

# Fundationsschichten, Bauwerks- und Belagsbeton mit 100% gebrochenem Gestein: Einbau an der Nationalstrasse N8 am Brienersee

Autor(en): **Kunz, Ulrich / Giudicetti, Franchino / Jenk, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 46

PDF erstellt am: **01.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75231>

## **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.

# Fundationsschichten, Bauwerks- und Belagsbeton mit 100% gebrochenem Gestein

## Einbau an der Nationalstrasse N8 am Brienersee

Von Ulrich Kunz, Franchino Giudicetti und Kurt Jenk, Bern

Die N8 am Brienersee verläuft im steilen linken Ufer, wo ähnlich wie bei anderen Gebirgsautobahnen keine Kiesvorkommen in der Nähe sind. Statt einer Kieszufuhr aus dem Mittelland ist es hier gelungen, das anstehende Felsmaterial so zu brechen, dass es in den Fundationsschichten und als Zuschlagsstoff für den Beton aller Bauwerke einschliesslich des Belags preisgünstig eingebaut werden kann. Zur Qualitätssicherung wurden teilweise neue Kriterien benutzt, da die bestehenden Normen für diesen Fall nur unzureichende Angaben enthalten.

Am 2. November 1983 wurde die Umfahrung Interlaken mit dem Zubringer Ost (Goldiswil-Viadukt) offiziell eröffnet. Im Sommer 1984 wird der Abschnitt Brienz-Brienzwiler dem Verkehr übergeben und die ganze Teilstrecke Interlaken-Brienzwiler wird voraussichtlich im Jahre 1987 befahrbar sein.

### Einleitung

Die Teilstrecke der Nationalstrasse N8 zwischen Interlaken und Brienzwiler mit einer Länge von 24 km verläuft überwiegend in gebirgigem Terrain. Der Bodenkongfiguration entsprechend, müssen 5 Tunnel (Bild 1) mit einer Gesamtlänge von 7,5 km (äquivalent einröhrig) sowie längere Brücken und zahlreiche Stützmauern am linken steilen Brienerseeufer gebaut werden. Ein Teil der Umfahrung von Interlaken sowie der Abschnitt in der Talebene zwischen Brienz und Brienzwiler liegen im flachen Gelände auf Deltaablagerungen und zum Teil auf wenig tragfähigen Verlandungssedimenten. Die Gesteinsformationen des Rugens und am Brienersee gehören zu den liegenden Falten der Wildhorndecke. Die Stratigraphie reicht von der Kreide bis zum Lias. Die zum Teil versackte Felsunterlage, vorwiegend Kreide-, Malm- und Doggerkalke, ist mit Gehänge- und Bachschutt und teilweise mit Moränenmaterial überdeckt. Grosse, für den Strassenoberbau brauchbare Kiesvorkommen werden im Trasse der N8 nicht erschlossen. Es stellte sich daher die Frage, auf welche möglichst wirtschaftliche Art die benötigten Mengen an relativ hochwertigem Material für die Fundationsschichten und von Zuschlagsstoffen für die Betonherstellung be-

schaftet werden könnten. Es war naheliegend, dass die weitgehendste Verwendung des im Trasse selber vorkommenden Gesteins die optimale Lösung darstellte. Die daraus folgenden, zum Teil neuen materialtechnologischen Probleme wurden schrittweise erfasst, und die Eignung des in den Tunnels gesprengten, verschiedenartigen Felsens zur Herstellung von Fundationsschichtmaterial und zum Aufbereiten von Betonzuschlagsstoffen wurde stufenweise abgeklärt.

Die Brech- und Aufbereitungsinstallationen wurden in drei, vom Bauprogramm bedingten Etappen aufgestellt. Das aus dem Tunnelausbruch des Rugens angefallene Material wurde vorerst in der Zeit von 1975 bis 1976 im Rahmen des Rugentunnelbauloses zu Material 0/100 für die Fundationsschichten, Planiekies 0/30 sowie Schotter 30/63 für eine Schottertränkung und für Sickerpackungen im vierspurigen Abschnitt der Umfahrung Interlaken (km 18,8 bis km 24,0) gebrochen.

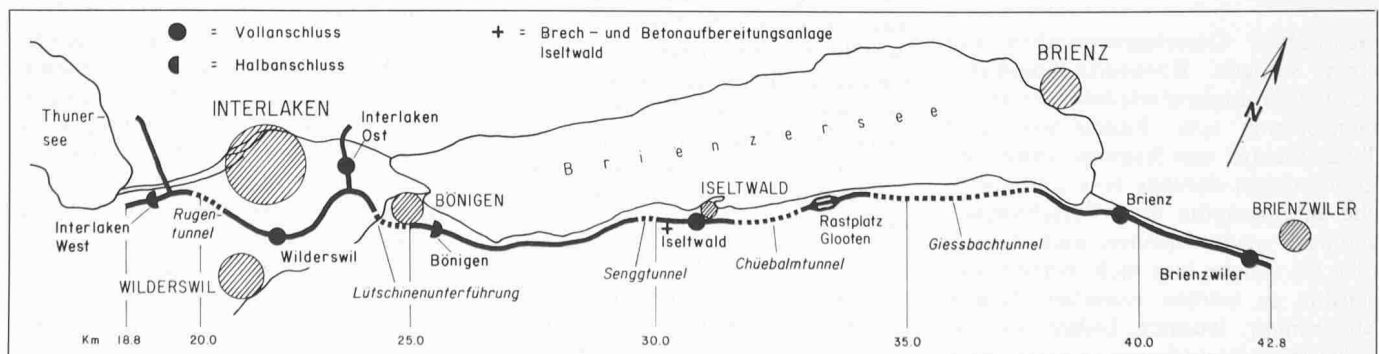
Das im Giessbachtunnel ausgebrochene Gestein wurde später 1977 bis 1980 ebenfalls als Fundationsschichtmaterial 0/100 aufbereitet. Dieses Material sollte hauptsächlich auf dem oberen zweispurigen Abschnitt der N8 vom Giessbachtunnel bis zum Anschluss Brienzwiler, dem vorläufigen Ende der N8 (km 34,2 bis km 42,8), verwendet und eingebaut werden. Während 18

Monaten wurden zudem 380 000 t aufbereitetes 0/100-Material auf dem See weg mit 2 Ladeschiffen à je 400 t nach Bönigen in den Raum Interlaken und nach Erschwanden für den unteren Abschnitt der N8 geführt. In einem privaten Betonwerk wurde das Ausbruchmaterial im weiteren teilweise den Betonzuschlagsstoffen für die Tunnelverkleidung des Giessbachtunnels beige mischt.

Mit dem Ausbruchmaterial des Chüebalmtunnels und des 1983 in Angriff zu nehmenden Senggtunnels sowie aus offenen Felsabträgen wurden schliesslich ab 1981 wiederum Fundationsschichtmaterial 0/100, Planiekies 0/30 und Sickermaterial 30/50 für den verbleibenden zweispurigen Abschnitt ab Bönigen (km 24,0 bis km 34,2) hergestellt. Zudem wird nun seit 1981 der gesamte Beton für die Kunstbauten (Stützmauern, Brücken, Unterführungen, Bachverbauungen usw.), die Tunnels und alle übrigen Bedürfnisse und für den vorgesehenen Belag am Brienerseeufer zwischen Bönigen und Giessbach mit 100% gebrochenem Zuschlag aufbereitet. Der Betonbelag im Teilabschnitt Giessbachtunnel wurde bereits 1982 ausgeführt. Mit diesen Zielsetzungen wurde 1981 oberhalb Iseltwald eine selbständige, nicht einem einzelnen Baulos zugehörige Brech-, Sieb- und Betonaufbereitungsanlage aufgestellt.

Die Benützung im grossen Rahmen von 100% gebrochenem Gestein für hochwertige Bauteile des Strassenbaus war in der Schweiz bisher nicht üblich. Auf die 3 typischen, teilweise neuen Anwendungsbereiche - Fundationsschichten, Bauwerksbeton, Belagsbeton - wird aus diesem Grunde näher eingetreten. In erster Linie und in zusammenfassender Form werden die materialtechnologischen Gesichtspunkte, die Materialkennwerte und die Qualitätskriterien besprochen und mitgeteilt, damit die gesammelten Erfahrungen unter Umständen für den Bau noch verbleibender Nationalstrassen und anderer Strassenzüge angewandt werden können. Bezweckt wird auch die Diskussion einiger bestehender Normen.

Bild 1. Nationalstrasse N8, Interlaken-Brienzwiler



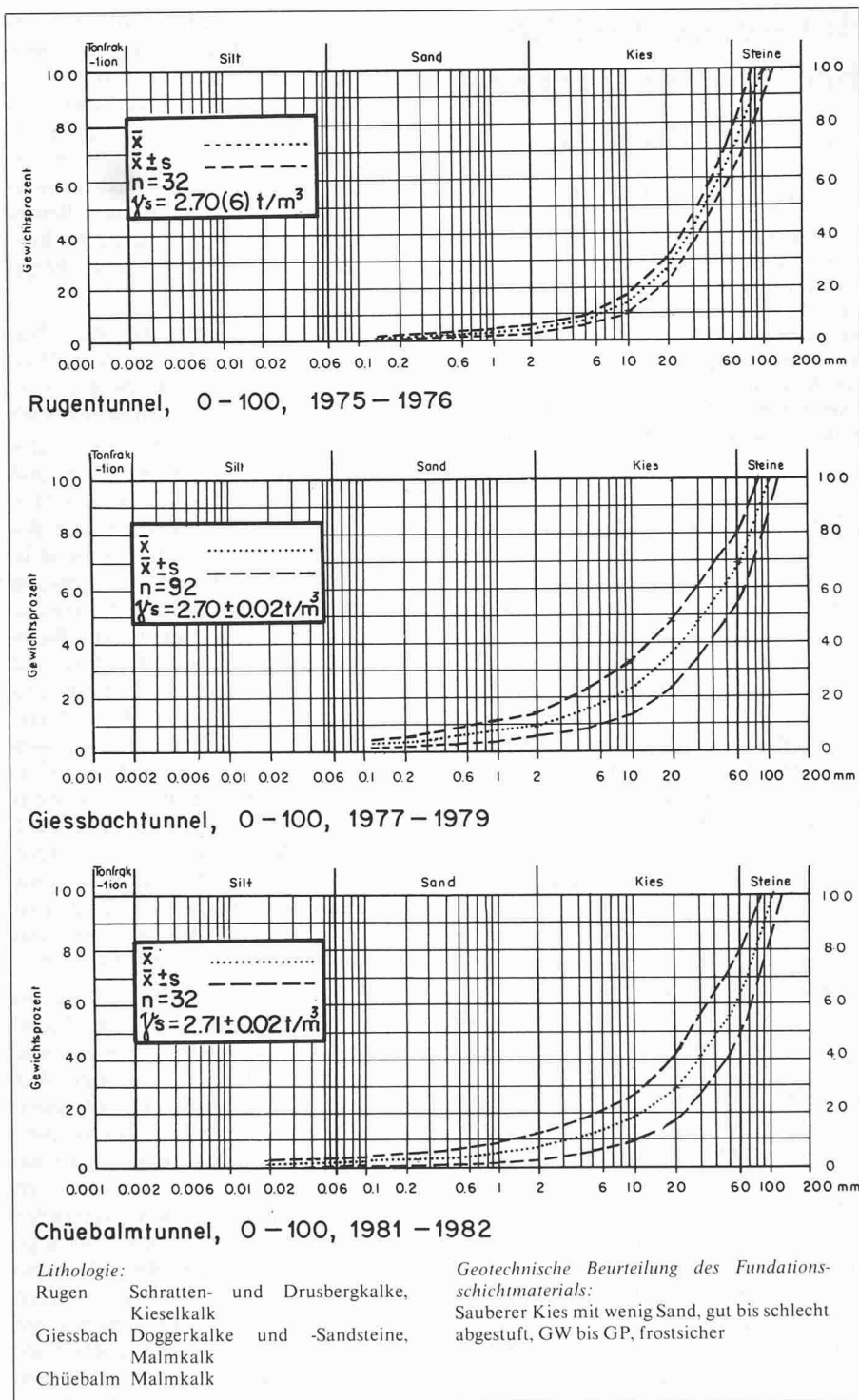


Bild 2. Kornverteilungsbereiche der gebrochenen Fundamentalschichtmaterialien

### Fundamentalschichten

Gebrochene Gesteinsmaterialien mit einer stetigen Kornverteilungskurve werden im Ausland seit Jahrzehnten zur Herstellung von Fundamentalschichten und Tragschichten von Strassen verwendet. Es existieren darüber eine umfangreiche Bibliographie über Forschungsergebnisse sowie Normen und Richtlinien [1], welche hier nicht einzeln aufgeführt zu werden brauchen. Solche Materialien wurden bisher in der Schweiz erstaunlicherweise nicht unter-

sucht und nur in Einzelfällen aufbereitet. Sie gehören - mit Ausnahmen - auch nicht zum Produktionsprogramm der Hartschotterwerke. Dies wird sich voraussichtlich in der nächsten Zukunft gezwungenermassen ändern, da die natürlichen, ohne Umweltschutzprobleme nutzbaren und preislich günstigen Kiesvorkommen guter Qualität seltener werden.

An der N8 wurde bisher, soweit geeignet, das gesprengte Gestein der 3 Tunneln Rugen, Giessbach und Chüebalm von den entsprechenden Arbeitsge-

meinschaften bzw. von Unterakkordanten zu einem Fundamentalschichtmaterial 0/100 gebrochen. Für den Rugen- und den Chüebalmtunnel standen Deponiemöglichkeiten in der Nähe der Brechanlagen zur Verfügung. Das Fundamentalschichtmaterial aus dem nur von Osten her aufgefahrenen Giessbachtunnel wurde hingegen - wie bereits erwähnt - nach dem Brechen am Ostportal zum Teil mit Schiffen wegtransportiert und für die spätere Anwendung auf anderen Abschnitten an Deponie gelegt. Zum grössten Teil wurde es als Vorbelastung im setzungsempfindlichen Abschnitt Brienz-Brienztal verwendet und gleichzeitig zwischendeponiert.

Bild 2 zeigt die Kornverteilungsbereiche der gebrochenen Fundamentalschichtmaterialien [2]. Aufgetragen sind die Mittelwerte  $\bar{x}$  und die Standardabweichungen  $s$  aller jeweils bestimmten Kornverteilungskurven. Es sind ebenfalls die Gesteinsarten angegeben, welche aufgrund ihrer Petrographie und Härte für Fundamentalschichten als geeignet beurteilt worden sind. Es ist feststellbar, dass, wie auch erwartet wurde, der Sandanteil eher niedrig, der Grobkiesanteil eher gross ist. Die Kurven verlaufen grobkörniger als eine Fullerkurve mit Grösstkorn 100 mm, für welche der Sandanteil < 2 mm 14% beträgt. Der Feinstanteil < 0,02 mm, massgebend für die Frostsicherheit, ist im Mittel niedrig. Er wurde teilweise auch nach erfolgtem Einbau kontrolliert. Die Streuungen der Siebkurven, ausgedrückt als Variationskoeffizienten, sind für das Rugenmaterial kleiner, 10% für die groben bis 35% für die feinen Siebe, als für die 2 anderen Materialien (20 bis 75%).

Der aus dem Rugen- und dem Chüebalmbruch hergestellte Planiekies 0/30 ist ebenfalls aufgrund der untersuchten Kornzusammensetzung als sauberes, frostsicheres Material zu beurteilen. Das gebrochene Gestein 0/100 ist grobkörniger als beispielsweise Kiessand II gemäss SN 670 120b «Kiessande für Fundamentalschichten, Qualitätsvorschriften» und auch im Vergleich zu ausländischen üblichen Materialien, da diese ein Maximalkorn von 60 mm und weniger aufweisen [1]. Die Aufbereitungskosten liegen demgegenüber tiefer, dagegen besteht eine gewisse Gefahr der Entmischung. Diese kann im unteren Teil der Fundamentalschicht einigermassen toleriert werden; knapp unter der Planie ist sie unerwünscht. Eine Reduktion des Grösstkorns auf das Mass von Kiessand I nach SNV 670 120b ist somit angezeigt, sofern dadurch nicht erhebliche Mehrkosten entstehen.

Das Brechen auf ein *Maximalkorn* von weniger als 60 mm ist dann sinnvoll, wenn der *Einbau* von *dünnen Schichten* vorgesehen ist. Dies ist wegen der geforderten Frostsicherheit des Oberbaues bzw. der üblichen Frosteindringtiefen für schweizerische Verhältnisse kaum möglich; es sei denn, das gebrochene Material werde nur in der Tragschicht bzw. in der oberen Fundationsschicht verwendet, beispielsweise als Abdeckschicht einer groben Fundationsschicht 0/100. An der N8 betragen die Dicken der Fundationsschichten in Abhängigkeit der Tragfähigkeit des Untergrundes bzw. des Unterbaus 30-60 cm. Auf der Planie der Fundationsschicht wird in allen Fällen ein  $M_E$ -Wert von 1000 kg/cm<sup>2</sup> verlangt.

Zur Abklärung der geeigneten *Massnahmen* und der *Geräte zur Verdichtung* des gebrochenen, grobkörnigen Materials wurde 1975 mit dem Schratzen- und dem geologisch ungünstigeren Drusbergkalk des Rugens eine *Probeverdichtung* durchgeführt [2]. Die je 2 Versuchsabschnitte mit einer Schichtstärke von 30 bzw. 50 cm konnten mit einer leichten und auch mit einer schweren Vibrationswalze allein nicht hinreichend verdichtet werden. Erst der zusätzliche Einsatz einer schweren *Pneuradwalze* war erfolgreich, wobei die dickeren Schichten und der Drusbergkalk sich etwas besser verdichten liessen. Schwere Pneuwalzen wurden demzufolge neben den üblichen Vibrationswalzen ebenfalls für den Einbau der Fundationsschichten in der Umfahrung Interlaken in den Jahren 1976 bis 1981 und im Giessbachtunnel 1982 eingesetzt. Voraussetzung für eine gute Verdichtung waren neben dem Einsatz von schweren Verdichtungsgeräten eine im Verhältnis zum Grösstkorn *genügend grosse Schichtdicke* sowie *keine Entmischung* beim Auflad und beim Einbau. Dieser letzten Erscheinung konnte allerdings durch die nachträgliche Zugabe von Planiekies auf der Rohplanie entgegengetreten werden. Tabelle 1 enthält den repräsentativen Bereich der abschnittsweise in der Umfahrung Interlaken bestimmten Mittelwerte und der Variationskoeffizienten der  $M_E$ -Messungen auf der Planie des eingebauten, gebrochenen Gesteins 0/100. Die  $M_E$ -Werte sind höher als für natürliche Kiessande. Auf einer unnachgiebigen Unterlage, wie im Giessbachtunnel, konnten solche Werte bereits mit 25 cm Dicke erreicht werden. Auf einer Schicht von 50 cm wurden dann um 300-500 kg/cm<sup>2</sup> höhere  $M_E$ -Werte, als die in der Tabelle angegebenen Maximalwerte, gemessen.

Die Planie der Umfahrung Interlaken, inkl. Zubringer rechtes Thunerseeufer, und im Giessbachtunnel wurde mit

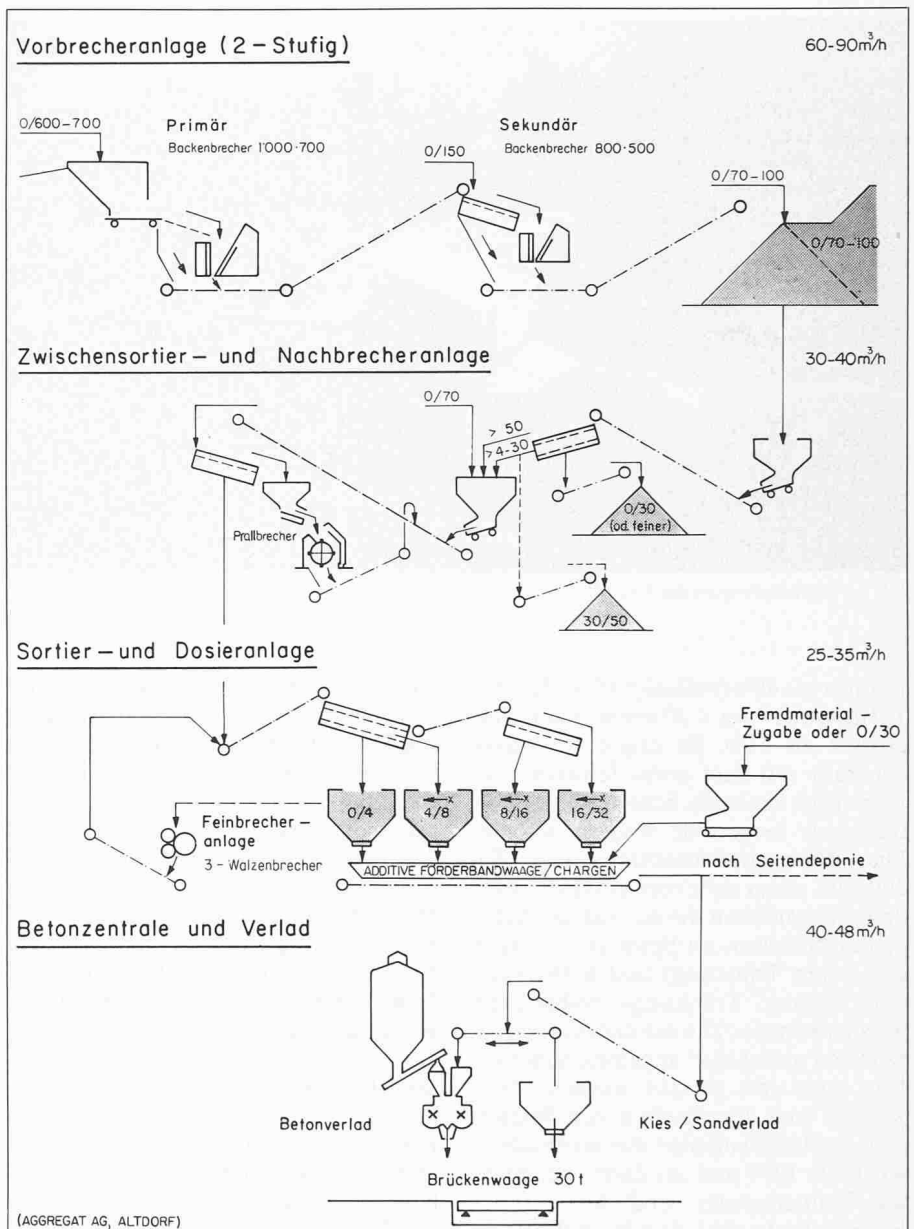


Bild 3. Produktionsschema der Brech-, Sieb- und Betonaufbereitungsanlage Iseltwald

dem aus dem Rugen- bzw. Chüebalm- ausbruch gebrochenen Planiekies 0/30 ausgeführt. In den Standstreifen der Umfahrung Interlaken wurde der Planiekies zur Erreichung der Kote der Schottertränkung in den Fahrbahnen mit 6 cm Dicke eingebaut und mit einer doppelten Oberflächenbehandlung gedeckt.

### Schottertränkung

Schottertränkungen sind in den letzten Jahren in der Schweiz immer seltener und auch kaum auf Autobahnen ausgeführt worden. Diese Bauweise, entsprechend der SN-Norm 640 417a «Tränkungen, Ausführungsvorschriften», vermag eine Heissmischtragschicht wirtschaftlich zu ersetzen. Mit dem aus dem Rugentunnel gesprengten, als geeignet beurteilten Kieselkalk wurde gleichzei-

Tab. 1. Gemessene Verdichtungswerte auf der Planie, Umfahrung Interlaken

Laststufe [kg/cm <sup>2</sup> ]	$M_E$ -Wert [kg/cm <sup>2</sup> ]	Variationskoeffizient [%]
0,5-1,5	800-1000	20-30
1,5-2,5	1200-1400	
2,5-3,5	1300-1700	15-25
3,5-4,5	1500-2000	

$$\frac{M_E 3,5-4,5}{M_E 0,5-1,5} \sim 2 \quad M_E \text{ gemäss SN-Norm 670 317}$$

tig zum Planiekies 0/30 ungewaschener Schotter 30/63 aufbereitet, der dann für die gesamte Umfahrung Interlaken 1979/1981 zur Herstellung einer 6 cm dicken Schottertränkung diente. Der massgebende *Zertrümmerungsgrad* des Schotters liegt mit 30 (Druck) bzw. 21 (Schlag) für die Druckbeanspruchung über dem höchstzulässigen Normwert von 28, für die Schlagbeanspruchung unter dem Normwert von 25. Der Anteil an nicht kubischen Körnern betrug



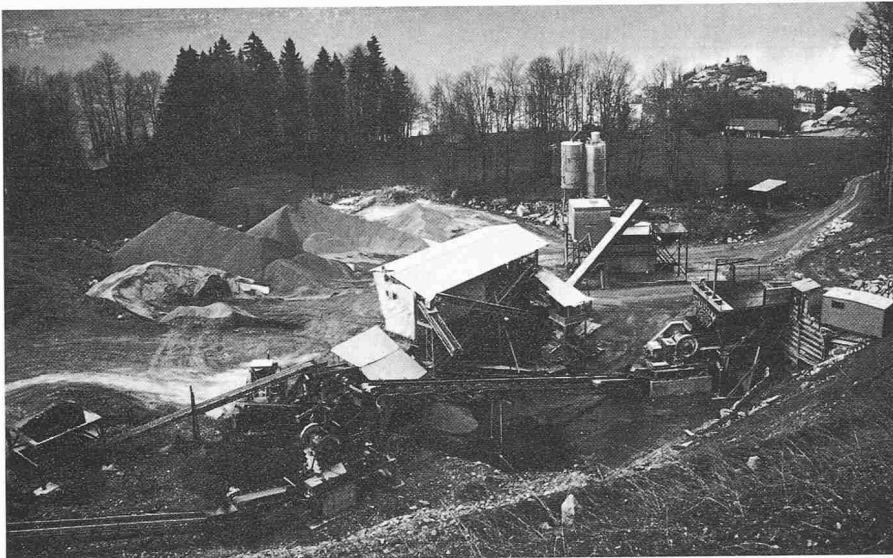


Bild 4. Aufbereitungsanlage Iseltwald

weniger als 40% (zulässig: 45%), der Anteil an Unterkorn < 30 mm war teilweise grösser als 10%. Es zeigte sich, dass ebenfalls mit dem etwas feineren und nicht ganz sauberen Schotter eine Volltränkung hergestellt werden konnte. Die Bindemitteldosierung, hier BT 300/500, muss dabei etwas erhöht werden, währenddem die normierten Mengen an Schotter, an Splitt 10/16 (nach der ersten Tränkung) und 6/10 (nach der zweiten Tränkung) beibehalten werden können. Die auf dem vorverlegten Sand maschinell angelegte Schotterlage muss fest gewalzt werden. Zum Schutze und Ausgleichen von Setzungen und Unebenheiten der bis Wilderswil Ende 1979 und im Zubringer rechts Thunerseeufer und bis Interlaken-Ost Ende 1981 dem Verkehr übergebenen Schottertränkung wurde 1982 ein 3–4 cm dicker AB 10 eingebaut. Der Einbau des Belages von 7 cm Dicke ist in einigen Jahren vorgesehen.

## Bauwerksbeton

Die Herstellung von Beton mit gebrochenen und ungewaschenen Zuschlagstoffen für Bauwerke ist in der Schweiz nicht üblich, obwohl früher im Kraftwerkbau und später bei einzelnen Tunnelbauten reichliche Erfahrungen mit dem Brechen und Aufbereiten von gesprengtem Felsen gesammelt worden sind. Sie wurden aber kaum veröffentlicht. Die Fachbibliographie wie auch Textbücher [3] enthalten spärliche Angaben über Beton mit gebrochenem Zuschlagstoff, wobei meistens die gröberen Fraktionen, d.h. der sogenannte Splittbeton, behandelt werden [4,5]. Der Einfluss von Brechsand auf die Betoneigenschaften wurde vereinzelt auch un-

tersucht [6,7,8]. Dem gebrochenen, groben Zuschlag wird allgemein eine günstige Beeinflussung der Betonfestigkeiten zugesprochen, während die Verwendung von Brechsand wegen der etwas schlechteren Verarbeitbarkeit und der benötigten höheren Wasserdosierungen differenzierter beurteilt wird. Massgebende Faktoren sind dabei die Kornform, die Kornzusammensetzung bzw. der Verlauf der Sieblinie und der Gehalt an Feinstanteilen. Eine negative Beeinflussung der Betoneigenschaften durch den Brechsand wurde nicht festgestellt, falls die Anforderungen bezüglich der obigen 3 Kriterien eingehalten werden. Nach der Norm SIA 162, nach DIN 4226, wie auch nach anderen ausländischen Normen [9] wird gebrochener Zuschlag grundsätzlich zugelassen.

Der zu 0/100 gebrochene, als geeignet betrachtete Malmkalk aus dem Giessbachtunnel wurde, nach Vorversuchen 1978, teilweise einer in der Nähe am Brienerseeufer liegenden Betonaufbereitungsanlage abgegeben. Hier wurde er auf 0/30 mm weiter gebrochen und zu 1/3 dem natürlichen runden Zuschlag für den Beton der Tunnelverkleidung zugegeben. Das Zuschlaggemisch, 1/3 gebrochen, 2/3 rund, wurde unter Beigabe von Rundsand von der ausführenden Arbeitsgemeinschaft 1979–1981 zu Pumpbeton aufbereitet. Es wurden bei einem Wasser/Zementwert von 0,55 mit dem sandreichen Beton – im Mittel 49% < 4 mm, 34% < 1 mm – eine mittlere Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen von 373 kg/cm<sup>2</sup> (14), VK = 16,6% bestimmt.

Aufgrund dieser Erfahrungen wurde zur intensiven Verwendung des im Abschnitt Sengg-Chüebalm in grösseren Mengen anfallenden Malmkalkes, vorerst aus dem Chüebalmtunnel, Mitte

1981 eine im Rahmen des Nationalstrassenbaues ausgeschriebene und vergebene Aufbereitungsanlage in Betrieb genommen (Bild 3 und 4). Aus dem zu 0/100 gebrochenen Gestein werden die vier Fraktionen 0/4, 4/8, 8/16 und 16/32 aufbereitet. Eine Fraktionierung in mehr als 4 Komponenten wird als nicht nötig erachtet. Der petrographisch ungeeignete Anteil – weiche und poröse Bestandteile – beträgt im Malmkalk weniger als 5% (zulässig für hochwertigen Beton BH nach Norm SIA 162: 6%). Dieses Gestein ist grundsätzlich ebenfalls zur Herstellung von Spezialbeton BS geeignet. Bild 5 zeigt die mittleren, bis Ende 1982 bestimmten Sieblinien der 4 Fraktionen. Normsieblich sind die Bereiche für gebrochenes Material (Splitt) der Reihe 4/8, 8/16, 16/32 bestehen in der Schweiz nicht. Vergleichsweise wurden in Bild 5 zusätzlich zum Sieblinienbereich für den Brechsand die Bereiche für die Kieskörnungen übernommen, wie sie in SN 670 730 «Sand und Kies für Beläge und HMT, Qualitätsvorschriften» vorgeschrieben sind. Die Gleichmässigkeit der Sieblinien der Sandfraktion und des Splittes 16/32 ist etwas besser als für die zwei anderen Splittfraktionen. Der ungewaschene Brechsand weist im Mittel einen eher niedrigen Anteil an Feinkorn < 0,063 mm von 5% auf, welcher für gewaschenen Sand an der oberen Grenze wäre, währenddem der Fein- und Mittelsandanteil ebenfalls an der unteren Grenze liegt. Für den Brechsand sind in Bild 5 zwei weitere Kennwerte, das Feinheitsmodul  $F_m$  nach Abrams und eine Feinheitzahl  $F_z$ , angegeben, welche zur Kennzeichnung des Verlaufes und der Gleichmässigkeit der Sieblinien herangezogen werden. Beide Werte sind im Mittel charakteristisch für einen eher groben Sand, während die Streuungen von  $F_m$  teilweise grösser als der empfohlene Grenzwert von  $\pm 0,20$  ist [7, 9]. Dies ist auf verschiedene Abänderungen und maschinelle Verbesserungen bei der Sandherstellung zurückzuführen. Die Splittfraktion, vor allem der Feinsplitt, weisen teilweise etwas Unterkorn auf. Der Feinanteil < 0,63 mm nach SN 670 710c «Splitt und Schotter für den bituminösen Strassenbau, Qualitätsvorschriften», als Verunreinigung betrachtet, beträgt dabei im Mittel 2–3% und ist höher als der in jener Norm als zulässig angegebene Wert von 1%. Die Kornform der Splittfraktion (in Bild 5 ebenfalls angegeben) – das Verhältnis grösster/kleinster Durchmesser muss nach Norm SIA 162 < 2, nach den SN-Normen  $\leq 2,5$  sein, damit ein Korn als nicht zu plattig, stengelig oder splittrig, bzw. als kubisch betrachtet wird – wäre nach der auch gegenüber zum Beispiel der DIN-Norm

strengen SIA-Norm für mehr als die Hälfte der Körner als ungeeignet zu beurteilen. Nach den SN-Normen wäre hingegen die Kornform der Splitte wie auch jene des Sandes in Ordnung, da der Anteil nichtkubischer Körner, welcher 25-35% beträgt, weniger als der zulässige Höchstwert von 45% beträgt.

Zur Festlegung der Betoneigenschaften wurde im Herbst 1981 eine eingehende Festigkeits- und Frost-Tausalzbeständigkeitsuntersuchung durchgeführt [10]. Diese hatte ebenfalls zum Ziel, die geeigneten und wirtschaftlichen *Betonzusatzmittel* - Betonverflüssiger und Luftporenbildner - für einen weich-plastischen bzw. für einen frost- und frostausalzbeständigen, hochwertigen Beton BH, allenfalls auch für Pumpbeton, zu bestimmen. Es wurden 8 Zusatzmittel untersucht. Mit den schliesslich gewählten Zusatzmitteln werden nun die erwünschten Betonsorten produziert. Grundsätzlich und mehrheitlich wird aber für die verschiedenen Bauwerke zwischen Bönigen und Giessbach *Beton ohne Zusatzmittel* verwendet, falls keine besonderen Anforderungen an die Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit gestellt werden. In einzelnen Fällen wird *Pumpbeton* zugelassen. Zu dessen Herstellung, vor allem für die Betonverkleidung im Chüebalmtunnel, wird ebenfalls vorgezogen, 25 kg/m<sup>3</sup> mehr Zement beizugeben als ein Betonverflüssiger. Bild 6 zeigt die bis Ende 1982 bestimmten mittleren Siebcurven und die Standardabweichungen der hauptsächlich hergestellten Betonsorte BH, Standard- und Pumpbeton. Beide Kornverteilungsbereiche sind relativ gleichmässig, mit Variationskoeffizienten der Sieblinien um 20-30% oder kleiner ab Siebdurchgang 2,0 mm. Die Kornverteilung für den Standardbeton liegen an der feinkörnigen Seite des Normbereiches, mit Ausnahme des etwas groben Grösstkornes von 35 mm. Beim Pumpbeton ist ersichtlich, dass trotz des hohen Sandanteiles von etwa 50% der Mittelsandanteil niedrig ist (siehe auch Bild 5) und das Grösstkorn etwas grob. Es entstanden gewisse Schwierigkeiten beim Pumpen, welche durch die Zugabe von 25 kg/m<sup>3</sup> mehr Zement oder allenfalls eines Zusatzmittels überbrückt werden konnten. Der Gesamtfeinanteil < 0,2 mm, einschliesslich Zement, beträgt teilweise für beide Betonsorten mehr als die nach Norm SIA 162 für BS und für dichten, der Witterung ausgesetzt oder für Sichtbeton BH empfohlene Menge von 450 kg/m<sup>3</sup>. Der produzierte Beton wurde trotzdem teilweise für diese Zwecke, z.B. Stützmauern, verwendet.

Tabelle 2 enthält die einfache statistische Auswertung - Mittelwerte und

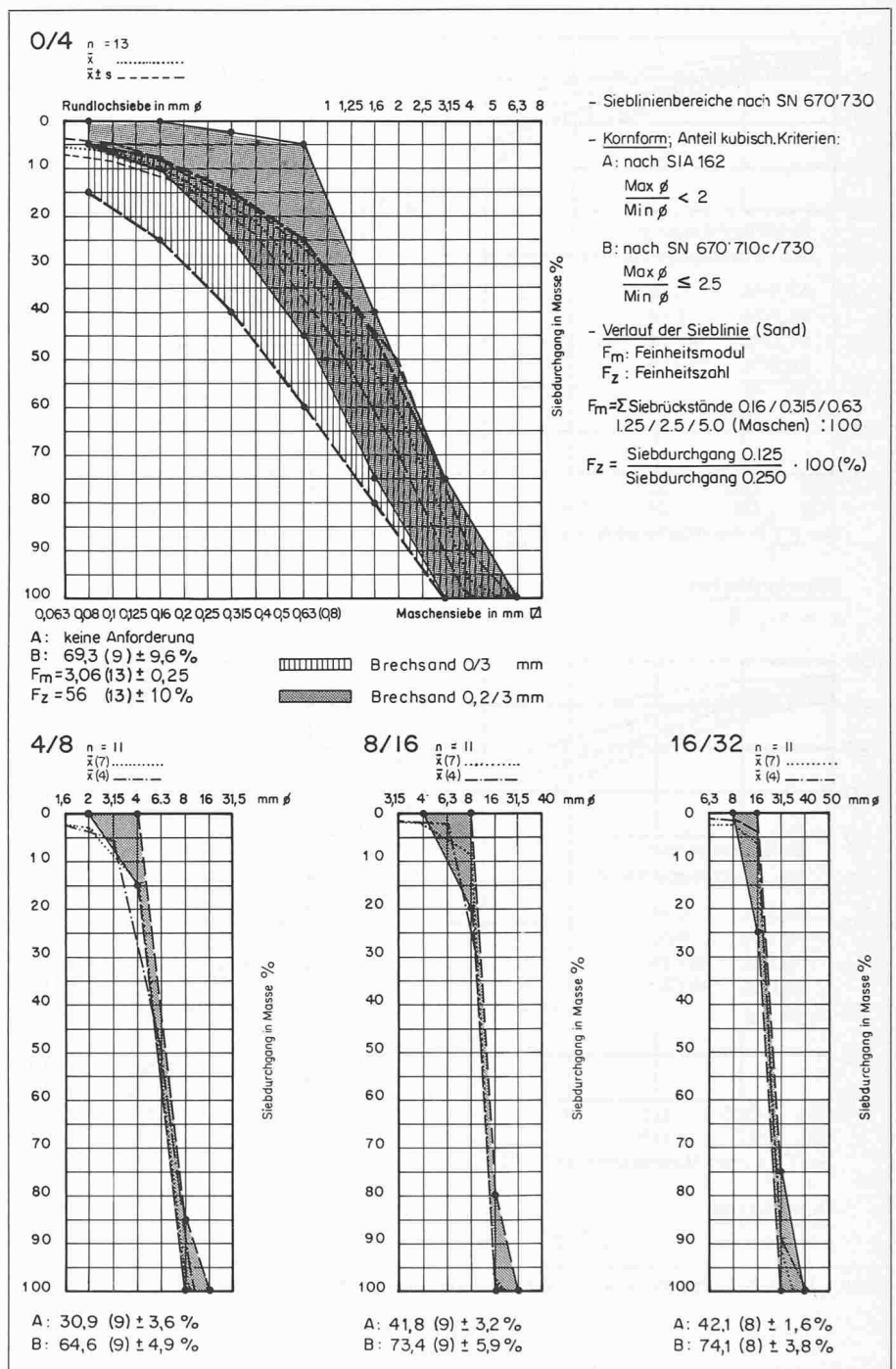


Bild 5. Kornverteilungen der Fraktionen 0/4, 4/8, 8/16, 16/32

Tab. 2. Ergebnis der Betonversuche, Standardbeton und Pumpbeton

Hochwertiger Beton BH	Standardbeton		Pumpbeton	
	PC 300	PC 325 Betonverflüssiger	PC 300 Betonverflüssiger	PC 325 <sup>3</sup>
Betonsorte				
Wasser/Zement-Wert <sup>1</sup>	0,56 (12), 5,5	0,53 (22), 8,1	0,63 (18), 5,0	0,60 (14), 4,0
Verdichtungsmass nach Walz	1,24 (12), 2,0	1,15 (22), 3,9	1,12 (18), 3,2	1,07 (16), 2,0
Würfeldruckfestigkeit <sup>2</sup> $\beta_{w,7}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	333 (14), 8,6	375 (21), 11,2	291 (17), 10,6	284 (16), 14,5
Raumgewicht [t/m <sup>3</sup> ]	2,42 (14), 1,0	2,43 (21), 0,9	2,39 (17), 0,7	2,38 (16), 1,3 <sup>3</sup>
$\beta_{w,28}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	377 (14), 8,2	419 (22), 9,6	338 (17), 11,3	336 (16), 13,4
Raumgewicht [t/m <sup>3</sup> ]	2,43 (14), 0,8	2,43 (22), 0,8	2,40 (17), 0,5	2,39 (16), 0,9 <sup>3</sup>

- Mittelwert (Anzahl Einzelwerte), Variationskoeffizient in %

<sup>1</sup> Luftporengehalt: 1,6-2,0%

<sup>2</sup> Nach 7 Tagen normalerweise je 1 Versuch, nach 28 Tagen je 2 Versuche (je 1 für Standardbeton PC 325)

<sup>3</sup> Teilweise in situ etwas kleinere Zementdosierung. Eine Bohrkernuntersuchung an einer Tunnelverkleidung ergab ein kleineres Raumgewicht von 2,34 t/m<sup>3</sup> (76),  $V/K = 1,5\%$

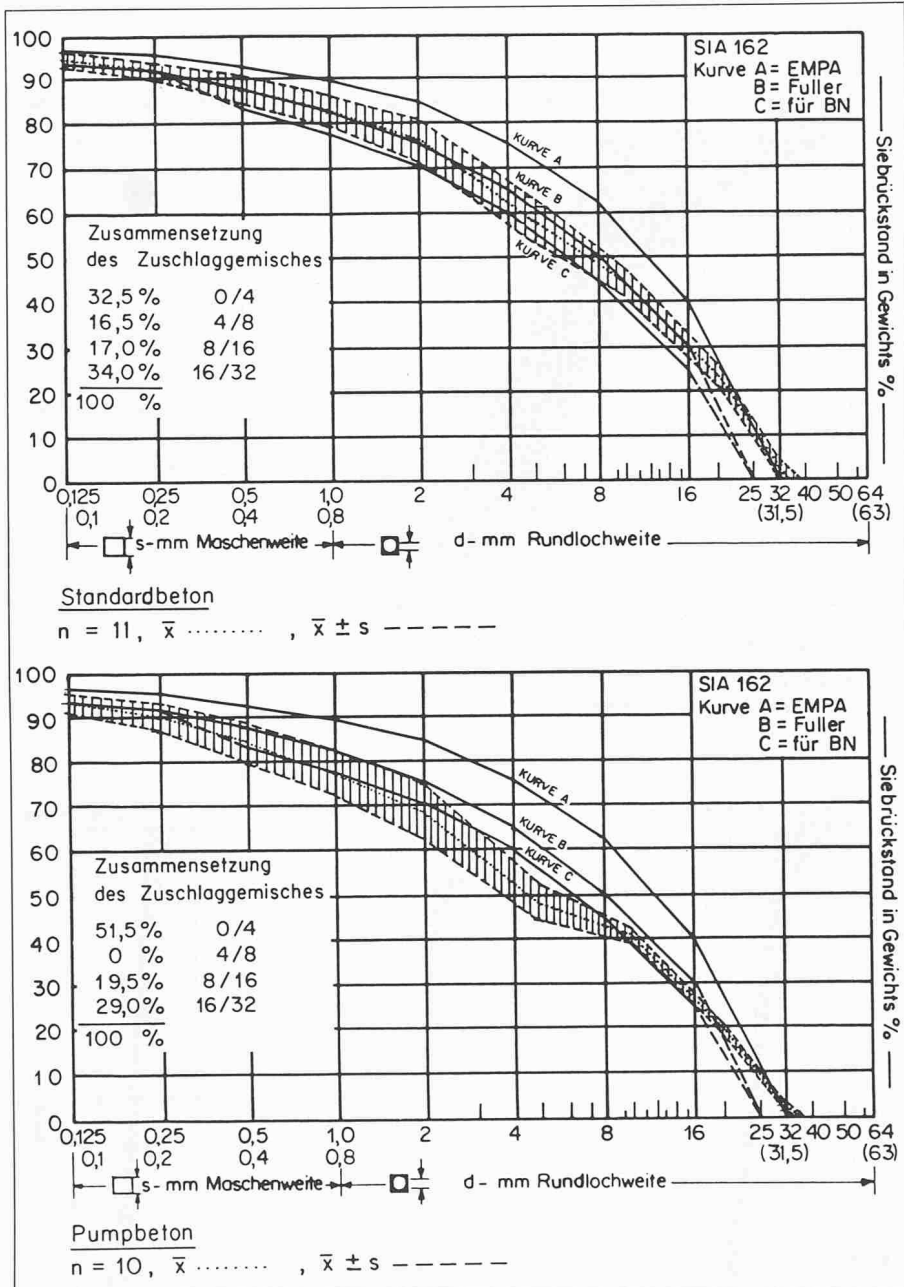


Bild 6. Kornverteilungsbereiche der Zuschlaggemische, Standardbeton und Pumpbeton

Standardabweichungen - der systematisch auf den verschiedenen Baustellen durchgeführten *Kontrollprüfungen* der bisher mehrheitlich produzierten Betonsorten. Sie umfassen die Bestimmung der *Frischbetoneigenschaften* vor dem Einbau, d.h. Wassergehalt bzw. *Wasser/Zementwert*, *Verdichtungsmass nach Walz* und *Lustporengehalt*, sowie die *Druckfestigkeitsprüfung* nach 7 und 28 Tagen an den hergestellten Würfeln. Die Mittelwerte  $\bar{x}$  und die Streubreiche  $\pm s$  der 28tägigen Würfeldruckfestigkeit sind zudem in Bild 7 in Abhängigkeit des *W/Z-Wertes* dargestellt. Der *W/Z-Wert* ist für gebrochene Zuschlagsstoffe infolge des grösseren Wasserbindevermögens bei gleicher Verarbeitbarkeit um 10% oder mehr höher (noch höher, wenn Brechsand zur Anwendung gelangt) als für runden Zu-

schlag. Trotzdem wird ein über dem nach Norm SIA 162 verlangten Nennwert für Stahlbeton liegender Druckfestigkeitswert erzielt. Die *Verarbeitbarkeit* des Betons kann dabei als gut bezeichnet werden. Negative Folgen (z.B. Abbinderisse) des gegenüber einem konventionellen Beton höheren *W/Z-Wertes* wurden bisher nicht beobachtet. *Höhere Anforderungen* an die Festigkeit werden für hochwertige Bauteile, z.B. Spannbeton im Brückenbau, ebenfalls erfüllt. Vorbehalten bleibt die *Frostbeständigkeit*, welche die Zugabe von Zusatzmitteln bedingt. Der Standardbeton ist gemäss Verdichtungsmass als plastisch, der Pumpbeton, der auch etwas kleinere Raumgewichte aufweist, als weich zu bezeichnen. Eine Bohrkernuntersuchung der mit Pumpbeton PC 325 ausgeführten Verkleidung des

Chüebalmtunnels zeigte z.T. niedrigere Festigkeiten der Kerne  $\varnothing$  5 cm als 300 kg/cm<sup>2</sup>. Sie werden auf die kleineren Raumgewichte und die anfänglich zu kurzen Ausschallfristen zurückgeführt. Eine Untersuchung der Festigkeitsentwicklung des Pumpbetons im Frühstadium zeigte im weiteren, dass für einen *W/Z-Wert* von 0,64 und eine Würfeldruckfestigkeit von 317 kg/cm<sup>2</sup> nach 28 Tagen, nach 13 Stunden 15 und nach einem Tag 49 kg/cm<sup>2</sup> erreicht werden.

Gleichzeitig zum aufbereiteten Zuschlaggemisch in Fraktionen wurde 1981 eine *Untersuchung des Fräsgutes* aus dem mechanischen Vortrieb des Pilotstollens im Chüebalmtunnel durchgeführt. Ebenfalls wurde 1982 das *Material 0/30* untersucht, das aus dem Brechvorgang reichlich anfällt. Beide unsortierten Materialien, insbesondere das zweite, wurden zur Herstellung von normalem Beton BN als geeignet beurteilt.

### Betonbelag

*Gebrochene Zuschlagstoffe für Belagsbeton* werden in der Schweiz als Splitte teilweise im Oberbeton von zweischichtig ausgeführten Belägen verwendet. Brechsand wurde bisher nicht benutzt. Ausländische Richtlinien [11, 12, 13] lassen gebrochenes Gestein in den grösseren Körnungen ebenfalls zu, währenddem die Verwendung von Brechsand normalerweise einer besonderen Genehmigung bedarf [12] oder nicht empfohlen wird [13]. Die groben, gebrochenen Zuschlagsstoffe werden sowohl im Ausland wie in der Schweiz anhand der *Gesteinschärte* selber (Druckfestigkeit und Gehalt an harten Mineralien) wie auch bezüglich der *üblichen Gesteinsprüfungen* wie des *Los-Angeles-Versuchs* (SN 670 835a) und der *Zertrümmerungsprüfung* (SN 670 830) beurteilt, welche Kriterien für die Widerstandsfähigkeit gegen Schlag und Abrieb bzw. gegen Schlag und Druck ergeben. *Bedenken gegenüber diesen Prüfungsarten bestehen* [14, 15], weil der im Zementstein gebundene Zuschlagsstoff sich wohl anders verhält als lose und auch anders, als wenn er mit bituminösen Bindemitteln gebunden wird. Der Widerstand des Zuschlages gegen Abrieb unter Beanspruchung mit einem Pneurad bzw. indirekt die Griffigkeit kann mit dem *Polierbarkeitsversuch* (BS 812, 1975) geprüft werden. In der Schweiz wird gemäss SN-Norm 640 461 «Zementbetonbeläge, Ausführung, Anforderungen» nach dem Polierversuch ein minimaler «Reibungsbeiwert» SRT (SN 640 510a) von 50 verlangt, welcher allgemein als masse-



Tab. 3. Eigenschaften der Fraktionen 0/4, 4/8, 8/16, 16/32

Fraktion	0/4		4/8		8/16		16/32	
	Höchstzulässiger Wert <sup>1</sup>	Prüfwert <sup>2</sup>	Höchstzulässiger Wert <sup>1</sup>	Prüfwert <sup>2</sup>	Höchstzulässiger Wert <sup>1</sup>	Prüfwert <sup>2</sup>	Höchstzulässiger Wert <sup>1</sup>	Prüfwert <sup>2</sup>
Kornform Nichtkubisch	45	20-40	45	30-40	45	20-25	45	20-30
Kornrundung Teilweise rund	33	0	33	0	33	0	33	0
Kornrundung Rund	2	0	2	0	2	0	2	0
Petrographisch ungeeignete Anteile	5	4	5	3-5	5	2-3	5	<2
Verunreinigungen, Anteil <0,63 mm	-	-	1	1-5	1	<1	1	2-3
Zertrümmerungsgrad Druck	-	-	18	16,7/18,5	21	22,3/23,5	23	27,1/28,5
Zertrümmerungsgrad Schlag	-	-	18	11,6/14,1	21	15,3/19,0	23	20,4/22,9
Los-Angeles-Koeffizient	-	-	22	21,1/18,8	20	23,8/21,0	20	25,7/23,4
Raumgewicht (lose)	-	1,56-1,57	-	1,53-1,60	-	1,54-1,58	-	1,52-1,54

- SRT-Werte nach dem Polierbarkeitsversuch, Fraktion 10/12,5 mm (BS 812, EMPA-Berichte 162 262 und 167 162/2): 54/56; zulässiger Mindestwert: 50  
<sup>1</sup> Qualitätsvorschriften der SN-Normen 670 710c «Splitt und Schotter für den bituminösen Strassenbau», 670 730 «Sand und Kies für Beläge und HMT».  
<sup>2</sup> Aus den EMPA-Berichten 159 723, 167 162/1 sowie LAVOC-EPFL vom 14.7.1982 und 15.3.1983. Für die Kornform, die Verunreinigungen und das Raumgewicht aus eigenen Untersuchungen.

bend betrachtet wird [16]. Die Verwendung von örtlich vorkommenden Zuschlagsstoffen, welche nach den bestehenden Normen als kritisch oder sogar von ungenügender Qualität beurteilt werden, sollte im Sinne eines optimalen und wirtschaftlichen Strassenbaus vermehrt ermöglicht werden [17].

Der an der N8 gebrochene Malmkalk wurde als geeigneter Zuschlag für alle Fraktionen eines Belagsbetons, einschliesslich des Sandes, beurteilt, hingegen nicht für bituminöse Verschleisschichten. Demzufolge wurde, ausgehend von der bestehenden Aufbereitungsanlage in Iseltwald, der Bau eines Betonbelages von etwa 12 km Länge zwischen Bönigen und dem Ostprotal des Giessbachtunnels vorgesehen. Der Abschnitt von 3,5 km Länge und 7,5 m Breite im Giessbachtunnel ist bereits im Oktober/November 1982 eingebaut worden. Zum ersten Mal setzte man in einem Tunnel einen Gleitschalungsfertiger für den Einbau des gewählten einschichtigen, einlagigen und unarmierten Belages ein (Bild 8). Im Jahre 1980 konnten auf der N1, Gurbrü-Bern, erste und gute Erfahrungen mit dieser Einbaumaschine gesammelt werden [8]. Es konnten Einsparungen von Fr. 250 000.- erzielt werden. Dem Fertiger wurden die seitlichen Gleitschalungen, aber nicht die formgebende obere Druckplatte, entfernt, da der Beton zwischen den beiden Randabschlüssen eingespannt ist. Der Einbau erfolgte, nach einer kurzen Anlernzeit des Unternehmers zur Angewöhnung an den unüblichen, für die Schweiz erstmaligen Beton, problemlos. Der Belag wurde mit bis zu 13 Zweiachslastwagen auf relativ schlechten Zufahrten antransportiert.

Bei der Durchfahrt durch den Chüebalmtunnel ergaben sich dabei gewisse Organisationsprobleme, da dort zur gleichen Zeit die Verkleidungsarbeiten erfolgten. Die Betonaufbereitungsan-

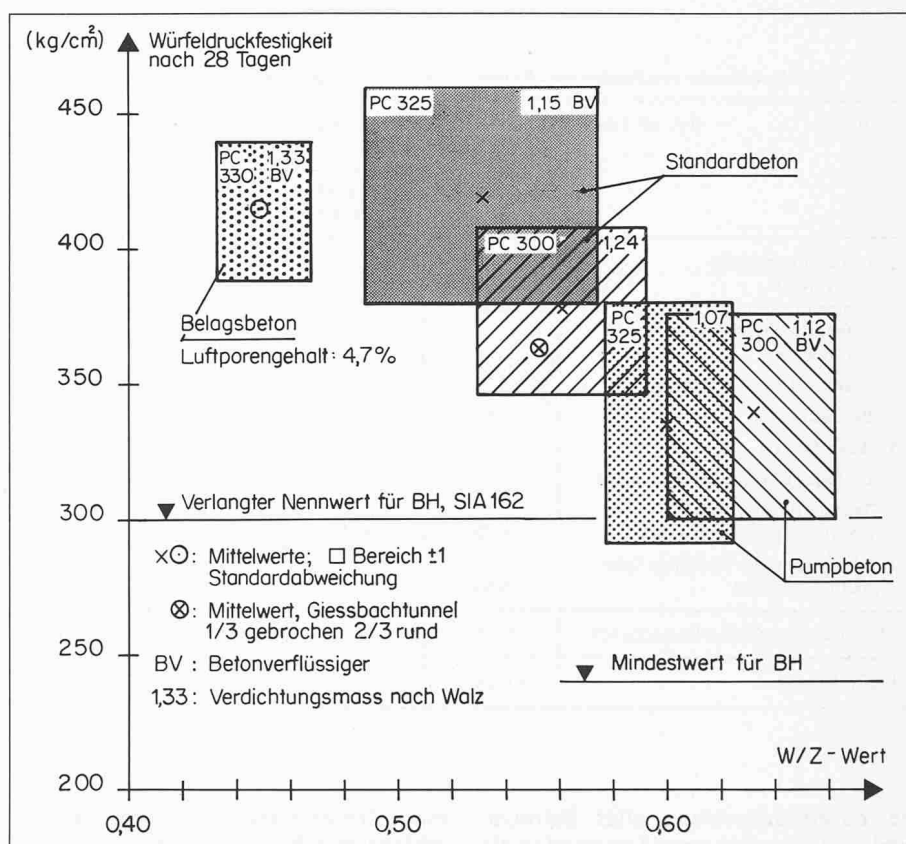


Bild 7. Druckfestigkeit in Abhängigkeit des W/Z-Wertes

ge wurde von 12.00-23.00 Uhr zur Herstellung des Belagsbetons reserviert. Tabelle 3 zeigt die Zusammenfassung der an den *Einzelfraktionen durchgeführten Prüfungen*, wobei für TF 100-1000 aus den geltenden SN-Normen die für Verschleisschichten massgebenden Qualitätsanforderungen in erster Annäherung abgeleitet bzw. interpoliert wurden. Die während des Belageinbaus bestimmten je 4 Siebkurven der 4 Fraktionen, in Bild 5 für die Mittelwertbildung berücksichtigt, liegen mit Ausnahmen - etwas Unterkorn vor allem beim 4/8er - innerhalb der entsprechenden angenommenen Sieblinienbereiche. Aus der Tabelle 3 ist er-

sichtlich, dass der Zertrümmerungsversuch auf Druck und der Los-Angeles-Versuch teilweise, vor allem für den Splitt 16/32, etwas höhere Werte ergeben als die bisher als zulässig angenommenen. Die *Kornform* ist in Ordnung, während der Anteil < 0,63 mm teilweise über dem Normwert liegt. Der an zwei Sandproben durch Schlämmen bestimmte Feinstkornanteil < 0,02 mm beträgt 1,0/1,5% (zulässig im Gesamtgemisch: 1,5%). Die *Polierbarkeit* ist in Ordnung. Der Malmkalk besteht zu 90-95% aus festem, kompaktem, mittelhartem, sehr feinkörnigem alpinem Kalkstein und zu etwa 5% aus hartem, feinkörnigem Kieselkalk. Die homoge-



Tab. 4. Ergebnis der Betonversuche, Belagsbeton

Hochwertiger Beton BH, PC 330 kg/m <sup>3</sup> , 2% LP, 0,5% BV			
Wasser/Zement-Wert			0,45 (51), 3,7
Verdichtungsmass nach Walz			1,33 (53), 2,4
Luftporengehalt [%]			4,7 (87), 8,7
Prismen 12×12×36	Raumgewicht [t/m <sup>3</sup> ]	2,425	(12), 0,4 <sup>1</sup>
	Druckfestigkeit [kg/cm <sup>2</sup> ]	414	(12), 6,2 <sup>2</sup>
	Biegezugfestigkeit [kg/cm <sup>2</sup> ]	72,4	(12), 11,6 <sup>1</sup>
Bohrkerne Ø 15	Raumgewicht [t/m <sup>3</sup> ]	2,385	(21), 1,1
	Druckfestigkeit [kg/cm <sup>2</sup> ]	401	(21), 13,1
	Querzugfestigkeit [kg/cm <sup>2</sup> ]	33,3	(21), 12,4
	Dicke: Tunnel [cm]	18,5	(24), 6,3
	Portalzonen [cm]	21,1	(6), ~7,4
Texturtiefe - Sandfleck [mm]		0,84	(140), 7,7

- Mittelwert (Anzahl Einzelwerte), Variationskoeffizient in %

<sup>1</sup> Je 3 Versuche

<sup>2</sup> Je 3×2 Versuche (Würfeldruck)

(Alle Werte aus einem internen Bericht des Autobahnamtes, 1983)

Tab. 5. Gesteungskosten von Fundationsschichtmaterial 0/100 und Beton BH, PC 300

Kosten	[Fr./m <sup>3</sup> (fest)]	Fundationsschichtmaterial 0/100		Beton BH, PC 300	
		100% gebrochen	Kiessand ab Drittwerk	100% gebrochen	ab Drittwerk
1. Installationsanteile:					
- Brecherei	2.05			2.05	
- Stromzuleitung	0.65			0.65	
- Betonaufbereitungsanlage Iseltwald	-			7.40	
2. Transport zur Brechanlage	3.25			3.60	
3. Brechen 0/100	3.65			4.00	
4. Auflad 0/100	1.70			-	
5. Lieferpreis Aufbereitungsanlage	-		20.00	63.70	75.00
6. Transport franko N8 (mittlere Transportdistanz)	6.50		8.50	2.50	17.00
7. Abtransport des Materials, falls nicht aufbereitet	./. 6.60			./. 6.60	
Materialkosten franko Baustelle N 8	11.20		28.50	77.30	92.00
Preisdifferenz	- 17.30			- 14.70	

ne Zusammensetzung aller Betonzuschlagsstoffe wird unter Umständen die zeitliche Entwicklung des Griffigkeitsverhaltens des Belages beeinflussen. Es ist jedoch zu beachten, dass der Belag keiner sehr hohen Verkehrsbelastung ausgesetzt sein wird. Für die stark beanspruchte N1, Gurbrü-Bern, war zur Erzielung verschiedener Mineralhärten bzw. eines unterschiedlichen Polierverhaltens der einzelnen Betonkomponenten 50% des Grobkorns bzw. 35% des ansonst aus Rundkorn bestehenden Zuschlaggemisches durch Hartsplitt ersetzt worden [18].

Der Beton mit 330 kg/m<sup>3</sup> Normalzement - effektiv etwa 320 kg/m<sup>3</sup>, weil die Raumgewichte im Felde etwas niedriger waren -, 2% (des Zementgewichtes) eines verdünnten Luftporenbildners und 0,5% (des Zementgewichtes)

eines Betonverflüssigers wies im Zuschlaggemisch gegenüber dem Standardbeton (Bild 6) etwas mehr Sand (34%) und weniger Feinsplitt (15%) auf. Die Dosierungen der einzelnen Zusatzmittel waren durch Vorversuche festgelegt worden. Die Siebkurven des Zuschlaggemisches lagen eher auf der feinkörnigeren Seite des SIA-Bereiches. Der Feinkornanteil < 0,2 mm inkl. Zement betrug teilweise mehr als der nach SN 640 461 und Norm SIA 162 empfohlene Grenzwert von 450 kg/m<sup>3</sup>. Dies wirkt sich nicht unbedingt nachteilig aus, da die Sandzusammensetzung selber, z.B. beurteilt anhand der Feinheitzahl, welche grösser als 50% ist [19], oder des Feinheitmoduls (grösser als 3,0), eher günstig ist. In Tabelle 4 sind das Ergebnis der Kontrollprüfungen des Frischbetons und der Festigkeitsversu-

che an den beim Einbau hergestellten Prismen und an den später entnommenen Bohrkernen sowie die Dicken und die Texturtiefe des Belages aufgetragen. Alle Festigkeitswerte wurden nach 28 Tagen bestimmt. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass der ziemlich gleichmässige, mittlere W/Z-Wert 0,45 beträgt. Er liegt erwartungsgemäss höher als bei einem Belagsbeton aus rundem Zuschlag (0,40), aber tiefer als bei einem Standardbeton. Der als steif zu bezeichnende Beton (mittlerer Walzwert: 1,33) mit dem erwünschten, ziemlich gleichmässigen Luftporengehalt grösser als 4%, wurde vor der Verteilerschnecke des Fertigers mittels zwei von den Lastwagen selber gezogenen Verteilgeräten ausgebreitet (Bild 8). Er konnte mit dem Gleitschalungsfertiger gut eingebaut, verdichtet und an der Oberfläche mit dem Quer- und Längsglätterbalken gut bearbeitet werden. Die 14 Fugendübel Ø 22 mm mit einer Länge von 50 cm konnten mit dem am Fertiger angebaute Dübelsetzgerät (Bild 9), dessen Prototyp auf der N1, Gurbrü-Bern, eingesetzt wurde, ohne Schwierigkeiten alle 5 m einvibriert werden. Die Oberflächenstruktur wurde, ebenfalls wie auf der N1, mit dem belgischen Rechen hergestellt. Die gleichmässige Texturtiefe von im Mittel 0,84 mm ist typisch für einen rauhen Belag. Kleinere Unebenheiten der Oberfläche wurden durch örtliches Abfräsen behoben. Die Festigkeitswerte liegen hoch. Sie sind für die Bohrkern erwartungsgemäss etwas ungleichmässiger als für die Prismen. Die gleichmässigen Würfeldruckfestigkeiten entsprechen trotz des Luftporengehaltes infolge des niedrigeren W/Z-Wertes denjenigen des Standardbetons (Bild 7); sie sind auch höher als der nach SN 640 461 geforderte Sollwert. Die Biegezugfestigkeit, welche auch aus der Querzugfestigkeit der Bohrkern zu 60-65 kg/cm<sup>2</sup> geschätzt werden kann, ist ebenfalls in Ordnung.

Die Gleichmässigkeit der W/Z-Werte und der Druckfestigkeit ist erwartungsgemäss für den tagelang kontinuierlich hergestellten Beton besser als für die üblichen, während 1½ Jahren mit Unterbrüchen produzierten Betonsorten (siehe Tabellen 2 und 4 sowie Bild 7). Würfel- und Biegezugfestigkeiten sind um etwa 10% höher als die Werte der N1. Der Betonbelag wurde im Tunnel selber mit theoretisch 18 cm, ausserhalb des Tunnels und in den Portalzonen bis 150 m einwärts mit 20 cm eingebaut. Die Dicken der Bohrkern sind ziemlich gleichmässig; im Mittel weichen sie wenige mm auf die positive Seite ab. Die Frost-Tausalzbeständigkeit von 6 Bohrkernserien wurde vom LPM-Labor anhand der Porenanalyse als gut bis mittel beurteilt.

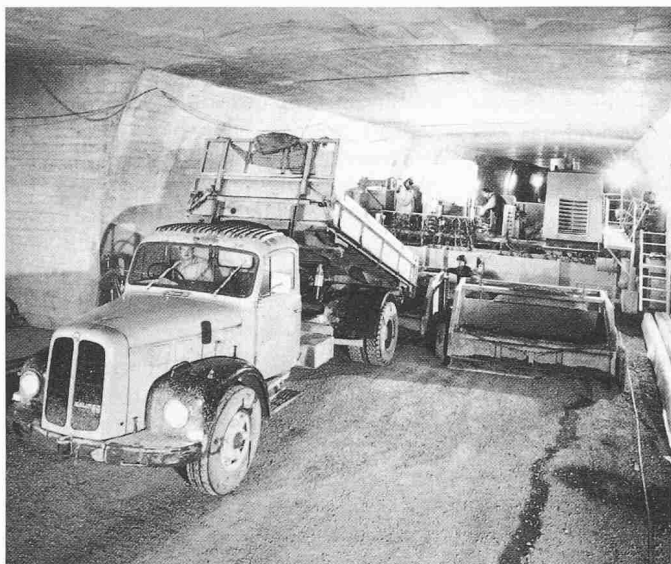


Bild 8 (oben). Betoneinbau mit dem Gleitschalungsfertiger im Giessbachtunnel

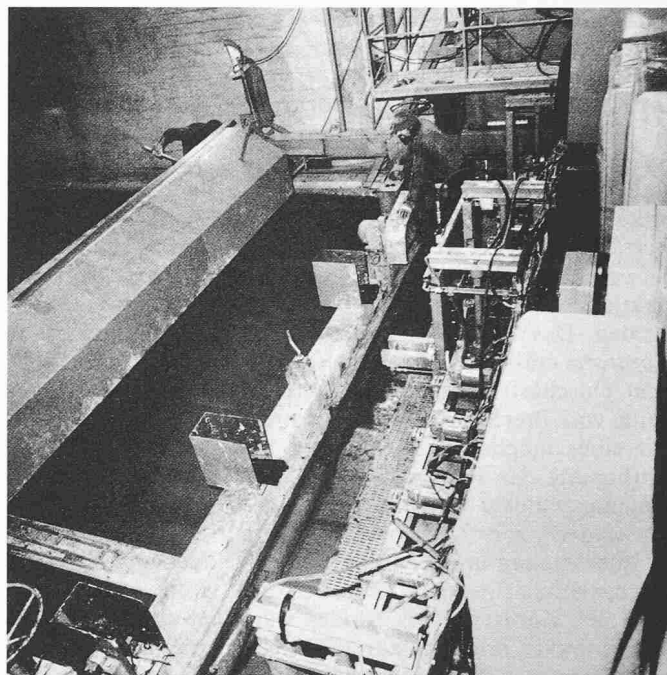


Bild 9 (rechts). Gleitschalungsfertiger: Dübelsetzgerät, Querglätterbalken mit Betonwulst, Längsglätter

## Preisüberlegungen

Am Beispiel der N8 können Preisvergleiche zwischen der Aufbereitung von Fundamentalschichtmaterial und Beton in der eigenen Anlage und der Lieferung ab Drittwerk vorgenommen werden. Die Preisüberlegungen basieren auf folgenden Annahmen: Preisbasis 1980; Herstellung von 100 000 m<sup>3</sup> Fundamentalschichtmaterial und 80 000 m<sup>3</sup> Beton.

In Tabelle 5 sind die entsprechenden Preisdifferenzen aufgeführt. Somit beträgt die Kosteneinsparung:

$$100\,000 \times 17,30 = \text{Fr. } 1\,730\,000.-$$

$$80\,000 \times 14,70 = \text{Fr. } 1\,176\,000.-$$

$$\text{Fr. } 2\,906\,000.-$$

Die gesamten Einsparungen dürften noch höherausfallen. Aus durchgeführten Submissionen betragen die effektiven Preisdifferenzen eines Betons BH 300 ab Drittanlage zum Beton ab Anlage N8 in Iseltwald 20–35 Fr./m<sup>3</sup>. Die in der gleichen Grössenordnung liegenden Einsparung bei der Aufbereitung von Fundamentalschichtmaterial im Rügen- und Giessbachtunnelbaulos ist in obiger Aufstellung nicht enthalten.

## Zusammenfassung und Schlussfolgerung

### Einbau von anstehendem Material

Der Bau der N8 zwischen Interlaken und Brienzwiler stellte den Bauherrn bezüglich der Beschaffung von Fundamentalschichtmaterialien und von Beton-

zuschlagsstoffen vor Entscheide, welche zu einer Erweiterung der bisherigen Praxis und zu einer materialtechnologischen Betrachtungsweise führte, die für schweizerische Verhältnisse eher unüblich ist. Es wurde beschlossen, das in den Tunnels und im Tagbau gesprengte und aufbereitete Felsmaterial für den Strassenoberbau einschliesslich der Beläge und für die Bauwerke zu verwenden. Die sich stellenden Probleme wurden schrittweise angegangen und versuchsmässig gelöst, da anderweitige vergleichbare Erfahrungen, wie auch materialtechnisch spezifische Normen oder Richtlinien nicht vorhanden oder unzureichend waren.

Gebrochene Materialien könnten allgemein, gerade in der gebirgigen Schweiz, viel mehr verwendet werden, wobei die Eignung des Felsgesteins selber je nach Anwendungsbereich differenzierter als bisher beurteilt werden sollte. Für kleine Baulose sollten viel mehr mobile Kleinbrechanlagen eingesetzt werden, die u.U. aus einem einzigen Brecher bestehen können. Diese Lösung wurde bisher an der N8 an 2 Orten ebenfalls mit Erfolg gewählt.

Aus der Sicht des Autobahnamtes werden im folgenden die gesammelten Erfahrungen – bisher als positiv bewertet – näher ausgewertet und zu den bestehenden Normen in Verbindung gebracht.

### Fundamentalschichtmaterialien

Die bestehende SN-Norm 670 120b «Kiessande für Fundamentalschichten, Qualitätsvorschriften» müsste für gebrochene Materialien wesentlich erweitert werden. Aus dem an sich problem-

losen Brechvorgang entstehen Korngemische, welche anders zusammengesetzt und sich beim Einbau anders verhalten als natürliche Kiessande. Eine wirtschaftliche Verdichtung wie auch die Erreichung von hinreichenden Verdichtungs- und Tragfähigkeitswerten von solchen Fundamentalschicht- und Tragschichtmaterialien ist grundsätzlich problemlos. Die geeigneten Verdichtungsgeräte sind vorhanden und können sinnvoll eingesetzt werden. Eine grössere Erhöhung der Verdichtungsleistung ist kaum erforderlich. Das Zertrümmerungsverhalten typischer schweizerischer Gesteinsarten beim Einbau sollte untersucht werden. Eine Herabsetzung des Grösstkornes ist nicht erforderlich, aber von Vorteil, falls dünne Schichten eingebaut und die Gefahr der Entmischung entschärft werden sollen. Dünne Fundamentalschichten sind aber aus anderen Gründen oft kaum optimal. Bevor eine intensivere Bearbeitung bei der Aufbereitung und dem Einbau in Aussicht genommen wird, sollten die wirtschaftlichen Konsequenzen gründlich abgeklärt werden.

### Schottertränkungen

Schottertränkungen gemäss SN 640 417a «Tränkungen, Ausführungsvorschriften» stellen, falls Gestein auch für andere Zwecke gebrochen wird, ein weiteres wirtschaftliches Bauverfahren dar, welches eine HMT ersetzen kann.

### Bauwerksbeton

Die bisherigen Erfahrungen bei der Betonherstellung für verschiedene Bau-

werksarten mit 100% gebrochenem und ungewaschenem Zuschlag, also auch 100% Brechsand, sind erfolgversprechend. Die Norm SIA 162 «Norm für die Berechnung, Konstruktion und Ausführung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton» (1968) sollte in diesem Zusammenhang präzisiert und erweitert werden. Die Anforderungen an gebrochene Grobkornfraktionen sollten besser spezifiziert werden. Das Kriterium bezüglich der Kornform müsste im Sinne der SN-Normen entschärft werden. Die Verwendung von Brechsand 0/4 sollte nicht mit einer möglichen ungünstigen Beeinflussung der Betonqualität in Verbindung gebracht werden. Die Sandeigenschaften wie Kornform, Kornzusammensetzung und Feinstanteil, sollten spezifiziert werden. Zur Beurteilung der Kornform des Sandes wäre eine indirekte, praktisch durchführbare Prüfmethode, z.B. der Hohlraumgehalt nach NCSA [7], einzuführen. Der Verlauf bzw. die Gleichmässigkeit der Sieblinie des Sandes müsste durch einen Kennwert, z.B. das Feinheitsmodul nach Abrams bzw. dessen Streuungen, charakterisiert werden [7, 9]. Eine klare Abstufung der verschiedenen Anforder-

ungen, auch hinsichtlich der Anzahl durchzuführender Kontrollversuche, an die diversen Betonsorten ist unerlässlich. Streuungen bei der Aufbereitung der Einzelfraktionen und des Zuschlaggemisches sind oft auch in Abhängigkeit der Gesteinsqualität nicht zu vermeiden. Sie sollten systematisch geprüft und die Anzahl Prüfungen sollten präzisiert werden. Die zulässigen Kornverteilungsbereiche des Zuschlaggemisches, das für bestimmte Betonsorten ohne weiteres unsortiert sein kann, sollten vor allem für Beton mit gebrochenem Zuschlag überprüft werden, vorab in Richtung einer feinkörnigeren Zusammensetzung im Sandbereich. Für den Pumpbeton sollten ebenfalls Sieblinien angegeben werden. Die systematische Kontrolle bei der Aufbereitung müsste dann die Einhaltung bestimmter Grenzwerte des Zuschlaggemisches gewährleisten. Die dauernde Kontrolle der Frischbetoneigenschaften zusätzlich zur Festigkeitsprüfung, welche in der Norm SIA 162 nur in einer allgemeinen und beschreibenden Form festgehalten wird, muss vorgeschrieben werden.

Festigkeitsprobleme bestehen bei Verwendung von gebrochenem Zuschlag

kaum. Der W/Z-Wert und die Konsistenz aller Betonsorten sowie zusätzlich der Luftporengehalt des frost-tausalzbeständigen Betons sollten systematisch geprüft werden. Die Streuungen der Prüfergebnisse sollten ein zulässiges Mass nicht überschreiten. Richtwerte können angegeben werden. Für einen guten, bzw. gleichmässigen Beton sind beispielsweise etwa folgende Variationskoeffizienten typisch und einzuhalten:

W/Z-Wert: 4–6%; Verdichtungsmass: 2–4%; Luftporengehalt: 6–10%; Raumgewicht: 0,5–1,3%; Würfeldruck- und Biegezugfestigkeit: 8–12%. Die Prüfungsergebnisse können als Grundlage für eine globale Qualitätsbeurteilung, unter Umständen in Verbindung mit einem Preisabzugssystem, verwendet werden. Einfache statistische Kriterien könnten allgemein ab 10 Versuchsergebnissen eingeführt werden. Es würde durch die erwähnten Massnahmen ermöglicht, bisher kaum zugelassene oder benutzte Materialien in vermehrtem Masse zu verwenden. Von Fall zu Fall wäre die Wirtschaftlichkeit abzuklären. Bei der Zulassung dieser Materialien ist die geforderte und erwünschte Qualität jederzeit zu gewährleisten.

#### Literaturhinweis

- [1] Giudicetti, F.: «Fundations- und Tragschichten aus gebrochenem Gestein. Bibliographie (unvollständig) mit Anhang (Kornverteilungsbereiche).» Berichte an die Kommission 3 der VSS (unveröffentlicht), 1980 und 1981
- [2] Giudicetti, F.: «N8, gebrochenes Ausbruchmaterial des Rügertunnels, Proberverdichtung.» Interner Bericht des Autobahnnamtes (unveröffentlicht), 1975. Sowie 2 weitere Berichte zum gebrochenen Ausbruchmaterial des Giessbach- und des Chüebalmunnels N8, 1980 und 1983
- [3] Graf, O. et al.: «Die Eigenschaften des Betons.» Springer-Verlag, 1960
- [4] – «Naturstein, bewährter Baustoff.» Bundesverband Naturstein-Industrie e.V. (mit Literaturverzeichnis)
- [5] Effenberger, P. Waltherr, R.: «Erfahrungen bei der Herstellung von Splittbeton.» Die Naturstein-Industrie, 6/1982. Vgl. auch Nr. 1/1983
- [6] Kalcheff, J.V.: «Portland Cement Concrete with Stone Sand.» Spec. Eng. Rep., National Crushed Stone Association, 1977 (mit Literaturbesprechung)
- [7] «Stone Sand for Portland Cement Concrete.» Stone Products Update 1, NCSA, 1977
- [8] Nichols, F.P.: «Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete.» American Concrete Institute, 8/1982
- [9] – «Standard Specification for Concrete Aggregates.» ANSI/ASTM C33–80, American Society for Testing and Materials, 1980
- [10] Giudicetti, F.: «N8, Betonaufbereitungsanlage Iseltwald, Betonuntersuchungen 1981.» Interner Bericht des Autobahnnamtes (unveröffentlicht), 1982. Sowie 8 weitere Berichte zu den Betonuntersuchungen für den Giessbach- und Chüebalmunnel. 1978–1983
- [11] – «Technische Vorschriften und Richtli-

nien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton.» TV Beton 72, Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, 1972. Sowie «Zuschlag für Beton.» DIN 4226, Blatt 1, 1971

- [12] – «Fine Aggregate» bzw. «Coarse Aggregate for Portland Cement Concrete.» Standard Specifications AASHTO, M 6–65, 1974 bzw. M 80–77, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978
- [13] – «Directive pour la réalisation des chaussées en béton de ciment.» Ministère des Transports, Direction des Routes et de la Circulation Routière, Paris, 1978
- [14] Sonnewald, B.: «Experimentelle Untersuchung über den Zusammenhang zwischen den Festigkeitseigenschaften der Zuschläge und des Strassenbetons.» Zusammenfassung eines Forschungsauftrages, Strasse und Autobahn, 4/1981
- [15] Springenschmid, R. Brunner, M.: «Über den Einfluss der Zuschläge auf die Griffbarkeit von Betonfahrbahnen bei unterschiedlicher Beanspruchung (Polierbarkeit).» Strasse und Autobahn, 2/1982
- [16] Wieden, B.: «Neue Erkenntnisse zum Problem Polierbarkeit und Griffbarkeit von Strassenbaustoffen.» Strasse und Autobahn, 5/1981
- [17] Gluais, G.: «Utilisation des matériaux locaux dans les chaussées en béton.» Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, No 92, 1977
- [18] Giudicetti, F.: «Betonbelagseinbau auf der N1 mit dem Gleitschalungsfertiger.» Strasse und Verkehr, 5/1981. Sowie interner Bericht des Autobahnnamtes, 1982
- [19] Gröbl, P.: «Einfluss der Feinsteile des Sandes auf die Frost-Tausalzbeständigkeit von Beton.» Zusammenfassung eines Forschungsauftrages, Strasse und Autobahn, 4/1981

#### Belagsbeton

Zum ersten Mal in der Schweiz wurde ein Betonbelag mit 100% gebrochenem Zuschlag gebaut. Die Erfahrungen waren erfolgreich. Die SN-Normen 40 461 «Zementbetonbeläge, Ausführung, Anforderungen», 70 710c «Splitt und Schotter für den bituminösen Strassenbau, Qualitätsvorschriften» und 70 730 «Sand und Kies für Beläge und HMT, Qualitätsvorschriften» müssten erweitert und wesentlich ergänzt werden, damit Belagsbeton mit 100% gebrochenem Zuschlag, also auch mit Brechsand, berücksichtigt wird. Eine neue Splittreihe 4/8, 8/16, 16/32 sollte eingeführt werden, damit die Aufbereitung eines Zuschlaggemisches mit maximal 4 Komponenten ermöglicht wird. Unterkorn und Verunreinigungen müssten neu definiert werden. Die Polierbarkeitsanforderungen des Gesteins zur Herstellung von Betonbelägen, mindestens von Oberbeton, sollte betont und der Polierbarkeitsversuch normiert werden. Für den Sand, vor allem den Brechsand, müssten analog zum Bauwerksbeton neue Kriterien und Prüfmethoden für die Kornform, den Verlauf und die Gleichmässigkeit der Kornverteilungskurve [12, 13] eingeführt werden. Die Anforderungen bezüglich Gleichmässigkeit aller Fraktionen müssten definiert werden. Die Siebkurven der Einzelkomponenten und des Zuschlaggemisches müssten bei der



Aufbereitung von gebrochenem Gestein vermehrt auch hinsichtlich ihrer Gleichmässigkeit kontrolliert werden. Die zulässige Gesamtmenge an Feinkorn  $< 0,2 \text{ mm}$  im Beton sollte überprüft und unter Umständen erhöht werden. Die *Baukontrolle* mittels der Festigkeitsprüfungen, aber auch am Frischbeton (*W/Z*-Wert, Konsistenz, Luftporengehalt) sollte ebenfalls analog dem hochwertigen Bauwerksbeton statistisch erfolgen und ausgewertet werden.

Die Qualitätskriterien und Anforderungen gemäss den SN-Normen und der SIA-Norm sowohl für Belags- wie auch für Bauwerksbeton müssten *im Sinne einer Vereinheitlichung* allgemein überprüft werden, um Wiederholungen zu vermeiden und um Übereinstimmung zu erzielen, z.B. hinsichtlich der Kornform des Grobkornes, rund und gebrochen, des Anteiles an petrographischen ungeeigneten Bestandteilen, an schädlichen Beimengungen usw. Eine bisher fehlende, qualitative und quanti-

tative Übereinstimmung der Kontrolle eines Betonbelages mit den Normen des bituminösen Belagsbaus müsste ebenfalls angestrebt werden. Die Eignungsprüfungen und die Qualitätskontrolle sollten deutlich in 4 Stufen erfolgen und vorgeschrieben werden: Gestein, Einzelfraktion, Zuschlagsgemisch, Betongemisch.

Dem Einsatz eines Gleitschalungsfertigers zum Einbau eines einschichtigen, einlagigen und unarmierten Belages steht auch für einen Beton mit 100% gebrochenem Zuschlag nichts entgegen. Mit dieser Baumethode können auch in einem Tunnel bedeutende Einsparungen erzielt werden, wie dies am Beispiel Giessbach erstmals nachgewiesen wurde. Besondere Beachtung gilt dabei den Ebenheitsanforderungen.

#### Normen erweitern

Zusammenfassend ist auf Grund der Erfahrungen beim Bau dieser Nationalstrassenabschnitte festzustellen, dass die bestehenden Normen bzw. Qualitäts-

kriterien und Anforderungen bezüglich der Verwendbarkeit im Strassenbau und für Bauwerke von 100% gebrochenem Gestein teilweise relativ nützlich, mehrheitlich aber unzureichend sind. Es muss demzufolge Aufgabe einer optimalen, die örtlichen Randbedingungen berücksichtigenden Materialtechnologie sein, die Normen und Richtlinien, soweit vorhanden, zu interpretieren, zu ergänzen und anzupassen sowie neue Kriterien zu entwickeln, um dem für jeden Bauingenieur geltenden Gebot einer *übergeordneten, möglichst grossen Wirtschaftlichkeit* bei gleichzeitiger Gewährleistung der erwünschten Qualität der Strasse und des Bauwerkes zu folgen. Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet wären nachzuholen und relativ dringlich; dies im Sinne von angewandten, auf den Bedarf der Praxis ausgerichteten Untersuchungen.

Adresse der Verfasser: U. Kunz, Dr. F. Giudicetti, K. Jenk, dipl. Bauingenieure ETH, Autobahnamt des Kantons Bern, Schermenweg 5, 3014 Bern.

## Harnstoffharz zur Bodenverfestigung nach dem Oberflächenverfahren

### Nachweis der Brauchbarkeit

Von Jerzy Makowski, Leszek Rafalski und Krystyna Starzynska, Warschau

#### Einleitung

Manchmal ist es erforderlich, die Oberfläche des Bodens zu verfestigen, um eine *elastische Verteilung der durch äussere Belastung erzeugten Spannungen* zu erhalten. Ein Verfahren dazu besteht in der Vergrösserung der Bodentragfähigkeit mit verschiedenen Bindemitteln. In Polen wurden ausser den herkömmlichen Verfahren der Bodenverfestigung mit Zement, Kalk oder Silikat auch Erfahrungen in der *Bodenstabilisierung mit Harnstoffharzen* gewonnen. Aufgrund einer Reihe von *Forschungsarbeiten* wurde die Brauchbarkeit der Harnstoffharze zur Oberflächen- und Injektionsbodenverfestigung nachgewiesen.

Die Harnstoffharze sind *makromolekulare* Materialien, welche durch Reaktion von Harnstoff mit Formaldehyd gebildet werden. Zur Oberflächenbo-

denverfestigung sind die chemisch härtbaren Harze geeignet. Zur Härtung von Harnstoffharzen werden meistens freie Säuren wie Salz- und Oxalsäure sowie Ammoniumsalze starker Säuren wie Ammoniumphosphat und Ammoniumchlorid verwendet.

Die bisherigen Forschungen betrafen die *flüssigen Harnstoffharze*, insbeson-

dere weil diese Harze in Polen produziert werden. Die bisher durchgeführten Forschungsarbeiten ermöglichten die Bestimmung der Bodenarten, die zur Oberflächen- und Injektionsstabilisierung geeignet sind sowie die Bestimmung der Eigenschaften der erhaltenen Harzböden. Die zur Oberflächenstabilisierung mit flüssigen Harnstoffharzen geeigneten Böden sind in Bild 1 angegeben.

Die Schlussfolgerungen aus den Arbeiten, die in *bisherigen Veröffentlichungen* der Verfasser dieser Arbeit angegeben wurden, beweisen, dass zur Oberflächenstabilisierung von Böden die *flüssigen Harnstoffharze* mit einem hohen Gehalt an Festsubstanz oder die *pulverförmigen Harnstoffharze* in Pulverform am geeignetsten sind. Solche Harztypen ermöglichen es, verhältnis-

Bild 1. Bereich der Böden, die zur Stabilisierung mit flüssigen Harnstoffharzen geeignet sind.

