

# Ingenieurbiologie

Autor(en): **Heinimann, Hans Rudolf / Oplatka, Matthias**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **88 (1996)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940347>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Ingenieurbiologie

## Perspektiven einer angewandten Technik

Hans Rudolf Heinimann, Matthias Oplatka

### 1. Einleitung

Die Ingenieurbiologie ist ein Wissensgebiet im Bereich des Erosionsschutzes und der Geländestabilisierungen, das sich vor allem in den letzten Jahrzehnten etabliert hat. Sie wird in breiten Kreisen als ökologisch verträgliche Technik anerkannt. Sie bekundet hingegen Mühe, von anderen Ingenieurdisziplinen als gleichwertige wissenschaftliche Disziplin anerkannt zu werden. Sie ist insbesondere mit dem Mangel behaftet, dass das für eine wissenschaftliche Disziplin nötige Fundament fehlt. *Schiechl* (1973) war einer der ersten, der den Stand des Wissens auf dem Gebiet der Ingenieurbiologie systematisch aufgearbeitet und dargestellt hat. Der heutige Stand des Wissens im deutschsprachigen Raum fusst denn auch auf den Arbeiten von *Schiechl* und wurde in methodischer Hinsicht nicht grundsätzlich weiterentwickelt. Ganz anders ist die Situation im englischsprachigen Raum, wo beispielsweise *Morgan/Rickson* (1995) das Auseinanderklaffen zwischen Handwerk und wissenschaftlich fundiertem Verständnis bemängeln. Sie stellen jedoch mögliche Lösungsansätze dar und zeigen auf, dass noch Entwicklungsarbeit nötig ist, um die Ingenieurbiologie auf den Stand anderer Ingenieurdisziplinen zu bringen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, in welche Richtung sich die Ingenieurbiologie als Disziplin weiterentwickeln soll. Der vorliegende Beitrag versucht, sie als Bautechnik in das System der technischen Wissenschaften einzuordnen, die Abgrenzung zwischen Technik und Ökologie zu klären und den Handlungsbedarf für eine zukünftige Weiterentwicklung darzustellen.

Die Verfasser lassen sich von folgenden Gedanken lenken: Aus der Entwicklung verwandter Ingenieurdisziplinen soll durch Analogie die zukünftige Entwicklung der Ingenieurbiologie dargestellt werden. Dabei geht es darum, den Blick nach aussen zu öffnen und über die Grenzen zu schauen. Der Beitrag kann nicht darauf abzielen, fertige Konzepte und Lösungen zu präsentieren. Vielmehr soll er Anstoss zu einer breiten Diskussion geben, die als Motor für die Weiterentwicklung der Ingenieurbiologie mit ihrem Umfeld als Ganzes dienen soll.

### 2. Ingenieurbiologie – eine Technik?

#### 2.1 Ingenieurbiologie – eine neue Idee?

Die Idee, Pflanzen für technische Zwecke zu verwenden, ist nicht neu. Früher passte man die Bautechniken gezwungenermassen den vorhandenen und von Menschenhand bewegbaren Materialien an. Dies führte im Verlaufe der Zeit zu einer Vielzahl verschiedener – auch ingenieurbiologischer – Verbauungsmethoden. Das Aufkommen von Maschinen und die Möglichkeit, grosse Mengen an Material zu transportieren und schwere Elemente wie beispielsweise Blöcke zu bewegen, erlaubte es später, mit einem Minimum an Aufwand neue, grössere Verbauungen zu erstellen, dies jedoch meist ohne die Verwendung von Pflanzen. Die Technik der Ingenieurbiologie wurde in Mitteleuropa erst in den 50er Jahren dieses Jahrhunderts wieder aufgegriffen, erstaunlicherweise in einer Zeit, in der man eine Landschaft zu gestalten suchte, welche vor allem von harten Bauweisen geprägt wurde. Es herrschte damals der

Gedanke vor, die Natur möglichst beherrschen zu wollen. Die Zeit war noch nicht reif für Techniken wie die der Ingenieurbiologie.

Erst in den letzten zwei Jahrzehnten wurde die Ingenieurbiologie dank vielen gelungenen Bauwerken und Publikationen (z. B. *Schiechl*, 1973) als Technik wieder akzeptiert. Sie wird heute in vielen Normen aufgeführt, es werden Vorlesungen und Weiterbildungen zu diesem Thema angeboten, und in Wien wurde ein erster Lehrstuhl für Ingenieurbiologie errichtet. Zurzeit erfährt die Ingenieurbiologie eine überdurchschnittliche Akzeptanz, da sie oft mit ökologisch günstigen Baumethoden in Zusammenhang gebracht wird. Die Ingenieurbiologie wird vor allem als Bautechnik definiert, welche die Verwendung von Pflanzen zusammen mit künstlichen und natürlichen Materialien zur Lösung von Erosions- und Instabilitätsproblemen einsetzt (Bild 1). Dies widerspiegelt sich auch im Grossteil der verfügbaren Literatur. Diese rein technische Sichtweise ist aber heutzutage zunehmender Kritik ausgesetzt (*Leuzinger/Lachat*, 1995).

#### 2.2 Entwicklung technischer Wissenschaften

Die Entwicklung technischer Disziplinen lässt sich nach einem einheitlichen Grundmuster darstellen (Bild 2). Am Anfang steht praktisch immer intuitive Erfahrung, oft nur unter dem Blickwinkel eines einzigen Aspektes betrachtet. Im Laufe der Zeit findet eine Entwicklung von der Intuition über empirische Ansätze hin zum Verständnis der Prozes-

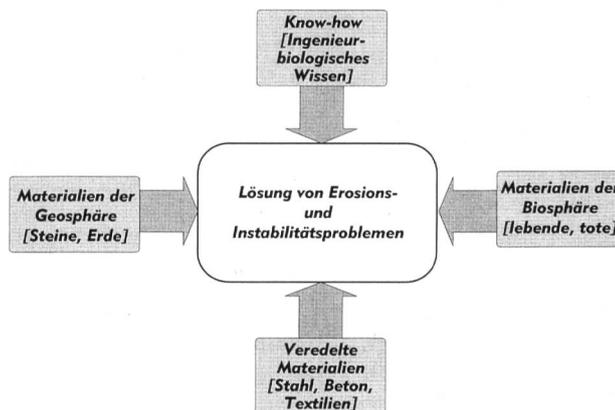


Bild 1. Aufgaben der Ingenieurbiologie. Ingenieurbiologie löst Erosions- und Instabilitätsprobleme mit dem gezielten Einsatz von Pflanzen und weiterer geeigneter Materialien.

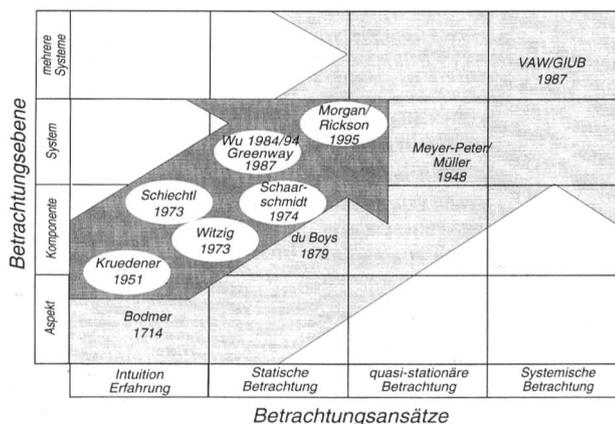


Bild 2. Entwicklung wissenschaftlicher Disziplinen, dargestellt anhand der Beispiele «Geschiebetransport» und «Ingenieurbiologie». Jede Fachdisziplin hat ihre Wurzeln in der Intuition und Erfahrung. Sie entwickelt sich systematisch weiter und erreicht ein Stadium «systematischer Betrachtung», das es erlaubt, das Verhalten ganzer Systeme zu erklären und vorherzusagen.

se sowie der quantitativen Beschreibung ihrer Wirkungen statt. Gleichzeitig ist eine Entwicklung von der Erfassung eines einzelnen Aspektes bis hin zur Betrachtung von mehreren Systemen zu beobachten. Diese Entwicklungen erlauben es, sich ausgehend vom «trial and error»-Ansatz hin zu Prozessmodellen zu bewegen, welche Voraussagen vor dem Eintreten von Ereignissen erlauben. Sie ermöglichen auch, nicht nur einzelne Aspekte, sondern mehrere Systeme und deren Interaktionen untereinander zu betrachten.

Ein Beispiel der Wissensentwicklung lässt sich anhand des Geschiebetransportes im Flussbau zeigen. *Bodmer* (1714) plante und führte den Durchstich der Kander bei Spiez nach dem damaligen Wissen und den Erfahrungen aus. Er wurde überrascht, als sich der Fluss unkontrollierbar in die Tiefe einzugraben begann und alles mitriss, was sich ihm in den Weg stellte. Aus diesem Ereignis wurden Lehren gezogen, welche in nachfolgenden Projekten berücksichtigt wurden. Erste empirische Ansätze erlaubte dann die Formel von *du Boys* (1879), mit der der Geschiebetransport lokal bestimmt werden konnte. *Meyer-Peter/Müller* (1948) erweiterten diese und betrachteten grössere Flussabschnitte, für welche sie den Geschiebehaushalt abschätzen konnten. Durch interdisziplinäre Zusammenarbeit und durch das gewonnene Prozessverständnis gelang es in neuester Zeit, anhand verschiedener Szenarien aufzuzeigen, wie sich die Emme bis ins Jahr 2050 weiterentwickeln kann (VAW/GUIB, 1987). Diese prozessbezogene Betrachtung unter Berücksichtigung mehrerer Systeme war im Flussbau in diesem Sinne der letzte grössere Entwicklungsschritt.

### 2.3 Wo steht die Ingenieurbilogie heute?

In Analogie dazu lässt sich die Entwicklung der Ingenieurbilogie einordnen. Die ersten Erkenntnisse beruhten auf Erfahrungen aus Einzelbauwerken. Mit der Zeit wurden solche Verbauungen genauer untersucht, empirische Ansätze erarbeitet und deren Resultate publiziert (*Schiechtl*, 1973, *Witzig*, 1973). Basierend darauf entstanden vor allem im Erdbau erste Arbeiten, welche einzelne Aspekte bis hin zu

Systemen detailliert behandelten, wie beispielsweise *Schaarschmidt* (1974) in seiner Arbeit über Sicherungen von Strassenböschungen mit Hilfe von Vegetation aufzeigte. Andere versuchten das System von ingenieurbilogischen Hangsicherungen zu veranschaulichen und einzelne Komponenten daraus zu modellieren (*Wu*, 1984/1994, *Greenway*, 1987). *Morgan/Rickson* (1995) schliesslich zeigten, wie ingenieurbilogische Bemessungen im Erdbau in heutiger Zeit vorgenommen werden könnten und wo noch Wissenslücken bestehen. Aus Bild 2 geht hervor, dass in der Ingenieurbilogie Prozessmodelle und die Betrachtung mehrerer Systeme fehlen.

Bedenkt man, dass die Ingenieurbilogie im modernen Sinne eine noch recht junge Disziplin ist, so verdienen die in den letzten Jahren in der Praxis erreichten Fortschritte grosse Anerkennung. Es darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich die im vorhergehenden Abschnitt aufgezeigte wissenschaftliche Entwicklung vorwiegend auf den Erdbau beschränkt. Im Wasserbau wurden hingegen in den letzten 20 Jahren in dieser Hinsicht nur wenig Fortschritte gemacht.

Ingenieurbilogie zeichnet sich dadurch aus, dass sie auf einem riesigen Erfahrungsschatz aufbaut. Eine wissenschaftliche Basis, die heute als Grundlage für fundiertes Handeln gefordert wird, ist hingegen erst ansatzweise vorhanden (*Morgan/Rickson*, 1995). Das Handwerk selbst, oft praktiziert und gut bekannt, basiert vorwiegend auf Erfahrung und Empirie. Dies widerspiegelt sich in den Publikationen und den Tagungsberichten, die sich hauptsächlich mit den Themen des Handwerks beschäftigen. Es wäre wünschbar, diese Lücke zu schliessen. Eine verständnisorientierte Basis dürfte auch mithelfen, die Akzeptanz der Ingenieurbilogie als vollwertige Technik zu erhöhen.

Wird der Anspruch auf wissenschaftlich fundiertes Handeln erhoben, so sind folgende Vorbedingungen notwendig: Einerseits müssen Modelle für jene Prozesse entwickelt werden, welche in der Natur stattfinden oder die wir beeinflussen wollen, andererseits sind Methoden und Modelle zu entwickeln, mit denen wir vorausschauend bestimmte Wirkungen analysieren können.



Bild 3, links. Ingenieurbilogische Bautechniken werden im Erd- und Wasserbau zur Lösung von Erosions- und Instabilitätsproblemen verwendet. (Worble BE, Mai 94/ Bild: VAW, M. Oplatka).

Bild 4, rechts. Beim Anblick dieser Verbauung empfinden wir sie als naturnah, obwohl sie nicht nach ökologischen Gesichtspunkten gestaltet wurde. Es sind vorwiegend die verwendeten Materialien, die als natürlich oder künstlich empfunden werden und somit über «Naturnähe» entscheiden. Die ingenieurbilogischen Bautechniken werden deshalb als äusserst naturnahe Lösungen angesehen. (Tanngraben BE, April 92/ Bild: VAW, M. Oplatka).

### 3. Ingenieurbiologie als technisches Handeln

#### 3.1 Werte des technischen Handelns

Menschliches Handeln orientiert sich an gesellschaftlichen Werten, die unsere Zielvorstellungen leiten. Im Bereich des technischen Handelns können diese Grundwerte mit «Funktionsfähigkeit», «Wirtschaftlichkeit», «Umweltverträglichkeit» und «ökologischer Effizienz» umrissen werden (vgl. dazu VDI, 1991). Nachfolgend geht es darum, die Grundwerte technischen Handelns zu diskutieren und auf die Belange der Ingenieurbiologie zu übertragen.

Hauptzweck technischen Handelns ist primär, technische Lösungen zu entwickeln, welche die angestrebten Wirkungen erzielen. Dieser Aspekt wird auch als *Funktionsfähigkeit* bezeichnet und deckt in der Ingenieurbiologie vor allem die Wirkungen Schutz vor Erosion und Schutz vor Geländeinstabilitäten ab.

In einer arbeitsteilig organisierten Gesellschaft spielt die *Wirtschaftlichkeit* technischen Handelns eine entscheidende Rolle. Man versteht darunter das Verhältnis zwischen erzielter Wirkung und eingesetzten Produktionsfaktoren. Die Wirtschaftlichkeit begann für ingenieurbiologische Leistungen ab jenem Moment eine Rolle zu spielen, in dem die Leistungen am freien Markt eingekauft werden mussten. In unserer westlichen Gesellschaft bekamen Aspekte der Wirtschaftlichkeit seit dem Zweiten Weltkrieg enorme Bedeutung. Heute sind sie häufig die Schlüsselgrösse, die darüber bestimmt, ob ein Vorhaben überhaupt realisiert wird.

Die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg war geprägt von einem Fortschrittsoptimismus, der jede technische Errungenschaft als einen weiteren Schritt in eine bessere Welt betrachtete. In den hochindustrialisierten Ländern wurde in den letzten Jahrzehnten jedoch immer deutlicher, dass

Technologie nicht nur die Lösung von Problemen, sondern auch Gefahren mit sich bringt. Die Verletzlichkeit unserer Gesellschaft hat infolge der enormen Akkumulation von menschlich geschaffenen Werten in unserer Landschaft einen äusserst hohen Grad erreicht. Aus dieser Einsicht entstand die Forderung, neben Nutzen- auch *Risikoüberlegungen* mit in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. Seit Anfang der siebziger Jahre wurden Konzepte der Risikobewertung (z.B. Umweltverträglichkeitsprüfung) entwickelt und allmählich in die Praxis umgesetzt. Die ganze Umweltpolitik orientierte sich auch an diesem Risikoansatz, der nach dem Vorsorgeprinzip versucht, Risiken präventiv einzugrenzen.

Mit dem Erdgipfel von Rio im Jahre 1992 wurde das Prinzip der «*Ökoeffizienz*», das man auch als ökologische Qualität bezeichnen könnte, als eine Schlüsselgrösse menschlichen Handelns definiert. Es geht darum, den Verbrauch natürlicher Ressourcen, welche die klassische Ökonomie als freie Güter auffasste, in die Überlegungen miteinzubeziehen. Die Forderung von *Leuzinger/Lachat* (1995), die biologischen Kreisläufe zu respektieren, zielt genau in diese Richtung.

Technische Lehrbücher und auch technische Normen befassen sich vor allem mit der Funktionsfähigkeit, seltener mit Fragen der Wirtschaftlichkeit, neuerdings auch mit Risiken (z. B. Eurocode 1). Dies gilt insbesondere auch für die Ingenieurbiologie, die in Lehrbüchern vor allem hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit dargestellt und abgehandelt wird, während Konzepte und Methoden für die Integration ökologischer Qualität fehlen.

#### 3.2 Neuorientierung des technischen Handelns

Primäres Ziel von technischen Lösungen ist es, die Funktionsfähigkeit sicherzustellen, d. h. die unter bestimmten Bedingungen erstrebte Wirkung herbeiführen zu können. Für viele Probleme des gesamten Ingenieurwesens, auch für



Bild 5, links. In verzweigten Flüssen können die Uferbelastungen lokal wesentlich grösser sein als in kanalisiertem Abschnitt. Für den Uferschutz können ingenieurbiologische Bautechniken deshalb nicht mehr angewandt werden. An ihre Stelle treten «harte» Verbauungsmassnahmen wie Blockwürfe und Buhnen. Dennoch sind gerade derartige Gebiete ökologisch ausgesprochen wertvoll.

(Mastrilser Rheinauen GR, 1995/Bild: *Peter Donatsch*, Maienfeld GR).



Bild 6, Mitte. Das Verständnis von Systemzusammenhängen ist nötig, damit Verbauungen langfristig erfolgreich wirken. Fehlendes Prozessverständnis führte zur Rutschung unterhalb einer Filterschicht. (Meliorationsstrasse Tschierschen GR, 1987/Bild WSL, *W. Gerber*, No. 87-12/36).

Bild 7, rechts. Fehlendes Verständnis für natürliche Prozesse führt manchmal zu unnatürlichen Lösungen. (Emmental BE, Mai 1994/Bild: *VAW, M. Oplatka*).



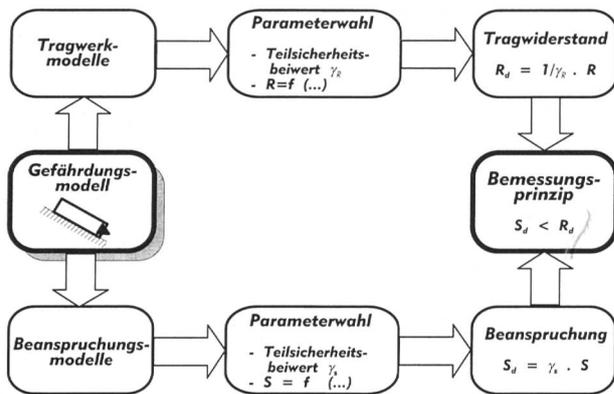


Bild 8. Bemessungskonzept. Die Zuverlässigkeitstheorie findet Eingang in alle Ingenieurdisziplinen. Die Bemessungsphilosophie wird vereinheitlicht (Eurocode 1), indem aufgrund von Gefährdungsanalysen Einwirkungen definiert werden. Die Beanspruchungen und Widerstände werden systematisch in einem Denkmodell integriert.

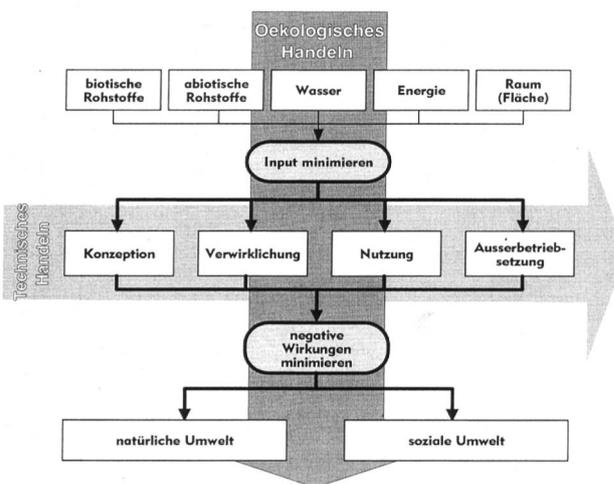


Bild 9. Dimensionen menschlichen Handelns. Das technische Handeln (Konzeption, Verwirklichung, Nutzung, Ausserbetriebsetzung) wurde in den letzten Jahren konsequent weiterentwickelt. Die Dimension «ökologisch verträgliches Handeln», d. h. Minimierung von Input und negativen Wirkungen, stellt eine neue Herausforderung dar, die auch in der Ingenieurbiologie entwickelt werden muss. Das Konzept muss für konkrete Problemstellungen angepasst werden.

die Ingenieurbiologie, kann diese Grundproblematik durch zwei Größen beschrieben werden: Auf der einen Seite steht eine Beanspruchung  $S$  (engl. stress), auf der anderen Seite eine entsprechende Kapazität resp. ein Widerstand  $R$  (engl. resistance). Dieses Vorgehensmodell, als Bemessungskonzept bezeichnet, wurde für Tragwerke entwickelt. Es wird zurzeit auf sämtliche Bereiche des Ingenieurwesens sinngemäss übertragen. Im Rahmen der Vereinheitlichung der technischen Normen liegt dieses Bemessungsmodell auch dem Eurocode 1 «Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke» zugrunde. Ausgangspunkt der Überlegungen bildet stets die Gefährdungsanalyse, die festlegt, welche Risiken für die Problemlösung berücksichtigt und welche Risiken bewusst in Kauf genommen werden (Restrisiko). In der Ingenieurbiologie fehlen entsprechende Beanspruchungs- und Tragwiderstandsmodelle. Behelfsmässig versucht man das Problem zu lösen, indem Erfahrungswerte quantifiziert werden. Ein typisches Beispiel dazu stammt aus dem Wasserbau, wo man für die Bemessung von Spreitlagen ein stark vereinfachtes Konzept entworfen hat. Als Beanspruchungsmodell

dient das sogenannte Schlepptensmodell, welches die durch eine Wasserströmung verursachten Schubkräfte für Normalabfluss berechnen kann. Ein eigentliches Tragwerksmodell für Spreitlagen existiert nicht. Die Tragwiderstände von Spreitlagen wurden durch Auswertung weniger Beobachtungen deduktiv hergeleitet. Entscheidend ist, dass sowohl Tragwiderstand wie Beanspruchung mit Unsicherheiten verbunden sind, welche im Bemessungsmodell nach Eurocode 1 durch sogenannte Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt werden müssten. Eine grundlegende Auseinandersetzung darüber, mit welchen Teilsicherheitsbeiwerten in der Ingenieurbiologie gearbeitet werden kann und darf, ist bisher ausgeblieben. In diesem Bereich liegt ein enormer Handlungsbedarf vor, und es ist wünschbar, Angaben über Modellbildung, Modelle, Modellvariablen, Basisvariablen bereitzustellen. Dabei ist auf die moderne Zuverlässigkeitstheorie abzustellen, wie sie beispielsweise Schneider (1994) eindrücklich beschreibt.

### 3.3 Ökologisch verträgliches Handeln als Hauptherausforderung

Das Wissen und die Erfahrung, wie Problemlösungen technisch-ökonomisch fundiert zu gestalten und zu steuern sind, sind weit entwickelt. Hingegen sind erst Ansätze vorhanden, wie ökologisch verträgliches Handeln in die menschlichen Tätigkeiten integriert werden kann.

Technisches Handeln umfasst verschiedene Phasen, die bei der Konzeption beginnen und über Verwirklichung und Nutzung zur Ausserbetriebnahme der technischen Systeme führen (z. B. Rumpf in Lenk et al., 1981). Ingenieurbiologie als Disziplin befasst sich hauptsächlich mit diesen Kategorien technischen Handelns. Eine Spezialität liegt darin, dass wir versuchen, natürliche Systeme zu schaffen, die sich in der Phase der Nutzung und der Ausserbetriebsetzung flexibel in natürliche Kreisläufe integrieren.

Ökologisches Handeln demgegenüber verfolgt zwei Ziele. Erstens geht es darum, den Input an natürlichen Ressourcen (Material, Energie, Wasser, Raum) zu minimieren. Zweitens sollen die unerwünschten Wirkungen von technischen Lösungen auf die natürliche und die soziale Umwelt minimiert werden. Der klassische Umweltschutz setzte genau in diesem zweiten Punkt an und ist ein sogenannter «end of pipe»-Ansatz. Ökologisches Handeln im modernen Sinn befasst sich mit Stoffkreisläufen auf lokaler, regionaler und globaler Ebene. Der entsprechende Begriff der Ökoeffizienz wurde vor allem seit Rio 1992 bekannt.

Die Forderung von Leuzinger/Lachat (1995), derartige biologische Kreisläufe ins technische Handeln zu integrieren, ist demzufolge nicht ein spezielles Anliegen der Ingenieurbiologie allein. Vielmehr muss sie zur Grundmaxime menschlichen Handelns schlechthin werden, wenn wir die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung erreichen wollen (vgl. dazu Bund/Miseror, 1996). Es scheint somit selbstverständlich, dass sich die Ingenieurbiologie in der Dimension «ökologisches Handeln» im Einklang mit gesamtgesellschaftlichen Entwicklungen weiterentwickeln muss. Besonders wichtig ist dabei, dass ökologisches Handeln immer in einem räumlich konkreten Zusammenhang zu beurteilen ist. Eine Einordnung der lokalen Überlegungen in übergeordnete Systeme ist vorzusetzen.

### 4. Was bleibt zu tun?

Wissensbereiche wie die Ingenieurbiologie sind einem stetigen Wandel unterworfen. Die damit verbundene Entwicklung ist darauf zurückzuführen, dass gedankliche Überle-

gungen neue Verwirklichungs- und Nutzungsmöglichkeiten schaffen. Technisches Wissen wird durch Erfahrung und Theorie sowie durch zufällige wie systematische Entwicklung in der wissenschaftlichen Forschung gewonnen (Rumpf in Lenk et al., 1981).

Die Ingenieurbio-logie als Bautechnik ist gefordert, sich in der Dimension «Technisches Handeln» zu entwickeln und in die fachübergreifenden Systeme (z. B. Eurocode 1) zu integrieren. Die Kenntnisse über Einwirkungs- und Beanspruchungsmodelle für die Bereiche Erosion und Geländeinstabilität sind zu verbessern und in die tägliche Arbeit des Ingenieurbio-logen zu integrieren. Auf der anderen Seite geht es darum, Widerstandsmodelle für die wichtigsten Verbauungsmethoden zu gewinnen. In einem ersten Schritt sind durch Versuche Tragwiderstände für bekannte Bedingungen zu ermitteln. In einer zweiten Phase soll versucht werden, diese Tragwiderstandsmodelle zu erweitern, um die Widerstände in Abhängigkeit von Umweltvariablen, Bauweisenvariablen und Nutzungsvariablen vorherzusagen. Die Schwierigkeit besteht allerdings darin, dass wir es mit komplexen Systemen zu tun haben, die sich nie vollständig werden modellieren lassen. Wir sollten jedoch konsequent in diese Richtung weiterarbeiten.

In der Dimension «Ökologisches Handeln» geht es darum, das Kreislaufdenken bezüglich Stoff- und Energieflüssen sowie biologischer Kreisläufe in die tägliche Arbeit des Ingenieurbio-logen zu integrieren. Die Ingenieurbio-logie darf diese Denkweise nicht für sich allein beanspruchen, da sie quer durch alle Ingenieurdisziplinen gefordert wird. Die Ingenieurbio-logie als Bautechnik bietet hingegen äusserst günstige Voraussetzungen, um derartige Denk- und Handlungskonzepte glaubhaft in die Praxis umzusetzen. Fachleute, die sich mit Ingenieurbio-logie befassen, sollten diese beiden Ziele in ihre tägliche Arbeit integrieren. Es bleibt zu hoffen, dass sie die begonnene Diskussion aufnehmen und die Disziplin zukunftsweisend weiterentwickeln

#### Literaturhinweise

- Bodmer (1714): In Vischer, D. (1994): Die Korrektur von Kander, Linth und Juragewässer. Historische Wasserwirtschaft im Alpenraum und an der Donau. Sonderdruck. DVWK, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.
- Bund/Misereor (Hrsg.) (1996): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Studie des Wuppertaler Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH. Birkhäuser, Basel. 453 S.
- Donatsch, P.; Pult, C.; Vieli, R. (1995): Ikarus über Graubünden. L'Icarus grischun. Icaro sui Grigioni. AT Verlag, Aarau.
- du Boys, P. (1879): Etudes du régime du Rhône et l'action exercée par les eaux sur un lit à fond de graviers indéfiniment affouillable. «Annales des Ponts et Chaussées», 5, 18: 141–195.
- VAW/GIUB (1987): Emme 2050, Studie über die Entwicklung des Klimas, der Bodenbedeckung, der Besiedlung, der Wasserwirtschaft und des Geschiebeaufkommens im Emmental sowie über die Sohlenentwicklung und den Geschiebehaushalt in der Emme und mögliche zukünftige Verbauungskonzepte; Auftrag der Baudirektion des Kantons Bern, Tiefbauamt, Oberingenieurkreis IV und des Baudepartements des Kantons Solothurn, Amt für Wasserwirtschaft. Bericht Nr. 909 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich und des Geographischen Instituts der Universität Bern (unveröffentlicht).
- Eurocode 1 (1995): Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke. Europäische Vornorm SN ENV 1991-1. Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein. 54 S.
- Greenway, D. R. (1987): Vegetation and Slope Stability. In: Slope Stability: 187–230. John Wiley & Sons, London.
- Kruedener, A. von (1951): Ingenieurbio-logie, Verlag Reinhardt, München und Basel.
- Lenk, H.; Moser, S.; Schoenert, K. (Hrsg.) (1981): Technik zwischen Wissenschaft und Praxis. Technikphilosophische und techniksoziologische Schriften aus dem Nachlass von Hans Rumpf. Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. 483 S.



Bild 10. Ingenieurbio-logische Ufersicherung mit einer Spreitlage vor dem Abdecken mit Erde. Der Böschungsfuss wird mit einem einfachen Holzkasten gesichert, der teilweise eingegraben ist. (Alsbach Wien, März 1995/ Bild: VAW, M. Oplatka)

- Leuzinger, Y.; Lachat, B. (1995): Ingenieurbio-logie kritisch beleuchtet. Ingenieurbio-logie, 3/95: 3–7.
- Meyer-Peter, E. und Müller, R. (1948): Formulas for Bedload Transport. Proceedings 2<sup>nd</sup> Congress IAHSR, Stockholm.
- Morgan, R. P. C. and Rickson R. J. (1995): Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. London (etc.). Spon.
- Schaarschmidt, G. (1974): Zur ingenieurbio-logischen Sicherung von Strassenböschungen durch Bewuchs und Lebendverbau. Diss., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Fak. für Bauwesen, Aachen.
- Schiechtl, H. M. (1973): Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau – Grundlagen. Lebende Baustoffe, Methoden. Verlag Callwey, München.
- Schneider, J. (1994): Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Grundwissen für Ingenieure. Verlag der Fachvereine, Zürich, 182 S.
- VDI (1991): Technikbewertung. Begriffe und Grundlage. VDI-Richtlinie 3780. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. 22 S.
- Witzig, A. (1973): Lebendverbauung an fließenden Gewässern. Eidgenössisches Amt für Strassen- und Flussbau.
- Wu, T. H. (1984): Effect of vegetation on slope stability. In Soil Reinforcement and Moisture Effects in Slope Stability. «Transportation Research Record» 965: 37–46.
- Wu, T. H. (1994): Slope Stabilization Using Vegetation. In Geotechnical Engineering, Emerging Trends in Design and Practice. A. A. Balkema/Rotterdam, pp. 377–402.

Adressen der Verfasser: Prof. Dr. Hans Rudolf Heinemann, Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich, CH-8092 Zürich, und Mathias Oplatka, dipl. Ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich.