

Helmut Huber

Innovative Betontechnologie bei österreichischen Großbauvorhaben

BR.h.c. DI Dr. Helmut Huber

Verbundplan Prüf- und Messtechnik Ges.m.b.H.
Materialversuchsanstalt Strass

An moderne Betonbauwerke werden immer höhere und vielseitigere Anforderungen gestellt, die nur mit einem abgestimmten Gesamtkonzept aus Bemessung, Konstruktion, Betontechnologie und Bauausführung zu verwirklichen sind. Neben den Forderungen nach möglichst rascher Ausführung, entsprechender Gebrauchstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit ertönt in den letzten Jahren auch wieder der Ruf nach längerer Dauerhaftigkeit und damit nach neuen Bauweisen sowie einer innovativen Betontechnologie.

Diese Betontechnologie ist aber nur dort möglich, wo vor allem der Bauherr, in bestimmten Bereichen auch der Unternehmer, bereit ist, Verantwortung und ein begrenztes Risiko für diese Innovation zu übernehmen. Das bedeutet, sich nicht unter dem heute beliebten Alibi „normgerecht“ zurückzulehnen, sondern einen für das jeweilige Bauvorhaben oder spezielle Bauverfahren optimierten Beton, einen „Beton nach Maß“ auszuarbeiten und zuzulassen.

Betone im Kraftwerksbau

In den Jahren 1955–1975 war in Österreich Innovation in der Betontechnologie vor allem im Kraftwerksbau gefragt, als Hochgebirgskraftwerke mit hohen Talsperren (Bild 1), Kraftstationen, Druckschächten und vielen Kilometern Druckstollen sowie Großkraftwerke an der Donau nur mit optimiertem Beton zu verwirklichen waren. In diese Zeit fallen die Methoden zur Herstellung von gleichmäßigen Gesteinskörnungen, die Entwicklung von Sonderze-

menten, aufbereiteter Flugasche als Betonzusatzstoff und leistungsfähigen Zusatzmitteln für die Kraftwerksbetone, die Einführung der Mikroprozessorsteuerung für eine gleichmäßige Betonherstellung, die Entwicklung von pumpfähigen Auskleidungsbetonen für Stollen und eines „Rinnenbetons“ für Schrägschachtauskleidungen als Vorläufer des SCC-Betons. Für diese Entwicklungen wurde erstmals ein Konzept für eine gezielte Betonoptimierung angewendet, das weit über die bestehenden Normen hinausging und letztlich Vorbild für eine moderne Betontechnologie wurde. Es gibt keinen idealen Beton, sondern nur einen für das jeweilige Bauverfahren oder spezielle Bauvorhaben optimierten Beton aus den 4 entscheidenden Anforderungsbereichen Verarbeitbarkeit, Ausschalfestigkeit, Gebrauchseigenschaften und Vermeiden von Rissen, die sich in ihren Auswirkungen zum Teil deutlich entgegenstellen und deshalb eine Optimierung erfordern (z.B. kurze Ausschaltzeit – Vermeiden von Rissen). Möglichkeiten zur Optimierung bestehen bei der Auswahl der Betonausgangsstoffe, der Betonzusammensetzung und Maßnahmen bei der Betonherstellung und Betonverarbeitung.

Beim Beton für große Talsperren sind die Hauptanforderungen wie auch bei vielen modernen Bauwerken nicht hohe Festig-

Bild 1 Sperre Schlegeis 1968–1971

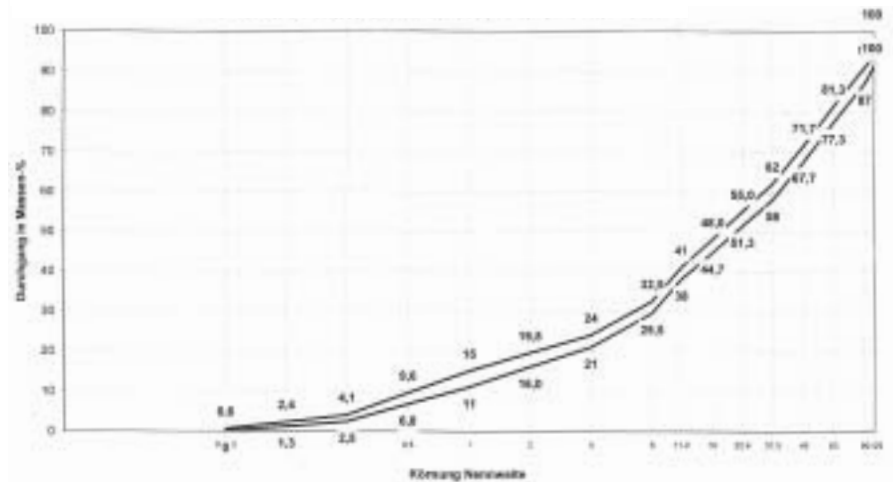
Fotos: H. Huber



keiten (Forderung für Talsperrenbeton: C20/25 nach 180 Tagen), sondern problemlose maschinelle Verarbeitbarkeit mit Verteilerrauhen und Rüttelbatterien (Bild 2), einer weitestgehenden Vermeidung von Eigen- und Zwängungsspannungsrissen, einem dichten Betongefüge und Frostbeständigkeit des unbewehrten Sperrbetons. Die enormen Sicherheitsanforderungen an eine hohe Talsperre und große Betonierleistungen von 4.000–7.000 m³ täglich, die wirtschaftlich nur mit einer geeigneten, gleichmäßigen Betonzusammensetzung zu verwirklichen sind, waren immer schon Ansporn für eine innovative Betontechnologie.

Für Talsperrenbeton bestehen die Möglichkeiten einer Optimierung vor allem beim Bindemittel und bei Maßnahmen zur Betonherstellung, weil wegen der großen Kubaturen von 1,0 bis 1,6 Mio m³ Beton die Gesteinskörnungen in nächster Nähe der Sperrstelle in der dort angetroffenen Qualität verwendet werden müssen. Für den Beton der größten Sperren Österreichs (Schlegeis, Kölnbrein und Zillergründl) musste deshalb auf sehr glimmerreiche Gesteinskörnungen zurückgegriffen werden, was die Betonoptimierung zusätzlich erschwerte und nur durch eine besondere Gleichmäßigkeit der Kornzusammensetzung halbwegs ausgeglichen werden konnte (Bild 3). Ein optimales Sperrbindemittel

Bild 3 Streubereich der Gesamtsieblinie Sperrbeton Zillergründl



muss neben günstigen Verarbeitungsbedingungen für den maschinellen Einbau ein günstiges Verhältnis von Druckfestigkeit zu Hydratationswärme aufweisen, um die geforderten Gebrauchseigenschaften mit einer möglichst geringen Bindemitteldosierung zu erreichen und damit neben der Wirtschaftlichkeit auch die Forderung nach geringer Wärmeentwicklung zu gewährleisten. Für die Talsperrenbetone Kölnbrein und Zillergründl wurde in Österreich erstmals aufbereitete Flugasche in großem Maße eingesetzt. Mit der geringen Bindemitteldosierung von 115 kg/m³ Zement CEM I 42,5 und 55kg/m³ aufbereiteter

Flugasche, die nach heutigen Anforderungen der ÖNORM B3309 entsprechen müsste, konnten alle Anforderungen erfüllt werden. In Verbindung mit Kühlmaßnahmen des Frischbetons (Zentralabnahme der Gesteinskörnungen aus großen Deponien, Scherbeneisbeigabe bis zu 50 kg/m³), die eine Einbautemperatur auch im Sommer von 8° C ermöglichten, und einer Rohrinkenkühlung alle 3 m in den Horizontalfugen konnte die von der Wasserrechtsbehörde zugelassene Betontemperatur von maximal 27° C auch in den großen Sperrblöcken 40 x 20 m eingehalten werden.

Betone im Verkehrswegebau

Die Entwicklungen der Betontechnologie für den Verkehrswegebau betrafen vorerst vor allem den Tunnelbau mit der Entwicklung eines Qualitätsspritzbetons für die NÖT und eines Innenschalenbetones mit der Herstellung eines Gewölbeabschnittes im Tagesrhythmus. Tunnelzement, LPV-Zusatzmittel, alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger bis zum Nass-Spritzbeton im Dünnstromverfahren sind Meilensteine der österreichischen Tunneltechnologie.

Mit der Verlegung der Verkehrsbauwerke unter Tage – auch in der offenen Bauweise – um 1990 tritt die Bauweise der „Wasserundurchlässigen Betonbauwerke“, kurz, aber untechnisch als „Weisse Wannen“ bezeichnet, in den Vordergrund, bei der der Beton nicht nur die statische, sondern

Bild 2 Sperrbetonierung





Bild 4 Zulaufstrecke Lainzer Tunnel – 20 m unter Grundwasserspiegel

Foto: HL-AG

auch die volle Abdichtungsfunktion gegen drückendes Wasser für das Bauwerk ohne zusätzliche Maßnahmen übernimmt. (Bild 4) Diese Aufgabe war nur mit dem bereits angesprochenen Gesamtkonzept zu verwirklichen, das nach einigen Probe- und Entwicklungsjahren bei Bauvorhaben der HLAG in der Richtlinie der ÖVBB mit den Begriffen Anforderungsklasse, Konstruktionsklasse und Betonstandard BS 1 verankert wurde.

Für „Wasserundurchlässige Betonbauwerke“ muss im Gesamtkonzept die Betontechnologie einen auch bei erhöhtem Bewehrungsanteil problemlos verarbeitbaren Beton mit dichtem Gefüge und weitestgehend frei von wasserleitenden Rissen mit den geforderten Gebrauchseigenschaften zur Verfügung stellen. Zur Vermeidung von Rissen infolge von Eigen- und Zwängungsspannungen müssen die Temperaturunterschiede aus der Hydratationswärme des Zementes und das Schwinden niedrig gehalten werden. Da die Materialkennwerte Zugbruchdehnung, Temperaturdehnzahl und E-Modul wegen des dominierenden Einflusses der Gesteinskörnung nur geringfügig zu beein-

flussen sind, tragen 3 Faktoren – Verringerung der maximalen Bauwerktemperatur sowie Verringerung der Abkühlgeschwindigkeit und des Schwindens baupraktisch am meisten zur Risservermeidung bei. Gesteuert werden die Faktoren mit der Betonzusammensetzung und Maßnahmen

bei der Betonherstellung und -ausführung. Entscheidend ist, dass der Beton die geforderten Eigenschaften mit einer geringen Bindemittel- und Gesamtwassermenge erreicht.

Eine mäßige Gesamtwassermenge bewirkt ein geringes Schwinden, wie Untersuchungen von Pickett schon 1956 gezeigt haben (Bild 5). Der Wasserzementwert hat dabei nur mäßigen Einfluss. Durch den Einsatz von hochwirksamen Verflüssigern kann die erforderliche plastische Konsistenz (F52) auch bei stark reduzierter Gesamtwassermenge erreicht werden. Eine geringe Bindemittelmenge in Verbindung mit einer geringen Hydratationswärme senkt die Wärmeentwicklung des Betons und damit ebenso wie eine geringe Frischbetontemperatur die Betontemperatur im Bauwerk (Bild 6). Die Optimierung des Betons für „Wasserundurchlässige Betonbauwerke“ (Bild 7) strebt daher ein Bindemittel mit einem möglichst günstigen Verhältnis von Festigkeit zu Hydratationswärme an, das mit der Kombination eines Zementes CEM I C3A frei mit hydraulisch wirksamen Zusatzstoffen gemäß ÖNORM B 3309 derzeit am Besten erreicht wird. Diese Bindemittelkombination kann im Mischungsverhältnis an die Einbaubedingungen und jahreszeitlichen Temperaturverhältnisse leicht angepasst werden. Die Einführung von Feinluft (Gesamtluftgehalt 2,5–5,0 %) verbessert nicht nur

Bild 5 Einfluss des Gesamtwassergehaltes auf das Schwinden des Betons (Pickett, Journal of ACI 53,1956)

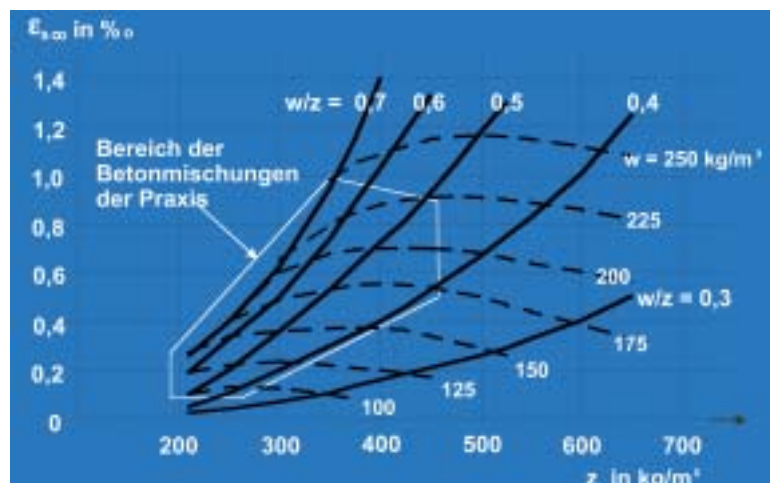


Bild 6 Einfluss der Frischbetontemperatur und Wärmeentwicklung des Betons auf die Bauwerkstemperatur

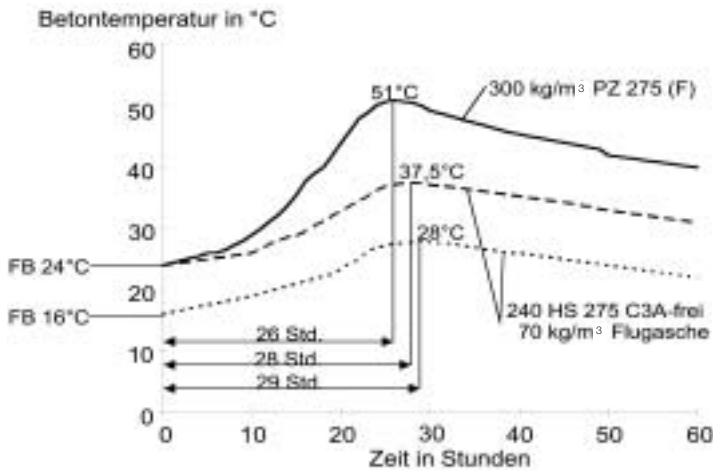


Bild 7 Betonkonzept „Wasserundurchlässige Betonbauwerke“

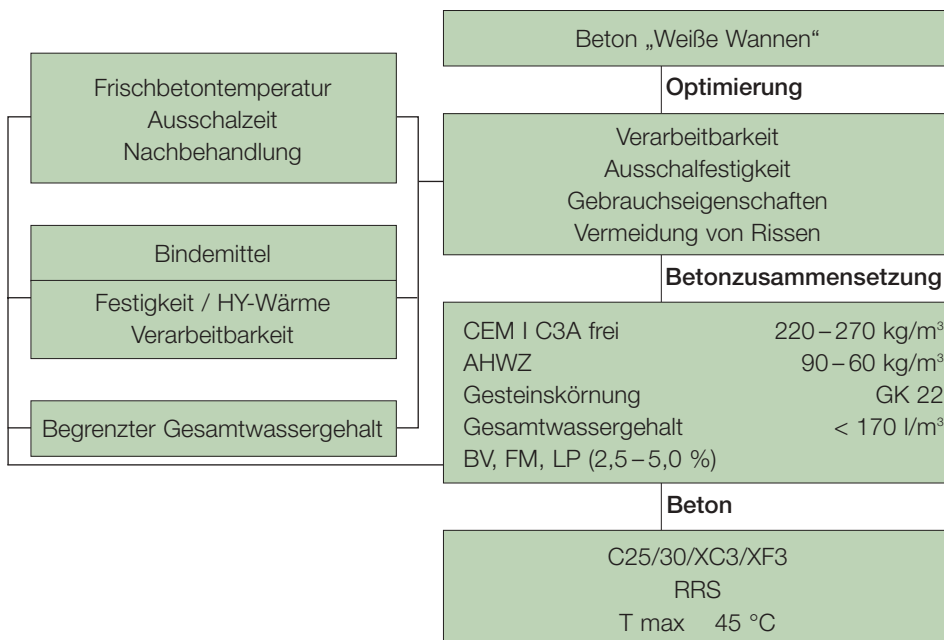


Bild 8 Scherbeneanlage Lainzer Tunnel



die Dauerhaftigkeit, sondern erleichtert auch die Verarbeitung und erhöht geringfügig die Zugbruchdehnung des Betons.

Für die Steuerung der Frischbetontemperatur gibt es verschiedene Möglichkeiten, die einfachste und billigste ist natürlich ein Betonieren in der kühlen Jahreszeit. Bei Linienbauwerken im Verkehrswegebau mit größeren Betonierleistungen auch in der heißen Jahreszeit ist wie bei Talsperrenbetonen die Zentralabnahme der Gesteinskörnungen aus großen Deponien und die Scherbeneisbeigabe am zielführendsten. Bei einer Zentralabnahme können die Gesteinskörnungen auch bei Lufttemperaturen von 50° C mit 16–18° C eingesetzt werden (Erfahrungswerte Kraftwerk Birecik, Euphrat), was auf die kühlende Wirkung der Nassaufbereitung und Verdunstungskälte auf der Deponie zurückzuführen ist. In geringerem Maße sind natürlich auch das intermittierende Besprühen der größeren Gesteinskörnungen und eine Abdeckung des Sandes, die Kühlung oder Vorlagerung des Zementes im Zementwerk oder eine Kühlung des Mischwassers als Maßnahmen zur Verringerung der Frischbetontemperatur wirksam. Bei den Bauvorhaben Lainzer Tunnel und Unterflurtrassen der Phyrnautobahn sind Scherbeneanlagen (Bild 8) im Einsatz, die zwar hohe Investitionen erfordern, aber sonst problemlos eine Verringerung der Frischbetontemperatur bis zu 10 K ermöglichen. Für kleinere Kubaturen und fallweise Betonierungen bringt flüssiger Stickstoff die gleiche Kühlwirkung, wobei der Einsatz in den Silos der groben Gesteinskörnungen, in der Mischanlage oder derzeit am häufigsten im Fahrmischer erfolgen kann.

Das Ergebnis der Betonoptimierung für „Wasserundurchlässige Betonbauwerke“ ist in der ÖVBB-Richtlinie (Erstausgabe 1999, neu 2003) unter dem Begriff Betonstandard BS 1 definiert und hat sich in den 4 Jahren seit Bestehen der Richtlinie durchgesetzt. Im Betonstandard werden auch eine verlängerte Ausschallfrist und besondere Nachbehandlung geregelt, die eine zu rasche Abkühlung und Austrocknung des jungen Betons verhindern sollen und damit ebenfalls wesentlich zur Rissevermeidung beitragen.



Bild 9 Unterflurtrasse Steinhaus – 24 m – Betonierabschnitt

Foto: Dr. Lindlbauer

Bei entsprechendem Gesamtkonzept sind „Wasserundurchlässige Betonbauwerke“ auch im Großverfahren herstellbar. Bei der Unterflurtrasse Steinhaus der „Welser Autobahn-Westspange“ wurde der gesamte vierspurige Autobahnquerschnitt in Blocklängen von 24 m (Bild 9) in einem Betonierabschnitt mit 960 m³ BS 1-Beton in 14 Stunden hergestellt. Ein besonderer Schalwagen, eine modernst ausgerüstete, leistungsfähige Mischanlage mit Scherbeneisanlage, die Zentralabnahme der Gesteinskörnungen und eine 3-tägige Ausschfrist als günstigste Nachbehandlung ermöglichten die qualitätsentsprechende Herstellung auch in den heißen Sommermonaten.

Wie die Bauten des Museumsquartiers im alten Wiener Messepalast (Bild 10) mit Gründungen bis 16 m unter dem Grundwasserspiegel zeigen, ist die Bauweise der „Wasserundurchlässigen Betonbauwerke“ durchaus auch für anspruchvollste Hochbauten anwendbar und eingeführt.

Beton für Brückentragwerke

Bei Brückentragwerken ermöglicht das Konzept „Brückentragwerke ohne Abdichtung aus Hochleistungsbeton“ (Bild 11) eine dauerhaftere und damit wirtschaftliche Ausführung gegenüber der zwar üblichen, aber nicht anhaltend funktionierenden Abdichtung mit Bitumenbahnen. Vor allem bei kleineren Einfeldtragwerken oder Tragwerken, bei denen der Bauzeitplan die Abdich-

tungsarbeiten im Winter erfordern würde, ist diese Bauweise besonders vorteilhaft. Die Betonfläche ist direkt befahrbar.

Randleisten sind Bauteile von Brückentragwerken, auf die aus herkömmlicher Sicht zwar keine wesentlichen statischen Belastungen einwirken, die aber besonders starker Frost-Tausalzbeanspruchung und dynamischen Stoßbelastungen ausgesetzt sind. Umfangreiche Untersuchungen (Lit. 14) haben gezeigt, dass Brückenrandleisten vorteilhaft aus Faser-Hochleistungsbeton unter Verwendung von Makro-Kunststofffasern hergestellt werden können. Der Vorteil liegt in der raschen und damit wirtschaftlichen Herstellung und der hohen Dauerhaftigkeit, die sich durch den Wegfall der konstruktiven Bewehrung und damit der Korrosionsgefahr, dem hohen Widerstand gegen Frosttausalzangriff sowie eine große Verschleißfestigkeit ergibt.

Bild 10 Museumsquartier – Unterkellerung K. und K. Reithalle

Foto: Museumsquartier



Die betontechnologischen Anforderungen an den Hochleistungsbeton für Tragwerke liegen in einer hohen Frosttausalzbeständigkeit, einer großen Gefügedichte zur weitgehenden Verringerung der Chlorideindringung und Karbonatisierung und Vermeidung von Eigen- und Zwängungsspannungsrisse. Erreicht werden diese Anforderungen mit einer Bindemittelkombination aus Zement CEM I C3A-frei und Silicastaub mit geringer Gesamtwassermenge und niedrigem w/b-Wert von 0,30. Die hohe Dosierung von Zement und Silicastaub in Verbindung mit einer hohen Dosierung des Hochleistungsverflüssigers zur Einhaltung einer maximalen Gesamtwassermenge von 150 l/m³ ergeben eine starke Klebrigkeit und Zähigkeit des Frischbetons, die einen modifizierten Einbau und besondere Methoden zur Herstellung einer entsprechenden Tragwerkoberfläche erfordern. Der Luftgehalt von 2,5 – 5,0 % verringert die Klebrigkeit des Hochleistungsbetons. Für den Faser-Hochleistungsbeton von Randleisten wird die Betonzusammensetzung des Tragwerkhochleistungsbetons

jedoch mit Größtkorn 8 mm verwendet. Die Dosierung der Makro-Kunststofffasern liegt bei 3 – 4 kg/m³. Die Fasern erhöhen noch die Klebrigkeit des Betons und erschweren den Einbau. Bei entsprechender Vorbereitung in der Mischanlage und an der Einbaustelle sind sowohl der Hochleistungsbeton für Brückentragwerke als auch der Faser-Hochleistungsbeton für Randleisten zwar erschwert, aber doch zielsicher einbaubar. Forschungsarbeiten zur Vereinfachung der Verarbeitbarkeit laufen.

Die angeführten Beispiele zeigen, dass die Betontechnologie in den letzten 40 Jahren mit innovativen Lösungen für die hohen Anforderungen an Qualität und Wirtschaftlichkeit für immer anspruchsvollere Bauvorhaben einen hohen Stellenwert im Baugeschehen erreicht hat. Dieser Standard ist in Zukunft nur dann zu halten, wenn die Bereitschaft zur Innovation trotz aller immer stärker werdenden vertraglichen und rechtlichen Zwänge erhalten bleibt und Betonoptimierung für einen Beton nach Maß möglich bleibt.

Literatur:

1. Die Zerkraftwerke – technische Probleme bei der Planung und Ausführung, K. Rienössl, H. Huber, Zement und Beton, Heft 50/51 (1970)
2. Der Einfluss von tiefen Temperaturen auf den Beton der Sperre Schlegeis, H. Huber, Zement und Beton, Heft 63/64 (1972)
3. Die Verwendung von Flugasche bei der Betonherstellung im Kraftwerks- und Tunnelbau, H. Huber, Zement und Beton, Heft 4 (1978)
4. Kölnbreinsperre – Neue Wege in der Technik des Massenbetons, H. Huber Beton- und Stahlbetonbau, Heft 5 (1984)
5. Maßnahmen bei der Herstellung von massigen Betonbauteilen, H. Huber, Zement und Beton, Heft 3 (1984)
6. Einfluss von Kühlung und Zement auf die Betontemperatur, H. Huber, Zement und Beton, Heft 4 (1987)
7. Measures to improve the Quality of Mass Concrete, H. Huber, International Commission of Large Dams, Congress 1988
8. Entwicklungen und Perspektiven der Betontechnik beim Bau großer Tunnels H. Huber, Zement und Beton, Heft 2 (1992)
9. Hochleistungsbeton-Internationaler Stand und Folgerungen, H. Huber, Zement und Beton, Heft 3 (1993)
10. Bauwerke aus wasserundurchlässigem Beton – Praktische Betontechnologie H. Huber, Zement und Beton, Heft 4 (1995)
11. Technologie österreichischer Sperrbetone, H. Huber, Beton + Fertigteil Technik, Heft 10, 1997
12. Faserverstärkte Hochleistungsbetone für Brückenrandleisten und Fahrbahndecken, H. Huber, W. Lukas, W. Obersamer, Zement und Beton, Sonderheft 2002
13. Brückentragwerke aus Hochleistungsbeton ohne Abdichtung, H. Huber, W. Lindlbauer, P. Nischer, J. Steigenberger, Straßenforschung, Heft 505, 2001
14. Faserverstärkte Hochleistungsbetone für Brückenrandleisten und Fahrbahndecken, W. Lukas, H. Huber, W. Obersamer, W. Kusterle, G. Fritsche, P. Paulini, R. Muhr, Straßenforschung, Heft 529, 2003

Bild 11 Betonkonzept „Brückentragwerke aus Hochleistungsbeton ohne Abdichtung“

