Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87 (1969)
Heft: 11

Artikel: Lichtmikroskopische Materialprüfung von Kunststoffen
Autor: Sell, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70619

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: 13.12.2025

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

Eine Betrachtung der vorgeschlagenen Prüfungen lässt erkennen, wie für alle Wichtigkeitsstufen sowohl das Material, das benützte Verarbeitungsinventar wie auch das ausführende Personal in ein einziges Prüfsystem zusammengefasst sind. Das spezifische Gewicht, die Verarbeitungszeit (Potlife) und die Festigkeit liefern eine erste Übersicht über den Kleber selbst, so wie ihn die Baustelle herstellte. Die optische Betrachtung der Leimfuge und die Beurteilung der Bohrkerne (evtl. Spaltzugfestigkeit messen) erteilt Auskunft über die Qualität der gesamten Fugenausbildung. Diese Grundelemente gestatten dem Bauleiter, seine vorgesehene Aufgabe zu erfüllen.

Das hier dargestellte Bild des gegenwärtigen Standes zeigt natürlich nur eine äusserst beschränkte, frei getroffene Auswahl aus der grossen Zahl von Gesichtspunkten. Es ist klar, dass die Zukunft in rascher Folge manche Neuigkeit bringen wird. Sicher aber wird auch weiterhin die Notwendigkeit der engen Zusammenarbeit zwischen dem Projektverfasser, dem Unternehmer und dem Bauleiter bestehen bleiben.

Adresse des Verfassers: *P. Kelterborn*, dipl. Ing. ETH, Rainstr. 372, 8706 Feldmeilen.

Lichtmikroskopische Materialprüfung von Kunststoffen

DK 679:56:620.19:53.085.332

Von **J. Sell**, Abteilung für Holz und Kunststoffe der EMPA, Dübendorf

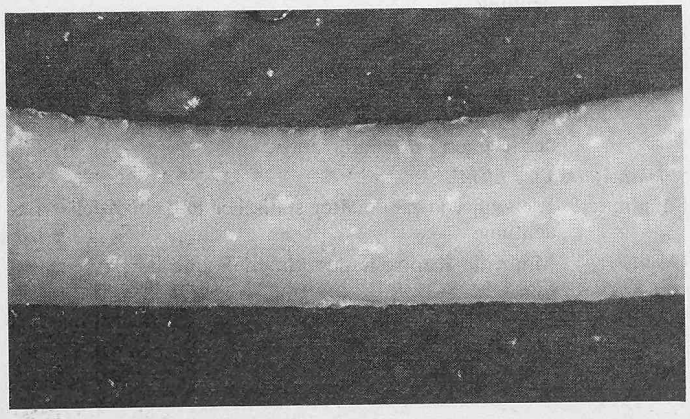
Einleitung

Die Anwendung der Kunststoffe in der Bautechnik ist noch relativ jung. Die ausserordentliche Vielfalt der chemischen Grundmaterialien der Kunststoffe, die Tendenz, durch Zusätze mannigfacher Art die Verarbeitungs- und Anwendungseigenschaften zu ändern, die Möglichkeit namhafter Streuungen und Einflüsse, die aus dem Verarbeitungsverfahren erwachsen u. a. m., machen dem Projektierenden und dem Verarbeiter die Materialwahl und -beurteilung sehr schwierig. Wenn auch die makroskopische Betrachtung manchmal Anhaltspunkte zur Beurteilung der Verarbeitungsqualität liefern kann, so sind die Möglichkeiten der raschen Erkennung und Bewertung von Materialfehlern begrenzt und noch wenig ausgebaut.

Wo man praktisch nicht ohne weiteres zu einer apparativen Ermittlung spezifischer Eigenschaften schreiten kann, bietet die mikroskopische Untersuchung auf andern Materialgebieten oft relativ einfache Handhaben zur Erkennung spezifischer Strukturmerkmale und Materialfehler [1]. So sind auch an der EMPA erste Versuche, die Lichtmikroskopie bei der Untersuchung von Kunststoffen einzusetzen, recht positiv ausgefallen. Es schien daher gerechtfertigt, solche Untersuchungsmöglichkeiten anhand einiger Beispiele zu erörtern, hauptsächlich im Sinne einer Anregung, die auch für den Baufachmann und den Verbraucher von Kunststoff-Halbfabrikaten aufschlussreich sein kann. Je mehr eine unmittelbare Vorstellung von der Struktur der oft undifferenziert und nicht oder wenig strukturiert aussehenden Kunststoffe geschaffen wird, um so besser wird der Verbraucher mit der Zeit auch diese neuen Materialien in die Hand bekommen.

Lichtmikroskopische Verfahren

Eine mikroskopische Beobachtung von Materialteilen ist im Auflicht und, wenn das Material transparent oder zumindest durchscheinend ist, im Durchlicht möglich. Zunächst ist es meist am einfachsten und auch anschaulichsten, das Objekt bei nicht zu starker Vergrösserung (höchstens 50fach) im Auflicht, am besten mit Hilfe eines Stereomikroskopes zu betrachten. Die hierbei gewonnenen Beobachtungen können entscheiden, ob umfangreichere mikroskopische oder auch andere Untersuchungen zweckmässig sind. Geeignete Instrumente geben im weiteren dann die Möglichkeit, das Präparat bei Hell- oder Dunkelfeldbeleuchtung im Auflicht bzw. im Durchlicht zu prüfen. Die Dunkelfeldbeleuchtung erlaubt es, farblose Objekte mit feinsten Strukturen auch quantitativ zu erfassen. Sehr wirksam im Hinblick auf die Kontraststeigerung farbloser Objekte kann auch das Phasenkontrastverfahren sein. Eine besondere Stellung nimmt schliesslich die polarisationsoptische Mikroskopie ein, die auch bei Kunststoffen vielerlei Kenntnisse über Struktur und Spannungen eines Körpers vermitteln kann [2]. Wenn die Moleküle ausgerichtet bzw. die Struktur eines Objektes anisotrop ist, so beeinflusst dies



Bilder 1 bis 3. Querschnittsteile von PTFE-Dichtungsringen

In Bild 1 sind bereits bei Auflichtbeleuchtung des in Epoxydharz eingebetteten Objektes Gefügestörungen zu erkennen. Diese werden in einem Dünnschnitt im Durchlicht (Bild 2) noch deutlicher. Bild 3 zeigt einen Dünnschnitt eines einwandfreien Ringes. Vergrösserung etwa 40:1

Bild 1 (oben)

Bild 2 (unten)

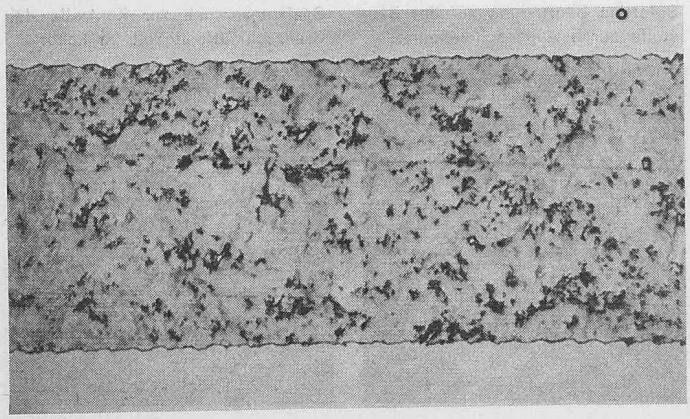
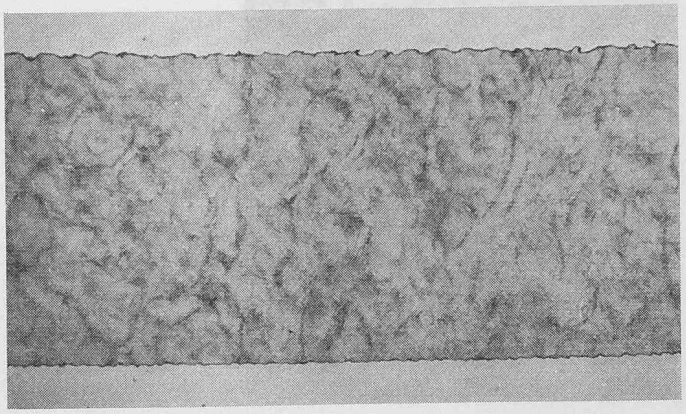


Bild 3



den Polarisationszustand des polarisierten Lichtes. Es findet Doppelbrechung statt, was sich durch ein farbiges oder weisses Aufleuchten des Objektes deutlich macht. Ein Kunststoffteil kann anisotrop sein und somit das polarisierte Licht doppelt brechen, weil:

- die einzelnen Moleküle selbst anisotrop sind,
- im Verlaufe der Herstellung (zum Beispiel beim Kalandrieren, Extrudieren oder Spritzgiessen von Thermoplasten) eine Ausrichtung der Moleküle verursacht wird, oder
- im Körper Spannungen, zum Beispiel nach einer Formänderung, Schrumpfung oder nach ungleichmässiger Abkühlung bei der Fertigung zurückgeblieben sind (Spannungsdoppelbrechung).

Diese Erscheinungen können nebeneinander auftreten. Sie sind hinsichtlich ihrer Ursachen, insbesondere in den beiden letzten Fällen, oft nicht voneinander zu trennen.

Sehr nützlich ist vielfach die Untersuchung von Kunststoffteilen im ultravioletten Licht, nachdem diese mit Fluoreszenzmitteln behandelt wurden, sofern nicht schon eine Eigenfluoreszenz vorhanden ist. Wenn das Fluoreszenzmittel zum Beispiel kapillar in Risse einzieht, lassen sich auf diese Weise Rissbildungen im Material besonders deutlich machen.

Präparation

Für die Auflichtuntersuchung und für die Durchlichtbetrachtung ausreichend lichtdurchlässiger Körper ist bei geringer Vergrösserung oftmals keine besondere Präparation notwendig, wenn man davon absieht, dass durch Anfärbungen oder Anätzungen Strukturen und Rissbildungen hervorgehoben werden können. Stärkere Vergrösserungen erfordern jedoch in der Regel sauber geebnete Präparate; dies ist durch Bearbeitung mit Ziehklinge oder Hobel, durch Schleifen oder durch Glätten der Oberfläche mit dem Mikrotom zu erreichen.

Der Präparationsaufwand für die Mikroskopierung dünner, durchsichtiger Objekte im Durchlicht ist im allgemeinen grösser. Insbesondere das Herstellen von polierten Dünnschliffen kann viel Zeit erfordern und hat ausserdem den Nachteil, dass unter Umständen Fremdkörper in das Objekt gedrückt werden. Grosse Vorteile bietet dagegen bei praktisch allen Kunststoffen die Anfertigung von Dünnschnitten mit Hilfe des Mikrotoms. Je nach Härte und Schneidbarkeit, die beträchtlich variieren, können besonders geeignete Mikrotommesser, bestimmte Messerschliffe, Span- und Einstellwinkel usw. gewählt werden.

Während sich viele Kunststoffpräparate ohne besondere Vorbehandlung in den Objekthalter des Mikrotoms einspannen lassen, müssen zu kleine oder zu weiche Objekte eingebettet bzw. versteift werden. Dies kann durch Einklemmen zwischen harte Schaumstoffbacken oder durch Eingiessen in hartes Paraffin erreicht werden, wobei diese Hilfsmaterialien mitgeschnitten werden. Bei eigenen Präparationen hat sich auch die Einbettung in ein handelsübliches Epoxidharz bewährt, welches sich ebenfalls gut schneiden lässt; zur Erhöhung des Kontrastes ist das Harz auf einfache Weise anfärbbar. In dieser Einbettung können sogar dünne Filme sauber quergeschnitten werden. Sehr weiche oder gummiartige Materialien sind meist im gefrorenen Zustand genügend hart und gut schneidbar, weshalb ein kühlbarer Objekthalter am Mikrotom gelegentlich von Nutzen ist. Diese Aufzählung gibt selbstverständlich nur einige von zahlreichen Möglichkeiten der Kunststoffpräparation wieder.

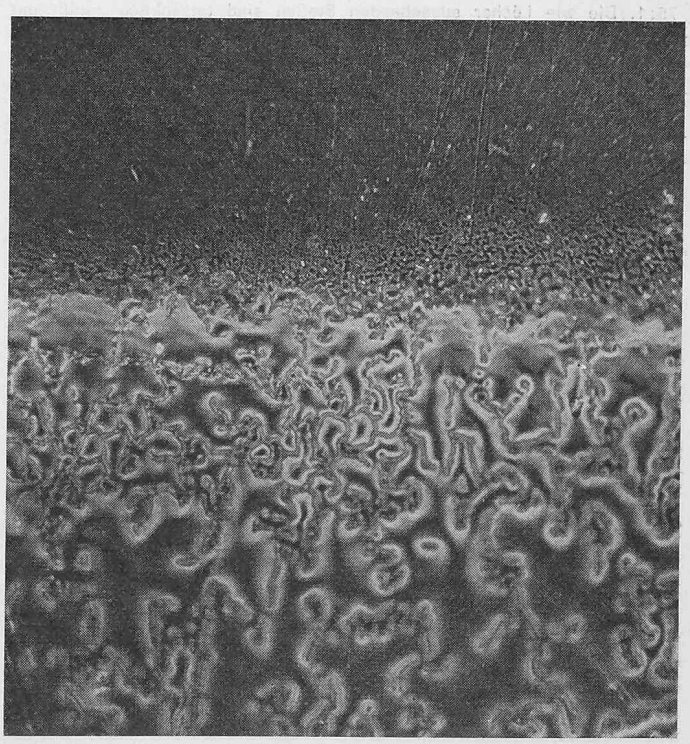
Einige praktische Beispiele

Die Mikrophotographien in den Bildern 1 bis 3 zeigen ausschnittweise die Querschnitte verschiedener *Dichtungsringe* aus einem *Polytetrafluoräthylen* (PTFE). Ringe einer bestimmten Lieferung hatten rasch versagt, da sie sich unter an sich nicht zu hohen Betriebsdrücken und -temperaturen verhältnismässig stark verformten. Messungen der Dichte des PTFE aus den verschiedenen Lieferungen ergaben keine Hinweise auf eine stoffliche Verschiedenartigkeit. Die Ermittlung von Festigkeitswerten, beispielsweise der Druckfestigkeit, wäre wegen der kleinen Abmessungen der Ringe versuchstechnisch auf Schwierigkeiten gestossen oder zumindest aufwendig gewesen. Dagegen zeigte sich schon bei geringerer Vergrösserung unter dem Mikroskop, dass das PTFE aus der beanstandeten Lieferung zahlreiche Gefügestörungen, oft sogar regelrechte Löcher aufwies; bei dem anderen Material war dies praktisch nicht der Fall. Wenn auch diese Beobachtungen nicht ohne weiteres den Schluss zuliessen, dass die Gefügestörungen unmittelbar und allein für das Fehlverhalten einzelner Dichtungsringe verantwortlich waren, konnte doch angenommen werden, dass während des verhältnismässig schwierigen Herstellprozesses des PTFE bei der fraglichen Charge Störungen aufgetreten waren, die nachteilige Veränderungen der Werkstoffeigenschaften wie die mangelhafte Formbeständigkeit zur Folge hatten.

Weichgemachte Folien aus Polyvinylchlorid (PVC) werden oft der freien Bewitterung ausgesetzt, so zum Beispiel auch als Klarsichtscheiben für seitliche Fenster in Fahrerkabinen von Traktoren. Bei einer solchen Anwendung der PVC-Folien muss man sich über ihre unter Umständen verhältnismässig geringe Lichtbeständigkeit im klaren sein, die sich auch durch chemische Stabilisatoren nur in Grenzen verbessern lässt [3]. Die «Lichtalterung» des Polyvinylchlorids äussert sich optisch vor allem in einer mehr oder minder raschen Vergilbung und in einer von der bewitterten Oberfläche ausgehenden Rissbildung und Versprödung, was schliesslich zu einem Verlust der Transparenz führen kann. Dieser tritt um so rascher ein, je intensiver die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht ist. Offensichtlich wird der Vorgang durch Temperaturerhöhung auch im Rahmen aussenklimatischer Verhältnisse sehr beschleunigt [4]. Die Lichtbeständigkeit der PVC-Folien lässt sich durch künstliche UV-Bestrahlung prüfen und ungefähr abschätzen, wenn man Vergleichsfolien bekannter Eigenschaften mitbestrahlt. Bild 4 zeigt einen mikrophotographischen Ausschnitt aus einer makroskopisch bereits stark vergilbten und undurchsichtig gewordenen PVC-Folie nach 300stündiger Bestrahlung mit Mischlicht (ultraviolettes, sichtbares und ultrarotes Licht). Zu sehen ist, wie intensiv Weichmacher aus dem bestrahlten Teil der Folie ausgetreten ist. Im Freien dürfte deshalb an der Folienoberfläche Staub haften bleiben und eine zusätzliche Trübung durch Verunreinigung verursachen.

Sogenannte drucklose *Rohre* aus PVC werden sehr oft als Abwasserleitungen in Gebäuden eingesetzt. Hierbei ist u. a. zu beachten, dass zuweilen warmes oder sogar heisses Wasser durch die Leitungen fliesst und die Rohrwandungen erwärmt. Da die Wärmedehnung von Kunststoffen im allgemeinen recht gross ist

Bild 4. Mit ultraviolettem, sichtbarem und ultrarotem Licht bestrahlte PVC-Folie. Nach 300 h Bestrahlungsdauer ist im bestrahlten Bereich (untere Bildhälfte) intensiv Weichmacher flüssig ausgetreten. Vollständiger Folienquerschnitt im Durchlicht; Phasenkontrastverfahren. Vergrösserung etwa 80:1



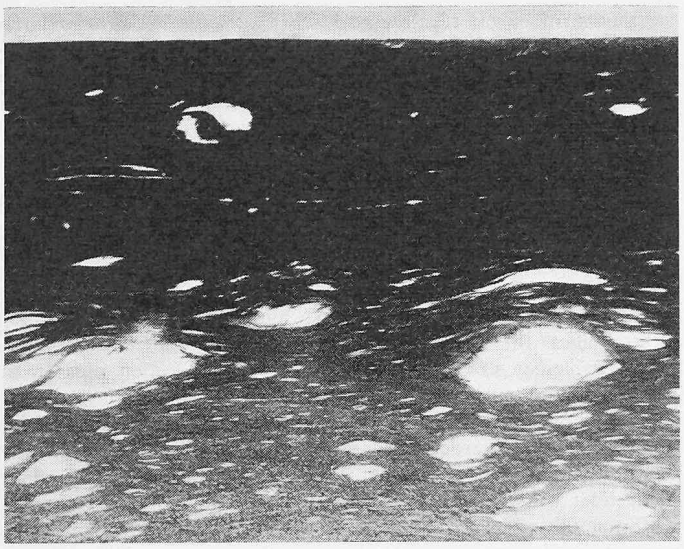
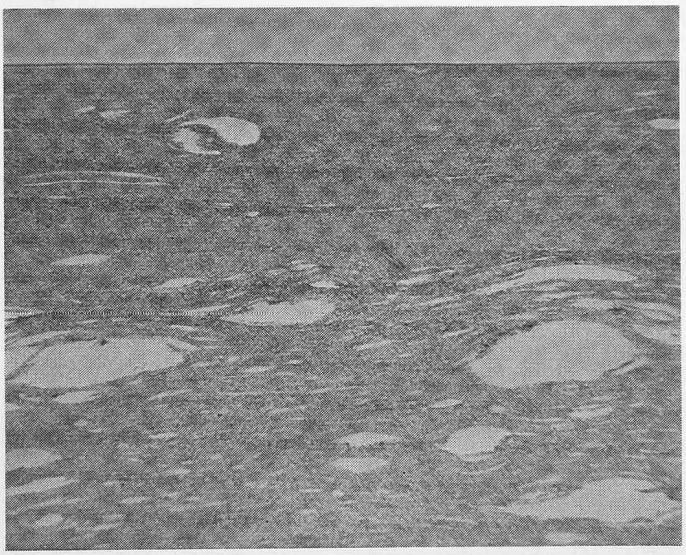
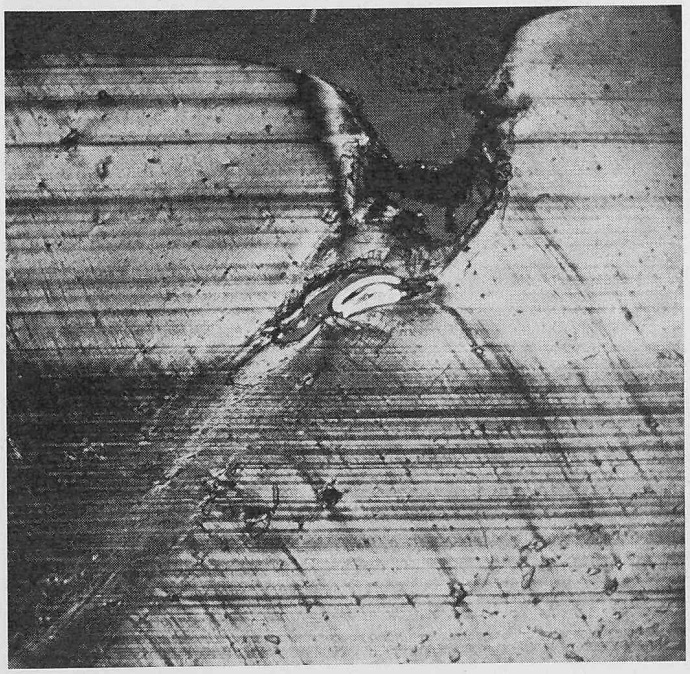


Bild 5 (oben) Bild 6 (unten)



Bilder 5 und 6. Längsschnitt einer Hart-PVC-Rohrwand mit «eingefrorenen» Spannungen in Bild 5 (dunkle Stelle), und praktisch spannungsfrei nach einer einminütigen Temperung des Dünnschnittes bei 90 ° C, Bild 6. Gleiche Aufnahmebedingungen, Durchlicht, Vergrösserung rund 75:1. Die wie Löcher aussehenden Stellen sind tatsächlich gefüllt mit pigmentfreier Substanz, welche keine Spannungen enthält



(PVC: 8 bis 9 · 10^{-5} m/m ° C), muss in solchen Fällen mit unter Umständen beträchtlichen Dilatationen und bei deren Behinderung mit Druckspannungen gerechnet werden. Da anderseits die Festigkeiten der Thermoplaste mit zunehmender Erwärmung verhältnismässig rasch abnehmen, können auf diese Weise Verformungen verursacht werden.

Darüber hinaus können sich hinsichtlich der Wärmeformbeständigkeit von thermoplastischen Kunststoffen «eingefrorene», innere Spannungen nachteilig auswirken, wenn diese infolge ungünstiger Herstellungsbedingungen zu gross sind. Solche Spannungen entstehen beispielsweise beim Extrudieren von Rohren, weil die in der Schmelze beweglichen Kunststoffmoleküle orientiert und verformt werden. Bei einer raschen Abkühlung der Schmelze können sich die Molekülorientierungen und -deformationen nicht mehr völlig ausgleichen und werden eingefroren. Solchen Orientierungsspannungen überlagern sich meist «Abkühlspannungen». Diese haben ihre Ursache darin, dass die thermischen Bedingungen und damit auch die Wärmedilatation oder -kontraktion im Bereich der inneren und äusseren Oberfläche zum Beispiel eines Rohres beim Abkühlen und noch beim Unterschreiten der Einfriertemperatur unterschiedlich sind und daher die zuerst abgekühlte Wandschicht die später abkühlende bei der Kontraktion behindert [5].

Die eingefrorenen elastischen Spannungen äussern sich optisch in einer im polarisierten Licht sichtbaren Orientierung der Moleküle, was bei vielen Thermoplasten ausserdem eine je nach Grösse der Spannungen mehr oder minder ausgeprägte Veränderung der Lichtabsorption bzw. -reflexion zur Folge hat. Dies dürfte die massgebliche Ursache der Weissfärbung kaltverstreckten bzw. mit eingefrorenen Spannungen behafteten, weichmacherfreien Polyvinylchlorids und anderer Thermoplaste sein. Bei Durchlichtbetrachtung erscheinen solche weissen Zonen nahezu undurchlässig für sichtbares Licht, also praktisch schwarz.

Materialanisotropien der geschilderten Art sind oft erwünscht (zum Beispiel bei gereckten Fasern und Folien) bzw. unvermeidbar (beim Spritzgiessen, Extrudieren usw.). Sie sind bei Thermoplasten durch Erwärmung über die Einfriertemperatur weitgehend reversibel, wobei der Kunststoffkörper bis auf eine mehr oder minder geringe, bleibende Verformung elastisch «rückdeformiert». Bei den erwähnten Rohren aus Hart-PVC sind namhafte Rückdeformationen bei Erwärmung infolge zu grosser eingefrorener Spannungen unter Umständen nachteilig. Die Bilder 5 und 6 zeigen einen Dünn-Längsschnitt des innern Teils einer PVC-Rohrwand mit einer verhältnismässig grossen, auf der Innenseite liegenden Zone mit eingefrorenen Spannungen *vor* und praktisch spannungsfrei sowie etwas «rückdeformiert» *nach* dem Einwirken einer Temperung bei 90 ° C.

Druckrohre, zum Beispiel aus *Polyäthylen* (PE), sollten möglichst keine zu grossen Gefügestörungen, Fremdstoffverunreinigungen oder gar gasgefüllte bzw. leere Hohlräume haben. Bei Innendruck-Beanspruchungen können sich an solchen Stellen Spannungsspitzen ausbilden, die eine frühzeitige Materialermüdung zur Folge haben. In Bild 7 ist ein Dünnquerschnitt des innern Teils der Wandung eines PE-Rohres zu sehen, welches an anderen Stellen geborsten war. Das Rohr war offensichtlich unsauber extrudiert, enthielt sogar Holzsplitter als Einschlüsse und wies auf der inneren Oberfläche zahlreiche Unebenheiten und Einbuchtungen auf, die schliesslich zum Versagen führten.

Zusammenfassung

Nach einigen Angaben über Art und Anwendung mikroskopischer Untersuchungsverfahren und nach kurzer Beschreibung von Präparationsmethoden wurden die folgenden Beispiele für die mikroskopische Prüfung von Mängeln und Schäden an Teilen aus Kunststoffen gegeben: undicht gewordene PTFE-Dichtungsringe mit Gefügestörungen, durch Weichmacheraustritt verur-

Bild 7 (links). Etwa 1 mm breite Einbuchtung mit Verunreinigungen (vermutlich Fremdstoffe) auf der Innenwand eines PE-Druckrohres. Im polarisierten Licht sind die von der Unebenheit schräg nach aussen verlaufenden Spannungsspitzen zu erkennen. Die quer und parallel verlaufenden Linien sind die Mikrotommesser-Riefen. Dünnschnitt (quer) auf Scotchband befestigt, Vergrösserung rund 18:1

sachte Trübung einer künstlich bestrahlten PVC-Klarsichtfolie, «eingefrorene» Spannungen in einem PVC-Installationsrohr und Spannungsspitzen im Bereich von Gefügestörungen in einem PE-Druckrohr.

Literaturverzeichnis

[1] *A. Schwittmann* und *H. Oberst:* Gefüge-Untersuchungen von Kunststoffen, aus: *R. Nitsche* und *K. A. Wolf,* Kunststoffe, Bd. 2, praktische Kunststoffprüfung, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1961.

[2] *S. Wintergerst:* Die Polarisationsoptik im Dienst der Untersuchung von Kunstharzteilen. «Kunststoffe» *43* (1953), H. 10, S. 415—417.

[3] *J. Voigt:* Die Stabilisierung der Kunststoffe gegen Licht und Wärme. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York 1966.

[4] *H. Dorn* und *K. Egner:* Dauerstandverhalten von grossformatigen Kunststoff-Dachplatten unter ungehemmtem Witterungseinfluss, 2. Teil, «Kunststoffe im Bau» 1967, H. 7, S. 75—82.

[5] Badische Anilin- und Sodafabrik AG: Kunststoffphysik im Gespräch, 2. Auflage, Ludwigshafen 1968.

Adresse des Verfassers: *J. Sell,* Abt. für Holz und Kunststoffe der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), 8600 Dübendorf, Überlandstrasse 129.

Vorgespannte und vorfabrizierte Brücke in Leca hade-Beton der Portlandcementwerk AG, Olten

DK 624.21:666.974.3

Von **Marcel Desserich** und **Paul Baumann,** dipl. Bauingenieure ETH SIA, im Ingenieurbüro Desserich und Funk, Luzern, und **Robert Weiss,** dipl. Bauing. ETH SIA, Portlandcementwerk AG, Olten

1. Allgemeines

Im Januar 1967 wurde auf dem Areal der Portlandcementwerk AG, Olten, eine vorgespannte, vorfabrizierte Verbindungsbrücke auf hohen Stützen zwischen zwei Fabrikationsabteilungen montiert. Die Brücke dient als Fussgängersteg und zur Aufnahme eines Stahlplattenbandes für den Klinkertransport der Zementfabrik. Die Betonträger von 22,30 m Länge wurden in Leichtbeton hergestellt und im Spannbett vorgespannt. Sie setzen einen Markstein in der Geschichte der Verwendung von Leca hade-Leichtbeton in der Schweiz (Leca ist die Abkürzung für «Light expanded clay aggregate», hade bedeutet hohe Druckfestigkeit).

2. Der Baustoff

2.1 Leca hade-Leichtbeton

Nachdem sich seit vielen Jahren der Leca-Leichtbaustoff[1]) seinen Platz als isolierendes und statisch beanspruchbares Material für vorfabrizierte Elemente und Schüttbetonbauten (u.a. 14stöckige Hochhäuser, grosse Bauten in Sichtbeton usw.) auf dem schweizerischen Baustoffmarkt erobert hatte, wurde ein noch druckfesterer Leca-Blähton entwickelt und geprüft, das sogenannte Leca hade. Leca hade zeichnet sich gegenüber dem bisher gebräuchlichen Leca durch eine erhöhte Eigenfestigkeit der Körner und des damit hergestellten Betons aus. Leca hade entspricht damit den vom amerikanischen «Expanded Shale Clay and Slate Institute» aufgestellten Bedingungen. Es gelten somit auch die entsprechenden amerikanischen Materialdaten und Erfahrungswerte (Tabellen 1 bis 4).

[1]) Vgl. SBZ 1958, H. 39, S. 583; 1961, H. 9, S. 140 und H. 44, S. 761; 1966, H. 6, S. 125.

2.2 Materialkennwerte für die Berechnung der Brückenträger

Im vorliegend beschriebenen Ausführungsbeispiel wurden die in den Tabellen 3 und 4 enthaltenen Material-Kennwerte in die statische Berechnung eingeführt. Sie beruhen auf Vorversuchen, ausgeführt an verschiedenen Materialprüfanstalten und im Labor der Portlandcementwerk AG, Olten, sowie auf den amerikanischen Versuchs- und Erfahrungswerten an gleichwertigen Blähtonen.

3. Planung

3.1 Einführung

Der vorgespannte Leca-hade-Beton stellt keine neuen statischen Probleme; hingegen müssen die Grundsätze der Berechnung dem neuen Baumaterial angepasst werden. Für die Berechnung mussten

Tabelle 1. Heute in der Schweiz gebräuchliche Leca-Blähton-Qualitäten, Korngruppen und Raumgewichte (± 10 % Gewichtstoleranz)

Korngruppe		Leca Raumgewicht	Leca hade Raumgewicht
Leca	0– 3 mm	700 kg/m³	
Leca	3–10 mm	380 kg/m³	
Leca	10–20 mm	330 kg/m³	
Leca hade	0– 3 mm		850 kg/m³
Leca hade	3– 8 mm		800 kg/m³
Leca hade	8–15 mm		750 kg/m³

Tabelle 2. Trockenraumgewichte und Würfeldruckfestigkeiten von Leichtbeton aus verschiedenen Leca-Qualitäten

	Leichtbeton mit Zuschlagstoff Leca		Leichtbeton mit Zuschlagstoff Leca hade	
Trockenraumgewicht des Leichtbeton	Zementgehalt	Würfeldruckfestigkeit	Zementgehalt	Würfeldruckfestigkeit
1000 kg/m³	P 300	100 kg/cm²	—	—
1500 kg/m³	P 300	200 kg/cm²	P 350	350 kg/cm²
1700 kg/m³	–	—	P 400	400 kg/cm²

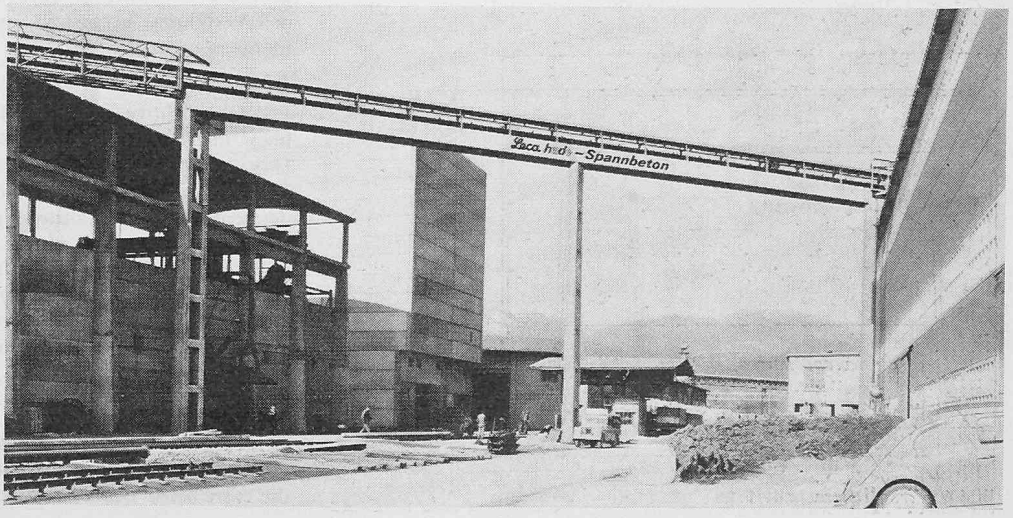


Bild 1. Die Transportband-Brücke aus Leca-hade-Spannbeton im Portlandcementwerk AG, Olten