

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 83 (1965)  
**Heft:** 42: Prof. G. Schnitter zum 65. Geburtstag, 1. Heft

**Artikel:** Öffentliche Bauten als Aufgabe unserer Zeit  
**Autor:** Ruckli, Robert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-68287>

#### **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:** 23.02.2026

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

vortrieb wurde mit Stahleinbau gemacht, und die Injektion von gewöhnlichen Wasserglasgelenen erwies sich als unbefriedigend, da ständig Austritte an der Brust und auf der Strecke auftraten. Das Verfahren Joosten, auch Versteinerungsverfahren genannt, bei dem eine sofortige Reaktion der beiden getrennt eingepressten Chemikalien im Boden auftritt, hat in diesem Falle zum Erfolg geführt. Auf Bild 5 sieht man die Wirkung der Injektion an der Stollenbrust. Die weissen Stellen stellen die injizierte Masse des nun gebildeten Calciumsilikates dar. Selbstverständlich konnte nur eine teilweise Durchdringung des Gesteins erreicht werden, die aber genügt hat, um dem Material die notwendige Festigkeit zu geben. Der Aushub konnte mit dem Pickel von Hand erfolgen, der Abbauhammer war nicht notwendig.

Wir möchten bei dieser Gelegenheit noch auf einen Versuch hinweisen, der im kiesig-sandigen Material der Rhoneebene bei St. Léonard (Wallis) ausgeführt wurde. Es wurde sowohl weiches Gel verpresst, als auch das Verfahren Joosten angewendet. Auf Bild 6 ist ein Block von künstlich versteinertem Kies dargestellt, der mit dem Bagger ausgehoben worden ist.

Seit 1957 haben die Laboratorien von Soléanche und Nobel-Bozel in Frankreich, sowie von Diamond Alkali in den USA Verfahren entwickelt, die bei einer einzigen Mischung mit bestimmbarer Tempierungszeit „harte“ Gele ergaben. Das Verfahren Soléanche verwendet Äthylazetat (Essigäther) und ergibt Druckfestigkeiten von Sandproben, die bei  $10 \div 20 \text{ kg/cm}^2$  liegen, jedoch auch  $50 \text{ kg/cm}^2$  erreichen können. Die Anwendung dieser Gele ist ziemlich heikel, da bei den konzentrierten Mischungen die Zusammensetzung des Wasserglases eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Auch sind Versuche zur Herstellung eines Gels auf Basis von Lignosulfatlauge durchgeführt worden. *Cambefort* und *Caron* haben auf diesem Gebiet in den Jahren 1961-1964 gearbeitet [10]. Anwendungen grösseren Stils sind nicht bekannt.

Ein weiteres Stiefkind auf dem Gebiet der Injektionen ist die Anwendung von Bitumen. Trotzdem die Versuche teilweise vielversprechend sind, haben sich die Bitumenverfahren in grossem Maßstab nicht durchsetzen können.

In neuester Zeit sind nun die Kunsthärzinzektionen in den Blickpunkt der technischen Welt gekommen. In den USA wurde bereits seit einigen Jahren das Verfahren AM9 der Cyanamid Co. lanciert. Das polymerisierte Gel von AM9 hat nur geringe Festigkeit, immer kleiner als  $1 \text{ kg/cm}^2$ , ist aber sehr elastisch. In Europa hat ein Phenoplast, das von Soléanche entwickelt wurde, Fuss gefasst und befindet sich trotz des relativ hohen Preises im Stadium von Baustellen-Grossversuchen und Anwendungen in beschränktem Umfang. Bei einer Viscosität von einigen Centipoises ist das Injektionsmittel fast so flüssig wie Wasser. Es lassen sich damit noch Böden mit einer Durchlässigkeit von  $k = 10^{-4} \text{ cm/s}$  behandeln. Die verdünnten („weichen“) Wasserglasgelenke gehen bis  $k = 10^{-3} \text{ cm/s}$ , die konzentrierten („harten“) Wasserglas- und die Bentonitgelenke liegen bei  $k = 10^{-2} \text{ cm/s}$  und die Tongelen bei  $5 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}$  und dann die Zementinjektionen bei  $k = 1 \text{ cm/s}$ .

Wir verfügen heute über Mittel, um Böden von feinsandigem Charakter (Kunsthärz) bis zu Grobkrügerüst (Prepaktmörtel und ähnliche) mit Injektionen zu behandeln.

Die Anwendung der Verfahren Soléanche Hartgel einerseits und Kunsthärz anderseits erfolgte im Jahre 1964 auf einer Baustelle in der Altstadt von Genf. Es handelt sich um die Konsolidierung des feinsandig-kiesigen Untergrundes unter den Fundamenten eines historischen Gebäudes, das im Umbau begriffen ist. Auf Bild 7 ist die Anordnung der Injektionslöcher und der behandelten Zone dargestellt, auf Bild 8 ein schematischer Querschnitt der Unterfangung. Der Boden wies einen Kornanteil kleiner  $0,5 \text{ mm}$  von 90%, kleiner  $0,2 \text{ mm}$  von 40% und kleiner  $0,1 \text{ mm}$  von 15% auf. Auf Bild 9 ist links der injizierte Boden zu sehen; oben bemerkt man die Manschettenrohre. Ferner sieht man eine Abwasserleitung, die die Baugrube durchquert. Es wurden etwa  $300 \text{ m}^3$  Boden behandelt, wobei 129 Bohrlöcher von total 470 m Länge notwendig waren. Es wurden  $77 \text{ m}^3$  Hartgel und  $18 \text{ m}^3$  Kunsthärz verpresst. Man sieht, dass etwa 20% des Bodens mit Kunsthärz behandelt werden mussten, während 80% den Eintritt von Silikaten gestattete. Die Bodenmasse war nach der Behandlung richtig versteinert und musste mit dem Abbauhammer entfernt werden. Beim Aushub für die neuen Fundamente liess sich die vollkommene Durchdringung des Bodens eindeutig feststellen, und zwar sowohl in den grobporigen Zonen als auch in den Feinsandstellen, wo Kunsthärz verwendet werden musste.

Zum Schluss möchten wir noch erwähnen, dass auch die modernen Injektionsmethoden keine Allheilmittel sind und immer an die Natur angepasst werden müssen. Altmeister Prof. *M. Lugeon* hat die Ausführung von Injektionen als eine Kunst aufgefasst, und wir müssen dieser Auffassung auch heute noch beipflichten. Es ist daher nicht möglich, die Injektionen durch starre Vorschriften und Rezepte zu beherrschen, wie dies oft gerade von amerikanischer Seite gemacht wird. Diese starren Schemata müssen zu Misserfolgen führen, und wir möchten dringend empfehlen, bei der Planung und Ausführung von Injektionsaufgaben zu berücksichtigen, dass wir es mit einem naturwissenschaftlichen Problem zu tun haben und dass weder mathematische Abhandlungen noch starre Formeln zum Erfolg führen. Versuch und Beobachtung in der Natur, gepaart mit Erfahrung auf dem Fachgebiet, müssen die Anpassung an die jeweiligen Verhältnisse ermöglichen. So kann die Aufgabe mit bestem Erfolg gelöst werden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] *P. Baumann*: Konstruktionen in Prepakt-Beton; SBZ 1948, H. 23, S. 317.
- [2] *G. Brux*: Das Concrete-Verfahren; SBZ 1960, H. 43, S. 687.
- [3] *G. Schnitter*: Bentonit im Grundbau; SBZ 1960, H. 19, S. 313.
- [4] Das Kraftwerk Rapperswil-Auenstein; SBZ 1950, H. 5, S. 50ff.
- [5] *G. Gysel-Ch. Blatter*: Rapport Nr. 31, Dritter Talsperrenkongress, Stockholm, 1948.
- [6] *W. Zingg*: Der Staudamm Castiletto des Juliawerks Marmorera, SBZ 1953, Nr. 33, S. 470.
- [7] *B. Gilg*: Das Projekt des Dichtungsschirms unter dem Staudamm Mattmark; SBZ 1961, H. 35, S. 609.
- [8] *Ch. Blatter*: Vorversuche und Ausführung des Injektionsschleiers in Mattmark, SBZ 1961, H. 42, S. 723ff.
- [9] Chemische Verfestigung des Baugrundes; SBZ Bd. 95, Nr. 23, S. 305 (1930).
- [10] *H. Cambefort*: Injection des sols. Eyrolles, Paris 1964.

Adresse des Verfassers: *Charles E. Blatter*, dipl. Ing., 8008 Zürich, Feldeggstrasse 82.

DK 351.712.009

nötigen Anhalts- und Bezugspunkte ergeben sich aus der grossen Spannweite, die es umfasst, eine Spannweite, in der der Dienst an der Wissenschaft den ersten Platz einnimmt.

Die Wissenschaft steht am Anfang unseres technischen Zeitalters. Ihr Ziel, ihre Fragestellung, ihre Methoden, ihre Möglichkeiten und Grenzen sind Gegenstand der Erkenntnistheorie. Um in die ungeheure Fülle der forschenden Tätigkeit eine Ordnung zu bringen, unterscheidet sie zwischen Geistes- und Naturwissenschaften, eine Systematik, die heute nicht unbestritten ist. Die Zweiteilung ist wohl die Folge, dazu aber auch weiter wirkende Ursache einer bedauerlichen Entfremdung zwischen höchsten Tätigkeiten menschlichen Geistes. Die Mathematik und auch die Künste – von diesen namentlich die Architektur, die ja an der ETH gelehrt wird – standen seit je im Grenzbereich der beiden Hauptgebiete der Wissenschaften. Die Physik hat

## Öffentliche Bauten als Aufgabe unserer Zeit

Von Robert Ruckli, Bern

### I

Die vorliegende Geburtstagsschrift ist dem Fachgebiet unseres Jubilars, Prof. Gerold Schnitter, gewidmet: dem Wasserbau, dem Erdbau und der technisch-wissenschaftlichen Forschung. Sie mag aber in einer geistig ausserordentlich bewegten Zeit wie der gegenwärtigen auch Anlass zu weiterer Umschau geben, um das reiche Lebenswerk des verdienten Ingenieurs und akademischen Lehrers im grösseren Zusammenhang zu sehen, es sozusagen in die Lebens- und Seinsverflechtungen hinein zu projizieren und damit zugleich uns über die Aufgabe des Ingenieurs schlechthin und über unsere eigene Tätigkeit Rechenschaft abzulegen; dies fügt sich zwanglos in den uns hier gegebenen Rahmen, denn soweit sich der Jubilar mit öffentlichen Bauten befasst, fallen sie zu einem grossen Teil in die Zuständigkeit des vom Verfasser dieser Zeilen geleiteten Amtes für Strassen- und Flussbau. Die hiezu

die durch die vorwissenschaftliche Erfahrung gegebenen Grenzen unseres Vorstellungsvermögens überschritten, und je weiter sie eindringt in das Wissen um die körperliche Welt, um so mehr verflüchtigt sich die Materie, die sie in den Griff zu bekommen sucht. Wo sie die vom Positivismus gesetzten Grenzen transzendent, führt sie auf das ontologische Problem und findet damit wieder zurück zu den Geisteswissenschaften. Wenn auch mit der dem Naturwissenschaftler eigenen Zurückhaltung, weisen etwa die Physiker Planck, Bohr, Heisenberg, Jordan – der eine vielleicht nur vage andeutend, der andere bestimmter formulierend – in ihren für einen grösseren Leserkreis bestimmten Publikationen in diese Richtung. Von den neuern Philosophen sei Nicolai Hartmann genannt, der auf die den Natur- und Geisteswissenschaften mit ihren Methoden nicht mehr fassbaren transzendenten Restprobleme hinweist und damit seine Ontologie begründet. Ihr Material gewinnt die nach Erkenntnis strebende Wissenschaft aus der Grundlagenforschung, die ebenso zweckfrei ist wie jene selbst. Sie ist in erster Linie an den philosophischen Fakultäten der Universitäten beheimatet.

Zum Gebäude der Wissenschaften gehört aber noch ein zweiter, in seiner Ausdehnung und in der darin geleisteten geistigen Arbeit ebenso achtunggebietender Komplex: die angewandten Wissenschaften und die mit ihnen aufs engste verbundene Zweckforschung. In diesem Bau sind auch die technischen Wissenschaften zu Hause, denen sich unser Jubilar verpflichtet hat. Ihre Fragestellungen werden ihnen nicht vom reinen Erkenntnisstreben diktiert, sondern vom praktischen Leben auferlegt, das die Lösung einzelner konkreter Probleme verlangt. Ihre Instrumente beziehen sie hingegen von den reinen Wissenschaften, die sie ihrerseits wieder anregen, so dass sie in engster Wechselbeziehung stehen, beide gebend und empfangend zugleich. Auch die angewandten, also die zweckgerichteten Wissenschaften tragen den Keim zu metaphysischen Problemen in sich, denn, wie die Physik zuletzt zum Problem des Seins vorstösst, so führen sie, ihre unmittelbare Fragestellung transzendent, zum teleologischen Problem, zur Frage nach dem Sinn der vorwiegend auf das Materielle ausgerichteten Tätigkeit. Mit der ontologischen und der finalen Frage, der Frage nach dem Sein und nach dem Zweck, überbrücken die exakten und die angewandten Wissenschaften den Graben, der durch die Klassifikation zwischen ihnen und den Geisteswissenschaften aufgeworfen worden war, um sich mit ihnen im Humanen zu finden, das in seiner Fülle alle geistige, kulturelle, künstlerische, praktisch-schöpferische, also technische und zivilisatorische Tätigkeit umfasst.

## II

Die alles überschattende Folge des Fortschrittes der Wissenschaften ist die ungeheure Bevölkerungsvermehrung, die erst seit dem Zweiten Weltkrieg richtig ins allgemeine Bewusstsein gedrungen ist und angefangen hat, die Menschheit zu beunruhigen. Sie wird wohl noch lange uns und die kommenden Geschlechter vor fast unlösbarer welt- und staatspolitische, moralische und religiöse, rechtliche, landwirtschaftliche, hydrologische, industrielle, transporttechnische, organisatorische, landesplanerisch-architektonische, soziologische, erzieherische und leider wohl auch militärische Probleme stellen. Diese greifen tief an die Wurzeln der Weiterexistenz der Menschheit, und schon ihre unvollständige Aufzählung lässt die gewaltige Bedeutung, die bei ihrer Lösung den angewandten Wissenschaften und der Technik zukommt, auf den ersten Blick erkennen.

Die gleiche Natur, die dem Menschen den Geist zu wissenschaftlicher Erkenntnis verlieh, stattete ihn auch mit der Gabe zu schöpferischer Tat aus, wie wir sie besonders beim Ingenieur und beim Architekten finden. Das hohe Berufsethos, dem sie verpflichtet sind und das ihre Arbeit adelt, hat in den Aufsätzen von A. Ostertag in der Schweizerischen Bauzeitung seine Würdigung gefunden.

Wenn Kulturphilosophen die moderne Lebensweise kritisieren und die Technik wegen der angeblich durch sie geförderten Vermassung schelten, so verfehlten sie die wahre Situation, denn die in den Agglomerationen lebenden Menschen sind nicht schuld, dass sie geboren wurden oder nicht schon – wie dies in früheren Zeiten zum Teil ihr Schicksal gewesen wäre – als Säuglinge gestorben sind, und es ist Aufgabe der öffentlichen Körperschaften der verschiedenen Stufen, der halbstaatlichen und privaten Einrichtungen, das Leben dieser Massen nicht nur biologisch zu ermöglichen, sondern auch die Voraussetzungen zu schaffen, dass sie es menschenwürdig gestalten können. Für sie ist in der so oft gepriesenen ländlichen Dorfgemeinschaft und in der kleinstädtischen Gemeinde einfach kein Platz mehr; entweder ziehen sie fort oder sie sprengen mit ihrer Zahl den historisch gewachsenen Rahmen. Hier finden der oft geschmähte Wohlfahrts-

staat und die ebenso oft verkannte Technik ihre Begründung. Technik wird damit nicht Herrscherin, sondern Dienerin der Menschheit.

In unseren Landen, die seit Jahrhunderten den Hunger und den Kampf um das nackte Dasein kaum mehr kennen und deren politisch-staatsrechtliche und wirtschaftliche Struktur bis heute eine tragende Grundlage für die Bewältigung dieser Probleme bildet, ist diese Bevölkerungsvermehrung vor allem durch die beängstigend um sich greifende Überbauung und durch die Überbeanspruchung unseres Verkehrsapparates augenfällig geworden.

Die Besiedlung unseres Landes hat sich in den letzten 100 Jahren grundlegend geändert; während in den Berggegenden die Einwohnerzahl nur wenig zunahm und teilweise sogar zurückging, ist die rund 120% betragende Bevölkerungsvermehrung vor allem den Städten zugute gekommen. Mit dieser Verlagerung vollzog sich gleichzeitig eine Änderung der demographischen Struktur; der prozentuale Anteil der in der Urproduktion Tätigen ist von 37% auf 12% gesunken, jener der in Handwerk und Industrie Beschäftigten ist von 42% auf 49% gestiegen und der Anteil des tertiären Sektors hat sich mit einem Anstieg von 21% auf 39% fast verdoppelt.

Zunahme der in Handwerk und Industrie Tätigen heisst aber Vermehrung der Arbeitsplätze, die ihrerseits mit der Mechanisierung je Beschäftigten grösser werden (automatische Betriebe mit nur kleinem Überwachungspersonal). Gross ist auch der Raumbedarf des tertiären Sektors, zu dem jede Art von wirtschaftlicher und kultureller Dienstleistung zählt: Verkaufs- und Ausstellungsläden, Verwaltungsbüros, Agenturen und Vertretungen, Praxisräume der freien Berufe, Labors, Schalterhallen, Verkehrsbetriebe, Schulen, Spitäler, kulturelle Einrichtungen, Gasthäuser und Hotels, Unterhaltungsstätten, Sportanlagen. Die Bauten, die sie beherbergen, geben unseren rasch wachsenden Städten ein neues Gepräge. Die in die Städte zuwandernden Menschen brauchen aber nicht nur Arbeitsplätze, sondern auch Wohnungen. So geht Hand in Hand mit der industriellen und geschäftlichen Expansion eine Wohnbautätigkeit, die jene der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts, das die rechteckigen Häuserblöcke mit den trostlosen Hinterhöfen gebracht hatte, im Ausmass weit hinter sich lässt.

Die modernen Bauten, diese augenfälligsten Zeugen der Bevölkerungsvermehrung und -umschichtung, geben nicht nur den Städten, sondern ganzen Landstrichen ein neues Gesicht. Sie breiten sich in Form von Siedlungszügen zunächst längs der grossen Täler aus, wachsen zu eigentlichen Bandstädten zusammen und nehmen mehr und mehr auch von den Hängen mit ihren bevorzugten Wohnlagen Besitz. Wir mögen klagen über die Monotonie der modernen, auf harte Horizontalen ausgerichteten Wohnblöcke mit ihren Betonbalkonen oder über die vom Rechteckraster geprägten Hochhäuser, die sich in ihrer metallenen und gläsernen Nüchternheit von Land zu Land, von Kontinent zu Kontinent kaum mehr unterscheiden; sie sind wohl vorläufig die gegebene Form, mit der die Architekten und die Bauindustrie die ihnen plötzlich gestellten grossen Aufgaben bewältigen können. Auch die ins Gigantische gewachsenen Baublöcke geben die Möglichkeit baukünstlerischer Gestaltung, und sie lassen in ihrer kristallinen Klarheit ganz neue ästhetische Werte entstehen. Und wer sich mit ihnen nicht recht abzufinden vermag, der möge bedenken, wie sie aussehen könnten, wenn nicht die architektonische Revolution der zwanziger Jahre mit den längst entleerten historischen Formen aufgeräumt hätte; was uns dann beschert sein könnte, davon erhalten wir eine Vorstellung durch die älteren Neuyorker Wolkenkratzer und heute noch durch die neueren Grossbauten russischer Städte, mit denen wohl gezeigt werden soll, dass der aus der politischen Revolution hervorgegangene Staat es auch in baukünstlerischen Dingen mit dem untergegangenen früheren Regime aufnehmen kann.

Unser ästhetisches Empfinden wurde durch die bereits in den ersten Jahrzehnten des Jahrhunderts einsetzende Stilentwicklung zur Annahme der durch die Rationalisierung geprägten Formensprache vorbereitet, und sie darf als allgemein anerkannter Ausdruck unserer Zeit verstanden werden. Zudem können wir wohl heute schon Ansätze zu einer Weiterentwicklung erkennen. Um die Gefahr der Langeweile und der Übersättigung mit der Rechteckform zu überwinden, werden bei öffentlichen Bauten, die in ihrer Zweckbestimmung und im Raumprogramm hiezu die Möglichkeit bieten, unter Verwendung von schiefen und räumlich gekrümmten Flächen, von Durchdringungen und Auskragungen neue, asymmetrische Formen gesucht, deren Konkretisierung dem wissenschaftlich ausgebildeten Ingenieur, dem Statiker und Konstrukteur sowie dem Bauunternehmer schwierige theoretische, praktische und organisatorische Probleme stellt. Hier finden sich wieder der Architekt und der Ingenieur zur gemeinsamen

baukünstlerischen Gestaltung und damit zur gemeinsamen Lösung der Aufgaben, die noch in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts einer einzigen Person, dem das ganze Bauwesen beherrschenden Baumeister, oblagen.

Die Erfahrungen aus den Anfängen des technischen Zeitalters haben gezeigt, dass diesem raschen Ausbau des Territoriums, wie er dank der geballten wirtschaftlichen Kraft und der grossen Leistungsfähigkeit der technischen Mittel möglich geworden ist, nicht freie Bahn gelassen werden darf. Die regulierenden Automatismen der Marktwirtschaft sind hier in ihrer Reaktion zu träge, und bis sie wirksam werden, können längst unheilbare Schäden entstanden sein. Dass die Einzelprojektierungen sich zu einem sinnvollen und harmonischen Ganzen integrieren, ist Sache der Planung. Je nach der Aufgabe der Planung ist eine bestimmte Fachrichtung führend, und jedes Gebiet, von den Geisteswissenschaften über die Naturwissenschaften bis zu den technischen Wissenschaften, kann dazu aufgerufen sein. In der klassischen Domäne der Landesplanung, also der Planung der hier besonders interessierenden künftigen Nutzung von Grund und Boden, ist es in erster Linie der Architekt, manchmal auch der Bauingenieur. Wer es auch sei, er kann die Aufgabe nicht allein lösen, er bedarf der engen Mitarbeit anderer Fachgebiete. So wird die Planung der Ort, an dem sich die Fakultäten begegnen. Hier hat die Synthese der einzelnen Zuständigkeiten zu erfolgen, und hier wächst der Fachmann, der Spezialist und der Techniker aus seinem engen Berufskreis hinaus und gewinnt den Überblick über die grösseren Zusammenhänge. So wird gerade die Planung für den Ingenieur zur hohen Schule einer weiten Tätigkeit.

### III

Als zweite augenfällige Erscheinung der eingangs geschilderten Bevölkerungszunahme und der wirtschaftlichen Expansion haben wir die Überbeanspruchung des Verkehrsapparates genannt. Es besteht hier engste Wechselwirkung, denn sowohl die Ausdehnung der Überbauung als auch die Steigerung des Lebensstandards erzeugen neuen Verkehr. Die Planung hat daher nicht nur in Überbauungs- und Zonenplänen über die künftige Nutzung von Grund und Boden zu verfügen, sondern sie hat auch die aus dieser Nutzung entspringenden Verkehrsbedürfnisse und die sie befriedigenden Verkehrsanlagen einzubeziehen. So wird Verkehrsplanung wichtige Teilaufgabe der allgemeinen Landesplanung.

Seit je hat sich der Staat des Verkehrs angenommen, denken wir nur etwa an die antiken Weltreiche – das römische Recht kennt z.B. bereits eine Klassifikation der Strassen nach ihrer Funktion, von privaten Erschliessungswegen bis zu den Militärstrassen, die einen Zugang zum Meer oder in grosse Städte oder zu öffentlichen Flüssen oder zu einer andern Militärstrasse haben –, an die kleinräumigen mittelalterlichen Herrschaften, an die Ordnung des Saumverkehrs über die Alpen – die bekanntlich einer der Kristallisierungskeime der Eidgenossenschaft geworden ist – oder an die Strassenbaupolitik der werdenden Nationalstaaten des 18. und 19. Jahrhunderts. Mit der durch die Eisenbahn eingeleiteten Mechanisierung der Transporte ist der Bau der Verkehrsanlagen Aufgabe des mit technisch-wissenschaftlichen Methoden arbeitenden Ingenieurs geworden; so sind im 19. Jahrhundert die Eisenbahnlinien aus einem einheitlichen Planungswillen entstanden, Verbindungen, die in ihrer Integration zu ganze Länder überspannenden Netzen zusammengewachsen sind.

Schien diese Entwicklung zu Beginn unseres Jahrhunderts wenigstens in den zivilisierten Ländern abgeschlossen, so entstand mit dem Übergang der maschinellen Traktion von der Eisenbahn auf das individuell angetriebene Motorfahrzeug der Strasse eine vollständig neue Lage, die vielleicht am besten vom Begriff der Verkehrsfreiheit her verstanden werden kann. Dank der Steigerung des Volkseinkommens nimmt die Zahl jener, die in den Genuss dieser Verkehrsfreiheit kommen, ständig zu, und das Ergebnis ist das unaufhörliche Ansteigen der Motorisierung und damit des Strassenverkehrs.

Die eingangs geschilderte herkömmliche Besiedelung und die sich stets ausdehnende offene Überbauung sind keine amorphe Masse – und dass sie es nicht werden, ist hohe Aufgabe der Landesplanung –, sondern sie zeigen eine innere Struktur oder Raumordnung. Nur in gewissen Ortschaften werden bestimmte kulturelle und wirtschaftliche Dienstleistungen angeboten; wir nennen sie zentrale Orte. Je nach der Art und Wichtigkeit dieser Dienstleistungen unterscheidet man verschiedene Stufen. Zu jedem zentralen Ort gehört ein ganz bestimmtes wirtschaftliches Einzugs- oder Ergänzungsgebiet, dessen Grösse mit steigender Stufe zunimmt. Die zentralen Orte beherbergen aber nicht nur Dienstleistungsbetriebe, sondern auch industrielle Produktions-

stätten mit zahlreichen Arbeitsplätzen. Wegen der Überbauung der zentralen Orte hat die Industrie immer mehr die Tendenz zur Dezentralisation, d. h. Betriebserweiterungen oder Neugründungen erfolgen nicht mehr im zentralen Ort, sondern an geeigneter Stelle des Ergänzungsbereites. Den Wechselverkehr zwischen den zentralen Orten und ihren Ergänzungsbereichen nennen wir zentralörtlichen Verkehr. Seine wichtigsten Komponenten sind: Belieferung und Versorgung in beiden Richtungen; geschäftlicher Personenverkehr; Inanspruchnahme der zentralen Dienste vom Ergänzungsbereit aus; Pendlerverkehr zwischen den Arbeitsplätzen und den außerhalb der zentralen Orte liegenden Wohnstätten. Der zentralörtliche Verkehr ist also in erster Linie Personen- sowie leichter und mittelschwerer Motorverkehr. Er fluktuiert täglich mehrmals hin und her; wegen seiner Grösse und Regelmässigkeit ist er eine der wichtigsten Gegebenheiten der Verkehrsplanung grösserer Agglomerationen. Diesem Wechselverkehr überlagert sich der Verkehr zwischen den zentralen Orten unter sich samt den von ihnen vertretenen Ergänzungsbereichen.

Neben dem bisher erwähnten Zweckverkehr besitzt der Strassenverkehr noch eine sehr bedeutsame ausserökonomische Komponente, denn das Auto ist nicht nur Nutzfahrzeug, sondern es ist auch Instrument einer gehobenen Lebensführung. Das Auto dient für Fahrten zum Besuch kultureller Veranstaltungen, zur Pflege des sozialen Lebens, zu Studienreisen und zur Erreichung des Wochenend- und Ferienortes. Der Tourismus hat seine Wurzel im Zeitalter der Aufklärung und der nachfolgenden Romantik, wo die Dichter und Maler die Schönheiten der Natur und die Grossartigkeit der Alpenwelt entdeckten, beschrieben und darstellten. Diese zunächst vom Geistigen her zu verstehende Bewegung koinzidiert mit dem Bedürfnis der in den Geschäften, Fabriken, Laboratorien und öffentlichen Diensten hart arbeitenden Menschen nach Ausspannung, Erholung, Sport und Ausgleich in der Natur. So wird Verkehr sichtbarer Ausdruck eines positiv zu wertenden geistes- und kulturgeschichtlichen Tatbestandes.

Es hiesse Allzubekanntes wiederholen, wollte man hier näher darlegen, dass das historisch gewachsene Strassenennetz zur Bewältigung des sich aus der geschilderten Entwicklung ergebenden Strassenverkehrs nicht mehr genügt. Es ist Aufgabe der Strassenplanung, seinen Ausbau und die notwendigen Ergänzungen zu bestimmen. Aus der Lehre der zentralen Orte ergibt sich zwangslässig eine funktionelle Klassifikation der Strassen; jeder Stufe der zentralen Orte entspricht ein diese verbindendes Netz entsprechender Stufe, und jedes Verbindungsnetz ist zugleich das Erschliessungsnetz von den Orten der nächsthöheren Stufe aus. Auf allen Ebenen, also der Quartierplanung, der Ortsplanung, der Regionalplanung und der Landesplanung, gehört die Strassenplanung zu den formbestimmenden Grundaufgaben. Das zur Befriedigung der gegenwärtigen und kommenden Verkehrsbedürfnisse notwendige Strassenennetzung ist zum weitaus grössten Teil wenigstens in seiner Anlage vorhanden. Erweiterungen erfuhr es in neuester Zeit vor allem auf der untersten Stufe in Form der zahlreichen Erschliessungsstrassen, die Voraussetzung für die fortschreitende Überbauung sind. Was in der Schweiz fehlt, ist das übergeordnete Netz, das die zentralen Orte der hohen Stufe miteinander verbindet.

Auf solchen Vorstellungen beruht die *Planung des Nationalstrassenennetzes*, das nun diese Funktion zu übernehmen hat. Gemäss den orographischen Grossformen, dem Siedlungsbild und den Bedürfnissen des Binnenverkehrs zeigt dieses eine ausgesprochene Längsdehnung von Südwesten nach Nordosten; wie sich dem geschäftlichen Binnenverkehr der vor allem auf die Nordsüdlinie ausgerichtete Touristenverkehr überlagert, so enthält das Nationalstrassenennetzung senkrecht zu seiner Längsdehnung je drei Transitrouten über die Alpen. Es findet seinen Anschluss an die entsprechenden Verbindungen des europäischen Fernstrassenennetzes und fängt damit sowohl die grossen Binnen- wie auch die Transitverkehrsströme in optimaler Weise auf. Wegen der natürlichen und der anthropogenen Gegebenheiten sind in unserem Land die Möglichkeiten der Linienführung von Autobahnen recht beschränkt, und oftmals besteht praktisch kaum eine Freiheit der Trassewahl. Aus diesem Grunde geht die Anlage der wenig schmiegamen Autobahnen der Planung der übrigen Strassen und Anlagen voraus, und das Nationalstrassenennetzung wird damit in der Region zum primären Skelett, von dem aus das Verteilsystem zu entwickeln ist. Das nach dieser Konzeption entworfene Nationalstrassenennetzung umfasst 700 km Nationalstrassen 1. Klasse (Autobahnen), 630 km Nationalstrassen 2. Klasse (Autostrassen) und 440 km Nationalstrassen 3. Klasse (Fernverkehrsstrassen) sowie 60 km städtische Expressstrassen. Seine Kosten wurden im Jahre 1963 auf 12,5 Mio. Franken geschätzt; seit 1959 bis heute sind hiefür rund 2,5 Mrd. Franken aufgewendet worden.

Drehte sich das Interesse am Nationalstrassenbau noch vor wenigen Jahren vor allem um Gesetzgebung, allgemeine Planung, Finanzierungsfragen, verkehrspolitische Zielsetzungen, verkehrsgeographische Gegebenheiten, Verkehrsbeziehungen und Verkehrsmengen, so hat sich nun dieses vor allem nach der technischen Seite verlagert. Der Begriff Nationalstrassennetz bedeutet nicht mehr nur Programm, sondern konkreten Auftrag; der Nationalstrassenbau ist zu einer der grössten Aufgaben geworden, die in der Schweiz je gestellt worden sind. Alle Gebiete des Ingenieurwesens sind dabei beteiligt: die Vermessungskunst, der Strassenbau im engen Sinne des Wortes, die Bodenmechanik und der Erdbau, der Eisenbetonbau, der Brückenbau; wegen der Besonderheiten des Motorverkehrs bestehen zwischen dem Bau und Betrieb von langen Strassentunneln und von Hochdruckkraftwerken so viele Analogien, dass man füglich den Wasserbau mit zu den beteiligten Fachgebieten zählen darf. Schon dieser kurze Hinweis auf die technische Vielfältigkeit zeigt, dass das von Professor Schnitter vertretene Arbeits- und Wissenschaftsgebiet berufen ist, einen ganz wesentlichen Teil zur Lösung der nationalen Aufgabe beizutragen. Wenn es in diesem Rahmen auch nicht möglich ist, auf die zahlreichen Fragestellungen einzugehen oder gar einzelne Probleme eingehender zu behandeln, so soll im folgenden doch versucht werden, diese wenigstens in grossen Zügen zu umreissen. Ihre Hauptgebiete sind die Forschung und die Beratung.

#### IV

In der Schweiz hat die *Bodenmechanik* in der Mitte der dreissiger Jahre im Strassenbau Eingang gefunden. Zu erwähnen wären aus dieser Zeit verschiedene Publikationen von L. Bendel, von A. Stucky und D. Bonnard von der EPUL, die sich mit dem Frostproblem und andern Anwendungen der Bodenmechanik im Strassenbau befassten. Anlass zu intensiverer Beschäftigung auf unserem Gebiet gab für die EPUL der Bau des Flughafens Genf-Cointrin und für die ETH der Bau des Flughafens Kloten, dessen Pisten auf einem wenig tragfähigen Untergrund erstellt werden mussten. Angeregt durch die Praxis hat sich das Spezialgebiet der strassenbaulichen Bodenmechanik entwickelt, das entsprechend den von ihm zu lösenden spezifischen Problemen nun seine eigenen Klassifikationen, Untersuchungsmethoden, Theorien, Dimensionierungsverfahren und Kontrollmethoden besitzt. Doch bleibt es mit der Hauptwissenschaft in manchem eng verbunden, wofür schon seine Beheimatung in den alle Gebiete umfassenden Versuchsanstalten Gewähr bietet. So kommen dem Nationalstrassenbau, bei welchem gewaltige Erdmassen zu bewegen und als Baustoffe zu verwenden sind, die reichen Erfahrungen des Baues von Erdstaudämmen unmittelbar zugute. Den engen Zusammenhang des Spezialgebietes mit dem grösseren Ganzen zeigt schon der blosse Anblick auf den Baustellen, wobei wir bei der einen und der andern Aufgabe fast dem gleichen imposanten Gerätelpark begegnen.

Wenn wir hier von Forschung reden, ist damit in geradezu beispielhafter Weise die eingangs genannte Zweckforschung gemeint, und damit haben wir auch wieder den Anschluss an unsere frühere Betrachtung gefunden. Die Ergebnisse dieser Tätigkeit finden sich in zahlreichen Aufsätzen und Dissertationen, dazu aber auch in den von der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner herausgegebenen Richtlinien und Normalien für den Strassenbau. Sie sind in den Schriftenreihen «Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH» und «Veröffentlichungen der Schweizerischen Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik» leicht zugänglich.

Im Vergleich zu kühnen Konstruktionen des Hoch- und Brückenbaus scheint ein Strassenkörper ein recht primitives Bauwerk; und doch stellt der richtige Aufbau der Strassen zahlreiche schwierige praktische und theoretische Probleme, die auch heute noch nicht vollkommen gelöst sind. Richtiger Aufbau will heißen: Gewährleistung grösster Verkehrssicherheit der Fahrbahnoberfläche, Dauerhaftigkeit unter schwerer mechanischer und klimatischer Beanspruchung und – was nun das Problem so schwierig macht – grösste Wirtschaftlichkeit, da es sich beim Strassenkörper ja nicht um ein in sich geschlossenes Einzelobjekt handelt, sondern um ein räumlich ausserordentlich ausgedehntes Gebilde, das mit der Erdunterlage wie keine anderen Bauwerke in engster Wechselwirkung steht und mit ihr zur Einheit werden soll; wegen des grossen Ausmasses ergeben schon kleine Änderungen in den Abmessungen grosse Kostenunterschiede. Wie andere Ingenieurbauten, soll der Strassenoberbau richtig dimensioniert sein, also weder zu schwach noch zu stark. Erschwert wird die Aufgabe dadurch, dass der Strassenkörper aus mehreren Schichten ganz verschiedener Qualität besteht und nicht nur statisch, sondern auch

dynamisch beansprucht wird; wir wissen heute besser als früher, dass die Zerstörung von Strassen durch den Verkehr als Ermüdungsphänomen zu betrachten ist.

Die Publikationen von Prof. Schnitter und seiner Mitarbeiter befassten sich in diesem Gebiet vor allem mit folgenden Fragen: die Theorie der Druckverteilung in mehreren Tragschichten verschiedener Qualität; der Einfluss biegefester Tragplatten auf die Druckverteilung im Untergrund und die Gegenüberstellung starrer und schlaffer Beläge; die Berechnungen der Setzungen im Strassenkörper und im Untergrund. Endzweck solcher Untersuchungen ist immer die rationelle Dimensionierung des Strassenkörpers. Das Problem wurde von der Forschung zunächst statisch gesehen; die in den USA schon recht früh entwickelten Bemessungsmethoden beruhen auf Bodenklassifikationen, auf empirischen Tests oder auf rechnerischen Näherungsverfahren; später wurde das Problem auch streng mathematisch gelöst durch Integration der Grundgleichungen der mathematischen Elastizitätstheorie mit Berücksichtigung der durch den Aufbau des Strassenkörpers aus verschiedenen Schichten gegebenen Randbedingungen. Die statische Betrachtung führt hier aber allein nicht zum Ziel. Da die theoretische Behandlung des dynamischen Problems der Zerstörung durch Ermüdung ausserordentlich schwierig, wenn nicht unmöglich sein dürfte, hat die neueste Forschung in den USA den Weg des Grossversuches beschritten. Alles Bisherige, was auf diesem Gebiet geleistet worden ist, wurde nun durch den sogenannten AASHO-Test übertroffen, für den 116 Mio. Franken aufgewendet worden sind. In diesem Versuch wurden längere Strecken der in diesem Lande üblichen Strassenkonstruktionen in jahrelangen Versuchsfahrten mit Schwerfahrzeugen verschiedener Gewichte bis zu ihrer Zerstörung beansprucht. Die Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau (VAWE) an der ETH hat sich mit den nun vorliegenden amerikanischen Versuchen eingehend befasst, um die gewonnenen Erkenntnisse sinngemäss auf unsere Verhältnisse übertragen zu können. Es besteht nunmehr die Aussicht, dass wir der Lösung des Problems der Dimensionierung des Strassenkörpers auf dynamische Beanspruchung näher kommen und damit auch besser in der Lage sein werden, in solid fundierter Weise zu den vom Ausland an uns herangetragenen Bestrebungen nach Erhöhung der zulässigen Gewichte der Lastwagen Stellung zu nehmen. Damit hilft die Wissenschaft, ein recht heikles verkehrspolitisches, wirtschaftliches und finanzielles Problem zu lösen.

Ein Strassenkörper braucht aber nicht nur aus einem starren oder flexiblen Belag und einer oder mehreren Kiesschichten aufgebaut zu sein. Es ist auch möglich, anstelle des Einbaus von hochwertigem Material die Tragfähigkeit des Erdkörpers minderer Qualität in der Weise zu verbessern, dass seinen obersten Schichten Bindemittel wie Zement, Kalk, Bitumen oder Chemikalien zugesetzt werden, die sie verfestigen und damit befähigen, ähnlich einer Platte eine druckverteilende Wirkung auszuüben. Wir nennen diese Verfahren *Bodenstabilisierung*. Die Stabilisierungsverfahren wurden in Ländern entwickelt, wo über weite Strecken die Böden homogen sind und wo Kies und Schotter fehlen. Sie gestatten eine knappere Dimensionierung des Oberbaus, indem nun die verfestigten Unterbauschichten einen Teil seiner lastverteilenden Funktion übernehmen. In verschiedenen Publikationen über Labor- und Feldversuche haben die Mitarbeiter der VAWE über solche Untersuchungen berichtet; es geht dabei vor allem um die Feststellung der Eignung der Böden zur Stabilisierung, die Art und die Dosierung des Bindemittels, den günstigsten Wassergehalt für den Einbau und den Grad der Verdichtung. Da auch bei uns in gewissen Gegenden Kiese und Schotter recht rar sind und von weitem herangeführt werden müssen, bieten diese neuen Verfahren ein grosses wirtschaftliches Interesse.

Ein wissenschaftliches Problem, das seit langem die Aufmerksamkeit der strassenbaulichen Bodenmechanik auf sich gezogen hat, ist der *Bodenfrost*. Bekanntlich zeigen gewisse Böden die Eigenschaft, unter bestimmten hydrologischen Bedingungen beim Gefrieren aus den ungefrorenen Schichten Wasser nach der Gefriergrenze zu fördern und dieses dort in Form von Eislinsen abzulagern. Dies bewirkt während des Gefrierens eine Hebung des Bodens, die wir als Frostblähung bezeichnen. Beim Auftauen des damit entstandenen Wasserüberschusses vermindert sich die Scherfestigkeit des Bodens, er verliert seine Tragfähigkeit, und die Strassenoberfläche erleidet unter den Lasten des Schwerverkehrs Verformungen, die bis zur völligen Zerstörung des Strassenoberbaus gehen können, wenn dieser nicht mit Rücksicht auf diese geringe Tragfähigkeit des Unterbaus oder Untergrundes dimensioniert ist.

Vom Vorgang der Eislinsenbildung haben wir heute dank den ausgedehnten Forschungsarbeiten recht gute theoretische Kenntnisse.

Damit hat es aber nicht sein Bewenden; was die Praxis brennend interessiert, sind Angaben über den Grad der Frostgefährlichkeit eines Bodens. Es spielen dabei zwei Phänomene eine Rolle, die sich in ihrer Wirkung teilweise aufheben können: Die Fähigkeit, unter Bildung von parallel zu den Isothermen verlaufenden Eislinsen zu gefrieren, nimmt mit zunehmendem Feingehalt, vor allem mit zunehmendem Tongehalt des Bodens zu; Hand in Hand damit geht aber die Durchlässigkeit der Böden zurück, die Voraussetzung für den Wassertransport aus den ungefrorenen Zonen nach der Gefriergrenze ist. So lässt sich bei einem bestimmten Boden nicht ohne weiteres voraussagen, welche Eigenschaft den Grad der Frostempfindlichkeit bestimmt, die Fähigkeit, grosse Unterdrücke zu erzeugen und damit stark wasseraugend zu werden, oder die Durchlässigkeit. Je nachdem ist ein Boden mehr oder weniger frostgefährlich. Voraussetzung für die Bildung von Frostschäden ist neben der Frostempfindlichkeit des Bodens und dem Vorhandensein von mobilisierbarem Bodenwasser selbstverständlich das Eintreten von Kälteperioden, die das Eindringen des Frostes in den Strassenuntergrund steuern. Um über die Häufigkeit solcher Perioden und die Eindringungstiefe des Frostes in Abhängigkeit seiner Dauer die zur Beurteilung der konkreten Frostgefährdung notwendigen Kenntnisse zu erhalten, wurden in der Schweiz in den letzten Jahren von der VAWE und vom Laboratoire de géotechnique de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne umfangreiche Feldbeobachtungen durchgeführt. Die statistisch ausgewerteten Ergebnisse haben ihren Niederschlag in verschiedenen Publikationen gefunden. Dank diesen Forschungen<sup>1)</sup> ist es heute möglich, den Strassenkörper richtig gegen die schädliche Einwirkung des Frostes zu dimensionieren, wodurch nutzlose Kosten für zu starke Abmessungen wie auch Schäden wegen ungenügender Bemessung vermieden werden.

Neben der Lehrtätigkeit und der angewandten Forschung nennt Prof. Schnitter in einem Aufsatz über die VAWE (Mitteilung Nr. 59) die Beratung Dritter. Damit gelangen wir zu einer Aktivität, die auch für den Nationalstrassenbau eminent Bedeutung hat, weshalb der Versuch unternommen werden soll, sie hier in grossen Zügen zu würdigen.

Wegen der topographischen Gegebenheiten und der starken Überbauung unseres Landes ist die Freiheit in der Wahl der Trassen von Autobahnen in der Schweiz, wie schon erwähnt, vielerorts sehr klein, und es lässt sich nicht vermeiden, dass diese Trassen hin und wieder durch geologisch ungünstiges Gebiet geführt werden müssen. Damit erhält die Bodenmechanik nicht nur die negative Aufgabe, die geotechnisch möglichst zu vermeidenden Zonen festzustellen, sondern vielmehr den positiven Auftrag, den Strassenbauer zu beraten, wie die in solchen Zonen dem Bau entgegenstehenden Schwierigkeiten überwunden werden können. Die dabei zu lösenden Probleme können etwa in folgenden Stichworten zusammengefasst werden: Vorausberechnung der in schlechten Böden durch die Dammschüttungen zu erwartenden Setzungen; Bestimmung der Tiefen, bis zu denen schlechtes Material als Untergrund entfernt werden muss; Festlegung der hydrologischen Massnahmen, durch die der Setzungsvorgang beschleunigt werden kann; Bestimmung der Strecken, die wegen nachträglich zu erwartender Bodenbewegungen für den Einbau von starren Belägen nicht in Betracht kommen oder wo sozusagen als schwimmende Konstruktion gerade das starre System Vorteile hat; Untersuchungen der Stabilität von grossen Geländeeinschnitten und von Dammschüttungen; Bestimmung der günstigsten Überwindung lokal beschränkter unstabiler Stellen; Untersuchung der Stabilität von berg- oder talwärts des Trasses befindlichen Steilhängen und der Ursachen der Unstabilität sowie der Möglichkeit ihrer Behebung; Festlegung der Massnahmen zur Eliminierung oder Verhinderung von Grundbrüchen, die durch Massenverlagerung infolge von Abgrabungen oder Belastungen entstehen können; Beurteilung subaquatischer Fundationen von Dammschüttungen und Kunstbauten; Dimensionierung von grossen Stütz- und Futtermauern und Beurteilung der Möglichkeit der Verwendung von Felsankern.

Im Nationalstrassennetz sind im ganzen etwa 125 km *Autotunnel* zu bauen, von denen heute 29 km im Bau und teilweise schon fertig sind. Wenn bei der Trassierung auch möglichst günstige geologische Lagen aufgesucht werden, so lassen sich schwierige Gebirgsverhältnisse doch nicht immer vermeiden. Bei der Lösung der entstehenden Probleme tritt nun das neueste Spezialgebiet der Bodenmechanik, die Felsmechanik, in ihr Recht. Fragen von grosser finanzieller Tragweite

<sup>1)</sup> Es sei uns gestattet, auf die persönlichen Verdienste des Verfassers auf diesem Gebiet hinzuweisen.

sind etwa die Festlegung der Stärke der Gewölbe, der Entscheid über die Notwendigkeit von Sohlengewölben, die Bestimmung und Dimensionierung der Art der Felssicherungen und des Vortriebsverfahrens. Die Bodenmechanik hat die Begriffe, die Messmethoden und die theoretische Behandlung solcher Probleme vorbereitet, und so tritt die Felsmechanik das Erbe der ältern Wissenschaft an, wobei hier die Verbindung mit der Mutterwissenschaft, der Geologie, besonders eng bleiben muss.

In neuester Zeit – und dies wiederum als Folge der Bevölkerungsvermehrung und der wirtschaftlichen Expansion – ist sozusagen über Nacht ein hydrologisches Problem für den Nationalstrassenbau von höchster Aktualität geworden, das hier kurz dargestellt werden soll. Wasser ist nicht nur Naturgewalt und nicht nur Träger potentieller Energie, sondern vor allem die Grundlage jedes organischen Lebens und damit auch des Daseins des Menschen. Eine solche Feststellung wäre vielleicht noch vor kurzem geradezu als trivial erschienen, und es brauchte schon die Entwicklung der letzten Jahrzehnte, dass uns ihre ungeheure Tragweite wieder voll zum Bewusstsein gekommen ist, nämlich jetzt, wo unsere Wasservorräte durch eine ungehemmte, ungezügelte, zum Teil geradezu an Fahrlässigkeit grenzende Entwicklung gefährdet sind. *Gewässerschutz* gehört zu den grossen Aufgaben unserer Zeit. Die Struktur des schweizerischen Territoriums bringt es mit sich, dass die Gebiete grosser Grundwasservorkommen aus morphologischen Gründen für die mannigfältigsten Zwecke genutzt werden sollen: Es sind die flachen, breiten Talböden, wo sich die Landwirtschaft, die Besiedelung, die Industrie und die Verkehrsanlagen zusammendrängen und sich den engen Platz streitig machen. Zu den bisherigen Landbeanspruchern kommen nun noch als letzte die Nationalstrassen. Dies erweckt bei den Nutzungsberechtigten nicht selten schwere Bedenken, wenn nicht gar schärfsten Widerstand; sie fürchten nicht nur auf Sorglosigkeit zurückgehende Zwischenfälle während der Bauzeit, sondern vor allem die Gefährdung des Grundwassers durch Ausfliessen von Benzin und Rohöl aus lecken gewordenen oder verunfallten Zisternenwagen. Diese Sorge der verantwortlichen Wasserwerke ist verständlich, obwohl die dadurch entstehenden Gefahren wegen ihrer leichten Erkenntbarkeit und der Möglichkeit raschen Eingreifens des hierzu ausgerüsteten modernen Strassenunterhaltsdienstes wahrscheinlich viel kleiner sind als die Gefährdung durch die Tausende von eingebauten Brennstoftanks und durch den Verkehr auf bestehenden Strassen, die nicht einer so strengen Überwachung unterliegen wie die Nationalstrassen.

Der Nationalstrassenbauer nimmt die mit der Überquerung von Grundwasserträgern entstehenden Probleme ernst. Die Fragen, die ihn beschäftigen, lauten: Welche Sicherheitsmaßnahmen müssen beim Überqueren solcher Gebiete getroffen werden? Kann durch die richtige Wahl der Strassennivelllette jede Gefährdung ausgeschlossen werden, etwa durch Verlegung auf Dämme? Wie ist der Grundwasserträger gegen den Strassenkörper und sein unmittelbares Nachbargebiet abzuschliessen? In welcher Form ist das von der Strasse kommende Meteorwasser abzuleiten? Wie ist die Strasse zur Verhinderung von Unfällen von Zisternenwagen zu gestalten? Wie sind Baugruben für Brückenfundamente abzuschliessen? Welcher Unterhaltsorganisation und welcher Geräte bedarf es, um bei Unfällen sofort eingreifen zu können, um ein Einsickern von flüssigem, für das Trinkwasser schädlichem Ladungsgut zu verhindern? Die Beurteilung dieser lebenswichtigen Fragen setzt neben den bisherigen allgemeinen Kenntnissen im Erdbau, in der Fundationstechnik und in der Verkehrstechnik auch die Kenntnis der Strömung von Erdöl und Erdölprodukten in Lockergesteinen mit und ohne Anwesenheit von Grundwasser sowie der physikalisch-biochemischen Vorgänge voraus, durch die solche Infiltrate abgebaut werden. Die Oberbehörden sind dem Jubilar dankbar, dass er sich diesen neuen, hochaktuellen Fragen der Bodenmechanik und des Grundbaues als Experte angenommen hat. Zusammen mit dem Geologen und dem Strassenbauer ist er berufen, hier einen wichtigen Beitrag zur Lösung einer dringenden Aufgabe unserer Zeit zu leisten.

Diese kurze Aufzählung einiger Probleme zeigt, dass die vom Jubilar und seiner Versuchsanstalt vertretene Bodenmechanik in allen Phasen des Nationalstrassenbaus eine grosse, wichtige Aufgabe zu erfüllen hat: bei der allgemeinen geologisch-geotechnischen Beurteilung der Linienführung einer zu errichtenden neuen Verbindung; bei der Ausarbeitung des generellen Projektes, das bereits über alle wichtigen Gegebenheiten des Untergrundes Aufschluss geben muss; bei der eigentlichen Projektierung, die dem zu schaffenden Werk die Gestalt gibt; bei der Festlegung des Bauprogrammes und besonders des Bauvorganges; bei der Behebung von nicht vorausgesehenen geo-

logischen und geotechnischen Schwierigkeiten. So ist die Wissenschaft der Bodenmechanik zu einer Helferin der für den Bau verantwortlichen Behörden geworden; es ist hier der Ort, ihre Verdienste um die Allgemeinheit einmal zu erwähnen.

## V

Wenn heute der Strassenbau das Amt für Strassen- und Flussbau auch am stärksten beschäftigt, so gründen seine Wurzeln doch in einem andern Gebiete des öffentlichen Tiefbaues, das auch zum Fachbereich unseres Jubilars gehört, nämlich im *Flussbau* und in der *Wildbachverbauung*. Zu diesen traditionellen Aufgaben ist seit den dreissiger Jahren der *Talsperrenbau* hinzugekommen, der in wirtschaftlicher Tragweite und technischer Verantwortung über die beiden andern hinausgewachsen ist. Wir fassen dieses Gebiet administrativ unter dem Begriff der Wasserbaupolizei zusammen, eine Bezeichnung, die die Uneingeweihten die Fülle der damit verbundenen technischen Aufgaben und Probleme neben dem durch den Begriff der Polizei verkörperten staatlichen Ordnungsprinzip vielleicht erkennen lässt. Hier meint Polizei Gewährleistung des Schutzes der Menschen vor der Naturgewalt des Wassers, vor den von den Bergen herunterstürzenden Wildbächen und Murgängen, vor reissenden, geschiebeführenden Gebirgsflüssen aber auch Sanierung versumpfter flacher Talböden, die einst der Verödung anheimzufallen drohten. Es war die Zeit der Aufklärung, in der – gefördert durch den Fortschritt der Wissenschaften – der Wille zur Bekämpfung dieser die Gebirgsbevölkerung bedrohenden Gefahren erwacht war, eine Bewegung, deren Ursache neben dem Ökonomischen wohl ebenso sehr im Interesse liegt, das die aufgeklärten Philosophen, Gelehrten und Politiker der einfachen Bergbevölkerung entgegenbrachten.

So gehen die Anfänge des ersten grossen gemeineidgenössischen technischen Werks, der Linthkorrektion, in die letzten Jahrzehnte vor der Französischen Revolution zurück. Doch eine systematische Verbauung unserer Wildbäche und Gebirgsflüsse bedurfte eines stärkeren Staates, der erst mit der Bundesverfassung von 1848 Wirklichkeit wurde. Korrektion der Juragewässer, die internationale und die st.-gallische Rheinkorrektion, die Rhonekorrektion im Wallis, die Regulierung zahlreicher anderer Gebirgsflüsse, die Verbauung gefährlicher Wildbäche, wie etwa der Nolla, der Schlieren, begründeten in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts eine eigentliche schweizerische Schule, deren Träger das ehemalige Oberbauinspektorat war, der Vorläufer des heutigen Amtes für Strassen- und Flussbau. Sie kann als empirische Schule bezeichnet werden, die vor allem auf ausgezeichneter Naturbeobachtung, einem frühentwickelten Vermessungswesen und auf den Anfängen der zur eigenen Wissenschaft gewordenen praktischen Hydraulik gründete.

Kann diese Pionierzeit sich auch über gute Erfolge ausweisen, so genügten die von ihr entwickelten Methoden mit der Zeit doch nicht mehr, um die durch gesteigerte Ansprüche gestellten Aufgaben dieses Fachgebietes zu lösen. So fand etwa seit der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg auch im *Flussbau* die systematische wissenschaftliche, und zwar vor allem die induktive experimentelle Forschung, aber auch die theoretische Behandlung der praktischen Probleme Eingang. Wir denken hier an die grundlegenden Forschungsarbeiten über den Geschiebetrieb von Prof. Meyer-Peter an der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH und an die Entwicklung des hydraulischen Modellversuches zur Lösung flussbaulicher Einzelfragen, handle es sich nun um reine Wasserströmungen, um Wasser mit Geschiebefracht, um Kolkvorgänge oder, als neuestes Untersuchungsobjekt, um Eingänge in einem gefrorenen Gebirgsfluss nach plötzlichem Tauwettereinbruch. Hand in Hand mit der Vervollkommenung der Versuchstechnik und der Messmethoden geht die theoretisch-wissenschaftliche Auswertung, wobei namentlich die Kenntnis der Modellgesetze die Verallgemeinerung der durch Einzelversuche gewonnenen Ergebnisse ermöglicht. Gemäss seiner Natur handelt es sich beim Flussbau immer um öffentliche Aufgaben oder um vom Staate konzessionierte Werke, die im Dienste der Allgemeinheit stehen. Die VAWE leistet bedeutende Beiträge zur Lösung der mit ihrer Errichtung verbundenen Aufgaben, wobei Theorie, Versuche, Projektierung und staatliche Aufsicht auf engst zusammenarbeiten.

Neben dem Verkehr gehört auch die Energieversorgung zu den tragenden Säulen der modernen Gesellschaft. In der Schweiz ist diese bis heute auf das engste mit dem Wasserbau und insbesondere mit dem *Talsperrenbau* verbunden. Der stets wachsende Energiebedarf führt zu immer grösseren Stauanlagen, wo Hunderte von Millionen Kubikmeter Wasser gespeichert werden. Ihrer Funktion entsprechend liegen sie im Gebirge, und sie würden im Falle eines Sperrenbruchs

die unten liegenden Täler und ihre Bewohner in tödlicher Weise gefährden. Dass diese Gefahr in der Tat vorhanden ist, liessen die in den letzten Jahren in Spanien, Frankreich und Italien eingetretenen Katastrophen in erschreckender Weise erkennen. Seit einigen Jahrzehnten gehört daher neben dem klassischen Flussbau und der Wildbachverbauung auch die Oberaufsicht über den Talsperrenbau zum Aufgabenkreis des Amtes für Strassen- und Flussbau. Wenn die grossen Kraftwerksgesellschaften auch über einen hervorragenden Stab von Ingenieuren verfügen, so besteht doch wegen der Grösse der Werke das Bedürfnis nach Beizug wissenschaftlicher Experten, und zwar sowohl durch die Gesellschaften selber als auch durch die die Oberaufsicht ausübende Amtsstelle.

Während zur Beratung im Bau von Betontalsperren eine grosse Zahl von erfahrenen Ingenieuren zur Verfügung steht, ist der Bau von grossen Erdstaudämmen fast ausschliessliche Domäne der *Erdbau-laboratorien unserer Hochschulen* geblieben. Für die Oberbehörde bedeutet es eine besondere Hilfe, dass die Versuchsanstalten nicht nur Kontrollfunktionen ausüben, sondern schon bei der Projektierung und Ausführung mitwirken, die ja eingehende Untersuchungen über Grundwasserströmungen, über die Wahl des als Baustoff verwendeten Erdmaterials, über die Festlegung der bodenmechanischen Bedingungen für den Einbau, über die Ermittlung der besten Einbauverfahren, und endlich die Gütekontrolle der ausgeführten Bauteile umfassen. So greifen hier die Funktionen des Wissenschaftlers und Forschers, des Beraters der Bauherrschaft, des projektierenden Ingenieurs, der Baukontrolle und der Oberaufsicht eng ineinander.

Hier hat denn auch unser Jubilar in den Jahrzehnten seines Wirkens eine hervorragende Tätigkeit entwickelt. Sie ist dem Aussenstehenden vor allem in Form der zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen ersichtlich, die seiner und der Feder seiner Mitarbeiter entstammen. Es muss hier leider davon abgesehen werden, dieses Werk eingehender darzustellen und zu würdigen. Dagegen spielt sich die Expertentätigkeit vorwiegend im geschlossenen Kreis ab; doch spiegelt sie sich in der Tätigkeit des von Prof. Schnitter präsidierten Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren und dessen wissenschaftlicher Kommission wider. In diesem Komitee finden sich unsere ersten Fachleute, Wissenschaftler und Konstrukteure zu Erfahrungsaustausch und zu gegenseitiger Anregung zusammen, und es vertritt unsrer hochstehenden Talsperrenbau auch im Ausland an wissenschaftlichen Kongressen. Eine ausgezeichnete Übersicht über die grossen Leistungen des schweizerischen Talsperrenbaus vermittelt die vom Schweizerischen Nationalkomitee im Jahre 1964 unter der Betreuung seines Präsidenten herausgegebene Publikation «Comportement des Grands Barrages Suisse»; die Schrift ist auch Zeugnis des hohen Verantwortungsbewusstseins der Kraftwerkbaumeister und der grossen Sorgfalt, mit der die einzelnen Objekte überwacht werden. Mit ihrer Erwähnung möchten wir unsere kurzen Betrachtungen über dieses Fachgebiet abschliessen.

## VI

Der Nationalstrassenbau und der Ausbau unseres Verkehrsapparates als Ganzes sowie der Talsperrenbau als Teil des Kraftwerkbaus und damit der Energieversorgung sind Eckpfeiler der *Infrastruktur* unseres Landes. Es ist nicht Zufall und auch nicht Zeichen klischeenhaften Sprachgebrauches, dass dieses Wort in neuester Zeit oft verwendet wird. Im Unterschied zu der der privaten Wirtschaft obliegenden Güterproduktion und -verteilung umfasst der Begriff Infrastruktur jene von der öffentlichen Hand, von halbstaatlichen Körperschaften oder von staatlich konzessionierten Unternehmen zu errichtenden und zu betreibenden Werke und Dienste, die die Grundlage für die Entfaltung des wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Lebens der modernen Gesellschaft bilden. Wohl noch unter dem nachhaltigen Einfluss des auf Rentabilität ausgerichteten ökonomischen Denkens des 19. Jahrhunderts wurde ihre fundamentale Wichtigkeit lange nicht in ihrer ganzen Schwere erkannt, und bis in die allerneueste Zeit wurde der Ausbau der Infrastruktur oft nicht in erster Linie mit ihrer primären Funktion begründet, sondern als willkommene Gelegenheit zu konjunkturpolitischer Steuerung der Wirtschaft und damit als Reserve für die Arbeitsbeschaffung betrachtet.

Damit haben wir den vorstehend geschilderten öffentlichen Bauten ihren Platz im grössern Ganzen zugewiesen, und so erhält auch die Tätigkeit des sie verwirklichenden Ingenieurs ihren höhern Sinn. Dies Im-Grösseren-Zusammenhang-Stehen lässt auch die leider nie ganz vermeidbaren schmerzlichen Eingriffe in Bestehendes als ertraglich erscheinen.

Der Ingenieur findet seine hohe Befriedigung in seiner Arbeit aber nicht nur dank dem Wissen um dieses grössere Ganze, sondern in der Erfüllung der Aufgabe an sich. Sie gibt ihm Gelegenheit, seine schöpferische Begabung zu entfalten, kühnen Ideen konkrete Gestalt zu geben und die Kräfte der Natur in seine Gewalt zu zwingen und dem Menschen dienstbar zu machen. Der Jahr für Jahr sich erneuenden Schar angehender Ingenieure eine solide wissenschaftliche Ausbildung zu vermitteln und ihnen den Sinn für die Verantwortung zu wecken, die sie dereinst bei der Errichtung ihrer Werke der Allgemeinheit gegenüber zu übernehmen haben werden, und in ihnen ein hohes

Berufsethos lebendig werden zu lassen, ist die schöne und edle Aufgabe und Verpflichtung des akademischen Lehrers. Wir beglückwünschen den Jubilar, Prof. Schnitter, zu seiner so reichen Tätigkeit und wünschen, dass es ihm vergönnt sein wird, während der ihm noch verbleibenden Jahre des Lehramtes sie mit ebenso ausgezeichnetem Erfolg auszuüben wie bis anhin.

Eingang des Manuskripts: 7. Juli 1965.

Adresse des Verfassers: Dr. Robert Ruckli, Direktor des ASF, 3003 Bern, Monbijoustrasse 40.

## Comportamento della diga di Valle di Lei

Dott. Ing. Claudio Marcello, Milano

### 1. Descrizione dell'opera

La diga sul Reno di Lei crea il serbatoio di testa (avente una capacità di circa 200 milioni di m<sup>3</sup>) della catena di impianti della Kraftwerke Hinterrhein AG sul Reno Posteriore<sup>1</sup>). Essa è stata progettata dalla Direzione Costruzioni Impianti Idroelettrici del Gruppo Edison sotto la guida dell'autore, e costruita dall'Impresa GI. LO. VAL. nel periodo 1958-1961; è una struttura ad arco a doppia curvatura avente le seguenti dimensioni principali (fig. 1 e 2):

Altezza dal punto più depresso delle fondazioni al coronamento	143 m
Corda dell'arco di coronamento	538 m
Sviluppo dell'arco di coronamento	690 m
Freccia dell'arco di coronamento	178 m
Spessore max. sulle fondazioni	28 m
Spessore min. al coronamento	16,50 m
Volume della diga	850000 m <sup>3</sup>

Per le sue dimensioni, ed in particolare per il valore della corda, la diga del Reno di Lei è fra le più ampie dighe a volta del mondo. La particolare forma della diga è stata suggerita da criteri economici e statici. Pur rispettando il vincolo di mantenere uno spessore minimo non inferiore a m 16,50 (vincolo imposto dalle Autorità Militari Elvetiche), la volta progettata presenta infatti il minimo volume rispetto ad altre soluzioni possibili.

Gli archi orizzontali sono ad asse parabolico ed a spessore costante. Il tracciato parabolico degli archi si adatta alle funicolari del carico sopportata dagli archi stessi: difatti la forma a V molto aperto della vallata fa sì che le mensole laterali, data la loro altezza limitata ed il loro forte spessore, siano notevolmente rigide ed assorbano quindi una ingente aliquota del carico idrostatico, mentre le mensole centrali, molto alte e mediamente non molto più spesse delle altre, sono assai più flessibili e conseguentemente assorbono un'aliquota proporzionalmente minore del carico idrostatico. Di conseguenza il carico gravante sugli archi è massimo al centro e va diminuendo via via che si procede verso le imposte, e la funicolare del carico corrispondente ha quindi raggio di curvatura minimo al centro e via via crescente verso le imposte. Praticamente tale funicolare coincide per ogni arco con una parabola.

Le mensole presentano una accentuata seconda curvatura, con strapiombi considerevoli tanto verso valle (strapiombo max. dell'ordine di 26 m) quanto verso monte (strapiombo max. dell'ordine di 8m). Lo strapiombo della diga verso valle consente di ridurre le tensioni di trazione in senso verticale che appaiono sul paramento di valle, in conseguenza della notevole rigidità dell'arco di coronamento, e, insieme ai controstrapiombi verso monte che appaiono nella parte più profonda della volta, consente di mantenere soddisfacentemente centrate anche le curve delle pressioni delle varie mensole. La diga viene così a partecipare da un lato, per il favorevole sfruttamento dell'effetto peso, del tipo ad arco - gravità; dall'altro, per gli spessori medi ridotti e per l'effetto di seconda curvatura delle mensole, del tipo a cupola, realizzando così una felice e razionale sintesi.

La diga è fondata su banchi rocciosi di paragneis e micaschist, aventi un modulo elastico (dopo iniezione con miscela cementizia) di circa 100000 kg/cm<sup>2</sup>; essa è stata realizzata in calcestruzzo con inerti calcarei e cemento «Pozzolanico Mare 550»<sup>3</sup>) in dose variabile

<sup>1</sup>) Vedi: L. Kalt, Die Kraftwerkgruppe Valle di Lei-Hinterrhein, SBZ 1957, Nr. 5 e 6, pag. 65 e 79.

<sup>2</sup>) Si veda più oltre per la deduzione di questo valore dalla misura delle deformazioni della roccia.

<sup>3</sup>) Cemento pozzolanico (35 % pozzolana) con resistenza a compressione della malta normale italiana superiore a 550 kg/cm<sup>2</sup>.

DK 627.825.7.004

da 230 a 275 kg/m<sup>3</sup>; il modulo elastico del calcestruzzo in questione, a maturazione completa, è di circa 350000 kg/cm<sup>2</sup>. Per la costruzione la diga è stata divisa in 54 conci, separati da giunti radiali distanti (sull'asse del coronamento) 12 m l'uno dall'altro; il calcestruzzo è stato refrigerato a mezzo di serpentine annegate nei getti e percorse da una circolazione di acqua fredda.

L'escurzione del livello nel serbatoio può andare dalla soglia dell'opera di presa (1821, 88 m s. m.) al coronamento (1932, 00 m s. m.). Data la quota elevata, la diga è soggetta altresì a notevoli variazioni termiche stagionali.

### 2. Strumenti installati sull'opera

L'importanza e la mole dell'opera hanno imposto l'adozione di un'adeguata rete di strumenti di misura, attraverso la quale esercitare quei controlli che consentono: a) la verifica delle ipotesi di calcolo e la conferma di prove eseguite su modello, b) la sorveglianza del comportamento dell'opera in esercizio.

Ne è risultato un piano di misure di vaste proporzioni, per la cui realizzazione è stato necessario mettere in opera, nelle parti più significative della diga, un elevato numero di strumenti. Il piano delle misure si articola attraverso:

2. I. La misura delle sottopressioni
2. II. La misura degli spostamenti della diga
2. III. La misura delle rotazioni della diga e della roccia di fondazione
2. IV. La misura delle deformazioni della roccia di fondazione
2. V. La misura delle deformazioni del calcestruzzo, della dilatazione dei giunti, delle temperature del calcestruzzo e della roccia di fondazione.

#### 2. I. Misura delle sottopressioni

Per la misura delle sottopressioni sono stati installati nei 17 conci centrali della diga n. 71 piezometri idraulici. In ciascun concio sono ubicati 4 apparecchi, ad eccezione del concio centrale ove ne sono installati 7. I piezometri sono costituiti da campane, forate, di ferro zincato del diametro di 25 cm, collegate a tubi metallici da 2", 5. Le canne piezometriche fanno capo alle apposite cabinette predisposte lungo il cunicolo perimetrale della diga.

#### 2. II. Misura degli spostamenti della diga

##### 2. II. 1. Misura degli spostamenti orizzontali

Sono stati adottati tre sistemi di misura e precisamente: a) sistema di misura con pendolo, b) sistema di misura per triangolazione geodetica, c) sistema di misura per collimazione.

*a) Sistema di misura con pendolo.* Ai fini di mettere in evidenza le correlazioni esistenti tra gli spostamenti orizzontali della diga e le due azioni predominanti: spinta idrostatica e temperature del calcestruzzo, sono stati installati numerosi fili a piombo. Gli apparecchi sono stati posti in opera nella sezione di chiave (concio 1) ed in quelle alle reni (conci 13 destro e 13 sinistro) in modo da realizzare 3 vertici di misura (fig. 1). Ogni verticale risulta costituita da più pendoli disposti in cascata, l'ultimo dei quali si sviluppa in un pozzo in roccia, della profondità di 25 m, praticato al di sotto della sezione di fondazione. Complessivamente sono stati installati 14 fili a piombo per la misura degli spostamenti relativi di 39 punti della struttura; da questi, con facili calcolazioni, vengono determinati quelli assoluti ritenendo fisso, per ciascuna verticale, il punto più profondo del pozzo in roccia.

*b) Sistema di misura per triangolazione geodetica.* La rete di triangolazione (fig. 1) si articola a valle della diga su 12 pilastri, solo alcuni dei quali sono fondata su roccia sana e stabile. Essa è orientata