutlich übersteigen durfte.

Wie entsteht nun im fertigen Erzeugnis (Abb. 10) zonenweise ein S- und Z-Echtdrall aus dem ursprünglich vorhandenen, nur in einer Richtung verlaufenden Falschdrall der Lunte, mit der ebenfalls nur in einer Richtung erfolgten *Umwicklung* durch das Filamentgarn? Dieses auf den ersten Blick erstaunliche Phänomen ist in der Texturierung als unerwünschte Erscheinung bekannt und wurde erstmals 1963 von Du Pont für eine gezielte Anwendung in der Spinnfasergarnherstellung vorgeschlagen<sup>14</sup>. Du Pont nennt diesen Effekt *twist transference*, zu deutsch also *Drallübertragung*. Vom Texturieren her wissen wir, daß Drallschwankungen in der Falschdrallzone zu zugeordneten Stellen führen. Das sind kurze Garnabschnitte, die sich im Bereich, in dem der Falschdrall bereits wieder aufgelöst ist, als echtgedrehte Stellen erweisen; z. B. führt bei Z-Falschdraht ein kurzfristiger Dralliüberschuss in der Falschdrallzone zu einer zugeordneten Stelle in Z-Richtung, bei kurzfristigem Dralldefizit zu einer zugeordneten Stelle in S-Richtung.

Wie entsteht nun ein Dralliüberschuss und Dralldefizit beim Toyo-Boseki-Verfahren? Durch einen *sich selbst aufschaukelnden Mechanismus* bewegt sich das Filamentgarn vor und zurück (Abb. 10). Relativ zum konstanten Falschdrall stellt sich dann bei Bewegung in Fadenaufrichtung ein Dralliüberschuss, bei Bewegung in entgegengesetzter Richtung ein Dralldefizit ein. Es ergeben sich also zwangsläufig im fertigen Faden echtgedrehte Umwindungszonen des Filamentpartners in abwechselnder Richtung, die sich durch die vorausgegangene Hin- und Herbewegung des Fadens zusätzlich überlappen und sich so gegenseitig stabilisieren, wie es das idealisierte Garnbild (Abb. 10) darzustellen versucht.

Die beim Toyo-Boseki-Verfahren besonders augenfällige Wirkung des Dralliübertragungseffektes leitet zwanglos zu den Dralliübertragungsverfahren über, denen somit definitionsgemäß gleichzeitig auch das Toyo-Boseki-Verfahren angehört. Die im folgenden beschriebenen Verfahren beruhen jedoch ausschließlich auf der Übertragung eines Dralldefizits. Sollten in einer Falschdrallzone ständig Drallverluste, aber nie Dralliüberschüsse auftreten, dann ist dies nur möglich, wenn das System so konzipiert ist, daß *zwangs-*

läufig und kontinuierlich ständig ein Teil des Falschdralls *unwiederbringlich verloren geht*. Eine solche Konzeption ist *nur mit offenen Faserenden* in der Falschdrallzone zu verwirklichen. Dies wird am deutlichsten bei der Betrachtung des klassischen Du Pont-Drallübertragungsverfahrens (Abb. 11). Am Streckwerk Ausgang werden die Fasern praktisch vereinzelt dem Saugluftstrom in der Spinnkammer übergeben, wo sie auf den Vereinigungspunkt zweier getrennt zugeführter und sich durch Falschdrall miteinander verzwirnender Filamentgarne zufliegen und dort im Zwirndreieck eingefangen werden. Auch hier wird in der Patentschrift<sup>10</sup> ein pneumatischer Drallgeber vorgeschlagen. Auf dem Weg vom Zwirndreieck zum Drallgeber erhalten auch die mit einem Teil ihrer Länge eingebundenen Einzelfasern einen Falschdrall, wobei die maximale Drallhöhe dieser Teillängen der praktisch erreichten Falschdrallhöhe der Filamentgarne entspricht. Die *nichteingebundenen* Teillängen erhalten jedoch *weniger* und im Grenzfall *überhaupt keinen Falschdrall*, sondern drehen sich als offene Faserenden frei im Raum. In der Falschdrallzone entsteht somit ein nicht- oder schlechteingebundenes Spinnfaseranteil ein ständiges Dralldefizit. Dieses Dralldefizit wird nach der theoretischen Erwartung und praktischen Erfahrung nach der Falschdrallauflösung als Echtdrall der freien Faserenden in Form von mehr oder weniger dichtgewickelten *Bauchbinden* wiedergefunden. Die Bauchbinden haben dieselbe Funktion wie die Umwindungsfilamente bei den vorher beschriebenen Verfahren. Durch die *Bauchbinden* können sich allerdings größere Artikelbeschränkungen ergeben als bei den regelmäßigeren Filamentgarnumwindungen.

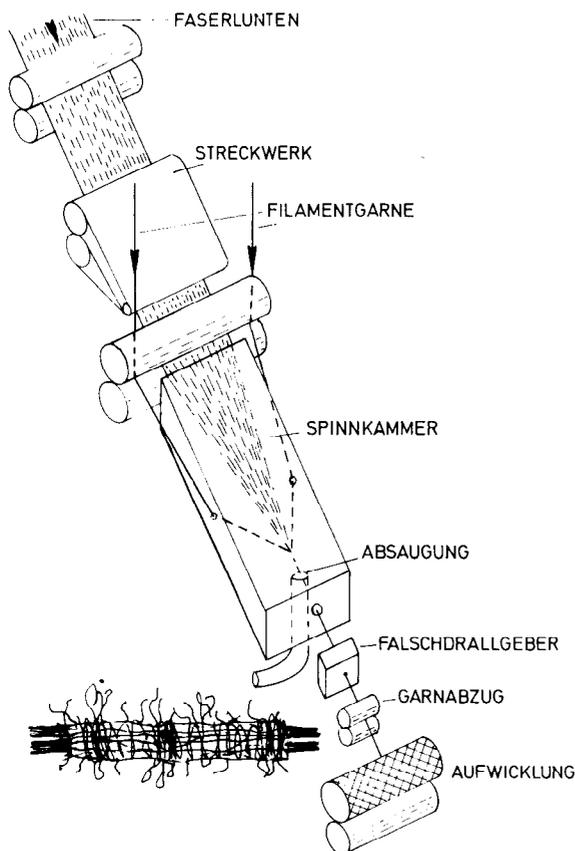


Abb. 11: Das Du Pont-Drallübertragungsverfahren

Ich habe dieses seit langem bekannte Du Pont-Verfahren hier noch einmal vorgestellt, da es den Mechanismus der Drallübertragung, der auch den folgenden Systemen prinzipiell zugrunde liegt, am deutlichsten zeigt. Es gehört nicht zu den Herstellungsverfahren für Spinnfasergarne im alltäglichen Sinne, sondern wird zur Erzeugung ganz spezieller Garne für technische Einsatzgebiete angewandt. Denkt man sich jedoch einmal die Filamentgarne durch sehr langstapelige Spinnfasern, die sich vom Streckwerk bis zum Drallgeber erstrecken können, ersetzt, dann hat man im Prinzip das Du Pont-Rotofil-Verfahren. Diese extra

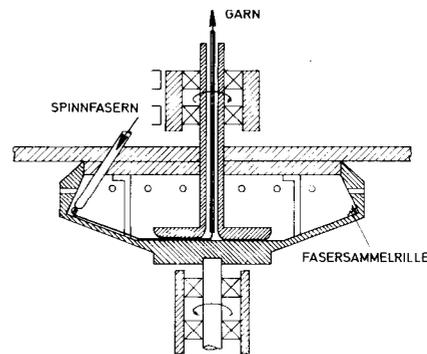


Abb. 12: Das Roller-Verfahren

langen Fasern ohne offenes Ende in der Falschdrallzone bekommen dann den *vollen Falschdrall* mit und liegen demzufolge nach Auflösung des Falschdralls als *ungedrehter Kern* vor, der durch die von den kürzeren Fasern gebildeten *Bauchbinden* zusammengehalten wird. Das prinzipiell hochinteressante Rotofilverfahren<sup>11</sup> soll aber hier nicht mehr in Detail behandelt werden<sup>12</sup>. Es wurde trotz seines offensichtlich sehr hohen Leistungspotentials und seines vermutlich weitgehenden Integrationsgrades von Du Pont offiziell zurückgezogen, angeblich aus Gründen ungenügender Wirtschaftlichkeit. Bei einer angenommenen Leistung in der Größenordnung von 1000 m/min müßte genügend Spielraum für Kapitalkosten vorhanden sein, so daß die Erklärung für den Mißerfolg bei der Fachwelt in einem zu hohen Luftverbrauch gesucht wird.

Die soeben behandelten Du Pont-Drallübertragungsverfahren sind also systembedingt auf das Vorhandensein offener Faserenden in der Falschdrallzone angewiesen. Eine konsequente Weiterentwicklung kann heißen, daß sich *nur noch offene Faserenden* in der Falschdrallzone befinden sollen. Ich habe deshalb für die folgende Systemgruppe die Bezeichnung *OE-Drallübertragungsverfahren* gewählt. Es sind allerdings nur Verfahrensvorschläge, die bisher ohne kommerzielle Bedeutung sind. Ihr systembedingtes Leistungspotential ist aber hoch und ist in erster Instanz abhängig vom Typ des eingesetzten Falschdrallgebers. Das *Roller-Verfahren* (Abb. 12) bedient sich der wesentlichen Konstruktionselemente der Rotorspinnmaschine<sup>13</sup>.

Der sich relativ langsam, z. B. mit 10.000 U/min, drehende Rotor bildet analog zur Rotorspinnmaschine einen Faservorratsring, allerdings mit einem geringeren, der reduzierten Drehzahl entsprechenden Rückdoublierungseffekt. Die *Garnkurbel* kann nicht mit

dem Rotor rotieren, sondern wird in ihrer Position festgehalten, so daß sich das freie Garnende nur um sich selbst drehen kann. Es dreht sich, angetrieben durch Friktionswirkung, zwischen dem Rotorboden und der gegenläufig angetriebenen, von oben drückenden Friktionsscheibe. Beim Garnbildungsvorgang in der Einbindungszone der Fasersammelrille geht ein Teil des Falschdralls verloren, da die freien Fasernenden zum Teil keine sofortige oder unter Umständen überhaupt keine Einbindung erfahren, sondern sich gewissermaßen „nutzlos“ oder wirkungslos im freien Raum drehen. Das Dralldefizit wird nachher, wie jetzt einwandfrei zu verstehen ist, als Echtdrall im fertigen Garn wiedergefunden.

Wie ist nun das Potential dieses Verfahrens im Vergleich zum Rotorspinnverfahren einzuschätzen?

Von der Garnstruktur her muß man mit einer noch größeren Unordnung rechnen. Die Garngleichmäßigkeit muß wegen des reduzierten Rückdoublierungseffektes ebenfalls zwangsläufig schlechter ausfallen. Die Bedienung des Aggregats dürfte ziemlich schwierig sein, entsprechend gering ist sicher das Automatisierungspotential. Als OE-Drallübertragungsverfahren hat es aber ein hohes Leistungspotential bei niedrigem Energieverbrauch, ein gemeinsamer Vorteil aller Verfahren, die mit Falschdrall arbeiten. Die Investitionskosten müßten eigentlich in derselben Größenordnung wie beim Rotorspinnverfahren liegen. Bei den genannten, durchaus gewichtigen Vor- und Nachteilen dürfte demnach bei diesem „Modellvergleichsfall“ — bei dem sich äußerlich ähnlich sehenden Verfahren — die Garnqualität den Ausschlag geben! Dies soll aber wirklich nur ein Modellvergleich sein, und ich werde nachher darauf zurückkommen, daß bei allen Vergleichen größte Vorsicht angebracht ist.

Die Schemazeichnung des *ITF-Nord-Verfahrens* (Abb. 13) spricht für sich selbst. Die Fasersammelrille ist hier durch ein Nadelkarussell<sup>14</sup> ersetzt. Die Auflösewalze überträgt nach dem Prinzip einer Karde die Fasern, hier vorzugsweise Langfasern, auf die Nadeln.

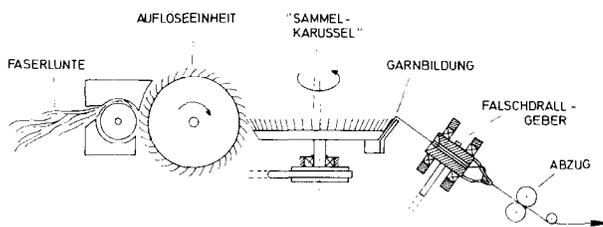


Abb. 13: Das ITF-Nord-Verfahren

Das durch den Falschdrallgeber angetriebene freie Garnende bindet auf der anderen Seite des Karussells die Fasern unter erheblichem Drallverlust ein, ohne den, wie wir jetzt wissen, das System nicht funktionieren würde. Der Rückdoublierungseffekt ist hier praktisch nicht mehr existent, während die Faserkontrolle bei Faserübergabe und Abnahme technologisch gut beherrschbar erscheint. (Das Verfahren hat das Stadium des Prototyps bereits hinter sich und könnte ein ernsthafter Konkurrent auf dem Sektor der Langfaserverarbeitung werden.)

In dieselbe Kategorie gehört schließlich noch das schon

im Jahre 1971<sup>15</sup> veröffentlichte *Bobtex-ABS-Verfahren* (Aerodynamic-Break-Spinning, Abb. 14), das im Funktionsprinzip dem ITF-Nord-Verfahren völlig analog ist. Seine schwache Stelle ist die Einbindezone. Der leichte Klemmpunkt, der rein äußerlich gesehen zwischen der Siebtrommel und der nur ganz schwach angedrückten Anpreßrolle existieren müßte, hat ein simultanes Gleitenlassen, Rotierenlassen und andererseits auch wieder Festhalten und Transportieren der Fasern zu bewerkstelligen. Ein technologisch nicht leicht zu bewältigendes Problem!

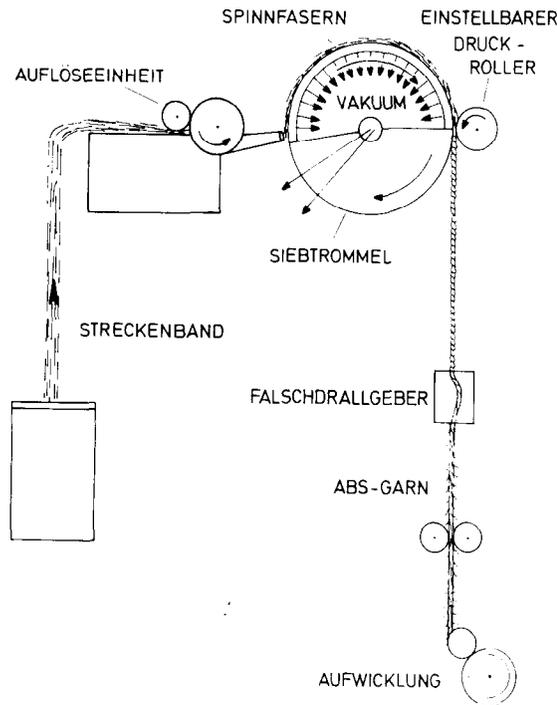


Abb. 14: Das Bobtex-ABS-Verfahren

Tatsächlich hat man schon einige Zeit nichts mehr von dem Verfahren gehört.

Die Definition der vorletzten hier vorgestellten Systemgruppe klingt mit der Bezeichnung: „Verfahren mit Filamentkern als Spinnhilfe und Drallübertragung“ kompliziert; die gewählten Beispiele bedürfen aber nach dem Vorausgegangenen praktisch keiner Erklärung mehr. Das elektrostatische *Coerspin-Verfahren* (Abb. 15) wurde ebenfalls schon vorgestellt<sup>16</sup>.

Ursprünglich vom Battelle-Institut als reines Drallübertragungsverfahren mit Faserführung im elektrostatischen Feld konzipiert, haben die Entwicklungsnachfolger aus der Not eine Tugend gemacht und die technologisch äußerst empfindliche Faserkontrolle durch das Zulaufenlassen eines Filamentkerns in den Griff bekommen. Während das Filamentgarn also eigentlich als Spinnhilfe verstanden werden muß, erfüllt es im Garn den Zweck einer Armierung. Bei dem Erzeugnis haben wir es also mit einem Coregarn mit entsprechend höherem Marktwert zu tun, was bei Kostenvergleichen berücksichtigt werden muß. Während das Verfahren technisch durchaus aussichtsreich erscheint, wird sein Erfolg vom Marktbedarf für diese höherwertigen Garne abhängen. Bei einer eingehenden technischen Analyse könnte man allerdings nicht

umhin, auch einige Negative ins Feld zu führen. So könnte man z. B. unter der Rubrik „Arbeitsplatzqualität“ argumentieren, daß die für die Funktion erforderlichen hohen elektrischen Spannungen sicher eine psychologische Barriere für das Bedienungspersonal darstellen. Auch gerät das elektrostatische Prinzip vermutlich bei Abweichungen der Rohstoffeigenschaften — wahrscheinlich speziell einzustellen — außer Kontrolle; dasselbe ist bei Klimaschwankungen zu befürchten.

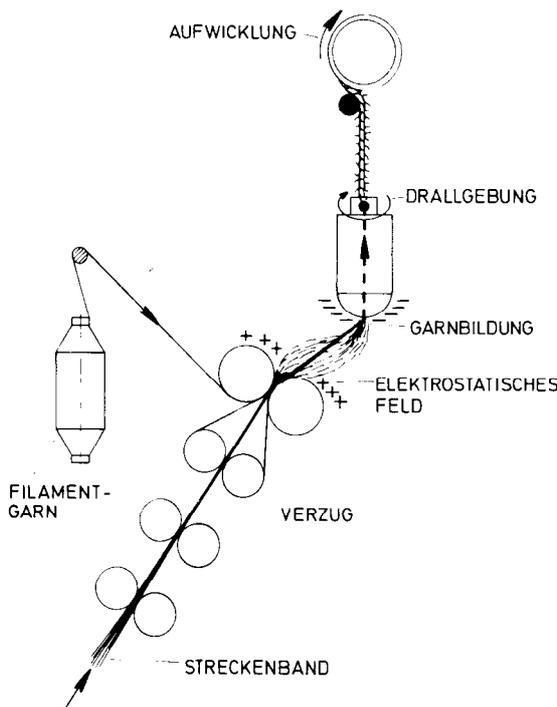


Abb. 15: Das Corespinn-Verfahren

Der Hauptzweck dieser Arbeit sollte sein, die Komplexität einer technischen Bewertung aufzuzeigen und herauszustellen, daß die richtige Gewichtung der Positiva und Negativa ausschlaggebend ist und nicht deren bloße Nennung. Da aber, wie im obigen Falle und bei den vorangegangenen Beispielen ein Rahmen gesteckt war, können nur einige besonders auffallende Kriterien pro Verfahren bewertet oder genannt werden, was heißt, daß diese Feststellungen nicht als fundierte Wertung oder gar als abschließendes Urteil verstanden werden dürfen. Für die richtige Gewichtung der einzelnen Kriterien bedarf es in jedem Falle einer gewissenhaften Analyse und Vertiefung.

Mit dieser vorsichtshalber wiederholten Einschränkung möchte ich noch ein zweites Verfahren der Systemgruppe „mit Spinnhilfe“ erwähnen, nämlich das Bobtex-ICS-Verfahren (Integrated-Composite-Spinning), das ebenfalls ursprünglich ohne Spinnhilfe konzipiert war. Seinen Durchbruch als Herstellungsverfahren auch für textile Garne, zu dem es sich in den letzten Jahren gemausert hat<sup>17</sup>, verdankt es der Filamentstütze, die die Herstellung feinerer und vor allem weicherer Garne erlaubt; letzteres ist allerdings stark beeinflusst durch die Entwicklung einer speziell weichen Polypropylenvariante als Verklebungskompo-

nente. Die Funktionsweise geht aus der Schemaskizze (Abb. 16) ziemlich klar hervor. Der Ordnung halber sei noch begründet, warum auch dieses Verfahren zu den Drallübertragungsverfahren gehört, obwohl ein offenes Ende auf den ersten Blick nicht sichtbar ist.

In der Falschdrallzone ist die Klebekomponente noch in plastischem Zustand. Der Falschdrall, d. h. die mit dem Falschdrall einhergehenden Scherkräfte, bringt den plastischen Anteil mitsamt den angeklebten Fasern zum Fließen, so daß zumindest in der Klebekomponente und in der Faserhülle ein Drallverlust entsteht. Im fertigen Garn äußert sich dies in einer deutlich erkennbaren, entgegengesetzt gerichteten Drallstruktur. Den tausend Möglichkeiten, mit dem Bobtex-ICS-Verfahren Filamentkerne von unterschiedlichen Eigenschaften mit entsprechenden thermoplastischen Polymeren und fast beliebigen Faserhüllen zu kombinieren, stehen sicher ebensoviele Schwierigkeiten gegenüber. Eine spezielle Analyse bezüglich der Einsatzbeschränkungen wäre sicher hochinteressant.

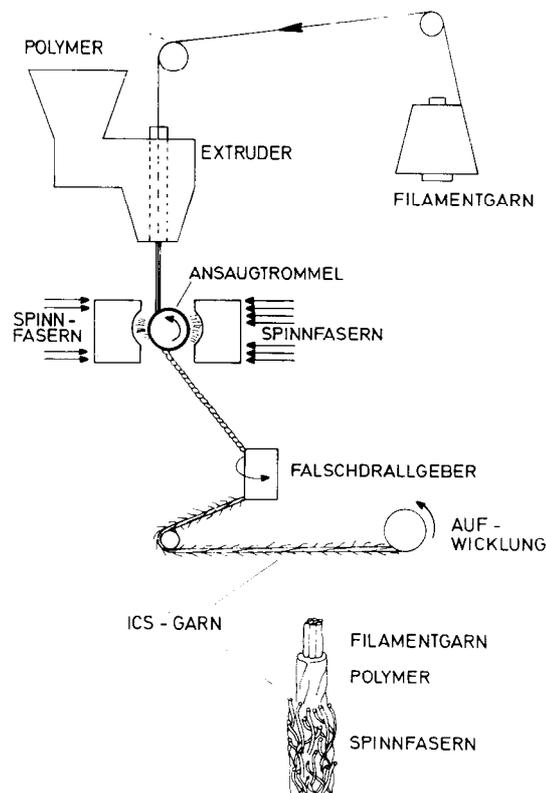


Abb. 16: Das Bobtex-ICS-Verfahren

Ein Negativum ist aber auch — trotz der hohen Leistung von heute: 760 m/min — der unverhältnismäßig hohe Kapitaleinsatz, da ein Extruder nur zwei Spinnstellen versorgen kann.

In der Systematik an letzter Stelle steht nun eine Gruppe, deren Endprodukt, trotz Anwendung eines Drallgebers im Verlauf der Garnerzeugung, wirklich völlig drehungslos ist.

Als einziger zur Zeit diskutierter Vertreter der drehungslosen Verfahren mit Klebefasern soll hier das

Twilo(twistlos)-Verfahren (Abb. 17) behandelt werden. Das vorgelegte konventionell hergestellte Streckenband, vorzugsweise aus zellulosischen Chemiefasern, enthält eine Beimischung von 7-10 % Polyvinylalkoholfasern. Diese sind ab einer bestimmten Temperatur (z. B. 80 °C) wasserlöslich.

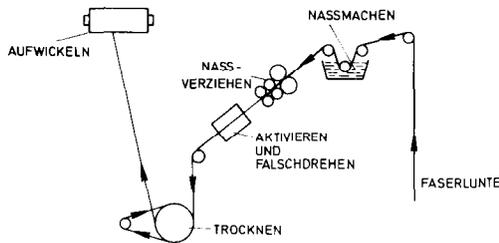


Abb. 17: Das TWILO-Verfahren

Die Mischlunte wird zuerst naß gemacht, auf die Endfeinheit verzogen und anschließend in einem Falschdrallgeber, der mit Dampf betrieben wird, auf ca. 80 °C erhitzt und gleichzeitig gedreht. Dabei werden die PVA-Bindefasern angelöst (aktiviert), und das ganze Fasersträngchen wird verklebt. Der Falschdrall soll das Fasersträngchen vor der Aktivierung verdichten. Da kein Drallverlust eintritt, ist das Endprodukt völlig ungedreht. In der letzten Behandlungszone wird

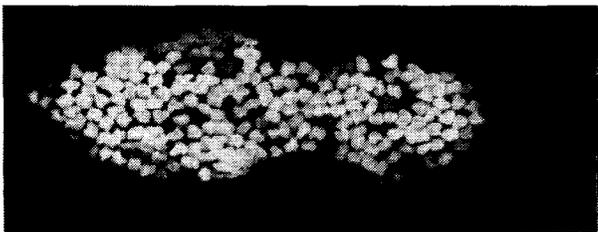


Abb. 18: TWILO-Garn: bändchenförmiger Querschnitt

der Faden durch vielfache Umschlingung einer beheizten Galette getrocknet und dann aufgewickelt. Liefergeschwindigkeiten von mehreren Hundert m/min sind erreichbar bei einem Garnnummernbereich von 125 dtex (Nm 80) an und größer, wobei der Bereich zur groben Seite hin, vermutlich durch die Kapazität der Trockengalette, begrenzt ist. Der Garnausfall ist bei fast vollständiger Faserparallellage glatt, schlicht und stark bändchenförmig (Abb. 18 u. 19). Die



Abb. 19: TWILO-Garn: Bändchenform im Gewebe

Bändchenform verliert sich aber weitgehend bei der Ausrüstung (Abb. 20), wobei der PVA rückstandslos ausgewaschen wird. Dabei verschwindet auch die große Steifheit des Klebegarns. Zwischen den Parametern: PVA-Gehalt, Steifheit und Widerstandsfähigkeit gegen Beanspruchung bei der Weiterverarbeitung muß der optimale Kompromiß gefunden werden. Für Details bezüglich bevorzugter Einsatzgebiete möchte ich wieder auf die Literatur<sup>18</sup> verweisen. Im Prinzip müssen solche Anwendungen gefunden werden, wo die totale Faserparallellage im Flächengebilde funktionelle und ästhetische Vorteile bietet. Stichworte sind: Lüster, seidiger Griff und hohe Deckkraft. Letztere kann beispielsweise vorteilhaft für die Konstruktion besonders dünner Gewebe für eine Beschichtung sein, wobei darüber hinaus noch Beschichtungsmasse eingespart werden kann. In Strickwaren wird ein Maschenschräglauf vermieden.



Abb. 20: TWILO-Garn: runde Form im Gewebe

Die naturgemäß in der Literatur besonders herausgestellten Anwendungsvorteile haben uns veranlaßt, im eigenen Hause technologische Prüfungen an TWILO-Garnen und -Flächengebilden vorzunehmen, wobei wir beispielsweise hinsichtlich der Weiterreißfestigkeit zu besseren Ergebnissen gekommen sind, als Lord<sup>19</sup> im Jahre 1975 in Dornbirn anhand theoretischer Überlegungen vermutete. Aufgrund der erhöhten Faserbeweglichkeit erzielt man mit TWILO-Garnen bei den üblichen, nicht zu stark flottierenden Gewebekonstruktionen bessere Weiterreißfestigkeitswerte als mit gedrehten Garnen. Die Gewebereißfestigkeit, gemessen nach der üblichen Streifenmethode in Richtung der TWILO-Garne, ist bei kurz abgebundenen Konstruktionen erwartungsgemäß gleich hoch wie bei gedrehten Garnen, fällt aber dann bei zunehmend flottierenden Bindungen sehr schnell ab. Dies trifft erwartungsgemäß auch hinsichtlich der Pillingresistenz zu. Bei Maschenwaren ist diese ebenfalls generell schlechter als bei der Verwendung von gedrehten Garnen.

Wenn man vom Bobtex-ICS-Verfahren absieht, von dem auf dem traditionellen Textilsektor praktisch noch keine Erfahrungen vorliegen, dürfte das TWILO-Verfahren als einziges zur Zeit diskutiertes Klebverfahren beim Textilfachmann wegen der ungewöhnlichen Herstellungsweise am ehesten auf eine psychologische Barriere stoßen. Auch beim Versuch einer objektiven technischen Bewertung nach den hier vorgeschlagenen Kriterien ist die Gefahr einer zu negativen Beurteilung groß, da es hier sehr viele abweichende Parameter gibt, deren Gewichtung dem Textiltechnologen schwerfällt, wobei auch noch beim Ungewohnten immer die Tendenz zu einer Überbewertung von negativen Aspekten besteht. Als Textiltechnologen fällt es auch mir schwer, das Verfahren vorurteilsfrei zu

bewerten. Ich möchte deshalb davon absehen und es anheimstellen, nach dem vorgeschlagenen Schema selbst einmal den Versuch einer Beurteilung zu machen. Sie werden dann auf Punkte stoßen, wie etwa die Abwasserbelastung durch die 100%ige Entfernung des PVA-Anteils!

Vielleicht sind aber gerade bei diesem Verfahren die Aspekte für den Garneinsatz positiv, und das hier mit Skepsis angeführte Argument, man müsse eben garn-gerechte Artikel konstruieren, hat in diesem Falle eine echte Berechtigung.

Es darf auch nicht übersehen werden, daß TWILO kein „Sauerkrautgarn“, sondern eher ein eleganter Seidenfaden ist!

Abgesehen von der zitierten Literatur, möchte ich für weitere technische Einzelheiten, Garneinsatzgebiete und sonstige Informationen über die hier vorgestellten Verfahren auf eine technische Information der Enka AG<sup>3</sup> verweisen.

Noch ein Wort allgemein zum *Integrationspotential* der Verfahren. Ein heute für selbstverständlich gehaltenen Integrationsschritt ist die Einsparung des Flyers, in speziellen Fällen sogar der Strecke. Trotzdem ist bei einigen Verfahren in den Schemazeichnungen noch der Einsatz einer Flyerlunte angedeutet. Oft wird neutral nur von *Lunte* gesprochen. Eine uralte Integrationsidee, nämlich die *Lunte* aus einem speziellen Chemiefaserkabel auf der Spinnmaschine selbst, z. B. mit Hilfe eines Reißstreckwerkes, herzustellen, könnte heute durchaus wieder fröhliche Urständ feiern, nachdem man jetzt den alten Flaschenhals des Prozesses, nämlich die Ring/Läufer-Kombination, elegant umgehen kann. Bei um Größenordnungen höheren Leistungen des Garnbildungsaggregates könnten die teuren Reißstreckwerke wirtschaftlich wieder attraktiv werden. Ich bin überzeugt, daß die Chemiefaserindustrie, sobald die Forderung konkret gestellt wird, geeignetes Vorlagematerial liefern wird.

Hinsichtlich der *Vorwärtsintegration* heißt die Forderung der Textilindustrie: Ablieferung von weiterverarbeitbaren Großspulen, möglichst mit Garnreinigung und Paraffinierung, d. h. Einsparung des Umspulprozesses. Die Maschinenbauer können heute diese Forderung erfüllen. Ein Handicap sind aber nicht genügend saubere und gleichmäßige Rohstoffe, so daß ein bevorzugter Einsatz von unter Umständen speziell angepaßten Chemiefasern zwingend wird. Dasselbe gilt sinngemäß für die Automatisierung. So stellen sich immer wieder gegenseitige Abhängigkeiten der Hauptkriterien bei der komplexen technischen Bewertung eines Verfahrens heraus.

Ein ungelöstes Problem ist auch noch die nicht ausreichende und nicht genügend preiswerte Verfügbarkeit von speziell feinen Filamentgarnen, vorzugsweise von Monofilen, für die Umwindung. Die Maschinenbauer verlassen sich offenbar auf den Trend bei Filamentgarnen, in Relation zu den übrigen textilen Rohstoffen immer billiger zu werden. Hier kann ich verbindlich sagen, daß dieser Trend nicht anhalten wird.

Die Filamentkosten bei Umwindungsgarnen werden also ein nicht zu vernachlässigender Faktor bleiben. Trotzdem wird auch hier die Chemiefaserindustrie mit speziellen Entwicklungen reagieren, sobald sich ein deutlicher Marktbedarf auftut.

Die hochinteressanten Ausführungen von Lord<sup>19</sup> anlässlich der 15. ICT-Dornbirn und wertvolle Hinweise von Stalder<sup>20</sup> bei der ADT-Tagung in Lindau 1976 gaben ausschlaggebende Anregungen, so daß auffallende Parallelitäten nicht rein zufällig sind. Man kann den Gedankengängen der genannten Autoren nur voll und ganz zustimmen. Auch in der Feststellung, daß die Einführung eines neuartigen Verfahrens in der Textilindustrie umso zähflüssiger vor sich geht, je ungewöhnlicher es ist. Eine technisch gute Lösung ist also noch keine Garantie für den Markterfolg.

#### Literatur

- 1) Gayler, J. und Schüren, A.; Chemiefasern/Text. Ind., S. 430-434, Mai 1977; S. 591-599, Juli 1977
- 2) Buchmann, H.; Melliand Textilber., S. 430-434, Juni 1975
- 3) Enka AG Wuppertal; Technische Information: Faser-garne nach neuen Spinnverfahren
- 4) Michelitsch M.; Melliand Textilber., S. 365-368, April 1958; S. 477-480, Mai 1958
- 5) DOS Nr. 2729060
- 6) DOS Nr. 2727113
- 7) OE-Report, Vol. 2, Nr. 11, S. 7/8, Nr. 12, S. 2/3; Vol. 3, Nr. 13, S. 10/11, Nr. 14, S. 9/10; Brit. Pat. Nr. 1,423,484; N. N., Textilbetrieb, S. 21, Juli/August 1977; Caban J. C.: „Coverspun“; The Natural Fibres Textile Conference; Atlanta, 26. September 1978
- 8) Danielowski, G.; Chemiefasern/Text. Ind., S. 1048-1053, Nov. 1975; Ellis, B., Walls, G., Williams, V.; Melliand Textilber., S. 398-400, Mai 1976; N. N.; Chemiefasern/Text. Ind., S. 440, Mai 1977; Henshaw, O. E., Parnell, B. G.; Text. Inst. Ind., S. 300-303, September 1977
- 9) DOS Nr. 2528837
- 10) Can. Pat. Nr. 789290; Brit. Pat. Nr. 1032130
- 11) US-Pat. Nr. 3079746
- 12) Pamm, G., Heuberger, O., Ibrahim, S. M., Field, F. C.; Lenzinger Ber., Heft 32, S. 90-96, Dez. 1971
- 13) Roller, J.; Textilbetrieb; S. 49, November 1976
- 14) Fr. Pat. Nr. 2242493
- 15) Bobkowicz, E. und Bobkowicz, A. J.; Text. Res. J., S. 777, September 1971
- 16) Campagna, F. E., Sawhney, A. P.; Lenzinger Ber. Heft 43, S. 85-95, Mai 1977
- 17) Bobkowicz A. J., Slanik, J.; Text. Prax., S. 243-246, März 1979
- 18) Terwee T. H. M.; Melliand Textilber., S. 532-536, Juli 1977; Terwee T. H. M.; Melliand Textilber., S. 972-975, Dez. 1976
- 19) Lord, P. R.; Lenzinger Ber., Heft 43, S. 5-14, Mai 1977
- 20) Stalder, H.; Text. Prax., S. 747-751, Juli 1976

## Fasern aus leitfähigen Polymeren — eine greifbare Utopie?

Prof. Dr. G. Wegner, Dr. V. Enkelmann,  
Institut für Makromolekulare Chemie der Universität  
Freiburg

Unter dem Sammelbegriff „Organische Metalle“ wird eine Anzahl chemisch sehr verschieden strukturierter Stoffe verstanden, welche sich durch hohe Leitfähigkeit des elektrischen Stromes auszeichnen. Die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit ist in der Regel die eines typischen Metalls. Als Musterbeispiel können Charge-Transfer-Komplexe vom Typ Tetrathiofulvalen/Tetracyanquinondimethan dienen. Strukturelle Voraussetzung für gute Leitfähigkeit ist in solchen Komplexen eine Anordnung von Donator- und Akzeptormolekülen in getrennten Stapeln unter partiellem Ladungsaustausch. Die Sprödigkeit solcher Kristalle sowie deren extreme Anfälligkeit gegen Feuchtigkeit und Sauerstoff verhinderten bisher technische Anwendungen. Der Versuch einer Übertragung des Bauprinzips dieser Systeme auf das Gebiet der makromolekularen Chemie war bisher aus inhärenten Gründen erfolglos.

Dagegen sind in den letzten Jahren einige makromolekulare Systeme bekanntgeworden, welche ebenfalls metallische Leitfähigkeit aufweisen, ohne daß deren strukturelle Ursache völlig klar ist. Als Beispiele können das polymere (SN)<sub>x</sub> sowie dotierte Polyacetylene dienen. Während ersteres aufgrund der schwierigen Präparation und chemischer Instabilität nur von wissenschaftlichem Interesse ist, stellt das durch Dotieren mit Elektronendonatoren oder Akzeptoren leitfähig gemachte Polyacetylen ein unter Umständen auch technisch interessantes Material dar, da es aus wohlfeilem Acetylen über leicht zugängliche Katalysatoren (z. B. Ziegler-Natta) in simultaner Polymerisation und Kristallisation dargestellt werden kann und über ausreichende Stabilität und Formbarkeit verfügt.

A number of chemically quite different materials are known under the heading organic metals. These materials exhibit a very high conductivity for electricity with a temperature dependence of their resistivity comparable to typical metals. Charge-transfer-complexes of the type tetrathiofulvalen/tetracyanoquinoninedimethane may serve as good examples. The packing of donator and acceptor molecules in separate piles with partial exchange of charge was recognized as the structural prerequisite for high conductivity of metallic character. The brittleness and extreme instability of such crystals against moisture and oxygen have so far prevented any technical application. The attempted transfer of these principles of organic conductors into polymer chemistry was completely unsuccessful for inherent reasons.

Some molecular systems have been realized, however, in recent years which show similar metallic conductivity, although the structural origin of the observed conductivity behaviour is still unclear. Examples are the polymer (SN)<sub>x</sub> and doped poly (acetylene). The first is of scientific interest only due to difficulties in preparation and chemical instability. Poly(acetylene) doped with electron donors or acceptors becomes highly conductive and is, presumably, a material of some interest for technical applications. Among other reasons this is due to its ease of preparation from readily available acetylene by simultaneous polymerization and crystallization over well known catalysts such as typical Ziegler-Natta-systems and due to the ease by which it can be handled and formed into various shapes.

### I. Einleitung

Kunststoffe und Kunstfasern — die legitimen Kinder unseres Jahrhunderts — dienen in vielfältiger Weise nicht nur als Ersatz für bewährte und allbekannte Naturstoffe, sondern haben aufgrund planvoller Forschungsgebiete erschlossen. Chemische und physikalische Betrachtungsweisen haben stets bei der Aufgabe Pate gestanden, den Zusammenhang von Molekülbau, Struktur und Werkstoffeigenschaften aufzudecken und im Hinblick auf erwünschtes Verhalten zu maximieren. Als Beispiele sind die Beherrschung der Kautschukelastizität in Theorie und Praxis, die Entwicklung hochfester, organischer Fasern mit nahezu theoretischer Reißfestigkeit oder die Herstellung von hochtemperaturbeständigen, feuerfesten Geweben aus Kunstfasern zu nennen.

Den Kunststoffen ist bis heute, mit nur einer Ausnahme, kein Gebiet verschlossen, auf dem sie nicht erfolgreich mit traditionellen Werkstoffen konkurrieren. Diese eine Ausnahme betrifft das wichtige Gebiet der elektrischen Leitfähigkeit, das bisher den Metallen vorbehalten ist. Zwar wäre der Bau elektrischer Funktionseinheiten ohne Isolationsmaterialien auf der Basis speziell hierfür entwickelter Polymerer kaum denkbar, doch finden makromolekulare Substanzen, gerade weil sie eine außerordentlich geringe elektrische Leitfähigkeit besitzen, auf diesem Gebiete ihre Anwendung.

Es wäre jedoch durchaus attraktiv, über Materialien verfügen zu können, welche etwa nach den üblichen Verfahren der makromolekularen Technologie hergestellt und verarbeitet werden könnten, um sodann als elektrisch leitende Kunststoffe oder Fasern eingesetzt zu werden. Es stellt sich daher die Frage, ob makromolekulare Stoffe mit genügender elektrischer Leitfähigkeit prinzipiell zugänglich sind, welches die molekularen Grundlagen solcher Eigenschaften sind und ob man damit rechnen darf, daß derartige Stoffe über das Stadium des akademischen Interesses hinaus relevant werden können.

### II. Organische Metalle — Charge-Transfer-Komplexsalze

Da bisher keine befriedigende Theorie der elektrischen Leitfähigkeit in organischen Molekülkristallen oder Polymeren existiert, ist man auf eine phänomenologische Beschreibung der bekanntgewordenen Substanzklassen und Effekte beschränkt und muß versuchen, vom Standpunkt des Experimentators aus auf allgemeine Prinzipien und Struktur-Eigenschaftsrelationen zu schließen. Der Bereich der durch die Meßgröße Leitfähigkeit beschriebenen physikalischen Phänomene umfaßt, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, ca. 24 Größenordnungen, wobei die Begriffe Isolator, Halbleiter und Metall jeweils durch Bereiche der Meßgröße charakterisiert sind. Alle bekannten Stoffe lassen sich auf einer Skala der Leitfähigkeit einordnen. Die Leitfähigkeit ist stets als Produkt aus Zahl  $n$  und Beweglichkeit  $\mu$  der Ladungsträger, multipliziert mit deren Elementarladung  $e$ , gegeben:

$$\sigma = n \cdot e \cdot \mu \quad (1)$$

Metalle unterscheiden sich prinzipiell von den Halbleitern und Isolatoren dadurch, daß sie bereits im Grundzustand über freie Elektronen im Leitungsband

verfügen. Der elektrische Widerstand der Metalle kommt durch Streuung der Elektronen an Gitterschwingungen zustande und nimmt daher mit steigender Temperatur zu. Dieses Temperaturgesetz kann daher als Kriterium für das Vorliegen metallischer Leitfähigkeit angesehen werden.

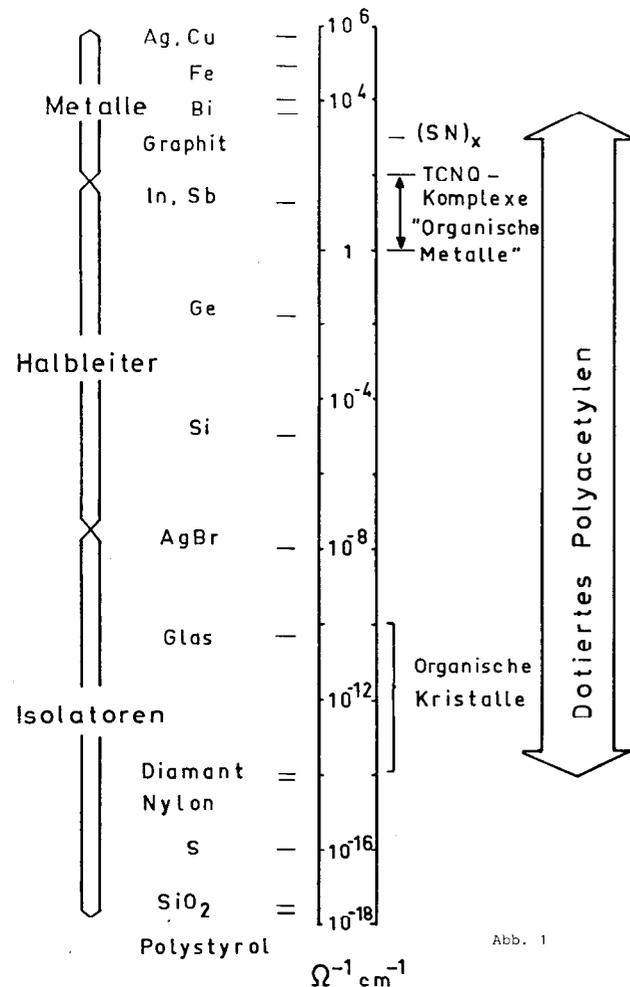


Abb. 1

Abb. 1: Leitfähigkeiten einiger typischer Substanzklassen im Vergleich zu organischen und makromolekularen Metallen

Bei Halbleitern und Isolatoren werden Ladungsträger in einem thermisch aktivierten Prozeß nach einem Boltzmann-Gesetz erzeugt, und die Zahl der bei jeder Temperatur zur Verfügung stehenden Ladungsträger wird im wesentlichen durch eine stofftypische Aktivierungsenergie bestimmt. Diese wird im Sinne einer elementaren Theorie der Leitfähigkeit oft als **Bandbreite** gedeutet.

Isolatoren und Halbleiter zeigen daher eine mit steigender Temperatur zunehmende Leitfähigkeit. Ob ein Stoff als Halbleiter oder Isolator anzusehen ist, wird also wesentlich durch die Größenordnung der Aktivierungsenergie festgelegt. Bei echten Halbleitern liegt sie in der Regel unter 1 eV.

Organische Kristalle und Polymere werden in der Regel der Klasse der Isolatoren zugeordnet. Die sehr intensiven Forschungsarbeiten verschiedener Gruppen, insbesondere in USA und Frankreich<sup>1-7</sup>, haben jedoch

gezeigt, daß organische Materialien darstellbar sind, welche ein den Metallen vergleichbares Verhalten der Leitfähigkeit aufweisen. Die am besten untersuchten Substanzen sind Komplexsalze des Tetracyanquinodimethan (TCNQ) mit heterocyclischen Aromaten, wie z. B. Tetrathiofulvalen (TTF) oder N-Methylphenazoniumion (NMP). Salze dieser Art können als Charge-Transfer-Komplexe betrachtet werden mit TCNQ als Akzeptor und dem Heterocyclus als Donator.

Die elektrischen Eigenschaften eines gegebenen CT-Salzes hängen nun wesentlich mit der Art der Packung im Kristallgitter zusammen. Strukturen, in denen Donatoren (D) und Akzeptoren (A) jeweils zu Paaren in Stapeln angeordnet sind (-D-A-D-A-D-A-D-), sind ausnahmslos schlechte Leiter. Gute Leitfähigkeit und insbesondere metallähnliches Verhalten wird nur bei CT-Komplexen beobachtet, in denen die Donatoren völlig getrennt in Stapeln (D-D-D-D-) von den ebenfalls in Stapeln vorliegenden Akzeptoren (A-A-A-A-) angeordnet sind. Das Bauprinzip der *getrennten* Stapel wird allgemein als wichtigste strukturelle Voraussetzung der elektrischen Leitfähigkeit anerkannt. Als Beispiel ist in Abbildung 2 die Kristallstruktur des leitfähigen Komplexes (NMP) (TCNQ) gezeigt. Innerhalb des Stapels der NMP-Moleküle besteht eine Zufallsorientierung der N-Methylgruppe, bezogen auf die Normale zur Stapelachse, so daß in der Projektion der Kristallstruktur beide Stickstoffatome scheinbar je eine Methylgruppe zu tragen scheinen. Für die Leitfähigkeit ist weiterhin von Bedeutung, daß durch Verkipfung der Moleküle, bezogen auf die Stapelachse, ein minimaler Packungsabstand zwischen den im Stapel benachbarten Molekülen eingehalten werden kann, der eine π-Elektronenwechselwirkung entlang des Stapels (also nahezu senkrecht zur Ringebene) erlaubt.

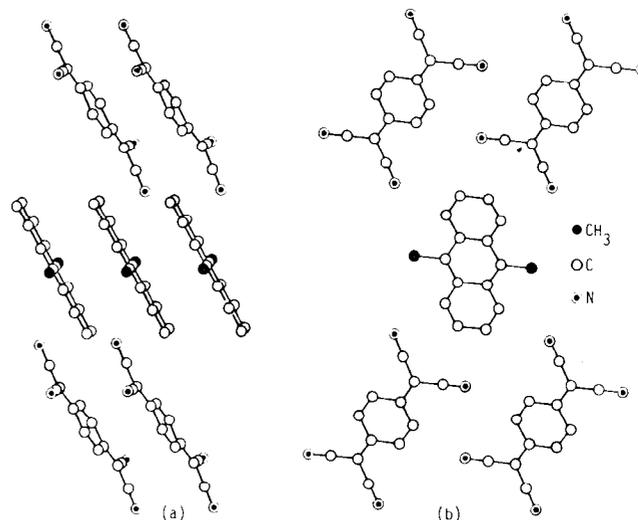


Abb. 2: Kristallstruktur des metallisch-leitfähigen Komplexsalzes (NMP) (TCNQ)<sup>8</sup>

Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß ein derartiges Packungsverhalten bei gegebener Molekularstruktur nicht durch *a priori Überlegungen* vorausgesagt werden kann, es daher vom Geschick des Experimentators abhängig ist, durch eine geeignete Wahl der Kristallisationsbedingungen oder eine leichte Modifikation der Molekülgestalt die nötige Packung im Kristall zu erzwingen.

Die Donator- und Akzeptorbestandteile des CT-Salzes müssen Strukturen mit großer Polarisierbarkeit enthalten, um die Coulomb-Wechselwirkung zwischen Ladungen gleichen Vorzeichens auf dem jeweiligen Stapel zu minimalisieren<sup>9,10</sup>. Daher zeigt z. B. das Rubidiums Salz des TCNQ eine um Größenordnungen bessere Leitfähigkeit als Na-TCNQ (Abb. 3); wengleich die einfachen Salze des TCNQ und ähnlicher Akzeptoren noch typische Halbleiter und keine Metalle sind. Ebenso sind die Komplexe des Tetracyanethylens weniger gut leitend als die des TCNQ, da sich im ersteren Molekül eine Ladung weniger gut delokalisieren kann als im strukturell ähnlichen TCNQ. Die Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Temperaturverhalten und die Größenordnung der Leitfähigkeit für einige CT-Komplexsalze des TCNQ im Vergleich zu Kupfer als Vertreter der typischen Metalle. Angegeben ist auch das Verhalten zweier hochleitfähiger Polymerer, über die später noch zu berichten sein wird.

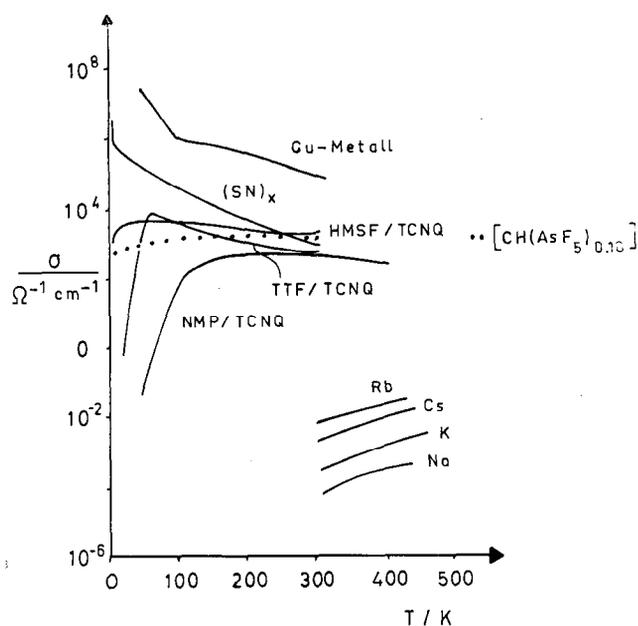


Abb. 3: Temperaturcharakteristika einiger leitfähiger organischer CT-Kristalle und leitfähiger Polymerer<sup>4</sup>

Man erkennt, daß die genannten CT-Komplexsalze, für welche die an Einkristallen in Richtung größter Leitfähigkeit gewonnenen Meßdaten angegeben sind, in der Nähe der Raumtemperatur das Leitfähigkeitsverhalten typischer Metalle zeigen, bei tiefer Temperatur jedoch eine Metall/Isolatorumwandlung erleiden, erkenntlich an der Änderung des Vorzeichens des Temperaturkoeffizienten der Leitfähigkeit.

Die hiermit verbundenen Phasenumwandlungen im Zusammenhang mit der extremen Anisotropie der elektrischen und optischen Eigenschaften dieser Substanzen haben auf seiten der theoretischen Physik größtes Interesse gefunden, da sie ursächlich mit einer eindimensionalen Bewegung der Elektronen in diesen Festkörpern zusammenzuhängen scheinen.

Für das Verständnis der Eigenschaften der hochleitfähigen Komplexe des TCNQ und damit aller leitfähigen organischen Strukturen ist ferner die Tatsache wichtig, daß innerhalb der Komplexe kein völliger Ladungsübertrag vom Donator zum Akzeptor statt-

findet<sup>9,11</sup>. Der Zustand des Akzeptor (TCNQ)- und des Donator (z. B. NMP)-Stapels ist vielmehr der eines gemischten Valenzzustandes, so daß nach dem Ladungsübergang ein teilgefülltes Band als elektronische Zustandsbeschreibung des jeweiligen Stapels angebracht ist.

Für den TCNQ-Stapel ist dies schematisch in Abbildung 4 dargestellt. Bei der unter A gekennzeichneten Situation hat ein völliger Ladungsübertrag stattgefunden, alle TCNQ-Moleküle liegen nun als Anionen vor.

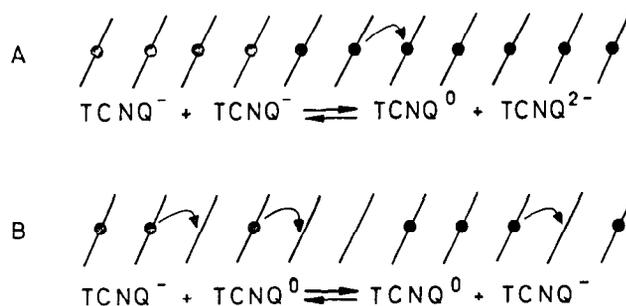


Abb. 4: Modell des Ladungstransports in einem CT-Kristall:

- A) bei vollkommener Ladungsübertragung vom Donator auf den Akzeptor (TCNQ);  
B) bei teilweiser Reduktion des Akzeptors

Ein Ladungstransport entlang des Stapels läßt sich formal als Redoxprozeß im Sinne einer Disproportionierung, verbunden mit großem Energieaufwand, beschreiben, denn das Elektron muß auf ein Molekül (Gitterplatz) gebracht werden, auf dem bereits ein Elektron sitzt, so daß ein hohes Coulomb-Abstoßungspotential überwunden werden muß.

Liegt dagegen die unter B gekennzeichnete Situation eines Stapels mit gemischtem Valenzzustand vor, was synonym mit dem Vorliegen von neutralen Molekülen und Anionen in einer Zufallsanordnung entlang des Stapels ist, so läßt sich der Elektronentransport als diffusiver Ladungsaustausch zwischen besetzten und freien Positionen entlang einer Kette beschreiben.

Um ein leitfähiges CT-Salz zu erzeugen, muß demnach das Redoxpotential der beiden Partner im Komplex so ausgesucht werden, daß bei der Kristallbildung nur eine partielle Reduktion bzw. Oxidation stattfindet und der sich bildende Kristall als Mischkristall betrachtet werden kann<sup>9</sup>. Die Richtigkeit dieser Vorstellung haben Miller und Epstein bewiesen<sup>11</sup>, indem sie zeigten, daß die Leitfähigkeit von Mischkristallen der Struktur  $(NMP)_x(Phen)_{1-x}(TCNQ)$  erheblich besser als die des reinen Komplexes (NMP) (TCNQ) ist. In diesen Komplexen ist ein Teil des Donators durch das neutrale Phenazin (Phen) ersetzt und damit wird im TCNQ-Stapel künstlich ein Zustand erzeugt, wie er in Abbildung 4 dargestellt ist.

Andererseits zeigen diese Erkenntnisse, welche zur planvollen Konstruktion von 40—50 verschiedenen leitfähigen Komplexsalzen des Charge-Transfer-Typs mit verschiedener Struktur des Donators und Akzeptors geführt haben, daß man bei der Beurteilung der strukturellen Grundlagen der Leitfähigkeit außerordentlich vorsichtig sein muß. So bewirken beispielsweise bereits Spuren (6 ppm) des Radikalkations

in einem Kristall des Di-N-Methylbenzothiazolidinazins (BTA), daß dessen Leitfähigkeit um 4—5 Größenordnungen ansteigt, oder anders ausgedrückt, daß das Komplexsalz  $(BTA)^{\ominus} (BTA)^{\oplus} (BF_4)^{\ominus}$  eine um viele Größenordnungen bessere Leitfähigkeit hat<sup>7</sup> als eine der Komponenten. Diese Effekte lassen sich mit der Wirkung der Dotierung auf dem Gebiet der anorganischen Halbleiter vergleichen.

Angaben der Literatur über quantitative Messung der Leitfähigkeit und der darauf aufbauenden Theorien sind daher sorgfältig zu prüfen, da die spontane Bildung von Redoxprodukten bei der Präparation der CT-Komplexsalze oft nicht erkannt wird und diese dann als Dotierungsmittel im kristallinen Komplex wirken. Beispielhaft sei auf die im diffusen Tageslicht bereits ablaufende Photooxidation des NMP zum Radikalkation  $NMPH^{\cdot}$  hingewiesen, welches in reiner Form mit TCNQ ebenfalls einen (schlechtleitenden) CT-Komplex bildet, in Spuren jedoch die Leitfähigkeit des Komplexes (NMP) (TCNQ) wesentlich verbessert<sup>12, 13</sup>.

Trotz optimistischer Einschätzung der bisherigen Ergebnisse auf dem Gebiet der Charge-Transfer-(CT)-Komplexe, was die erreichten Leitfähigkeiten und die Temperaturcharakteristik angeht, hat keine der bisher bekannten Verbindungen eine Chance auf Anwendung. Die angegebenen Werte gelten nur für Kristalle, und zwar für die jeweils ausgezeichnete Richtung (Stapelrichtung) der größten Leitfähigkeit. Aufgrund der großen Anisotropie und des eindimensionalen Charakters der Leitfähigkeit weisen Pulverproben eine geringere Leitfähigkeit von der Größenordnung ca. 3—5 als die entsprechenden Einkristalle auf. Die Kristalle selbst sind gegen mechanische, thermische Belastungen und Umweltbelastungen (Oxidation, Hydrolyse) so außerordentlich empfindlich, daß eine technische Anwendung kaum in Betracht zu ziehen ist.

Es hat daher nicht an Versuchen gefehlt, durch Einbau von Donatoren und/oder Akzeptoren in Makromoleküle zu polymeren CT-Komplexen der für (NMP) (TCNQ) beschriebenen Struktur zu gelangen<sup>7</sup>. Eines der jüngsten und in der Darstellung der Problematik klarsten Beispiele, ist der (erfolgreiche) Versuch der Synthese von p-Vinylphenyltetrathiafulvalen als polymeren Donator mit dem Ergebnis, daß das Polymere keine leitfähigen Komplexe zu bilden vermag<sup>14</sup>.

In Anbetracht der strikten Geometriebedingungen, welche zur Bildung leitfähiger CT-Komplexe nach Abbildung 2 eingehalten werden müssen, nimmt dieses Ergebnis nicht wunder, denn die Konformations- und Packungsanalyse von Polymeren mit großen Seitengruppen zeigt eindeutig, daß die Bildung einer Stapelstruktur mit geeigneten Abständen zu den nächsten Nachbarn in Vinyl- und Acrylpolymeren nicht zu verwirklichen ist, abgesehen von der Problematik, die damit verbunden ist, eine genügend hohe Taktizität der Kette zu erzeugen. Ferner dürften die bekannten Schwierigkeiten, die bei der Kristallisation von Polymeren auftreten und aufgrund kinetischer Gegebenheiten stets zu teilkristallinen Festkörpern oder — nach dem Verstrecken — teilkristallinen Fasern führen, die die Ausbildung genügend großer Bereiche einheitlicher Struktur verhindern. Daher muß die Darstellung leitfähiger polymerer Werkstoffe oder Fasern über Seitengruppen-Wechselwirkung auf dem konventionellen Wege der makromolekularen Chemie eine Utopie bleiben.

### III. Leitfähige makromolekulare Strukturen

Als Alternative zu den CT-Salzen werden seit geraumer Zeit lineare Kettenmoleküle mit konjugiertem Bindungssystem betrachtet<sup>4, 7</sup>. Hierbei stand lange Zeit die Überlegung Pate, daß es in unendlich langen Ketten aus konjugierten  $\pi$ -Bindungen zu einem Bindungsausgleich wie im Benzolmolekül kommen müsse, verbunden mit einer großen Beweglichkeit der  $\pi$ -Elektronenladungswolke entlang der Molekülachse. Hieraus wurde eine große Ladungsträgerbeweglichkeit erwartet.

Diese Betrachtungsweise vernachlässigt die in Gleichung 1 niedergelegte Tatsache, daß Leitfähigkeit stets das Produkt aus der Zahl der Ladungsträger, multipliziert mit deren Beweglichkeit, ist. Da lineare Polyene, Polyphenylene etc. jedoch Substanzen mit — im Sinne der Leitfähigkeitstheorie — gefülltem Valenzband sind, ist eine beträchtliche Aktivierungsenergie zur Erzeugung von Ladungsträgern nötig. Reine Polyene und verwandte Verbindungen können daher bestenfalls Halbleiter sein, und in der Tat weist z. B. reines cis- oder reines trans-Polyacetylen (PA), die einfachsten polykonjugierten linearen Polymeren, spezifische Leitfähigkeiten von ca.  $10^{-9} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  auf.

Darüber hinaus ist es unwahrscheinlich, daß in einem derartigen Polymeren die Anregung von Elektronen in das Leitfähigkeitsband der energetisch günstigste Anregungsprozeß ist. Die spektroskopischen Daten der Polyene und die sehr ausführlichen Untersuchungen an den im Zustand perfekter Kristalle vorliegenden Polydiacetylenen der Struktur haben gezeigt<sup>15, 16</sup>, daß der wichtigste Anregungszustand einer polyungesättigten Kette der eines Excitons, also eines Elektron-Loch-Paares, ist, wie dies in Abbildung 5 A schematisch angegeben ist. Ein solches Elektron-Loch-Paar

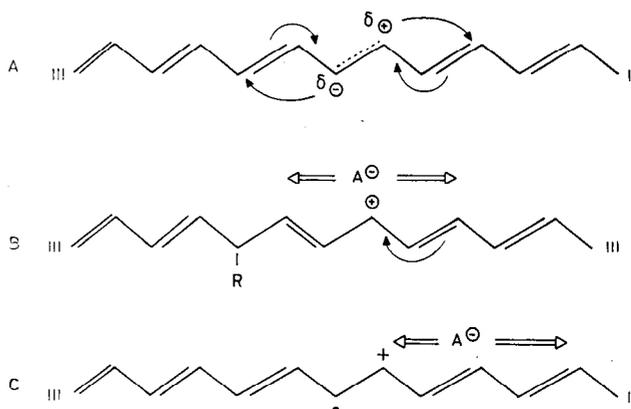


Abb. 5: Modell des Ladungstransports in einer polyungesättigten Kohlenstoffkette

wird auch als Frenkel-Exciton bezeichnet. Die positive und negative Ladung wird durch Coulomb-Kräfte zusammengehalten. Das Exciton ist also ein neutrales Gebilde, welches entlang der Kette diffundieren, also Anregungsenergie transportieren, jedoch keinen elektrischen Strom leiten kann. Hierzu müßte es unter Überwindung der Coulomb-Anziehungskräfte auseinanderdiffundieren, was wiederum eine hohe Aktivierungsenergie der Ladungsträgererzeugung bedeuten muß.

Eine andere Situation liegt vor, wenn es gelingt, einen Anregungszustand der Kette zu erzeugen, welcher dem eines gemischten Valenzzustandes bei den CT-Kristallen ähnlich ist, und den wir auch als Mott-Wannier-Exciton, nämlich als nur locker gebundenes Elektron-Loch-Paar, beschreiben können. Dies ist in Abbildung 5 B und C für zwei verschiedene Situationen dargestellt. Im Sinne der für die CT-Komplexe angeführten Betrachtungsweise stellt hier jedes C-Atom der Kette ein Element dar, welches durch CT-Wechselwirkungen über die ihm zur Verfügung stehenden  $\pi$ -Elektronen die für die Leitfähigkeit wichtige Kopplung mit den anderen Kettengliedern erbringt.

In der Situation B wurde durch Addition an eine Doppelbindung ein Allylkation erzeugt, welches entlang der Kette delokalisiert werden kann. Ist die Umgehung der Kette hinreichend polarisierbar, bzw. handelt es sich bei dem Gegenion  $A^{\ominus}$  um eine hinreichend polarisierbare Spezies, so sollte hier eine Ladungstrennung und damit ein Stromtransport, z. B. über Löcherleitung, leicht möglich sein.

In der Situation C ist dies für den analogen Fall eines Radikalkations dargestellt, welches durch geeignete Oxidation eines Polyens leicht zugänglich ist. Ähnlich wie bei den CT-Mischkomplexen bereits diskutiert, ließe sich in einem solchen System auch ein Ladungstransport von Kette zu Kette über einen Redoxaustauschprozeß formulieren.

Der Unterschied zwischen den beiden Typen von Excitonen ist in Abbildung 6 nochmals schematisch dargestellt, und es wird gezeigt, wie sich das Vorliegen

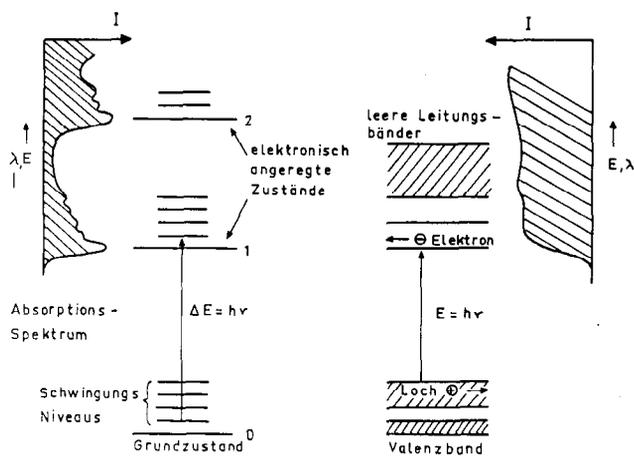


Abb. 6: Elektronische Anregung in den Excitonenzustand:  
A) Frenkel-Exciton;  
B) Mott-Wannier-Exciton

des einen oder anderen Typs an den Elektronenanregungsspektren sofort erkennen läßt. Im Fall des Frenkel-Excitons handelt es sich um eine lokalisierte Spezies mit den Schwingungsniveaus des Molekülgerüsts, im zweiten Fall um eine delokalisierte Anregung mit einer Serie eigener Energieniveaus ähnlich denen eines Wasserstoffatoms. Nur in letzterem Fall ist durch die Zufuhr von Energie die Dissoziation zu den freien Ladungsträgern energetisch begünstigt.

Die in den vergangenen zwei Jahren bekannt gewordenen Arbeiten von Heeger et al.<sup>7</sup> sowie die der IBM-Gruppe<sup>18</sup> und anderer amerikanischer For-

schungsgruppen<sup>19</sup> scheinen nun in der Tat darauf hinzuweisen, daß es gelungen ist, ein polymeres organisches Metall nach diesem, hier nur kurz angedeuteten Prinzip, zu erhalten. Versetzt man nämlich das bereits erwähnte, nichtleitende Poly-cis- oder Poly-trans-acetylen (PA) mit sogenannten Dotierungsmitteln, wie z. B.  $J_2$ ,  $JBr$ ,  $Br_2$ ,  $AsF_5$ ,  $Na$ ,  $AgBF_4$ ,  $AgClO_4$ ,  $(FSO_2O^-)_2$  usw., in Mengen von einigen Molprozent, bezogen auf CH-Einheiten der Kette, so entsteht ein organisches Metall mit einer in der Abbildung 3 angegebenen Leitfähigkeitscharakteristik. Die Abhängigkeit der spezifischen Leitfähigkeit von der Menge des zugefügten Dotierungsmittels ist in Abbildung 7 entsprechend den Angaben von Chiang et al.<sup>17</sup> wiedergegeben.

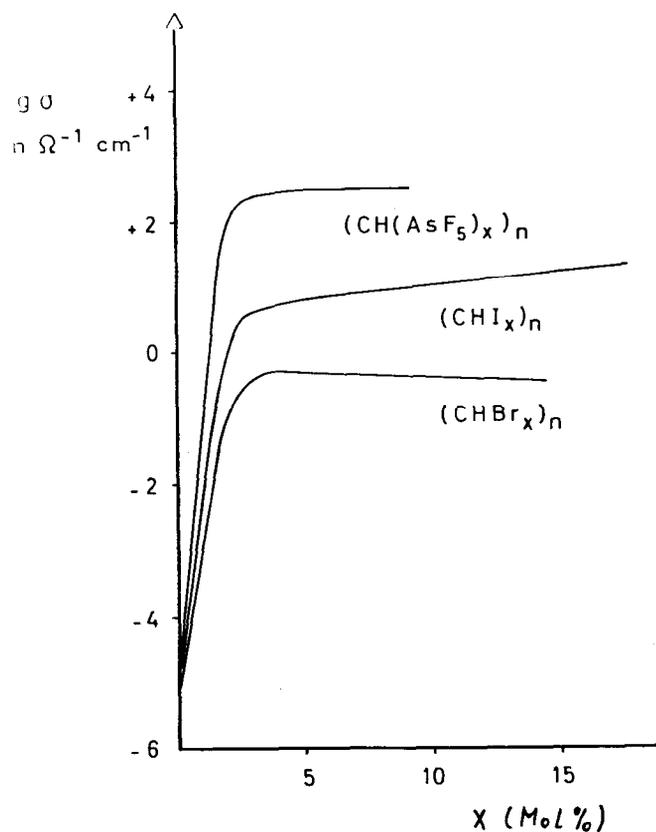


Abb. 7: Spez. Leitfähigkeit von dotiertem Polyacetylen in Abhängigkeit von der Konzentration des Dotierungsmittels<sup>17</sup>

Nach unserer eigenen Erfahrung sind diese Daten ohne Problem zu reproduzieren. Kleine Mengen des Dotierungsmittels erbringen zunächst einen exponentiellen Anstieg des in Form eines schwarzen, metallisch-glänzenden Films oder Preßlings vorliegenden PAs. Letzteres wird durch Polymerisation über einem bereits von Natta 1958 angegebenen Katalysatorsystem aus  $TiOBu_4$  und  $AlEt_3$  als unlösliches schwarzes Pulver oder auch direkt als unlöslicher Film erhalten. Das Polymere ist wahrscheinlich in geringem Maße vernetzt. Die Dotierung erfolgt durch Behandeln des Polymeren mit einem Dotierungsmittel aus der Gasphase oder in Suspension im Kontakt mit dem gelösten Dotierungsmittel. Bei einem Gehalt von ca. 3 Molprozent des Dotierungsmittels wird ein Sättigungswert der Leitfähigkeit erhalten; an diesem Punkt

tritt auch eine Änderung der Leitfähigkeitscharakteristik in Richtung auf echtes metallisches Verhalten ein; die Aktivierungsenergie der Leitfähigkeit beträgt in diesem Zustand nur noch ca. 0,02 eV. Gleichzeitig wird die Probe wie ein echtes Metall für das ferne Infrarot völlig opak. Bei dem als Ausgangsmaterial vorliegenden PA handelt es sich um ein polykristallines, schlecht geordnetes, nach Angaben der Literatur, mikrofibrilläres Produkt. Heeger et al.<sup>17</sup> haben gezeigt, daß man durch Recken eines in situ durch simultane Polymerisation und Kristallisation erzeugten Films eine gewisse Orientierung der Fibrillen erreichen kann. Nach dem Dotieren solcher gereckter Filme zeigen sich Leitfähigkeiten in Reckrichtung, welche bereits jener bei Kupfer gemessenen Zahl sehr nahe kommen.

Stellt man in Rechnung, daß solche Proben noch immer schlecht orientiert sind und daß keineswegs eine maximale Morphologie, bezogen auf den gewünschten Effekt, vorliegt, darf man die von Heeger geäußerte Meinung durchaus teilen, daß bei geeigneter Verbesserung der Produkte noch zwei bis drei Größenordnungen der Leitfähigkeit zu gewinnen sein müßten. Man darf vermuten, daß bei der Dotierung aus der Polyenkette die in Abbildung 5 B und C gezeigten Zustände erzeugt werden. Diese Ergebnisse sind bei aller Berücksichtigung der noch zu lösenden Probleme hinsichtlich der Stabilität des Polymeren, der Stabilität der dotierten, leitfähigen Folien und Preßlinge und der Toxizität der bisher angewendeten Dotierungsmittel doch von erheblicher Bedeutung, handelt es sich doch um den ersten Fall, in dem aus einem wohlfeilen und überall zugänglichen Ausgangsprodukt, nämlich Acetylen, nach einem extrem einfachen Syntheseverfahren ein Polymeres erzeugt wird, welches durch einfache Nachbehandlung in einen hochleitfähigen Zustand überführt werden kann. Es dürfte daher nur eine Frage der Zeit und des Forschungsaufwandes sein, bis es gelingen wird, nach modifizierten Verfahren auch Fasern, textile Gewebe und ähnliche Produkte aus Acetylen herzustellen, welche durch Behandeln mit wenig- oder nichttoxischen Dotierungsmitteln in leitfähige Zustände gebracht werden können. Demgegenüber besitzen die am hochleitfähigen, bei sehr tiefer Temperatur sogar supraleitenden Schwefelstickstoff-Polymeren (SN)<sub>x</sub> gemachten Beobachtungen nur eine untergeordnete Bedeutung, da dieses Material nur mühevoll zu synthetisieren und aufgrund seiner Explosivität nur unter größter Vorsicht zu handhaben ist.<sup>5</sup>

Bei aller Vorsicht kann man also sagen, daß uns mit den Arbeiten zur elektrischen Leitfähigkeit des Polyacetylen über gezielte Dotierung und auf der Grundlage der Erkenntnisse an den Charge-Transfer-Komplexsalzen ein Weg gewiesen ist, der uns, wenn wir ihn weiter verfolgen, die Erzeugung leitfähiger Fasern aus Polymeren als eine greifbare Utopie erscheinen läßt.

#### Literatur

- 1) Eine Literaturzusammenstellung der wesentlichen Ergebnisse der neueren Forschung auf dem Gebiet der Leitfähigkeit organischer und makromolekularer Substanzen findet sich in den Ref. 2-7
- 2) Keller H.-J.; „Low-Dimensional Cooperative Phenomena — The Possibility of High-Temperature Superconductivity“, Ed. NATO-ASI-Series B7, Plenum Press, New York 1975
- 3) Keller H.-J.; „Chemistry and Physics of One-Dimensional Metals“, Ed. NATO-ASI-Series B25, Plenum Press, New York 1977
- 4) Hatfield W. E.; „Molecular Metals“, Ed. NATO-Conference Series VI, 1 Plenum Press 1979
- 5) Labes M. M., Love P. und Nichols L. F.; Chem. Rev. **79**, 1 (1979)
- 6) Miller J. S. und Epstein A. J., Eds.; „Synthesis and Properties of Low-Dimensional Metals“, New York Academy of Sciences Conf. Proc. No. 313, New York 1978
- 7) Goodings E. P.; Chem. Soc. Rev. **95** (1977)
- 8) Fritchie C. J.; Jr. Acta Cryst. **20**, 892 (1966)
- 9) Torrance J. B. in Ref. 4, S. 7 f.
- 10) Garito A. F. in Ref. 4, S. 23 f.
- 11) Miller J. S. und Epstein A. J.; J. Amer. Chem. Soc. **99**, 5304 (1977); *ibid* **100**, 1639 (1978); Ref. 4, S. 35, *ibid*. S. 155
- 12) Keller H. J., Nöthe D., Moroni W. und Soos Z. G.; Chem. Com. **331** (1978)
- 13) Keller H. J. et al. in Ref. 4, S. 75
- 14) Kaplan M. L., Haddon R. C., Wudl F. und Feit E. D.; J. Org. Chem. **43**, 4642 (1978)
- 15) Wegner G. in Ref. 4, S. 209 f.
- 16) Spannring W. und Bässler H.; Ber. Bunsenges. Phys. Chem. **83**, 433 (1979)
- 17) McDiarmid A. G. und Heeger A. J., in Ref. 4, S. 161 f.; Chiang C. K. et al.; Ber. Bunsenges. Phys. Chem **83**, 407 (1979)
- 18) Greene R. L. et al. in Ref. 4, S. 203 f.
- 19) Baughman R. H. et al. in Ref. 4, S. 187

## INSERENTENVERZEICHNIS

AUSTRIA FASERWERKE Ges.m.b.H.; 4860 Lenzing .....	28
Bayer Austria Ges. m.b.H., 1037 Wien .....	37
Chemiefaser Lenzing AG	
1. Inserat .....	18
2. Inserat .....	77
3. Inserat .....	78
Höller-Eisen, Oberweis, 4810 Gmunden .....	92
KSB—Pumpen, Ges. m.b.H., 1140 Wien .....	64
Österreichische Chemische Werke Ges. m.b.H., 1151 Wien .....	49
Stockhausen & Cie., Chemische Fabrik, D-4150 Krefeld .....	57
Wessenthaler, 4800 Attnang-Puchheim .....	86

*Wir laden nur jene Firmen ein, in dieser Hauszeitschrift zu inserieren,  
die wir auf Grund jahrelanger Zusammenarbeit mit unserem Unternehmen unseren  
Freunden und Lesern gewissenhaft weiterempfehlen können.*

**DIE REDAKTION**

# LENZINGER BERICHTE

---

## Ausgewählte Vorträge der 18. Internationalen Chemiefasertagung vom 20. bis 22. Juni 1979 in Dornbirn

	Seite
Gratulation für Herrn Dir. Prof. Dr. Hans Krässig zu seinen Auszeichnungen .....	5
Innovation in der Chemie Dr. H. Dörfel, Ludwigshafen .....	6
Möglichkeiten und Grenzen der Strukturbeeinflussung von OE-Rotorgarnen Dr.-Ing. W. Kampen, Prof. Dr.-Ing. J. Lünenschloß, Aachen .....	19
Eine neuartige hochadsorptive Viskosefaser Dr. I. Marini, Dr. H. Teichmann, Dr. F. Gotschy, Prof. Dr. H. Krässig, Lenzing .....	29
Neuerungen in der Aufbereitung und in der Kardierung von Chemiefasern für die Spinnerei Ing. (grad) W. Wirth, Dülmen .....	39
A New Approach to Atmospheric Aqueous Disperse Dyeing of Polyester Prof. Dr. L. Rebenfeld, R.D. Matkowsky, H.-D. Weigmann, New Jersey .....	50
A Review of Current Yarn Production — Their Scope Advantage and Future Potential A.A.Chisholm, Lancashire .....	58
Prinzipien und Grenzen der Möglichkeiten zur Entwicklung schwerentflammbarer Fasern Prof. Dr. H. Herlinger, Dr. U. Einsele, Dr. A. Püntener, Dr. P. Meyer, Dr. W. Metzger, Dr. A. Gröbe, Dr. K. Veesser, Stuttgart .....	65
Neue Arbeitsweisen und Erkenntnisse der Forschung in der Kunststoffverarbeitung mit Hinweisen auf die Übertragung in das Gebiet der Herstellung und Anwendung synthetischer Fasern Prof. Dr. Ing. G. Menges, Aachen .....	79
Neue Zellulosefasern und Herstellungsverfahren Dr. Th. Müller, Stamford, USA .....	87
Technische Bewertung neuer Herstellungsverfahren für Spinnfasergarne Dr. Ing. J. Gayler, Wuppertal .....	93
Fasern aus leitfähigen Polymeren — eine greifbare Utopie? Prof. Dr. G. Wegner, Dr. V. Enkelmann, Freiburg .....	105
Inserentenverzeichnis .....	111

374

# 19.

## INTERNATIONALE CHEMIEFASERTAGUNG

### INTERNATIONAL MAN-MADE FIBRE CONFERENCE

**DORNBIRN**                      **SEPTEMBER**  
**A U S T R I A**                      **24 — 26, 1980**

ÖSTERREICHISCHES CHEMIEFASER-INSTITUT  
A-1041 WIEN, PLÖSSLGASSE 8 — AUSTRIA  
Telefon: (0222) 65 91 14 - Telex: 131901 lenwi a

### Neuentwicklungen bei Chemiefasern und ihrer Verarbeitung

19. Internationales Kolloquium der Chemiefaserindustrie für die Textilindustrie.

Im Jahre 1980 findet die Internationale Chemiefasertagung wieder zum gewohnten Herbsttermin statt. Diese Konferenz stellt seit Jahren das wichtigste europäische Diskussionsforum zwischen Forschung, Entwicklung und industrieller Praxis dar und bietet auch immer wieder einen Ausblick auf die wirtschaftlichen Probleme, die sowohl die Chemiefaser- als auch die Textilindustrie zu lösen haben. International bekannte Experten behandeln das aktuelle Tagungsthema in 48 Referaten, die sich um vier Schwerpunkte gruppieren:

- ★ Neuentwicklungen bei Fasern;
- ★ Herstellung und Verarbeitung von Garnen;
- ★ die Veredlung, auch für ganz speziellen Einsatz;
- ★ die Konfektion und Pflege von Textilien.

Wir haben damit ein Programm gestaltet, das die enge Verflechtung der Chemiefaserindustrie mit allen nachgelagerten textilen Verarbeitungsindustrien zeigt und von dem wir deshalb annehmen, daß es für alle Branchen vom Spinner, Weber, Wirker und Ausrüster bis zum Konfektionär gleichermaßen interessant sein wird.

### New Trends in Man-Made Fibres and their Processing

19th International Colloquium of the man-made fibre industry for the textile industry.

In 1980 the International Man-Made Fibre Conference will again be held at the usual time of the year, in autumn. For many years this Conference has been the most important European forum of discussion with representatives from the communities of research, development and industrial application taking part; as in the past, there will be an opportunity to cast a glance into the future and to view the economic perspectives — with problems that will have to be solved both by the man-made fibre and the textile industries. Internationally prominent experts will be submitting 48 papers on the Conference's main topic — revolving around four major items:

- ★ Recent fibre developments;
- ★ Manufacturing and processing of yarns;
- ★ Refining, also for special purposes;
- ★ Ready-made clothing and care of textiles.

We have thus set up a program reflecting the close link between the man-made fibre industry and all the down-stream textile processing — a program which we hope will be of interest to persons from many fields ranging from spinners, weavers, knitters and finishers to manufacturers of ready-made garments.

## VORPROGRAMM PREPROGRAMME

### Prof. Dr. F. Korte — BRD

Industriechemikalien und Umwelt  
Industrial Chemicals and the Environment

### R. Louisoder — BRD

Textilien aus und mit Chemiefasern in Konfektion, Gebrauch und Pflege

Textiles of and with Man-Made Fibres in Ready-Made Clothes, their Usage and Care

### I. Neuentwicklungen bei Fasern Recent Fibre Developments

Modifikationen für einen höheren Gebrauchswert und anspruchsvollere Ästhetik von Textilien.  
Modifications to improve wear properties and to obtain more attractive textiles.

#### Studt — Österreich

Zukünftige Entwicklungsrichtungen auf dem Zellulosegebiet

Future Development and Trends in the Field of Cellulose

#### Philipp — DDR

Strukturververhalten von Polyamid 6  
The Structure Formation in Polyamid 6-Fibres

#### Berger — DDR

Modifizierung von Synthefaserstoffen — vornehmlich Polyamid — mit verbessertem Bekleidungskomfort

Modification of Synthetic Fibre Materials — especially Polyamides — to Improve Wear-Comfort

#### El-Garf — Ägypten

Modifizierung des Nylon 6 durch Behandlung mit Kaliumjodidchlorid

Modified Nylon 6 by Treatment with Potassium Iodochloride

#### Rogowin — UdSSR

Neue Methoden von chemischen Modifikationen von Polyamid-, Polypropylen- und Polyesterfasern

New Methods for Chemical Modifications of Polyamide-, Polypropylene- and Polyester Fibres

#### Acker — Schweiz

Verbesserter Tragekomfort durch Chemiefasern — Mischung aus Polyester- und Polyacrylfasern unter dem Markennamen Bi-Nell

Improved Wear-Comfort through Polyester and Polyacrylic Fibre Blends (Bi-Nell)

**Kratzsch — BRD**

Griffvariationen durch feinstfädige Filamentgarne  
Variations of Fabric Hand by Way of Filament  
Yarns with Extremely Fine Single Filaments

**Bardon — Frankreich**

Bikomponente Polyester Stapelfasern für neue  
Anwendungsbereiche — das Spinnen, Weben/  
Wirken und Ausrüsten dieser Fasern

Bicomponent Polyester Staple Fibres for New  
end-Uses — Spinning, Weaving/Knitting and  
Finishing

**von Dahl — BRD**

Verteilungsproblematik bei Zugabe von Additiven  
in Spinnsystemen

Problems of the Distribution of Additives Used  
in Spinning Systems

**Ondrejmiska — CSSR**

Polypropylenfasern mit modifizierten Eigen-  
schaften

Polypropylene Fibres with Modified Properties

**Steinlin — Schweiz**

Einfluß von Pigmenten auf den Abbau bei Be-  
lichtung und Bewitterung von Polypropylenfasern  
Effect of Pigments on the Degradation Caused  
by Exposure to Light and Weathering of Poly-  
propylene Fibres

## II. Herstellung und Verarbeitung von Garnen Manufacturing and Processing of Yarns

Neue Ergebnisse bei der Weiterentwicklung der  
Garnherstellung.

New Results in the Development of Staple Fibre  
Spinning.

**Binder — Schweiz**

Herstellung von Fasermischungen mit automa-  
tisierten Vorwerkmaschinen

Automated Fibre Blending

**Neuhaus — BRD**

Voraussetzungen für das Spinnen von Chemie-  
fasergarnen bei hohen Rotordrehzahlen

Prerequisites for Spinning of Man-Made Fibre  
Yarns at High Rotor Speeds

**Schönung — BRD**

Erfahrung und Erkenntnisse mit Chemiefasern  
bis 60 mm Schnittlänge beim OE-Rotorspin-  
verfahren

Experiences Gained with Man-Made Fibres up  
to 60 mm Staple Length during Open-End Rotor  
Spinning

**Miklas — CSSR**

Spinnen von Effektgarnen auf BD 200-Maschinen  
Fancy Yarn spinning on BD 200-Machines

**Dupeuble — Frankreich**

Novacore-System zur Herstellung von Garnen  
Novacore-Composite System for the Manufac-  
ture of Yarns

**Wulfhorst — BRD**

Neuartige Spinnverfahren

New Spinning Processes

**Griffith — GB**

Mit Endlosfilamenten umwundene Stapelfaser-  
garne — ihre Eigenschaften und Anwendungs-  
möglichkeiten

Filament Wrapped Staple Yarns — their Pro-  
perties and Applications

**Czaganyi — Ungarn**

Herstellung und Anwendung von Strickgarnen  
aus Spinnfaser- und Filamentgarnen

Production and Application of Knitting Yarns  
from Staple Fibres and Filaments

## III. Die Veredlung — auch für ganz spe- ziellen Einsatz Textile Finishing — Including Special Applications

Wirtschaftliche, aber auch spezielle Lösungen  
für die Textilveredlung bieten neue Aspekte.

Economic but also specific solutions in textile  
finishing provide new aspects.

**Berster — BRD**

Trockentransferdruck

Dry Transfer Printing

**Uppenkamp — BRD**

Naßtransferdruck

Wet Transfer Printing

**Sayle — BRD**

Qualitative und quantitative Verbesserung beim  
Transferdruck

Qualitative and Quantitative Improvements in  
Transfer Printing

**Baumann — BRD**

Ein Beitrag zur Affinitätserhöhung von Disper-  
sionsfarbstoffen auf Baumwolle beim Trans-  
ferdruck von Polyester-Zellulose-Mischungen

A Contribution to Increase the Affinity of Disperse  
Dyestuffs to Cotton during Transfer-Printing of  
Polyester/Cellulose Blends

**Brokmeier — BRD**

Neuere Erkenntnisse bei der Beflockung von  
Flächengebilden

Recent Experiences in Flocking of Fabrics

**Fees — BRD**

Wirtschaftliches Färben von Mischgespinsten  
aus Acrylfasern

Economic Dyeing of Blends Containing Acrylic  
Fibres

**Hoffmann — BRD**

Färben von Synthefasern und ihren Mischun-  
gen nach dem Ausziehverfahren bei variieren-

den Applikationsbedingungen  
Dyeing of Synthetic Fibres and their Blends  
According to the Exhaust Method under Varying  
Conditions of Application

**Roberts — GB**

Erhöhung des Wirkungsgrades beim Färben  
von Geweben, die Polyesterstapelfasern ent-  
halten

Improving the Efficiency of Dyeing Fabrics  
Containing Polyester Staple Fibres

**Schiffer — BRD**

Das Färben von Chemiefasern und Mischgewe-  
ben mit Chemiefasern unter Sattedampfbedin-  
gungen bei Temperaturen bis 150° C und der  
Einfluß der gleichmäßigen Ausspinnung von  
PES/BW-Fasern auf das Warenbild

Dyeing of Man-Made Fibres and Man-Made Fibre  
Blends under Saturated Steam Conditions at  
Temperatures of up to 150° C and the Effect of  
Uniform Spinning of Polyester/Cotton Blends  
on Fabric Appearance

**Hölken — BRD**

Eine neue Möglichkeit zur Nachbehandlung ge-  
färbter Polyesterfasern

A new Possibility of Aftertreatment for Dyed  
Polyester Fibres

**Ebneth — BRD**

Metallisierte textile Flächengebilde und ihre  
Anwendung

Metallized Textile Fabrics and their Application

#### IV. Die Konfektion und Pflege von Tex- tilien Ready-Made Clothing and Care of Textiles

Die Weiterentwicklung moderner Konfektions-  
techniken und der Textilpflege führt zu beach-  
tenswerten Fortschritten, verdient aber auch  
zunehmend die Aufmerksamkeit der vorgela-  
gerten Produktionsstufen.

Further development in modern manufacturing  
techniques for apparel and in the care of textiles  
leads to remarkable progress but also  
deserves the increased attention of the prece-  
ding production stages.

**Bäckmann — BRD**

Nichts geht ohne Konfektion — Überlegungen  
zu einem problematischen Verhältnis — Faser-  
entwicklung, Flächenbildung, Konfektion

We Cannot Do without Ready-Made Clothing —  
Contemplations on a Controversial Relationship  
— Development of Fibre Fabric Production,  
and Manufacture of Ready-Made Clothing

**Lindley — GB**

Chemiefasermischttextilien bei der Herstellung  
von Bekleidungsartikeln

Textiles Containing Man-Made Fibre Blends in  
Garment-Making, Wear and Care

**Peters — BRD**

Polyester/Baumwoll-Mischgewebe aus der Sicht  
der Berufsbekleidungsindustrie

Polyester/Cotton Blends in View of the Manu-  
facture of Professional Clothing

**Sauer — BRD**

Textilien aus Chemiefasern im Objektbereich  
Textiles of Man-Made Fibres in Contract Application

**Krowatschek — BRD**

Möglichkeiten zum nahtlosen Umformen von  
Bekleidungsteilen — Ergebnisse einer Unter-  
suchung

Possibilities of Seamless Shaping of Garment  
Parts — Results of an Examination

**Piller — CSSR**

Gegenwärtiger Stand und Perspektiven der  
Verformung von Maschenwaren

Present State and Perspectives of Molding  
Knitted Fabrics

**Fujii — Japan**

Beherrschung der Elektrostatik bei Textilien  
mit einer neuen leitenden Faser

Electrostatic Control in Textiles with a New  
Conductive Fibre

**Mecheels — BRD**

Erforderliche Nahtfestigkeit in Abhängigkeit  
von der Schnittkonstruktion

Required Seam Strength and its Dependence  
on the Design of Clothing

**Mengdehl — BRD**

Industrienähfäden für die Konfektion — Rohstoffe,  
Konstruktion und Anwendungsbereiche

Industrial Sewing Threads for Ready-Made  
Clothing — Raw Materials, Yarn Constructions  
and Applications

**Schmidt — BRD**

Sprengschäden in der Konfektion  
Damaged Seams in Ready-Made Textiles

**Schweizer — BRD**

Vliesstoffe in der (Bekleidungs-) Konfektion  
Non-Wovens in the Manufacture of Ready-Made  
Clothing

**Wauer — BRD**

Grenzen der Automation im Nähbereich  
Limitations of Automation in the Field of Sewing

**Krüssmann — BRD**

Erhaltung des Weißgrades trotz gesetzlich ver-  
ordneter neuer Waschbedingungen

Good Whiteness Retention in Spite of New  
Washing Conditions Imposed by Law

**Rabitsch — BRD**

Pflege von modernen Geweben bei der Haus-  
haltungswäsche

Care of Modern Fabrics in Home Laundry

**Weber — BRD**

Pflegeleichte Textilien aus Chemiefasern —

Probleme und Problemlösungen beim Waschen und Nachbehandeln

Easy-Care Textiles from Man-Made Fibres — Problems Encountered during Laundry and Finishing and their Solution

**Kurz — BRD**

Trends in der Chemisch-Reinigung

Trends in Dry-Cleaning

**Wirtschaftsvortrag**

**Lecture on Economy**

**Prof. Dr. F. Kneschaurek — Schweiz**

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Perspektiven der achtziger Jahre

Economic and Social Perspectives of the Eighties

**Zur Beachtung!**

Wir laden Sie nach Abschluß der 19. Internationalen Chemiefasertagung am 26. September nachmittags zu einem Autobusausflug ein. Die Fahrt geht in eines der schönsten Hochgebirgstäler Österreichs, in das Große Walsertal. Dort

wird das tausendjährige Stift St. Gerold besichtigt und im Klosterkeller eine Jause eingenommen.

Rückfahrt über Feldkirch (Bahnanschluß).

Die Anmeldung kann an Ort und Stelle erfolgen oder mittels Abschnitt 3 der beigelegten Karte.

**For Your Special Attention!**

After the closing session of the 19th International Man-Made Fibre Conference on the afternoon of September 26th, 1980 we would like to invite you to come with us on a bus trip to one of the most beautiful Alpine valleys of Austria, the Große Walsertal. We will stop at St. Gerold, a one-thousand year old abbey, where we will enjoy the site and take a snack at the abbey's own tavern.

On our way back we will pass through Feldkirch where all those who want may catch a train on the main line.

Registration will be either directly at the Conference or ahead of time by sending in section 3 of the enclosed registration card.



### **Auszeichnung für Prof. Dir. Dr. Hans Krässig**

Vielen unseren Lesern ist Herr Direktor Prof. Dr. Hans Krässig seit Jahren als Autor interessanter Veröffentlichungen oder durch seine Vorträge in den Lenzinger Berichten bekannt. Nach seiner Habilitation bei Prof. H. Staudinger in Freiburg i. B. übernahm er den Aufbau und die Leitung einer Abteilung für Grundlagenforschung der Int. Cellulose Research Ltd. in Kanada und widmete sich, nach Europa zurückgekehrt, einer ähnlichen Aufgabe als geschäftsführender Direktor bei der INRESCOR, einer internationalen Forschungsgesellschaft der Heberlein Co., Schweiz, und der Cluett Peabody Co. Inc., USA, in der Nähe von Zürich.

Seit 1966 leitet Herr Prof. Krässig die Hauptabteilung Forschung und Entwicklung der Chemiefaser Lenzing AG. Er begnügte sich aber keineswegs damit, mit der unter seiner Leitung stehenden industriellen Forschungsgruppe gezielt neue und verbesserte Verfahren und marktgerechte Produkte auf dem Fasersektor zu entwickeln, sondern habilitierte sich 1972 neuerlich an der Technischen Universität in Wien für Faserchemie und nahm 1973 zusätzlich einen Lehrauftrag im Rahmen der Studienrichtung »Kunststofftechnologie« an der Montanuniversität in Leoben an.

Als Anerkennung für seine Lehrtätigkeit wurde ihm auf Antrag der naturwissenschaftlichen Fakultät der TU Wien sowie des Professorenkollegiums der Montanuniversität Leoben im Juni 1979 vom österreichischen Bundespräsidenten der Titel eines »a.o. Professors« verliehen.

Der Verein der Zellstoff- und Papierchemiker und -ingenieure würdigte im Juni 1979 anlässlich seiner Jahresversammlung in Baden-Baden sein wissenschaftliches Schaffen durch die Verleihung der Dr. Edmund Thiele-Denkmünze. Grundlegende Erkenntnisse über die Reaktivität der Cellulose sowie über Zusammenhänge von Strukturparametern und textilen Eigenschaften von Viskosefasern stehen in seinen Arbeiten der Entwicklung von modifizierten Viskose- und Chemiefasern gegenüber. Die schwerentflammbare Lenzinger FR ist bereits in Produktion gegangen, und die Lenzinger PTFE, eine Spaltfaser für eine große Anzahl von Einsatzgebieten, erobert die Spezialmärkte.

Vom Chemischen Forschungsinstitut der Wirtschaft Österreichs erhielt Prof. Krässig im Dezember 1979 für seine aufschlußreichen Arbeiten und seine Lehrtätigkeit auf dem Gebiet der Polymeren und Kunststoffe sowie der Textil- und Synthesefasern die Hermann F. Mark-Medaille für 1979.

Unserer Gratulation zu diesen Auszeichnungen möchten wir aber auch einen Dank anschließen für das lebhafteste Interesse und die verständnisvolle Unterstützung, die Herr Prof. Dir. Dr. Krässig jederzeit unserer redaktionellen Arbeit entgegenbringt.

**Die Redaktion**

## Innovation in der Chemie

Dr. H. Dörfel, Ludwigshafen

Die chemische Industrie hat sich in nicht viel mehr als einem Jahrhundert unter ständiger Erneuerung und Verbesserung ihrer Produkte und Verfahren in einer Phase ständiger Innovationen zu ihrer heutigen Bedeutung entwickelt. Wie jede andere Betätigung war auch die Chemie von Anfang an von vorgefundenen Rahmenbedingungen, insbesondere von Rohstoffen, von der Energie, vom Absatz der Chemieprodukte und auch von den gesellschaftlichen Verhältnissen abhängig. Die chemischen Innovationen haben sich in der Vergangenheit als wirksames Werkzeug zur Meisterung schwieriger Menschheitsprobleme erwiesen: künstliche Düngemittel zur besseren Ernährung der rasch wachsenden Weltbevölkerung, wirksame Medikamente gegen Infektionskrankheiten usw. Innovationen ermöglichten der chemischen Industrie die rasche Anpassung an die wechselnden Bedingungen des starken Wirtschaftswachstums in den fünfziger und sechziger Jahren.

Nach der Verknappung und Verteuerung des Erdöls wurde die chemische Innovation noch stärker als vorher auf Ziele zur Einsparung von Rohstoffen und Energie ausgerichtet. Die Verschärfung der Umweltschutzbestimmungen löste defensive Innovationen aus: neue Abwasserklärverfahren, Abluftreinigungsverfahren, bessere Analysen- und Prüfmethoden für toxische Stoffe.

Zur Zeit ändern sich in den Industrieländern verschiedene fundamentale Rahmenbedingungen negativ für die Ertragskraft und damit für die Innovationen in der Chemie: steigende Lohnkosten und damit steigende Forschungskosten bei sinkenden Chemieerträgen, steigende Rohstoffkosten, Verfall der Chemiepreise durch Überkapazitäten, einseitige Diskussion der potentiellen Gefahren aus der Chemie, vordergründig negative Bewertung der Grundlagenforschung, Überbewertung der direkten Forschungsförderung durch die Regierungen etc.

Die vielfältigen negativen Einflüsse auf die Chemie können nicht allein durch Innovation, sondern müssen auch durch Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Chemie ausgeglichen werden.

Die chemischen Innovationen werden auch in Zukunft wesentlich zur Erhaltung und Verbesserung der menschlichen Lebensbedingungen beitragen: Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und Bodenverbesserungsmittel für die Landwirtschaften der Dritten Welt, Medikamente gegen heute noch unzureichend heilbare Krankheiten, besonders auch Tropenkrankheiten, Tertiärförderung von Erdöl, umweltfreundliche Synthesen mit selektiveren Katalysatoren, Biokatalysatoren, eine weitere Substitution der energieintensiven Metalle durch organische Werkstoffe, Chemierohstoffe und Energie aus laufend nachwachsenden Pflanzen in warmen Ländern, Photosynthese, vorbereitende Arbeiten zur Rückumstellung auf Kohle als Rohstoffbasis etc.

In not much more than a century, the chemical industry has obtained the importance it has today by constantly renewing and improving its products and processes by means of continuous innovation. From the outset, chemistry, as every other branch of industry, was dependent on existing general conditions, especially raw materials, energy, and markets for chemical products, and on social structures. In the past, chemical innovations have proved to be an effective tool for mastering difficult problems facing mankind, e. g., artificial fertilizers for better feeding the rapidly growing world population, and effective drugs for combating infectious diseases. Innovations helped the chemical industry to adapt quickly to the changing conditions brought about by the considerable economic growth in the fifties and sixties.

When oil became scarcer and more expensive, chemical innovation was directed, more so than in the past, to the saving of raw materials and energy. More stringent environmental legislation was the cause of defensive innovations: new effluent and waste gas treatments, and improved analysis and test methods for toxic substances.

At the present time in industrial countries, various general conditions for chemistry are changing, and this has a negative effect on earning power and thus on innovation in chemistry: rising wages and salaries and thus rising research costs set against falling chemical profits, rising raw material costs, the drop in chemical prices as a result of overcapacity, one-sided discussion of the potential dangers in the chemical field, a cursory, negative judgement of basic research, attachment of too much importance to the promotion of direct research projects, by governments etc.

The numerous negative influences on chemistry cannot be evened up by innovation alone — the general conditions for chemistry must also be improved.

Chemical innovations will continue also in future to make an essential contribution towards the maintenance and improvement of our living conditions: fertilizers, crop protection agents and soil conditioners for farming in developing countries, drugs for combating diseases which are today still insufficiently curable, particularly tropical diseases, tertiary oil production, non-polluting syntheses with more selective catalysts, biocatalysts, further substitution of energy-intensive metals and rare metals by systems with organic polymers, chemical raw materials and energy from continuous plant growth in hot regions, preparation for conversion to coal as feedstock for chemistry, photosynthesis etc.

Die Chemie, die Summe der vom Menschen betriebenen Stoffumwandlungen ohne Verbrennungsvorgänge und ohne einfache metallurgische Prozesse, hatte vor 100 Jahren erst einen bescheidenen Umfang erreicht. Seitdem hat sich die Chemie zu einem wichtigen Werkzeug für die Befriedigung der elementaren und gehobenen Bedürfnisse der Menschheit und zu einem starken Wirtschaftsfaktor entwickelt. Sie macht z. B. in der Bundesrepublik Deutschland mit einem Jahresumsatz von über 90 Mrd. DM mehr als 10 % der gesamten Industrieproduktion aus.

In ihrer Entwicklung befand sich die chemische Industrie in einem Zustand ständiger Erneuerung und Verbesserung ihrer Produkte und Verfahren, brachte also laufend Innovationen hervor. Innovation und Entwicklung der chemischen Industrie zu ihrer heutigen Bedeutung sind untrennbar miteinander verbunden. Besonders das qualitative, aber auch das quantitative Wachstum sind unmittelbare Folgen von vielfältigen Innovationsprozessen.

Die chemische Industrie ist nicht wie die meisten unserer Industrien primär aus dem Handwerk entstanden, sondern sie ist das Produkt konsequenter Übertragung von wissenschaftlichen Forschungsergebnissen in den industriellen Maßstab. Die Neuentwicklungen in der Chemie waren von vornherein durch wissenschaftliches, systematisches Vorgehen geprägt und kamen viel weniger durch nur empirisches Probieren wie in anderen Industrien zustande.

Lagen die wissenschaftlich-theoretischen Grundlagen für die Gesetzmäßigkeiten erst einmal vor, dann liefen die Neuentwicklungen der Chemie sehr rasch und oft mit sprunghaftem technischem Fortschritt ab. Besonders deutlich zeigt sich diese Dynamik auch in der Entwicklung der Synthesefasern.

Solange der Mensch keine Idee vom Aufbau und von der Struktur der ihn umgebenden Materie hatte, war es ihm offenbar unmöglich, Stoffumwandlungen zu planen und systematisch auszuführen. So konnte er sich auch keine künstlichen Textilfasern für seine Kleidung schaffen und war jahrtausendlang auf pflanzliche und tierische Produkte, auf Fasern aus Biopolymeren angewiesen.

Nach der Vermehrung unseres Wissens über das Wesen der chemischen Elemente, den Aufbau der chemischen Verbindungen und die Gesetzmäßigkeiten der chemischen Vorgänge zu Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts, wurden auch verschiedene Wege zur chemischen Abwandlung von Naturfasern und zur Schaffung künstlicher Fasern gefunden, zunächst ausgehend von Zellulose als Rohstoff.

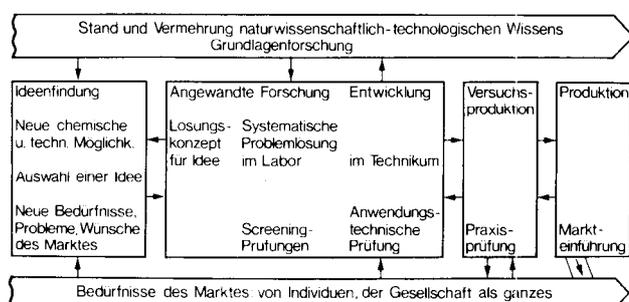
Erst in den zwanziger Jahren wurden durch die bahnbrechenden Arbeiten von Hermann Staudinger die makromolekulare Struktur der Zellulose und die Existenz von Makromolekülen erkannt und recht widerwillig von der damaligen chemischen Fachwelt akzeptiert. Ein Charakteristikum vieler makromolekularer Stoffe sind bekanntlich ihre fadenziehenden Eigenschaften.

Aufbauend auf diesen fundamentalen Erkenntnissen, wurden in den dreißiger Jahren und Anfang der vierziger Jahre, mit Ausnahme von Polypropylen, die heute wichtigsten Synthesefasern gefunden: Polyamid 6,6; Polyamid 6; Polyäthylenterephthalat und Polyacrylnitril. Die wichtigsten Innovationen auf dem Synthesefasergebiet folgten also ziemlich rasch der Erkenntnis vom Wesen und von den Eigenschaften der Makromoleküle.

Im Sinne dieser Ausführungen soll unter Innovation die Summe aller wissenschaftlichen, technischen und kommerziellen Schritte verstanden werden, mit denen neue Produkte auf den Markt oder neuartige Verfahren und Anlagen in kommerziellen Gebrauch gebracht werden.

Für die Chemie können die einzelnen Stufen einer Innovation mit dem in Tabelle 1 dargestellten Schema veranschaulicht werden:

Tabelle 1: Schritte der Innovation in der Chemie<sup>1</sup>



Durch die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung an Hochschulen, wissenschaftlichen Instituten und in Unternehmen wird unser Wissen laufend vermehrt. Aus der wissenschaftlichen Literatur, der Patentliteratur, der Zusammenarbeit mit Hochschulen und wissenschaftlichen Instituten und aus den Arbeiten in den Unternehmen werden laufend neue Mög-

lichkeiten erkannt, die zur Schaffung neuer oder zur Verbesserung bekannter Produkte, Herstell- und Verarbeitungsverfahren geeignet erscheinen. Die vielfältigen wissenschaftlich-technischen Informationen zeigen dem aufmerksamen Fachmann laufend neue Möglichkeiten für die Herstellung und Verwendung von Stoffen auf.

Gleichzeitig werden neue Bedürfnisse des Marktes oder schon lange bestehende, aber mit dem bisherigen Stand der Technik nicht zu befriedigende Bedürfnisse des Marktes daraufhin untersucht, ob sie durch die neu erkannten Möglichkeiten der Machbarkeit nicht befriedigt werden könnten.

In der Phase der Ideenfindung kommt man durch Kombination dieser Faktoren zu einer Reihe von Projektideen, aus denen die aussichtsreichsten ausgewählt und als Projekte weiterverfolgt werden. In der Phase der angewandten Forschung wird zunächst ein Lösungskonzept für diese Projekte gesucht, und es werden dann systematische Problemlösungen möglichst im Labormaßstab bearbeitet.

Ist das neue Produkt im Laboratorium herstellbar oder das neue Verfahren ausführbar, so werden die Ergebnisse meist über die Stufe einer Technikumsanlage in den Produktionsmaßstab übertragen, sofern das Marktbedürfnis nach wie vor weiterbesteht.

Die Aktivitäten zur Synthese neuer Produkte werden von physikalisch-chemischen Messungen der Eigenschaften und von den anwendungstechnischen Prüfungen und Praxisprüfungen der Gebrauchseigenschaften der Produkte begleitet. Für neue Verfahren wird u. a. die genaue Überprüfung der Wirtschaftlichkeit durchgeführt.

Sind alle Ergebnisse positiv, so wird eine Produktionsanlage für das neue Produkt erstellt und das Produkt in den Markt eingeführt.

### Rahmenbedingungen für die Chemie

Wie jeder Industriezweig und jede Betätigung überhaupt war auch die chemische Industrie von Anfang an von fundamentalen Umgebungsfaktoren, von primären Rahmenbedingungen abhängig. Ihre Entwick-

Tabelle 2: Materielle Rahmenbedingungen für die chemische Industrie

- Rohstoffe, Hilfsstoffe (Verfügbarkeit, Kosten)
- Energie (Verfügbarkeit, Kosten)
- Chemieprodukte (Bedarf, Verbrauch)
- Kapital (Verfügbarkeit, Kosten)
- Abnehmer, Endverbraucher, Verbrauchsgewohnheiten
- Transportwege, Transportkosten

lung konnte sich nur in den Grenzen dieser vorgegebenen Rahmenbedingungen vollziehen (Tab. 2). Wesentliche Voraussetzungen für die von Menschen betriebenen Stoffumwandlungen waren natürlich materielle Rahmenbedingungen, wie Verfügbarkeit und Kosten der umzuwandelnden Rohstoffe an einem Standort, Verfügbarkeit der für die chemischen Pro-

**Tabelle 3: Immaterielle Rahmenbedingungen für die chemische Industrie**

- Stand der wirtschaftlichen und technischen Grundlagenforschung
- Verfügbarkeit, Ausbildungsstand von (wissenschaftlichen) Arbeitskräften
- Lohnkosten, Arbeitsgesetzgebung, Mitbestimmungsgesetze
- Behördliche Vorschriften, Umweltgesetzgebung, Forschungsförderung
- Konkurrenzsituation, Einfuhrzölle, Wirtschaftsverträge

zesse notwendigen Energien und Hilfsstoffe, der Bedarf und laufende Verbrauch der Endprodukte der chemischen Prozesse, Verarbeitungsverfahren für Chemieprodukte, Verbrauchsgewohnheiten, Transportwege und Transportkosten (Tab. 3).

Einen großen Einfluß üben jedoch auch immaterielle Rahmenbedingungen auf die Entwicklung der chemischen Industrie aus, wie der Stand der Grundlagenforschung in einem Lande, die Verfügbarkeit und der Ausbildungsstand von wissenschaftlichen, technischen und kaufmännischen Arbeitskräften, das Niveau der Lohnkosten, die Arbeitsgesetzgebung, behördliche Vorschriften, Umweltgesetzgebung, staatliche Forschungsförderung, die Konkurrenzsituation, Einfuhrzölle, Wirtschaftsverträge usw.

Die Rahmenbedingungen wirken wegen der engen Verzahnung von Chemie und chemischer Innovation im gleichen Sinne fördernd oder drosselnd auf die chemische Innovation. Für verschiedene Länder und Wirtschaftsräume können sich die Rahmenbedingungen für die Chemie und chemische Innovation stark unterscheiden und im Laufe der Zeit unterschiedlich weiterentwickeln.

Die Chemieinnovationen der letzten 100 Jahre haben jedoch auch ihrerseits in früheren Zeiten unverrückbare Rahmenbedingungen für wichtige Lebensbereiche verschoben und die Produktions- und Lebensverhältnisse verschiedener Berufsstände erheblich verändert.

So führte die Produktion synthetischer Farbstoffe und synthetischer Fasern zu einem Rückgang bzw. zur Stagnation des Anbaus von Pflanzkulturen für natürliche Farbstoffe und Naturfasern und machte so Anbauflächen für Nahrungsmittel frei. Die Bereitstellung künstlicher Düngemittel und Pflanzenschutzmittel war eine der Hauptvoraussetzungen für die spektakuläre Rationalisierung und Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion, verbunden mit Strukturveränderungen in der Landwirtschaft der Industrieländer. Die wirksame Bekämpfung von Infektionskrankheiten mit Medikamenten revolutionierte das Gesundheitswesen usw.

**Lösung schwieriger Probleme durch Chemieinnovationen in der Vergangenheit**

Wie schon angeklungen, haben sich die Chemieinnovationen in der Vergangenheit als wirksame Werkzeuge zur Meisterung schwieriger Menschheitsprobleme erwiesen, die das Leben der Menschheit nicht nur beeinträchtigen, sondern sogar ernsthaft bedrohten (Tab. 4).

**Tabelle 4: Lösung schwieriger Probleme durch Chemieinnovationen in der Vergangenheit**

Problem	Chemie-Innovation zur Lösung
● Rascher wachsende Weltbevölkerung	– Künstliche Düngemittel
● Rückgang der Ernten aus verarmten Böden	– Pflanzenschutzmittel
● Infektionskrankheiten	– Wirkstoffe Geburtenkontrolle
● Mangel an Spinnfasern	– Chemotherapeutika, Antibiotika
● Mangel an Kautschuk	– Chemiefasern
● Mangel an Ercöl	– Synthetischer Kautschuk
	– Kohlehydrierung

Besonders ernste Probleme wirft ohne Zweifel das raschere Anwachsen der Weltbevölkerung auf, das im 19. Jahrhundert einsetzte. Die in Europa daraufhin versuchte intensivere Nutzung der Anbauflächen ohne die in früheren Jahrhunderten eingehaltenen Zwischenpausen führte zu einem Rückgang der Erträge auf den rasch verarmenden Böden.

Durch die Anwendung künstlicher Düngemittel und später von Pflanzenschutzmitteln konnte seitdem die landwirtschaftliche Produktion von Nahrungsmitteln in den entwickelten Ländern stark gesteigert werden. — Beispiele für die wirksame Bekämpfung von Infektionskrankheiten durch Chemotherapeutika und Antibiotika hat fast jeder von uns in seinem privaten Bereich erlebt. Der Mangel an Spinnfasern, Kautschuk und flüssigen Treibstoffen in den zwanziger bis vierziger Jahren und die großen Leistungen zur Beseitigung dieser Mangelerscheinungen sind der heutigen jungen Generation in unserer Wohlstandsgesellschaft nicht ohne weiteres geläufig.

**Tabelle 5: Mineraldüngerverbrauch und Ertragsentwicklung auf den deutschen landwirtschaftlichen Nutzflächen seit 1880<sup>2</sup>**

Jahr	Verbrauch an Mineraldüngern (kg/ha)			Erträge (in t/ha)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Weizen	Gerste	Kartoffeln
1880-1885	0,7	1,6	0,8	1,28	1,29	7,92
1910-1914	5,1	16,1	12,6	2,02	1,94	12,90
1925/26	10	15	24	2,02	1,71	12,87
1939-1943	21	14	46,2	2,19	2,07	17,52
1949-1951 <sup>1)</sup>	24	27,4	42,8	2,71	2,49	21,55
1959-1961	42,5	47,3	71,4	3,27	2,90	22,39
1969-1971	77,1	63	82,1	4,14	3,59	27,25
1975/76	92	59	83	4,47	3,97	26,63

<sup>1)</sup> ab 1949 nur Bundesrepublik Deutschland

Doch zunächst einige Worte zu der Rolle der Chemie bei der Steigerung unserer Nahrungsproduktion: Die bekannten Untersuchungen von Justus von Liebig über die Aufbaustoffe der Pflanzen und deren Vorkommen im Boden zeigten, daß mit den geernteten Feldfrüchten dem Boden u. a. laufend die für das Wachstum der Pflanzen essentiellen Elemente Phosphor, Kalium und Stickstoff entzogen werden. Mit zunehmender Verstädterung und Einführung der Abwasserkanalisation werden die in der Nahrung enthaltenen Verbindungen dieser Elemente zunehmend in die Meere transportiert und stehen für das Pflanzenwachstum nicht mehr zur Verfügung.

Wie aus den statistischen Zahlen der Tabelle 5 her-

vorgeht, konnte durch die Düngung der landwirtschaftlichen Nutzflächen mit den aus Salzlagerstätten herbeigeschafften und durch chemische Prozesse aufbereiteten Phosphorsäure- und Kali-Salzen die Ertragskraft der verarmten Böden in Deutschland anhaltend gesteigert werden.

Die in den Jahren 1917 und 1918 in Deutschland stark zurückgefallene Düngemittelproduktion — die Produktion von Phosphorsäure-Düngemitteln war auf ein Zehntel derjenigen des Jahres 1913 zurückgegangen — war eine der wesentlichen Ursachen für die bekannte Hungersnot von 1918, der in Deutschland viele Menschen zum Opfer fielen.

Den Böden fehlte jedoch bis Anfang des 20sten Jahrhunderts der für ein kräftiges Pflanzenwachstum nötige gebundene Stickstoff, ein essentieller Bestandteil der Eiweißstoffe und Nukleinsäuren, also der Biopolymeren, an die die Vorgänge des organischen Lebens primär gebunden sind.

Durch die katalytische Umsetzung von Luftstickstoff mit Wasserstoff unter hohen Drucken wird nach dem Verfahren von Haber-Bosch seit 1913 in großem Ausmaß Ammoniak aus Luftstickstoff erzeugt und vor allem zum Herstellen von Düngemitteln verwendet. 1913 lief in Ludwigshafen die Ammoniakproduktion mit 9000 t an; Ende der zwanziger Jahre wurden in Deutschland schon 400.000 tato gebundener Stickstoff in Düngemitteln verbraucht.

Heute gehört Ammoniak (Tab. 6) zu den ganz großen Chemieprodukten: 1977 wurden schätzungsweise 60 Mio. t Ammoniak erzeugt, also mehr als die gesamte für 1978 geschätzte Kunststoffproduktion von nicht ganz 50 Mio. t, 80 % des erzeugten Ammoniaks werden zu Düngemitteln weiterverarbeitet. Mit 1 Mio. t gebundenem Stickstoff pro Jahr in Form von Volldünger lassen sich Nahrungsmittel für etwa 30 Mio. Menschen erzeugen. 48 Mio. t Ammoniak schaffen also die Nahrungsgrundlage für etwa 1,4 Mrd. Menschen.

**Tabelle 6: Bedeutung des Ammoniaks<sup>3</sup>**

Angaben in Mio Tonnen N pro Jahr

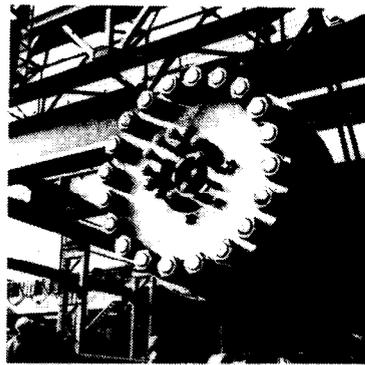
Region	Kapazität (Mitte 1978)	Produktion 1977
Westeuropa	15,0	12,4
USA	18,5	13,0
Ferner Osten	12,1	( 9,5)*
Lateinamerika	4,7	( 2,0)*
Westliche Welt	55,8	(40,0)*
Ostblock	29,9	(20,0)*
WELT	85,7	ca. 60

\*) eig. Schätzung

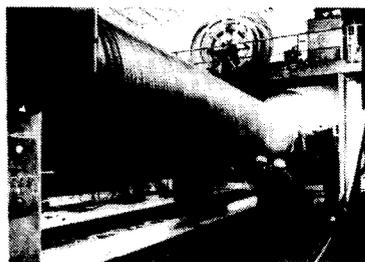
Verwendung des Ammoniak (Welt)

Düngemittel	80 %
Kunstharze, Leime	3 %
Sonstige	17 %

Für die Ammoniaksynthese mußte eine ganz neue Hochdrucktechnik<sup>4</sup> (Abb. 1) entwickelt werden. Die großen Hochdruckreaktoren mit einer Länge von 20 m



Ammoniakofen von 2m lichter Weite und 20m Länge



Wickelmaschine zur Herstellung von Hochdruckbehältern

Abb. 1: Hochdrucktechnik<sup>4</sup>

und einem inneren Durchmesser von 2 m wiegen 300 t und müssen nach einem speziellen Wickelverfahren aus besonderem Bandstahl hergestellt werden.

Diese wichtige technologische Innovation brachte eine Kette weiterer chemischer Innovationen in Gang (Tab. 7).

**Tabelle 7: Hochdrucksynthesen**

Luftstickstoff + Wasserstoff  $\longrightarrow$  Ammoniak

Kohlenoxid + Wasserstoff  $\longrightarrow$  Methanol

Kohle. (Teer) + Wasserstoff  $\longrightarrow$  Benzin

Äthylen  $\longrightarrow$  Polyäthylen

Matthias Pier setzte ab 1920 in der Ludwigshafener Versuchsanlage für die Ammoniaksynthese Kohlenmonoxyd und Wasserstoff bei 200 atm mit Zinkchromat als Katalysator um und erhielt in guten Ausbeuten Methanol; bei erhöhter Temperatur Methanol und höhere Alkohole. Zur Zeit werden in der Welt rund 10 Mio. t Methanol erzeugt. Die Hälfte davon wird zu Formaldehyd und dessen Folgeprodukte weiterverarbeitet. Heute ist Methanol auch als Zusatz zu Treibstoffen im Gespräch.

Schon in den zwanziger Jahren wurde in den USA eine Verknappung des Erdöls befürchtet: 1927 schätzte man die Erdölrreserven der USA noch auf 7 Jahre. Man war deshalb sehr an einem neuen Verfahren zum Herstellen von Kohlenwasserstoffen aus Kohle interessiert, das damals in Deutschland erarbeitet wurde. Pier hydrierte in der Versuchsanlage, die zur Ausarbeitung

der Ammoniak- und Methanolsynthese gedient hatte, Schwelteer aus Kohle und später Kohle selbst. Auf der Grundlage dieser und anderer Arbeiten wurden im zweiten Weltkrieg in Deutschland bis zu 4 Mio. tate synthetisches Benzin aus Kohle hergestellt.

Die Weiterentwicklung dieser Hochdrucktechnik für Drucke bis zu 3000 atm und darüber ermöglichte später die Hochdruckpolymerisation von Äthylen zu Polyäthylen, dessen Produktion zur Zeit bei über 9 Mio. tate liegt.

Besonders segensreich wirkte sich die Arbeit in der chemischen und medizinischen Forschung auf die Verbesserung des Gesundheitszustandes der Menschheit aus. Durch die Entwicklung und Einführung einer Reihe sehr wirksamer neuer Medikamente, z. B. von Chemotherapeutika, Antibiotika usw., konnte ein wichtiger Beitrag zur Eindämmung der bis dahin stark grassierenden Infektionskrankheiten geleistet werden (Abb. 2). Sie waren noch 1927 in Deutschland an allen Todesfällen mit 20 % beteiligt; 1976 nur noch mit 1 %. Gleichzeitig stieg die mittlere Lebenserwartung der Menschen von 57 Jahre auf 71 Jahre an. Die stark gefährdete Gesundheit der Menschen in den tropischen Gebieten konnte durch die Entwicklung zahlreicher spezifischer Medikamente gegen Tropenkrankheiten gelindert werden.

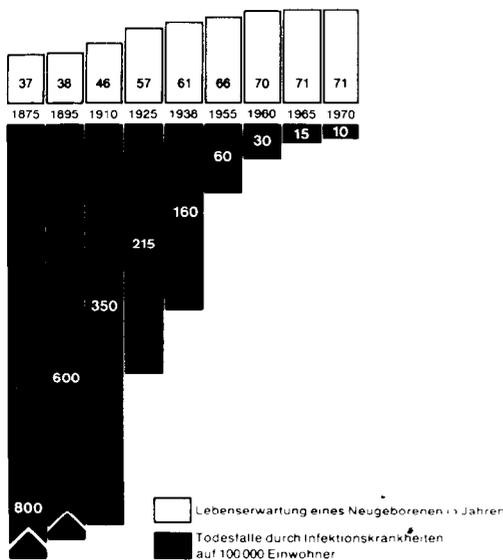


Abb. 2: Abnahme der Mortalität infolge Infektionskrankheiten<sup>2</sup>

**Anpassung an Veränderungen der Rahmenbedingungen für die Chemie in den fünfziger und sechziger Jahren durch Innovationen**

Auch in der verhältnismäßig stabilen Phase industriellen Wachstums in den fünfziger und sechziger Jahren hat sich die chemische Industrie durch ihre Innovationsfähigkeit rasch an die sich für ihre eigene Tätigkeit ändernden Rahmenbedingungen angepaßt (Tab. 8).

Nachdem genügend billiges Erdöl zur Verfügung stand, wurden die Verfahren für organische Chemikalien und Polymere bald auf Erdöl- und Erdgasbasis umgestellt. Der durch das starke Wirtschaftswachstum aus-

**Tabelle 8: Änderung wichtiger Rahmenbedingungen für die Chemie 1950 — 1970: Anpassung durch Innovation**

Änderung wichtiger Rahmenbedingungen für die Chemie 1950-1970	Anpassung durch Innovation
● Billigeres Erdöl nach 1950	Erdöl statt Kohle als Chemierohstoff: preiswerte organische Chemikalien und Polymere
● Steigender Bedarf für Chemieprodukte	Neue leistungsfähige Produktionsverfahren
● Verknappung an Arbeitskräften	Automatisierte Produktions- und Meßverfahren
● Anstieg der Lohnkosten	Große Einstrang Produktionsanlagen
● Anstieg der Kapitalkosten	

gelöste hohe Bedarf an Chemieprodukten konnte durch Einführung von leistungsfähigen neuen Verfahren gedeckt werden. Der Verknappung an Arbeitskräften und dem starken Anstieg der Lohnkosten wurde durch die Entwicklung von weitgehend automatisierten Anlagen und Meßverfahren entgegengewirkt.

**Innovationen bei polymeren organischen Werkstoffen**

Das starke Anwachsen der Kunststoffproduktion, ermöglicht durch eine Vielzahl von Innovationen auf dem Gebiet der makromolekularen Chemie, die wie eine Welle dem theoretischen Durchbruch von Staudinger zum Wesen der Makromoleküle folgte, wurde durch die laufende Verbilligung der Erdölprodukte aus der aufstrebenden Petrochemie begünstigt (Abb. 3).

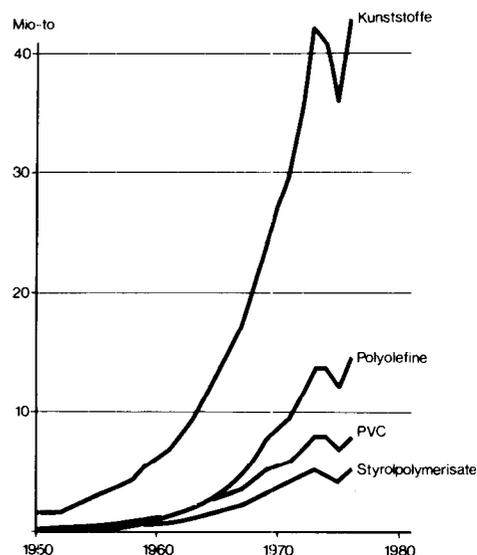


Abb. 3: Kunststoffverbrauch in der westlichen Welt

In dieser Wachstumsperiode verbilligten sich die Kunststoffe, hier aufgezeigt am Beispiel der Polyolefine (Abb. 4), enorm. Die Kunststoffe substituierten wegen ihrer Preisvorteile, ihrer besseren Gebrauchseigenschaften und Verarbeitungseigenschaften in vielen Fällen herkömmliche Materialien, wie Papier, Pappe, Holz und schließlich auch Metalle. Oft können in Kunststoffen Eigenschaften kombiniert werden, wie leicht, zäh, steif, fest, korrosionsbeständig, leicht verformbar usw. Die Eigenschaftskombinationen der synthetischen Polymeren lassen sich in weiten Grenzen nach Maß einstellen.

Die Vielfalt der hergestellten Kunststoffe machte ganz

neue Anwendungen und neue Technologien möglich. Die heutige Produktion von organischen Werkstoffen mit rund 50 Mio. t entspricht dem Volumen von ca. 380 Mio. t Stahl.

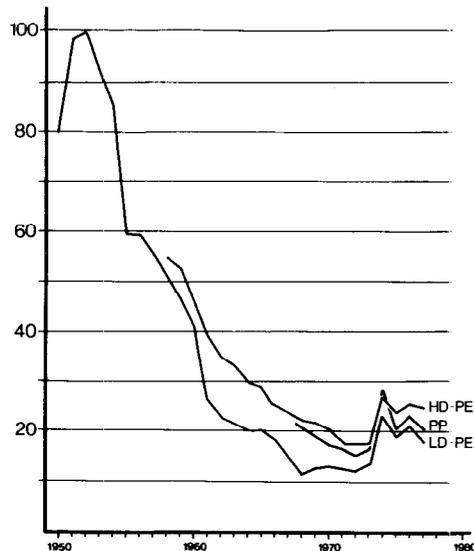


Abb. 4: Preisentwicklung bei Polyolefinen (BRD, indizierte Preise)

Die Anwendung von organischen Polymeren revolutionierte die Verpackung, Vorratshaltung und Verteilung von Gütern, brachte Vorteile für das Bauwesen, die Möbelherstellung, die Elektrotechnik, den Fahrzeugbau, den Maschinenbau, den Anstrichsektor, die Papierveredlung, die Klebstoffherstellung etc.

Es gibt heute kaum noch einen Bereich menschlicher Betätigung ohne die Mitverwendung synthetischer organischer Polymerer (Tab. 9). Ohne synthetische Polymere ist der uns und auch den Kritikern der Kunststoffe zur Gewohnheit gewordene Lebensstandard und unsere bequeme moderne Lebensweise undenkbar.

Tabelle 9: Anwendung von organischen Polymeren in Lebensbereichen<sup>2</sup>

Die wichtigsten Bereiche sind:

Verkehr	Medizin und Chirurgie
Bau	Nachrichtenwesen
Einrichtung	Raumfahrt
Hausrat	Oberflächenbeschichtung
Sport und Freizeit	Verklebung, Haftung
Bekleidung	Apparate- und Anlagenbau
Verpackung	Elektrotechnik
Werbemittel	Stofftransport

#### Rohstoffe und energiesparende Chemieinnovationen als Reaktion auf die Verteuerung des Erdöls

Als 1973 zusätzlich zu anderen sich negativ für die Chemie auswirkenden Rahmenbedingungen der plötzliche Anstieg der Erdöl- und Energiepreise kam, wurde dem Umstand mit einem Bündel von Innovationen begegnet (Tab. 10). Für die Chemie war es von jeher

auch ein wirtschaftlich lohnendes Forschungsziel, neue Produktionsverfahren mit höheren Ausbeuten, geringerem Verbrauch an Hilfsstoffen und geringerem Energieverbrauch zu entwickeln. Durch die plötzliche Verteuerung der Rohstoffe und der Energie wurden diese Zielsetzungen nun noch wichtiger.

Unter den neuen Voraussetzungen wurde die Erstellung von teuren Anlagen wirtschaftlich, welche eine höhere Ausbeute an Endprodukten lieferten. Außerdem wurde die Entwicklung von chemischen Verfahren ohne Hilfsstoffe begünstigt, wie z. B. die Gasphasenpolymerisationsverfahren von Olefinen, die Herstellung organischer Zwischenprodukte durch Umsetzung in fester Phase usw.

Sehr weit wurde die Einsparung von Energie und die Energiekopplung von Verfahren vorangetrieben: Der Energiebedarf der Ammoniaksynthese konnte in den letzten 60 Jahren vom 90fachen des theoretischen Wertes schließlich auf das 2fache dieses Wertes gesenkt werden. Bedenkt man den begrenzten Wirkungsgrad von Kraftwerken oder Verbrennungsmotoren, so ist dies eine große Leistung.

Tabelle 10: Rohstoffe und Energie sparende Chemieinnovationen

- Neue Produktionsverfahren mit höheren Ausbeuten, ohne Hilfsstoffe
- Neue energiesparende Verfahren, stärkere Energiekopplung
- Recycling von Chemieprodukten
- Neue verbesserte in der Anwendung sparsamere Chemie-Produkte
- Substitution herkömmlicher Werkstoffe durch organische Polymere
- Vollwärmeschutz von Gebäuden durch polymere Schaumstoffe

In einem Werk der chemischen Großindustrie konnte der Energieanteil aus Abwärme und Rückstandsverbrennung die gesamte Energieversorgung von 12% im Jahre 1965 auf 27% im Jahre 1976 erhöhen; in absoluten Zahlen ist das beinahe eine Vervielfachung des Energiebeitrages aus Abfallwärme.

Nach der Ölkrise wurden bei gleichem Gewicht und gleichem Rohstoffverbrauch Kunststoffe mit höheren Festigkeiten und materialsparende Konstruktionen aus Kunststoffteilen entwickelt, so daß dadurch für die gleiche Leistung in der Anwendung nun weniger Rohstoffe und Energie benötigt wurden.

Möglichkeiten zum Recycling, zur mehrfachen Verwendung von Kunststoffen, bieten vor allem thermoplastische Verpackungsmittel.

Wie aus der Gegenüberstellung des Energiebedarfes herkömmlicher Werkstoffe mit demjenigen synthetischer polymerer Werkstoffe leicht abzulesen ist (Abb. 5), haben uns letztere durch die Substitution von herkömmlichen Werkstoffen schon in der Vergangenheit eine außerordentliche Menge Energie sparen geholfen und werden dies auch in Zukunft tun. Mit auftretender Knappheit und Verteuerung der Energie

wird dieser unbestreitbare Vorteil in Zukunft noch stärker zu Gunsten der synthetischen organischen Werkstoffe ausschlagen und weitere Möglichkeiten zur Substitution von energieintensiven herkömmlichen Werkstoffen, insbesondere auch von Metallen, eröffnen.

Energie- und Rohstoffbedarf für die Herstellung einiger Massenprodukte aus Polymeren bzw. Energieaufwand bei konventionellen Werkstoffen in Tonnen Öl-Äquivalente [2]

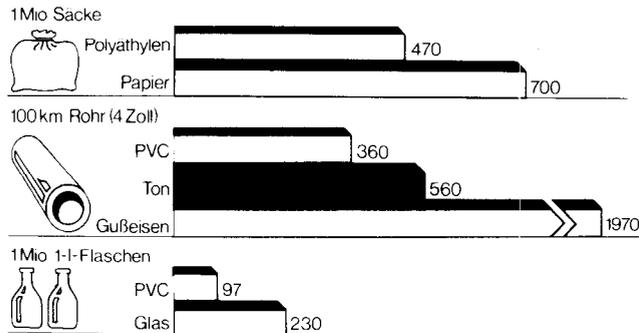


Abb. 5: Energie- und Rohstoffbedarf für die Herstellung von Werkstoffen<sup>2</sup>

Die in den letzten drei Jahrzehnten entwickelten organischen Schaumstoffe auf Basis von Polystyrol und Polyurethanen besitzen ausgezeichnete Wärmedämmeigenschaften und werden zunehmend zur Wärmeisolierung von Gebäuden verwendet (Abb. 6). Hier gibt es noch große Möglichkeiten zur Einsparung von Heiz- und Kühlenergie; es werden doch in der Bundesrepublik Deutschland allein 31 % der Erdölprodukte für die Beheizung oder Klimatisierung von Gebäuden verbraucht.



Abb. 6: Organische Schaumstoffe zur Wärmeisolierung von Gebäuden

Nicht zu vergessen ist schließlich der Korrosionsschutz von Metallen durch neue und verbesserte Lacke auf synthetischer Basis. Der Schutz von vielen Millionen Autokarosserien und anderen Stahlerzeugnissen gegen Korrosion hilft jährlich eine große Menge Stahl und damit auch viel Energie zu sparen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß eine Vielzahl chemischer Innovationen in unserer Zeit auf die Einsparung von Rohstoffen und Energie gerichtet ist.

### Negative Änderungen von Rahmenbedingungen für die Chemie

Die besondere Situation der Chemie und damit auch der chemischen Innovation in unserer Zeit besteht darin, daß sich die in den fünfziger und sechziger Jahren günstigen Rahmenbedingungen für die Chemie ab Anfang der siebziger Jahre negativ veränderten. Besonders ungünstig ist das gleichzeitige Zusammenfallen mehrerer negativer Änderungen von Rahmenbedingungen.

### Umweltprobleme

Obwohl die Emission von Schadstoffen durch Naturvorgänge wesentlich größer ist als die durch menschliche Tätigkeit, waren in den Ballungsgebieten, auch wegen der stark angestiegenen Chemieproduktion, sicher verstärkte Anstrengungen (Investitionen und Innovationen) für die bessere Beherrschung der Umweltfaktoren notwendig (Abb. 7). In Ludwigshafen wurde schon 1964 mit dem Bau der Trennkanalisation für die neue Abwasserkläranlage begonnen, in einer Zeit, als das deutsche Wort *Umwelt* noch gar nicht in den allgemeinen Sprachgebrauch eingeführt war.

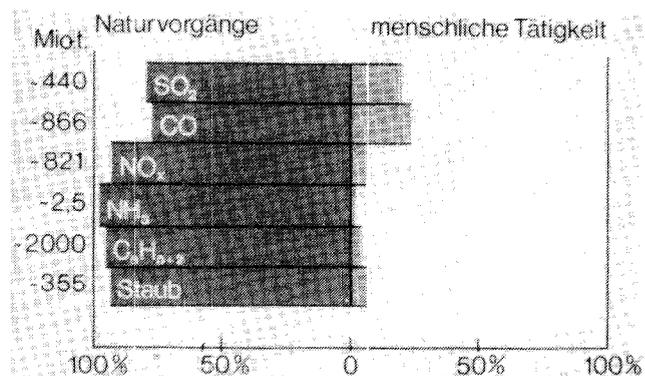


Abb. 7: Globale Emissionen in Mio. t

Die Abbildung 8 zeigt die große, mit einem Investitionsaufwand von 450 Mio. DM errichtete Kläranlage rheinabwärts von Ludwigshafen, in der das Abwasser der BASF und dasjenige der Stadt Ludwigshafen gereinigt wird. Die jährlichen Betriebskosten dieser Anlage liegen bei 60 — 70 Mio. DM.

Ihre Wirkung auf die Abwasserreinigung geht augenfällig aus dem Diagramm in Abbildung 9 hervor.

1978 wurden von westdeutschen Chemiefirmen 2,6 Mrd. DM für Umweltschutzmaßnahmen ausgegeben.

Zum Teil wurden diese defensiven Investitionen durch die in unserem Land sprunghaft angestiegenen Gesetze und behördlichen Auflagen verursacht (Abb. 10).

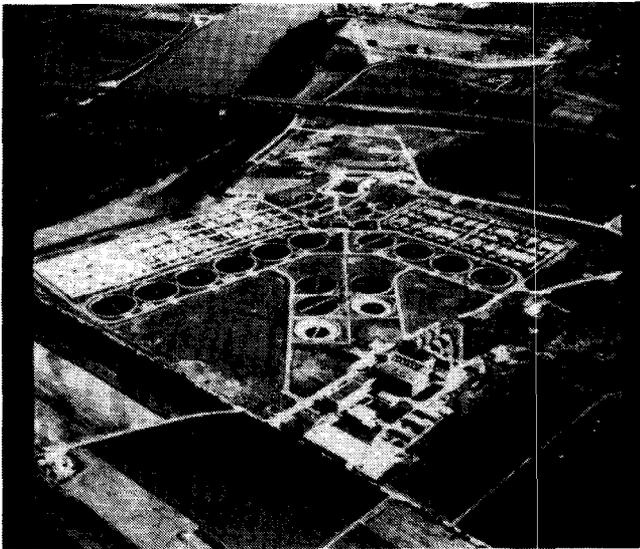


Abb. 8: Kläranlage Ludwigshafen

Die Entwicklung neuer Abwasserklärverfahren, neuer Abluftreinigungsverfahren und verbesserter Analysen- und Prüfmethode für toxische Stoffe ist sicher nützlich und notwendig. In ihrer Auswirkung auf den technischen Fortschritt sind diese Innovationen jedoch zunächst defensiv. Sie beanspruchen einen erheblichen Teil der insgesamt stagnierenden Forschungskapazität in der chemischen Industrie.

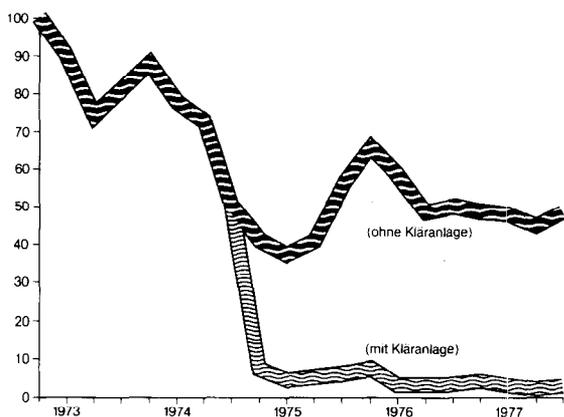


Abb. 9: In den Rhein eingeleitete Schmutzfracht

Die seit 1973 stark gestiegenen Einkaufspreise für die Chemierohstoffe (Abb. 11) beeinflussen die Tätigkeit der chemischen Industrie und ihren Spielraum für Innovationen negativ. Der Trend zur Preissteigerung bei Erdölprodukten wird sich wegen der politischen und gesellschaftlichen Veränderungen in den Erdölkündern sicher fortsetzen. Die jüngsten Vorgänge im Iran führen uns diese Problematik besonders deutlich vor Augen.

Der durchschnittliche Naphthakontraktpreis ist in der EG von Mitte 1978 bis Anfang März dieses Jahres um nahezu 50 %, derjenige für Benzol um 56 % gestiegen. Inzwischen ist eine Verknappung von Benzol eingetreten, denn in den USA entwickelte sich der Verbrauch von bleifreiem Benzin rascher als erwartet. Bleifreies

Gesetzgebung auf dem Umweltgebiet

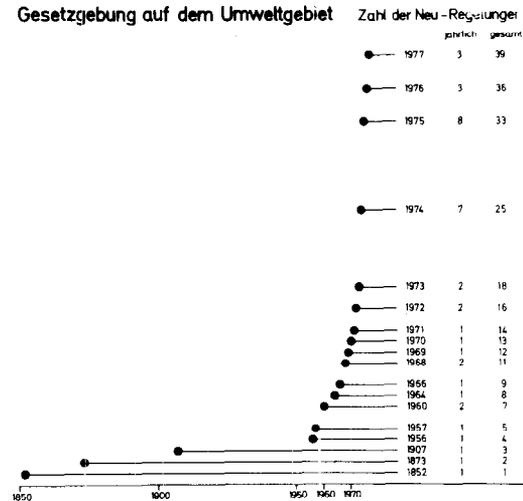


Abb. 10: Anstieg der behördlichen Umweltschutzaufgaben

Superbenzin enthält bis zu 45 %, Normalbenzin ca. 25 % Aromaten. Die Aromaten fehlen als Ausgangsstoffe für Synthesefasern und Kunststoffe, wie Polystyrol und Polyamidwerkstoffe.

Erst Anfang dieses Jahres ist Bewegung in die seit Jahren gedrückten Verkaufserlöse für Chemierohstoffe gekommen. Besonders stark standen bekanntlich Synthesefasern wegen Überkapazitäten und Wettbewerbsverzerrungen viele Jahre lang unter Preisdruck.

In manchen Ländern, besonders auch in Deutschland,

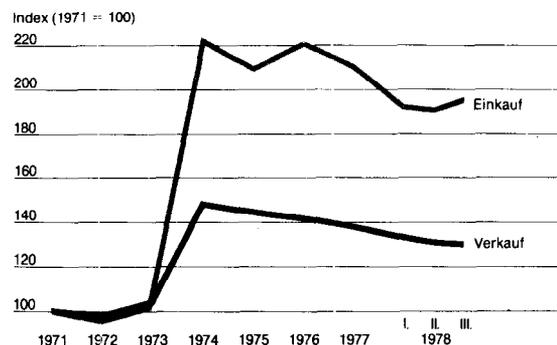


Abb. 11: Chemiepreise: Einkauf/Verkauf

kommt als zusätzlicher, den Spielraum chemischer Innovationen einschränkender Faktor der starke Anstieg der Lohnkosten hinzu. Im Vergleich dazu weisen die Chemieerträge wegen der insgesamt überwiegend negativ wirkenden Rahmenbedingungen der letzten fünf Jahre eine fallende Tendenz auf (Abb. 12). Die Erhöhung der Lohnkosten und damit der Forschungskosten und die Verringerung der Erträge wirken sich in einer Verringerung der für Innovationen zur Verfügung stehenden Mittel aus. Dies und die schwierigeren Geschäfte in der chemischen Industrie wiederum führten zu einer stärkeren Verwendung der Industrieforschungsmittel für kurz- und mittelfristige Projekte, entsprechend einer Reduzierung für langfristige Vorhaben.

Die verschiedenen negativen Faktoren wirken sich in einer starken Erhöhung der spezifischen Forschungskosten aus: pro freigegebenem Pflanzenschutzwirkstoff stiegen die Forschungskosten, vor allem auch wegen der neuerdings größeren Zahl zu bestehender Prüfungen, seit 1950 um mehr als das 10fache an.

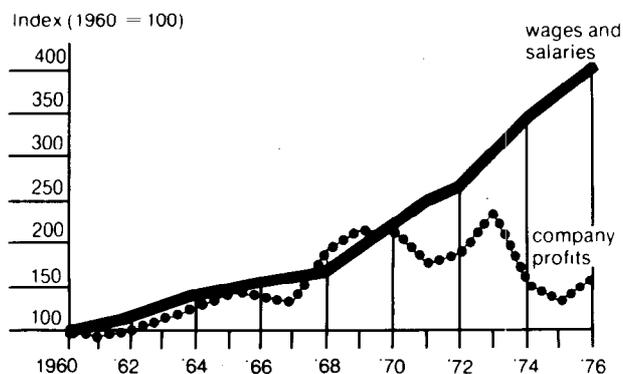
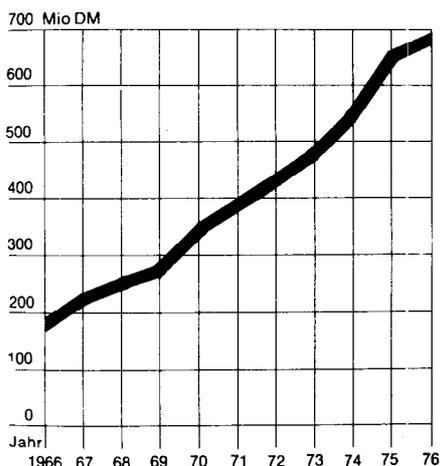


Abb. 12: Lohnkosten/Erträge in der Chemie <sup>6</sup>

Die Graphik der Abbildung 13 zeigt die Steigerung der Forschungskosten von sieben führenden deutschen Arzneimittelherstellern im Zeitraum von 10 Jahren: 1976 betragen diese 370 % der Kosten von 1966. Für ein neues Medikament muß heute mit Forschungsausgaben von 50 bis 80 Mio. DM gerechnet werden.

Anstieg der Aufwendungen für die Arzneimittelforschung und -entwicklung von 7 führenden Pharmaunternehmen\*) der Bundesrepublik Deutschland von 1966 bis 1976 [2]



\*) Bayer AG; C. H. Boehringer Sohn, Ingelheim; Boehringer Mannheim GmbH; Hoechst AG; Knoll AG; E. Merck; Schering AG.

Abb. 13: Anstieg der Aufwendungen für die Arzneimittelforschung <sup>2</sup>

Die längeren Prüfzeiten, besonders in der pharmazeutischen und in der Pflanzenschutzchemie, führen zu längeren Entwicklungszeiten für neue Produkte, so daß

der Patentschutz manchmal schon vor der Einführung der neuen Produkte in den Markt abgelaufen ist.

Der Fortschritt in der Chemie erfolgt zur Zeit nicht so sehr in wenigen Großprojekten, sondern vielmehr auf breiter Front mit vielen neuen und verbesserten Produkten und Verfahren. Für eine derartig strukturierte Forschungstätigkeit ist die zur Zeit in Deutschland favorisierte direkte Forschungsförderung der Regierung, die vor allem den spektakulären Großprojekten in der Kernchemie und in der Luftfahrt zugute kommt, ein Nachteil. Für die Chemie wäre mehr indirekte Forschungsförderung nützlich (siehe Abb. 14).

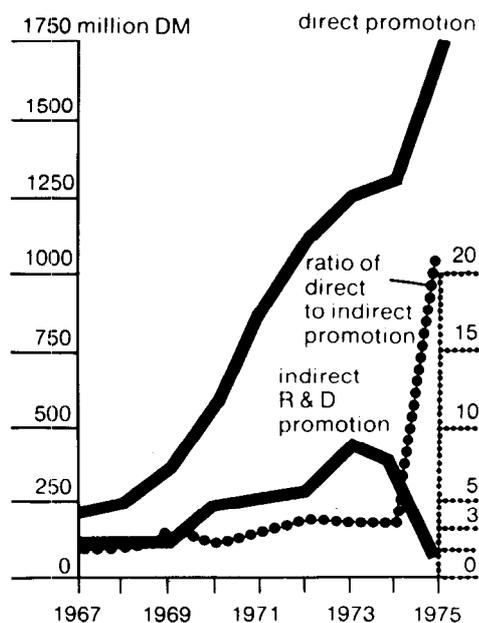


Abb. 14: Verhältnis der direkten zur indirekten Forschungsförderung in Deutschland <sup>6</sup>

Sorge bereitet auch eine vordergründige Abwertung der Grundlagenforschung an den Hochschulen und wissenschaftlichen Instituten, die Schrumpfung der Forschungstätigkeit an einigen Hochschulen wegen der Überlastung durch Lehrtätigkeit und wegen der starken Beanspruchung der vorhandenen Mittel durch die laufend steigenden Lohnkosten.

Diese in der Summe negativen Tendenzen für die Chemieinnovation werden seit kurzem durch einseitige und übertriebene Schilderungen der potentiellen und tatsächlichen mit der Chemie verbundenen Gefahren verschärft: Jüngere Autoren, denen in unserem Dauerwohlstand die für die Verbesserung unserer Lebensbedingungen hervorgebrachten Pionierleistungen der Chemie nicht mehr bewußt sind, beschreiben tatsächliche, potentielle, aber auch eingebildete Risiken, welche die Chemie wie jede andere menschliche Betätigung nun einmal hat. Objektive Vergleiche mit den tatsächlichen und potentiellen Risiken in anderen Lebensbereichen, z. B. den Gefahren im Verkehr, den Gefahren im Sport, den Risiken des Lebens in Erdbebengebieten, ja selbst bei der Tätigkeit im Haushalt, werden nicht angestellt. Fairerweise müßte man den aus der Chemie erwachsenden Risiken auch die enormen Leistungen der Chemie zur Verbesserung unserer Lebensbedingungen gegenüberstellen, um Ri-

siko und Nutzen vergleichen und abschätzen zu können. Anklingen müßte beispielsweise, daß allein durch die Ammoniaksynthese eine ausreichende Ernährung mit Eiweiß für fast 1,5 Mrd. Menschen geschaffen wird, daß die arbeitssparenden modernen Techniken, die für so viele Menschen heute hohe Löhne und oft ein bequemes Leben ermöglichen, stark von Chemieinnovationen abhängen und die Bekämpfung von Seuchen, Krankheiten und Schädlingen ohne Chemie nicht möglich wäre.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Feststellung, daß die Chemie, andere Naturwissenschaften und die Technik auch die Werkzeuge zur Erkennung der schädlichen Nebenwirkungen von Innovationen bereitstellen (empfindliche Analysenmethoden zum Nachweis von toxischen Substanzen, spezifische Methoden zur Messung ihrer Toxizität) sowie ein Instrumentarium zur Behebung oder Reduzierung solcher schädlichen Nebenwirkungen, z. B. neue Methoden zur Abwasser- und Abluftreinigung, Substitution toxischer Arbeitsstoffe durch wirksame ungefährliche Stoffe etc.

### Zukunftsaufgaben für die Chemie

Die übertrieben ängstliche und pessimistische Betrachtungsweise unserer Tage darf jedoch uns Wissenschaftlern und Technikern nicht die Sicht auf die schwierigen Zukunftsaufgaben verstellen, welche die Chemie zur Erhaltung und nach Möglichkeit zur Verbesserung der Lebensbedingungen für eine unaufhaltsam wachsende Weltbevölkerung angesichts knapper werdender Energiereserven zu lösen hat.

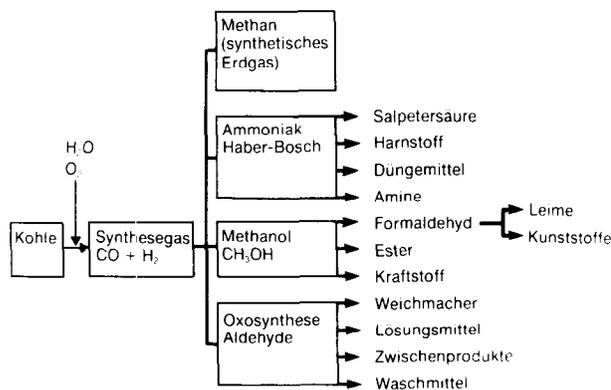
An erster Stelle sind hier neue Verfahren als Abhilfe gegen den Mangel an Chemierohstoffen und Energie zu nennen.

Auszuarbeiten sind neue chemische Verfahren zur noch wirtschaftlicheren Ausnutzung des Erdöls als Chemierohstoff: noch sparsamere Wege vom Erdöl zu organischen Chemikalien und zu den Ausgangsstoffen für Synthesefasern und Kunststoffe. Gelänge es bald, die Großverbraucher von Erdöl (Energieerzeugung 41 % und Haushalte 31 %) auf Kohle und Kernenergie umzustellen, so würden die Erdölvorräte noch sehr lange als wertvolle Basis für Chemierohstoffe ausreichen, denn die Chemie in der Bundesrepublik Deutschland verbraucht nur 6 % aller verwendeten Erdölprodukte.

Wie die jüngste Entwicklung im Iran und in anderen erdölfördernden Ländern lehrt, könnte Erdöl jedoch schon früher, aus politischen Gründen, knapp werden. Wir müssen uns deshalb auf einen früheren Übergang von Erdöl auf Kohle als Basis für Chemierohstoffe vorbereiten. In den USA und in Europa werden deshalb Forschungsarbeiten über Kohlehydrierung, Kohleentschwefelung und Kohlevergasung aufgenommen. Es darf nicht verschwiegen werden, daß Kohle als Rohstoffbasis gegenüber Erdöl verschiedene Nachteile hat: aufwendigere Förderung und Handhabung, aufwendigerer Transport wegen des Feststoffcharakters, geringerer Wasserstoffgehalt und höherer Gehalt an umweltbelastenden Schwefel etc. Diese Nachteile werden sich letzten Endes in einer Verteuerung der Chemieprodukte aus Kohle auswirken (Tab. 11).

Das Synthesegas aus Kohle ist dem aus Erdöl oder Erdgas gewonnenen weitgehend äquivalent. Es eröffnet den Zugang zu synthetischem Methan, zu den Grund-

Tabelle 11: Kohle als Chemierohstoff



chemikalien Ammoniak und Methanol, zu den Oxo-Produkten und zu der Reihe der daraus herstellbaren Zwischenprodukte.

In diesem Zusammenhang stellt sich für die Chemie langfristig die Aufgabe, neue wirtschaftliche Synthesen zur Herstellung der Ausgangsstoffe für die wichtigsten Faserpolymeren und Kunststoffe auf Basis der Grundchemikalien aus Kohle zu entwickeln: Synthesen für Äthylen, Propylen, Butadien, Acrylsäure, Benzol, Toluol usw.

Eine besondere Herausforderung an die Chemie bedeuten auch wirtschaftliche Verfahren zur Herstellung flüssiger Verbrennungskraftstoffe auf Basis von Kohle. Auch die zur Zeit in Südafrika ausgeübte Variante der Fischer-Tropsch-Synthese und die Kohlehydrierung nach Bergius erfordern noch zu viel Aufwand. Die Verwendung oder Mitverwendung von Methanol als Treibstoff zeigt einen möglichen Weg zur Gewinnung synthetischer Treibstoffe.

Auszuloten ist auch noch die Wirtschaftlichkeit von Verfahren zur Gewinnung von Gärungsalkohol aus schnell wachsenden Pflanzen wie Zuckerrohr. (In Brasilien soll ein solcher Anbau auf 2 % der vorhandenen Anbauflächen einen erheblichen Teil der Benzinimporte substituieren können.)

Ein ganz großer Fortschritt wäre die biotechnische Beherrschung der Photosynthese, welche die Nutzungsmöglichkeit auch des diffusen Sonnenlichtes zur Energie- und Rohstoffgewinnung eröffnen würde.

Die üblichen Methoden der Erdölförderung entfernen nur 30 — 35 % des im Gestein enthaltenen Erdöls. Schon jetzt wird versucht, alte Erdölfelder durch sogenannte Tertiärförderung noch weiter auszubeuten, wobei Netzmittel enthaltendes Wasser oder mit sehr hochmolekularen Polymeren verdicktes Wasser durch das Gestein gepreßt wird. Die Synthese neuer wirksamer Hilfsmittel für die Erdöltertiärförderung ist ebenfalls eine langfristige Aufgabe für die Chemie.

Wir haben bereits gesehen, daß die polymeren organischen Werkstoffe in bezug auf ihren Energiebedarf gegenüber herkömmlichen Werkstoffen, wie Leichtmetalle und Stahl, hervorragend abschneiden. Im amerikanischen Automobilbau ist zur Zeit eine rasch voranschreitende Substitution von Metallteilen der Karosserie durch leichtere und billigere Kunststoffteile im Gange. Erreicht werden soll eine drastische Gewichtersparnis der Wagen und damit die gesetzlich vorgeschriebene Treibstoffersparnis bei ihrem Betrieb.

Die Substitution von tragenden Metallteilen durch Teile aus hochwertigen verstärkten Kunststoffen bietet noch ein weites Feld für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Dieser Trend hat bereits die Flugzeugindustrie erfaßt: In einer neuen Generation von amerikanischen Passagierflugzeugen werden zur Gewichts- und Treibstoffersparnis eine Reihe tragender Teile aus kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen bestehen.

Ganz allgemein ist eine Weiterentwicklung der synthetischen organischen Polymeren von einer rein mechanischen Funktion, wie Verpackungsfolien, Gehäuse, Konstruktionswerkstoffe, hin zu Stoffen mit spezifischeren **Eigenschaftskombinationen** zu registrieren: polymere Hilfsmittel für die verschiedensten Verarbeitungsprozesse, Photopolymere zur rationellen Herstellung besserer Druckträger und elektronischer Schaltungen, Membranen zur energiesparenden Stofftrennung, piezoelektrische Polymere für die Schwingungsmembranen empfindlicher Mikrophone etc. Daß das in den Mikromolekülen enthaltene Innovationspotential bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist, zeigen uns die spezifischen Eigenschaften und Wirkungen der hochgeordneten Biopolymeren.

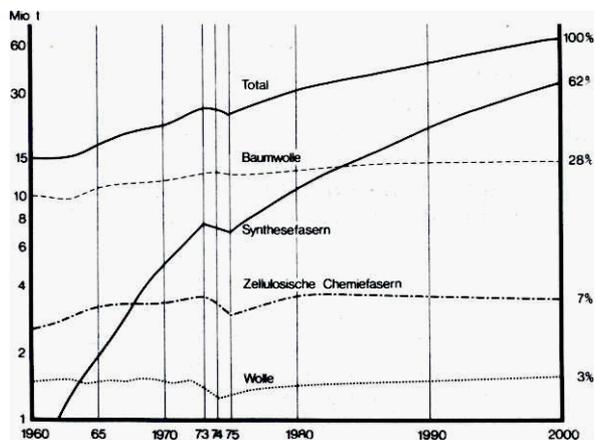


Abb. 15: Die Entwicklung der Weltfaserproduktion 5

In diesem Zusammenhang ist auch die Versorgung der wachsenden Weltbevölkerung mit genügend Kleidung zu diskutieren (Abb. 15): Nimmt man an, daß die Naturfasern und die regenerierten Zellulosefasern anteilmäßig stagnieren, so muß die Bedarfslücke durch Synthefasern aufgefüllt werden. Eine Zukunftsaufgabe für die Synthefasernforschung könnte die Einstellung von Trageeigenschaften sein, die denen von Baumwolle nahe kommen. Eine langfristige Aufgabe stellt auch die Entwicklung von schwerbrennbaren Textilfasern für die Verwendung in Flugzeugen, Fahrzeugen und in Haushalten dar.

Die Faserchemie hat außerdem noch wirtschaftliche Verfahren zum Herstellen von billigeren Kohlenstofffasern und hochfesten Fasern aus aromatischen Polymeren als besonders leichte und steife Verstärkungsmittel zu entwickeln; eine wichtige Voraussetzung für die raschere Substitution der besonders energieintensiven Leichtmetalle und von Stahl durch hochwertige polymere Verbundwerkstoffe.

Bei aller Sorge um die Energiefrage dürfen nicht die schwingen vor uns liegenden Aufgaben vergessen werden, die zur Befriedigung der Grundbedürfnisse der großen Menschenmassen in der Dritten Welt in bezug auf eine Verbesserung ihrer Versorgung mit Nahrung, Kleidung und Behausung und der Sicherung ihrer Gesundheit zu lösen sind.

Tabelle 12: Landwirtschaftliche Produktion: Weltanbauflächen und Erträge für Weizen und Mais 2

	Anbaufläche (Mio ha)			Flächenertrag (t/ha)		
	1961—1965	1974	1976	1961—1965	1974	1976
<b>Weizen Welt</b>	210	223	235	1,21	1,62	1,77
— Entwickelte Länder	60	64	69	1,74	2,16	2,24
— Entwicklungsländer	50	61	67	0,98	1,19	1,41
— Planwirtschaftsländer	100	98	99	1,01	1,53	1,70
<b>Mais Welt</b>	99	112	118	2,17	2,62	2,83
— Entwickelte Länder	33	38	41	3,51	4,19	4,69
— Entwicklungsländer	45	53	55	1,13	1,39	1,33
— Planwirtschaftsländer	21	21	22	2,28	2,92	3,13

Viele arme Länder der Erde leben von einer Landwirtschaft mit unzureichenden Erträgen. Durch das Zusammenwirken von modernen landwirtschaftlichen Methoden, von Biologie, Chemie und Technik konnten die Erträge und damit die Ernährung der Menschen in diesen Ländern wesentlich verbessert werden (Tab. 12).

Beiträge der Chemie sind hierzu: mehr und spezifischere Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und Schädlingsbekämpfungsmittel, sichere Lagerung von kunststoffverpackten Nahrungsmitteln, Lagerung von verderblichen Nahrungsmitteln in Kühllhäusern, Berieselungsanlagen aus Kunststoffen, Entsalzung von Brack- und Meerwasser durch Trennanlagen mit Kunststoffmembranen, neue polymere Bindemittel zur Verfestigung von Sand, neue Bodenverbesserungsmittel mit erhöhter Zurückhaltung für Wasser etc.

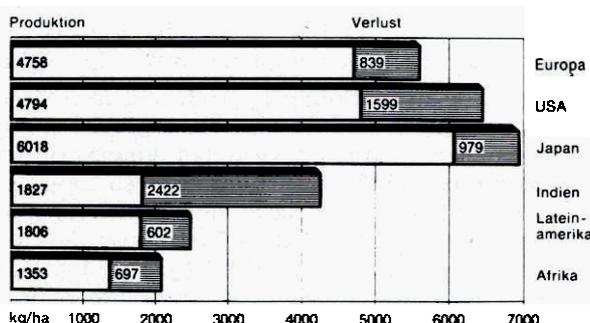


Abb. 16: Flächenerträge und Verluste (1973) im Reisanbau 2

Auch die Flächenerträge und Verluste im Reisanbau zeigen das Potential zur Steigerung der Nahrungsmittelproduktion in den Entwicklungsländern auf, sofern dort die in den Industrieländern angewandten Methoden übernommen werden (Abb. 16).

Eine große Zukunftsaufgabe für die Medizin und die

pharmazeutische Chemie ist die Entwicklung von wirksamen Medikamenten gegen bisher noch nicht oder nur unzureichend medikamentös beherrschbare Krankheiten, wie z. B. Herz- und Kreislauferkrankungen, rheumatische Erkrankungen, Viruserkrankungen, bestimmte Pilzkrankungen, psychische Erkrankungen, Diabetes, maligne Tumore und Tropenkrankheiten (Tab. 13). Die vielfältigen Aktivitäten der Chemie

**Tabelle 13: Noch nicht oder unzureichend heilbare Krankheiten?**

- Herz- und Kreislauf-Krankheiten
- Rheumatische Erkrankungen
- Infektionskrankheiten: chronische bakterielle Erkrankungen, Viruserkrankungen, systemische Pilzkrankungen
- Psychisch-neurologische Erkrankungen
- Stoffwechselkrankheiten: Diabetes, Gicht
- Maligne Tumoren

haben in den letzten 100 Jahren praktisch alle Bereiche unseres Lebens erfaßt und inzwischen eine so große Bedeutung gewonnen, daß ohne die Chemie ein radikaler Rückschritt und Zusammenbruch unserer Zivilisation erfolgen würde. Insbesondere gäbe es ohne die Chemieprodukte keine Möglichkeit, das Leben der 4,4 Milliarden Menschen auf dieser Erde auf Dauer zu erhalten. Wir haben auch gesehen, daß die Chemie wichtige Funktionen bei der Bewältigung der großen vor uns liegenden Zukunftsaufgaben zu übernehmen hat.

Es sollte eigentlich jedermann einleuchten, daß in einer stofflichen Welt, die vom Menschen gesteuert und betriebenen Stoffumwandlungen ein erstrangiges Instrument zur Veränderung und Verbesserung unserer Lebensbedingungen sind.

Aus allen diesen Gründen sollte die menschliche Gesellschaft dringend bestrebt sein, die Rahmenbedingungen für die Produktivkraft Chemie und ihre Innovationen wieder günstiger zu gestalten, damit dieses wichtige Werkzeug zur Erhaltung und Verbesserung unserer Lebensbedingungen auch in Zukunft wirksam und tauglich bleibt.

#### Literatur:

- 1) Wirtschaft und Wissenschaft, S. 8—15, 2/1976, Gemeinnützige Verwaltungsgesellschaft für Wissenschaftspflege m. b. H., Essen
- 2) Schriftenreihe des Fonds der Chemischen Industrie Frankfurt am Main, Heft 14 (1978)
- 3) G. Winter: „Petrochemie und Kunststoffe“; BASF S. 15. (1979)
- 4) Hochdrucktechnik; Schriftenreihe des Unternehmensarchivs der BASF Aktiengesellschaft, S. 8, 33 (1974)
- 5) Textilveredlung 11, S. 482 (1976)
- 6) European Industrial Research Management Association Conference Papers, Florence S. 91, 17—19, V 1978

## Möglichkeiten und Grenzen der Strukturbeeinflussung von OE-Rotorgarnen

Dr.-Ing. W. Kampen, Prof. Dr.-Ing. J. Lünen-schloß, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen, Aachen

OE-Rotorgarne unterscheiden sich von Ringspinnengarnen in dem unterschiedlichen strukturellen Aufbau der äußeren Garnschichten. Fasern, die in dem Bereich der Einbindezone in die Rotorrille gelangen, werden von dem rotierenden Garn erfaßt und um den ringspinnungähnlichen Garnkern gewunden. Beim OE-Rotorspinnen ist das Auftreten dieser Umwindfasern systembedingt, da das Garn bzw. die Einbindezone periodisch den Fasereinspeisebereich passiert. Die Formierung der Umwindfasern ist abhängig von dem Auflaufwinkel der Umwindfasern auf den Garnkern und der Rotationsgeschwindigkeit des Garns um die eigene Achse in dem Bereich, in dem die Umwindfasern auf den Garnkern auflaufen. Beträgt der Auflaufwinkel für mehrere Garnumdrehungen rund  $90^\circ$ , so entstehen örtlich konzentrierte Umschlingungen, auch *Bauchbinden* genannt.

Während die Größe des Auflaufwinkels hauptsächlich aus der Faserlänge und dem Reibungskoeffizienten zwischen Umwindfaser und Rotorrille resultiert, ist die Rotation des Garns um die eigene Achse von der Falschdrahterteilung an der Abzugsdüse abhängig. Mit steigender Falschdrahterteilung nimmt die Garnrotation und damit die Anzahl der örtlich konzentrierten Umschlingungen zu.

Das im Rotor stark überdrehte Garn wird an der Abzugsdüse in S-Richtung auf den Echtdrehungsbeiwert zurückgedreht, wodurch die S-gedrehten Umwindfaseranteile zuge dreht werden. Die Folgen hiervon sind häufig korkenzieherartige Garnstrukturen.

Die Z-gedrehten Umwindfaseranteile dagegen drehen sich auf und führen zu einer Lockerung der äußeren Garnschichten. An der Abzugsdüse bzw. den nachfolgenden Fadenleitorganen können diese aufgelockerten Garnschichten aufgeschoben werden.

Die Aufschieber werden am Uster-Gleichmäßigkeitsprüfer als Nissen und Dickstellen ausgewiesen. Mit steigenden Rotordrehzahlen erhöht sich bei gleichbleibender Geometrie der Abzugsdüse und des Rotors die Falschdrahterteilung. Verbunden hiermit ist eine häufigere Umschlingung der Umwindfasern auf dem Garnkern, eine stärkere Zurückdrehung des Falschdrahtes an der Abzugsdüse und somit eine stärkere Auflockerung der äußeren Garnschichten. In Verbindung mit der ansteigenden Garnspannung nehmen hierdurch die Aufschieber stark zu. Es gilt daher, die Geometrie der Abzugsdüse und des Rotors den höheren Rotordrehzahlen anzupassen, um die Anzahl der Imperfektionen zu verringern.

OE-rotor yarns differ from the ring spun yarns in the structural construction of their outer layers. Fibres entering the region of the binding zone in the rotor groove are caught by the revolving yarn and wound around the yarn core, which is very similar to ring spun yarn. The occurrence of the wrapping fibres during OE-rotor spinning is inherent to the system because the yarn or the binding zone passes the feeding zone periodically.

The formation of the wrapping fibres depends upon the angle of the wrapping fibres towards the yarn core and the rotational speed of the yarn in the particular region where the wrapping fibres join the yarn core. If the angle during several yarn rotations is  $90^\circ$ , then locally concentrated wrappings are generated, i. e. typical wrapped fibre formation.

While the angle results from the fibre length and the coefficient of friction between the wrapping fibres and the rotor groove, the yarn rotation depends upon the false twist insertion at the withdrawal tube. The yarn rotation and the number of locally concentrated wrappings rises with increasing false-twist insertion.

The overtwisted yarn in the rotor gets untwisted at the withdrawal tube to the actual twist factor in S-direction. The S-twisted share of the wrapping fibres are tightly wound around the yarn core, as a consequence of which the yarn obtains a crimping effect.

The Z-twisted share of the wrapping fibres gets untwisted, i. e. the outer layers of the yarn are loosened up. At the withdrawal tube or the following yarn guides the loosened yarn parts can be pushed together, whereby the neps and the thicks increase. If the geometry of the withdrawal tube and the rotor diameter is constant, the false twist insertion increases with higher rotor speeds, i. e. the number of wrappings rises, the yarn gets more untwisted at the withdrawal tube and the outer layers of the yarn are more loosened up. This effect and the increasing yarn tension cause more pushed fibres. The geometry of the withdrawal tube and the rotor must be fitted to the higher rotor speeds to reduce the number of imperfections.

### 1. Einleitung

Der Garnaufbau OE-rotorgesponnener Garne unterscheidet sich von dem des Ringgarns im über die Garnlänge stark variierenden Steigungswinkel der äußeren Garnschichten.

Die Struktur des Garnkerns ähnelt dagegen der Ringgarnstruktur. Der Garnkern erhält die durch Rotordrehzahl und Abzugsgeschwindigkeit vorgegebene Garndrehung. Die Querschnittsaufnahme in Abbildung 1 zeigt deutlich den Unterschied zwischen Ringgarn und OE-Rotorgarn. Man erkennt beim OE-Rotorgarn die um den Garnkern geschlungenen Umwindfasern, auch *Bauchbinden* genannt<sup>1-5</sup>. Die äußeren Garnschichten der OE-Rotorgarne sind hauptsächlich für die vom Ringgarn abweichenden Garneigenschaften verantwortlich. Auf den stark variierenden Stei-

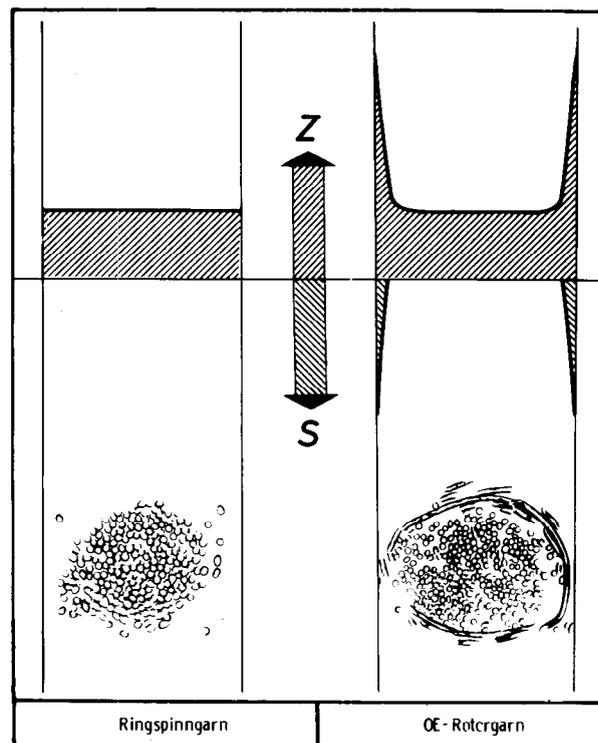


Abb. 1: Garnlängenbezogene Faserwindungszahl über den Garnquerschnitt

gungswinkel ist beispielsweise das mattere Aussehen der aus OE-Rotorgarnen gefertigten Artikel zurückzuführen.

**2. Struktureller Aufbau von OE-Rotorgarnen**

Die durch die Auflösewalze bzw. den Faserleitkanal vereinzelt Fasern werden im oberen Teil der Rotorwand abgelegt und rutschen von dort in die Rotorrille, wo sich die meisten der Fasern zu einem Faserbändchen formieren. Diese Fasern bilden den Garnkern. Einzelne Fasern rutschen in den Bereich der Einbindezone  $l_E$  (Abb. 2), wo sie von dem in der Einbindezone rotierenden Garn erfaßt und anfänglich in S-Drehung um den Garnkern gewunden werden. Je

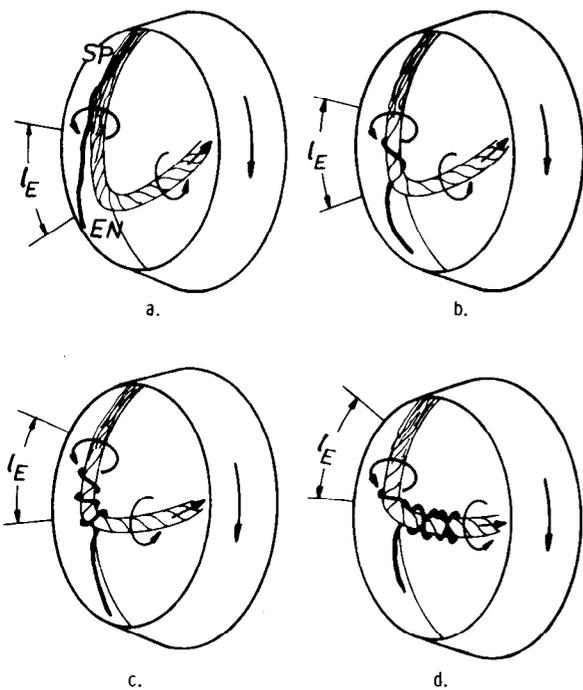


Abb. 2: Entstehung und Bildungsmechanismus der Umwindfasern (SP = Spitze, EN = Ende)

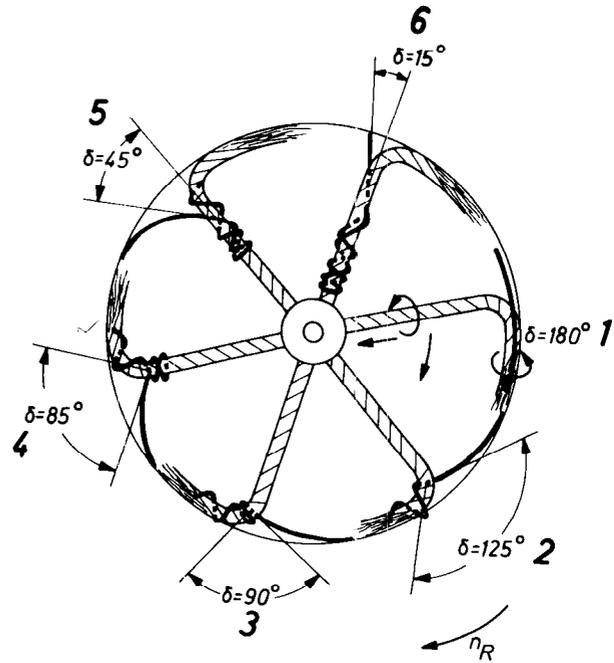


Abb. 3: Stadien des Auflaufwinkels  $\delta$  und der Formierung der Umwindfaser

außerhalb der Einbindezone in das noch ungedrehte Faserbändchen rutschen, werden, wie der Garnkern, mit Z-Drehungen eingebunden.

In der Abbildung 4 ist die Formierung besonders deutlich am Beispiel einer schwarzen Spurenfaser zu erkennen. Die schwarzen Spurenfasern wurden einem weißen Trägerband in Promilleanteilen zugemischt und gemeinsam versponnen. Man erkennt in der Abbildung 4 zwei bis drei S-Drehungen, mehrere örtlich konzentrierte Umschlingungen am Wendepunkt und das Zurücklaufen in Z-Drehung. Das Ende dieser Faser legt sich, wie vorher ausgeführt, ungedreht an den Garnkern an. Diese ungedrehten Faseranteile werden meistens von anderen folgenden Umwindfasern eingebunden.

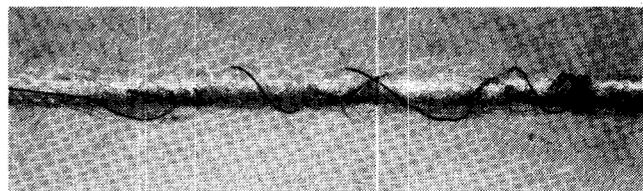


Abb. 4: Umwindfaserformierung

länger die Einbindezone  $l_E$  und je stärker die Garnrotation ist, desto größer ist die Anzahl der S-Drehungen. Nach dem Abheben aus der Rotorrille werden die Umwindfasern so lange in S-Draht um den Garnkern gewickelt, wie der Winkel zwischen Umwindfasern und Garnachse größer als  $90^\circ$  ist (Abb. 3). Beträgt der Auflaufwinkel  $\delta$  für mehrere Umdrehungen etwa  $90^\circ$ , so führt dies an dem Wendepunkt zu den örtlich konzentrierten Umschlingungen der Umwindfasern auf dem Garnkern. Diese örtlich konzentrierten Umschlingungen werden in der Literatur häufig als *Bauchbinden* bezeichnet. Verringert sich schließlich der Auflaufwinkel  $\delta$ , so laufen die Umwindfasern, indem sie ihre Richtung umkehren, in Z-Drehung zurück. Sie nehmen dann den gleichen Drehsinn wie der Garnkern an. In dem Augenblick, da die Enden der Umwindfasern die Rotorrille verlassen, werden sie nicht mehr um die Garnoberfläche gewickelt. Sie vollziehen die Rotation des Garns mit und legen sich ungedreht an das Garn an. Die Spitzen der Umwindfasern, die

**3. Beeinflussung der OE-Rotorgarnstruktur**

Nachdem in dem vorangegangenen Kapitel der Entstehungsmechanismus und die Formierung der Umwindfasern erläutert wurden, sollen im folgenden Möglichkeiten und Grenzen der Strukturbeeinflussung der äußeren Garnschichten, d. h. die Beeinflussung der Umwindfaserformierung, besprochen werden.

Für die Formierung (Abb. 5) wichtige Einflußparameter sind:

- die Länge der Einbindezone,

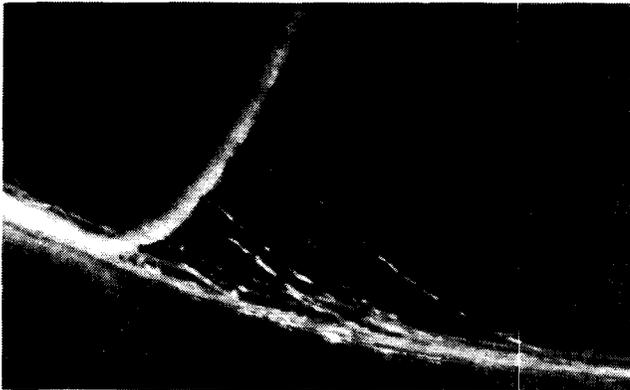


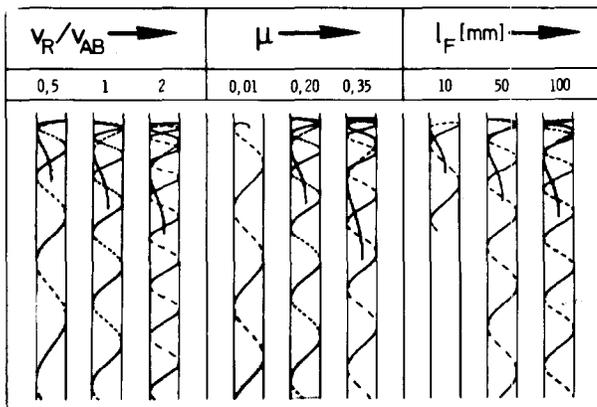
Abb.5: Form der Garn- und Umwindefaserseilkurven

— die Form der Garn- und Umwindefaserseilkurve, d. h. der Auflaufwinkel der Umwindefasern auf den Garnkern, und

— die Garnrotation des Garns um seine eigene Achse. Während die Form der Garnseilkurve und die Garnrotation hauptsächlich von der Falschdrahterteilung an der Abzugsdüse abhängig sind, wird die Form der Umwindefaserseilkurve von der Faserlänge und dem Reibungskoeffizienten zwischen Faser und Rotor bestimmt.

Es wurde in Abhängigkeit von den vorher genannten verschiedenen Einflußgrößen die Umwindefaserformierung berechnet und ein Rechnerprogramm erstellt, womit die Umwindefaserformierung direkt geplottet werden konnte. In der Abbildung 6 sind als Beispiele einige dieser geplotteten Umwindefaserformierungen dargestellt. Mit steigender Falschdrahterteilung an der Abzugsdüse, ausgedrückt durch  $v_R/v_{AB}$ , nimmt die Anzahl der Umwindungen sowohl in S- wie auch in Z-Richtung stark zu. Eine Erhöhung des Reibungskoeffizienten zwischen Faser und Rotorrille hat ebenfalls eine Zunahme der Umwindungen und damit eine Veränderung der Garnstruktur zur Folge.

Längere Fasern führen zu häufigeren Umwindungen.



- $v_R$  = Garnrotationsgeschwindigkeit um die eigene Achse
- $v_{AB}$  = Garnabzugs geschwindigkeit
- $l_F$  = Faserlänge
- $\mu$  = Reibungskoeffizient zwischen Faser und Rotorrille

Abb.6: Umwindefaserformierung in Abhängigkeit von verschiedenen Einflußgrößen

Hierdurch wird der Eindruck erweckt, daß die absolute Anzahl der Umwindefasern mit zunehmender Faserlänge ansteigt.

In der Abbildung 7 sind die wesentlichen Möglichkeiten der Strukturbeeinflussung von OE-Rotorgarnen und deren Grenzen zusammengefaßt. Den stärksten Einfluß auf die Umwindefaserformierung besitzt die Falschdrahterteilung an der Abzugsdüse. Sie bestimmt die Höhe der Garnrotation um die eigene Achse in dem Bereich, in dem die Umwindefasern auf den Garnkern aufgewickelt werden. Wenn das Garn hier nicht ro-

Variation	Garnstrukturbeeinflussung	
	Möglichkeiten	Grenzen
Abzugsdüse		$\alpha_{min} = +200$
		$\alpha_{min} = +140$
		$\alpha_{min} = 0$
Rotor-drehzahl [ $min^{-1}$ ]	50000	$\alpha_{min} = +130$
	70000	$\alpha_{min} = +110$
	90000	$\alpha_{min} = +80$
Rotor-durchmesser [ mm ]	40	$\alpha_{min} = +140$ Umwindefaseranzahl = 14 %
	50	$\alpha_{min} = +110$ Umwindefaseranzahl = 9 %
	60	$\alpha_{min} = 0$ Umwindefaseranzahl = 6 %
Einbinde-zonenlänge [ mm ]	5	Spinnstabilität = schlecht Umwindefaseranzahl = 5 %
	10	Spinnstabilität = mittel Umwindefaseranzahl = 8 %
	15	Spinnstabilität = gut Umwindefaseranzahl = 11 %
Faserlänge [ mm ]	20	Garnfestigkeit = niedrig
	30	Garnfestigkeit = mittel
	40	Garnfestigkeit = hoch
Reibungs-koeffizient	0,10	Einbindezonenzlänge = groß
	0,25	Einbindezonenzlänge = mittel
	0,40	Einbindezonenzlänge = klein

Abb.7: Möglichkeiten und Grenzen der Strukturbeeinflussung von OE-Rotorgarnen

tiert, so können auch keine Fasern aufgewickelt werden. Dies ist z. B. bei der Verwendung der drehbaren Abzugsdüse der Fall. Die mit drehbarer Abzugsdüse gesponnenen Garne ähneln in ihrem Aussehen Ringspinn garnen, sie sind umwindefaserfrei. Die drehbare Abzugsdüse begrenzt die Höhe der Garnliefergeschwindigkeit. Es werden sehr hohe Mindestgarn drehungsbeiwerte verlangt. Eine Vergrößerung des Falschdrahtes durch die Veränderung der Abzugsdüsengeometrie bzw. des Reibungskoeffizienten Garn/Abzugsdüse bringt eine Erhöhung der Garnrotation und damit eine Zunahme der Umwindungen mit sich. Außerdem verändert sich die Form der Garnseilkurve und die Länge der Einbindezone. Wesentliche Vorteile der ansteigenden Falschdrahterteilung liegen in der Produktionserhöhung, denn die Mindestdrehungsbeiwerte können gesenkt werden.

Mit steigender Rotordrehzahl erhöht sich die Falschdrahterteilung und damit die Garnrotation, wodurch

der Garnkern von den Umwindefasern häufiger umschlungen wird. Der Mindestdrehungsbeiwert kann verringert werden. Der Rotordurchmesser bzw. die Geometrie der Abzugsdüse sollte den steigenden Rotordrehzahlen angepaßt werden, da sich andernfalls die Garneigenschaften verschlechtern.

Mit der Vergrößerung des Rotordurchmessers wird die Anzahl der Umwindungen infolge der zunehmenden Falschdrahterteilung erhöht, der Mindestdrehungsbeiwert und die Anzahl der Umwindefasern werden verringert. Trotz Verringerung der Umwindefasern überwiegt häufig der Einfluß der größeren Anzahl Umwindungen der einzelnen Umwindefasern, so daß die mit größeren Rotoren gesponnenen Garne einen stärkeren OE-Charakter zeigen.

Eine große Einbindezonlänge erhöht die Spinnstabilität, d. h., sie verringert die Fadenbruchzahlen, läßt aber die S-Drehungen sowie die Häufigkeit der Umwindefasern ansteigen.

Längere Fasern umwinden den Garnkern häufiger und verstärken somit den OE-Charakter. Im allgemeinen ergeben längere Fasern höhere Garnfestigkeiten.

Mit zunehmendem Reibungskoeffizienten zwischen den Umwindefasern und der Rotorrille steigt die Anzahl der Umwindungen infolge des ungünstigeren Aufwinkels zwischen Umwindefasern und Garnkern an. Ein kleinerer Reibungskoeffizient führt zu einer Verlängerung der Einbindezone, d. h. zu einem Anstieg der S-Drehungen und der Umwindefasern.

Die bisherigen Ausführungen beziehen sich auf die

Garnstruktur zwischen Rotorrille und Abzugsdüse. Den Garnverarbeiter interessiert jedoch nicht die Struktur des Garns im Rotor, sondern hinter der Abzugsdüse auf der Spule. Das Garn ist im Rotor (Abb. 8) aufgrund der Falschdrahterteilung an der Abzugsdüse stark überdreht. Der Fasersteigungswinkel beträgt zwischen Rotorrille und Abzugsdüse für den gezeigten Fall etwa  $\beta_R = 75^\circ$ . An der Abzugsdüse hebt sich der Falschdraht auf, und das Garn wird auf den Echtdrehungsbeiwert  $\alpha_m$  zurückgedreht. Im untersuchten Fall beträgt der Garnsteigungswinkel etwa  $\beta_G = 25^\circ$ . Durch die Rückdrehung des Falschdrahtes in S-Richtung, die umso größer je stärker die Falschdrahterteilung ist, ergibt sich für die Umwindefasern hinter der Abzugsdüse eine etwas andere Formierung. Während der S-gedrehte Umwindefaseranteil weiter zuge dreht wird, wird dagegen der Z-gedrehte Umwindefaseranteil ähnlich wie der Garnkern aufgedreht.

Der S-gedrehte Umwindefaseranteil kann den Garnkern einschnüren und zusammenziehen, so daß dem Garn eine korkenzieherartige Struktur verliehen wird. Bei längeren Fasern und sehr starker Falschdrahterteilung, d. h. starke Zurückdrehung in S-Richtung, ist dieser Effekt häufig zu beobachten (Abb. 9). Die Garne, die in dieser Abbildung gezeigt sind, wurden aus reißkonvertierten Fasern gesponnen.

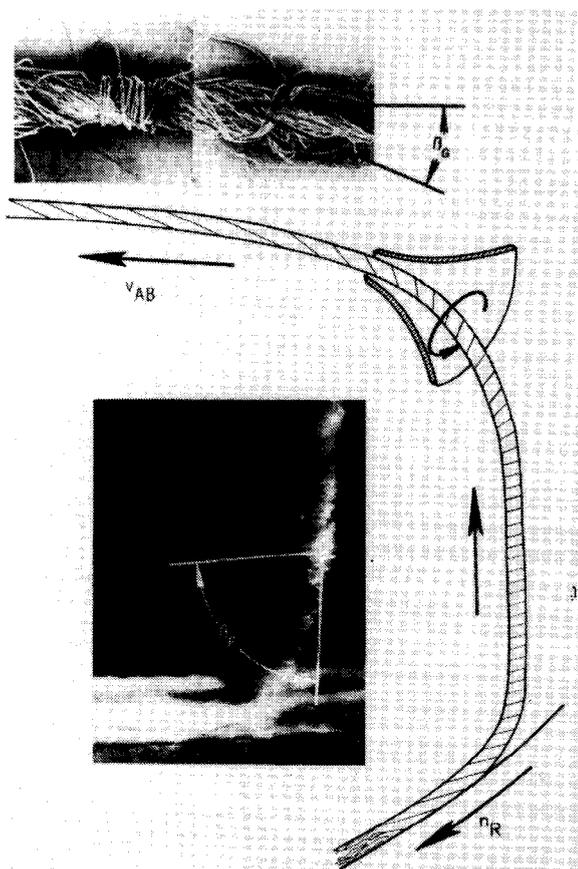


Abb. 8: Garndrehung von der Rotorrille bis zur Spule

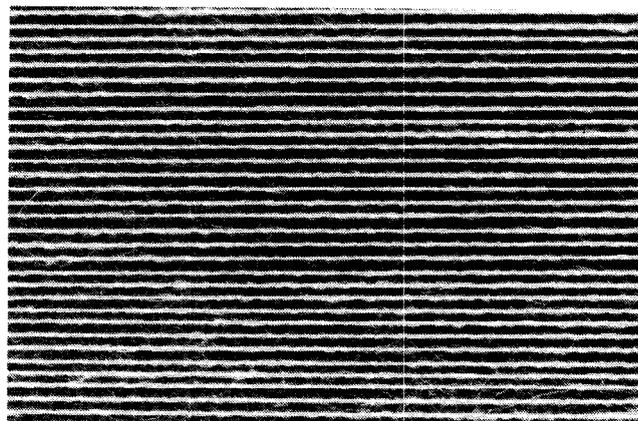


Abb. 9: Korkenzieherartige Garnstrukturen

Die Z-gedrehten Umwindefaseranteile drehen sich auf. In Verbindung mit den ungedrehten Umwindefaseranteilen sind sie besonders gegenüber mechanischen Beanspruchungen empfindlich. Die äußeren Garnschichten können direkt an der Abzugsdüse oder erst an den folgenden Fadenleitorganen aufgeschoben werden (Abb. 10). Die Aufschieber führen zu einem starken Anstieg der Garnfehler bei der Gleichmäßigkeitsprüfung. Mit zunehmender Falschdrahterteilung tritt

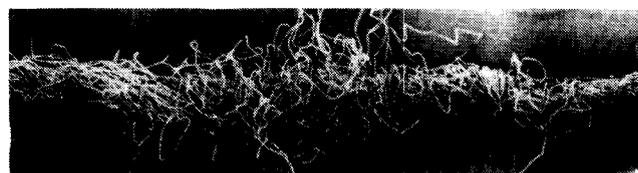


Abb. 10: Aufschieber

dieser Effekt stärker auf, da das Garn stärker in S-Richtung zurückgedreht wird und damit die Z-gedrehten Umwindefaserteile stärker aufgedreht werden. Auch die erst beim Spulen, Zwirnen, Zetteln oder Weben auftretenden Aufschieber können schon bei der Garnbildung, z. B. durch zu hohe Falschdrahterteilung, latent vorhanden sein.

Für Polgarne stellen die Umwindefasern ein primäres Problem hinsichtlich des Garneinsatzes dar (Abb. 11).

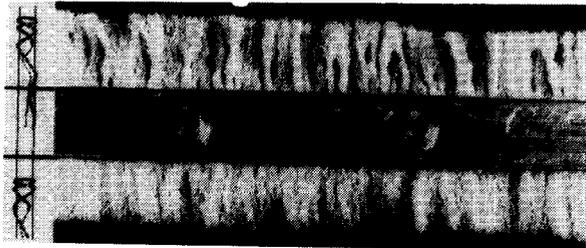


Abb.11: Ausgebürstete Polgarne mit noch vorhandenen Umwindefasern für Polseite und Rückseite

Die Umwindefasern verhindern bei Tuftingvelours, Plüsch und Samt die Öffnung des Polgarns. Der Übergang von S-Drehung zur Z-Drehung liegt sowohl in Richtung Polseite als auch in Richtung Rückseite. Umwindefasern, deren Wechsel von der S- zur Z-Drehung zur Rückseite gerichtet, können durch Bürsten leichter entfernt werden als die in entgegengesetzter Richtung, da hier die Enden der Umwindefasern noch im Trägermaterial verankert sind. Da bei der Herstellung von Plüsch, Samt bzw. Veloursteppichen die Lage des S-Z-Wechsels in den beiden Polschenkeln zwangsläufig wechselt, ist das Umspulen hinsichtlich dieses Effektes ohne Einfluß.

**4. Einfluß der Rotordrehzahl auf die Garneigenschaften**

Mit ansteigenden Rotordrehzahlen nimmt, wenn nicht Maßnahmen hinsichtlich der Anpassung des Rotordurchmessers sowie der Abzugsdüsengeometrie und -oberfläche getroffen sind, die Falschdrahterteilung zu. Die Folge hiervon sind häufigere Umschlingungen der Umwindefasern und eine stärkere Zurückdrehung des Garns in S-Richtung an der Abzugsdüse, womit eine Auflockerung des Garnmantels verbunden ist. Hierdurch ändert sich die Struktur der äußeren Garnschichten und somit die Garneigenschaften. Es wurden Fasern aus Baumwolle, Polyacrylnitril und Polyester unter den in Tabelle 1 angegebenen Bedingungen versponnen. Der Rotordurchmesser blieb für alle Versuche unverändert. Die Rotordrehzahl wurde innerhalb einer Versuchsreihe von  $n_R = 30.000, 50.000, 70.000$  bis  $90.000 \text{ min}^{-1}$  variiert. Die Garne wurden innerhalb einer Versuchsreihe einmal mit konstanter Abzugsdüse und einmal mit optimierter Abzugsdüse gesponnen. Die Optimierung erfolgte, indem die Größe der Abzugsdüsenfläche so lange variiert wurde, bis sich für jede Rotordrehzahl ein Mindestdrehungsbeiwert von  $\alpha_{\min} = 110$  einstellte. Der Mindestdrehungsbeiwert  $\alpha_{\min}$  wurde so festgelegt, daß 3 x 15 Minuten ohne Fadenbruch gesponnen werden konnte. Da mit steigender Rotordrehzahl infolge der höheren Reibungskraft Garn/Abzugsdüse die Falschdrahterteilung an

Tabelle 1: Maschinen-, Faser- und Garndaten

Maschinendaten		
Rotordurchmesser	46	mm
Rotordrehzahl	30000 50000 70000 90000	$\text{min}^{-1}$
Auflösewalzendrehzahl	8500	$\text{min}^{-1}$
Auflösewalzengarnitur	OB 20 OS 21	
Abzugsdüsengeometrie	R = 11 R = 9 R = 7 R = 5 R = 2,5	
Abzugsdüsenoberfläche	Stahl, glatt	
Faserdaten		
Baumwolle	goodmidling 1 1/16"	
Streckenband (2. Passage)	3,0 4,0	Micronaire ktex
Polyester	1,7 38	dtex mni
Streckenband (2. Passage)	4,0	ktex
Polyacrylnitril	1,6 38	dtex mm
Streckenband (2. Passage)	4,0	ktex
Garndaten		
Baumwolle	$\alpha_m = 130$ 20 tex ( Nm 50 ) 35 tex ( Nm 28,5 ) 50 tex ( Nm 20 )	
Polyester	$\alpha_m = 130$ 20 tex ( Nm 50 )	
Polyacrylnitril	$\alpha_m = 130$ 20 tex ( Nm 50 )	

der Abzugsdüse zunimmt, muß die Abzugsdüsenfläche verringert werden, um die Falschdrahterteilung mit

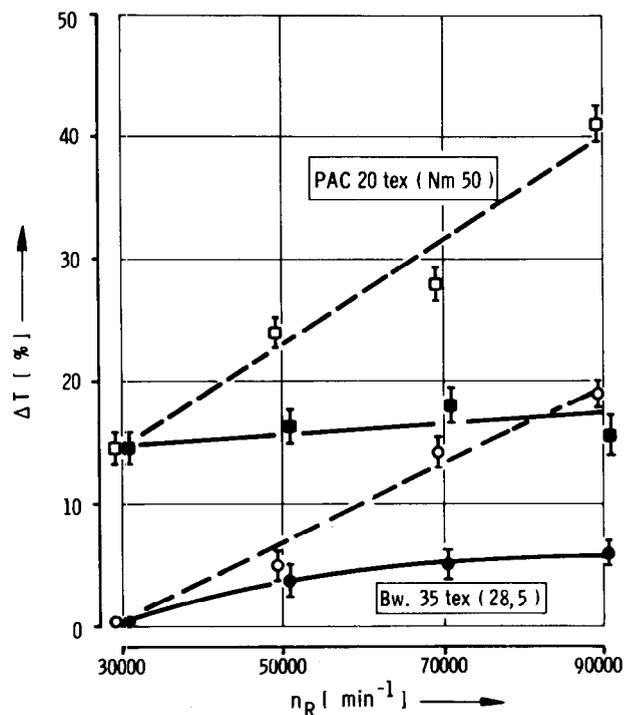


Abb.12: Relative Garndrehungsdifferenz  $\Delta T = \frac{T_{\text{so}} - T_{\text{ist}}}{T_{\text{so}}}$  100 % in der Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ;   
 ○ □ Abzugsdüse konstant ● ■ Abzugsdüse optim.

steigenden Rotordrehzahlen konstant zu halten. Hierdurch bleibt die Umwindefaserformierung und der Grad der Garnmantelauflockerung infolge Zurückdrehung auch bei steigenden Drehzahlen konstant. Probleme bereitet die optimierte Abzugsdüse beim Anspinnen mit niedrigeren Rotordrehzahlen. Beim Anspinnen muß entweder der Drehungsbeiwert  $\alpha_m$  oder die Abzugsdüsenfläche kurzzeitig vergrößert werden.

In der Abbildung 12 ist die relative Drehungsdifferenz, die bekannterweise ein Maß für die Drehungsinhomogenität der OE-Rotorgarne darstellt, wiedergegeben. Während mit steigenden Rotordrehzahlen die Drehungsdifferenz bei konstant gehaltener Abzugsdüsenfläche infolge der häufigeren Umschlingung der Umwindefasern und dem leichten Anstieg der Umwindefaseranzahl, verursacht durch die Einbindezonnenverlängerung, zunimmt, bleibt sie bei optimierter Abzugsdüsenfläche annähernd gleich groß.

Während die Festigkeit der gröberen Garne im Bereich ab  $n_R = 50.000 \text{ min}^{-1}$  nur unwesentlich von der Rotordrehzahl beeinflusst wird, fällt sie bei feineren Garnen mit steigenden Rotordrehzahlen leicht ab (Abb. 13). Durch Optimierung der Abzugsdüsenfläche kann die Garnfestigkeit erhöht werden.

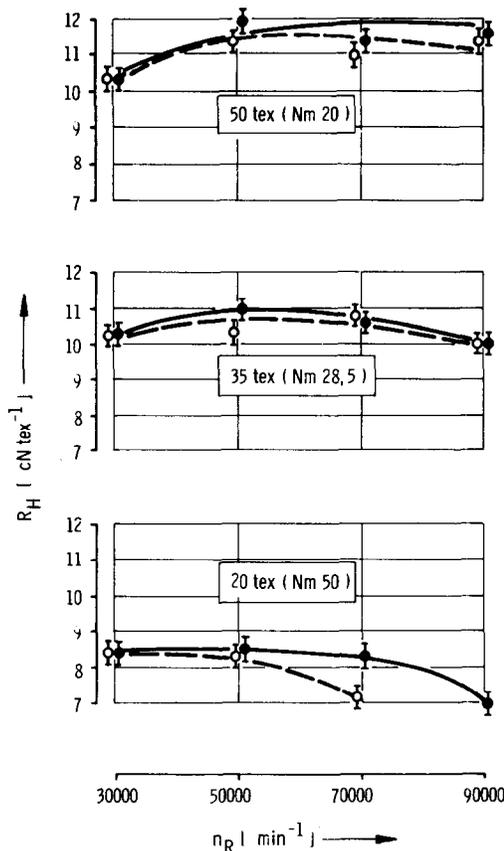


Abb.13: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft  $R_H$  in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ; Bw: O Abzugsdüse konstant ● Abzugsdüse optim.

Besonders deutlich macht sich die Optimierung der Abzugsdüse in den Festigkeitseigenschaften bei feinen Polyester Garnen bemerkbar (Abb. 14). Der Unterschied

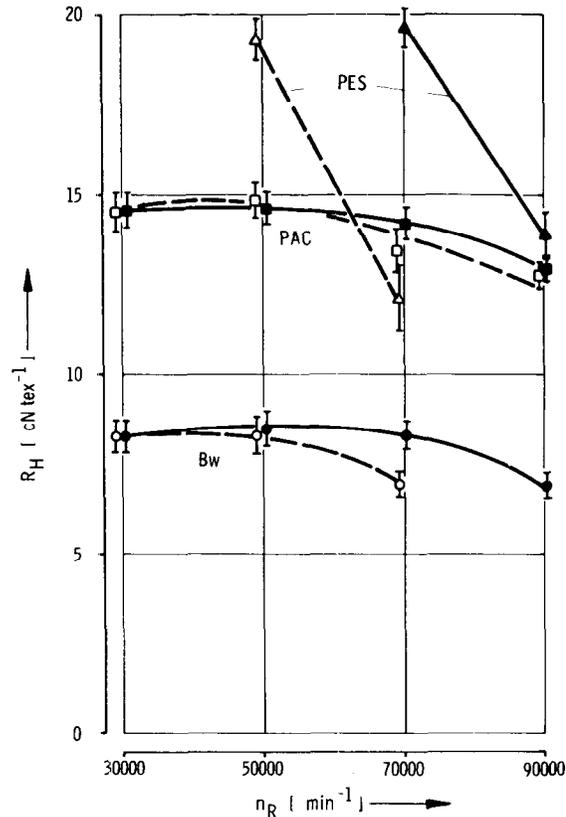


Abb.14: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft  $R_H$  in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ;  $Tt_G = 20 \text{ tex (Nm 50)}$ ; O□△ Abzugsdüse konstant ●■▲ Abzugsdüse optimiert

in der Festigkeit beträgt bei der Rotordrehzahl  $n_R = 70.000 \text{ min}^{-1}$  rund  $7 \text{ cN tex}^{-1}$ . Die Festigkeitserhöhung ist auf die günstigere Umwindefaserformierung und die geringere Faserschädigung infolge einer kleineren Reibfläche zurückzuführen.

Die Dehnung fällt bekanntermaßen mit steigender Rotordrehzahl ab  $n_R = 50.000 \text{ min}^{-1}$  ab (Abb. 15 u. 16). Durch Optimierung der Abzugsdüsenfläche können insbesondere bei Polyacrylnitril und Polyester gute Verbesserungen erzielt werden.

Die Garnungleichmäßigkeit nimmt mit steigenden Rotordrehzahlen leicht zu (Abb. 17 u. 18). Verstärkt tritt diese Tendenz bei dem feinen Baumwollgarn auf. Zwischen den Werten der mit konstanter und optimierter Abzugsdüsenfläche gesponnenen Garne bestehen keine gesicherten Unterschiede.

Die Anzahl der Nissen und Dickstellen, d. h. die Anzahl der Aufschieber, vergrößert sich mit steigender Rotordrehzahl (Abb. 19). Bei nichtoptimierter Abzugsdüsenfläche wächst die Umschlingungshäufigkeit der Umwindefasern, und das Garn wird stärker an der Abzugsdüse zurückgedreht, d. h., der Garnmantel wird stärker aufgelockert. In Verbindung mit der ansteigenden Fadenzugkraft können die aufgelockerten Faserschichten an der Düse bzw. den folgenden Fadenleitorganen aufgeschoben werden. Bei optimierter Abzugsdüsenfläche halbiert sich die Zahl der Nissen und Dickstellen für die Garne mit  $Tt_G = 35 \text{ tex}$  und  $50 \text{ tex}$  im Vergleich zur konstanten Abzugsdüsenfläche. Der

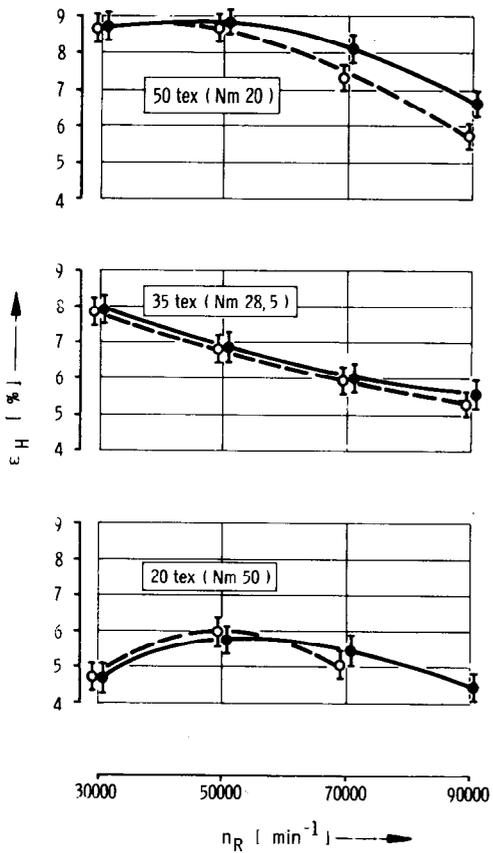


Abb.15: Höchstkraftdehnung  $\epsilon_H$  in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ; Bw: O Abzugsdüse konstant ● Abzugsdüse optim.

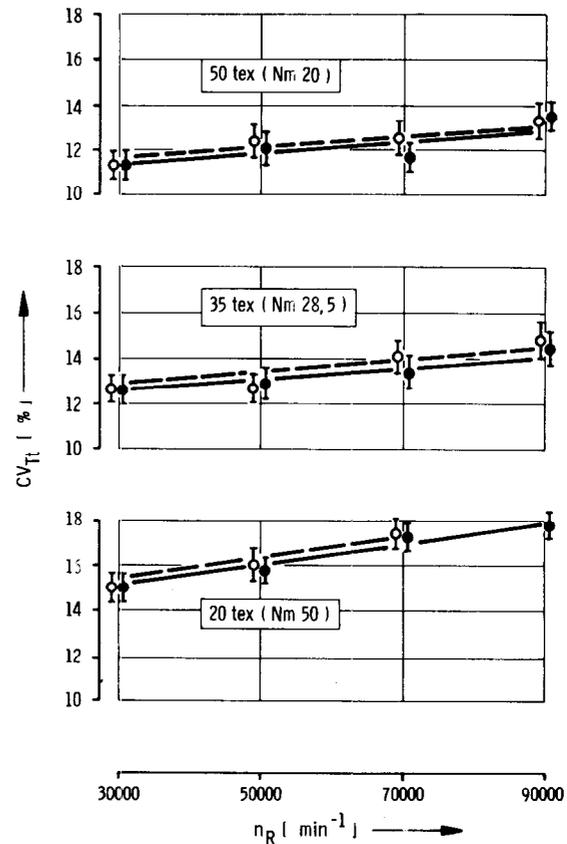


Abb.17: Garnungleichmäßigkeit  $CV_{Tt}$  in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ; Bw: O Abzugsdüse konstant ● Abzugsdüse optim.

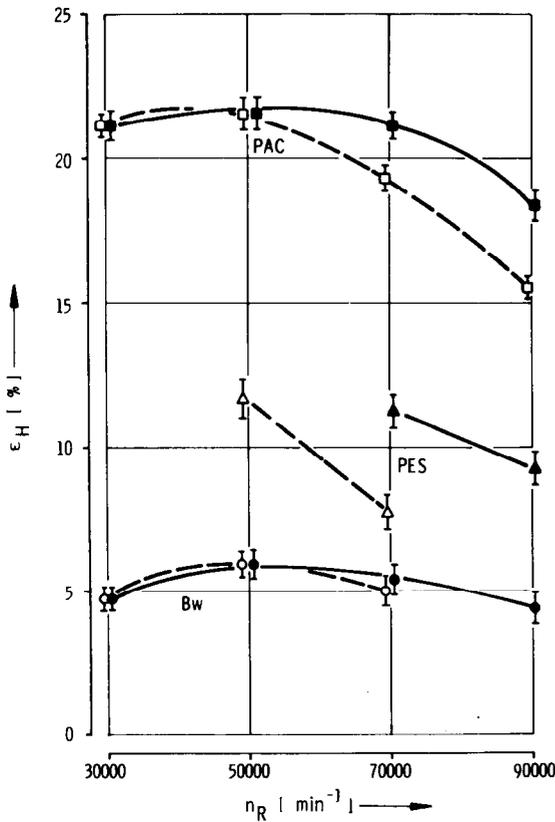


Abb.16: Höchstkraftdehnung  $\epsilon_H$  in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ;  $Tt_G = 20 \text{ tex (Nm 50)}$ ; O  $\square$   $\triangle$  Abzugsdüse konstant ●  $\blacksquare$   $\blacktriangle$  Abzugsdüse optimiert

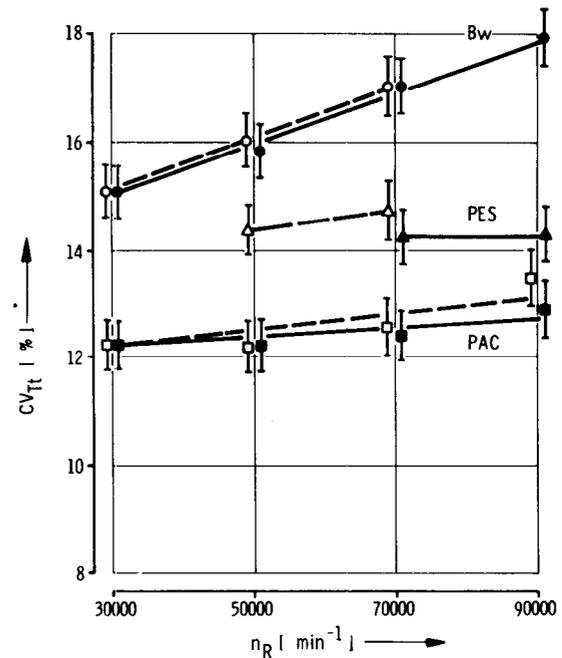


Abb.18: Garnungleichmäßigkeit  $CV_{Tt}$  in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ;  $Tt_G = 20 \text{ tex (Nm 50)}$ ; O  $\square$   $\triangle$  Abzugsdüse konstant ●  $\blacksquare$   $\blacktriangle$  Abzugsdüse optimiert

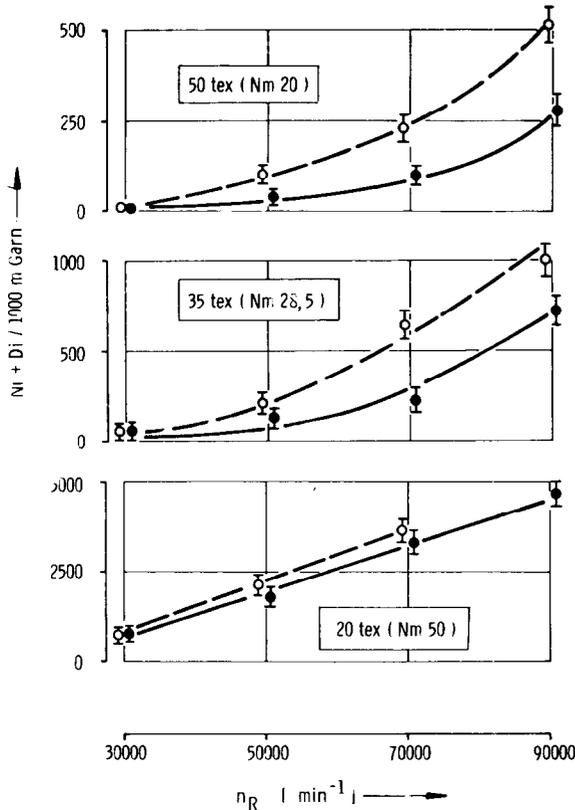


Abb. 19: Anzahl der Nissen und Dickstellen in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ;  
 Bw: O Abzugsdüse konstant ● Abzugsdüse optim.

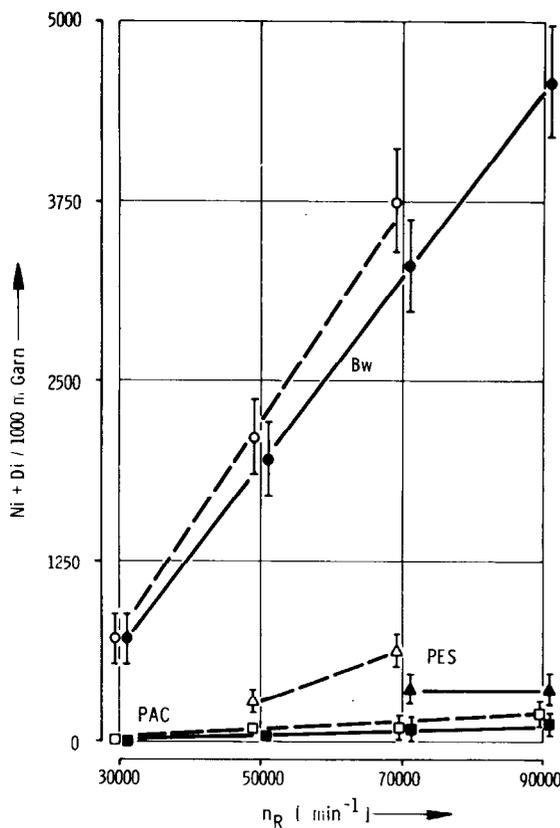


Abb. 20: Anzahl der Nissen und Dickstellen in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl  $n_R$ ;  
 $Tt_G = 20 \text{ tex (Nm 50)}$ ;  
 O □ △ Abzugsdüse konstant  
 ● ■ ▲ Abzugsdüse optimiert

mit zunehmenden Drehzahlen auftretende Anstieg der Garnfehler bei optimierter Abzugsdüsenfläche ist hauptsächlich auf die höheren Fadenzugkräfte zurückzuführen. Das feine Baumwollgarn reagiert sehr viel empfindlicher auf die hohen Rotordrehzahlen. Auch die optimierte Abzugsdüsenfläche bringt hier keine Verbesserung. Feine Garne aus — im Vergleich zu Baumwolle — längeren 38 mm-Polyester- und Polyacrylnitrilfasern verhalten sich dagegen weitaus günstiger (Abb. 20). Die Zunahme der Garnfehler mit steigenden Drehzahlen ist unbedeutend. Zurückzuführen ist dies auf die bessere Fasereinbindung der — im Vergleich zu Baumwolle — längeren Fasern und den veränderten Reibungskoeffizienten Fasern/Fasern, was einer Aufschiebung einen größeren Widerstand entgegengesetzt.

In der Weiterverarbeitung, wie z. B. in der Weberei an den Schäften und Weblättern, können die lose um den Garnkern gewundenen Faseranteile bei stärkerer Beanspruchung verschoben und aufgeschoben werden. Die OE-Rotorgarne zeigen je nach Umwindefaserformierung und Auflockerung des Garnmantels durch Zurückdrehung des Falschdrahtes eine unterschiedlich starke Neigung zur Aufschieberbildung. Darüber hinaus ist die Neigung zur Bildung von Aufschiebern von der Laufrichtung des Garns abhängig. Die größere Aufschiebeneigung ergibt sich beim Abzug des Garns in Spinnrichtung, d. h. nach einmaligem Umspulen.

Um die Aufschiebeneigung zu ermitteln, wurden, wie in der Literatur beschrieben<sup>6,7</sup>, umgespulte Garne mit vorher ermittelter maximaler Fadenzugkraft bei  $v = 50 \text{ m min}^{-1}$  über eine scharfe Stahlkante gezogen. Anschließend wird das Garn in einem Imperfektion-Indikator geprüft und die Anzahl der Nissen sowie der Dickstellen gezählt. Als Aufschiebeneigung wird die Differenz zwischen Anzahl der Nissen und der Dickstellen nach und vor dem Aufschiebevorgang definiert. Bei Berücksichtigung der Faserart, Garnfeinheit und des Drehungskoeffizienten können unmittelbar vergleichbare Kennwerte gewonnen werden. Zur besseren Differenzierung innerhalb einer Versuchsreihe wählt man die größtmögliche Garnbelastung. Diese hohen Garnbelastungen können die in der Praxis auftretenden Beanspruchungen weit übertreffen.

In der Abbildung 21 ist die Aufschiebeneigung in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl für 3 verschiedene feine Baumwollgarne dargestellt. Die Aufschiebeneigung der mit konstanter Abzugsdüsenfläche gesponnenen Garne nimmt mit steigender Rotordrehzahl infolge der Umschlingungserhöhung der Umwindefasern und der stärkeren Auflockerung des Garnmantels sehr stark zu. Die mit optimierter Abzugsdüse gesponnenen  $Tt_G = 50 \text{ tex}$ - und  $Tt_G = 35 \text{ tex}$ - Garne zeigen dagegen keinen Einfluß der Rotordrehzahl. Die Zahl der auftretenden Aufschieber ist sehr klein. Bei dem feinen  $Tt_G = 20 \text{ tex}$ -Garn vergrößert sich die Aufschiebeneigung sowohl mit konstanter als auch mit optimierter Abzugsdüsenfläche. Anscheinend führt die schon auf der Spule vorliegende größere Anzahl der Nissen und Dickstellen (siehe Abb. 20), durch die anschließende mechanische Beanspruchung verstärkt, zu noch höheren Anzahlen von Nissen und Dickstellen. Die stärkere Aufschiebeneigung der gröberen Garne ist mit der größeren Aufschiebebelastung zu erklären. Mit konstant gehaltener Belastung nimmt die Aufschiebeneigung bei gröberen Garnen ab.

Die Polyester- und Polyacrylnitrilgarne zeigen eine

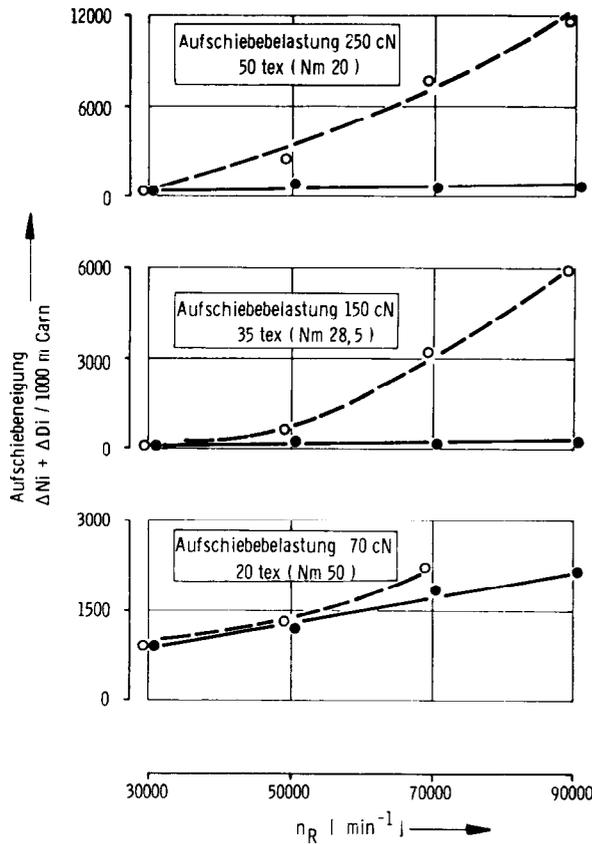


Abb. 21: Aufschiebeneigung: Anzahl der Nissen und Dickstellen nach der Aufschiebung minus Anzahl der Nissen und Dickstellen vor der Aufschiebung; Bw: O Abzugsdüse konstant ● Abzugsdüse optim.

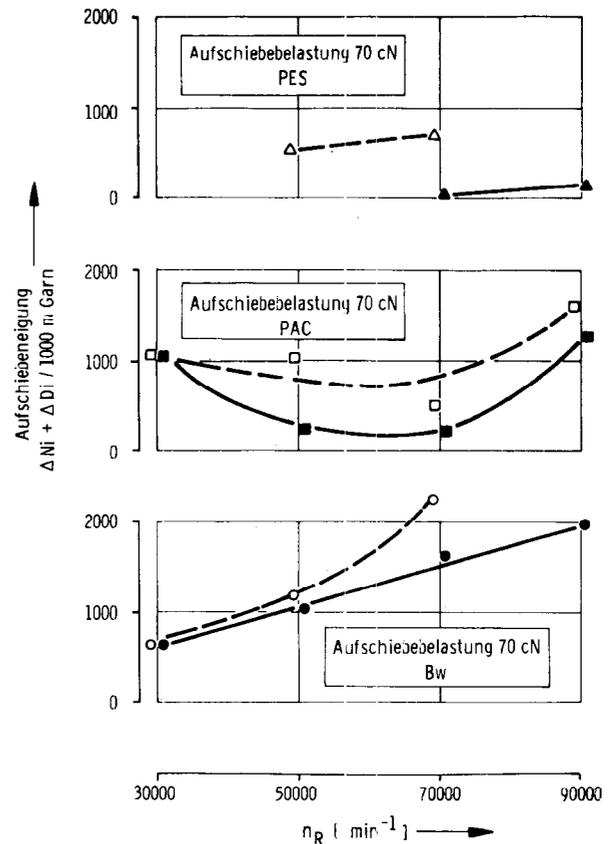


Abb. 22: Aufschiebeneigung: Anzahl der Nissen und Dickstellen nach der Aufschiebung minus Anzahl der Nissen und Dickstellen vor der Aufschiebung; O △ Abzugsdüse konstant ● ■ ▲ Abzugsdüse optimiert

weitaus niedrigere Aufschiebeneigung (Abb. 22). Dieses Verhalten kann wiederum mit der besseren Faserbindung der im Vergleich zu Baumwolle längeren Fasern und dem veränderten Faserreibungskoeffizienten Fasern/Fasern erklärt werden. Die mit optimierter Abzugsdüse gesponnenen Garne ergeben weitaus bessere Ergebnisse

**5. Zusammenfassung**

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Garnstruktur durch die Falschdrahterteilung an der Abzugsdüse sehr stark beeinflußt wird. Mit steigender Falschdrahterteilung nehmen die Umschlingungen der Umwindfasern zu. Darüber hinaus dreht sich das Garn an der Abzugsdüse auf den Echtdrehungsbeiwert zurück, wodurch Teile der Umwindfasern aufgedreht werden.

Bei der mechanischen Beanspruchung an der Abzugsdüse, den folgenden Fadenleitorganen oder erst in der Weiterverarbeitung können diese lose um den Garnkern gewundenen Faseranteile leicht aufgeschoben werden. Die Aufschiebeneigung wächst mit steigender Falschdrahterteilung.

Für die Herstellung von Garnen mit den üblichen Drehungsbeiwerten von  $\alpha_m = 80 - 140$  wird unter Einbeziehung einer Sicherheitszone ein bestimmter Falschdraht benötigt. Bei der Unterdrückung des

Falschdrahtes, wie bei Anwendung einer rotierenden Abzugsdüse, müssen die Drehungsbeiwerte auf  $\alpha_m = 200$  und darüber erhöht werden, um fadenbruchfrei zu spinnen. Diese Garne ähneln in ihrem Aussehen Ringspinn Garnen; sie sind umwindefaserfrei.

Mit ansteigenden Rotordrehzahlen nehmen, wenn nicht besondere Maßnahmen hinsichtlich der Anpassung des Rotordurchmessers sowie der Abzugsdüsenausführung getroffen sind, die Falschdrahterteilung und damit auch alle vorher angesprochenen Nachteile zu. Will man beispielsweise bei einer Rotordrehzahlerhöhung von  $n_R = 50.000 \text{ min}^{-1}$  auf  $n_R = 70.000 \text{ min}^{-1}$  die Falschdrahterteilung für beide Drehzahlen konstant halten, so muß bei  $n_R = 70.000 \text{ min}^{-1}$  entweder die Abzugsdüsenfläche oder der Rotordurchmesser verkleinert werden. Durch diese Maßnahme können die Garneigenschaften der mit höheren Drehzahlen gesponnenen Garne erheblich verbessert werden.

Probleme treten dann aber beim Anspinnen mit niedrigeren Drehzahlen auf. Der Falschdraht ist zu gering. Er könnte beispielsweise kurzzeitig für den Anspinnvorgang durch die Vergrößerung der Abzugsdüsenfläche erhöht werden. Eine andere Möglichkeit wäre eine kurzzeitige Erhöhung des Drehungsbeiwertes  $\alpha_m$ . Die Vergrößerung der Abzugsdüsenfläche bietet den Vorteil, daß der Falschdraht während des Anspinnvorganges annähernd konstant bleibt. Es tritt keine oder nur eine geringfügige Garnstrukturveränderung während des Anspinnens und Rotorhochlaufens auf. Bei der bisher in der Praxis angewandten konstanten

Abzugsdüsenfläche nimmt das Garnstück vom Anspinnbeginn mit niedrigen Rotordrehzahlen bis zum Erreichen der Soll-Rotordrehzahl eine etwas andere Garnstruktur als das mit Soll-Rotordrehzahl gesponnene Garn an.

#### Literatur:

- 1) Kampen W.: Die Wirkung verschiedener Einflußfaktoren auf die Garnstruktur beim OE-Rotorspinnen; Dissertation vom 14. 12. 1978, RWTH Aachen
- 2) Lünenschloß J., Kampen W.: Einfluß von Zahl und Formierung der Bauchbinden auf die Eigenschaften rotorgespinnener Garne; Text. Prax. Int. **31**, 1274-1280, 1394-1396 (1976)
- 3) Lünenschloß J., Kampen W.: Einfluß der Bauchbinden auf die Eigenschaften rotorgespinnener Teppichgarne; Text. Prax. Int. **32**, 134-136, 252-254 (1977)
- 4) Lünenschloß, J., Kampen, W.: Einfluß der Faserlänge und des Faserreibungskoeffizienten auf die Formierung der Bauchbinden; Melliand Textilber. **59**, 181-185 (1978)
- 5) Lünenschloß, J., Kampen, W., Hoth, G.: Einflußgrößen auf die Garnstruktur beim OE-Rotorspinnen; Text. Prax. Int. **34**, 264-269 (1979)
- 6) Lünenschloß, J., Coll Tortosa, L., Phoa, T. T.: Die Bedeutung der Aufschiebeneigung für die Beurteilung der Struktur von OE-Rotorgarnen; Melliand Textilber. **59**, 780-797 (1978)
- 7) Artzt, P., Hehl, R., Bausch, A.: Spezielle Verfahren zur Prüfung von OE-Rotorgarnen; Text. Prax. **31**, 353 (1976)



## AUSTRIA FASERWERKE Gesellschaft m.b.H. A-4860 Lenzing

Herstellung und Vertrieb von Polyester-Stapelfasern sowie -Konverterkabeln und -Konverterzügen



## Eine neuartige hochadsorptive Viskosefaser

Dr. I. Marini, Dr. H. Teichmann, Dr. F. Gotschy, DDr. Prof. techn. habil. H. Krässig

Der Wunsch nach verbesserter Aufnahmefähigkeit von saugfähigen Einwegartikeln erfordert den Einsatz einer Viskosefaser mit erhöhten hydrophilen Eigenschaften. Anhand von einigen Beispielen aus Literatur und Praxis werden Methoden zur hydrophilen Modifikation von Zellulose regeneratfasern aufgezeigt.

Die Anforderungen an hochadsorptive Viskosefasern für den Einsatz in Tampons der Frauenhygiene umfassen:

Reinheit.

Sinkzeit und Wasserhaltevermögen nach DAB 7 sowie eine physiologische Beurteilung nach dem Cilientest.

Spezielle Prüfmethode wie Wasserrückhaltevermögen (Quellwert) und Synginatent werden in ihrer Aussagekraft bewertet, und Zusammenhänge zwischen diesen Meßgrößen und deren Beeinflussung durch den Fasertiter werden diskutiert. Auf fasermechanische Anforderungen wie beispielsweise Rohstoffstabilität wird hingewiesen.

Die bei der Entwicklung der hochadsorptiven Viskosefaser QUEL beschrittenen Wege werden skizziert. Sie führen von der Pfropfcopolymerisation der Zellulose mit Acrylsäure über den Zusatz von *Super-Slurpers* zum Zellstoff, über die Verätherung der Zellulose mit Chloressigsäure im Rahmen der Viskoseherstellung bis zum Einsatz von niedrigsubstituiertem Carboxymethylzellstoff und zur Inkorporation von löslicher Carboxymethylzellulose in die Viskose. Erst das Zusammenreffen aller entscheidenden Kriterien wie technische Realisierbarkeit und erzielbare hydrophile Eigenschaften unter der strikten Einhaltung aller übrigen Qualitätsanforderungen führten zur Produktionsreife dieser neuartigen hochadsorptiven Viskosefaser, deren Anwendungsgebiet in erster Linie im Non-wovens-Bereich liegt.

Durch zusätzliche Formaldehyd-Naßvernetzung werden extrem hohe Saugeigenschaften erzielt. Probleme bei der apparativen Verwirklichung dieses Verfahrens und im Bereich des Umwelt- und Arbeitnehmerschutzes weisen auf Grenzen dieser Entwicklung hin.

The request for increased absorption of absorbent one-way articles requires the use of a viscose fibre of improved hydrophilic properties. Examples from literature and practical application are given to show the methods for hydrophilic modification of regenerated cellulose fibres.

The requirements to be met by highly absorbent viscose fibres for the use in tampons include

— cleanliness.

— time of penetration and water retention according to DAB 7, as well as a

— physiological assessment according to the Cilient Test.

The value of special test methods, such as water retention (swelling index) and the Syngina Test is assessed and relations between these values and the degree to which they are affected by the fibre titre are discussed. Mechanical requirements, such as raw material stability, are pointed out.

The steps taken in the development of the highly absorbent viscose fibre, QUEL, are outlined. They lead from graft copolymerisation of the cellulose with acrylic acid to the addition of *super-slurpers* to the pulp, from etherification of the cellulose with chloroacetic acid in viscose production to the use of low substituted carboxymethyl pulp and to the incorporation of soluble carboxymethyl cellulose into the viscose. It was only a combination of all decisive criteria, such as technical feasibility and hydrophilic

properties under strict observance of all other quality requirements, which has made this new, highly absorbent viscose fibre, whose applications lie chiefly in the field of non-wovens, mature for production.

By additional formaldehyde wet cross-linking, extremely high absorption is obtained. Problems with the technical feasibility of this process and with the protection of environment and employees indicate the limitations of this development.

### 1. Einleitung

Wenn der Anwendungsbereich von Fasern in erster Linie im Aufsaugen und Zurückhalten von wäßrig-physiologischen Flüssigkeiten liegt, so handelt es sich in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle um Zellulosefasern, also um Zellstoff, Baumwolle und im besonderen um Viskosefasern, da die Zellulose aufgrund ihrer chemischen Struktur in der Lage ist, Wasserdi-pole über Wasserstoffbrückenbindungen festzuhalten. Der Wunsch nach erhöhter Aufnahmefähigkeit, vor allem in Tampons der Frauenhygiene, aber auch der Dental- und Operationstechnik sowie in anderen saugfähigen Einwegartikeln, erfordert eine Modifizierung der Viskosefasern mit dem Ziel, nicht nur die hydrophilen Fasereigenschaften zu verbessern, sondern auch dem speziellen Anwendungszweck Rechnung zu tragen. In Anlehnung an die von H. Krässig vorgeschlagene Gliederung der Methoden zur Modifizierung von Zellulose regeneratfasern<sup>1</sup> kann der gewünschte Effekt erzielt werden:

- mittels Modifizierung der physikalischen Faserstruktur,
- mittels Modifizierung durch physikalische Inkorporation von besonders saugfähigen chemischen Verbindungen oder
- mittels Modifizierung durch entsprechende chemische Umsetzungen, die direkt an der faserbildenden Zellulose vorgenommen werden.

### 2. Überblick über adsorptive Viskosefasern

Das Bestreben, die Hydrophilie von Viskosefasern zu erhöhen, hat bereits unter Berücksichtigung aller drei genannten Modifizierungsmethoden zu interessanten Produkten geführt, und in der Patenliteratur ist eine Vielzahl von neuen Variations- und Kombinationsmöglichkeiten beschrieben.

#### 2.1. Physikalisch modifizierte Viskosefasern (Abb. 1)

Werden beispielsweise der Viskose Stoffe zugesetzt, die unter Spinnbedingungen Gase freisetzen, wie z. B. Natriumcarbonat oder Natriumbicarbonat oder solche, die selbst Gase sind, wie z. B. Luft, Schwefelkohlenstoff oder Kohlendioxid<sup>2</sup>, so entstehen Hohlfasern, deren Lumen nur in den seltensten Fällen kreisrund ist<sup>3</sup>, da die relativ dünnwandigen Hohlfasern beim Trocknungsvorgang kollabieren und die Form eines flachgedrückten Schlauches annehmen. Auf der Basis dieser Strukturmodifizierung hat Courtaulds 1976 die Type *Viloft* herausgebracht, die in Bade- und Handtüchern und als Non-wovens-Type hauptsächlich in Tampons und saugfähigen Wischtüchern eingesetzt werden soll.

Modifizierung der physikal. Faserstruktur

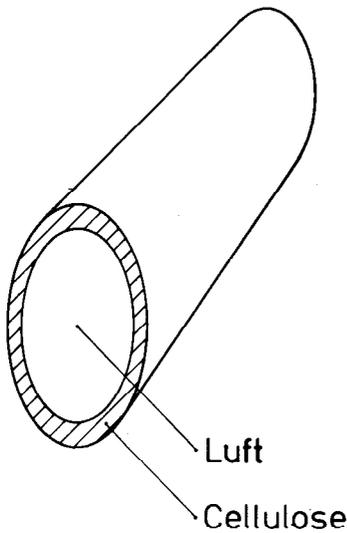


Abb. 1: Hydrophile Modifizierung von Zelluloseregeneratfasern I

2.2 Inkorporierte Viskosefasern (Alloy Fibers; Abb.2)

Durch Inkorporation eines Copolymerisates aus Acrylsäure und Methacrylsäure in die Viskose wird eine lösliche polymere Carbonsäure in die Zellulosematrix eingebaut und sorgt dort durch die Anwesenheit von Carboxylgruppen für eine erhöhte Hydrophilie. Nach diesem Prinzip ist die von der Amerikan Enka entwickelte Viskosefaser Absorbit aufgebaut<sup>4</sup>, deren Hauptanwendungsgebiet ebenfalls in der Frauenhygiene und verschiedenen sanitären und medizinischen Bereichen liegt. Diese Faser wird in den USA im

Modifizierung durch physikal. Inkorporation von hydrophiler Verbindungen

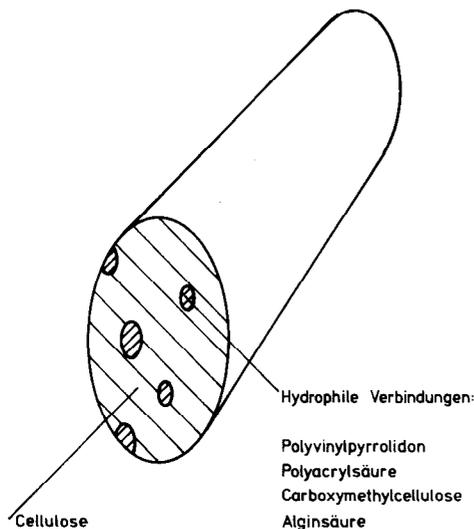


Abb. 2: Hydrophile Modifizierung von Zelluloseregeneratfasern II

Tampax-Super-Plus-Tampon von Kendall eingesetzt. Eine ähnlich aufgebaute Faser liegt im Playtex 50 % more absorbency-Tampon von Avtex vor.

Darüber hinaus wird für die Inkorporation in Viskose noch eine Reihe von anderen löslichen Polymerprodukten vorgeschlagen, wie etwa das Acrylsäure-Homopolymerisat<sup>5</sup>, das Copolymerisat aus Methylvinyläther und Maleinsäureanhydrid<sup>6</sup>, Polyvinylpyrrolidon<sup>7</sup>, Carboxymethylzellulose<sup>7</sup>, und Alginsäure<sup>8</sup>.

Weiters kann der Viskose auch cyanäthylierte Viskose beigemischt werden, die separat hergestellt werden muß<sup>9</sup>. Dazu ist es erforderlich, dem Schwefelkohlenstoff, der für die Xanthogenierung verwendet wird, eine gewisse Menge an Acrylnitril zuzusetzen, damit gleichzeitig mit der Bildung des Xanthogensäureesters die olefinische Addition von Acrylnitril zum Cyanäthyläther der Zellulose ablaufen kann.

2.3. Chemisch modifizierte Viskosefasern (Abb. 3)

Außer den bisher aufgezeigten Systemen zur Erhöhung der hydrophilen Eigenschaften von Viskosefasern, wo der überwiegende Anteil der Fasern aus chemisch nichtmodifizierter Zellulose besteht, gibt es auch Beispiele für Viskosefasern mit erhöhten hydrophilen

Modifizierung durch chem. Umsetzungen an der faserbildenden Cellulose

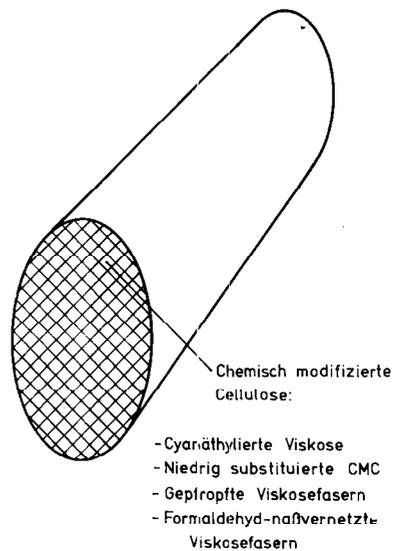


Abb. 3: Hydrophile Modifizierung von Zelluloseregeneratfasern III

Eigenschaften, die durch eine entsprechende chemische Modifizierung der gesamten faserbildenden Zellulose erzielt werden. Setzt man etwa während der Xanthogenierung Acrylnitril zu, so erhält man nach Ablauf des üblichen Viskosespinnprozesses Viskosefasern, die aus niedrigsubstituierter Carboxyäthylzellulose bestehen, also aus einem Zellulosematerial, das mehr oder weniger gleichmäßig mit Propionsäure veräthert ist<sup>10</sup>. Eine derartige Faser ist die BAR-Fiber (Bondable Avisco Rayon) der ehemaligen FMC-Corporation, die vor allem aufgrund ihrer hohen Hydroplastizität

als Binfaser im Papier und in naßgelegten Vliesen eingesetzt wird.

Eine andere Möglichkeit zur Einführung von hydrophilen Gruppen durch chemische Modifizierung stellt die polymeranaloge Umsetzung an bereits vorliegenden Viskosefasern dar, allen voran die Carboxymethylierung mit Chloressigsäure. Derart hergestellte carboxymethylierte Viskosefasern können ebenfalls als Binfasern eingesetzt werden, wobei die Bindekraft mit dem Verätherungsgrad zunimmt<sup>11</sup>.

Eine äußerst interessante chemische Modifizierung ist die Ppropfcopolymerisation an Zellulose, wobei Seitenketten aus vorwiegend synthetischen Polymeren angefügt werden. Die Auswahl der eingesetzten synthetischen Monomerkomponenten reicht von Acrylnitril und Styrol über phosphorhaltige Vinyl bis zur Acrylsäure. Letztere führt bei der Propfcopolymerisation an Zellulose zu Viskosefasern mit hohem Quellvermögen, gutem Dispersionsverhalten in Wasser, guter Selbstbindefähigkeit und guten Ionenaustauschereigenschaften.

### 3. Anforderungen an eine hochadsorptive Viskosefaser

Die Herstellung von hochadsorptiven Viskosefasern, die in erster Linie für den Einsatz im Vaginaltampon bestimmt sind, setzt die genaue Kenntnis der Anforderungen voraus, die an eine derartige Spezialfaser gestellt werden müssen. Zum besseren Verständnis soll zunächst ein Überblick über die speziellen Kenngrößen und Meßmethoden gegeben werden.

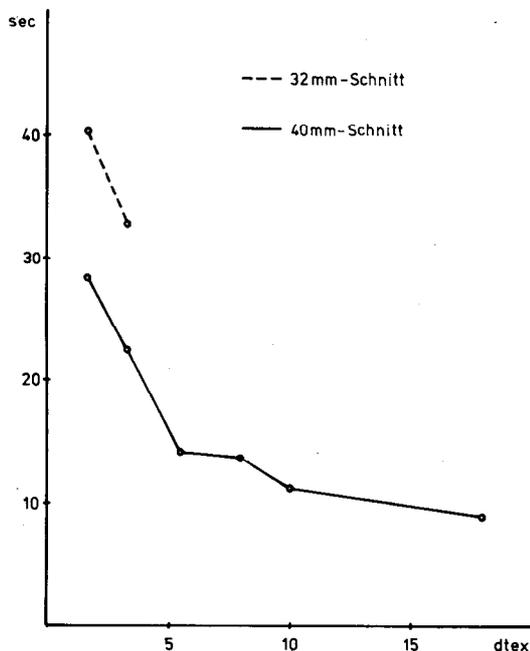


Abb. 4: Titer gegen Sinkzeit

#### 3. 1. Physiologische Anforderungen

Viskosefasern für die Tamponherstellung weisen in der Regel einen Titer zwischen 1,7 und 3,3 dtex und eine Schnittlänge zwischen 25 und 50 mm auf. Die Überprüfung auf Reinheit<sup>12</sup> wirft speziell bei den hochadsorptiven natriumcarboxylgruppenhaltigen Vis-

kosefasern immer wieder Probleme und Diskussionen auf, da, sozusagen konstruktionsbedingt, die tolerierbare Obergrenze für den Faser-pH<sup>13</sup> kaum eingehalten werden kann und das maximal zulässige Limit für den Aschegehalt sicher überschritten wird. Darüber hinaus sieht die entsprechende Vorschrift die Überprüfung der Saugfähigkeit nach der Körbchenmethode vor<sup>14</sup>, wobei die Absinkdauer einer gewissen Fasermenge in Wasser sowie im Anschluß daran das Wasserhaltevermögen dieser Fasermenge bestimmt wird, nachdem eine definierte Abtropfzeit eingehalten wurde (Abb. 4).

Die Sinkzeit ist ein Maß für die gute Benetzbarkeit der Fasern und soll bei einer guten Tamponfaser in Wasser unter 2 Sekunden liegen. Sie kann durch die Wahl eines hohen Fasertiters entscheidend herabgesetzt werden, wobei allerdings aus verarbeitungstechnischen Gründen gewisse Grenzen gesetzt sind. Offensichtlich werden durch die dickeren und damit steiferen Fasern die Kapillarräume zwischen den Fasern besser stabilisiert, sodaß die Benetzung der gesamten Fasermenge schneller erfolgt.

Was den Problembereich der physiologischen Unbedenklichkeit betrifft, so werden alle von uns entwickelten hochadsorptiven Viskosefasern entsprechenden Tests an neutralen Instituten unterworfen.

#### 3. 2. Wasserrückhaltevermögen nach DIN 53 814 (Quellwert)

Eine andere Methode zur Bestimmung des Wasserhaltevermögens von Fasern, die den Verhältnissen im Tampon eher gerecht wird, ist die Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens, auch Quellwert genannt<sup>15</sup>. Die Fasern werden ausreichend mit Wasser benetzt und in speziellen Schleudergefäßen definiert abzentrifugiert. Den Quellwert erhält man, wenn man das Gewicht des unter diesen Bedingungen in und zwischen den Fasern festgehaltenen Wassers auf das Gewicht des trockenen Fasergutes bezieht und in Prozent angibt.

Der Quellwert berücksichtigt also bereits in einem gewissen Ausmaß die Tatsache, daß eine Tamponfaser Flüssigkeiten auch gegen Kräfte zurückhalten muß, die von außen auf das Fasermaterial einwirken.

Bei der Entwicklung einer hochadsorptiven Viskosefaser steht ohne Zweifel eine Erhöhung des Quellwertes im Vordergrund, wobei es zunächst einmal gilt, den Quellwert der normalen Viskoseverbandwattentypen, der zwischen 80 und 90 % liegt, deutlich zu übertreffen. Es muß aber in aller Deutlichkeit darauf hingewiesen werden, daß ein extrem hoher Quellwert alleine noch lange keine Garantie für gute Saugeigenschaften des aus diesen Fasern hergestellten Tampons ist, vor allem deshalb, weil die Sinkzeit mit steigendem Quellwert zunimmt (Abb. 5), das heißt, daß ein hohes Wasserrückhaltevermögen offensichtlich zu einer Verminderung der Benetzbarkeit führt. Dieser zunächst paradox erscheinende Zusammenhang läßt sich damit erklären, daß Fasern mit einem hohen Wasserrückhaltevermögen beim Benetzen stark quellen und dadurch den Zutritt von weiterem Wasser erschweren, sodaß insgesamt die Absinkdauer verlängert wird.

Aufgrund unserer Erfahrung wird als idealer Kompromiß für eine hochadsorptive Viskosefaser ein Quellwert zwischen 140 und 170 % angesehen.

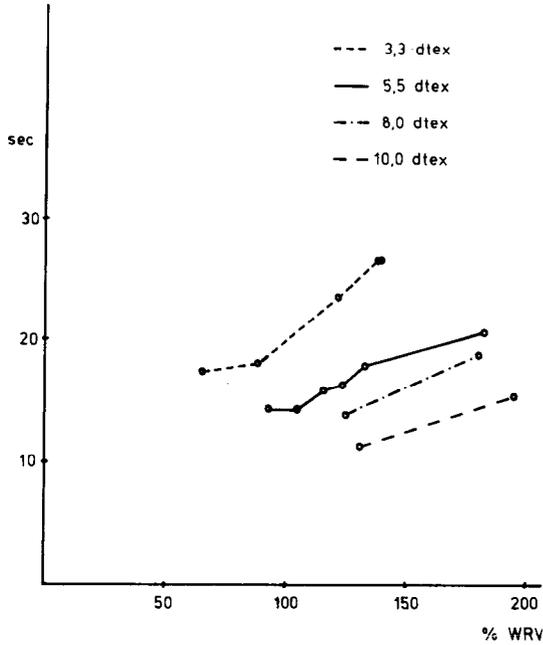


Abb. 5: Wasserrückhaltevermögen (Quellwert) gegen Sinkzeit

3. 3. Synginatest

Eine besonders praxisnahe Methode zur Bestimmung der Saugeigenschaften von Tamponfasern, die bei der Entwicklung unserer hochadsorptiven Viskosefasern eine zentrale Stellung eingenommen hat, ist der Synginatest<sup>16</sup>, und zwar vor allem deshalb, weil die Messung erstens direkt an einem Tampon vorgenommen wird und zweitens die Blutersatzflüssigkeit gegen einen Druck aufgenommen und zurückgehalten werden muß, der von außen auf dem Tampon lastet.

Handelsübliche Wickeltampons in Normalgröße haben eine Länge von 50 mm und einen Durchmesser von 12 mm und weisen demnach bei einem Fasergewicht von ca. 2,8 g eine mittlere Dichte von 0,5 g/cm<sup>3</sup> auf. Die Wirkungsweise eines solchen Tampons läßt sich etwa so erklären, daß er unmittelbar nach der Benetzung rasch an Volumen zunimmt und damit ein ausgedehntes Hohlraumsystem zwischen den Fasern aufbaut, das dann allmählich mit der aufzusaugenden Flüssigkeit vollgefüllt wird. Eine entsprechende Meß-

anordnung, die es gestattet, die zeitliche Volumenzunahme oder Expansion eines Tampons während des Aufsaugens gegen einen konstanten äußeren Druck zu verfolgen und nach einer definierten Zeit die vom Tampon gegen diesen Druck aufgesaugte und festgehaltene Blutersatzflüssigkeit zu bestimmen, basiert auf dem Synginatest nach Rapp (Abb. 6 u. 7).

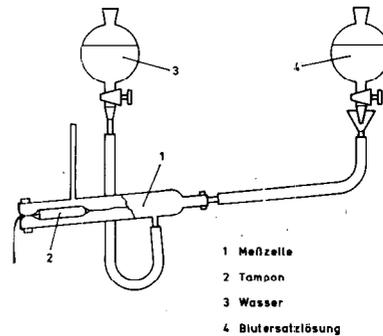


Abb. 7: Syngina-Testapparatur nach RAPP

Als Ergebnis der Messung erhält man demnach 4 Synginawerte, und zwar die Volumenzunahme des Tampons in ml nach 1, 3 und 15 Minuten sowie die Flüssigkeitsgesamtaufnahme in g nach 15 Minuten. Für die Zielsetzung bei der Entwicklung einer hochadsorptiven Tamponfaser bedeutet dies, daß die Synginawerte eines normalen Verbandwattetampons in allen Zahlen deutlich überschritten werden müssen.

Was den Einfluß von Sinkzeit und Quellwert auf die Synginawerte betrifft, so wurden einige bemerkenswerte Zusammenhänge gefunden:

- hohe Synginaanfangswerte (die Volumenzunahme nach 1 und 3 Minuten) resultieren in der Regel aus niedrigen Sinkzeiten;
- hohe Synginaendwerte (Volumenzunahme und Flüssigkeitsgesamtaufnahme nach 15 Minuten) sind die Folge eines hohen Quellwertes.

Eine gute Benetzung der Faser ist also eine notwendige Voraussetzung für das rasche Aufspringen des

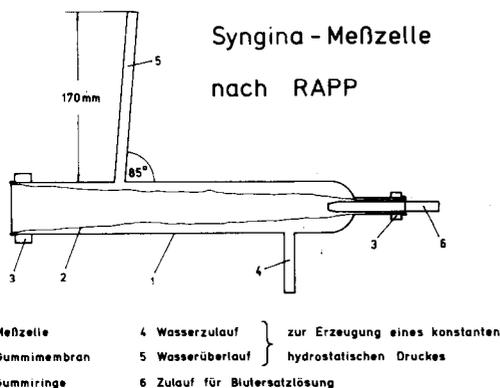


Abb. 6: Syngina-Meßzelle nach RAPP

Tabelle 1: Hydrophile Anforderungen an eine hochadsorptive Viskosefaser

<b>1. Methode nach DAB 7:</b>				
	Wasser:			
Sinkzeit:	< 2 sec			
(Wasserhaltevermögen):	(18 — 20 ml/g)			
<b>2. Wasserrückhaltevermögen nach DIN 53 814 (Quellwert)</b>				
	Wasser:			
	140 — 170 %			
	(max 180 %)			
<b>3. Synginatest (mit Blutersatzlösung):</b>				
Tampongewicht	Expansion in ml nach		Gesamtaufnahme	
	1 min	3 min	15 min	in g nach 15 min
2,8 g	> 4,0	> 7,4	> 10,1	> 13,5

Tampons bei Flüssigkeitskontakt, und ein hoher Quellwert ist die Bedingung für eine hohe Flüssigkeitskapazität des Tampons.

Es lassen sich somit die Anforderungen, die an die Saugeigenschaften einer hochadsorptiven Viskosefaser für den Einsatz im Tampon gestellt werden müssen wie in Tabelle 1 gezeigt zusammenfassen.

#### 3. 4. Rohstoffstabilität

Aus Gründen der Vollständigkeit muß erwähnt werden, daß Tamponfasern auch gewissen mechanischen Anforderungen entsprechen müssen. Abgesehen davon, daß für das problemlose Kardieren der Stapelfasern eine titerbezogene Reißkraft in konditioniertem Zustand von ca. 20 cN/tex bei einer Dehnung von ca. 15% voll ausreichend ist, soll der Tampon im trockenen Zustand eine gewisse mechanische Festigkeit aufweisen, die nach einer von der Firma Hahn entwickelten Methode, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, bestimmt wird.

#### 4. Entwicklung einer hochadsorptiven Viskosefaser

Als wir vor ca. 5 Jahren mit der Entwicklung unserer hochadsorptiven Viskosefaser begonnen hatten, stand bereits damals das Bestreben im Vordergrund, die notwendige Verbesserung der hydrophilen Eigenschaften durch den Einbau von Carboxylgruppen zu erzielen. Diese funktionelle Gruppe weist einerseits in Form ihrer Alkalisalze in wäßrigem Milieu eine hohe Dissoziation in Ionen auf, die durch die Ausbildung von Ionen-Hydrathüllen höchste Hydrophilie garantieren, und stellt andererseits für den zellulosefaserigen Grundstoff keinen chemischen Fremdkörper dar, da normale nichtmodifizierte Viskosefasern bereits einen Carboxylgruppengehalt von 0,1% aufweisen.

#### 4. 1. Pfropfcopolymerisation mit Acrylsäure

In einer ersten Entwicklungsphase wurde für den Einbau von Carboxylgruppen eine spezielle Technologie der Zellulosepfropfcopolymerisation herangezogen, die zusammen mit der Firma Scott Paper entwickelt worden war<sup>17</sup> und primär ganz andere Ziele verfolgte<sup>18</sup>. Nach diesem Prozeß der Thiocarbonat-Redox-Pfropfung wurden durch Pfropfcopolymerisation von Viskosefasern mit Acrylsäure hochadsorptive Fasern mit einem Carboxylgruppengehalt von ca. 9% und mit sehr guten hydrophilen Eigenschaften erhalten (Tab. 2).

Der einzige, aber entscheidende Schönheitsfehler war,

daß die Fasern in den entsprechenden Tests zur Überprüfung der physiologischen Unbedenklichkeit als toxisch befunden wurden. Eine systematische Untersuchung der Ursachen für diese Toxizität führte zu der Erkenntnis, daß offensichtlich die Kombination von Zinkionen im Spinnbad mit dem Thiocarbonat-Redox-Pfropfprozeß zu dem unerwünschten Nebeneffekt führt. Acrylsäure-gepfropfte Viskosefasern, welche zinkfrei ersponnen worden waren, waren zwar physiologisch unbedenklich, lieferten jedoch aufgrund ihres sehr lappigen und weichen Charakters im nassen Zustand sehr schlechte Synginawerte.

Insgesamt gesehen, bietet die Pfropfcopolymerisation von Viskosefasern mit Acrylsäure die Möglichkeit, möglichst viele Carboxylgruppen chemisch an die faserbildende Zellulose zu binden. Das entsprechende technologische Verfahren ist jedoch teuer, und die physiologische Beurteilung der modifizierten Faser ist nicht akzeptabel.

#### 4. 2. Zusatz von „Super-Slurpers“ zum Zellstoff

Von der Firma Buckeye Cellulose Corporation und von der Firma Hercules werden auf der Basis von vernetzter Carboxymethylzellulose hochquellende, aber in Wasser unlösliche Substanzen, sogenannte *Super-Slurpers* angeboten. Ausgangspunkt für die folgenden Versuche war der Gedanke, die ausgezeichnete Hydrophilie dieser Produkte mit den Eigenschaften einer Viskosefaser zu verbinden. Dazu wurden dem Zellstoff vor der Alkalisierung jeweils bis zu 10% Buckeye CLD bzw. Hercules Aqualon zugegeben und die Verarbeitung zu Viskosefasern nach den üblichen Richtlinien vorgenommen. Die Besonderheiten, die bei der Faserherstellung sowie bei der Analyse der Fasern auftraten, lagen bei Buckeye CLD in der schlechten Filtrierbarkeit der Viskosen und bei Hercules Aqualon in der Tatsache, daß die ersponnenen Viskosefasern keine zusätzlichen Carboxylgruppen enthielten.

Die Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten liegt damit auf der Hand: Hercules Aqualon verfügt über alkalisch spaltbare Vernetzungsstellen, die unter den Bedingungen der Alkalisierung aufgehen. Damit wird die Carboxymethylzellulose löslich und wird beim Abpreßvorgang fast vollständig über die Maischlauge aus der Alkalizellulose entfernt, sodaß auch in der fertigen Faser keine Carboxylgruppen gefunden werden können. Demgegenüber sind die Vernetzungsbrücken im Buckeye CLD alkalistabil. Dies führt dazu, daß das Produkt nicht ausgewaschen wird und folglich auch in der Faser eine fast hundertprozentige

Tabelle 2: Acrylsäure-pfropfcopolymerisierte Viskosefaser

Faser	ZnSO <sub>4</sub> g/l	COOH %	Sinkz. sec	WRV %	Expansion nach			Ges.- Aufn.	Physiologie
					1 min	3 min	15 min		
Acrylsäure- gepfropft	20	9,1	18,8	156	7,4	13,4	15,1	18,8	toxisch
Acrylsäure- gepfropft	—	6,1	19,3	169	1,4	3,3	9,2	14,2	einwandfrei
—	20	0,1	15,7	91	4,0	7,4	10,1	13,5	einwandfrei

Ausbeute an Carboxylgruppen vorliegt. Allerdings hat das in Form von hochgequollenen Teilchen vorliegende Buckleye CLD eine extreme Verschlechterung der Viskosefiltrierbarkeit zur Folge, sodaß eine wirtschaftliche Herstellung nach diesem Weg unwahrscheinlich ist (Abb. 8).

Die Abbildung 8 zeigt Quellwert und Sinkzeit der Fasern in Abhängigkeit vom Buckleye CLD-Einsatz. Erwartungsgemäß steigt der Quellwert an, während die Sinkzeit aber den zulässigen Höchstwert von 20 Sekunden weit übersteigt.

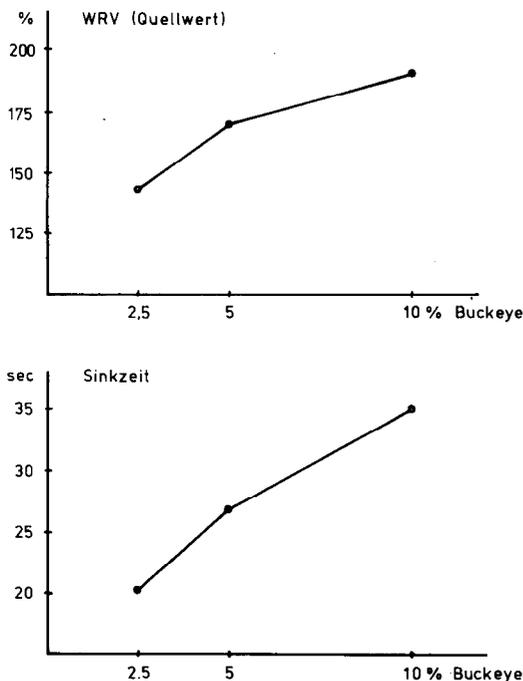


Abb. 8: Viskosefaser mit Zusatz von Buckleye CLD

#### 4. 3. Umsetzung zu Carboxymethylzellulose während der Viskoseherstellung

Eine andere Möglichkeit zur Einführung von Carboxylgruppen in die Viskosefaser stellt die Überführung der gesamten faserbildenden Zellulose in eine niedrigsubstituierte Carboxymethylzellulose während des Viskosefaserherstellungsprozesses dar. Dabei wird in Analogie zur Äthersynthese nach Williamson eine Umsetzung der Zellulose mit Chloressigsäure im alkalischen Milieu angestrebt, und zwar entweder im Zuge der Maischalkalisierung und der Xanthogenierungsreaktion oder der Viskosenachreife.

Im untersuchten Einsatzbereich zwischen 0,04 und 0,10 Mol Chloressigsäure pro Mol Anhydroglucose erfolgt während der Viskosenachreife keine Substitution der Zellulose. Demgegenüber wurden aber bei höheren Einsätzen von 0,15 und 0,23 Mol Chloressigsäure pro Mol Anhydroglucose, wie sie für die Verätherung während der Maischalkalisierung gewählt wurden, carboxylgruppenhaltige Fasern mit Quellwerten von 108 und 155 % erhalten. Bei zahlreichen Optimierungsversuchen, denen ein ähnliches Herstellungsprinzip zugrunde liegt, haben wir gute Erfahrungen gemacht, sodaß wir hier mit ernstzunehmenden Realisierungschancen rechnen.

#### 4. 4. Einsatz von niedrigsubstituiertem Carboxymethylzellstoff

Die Arbeiten mit Buckleye CLD hatten gezeigt, daß es möglich ist, Carboxylgruppen, die an ein unlösliches Grundgerüst gebunden sind, ohne nennenswerten Verlust durch den gesamten Viskosefaserherstellungsprozeß zu schleusen. Demnach sollte es auch gelingen, einen carboxylierten Zellstoff, dessen Substitutionsgrad so bemessen ist, daß seine Löslichkeit unter Alkalisierbedingungen gering und die Abpreßbarkeit einer derartigen Maische gewährleistet ist, zu einer filtrierbaren Viskose zu verarbeiten. Diese Überlegung führte schließlich zum Erfolg und wurde zum Patent angemeldet<sup>19</sup>. Der entsprechende niedrigsubstituierte Carboxymethylzellstoff wurde in seinen hydrophilen und verarbeitungstechnischen Eigenschaften in mühevoller Kleinarbeit optimiert, bis ein annehmbarer Kompromiß zwischen durchschnittlichem Substitutionsgrad einerseits sowie Abpreßbarkeit der Alkalizellulose und Filtrierbarkeit der Viskose andererseits zustande kam.

An unserer Versuchsanlage wurden bereits 15 Tonnen einer derartigen hochadsorptiven Viskosefaser aus einem niedrigsubstituierten Carboxymethylzellstoff hergestellt. Gegenüber den üblichen Betriebsbedingungen ergaben sich dabei einige Veränderungen, wie etwa eine Verkürzung der Vorreifedauer aufgrund eines wesentlich niedrigeren DP<sub>s</sub> des carboxymethylierten Zellstoffs, eine geringfügige Erhöhung der Preßkräfte beim Abpressen der Alkalizellulose, ein erhöhter Hemigehalt in der Maischlaug sowie eine Verschlechterung der Viskosefiltrierbarkeit — in Summe jedoch lauter akzeptable Begleiterscheinungen.

Wie aus der Abbildung 9 hervorgeht, liegen mit Ausnahme der Sinkzeit der 1,7 dtex-Faser alle hydrophilen Meßdaten innerhalb der geforderten Bereiche.

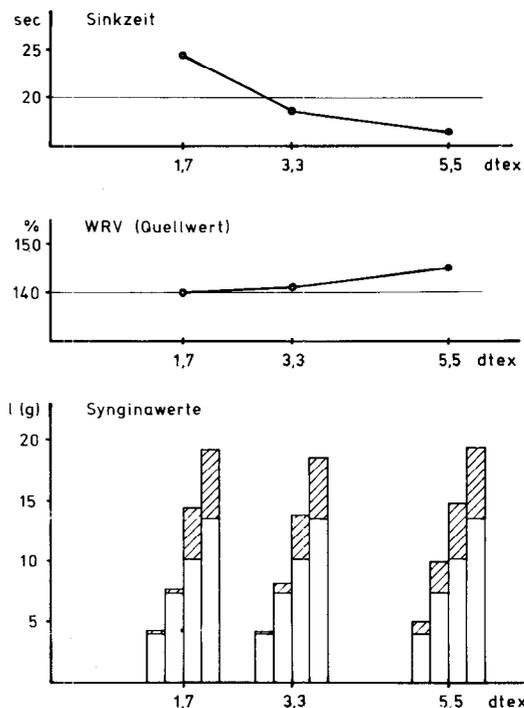


Abb. 9: Hochadsorptive Viskosefaser QUEL aus niedrigsubstituiertem Carboxymethylzellstoff

Die Kombination von niedriger Sinkzeit und hohem Quellwert im Falle der 5,5 dtex-Faser bewirkt gegenüber einem Normalfasertampon eine starke Verbesserung in allen 4 Synginawerten, und zwar in der Expansion nach 1 Minute um 23 %, nach 3 Minuten um 34 %, nach 15 Minuten um 46 % sowie in der Gesamtaufnahme um 43 %.

4. 5. Inkorporation von löslicher Carboxymethylzellulose

Eine bemerkenswerte Alternative zur Herstellung von Viskosefasern aus niedrigsubstituiertem Carboxymethylzellstoff stellt die bereits eingangs erwähnte Inkorporation einer löslichen Carboxymethylzellulose, kurz CMC genannt, in Viskose dar. Der gewichtsmäßige CMC-Anteil, der in die Viskose eingebracht werden

$$\% \text{ CMC} = \frac{(81 \times DS_F + 40 \times DS_F \times DS_{CMC}) \times 100}{81 \times DS_{CMC} + 40 \times DS_F \times DS_{CMC}}$$

DS<sub>F</sub> = Durchschnittlicher Substitutionsgrad in der Faser

DS<sub>CMC</sub> = Durchschnittlicher Substitutionsgrad der inkorporierten löslichen CMC

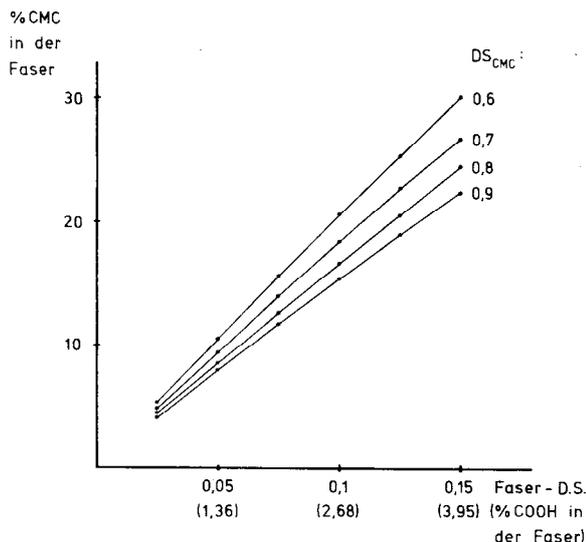


Abb. 10: Inkorporation von löslicher (= hochsubstituierter) CMC

muß, richtet sich nach dem durchschnittlichen Substitutionsgrad dieser CMC sowie nach dem angestrebten durchschnittlichen Substitutionsgrad in der Faser. Ein entsprechender Zusammenhang dieser drei Größen wurde abgeleitet und ist in Abbildung 10 zu sehen.

Was die Qualitätsanforderungen an eine CMC betrifft, die für die Inkorporation in Viskose bestimmt ist, so muß eine geeignete Wahl der Kenndaten, wie Aktivgehalt, Viskosität, DS (durchschnittlicher Substitutionsgrad) und Salzgehalt, getroffen werden, da diese Größen die Carboxylgruppenausbeute und damit auch die Saugeigenschaften der Faser beeinflussen. Die Forderung nach Chloridfreiheit der CMC, die im Hinblick auf eine unerwünschte Salzsäurebildung im Spinnbad und im Bereich der Spinnbadaufbereitung besteht, ist letzten Endes ein Kostenproblem und wird niemals vollkommen erfüllt werden können.

Die hydrophilen Eigenschaften von derartigen CMC-

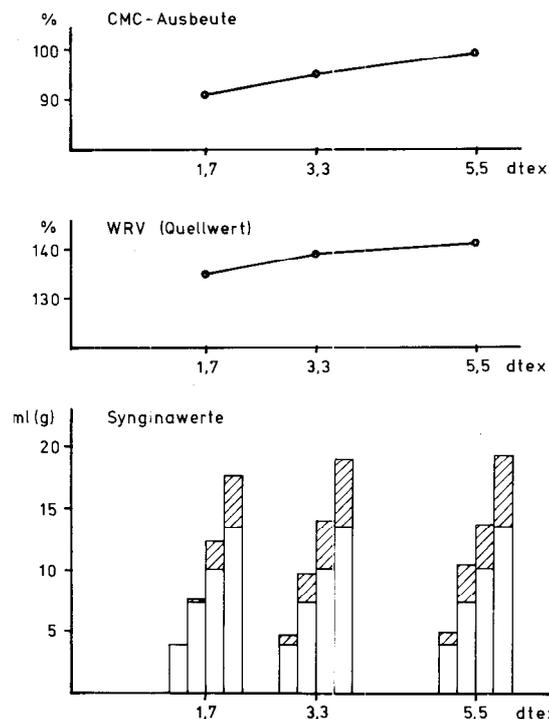


Abb. 11: Hochadsorptive Viskosefaser QUEL durch Inkorporation von CMC

inkorporierten Viskosefasern sind in Abbildung 11 zusammengestellt. Gegenüber den aus niedrigsubstituiertem Carboxymethylzellstoff hergestellten Fasern zeigen die CMC-inkorporierten Fasern mit vergleichbarem Carboxylgruppengehalt im Mittel dieselben Synginawerte bei geringfügig erniedrigten Quellwerten. Die CMC-Ausbeute nimmt mit steigendem Titer zu und ist offensichtlich eine Funktion der Faseroberfläche.

4. 6. Formaldehyd-Naßvernetzung

Die von der Firma Johnson & Johnson vorgeschlagene Formaldehyd-Naßvernetzung von Baumwolle und Viskosefasern führt zu einer bemerkenswerten Verbesserung der Saugeigenschaften<sup>20</sup>. Im Gegensatz zu den bekannten Formaldehydausrüstungen nach dem Dry-Cure-Prozeß erfolgt die Formaldehyd-Naßvernetzung in wäßriger Phase bei Temperaturen unter 100 °C (Abb. 12). Wird diese Art der Faserbehandlung auf carboxymethylgruppenhaltige Viskosefasern angewendet, die gegenüber normalen Viskosefasern bereits deutlich verbesserte Saugeigenschaften aufweisen, so resultiert daraus ein weiterer gewaltiger Zuwachs in allen vier Synginawerten<sup>21</sup>. Die Sinkzeiten steigen geringfügig an, die Quellwerte bleiben unverändert

Die Herstellung einer solchen vernetzten carboxymethylgruppenhaltigen Viskosefaser im Pilot-Plant-Maßstab bereitete in den Bereichen Umwelt- und Arbeitnehmerschutz, Werkstoffkorrosion und Chemikalienverbrauch einige Probleme. Eine zufriedenstellende Lösung dieser Probleme ist sicherlich mit hohen Kosten verbunden, die jedoch auf Grund der enormen Saugeigenschaften dieser speziellen, physiologisch unbedenklichen Viskosefaser gerechtfertigt sein könnten.

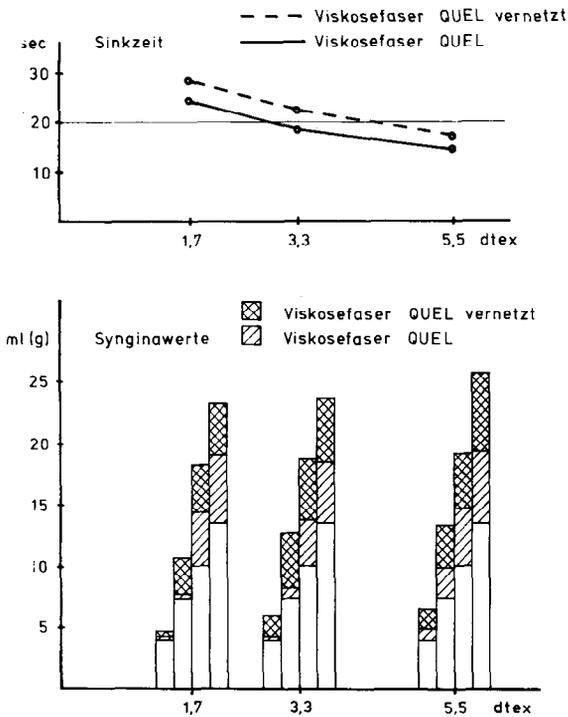


Abb. 12: Formaldehyd-Naßvernetzung der hochadsorptiven Viskosefaser QUEL

5. Ausblick

Die bereits zur Produktionsreife gelangte unvernetzte hochadsorptive Viskosefaser QUEL (Tab. 3) ist in erster Linie als Tamponfaser mit einem Titer von 3,3 und 5,5 dtex und einer Schnittlänge von 30 bis 40 mm entwickelt worden und weist gegenüber der normalen Viskose-Verbandwatte-Type eine Verbesserung in den hydrophilen Eigenschaften, Quellwert und Synginawerte, um 30 bis 40 % auf. Darüber hinaus kann diese

Tabelle 3: Kenndaten der Viskosefaser QUEL

Titer (dtex):	1,7/3,3/3,6/5,5
Stapellänge (mm):	30/40
Faserfestigkeit kond. (cN/tex):	20 — 22
Faserdehnung kond. (%):	15 — 18
Faserfestigkeit naß (cN/tex):	8 — 10
Faserdehnung naß (%):	24 — 28
Wasserrückhaltevermögen nach DIN 53 814 (%):	140 — 150
Sinkzeit nach DAB 7 (sec):	2 — 3
Wasserhaltevermögen nach DAB 7 (g/g):	18 — 20
Retention von Blutersatzlösung bei 17 mbar Gegendruck (g/g):	6 — 7
Weißgehalt (BE):	48 — 50
Mattierung (TiO <sub>2</sub> ) (%):	1,2
COOH-Gruppen (%):	1,8
Aschegehalt (%):	3
Avivageauflage (%):	0,05
Faser-ph (Flottenverh. 1:10):	6,5
Physiologie:	gut zellverträglich

physiologisch einwandfreie, hochadsorptive Spezialfaser auch in Damenbinden, Kinderwindeln, Krankenhausunterlagen, saugfähigen Wischtüchern und anderen derartigen Artikeln eingesetzt werden — auf Wunsch auch mit einem Titer von 1,7 dtex. Besonders im Hinblick auf die beachtlichen Steigerungsraten im Non-wovens-Bereich mit seinem hohen Anteil an Einwegartikeln bietet die Viskosefaser QUEL für das Endprodukt die geforderten anwendungsspezifischen Eigenschaften und für den Umweltschützer die Sicherheit einer problemlosen Verrottung.

Literatur:

- 1) Krässig H.: „Modifizierte Zelluloseregeneratfasern“ in A. Chwala/V. Anger, Handbuch der Textilhilfsmittel, S. 102 ff., Verlag Chemie, Weinheim, 1977
- 2) Götze K.: „Chemiefasern nach dem Viskoseverfahren“, Springer Verlag, Berlin 1967, Band I, S. 622 ff.; GB-Pat. 253.953 (1924); GB-Pat. 253.954 (1924); GB-Pat. 273.506 (1926); DRP 471.458 (1924); DRP 485.324 (1925); DRP 701.646 (1934); US-Pat. 2,780.512 (1957); US-Pat. 3,173.830 (1959); DAS 1,191.049 (1961)
- 3) Treiber E.: Schwedisches Holzforschungsinstitut, SW-Pat. 358.908 (1972)
- 4) OE-Pat. Anm. 8308/76; DOS 26 34.994 (1977); US-Pat. 4,066.584 (1978)
- 5) DOS 23 24.589 (1974); OE-Pat. 331.993 (1976)
- 6) DOS 27 50.900 (1978)
- 7) OE-Pat. Anm. 8520/75; DOS 25 50.345 (1977)
- 8) DOS 27 50.622 (1977)
- 9) US-Pat. 3,919.385 (1975); US-Pat. 3,951.889 (1976)
- 10) Schappel J.: „Zellulosische Bindefasern“; Chemiefasern/Text. Ind., S. 740 ff., August 1973
- 11) Alince B.: „Partial Carboxymethylation of Rayon and its Effect on Interfiber Bonding“; Sven. Papperstidn., Nr. 8, S. 259 ff, 1976
- 12) Deutsches Arzneibuch, 7. Ausgabe (1968), S. 1524-1526 und 1532-1534 sowie Europäisches Arzneibuch S. 268-270
- 13) DIN 54.276
- 14) Deutsches Arzneibuch, 7. Ausgabe, S. 95, 1968
- 15) DIN 53.814; Jayme G. und Rothamel L.: „Versuche zwecks Schaffung einer Einheitsschleudermethode für die Bestimmung des Quellwertes von Zellstoffen“; Das Papier, 2. Jahrgang, Heft 1/2, Januar 1948
- 16) Rapp G.: „Commercial Catamenial Tampons“, Professor of Biochemistry and Physiology (From the Department of Research, Loyola University, Cicago, Illinois), Juni 1958
- 17) DAS 22 04 442 (1972)
- 18) Teichmann H., Brickmann W., Faessinger R., Mayer G. und Krässig H.: „Thiocarbonate/Peroxide Redox System for the Modification of Viscose Fibers“; Tappi, Vol. 57, No. 7, Juli 1974
- 19) OE-Pat. Anm. 1932/77; DOS 28 09 312 (1978)
- 20) DP 14 92 365 (1974); US-Pat. 3,241.553 (1966); Belg.-Pat. 660.346 (1965)
- 21) DOS 26 38 654 (1978); OE-Pat. Anm. 1932/77

## Neuerungen in der Aufbereitung und in der Kardierung von Chemiefasern für die Spinnerei

Ing. (grad.) Walter Wirth

Die Chemiefaserverarbeitung hat beim Öffnen, Mischen und Kardieren eine beachtliche Leistungssteigerung und einen hohen Grad der Automatisierung erreicht. Diese Entwicklung war durch die stark expandierenden Chemiefasermärkte auf dem Garnsektor und durch die hohe Wirtschaftlichkeit und Flexibilität der neuen Verarbeitungssysteme möglich.

Das Öffnen und Mischen von Chemiefasern ist für die Garnqualität von Bedeutung. Es werden Verfahren gezeigt, mit denen die Faserflocken möglichst schonend und nissenfrei vor dem Kardierprozeß geöffnet und gemischt werden. Für diese Aufgaben kommen je nach Faserlänge unterschiedliche Maschinen zum Einsatz.

Ebenso gibt es für die große Palette von Chemiefasern und deren verschiedene Einsatzgebiete keine Standardmaschine zur Kardierung. Entsprechend der Faserlänge und der gewünschten Kardierintensität wurden ein- und zweitambourige Karden bzw. Krempeln entwickelt. Diese stehen in verschiedenen Modifikationen mit Erfolg weltweit im Einsatz. Arbeitsprinzip und Anwendungsbereich werden zur Diskussion gestellt.

Processing of man-made fibres has, as far as opening, blending and carding is concerned reached a top level of increased performance combined with a high degree of automation. Such development became possible by the tremendously expanding man-made fibre markets especially for yarns, and the high degree of economy and flexibility offered by the new processing systems.

Opening and blending of man-made fibres is of vital importance to the quality of the yarn. Processes shown allow fibre tufts to be opened and blended most gently and without neps prior to carding. Depending on the length of fibres different machinetypes are used to fulfil these tasks.

There is no standard type of machine available for carding the large variety of man-made fibres used in different fields of application. To meet with the varying lengths of fibres and the desired intensity of carding, cards with one or two cylinders were developed. Such cards and modifications thereof are successfully used all over the world. The discussion refers to the principle of operation and the field of application.

### 1. Einleitung

Die Öffnung und Mischung von Chemiefasern ist für die Garnqualität von Bedeutung. Es werden Verfahren demonstriert, mit denen die Faserflocken möglichst schonend und nissenfrei vor dem Kardierprozeß geöffnet und gemischt werden. Für diese Aufgaben kommen je nach Faserlänge unterschiedliche Maschinen zum Einsatz.

Ebenso gibt es für die große Palette von Chemiefasern und deren Anwendungsgebiete keine Standardmaschine zur Kardierung. Entsprechend der Faserlänge und der erforderlichen Kardierintensität wurden ein- und zweitambourige Krempeln mit hohen Durchsatzleistungen entwickelt. Diese stehen in verschiedenen Modifikationen weltweit erfolgreich im Einsatz. Das Arbeitsprinzip und der Anwendungsbereich werden zur Diskussion gestellt.

Die Länge der künstlich geschaffenen textilen Stapelfaser ist das dominierende Kriterium für die Wahl der Aufbereitungs- und Kardiermaschine. Wir sprechen deshalb in den chemiefaserverarbeitenden Spinnereien von einem Kurz-, Mittel- und Langstapelsektor.

Die drei Faserlängengruppen umfassen unter Berücksichtigung des Faserlängenangebotes sowie der dafür erforderlichen unterschiedlichen Vorbereitungsmaschinen drei allgemeingültige Bereiche:

- Kurzstapel bis 60 mm (Abb. 1),
- Mittelstapel bis 125 mm (Abb. 2),
- Langstapel bis 200 mm (Abb. 3).

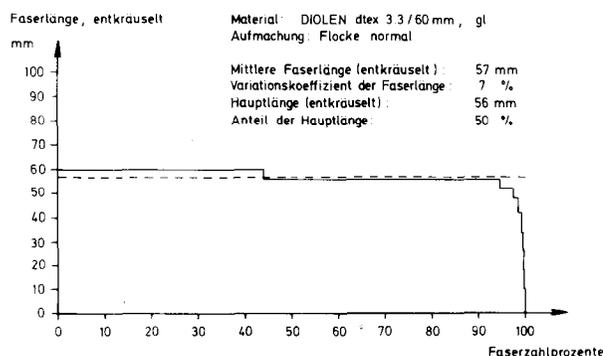


Abb. 1: Faserzahlschaulinie

Die Mischstapel werden nach der längsten Faser in diese Längengruppen eingeordnet.

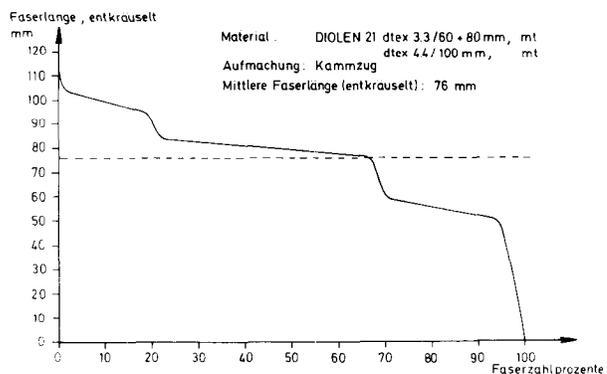


Abb. 2: Faserzahlschaulinie

### 2. Öffnung und Mischung kurzstapeliger Chemiefasern

Die Chemiefasern erfordern, besonders im feintitrierten Bereich, bis etwa 3,3 dtex und 60 mm, zur faserschonenden Öffnung eine sorgfältig abgestimmte Maschinenfolge. Da zwischen den einzelnen Fasertypen, wie Viskose, Polyester, Polyamid, Polyacrylnitril usw., relativ große Unterschiede in der Ballenaufmachung und in den Öffnungseigenschaften bestehen, empfehlen wir zur optimalen Öffnung auf Grund langjähriger Erfahrung unterschiedliche Prozesse für den jeweiligen Anwendungsbereich. Dies trifft insbesondere für die beiden Gruppen der Viskose- und Synthetikfasern zu.

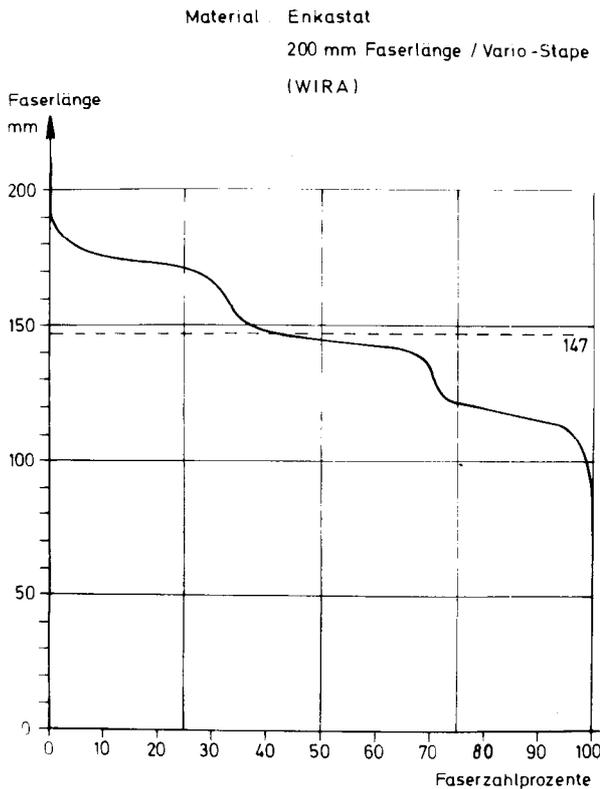


Abb.3: Faserzahlschaulinie

2. 1. Synthetikprozesse für Kurzstapel

Die Fasertypen der Synthetiks unterscheiden sich untereinander in der Ballenaufmachung bezüglich des Öffnungsgrades relativ stark. Insbesondere Polyester-typen amerikanischer Provenienz sind wenig geöffnet und weisen einen großen Anteil an Faserbündeln auf. Es ist verständlich, daß zur homogenen Öffnung solcher Fasern mehrere sorgfältig abgestimmte Arbeitsstufen erforderlich sind.

Andererseits gibt es sehr gut geöffnetes Fasermaterial schon im Ballen, das praktisch nur noch einer Auflockerung der Ballenpressung bedarf. Für kleine Partien bis zu einer Produktion von etwa 120 kg/h besteht in diesem Fall der Öffnungsprozeß aus Mischballenbrecher MBK (1), Miniöffner (2), 3 Vibrachute DS (3), 3 Deckelkarden (4) — Abbildung 4. Der Miniöffner (2) hat durch die Kombination Walzeneinzug — Stiftwalze eine gute Öffnungswirkung. Die Stiftwalze ist gleichzeitig als Ventilatorflügel ausgebildet, so daß kein Absaugventilator erforderlich ist.

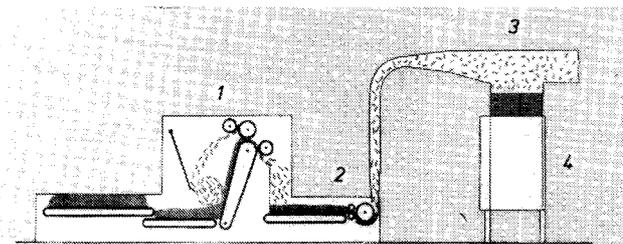


Abb.4: Öffnungslinie — Kurzstapel:  
1 Mischballenbrecher MBK (1)  
1 Miniöffner (2)  
3 Vibrachute DS (3)  
3 Deckelkarden (4)

Für große Partien mit einer Produktion bis etwa 500 kg/h empfehlen wir die automatische Ballenabtragung in Kombination mit einem Feinöffner mit Mehrballenöffner MÖ III (1) und Flockfeed FF (2) — Abbildung 5.

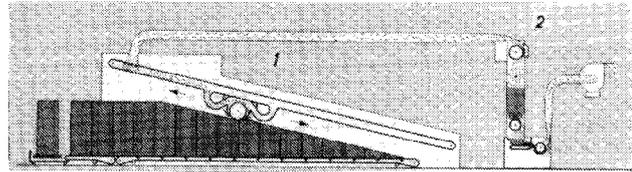


Abb.5: Öffnungslinie — Kurzstapel:  
1 Mehrballenöffner MÖ III (1)  
1 Flockfeed FF (2)

Mit dem Mehrballenöffner MÖ III (1) werden die Flocken in kleinster Form von zehn bis vierzehn hintereinanderliegenden Ballen von oben abgenommen und homogen durchgemischt. Dort sind die Ballenschichten am lockersten. Die Gefahr der Nissenbildung ist beseitigt, weil keine große Öffnungskraft erforderlich ist.

Die kontinuierliche schräge Abtragung dünner Ballenschichten gewährleistet eine homogenere Durchmischung als eine niveaugleiche Abtragung.

Die Emballage eines neuen Ballens wird mit einer Hilfsvorrichtung auf einer Plattform halbautomatisch entfernt. Von hier erfolgt die automatische Beschickung der Öffnungsmaschine. Ein Transportband bewegt intervallgesteuert die in Öffnungsstellung befindlichen Ballen in Abhängigkeit von der Produktion der Maschine, die bis 800 kg/h betragen kann.

Wahlweise wird bei hohen Ansprüchen an die Homogenität des Faserstoffes nach dem Mehrballenöffner MÖ III ein Luftmischer SML eingesetzt.

Der Flockfeed (2) öffnet anschließend die Flocken im geklemmten Zustand mit dem Kirschnerflügel oder für hohe Öffnungsansprüche mit einer Vollstiftwalze.

Die Mischung von Synthetikfasern unterschiedlicher Provenienz und Farbe erfolgt mit dem Automatikflockenmischsystem für Kurzstapel (Abb. 6), bestehend aus 2-3 Mischballenbrechern MBK mit Wiegeautomatik (1), Mischwalze MZ (2), Luftmischer SML (3) und Flockfeed FF (4).

Es umfaßt in mehreren Varianten die automatische Wägung der einzelnen Faserkomponenten mit mehreren Mischballenbrechern im Zusammenhang mit der Ballenöffnung, die Sandwichbildung am Förderband, das Durchmischen und Öffnen der Sandwichlagen mit

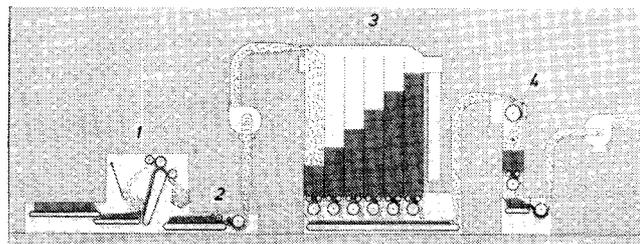


Abb.6: Flockenmischsystem — Kurzstapel:  
2-3 Mischballenbrecher MBK mit Wiegeautom. (1)  
1 Mischwalze (2)  
1 Luftmischer SML (3)  
1 Flockfeed FF (4)

der Mischwalze und die echte 6-fache Flockendublierung mit dem Luftmischer SML sowie die Feinöffnung mit dem Flockfeed.

Die Wiegeautomatik wird auf Wunsch mit digitaler Anzeige der Produktion elektronisch gesteuert.

**2.2. Öffnung und Mischung von Viskosefasern**

Die Viskosefasern unterscheiden sich grundsätzlich in der Beschaffenheit der Flocken von Synthetikfasern durch ihr geringes Bauschvolumen. Die Viskoseflocken sind im allgemeinen hartklumpig und häufig stark verschlungen, was die Faserisolierung erschwert. Die sehr dichtgepreßten Ballen brauchen deshalb erfahrungsgemäß mindestens zwei hintereinandergeschaltete Arbeitsstufen zur nissenfreien Öffnung, wobei die Feinöffnung vorteilhaft mit dem Sägezahnöffner erfolgt.

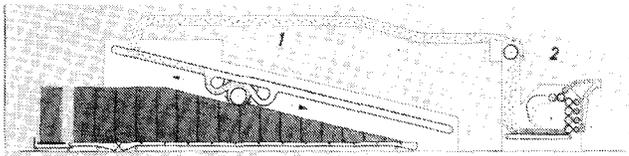


Abb.7: Öffnungslinie für Viskosefasern:  
1 Mehrballenöffner MÖ III (1)  
1 Sägezahnöffner SO (2)

Für große Partien empfehlen wir als Maschinenfolge den Mehrballenöffner MÖ III (1) und den Sägezahnöffner SO (2) — Abbildung 7. Als Alternative empfehlen wir für die Komponentenmischung: 2-3 Mischballenbrecher MBK mit Wiegeautomatik (1), Mischwalze MZ (2), Luftmischer SML (3) und Sägezahnöffner SO (4) — Abbildung 8.

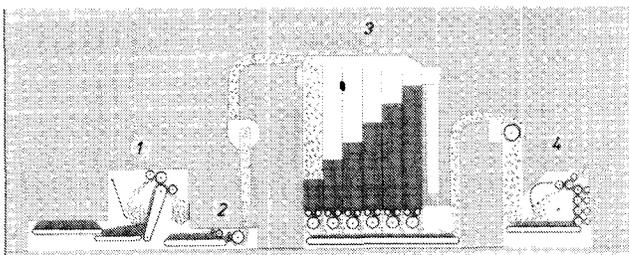


Abb.8: Öffnungslinie für Komponentenmischung:  
2-3 Mischballenbrecher MBK mit Wiegeautom. (1)  
1 Mischwalze MZ (2)  
1 Luftmischer SML (3)  
1 Sägezahnöffner SO (4)

Die beiden Öffnungsprozesse bieten ein Optimum an faserschonender und nissenfreier Öffnung für Viskose. Alternativ wird zum Sägezahnöffner auch der Flockfeed mit einer Kirschner- oder Vollstiftwalze eingesetzt. Mit dieser Flockenöffnung erreichen wir mit Viskosefasern gleiche Kardierqualität und Durchsatzleistung wie mit Synthefasern.

**3. Öffnung und Mischung mittelstapeliger Chemiefasern**

Faserlängen über 60 mm können nicht ohne Schädigung auf Kurzstapelmaschinen geöffnet werden. Dazu

sind Maschinen mit größerem Durchmesser der Öffnerwalzen erforderlich. Die Klemmpunktabstände müssen der Faserlänge angepaßt sein.

Die klassische Öffnungslinie für Faserlängen bis 125 mm besteht aus zwei bis drei Mischballenbrechern MBL mit Wiegeautomatik (1), Mischwalze MZL (2), Zehnfachmischer mit Kondenser (3), 2 Mischkammern mit Emptomixfräse (4) zur Speisung von 2 Kreppekn; Produktion 500 bis 1000 kg/h (Abb. 9).

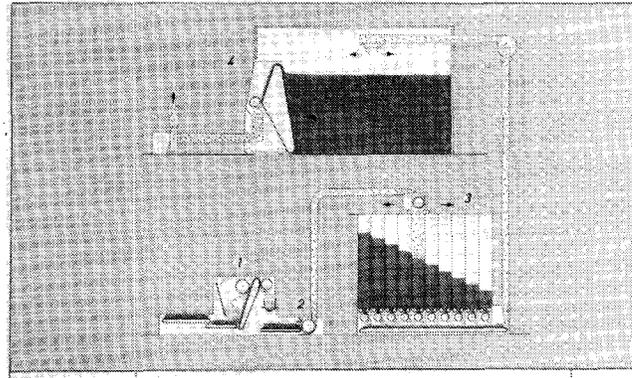


Abb.9: Flockenmischsystem — Mittelstapel:  
2-3 Mischballenbrecher MBL mit Wiegeautom. (1)  
1 Mischwalze MZL (2)  
1 Zehnfachmischer mit Kondenser (3)  
2 Mischkammern Emptomix (4) zur Speisung von 2 Kreppekn;  
Produktion 500 - 1000 kg/h

Es handelt sich hier um die Kombination eines automatisierten Mixers (3) mit einer automatisierten Mischkammer (4).

Die Mischballenbrecher MBL öffnen und mischen problemlos alle Chemiefasern bis 200 mm Faserlänge. Die Wiegeautomatik garantiert eine präzise Dosierung der einzelnen Faserkomponenten. Die Mischwalze MZL für Langfasern (2) öffnet und mischt das am Förderband gebildete Flockensandwich durch vertikales Abarbeiten mit einer Stiftwalze.

Der Zehnfachmischer (3) intensiviert und homogenisiert die Flockenmischung im kontinuierlichen Materialdurchlauf und vergleichmäßigt die Schwankungen

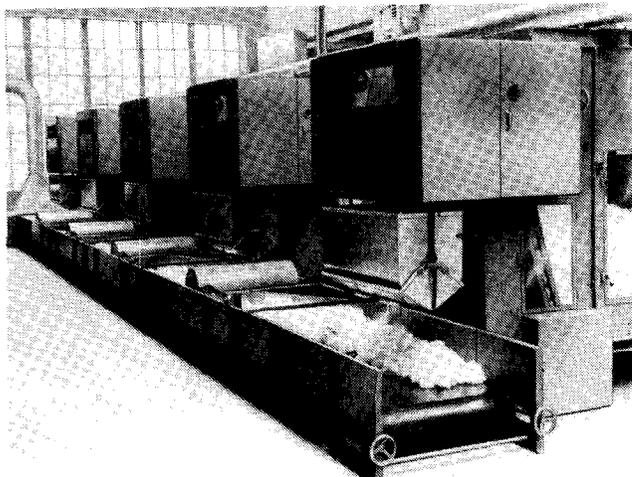


Abb.10: Mischballenbrecher mit Wiegeautomatik

der Materialdichte und Materialfeuchtigkeit. Die Flocken werden einem echtem zehnfachen Dubliervorgang unterworfen. Es folgen zwei Mischkammern (4) zum Füllen und Entleeren nach dem Emptomixsystem. Die Emptomixfräse, die beide Kammern abwechselnd bedient, dient nur der Entleerung. Ein Umpumpen ist bei diesem System durch die Funktion der Mischballenbrecher mit Wiegeautomatik und des Zehnfachmischers nicht erforderlich. Der Platz für die Kammern zum Umpumpen wird eingespart.

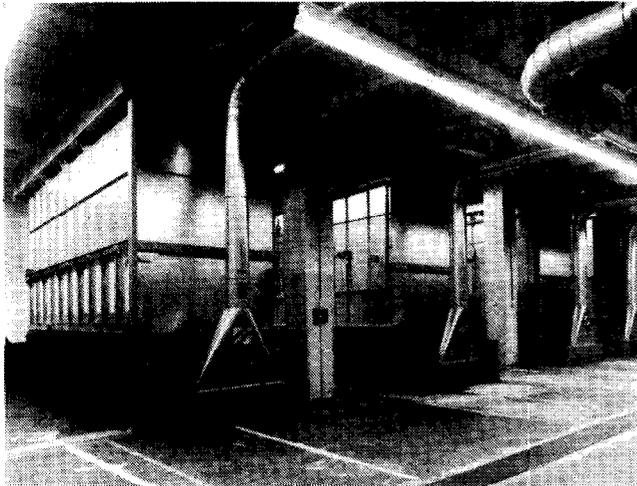


Abb.11: Zehnfachmischer

Die Emptomixfräsen laufen mit intervallgesteuertem Vorschub in die Mischkammern hinein und entleeren senkrecht das aufgebaute Mischbett. Die Emptomixgeräte werden durch ein Querfahrwerk von einer Mischkammer zur anderen automatisch bewegt. Die Fasern werden in den vier Arbeitsstufen des Prozesses sehr schonend geöffnet (Abb. 10, 11 u. 12).

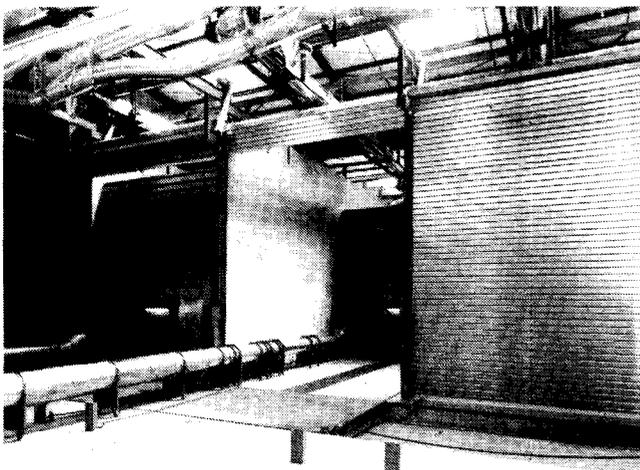


Abb.12: Mischkammern mit Emptomixfräse

verarbeitet, deren Größe durch das Fassungsvermögen der Mischkammern bestimmt wird. Das wirtschaftliche Maximum liegt bei etwa 10 t.

Die Partiegröße kann jedoch, wie das bei der Teppichgarnherstellung häufig der Fall ist, praktisch unlimitiert durch den Einsatz einer Ballenpresse nach der Vormischung erweitert werden.

Eine optimale Aufarbeitung limitierter Partiegrößen erfolgt mit dem in Abbildung 13 gezeigten Prozeß. Da die Mischung unabhängig von der Krempelanlage arbeitet, kann die Kapazität beider Prozesse optimal genützt werden. Alle Faserkomponenten der Partie werden von zwei Mischballenbrechern (1) restlos aufgearbeitet. Alle Flocken einer Partie werden nach dem Woolen-Mixing-Picker (2) vom Transportventilator über einen Wanderzyklon in vielen horizontalen Lagen in einer großen Vormischkammer verteilt. Anschließend wird die zweite Partie in die zweite Vormischkammer eingeblasen. Inzwischen fährt die Emptomixfräse vor die gefüllte Mischkammer und beginnt mit der Entleerung.

In der Vormischung wird bei kritischen Partien nochmals auf eine Reservekammer (3. Kammer) umpumpt. Deshalb besteht die Vormischung zweckmäßigerweise aus drei großen Mischkammern. Die Vormisch- und Hauptmischkammern werden von je einer fahrbaren Emptomixfräse abwechselnd bedient.

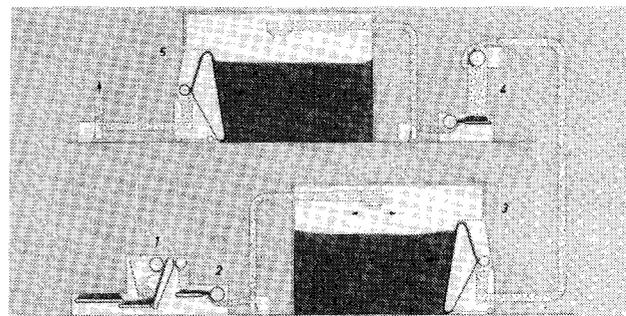


Abb.13: Flockenmischsystem — Langstapel:

- 2 Mischballenbrecher MBL (1)
- 1 Woolen-Mixing-Picker WM (2)
- 3 Mischkammern Emptomix (Vormischung) (3)
- 1 Woolen-Mixing-Picker oder ein Wolf für Buntmelangen (4)
- 2 x 2 Hauptmischkammern mit je einer Emptomixfräse für 2 Krempeln (5)
- Produktion 1000 bis 1500 kg/h

Das vorgemischte Flockenmaterial wird von einem Kondensator mit einer Leistung von 2 bis 3 t/h abgesaugt, vom Woolen-Mixing-Picker (4) geöffnet, geschmälzt und von einem Transportgebläse je zur Hälfte in die beiden Hauptmischkammern (5) durch Wanderzyklone verteilt. Jeweils eine der beiden Hauptmischkammern wird durch die Emptomixfräse zur Beschickung der Krempelanlage entleert, während die andere gefüllt wird.

#### 5. Technologische Aspekte der Flockenöffnung

Zur Wahl der optimalen Öffnungsmaschinen für eine Fasertypen ist die Beurteilung des Auflösungszustandes der Flocken notwendig. Wir bestimmen den Öffnungsgrad und die Öffnungsqualität der Flocken mit

#### 4. Öffnung und Mischung langstapeliger Chemiefasern

Langstapelige Chemiefasern werden meist in Partien

dem Flockenprüfgerät Porometer (Abb. 14), das nach dem Luftdurchflußprinzip arbeitet. Dieses Prüfgerät wurde am Institut der Textiltechnik in Reutlingen (ITR) entwickelt und wird von der Firma Hergeth hergestellt. Das Prüfgerät hat in Europa, in Asien und in den USA Verbreitung gefunden.

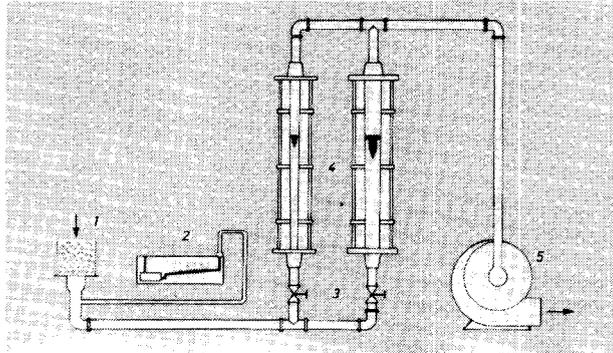


Abb. 14: Flockenprüfgerät Porometer

Die Meßkammer (1) wird manuell mit dem Flockenprüfgut gefüllt. Mit einem konstanten Unterdruck, der am Manometer (2) abgelesen und mit dem Ventil (3) eingestellt wird, wird der Luftdurchfluß mit Hilfe eines Rotamessers (4) bestimmt. Ein kleines Gebläse (5) erzeugt den Unterdruck.

In Abbildung 15 ist das Prüfgerät in der Gesamtansicht zu sehen. Das Porometer hat als Verbesserung jetzt eine von 1 auf 4 dm<sup>3</sup> vergrößerte Meßkammer, die sich besser zur Füllung von Chemiefasern, insbesondere im Mittel- und Langstapelbereich, eignet.

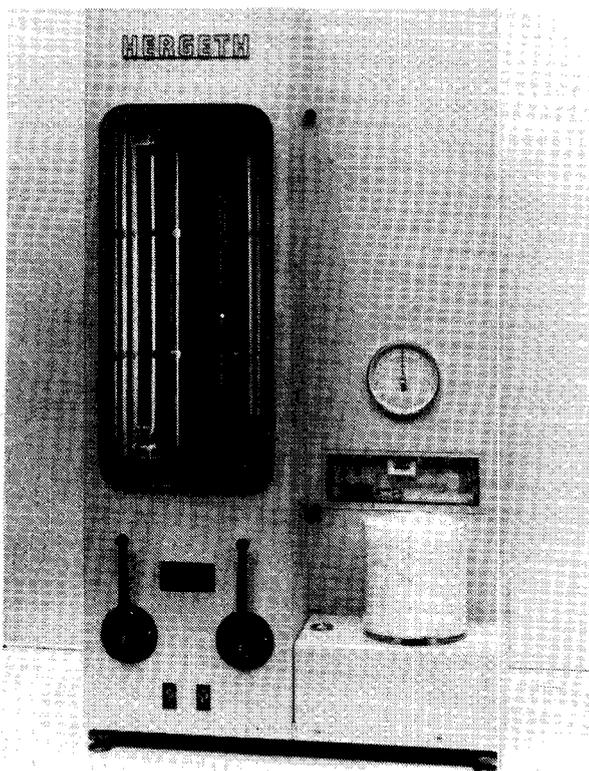


Abb. 15: Gesamtansicht des Porometers

Es fallen folgende Kenngrößen an (Abb. 16):

P = Luftdurchfluß in l/min als Kennwert für den Öffnungsgrad der Flocken,

D = scheinbares spezifisches Gewicht der Flocken in g/dm<sup>3</sup> durch Gewichtsbestimmung der Meßkammerfüllung,

Q = Qualitätsfaktor der Flockenöffnung berechnet nach der Formel:

$$Q = \frac{P \times D}{100}$$

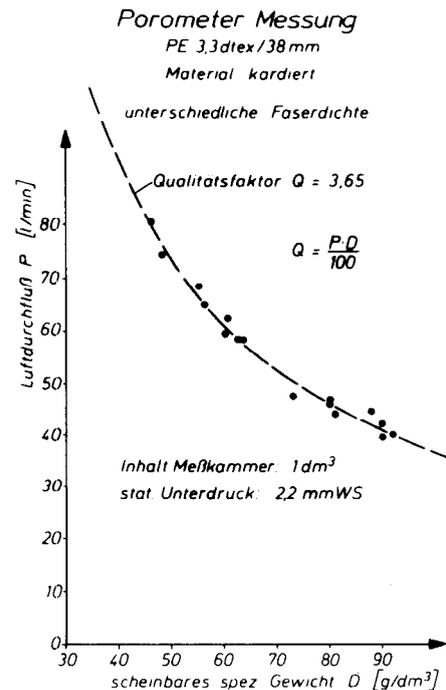


Abb. 16: Grenzwertdiagramm

Es wurden Qualitätsklassen für die Standards:

- sehr homogen,
- gut,
- mittel,
- schlecht,
- aufgestellt.

Das Grenzwertdiagramm für die Öffnung einer PES-Faser 3,3 dtex/38 mm (Abb. 16) wurde von einem Chemiefaserhersteller ermittelt, indem die Meßkammer des Porometers mit kardiertem Fasermaterial, also mit vollständig geöffneter Flocke, gefüllt wurde, und zwar jeweils mit unterschiedlicher Faser- bzw. Packungsdichte. Erwartungsgemäß bleibt der Qualitätsfaktor mit dem Wert  $Q = 3,65$  bei allen Messungen konstant, was die Bedeutung des Aussagewertes des Qualitätsfaktors für die Öffnungsgüte bestätigt. Der Qualitätsfaktor ist bei gleichbleibender Qualität der Öffnung stets eine konstante Größe.

Um über den Zustand des Flockengutes eine repräsentative Aussage zu erhalten, genügen im allgemeinen fünf Messungen, die mit statistischer Auswertung insgesamt etwa 20 Minuten in Anspruch nehmen.

Die Messungen sind viel zuverlässiger und schneller

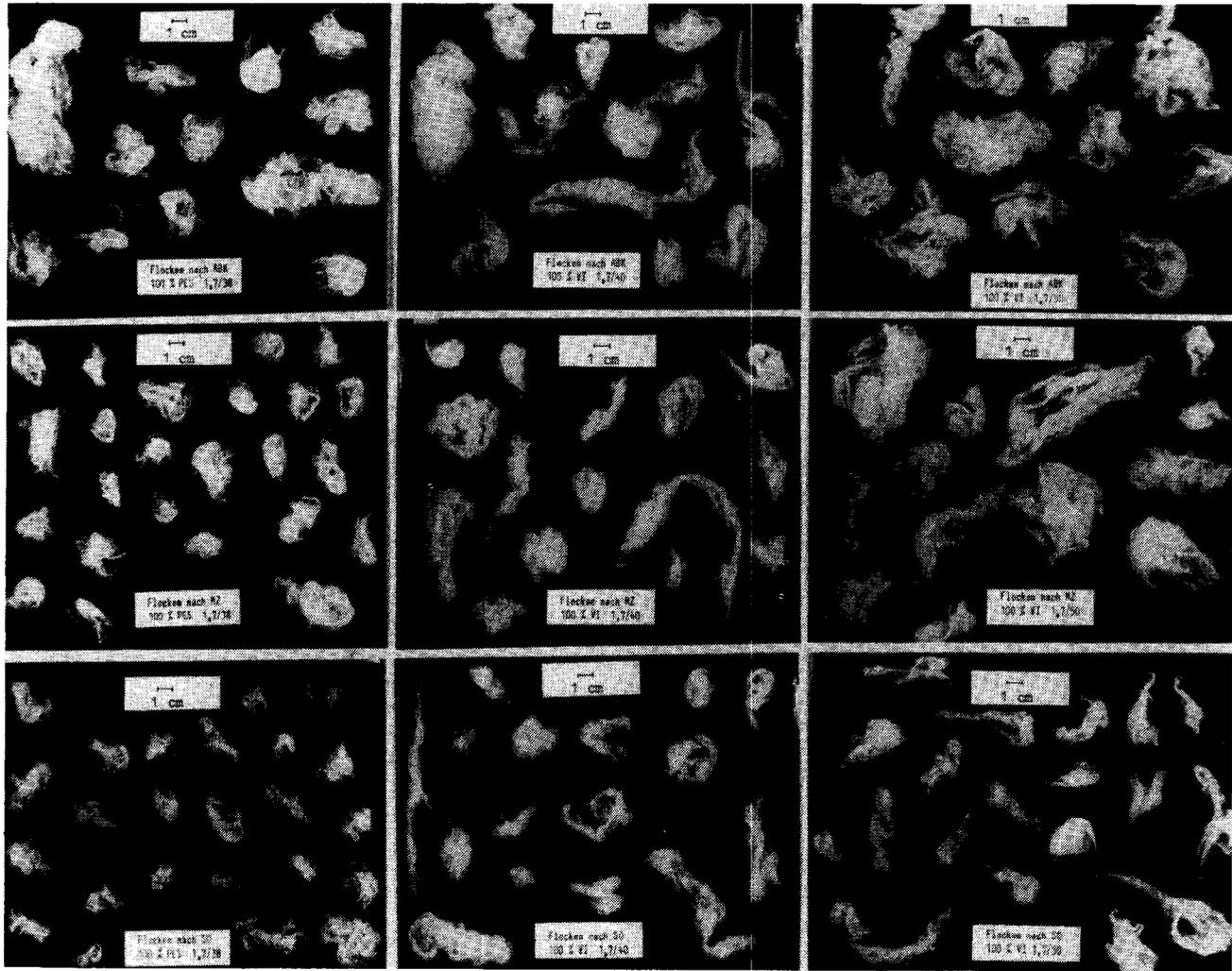


Abb.17: Gegenüberstellung der Einzelflocken von drei verschiedenen Faserstoffen zur Verdeutlichung der Unterschiede in Form und Größe in den einzelnen Stufen des Öffnungsprozesses

als alle anderen bekannten Methoden, wie beispielsweise die Bestimmung des Einzelflockengewichtes, die etwa den zehnfachen Zeitaufwand erfordert von jeweils 100 Flocken einer Probe.

Zur Illustration des Aussagewertes der Porometermessungen vergleichen wir die einzelnen Öffnungsstufen eines Kurzstapelprozesses für Viskose- und Polyesterfasern.

Die Flockenproben von drei verschiedenen Faserstoffen wurden jeweils nach dem Mischballenbrecher, der Mischwalze und dem Sägezahnöffner entnommen. Die Flockenöffnung wurde mit dem Porometer-Qualitätsfaktor und durch Bestimmung des Einzelflockengewichtes definiert.

Die Einzelflocken der drei Rohstoffe sind einander in vertikaler Reihung in Abbildung 17 gegenübergestellt, sodaß der Unterschied in Form und Größe der Flocken in den einzelnen Stufen des Öffnungsprozesses gut zum Ausdruck kommt. Die Flocken von Polyester (links) sind kleiner und homogener als die der beiden Viskosetypen mit 40 (Mitte) und 50 (rechts) mm Faserlänge.

In Abbildung 18 sind die Einzelflockengewichte der

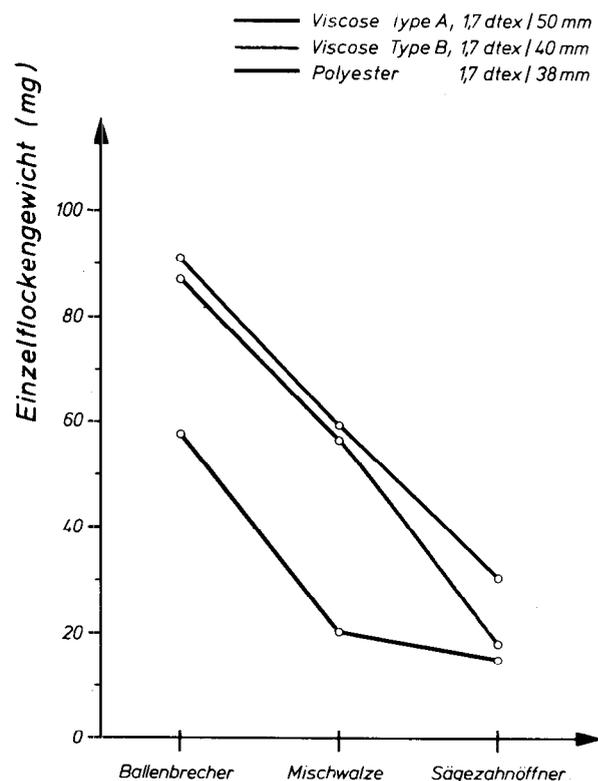


Abb.18: Flockengewichtdiagramm

drei Faserstoffe graphisch dargestellt, wobei die geometrischen Mittelwerte von jeweils 100 Einzelflocken eingezeichnet wurden. Die Rangfolge entspricht dem visuellen Eindruck, den man von Abbildung 17 erhält.

In Abbildung 19 sind die Porometer-Meßwerte einander gegenübergestellt. Der theoretische Grenzwert der Öffnungsgüte  $Q_{lim}$  ist eingezeichnet. Nach dem Mischballenbrecher weist insbesondere die Viskosefaser Type A eine schlechte Öffnungsgüte auf. Durch die Vor- und Feinöffnung mit Mischwalze und Sägezahnöffner wird die Flockenqualität erheblich verbessert.

Die Korrelation von Einzelflockengewicht und Porometer-Qualitätsfaktor ist mit einem Faktor von  $r = 0,93 - 0,99$  linear.

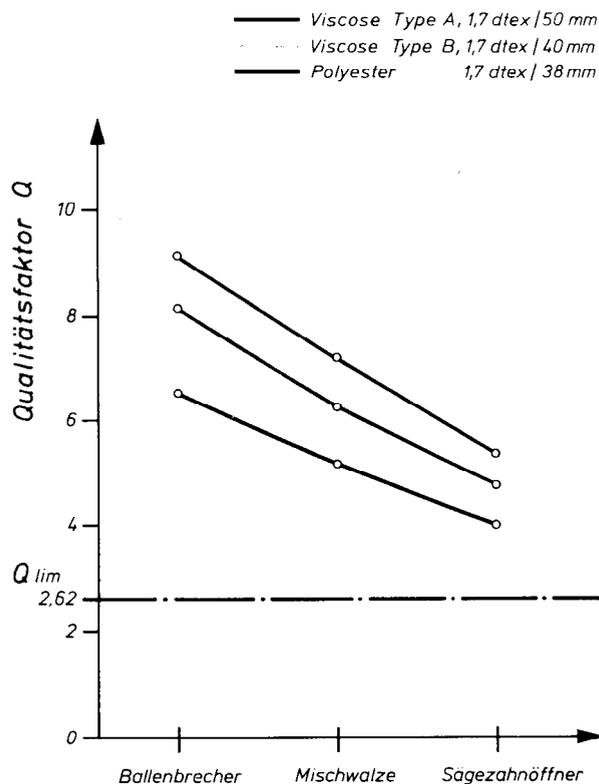


Abb. 19: Porometerdiagramm

## 6. Das Kardieren kurzstapeliger Chemiefasern

Keine andere Entwicklung wie die des OE-Rotorspinnverfahrens hat deutlicher gemacht, daß der qualitative und ökonomische Erfolg der Garnherstellung primär von der Effektivität des Kardierens abhängig ist.

Die Erfahrung hat uns gelehrt, daß in den chemiefaserverarbeitenden Spinnereien die Wanderdeckelkarde mit ihrer zur Norm gewordenen stereotypen Konfiguration der Arbeitsorgane längst nicht mehr allen Aufgaben gerecht werden kann, wobei wir keinesfalls die Bedeutung der Wanderdeckelkarde für diesen Sektor, insbesondere im Feinspinnbereich, schmälern wollen. Für die einzelnen Spinn- und Faserbereiche wird die optimale Konzeption der Karde oder Krempel individuell gewählt, wobei eine Vielzahl von Varianten möglich ist und auch zur Anwendung kommt.

Hier einige der wichtigsten Merkmale, die für die Krempelkonzeption maßgebend sind:

- Faserlänge,
- Faserfeinheit,
- Fasermischung,
- erwünschter Parallelisierungsgrad,
- Nissenreinheit,
- Durchsatzleistung,
- Garnnummernbereich,
- Garnleichmäßigkeit.

Im folgenden stellen wir das Arbeitsprinzip der einzelnen Kardiermaschinen und ihren Anwendungsbereich zur Diskussion.

### 6. 1. Die eintambourige Krempel

#### 6. 1. 1. Krempel mit Kardiersegment

Die eintambourige Krempel mit stationären Segmenten (Abb. 20) hat für die Kardierung von Viskose- und Synthetikfasern bis 60 mm im Titerbereich von 1,5 - 6,7 dtex ein großes Einsatzgebiet zur Herstellung mittelfeiner und grober Garne. Sie führt die Typenbezeichnung 850 Jc. Diese Krempel wird als Standardtype mit 2 m Arbeitsbreite hergestellt und erzielt eine Durchsatzleistung von 80 bis 140 kg/h. Charakteristische Merkmale dieser Anlage sind:

- volumetrische Flockenbeschickung mit Vibrachute DS,
- Muldeneinzug mit Briseur,
- Arbeiterwalze über dem Briseur,
- Tambour und Abnehmer mit 850 mm Durchmesser,
- vier stationäre Kardiersegmente,
- Walzenabzug mit Florteilung für zwei Bänder,
- Streckwerk für einen Bandverzug (bis zweifach),
- Nutenbandverdichtung für größeren Kanneninhalte,
- Kannenautomat bis 200 m/min Bandlieferung,
- integrierte Bandregulierung,
- integrierte Faserflugabsaugung.

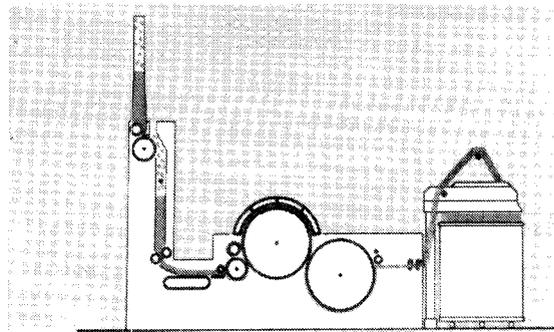


Abb. 20: Krempel 850 Jc (eintambourig mit stationären Segmenten)

Technologisch gesehen ist das Hauptaugenmerk bei dieser Krempeltype auf eine gute Faserparallelisierung gerichtet, daher die Kombination von Muldeneinzug und stationären Kardiersegmenten.

Der vom Kardenbriseur auf den Tambour übertragene Faserstoff wird durch eine Arbeiterwalze (Preopener) gründlich aufgearbeitet. Der Arbeiter egalisiert örtliche Faserkonzentrationen und sorgt für den Rückfluß des im ersten Durchgang ungenügend geöffneten Faserstoffes. Der Briseur übernimmt die Funktion eines Wenders. Damit ist sichergestellt, daß die nachfolgende Parallelisierungsarbeit unter günstigen Bedingungen stattfindet.

Der Tambour bietet mit dem Durchmesser von 850 mm optimale Bedingungen für die Einzelauflösung und Parallelisierung der Fasern, wie unsere Erfahrungen im Vergleich zu einem größeren Tambourdurchmesser immer wieder zeigten. Die günstige Relation der Umfangsgeschwindigkeit zur Drehzahl gewährleistet die für eine erfolgreiche Kardierung notwendigen Zentrifugalkräfte, die die Fasern im Bereich der Garniturspitzen halten.

Die stationären Kardiersegmente schaffen eine große Kardierfläche. Durch entsprechende Abstimmung von Tambour und Segmentgarnituren wird auch bei hoher Durchsatzleistung eine beachtliche Kardierintensität erreicht, die beispielsweise für das OE-Spinnen erwünscht ist.

Das Problem der Verflugung ist mit einem patentierten Lüftungssystem gelöst.

Die Abbildung 21 zeigt eine in den USA installierte Anlage, bestehend aus drei mit dem Vibrachute-System beschickten Krepmpeln der beschriebenen Type 850 Jc, auf der 100 %-Polyesterfasern mit 1,7 dtex/38 mm kardiert werden.

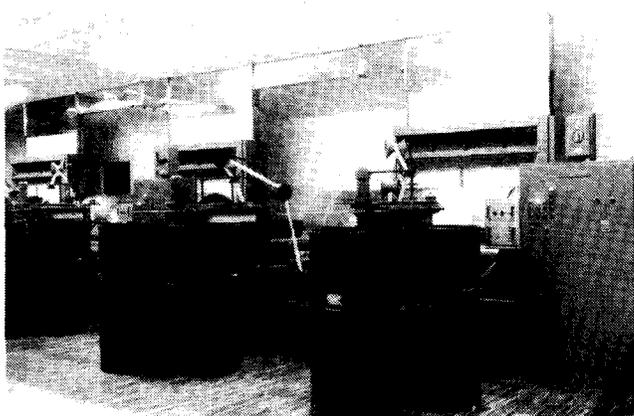


Abb.21: Krepmpel 850 Jc mit drei mit dem Vibrachute-System beschickten Krepmpeln

6. 1. 2. Krepmpel mit Arbeiter und Wender

Die eintambourige Walzenkrepmpel Type 850 Jk4p (Abb. 22), die in der Kombination mit Muldeneinzug und Briseur wird, dient der Kardierung von Stapelfasern sowie Fasermischungen mit Chemie- und Naturfasern bis 60 mm im gesamten Titerbereich. Dieser Maschinentyp wird optimal überall dort eingesetzt, wo nicht die Faserparallelisierung, sondern das Faservolumen (Wolltypen) und die Melangierung dominieren:

Charakteristische Merkmale der Anlage sind:

- volumetrische Flockenbeschickung mit Vibrachute DS,

- Muldeneinzug mit Briseur,
- Arbeiterwalze über dem Briseur,
- vier Arbeiterwenderpaare,
- Walzenabzug oder Doppelhacker und Florteilung für zwei Bänder,
- Kannenautomat bis 200 m/min Bandlieferung,
- integrierte Faserflugabsaugung.

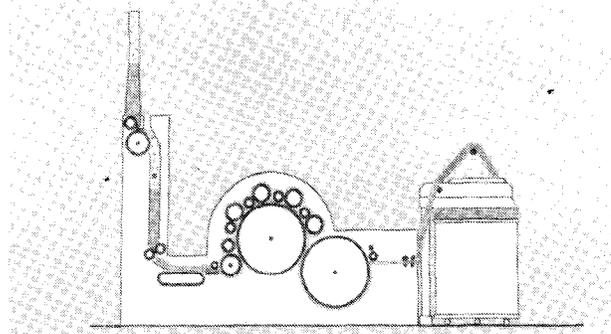


Abb.22: Walzenkrepmpel 850 Jk4p (eintambourig) in Kombination mit Muldeneinzug und Briseur

In der Walzenkrepmpel bilden die sich drehenden Arbeiter mit dem Tambour sogenannte Kardierebenen, wobei der ungeöffnete Faserstoff in gegenläufiger Richtung des Tambours zurückbefördert, vom Wender ausgekämmt und dann dem Tambour hinter der Kardierebene wieder zurückgegeben wird. Das sogenannte Rückzirkulieren der noch ungenügend kardierten Fasern, das bei ein und demselben Arbeiter mehrmals stattfinden kann, ergibt einen Dubliereffekt und damit eine Vergleichmäßigung der Faserverteilung auf der Tambouroberfläche, die besonders für die Verarbeitung von verschiedenen Faserkomponenten von großer Bedeutung ist. Aber auch für die Kardierung einer einzelnen Fasertypen ist dies wichtig.

Je nach Faserstoff werden mit der Krepmpeltype 850 Jk4p mit einer Arbeitsbreite von 2,5 m Durchsatzleistungen von 75 bis 180 kg/h erzielt.

6. 2. Die zweitambourige Krepmpel

Eine zweitambourige Krepmpel (Abb. 23) wird sinngemäß mit dem Ausdruck *Doppelkrepmpel* bezeichnet,

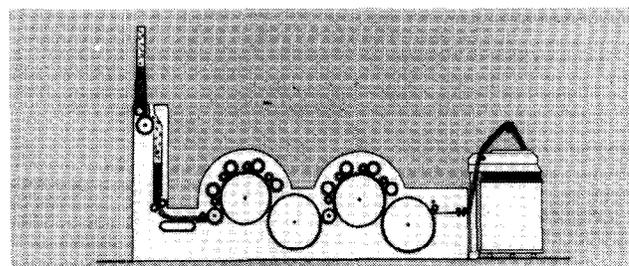


Abb.23: Doppelkrepmpel 850 DJk (zweitambourig)

wenn jeweils ein Tambour mit dem dazugehörigen Abnehmer in Tandemanordnung verwendet wird. Den Übergang der Fasern von der ersten zur zweiten Krepmpel bewerkstelligt eine Übertragungswalze.

Die sinnvolle Kombination von zwei vollwertigen Kardiereinheiten gibt naturgemäß bezüglich Durchsatzleistung und Kardierqualität viel bessere Möglichkeiten als eine eintambourige Maschine.

Die Doppelkreppe bietet den Spinnereien ein Optimum an Flexibilität und Qualität für die Herstellung hochwertiger Garne aus allen Chemiefasern, deren Mischungen und für Mischgarne aus Natur- und Chemiefasern. Darüber hinaus ist die Doppelkreppe in der Lage, Abfallrohstoffe zu verarbeiten.

#### 6.2.1. Die zweitambourige Walzenkreppe mit Muldenspeisung

Diese Doppelkreppe Type 850 DJk (Abb. 23) hat als charakteristisches Merkmal eine Muldenspeisung mit Briseur als Vorkreppe für den Kurzfaserbereich sowie zwei Tamboure mit je vier Arbeiterwenderpaaren in einer Arbeitsbreite von 2,5 m. Durch die gute Öffnung des Faserstoffes bis zur Einzelfaser infolge des Muldeneinzuges mit Briseur sowie durch die Kardierleistung der mit 4 Arbeiterwenderpaaren bestückten zwei Tamboure eignet sich die Type DJk besonders für die hochwertige Kardierung von Mischungen aus Chemiefasern und Chemie- und Naturfasern, bei denen eine erstklassige Melangierung im Vordergrund steht, sowie für die Kardierung von Effektgarnmischungen. Die Durchsatzleistung beträgt mit 2,5 m Arbeitsbreite je nach Faserstoff 80 bis 300 kg/h. Die Merkmale der Anlage sind:

- volumetrische Flockenbeschickung mit Vibrachute DS,
- Muldeneinzug mit Briseur,
- zwei Tamboure mit je vier Arbeiterwenderpaaren und je einem Abnehmer,
- Walzenabzug oder Doppelhacker für zwei Bänder,
- wahlweise Streckwerk mit Nutenbandverdichter,
- Kannenautomat bis 200 m/min Bandlieferung,
- integrierte Faserflugabsaugung.

Die Abbildung 24 zeigt die Kreppe Type DJk in einer OE-Spinnerei.

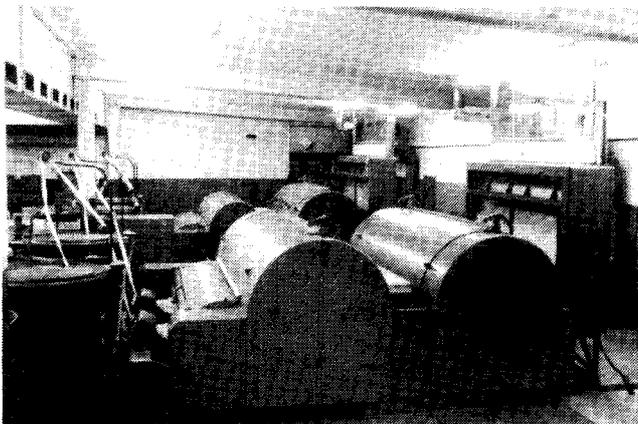


Abb.24: Doppelkreppe 850 DJk in einer OE-Spinnerei

6.2.2. Kombination einer muldengespeisten Walzenkreppe mit einer stationären Deckelkreppe.  
Diese Kreppe (Abb. 25) wurde für die OE-Spinnerei vor sechs Jahren mit einer Arbeitsbreite von

2,5 m unter der Typenbezeichnung 850 DJkc konzipiert und ist heute mit Abstand die leistungsfähigste Kardiermaschine zur Herstellung hochwertiger OE-Garne aus allen Chemiefasern und deren Mischungen sowie Mischgarnen aus Natur- und Chemiefasern im Faserlängenbereich bis 60 mm. Darüber hinaus ist dieser Kreppe Typ in der Lage, Abfallrohstoffe, wie insbesondere Abfallbaumwolle, zu verarbeiten.

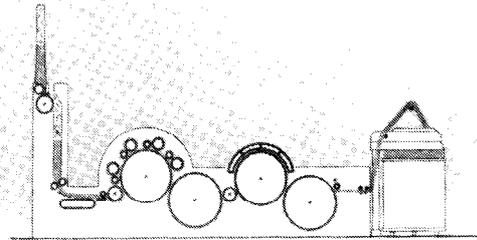


Abb.25: Doppelkreppe 850 DJkc

Die charakteristischen Merkmale dieser zweitambourigen Maschine sind:

- volumetrische Flockenbeschickung,
- Muldeneinzug mit Briseur,
- erster Tambour mit vier Arbeiterwenderpaaren, Abnehmer und Übertragungswalze,
- zweiter Tambour mit stationären Kardiersegmenten.
- Walzenabzug oder Doppelhacker zur Florabnahme mit Florteilung für zwei Bänder.
- Streckwerk im Auslauf,
- Kannenautomat für Bandlieferung bis 200 m/min.
- integrierte Faserflugabsaugung.

Der technologische Erfolg des Kardierens dieses Ma-

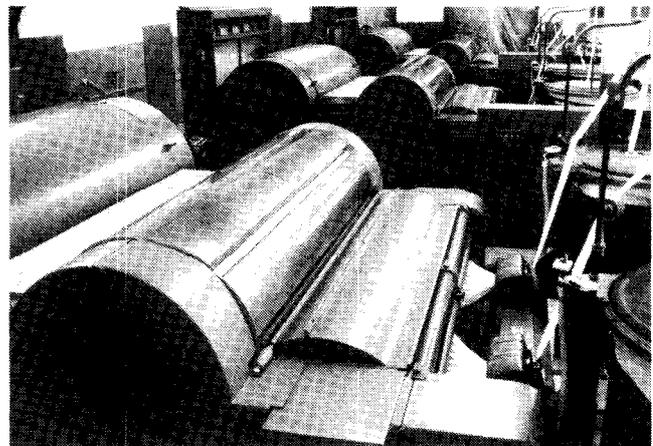


Abb.26: Doppelkreppe 850 DJkc in der Rotorspinnerei

schinentyps beruht auf der Kombination zweier grundsätzlich verschiedener Kardierelemente, wie sie die Walzen- und Deckelkreppe darstellen.

Die Kardiersegmente des zweiten Tambours arbeiten

im Gegensatz zur vorgeschalteten Walzenkreppe ohne Faserrückfluß mit einer großen Kardierfläche in Längsrichtung. Nur durch die Vorarbeit der Walzenkreppe kommen die Kardiersegmente des zweiten Tambours optimal für die so wichtige Faserparallelisierung zur Wirkung. Dies ist die Erklärung für die überragende Kardierleistung der Maschinentype DJkc.

Die differenzierte Kardierarbeit vom ersten und zweiten Tambour ermöglicht hohe Durchsatzleistungen pro Maschineneinheit von 120 bis 300 kg/h je nach Faser und Fasermischung. Mit 100% Baumwollabfall aus Kämmlingen und Absaugen erreicht man bis 90 kg/h. Ganz wesentlich ist die Tatsache, daß für den nachfolgenden Streckprozeß meist nur eine Streckpassage erforderlich ist, wobei eine Regulierstrecke bevorzugt wird. Hier wird die hohe Wirtschaftlichkeit dieser universellen Superkardieranlage sichtbar. Die Abbildung 26 zeigt diese vielseitige und erfolgreiche Maschinentype in der Rotorspinnerei.

### 7. Das Kardieren mittel- und langstapeliger Chemiefasern

Der Faserlängenbereich über 60 mm, den wir in einen Mittel- und Langstapelbereich unterteilen, bedarf einer besonders sorgfältigen Faseröffnung. Mittel- und langfaserige Flocken können ohne Fasereinkürzung nur mit sehr langsamen Arbeitsgeschwindigkeiten mit sägezahngarnierten Walzen (Abb. 27) in einer Vorkreppe aufgelöst und geöffnet werden, weshalb für diese Aufgabe die Kombination eines Muldeneinzuges mit Briseur ausscheidet. Die Aufgabe des Öffnens erfüllt für diese beiden Längenbereiche in idealer Weise eine Vorkreppe mit Walzeneinzug, die mit unterschiedlichen Walzendurchmessern eingesetzt wird.

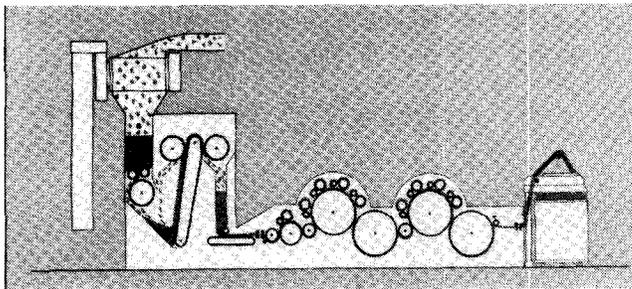


Abb.27: Doppelkreppe 850 DJm

In der Vorkreppe bildet die zweite Vorwalze mit einem Arbeiterwenderpaar die erste Kardierstelle, wobei mit entsprechend groben Walzengarnituren und großen Spaltweiten vorwiegend nur große Flockenkonzentrationen mit Faserrückfluß aufgearbeitet werden.

Das auf diese Weise vorkardierte Fasermaterial gelangt nun in die erste Kreppe, die gegenüber der zweiten Kreppe durch eine langsamere Tambourdrehzahl und eine höhere Arbeitergeschwindigkeit die Flocken schonend auflöst und längsorientiert. In der zweiten Kreppe erfolgt die Feinkardierung. Nur die Doppelkreppe gibt uns durch die differenzierte Abstufung einzelner Kardiersektionen die Möglichkeit, langfaserige Flocken bis zur Einzelfaser weitgehend unbeschädigt aufzuschließen.

### 7. 1. Die Doppelwalzenkreppe für den Mittelstapel

Für diesen Aufgabenbereich wird die Kreppe Type 850 DJm (Abb. 27) erfolgreich verwendet. Mit dieser Type können auch feintittrige Fasern, die einen hohen Schlankheitsgrad aufweisen, mit hohen Durchsatzleistungen kardierte werden. Die Standardarbeitsbreite beträgt 2,5 m, womit eine Produktion von 150 bis 300 kg/h erreicht wird. Mit größeren Titern erzielt man eine Produktion bis 400 kg/h.

Die charakteristischen Merkmale sind:

- volumetrische Flockenbeschickung mit Vibrafeed VF,
- Vorkreppe mit Arbeiterwender,
- zwei Tamboure mit je vier Arbeiterwenderpaaren und je einem Abnehmer,
- Tamboure und Abnehmer mit 850 mm Durchmesser,
- Doppelhacker oder Walzenabzug für hohe Abzugsgeschwindigkeit,
- Florteilung und Bandablage im Kannenautomaten,
- integrierte Faserflugabsaugung.

Charakteristisch ist für diese Kreppe die mit neun Arbeiterwenderpaaren erzielte erstklassige Kardierung und Melangierung. Auch Mischungen mit Wolle werden mit dieser Kreppe kardierte.

### 7. 2. Kombination einer Walzenkreppe mit einer Dekkelkreppe für den Mittelstapelbereich

Für den Maschenwarenssektor und für ähnliche Gebiete setzen wir die Kreppe Type 850 DJmc (Abb. 28) ein. Für die Erzeugung hochwertiger Mischgarne, vor allem aus Natur- und Chemiefasern, bietet diese Type, die eine sehr gute Faserparallelisierung gewährleistet,

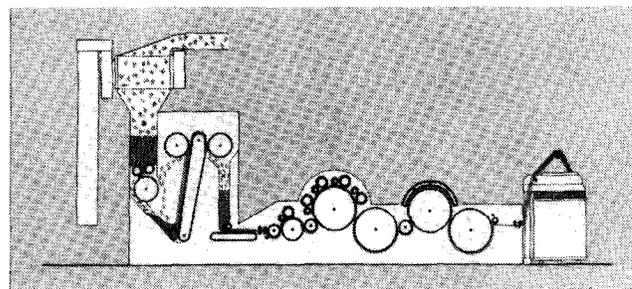


Abb.28: Doppelkreppe 850 DJmc

mit der Arbeitsbreite von 2,5 m vielseitige Möglichkeiten.

### 7. 3. Die Doppelwalzenkreppe für den Langstapel

Im gesamten Langstapelbereich hat sich die Kreppe Type 850 DJl (Abb. 29) zur Bewältigung der mannigfachen Aufgaben souverän durchgesetzt.

Durch die Entwicklung neuartiger Ganzstahlgarnituren werden bei guter Kardierung Durchsatzleistungen bis 700 kg/h erreicht, wobei Arbeitsbreiten bis 3 m zum Einsatz kommen.

Die charakteristischen Merkmale dieser Doppelkreppe sind:

- volumetrische Flockenbeschickung mit Vibrafeed VF,

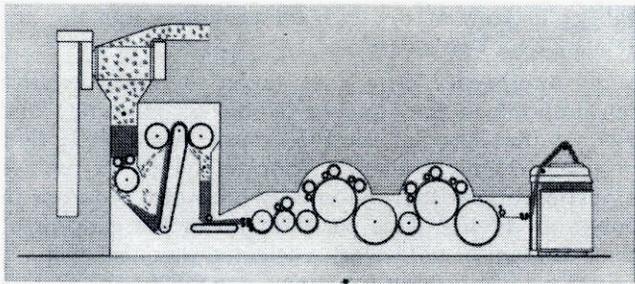


Abb.29: Doppelkrepel 850 DJI

- Vorkrepel mit Arbeiterwender,
- zwei Tamboure mit je drei Arbeiterwenderpaaren und je einem Abnehmer,
- Tamboure und Abnehmer mit 850 mm Durchmesser,
- Doppelhacker oder Walzenabzug für hohe Florabzugsgeschwindigkeiten,
- drei verschiedene Varianten der Bandbildung:
  - a) Florteilung und Bandablage in zwei Kannenautomaten,
  - b) Florabnahme ohne Teilung über die gesamte Maschinenbreite Streckwerk und Kannenautomat,

c) Florteilung zu drei Bändern und eine direkte Verkettung mit Regelstrecke und Kannenautomat,

— integrierte Faserflugabsaugung.

Das größte Einsatzgebiet dieser Maschinentype liegt im Teppichgarnsektor (Abb. 30), wobei der gesamte Titerbereich von 3,3 dtex aufwärts bei entsprechender Spezifizierung der Ganzstahlgarnierung kardiert wird.

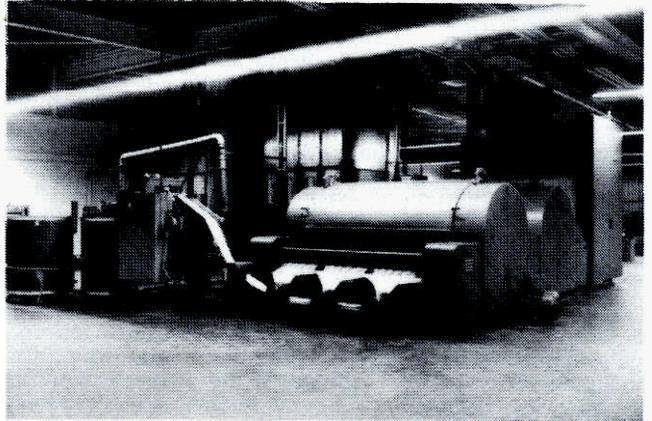


Abb.30: Einsatzgebiet der Doppelkrepel 850 DJI im Teppichgarnsektor



# WASSERSTOFFPEROXID

IN ALLEN  
HANDELSBLICHEN  
KONZENTRATIONEN

UND FÜR ALLE ANWENDUNGSGBIETE

ANWENDUNGSTECHNISCHE BERATUNG

ÖSTERREICHISCHE CHEMISCHE WERKE

GESELLSCHAFT M. B. H.

WIEN 15., MARIAHILFER GORTEL NR. 39

POSTANSCHRIFT: A-1151 WIEN. FACH 55

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>