Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 125/126 (1945)

Heft: 26

Artikel: Zur Frage des Portlandzementes und der Zemente mit hydraulischen Zuschlägen

Autor: Roš, Mirko

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83770

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: 14.07.2025

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

Band 126 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 26

Ein Vierteljahrhundert schweizerische Landesplanung

Das Jahr 1945 bedeutet für die Landesplanung der Schweiz die fünfundzwanzigste Wiederkehr ihrer Grundsteinsetzung. Am 12. Juni 1920 nämlich legte der Pionier schweizerischer Innen-Kolonisation, *Hans Bernhard*, der Oeffentlichkeit den Entwurf eines Eidgenössischen Siedlungsgesetzes vor, das alle wesentlichen Gedanken enthält, die heute als Ziel und zentrale Aufgabe der Landesplanung postuliert werden[1]). Es lohnt sich — zumal im gegenwärtigen Zeitpunkt lebhafter Diskussionen um deren staatsrechtliche Verankerung — wohl, einige Leitsätze jenes Dokumentes in Erinnerung zu rufen. Nichts ist geeigneter, die Arbeit an einem bedeutsamen Werk anzuspornen, als eine Rückschau auf frühere Etappen des Ringens darum.

Die Vorgeschichte des als Gutachten für das Schweizerische Volkswirtschaftsdepartement publizierten Gesetzesentwurfs ist kurz. Er wurzelt in den Nöten des ersten Weltkriegs, die allerdings zum guten Teil durch die Industrialisierung der Schweiz seit dem 18. Jahrhundert bzw. durch die Entwicklung einseitiger Landwirtschaft im Gefolge der weltwirtschaftlichen Verkettung unseres Landes veranlasst waren. Sie lehrten «einsehen, dass es ein Fehler war, wenn ... der heimische Nährfruchtbau den Einflüssen des Weltmarktes preisgegeben, der Vereinseitigung unserer Bodenkultur ... nicht gewehrt wurde ... Und die Schwierigkeiten der Lebensmittelbeschaffung der Städte wiesen ... darauf hin, dass das gedankenlose Aneinanderreihen von Wohnstätten beim Ausbau der grossen Orte ein Unglück war: es fehlte den Massensiedlungen an der harmonischen Beziehung zum ernährenden Boden, die allein ein ungefährdetes, dauerndes Bestehen gestattet ... Bei dieser Gelegenheit tauchte auch bei uns der Begriff der inneren Kolonisation auf»[2]). Bernhard, als Agrikulturingenieur und Geograph geschult, erkannte als einer der ersten die in ihr zu lösenden Aufgaben. Von Anfang an lag für ihn klar, dass nur eine Konzentration auf das Ganze des Problems dessen Entwirrung ermöglichen werde. Seine Umschreibung wollte daher «die Innenkolonisation nicht lediglich als Grundbesitzfrage oder solche des Meliorationswesens aufgefasst wissen. Nicht einmal als Agrarfrage allein, sondern vielmehr als Problem allgemein volkswirtschaftlichen Charakters. *Es kommt in der Innenkolonisation darauf an, den Heimatboden einem Volke restlos dienstbar zu machen.* Als *Wirtschaftsraum*, damit möglichst das ganze Volk und auch sein Nachwuchs durch Arbeit im eigenen Lande seine Lebensbedürfnisse befriedigen kann. Als *Wohnraum*, damit die Menschen, da wo sie erwachsen sind, sich Heimwesen gründen können, *um wirklichen, greifbaren Anteil am Vaterlande zu haben*». Niemand wird einwenden, dass damit nicht die Grundgedanken der nachmaligen Landesplanung in kaum übertreffbarer Prägnanz vorausgesehen und formuliert waren, umso weniger, als in engstem Zusammenhang zugleich ein «zweckentsprechender *Ausbau des Verkehrswesens*» gefordert wurde. Ob der dafür verwendete Name «Siedlungs-Werk» der heutigen Planung zu eng erscheinen mag, trägt der Tatsache nichts ab, dass es Bernhard um das Ganze ging. Dies bekräftigt die feine, von ihm einst anlässlich der Aeusserung des gleichen Einwandes seitens des Verfassers gemachte Bemerkung, dass die Siedlung im Grunde keineswegs nur Wohnplatz, sondern Kulturlandschaft schlechthin sei, womit die umfassende Konzeption durchaus dokumentiert war.

In klarer Konsequenz dazu galt auch die innenkolonisatorische *Methodik* Bernhards eindeutig der gesamten schweizerischen Kulturlandschaft. Auch sie entsprach grundsätzlich dem Verfahren der heutigen Landesplanung, die mit der Problemstellung einsetzt und über die Grundlagenforschung zur Aufstellung von Plänen und zum Versuch ihrer Durchsetzung schreitet. «Die Aufgabe des Siedlungsplanes zerfällt in die *Ermittlung der Siedlungsräume* und die *Abgrenzung der bäuerlichen und städtisch-industriellen Siedlungsgebiete*». Dieser lapidare Satz enthält das Kernproblem, das die heutige Landesplanung beschäftigt: die Zonierung[3]), wobei Bernhard ei: Sonderfra e der Dezentralisation (wie auch der Gartenstadt) besonders am Herzen lag, für die er sich auch zeitlebens einsetzte. Bei der Realisierung warnte er, damit ein weiteres wichtiges Postulat der heutigen Zeit betonend, vor jeglichem Schematismus: «Die Abgrenzung des städtisch-industriellen und bäuerlichen Siedlungsgebietes darf sich ... nicht nach einem Gesichtspunkt richten, sondern muss erfolgen unter Berücksichtigung aller einschlägigen Verhältnisse ... (es geht) auf keinen Fall an, schematisch ... vorzugehen». Insbesondere sah er «darin, dass die private Initiative den Anstoss zur Anhandnahme des Siedlungswerkes gab ... einen besonderen Wesenszug der schweizerischen Innenkolonisation, der auch für die zukünftige Entwicklung des ganzen Werkes unbedingt beibehalten werden sollte».

Auf dieser Basis entwickelte er seinen (übrigens durch Juristen begutachteten) Gesetzesentwurf, dessen entscheidende Punkte die Zusammenarbeit von Bund und Kantonen, eine die wissenschaftlichen Grundlagen beschaffende und sie zu einem eidgenössischen Siedlungsplan verarbeitende, Siedlungsprojekte vorbereitende, beratende und weitere einschlägige Massnahmen planende gemischtwirtschaftliche (also nicht als Bundesamt gedachte) *Zentralstelle*, sowie die Durchführung *auf dem Boden der bestehenden Gesetzgebung* sichernde Bestimmungen sind. Das Schicksal des Entwurfs ist bekannt. Wie mancher andere verschwand er nach einigen bundesrätlichen Debatten in den Schubladen der Aemter. Doch erlebte Bernhard immerhin, dass sein sich durch praktische Siedlungskorrekturen bewährender Plan durch den Bundesbeschluss vom 20. Juni 1936 betreffend Unterstützung der Innen- und Aussenkolonisation wenigstens teilweise Erfüllung fand und ihm kurz vor seinem Tode durch seine Wahl zum Ständerat auch die öffentliche Anerkennung des Volkes zuteil wurde.

Den seit etwa 1930, teils selbständig aus dem Erlebnis der Grosstadt erwachsenden, teils an innenkolonisatorisches und heimatschützerisches Gedankengut anknüpfenden Bestrebungen der Landesplanung blieb vorbehalten, mit umfassenderer Zielsetzung die durch Bernhard gelegte Saat zu rascherem Wachstum zu treiben. Aus dem Schosse des Städtebaues und der Stadtplanung erstanden ihr in den Persönlichkeiten eines H. Wiesmann, A. Meili, H. Peter, K. Hippenmeier und anderer energische Förderer, die der idealen, aber ebenso komplexen wie dringenden Aufgabe im ganzen Volke Verständnis und Gefolgschaft zu erwerben vermochten. Unter ihrer Arbeit reifte, wie bekannt ist, das Werk zum gesamteidgenössischen Anliegen, das schliesslich am 23. März 1943 in der Schweizerischen Vereinigung für Landesplanung Verkörperung erfuhr. Aus ihr werden sich hoffentlich für die gesunde, harmonische Entwicklung unserer heimischen Kulturlandschaft deren wesensgemässe Gestaltungskräfte zu Nutz und Frommen unserer Nachfahren entfalten. Bernhards Plan eines eidgenössischen Siedlungsgesetzes und sein ganzes Lebenswerk aber werden diesem Bemühen stetsfort leuchtendes Vorbild sein, ein Wegweiser, der der immerwährenden Erinnerung traditionsbewusster Erben sicher ist.

[1]) *H. Bernhard:* Die Förderung der Innenkolonisation durch den Bund. Grundlagen zu einem Eidgenössischen Siedlungsgesetz. Schriften der Schweiz. Vereinigung für Innenkolonisation und industrielle Landwirtschaft, Nr. 9, Zürich 1920.

[2]) Derselbe: Die Innenkolonisation der Schweiz. Daselbst, Nr. 2, Zürich 1918/19.

[3]) worin grundsätzlich die Koordination, der Ausgleich aller Interessen zum Ausdruck kommt!

Zur Frage des Portlandzementes und der Zemente mit hydraulischen Zuschlägen

Der unter diesem Titel in der Schweiz. Bauzeitung vom 20. Okt. 1945 erschienene Aufsatz von Prof. Dr. M. Roš[1]) gibt mir Anlass zu folgender Entgegnung.

Die Diskussion über diese Frage ist durch eine von mir verfasste Eingabe an das KIAA vom Mai 1945 in Gang gekommen, die betitelt ist: «Wiedereinführung der Fabrikation von Schlackenzement, ein Weg zur Ueberbrückung der gegenwärtigen besorgniserregenden Zementknappheit». Zu dieser Eingabe hatten mich folgende Ueberlegungen geführt: 1. Es ist möglich, in vorhandenen Karbidöfen aus Kalk und tonhaltigem Rohmaterial eine für Zementfabrikation geeignete Schlacke zu schmelzen, und zwar ohne Verwendung von Kohle, nur mit elektrischer Energie. — 2. Durch Abschrecken der flüssigen Schlacke im Wasser (Granulation) lässt sich ein Schlackensand gewinnen, aus dem durch gemeinsames Vermahlen mit Kalkhydrat (zwei Teile Schlacke und ein Teil Hydrat) der sog. Schlackenzement hergestellt werden kann. Der für das Kalkhydrat benötigte gebrannte Kalk kann vorläufig in üblicher Weise mit Koks gebrannt werden, es besteht aber Aussicht, in nützlicher Frist auch den Kalk elektrisch zu brennen, womit das zur Zeit für uns so wichtige Problem

[1]) SBZ, Bd. 126, S. 173*.

«Zement ohne Kohle» gelöst wäre. — 3. Der vom Eisenwerk Choindez seit Ende der achtziger Jahre bis zum Jahre 1918 fabrizierte Schlackenzement hat sich bewährt. Es ist kein Grund erkennbar, weshalb nicht ein ebenso guter Schlackenzement sollte hergestellt werden können, wenn die Schlacke nicht im Hochofen, sondern elektrisch erzeugt wird.

Es ist mir bekannt, dass die Portlandzementindustrie seit 1941 Versuche machte mit dem Ziele, den Portlandklinker elektrisch zu brennen. Ich gewann dabei den Eindruck, dass hier noch erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden sein werden. Dieser Eindruck ist vor kurzem bestätigt worden. In einem Berichte über einen Besuch der Portlandzementfabrik Holderbank, zu dem Vertreter der Presse eingeladen worden waren, heisst es z. B. in der «Neuen Zürcher Zeitung» vom 22. Oktober 1945, Nr. 1587: «Theoretisch und im Laboratoriumsversuch ist die Frage der Herstellung von Zement mit weisser Kohle gelöst. Die praktischen Schwierigkeiten, d. h. die Zementgewinnung im Grossbetrieb, sind aber noch nicht überwunden.» Einige Zeilen weiter unten heisst es: «Bis zur Rückkehr einer normalen Kohlenzufuhr wird also mit einem Mangel an Zement zu rechnen sein.»

Da nach allgemeiner Ansicht noch mindestens ein Jahr vergehen wird, bis wir wieder eine normale Kohlenzufuhr haben, hat das elektrische Schmelzen von Zementschlacke oder «aktiver Schlacke» an Aktualität nichts eingebüsst, weil sich die verfügbare Zementmenge zum mindesten um die Menge dieser Schlacke erhöhen lässt. Für die Verwertung der aktiven Schlacke bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten: 1. Fabrikation von Schlackenzement gemäss meinem Vorschlag. 2. Zumahlung dieser Schlacke in gewissen Prozentsätzen zu brennstoffgebranntem Portlandzement.

Prof. Roš will nur die zweite Möglichkeit gelten lassen und macht hierüber zunächst folgende mengenmässigen Angaben. Die bis Ende 1946 zur Verfügung stehende Menge Portlandzement wird auf etwa 400 000 t geschätzt und die bis zum gleichen Zeitpunkte bestenfalls erzeugbare Menge von aktiver Schlacke auf 60 000 t. Es sollen nun aus 350 000 t Portland plus 40 000 t Schlacke 390 000 t eines Zementes mit 10 % Schlackenanteil und aus 50 000 t Portland plus 20 000 t Schlacke 70 000 t eines Zementes mit 30 % Schlackenanteil hergestellt werden. Dieser Vorschlag wird deshalb gemacht, weil der Zement mit 10 % Schlackenanteil die Normenvorschriften für Portlandzement noch voll und ganz erfüllt und deshalb die Bezeichnung «Portlandzement» behalten soll.

Bei gleichmässiger Verteilung der 60 000 t Schlacke auf 400 000 t Portland würde sich ein Zement mit 13 % Schlackenanteil ergeben, also ein praktisch unbedeutender Unterschied. Ob nun die eine oder andere Variante der Zumischung gewählt wird, immer wird sich die verfügbare Zementmenge um 60 000 t, d. h. um 15 % erhöhen.

Wenn dagegen Schlackenzement fabriziert würde mit einem Teil Kalkhydrat auf zwei Teile Schlacke, bekäme man eine zusätzliche Bindemittelmenge von 90 000 t oder 22,5 %, zugegebenermassen in der Voraussetzung, dass die dazu nötigen 30 000 t Kalkhydrat beschafft werden können. Für eine Tonne Hydrat sind theoretisch 755 kg, praktisch etwa 840 kg Brandkalk nötig. Rechnet man in Uebereinstimmung mit Prof. Roš mit einem Bedarf von etwa 1,2 Mio kcal (entsprechend 200 kg Koks zu 6000 kcal) für das Brennen von einer Tonne Brandkalk, so sind auf eine Tonne Hydrat 0,84 × 220 = 185 kg Koks erforderlich; für 30 000 t Hydrat also etwa 5500 t.

Diese Koksmenge wäre jedenfalls weit eher zu beschaffen als eine entsprechende Menge hochwertiger Kohle für den Brand des Portlandklinkers. Anderseits ist durch einen Versuchsofen bewiesen, dass das Brennen von Kalk durch elektrisch auf 1000° erhitzte Luft technisch möglich ist. Die Durchführung dieses Verfahrens in grösserem Masstabe ist bis heute lediglich behindert durch die Schwierigkeit der Beschaffung des für die Lufterhitzung nötigen Widerstandsmateriales in geeigneten Dimensionen. Die Herstellung von Schlackenzement, wodurch die verfügbare Zementmenge um 90 000 t statt um 60 000 t erhöht werden könnte, erscheint also durchaus nicht so unmöglich, wie es von Prof. Roš dargestellt wird.

Abgesehen davon, wird von ihm die Herstellung von Schlackenzement aus zwei Gründen bekämpft. 1. Weil der von ihm definierte energetische Wirkungsgrad für Portland 3,3 mal so gross sei wie für Schlackenzement. 2. Weil die Brennkosten für Schlackenzement 85 % höher seien. Statt Brennkosten wäre hier besser Kalorienaufwand gesagt worden.

Zum ersten Punkt ist folgendes zu sagen: Es geht meines Erachtens nicht an, den technisch wirtschaftlichen Wert eines Bindemittels einfach der «normengemäss ermittelten Druckfestigkeit» proportional zu setzen, weil dies einer starken Ueberschätzung des Wertes der normengemäss ermittelten Festigkeiten gleichkommt. Es ist nämlich damit implicite gesagt, dass sich für alle Bauobjekte der Bindemittelbedarf einzig und allein nach dessen Normenfestigkeit zu richten hätte und dass daher beim Betonieren in allen Fällen die Zementdosierung zu verdoppeln wäre, wenn ein Bindemittel von halb so grosser Normenfestigkeit verwendet würde. In sehr vielen Fällen, vielleicht in der Mehrzahl der Fälle, kommt es aber auf eine besonders hohe Betonfestigkeit nicht an, was zur Folge hat, dass einerseits die hohe Festigkeit des Portlands nicht ausgenützt wird, weil man mit der Dosierung aus praktischen Gründen nicht unter etwa 100 kg/m³ gehen kann, anderseits ein Zement mit niedrigerer Normenfestigkeit auch ohne höhere Dosierung den gewünschten Zweck erfüllt. Beispielsweise geht aus dem Graphikon Abb. 2 des zitierten Aufsatzes folgendes hervor: Nach 90 Tagen, also in einem Alter, in dem der Beton seine Endfestigkeit nahezu erreicht hat, zeigte ein mit 150 kg dosierter Schlackenzementbeton von Roll 1914 eine Druckfestigkeit von 75 kg. Ein gleich hoch dosierter Portlandzementbeton 1944 ergab 132 kg. Baufachleute werden zugeben, dass für sehr viele Anwendungsfälle (Hausfundamente, Kellermauern, Stützmauern bei Strassen usw.) eine Druckfestigkeit von 75 kg vollkommen ausreichend ist.

Ausserdem leidet der von Prof. Roš definierte energetische Wirkungsgrad an dem Mangel, dass er nur die benötigte Wärmemenge, nicht aber deren Qualität und Beschaffbarkeit berücksichtigt. Die zum Klinkerbrennen benötigten Kalorien sind von hoher Qualität und aus Brennstoff zur Zeit nicht beschaffbar, die zum Schlackenschmelzen benötigte Elektrowärme ist auch von hoher Qualität, aber bei uns wenigstens in den Sommermonaten beschaffbar.

Selbst wenn man den energetischen Wirkungsgrad nach Roš anerkennen sollte, bedürfen die von ihm berechneten Zahlenwerte einer Korrektur, weil Prof. Roš für den Portlandzement einen zu günstigen und für den Schlackenzement einen zu ungünstigen Wärmebedarf zu Grunde gelegt hat. Für Portland wurde ein Bedarf von 1,0 Mio kcal pro Tonne Klinker angenommen. Nach allen Literaturangaben werden aber pro Tonne Klinker 200 kg Kohle von 7000 Kalorien benötigt, was einem Bedarfe von 1,4 Mio kcal entspricht. Für den Schlackenzement wurden die von mir in meiner Eingabe genannten Zahlen benützt, nämlich:

für das Schmelzen der Schlacke	1220 kWh
für das Trocknen der Schlacke	350 kWh
für das Brennen des Kalkes	580 kWh
	2150 kWh = 1,85 Mio kcal

Nun kann ich heute sagen, dass ich damals sehr vorsichtig, vielleicht übertrieben vorsichtig gerechnet habe, denn der seither durchgeführte Schmelzbetrieb in Flums hat ergeben, dass der Energieverbrauch zum Schmelzen im Dauerbetrieb etwas unterschritten werden wird, ferner dass ich den Energieaufwand zum Trocknen gut um das Doppelte überschätzt habe, weil nämlich der Schlackensand nicht 25 % Nässe enthält wie ich angenommen hatte, sondern höchstens 10 %. Eine genaue Nachrechnung des Energieverbrauches zum Kalkbrennen hat ergeben, dass dieser richtig eingesetzt war, nämlich mit 1500 kcal pro kg Brandkalk. Hingegen hatte ich ein zu ungünstiges Ausbringen von Hydrat aus dem Brandkalk angenommen. Durch chemische Bindung von Wasser entstehen nämlich aus 100 kg Brandkalk 132 kg Hydrat oder, anders ausgedrückt, auf 1000 kg Hydrat sind theoretisch 755 kg Brandkalk nötig. Wegen verschiedener beim Ablöschen entstehender Verluste erhöht sich natürlich dieser Bedarf, aber nicht auf 1000 kg, wie ich in meiner Eingabe übervorsichtig gerechnet hatte, sondern man kann bei modernen Löscheinrichtungen mit einem Bedarfe von 840 kg rechnen, wie es bereits oben geschehen ist. Auf 1 t Schlackenzement entfällt daher der dritte Teil von 840 kg, das sind 280 kg Brandkalk zu 1500 kcal = 420 000 kcal entsprechend 490 kWh. Meine seinerzeitigen Energieverbrauchszahlen für den Schlackenzement sind daher wie folgt zu berichtigen:

Schmelzen der Schlacke	1220 kWh
Trocknen der Schlacke	170 kWh
Brennen des Kalkes	490 kWh
	1880 kWh = 1,62 Mio kcal

Der Kalorienverbrauch für Schlackenzement verhält sich also zu demjenigen für Portlandzement wie 1,62 : 1,4 = 1,16. Er ist also nur 16 % und nicht 85 % höher, wie nach der Rechnung von Prof. Roš.

Berechnet man unter den gleichen Annahmen, nämlich 1,4 Mio kcal für den Portland und 1,62 Mio kcal für den Schlackenzement den energetischen Wirkungsgrad, so ergibt sich für Portland die Zahl 394 und für Schlackenzement die Zahl 195, also ein Verhältnis von 2:1. Der energetische Wirkungsgrad ist also bei Portland nicht 3,3mal, sondern nur 2mal so hoch wie bei Schlackenzement. Es wurde aber oben ausgeführt, dass dem

energetischen Wirkungsgrad keine grosse praktische Bedeutung zukommt. Der Schlussfolgerung von Prof. Roš: «Die Herstellung von Schlackenzement durch elektrisches Brennen in für Kalk und Schlacke getrennten Oefen, selbst in Zeiten der Not, fällt aus technisch-wirtschaftlichen Erwägungen dahin», kann also nicht zugestimmt werden.

Nach meiner Meinung sollte das elektrische Kalkbrennen so rasch als möglich verwirklicht werden, ganz unabhängig davon, ob man nun Schlackenzement herstellen will oder nicht, und zwar aus folgenden Gründen: 1. Gebrannter Kalk wird ausser zu Bauzwecken in vielen Industrien, z. B. der Karbidindustrie benötigt. 2. Nennenswerte technische Schwierigkeiten sind nicht zu erwarten. 3. Das Verfahren wird wirtschaftlicher sein als Brennen mit Koks.

Denn vorsichtig gerechnet, wird man mit 1500 kcal/kg Brandkalk auskommen, die entweder mit 0,25 kg Koks zu 6000 kcal oder mit 1,74 kWh zu 860 kcal gewonnen werden können. Bei einem Strompreis von 1 Rp./kWh ergibt sich hiernach ein Aequivalentpreis für den Koks von 7 Rp./kg, und bei 1,5 Rp./kWh ein solcher von 10,5 Rp./kg. Das elektrische Kalkbrennen dürfte sich daher als ein vorteilhaftes Verfahren zur Verwertung überschüssiger Sommerenergie erweisen.

Der weitere Einwand, Schlackenzementbeton sei nicht frostbeständig, darf nicht unwidersprochen bleiben. Frostschadengefahr besteht hauptsächlich dann, wenn in einem Betonkörper von einer Seite Wasser eindringt, während die andere Seite der Einwirkung von Luft mit Temperaturen unter 0° ausgesetzt ist (Staumauern, Stützmauern, Brückengewölbe und drgl.). Die Frostbeständigkeit hängt nicht vom Bindemittel, sondern von der fachgemässen Ausführung der Betonierung ab, sofern das Bindemittel den allgemeinen Anforderungen an hydraulische Bindemittel genügt. Auch bei Verwendung des besten Portlandzementes können Frostschäden auftreten, so bei schlechter Granulierung, und es ist nicht bewiesen, dass bei Bindemitteln mit geringerer Normenfestigkeit Frostschäden eher zu erwarten sind. Es lassen sich zahlreiche Beispiele von Wehrbauten, Stützmauern, gewölbten Brücken und drgl. anführen, die aus Schlackenzementbeton ausgeführt wurden und sich als völlig frostbeständig erwiesen haben.

Etwas anderes ist es, wenn es sich um die Eignung eines Bindemittels für Betonierungen bei Frostwetter handelt. Hier ist dem Portlandzement wegen seiner grösseren Abbindewärme und höheren Anfangsfestigkeit der Vorzug zu geben.

Mit den vorstehenden Ausführungen wollte ich in erster Linie einige Behauptungen im Artikel von Prof. Roš richtigstellen. Der bisherige Versuchsbetrieb in Flums hat gezeigt, dass in Karbidöfen eine brauchbare Schlacke in nenenswerten Mengen und zu einem tragbaren Preis betriebsicher hergestellt werden kann.

Eine Frage, die bald entschieden werden sollte, ist die, ob im nächsten Frühjahr nach Besserung der Stromdisponibilitäten der Betrieb in Flums wieder aufgenommen werden kann, und ob im Laufe des kommenden Winters weitere Karbidöfen für den Schlackenbetrieb eingerichtet werden sollen. Demgegenüber tritt die Frage der zweckmässigsten Verwendung der aktiven Schlacke an Wichtigkeit zurück. Für die Fabrikation von Schlackenzement spricht der Umstand, dass eine grössere Bindemittelmenge verfügbar gemacht werden könnte, als wenn die Schlacke nur zum Portland zugemahlen wird. Aber auch die Zumahlung zu Portland, sei es mit einem 10%igen Schlackenanteil, wobei keine neue Zementmarke auftreten würde, sei es mit einem Anteil zwischen 10 bis 30 %, wodurch wir den Eisenportland bekämen, der sich in Deutschland bewährt hat, kann zweckmässig sein. Die hiemit zusammenhängenden Fragen sollten im Laufe des Winters durch Versuche an neutraler Stelle nach bester Möglichkeit abgeklärt werden. Dass der sog. Hochofenzement mit bis zu 85 % Schlakkenanteil abzulehnen sei, darin gehe ich mit Prof. Roš einig.

Am Schlusse seiner Ausführungen räumt Prof. Roš dem Problem des elektrischen Brennens von Portlandzement den Vorrang ein. Dem ist entgegenzuhalten, dass aller Voraussicht nach das elektrische Schmelzen aktiver Schlacke die gegenwärtige akute Zementnot rascher zu lindern vermag und deshalb zum mindesten die gleiche Förderung verdient wie das elektrische Brennen des Portlandklinkers.

Zürich, den 4. Dezember 1945 Prof. H. Gugler

*

Die Entgegnung von Prof. H. Gugler gibt mir zu nachfolgenden Klarstellungen Veranlassung.

A. Vorsorge

Bereits im Jahre 1942, als die Zuteilung von Portlandzement durch das KIAA mit rd. 480 000 t (wovon etwa 40 000 t aus dem Ausland importiert wurden) noch sehr zufriedenstellend war, wurden an der EMPA, in Voraussicht einer weiteren Verknappung an Bindemitteln, aus eigener Initiative und unabhängig von gleichzeitigen Untersuchungen des Vereins Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten eingehende Versuche mit schweizerischen Portlandzementen durchgeführt, die bis maximal 15 % (gewichtmässig) aktive, als Nebenprodukt erzeugte, in Wasser abgeschreckte (granulierte), homogen vermahlene Schlacke enthielten. Diese Mischung genügte in jeder Beziehung — auch in Bezug auf die chemische Reinheit — den Normenvorschriften für reinen Portlandzement; die Biegezug-Festigkeiten des plastischen Normenmörtels 1 : 3 wurden bei geeigneter Hochofenschlacke sogar gesteigert. Bereits damals, drei Jahre vor der Eingabe von Prof. H. Gugler, suchte die EMPA Mittel und Wege zur Ueberbrückung der Zementknappheit, jedoch nicht durch die Erzeugung von Schlackenzement ($^2/_3$ Schlacke + $^1/_3$ Kalkhydrat), sondern durch Zusatz der im Inland als Nebenprodukt anfallenden oder aus dem Ausland importierten Hochofenschlacke zu Portlandzement bei Einhaltung aller bautechnischen Eigenschaften des normengemässen Portland-Zementes, sowie Verminderung der Zementdosierung auf das äusserste, noch zulässige Mass[1]). Die EMPA stellte sich dabei auf den Boden einer sicheren Linderung der Zementknappheit, da eine sofortige völlige Ueberbrückung sich als aussichtslos erwies. In den Jahren 1942/43 wurden denn auch zu diesem Zweck insgesamt etwa 60 000 t aktive Schlacke eingeführt.

In dieser Erkenntnis und unter Beachtung der sofort greifbaren Möglichkeiten war die EMPA bestrebt, die Mengen-Steigerung des stärksten und besten aller Bindemittel der Bauindustrie, des Portlandzementes, zu fördern und sah begründeterweise von einer Befürwortung der Erzeugung von Schlacken-Zement absichtlich ab, ohne gegen seine Verwendung im Rahmen der Bestimmungen der Schweizerischen Bindemittel-Normen Einwand zu erheben.

B. Portlandzement — Eisenportlandzement — Schlackenzement

Die in der Schweiz bis Ende 1946 zur Verfügung stehende Menge an aktiver Schlacke dürfte bei voller Erfüllung der Eingabe von Prof. H. Gugler an das KIAA vom Mai 1945 bestenfalls rd. 60 000 t betragen; sie würde bei einem maximal zulässigen Anteil von rd. 15 % in der bis Jahresende 1946 sicher zur Verfügung stehenden Portlandzementmenge von rd. 400 000 t gänzlich aufgebraucht werden, sodass für die Erzeugung von Schlackenzement keine Schlacke mehr übrig bleibt. Erst wenn gegen Erwarten und bei weiter andauerndem Mangel in der Kohlenversorgung, Importe an aktiver Schlacke aus dem Ausland möglich werden sollten und die entsprechende Menge an Kalkhydrat greifbar würde, käme die Erzeugung von Schlackenzement in Erwägung. Dann ist aber neben der Erzeugung von Portlandzement mit maximal 15 % Schlackenzusatz die Fabrikation des Eisenportlandzementes mit höchstens 30 % Schlackenanteil derjenigen von Schlackenzement des entschiedensten vorzuziehen.

Erst wenn es möglich werden sollte, Schlacke in einem gewissen Uebermass zu erzeugen oder vom Ausland zu erhalten, könnte man in Zeiten der Not der Erzeugung von Schlackenzement zustimmen, wobei aber die zugeordnete Menge an Kalkhydrat zur Verfügung stehen müsste, was technisch nicht unmöglich, aber gegenwärtig für eine Menge von 30 000 t Kalkhydrat (etwa 25 000 t Stückkalk) ein für unsere Verhältnisse industriell noch nicht gelöstes Problem ist. Die Kostenfrage müsste ausserdem noch geprüft werden.

*

Theorie und Erfahrung lehren, dass grundsätzlich die Beton-Festigkeit für gleiche Dosierungen und Konsistenzen der Normenfestigkeit des Zementes (Festigkeitsqualität) proportional ist und dass sie, sachgemässes Betonieren vorausgesetzt, für eine bestimmte Konsistenz proportional mit der Zementdosierung zunimmt. Die nach dem Vorschlag von Prof. H. Gugler erreichbare Schlackenzementmenge von 90 000 t, bestehend aus 60 000 t Schlacke und 30 000 t Kalkhydrat, ergibt wohl eine Erhöhung der Bindemittelmenge von 400 000 auf 490 000 t, also um 22,5 % gegenüber nur 15 %, wie oben für Portlandzement festgestellt wurde. Der Vergleich ist aber nur mengenmässig, nicht wertmässig: Auf gleiches Betonvolumen von ungefähr gleicher Festigkeit bezogen braucht es an Portlandzement gewichtsmässig nur rd. $^2/_3$ der Schlackenzementmenge, sodass also trotz der gewichtsmässig geringeren Bindemittelmenge volumenmässig mehr, bzw. gleich viel Beton hergestellt werden kann. Dabei erspart man sich das Brennen des Kalkhydrates, das das Mehrgewicht beim Schlackenzement ausmacht.

Die äusserste noch zulässige Dosierung für schwach beanspruchten, weder wetterfesten noch frostbeständigen Beton be-

[1]) *G. Leuenberger* und *M. Ros*: Bauen in Kriegszeiten, Heft Nr. 1 der Schriftenreihe Arbeitsbeschaffung. Zürich 1942, Polygraph. Verlag.

trägt 100 kg/m³ Portlandzement (Druckfestigkeit $_w\beta_{d28} \cong 70$ kg pro cm²). Die bautechnisch äquivalente Schlackenzementmenge ist bestenfalls mit 150 kg/m³ (Druckfestigkeit $_w\beta_{d28} \cong 60$ kg pro cm² und normalerweise mit 200 kg/m³ ($_w\beta_{d28} = 80$ kg/cm²) anzusetzen.

Beim Vergleich der Druckfestigkeiten, Abb. 2, S. 174 des lfd. Bds., ist zu beachten, dass die Anmachwassermenge bei Schlakkenzement 135 l, bei Portlandzement 160 l, also rd. 20 % mehr beträgt. Infolgedessen ist die Druckfestigkeit des Schlacken-Zementbetons etwas höher als beim Portlandzementbeton gleicher Konsistenz. Sodann ist bei höheren Dosierungen von z. B. 300 kg/m³ und angenähert gleichem Wasserzusatz die Würfel-Festigkeit des Portlandzementbetons etwa doppelt so gross, wie die des Schlackenzementbetons, sie ist also proportional der Bindemittelenergie (Normenfestigkeit). Die von Prof. Gugler für Schlackenzementbeton mit 150 kg/m³ Dosierung als ausreichend zitierte Druckfestigkeit von $_w\beta_{d\,90} = 75$ kg/cm² im Alter von 90 Tagen wird von einem Portlandzementbeton mit 100 kg/m³ PZ-Dosierung, dessen Druckfestigkeit im gleichen Alter $_w\beta_{d\,90} \cong 90$ kg/cm² beträgt, übertroffen. Portlandzementbeton mit 100 kg pro m³ PZ-Dosierung und Schlackenzementbeton mit 150 kg/m³ sind sich im gleichen Alter somit zum Mindesten ebenbürtig. Dagegen wird der mit 150 kg/m³ dosierte Schlackenzementbeton eher etwas leichter zu verarbeiten sein, als der Portlandzement-Beton mit 100 kg/m³ P. Z., ohne dass dieser jedoch etwa seine Verarbeitbarkeit einbüssen würde.

Technisch und wirtschaftlich bewertet ist nachfolgende Reihenfolge in Bezug auf die Verwendung von Schlacke begründet:

1. Zusatz von 10 bis max. 15 % Anteil an aktiver Schlacke zu Portlandzement, Produkt = *Portlandzement;*
2. Zusatz von 30 % Anteil an aktiver Schlacke zu Portland-Zement, Produkt = *Eisenportlandzement;*
3. Mischung von etwa ²/₃ Schlacke mit etwa ¹/₃ Kalkhydrat, Produkt = *Schlackenzement.*

Die drei Zement-Kategorien waren, wenn normengemäss, bei uns seit jeher zulässig.

Der Unterschied in den Auffassungen liegt darin, dass Prof. Gugler die Fabrikation von Schlackenzement durch nach Schlacke (Niederschachtofen) und Stückkalk (Sonderofen) getrennten elektrischen Brand in die erste Reihe rückt und als wirtschaftlich tragbar bewertet und ich die vorgeschlagene Erzeugung des Schlackenzementes in die dritte Reihe stelle und bei den bei uns selbst in Zeiten der Not vorliegenden Verhältnissen aus technischen und wirtschaftlichen Erwägungen ablehne. Die in Niederschachtöfen elektrisch erschmolzene Schlacke ist nach meiner Auffassung in erster Linie dem Portlandzement beizumischen und in zweiter Linie zur Erzeugung von Eisenportlandzement zu verwenden.

Elektrisches Brennen von Schlacke und Kalk

Die technischen Möglichkeiten des elektrischen Brennens von Schlacke und Kalk sind von mir nicht bestritten worden. Tatsache ist, wie auch Prof. Gugler zugibt, dass die industrielle Erzeugung von elektrisch gebranntem Kalk gegenwärtig noch mit Schwierigkeiten in der Beschaffung des für die Lufterhitzung nötigen Widerstandsmaterials in geeigneten Dimensionen verbunden ist und daher das elektrische Brennen von Kalk nicht verwirklicht werden konnte, und dass ferner die elektrische Erzeugung von Schlacke in den Karbidöfen von Flums 30 bis 40 t pro Tag beträgt, somit im Jahre 1946 in drei Oefen im Maximum 30 000 t erreichen würde. Tatsache ist ferner, dass die in Flums elektrisch erschmolzene Schlacke in einer Mischung von 2 G. T. Schlacke zu 1 G. T. Kalkhydrat bis jetzt nicht vorschriftsgemässen Schlackenzement ergab, indem der normengemässe Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit von $_w\beta_d \cong 150$ kg/cm² im Alter von 28 Tagen nicht erreicht wurde.

Die von mir ausgesprochene Behauptung, dass in Ermangelung ausreichender Erfahrungen in der industriellen Erzeugung von Schlacke und Stückkalk durch elektrisches Brennen noch technisch-wirtschaftliche Probleme der Lösung harren, hat sich bestätigt. An der Ueberwindung der technischen Schwierigkeiten im Laufe der Zeit zweifle ich nicht, die Kosten werden aber zu hoch und sind für den Schlackenzement in normalen Zeiten nicht tragbar.

Die bisher in Flums erzeugte Menge an Schlacke erreichte insgesamt nur 600 t; der Preis stellte sich auf 1550 Fr./10 t; er ist somit doppelt so hoch wie der gegenwärtige Preis für Portlandzement. Unter diesen Verhältnissen kann von einer Ueberbrückung der Bindemittelnot noch keine Rede sein.

Verbrauch an Wärme

Der Wärmeverbrauch für den Brand einer Tonne Portland-Zementklinker stellt sich im Trockenverfahren (Lepol-Ofen mit Leistung von 200 t Klinker in 24 Std.) auf 1,0 Mio kcal (155 kg Kohle zu 6500 kcal/kg); im Nassverfahren (200 t-Ofen mit Schlamm-Trocknung in 24 Std.) auf 1,4 Mio kcal (220 kg Kohle zu 6500 kcal/kg); im elektrischen Brennofen für gemischten Brand mit Kohle[2]) (Winter) und Elektrizität (Sommer) schätzungsweise auf 1,0 bis 1,2 Mio kcal (1160 bis 1400 kWh).

Nach den berichtigten, auf die Versuche in Flums sich stützenden Angaben von Prof. H. Gugler beträgt der Energieverbrauch für 1 t Schlackenzement 1880 kWh = 1,62 Mio kcal, er ist somit gegenüber den ersten Angaben vom Mai 1945 mit 2150 kWh = 1,85 Mio kcal um etwa 12,5 % kleiner, bleibt aber immer noch um 1,62 — 1,20 = 0,42 Mio kcal oder 35 % höher als der von 1 t elektrisch gebranntem Portlandzementklinker. Der energetische Wirkungsgrad, der einen wertvollen Begriff des technisch-wirtschaftlichen Wertes eines Bindemittels vermittelt, ist beim Portlandzement etwa 2,4 mal grösser.

Ueber den Bedarf an Brennenergie für 1 t elektrisch gebrannten Stückkalk (Brandkalk) von 1,5 Mio kcal besteht keine Meinungsverschiedenheit. Es ist aber zu beachten, dass das Brennen von Kalk mehr Energie braucht, als das von Portlandzement, wofür, wie oben angeführt, mit 1,0 bis 1,4, im Mittel 1,2 Mio kcal/t Zement zu rechnen ist.

Frostbeständigkeit

Laboratoriumsversuche und Erfahrung lehren, dass die Frostbeständigkeit abhängt von der Qualität des Bindemittels (Wahl des Rohmaterials, Schärfe des Brandes, Feinheit der Mahlung), der Höhe der Dosierung und der Güte der Verarbeitung, für die bei einem bestimmten Sand-Kiesmaterial, gleicher Dosierung und Konsistenz das Raumgewicht des frischen Betons einen zuverlässigen Masstab bildet. Selbst sachgemäss verarbeiteter Beton von Luftbauten und an luftseitigen Flächen von Stützmauern, Wehrbauten und namentlich von unter hohem Wasserdruck stehenden Talsperren schwindet und wird rissig. An diesen Rissstellen nehmen bei nicht frostbeständigem Beton die Frostschäden ihren Ausgang. Hohe Zementdosierung (bereits über 250 kg pro m³) und hohe Anmachwassermenge (Gussbeton, $w \geq 8$ %) begünstigen die Ausbildung von Schwindrissen und damit von Frostschäden. Die nur etwa halb so grosse Festigkeitsenergie des Schlackenzementes bedingt höhere Dosierungen und damit höhere Anmachwassermengen, sodass Schlackenzement stärker schwindet als Portlandzement. Nasser, durchfeuchteter, an sich sachgemäss erstellter Schlackenzementbeton von Luftbauten und luftseitigen Flächen von Wasserbauten ist gegen Frosteinwirkungen ganz wesentlich empfindlicher als kunstgerecht erstellter Portlandzementbeton; er kann, wie auch die Erfahrung lehrt (Wehrbauten), seiner geringen Festigkeit und Neigung zur Schwindrissigkeit wegen nicht als frostbeständig bewertet werden. Nicht fachgemässe Ausführung des Betons fördert in hohem Masse Frostschäden; sie muss grundsätzlich und ganz besonders bei den dem Frost ausgesetzten Betonbauten vermieden werden. Schlackenzement ist eine *mechanische Mischung* von geeigneter, aktiver Schlacke mit Kalkhydrat und kann nicht mit der besonderen durch den Brand bedingten, *mineralischen Beschaffenheit* des Portlandzementes verglichen werden, der der Hauptsache nach Trikalziumsilikat, Dikalziumsilikat, Trikalziumaluminat und Tetrakalziumaluminatferrit enthält. Es handelt sich im Vergleich zu Portlandzement eben um ein Bindemittel zweiten Ranges mit rund nur halb so grosser Festigkeitsenergie.

Schlackenzement weist ein niedrigeres spezifisches Gewicht ($s \cong 2{,}80$) auf als Portlandzement ($s \cong 3{,}10$); der Glühverlust ist höher; zufolge verschiedener Eigenart ist die Anmachwassermenge von Fall zu Fall zu bestimmen; bei der Raumbeständigkeits-Warmwasserprobe darf die Erwärmung nur auf + 50° C und nicht bis zur Siedetemperatur wie beim Portlandzement gesteigert werden; bei der Kochprobe nach Le Chatelier wird eine um 2 mm grössere Nadelspitzenentfernung zugelassen (maximal 10 mm statt bei P. Z. 8 mm); er bindet langsam ab, für das Betonieren bei niedrigen, unter + 5° C fallenden Temperaturen darf er nicht verwendet werden. Ein Ausweis über seine chemische Reinheit wird nicht verlangt. Schlackenzement ist im Rahmen seines Anwendungsgebietes wirtschaftlich nur dann interessant, wenn die Schlacke als Nebenprodukt zu sehr niedrigem Preise zur Verfügung steht.

Aus diesen Gründen ist die Verwendung von Schlacken-Zement auf langsam fortschreitende Arbeiten unter Wasser oder in feuchter Luft (Stollen), die keine hohen Festigkeiten erfordern und der Frosteinwirkung nicht ausgesetzt sind, zu beschränken. Für Eisenbeton ist er nicht zu verwenden. Die maximal zu-

[2]) Für den Klinkerbrand im Drehofen kann an Stelle anthrazitähnlicher Kohle bis zu 30 % Koks und bis zu 10 % auch einheimische Braunkohle beigemischt werden.

lässigen Spannungen sind gering, sie betragen für eine Dosierung von 300 kg/m³ im Schwerpunkt 15 kg/cm², am Rand 25 kg/cm².

Elektrisches Brennen von Portlandzement

Dem elektrischen Brennen von Portlandzement wird der grundsätzlich gleiche Werdegang beschieden sein wie vor bald 50 Jahren der Erzeugung von Aluminium und vor rd. 30 Jahren der Elektrifikation der SBB. Ich bin überzeugt, dass es der technisch auf der Höhe der Zeit stehenden, erstklassigen schweizerischen Bindemittelindustrie, in Gemeinschaft mit der hochentwickelten, im internationalen Wettbewerb an der Spitze marschierenden schweizerischen Elektrizitätsindustrie sicher gelingen wird, die gegenwärtigen Schwierigkeiten (Stabilität des Hochspannungs-Flammenbogens und grössere Leistung des einzelnen Flammenbogens) zu meistern und den Brand von Portlandzement im Elektroofen in technisch-wirtschaftlicher Weise vorteilhaft zu verwirklichen. Dazu berechtigt auch der bereits im Jahre 1942 im elektrischen Versuchsofen in Holderbank erzeugte und in der EMPA geprüfte Portlandzement. Nicht nur die Schweiz, die ganze Bauwelt erwartet mit grösstem Interesse die Erzeugung von Portlandzement im sowohl für den Brand mit Elektrizität als auch mit Kohle umgebauten Drehofen in Vouvry [3]).

Das Schmelzen von Schlacke in Niederschacht-Elektroöfen (Karbidöfen) und das Trocknen ist etwa 50 % teurer als der Brand von Portlandzement, derjenige von Stückkalk in elektrischen Sonderöfen stellt sich um etwa 25 % höher. Der Kalorien-Verbrauch für Schlackenzement (2 G. T. Schlacke und 1 G. T. Kalkhydrat) ist gegenüber Portlandzement um etwa 35 % höher.

Diese Zahlen lassen die wirtschaftliche Unhaltbarkeit des Schlackenzementes durch elektrischen Brand in Niederschacht- und Sonderöfen, getrennt für Schlacke und Stückkalk, klar erkennen. Hinzu kommt noch seine technische Unterlegenheit gegenüber dem Portlandzement. Das elektrische Brennen von Schlacke und Stückkalk, falls es in Zeiten der Not aufkommen sollte, wird in normalen Zeiten verschwinden. Dem elektrischen Brennen von Portlandzement wird aber in Zukunft, auch infolge des mit der Zeit abnehmenden Vorrates an Kohle und mit Rücksicht auf die Unabhängigkeit vom Ausland, der Erfolg technisch und wirtschaftlich gesichert sein.

7. Dezember 1945. M. Roš

[3]) *H. Gygi:* «Zur elektrischen Eisenerzverhüttung und Zementfabrikation». Elektrizitätsverwertung, Heft 5/6 1945. Holderbank: Niederspannungsofen. Energieverbrauch etwa 1100 kWh pro Tonne Klinker.

ISOLUX, ein neues Verbundglas

Von Dipl. Arch. E. WUHRMANN, S. I. A., Zürich

Eng verbunden mit der zunehmenden Verfeinerung der Arbeitsweise auf allen Gebieten der Industrie und des Handwerks, wie auch mit der Verbesserung der hygienischen Bedingungen, ist die Forderung nach zweckmässiger Beleuchtung der Arbeitsräume. Abgesehen von verhältnismässig wenig Einzelfällen hat sich die diffuse Beleuchtung als die bestgeeignete erwiesen, da hierdurch Blendwirkungen und starke Schattenbildungen vermieden und somit günstige Arbeitsbedingungen geschaffen werden können. Das gilt nicht nur für künstliche, sondern auch für die Beleuchtung durch das Tageslicht, namentlich, wenn es durch Oberlichter einfällt. Diese ergeben bei richtiger Dimensionierung und Anordnung eine gleichmässige und hinreichend starke Erhellung der Arbeitsräume. Sie haben aber den Nachteil besonders grosser Wärmeverluste in der kalten Jahreszeit, sowie einer unerwünschten Erwärmung der Arbeiträume bei Sonnenbestrahlung im Sommer, sofern sie nur mit einfachen Rohglas- oder Drahtglasscheiben eingedeckt sind. Der nötige Schutz gegen Wärmeverluste im Winter kann durch Doppelverglasung geschaffen werden. Die Erzeugung diffusen Lichtes wäre theoretisch durch Verwendung von Milchglas, Opalüberfangglas oder dergl. möglich, ist aber praktisch meist aus verschiedenen Gründen nicht durchführbar. Man behilft sich daher bekanntlich damit, dass man in der warmen Jahreszeit die Oberlichter mit Kalkbrühe oder blauer Farbe anstreicht, wodurch jedoch an trüben Tagen wegen des geringen Lichtdurchlasses die Beleuchtung zu sehr herabgesetzt wird. Anderseits wird dieser Anstrich durch Regen leicht ganz oder teilweise abgewaschen, wodurch er ungleich lichtdurchlässig wird und oft erneuert werden muss. Zu Beginn der lichtärmeren Jahreszeit muss er wieder beseitigt werden, was immer mit Kosten und Bruchgefahr für die Gläser verbunden ist. Es lag daher nahe, den erwähnten Scheibenanstrich durch eine zwischen den Scheiben befindliche und so gegen Witterungseinflüsse geschützte lichtstreuende Einlage aus Glasseide oder andern durchscheinenden Stoffen zu ersetzen. Die nach diesem Gedanken hergestellten Verbundgläser haben aber den Nachteil, dass mit zunehmender Lichtdurchlässigkeit die Dicke der Einlage und damit die Wärmeisolation sinkt, und umgekehrt. Schon bei einer einigermassen wirksamen Isolierung muss die Einlage so dick gewählt werden, dass der Lichtdurchlass praktisch nicht mehr genügt. Der Nachteil muss dann durch Ueberdimensionierung der Oberlichtfläche mit entsprechender Zunahme der Erstellungskosten ausgeglichen werden. Ein weiterer Nachteil dieser Konstruktionen liegt in der erhöhten Bruchgefahr der untern Scheibe infolge der dauernden Pressung der Einlage, verbunden mit dem Eigengewicht der Scheibe, sowie Schnee- und Winddruck. Erfahrungsgemäss brechen diese Scheiben ohne mechanische Einwirkung verhältnismässig oft, wobei die Splitter herabfallen und die Belegschaft gefährden. Es besteht somit ein Bedürfnis nach einem Verbundglas, bei dem Wärmeisolation und Lichtdurchlass unabhängig von einander geregelt werden können und ausserdem die Splittergefahr vermieden wird.

Beim ISOLUX-Verbundglas (Schweiz. Patent Nr. 239714), das von der Firma Grambach & Co. AG, Zürich-Seebach, in Lizenz des Verfassers hergestellt wird, wird die thermische Isolation durch eine zwischen den Scheiben eingeschlossene, durch umlaufende Randleisten begrenzte Luftschicht, die lichtstreuende

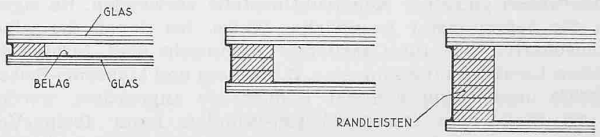

Abb. 1. Isolux-Verbundscheiben. Masstab rd. 1 : 2

Wirkung durch einen lichtstreuenden Belag der untern Scheibe erzeugt. Die Dicke der Luftschicht und diejenige des lichtstreuenden Belags sind unabhängig von einander und je nach dem Zweck des Verbundglases und den örtlichen Verhältnissen in weiten Grenzen variabel. Die Sicherheit gegen Splitterfall wird dadurch erreicht, dass der Belag auf der untern Scheibe aufgeklebt wird und daher auch bei Zerspringen der Scheibe infolge von inneren oder äusseren Spannungen die Splitter in zusammenhängender Fläche festhält. Die Gefahr des Zerspringens ist jedoch hier nur gering, da die untere Scheibe nicht unter Druck steht und nur ihr Eigengewicht zu tragen hat. Auch bei Bruch der äusseren Scheibe, etwa infolge aussergewöhnlichen Hagelschlages, fallen die Splitter nicht in den Raum, sondern werden von der untern Scheibe aufgefangen und damit am Absturz gehindert. Zum Schutz gegen Zerstörung durch auffallende feste Gegenstände und Durchschlagen des Oberlichts kann für die obere Scheibe Drahtglas verwendet werden. Das Eindringen von Traufwasser ins Innere der Verbundscheibe wird dadurch vermieden, dass die obere Scheibe über die untere um einige cm vorsteht, sodass das Traufwasser frei abtropfen kann.

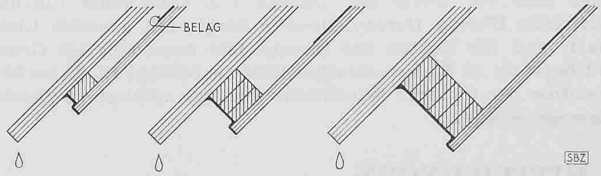

Abb. 2. Isolux-Oberlicht-Verbundscheiben. Masstab rd. 1 : 2

Der Lichtdurchlass kann im Zusammenhang mit der lichtstreuenden Wirkung des Belags in weiten Grenzen variiert und damit den jeweiligen örtlichen Verhältnissen angepasst werden.

Tabelle 1: Durchschnittliche Lichtdurchlässigkeit verschiedener Gläser in % der einfallenden Lichtmenge:

Rohglas, 4—6 mm stark	90 %
Gewöhnliches Drahtglas, 6—8 mm stark	75 %
Weitmaschiges Drahtglas, 6—8 mm stark	80 %
Termoluxglas, 9 mm stark	35—40 %
Isolux-Verbundglas jeder Stärke	45—70 %

Von den aufgeführten Gläsern sind nur das Termoluxglas und das Isolux-Verbundglas diffus lichtstreuend.

Tabelle 2: Wärmedurchgang bei Isolux-Verbundglas

Luftschichtdicke	mm	4	12	24
Wärmedurchgangszahl k	kcal/m² h °	3,28	2,45	2,12
Verbesserung der Isolierwirkung gegenüber andern Verbundgläsern	%	28 bis	46 bis	53 bis
	%	41	56	62