Fertigungskontrolle im Bauwesen: die mikroskopische Gefügeanalyse als Kontrollinstrument in der Materialprüfung und in der Bauüberwachung

Autor(en): **Romer, Bert**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 16

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74099

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://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 mitunter 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 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 konkrete und ganz bestimmte materialspezifische Eigenschaften erfordert, oder anders gesagt, ein ganz bestimmter Gefügeaufbau 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 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 *zwei prinzipielle Vorgehen* zu berücksichtigen [1].

1. Die eigentliche Analyse des erhärteten Baustoffes für die Stoffraumverteilung der Gefügekomponenten.
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 Gefügekomponenten* eines Baustoffes, also *Bindemittel, Zuschlag* und *Hohlräume*, angewandt werden oder lediglich auch nur für eine Einzelkomponente. Aus den analysierten Gefügekomponenten und ihren spezifischen Kennwerten kann, meist in Verbindung mit zusätzlichen Kennwerten aus *Sättigungsprü-*

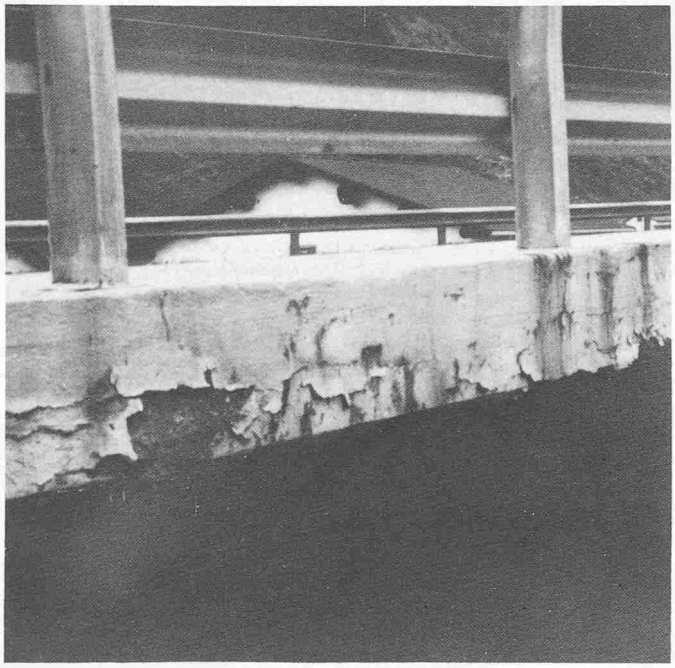


Bild 1. Schadhafte Brücke



Bild 2. Schadhafter Sandstein

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 indessen 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

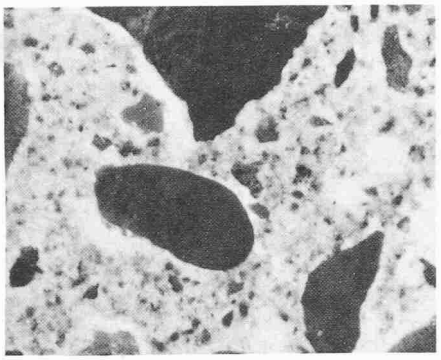


Bild 3. Gefügeausschnitt Beton
Dünnschliff Fluoreszenzmikroskopie Vergr. 30×
Im Mikroskop dargestelltes Gefüge bereit für die Gefügeanalyse TAS

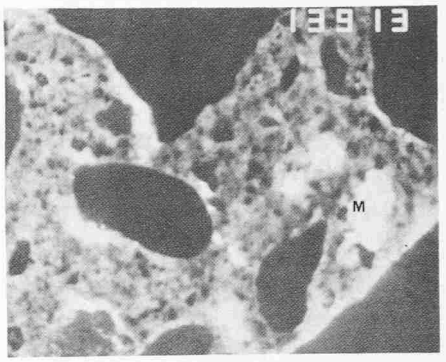


Bild 4. Gefügeausschnitt wie Bild 3
Monitor Messbild TAS mit differenzierten Luftporen für eine Makroporenanalyse

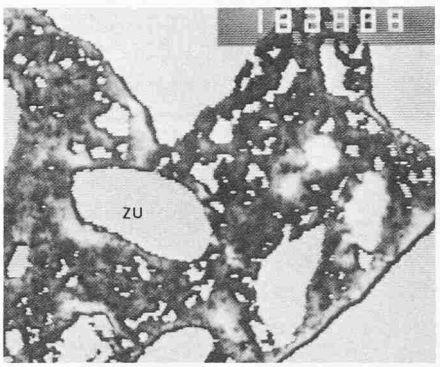


Bild 5. Gefügeausschnitt wie Bild 3
Monitor Messbild TAS mit differenziertem Zuschlaganteil für eine Zuschlaganteilbestimmung

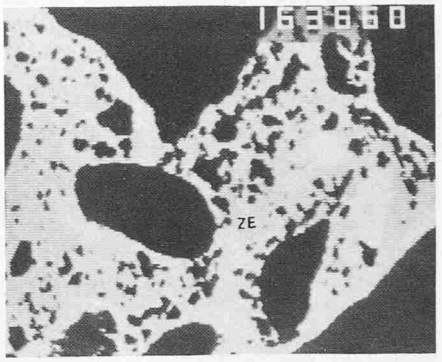


Bild 6. Gefügeausschnitt wie Bild 3
Monitor Messbild TAS mit differenziertem Zementstein inkl. Hohlräumen für die Bestimmung Zement-Wassergehalt einer Betonmischung

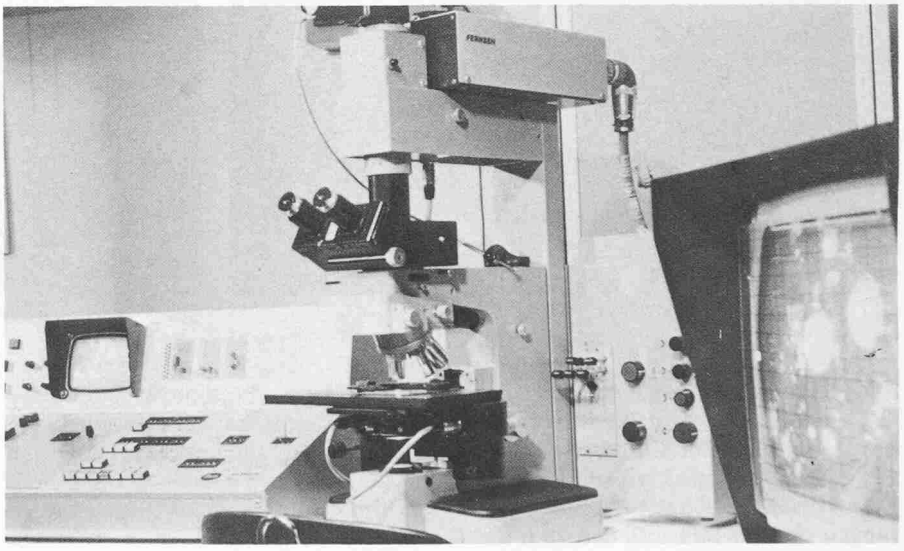


Bild 7. Mikroskop Orthoplan zusammen mit TAS als Bilddatencomputer für die oben dargestellten Gefügeanalysen

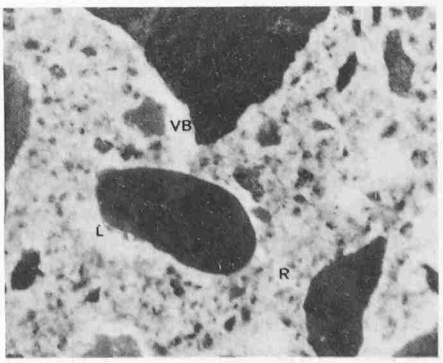


Bild 8. Gefügeausschnitt Beton
Dünnschliff Fluoreszenzmikroskopie Vergr. 30×
R = Zementsteinrisse
VB = Verbundstörung Zuschlag-Zementstein
L = Porenstörung-Lunkern

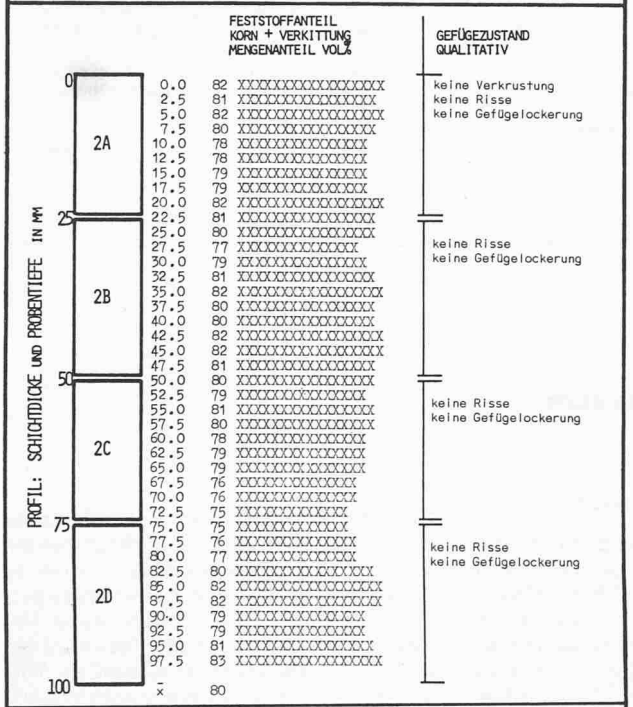
I.Po I.b GEFUEGEAUFBAU

LPM

LPM - Nr. A-1374
Auftraggeber:
Objekt: Sandstein Nationalbank Bern
Probe: SANDSTEIN NB

Beinwil am See 14.6.79

VERFESTIGUNG UND GEFUEGEQUALITAET



CHARAKTERISIERUNG: feinkörniger Sandstein (Korn Ø meist unter 0,1mm), mässig verfestigt und eher locker gesamthaft und stark poröse.

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.*

I.PO MIKROSKOPISCHE ANALYSE TAS/LPM BEINWIL A/SEE : 28.9.77

LPM-LABOR : A-892 PROBE : 1
ANALYSIERTE KOMPONENTE Makroporositaet

	1. KLASSEN DURCHMESSER MM	2. Mittl. DURCHM. MM	6. PI' KUGEL ANZAHL PRO MM3	7. LA' KUGEL VOLUMEN % v.PR.	8. ZLA' KUGEL VOLUMEN % v. Z.	9. O' INNERE OBERFL. MM2
X Po	- 0.020-0.100	0.060	15.480	0.18	0.64	0.18
P1	- 0.100-0.200	0.150	0.960	0.17	1.25	0.07
P2	- 0.200-0.300	0.250	0.185	0.15	1.80	0.04
P3	- 0.300-0.400	0.350	0.033	0.07	2.07	0.01
P4	- 0.400-0.500	0.450	0.020	0.10	2.42	0.01
P5	- 0.500-0.600	0.550	0.022	0.19	3.13	0.02
P6	- 0.600-0.700	0.650	0.009	0.14	3.62	0.01
P7	- 0.700-0.800	0.750	0.006	0.13	4.10	0.01
P8	- 0.800-0.900	0.850	0.000	0.01	4.14	0.00
P9	- 0.900-1.000	0.950	0.000	0.00	4.14	0.00
P10	- 1.000-1.100	1.050	0.000	0.00	4.14	0.00
P11	- 1.100-1.200	1.150	0.000	0.00	4.14	0.00
P12	- 1.200-1.300	1.250	0.000	0.00	4.14	0.00
P13	- 1.300-1.400	1.350	0.000	0.00	4.14	0.00
TOTAL			16.717	1.14	4.14	0.35

SYS. PO-50 T= 0.020
K E N N W E R T G R O E S S E N

			TEILANALYSE VERTEILUNG STEREOMETRISCH berechnet nach G.BACH TAS/LPM/B PO-P13:		GESAMTANALYSE: LINEARANALYSE nach ASTM/HE/BL TAS/LPM/A	
VOLUMENANTEIL auf Probe	LA'	=	1.138	LA	3.204	Vol.%
INNERE OBERFLAECHE	O'	=	0.350	O	0.681	mm 2
TEILVOLUMEN auf Probe	L-300	=	0.496			Vol.%
TEILVOL./VOLUMENANTEIL	W'	=	43.600	W	15.493	%
ANZAHL KUGELN auf Probe	PI'	=	16.717	PI	16.002	/mm 3
SPEZ. OBERFLAECHE alpha		=	30.728		21.265	mm-1
ABSTANDSFAKTOR	AF'	=	0.303	AF	0.278	mm
BINDEMITTELLEIM	K	=	27.500			Vol.%
VOLUMENANTEIL auf Z	ZLA'	=	3.975	ZLA	10.434	Vol.%
TEILVOLUMEN auf Z	ZL-300'	=	1.733	ZL-300	1.617	Vol.%
ANZAHL KUGELN auf Z	ZPI'	=	58.373	ZPI	52.116	/mm 3

BILDDATENCOMPUTER TEXTUR ANALYSE SYSTEM TAS/LPM-LABOR
BERECHNUNGEN HEWLETT PACKARD

BINDEMITTELLEIM K = C+W = GEFUEGEKOMPONENTE 1
BINDEMITTEL hart Z = C+W + LA = GEFUEGEKOMPONENTE 1 + LA

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

letztlich auch die Anzahl und allenfalls auch die Orientierung der Schliffpräparate 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 Aequivalentwerte 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 mikroskopischen 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 Porenverhältnisse [4]
Bestimmung der diagnostisch ermittelten Frostempfindlichkeit und Qualität [4]

Sandstein

Bestimmung der Verkittungshomogenität und Qualität
Bestimmung der Porenverteilung und Qualität

Kunststoffsysteme

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 Analysentechnik 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 Frosttausalzbeständigkeit 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 Frosttausalzbeständigkeit 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 Verpakkung vorteilhaft nutzen.

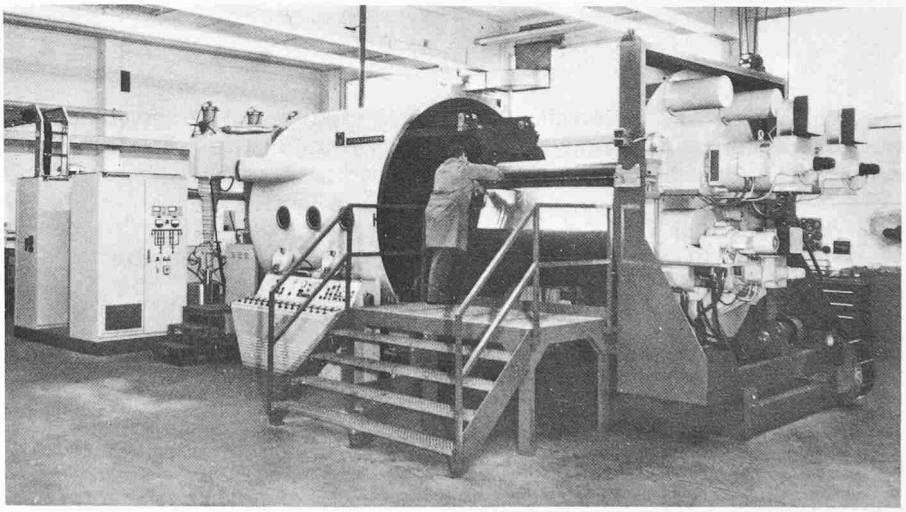
Die Bandbedampfungsanlage im Oeserwerk wird zur Metallisierung beispielsweise mit einer Rolle «Mylar» bestückt und evakuiert. Unter Vakuum wird kontinuierlich umgewickelt und dabei bedampft. Das verdampfte Material kondensiert auf der Folie und bildet einen geschlossenen Film - die Metallschicht. Anschliessend 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 (Å) 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 Polykarbonat. Hinzu kommen auf Wunsch Schutz- oder Schmucklakkierungen - zum Beispiel zur Erzielung von Goldeffekten. Ausser der Herstellung von Fertigfabrikaten übernimmt Oeserwerk die Lohnveredelung von angelieferten Substraten durch Vakummetallisierung 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 Folienrolle 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 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 °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 energieaufwendig ist, kann durch die Vakuummetallisierung auch Energie eingespart werden.



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

Wichtige Verwendungsbereiche für die Metallisierung

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