

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 16

Artikel: Fertigungskontrolle im Bauwesen: die mikroskopische Gefügeanalyse als Kontrollinstrument in der Materialprüfung und in der Bauüberwachung
Autor: Romer, Bert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74099>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

Fertigungskontrolle im Bauwesen

Die mikroskopische Gefügeanalyse als Kontrollinstrument in der Materialprüfung und in der Bauüberwachung

Von Bert Romer, Beinwil a. See

Die starke Zunahme von Bauschäden und die häufigen Frühzeitschäden an neuen Betonbauwerken beschäftigen nicht allein die Planungs- und Investitionsseite. Es sei hier nur kurz auf die Betonschäden an Brücken- und Strassenbauten aber auch auf den Zerfall von Sandsteinbauten oder auf Bauschäden im Hochbau hingewiesen (Bild 1 und 2). Es ergeben sich deshalb mitun-

am Bauwerk selbst und während der Bauphase durchgeführt wird.

Eine bestimmte Baustoffgüte (Zementgehalt, Festigkeiten) oder eine angestrebte Beständigkeit (Frost, Frosttausalz) oder Dichtigkeit oder Resistenz gegen aggressive Medien wird dadurch erreicht, dass der Baustoff (beispielsweise Beton) entsprechend auf die Forderungen hin konzipiert wird, was somit kon-

wichtig, dass aus dem Informationsgehalt der Gefügeuntersuchung auch Hinweise auf Materialfehler und ihre Ursachen erhalten werden, wodurch sofortige Korrekturmassnahmen möglich werden. Dies bedeutet somit, dass mit Hilfe der gefügeanalytischen Materialprüfung ein Materialkonzept kontrolliert und bis zum Sollwert verfolgt oder optimiert werden kann, es bedeutet aber auch, dass die erforderliche Baustoffgüte, Qualität und Beständigkeit am Bauwerk selbst kontinuierlich überwacht werden kann [5].

Vorgehen

Um den für die erwähnte Anwendung erforderlichen Informationsgehalt aus einer mikroskopisch gefügeanalytischen Untersuchung zu erhalten, sind

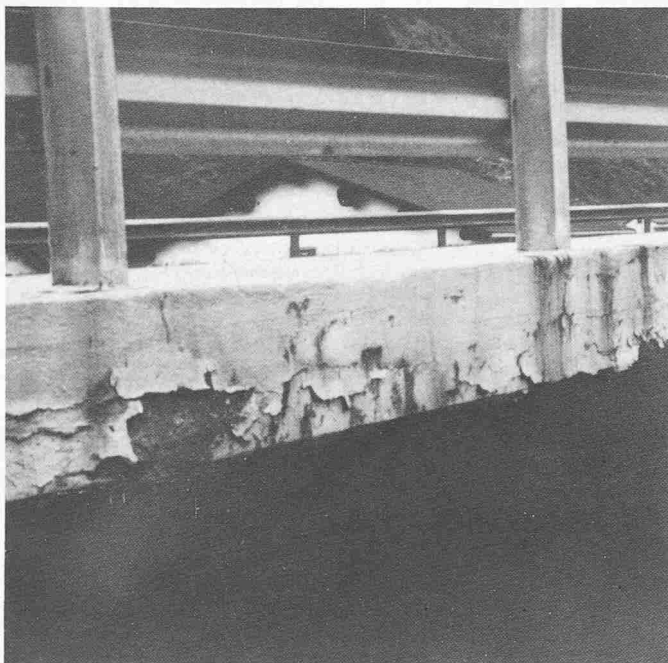


Bild 1. Schadhafte Brücke

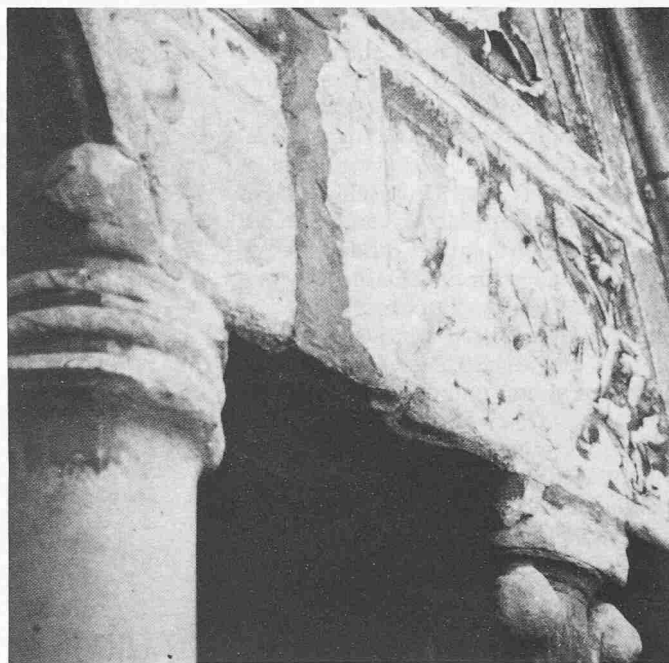


Bild 2. Schadhafter Sandstein

ter neue, aber zumindest konkrete Forderungen zur Sicherstellung der Materialqualität und Beständigkeit bzw. der Langzeitbeständigkeit von Bauwerken. Danebst soll mit zeitgemässen Anforderungen an den Baustoff den zum Teil intensiveren, aber teils auch neuzeitlichen Belastungen begegnet werden. Beispiele: Schwefelverbindungen aus Abluft, Tausalzbelastungen, erhöhte Baustoffanfälligkeit wegen geringerer Dichtigkeit, eine Konzession an moderne Arbeitsmethoden.

Die Sicherstellung von Qualität und von Beständigkeit für den Baustoff und letztlich für das Bauwerk erfordert in erster Linie, dass die zu erwartende Belastungsart durch ein geeignetes Materialkonzept kompensiert werden kann, und zweitens, dass eine gezielte und konsequente Überprüfung der erforderlichen Materialeigenschaften möglichst

krete und ganz bestimmte materialspezifische Eigenschaften erfordert, oder anders gesagt, ein ganz bestimmter Gefügebau muss erreicht werden.

Darin liegt nun auch direkt die gegebene Voraussetzung für eine frühzeitige gefügeanalytische Materialprüfung, die ein wichtiges Bindeglied zwischen den wenigen Prüfdaten, gemessen am frisch gemischten Baustoff und den erst viel späteren mechanisch-physikalischen Prüfergebnissen des erhärteten Baustoffes, darstellt.

Die mikroskopische Gefügeanalyse eines Baustoffes hat somit beispielsweise zur Aufgabe, einen gemischten, verarbeiteten und frisch erhärteten Baustoff so früh wie nur möglich zu Überprüfen, also nachzuweisen, ob die angestrebte Güte, Qualität und Beständigkeit als Resultierende aller baulichen Einflussfaktoren erreicht worden ist. Dabei ist

zwei prinzipielle Vorgehen zu berücksichtigen [1].

1. Die eigentliche Analyse des erhärteten Baustoffes für die Stoffraumverteilung der Gefügekomponten.
2. Die Beurteilung der Morphologie, die als Gefügequalität ausgewertet, den Gesundheitszustand, also allfällige Fehler und Störungen, feststellt und auf ihre Konsequenzen, aber auch auf ihre Ursache hinweist.

Die eigentliche quantitative Gefügeanalyse kann gesamthaft auf alle drei Gefügekomponten eines Baustoffes, also Bindemittel, Zuschlag und Hohlräume, angewandt werden oder lediglich auch nur für eine Einzelkomponente. Aus den analysierten Gefügekomponten und ihren spezifischen Kennwerten kann, meist in Verbindung mit zusätzlichen Kennwerten aus Sättigungsprü-

fungen und Festigkeitsmessungen, eine zu erwartende Beständigkeit diagnostisch bestimmt werden. Selbstverständlich basieren die Grundlagen für die diagnostische Bestimmung einer Beständigkeit aus den Gefügeeigenschaften auf physikalischen Korrelationsprüfungen. Immer jedoch, ob nur eine einzelne Gefügekomponente oder auch das Gesamtgefüge analysiert und allenfalls für eine diagnostische Bestimmung ausgewertet wird, ist die vorerst quantitative Aussage dem Aspekt der parallel beurteilten Morphologie, also der Gefügequalität unterzuordnen, die im 2. Arbeitsgang ermittelt wird. Diese Forderung der gegenseitigen Abhängigkeit zwischen Analyse und Qualität geht aus dem einfachen Zusammenhang hervor, dass eine auf Grund quantitativ analytischer Grössen ermittelte Sache bei einem gesunden, fehlerhaften oder sogar stark gestörten Baukörper zu einem letztlich auch unterschiedlichen Verhalten desselben führen muss.

Wie bei Beton ermittelt eine Gefügeanalyse bei praktisch allen Baustoffen vorerst quantitativ die drei Hauptkomponenten im erhärteten Gefüge: Bindemittel-, Zuschlag- und Hohlraumgehalt. Anschliff- und Dünnschliffpräparate, also immer Flächenschnitte durch den erhärteten Baustoff, bilden die Arbeitsgrundlage für eine Gefügeuntersuchung und sind so zu präparieren, dass der meist erst frisch erhärtete Baustoff durch die Schliffherstellung keinen Schaden nimmt und dass im mikroskopischen Bild sowohl für das menschliche Sehvermögen aber auch für elektronische Bildkameras am Mikroskop eine genügend sichere Unterscheidung der Gefügekomponenten vorliegt [1]. Ohne im Detail auf die verschiedenen kristalloptischen, färbetechnischen sowie auf die spezifisch optischen Differenzierungsmöglichkeiten im Schliffbild näher einzugehen, soll stellvertretend am Beispiel einer Betonuntersuchung mit den Bildern 3 bis 8 eine Gefügeanalyse vorgestellt werden.

Die für die Gefügeanalyse mittels der Fluoreszenzmikroskopie erreichte Gefügedifferenzierung genügt auch für die parallel zur Analyse durchzuführende halbquantitative Beurteilung der Morphologie, also der Gefügequalität eines erhärteten Baustoffes. Nur einige der gesamthaft für die Gefügequalität verantwortlichen Gefügeeigenschaften sind stellvertretend in Bild 8 dargestellt. Die Bilder 3 bis 8 zeigen einen einzelnen Gefügeausschnitt bzw. ein einzelnes Messbild von etwa 2 mm². Für eine eigentliche Gefügeanalyse werden in dessen zwischen 100 und 400 Gefügeausschnitte bzw. Messfelder zusammen analysiert und in den Messdaten aufsummiert. Die Verteilung der auszumessenden Gefügeausschnitte auf den Schliffpräparaten, die Anzahl der Gefügeausschnitte bzw. Messfelder sowie

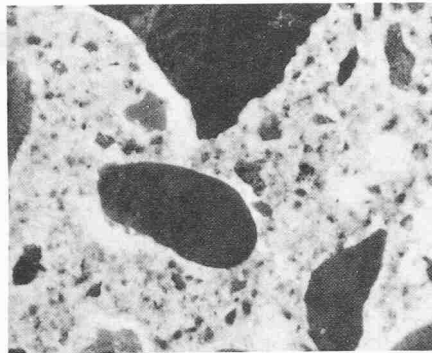


Bild 3. Gefügeausschnitt Beton
Dünnschliff Fluoreszenzmikroskopie Vergr. 30x
Im Mikroskop dargestelltes Gefüge bereit für die Gefügeanalyse TAS

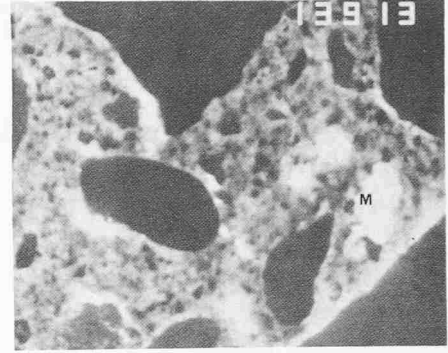


Bild 4. Gefügeausschnitt wie Bild 3
Monitor Messbild TAS mit differenzierten Luftporen
für eine Makroporenanalyse

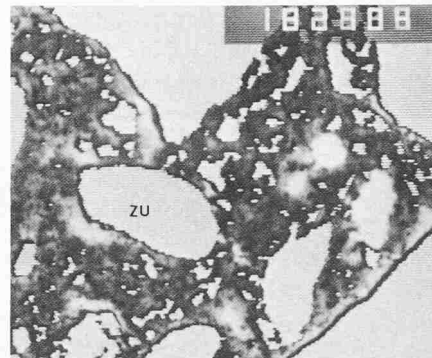


Bild 5. Gefügeausschnitt wie Bild 3
Monitor Messbild TAS mit differenziertem Zuschlaganteil für eine Zuschlaganteilbestimmung

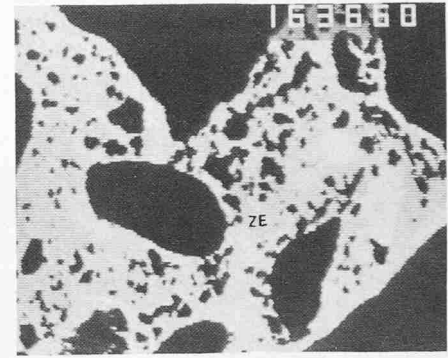


Bild 6. Gefügeausschnitt wie Bild 3
Monitor Messbild TAS mit differenziertem Zementstein inkl. Hohlräumen für die Bestimmung Zement-Wassergehalt einer Betonmischung

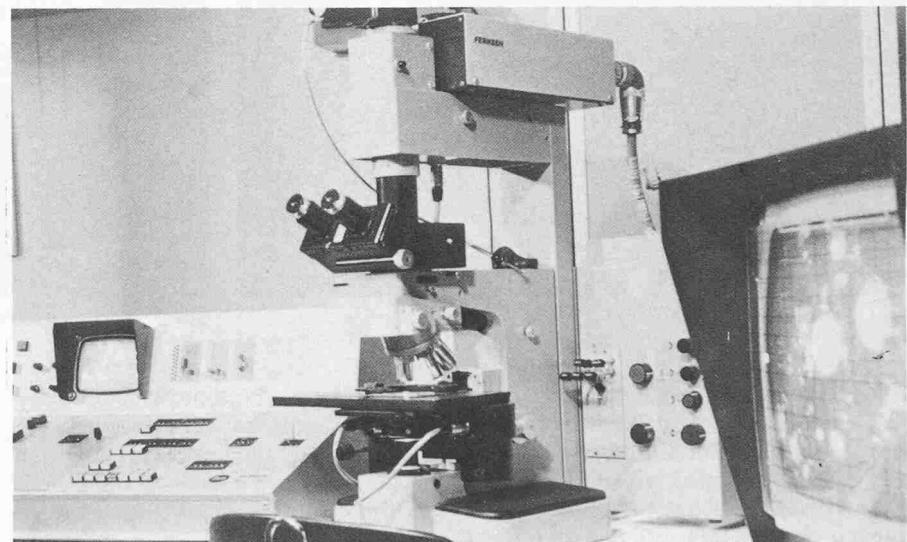


Bild 7. Mikroskop Orthoplan zusammen mit TAS als Bilddatencomputer für die oben dargestellten Gefügeanalysen

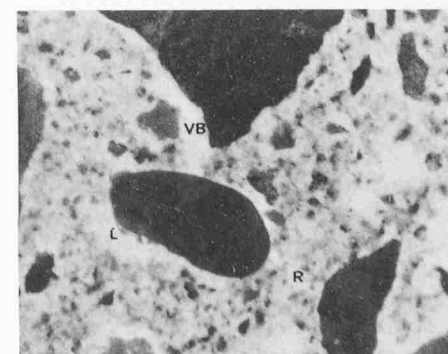


Bild 8. Gefügeausschnitt Beton
Dünnschliff Fluoreszenzmikroskopie Vergr. 30x
R = Zementsteinrisse
VB = Verbundstörung Zuschlag-Zementstein
L = Porenstörung-Lunkern

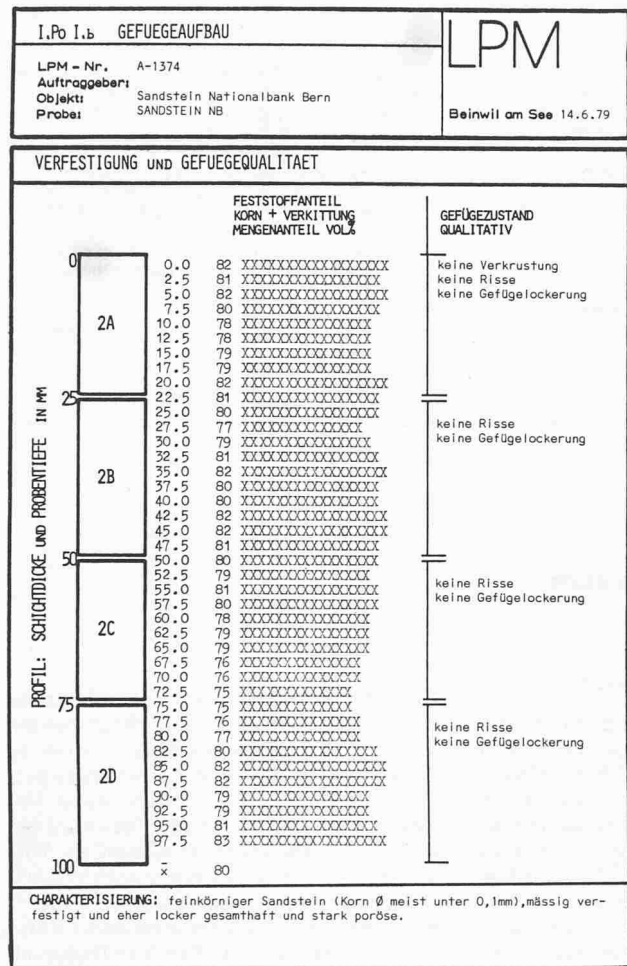


Bild 9. Profilanalyse
Mengenverteilung einer Gefügekomponente über ein bestimmtes Profil im Baustoff
Beispiele:
- Bindemittelanteil und Verteilung
- Zuschlagverteilung - Homogenität
- Porenanteil und Verteilung
- Profilaufzeichnung eines Gefügeanteils, Auflockerung, Auslaugung, Zerfall oder Entmischung usw.

letztlich auch die Anzahl und allenfalls auch die Orientierung der Schlißpräparate erfolgt nach statistischen Kriterien [3].

Aus den aufsummierten Grunddaten einer Gefügeanalyse resultieren die zweidimensionalen flächigen Grössen der Gefügekomponenten für Prozentanteil, Anzahl, Umfang, Abstand, mittlere Grösse usw. In Abhängigkeit von der Anisotropie im Gefüge lassen sich die räumlichen Verhältnisse auswerten. Durch die Anwendung stereometrischer Rechenmodelle können, wiederum in Abhängigkeit von der Anisotropie und von statistischen Gegebenheiten, die räumlichen Äquivalentwerte ermittelt werden. Ohne auch in dieser Beziehung näher auf die verschiedenen Analysenarten und Rechenprogramme einzugehen, zeigen die Bilder 9 und 10 die in der Praxis des LPM-Labors am häufigsten verwendete Analysenform bei Baustoffen.

Nur andeutungsweise sollen im weiteren die nachstehenden Anwendungsbeispiele das Angebot der mikroskopi-

schen Gefügeanalyse innerhalb der Materialprüfung von Baustoffen und Bauwerken aus der täglichen Praxis aufzeigen helfen.

Beton-Mörtel-hydr. Baustoffe

Bestimmung Zementgehalt, Wassergehalt und Qualität
Bestimmung Porengehalt, Porenkennwerte und Qualität
Bestimmung der diagnostisch ermittelten Frostbeständigkeit [2, 6]
Bestimmung der diagnostisch ermittelten Frosttausalzbeständigkeit [2, 5, 6]

Grobkeramik-Backstein-Dachziegel

Bestimmung der Porosität und Qualität [1]

Bitumen-Asphalt

Bestimmung der Stoffraumanteile und Verteilung insbesondere der Porosität und Bindemittel

Zementstabilisierte Böden

Bestimmung der Bindemittel- und Po-

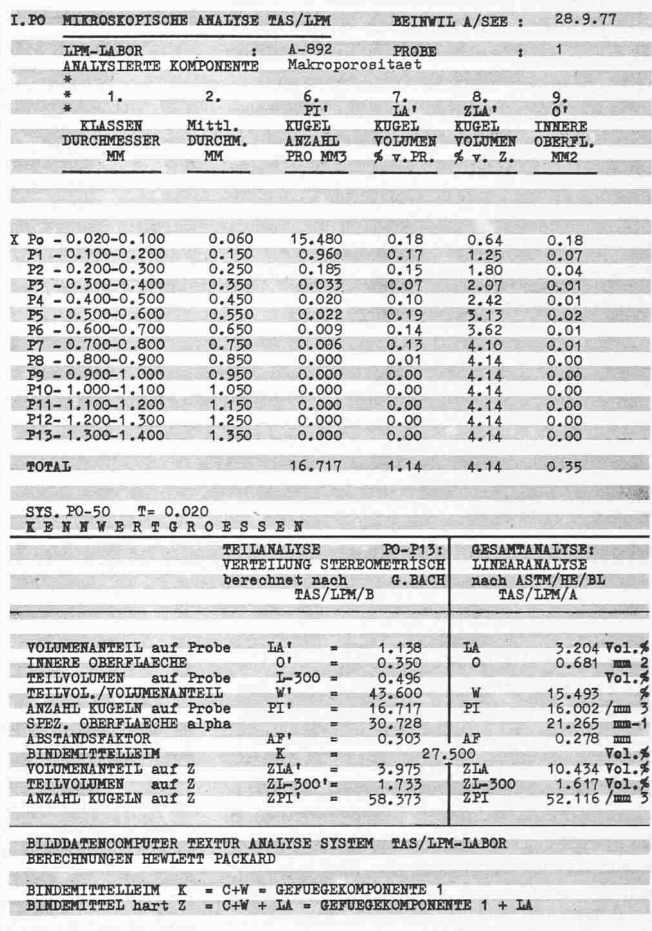


Bild 10. Teilchengrössenanalyse Verteilungsanalyse-Granulometrie
Charakteristische Grössen und Kennwerte eines Gefügeanteils berechnet nach Henning, Blaschke
Verteilungs-Granulometrie und räumliche Äquivalentverhältnisse mit den Kennwerten eines Gefügeanteils berechnet nach G. Bach
Beispiele:
- Porenanteil und Granulometrie sowie Porenkennwerte
- Zuschlaganteil und Granulometrie sowie Kornkennwerte usw.

renverhältnisse [4]
Bestimmung der diagnostisch ermittelten Frostempfindlichkeit und Qualität [4]

Sandstein

Bestimmung der Ver kittungshomogenität und Qualität
Bestimmung der Porenverteilung und Qualität

Kunststoffsyste me

Bestimmung der Poren-Bindemittelverhältnisse, der Homogenität und Qualität

Diese wenigen Anwendungshinweise sollen die vielfältige Anwendungsmöglichkeit sowohl für die Materialprüfung und Bauüberwachung zeigen und gleichzeitig darauf hinweisen, dass mit derselben gefügeanalytischen Untersuchungsart bei Schadenfällen die Schadenursache und die Schadenform sowie das Schadenausmass beurteilt wird, was eine bedeutende Voraussetzung für die erfolgreiche Sanierung von Bauwerken darstellt. Durch die intensiv fortschreitende Grundlagenforschung auf den

Gebieten der Baustoffe an sich und der Analysetechnik erhärteter Baustoffgefüge, werden zusätzlich weitere Möglichkeiten der diagnostisch gefügeanalytischen Bestimmung bestimmter Beständigkeiten und Materialeigenschaften in den Dienst der praktischen Bauüberwachung gestellt werden können.

Adresse des Verfassers: B. Romer, Labor für Präparation und Methodik, Luzernerstr. 445, 5712 Beinwil a. See

Literaturhinweise

- [1] Romer B., Dobrolubov G.: «Angewandte Mikroskopie bei der Baustoffprüfung». Mitt. Wissenschaft und Technik Leitz Bd. VI, Wetzlar
- [2] Dobrolubov G., Romer B.: «Richtlinien zur Bestimmung und Prüfung der Frostauszugsbeständigkeit von Zementbeton». Anhang NORM SNV 640 461 und Strasse und Verkehr Heft 10 und 11 1977 VSS, route et trafic franz. Heft 7 und 8 1977, VSS
- [3] Dobrolubov G., Rey G., Romer B., Wilk W.: «Statistische Beurteilung des analytischen Teils der Bestimmung I der Frostauszugsbeständigkeit von Beton», Richtlinien SNV 640 461 Mitt. Betonstrassen AG, Heft 119, 1979
- [4] Romer B., Balz R. T.: «Bodenstabilisierung mit Zement, Systematische Untersuchung». Strasse und Verkehr, Heft 3, 1979
- [5] Wilk W., Dobrolubov G., Romer B.: «Development in Quality Control of Concrete during Construction». Transportation Research Board 53, Annual Meeting 1974, Record Nr. 504, Washington 1974
- [6] Romer B.: «Bauschäden durch Frühzeitversagen von Bauwerken». Schweizer Baublatt, Heft 43, 1973

Kunststofftechnik

Aluminiumbedampfung von Kunststoffen im Hochvakuum

Einer der bedeutendsten und zugleich ältesten Prägefolienhersteller der Welt hat kürzlich seinen Metallisierungsbereich erweitert. Ausser für Prägefolien werden heute *Kunststoffträger* wie die Polyesterfolie «Mylar» auch für andere dekorative und für technische Produkte bedampft. Mit diesem neuen Betriebszweig will Oeserwerk Ernst Oeser & Söhne KG in Göppingen der Verpackungsbranche und vielen weiteren industriellen Verarbeitern eine wirtschaftliche Alternative zur Aluminiumfolie anbieten.

Das süddeutsche Unternehmen verspricht sich von der Technik der hauchdünnen Aluminiumbedampfung im Hochvakuum aber auch zusätzliche Produkteigenschaften für die *reissfeste Polyesterfolie*. Dazu zählen der *optische Effekt der Metallschicht*, *Licht- und Wärmereflexion* sowie *Sperrwirkung gegen Wasserdampf, Gase und Aromen*. Diese Eigenschaften lassen sich in vielen Anwendungsbereichen wie etwa der Dekoration und Ausstattung, Wärmeisolierung und Sonnenschutz, insbesondere aber der Verpackung vorteilhaft nutzen.

Die Bandbedampfungsanlage im Oeserwerk wird zur Metallisierung beispielsweise mit einer Rolle «Mylar» bestückt und evakuiert. Unter Vakuum wird kontinuierlich umgewickelt und dabei bedampft. Das verdampfte Material kondensiert auf der Folie und bildet einen geschlossenen Film – die Metallschicht. Anschliessend wird belüftet, geöffnet, die bedampfte Rolle entnommen und eine neue eingesetzt. Die Dicke der aufgedampften Aluminiumschicht kann nach diesem Verfahren zwischen 0,01 und 0,1 Mikrometer (μm) beziehungsweise 100 bis 1000 Ångström ($\text{\AA}$) schwanken.

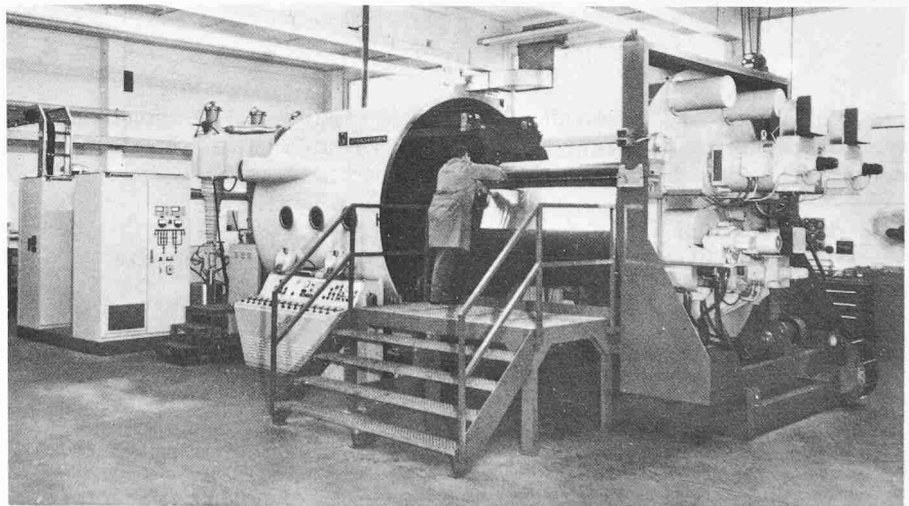
Der neue Produktionszweig in Göppingen liefert Bänder bis zur bemerkenswerten Breite von 1600 Millimetern. Hergestellt wird ein- und beidseitig aluminiummetallisierte Polyesterfolie in Dicken von 12 bis 60 μm ; nach Objektversuchen aber auch andere bedampfte Kunststoffträger wie Polyamid, Polypropylen und Polycarbonat. Hinzu kommen auf Wunsch Schutz- oder Schmucklackierungen – zum Beispiel zur Erzielung von Goldeffekten. Ausser der Herstellung von Fertigfabrikaten übernimmt Oeserwerk die Lohnveredelung von angelieferten Substraten durch Vakuummetallisierung mit oder ohne zusätzliche Lackierarbeiten.

Warum bedampfte Polyesterfolie?

Die Vorzüge der Polyesterfolie «Mylar» liegen für das Oeserwerk in der besonderen Eignung dieses Materialtyps für das Metallisierungsverfahren und in den Produkteigenschaften für die Weiterverarbeitung und den anschliessenden praktischen Gebrauch. Dazu *Rainer Hummel*, Leiter der Abteilung Verkaufsförderung: «Im Vergleich zu Polyäthylen und Polypropylen haftet die Metallschicht auf Polyester auch ohne Vorbehandlung besser. Dieses ist nicht zuletzt für die Herstellung von Verbundfolien für den Verpackungssektor und für Bauabdichtungen von Bedeutung. Ferner gestaltet sich der Wickelvorgang bei diesem Kunststoffträger weniger kritisch, was Produktionsfachleute sicher gern zur Kenntnis nehmen.» Die Fo-

glanz bietet und eine langfristige Nutzung des Reflexionsvermögens der Metallisierung gestattet. Ausserdem wird die Gassperre durch die Bedampfung dieser weichmacherfreien, feuchtigkeitsbeständigen Folie verbessert. Im gleichen Masse ist der weite Bereich der Temperaturbeständigkeit ein Vorteil: Das Material wird heute je nach Einsatzbedingung von -70°C bis etwa $+150^\circ\text{C}$ herangezogen. Oeserwerk metallisiert «Mylar» Polyesterfolie vom Typ A in Dicken ab 12 μm .

Durch die ausserordentlich dünne Bedampfung führen verbundfolienartige Pack- und Ausstattungsmittel im Vergleich zu Aluwalzlaminaten, zumindest vom Metall her gesehen, zu erheblichen Materialeinsparungen. Da die Aluminiumherstellung selbst sehr



Oesers Anlage zur Aluminiumbedampfung von «Mylar» im Hochvakuum. Metallisierte Polyesterfolie findet wegen ihrer Wirtschaftlichkeit, Optik und technischen Produktvorteile immer mehr Zugang in der Dekoration, Wärmeisolierung und Verpackung

lienrolle wird zur Bedampfung in die Vakuumkammer eingefahren und dort metallisiert. Hummel weiter: «Wegen der ausserordentlichen mechanischen Eigenschaften – Riss- und Biegefestigkeit – lässt sich bei «Mylar» auch mit einer verhältnismässig dünnen Folie arbeiten. Und für die Anwendung ist von Bedeutung, dass Polyester eine hohe Transparenz aufweist, die bleibenden

energieaufwendig ist, kann durch die Vakuummetallisierung auch Energie eingespart werden.

Wichtige Verwendungsbereiche für die Metallisierung

Ausser in wirtschaftlichen Erwägungen sieht das Unternehmen in der optischen Wirkung und den technischen Produkteigenschaften