

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 51/52: SIA-Heft, 6/1978: Ingenieurbiologie - Methoden und Anwendungen

Artikel: Ingenieurbiologie - Methoden und Anwendungen:
Verbauungsmöglichkeiten im Rahmen des Nationalstrassenbaues in
der Leventina
Autor: Schiechtl, Hugo Meinhard / Krebs, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73806>

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: 09.07.2025

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

Ingenieurbilogie-Methoden und Anwendungen

Verbauungsmöglichkeiten im Rahmen des Nationalstrassenbaues in der Leventina

Von Hugo Meinhard Schiechtel, Innsbruck

Von jeher hat man früher für die Ufersicherung von Gewässern Holz, lebende Gehölze und ausschlagfähige Gebüsch, also natürliche Baustoffe verwendet. Diese früheren Wasserbauten füssten auf der Erkenntnis, dass lebende Pflanzen in ihrer Gesamtwirkung am besten in der Lage sind, die zerstörende Kraft des Wassers und des Geschiebes zu brechen, die Ufer wirksam zu schützen und die natürliche Eingliederung des Flussraumes in die Landschaft zu erhalten. In vielen alten Fachzeitschriften finden sich zahlreiche Aufsätze, die sich mit diesen natürlichen Befestigungsmethoden befassen.

In Zusammenhang mit den technischen Grossbauten der letzten Jahrzehnte wurden nicht nur in steigendem Ausmass leistungsfähige Baumaschinen verwendet, sondern auch neue technische Verfahren angewandt und moderne, standardisierte Baustoffe verwendet. Beton und Mörtel traten ihren Siegeszug an und im Strassen- und Flussbau wurden schliesslich ausnahmslos reine technische Baumethoden bevorzugt. Damit wurden die Eingriffe in die Landschaft massiver. Inmitten einer während Jahrhunderten geformten ansprechenden Kulturlandschaft wurden die funktionell vielfältigen Flussräume schroff umgestaltet: die dem Relief angepassten natürlichen Flussläufe mit ihren Ufersäumen, die einen ökologisch wichtigen Bestandteil der Landschaft darstellten, wurden zu toten, starren Gerinnen degradiert. Viele unserer Bäche und Flüsse haben durch derartige Eingriffe ihre Bedeutung für das Landschaftsbild, für den Landschaftshaushalt, als Lebensraum zahlloser Tier- und Pflanzenarten weitgehend verloren. Bei dieser überstürzten bautechnischen Entwicklung hat man vergessen, dass wir über Verfahren verfügen, die auf dem natürlichen Befestigungsvermögen lebender Pflanzen beruhen, die billiger, dauerhafter aber ebenso wirksam sind und den Flussraum mit der umgebenden Landschaft organisch verbinden.

Auf Ersuchen des Schweizerischen Aktionskomitees gegen den Vogelfang wurde vom 3. bis 5. Sept. 1977 die Strecke zwischen Airolo und Bellinzona begangen mit dem Ziele, die bisherigen Massnahmen kennenzulernen und allenfalls mögliche Änderungsvorschläge für die Verbauungsmethodik zur möglichsten Schonung der Tessiner Landschaft zu finden. Vom Verfasser dieses Gutachtens wurde schon vor dieser Begehung darauf aufmerksam gemacht, dass er grössten Wert auf eine gemeinsame Begehung mit den zuständigen Projektanten bzw. Behördenvertretern des kantonalen Strassen- und Flussbauamtes legt. Dabei sollten das Projekt und die Detailabsichten kennengelernt werden. Bedauerlicherweise wurde diese von mir erbetene Begehung abgelehnt und ich war daher gezwungen, das Gutachten ohne detaillierte Kenntnis der beabsichtigten Massnahmen zu verfassen. Aus diesem Grunde wurde aber auch der Schwerpunkt des Gutachtens auf allgemeine Grundtatsachen gelegt.

Allgemeines

Grundsätzlich ist festzustellen, dass eine Entscheidung, wie sie etwa der Bau einer vierspurigen Autostrasse darstellt, stets einen schwerwiegenden Eingriff in die Landschaft zur Folge hat. Dies trifft ganz besonders auf ein Gebirgsland zu. Daher erhebt sich die grundsätzliche Frage, ob es bei einer Auto-Schnellstrasse quer über ein Gebirge notwendig ist, die aus dem Flachland stammenden Normen hinsichtlich der Krümmungsradien, Neigungen und Querprofile einzuhalten. Nach meiner eigenen Meinung ist es wohl auf einer so schwierig zu planenden und zu bauenden Strecke wie sie die Gotthardstrasse nun einmal ist, jedem Autofahrer zuzumuten, dass er sich auf eine Gebirgsstrasse einzustellen und auf Teilstrecken eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf

In weiten Kreisen entstand ein Unbehagen über die modernen, harten Baumethoden. Besonders die österreichischen Fachleute haben vor Jahrzehnten die ingenieurbilogischen Verbaumethoden wieder aufgegriffen, weiter entwickelt und ihre Erkenntnisse im Verbauungswesen vervollkommen. Die ingenieurbilogischen Baumethoden haben in neuester Zeit im Zeichen des Landschafts- und Naturschutzes im benachbarten Ausland einen grossen Aufschwung genommen. Auch wir Schweizer haben allen Grund, die Fliessgewässer als untrennbare Bestandteile der Tal Landschaft in einem möglichst naturnahen Zustand zu erhalten und ihre ökologisch-biologische Funktion nicht zu beeinträchtigen.

Die Aktionsgemeinschaft zum Schutze der Ufer des Tessin-flusses hat vergangenes Jahr Herrn Prof. Dr. H.M. Schiechtel mit der Erstellung eines Gutachtens über den Verbau der Tessinufer beauftragt. Inzwischen ist er vom Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau mit der Überarbeitung der Wegleitung für Flusskorrekturen beauftragt worden. Schiechtel gehört zu den international anerkannten Pionieren der modernen Ingenieurbilogie. Er hat sich als Forscher und Praktiker seit langem mit diesen Fragen befasst und hat gerade auf Grossbaustellen des Strassen- und Flussbaues hervorragende Erfolge erzielt. Sein Gutachten enthält Erwägungen und Grundsätze, die auch für unsere Verhältnisse ihre volle Gültigkeit haben und daher einem weiteren Kreis von Fachleuten zugänglich gemacht werden sollen. In Zusammenhang mit Strassenbauten, Brückenbauten, Flussbauten ist das Problem des Uferschutzes auch bei uns aktuell. Gerade die zurzeit in der Projektierungsphase befindliche Sanierung der Thur, die nach den riesigen Überschwemmungen dieses Jahres an die Hand genommen werden muss, dürfte ein Standardfall sein, in welchem sich ein naturnaher, landschaftsschonender Lebendverbau aufdrängt.

Dr. Ernst Krebs, Winterthur

80–100 km/h in Kauf zu nehmen hat, zumal hiedurch die Gesamtfahrtzeit nur um wenige Minuten reduziert wird.

Schon immer war es das Bestreben verantwortungsbewusster Ingenieure, ihre Bauten möglichst gut in die Landschaft einzufügen. Die Motive hiezu waren neben ästhetischem und künstlerischem Empfinden vor allem auch ökonomische, weil man schon lange erkannt hatte, dass die Schwere des Eingriffs in den Landschaftshaushalt unmittelbar mit der Grösse der Folgeschäden bzw. Sanierungskosten zusammenhängt.

Brachte die Erfindung des Betons und vor allem die Entwicklung der modernen Betontechnik zunächst eine gewisse Entfremdung von natürlichem Bauen in der Landschaft, so waren es ab der Jahrhundertwende wiederum zunächst Ingenieure und Architekten, die diese Gefahren erkannten und einen Umschwung herbeizuführen versuchten (Demontzey, Mougin, Rosenauer, Walzl, Krüdener, Seifert, Prückner, Kirwald, Hassenteufel u.a.). Erst die Fortschritte der angewandten Naturwissenschaften seit den dreissiger Jahren ermöglichten dann eine Realisierung dieser Ideen.

Obschon in allen zivilisierten Ländern heute die Ingenieurbilogie als selbständiger Zweig des Bauwesens eingeführt ist, darf doch nicht übersehen werden, dass ihre Anwendung in der Praxis immer noch zögernd geschieht. Auch die Schweiz bildet hierin keine Ausnahme, obwohl bereits seit Jahren gut brauchbare Wegleitungen zur «Lebendverbauung an fliessenden Gewässern» (1973) und «Massnahmen zur Erhaltung der Fischerei bei Gewässerkorrekturen» (1969) bzw. «Die für den Natur- und Heimatschutz zu treffenden Massnahmen bei Gewässerkorrekturen» (1970) zur Verfügung stehen.

Die Ursache für die ungenügende Anwendung ingenieurbilogischer Methoden bei den verschiedenen Massnahmen

des Erd- und Wasserbaues dürfte vor allem in der *Unsicherheit* liegen, die der hierin nicht ausgebildete Techniker gegenüber solchen Baumethoden wie auch der gesamten Materie «Biologie» empfindet. Es wäre daher dringend erforderlich, die entsprechenden *Lehr- und Forschungseinrichtungen an den Technischen Universitäten zu schaffen* und in den Studienplänen die Verpflichtung zum Besuch dieser Vorlesungen und Praktika zumindest für bestimmte Studienrichtungen (Tiefbau, Kulturtechnik, Forstwesen, Garten- und Landschaftsbau) vorzusehen.

Trassenführung

Die Möglichkeiten für ein vierspuriges Strassentrasse sind in einem derart beengten Gebirgstal wie der Gotthardstrecke natürlich sehr begrenzt, zumal zwei weitere Verkehrstränge vorhanden sind. Daher gibt es ohne Zweifel zahlreiche *technisch bedingte Zwangspunkte*, bei denen keine Varianten mehr möglich sind. Vom Standpunkt des Natur- und Landschaftsschutzes muss aber überdies gefordert werden, dass *schützenswerte Biotope oder schutzwürdige Natur- und Baudenkmäler* bei der Trassenfestlegung *ebenfalls als Zwangspunkte* anerkannt werden, die vermieden werden müssen.

Ein *parallel zum Fluss* verlaufendes Strassentrasse ist in der Regel unerwünscht, weil dadurch die *natürlichen Auwälder im Talbereich empfindlich gestört* würden. Sie sind fast überall auf kleinste Areale zurückgedrängt und stellen die *letzten Refugien für viele Pflanzen- und Tierarten* dar. Sie haben *wichtige regulative Aufgaben im Haushalt der Landschaft* zu erfüllen und sind deshalb auch für die angrenzenden Kulturen von grosser Wichtigkeit.

Wenn auf Teilstrecken die Parallelführung der Autobahntrasse zum Fluss unvermeidlich ist, dann sollte zwischen Fluss und Autobahn ein mindestens 50 m breiter Gehölzstreifen erhalten bleiben. Sind *Flussquerungen* notwendig, so sollten sie zur Schonung der flussnahen Biotope *möglichst im rechten Winkel* erfolgen.

Wo die Autobahn *über oder unter dem derzeitigen Bodenniveau* geführt werden muss, sollte jene Möglichkeit gewählt werden, welche die *ökologischen Verhältnisse* am wenigsten verändert (z.B. Halbbrücken anstelle von Einschnitten in voller Breite; Vollhangbrücken anstelle hoher Dämme; Dammschüttungen oder Anschnitte plus Begrünung anstelle von Mauern).

Alle *Feucht-Biotope* wären zu meiden, und zwar nicht nur deshalb, weil sie stets den Bauingenieur vor technische Probleme stellen, sondern wegen ihrer Unersetzlichkeit und ihrem Wert im Rahmen der gesamten Ökosysteme.

Die *Situierung von Kabeln* muss auf eine spätere Bepflanzung der Strassenböschungen Rücksicht nehmen. Am besten hat sich die Kabelverlegung am Aussenrand der abgelösten Grundstücke bewährt, weil hiedurch zwischen den Bepflanzungsflächen und den benachbarten Kulturen ein gehölzfreier Streifen entsteht. Auch Wirtschaftswege verlegt man tunlichst an die Aussengrenze der für die Autobahn abgelösten Grundflächen. Hiedurch wird der Einfluss von Schadstoff-Immissionen in den Kulturen verringert.

Zur *Sicherung von Böschungen und Hängen* könnten mehr als bisher üblich die ingenieurb biologischen Sicherungsbauweisen herangezogen werden, zumindest aber kombinierte Verfahren. So würden anstelle der zerstörten neue Biotope aufgebaut. In der Regel werden damit auch Geldmittel eingespart. Nur dort, wo aus technischen Gründen keine ingenieurb biologischen Sicherungsarbeiten möglich sind, wäre eine Beschränkung auf Umpflanzungen akzeptabel. Auch diese Umpflanzungen wirken nicht allein landschaftsarchitektonisch, sondern entwickeln sich zu wertvollen Biotopen.

Am Tessin wäre die *entscheidenste Forderung die Erhaltung der Gewässerbiotope einschliesslich der heute noch vorhandenen Überschwemmungsflächen und Altarme*. Um dieser Forderung gerecht zu werden, müssen die *Ufer in ihrer gesamten Länge frei von fugenlosen Mauern* bleiben, und die *Ufer müssen von Gehölzen bewachsen sein*.

Die Altarme und Überschwemmungsräume haben die Funktion natürlicher Retentionsbecken und helfen dadurch die weitere Eintiefung der Fluss-Sohle hintanzuhalten. Gelegentliche Hochwasser und auch eine Umlagerung und Neubildung von Schotterbänken im Flussbett sind zur Erhaltung zahlreicher Lebewesen am Fluss erforderlich. Eine totale Flussverbauung in Form einer Kanalisierung kann daher nirgends und auch nicht unterhalb Biasca das Ziel sein. Die vollständige Sicherung des Kulturlandes und der Gebäude kann durch eine Eindämmung ausserhalb der heute noch vorhandenen Altarme und Überschwemmungsflächen erreicht werden.

Querprofilgestaltung

An Autobahnen

Wie aus den bisherigen Ausführungen bereits hervorgeht, hängt schon die Trassenwahl eng mit der Querprofilgestaltung zusammen. Vielfach ist es bei Gebirgsautobahnen üblich, sogenannte «Sparprofile» zu wählen. Dabei werden vor allem die *Mittelstreifen* auf einen *technischen Blendschutz* reduziert. Wo hingegen der Blendschutz durch Gehölzpflanzung erzielt werden soll, ist eine Verringerung der Mittelstreifen unter 2,0 m nicht möglich. Die ausserhalb der Fahrbahn erforderlichen Flächen hängen von der Art der Trassenführung ab (auf ebenem Gelände, auf Dämmen, Brücken und Einschnitten), aber auch von der Funktion, die man von den Gehölzpflanzungen erwartet.

Dabei muss vor allem die *hohe Belastung von Flächen neben der Autobahn durch Schadstoffe* (ca. 100 kg Blei je km Autobahn jährlich, *Abgase, Gummiabrieb, Streusalz*) und *Verkehrslärm* beachtet werden. Nach neuen Untersuchungen kann die Schadstoffimmission durch Gehölzpflanzen entscheidend vermindert werden (auf ca. 10%), sofern eine trennende Gehölzpflanzung zwischen Autobahn und betroffener Fläche angeordnet ist. Eine Mindestbreite von 10 Metern ist für derartige Pflanzungen erforderlich. Zwar steigt durch solche Gehölzpflanzungen der Flächenbedarf für eine Autobahn auf mindestens 40 m Gesamtprofilbreite an, doch reduziert sich zugleich die sogenannte «biologische Todeszone» von üblicherweise 100 bis 200 m auf rund 50 m (ausgenommen Brücken).

An Flüssen

Das mit Hartbauweisen zu sichernde untere Trapez des Querprofils sollte so bemessen sein, dass der *Durchfluss mittlerer Hochwasser gewährleistet* ist. In diesem Bereich ist ein Bewuchs fehl am Platze; daher sind auch unverbaute Fliessgewässer bis zum sommerlichen Mittelwasserspiegel gehölzfrei.

Um grössere Hochwasser aufnehmen zu können, sollte unter allen Umständen dem unteren noch ein oberes Trapez im Querprofil aufgesetzt werden. Wegen der beengten Verhältnisse ist dies oft schwierig. Dann wäre zumindest auf einer Seite eine Berme vorzusehen, und die über der sommerlichen Mittelwasserlinie liegenden Uferböschungen wären flacher auszubilden als die darunterliegenden. Anstelle einer Befestigung mit Hartbauweisen wären die Bermen und die ober der sommerlichen Mittelwasserlinie liegenden Böschungen mit lebenden Baustoffen zu sichern; an Prallufern allenfalls mit kombinierten Bauweisen. Die Bermen können belie-

big breit sein (auch einseitig) und müssen keineswegs kahl bleiben, sondern sollten einen Gewässerschutzwald tragen, der neben seinen Schutzfunktionen auch der Produktion wertvoller Weich- und Hartholz-Sortimente dienen kann. Für die Sicherung der Berme- und Böschungsoberfläche gibt es eine ausreichende Literatur (Schiechtel 1973, Schlüter 1971, Begemann 1971, Kirwald 1964, Prückner 1965, Wegleitungen 1969, 1970, 1973, Kleine 1963, 1969 u.a.).

Bauen mit landschaftsgerechten Materialien

Das vielfach herrschende Unbehagen über die modernen Bauten beruht zu einem erheblichen Teil darauf, dass man immer mehr vom ehemals eisernen Grundprinzip abrückt, nur landschaftsgerechte Baumaterialien zu verwenden. Verstand man einst unter «landschaftsgerecht» jene Baumaterialien, die in der Nähe der Baustelle in der Landschaft gewonnen werden konnten, so war dies sicher in erster Linie eine von den mangelnden Transportmöglichkeiten diktierte Forderung. Wenngleich dies heute nicht mehr zutrifft, da praktisch alle Transportprobleme gelöst sind, bleibt die Tatsache bestehen, dass eben beim Bauen in der Landschaft sich die Bauwerke mit örtlich vorhandenem natürlich gewachsenem Baumaterial harmonischer in eben diese Landschaft einfügen lassen als mit ortsfremden, womöglich industriell hergestellten Materialien.

Als Beweis für die Richtigkeit dieser Auffassung können am besten die verschiedenen Strassenbauten über den Gottardpass dienen. Sicher werden die ältesten Strassentrassen, bei deren Bau man noch den vorhandenen Naturstein benützte, allgemein als die schönsten empfunden. Dass die mächtigen, viel zu hellen und glatten Betonmauern des neuesten Trasses allgemein als störend empfunden werden, zeigen die misslungenen Versuche, sie mit hilflosen Bemalungen wenigstens etwas zu kaschieren.

Niemand wird bezweifeln, dass heute die Verwendung von Beton im Strassenbau eine Notwendigkeit ist, und ebenso sicher müssen auch zahlreiche Brückenbauwerke aus Beton als technische Kunstwerke unserer Zeit gelten. Es unterliegt aber auch keinem Zweifel, dass dort, wo aus konstruktiven Gründen nicht unbedingt Sichtbeton verwendet werden muss, andere Baustoffe oft besser entsprechen. Dies trifft vor allem auf Stützmauern und Ufersicherungen zu, ganz besonders in einer Landschaft wie dem Tessin, wo auf der gesamten Strecke beste Bausteine vorhanden sind.

Sichtbetonflächen könnten überdies ohne Schwierigkeiten besser in das Landschaftsbild eingefügt werden, indem man ihre Oberflächen strukturiert und/oder den Beton bei der Mischung entsprechend einfärbt (nicht anstreicht). Gerade in der Schweiz gibt es bereits gute Beispiele für Strukturbetonmauern.

Schliesslich ist auch Holz in bestimmten Fällen immer wieder ein gut verwendbarer natürlicher Baustoff, so z.B. für Bauweisen, die mit lebenden Pflanzen kombiniert werden, und wo nach dem Vermorschen des Holzes die lebenden Pflanzen dessen Funktionen übernehmen.

Das landschaftsgerechteste Baumaterial stellen aber die lebenden Pflanzen dar, weshalb ihre Mitverwendung in jedem Einzelfalle zu prüfen wäre. Dazu kommen die bekannten Vorteile lebender Baustoffe, die durch reinen Hartbau (Ingenieurbau) nicht erzielt werden können.

Das Problem der richtigen Auswahl der verfügbaren Baustoffe besteht meines Erachtens vor allem darin, dass der Mensch in der Regel zur Schematisierung und Schablonisierung neigt. Dies ist eben einfacher als die Bemühung der Phantasie.

Ingenieurblogische Bauweisen und ihre Funktionen

Zunächst muss man sich wohl freimachen von der immer noch verbreiteten Auffassung, jede Verwendung von lebenden Baustoffen im Rahmen von Bauarbeiten diene nur der Verschönerung oder Tarnung. Sicher ist die Benützung des örtlich vorhandenen Florenpotentials für landschaftsgestalterische Zwecke eine wesentliche Sparte der Architektur mit ausserordentlichen Möglichkeiten. Im Vordergrund unserer Betrachtungen stehen aber doch die Baumethoden mit lebenden Baustoffen und daher die Möglichkeit, technische und ökologische Funktionen zu erfüllen.

Ihre Funktionen im Strassenbau

Technische Wirkungen. Schutz der Böschungen vor Wind-, Niederschlagswasser- und Frosterosion; Schutz der Verkehrsteilnehmer vor Steinschlag; Schutz der Bodenoberfläche vor mechanischen Schäden durch Schlagregen und Hagel; Ausschaltung oder Bindung schädlicher mechanischer Kräfte (dadurch z.B. Verhinderung von Rutschungen und Hangbrüchen); Oberflächliche und/oder tiefgründige Bodenstabilisierung und -bindung (dadurch z.B. Erhöhung des möglichen Böschungsneigungswinkels); Entwässerung des Bodens; Bessere Schnee Verteilung am Hang, Ablagerung des Schnees an bestimmten Stellen (dadurch Verhinderung von Schneerutschen und -gleiten); Windschutz; Blendschutz; Optische Leitwirkung für den Autoverkehr; Lärmschutz.

Ökologische Wirkungen. Verbesserung des Wasserhaushaltes durch höhere Interzeption, bessere Wasserspeicherung im durchwurzelten Boden und durch den Wasserverbrauch der Pflanzen; Verbesserung des Klein- und Mikroklimas in der bodennahen Luftschicht und im Oberboden; Verbesserung der Bodenstruktur infolge mechanischer Aufschliessung des Bodens durch die Pflanzenwurzeln; Verbesserung des Nährstoffgehaltes im Boden durch Abfall und Verrotten von Pflanzenteilen (z.B. Laub), durch Ablagerung der nicht verbrauchten Stoffwechselprodukte symbiotische und allelopathisch lebender Pflanzen sowie durch die aktivierte Bodenflora und -fauna. Auf Rohböden werden hiedurch biologische Stoffkreisläufe eingeleitet und damit neue Biozönosen geschaffen; Verringerung der Windgeschwindigkeit hinter Gehölzen (Objektschutz und Ertragssteigerung in Kulturen); Auskämmen von Luftverunreinigungen (Immissionschutz).

Ihre Funktionen an Gewässern

Technische Wirkungen. Schutz der Ufer vor Erosion durch Wellenschlag, Hochwasser, Geschiebe und Eisgang; Stabilisierung des Bodens an Böschungen infolge dichter Durchwurzelung; Ausschaltung oder Bindung schädlicher mechanischer Kräfte; Bremsung der Fließgeschwindigkeit am Ufer; Sanierung der Uferanbrüche durch die Ablagerung von Geschiebe an vorbestimmten Stellen durch die Energie des fließenden Wassers; Wasserreinigung.

Ökologische Wirkungen. Wie schon früher beschrieben, dazu noch besonders: Erhaltung oder Schaffung neuer Besiedlungsräume für Pflanzen und Tiere am Ufer; Erhaltung oder Schaffung von Laichplätzen.

Ökonomische Auswirkungen

Schliesslich können auch die ökonomischen Auswirkungen der ingenieurblogischen Verbauungen nicht unerwähnt bleiben. Da ingenieurblogische Arbeiten an die Stelle von Ingenieurbauten treten, kommt es fast immer anstelle dieser zu erheblichen Einsparungen in den Baukosten. Hier möchte ich auf die bereits in meinem Buch «Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau», 1973, S. 105–106 veröffentlichten Beispiele hinweisen. Mit den Unterhaltungskosten an Gewässern befasste sich eingehend R. Anselm 1975.

Ferner wirken sich die *Ertragssteigerungen in landwirtschaftlichen Kulturen hinter Gehölzpflanzungen* (Wind- und Immissionsschutz) sowie die *Ertragssteigerungen aus der Fischerei* durch die ökologischen Auswirkungen ingenieurbio-logischer Massnahmen an Ufern entscheidend aus (Darner 1962, Mazek-Fiala 1967).

Nicht unerwähnt darf auch bleiben, dass erhebliche Flächen, auf denen neue Gehölz- oder Rasen-Biotope aus ingenieurbio-logischen Verbauungen entstanden sind, schliesslich auch wirtschaftlich genutzt werden können.

Beim Betrachten des Wirkungskataloges ingenieurbio-logischer Arbeiten fällt auf, dass viele dieser Wirkungen mit Methoden des konventionellen Ingenieurbaues nicht oder nur sehr unvollkommen erreicht werden können. Daraus ist zwingend abzuleiten:

- wo die geforderten Wirkungen sowohl mit technischen als auch mit ingenieurbio-logischen Bauweisen erzielt werden können, sollte stets geprüft werden, welche Alternative sicherer, ökonomischer (auf lange Sicht) und landschafts-gerechter (schöner) ist.
- Wo hingegen die geforderte Wirkung von ingenieurbio-logischen Verfahren besser erfüllt werden kann, ist in jedem Falle diese Art der Verbauung vorzuziehen.

Grenzen der Anwendung

Selbstverständlich sind allen ingenieurbio-logischen Bauweisen auch *natürliche Grenzen* gesetzt. Da als Baumaterial lebende Pflanzen verwendet werden, kommt eine Anwendung nur dort in Betracht, wo diese Pflanzen gedeihen können. In *Kälte- und Trockenwüsten* sind daher solche Verfahren nicht anwendbar. Im *Alpenraum* gilt dies besonders für die *Regionen der nivalen und alpinen Stufe*.

Je *artenärmer* die örtliche Flora ist, um so beschränkter ist man auch in der Anwendung ingenieurbio-logischer Bau-stoffe.

Natürliche Grenzen sind auch bei *toxischen*, wasserlie-benden (*hydrophoben*), *zu dichten* und *grobstückigen Böden* und bei *Fels* gegeben, wogegen etwa Nährstoffmängel in der Regel ziemlich einfach beseitigt werden können.

Auch durch *Abgase* – etwa von Industrien, Heizungs- und Verbrennungsanlagen – kann die Vegetation vollkom-men zerstört werden, und dort ist auch die Anwendung ingenieurbio-logischer Bauweisen nur dann möglich, wenn zunächst diese existenzbedrohenden Einflüsse beseitigt wer-den.

Ein *Sonderfall* ist die *Belastung durch Auftausalze*, die heute allgemein zur Verhinderung einer Eisbildung auf Stras-sen gestreut werden. Wird das Schmelzwasser von den Fahr-zeugen auf die Gehölze gesprüht, sterben die besprühten Zweige ab. Auf Gebirgsstrassen entstehen derartige Schäden zwangsläufig durch die lange Winterperiode und durch die Notwendigkeit, bis zu 10 t NaCl je Kilometer Autobahn zu streuen. In einer von mir durchgeführten Untersuchung wur-den alle 15 bisher als «salzresistent» bezeichneten Gehölze Mitteleuropas an der *Inntal-Autobahn* unter den extremen Bedingungen des alpinen Winterbetriebes getestet. Dabei erwiesen sich nur vier Gehölze als so widerstandsfähig gegen das Streusalz, dass ihre Zuwachsleistung zur Erzielung eines Blendschutzes auf dem Mittelstreifen der Autobahn aus-reichte.

Dass in *Lawinen-Sturzbahnen* und oberhalb der Wald-grenze keine Bäume, sondern nur mehr niedrige Sträucher und Rasen wachsen können, ist eine weitere, wohl selbstver-ständliche Einschränkung der Anwendbarkeit ingenieurbio-logischer Bauweisen.

Weniger bekannt ist dagegen, dass alle für *Uferverbauun-gen geeigneten Gehölze* unseres Florengebietes *nicht unter Wasser gedeihen*. Wie schon erwähnt, ist die Grenze des möglichen Gehölzwachstums meistens an jedem Gewässer leicht zu beobachten. Sie liegt im allgemeinen in der Höhe des Mittelwasserspiegels während der Vegetationszeit.

Auch aus rein technischen Erfordernissen kann eine ingenieurbio-logische Verbauung unzweckmässig sein. Be-kannte Fälle sind die *Fliessgewässer mit geringer Sohlenbreite und geringem Gefälle*, wo der Uferbewuchs von Gehölzen in unvertretbarem Ausmass den Durchfluss verringern würde. Als weiteres Beispiel möge die Notwendigkeit der *Sicht-Freihaltung an Strassen* dienen, so dass in solchen Bereichen auf Gehölze verzichtet werden muss.

Spezieller Teil

Allgemeines

Grundsätzlich ist zu sagen, dass das «Drama am Tici-no» (G. Papa, 1977) in erster Linie das Drama des Baues von Verkehrswegen dieser Grössenordnung an sich ist. Hierin unterscheidet sich das Tal des Tessins nicht wesentlich von anderen Alpentälern und vor allem auch nicht von dem nördlich des Gotthardpasses gelegenen Abschnitt.

Wie unterschiedlich indessen das Ergebnis solcher Gross-bauten sein kann, zeigt eindrucksvoll der Vergleich anderer Autobahntrassens quer über die Alpen, z.B. die in vollem Ausbau begriffene *Tauernautobahn von Salzburg nach Villach*, die im südlichen Abschnitt erst begonnene *Pyhrn-Autobahn von Oberösterreich nach Graz* und ganz besonders die bereits seit mehr als zehn Jahren fertiggestellte *Brenner-Autobahn von München nach Verona*. Bei allen dreien traten ähnliche Pro-bleme wie beim Gotthard-Trasse auf und forderten von allen Beteiligten das Einstellen auf die ungewohnten Dimensionen und die damit verbundenen, zuvor nicht erforderlichen und vielfach neuen Baumassnahmen. Dabei gelang es keineswegs, für alle problematischen Streckenabschnitte die vom Stand-punkt des Landschaftspflegers optimale Lösung zu finden. Doch können nun wenigstens die dabei gesammelten Erfah-rungen verwertet werden, um in Zukunft bessere Lösungen anbieten zu können.

Als positives Beispiel sei darauf hingewiesen, dass bei der Brenner-Autobahn während der ganzen Bauzeit ein Inge-nieurbio-loge konsultiert wurde. Dadurch waren während des laufenden Baugeschehens entscheidende Verbesserungen mög-lich wie etwa die Trassenwahl am Ahrnberg (Einschnitt mit sofortiger Rekultivierung statt Tunnel), die Hangsicherung auf weiten Strecken durch ingenieurbio-logische Verbauungen anstelle langer und hoher Betonmauern, die Sicherung der Böschungen unter Brücken gegen Tropfwaterosion mit Hilfe ingenieurbio-logischer Methoden, die Sicherung mächtiger Schüttungen und die Sanierung von Rutschungen durch ingenieurbio-logische Massnahmen usw. Dabei wurden bei-spielhafte Leistungen erbracht, die jenen des vielgerühmten Europabrückenbaues in nichts nachstehen.

Wenn am Tessin die bisher fertiggestellten Abschnitte nicht überall befriedigen, so habe ich den Eindruck, dass die meisten dieser unbefriedigenden Arbeiten nicht von den kantonalen Ämtern für Strassen- oder Flussbau, sondern von der zuständigen Elektrizitätsgesellschaft bereits *vor* Baube-ginn der Nationalstrasse ausgeführt worden sind.

Trassenwahl

Ein erheblicher Teil der Gesamtstrecke ist bereits durch die fortgeschrittenen oder begonnenen Arbeiten festgelegt. In jenen Teilen, die noch nicht vergeben oder endgültig festge-

legt sind, wären in konsequenter Durchführung der im Abschnitt «Querprofilgestaltung» zuvor skizzierten grundsätzlichen Forderungen zunächst die schützenswerten Biotope sowie Natur- und Baudenkmäler der vermutlichen Trasse zu erheben.

Unterhalb *Biasca* ergab der Augenschein, dass von den in Papas «Il dramma dell'autostrada nel paesaggio fluviale della Riviera» angegebenen zwei Trassenvarianten die linksufrige zu bevorzugen ist. Denn dadurch würden die vorwiegend rechtsufrig gelegenen Feuchtbiopte einschliesslich der noch vorhandenen Auenwälder besser geschont.

Von *Biasca* bis zur *Ticino-Querung* bei *Lodrino* könnte der Autobahndamm gleichzeitig als Hochwasserdamm ausgebildet werden.

Querprofilgestaltung

An der Nationalstrasse

Das grösste Problem für die Situierung wirkungsvoller ingenieurbioologischer Verbauungen und insbesondere von Gehölzpflanzungen ist der oft *akute Platzmangel*. Er wird dadurch hervorgerufen, dass für die generellen Projekte oft keine Angaben über diese Massnahmen vorliegen und deshalb auch der Flächenbedarf unbekannt blieb.

Änderungen und später notwendig werdende ingenieurbioologische und landschaftspflegerische Massnahmen sind dann vielfach nur mit beschränktem technischen und ökologischem Wirkungsgrad möglich oder erfordern nachträgliche Grundablösen. Deshalb muss hier auf den Einfluss hingewiesen werden, den die Wahl ingenieurbioologischer Sicherungsarbeiten auf das Querprofil einer Strasse haben kann.

Zwar ist es grundsätzlich möglich, bei sofort nach Abschluss der Erdarbeiten durchgeführter ingenieurbioologischer Verbauung etwas steilere Böschungsneigungen zu wählen (siehe *Schiechl*, 1973, Seiten 213–215; *Schaarschmidt*, 1971, 1974), doch gestattet dieser Umstand meistens nicht die Wahl ähnlich steiler Böschungen wie etwa bei Sicherung durch Mauern. Trotzdem bringt der Verzicht auf Mauern und ihr Ersatz durch flachere Böschungsausformung plus sofortige ingenieurbioologische Verbauung in vielen Fällen nicht nur einen entscheidenden Vorteil für die Landschaft, sondern zugleich eine Senkung der Gesamtbaukosten.

Gehölzpflanzungen, die einen *Blendschutz* bewirken sollen, müssen mindestens 2 m hoch werden. Für eine solche Wuchshöhe muss aber auch ein Pflanzraum von derselben Breite verfügbar sein. Bepflanzte Mittelstreifen müssen daher eine Mindestbreite von 2,0 m erhalten. Soll mit einer Gehölzpflanzung ein *Immissionsschutz* in benachbarten Kulturen oder Siedlungsräumen erreicht werden, so muss die geschlossene Gehölzpflanzung – aus Bäumen und Sträuchern bestehend und mit Immergrünen durchmischt – mindestens zehn Meter breit sein.

Dasselbe gilt für *Windschutzpflanzungen*, da nur mehrreihige, innen aus hohen Bäumen und aussen aus dichtem Gebüsch aufgebaute Anlagen das Windfeld soweit zu heben vermögen, dass damit die ganze Breite der Autobahn geschützt wird (*Darmer*, 1962; *Mazek-Fiala*, 1967; *Schiechl*, 1976).

Die höchsten Flächenansprüche stellt eine *Lärmschutzpflanzung*. Nur geschlossene, entsprechend hochwüchsige und mit Sträuchern eingerahmte und durchsetzte Baumpflanzungen vermögen den Schallpegel spürbar zu verringern. Dabei übt die Blattstruktur der verwendeten Gehölze einen entscheidenden Einfluss aus. Grosse Blätter mit rauher Oberfläche absorbieren die Schallwellen besser als kleine, glatte. Die beste Lärmschutzwirkung erhält man durch beidseitig bepflanzte Lärmschutzdämme, bzw. -wälle oder -wände, die

aus schallabsorbierendem, vegetationsfähigem Material herzustellen sind (z.B. aufbereitetem, aber grobem Müllkompost und Torf).

Im Tal des Tessins werden zahlreiche Ortschaften vom Trasse der Nationalstrasse berührt, und deshalb wird später die Belästigung durch den Verkehrslärm erheblich sein. Wenn nicht jetzt schon die notwendigen Vorkehrungen für die Situierung von Lärmschutzwällen und -pflanzungen getroffen werden, wird es vermutlich wie bei anderen europäischen Autobahnen erforderlich werden, die üblichen, zwar platzsparenden, aber hässlichen Lärmschutzwände aus Kunststoff, Stahl und Beton zu errichten. Hier bietet sich im besonderen die Ausnützung der bereits bestehenden Waldbestände zum Lärmschutz wenigstens in einer Richtung an, indem man sie erhält und die Nationalstrasse an ihrem Rande entlang führt (z.B. zwischen *Biasca* und *Lodrino*).

Bei allen diesen Überlegungen muss bedacht werden, dass nicht bis zum Strassenrand hin bepflanzt werden kann (Sichtfreihaltung, Beeinträchtigung der Gehölze durch Streuen von Auftausalzen, Freihalten eines Sturzraumes für Windwurfschäden). Ausserdem sind gegen Kulturen sowie gegen Kabel und Pipelines stets Sicherheitsabstände einzuhalten. Diese betragen im allgemeinen einen Meter für Sträucher und vier Meter für Bäume.

An Gewässern

Wo die Nationalstrasse in die Nähe des Flusses zu liegen kommt, wird die *flusseiteige Böschung* zweckmässigerweise gleichzeitig die Funktionen eines *Hochwasser-Schutzdammes* erhalten. Einen ökonomischeren Hochwasserschutz kann man sich wohl kaum denken. Die zwischen dem Nationalstrassendamm und dem Flussufer liegenden Flächen sollten, da sie gelegentlich überflutet werden können, von einem *Gewässer-Schutzwald* bestockt sein. Die absolute Mindestbreite vom Böschungsfuss der Nationalstrasse bis zum Ufer darf 17 Meter nicht unterschreiten (4 m Wirtschaftsweg am Böschungsfuss, 10 m Gehölzstreifen und 3 m harte Uferverbauung). Eine Verringerung dieser Masse ist als Notlösung zu betrachten, die sich früher oder später durch höhere Erhaltungs- oder Sanierungskosten am Fluss oder an der Nationalstrasse rächen wird.

Baumaterialien für Landschaftsbauarbeiten

Das naturgegebene harte Baumaterial im Tessin ist zweifellos der *Naturstein*. Da er sich auch gut bearbeiten lässt, kann er für alle Zwecke verwendet werden. Selbst dann, wenn daraus höhere Kosten entstehen sollten, wäre der vorhandene Naturstein in jedem Fall vorzuziehen, wo nicht aus konstruktiven Gründen (z.B. Brücken) Beton erforderlich ist.

An lebenden Baustoffen besteht ebenfalls kein entscheidender Mangel. Das für Rasensaaten erforderliche Saatgut ist in der Schweiz in hervorragender Qualität erhältlich und dasselbe gilt für jene Gehölze, die als bewurzelte Pflanzen eingebracht werden müssen. Selbst die als Steckhölzer und als ausschlagfähige Äste einzubauenden Weiden können in natürlichen Beständen gewonnen werden.

Im Abschnitt zwischen *Airolo* und *Biasca* kommen folgende *Weidenarten* für ingenieurbioologische Verbauungen in Betracht:

- Salix purpurea ssp. lambertiana* (Purpurweide),
- Salix purpurea ssp. purpurea* (Steinweide),
- Salix nigricans* (Schwarzweide),
- Salix alba* (Silberweide),
- Salix elaeagnos* (Grauweide).

Ab *Biasca* noch zusätzlich

- Salix triandra* (Hanfweide),



Bild 1. Kanalisierter Flussabschnitt im Raume von Airolo

Salix daphnoides (Reifweide) und
Populus nigra (Schwarzpappel).

Geeignete Bauweisen

Angewandter Methoden und Vorschläge für weitere Massnahmen

RAUM AIROLO. Unterhalt der Wehranlage des Kraftwerkes wurde das Flussgerinne bedauerlicherweise auf rund 1 km Länge durch die Verlegung von Steinen in Zementmörtel und glatte senkrechte Ufermauern kanalisiert. Eine echte ingenieurbologische Verbauung ist in diesem Bereich nicht mehr möglich, doch kann die derzeit beraste Böschung oberhalb des Steingerinnes mit Sträuchern oder Weiden-Steckhölzern bepflanzt werden. Damit würde wenigstens der Gesamteindruck erheblich verbessert. (Bild 1). Dass überdies die gesamte Fläche unter den Zubringerbrücken nach Fertigstellung der Arbeiten für eine Bepflanzung vorgesehen ist, darf wohl angenommen werden.

KÜNFTIGE AREA DI SERVIZIO BEI PONTE SORT. In diesem Bereich sollten das noch weitgehend natürliche Flussbett und der höchstegelegene, noch erhaltene Auwald des Tessintales möglichst unangetastet bleiben. Eine allenfalls erforderliche, über das heutige Ausmass hinausgehende Sicherung des rechten Ufers wäre einfach durch Vorlegen der aus dem Flussbett herangezogenen Steine möglich.

BEI VARENZO. Das Gerinne des *Riascio-Baches* sollte in seinem Verlauf zwischen dem Geschiebeablagerungsplatz und der Unterführung unter der Nationalstrasse beidseitig mindestens je 10 Meter breit mit Gehölzen bepflanzt werden. Für diese Bepflanzung kommen Steckhölzer von *Salix purpurea* (Purpurweide), *Salix nigricans* (Schwarzweide) und bewurzelte Pflanzen von

Betula pendula (Sandbirke),
Fraxinus excelsior (gemeine Esche),
Prunus padus (Traubenkirsche),
Sorbus aria (Mehlbeere),
Sorbus aucuparia (Eberesche),
Salix caprea (Salweide) und
Sambucus racemosa (Traubenholunder) in Betracht.

Dasselbe gilt für den Abschlussdamm des Ablagerungsplatzes.



Bild 2. Aufwendige Trocken-Blockmauerung bei Rodi-Fiesso. Erschwerte Bepflanzungsmöglichkeiten durch Ausspülen des Feinmaterials aus den Fugen

Bild 3. Aufwendige und schöne, aber schwer bepflanzbare Trocken-blockmauer in Rodi-Fiesso. Hinten Trockenpflasterung, die leichter bepflanzbar ist



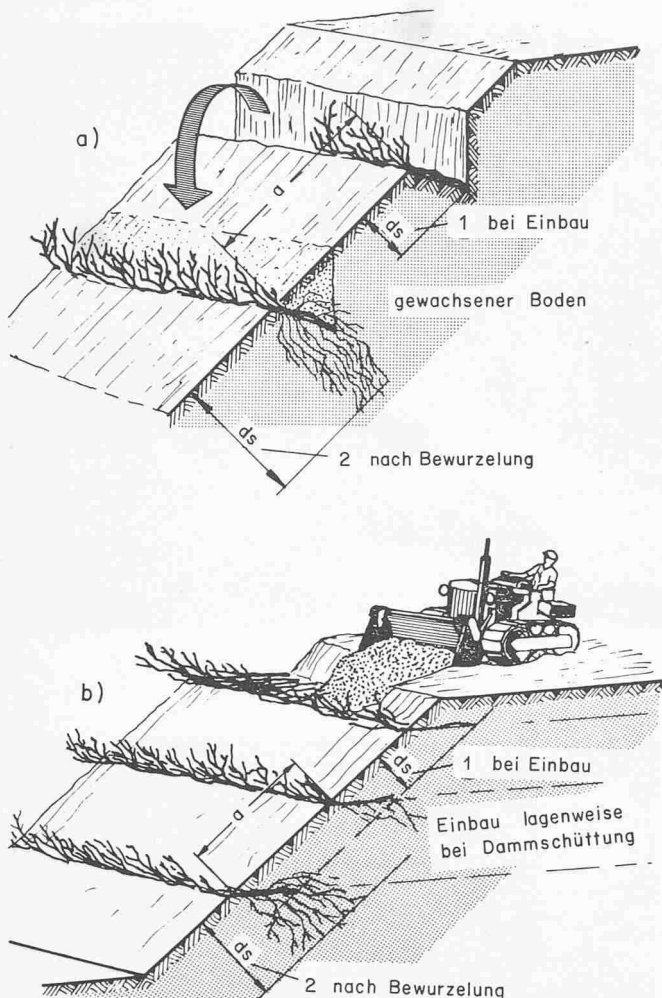


Bild 4. Buschlagenbau. Schema. a) in Anschnitten, b) in Schüttungen



Bild 5. Buschlagenbau während der Schüttung

RAUM RODI-FIESSO. Die Ufer wurden hier an der Innenseite der Krümmung in einer überdimensionierten Trockenschichtung aus behauenen Blöcken gesichert. Diese in sechs mächtigen Stufen errichtete Blockmauer wurde offensichtlich der viel älteren, am Prallufer vorhandenen nachgebildet. Obwohl an sich handwerklich gut gearbeitet, fällt doch auf, dass diese aufwendige Bauweise auf Dauer frei von jedem Bewuchs bleibt (Bild 2). Die Ursache liegt in der Lagerung der Fugen (horizontal oder vertikal und parallel

oder im rechten Winkel zum Stromstrich), wodurch stets alles anfallende Feinmaterial wieder ausgespült wird. Eine gewöhnliche Pflasterung aus grossen Steinen, wie sie etwa im Anschluss an die genannte Blockmauer am linken Ufer errichtet wurde, hätte diesen nachteiligen Effekt vermieden und wäre zweifellos auch erheblich billiger (Bild 3).

Bepflanzungsmöglichkeit. Eine erfolgreiche Bepflanzung der Blockmauer ist nur dann möglich, wenn zuvor die weitere Auswaschung von Feinmaterial aus den Fugen verhindert wird. Dies könnte durch Verfüllen der Fugen mit vegetationsfähigem Feinmaterial und Abdecken derselben mit Streifen aus Bauvlies geschehen. Auch könnten die Pflanzen in Taschen aus Bauvlies (*Containerpflanzen*) versetzt werden. Mit Weiden-Steckhölzern könnte man die Bauvlies-Streifen am Boden befestigen. In Betracht kommen als *Steckhölzer* insbesondere

Salix purpurea ssp. lambertiana (Purpurweide),
Salix nigricans (Schwarzweide),
Salix elaeagnos (Grauweide) und
Salix alba (Silberweide);

als bewurzelte Pflanzen

Prunus padus (Traubenkirsche),
Salix caprea (Salweide),
Fraxinus excelsior (gemeine Esche),
Sambucus nigra und racemosa (schwarzer und Traubenholunder)
Ligustrum vulgare (Rainweide, Liguster).

WASSERFALL UNTERHALB CHIGGIOGNA. Da ich das Projekt nicht kenne und daher nicht weiss, mit welchen Mitteln die angeschnittene Böschung zu beiden Seiten unterhalb des Wasserfalles gesichert werden soll, kann ich hier nur feststellen, dass die schönste und billigste Lösung eine *Ausrundung der Anschnittkanten* und eine *Abflachung der Anschnittböschungen mit sofortiger Bepflanzung* wäre. Die *Bacheinleitung* selbst dürfte wohl mit Bruchstein in Zementmörtel vorgesehen sein.

Bruchstein-Pflasterungen. Diese bereits an mehreren Stellen vorwiegend zur Ufersicherung angewandte Methode fügt sich gut in die Landschaft ein. Weil in der Regel auch bereits die darüberliegenden Erdböschungen mit Rasen besät wurden, ist wohl eine Bepflanzung bzw. ein Besatz mit Steckhölzern dieser Trockenpflasterungen vorgesehen. In Betracht kommen für diese nachträglichen Bepflanzungen die oben schon genannten Gehölzarten. Die beste Jahreszeit für diese Arbeiten ist das Winterhalbjahr.

Mögliche ingenieurblogische Bauweisen

Hier sollen insbesondere die Erfahrungen von anderen alpinen Autobahn-Bauten zur Information über die Möglichkeiten mit ingenieurblogischen Verbauungen dienen. Im übrigen sei nochmals auf die diesbezügliche Fachliteratur verwiesen, vor allem auf *Schiechl*, 1973, und *Schlüter*, 1971.

Sicherung der Aussenböschung von Deponien. Zur Vermeidung von Erosion und von Setzungsrisse in den Aussenböschungen von Materialdeponien eignet sich am besten der *Einbau von Heckenbuschlagen* während des Schüttvorganges. Dabei legt man jeweils 2 m lange Äste ausschlagfähiger Holzarten (*Salix purpurea* und *nigricans*, ab *Biasca* noch *Salix alba*, *triandra* und *daphnoides* und *Populus nigra*, alle aus natürlichen Beständen zu gewinnen) auf das nach aussen mit mindestens 10 Grad ansteigende Planum, so dass die Äste etwas über den Aussenrand desselben ragen. Im Abstand von 1 m verlegt man zudem bewurzelte Pflanzen in gleicher Weise. In Betracht kommen hierfür folgende Pflanzenarten:

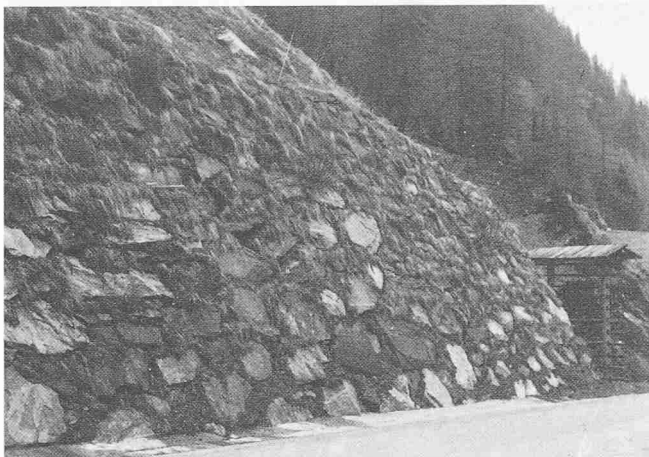


Bild 6 und 7. Bepflanzte und beraste Trocken-Blockschichtung zur Abstützung einer durchnässten Steilböschung. 5 Jahre alt

Prunus padus (Traubenkirsche),
Fraxinus excelsior (gemeine Esche),
Salix caprea (Salweide),
Sorbus aucuparia (Eberesche),
Sambucus nigra und *racemosa* (schwarzer und Traubenholunder),
Ligustrum vulgare (Rainweide, Liguster);

ab Faïdo zusätzlich:

Alnus glutinosa ssp. barbata (Schwarzerle),
Ailanthus glandulosa (Götterbaum),
Robinia pseudacacia (falsche Akazie, Robinie),
Hippophae rhamnoides (Sanddorn),
Cornus mas (Kornelkirsche),
Cornus sanguinea (gemeiner Hartriegel),
Crataegus monogyna (Weissdorn).

Die Äste und Pflanzen beschützt man in der üblichen Weise und baut mit Verteilungs- und Verdichtungsmaschinen die weitere Schüttung bis zur nächsten Heckenbuschlage auf (Bilder 4, 5). Das Schüttmaterial muss im Bereich der eingelegten Äste und Pflanzen weder mit guter Erde vermischt noch bewässert werden.

Die Heckenbuschlagen verlegt man in schrägen Abständen von 2 bis 3 Metern.

Um den Anwuchs der Äste und Pflanzen zu sichern, muss die Schüttung während der winterlichen Vegetationsruhezeit, also in unbelaubtem Zustand, vorgenommen werden. Wenn dies nicht möglich ist, können Heckenbuschlagen auch nach vollendeter Schüttung eingebaut werden. Doch dann ist es nicht möglich, die Äste tiefer als etwa 0,5 m einzubauen und die Kosten für den Buschlagenbau sind höher als beim Einlegen während der Schüttung.

Die Böschungsoberfläche zwischen den einzelnen Heckenbuschlagen sichert man am besten mit Rasensaat.

Böschungssicherungen

Alle Böschungen sichert man zunächst am raschesten durch *Rasensaat*. Die hierzu benützten Verfahren und Materialmengen sowie die Samenmischungen hängen weitgehend von den ökologischen Verhältnissen, aber auch vom Ziel der Berasung ab (Schiechl, 1973, Seiten 149–156).

Häufig wird man nach erfolgter Berasung Gehölze pflanzen. Dies ist in der Regel bereits im darauffolgenden Jahr möglich. Auf Steilböschungen und insbesondere felsigen Böschungen, die schwer bepflanzbar sind, empfiehlt sich die Schaffung eines Gehölzwuchses durch Anwendung der *Nass-Saat zugleich mit der Rasensaat*, indem man der Rasenmischung entsprechende Mengen an Gehölzsamen beigt.

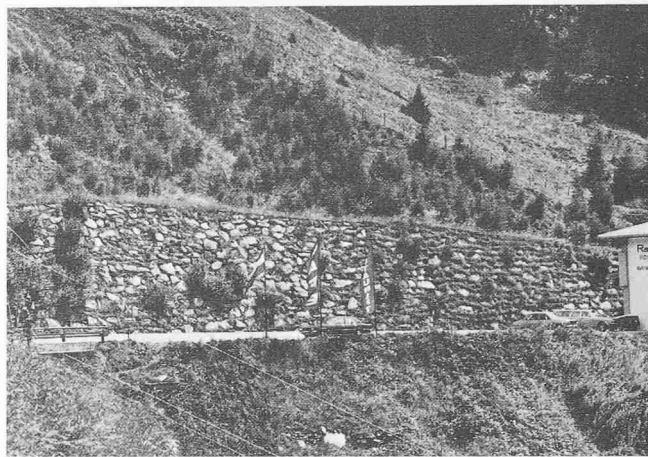


Bild 8. Abstützung einer durchnässten Strassenböschung mit einer Blockschichtung, mit Mulchsaat begrünt. 1 Jahr alt

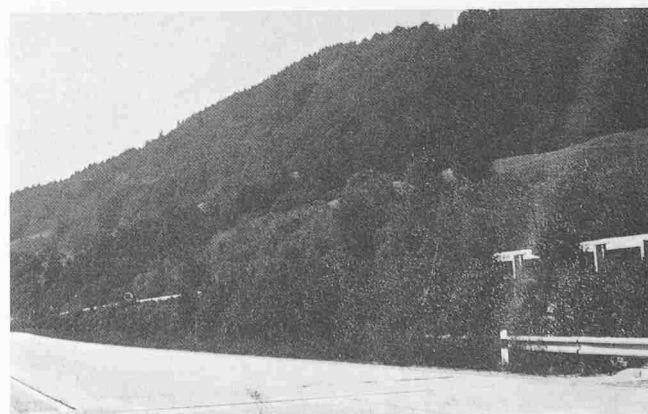


Bild 9 und 10. Blockschichtung zwischen zwei gestaffelten Fahrbahnen, durch Berasung, Steckhölzer und Bepflanzung begrünt. Während des Baues (oben) und 4 Jahre alt (unten)



Bild 11. Gabions, mit Ästen ausschlagfähiger Holzarten bestückt. 7 Jahre alt. Im Winter (links) und während der Vegetationszeit (rechts)

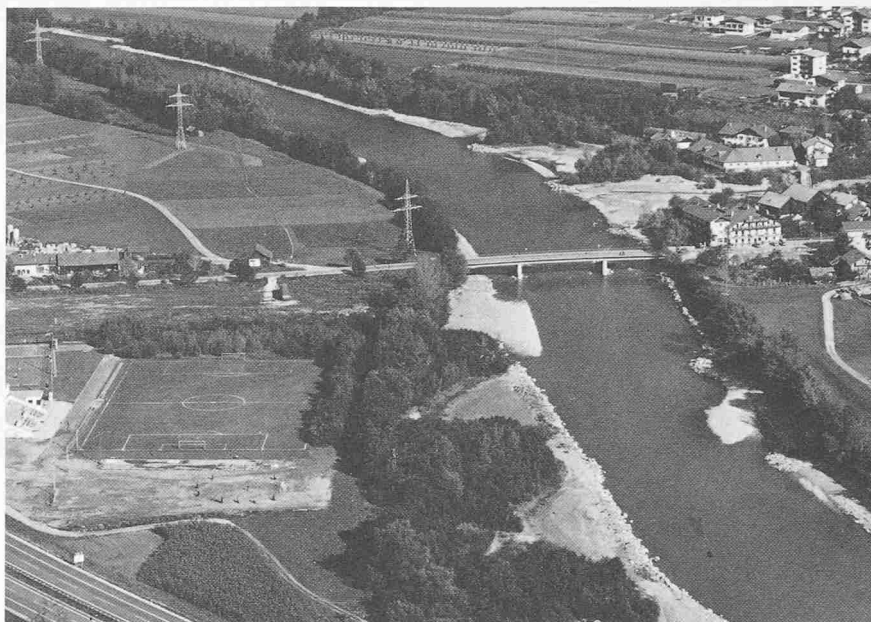


Bild 12 (links). Durch Einlegen lebender Weidenäste begrünte Kraierwand aus Beton-Fertigteilen. 2 Jahre alt

Bild 13 (unten). Blockwurf zur Ufersicherung, hier richtig flach geschüttet. Vorne nicht bepflanzt, hinten bepflanzt. 9 Jahre alt



Bild 14. Durch die Verbauung mit Buhnen (Querwerke aus Bruchsteinen) entstehen im Fluss wertvolle Hochwasser-Retentionsräume, Verlandungsbecken, Laich- und Brutplätze. Die Buhnen sind überdies beliebte Erholungsplätze sowie Ausgangs- und Zielpunkte für den Wassersport



Wo Berasungen zur Sicherung der Böschungen nicht ausreichen, steht eine Fülle weiterer ingenieurbio-logischer Bauweisen zur Verfügung, die in diesem Rahmen nicht alle beschrieben werden können.

Sicherung niedriger Steilböschungen und von Ufern. Hierfür bewährten sich vor allem *kombinierte Verfahren*, bei denen harte und lebende Baustoffe zusammen verwendet werden. Am vielseitigsten anwendbar sind im Tessin mit Hilfe des überall vorhandenen, hervorragend geeigneten Steinmaterials die verschiedenen Formen von *Trockenmauern*, *Stein- und Blockschichtungen*. Im ganzen Tessin sind ja wahre Kunstwerke an alten Trockenmauerungen zu sehen. Wenngleich heute sicher nicht mehr überall diese ehemals blühende Kunst des Steinmauerns beherrscht wird, so stehen uns doch mit Hilfe der heutigen Baumaschinen noch bessere Möglichkeiten zur Verfügung, um standfeste Mauern aus schweren Blöcken zu errichten.

Zur Kombination mit lebenden Pflanzen verfällt man während des Baues die Fugen zwischen den einzelnen Steinen mit Feinmaterial oder mit Rasenziegeln und bringt entweder während der Mauerung (nur im Winterzustand möglich) oder nach Fertigstellung der Steinschichtung Steckhölzer, ganze Äste ausschlagfähiger Holzarten oder bewurzelte Gehölzpflanzen (am besten Containerpflanzen) ein (Bilder 6–10). Die Fugen können auch mit Gehölzsamen besät werden.

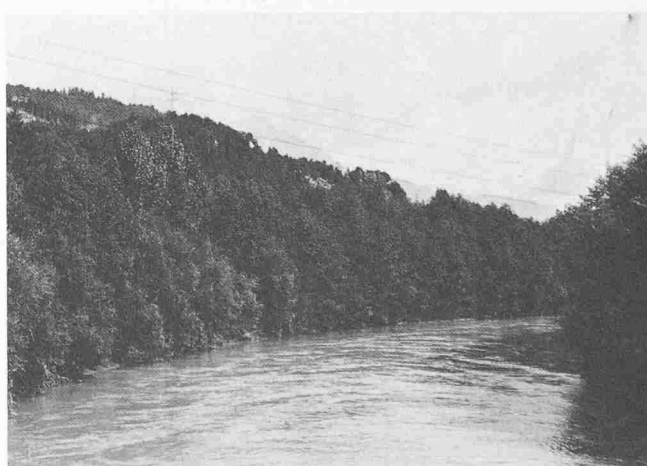
Auch *Gabions*, also von *Drahtgittern umhüllte Steinschichtungen*, die man aus kleineren Steinen errichtet, können durch Einlegen lebender Pflanzen und ausschlagfähiger Äste dauerhafter und stabiler gemacht werden (Bild 11). Dasselbe gilt auch für *Krainerwände aus Betonfertigteilen* (Bild 12). Sie stellen jedoch immer eine *Notlösung* dar und können nur als Alternative zu Betonmauern empfohlen werden.

Steinflaster, Steinschichtungen und Blockwürfe sind auch als *Uferschutz* hervorragend geeignet. Oberhalb des sommerlichen Mittelwasserspiegels sollten sie in jedem Fall bepflanzt werden (Bild 13).

Zur Verhinderung einer Verlagerung einzelner Steine können diese miteinander durch Seile verbunden und die Seile allenfalls auch an Piloten befestigt werden. Mit diesem Verfahren können auch kleinere Steine verbaut werden.

In Bereichen, wo Geschiebeablagerungen im Flussbett auf über-grosse Profilbreite hindeuten, sind kurze Quersporne aus trocken verlegten Bruchsteinen ein hervorragendes Mit-

Bild 15. Ufersicherung durch Stecken von Weiden- und Pappelsteckhölzern. Oben während des Verpflanzens, unten 15 Jahre alt



tel, um unerwünschtes Mäandrieren des Flusses zu verhindern und gleichzeitig die Ufer zu sichern. Die hierdurch entstehenden Buhnen verlanden sehr bald, bilden gute Hochwasser-Retentionsbecken und sind sehr wertvolle Fischeinstände und Lebensräume für uferbewohnende Vögel (Bild 14).

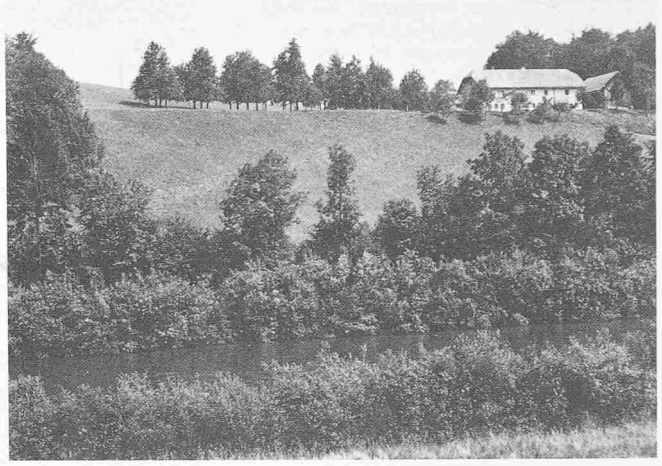
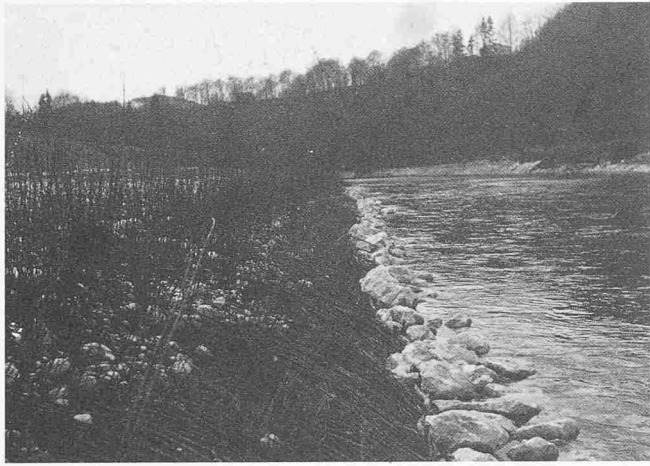


Bild 16. Ufersicherung durch Spreitlagenbau. Links: im Winter nach 1 Jahr; rechts: 9 Jahre alt

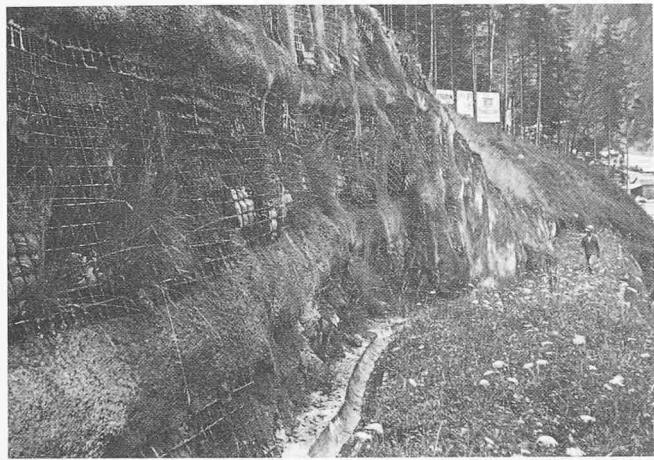


Bild 17. Durch Felsankerung und Torkretierung gesicherte Felsböschung, teilweise mit Gehölzpflanzen in Bauvlies-Taschen begrünt. Initialstadium im ersten Jahr

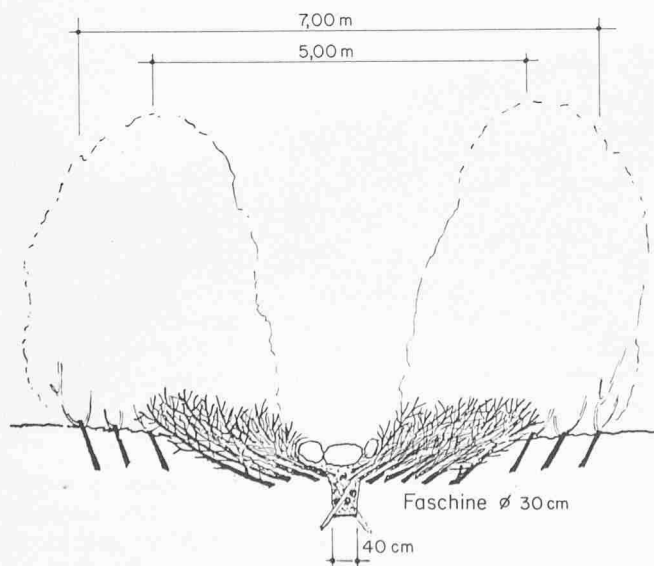


Bild 18. Lebende Tropfassen zur Ableitung des Wassers aus Brückenbauwerken

Die Uferböschungen oberhalb des sommerlichen Mittelwasserspiegels kann man mit den verschiedensten ingenieurb biologischen Bauweisen sichern. Am Tessin wird man wegen der relativ hohen Fliessgeschwindigkeit bzw. Schleppkraft sowohl *Berasungen* als auch *Bebuschung* durch *Versetzen von Steckhölzern* oder *Spreitlagenbau* anwenden können. Bei *Berasungen* empfiehlt sich allerdings nicht die Einsaat, sondern die *Verlegung fertiger Rasenziegel*, die man am besten noch nachträglich mit Maschendrahtgittern gegen Beschädigungen durch das Hochwasser im ersten Jahr absichert. Die *Steckhölzer* können nicht nur in Steinpflasterungen, sondern ebenso wirkungsvoll in ungesicherte Erd- und Schotterböschungen versetzt werden. Dazu bringt man mindestens 40 cm lange und mind. 1 cm dicke Steckhölzer der oben genannten Weiden- und Pappelarten ganz in die Böschung ein, und zwar etwa im rechten Winkel zur Böschungsneigung. Die Steckhölzer sollen in einer Dichte von ca. zwei bis fünf Stück je Quadratmeter versetzt werden, wodurch sie im darauffolgenden Frühling rasch austreiben und bald einen geschlossenen Strauchbewuchs bilden (Bild 15). Der *Spreitlagenbau* ist die stabilste Ufersicherung mit lebenden Baustoffen, erfordert aber auch die grössten Materialmengen. Man legt dabei die Äste ausschlagfähiger Gehölze im Winterzustand auf die Böschungsoberfläche (mindestens 20 Äste je Laufmeter), befestigt sie mit Draht und Pflöcken am Boden und beschüttet sie dann leicht mit vegetationsfähigem Boden. Das untere, dicke Ende der Äste muss in den Boden verlegt und gegen Auswaschung gesichert werden (z.B. durch Reisigfaschinen oder Steinwurf). Spreitlagen wachsen schon im ersten Jahr zu einem dichten Buschwerk heran und bilden einen äusserst wirkungsvollen Uferschutz (Bild 16).

Torkretierungsflächen bzw. Verankerungszonen an Felsböschungen. Die Hässlichkeit und Aufdringlichkeit dieser leider oftmals notwendigen Sicherungen kann unter günstigen Umständen mit gutem Erfolg mit Hilfe einer Bepflanzung gemildert werden, sofern man Teilabschnitte frei von einer Betonverkleidung lässt. Hinter die offenliegenden Bewehrungsgitter kann bewuchsfähiges Material eingebracht werden, das man bepflanzt oder besät. Eine gute Methode ist auch der Einbau von Pflanzen in erdgefüllten Taschen aus Bauvlies (Bild 17). Für derartige Kombinationen wird man tunlichst Kletterpflanzen benützen, die einen geringen Erdkörper brauchen und die sich nach allen Seiten hin auszubreiten vermögen. Am besten eignen sich die *mit Haftorganen ausgestatteten Kletterpflanzen*, die hierdurch auch auf ganz glatten Betonwänden ausreichenden Halt finden (Efeu, Veitschie usw.).

Sicherung unter Brückenbauwerken. Unter zahlreichen Autobahnbrücken kam es durch das z.T. aus grosser Höhe herabstürzende *Tropfwasser* aus der Strassenentwässerung zu schweren *Erosionserscheinungen*. Weil Tropftassen aus Stein oder Beton mit den entsprechenden Ableitungsrinnen bei der Vielzahl von Abläufen sehr aufwendig sind, baute man in *Tirol Tropftassen aus lebendem Astwerk* zum Auffangen des Tropfwassers und *lebende Filterdränagen* zur Ableitung bis zum Vorfluter (Bild 18).

Wo Auftausalze gestreut werden, ist man in der Verwendung lebender Gehölze auf *salzresistente Arten* beschränkt (z.B. *Schneebeere, Ölweide, Erbsenstrauch, Sanddorn, Alpenjohannisbeere, Apfelrose*).

Eine weitere Einschränkung in der Anwendung dieser sehr ökonomischen Bauweise kann eventuell durch *Lichtmangel* unter niedrigen Brückenbauwerken gegeben sein.

Gedanken zur Realisierung der gemachten Vorschläge

Zunächst muss die Forderung wiederholt werden, schon im *Projektierungsstadium* mit erfahrenen Ingenieurbiologen zusammenzuarbeiten. Wo dies nicht erfolgte oder wo erst während der Bauarbeiten über die Anwendung ingenieurbio-logischer Bauweisen entschieden werden kann, hat sich die *laufende Mitarbeit eines Ingenieurbiologen oder Landschaftspflegers* bestens bewährt. Die wirtschaftlichste Lösung ist hierbei die Übertragung der Bauüberwachung für alle ingenieurbio-logischen Arbeiten an einen unabhängigen Fachmann und zwar für den ganzen in Bau befindlichen Abschnitt. Im Bedarfsfalle können solche Fachleute aus der Schweiz oder Italien namhaft gemacht werden.

Literaturverzeichnis

Anselm R. (1976): «Analyse der Ausbauverfahren, Schäden und Unterhaltungskosten von Gewässern». Mitt.Ist.f.Wasserwirtsch, TU Hannover, Heft 36, S. 11–190.

Begemann W. (1971): «Umweltschutz durch Gewässerpflege». DRW-Verlag Stuttgart, 215 Seiten.

Darmer G. (1962): «Der Ertragssteigerungsversuch als Kriterium der ökologischen Wirkung künstlicher Windhindernisse». Zeitschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung. 21, S. 308–322.

DIN 18915 bis 18920 *Landschaftsbau* (1972). Berlin.

DIN 19657 (1965). *Sicherungsarbeiten an Gewässern, Deichen und Küstendünen*. Berlin.

Kirwald E. (1964): «Gewässerpflege». Bayrischer Landwirtschafts-verlag München–Wien–Basel, 167 Seiten.

Kleine H.D. (1963): «Naturnaher Wasserbau bei Bächen und kleinen Flüssen». Natur und Landschaft. 10.38.Jgg. S. 145–151.

Kleine H.D. (1969): «Die Röhrichtwalze als Uferschutz». Wasser und Boden. 10, S. 288–289.

Mazek-Fiala (1967): «10 Jahre Bodenschutz in Niederösterreich. Die Bodenschutzmassnahmen und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen». Österr.Agrarverlag Wien. 119 Seiten.

Papa G. (1977): «Il dramma dell'autostrada del paesaggio fluviale della Riviera». Il nostro paese. No. 115. S. 28–42.

Prückner R. (1965): «Die Technik der Lebendverbauung». Österr. Agrarverlag Wien, 200 Seiten.

Schaarschmidt G. (1971). «Der Einfluss von Bauweisen des Lebendverbaues auf die Standsicherheit von Böschungen». Mitt.f.Inst. f. Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik der TH Aachen, Heft 49, 90 Seiten.

Schaarschmidt G. (1974): «Zur ingenieurbio-logischen Sicherung von Strassenböschungen durch Bewuchs und Lebendverbau». Diss.TH Aachen, 166 Seiten.

Schiechl H.M. (1973): «Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Grundlagen, lebende Baustoffe, Methoden». Verlag Georg D.W. Callway, München, 244 Seiten.

Schiechl H.M. (1978): «Bio Engineering». In Druck.

Schlüter U. (1971): «Lebendbau. Ingenieurbio-logische Bauweisen und lebende Baustoffe». Georg D.W. Callway-Verlag München, 98 Seiten.

Wegleitung über Massnahmen zur Erhaltung der Fischerei bei Gewässerkorrekturen (1969). Eidg.Dept.des Inneren, Bern.

Wegleitung über die für den Natur- und Heimatschutz zu treffenden Massnahmen bei Gewässerkorrekturen (1970). Eidg.Dept.des Inneren, Bern.

Lebendverbauung an Gewässern (1973). Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, Bern.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. H.M. Schiechl, Konsulent für Ingenieurbio-logie, Wurmbachweg 1, A-6020 Innsbruck

Das «Shot-peening»-Verfahren und die Anforderungen an die Anlagetechnik

Von J. Horowitz, Zürich

Beim «Shot-peening»-Verfahren werden grosse Quantitäten kleiner, kugelförmiger Strahlmittelkörner mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche der zu behandelnden Werkstücke geschleudert. In den obersten Materialschichten wird durch die Hämmerwirkung der aufprallenden Schrotkugeln nicht nur eine *Deformation der Korngrenzen* hervorgerufen, sondern es werden auch *Druckspannungen* erzeugt. Der Zweck der «Shot-peening»-Behandlung ist die *Erhöhung der Dauerstandfestigkeit* und somit der *Lebensdauer von Bauelementen* und Bestandteilen, die aus *hochwertigen Materialien* hergestellt und vor allem auf *Wechselspannungen stark beansprucht* sind. Die in solchen Werkstücken später im Betrieb unter Last auftretenden Zug-, Schub- oder Torsionskräfte müssen dann zuerst die durch das «Shot-peening» erzeugten *Druck-Vorspannungen* überwinden, bevor es zum Bruch kommen kann. Durch diesen Mechanismus wird die angestrebte Erhöhung der Lebensdauer erreicht. Ueber die Grundlagen und die zugehörigen Begriffe dieses Verfahrens ist bereits an dieser Stelle berichtet worden [1].

Das «Shot-peening» stellt ein Fein-Bearbeitungs-Verfahren dar. Es handelt sich hier um ein hochspezialisiertes

Teilgebiet der sogenannten «Strahltechnik». In diesem Zusammenhang muss besonders darauf hingewiesen werden, dass die angestrebte Erhöhung der Dauerstandfestigkeit nur erreicht werden kann, wenn nicht nur die Strahlintensität, sondern auch sämtliche übrigen Parameter peinlich genau eingehalten werden. Das Problem liegt in vielen Fällen zunächst in der Ermittlung und Festlegung der bei der Behandlung anzuwendenden Werte. Für die Durchführung des Verfahrens im Betrieb ergeben sich sodann aus dieser Notwendigkeit und aus den Eigentümlichkeiten der «Shot-peening»-Behandlung ganz besondere Anforderungen an die zu verwendenden Anlagen. Das «Shot-peening» von Werkstücken lässt sich deshalb in Strahlanlagen wie diese ganz allgemein für die verschiedenen Zwecke gebaut werden, nicht durchführen. Die angestrebte grosse Verlängerung der Dauerstandfestigkeit kann nur erreicht werden, wenn die festgelegten Parameter strikt eingehalten, aber auch die für das Verfahren eigentümlichen Betriebsbedingungen anlagentechnisch mit Sicherheit gewährleistet werden können. Es sind deshalb hierfür eigens für diesen Zweck ausgerüstete und den Anforderungen dieses Verfahrens genau angepasste Aus-