

**Zeitschrift:** Mitteilungen über Textilindustrie : schweizerische Fachschrift für die gesamte Textilindustrie

**Herausgeber:** Verein Ehemaliger Textilfachschüler Zürich und Angehöriger der Textilindustrie

**Band:** 76 (1969)

**Heft:** 9

**Artikel:** Stand und Aufgaben der Automatisierung in der Textiltechnik

**Autor:** Krause, H.W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-677183>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Stand und Aufgaben der Automatisierung in der Textiltechnik

Prof. H. W. Krause, ETH

1K 65.04.56:677

### Zusammenfassung

*Die Automatisierungsbestrebungen, deren Anfänge auf dem Gebiet der textiltechnischen Fertigung schon im 19. Jahrhundert liegen, bewegen sich in zwei Hauptrichtungen, die in manchen Fällen eine gegenseitige Abhängigkeit aufweisen. Einerseits geht es um die Entwicklung maschineller Einrichtungen, welche an die Stelle direkter menschlicher Arbeit treten – wie z. B. Kannenwechsler, Knoteneinrichtungen und Transportanlagen –, und andererseits gilt es, Geräte zu schaffen für die Steuerung einzelner Arbeitsprozesse oder ganzer Verarbeitungsstrassen.*

*In der modernen Baumwollspinnerei ist die automatische Verkettung aller Arbeitsgänge von der Ballenöffnung über die Reinigung, die Mischung und den Kardiervorgang bis zur selbstregelnden Streckpassage technische Wirklichkeit geworden. In der Webereivorbereitung wäre der Kreuzspulvorgang ohne selbständige Kopszufuhr, automatisches Knoten und elektronische Garnreinigung kaum mehr denkbar. Menschliche Arbeit im Web- oder Strickprozess hat sich heute nur noch mit dem Beheben der Fadenbrüche und dem Transport von Fadenmaterial und Fertigware zu befassen.*

*Bis Anfang der fünfziger Jahre standen für die Abtastung von textilen Bändern oder Garnen lediglich mechanische Vorrichtungen zur Verfügung. Die Entwicklung der Elektronik brachte grundlegende Änderungen, indem heute nun kapazitiv oder optisch arbeitende Messgeräte für Spinnerei und Weberei zur Verfügung stehen. Die Möglichkeit einer genauen Erfassung und damit der Regelung von Fasermassen im Durchlauf bei hohen Geschwindigkeiten ist damit gegeben. Besondere Anforderungen regeltechnischer Art stellen sich im Streckprozess für schmelzgesponnene Fasern sowie bei der Herstellung von Kräuseln, da hier an die Temperaturkonstanz der Heizkörper für jeden Faden besonders hohe Anforderungen gestellt werden.*

Der Zweck dieses Einführungsreferates besteht darin, dem im Textilwesen weniger Vertrauten eine gewisse Vorstellung über den heutigen Stand der Automatisierung zu vermitteln. Selbstverständlich können im Rahmen dieses Vortrages nur einige, mir wichtig erscheinende Punkte berücksichtigt werden. Ich beschränke mich im wesentlichen auf die Fertigung von der Faser bis zum textilen Flächengebilde.

Es besteht vielerorts die irrige Meinung, ein Textilbetrieb sei eine Fabrik, in der möglichst viele, mässig bezahlte Arbeitskräfte ihren Lebensunterhalt verdienen könnten; es kämen Arbeitsmethoden zur Anwendung, welche kurz nach erfolgter Mechanisierung im 19. Jahrhundert stehengeblieben seien, und es wäre am zweckmässigsten, die ganze Textilindustrie in die Entwicklungsländer zu verbannen. Solche Meinungen sind natürlich ebenso falsch wie gefährlich, werden doch die wahren Verhältnisse dadurch vollständig verzerrt und in ein falsches Licht gerückt. Leider wird die Tatsache, dass der schweizerische Textilmaschinenbau und die textile Fertigung einen der wichtigsten Eckpfeiler unserer Volkswirtschaft darstellen, zu wenig berücksichtigt. Der hohe Stand der Automatisierung in Spinnerei und Weberei, der schon durch die grossen Investitionskosten in der Höhe von einer halben Million Franken pro Arbeiter zum Ausdruck kommt, fordert ausserdem den Einsatz von hochqualifiziertem Personal.

### Was ist Automatisierung?

Das Thema dieser Tagung, «Automatisierung in der Textiltechnik», lässt bewusst viel Spielraum für die Behandlung eines umfangreichen Fragenkomplexes. Wir verstehen unter Automatisierung zunächst einfach einen selbständigen Ablauf einer Operation oder Teiloperation ohne Notwendigkeit für die Einwirkung von Menschenkraft. Im weitesten Sinne wird Muskelkraft oder Geistesanstrengung durch eine mechanische oder elektrische Einrichtung ersetzt. Spricht man von Automation – ein Begriff, der erst seit etwa zwanzig Jahren in unserem Vokabular auftritt –, dann handelt es sich bereits um einen Spezialfall der Automatisierung: Verkettung automatischer Maschinen in einem fortlaufenden Produktionsprozess, wobei Arbeitsvorgänge sowie Steuerungen automatisch erfolgen. Meine Darlegungen sollen zeigen, was in der Textilfertigung automatisch geschieht, seien es nun einzelne Arbeitsabläufe oder Verkettungen verschiedener Prozessstufen.

### Der Garnherstellungsprozess

Die Erzeugung eines Garnes war in der Frühzeit und bis zur Mechanisierung vor rund 200 Jahren eine relativ einfach zu lösende Aufgabe. Aus dem gewaschenen Wollhaarbüschel strich die Spinnerin einzelne Fasern in den Bereich des mit einer Spindel angetriebenen Garnes. Sobald die notwendige Dicke und Festigkeit erreicht war, wurde diese Garnlänge auf die Spindel gewickelt, indem man den Faden im rechten Winkel zur Spindelachse führte. Also ein denkbar einfacher Vorgang – Vorbereitung, Parallelisierung, Streckung und Drehung, alles wurde von einem einzigen Menschen besorgt. Allerdings bedurfte es für die Herstellung eines Kilo-

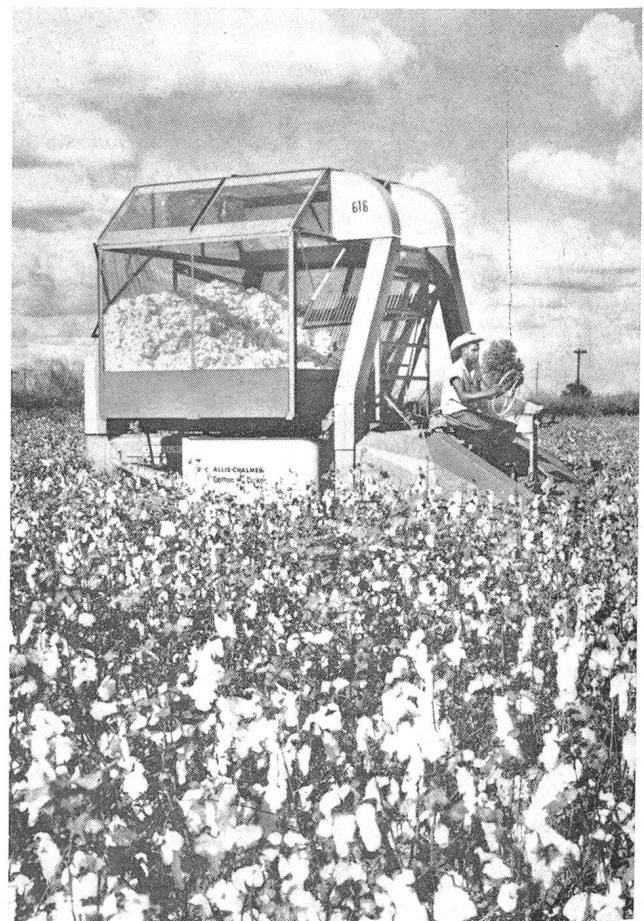


Abb. 1 Baumwollpflückmaschine

grammes Baumwollgarn mit dieser Methode rund 100 Stunden Arbeitsaufwand. Heute ist der Arbeitsablauf durch die notwendige Vielstufigkeit zwar viel komplizierter geworden, aber mit 100 Arbeitsstunden erzeugt man jetzt rund 1000 kg Baumwollgarn. Die Automatisierung beginnt eigentlich bereits im Fasererzeugungsland, indem beispielsweise die Baumwollfasern automatisch gepflückt werden (Abb. 1). Leider bringt der mechanische «Cotton picker» auch sehr viel Verunreinigungen mit in die Rohstoffballen. Die mechanische Fertigung erfordert viele kleine Einzelschritte: Die in Ballen angelieferte Baumwolle muss gereinigt und mit andern Partien gemischt werden. Im Kardiervorgang erfolgt die Feinstreinigung und die Herstellung eines Bandes. Anschliessend wird ein- oder zweimal auf der sog. Strecke verzogen, um die Einzelfasern zu parallelisieren und um Querschnittsschwankungen der Kardenbänder auszugleichen. Die Vorspinnmaschine verjüngt den Bandquerschnitt weiter, und es entsteht die leicht verdrehte Flyerlunte. Erst auf der Ringspinnmaschine erreicht man schliesslich durch weiteres Verstrecken und Verdrehen das gewünschte Garn. Es folgt in den meisten Fällen ein Umspulprozess, um grosse zusammenhängende Fadenlängen zu erreichen, wobei gleichzeitig eine Qualitätskontrolle vorgenommen wird.

Die eigentlichen Bearbeitungsvorgänge im Spinnereiprozess in den einzelnen Prozessstufen laufen vollkommen mechanisch ab. Der menschliche Arbeitsaufwand beschränkt sich auf die Beschickung der Maschinen, auf den Waretransport und vor allem auf die Behebung von Band- und Fadenbrüchen. Es ist naheliegend, dass zunächst die besonders anstrengenden und schmutzigen Handverrichtungen zu automatisieren sind, falls dies durch einen vernünftigen Aufwand an maschinellen Einrichtungen im Verhältnis zur erzielbaren Einsparung an menschlicher Arbeitskraft geschehen kann. Im vergangenen Jahrzehnt sind in dieser Beziehung bemerkenswerte Fortschritte gemacht worden, ist doch zumindest eine Teilautomation der Spinnerei heute Wirklichkeit geworden.

Von der Art und Weise, wie das *Abtragen der Baumwollschichten* (Abb. 2) von den für eine Mischung bestimmten



Abb. 2 Beschickung der Ballenöffner (Rieter)

Ballen geschieht, hängt Entscheidendes im nachfolgenden Produktionsverlauf ab. Da die Fasereigenschaften von Ballen zu Ballen starken Schwankungen unterworfen sind, müssen zur Gewährleistung einer genügenden Homogenität des Endproduktes stets mehrere Ballen gleichzeitig verarbeitet werden. Man rechnet heute mit einem Minimum von 12 Ballen, wenn ihre Auswahl auf Grund laufender Ueberwachung der

Faserkennwerte erfolgt. Von den bereitgestellten Ballen entnimmt der Arbeiter in bestimmter Reihenfolge Faserschicht um Faserschicht mit einem Gewicht von ungefähr 3 kg und legt diese auf ein Transportband oder in Kippwagen für die Beschickung der ersten Oeffnermaschine.

Diese Arbeit entfällt beim Einsatz *automatischer Ballenabtragungsmaschinen*, wo gleich die ganzen Ballen aufgelegt werden (Abb. 3). Durch Herauszipfen kleinster Flocken oder



Abb. 3 Automatische Ballenabtragung mit «Karousel»® (Rieter)

durch Herausschlagen mit Schlägerscheiben werden die Ballen von unten her abgetragen. Bei der abgebildeten Vorrichtung bewegen sich 6 Ballen auf einer Drehbühne im Kreise herum und gleiten mit jedem Umgang über 5 Abtragungsstellen hinweg. Durch eine automatische Regelung der Drehgeschwindigkeit dieser Bühne wird für eine konstante Flockenproduktion gesorgt. Da unmittelbar nach dem Herausschlagen die 5 Flockenströme in einer gemeinsamen Leitung zusammenkommen, tritt eine intensive Mischung ein. Nachdem mehrere Reinigungsmaschinen passiert sind, wobei sich die Flocken im Luftstrom von Maschine zu Maschine bewegen, wird in der *konventionellen Spinnerei* die zu einem *Wickel* zusammengerollte Faserschicht an der *Schlagmaschine* ausgestossen (Abb. 4). Das Wickelgewicht liegt etwa

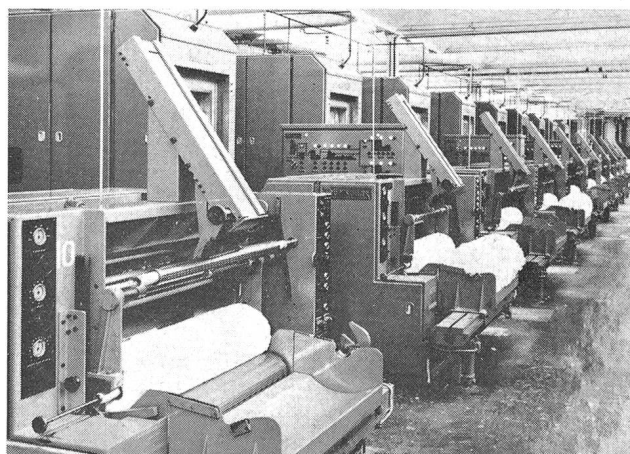


Abb. 4 Automatischer Wickelausstoss an der Schlagmaschine (Trüschler)

bei 25 kp, und es werden in der Stunde 6 bis 8 solcher Wickel erzeugt. Eine automatische Einrichtung besorgt nach Erreichen der vorgeschriebenen Wickellänge das Auswechseln des vollen Wickels gegen einen leeren Wickeldorn, ohne Beeinträchtigung der Maschinengeschwindigkeit. Diese schon vor 20 Jahren bekannte Automatik kann heute noch



ergänzt werden mit einer automatischen Wägeeinrichtung und Magazinierung von bis zu 6 Wickeln, womit die Maschine weitgehend bedienungslos arbeitet. Das Aufsichtspersonal hat lediglich einmal pro Stunde die gewogenen, registrierten und farbgezeichneten Wickel zum Abtransport freizugeben und das Wickelstangenmagazin nachzufüllen. Die Anbauwickelwaage ist elektrisch mit der Schlagmaschine verbunden und regelt je nach festgestelltem Wickelgewicht die Einziehgeschwindigkeit und damit das Metergewicht der Wickelschicht. Wickel, welche eine vorgeschriebene Gewichtstoleranzgrenze von minimal  $\pm 1\%$  überschreiten, erhalten eine besondere Farbkennzeichnung. Die Wickelschichtfeinheit beträgt etwa 400 p/m, und die Wickelgeschwindigkeit liegt bei 8 m/min.

Die Hintereinanderschaltung der Oeffnereimaschinen — je nach Anlage sind es 4 bis 6 verschiedene Einheiten — erfordert eine Steuereinrichtung zu gegenseitiger Abstimmung der Verarbeitungsgeschwindigkeiten. Man erreicht dies relativ einfach durch Einbau von Speicherkammern, deren Füllungszustand mittels Endschaltern festgestellt wird und die je nach Bedarf die vorgeschaltete Maschine in oder ausser Betrieb setzen.

An eine Verkettung der Oeffnerei mit der Karderei war solange nicht zu denken, als noch eine grosse Verschiedenheit der Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen der Schlagmaschine mit 150 bis 200 kp/h und der Karde mit ihren 2 bis 5 kp/h bestand, d. h. solange auf eine Schlagmaschine etwa 40 bis 60 Karden kamen. Die Wickel müssen in diesem Fall auf Transportwagen zu den Karden gebracht und dort von Hand der Maschine vorgelegt werden. Auf der Ablieferseite ist wiederum Handarbeit für den Wegtransport der Kardenkannen notwendig. Wesentliche Einsparungen an Arbeitsaufwand brachten die Einführung von *Kannenwechselautomaten* und später die bedeutende Steigerung des Kanneninhaltes.

Nachdem aber die Kardenproduktion fast plötzlich auf 20 bis 30 kp/h emporschnellte — eine Entwicklung, die noch keine zehn Jahre alt ist —, konnten auch die Bestrebungen zur *Automatisierung bis zur Karderei oder gar bis zur Strecke* in der Praxis verwirklicht werden (Abb. 5). Unter Umgehung

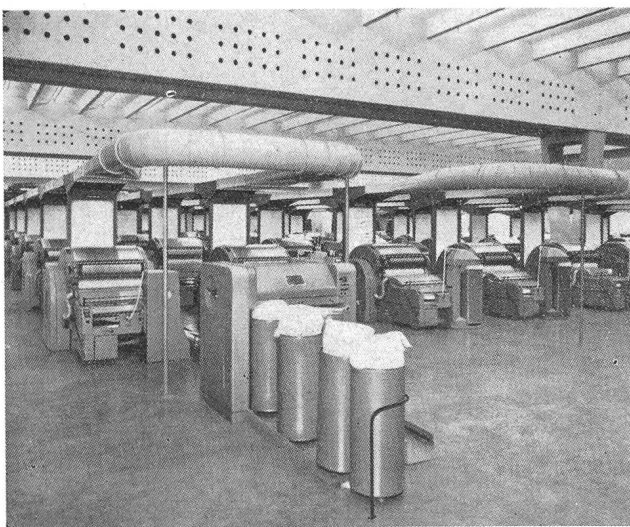


Abb. 5 «Aerofeed»-Kardenspeisung; rechts mit Kannenablage links mit Railhead bis Regulierstrecke (Rieter)

des Wickels mit der gepressten Faserschicht werden nunmehr die Flocken in loser Form direkt von der Oeffnerei einer Gruppe von Karden zugeführt und mittels entsprechender Einrichtungen gleichmässig auf diese verteilt. Auf der

Ablieferseite der Karde lässt sich nach wie vor mit Ablage in Kannen arbeiten, oder aber man fasst direkt 5 bis 8 Kardenbänder zusammen und leitet sie mit einer Transportvorrichtung einer Strecke zu. Erst hier erfolgt dann nach dem Verstrecken das Ablegen in Kannen, deren Wechsel ebenfalls automatisiert werden konnte. Da eine Strecke die Produktion mehrerer Hochleistungskarden zu verarbeiten hat, musste die Auslaufgeschwindigkeit dieser Maschine ganz wesentlich gesteigert werden. Soll die Produktion von 6 Karden zu je 20 kp/h auf eine Banddicke von 5 p/m verzogen werden, dann erfordert dies eine Streckengeschwindigkeit von 400 m/min. Vergleichsweise sei angedeutet, dass vor zehn Jahren 80 m/min noch als sehr hoch galten. Diese schnellaufende Strecke hat zudem noch eine weitere Aufgabe erhalten. Sie soll nämlich in der Lage sein, sich selbst zu regulieren, um einen allfälligen kurzzeitigen Ausfall eines der Kardenbänder kompensieren zu können und um die Bandfeinheit in sehr kleiner Toleranzgrenze zu halten, damit weitere Streckpassagen nicht mehr notwendig werden. Auf den nachfolgenden Maschinen ist ein allfälliger Ausgleich der Bandungleichmässigkeit nämlich nicht mehr möglich. Es kommt deshalb der Entwicklung dieser sog. Regulierstrecke heute eine ganz zentrale Bedeutung zu. Dass sich anlässlich unserer Tagung mehrere Referenten diesem Thema widmen werden, ist also kein Zufall.

In der nächsten Arbeitsstufe beim *Flyer* lohnt sich eine Automatisierung wohl kaum, denn erstens würde der hierfür notwendige mechanische Aufwand zu hohe Kosten verursachen, und zweitens ist damit zu rechnen, dass dieser Arbeitsprozess in absehbarer Zukunft ohnehin durch andere Fertigungstechniken abgelöst wird. Man begnügt sich deshalb zurzeit mit Zusatzeinrichtungen am *Flyer*, welche allfällige *Lunten-* oder *Bandbrüche signalisieren* und die Maschine stillsetzen können. Zu diesem Zweck werden mechanische oder optische Ueberwachungseinrichtungen verwendet oder auch eine Absauganlage, welche auf Druckschwankungen beim Absaugen einer gebrochenen Flyerlunte sofort anspricht und die Maschine abstoppt (Abb. 6).

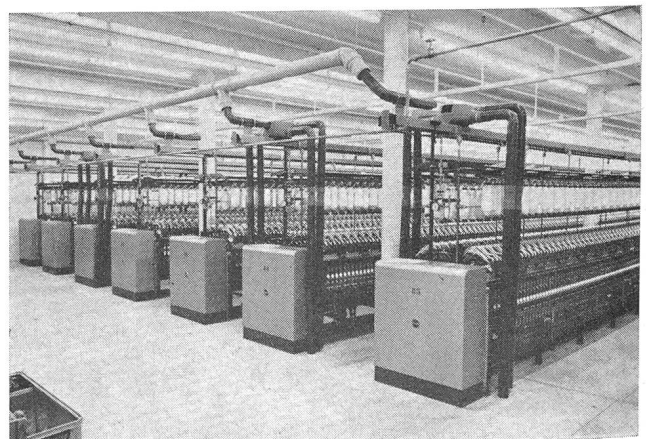


Abb. 6 Flyer mit Pneumastopp-Ueberwachung (Luwa)

Die letzte *Fabrikationsstufe der Spinnerei* nimmt infolge der verhältnismässig geringen Produktivität je Arbeitsstelle den weitaus grössten Platz ein. Sie konsumiert zudem 60 bis 80 % des gesamten Energiebedarfes einer Fabrik, und es entfallen auf diese Abteilung etwa 50 % aller Lohnkosten. Eine Automatisierung, so möchte man meinen, dürfte hier also sehr wohl am Platze sein. Die folgenden Handverrichtungen müssen geleistet werden:

1. Aufstecken der Vorgarnspule und Andrehen der Flyerlunte;



2. Behebung der Fadenbrüche;
3. Reinhaltung der Maschine von Faserflug und Staub;
4. Auswechseln der vollen Spinnkopse gegen leere Hülsen.

Das Auswechseln der Vorgarnspulen ist infolge der grossen Laufzeit dieser Garnkörper für die Automatisierung nicht interessant. Eine automatische Fadenbruchbehebung hingegen wäre an und für sich wünschenswert, lässt sich aber technisch nur schwer und mit grossem Investitionsaufwand durchführen. Die Reinigungsarbeiten werden heute in der Regel durch automatische Blas- und Saugvorrichtungen, sog. Wanderbläser, welche sich den Maschinen entlang bewegen, bewältigt (Abb. 7).

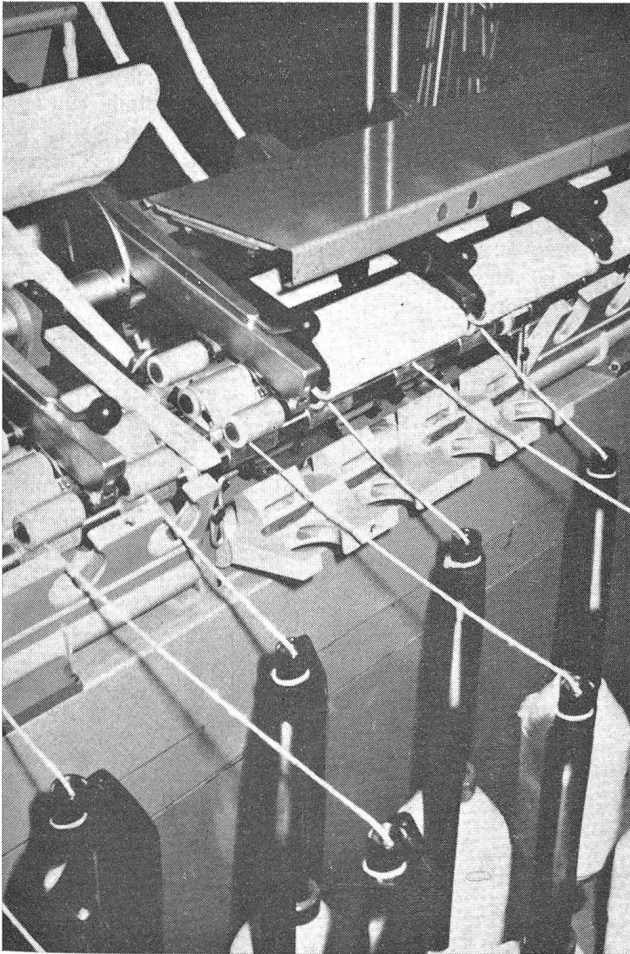


Abb. 7 Ringspinnmaschine mit «Pneumafil-Absaugung»

Was nun das Kopswechseln anbelangt, so stehen zurzeit verschiedene Möglichkeiten automatischer Einrichtungen zur Verfügung. Man unterscheidet zwischen fahrbaren Anlagen, welche nach Bedarf zu den für den Kopswechsel bereitstehenden Maschinen gebracht werden, und den mit der Ringspinnmaschine integrierten stationären Kopswechsel-einrichtungen. Der Greifermechanismus der in Abbildung 8 gezeigten stationären Anlage erfasst gemeinsam sämtliche Kopse auf einer Maschinenseite mit einer pneumatischen Vorrichtung und zieht die Kopse hoch, wobei gleichzeitig der Faden am untern Oesenende abreisst. Anschliessend werden die vollen Spulen auf ein Transportband abgesenkt, seitlich wegtransportiert und geordnet in eine Kiste am Maschinenende gelegt. Für das Aufstecken der bereitstehenden leeren Hülsen wird im umgekehrten Sinne verfahren. Obwohl heute einige Doffermethoden den Kopswechsel mit genügender Zuverlässigkeit vorzunehmen in der Lage sind, lohnt

sich deren Anschaffung vorerst nur bei der Herstellung von groben Garnen, d. h. in jenen Fällen, wo die Abzugsintervalle relativ kurz sind.

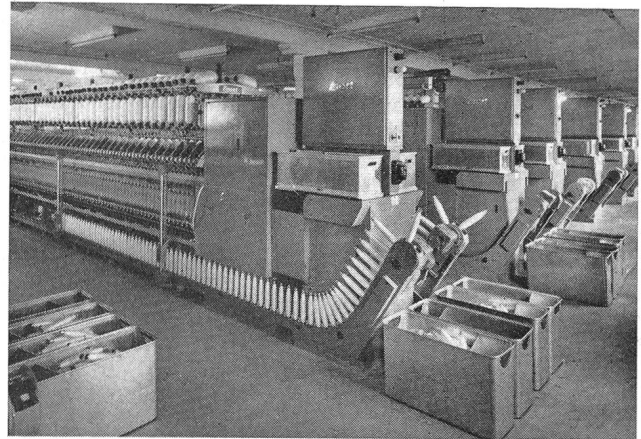


Abb. 8 «CO-WE-MAT»-Spinnkops-Doffereinrichtung (Zinser, BRD)

Zusammenfassend stellen wir für die *Kurzfaserspinnerei* einen hohen Grad der Automatisierung fest. Eine Umstellung auf vollautomatischen Betrieb liegt heute durchaus im Bereich der technischen Möglichkeiten, und mit deren Verwirklichung kann in absehbarer Zukunft gerechnet werden. Wenden wir uns nun den eigentlichen *Regelungsaufgaben in der Spinnerei* zu. Was wird gesteuert oder was sollte allenfalls geregelt werden? Betrachten wir den schematischen Prozessverlauf in der Spinnerei und richten das Augenmerk auf die Angaben über die mittlere Faserzahl im Querschnitt in den verschiedenen Abschnitten (Abb. 9). Offenbar besteht

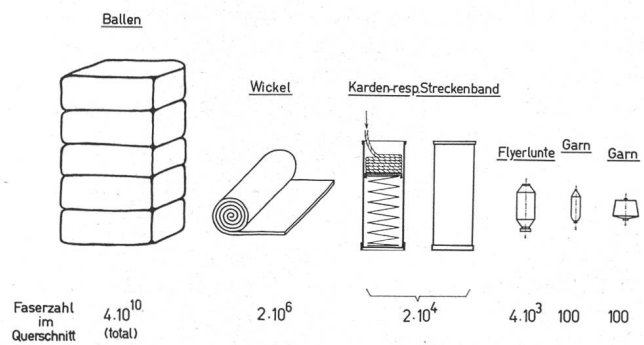
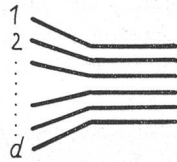


Abb. 9 Schema der Spinnereiprozessstufen

technologisch die Aufgabe darin, nach bestimmtem Plan den Fasermassequerschnitt fortlaufend zu verringern und derart zu regeln, dass am Ende der Fertigung ein Garn bester Gleichmässigkeit entsteht. Ausgehend von etwa zwei Millionen Fasern in der Wickelschicht, will man am Endprodukt Garn durchschnittlich beispielsweise 100 Fasern im Querschnitt erreichen. Dass dies tatsächlich gelingt, ist um so erstaunlicher, als im ganzen konventionellen Fertigungsprozess nur bei der Wickelschichtbildung in der Schlagmaschine eine selbständige Regulierungseinrichtung wirksam ist. Im wesentlichen verlässt man sich auf die ausgleichende Wirkung der sog. Dublierung, d. h. dem Zusammenfassen mehrerer Bänder bei den Streckpassagen. Bei idealem Verstreckvorgang mit Dublierung von  $d$  Bändern ist aus statistischen Gründen eine Verminderung des Variationskoeffizienten für die Faserzahl im Bandquerschnitt um einen Faktor  $\sqrt{d}$  zu erwarten. Der einfache Sachverhalt ist aus Abbildung 10 ersichtlich.

„Doublierung“

Faserzahl in einem Band  $= z_i$

Mittl. quadrat. Abweichung in einem Band  $= s_i$

Variationskoeffizient eines Bandes  $CV_i = \frac{s_i}{z_i}$

Faserzahl nach „Doublierung“  $z_d = \sum_{i=1}^d z_i$

Mittl. quadrat. Abweichung nach „Doublierung“  $s_d^2 = \sum_{i=1}^d s_i^2$

Variationskoeffizient nach „Doublierung“  $CV_d = \frac{\sqrt{\sum s_i^2}}{\sum z_i}$

wenn  $z_1 = z_2 = \dots = z_i = z$

und  $s_1 = s_2 = \dots = s_i = s$

dann  $CV_i = \frac{s}{z}$

und  $CV_d = \frac{\sqrt{s^2 \cdot d}}{z \cdot d} = \frac{CV_i}{\sqrt{d}}$

Abb. 10 «Doublierungsgesetz»

Gerade weil keine systematische Regulierung für die Faserzahl im Garn vorhanden ist, hat die Martindalsche Formulierung für die Garnungleichmässigkeit ihre Berechtigung. Sie besagt, der Variationskoeffizient eines Garnes könne nicht kleiner sein als

$$CV_{\text{lim}} \% = \frac{100}{\sqrt{z}}$$

wobei  $z$  die mittlere Faserzahl im Gespinnstquerschnitt darstellt. Praktisch müssen noch Korrekturen angegeben werden, um die Faserquerschnitts- sowie die Faserlängenvariation zu berücksichtigen. Die umfangreiche Literatur, die sich seit 1950 mit mathematischen Untersuchungen der Garnungleichmässigkeit befasst, wäre Theorie geblieben, wenn nicht gleichzeitig Messeinrichtungen für eine direkte Registratur der Ungleichförmigkeit von Bändern, Vorgarnen und Garnen entwickelt worden wären. Mit dem Zellweger-Uster-Gleichmässigkeitsprüfer, welcher das durchlaufende Prüfmaterial im elektrischen Feld misst, wurde ein unentbehrliches Instrument für den Spinnereibetrieb und für die Textilmaschinenentwicklung geschaffen. Variationen des Substanzquerschnitts ändern die Dielektrizitätskonstante des Kondensators und damit die Kapazität eines elektrischen Schwingkreises. Die Schwankungen werden registriert und der Variationskoeffizient angegeben, und ausserdem kann im Spektrogramm der Zusammenhang zwischen Schwankungsamplitude und Wellenlänge festgehalten werden. Mit diesem Gerät war erst die Ausgangslage geschaffen worden für die modernen Entwicklungen im Textilmaschinenbau. Das Prinzip der Kapazitätsmessung wurde seither weiter ausgebaut und kommt nun im Messfühler der Regulierstrecke und als sog. Fadenreiniger beim Umspulvorgang zur Anwendung.

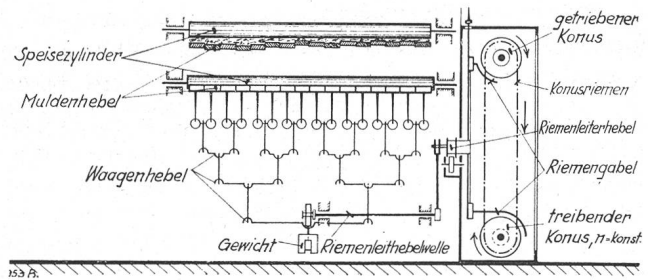
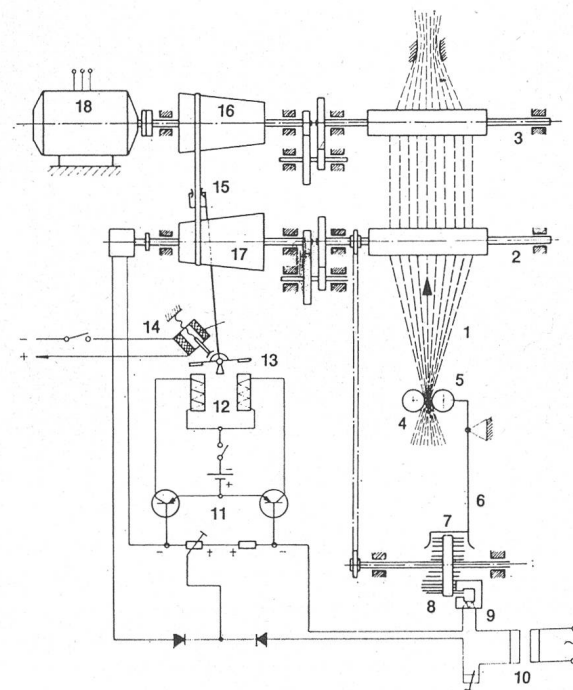


Abb. 11 «Pedalmuldenregulierung» zur Konstanthaltung der Wickschicht an der Schlagmaschine

Für die Querschnittsabtastung eines Faserverbandes zur Gewinnung der Regelgrösse lassen sich theoretisch verschiedene Systeme anwenden: mechanisch, kapazitiv, photoelektrisch oder pneumatisch arbeitende Vorrichtungen. Am bekanntesten sind vorläufig wahrscheinlich noch die mechanischen Methoden, bei denen die Faserschichthöhe bei konstanter Schichtbreite durch Tastrollen oder Hebel festgestellt wird. Hierzu gehört auch die bereits erwähnte Einrichtung an der Schlagmaschine zur Einhaltung einer möglichst konstanten Wickschicht (Abb. 11). Bei der klassischen Pedalmuldenregulierung, wie sie genannt wird, tasten 16 über die ganze Maschinenbreite angeordnete Hebel die Faserschichtdicke ab. Ihre Auslenkung wird durch sinnvolle Hebelverbindungen gemittelt und mit dieser Regelgrösse ein variables Getriebe beeinflusst, welches die Faserzufuhrsgeschwindigkeit der vorangeschalteten Maschine entsprechend verändert. Mechanische Regeleinrichtungen wurden übrigens schon mit Erfolg vor ungefähr 15 Jahren bei der Nadelstab-



Steuerung einer Baumwoll-Regulierstrecke, Firma Deutscher Spinnereimaschinenbau, Ingolstadt, Deutschland, mit mechanischer Abtastung der Vorlagebänder und mechanisch-elektrischer Verzugsänderung durch Beeinflussung der Eingangsgeschwindigkeit (konstante Lieferung).

- |   |  |
|---|--|
| 1 einlaufendes Band                     | 10 Stelltransformator                                  |
| 2 Eingangswalze                         | 11 Soll-Istwert-Vergleichsglied mit Schalttransistoren |
| 3 Ausgangswalze                         | 12, 13, 14 Drehmagnet mit Kippverstärker               |
| 4 stationäre Tastwalze                  | 15 Konusriemen   |
| 5 auslenkbare Tastwalze                 | 16 Konus mit konst. Drehzahl                           |
| 6 Übertragungshebel mit Verschiebegabel | 17 Konus mit veränderl. Drehzahl                       |
| 7 Speicherscheibe (Stiftwalze)          | 18 Motor   |
| 8 verschiebbare Stifte                  |  |
| 9 Polschuhschütz                        |  |

Abb. 12 Steuerung einer Baumwoll-Regulierstrecke (Deutscher Spinnereimaschinenbau, Ingolstadt)

strecke im Wollspinnprozess eingeführt. Es liess sich durch ihre Verwendung die Anzahl der Maschinenpassagen seither ganz wesentlich heruntersetzen. Da sich bei den meisten Regulierstrecken der Messort am Einlauf der Maschine befindet, jedoch eine verbesserte Gleichmässigkeit am auslaufenden Band erwartet wird, handelt es sich bei solchen Vorrichtungen im Prinzip um Steuerungen. Interessant ist die mechanische Lösung der Signalspeichervorrichtung (Abb. 12). Die Schwankungen der Regelgrösse bewirken eine Axialverschiebung von Stiften auf der rotierenden Speicherscheibe. Die Abtastung dieser Stifte erfolgt zeitlich etwas verschoben, so dass die Verstellung der Verzugsgrösse im Streckwerk gerade im richtigen Moment einsetzt. Der Soll-/Istwertvergleich geschieht im abgebildeten Beispiel einer modernen Regulierstrecke auf elektrischem Wege.

Das Stellorgan ist wieder ein Doppelkonus-Regelgetriebe, bei dem der Riemen entsprechend der Regelabweichung verschoben wird.

Bei Anlagen mit direkter Kardenspeisung, bei denen also keine Wickel mehr hergestellt werden und somit die Pedalregulierung ausfällt, muss auf andere Art und Weise der Flockenstrom reguliert werden. Es geschieht dies beispielsweise durch optische Abtastung der vorbeifliegenden Faserflocken in der Transportleitung.

Die weitere textile Fertigung vom Faden bis zum textilen Flächengebilde erfordert nun derart verschiedene Arbeitsvorgänge, dass eine Verkettung zur Transferstrasse kaum je in Frage kommt. Erst für die Ausrüstungs- und Veredlungsprozesse der Stoffe, d. h. beim Waschen, Bleichen, Trocknen und Färben, kommen wieder kontinuierliche, automatisch gesteuerte Fertigungsabläufe in Betracht. Anders liegt die Situation allerdings auf dem sog. *Faservliesstoffsektor*, wo sich ein kontinuierlicher Arbeitsablauf vom Rohmaterial bis zum Endprodukt geradezu aufdrängt (Abb. 13). Da man auf

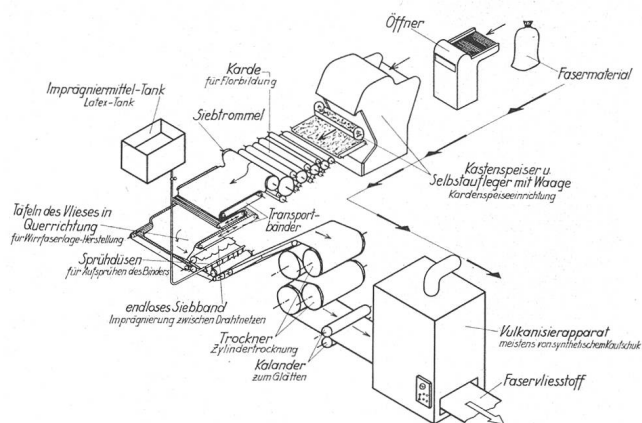


Abb. 13 Schema einer Vliesfabrikation

eine Garnherstellung verzichtet, wird das Faservlies, wie es die Krempel oder die Karde liefert, auf geeignete Art und Weise verdichtet, mittels chemischer Bindemittel verfestigt, eventuell gefärbt und schliesslich getrocknet. Ein anderes neuzeitliches Kontinuumverfahren besteht in der Kombination einer Chemiefaserspinnanlage mit einem breiten Transportband, auf dem die vielen endlosen Einzelfibrillen in Kreuzlage oder wirrer Anordnung deponiert und an den Faserüberkreuzungsstellen gegenseitig verschmolzen werden. Solche Einrichtungen sind besonders geeignet für spätere Beschichtungsvorgänge oder Sandwichkompositionen mit anderen Polymermaterialien, z. B. die Corfamherstellung. Die Produktivität dieser Verfahren ist geradezu beängstigend hoch, aber es darf nicht übersehen werden, dass ihr Anwendungsbereich auf einige spezifische Endprodukte ausge-

richtet ist, so z. B. für die Nadelflor-Teppichherstellung, für die Erzeugung von Einlagestoffen und Wegwerfartikeln.

Wenden wir uns nun dem Sektor der *Webereivorbereitung* zu. Viele Einzeloperationen wären hier als Beispiele sinnvoller Automatisierung zu nennen. Zu den ältesten zählt wohl der Spulautomat, mit dem die Bewicklung der Schusspulen für die Webschützen ohne irgendwelche Handbedienung vorgenommen wird. Die modernsten Maschinen stellen Spulen mit Spitzenreserve her und legen die Spulkörper geordnet in Kistchen ab. Im Gegensatz zur Herstellung der Schusspulen erforderte der Umspulvorgang von relativ kleinen Spinnspulen auf die grossen Kreuzspulen bis vor kurzem noch sehr viel Handarbeit, indem die Kopse sowie die gebrochenen Fäden von Hand anzuknüpfen waren. In den USA kamen bereits in den dreissiger Jahren Kreuzspulmaschinen mit automatischer Knotenvorrichtung zum Einsatz. Für europäische Verhältnisse geeignete Automaten sind jedoch erst in den letzten zehn Jahren entwickelt worden. Auf solchen Spulmaschinen werden automatisch schwache Stellen und Garnfehler ausgemerzt und durch Knoten ersetzt, die leergelaufenen Spinnspulen ausgeworfen und dafür volle Spulen in Arbeit genommen. Nach Erreichen eines vorbestimmten Durchmessers der Kreuzspule wird der Spulvorgang unterbrochen, bis die Arbeiterin die Spule gegen eine leere Hülse ausgewechselt hat. Grundsätzlich kommen zwei Varianten der *Kreuzspulautomaten* zur Anwendung, nämlich wandernde oder stillstehende Knoteneinrichtungen, wovon letztere in Abbildung 14 ersichtlich ist. Die zehn voneinander

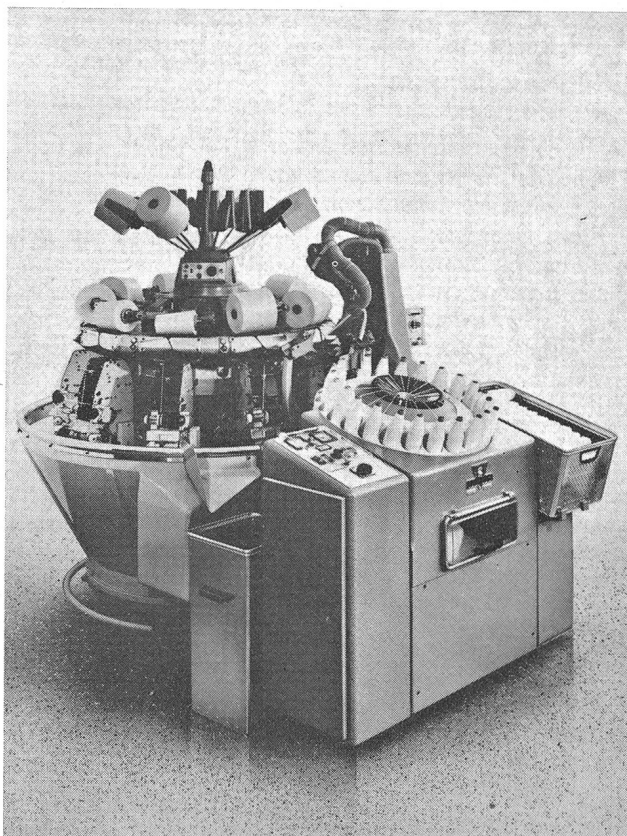


Abb. 14 Kreuzspulautomat CA-11 (Schweizer)

unabhängigen Spulstellen drehen stets im Kreise herum; bei Fadenbruch oder wenn eine Spinnspule ausgelaufen ist, wird beim nächsten Stopp am Knoter die notwendige Operation durchgeführt, um die betreffende Spulstelle wieder in Arbeit zu versetzen. Zu erwähnen ist, dass die Feststellung von Garnfehlern, das Garnschneiden und das Festhalten des einen Fadenendes bei Laufgeschwindigkeiten von 800 bis 1000 m/min geschehen muss.



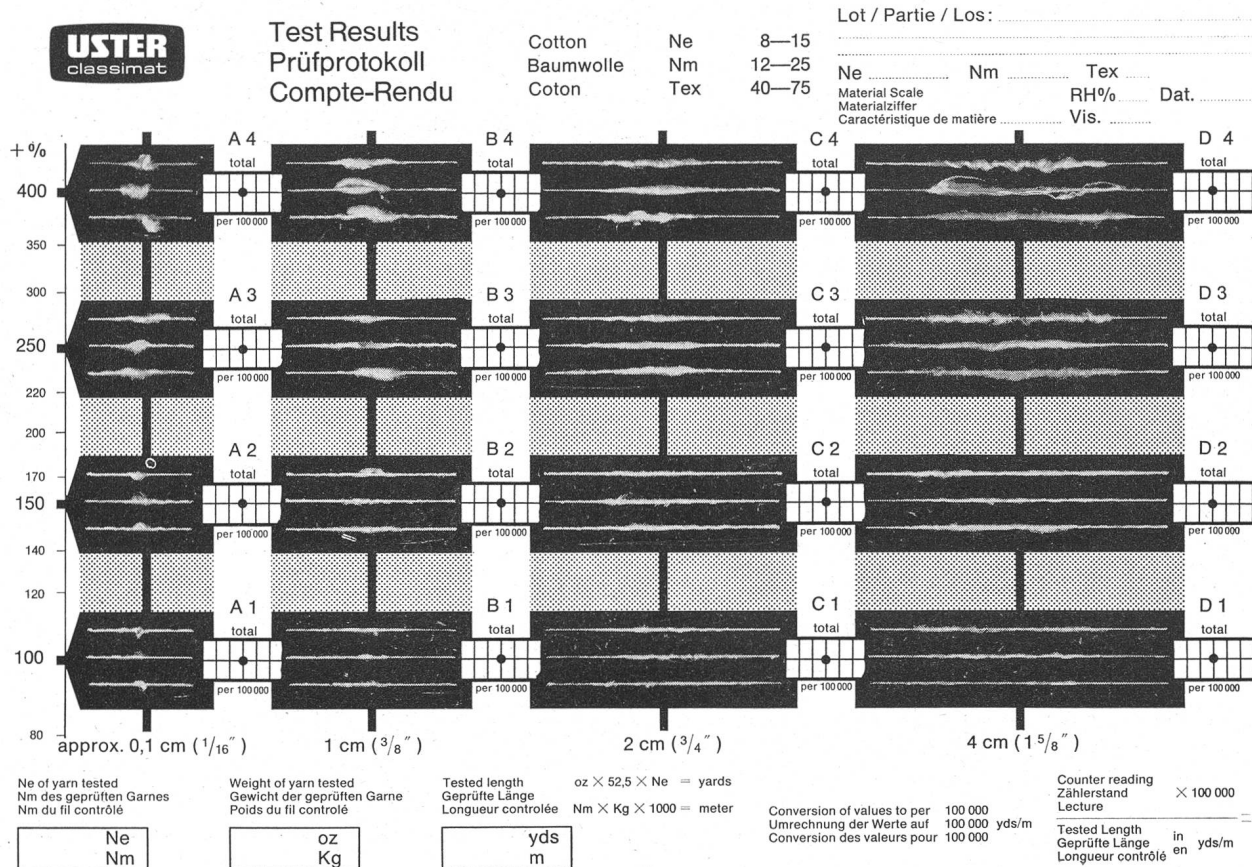


Abb. 15 Prüfprotokoll (Zellweger)

Die letzten Bestrebungen gehen dahin, auch noch das Kops-einlegen und Fadenendesuchen sowie das Auswechseln der vollen Kreuzspule automatisch zu gestalten.

Die Vorbereitung der Kettfäden für den Einsatz auf der Webmaschine oder auf der Kettenwirkmaschine verlangt relativ umfangreiche und sehr gewissenhafte Handarbeit. Unter anderem geht es darum, die Grosszahl der Fäden — meist sind es mehrere tausend — in richtiger Reihenfolge in die Litzen der Schäfte einzuziehen. Jeder Kettfaden muss ausserdem mit dem Kettfadenwächter einer Stahllamelle belastet werden, und beim Ansetzen einer neuen Kette auf der Webmaschine ist natürlich jeder neue Kettfaden mit dem entsprechenden auslaufenden Faden zu verknüpfen. Für alle die genannten Operationen stehen heute sinnreich konstruierte Automaten zur Verfügung, mit deren Hilfe die Leistungsfähigkeit einer Arbeiterin um ein Vielfaches erhöht werden kann.

Beachten wir nun einige spezielle Regelungs- und Steuerungsaufgaben der Webereivorbereitung.

Diese Zwischenstufe der textilen Fertigung dient unter anderem als wichtige Kontrollstation, um schwache und schadhafte Stellen im Garn auszumerzen, damit die spätere Fertigung möglichst fadenbruchfrei erfolgen kann. Es gilt die Fadenüberwachung so zu steuern, dass nur jene Fehler im Garn ausgeschieden werden, die tatsächlich störend wirken. Die *elektronischen Fadenreiniger*, welche nach optischem oder kapazitivem Prinzip arbeiten, sind nun tatsächlich in der Lage, eine Selektion nach Dicke und Länge der Garnfehler vorzunehmen. Abbildung 15 vermittelt eine Uebersicht der heute möglichen Differenzierungen. Durch entsprechende Einstellung der Messempfindlichkeit kann nun die Grenze zwischen gut und schlecht beliebig gewählt werden.

Ein anderer Problemkreis bei *Bewicklungsvorgängen auf Spulmaschinen* ist die fadenspannungsabhängige Regelung

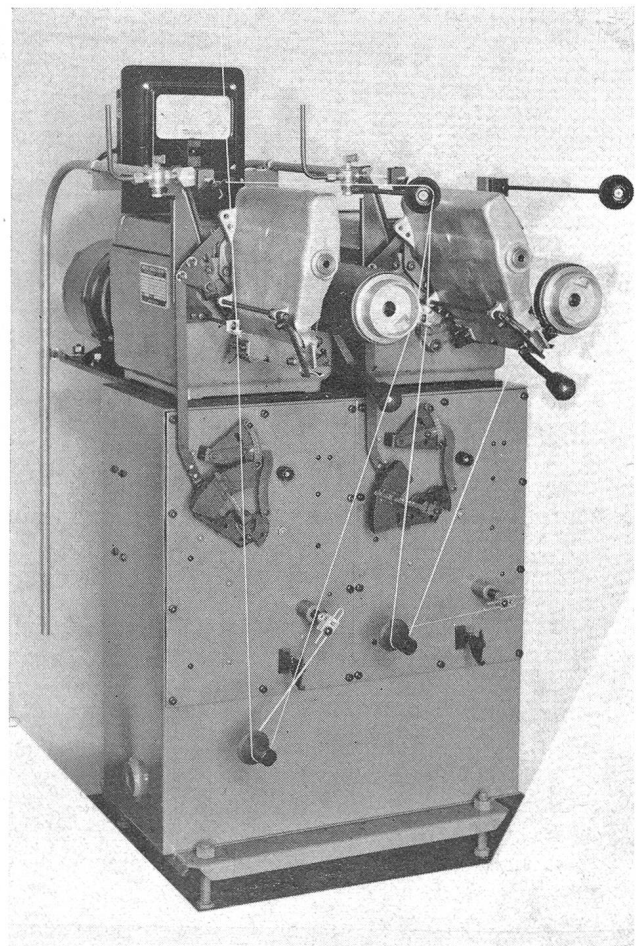


Abb. 16 «955»-Leesona-Spulmaschine

der Aufwickelgeschwindigkeit. Die Abbildung 16 zeigt zwei Wickelapparate, wie sie vor allem in der Chemiefaserindustrie Verwendung finden. Die Spannung des Gleichstrommotors wird in Abhängigkeit der Stellung des Kompensatorarmes mit der Fadenlaufrolle geändert. Da eine Federkraft diesen Arm nach unten zieht, ist seine Stellung durch die Höhe der Fadenzugkraft eindeutig bestimmt. Mit der Verstellung des Hebels wird nun gleichzeitig der Kern in einer Magnetspule verschoben, so dass sich die Impedanz im Wechselstromkreis des Seleniumgleichrichters verändert. So wird die notwendige Verstellung der Motordrehzahl erreicht. Das System arbeitet als Proportionalregler, wobei der Proportionalfaktor durch Auswechslung der Feder den jeweiligen Verhältnissen angepasst werden kann. Ähnliche Problemstellungen ergeben sich bei der Regulierung der Kettfadengeschwindigkeit beim Schlichteprozess und bei den kontinuierlichen Ausrüstungsverfahren.

Eine weitere, sehr wichtige Anwendung der Regelautomatik in der Kettvorbereitung bezieht sich auf die Ueberwachung des *Feuchtigkeitsgehaltes der Kettfäden* beim Schlichten. Der Feuchtigkeitsgehalt der geschlichteten Kette wird unmittelbar nach dem Auslauf aus der Trocknerzone mit Tastrollen durch Bestimmung des elektrischen Widerstandes gemessen (Abb. 17). Bei Abweichungen gegenüber dem ein-

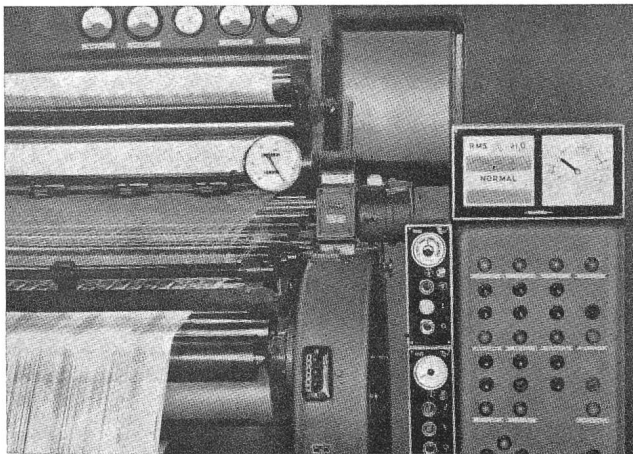


Abb. 17 Feuchtigkeitsregelung an der Schlichtmaschine

stellbaren Sollwert folgt eine automatische Verstellung der Maschinengeschwindigkeit im erforderlichen Sinn. Diese Veränderung wird impulsweise vorgenommen, wobei jedem Impuls eine Geschwindigkeitsänderung von 1 bis 3 % entspricht. Die zeitliche Folge der Regelimpulse steht in direkter Abhängigkeit der Regelabweichung.

#### Die automatisierte Weberei

Die weitgehende Automatisierung im Gewebeherstellungsprozess lässt sich einmal an der hohen Maschinenzuteilung je Arbeiter ermessen. Ein Weber betreut heute bis zu 60 Maschinen, indessen es einmal Zeiten gab, da die Bedienung von nur einem Webstuhl zwei und mehr Arbeitskräfte erforderte, wie z. B. die Ziehungen für die Betätigung der Harnischfäden beim Herstellen komplizierter Muster. *Auf der modernen Webmaschine erfolgen sämtliche Steuerungen und Ueberwachungen automatisch*; es sind dies die Steuerung der Schäfte oder Harnischschnüre für die Erzeugung bestimmter Gewebemuster, die Stillsetzung der Maschine bei Schussfaden- oder Kettfadenbruch, die Regulierung der Kettfadenspannung und das Auswechseln der Schusspule bei den Schützenwebmaschinen.

Für normale Gewebeherstellung wird das Muster oder Dessin auf eine Lochkarte übertragen, zur richtigen Steuerung der Schäfte und allenfalls der verschiedenen Schussfarben. Eine

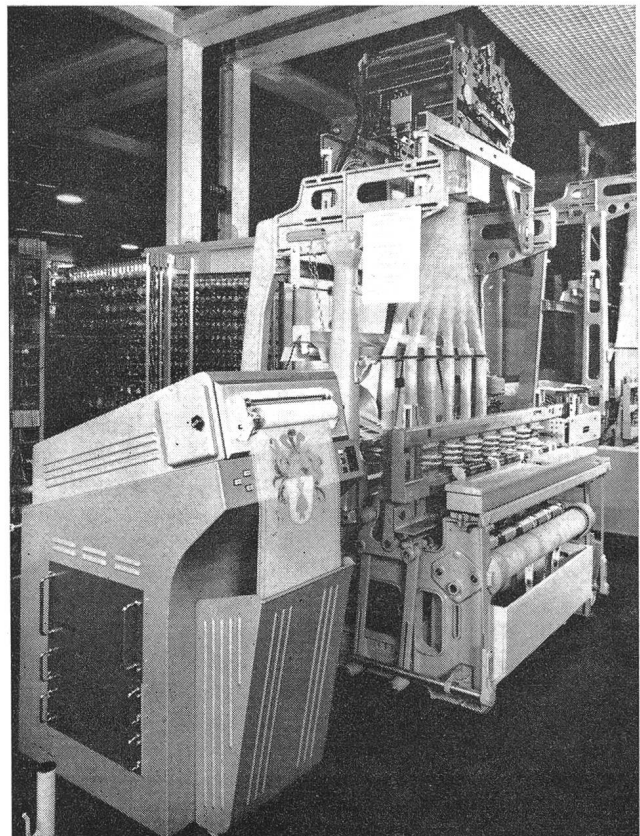


Abb. 18 Elektronische Steuerung einer Etikettenwebmaschine (Apparatefabrik Huttwil)

bemerkenswerte Neuheit stellt die in Abbildung 18 gezeigte elektronische Steuerungsanlage für das Weben von Etiketten dar. Unter Verzicht auf die gelochten Jacquardkarten kann die farbige Musterzeichnung hier direkt optisch abgelesen

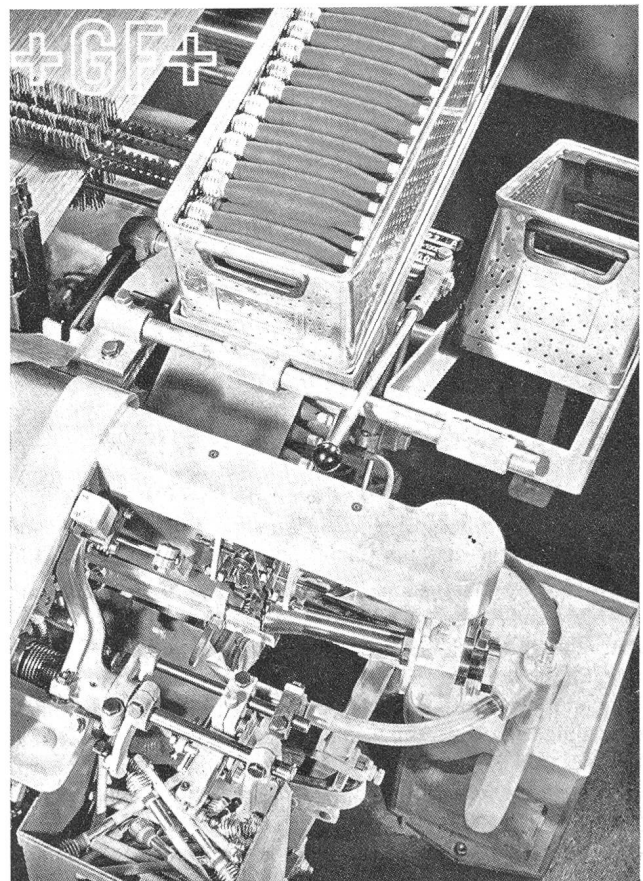


Abb. 19 Kastenlader für Webautomat (+GF+ Brugg)



und elektronisch ausgewertet werden. Die Figurenfarben des Dessins werden schussweise abgetastet und über einen photoelektrischen Wandler der *elektroautomatischen Jacquardmaschine* übertragen.

Den Mechanismus für Spulenwechsel im Webschützen ohne Betriebsunterbruch hatte der Amerikaner Northrop schon um die Jahrhundertwende konzipiert: Aus einem Rundmagazin wird eine volle Spule von oben in den Schützen eingeschlagen und damit gleichzeitig der leere Spulkörper unten herausgedrückt. Die Automatisierungsbestrebungen befassten sich in den vergangenen zehn Jahren mit einer weiteren Vereinfachung in der Beschickung des Webautomaten mit Schusspulen. Die Schusspulen erhalten bereits beim Spulvorgang eine Fadenreserve an der Spitze, und ihre Ablage erfolgt geordnet in Kisten. Nach dem Aufsetzen dieser Boxen auf den Webautomaten sind keinerlei Handarbeiten mehr erforderlich. Der *Kastenladerautomat* (Abb. 19) besorgt sich nach Bedarf Spule um Spule, streift die Spitzenreserve ab und hält den Fadenanfang fest. Der Spulenwechsel im Schützen erfolgt in gewohnter Weise, zusätzlich aber wird die leere Schusspule noch von allfälligen Fadenresten befreit und in die Rücktransportkiste gelegt.

Die vollständige Ausschaltung des Schusspulprozesses und damit des Hantierens mit den relativ kleinen Spulkörpern wird heute schon bei allen sog. *spulenlosen Webverfahren* erreicht (Abb. 20), indem der Schussfaden von einer grossen, ortsfesten Spule abgezogen und direkt ins Fach eingetragen wird.



Abb. 20 Greiferschützenwebmaschine (Sulzer)

Mit Ausnahme der Fadenbruchbehebung — man rechnet mit ein bis zwei Fadenbrüchen je Webmaschine und Stunde — sind alle Operationen des Webvorganges automatisiert worden. Entwicklungsaufgaben stellen sich weiterhin im Zusammenhang mit der ständigen Steigerung der Maschinengeschwindigkeit, weil so für die Steuerung und für die Ausführung der Bewegungen gewisser Arbeitsorgane die zur Verfügung stehende Zeit immer knapper wird. Eine eigentliche Regelungsaufgabe im Webvorgang ist bei der Schaltung von Kette und Ware zu lösen. Das Nachlassen der Kette hat — angefangen vom vollen Kettbaum bis zum Abweben desselben — bei konstanter Kettspannung zu erfolgen. Die

älteren, einfachen Vorrichtungen basieren auf einer Bremsung der Kettbaumdrehung, wobei das Bremsmoment mit abnehmendem Kettbaumdurchmesser entsprechend zu verkleinern ist. Die modernen Lösungen bedienen sich eines sog. *Kettbaumregulators*. Das Wirkungsprinzip besteht darin, dass von einem im Takt des Schusseintrages schwingenden Teiles eine Schaltung abgeleitet wird, die man durch die Kettspannung selbst so beeinflusst, dass eine konstante Kettspannung bei konstantem Schaltbetrag gewährleistet ist. Mancherlei Varianten solcher Schaltungen sind heute anzutreffen.

Für den optimalen Betrieb und die zentrale Ueberwachung ganzer Webereianlagen sind schliesslich in neuester Zeit spezielle elektronische Rechenanlagen eingeführt worden, welche dem Aufsichtspersonal ermöglichen, momentan den Wirkungsgrad, die Produktion, die Maschinengeschwindigkeit und die Stillstandsursache jeder Webmaschine in einer Kontrollanlage festzuhalten und zu registrieren. Die automatische Auswertung ist als Grundlage für die Lohnkalkulation und für die laufende Planung der Maschinenzuteilung von ausserordentlichem Nutzen.

### Maschenwarensektor

Auch auf dem *Maschenwarensektor* erfolgt die eigentliche Fertigung des Gestrickes oder des Gewirkes automatisch. Die Handarbeit setzt erst bei der Konfektionierung, d. h. beim Zuschneiden und Zusammennähen, ein. Als Beispiel für *bedienungslose Fertigung* kann etwa der Strumpfautomat er-

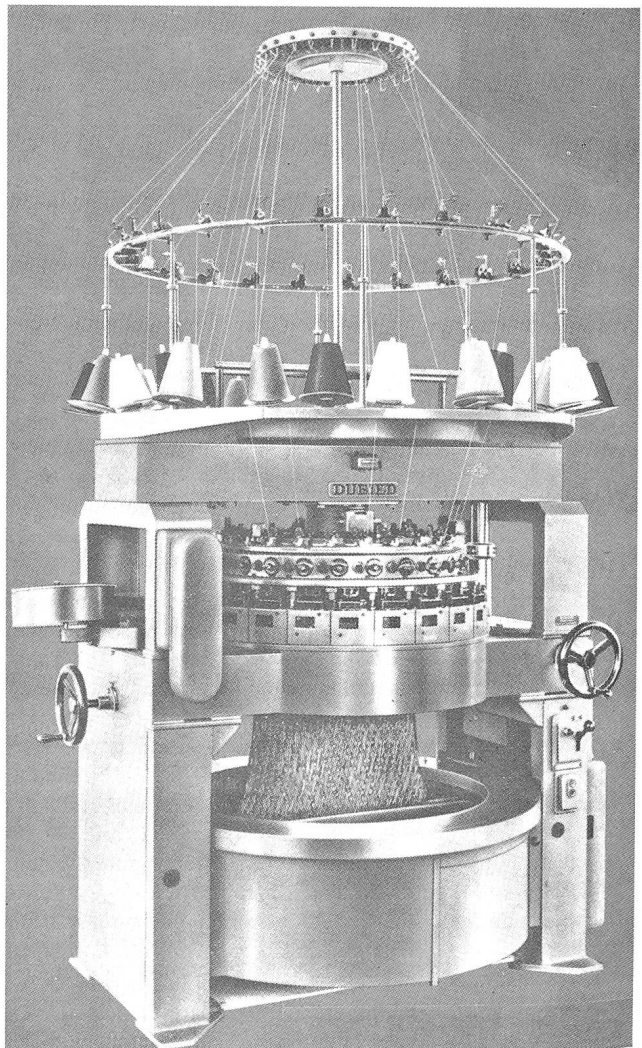


Abb. 21 «Wevenit»-Jacquard-Rundstrickmaschine (Dubied)



wähnt werden, bei dem das Bekleidungsstück von der Fusspitze über die Ferse bis zum Schaft vollständig automatisch hergestellt wird.

Eine starke Zunahme der Maschenwarenproduktion wird für die Zukunft vorausgesagt, was nicht zuletzt auf die optimale Eignung gewisser Chemiefasern für die hochproduktiven Fertigungsmethoden zurückzuführen ist (Abb. 21).

Ein beträchtlicher Bedienungsaufwand kann allerdings das Einrichten von Strick- und Wirkmaschinen erfordern, wenn die Musterung umgestellt werden soll. An der *Rundstrickmaschine* wird die Nadelsteuerung durch sog. Musterräder beeinflusst. Will man ein bestimmtes Dessin herstellen, so müssen entsprechende Schlitze dieser *Musterräder* — es können bis zu 48 Räder an einer grossen Rundstrickmaschine sein — mit kleinen Plättchen bestückt werden. Diese zeitraubende Arbeit ist bei modernen Maschinen automatisiert worden (Abb. 22), indem z. B. ein Stahlfilm mit muster-

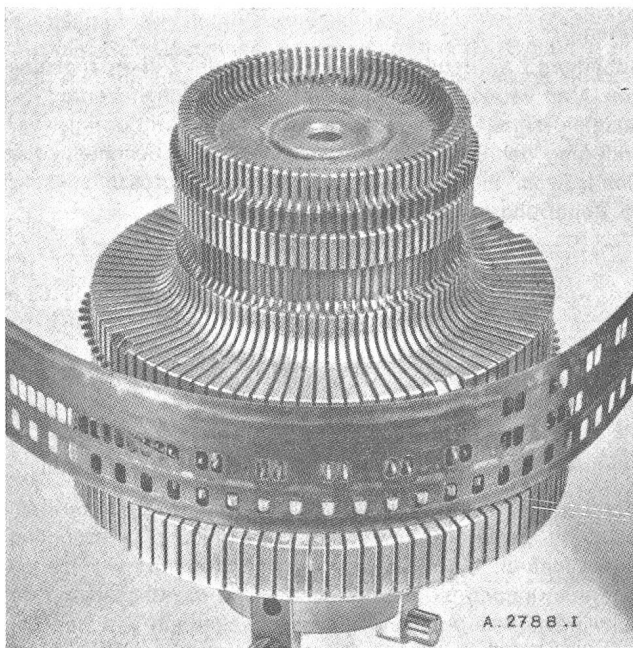


Abb. 22 Steuerband (Lochband)

rechten Ausstanzungen an den Musterrädern vorbeigeführt wird und dort die notwendige Beeinflussung des Rades vornehmen kann. Solche Einrichtungen bringen ausserordentliche Einsparungen und lassen Fehler bei Musterumstellungen vermeiden.

Wir haben nun Vorrichtungen aus der textilen Fertigung kennengelernt, die sich mit der Regelung oder Steuerung von Fasermassen, Garndicken, Fadenspannungen und Garnfeuchtigkeit befassen. Die Uebersicht wäre unvollständig, wenn nicht abschliessend noch kurz auf gewisse *Temperaturüberwachungsaufgaben* hingewiesen würde. Wärmebehandlungsprobleme gilt es insbesondere mit dem Aufkommen der Chemiefasern zu lösen. Nach dem Extrudieren der Schmelzspinnfäden ist in der Regel ein separater Streckvorgang notwendig. Bei Polyestertypen sowie bei hochfesten Polyamiden und Polyolefinen muss diese Verstreckung bei kontrollierten Wärmebedingungen der Kontaktheizplatten vonstatten gehen, damit konstante Fasereigenschaften erreicht werden. Ein ähnliches Problem stellt sich beim Texturierungsprozess thermoplastischer Fäden. Im Helanca®-Garn-Herstellungsvorgang beispielsweise muss die hohe Torsionsdeformation der Garnfibrillen unter genau definierter und konstant gehaltener Wärmeeinwirkung erfolgen, um den gewünschten Kräuse-

lungs- oder Stretcheffekt zu erzielen. Infolge der hohen Fadengeschwindigkeiten stehen für die ganze Wärmebehandlung nur noch 0,2 sec zur Verfügung. In beiden genannten Wärmebehandlungsvorgängen stellt sich das Problem der Ueberwachung und Regulierung einer Vielzahl von Arbeitsstellen, da jeder Faden mit seiner eigenen Heizstrecke behandelt werden muss.

Adresse des Autors: Prof. Dipl. Ing. H. W. Krause, ETH, Institut für Textilmaschinenbau und Textilindustrie, Sonneggstr. 3, CH-8006 Zürich

JK 65.011.56:001.4

Cl

## Begriffe der Automatisierungstechnik

Prof. Dr. P. Hemmi, ETH

### Zusammenfassung

*Die Ausführungen richten sich an Textilfachleute, die mit der Fachsprache der Regelungstechnik nicht vertraut sind. In einer kurzen Einführung gelangt die Zielsetzung der regeltechnischen Problemformulierung und die daraus entstehende Rückwirkung für den Anwender zur Sprache. Im mittleren Hauptabschnitt werden die wichtigsten Grundbegriffe der Regelungstechnik eingeführt und erläutert.*

*Abschliessend verdeutlicht ein Beispiel aus der Textiltechnik, welche Hauptvorteile die Blockschaltdarstellung gegenüber einer gerätetechnischen Beschreibung bietet.*

### 1. Einführung

Die zur Debatte stehenden Grundbegriffe sind Teil eines Vokabulars einer *problemorientierten Sprache*. In jeder Sprache manifestiert sich in ihren Ausdrucksformen auch eine bestimmte Anschauungs- und Denkart. Damit geht es um wesentlich mehr als um die blossse Kenntnisnahme einiger abstrakter Begriffe.

Die Fachsprache der Regelungstechnik hat sich nicht beiläufig als «Fachjargon» entwickelt, sondern wird wesentlich durch folgende Zielsetzung charakterisiert:

- Abstrahierung der Probleme der Systemdynamik von speziellen gerätetechnischen Ausführungen
- klare Formulierung der besonderen Fragestellung der Regelungstechnik

Das erste Ziel, die Loslösung von Problemkreisen aus ihrer speziellen Anwendung, ist in einem solchen Masse erreicht worden, dass man ruhig behaupten darf, dass die Regelungstechnik an sich unter den Ingenieurgebieten nicht als Anwendungsfach erscheint. Regelungstechnik ist vielmehr ein Grundlagenfach, vergleichbar mit Thermodynamik und Strömungslehre. Dadurch ergeben sich für den Maschinenbauer nicht zu vernachlässigende Rückwirkungen. Aus dieser Sicht betrachtet, kann von einem Spezialisten der Regelungstechnik solange keine Hilfe erwartet werden, als der Anwender seine Probleme nicht selbst in der Sprache formulieren kann, die ein mit dem Anwendungsgebiet nicht vertrauter Regelungstechniker versteht.

So steht heute für lineare Probleme der Systemdynamik eine in sich geschlossene und weitgehend abgerundete Theorie zur Verfügung.

Die Formulierung der Probleme der einzelnen Anwendungsgebiete in der für den Einsatz der Theorie gerechten Form ist jedoch weit entfernt davon, als abgeschlossen gelten zu können.