

# Eigenschaften, Probleme und Entwicklungsmöglichkeiten des Werkstoffs Asbestzement

Autor(en): **Günthardt, Robert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 1/2

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73613>

## **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.

haushalt verbessernden Massnahmen bleiben heute aus Finanzgründen unberührt. Dem Kanton Zürich fehlt jährlich eine halbe Milliarde Franken für ein ausgeglichenes Budget, dem Bund das Dreifache.

Daher sollen die Mittel für den Anreiz zu energiesparenden Massnahmen als *Abgabe auf importierten Energieträgern* erhoben werden – nicht unähnlich dem Finanzierungsprinzip der Nationalstrassen. Diese Abgabe müsste an den Zweck des Energiesparens und -haushaltens gebunden sein. Sie darf keine neue Finanzquelle des Bundes werden. Es ist auch nicht die Meinung – und kann es mit den wenigen Prozenten des Grundpreises nicht sein –, dass über eine Energiesteuer das Wirtschaftswachstum gelenkt würde. Dennoch, die Abgabe steuert, wenn überhaupt, den Markt in gewünschter Richtung: zum sparsameren Energieverbrauch. Zu diesem Zweck habe ich in der Maisession 1977 einen Vorstoss folgenden Inhalts eingereicht:

«Der Bundesrat wird ersucht, raschmöglichst eine Ergänzung der Bundesverfassung oder einen dringlichen Bundesbeschluss dahin vorzuschlagen, dass energiesparende Massnahmen und umweltverträgliche Energiequellen aus einem zweckgebundenen Energiefonds gefördert werden können.

Dieser Fonds soll durch eine Kausalabgabe auf importierten Energieträgern gespiesen werden.»

Wer sich ernsthaft um sinnvolle Arbeitsbeschaffung kümmert, der erkennt, dass dieses Massnahmenpaket im Bereiche des Energiehaushaltes zu den wenigen gehört, die wir verantworten können, weil sie finanziell wie sachlich gerechtfertigt sind. Es sind Arbeiten, die heute geleistet werden sollten wegen der Verknappung des Naturgutes Energie, aber auch Arbeiten, die der nächsten Generation Einsparungen an Energiekosten bringen.

#### Zusammenfassung

Wir haben erkannt, wie technische Probleme zu gesellschafts- und staatspolitischen werden und dass die künftigen Energieprobleme uns nahezu unlösbar erscheinen. Dennoch können wir heute schon tun, wozu uns die Zeit bei Einfuhrbeschränkungen fehlen wird: energiesparende Massnahmen treffen, die Wirkungsgrade verbessern und umweltverträgliche Energiequellen fördern. Das ist die erstrangige Aufgabe unserer Generation, will sie nicht tatenlos vor dem Energieproblem stehen. Dazu sind Architekten und Ingenieure besonders aufgerufen.

Adresse des Verfassers: Dr. K. Basler, Nationalrat, Basler und Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich.

## Eigenschaften, Probleme und Entwicklungsmöglichkeiten des Werkstoffs Asbestzement

Von Robert Günthardt, Niederurnen

Asbestzement ist ein Werkstoff, für dessen Herstellung ein besonderes Know-how notwendig ist. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass auch Fachleute, seien es Planer oder Unternehmer, die mit diesem Material arbeiten, seine Eigenschaften und vor allem deren Beeinflussung während des Herstellungsprozesses zu wenig kennen. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Merkmale des Asbestzements beschrieben. Auf die Probleme, die sich durch die wetterfeste Einfärbung von Asbestzement-Produkten ergeben, wird nicht eingetreten, da dies den Rahmen des Beitrages sprengen würde.

### Anwendungsmöglichkeiten

Asbestzement wird für viele Zwecke, vor allem im Hoch- und Tiefbau, gebraucht. In Form von *Platten*, grösseren oder kleineren Formates, wird er verwendet für die *äussere Dachhaut* und als *Unterdach*, für *Fassadenverkleidungen* und als *Werkstoff für geformte Produkte wie Gärtnerartikel* usw. *Rohre* aus Asbestzement finden Anwendung bei Wasserversorgungen, Abwasserleitungen, Brückenentwässerungen, Haus- und Grundstückentwässerungen und als *Kabelschutzrohre* und *Mantelrohre* für Fernheizleitungen.

### Herstellverfahren

Die *Verarbeitung* der verschiedenen Grundstoffe zum Baustoff Asbestzement erfolgt in einem kontinuierlichen Arbeitsablauf, wie er schematisch in Bild 1 dargestellt ist. Bevor der Asbest mit den Zuschlagstoffen vermischt werden kann, muss er *aufbereitet* werden, d.h. die im Anlieferungszustand vorhandenen *groben Faserbündel* müssen zunächst aufgeschlossen werden. Dabei wird versucht, die Faserbündel so

zu zerteilen, dass ein *möglichst gleichmässig geöffneter Asbest* entsteht. Dabei geht man aus wirtschaftlichen Gründen mit dem Aufschluss nicht bis zur Einzelfibrille, die einen Durchmesser von etwa  $0,02 \mu$  aufweist, sondern man begnügt sich mit einem Öffnungsgrad von Faserbündeln bis zu einer Dicke von  $1 \mu$ .

Die *erste Phase* der Asbestaufbereitung erfolgt unter *Zugabe von Wasser im Kollergang*. Der teilweise aufbereitete Asbest wird anschliessend *im Holländer mit Wasser gemischt* und in einer *zweiten Phase* so weit aufgeschlossen, dass er die für die Herstellung notwendigen Anforderungen erfüllt. Dann wird dem *Asbest-Wasser-Gemisch Zement* und je nach Produkt weitere besondere *Zuschlagstoffe* beigegeben und im Holländer vermischt, dass ein homogener, flüssiger Brei entsteht, der in einen Rührbehälter abfließt. Von dort wird die fabrikationsfertige Mischung in die unter der Produktionsmaschine befindlichen Stoffkasten geschöpft.

Gewichtsmässig setzt sich Asbestzement aus rund 15 Prozent Asbest und rund 85 Prozent Zement und übrigen Zuschlagstoffen zusammen. Zu diesen *festen Grundstoffen* kommt noch ein etwa *zehnfacher Anteil Wasser*.

Im *Stoffkasten* (Bild 2), dem laufend Asbestzementbrei zugeführt wird, rotieren ein oder mehrere hintereinander angeordnete *Siebzyylinder*. Das Innere eines jeden Siebzyinders ist seitlich gegen die Stoffkastenwand abgedichtet. Über je eine Öffnung links und rechts in der Stoffkastenwand findet, hervorgerufen durch den Niveauunterschied zwischen dem Asbestzementbrei und dem abfließenden Überschusswasser, ein ständiger Fluss aus dem Stoffkasten durch den Siebzyylinder nach aussen statt. Dabei werden die Feststoffteile – Asbest mit dem anhaftenden Zement – auf dem *Siebmantel* zurückgehalten. Sie werden von dort unter der

Gautschwalze an ein endloses Filzband abgegeben und als dünnes Vlies zur Formatwalze transportiert (Bild 1).

Auf der Formatwalze, deren Umfang der Länge der zu erzeugenden Asbestzementplatte entspricht, wird das ankommende Vlies kontinuierlich aufgewickelt. Sobald die gewünschte Materialstärke erreicht ist, wird der gewickelte Stoffzylinder aufgeschnitten und verlässt als ebene, noch weiche Platte die Formatwalze. Das Übertragen des Asbestzement-Vlieses vom Siebzylinder auf den Filz und vom Filz weiter auf die Formatwalze beruht auf dem Phänomen, dass sich ein Vlies immer von einer rauheren zur glatteren Oberfläche überträgt.

Wenn der Stoff die Formatwalze verlassen hat, ist ihm bereits der grösste Teil des fabrikationstechnisch erforderlichen Wasserüberschusses einmal durch den bereits erwähnten Wasserabfluss aus dem Siebzylinder und zusätzlich durch Sauger im Bereich des Transportfilzes entzogen worden. Das zurückgewonnene Überschusswasser wird wieder der Produktion zugeleitet. Es ist also ein geschlossener Wasserkreislauf vorhanden.

Bei der Weiterverarbeitung zu ebenen Platten werden zunächst die Originalformate ausgestanzt und je nach Verwendungszweck mit unterschiedlich hohem Pressdruck, der 200 bar und mehr erreichen kann, verdichtet. Durch den

Pressvorgang wird alles nicht zur Hydratation benötigte Wasser ausgeschieden. Zudem wird dadurch die Dichte erhöht, die Bruchfestigkeit vergrössert und die Haftung der Vlies-Lagen untereinander verbessert und als Folge davon die Frostbeständigkeit erhöht. Nach einer Lagerzeit (Abbindezeit) von 28 Tagen können die Platten ausgeliefert werden.

Eine andere Art der Weiterverarbeitung besteht darin, den noch feuchten Stoff mit Hilfe von speziellen Wellaugern zu Wellplatten zu formen. Auf diese Weise entstehen Ondanorm-Platten für den Fassadenbau und Ondapress-Platten für Dacheindeckungen. Zur Erhöhung der Frostbeständigkeit werden letztere einzeln in einem etwa 20 Sekunden dauernden Taktverfahren gepresst.

Eine weitere Verarbeitungsmöglichkeit für den von der Formatwalze auslaufenden Stoff besteht in der Herstellung von Formereiprodukten. Der noch feuchte, flexible Stoff wird auf das benötigte Mass zugeschnitten und kann unter Zuhilfenahme von Holz- oder Kunststoff-Modellen in beliebiger Weise verformt werden. Bei dieser Herstellungsmethode ist zu berücksichtigen, dass eine nachträgliche Verdichtung des Materials durch Pressen nicht mehr möglich ist. Dies bedeutet, dass geformte Asbestzement-Produkte eine geringere Dichte aufweisen als maschinell hergestellte Produkte wie Platten und Rohre.

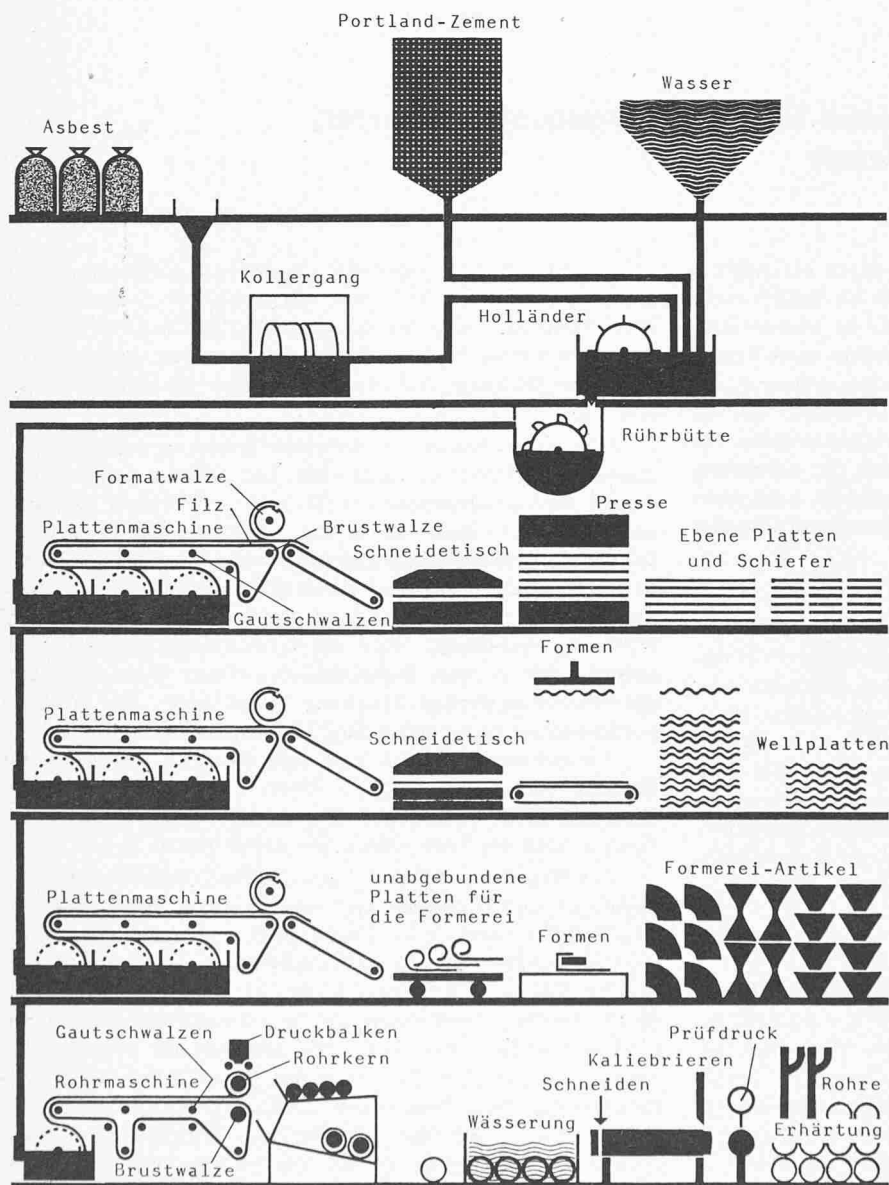


Bild 1. Fabrikationsschema

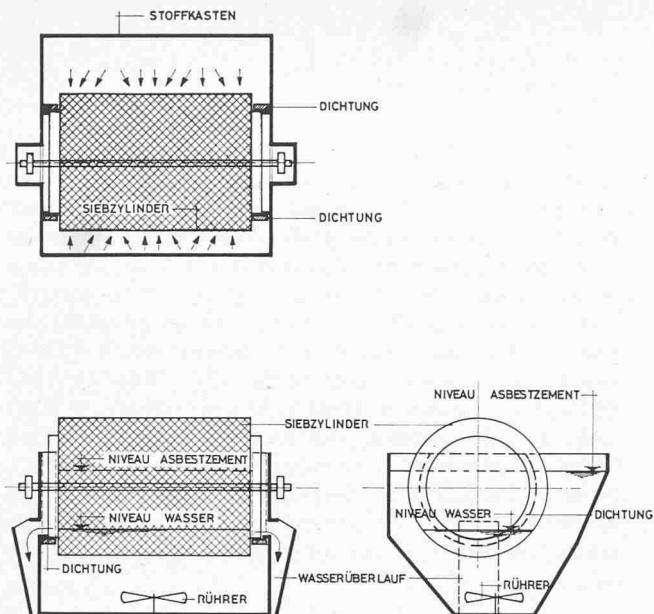


Bild 2. Stoffkasten und Siebzylinder. Oben: Grundriss. Unten: Längsschnitt und Querschnitt (rechts)

Die Erzeugung von *Rohren* aus Asbestzement erfolgt im Prinzip nach dem gleichen Wickelverfahren, nach dem die Platten hergestellt werden. An die Stelle der Formatwalze tritt ein vier Meter langer Rohrkern, auf welchen das Asbestzement-Vlies aufgewickelt wird. Mit einem über dem Kern angeordneten Drucksystem werden die gewickelten Lagen fortlaufend durch einen variablen Pressdruck verdichtet. Sobald die vorgeschriebene Wandstärke erreicht ist, wird der Kern mit dem gewickelten Rohr von der Maschine gerollt und so lange gelagert, bis das Rohr so weit erhärtet ist, dass der Kern gezogen werden kann. Zur Vermeidung von Unrundheiten wird das Rohr noch während einiger Zeit auf dem Kalandr gerollt und anschliessend zur langsamen Aushärtung mindestens sieben Tage im Wasserbassin gelagert.

Beim bisher besprochenen Herstellverfahren handelt es sich um ein sog. *Laminarverfahren*, d.h. um ein Verfahren, bei dem Vliese aufeinander gewickelt werden. Diese Fabrikationsmethode war um die Jahrhundertwende durch einen Österreicher namens *Ludwig Hatschek* erfunden worden. Das nach ihm benannte Verfahren hat den sehr grossen Vorteil, dass die Armierung des Zementes durch die Asbestfasern nur parallel zur Ebene des Vlieses erfolgt, d.h. nur in zwei Dimensionen. Ausser der *Hatschek-Methode* kennen wir heute nur noch ein zweites Herstellverfahren, das einige Bedeutung erlangt hat, nämlich die *Methode von Magnani*, bei der die Produkte aus relativ dicken Schichten aufgebaut sind. Naturgemäss geht dadurch der Vorteil, dass die Armierungsfasern nur zweidimensional in einer Ebene liegen und deshalb ganz für die Längs- bzw. Querarmierung herangezogen werden können, weitgehend verloren. Beim Giessverfahren sind die Asbestfasern dreidimensional im Querschnitt verteilt, d.h. ein gewisser Faseranteil steht senkrecht zur Stoffachse und kann damit keine statische Funktion ausüben. Die *Magnani-Platte* wird dadurch zwar homogener, sie wird aber von der Belastbarkeit her der Hatschek-Platte eindeutig unterlegen sein. Es kann deshalb behauptet werden, das Magnani-Verfahren bringe nur in ganz speziellen Fällen Vorteile, z.B. bei der Herstellung von Leichtbauplatten ohne statische Funktion. Beim überwiegenden Teil der Asbestzement-Produktion hat sich deshalb die Hatschek-Maschine durchgesetzt.

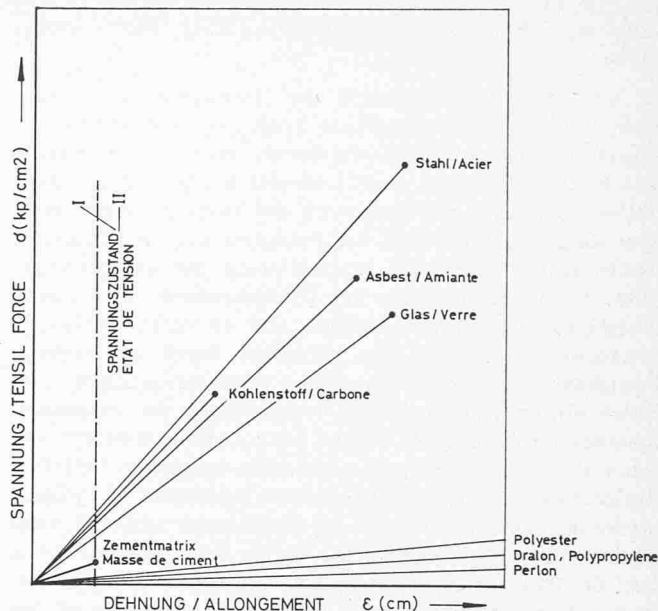


Bild 3. Spannungs-Dehnungs-Diagramm Faserstoffe

### Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften durch die Asbestfaser

Eine der wichtigsten Eigenschaften des Betons ist es, hohe Druckspannungen aufnehmen zu können. Bei Zugbeanspruchungen und gegen Schlag erweist sich Beton hingegen als weniger stark. Eine Möglichkeit, die *Zug- und Biegefestigkeit der Zementmatrix zu verbessern*, besteht in der *Faserarmierung*. Sie wird besonders wirksam, wenn die Fasern in einem Vlies, d.h. in einer Ebene, zweidimensional ausgerichtet werden können, wie dies beim vorhin besprochenen Hatschek-Verfahren der Fall ist. Durch das Aufwickeln der Vliese entsteht ein *mikroarmierter Verbundwerkstoff*, der sich seit beinahe 80 Jahren unter der Bezeichnung Asbestzement hervorragend bewährt hat. Zur Mikroarmierung einer Zementmatrix muss die beigemischte Faser bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Jedes Material, an dem Zugkräfte wirken, dehnt sich mehr oder weniger, bevor es unter der steigenden Last bricht. Die im Augenblick des Brechens herrschende Bruchspannung (Festigkeit) und Bruchdehnung (Elongation) sind werkstoffspezifische Konstanten. Sie können im *Spannungs-Dehnungs-Diagramm* (Bild 3) dargestellt werden. Der ebenfalls materialspezifische *Elastizitätsmodul* (E-Mod) wird durch die Steigung der Kurve wiedergegeben. Er ist um so grösser, je steiler die Kurve ist.

Das Diagramm enthält Faserstoffe mit höherem E-Modul als Zement, nämlich Glas, Asbest, Kohlenstoff, Stahl, aber auch solche mit kleinerem E-Modul wie Polyester, Dralon, Polypropylen, Perlon etc. Es fällt auf, dass organische Fasern in der Regel niedrigere E-Moduln aufweisen als die Zementmatrix. Alle Fasern mit kleinerem E-Modul als die Zementmatrix wirken kaum armierend. Sie haben eine zu hohe Dehnungselastizität. Wenn beim Zugversuch die Last steigt, dehnt sich die Faser. Sie übernimmt nur wenig von den Spannungskräften. Diese werden deshalb bevorzugt von der Zementmatrix getragen. Erreicht die Zementmatrix die Bruchdehnung, so bricht diese kaum über ihrer werkstoffspezifischen Festigkeit. Allenfalls werden die Bruchstücke durch die dehnungselastischen Fasern noch zusammengehalten. Fasern mit niedrigerem E-Modul als jenem der Zementmatrix können deshalb nicht zur Festigkeitsarmierung verwendet werden. Sie sind höchstens Riss-Stopper. Eine spröde Matrix

kann also durch dehnungselastische Fasern nicht armiert werden.

Für die Mikroarmierung der Zementmatrix kommen deshalb bevorzugt Faserstoffe in Frage, die einen *höheren E-Modul* und *höhere Festigkeit* aufweisen als die reine Zementmatrix wie z.B. *Asbest, Stahl, Glas* und *Kohlenstoff*. In diesen Fällen trägt beim Zerreißversuch die Faser die entstehende Spannung. Dadurch wird die Festigkeit des Verbundwerkstoffes erhöht. Wird die Bruchdehnung der Zementmatrix erreicht, so beginnt diese bei Überschreitung ihrer Eigenfestigkeit zu reißen. Es entstehen zwar im Verbundwerkstoff Mikrorisse, doch wird der Werkstoff durch die höheren Festigkeitseigenschaften der Faser zusammengehalten. Der Bruch erfolgt erst, wenn die Tragfähigkeit des Faserquerschnittes überfordert ist. In der Betontechnik wird der Zustand des mikrogerissenen, aber noch tragenden Verbundwerkstoffes mit «*Spannungszustand II*» bezeichnet. Bei mikroarmierter Zementmatrix ist der Spannungszustand II nicht immer statisch zuverlässig, da durch Schwingungen unter Last die tragenden Kurzfasern aus dem Gefüge der Zementmatrix herausgezogen werden können. Dies kann, auch bei konstanter Last, zu einem sog. *Kaskadenbruch* führen.

Die Parameter für einen besseren Armierungserfolg seien hier kurz zusammengefasst. Zwei Forderungen müssen erfüllt werden:

1. Die Faser sollte einen höheren E-Modul (E-Mod) als die Zementmatrix aufweisen.
2. Die Armierungsfaser muss eine höhere Festigkeit als die Zementmatrix aufweisen. Aus diesem Grund kommen für die Armierung von Beton nur Stahl, Asbest, Glas und Kohlenstoffe in Frage.

Ausser diesen beiden Forderungen müssen die Fasern noch folgende Eigenschaften aufweisen:

#### a) *Grosse Faseroberfläche*

Die Asbestfibrille hat, wie bereits festgestellt wurde, einen Durchmesser von ca.  $0,02 \mu$ . Sie ist so fein wie keine andere, uns bekannte Faser. Der in den Asbestzementwerken praktizierte Aufschluss der Faserbündel geht aus wirtschaftlichen Gründen nicht bis zur Einzelfibrille. Wird ein praktisch realisierbarer Öffnungsgrad von bis zu  $1 \mu$  dicken Faserbündeln angenommen und werden die Fasern aneinandergelagert, die in einer 5 mm dicken Asbestzementplatte von  $1 \text{ m}^2$  Fläche vorhanden sind, so ergäbe das eine Faserlänge von über 300000 km. Die *grosse Faseroberfläche in der Matrix* ist eine *besondere Eigenschaft* der Asbestzementprodukte.

#### b) *Kraftschluss zwischen Zementmatrix und Faser, d.h. gute Haftung*

Die Asbestfaser ist auch in dieser Beziehung allen übrigen erwähnten Fasern überlegen. Bedingt durch die Oberflächenpotentialverhältnisse wirkt schon im Asbest-Zement-Wasser-Brei der Asbest anziehend für die Zementteilchen, d.h. es besteht eine *echte Affinität zwischen Zement und Asbest*. Dies garantiert eine äusserst innige Verbindung zwischen Matrix und Faser im Fertigprodukt. Ob während des Abbindeprozesses auch ein eigentliches Aufwachsen von Zementhydratationsprodukten auf die Faser stattfindet, was auf Grund der molekularen Verhältnisse durchaus möglich erscheint, konnte bisher trotz zum Teil recht aufwendiger Arbeiten nicht schlüssig bewiesen werden. Dass die *Verwachsungen* jedoch bestenfalls *punk-*

*tuell* auftreten, geht wohl daraus hervor, dass der Einfluss der Faserlänge unbestritten ist, wie wir in den folgenden Abschnitten sehen werden.

#### c) *Optimale Fasermenge*

Mit steigender Fasermenge steigt auch die Festigkeit des Faserverbundmaterials. Dies gilt allerdings nur bis zu einer bestimmten Grenze, an der das Verhältnis von Fasermenge zu Bindemittelanteil so ungünstig wird, dass das letzte mengenmässig nicht mehr in der Lage ist, die Faserarmierung voll zu umhüllen. Immerhin ist es möglich, die Biegefestigkeit des Zementes zum Beispiel durch Asbestfaserarmierung und Verdichtung von  $70 \text{ kp/cm}^2$  auf  $1000 \text{ kp/cm}^2$  anzuheben. Diese Eigenschaft erlaubt es überhaupt erst, dünnchalige und grossformatige Platten mit Zement als Bindemittel zu fertigen und zu manipulieren. Dabei ist zu beachten: Asbestzement-Produkte mit einer Biegefestigkeit von  $1000 \text{ kp/cm}^2$  sind wohl technisch herstellbar, aber sie sind aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr zu verkaufen.

#### d) *Kritische Faserlänge*

Ganz ohne Zweifel ist der Kraftschluss Faser/Zementmatrix von den für die Armierung als geeignet bezeichneten Fasern beim Asbest am besten. Kohlenstoff, Glas, Mineralwolle sind zu glatt. Sie ziehen sich beim Bruch aus dem Matrixgefüge heraus, benötigen also grosse kritische Faserlängen. Die kritische Faserlänge ist erreicht, wenn beim Materialbruch die Reibungskräfte so gross werden, dass die Faser reisst, statt sich aus dem Gefüge herauszuziehen. Sie liegt beim Asbest bei wenigen Millimetern, bei Glasfasern im Zentimeterbereich. Allenfalls können Stahlfasern oder -Drähte mit geeigneter Vorbearbeitung erwogen werden. Sie sind jedoch für die Armierung dünner Platten ungeeignet, da die Zementüberdeckung nicht ausreicht, sie gegen Verrosten zu schützen. Die Überdeckung sollte grösser als 15 mm sein.

#### e) *Faserrichtung*

Wenn wir über das Problem der Faserrichtung sprechen, gehen wir vom sog. Laminarverfahren oder Hatschek-Verfahren aus, d.h. von dem bereits besprochenen Verfahren, das darauf beruht, ein Vlies kontinuierlich aufzuwickeln und bei der entsprechenden Platten- oder Rohrwandstärke den Wickelprozess zu unterbrechen.

Für *ebene Platten* wäre, sofern diese richtungsmässig nicht besonders beansprucht sind, eine homogene Verteilung der Faser in der Vliesebene die ideale Lösung. Dies würde bedeuten, dass sowohl in der Längs- als auch in der Querrichtung der Platte keine Unterschiede in der Festigkeit mehr auftreten würden. In der Praxis muss heute jedoch bei normaler Produktionsgeschwindigkeit mit einem Längs-/Quer-Quotienten von 0,65 bis 0,75 gerechnet werden. Das heisst, rund 70 Prozent aller Fasern verlaufen in Längsrichtung und etwa 30 Prozent in Querrichtung der Platte. Somit ist die Biegefestigkeit quer zur Längsachse normalerweise grösser als die parallel zur Längsachse.

Zur Zeit ist man damit beschäftigt, im Stoffkasten neue, verbesserte Faserrichtgeräte einzuführen, mit Hilfe derer es möglich werden sollte, den Faserverlauf je nach Erfordernis so zu beeinflussen, dass ein Längs-/Quer-Quotient von 1,0 erreicht werden kann.

Bei den Wellplatten ist jedoch zu beachten, dass neben der spezifischen Festigkeit des Materials auch das Widerstandsmoment des Wellplattenprofils für die Festigkeit quer zur Wellenachse wesentlich ist.

Bei der *Rohrfabrikation* ist ein neues Richtgerät bereits erprobt worden. Mit seiner Hilfe ist es heute möglich, durch Umlenken der Asbestfasern im Stoffkasten die Festigkeiten zu beeinflussen, je nachdem ob ein Rohr mit grösserer Längsbiegefestigkeit oder Scheiteldruck- bzw. Ringzugfestigkeit hergestellt werden soll.

Bei *Kanalisationsrohren bis zu einer NW von 20 cm muss eine besonders grosse Längsbiegezugfestigkeit* erreicht werden, während bei *Kanalisationsrohren über 20 cm* vor allem die *Scheiteldruckfestigkeit* von Bedeutung ist. Bei den *Druckrohren* ist die *Innendruckfestigkeit* oder *Ringzugfestigkeit* von besonderer Bedeutung. Je nach Anforderungen variieren die Wandstärken und die Faserrichtungen der verschiedenen Rohrtypen.

Bei all diesen Überlegungen ist zu beachten, dass aus wirtschaftlichen Gründen nicht nur die Faserrichtung die spezifischen Festigkeiten beeinflusst, sondern dass auch das Gemisch der Fasertypen in bezug auf Länge und Reissfestigkeit und die Fasermenge eine Rolle spielen. Es gibt eine sehr grosse Variation von Asbestsorten, bei denen die Reissfestigkeiten zwischen 8000 und 22000 kp/cm<sup>2</sup> variieren. Ähnliches gilt für die Faserlängen und führt dazu, je nach Produkt eine den Anforderungen entsprechende optimale Mischung von Asbesten zu verwenden.

f) *Alterungs- und Zersetzungsbeständigkeit der Faser in der Matrix*

*Asbest* ist ein Magnesiumsilikathydratkristall. Er ist in der alkalischen Zementmatrix chemisch gesättigt, mithin also *alkalifest* und *alterungsbeständig*.

*Stahl* kann in dünnen Platten rosten. Bei Verwendung synthetischer, glasiger Mineralfasern werden zwei Nachteile festgestellt:

- *Rekristallisation* des Glases und damit Kürzung der Faserlängen
- *Reaktion* der im Glas eingebetteten aktiven Kieselsäure mit der kalkalkalischen Matrix. Die Reaktion kann durch Alkaligehalte im Glas beschleunigt werden, besonders bei Feuchtigkeitseinwirkung. Dadurch entstehen Festigkeitsverluste.

Wenn wir das oben Gesagte in einer Tabelle zusammenfassen (Abb. 4), so erkennen wir, dass Asbest der beste unter den mikroarmierenden Faserstoffen ist. Im Sektor dünner, statisch zuverlässig tragender, mikroarmerter Platten ist er zur Zeit schwer zu ersetzen. Allenfalls könnten Teilsubstitutionen in Zukunft erwogen werden. Hierbei dürfen die *80jährigen Langzeiterfahrungen* mit Asbestzement nicht übersehen werden. Sie geben diesem mikroarmierten Verbundwerkstoff ein *hohes Mass an statischer Zuverlässigkeit*.

**Material-Charakteristiken**

Wir unterscheiden im *Hochbau* auf dem *Plattensektor* folgende Produkte:

1. *Für die Aussenanwendung*

- *ungepresste* Platten für Fassaden und Formereiartikel
- *hochgepresste* Platten für Bedachung und Fassade
- *hochgepresste und autoklavierte* Platten für Fassadenverkleidungen auf Metallunterkonstruktion.

2. *Für wettergeschützte Anwendung:*

- *Brandschutzplatte* Pical mit Perlitzusatz
- *Gea-Unterdach* mit verschiedenen Zuschlagstoffen u.a. Zellulose

- *Schreinerplatten* Geapress und Geaflex mit Zellulosezusatz

Für diese Produkte gelten folgende technischen Werte:

a) *Raumgewicht ofentrocken*

ungepresst	im Mittel 1,65 g/cm <sup>3</sup>
hochgepresst	im Mittel 1,85 g/cm <sup>3</sup>
autoklaviert u. hochgepresst	im Mittel 1,90 g/cm <sup>3</sup>
Isolierplatten	im Mittel 0,60 g/cm <sup>3</sup>
Schreinerplatten	im Mittel 1,30 g/cm <sup>3</sup>

In der Praxis werden die Platten am Stapel getrocknet ausgeliefert. Das Raumgewicht bei stapeltrockenen Platten liegt um etwa 10 Prozent höher.

b) *Biegebruchfestigkeit*

Infolge der *Asbestfaserlage* sind unterschiedliche Festigkeiten in Längs- und Querrichtung der Platte zu berücksichtigen.

	<i>parallel zur Faser</i>	<i>quer zur Faser</i>
Ungespresst	150 kp/cm <sup>2</sup>	230 kp/cm <sup>2</sup>
Hochgepresst	210 kp/cm <sup>2</sup>	280 kp/cm <sup>2</sup>
Autoklaviert	350 kp/cm <sup>2</sup>	450 kp/cm <sup>2</sup>
Isolierplatten	40 kp/cm <sup>2</sup>	45 kp/cm <sup>2</sup>
Schreinerplatten	95 kp/cm <sup>2</sup>	140 kp/cm <sup>2</sup>

Hierbei handelt es sich um sog. 5%-Werte, d.h. nur 5% der ausgestossenen Produkte dürfen unter den oben angegebenen Werten liegen.

c) *Längenänderung*

*Längenänderung infolge Temperaturdifferenz:* Sie entspricht für Fassadenplatten ungefähr der von Beton und Stahl und hat bei der Anwendung als Baumaterial keine praktische Bedeutung.

Einseitig glatt	
Hochgepresst	0,010 mm/m °C
Hochgepresst und autoklaviert	
Isolierplatten	0,005 mm/m °C
Schreinerplatten	0,005 mm/m °C

Bild 4. Mögliche mikroarmierte Faserstoffe

Faserart	E-Modul	Festigkeit	Faseroberfläche	Kraftschluss	Kritische Länge	Alterungsbeständigkeit
Stahl	+	+	+	++	+	(+)
Asbest	+	+	++	++	++	++
Kohlenstoff	+	+	+	-	-	++
Glas	+	+	+	-	-	-
Organische Fasern	-	(±)	+	-	-	(±)

*Längenänderung infolge Wasseraufnahme:* Für die praktische Anwendung ist der Änderungszustand wassergesättigt zu lufttrocken zu berücksichtigen. Er beträgt

ungepresst	1,7 Promille
hochgepresst	1,7 Promille
autoklaviert	0,8 Promille
Isolierplatten	0,7 Promille
Schreinereiplatten	0,5 Promille

#### d) Korrosionsfestigkeit

Eine Korrosion im Sinne von Oxidation (z.B. Rost) ist an Asbestzement-Materialien nicht möglich. *Mineralfaser-armierter Zement kann nicht verrosten.* Saure Flüssigkeiten mit einem pH-Wert kleiner als 6 können die Zementmatrix chemisch angreifen. Asbest ist sehr viel weniger säureanfällig und erhöht dadurch die chemische Widerstandsfähigkeit des Asbestzementes. Luftverschmutzung allein vermag Asbestzementplatten nicht zu zerstören.

#### e) Elektrischer Widerstand (siehe auch Prüfbericht SEV)

Asbestzement ist ein *Leiter 2. Klasse*, seine *Leitfähigkeit* wird von der *Materialfeuchtigkeit* beeinflusst. Als elektrisches Isoliermaterial hat Asbestzement keine praktische Bedeutung, weshalb auf Angaben über den spezifischen Durchgangswiderstand und die Durchschlagsspannung verzichtet wird.

#### f) Frostsicherheit

Um frostsicher im Sinne von SIA 175 Art. 2.242.30 zu sein, müssen Asbestzementplatten hochgepresst sein, d.h. eine hohe Dichte und eine geringe Porosität aufweisen. Frostsicherheit wird besonders für *Bedachungsplatten* verlangt. Wegen der harten klimatischen Verhältnisse in unserem Land ist der werksinterne Frosttest wesentlich strenger als der nach ISO R393. Aus dem gleichen Grund werden Bedachungs-Wellplatten in der Schweiz im Einzelpressverfahren verdichtet.

#### g) Wasserdichtigkeit

Platten, die nach 28tägiger Abbindezeit ausgeliefert werden, sind absolut wasserdicht. Eine Ausnahme bilden Pical-Platten und Platten mit extrem hoher Zellulosebeimischung, die aber wie schon erwähnt nur wettergeschützt angewendet werden dürfen. Bei Reklamationen betr. *Undichtigkeit* von Asbestzement handelt es sich immer um *Kondenswasserprobleme*.

#### h) Wärmeisolation und Feuerschutz

Asbestzement-Platten sind *keine Wärmeisolierplatten*. Für den baulichen Brandschutz wurde die Pical-Platte geschaffen, die sich durch *Beimischung von geblähtem Silikatgestein* in Form von *Perlit* auszeichnet. Im Gegensatz zu normalen Platten kann die Pical-Platte sehr schnell erhitzt werden und ganz allgemein höheren Temperaturen ausgesetzt werden als normale Asbestzement-Platten. Zwar liegt die mögliche Temperaturbelastung weit über 1000°, doch ist zu berücksichtigen, dass das im Asbest chemisch gebundene Kristallwasser bei rund 500° frei wird, wodurch die Festigkeit des Fertigproduktes vermindert wird. Dies gilt auch für normale Asbestzementplatten, sofern sie nicht schockartig erhitzt werden.

Die Materialeigenschaften der *Asbestzement-Rohre* sind grundsätzlich die gleichen wie die der Platten. *Anwendungsbedingt* sind jedoch einige *zusätzliche Punkte* zu berücksichtigen:

1. *Raumgewicht.* Es ist höher als bei hochgepressten Platten und beträgt 2 g/cm<sup>3</sup>.

2. *Mechanische Festigkeiten. Scheiteldruckfestigkeiten* vor allem wichtig für Rohre mit einer NW über 200 mm: 550 kp/cm<sup>2</sup>. *Längsbiegezugfestigkeit* nur bedeutsam für Rohre mit NW bis zu 200 mm: 225 kp/cm<sup>2</sup>. *Innendruckfestigkeit* nur bedeutsam für Druckrohre: 250 kp/cm<sup>2</sup>.

3. *Längenänderung infolge Wasseraufnahme.* Weil die Rohre im Gegensatz zu den Platten im Wasserbad abbinden, trägt das Schwind- und Dehnmass zwischen dem wassergesättigten und lufttrockenen Zustand nur 0,8 Promille.

4. *Korrosionsfestigkeit.* Im *Tiefbau* können Asbestzement-Rohre durch *Streuströme nicht angegriffen* werden, was ein ganz entscheidender Materialvorteil ist. Angriffe der Zementmatrix durch saure Böden oder Wässer mit einem pH-Wert kleiner als 6 werden durch das korrosionsfeste Fasergewebe gebremst. Zudem kann in solchen Fällen — die in der Schweiz erfahrungsgemäss eine Ausnahme darstellen — die Zementmatrix durch einen geeigneten Anstrich geschützt werden.

5. *Frostsicherheit.* Es gilt dasselbe wie bei den Platten, wobei die hohe Dichte der Rohre eine absolute Frostsicherheit gewährleistet. Dies ist wichtig für Rohre, die im Freien verlegt werden wie z.B. an Brücken aufgehängte Kanalisationsleitungen, Brückenentwässerungen und Kabelschutzrohre.

6. *Wasserdichtigkeit.* Wie die Asbestzement-Platten, sind auch die Rohre absolut dicht für Transportmedien wie Wasser und Abwasser.

#### Zusammenfassung

Das Laminarverfahren — d.h. das Wickeln von Asbestzement-Vliesen — stellt heute die beste und wirtschaftlichste und damit auch die am meisten angewendete Herstellmethode dar. Ferner lassen sich die mechanischen Eigenschaften des Asbestzements ganz wesentlich beeinflussen durch die Qualitäten und die Verarbeitung der beigemischten Fasern, wobei folgende Kriterien eine entscheidende Rolle spielen:

- der Aufschluss der Faser
- die Reissfestigkeit der Faser
- die Faserlänge
- die Fasermischung
- die zweidimensionale Faserausrichtung im Vlies.

Aus produktionstechnischen Gründen müssen, je nach Anforderungen an das Produkt, Fasersorten verschiedener Qualitäten gemischt werden. Zudem müssen — im Rahmen des möglichen — die Fasermenge und die Hauptfaserrichtung im Vlies den mechanischen Beanspruchungen angepasst werden. Die mechanischen Festigkeiten des Produktes können auch durch die Materialstärke bei variabler Fasermenge und Fasermischung beeinflusst werden, wobei jedoch eine faserarme Mischung zu einer Versprödung des Asbestzementes führt.

Ein weiteres Problem des Laminar-Herstellverfahrens bildet die einwandfreie Verbindung zwischen den einzelnen Vlieslagen. Eine homogene Vliesverbindung wird durch die Pressdrücke an Gautsch- und Brustwalze erreicht. Während Platten nach dem Verlassen der Produktionsmaschine zusätzlich in einer hydraulischen Presse verdichtet werden können, ist bei der Rohrfabrikation über dem Rohrkern ein Walzsystem angebracht, das mit einem variablen, elektronisch gesteuerten Pressdruck für eine einwandfreie Verbindung der Vlieslagen sorgt.

Adresse des Verfassers: R. Günthardt, dipl. Ing. ETH, Direktor, Eternit AG, 8867 Niederurnen