

H. Groß, Roßdorf

250.-

Kleine Kräfte – dünne Folien

Muß bei der Herstellung dünner, beidseitig geglätteter Folien umgedacht werden?

Beidseitig geglättete Folien unter 200 µm bedingen heute hohe Spaltkräfte im Glättwerk. Es stellt sich das Problem der Walzenaufbiegung und die damit verbundene hohe Dickenoleranz quer zur Produktionsrichtung der Folie. Große Walzendurchmesser verschlimmern eher die Probleme, als daß sie helfen. Aber es geht auch nahezu kraftlos, selbst bei Folien um 100 µm.

Weak Forces – Thin Films.
Two-side polished films less than 200 µm thick at present require large roll-gap forces for their manufacture. The problem of roll bowing arises, accompanied by poor thickness tolerance transverse to the production (machine) direction. Larger roll forces worsen rather than improve the situation. But the problem can be resolved almost force free, even for films less than 100 µm thick.

Am wirtschaftlichsten lassen sich Kunststofffolien im Folienblasverfahren herstellen. Soll die herzustellende Folie wenigstens eine hochwertige Oberflächengüte besitzen, so muß man bei der Herstellung auf das aufwendigere Chill-roll-Verfahren übergehen. In zunehmendem Maße werden allerdings vom Markt Folien verlangt und auch eingesetzt, bei denen hohe Anforderungen an beide Oberflächen gestellt werden.

Nur ein Glättwerk, wie es im Bereich der Plattenproduktion Anwendung findet, erfüllt diese Anwenderwünsche [1]. Beidseitig geglättete Folien bis in den Dickenbereich von 200 µm sind heute Stand der Technik. Praktische Erfahrungen und nüchterne Überlegungen zeigen, daß man in dieser Richtung mit der eingeschlagenen Strategie nicht mehr sehr weit kommen kann.

Plattenglättechnologie althergebracht

Platten mit zwei exzellenten Oberflächen im Dickenbereich zwischen 1 bis

15 mm lassen sich auf heutigen Anlagen (Bild 1) ohne Probleme herstellen. Je weiter man diesen Bereich nach unten verlassen will, um so größer werden die Schwierigkeiten. Zur Erläuterung der Probleme mit geringeren Dicken muß auf den Herstellprozeß näher eingegangen werden. In Bild 2 sind schematisch in der Seitenansicht die wichtigsten verfahrenstechnischen Details bei der Glättung von Platten skizziert. Zur Erläuterung ist bewußt ein horizontal angeordnetes Glättwerk mit vertikaler Schmelzeinspeisung benutzt worden, da diese bis heute eher unübliche Fahrweise eindeutige verfahrenstechnische Vorteile besitzt.

Der aus der Breitschlitzdüse (1) austretende Schmelzevorhang (2) fällt dabei in den aus den beiden Glättwalzen (3) gebildeten Walzenspalt (4). Es hat sich als vorteilhaft und zweckmäßig herausgestellt, im Glättwerk oberhalb des engsten Spalts mit einem gewissen Materialpolsterwulst (5) zu arbeiten. Dieser Wulst stellt sicher, daß beide Glättwalzenoberflächen immer in Kontakt mit der einlaufenden Schmelze bleiben.

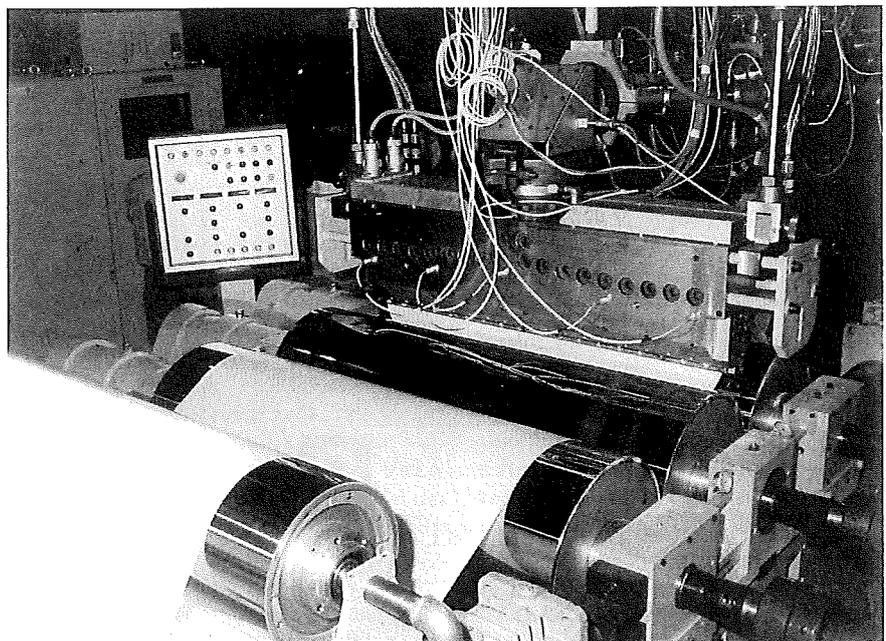


Bild 1. Vollständig horizontal angeordnetes Glättwerk

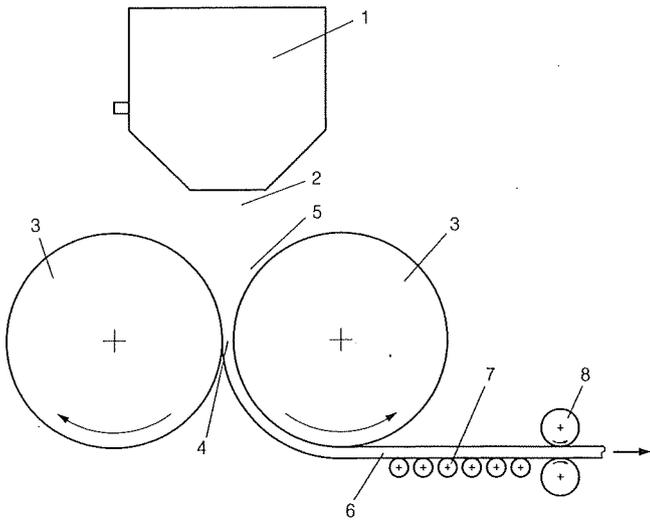


Bild 2. Schematische Darstellung einer Glättanlage zur Herstellung von Tafeln mit hoher Oberflächengüte; 1: Breitsschlitzdüse, 2: Schmelzevorhang, 3: Glätt- und Kühlwalze, 4: Walzenspalt, 5: Wulst, 6: Feststoff, 7: Rollenbahn, 8: Abzug

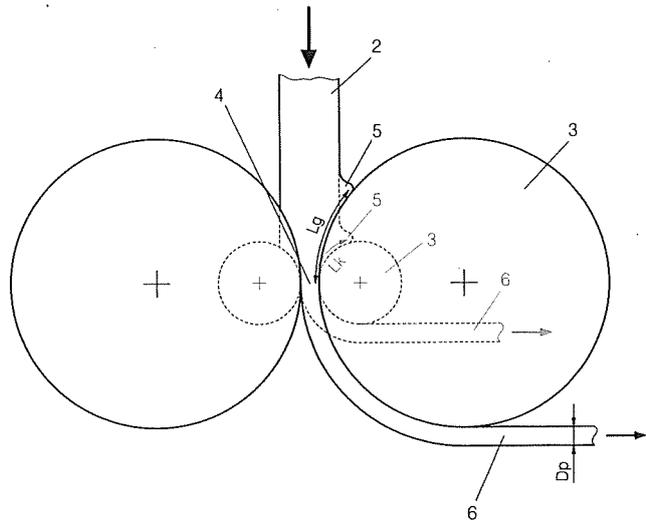


Bild 3. Gegenüberstellung von Walzen unterschiedlichen Durchmessers; Blau = kleiner Walzendurchmesser, Schwarz = großer Walzendurchmesser; 2: Schmelzevorhang, 3: Glätt- und Kühlwalze, 4: Walzenspalt, 5: Wulst, 6: Feststoff

Über Zuhaltezyylinder, die jeweils an den beiden Walzenzapfen angreifen und die gegen einen Endanschlag fahren, wird erreicht, daß die Größe des Glättspalts in erster Näherung konstant bleibt. Folglich bleibt auch der Wulst in seiner Größe solange konstant, wie der aus der Düse austretende und der durch den Glättspalt hindurchlaufende Massestrom sich während des gesamten Glättprozesses nicht ändert.

Unter der Voraussetzung, daß man eine bestimmte Bandbreite nicht verläßt, kommt man durchaus mit unterschiedlichen Wulstgrößen zu einem gleich guten Glättergebnis, so daß gewisse Änderungen der Wulstgröße über den gesamten möglichen Frequenzbereich das Endergebnis nicht negativ beeinflussen. Klar ist jedoch, daß bei konstantem Glättspalt mit größer werdendem Wulst oder mit stärkerer Abkühlung [2] auch die Kräfte im Spalt zunehmen. Damit einher geht zwangsläufig auch eine Zunahme der Walzenaufbiegung in Folge der erhöhten Spaltkräfte. Unabdingbare Voraussetzung für ein gutes Glättergebnis ist allerdings, daß sich auf der Linie des engsten Glättspalts im Inneren der durchlaufenden Bahn noch Schmelze befindet, das heißt, daß die von beiden gekühlten Walzenoberflächen ins Innere der Bahn laufenden Erstarrungsfronten sich an dieser Stelle noch nicht in der Mitte getroffen haben. Dies ist bei Platten auf Grund der größeren Dicke und der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Kunststoffe sichergestellt. Die Spaltkräfte und damit auch die Walzendurchbiegungen sind wegen der noch formbaren Schmelze im Inneren des

Glättspalts gering. Die daraus resultierenden Plattendickenänderungen sind in Relation zur Plattendicke gesehen in aller Regel klein und damit meist tolerierbar.

Folienglätten im Walzenspalt

In der Vergangenheit hat man diese aus der Plattentechnologie her bewährte Herstellmethode als Basis verwendet, um mit Detailänderungen auch immer dünnere Folien mit zwei geglätteten Oberflächen herstellen zu können. Der Aufwand und die Kosten für derartige Glättwerke stieg dabei überproportional zu der erreichten Reduzierung der herstellbaren Foliendicke. Aber nicht nur die Kosten für derartige Anlagen sondern auch die Probleme, diese Anlagen zu betreiben, stiegen überproportional. Gleichzeitig ging die Prozeßfähigkeit des Herstellprozesses mit weiterer Reduzierung der Foliendicke immer mehr verloren. Die Gründe für diese Probleme sind einfach nachvollziehbar.

Mit geringerer Dicke des durch den Glättspalt laufenden Schmelzefilms reduziert sich die Dicke des für den Glättprozeß so wichtigen Schmelzevorrats im engsten Spalt kontinuierlich, bis sich letztendlich die Erstarrungsfronten in der Mitte treffen. Man benötigt zwangsläufig größere Kräfte, um die aus der Düse austretenden mehr oder minder großen Dickenunterschiede über der Breite des Schmelzevorhangs im Glättspalt auszugleichen. Da die Kräfte nur über die außenliegenden Walzenzapfen aufgebracht werden können, muß die

Biegesteifigkeit der Walzen vergrößert werden. Die Möglichkeiten, dies über spezielle Walzenkonstruktionen zu erreichen, sind sehr beschränkt. Somit kommt man nicht umhin, auch die Walzendurchmesser zu vergrößern, um die Walzendurchbiegung in vertretbaren Grenzen zu halten.

Diese Maßnahme hat aber eine weitere Verschlechterung der Randbedingungen zur Folge. In Bild 3 ist der Vergleich der Verhältnisse im Glättspalt zwischen den Bedingungen bei Verwendung von Walzen mit einem großen Durchmesser und einem kleinen Durchmesser (blau) skizziert. Man erkennt deutlich, daß mit größerem Walzendurchmesser sich zwangsläufig eine größere Verweilzeit der Schmelze bis zum Erreichen des engsten Spalts ergeben muß, da die Kontaktlänge auf der großen Walze (L_g) deutlich größer ist als die auf der kleinen Walze (L_k). Bei dünnen Folien treffen sich somit die in der Skizze aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellten Erstarrungsfronten bereits vor dem engsten Spalt, so daß ein konventioneller Glättprozeß wegen des Fehlens des Schmelzepolsters in der Mitte der Bahn nicht mehr möglich ist. Bester Beweis für diese Tatsache sind die vielen gehärteten Walzenoberflächen, die bei diesen Versuchen schon von der im Spalt zum Feststoff erstarrten Schmelze zerstört worden sind.

Kleiner Wulst

Es bleibt auf der einen Seite nur noch der Versuch, die Wulstgröße zu kon-

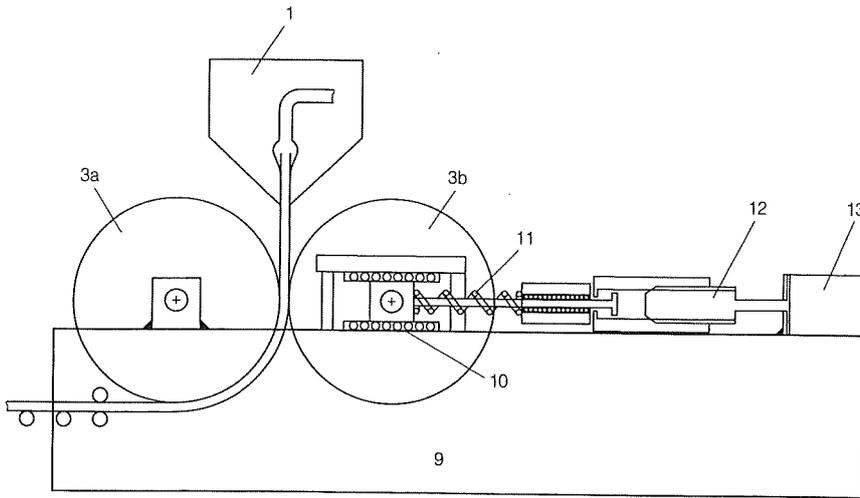


Bild 4. Schematische Darstellung eines Glättwerks, das spezifisch für die Arbeitsweise mit minimierten Zuhaltekräften ausgelegt ist; 1: Breitschlitzdüse, 3a: feststehende Walze, 3b: Zustellwalze, 9: Seitenschild, 10: Linearlager, 11: Spiralfeder, 12: Einstellung für die Zuhaltkraft, 13: Zylinder zum Öffnen und Schließen des Glättspalts

trollieren. Um dies zu ermöglichen, werden auch bereits aufwendige Meßverfahren entwickelt [3]. Die zweite Möglichkeit liegt darin, die Umfangsgeschwindigkeit zu erhöhen. Beide Maßnahmen zielen darauf ab, vielleicht doch noch ein Schmelzepolster im engsten Spalt retten zu können.

Selbst wenn dies rein theoretisch noch denkbar ist, scheitert der Versuch, immer dünnere Folien zu glätten, schließlich endgültig an den Fertigungstoleranzen des Glättwerks. Selbst unter Einsatz präziser Fertigungstechnologien und Verwendung ausgesuchter Lager für die Walzen, sowie mit einer aufwendigen Lager- und Zapfentemperierung muß man heute immer noch mit Rundlauf-toleranzen im Glättwerk im Bereich von mindestens $5\ \mu\text{m}$ je Walze rechnen. Berücksichtigt man, daß die Walzen gegeneinander arbeiten, so ergibt sich eine maximale Änderung der Glättspaltgröße von $10\ \mu\text{m}$. Will man zum Beispiel eine $100\ \mu\text{m}$ Folie beidseitig glätten, so muß man folglich mit einer Änderung der Größe des Glättspalts im Bereich von 10% rechnen. Geringfügigste Differenzgeschwindigkeiten der beiden Walzen führen dazu, daß alle Zwischenzustände im Laufe eines Produktionsprozesses auftreten.

Mit diesen bei dünnen Folien großen relativen Spaltänderungen ergeben sich erhebliche Änderungen der Kräfte, die im Glättspalt wirken. Es ist leicht nachvollziehbar, daß unter derartigen Umständen ein stabiler Produktionsprozeß unmöglich ist, da sich natürlich mit den Spaltkräften auch die Walzendurchbiegungen ändern. Technologisch stößt man spätestens an diesem Punkt mit den konventionellen Glättverfahren an

Grenzen, die momentan noch unüberwindbar sind.

Will man trotzdem noch dünnere geglättete Folien herstellen, so scheint es angebracht, das Gesamtkonzept generell zu überdenken und einen völlig anderen Weg einzuschlagen.

Umgedacht

Die Überlegungen bezüglich der Rundlauf-toleranzen im Glättwerk, die momentan nicht weiter reduziert werden können, machen eigentlich sehr schnell klar, daß das Problem mit hohen Zuhaltekräften nicht mehr beherrschbar ist.

Auf der anderen Seite eröffnen sich durch Verbesserungen sowohl in der Meß- und Regeltechnik [3] als auch im Bereich der Konstruktion der Extrusionsdüse [4] Möglichkeiten, einen homogenen Schmelzevorhang austreten zu lassen. Damit bildet die Düse einen in seiner Dicke gleichmäßigen Schmelzevorhang. Die Walzen müssen keine Dickstellen im Glättspalt mehr wegdrücken. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß man die Randverdickungen, die beim Ausziehen der Schmelze aus der Düse wegen des Breiteneinsprungs des Schmelzevorhangs zwangsläufig entstehen, vermeidet. In der Praxis geschieht das, indem man durch Reduzierung des Austrittsspalts in den beiden Randbereichen der Düse im Schmelzevorhang Dünnstellen erzeugt, damit die normalerweise vorhandenen Dickstellen am Rand nicht als Abstandshalter für die Glättwalzen wirken.

In diesem Fall verliert das Glättwerk die Funktion, die Schmelzefilm-

dicke über der Breite auszugleichen. Es ist somit auch nicht mehr erforderlich, mit hohen Zuhaltekräften zu arbeiten. Da damit auch die Biegekräfte kleiner werden, kann man auch wieder auf günstigere kleine Walzendurchmesser übergehen. Die Schmelze muß die Walzen nur kurzfristig touchieren. Damit minimieren sich die Spaltkräfte, und somit gelangt man zu einer Walzendurchbiegung, die nicht ins Gewicht fällt [5].

Bei einer solchen Fahrweise werden die Spaltgröße und damit auch die Foliendicke nicht mehr vom Glättwerk, bei dem man die Walzen gegen Endanschläge zustellt, vorgegeben, sondern nur noch von der Dicke des einlaufenden Schmelzevorhangs. Damit bietet sich gleichzeitig auch eine Lösung für das so kritische Problem der Rundlauf-toleranzen im Glättwerk an. Da die Achsen nur mit minimalen Kräften beaufschlagt werden, können sie, wenn sich auf Grund des Walzenschlags zum Beispiel eine minimale Spaltweite einstellen würde, nach hinten ausweichen. Dies hat zur Folge, daß der Walzenspalt sich nicht verringert und daß auch die Kräfte im Spalt konstant bleiben. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß man ein besonderes Augenmerk auf eine möglichst reibungsfreie Lagerung der Walzen in den Seitenschildern des Gestells gelegt hat. Sie ist unabdingbar erforderlich, da sonst die geringen Zustellkräfte nicht ausreichen, ständig den Kontakt zwischen der Schmelze und der Walzenoberfläche aufrechtzuerhalten. Bei einer konventionellen Lagerung übersteigen die Reibungskräfte in den Seitenschildern die minimalen Zuhaltekräfte um ein Vielfaches, so daß Rückstellungen der Achsen unmöglich sind.

Bild 4 zeigt schematisch in der Seitenansicht ein nach den neuen Überlegungen konzipiertes Glättwerk. Es besteht aus einer feststehenden Walze (3a) und einer auf den Seitenschildern (9) in Linearlagern (10) geführten zweiten Walze (3b). Die Zuhaltkraft wird über eine einfache Spiralfeder (11) mit möglichst flacher Federkennlinie aufgebracht. Die jeweils benötigte Vorspannung kann man über eine Gewindebuchse (12) einstellen. Am Ende der Zuhaltvorrichtung ist ein Zylinder (13) angebracht, der beim An- und Abfahren der Anlage den Walzenspalt schließt bzw. öffnet.

Die Spiralfeder mit der flachen Kennlinie in Verbindung mit der Linearlagerführung der Zustellwalze garantiert auf sehr einfache und kostengünstige Weise, daß die Spaltkräfte

beim Glättprozeß immer konstant sind. Alle augenblicklichen Bemühungen auf Seiten der Anlagenbauer um noch präzisere Fertigungsmethoden, um steifere Rahmenkonstruktionen und um noch größere Zuhaltekräfte werden damit überflüssig. Bei den Anlagebetreibern entfällt das Risiko der Beschädigung der extrem teuren Walzenoberflächen durch lokale Überschreitung der zulässigen Flächenpressung.

Skeptiker gibt es immer wieder

Letztendlich ist zur erfolgreichen Umsetzung des neuen vorgestellten Konzepts ein komplettes Umdenken erforderlich. Das Glättwerk, das bisher mit kostenintensiven Modifikationen die entscheidende Rolle spielte, verliert seine zentrale Bedeutung. Das Hauptaugenmerk muß auf die momentan sicherlich noch nicht voll ausgeschöpften Möglichkeiten der Vergleichmäßigung der Dicke des aus der Düse austretenden Schmelzevorhangs gelegt werden. Dazu ist der Einsatz neuester Technologien im Bereich der Düsenkonstruk-

tion, das heißt Verwendung von Folien-düsen mit wirklich flexiblen feinfühlig deformierbaren Lippen (Wanddicke der Lippen über den gesamten Lippenbereich (4 mm) erforderlich. Weitere Verbesserungen können unter Einsatz neuester Meß-, Steuer- und Regelungstechnik, hier insbesondere unter Verwendung der Wulstmeßtechnik zur Düsensteuerung erreicht werden. Gelingt es, den ins Glättwerk einlaufenden Schmelzevorhang in seiner Dicke entsprechend zu vergleichmäßigen, dann können zukünftige Glättwerke zur Herstellung dünner geglätteter Folien einfacher und damit auch betriebssicherer gebaut werden. Skeptiker werden die Aussage, daß Versuche dies bestätigt haben, in Zweifel ziehen. Vergleicht man allerdings Aufwand und potentiellen Erfolg beider Konzepte, so sprechen trotz dieser Zweifel die Perspektiven wohl dafür, sich mit dem neuen Konzept nicht nur theoretisch, sondern doch auch einmal praktisch auseinanderzusetzen.

Literatur

- 1 Hensen, F.; Knappe, W.; Potente, H. (Hrsg.): Kunststoff-Extrusionstechnik II. Extrusionsanlagen. Hanser, München Wien 1986
- 2 Gruber, U.; Mewes, D.: Theoretische Untersuchung des Kalandrierens von Polymeren. Rheology (1991) 10, S. 152-158
- 3 Europäische Patentanmeldung Nr. 0 429 161 A1: Bank Quality Method and Apparatus, Sheet Forming Method and Apparatus, and Sheet Temperature Measuring Method and Apparatus (1990) Masuyuki, Y.; Toshihiko, K.
- 4 Europäische Patentanmeldung Nr. 0 367 022 A2: Verstellbare Extrusionsschlitzdüse (1989) H. Lorenz
- 5 Internationale Patentanmeldung Nr. WO 94/ 00285H.: Vorrichtung zur Extrusion und Glättung von Kunststofffolien (1994) Groß, H.

Der Autor dieses Beitrags

Dr.-Ing. Heinz Groß, geb. 1950, studierte Maschinenbau an der RWTH Aachen. Nach seinem Diplom arbeitete er am Institut für Kunststoffverarbeitung, an dem er 1983 promovierte. Anschließend war er als stellvertretender Leiter der Anwendungstechnik Formmassen bei der Röhm GmbH, Darmstadt, tätig. 1993 trat er als geschäftsführender Gesellschafter in die Hegro Wärmetauschertechnik GmbH, Oerlenbach, ein, die er zusammen mit der Hegler Holding GmbH gegründet hat. Daneben unterhält er in Roßdorf ein Ingenieurbüro. (19050)

Handhabung leicht gemacht

Ein vollautomatisches Profillagersystem von Betec Logistik, Halstenbek, für Kunststoffprofile und Metallstäbe bis zu 7 m Länge mit angeschlossener EDV-Lagerverwaltung ermöglicht Lagerung und Handling auf engstem Raum ohne Personalaufwand.

Die Transport-Kassetten des Profilverstellers können ohne Umpacken mit einem Wagen ins Lager gefahren werden, wo ein Bediengerät sie automatisch auf den vorgesehenen Regalplatz hebt. Bei Bedarf fordert der Werker eine Kassette an, die dann vom Regalbediengerät auf den Auslagerplatz gebracht wird. Das Material zum richtigen Zeitpunkt ohne Wartezeiten am gewünschten Platz und absolute Übersichtlichkeit über die Lagerbestände zu haben, sind weitere Vorzüge. (37146)

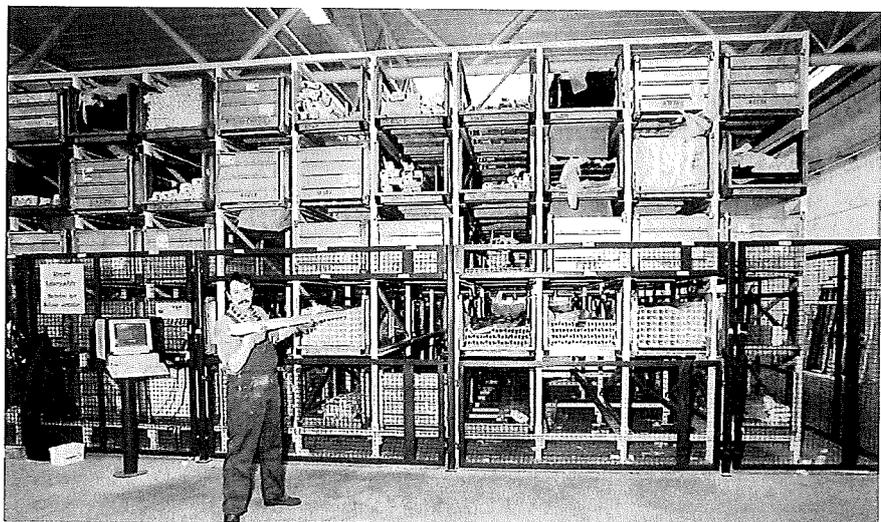


Bild 1. Vollautomatisch: EDV-gestützte Lager-Logistik