Zeitschrift: Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel

Herausgeber: Geobotanisches Institut der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel

Band: 61 (1995)

Artikel: Ökologie als Werkzeug

Autor: Edwards, Peter J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-377791

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: 12.01.2026

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

Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 61 (1995), 50-71

Ökologie als Werkzeug

Peter J. EDWARDS

Antrittsvorlesung (ETH Zürich), gehalten am 29. Mai 1995

INHALT

1. Bauen einer "nachhaltigen" Strandmauer
2. Der Triumph der Technologie
3. Die Krise der Nachhaltigkeit
4. Die Rolle der Ökologie
5. Einbringen von Ökologie in die Technik
6. Einbringen von Ökologie in die Ökonomie
7. Ökologie - wohin?
8. Abschliessende Bemerkungen

Summary
Literatur

1. BAUEN EINER "NACHHALTIGEN" STRANDMAUER

Die Konstruktion einer Strandmauer ist ein gewaltiges Ingenieurproblem. Eine Strandmauer muss nicht nur der täglichen Ebbe und Flut standhalten, sie muss auch extremen Ereignissen widerstehen können. Die Konstruktion von Strandmauern wurde zunehmend hochentwickelt. Der Hauptteil einer Strandmauer besteht normalerweise aus Beton; deren Form endet in einem Freibord, welches die Wellen zurückwirft (CARTER 1988). Am Fusse der Mauer sind

Stahlpfähle in den Untergrund gerammt, um zu verhindern, dass die ganze Konstruktion vom Meer unterhöhlt wird. Der Küstenschutz ist ein ständiger Kampf. Eine Strandmauer ist so stark wie ihr schwächster Punkt. Die Mauern müssen regelmässig wieder aufgebaut werden. Die Kosten belaufen sich auf einen Betrag zwischen 3 und 20 Millionen Franken pro Kilometer. Schlimmer noch - die vorausgesagte Erhöhung des Meeresspiegels als Folge des Treibhauseffektes erfordert eine zusätzliche Verstärkung der Strandmauern auf einer enormen Länge, um Überflutungen zu verhindern. Wenn wir bedenken, dass ein Viertel der Weltbevölkerung an der Küste lebt und somit von einer Erhöhung des Meeresspiegels potentiell bedroht ist, erkennen wir, was für ein Problem das sein wird.

Strandmauern sind jedoch nicht immer die beste Lösung. Abgesehen von den Kosten, löst auch die stärkste Strandmauer nicht nur Probleme, sie schafft gleichzeitig neue. Mit der harten Oberfläche einer Strandmauer wird Energie reflektiert, und dies kann ernsthafte Probleme verursachen. Die reflektierte

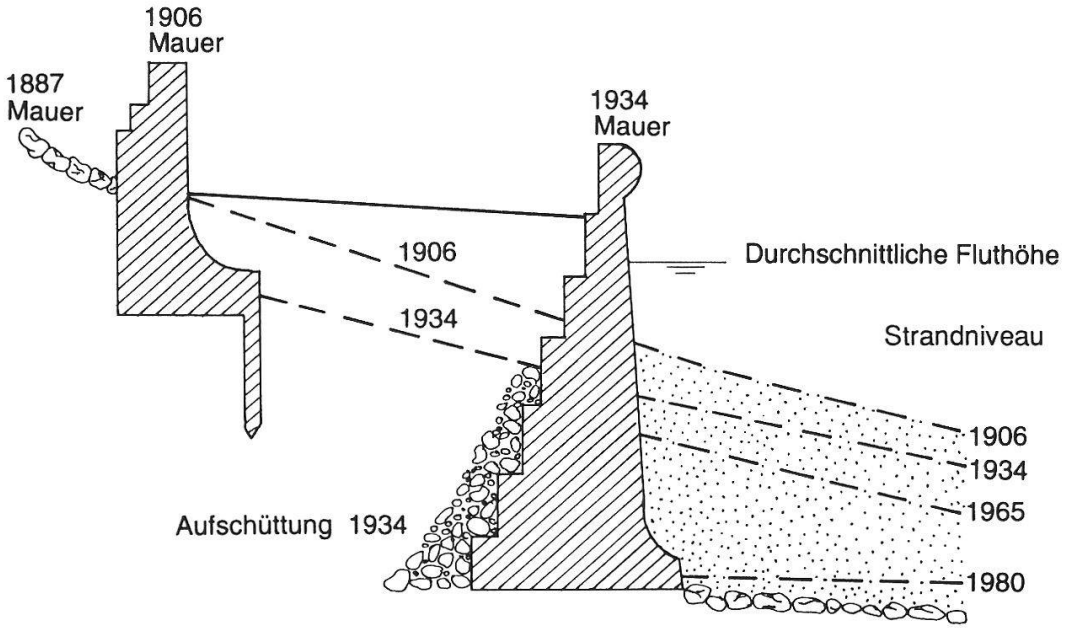


Fig. 1. Die Strandmauer, die 1906 in Portcawl (Süd-Wales) gebaut wurde, verursachte einen Rückgang des Strandes. Der Strandverlust war mit der 1934 gebauten Mauer noch grösser. (Nach CARTER 1988).
The building of the seawall in 1906 in Porthcawl (South Wales) resulted in the lowering of beach levels. The replacement in 1934 caused further loss of the beach. (From CARTER 1988).

Energie fördert oft die Erosion von Sediment, wodurch die Fundamente der Strandmauer freigelegt werden. In anderen Fällen kann die abgelenkte Energie der Wellen einen schwächeren Teil der Küste beschädigen. In Fig. 1 sieht man, dass die Mauer, die 1906 gebaut wurde, einen Rückgang des Strandes verursachte; der Strandverlust war mit der 1934 gebauten Mauer noch grösser. Aus all diesen Gründen ist es von grossem Interesse, andere Möglichkeiten des Küstenschutzes zu finden.

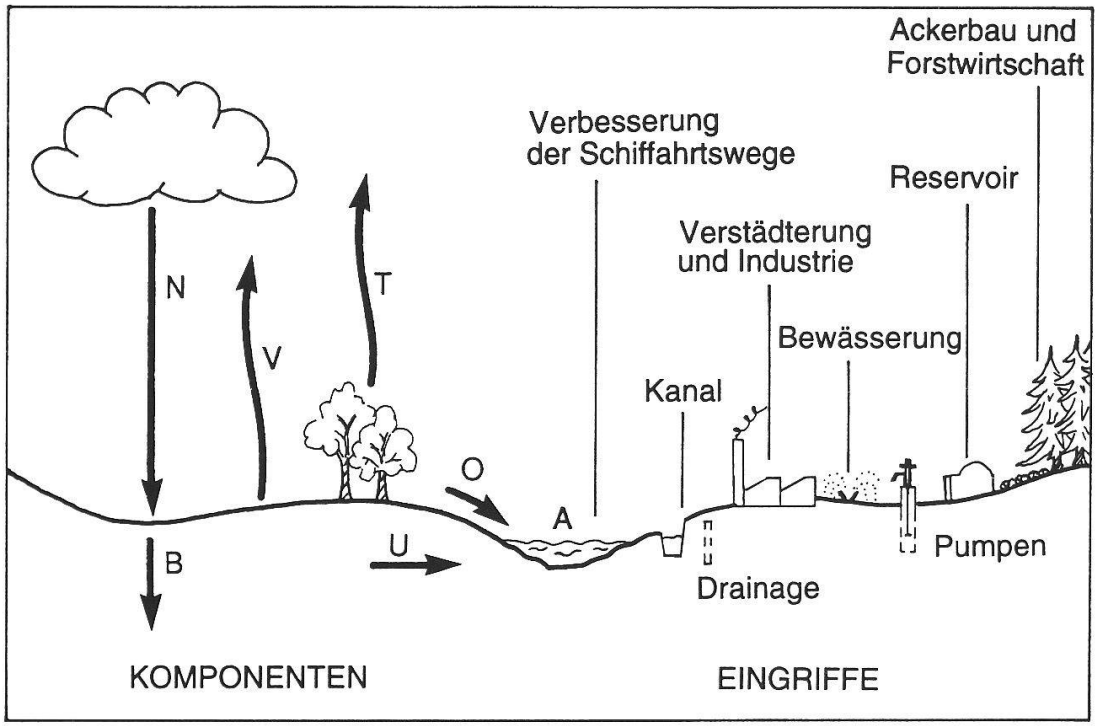
Nun, Sie werden sich wahrscheinlich fragen, ob Sie zur richtigen Vorlesung gekommen sind. Ich kann Sie beruhigen, wir kommen jetzt zur Ökologie. Irgendwann im mittleren 19. Jahrhundert tauchte eine neue Pflanzenart im Meeresarm von Southampton im südlichen England auf. Die Art - heute wird sie *Spartina anglica* genannt - war morphologisch intermediär zwischen zwei Arten, die bereits im Gebiet vorkamen, und zwar *S. maritima* und *S. alterniflora*. Heute wissen wir, dass die neue Art, *Spartina anglica*, das Resultat einer Kreuzung war, gekoppelt mit einer Verdoppelung der Chromosomenzahl (GRAY, BENHAM und RAYBOULD 1990). Die neue Pflanze war ausserordentlich vital und hatte die hervorragende Fähigkeit, Schlick anzusammeln. Ihre Eignung zur Stabilisierung und Urbarisierung von Flachseestreifen wurde schnell erkannt, und sie wurde weitverbreitet gepflanzt. Somit ist auch *Spartina* ein ausserordentlich guter Küstenschutz. Mit ihrer Hilfe erhöht sich das Niveau des Flachseestreifens, und es bildet sich eine Oberfläche, die die Wellenenergie grösstenteils zerstreut. Wenn eine Küste mit *Spartina* bewachsen ist, können die Kosten eines Strandmauerbaus bis zu etwa einem Zehntel reduziert werden. Es scheint ziemlich eindeutig, dass Vegetation oft die beste Lösung für den Küstenschutz ist (RANWELL 1983), wie z.B. *Spartina* in gemässigten Zonen oder Mangroven in tropischen Gebieten (SATTAUR 1990). Dazu kommt noch ein weiterer Vorteil: die Vegetation wächst kontinuierlich weiter, auch wenn der Meeresspiegel ansteigt.

Ich habe diese Geschichte aus drei Gründen gewählt: Erstens, um eine Verbindung zu meiner früheren Universität in Southampton zu knüpfen, wo viele Originalarbeiten über *Spartina anglica* ausgeführt wurden. Zweitens, die Strandmauer ist ein lebhaftes Symbol für die Konfrontation von Menschen mit Naturgewalten. Und drittens, um den Schwerpunkt dieser Vorlesung zu veranschaulichen, *dass Ökologie ein wertvolles Werkzeug zur Lösung von Problemen im Ingenieurbau und in der Bewirtschaftung von Ressourcen ist, und dass die ökologische Lösung oft die nachhaltigste ist.*

2. DER TRIUMPH DER TECHNOLOGIE

Die enormen technischen Fortschritte der letzten zwei Jahrhunderte veränderten unsere Einstellung gegenüber der Natur grundsätzlich. Vor dem 18. Jahrhundert war das Leben der Menschen ganz stark durch die Jahreszeiten und die Launen des Wetters geprägt. Heute ist unser Leben grösstenteils von diesen Zwängen losgelöst. Die technische Kontrolle über natürliche Abläufe ist so gross, dass wir uns dessen kaum mehr bewusst sind. Ich werde in dieser Vorlesung speziell zwei Beispiele behandeln, die Wasserwirtschaft und die Landwirtschaft.

Als Erstes die *Wasserwirtschaft*. Hydrologische Prozesse sind massiv gestört und kontrolliert worden. Wir haben die Wasserversorgung verändert (Fig. 2). Die Vegetation wirkt wie ein Schwamm, der Wasser speichern und langsam



V Verdunstung
T Transpiration
B Bodenfeuchtigkeit
N Niederschlag
A Abfluss
U unterirdischer Abfluss
O oberirdischer Abfluss

Fig. 2. Menschlicher Eingriff in den Wasserzyklus. (Verändert nach L'VOVICH und WHITE 1990).
Human intervention in the hydrological cycle. (Adapted from L'VOVICH and WHITE 1990).

wieder abgeben kann. Holzt man Wälder ab, so fliesst mehr Wasser in die Flüsse und diese schwellen nach Regengüssen viel schneller an. Ebenso haben wir die Wasserversorgung der Flüsse durch Drainage und Bodenversiegelung verändert. Wir haben den natürlichen Flusslauf zerstört, indem wir Flüsse in ein künstliches Flussbett einsperrten, den Flusslauf begradigten und ihn mit Dämmen und Wehren verbauten (BROOKES 1988, PETTS 1884).

Mein zweites Beispiel ist die *Landwirtschaft*. In der Vergangenheit war die Ernte limitiert durch die Unfruchtbarkeit des Bodens, durch Krankheiten und Schädlinge, durch Probleme der Wasserversorgung und durch die Wachstumseigenschaften der Kulturpflanzen. Auf all diesen Gebieten wurden technische Lösungen gefunden, die eine massive Erhöhung der Produktion erlaubten. Landwirtschaft wurde zunehmend als ein technischer Prozess betrachtet, in welchem Output eine Funktion von Input wie Dünger und Pestiziden ist (BRIGGS und COURTNEY 1985, FREEDMAN 1995).

Ausgehend von diesen zwei Beispielen möchte ich vier allgemeine Punkte hervorheben:

Erstens: Der Mensch hat die natürlichen Umweltprozesse sehr stark verändert. Zum Beispiel finden wir heute in Europa nichts mehr, das mit einem natürlichen Fluss vergleichbar wäre. Dänemark ist ein Extrembeispiel: mit einem Total von 40'000 km Flusslänge, sind nur etwa 2 % nicht begradigt (BROOKES 1987).

Zweitens: Die Geschwindigkeit, mit der diese Veränderungen stattfinden, hat sich beschleunigt. Wir können dies an der jährlichen Anzahl von Staudammprojekten seit 1840 sehen (Fig. 3).
Analog dazu, können wir in der Landwirtschaft eine Zunahme an der verwendeten Menge Kunstdünger erkennen (Fig. 4).

Drittens: Technischer Fortschritt geht mit einem sehr raschen Verlust an Biodiversität einher. Im Zusammenhang mit der Wasserwirtschaft entstanden die grössten Verluste durch die Zerstörung von grossen Flussauen. Durch das Einsperren eines Flusses innerhalb seiner Ufer und durch die Drainage der überfluteten Ebenen, sind eine ganze Reihe von Lebensräumen verschwunden (PETTS 1990). Sogar kleine Eingriffe, wie z.B. die Flussregulierung, verursachen einen beträchtlichen Verlust an Biodiversität.

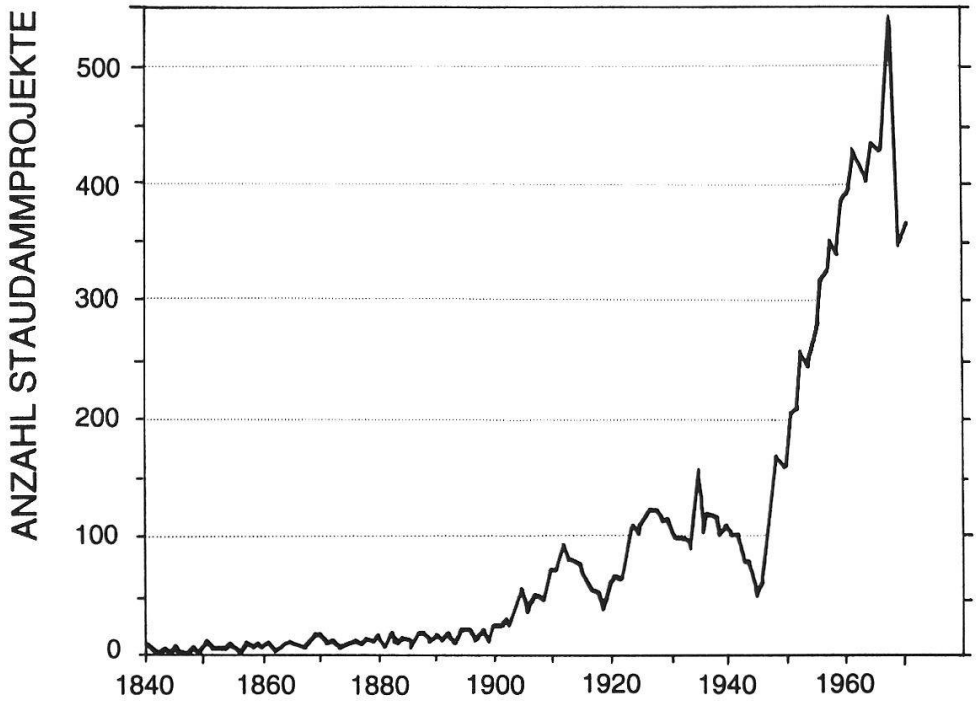


Fig. 3. Weltweiter Staudammmbau seit 1840. (Aus BEAUMONT 1978).
World dam construction since 1840. (From BEAUMONT 1978).

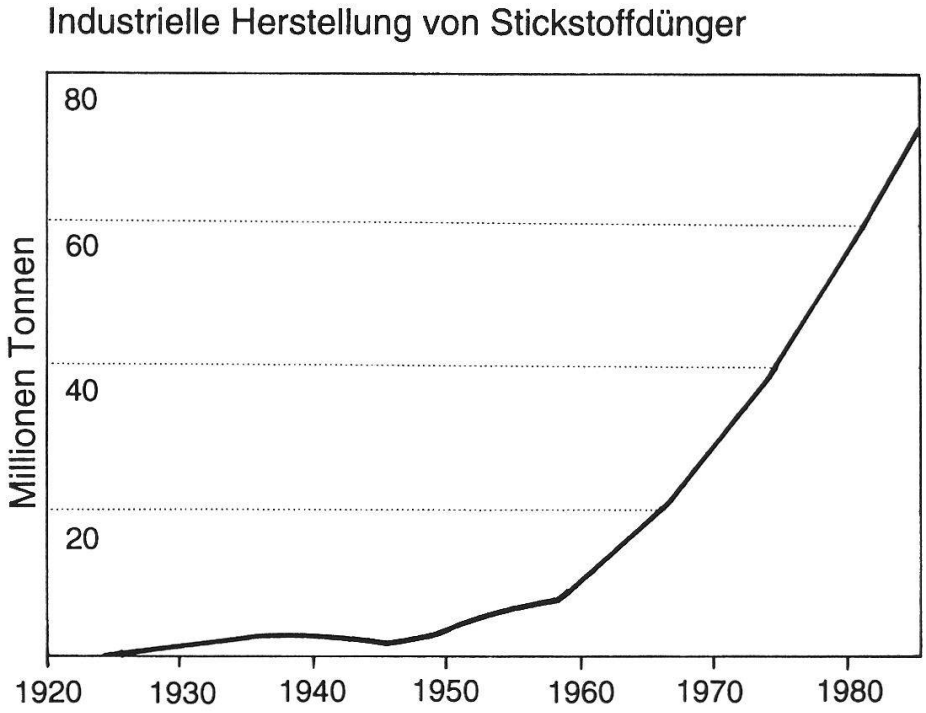


Fig. 4. Globale Herstellung von Stickstoffdünger zwischen 1920 und 1985. (Verändert nach SMIL 1990).
Global manufacture of nitrogenous fertilizer between 1920 and 1985. (Adapted from SMIL 1990).

In der Landwirtschaft waren die Eingriffe ebenso drastisch. Vergleichen wir die Flora und Fauna der traditionellen und intensiven Landwirtschaft miteinander, so beobachten wir einen eindeutigen Verlust an biologischer Diversität (Fig. 5).

Schliesslich brachten beinahe alle diese technischen Fortschritte unerwartete Umweltprobleme mit sich. Die Notwendigkeit von technischen Veränderungen entstand oft durch die unerwünschten Folgen von früheren "Verbesserungen". So kann z.B. die Begradigung eines Flusses eine direkte Folge der Landnutzung oder einer Flussregulierung stromaufwärts sein (Fig. 6a; BROOKES 1988).

In der Landwirtschaft kommt die Kette von Ursachen und Folgen am besten beim Einsatz von Agrochemikalien zur Geltung (Fig. 7a). Vierzig Jahre intensiver Forschung an Pestiziden haben eine zunehmende Menge an Problemen geschaffen, verursacht durch das Aufkommen von Pestizidresistenzen und die Schädigung der natürlichen Feinde, welche ursprünglich die Krank-

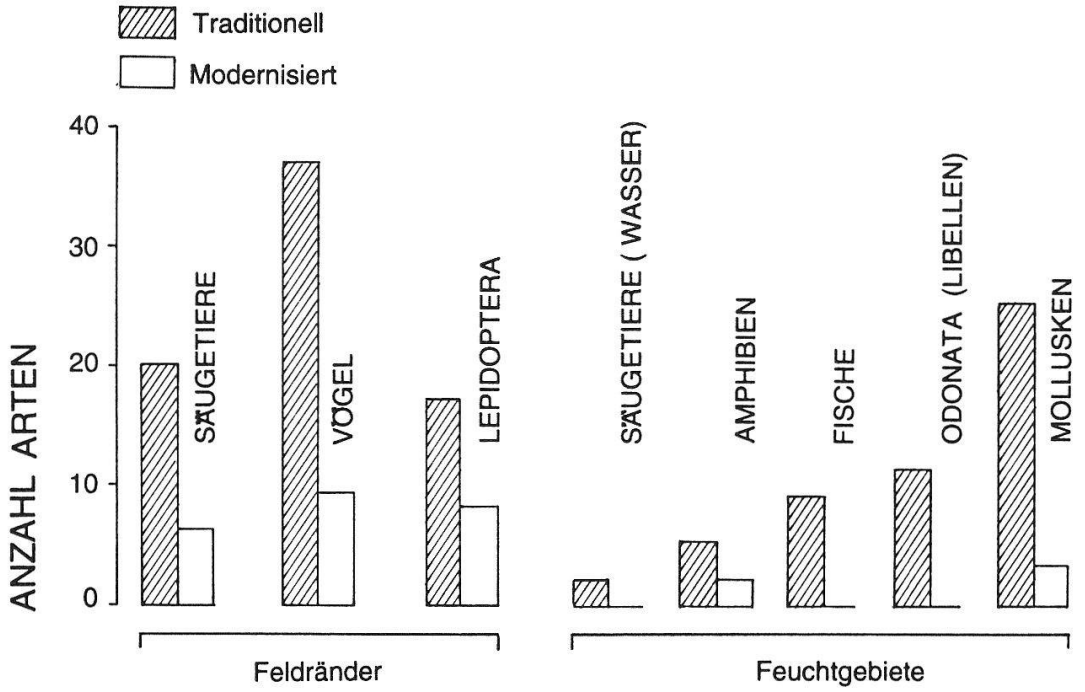


Fig. 5. Vergleich der Artenzahlen von Habitaten in traditionellen und modernisierten Landwirtschaftsbetriebe. (Verändert nach BRIGGS und COURTNEY 1985).
Comparison of numbers of species found in unmodernised and modernised farm habitats in Britain. (Adapted from BRIGGS and COURTNEY 1985).

Beispiel Wasserwirtschaft

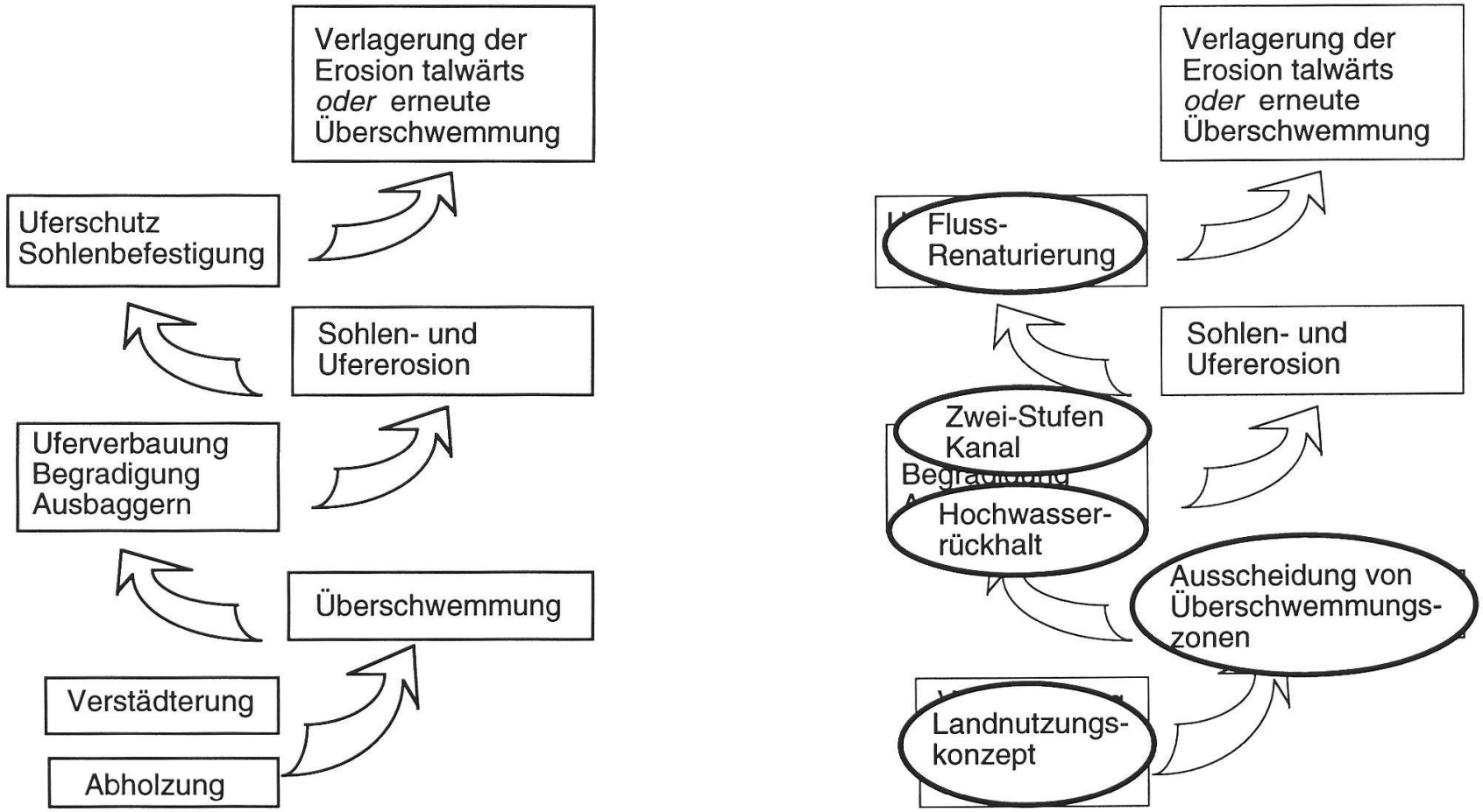


Fig. 6. (a) Wasserbewirtschaftung als ein Beispiel für die "Eingriffsspirale" und (b) einige Möglichkeiten diese zu vermeiden.
(a) Water management as an example of the 'spiral of intervention', and (b) some ways of avoiding it.

Beispiel Landwirtschaft

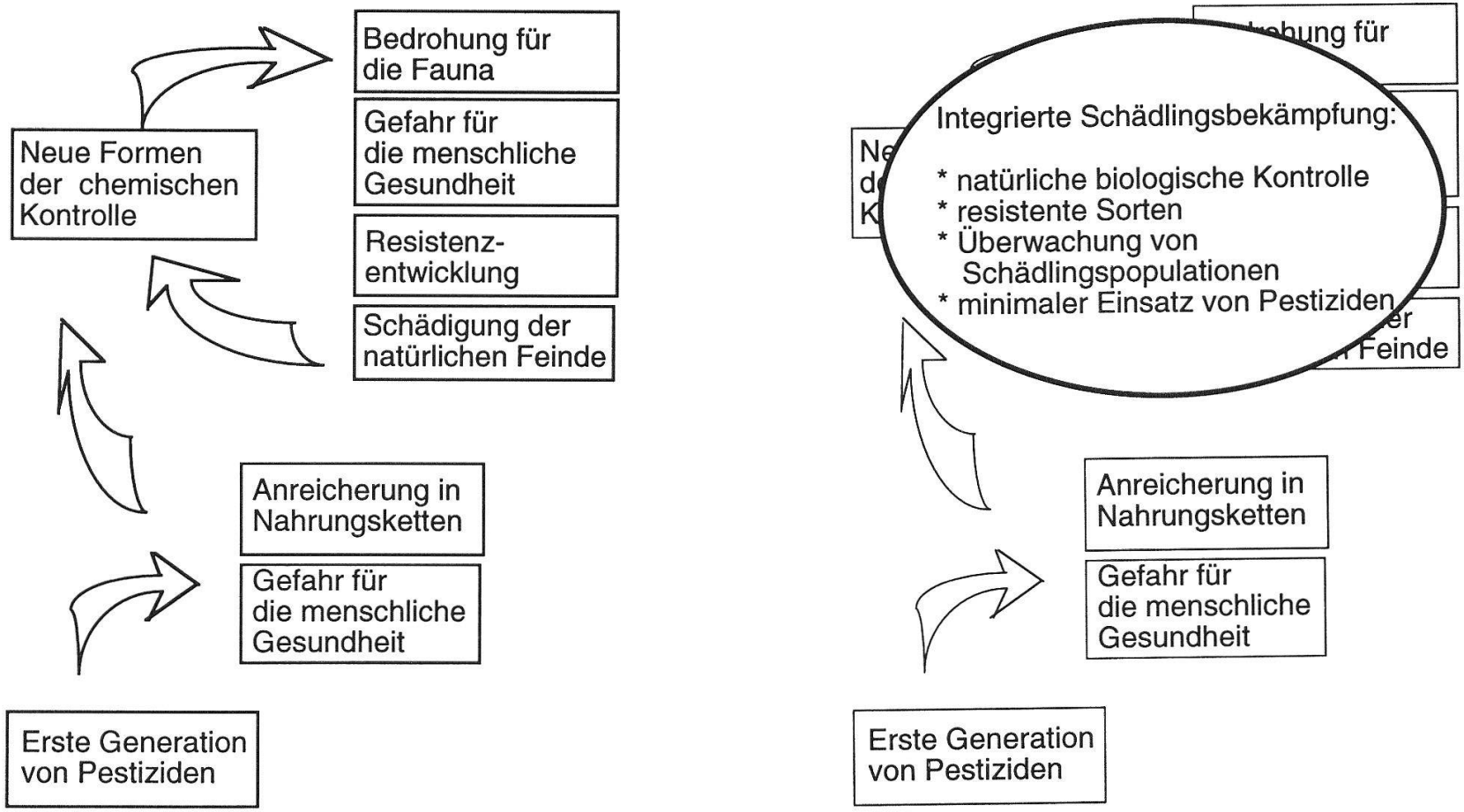


Fig. 7. (a) Die Entwicklung von landwirtschaftlichen Pestiziden als ein Beispiel für die "Eingriffsspirale" und (b) Integrierte Schädlingsbekämpfung als ein Ausweg von ihr.
(a) The development of agricultural pesticides as an example of the 'spiral of intervention', and (b) integrated pest management as a way out of it.

heitserreger unter Kontrolle hielten. Es wurde geschätzt, dass der Anteil an durch Insektenplagen verursachten Ernteausfällen in den USA heute zwei Mal höher ist als 1942, vor der breiten Anwendung von Insektiziden (PIMENTEL 1987).

Beide Beispiele zeigen, dass der technische Fortschritt zu einer "Eingriffsspirale" führen kann, wo jede Veränderung unvohergesehene Konsequenzen mit sich bringt, die wiederum einen Eingriff notwendig machen.

3. DIE KRISE DER NACHHALTIGKEIT

Diese technischen Entwicklungen sind mit dem Wachstum der Weltbevölkerung und zumindest in der westlichen Welt mit einer grossen Zunahme des Wohlstandes verknüpft. Das ist nichts Neues; die Menschheitsgeschichte zeigt einen engen Zusammenhang zwischen technischem Fortschritt und Bevölkerungswachstum auf (PONTING 1991). Jeder neue technische Fortschritt erhöhte die Tragfähigkeit des Planeten. Vor zehntausend Jahren, nach dem Aufkommen der Landwirtschaft und der Metallverarbeitung, betrug die Weltbevölkerung ca. 5 Millionen Menschen (Fig. 8). Vor zweitausend Jahren wuchs die Weltbevölkerung auf 300 Millionen Menschen an. 1700, vor der industriellen Revolution, lebten 600 Millionen Menschen; heute leben etwa 6 Milliarden Menschen auf der Erde.

Was sich inzwischen geändert hat ist, dass wir uns in rasendem Tempo den absoluten Grenzen nähern, die unser Planet ertragen kann (GOODLAND 1992). Im Gegensatz zur Vergangenheit wird es keine "technische Patentlösung" mehr geben, die ein bedeutendes weiteres Wachstum erlauben könnte. Die Forderungen, die die Weltbevölkerung an die Ressourcen des Planeten stellt, sind unermesslich. Man schätzt beispielsweise, dass heute 40% der terrestrischen Netto-Primärproduktion auf der Erde direkt oder indirekt vom Menschen gebraucht wird (VITOUSEK et al.1986). Ebenso wird ein Drittel der gesamten marinen Primärproduktion von Fischen konsumiert, welche wiederum vom Menschen gefangen werden. In anderen Worten: jede dritte Kieselalge lebt im Dienste der Menschheit (LAWTON 1994). Auch diese Forderungen an die Umwelt sind offensichtlich nicht nachhaltig. Sie gehen auf Kosten von Langzeitschäden im Boden, im Wasser und in der Atmosphäre und benötigen den Verbrauch von nicht erneuerbaren Ressourcen. *"Today it is estimated*

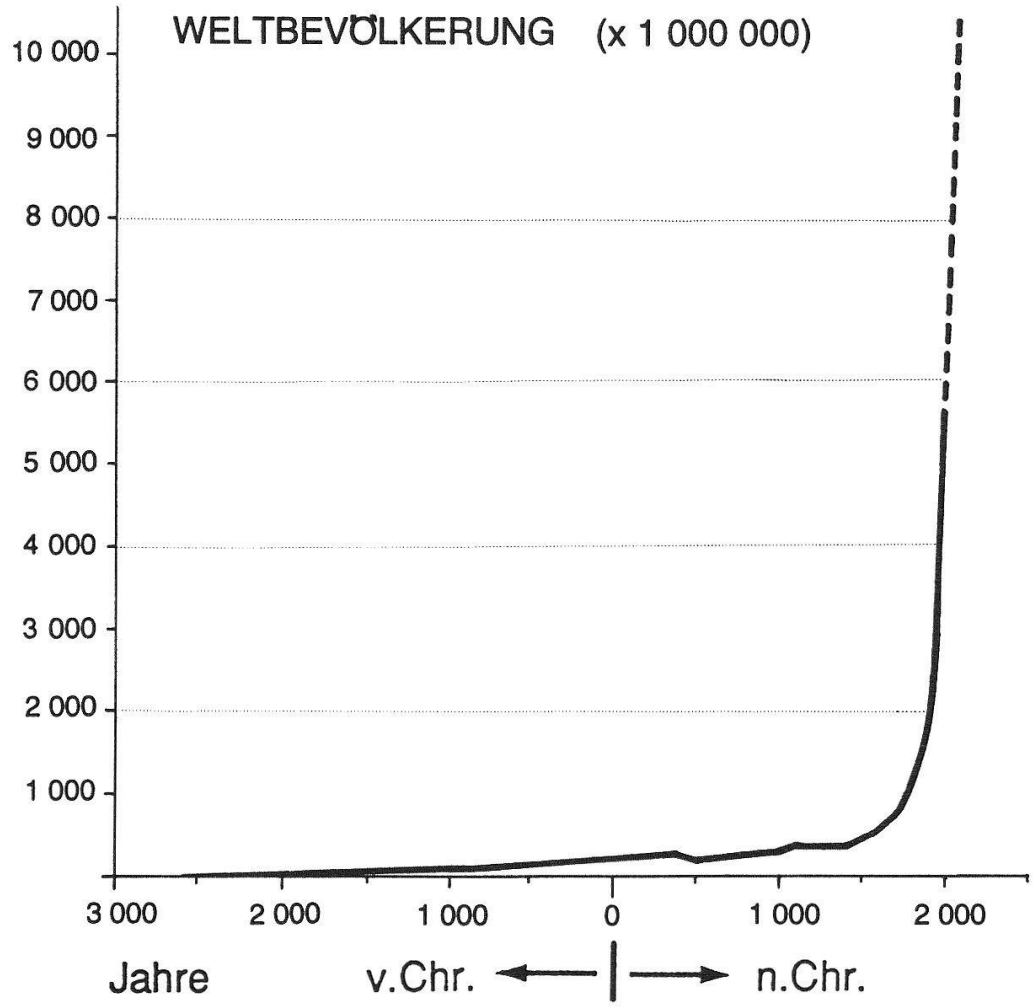


Fig. 8. Wachstum der Weltbevölkerung seit 3000 v. Chr. (Zahlen aus PONTING 1991).
Growth of the world population since 30 BC. (Data from PONTING 1991).

that every second over 200 tonnes of carbon dioxide are released and 750 tonnes of topsoil are lost; while every day 47,000 hectares of forest are destroyed, and over 16,000 hectares of land are turned to desert, and between 100 and 300 species become extinct." (TOLBA und EL-KHOLY 1992).

Die Krise der Nachhaltigkeit traf mit überraschender Geschwindigkeit ein. Aus meiner Sicht wird sie sich als einer der bedeutendsten Wendepunkte in der Geschichte erweisen, vergleichbar mit dem Aufkommen der Landwirtschaft oder der industriellen Revolution. Ähnlich wie diese Wendepunkte wird sie zu grundlegenden Veränderungen in unserer Einstellung zur Natur und aller Aspekte unserer sozialen und politischen Organisation führen.

In der Vergangenheit diente die Natur dazu, beherrscht und ausgebeutet zu werden. Die klassische Definition des Ingenieurbaus lautet: "Die Kunst, die grossen Naturkräfte dem Menschen zunutze und zum Vorteil zu machen". Der Höhepunkt unserer Technologiegläubigkeit herrschte wahrscheinlich während der sechziger Jahre. Als der Assuan-Staudamm gebaut war, sprach man von der "Zähmung des Nils". Etwa zur selben Zeit entwickelte sich die Landwirtschaft zu einem technischen Prozess, welcher zur Erhaltung der Fruchtbarkeit und zur Kontrolle von Schädlingen und Krankheiten von Agrochemikalien abhing.

Heute erkennen wir besser die Grenzen der Technologie beim Lösen von Umweltproblemen. Ingenieure sprechen nicht mehr nur davon, die Naturgewalten zu besiegen. Zu lang ist die Liste von überdimensionierten Ingenieurprojekten, welche sich katastrophal auswirkten. Es gibt heute ein viel grösseres Bewusstsein gegenüber Projekten vom Ausmass des Assuan-Staudammes oder des glücklicherweise aufgegebenen Gabcikovo-Nagymaros Plans zur Eindämmung der Donau. Bauingenieure selbst erkennen, dass ihr Beruf sich ändern muss. An einer Ingenieurkonferenz im Jahre 1993 wurde sogar eine neue Definition des Ingenieurbaus vorgeschlagen: *"Erreichen von Harmonie zwischen Mensch und Natur"* (POIROT 1995).

4. DIE ROLLE DER ÖKOLOGIE

Die Krise der Nachhaltigkeit ist wahrscheinlich die grösste Herausforderung, der sich die Menschen je gegenübersahen. Es gilt nichts weniger als die soziale und ökonomische Weltordnung zu verändern, von einer auf Wachstum auf Kosten der natürlichen Ressourcen in eine, in welcher die Menschheit im Gleichgewicht mit der Umwelt existieren kann. Die grundlegenden Probleme sind nicht wissenschaftlicher oder technischer, sondern sozialer, ökonomischer und politischer Natur. Es geht dabei um das Wachstum der Weltbevölkerung und die Verbrauchsrate von natürlichen Ressourcen. Dennoch gibt es dabei eine klare Aufgabe für Wissenschaft und Technik. In der restlichen Zeit dieser Vorlesung möchte ich einen kleinen Aspekt dieses riesigen Problems näher betrachten: die Rolle der Ökologie auf der Suche nach Nachhaltigkeit.

Auf der positiven Seite hat die Ökologie bereits eine Revolution im Denken

ausgelöst, und zwar, wie wir unsere Stellung in der Natur sehen. Das öffentliche Bewusstsein über die Bedeutung der Ökologie ist noch nie so gross gewesen. Umweltverträglichkeitsprüfungen gehören zu einem bedeutenden Teil der Planung. In den letzten zwei Jahrzehnten ist ein neuer Beruf entstanden, derjenige des Umweltberaters. Vielleicht ist das Bedeutendste von allem, dass ökologische Ideen die Technologie beeinflussen. Im Wasserbau zum Beispiel, wird grosse Wichtigkeit der sogennanten "soft engineering" beigemessen, welche versucht, mit der Natur und nicht dagegen zu arbeiten (Fig. 6b; HARPER und FERGUSON 1994). In der Landwirtschaft sind Techniken wie die Integrierte Schädlingsbekämpfung ein Versuch, um aus der sogenannten "Eingriffsspirale" herauszubrechen (Fig. 7b). Ganz allgemein ist die Entstehung der Disziplin Agroökologie ein äusserst positives Zeichen für das Bedürfnis nach Landwirtschaftssystemen, welche sich auf ökologische Prozesse stützen, und so eine nachhaltige Produktion gewährleisten (Fig. 8; ALTIERI 1987, 1990).

Auf der negativen Seite bin ich besorgt, dass die Wirkung der Ökologie nicht grösser ist. Die Hauptaufgabe der Ökologie ist es, Probleme wie Biodiversitätsverlust und Auswirkungen der Umweltverschmutzung zu identifizieren. In der Planungsphase sind Ökologen normalerweise diejenigen, welche vorgeschlagene Entwicklungen kritisieren. Ebenso ist Naturschutz etwas, das in speziell ausgeschiedenen Naturschutzgebieten stattfindet, aber geringe Auswirkungen auf das alltägliche Leben ausübt. In diesem Sinne bleibt die Rolle der Ökologie in der modernen Gesellschaft relativ am Rande. Darüber hinaus hat die Wissenschaft der Ökologie ein schlechtes Image. Sie gilt als eine weiche und ungenaue Wissenschaft - eine, die Probleme zwar aufzeigen kann, die aber keine Lösungen bietet (PETERS 1991).

Ich glaube, dass Ökologie in der Zukunft eine viel stärkere positive Rolle einnehmen muss. Die Herausforderung besteht darin, unser ökologisches Wissen in die Entwicklung von Technologien einzusetzen, die keine langfristigen Umweltschäden verursachen.

Im Folgenden möchte ich aufzeigen, wie dies erreicht werden kann.

5. EINBRINGEN VON ÖKOLOGIE IN DIE TECHNIK

In England war ich Leiter eines Umweltberatungsbüros. Dabei wurde mir der Kulturgraben zwischen Ökologen und Technologen bewusst. Für den Ingenieur ist die Umweltverträglichkeitsprüfung normalerweise nur ein weiteres bürokratisches Hindernis, das einem das Leben schwer macht. Oft ist das Verständnis gering, warum diese Untersuchung wichtig ist. Meine Aufgabe als Berater bestand häufig darin, ein bereits abgeschlossenes Projekt mit einem dünnen Hauch von Achtung vor der Umwelt zu versehen. Äusserst selten wurde ich ins Planungsstadium einbezogen. Ich kam zum Schluss, dass Ökologen und Ingenieure zwei völlig verschiedene Kulturen vertreten. Es erstaunt daher nicht, dass in beiden Berufsgattungen starke Vorurteile gegeneinander herrschen (Tab. 1). Die Vorurteile widerspiegeln, dass die fachlichen Unterschiede einem tiefem Unterschied im Ansatz zugrundeliegen. Technische Lösungen von Umweltproblemen sind oft unökologisch, weil sie die Vernetzung von Umweltsystemen nicht berücksichtigen. Die Technik macht eine sehr direkte Verbindung zwischen einem erkannten Problem und dessen Lösung. Heisst das Problem z.B. Überschwemmung, so wird der Flusslauf begradigt oder das Ufer höher verbaut. Wenn Insekten eine Ernte fressen, tötet man sie mit chemischen Mitteln. Was wir beim Studium von Umweltsystemen lernen, ist, dass jede Änderung eine Kette von Folgereaktionen auslöst. So ist aus ökologischer Sicht das Fressen des Getreides durch ein Insekt ein Teil eines komplexen Nahrungsnetzes, in dem die beteiligten Populationen durch funktionelle Verbindungen zwischen den Arten reguliert sind.

Tab. 1. Einige geläufige Vorurteile von Ingenieuren und Ökologen.
Some common prejudices of engineers and ecologists.

Ingenieure über	**Ökologen über**
Ökologie	***Ingenieure***
ungenau und unscharf	schädlich für die Umwelt
schafft Probleme aber keine Lösungen	ein notwendiges Übel
und Ökologen	***und Ingenieure***
vage	unwissend
idealistisch	skrupellos
unpraktisch	grössenwahnsinnig
hinderlich	engstirnig
tragen Bärte und Sandalen	tragen grauen Anzüge

Die kurzfristigen Folgen eines Insektizids sind offensichtlich, die langfristigen Konsequenzen für die Population und die Umwelt sind jedoch bei weitem unklar.

Ich glaube, dass ein entscheidender Schritt zur Förderung der Nachhaltigkeit, die Änderung der Einstellung der Technologen gegenüber der Ökologie sein wird. Wir müssen die gegenwärtige feindliche Haltung brechen. Technologen sollten zu Ökologen ausgebildet werden. Insbesondere sind folgende drei Punkte beizubringen:

1. Alles, was man macht, hat Konsequenzen für die Umwelt. Nicht nur Autobahnen und Atomkraftwerke benötigen eine UVP.
2. Technische Lösungen verursachen oft ökologische Probleme.
3. Die Lösung, welche am wenigsten Eingriffe benötigt und am meisten natürliche Prozesse einbezieht, ist normalerweise die beste.

Tab. 2. Beispiele von Werkzeugen, die die Ökologie liefern kann.
Examples of the "tools" which ecology can provide.

Umweltanalyse und Interpretation
* Techniken der ökologischen Überwachung
* Gebrauch ökologischer Indikatoren
* Biotest von Umweltbedingungen
  z.B.: Schwermetalle, Atmosphärenverschmutzung
* Grenzwerte von Umweltschadstoffen
* Ökologische Sensitivitätsanalyse

Populationsmanagement
* Nachhaltige Nutzung natürlicher Populationen
* Biologische Schädlings- und Krankheitsbekämpfung
* Zweckmässiger Einsatz von Agrochemikalien
  basierend auf Populationsüberwachung
* Populationsmanagement für den Naturschutz

Planung und Management von Ökosystemen
* Wiederherstellung zerstörte Ökosysteme
  z.B.: Versalzung, Schwermetalle
* Sanierung schadstoffbelasteter Systeme
* Umweltschutzmanagement
  z.B.: Boden, Hochwasserschutz
* Naturschutz-Management

Modellierung und Vorhersage
* Epidemiologie von Schädlingen und Krankheiten
* Reaktionen von Populationen und Ökosystemen
  auf Umweltveränderungen
* Sukzessionsvorgänge
* Umweltverträglichkeitsprüfung

Dies alles mag als alleinige Kritik an Ingenieuren wirken. Es ist aber genauso eine Kritik an Ökologen. Wenn wir ökologisches Denken in die Ausbildung von Ingenieuren einbringen wollen, müssen wir Werkzeuge liefern, die sie benutzen können.

Wir müssen ihnen zeigen, dass Ökologie präzis sein kann: dass wir genaue Vorhersagen machen können. Im Speziellen müssen wir ihnen die Ökologie lehren, die für ihre Arbeit relevant ist. In Tab. 2 sind einige wichtige Werkzeuge aufgelistet, die die Ökologie liefern kann.

6. EINBRINGEN VON ÖKOLOGIE IN DIE ÖKONOMIE

Es gibt eine eindeutige Beziehung zwischen ökonomischen und ökologischen Veränderungen. Dazu ein einfaches Beispiel: Im Süden Spaniens, wo ich alljährlich an einem Feldkurs teilnahm, verursachte der Beitritt Spaniens zur Europäischen Gemeinschaft grösste ökologische Veränderungen. Innerhalb von 2 bis 3 Jahren wurde die vielfältige, traditionelle Landschaft in eine uniforme, blau-grüne Getreidemonokultur verwandelt, subventioniert durch Gelder aus Brüssel. In einigen Teilen Spaniens, vor allem in der Region von Almeria, reichten die Niederschläge für diese enorme Intensivierung nicht aus. Schon heute sehen wir die verheerenden Folgen davon in Form von zunehmender Desertifikation und ökonomischem Kollaps.

Unser heutiges ökonomisches System ist eine Falle, wo kurzfristiges rationales Verhalten unvermeidbar zu langfristigen zerstörerischen Folgen führt. Einerseits werden Nebeneffekte ökonomischer Aktivitäten wie Bodenverluste und Verschmutzung nicht angemessen als Kosten erkannt. Andererseits verursachen finanzielle Überlegungen oft, dass potentiell erneuerbare natürliche Ressourcen zerstört werden. Wenn die marktfähige Biomasse eines Waldes pro Jahr 5% zunimmt, der Zinssatz aber 10% beträgt, ist die beste Lösung aus finanzieller Sicht, den Wald zu fällen, sogar wenn das zurückgelassene Land wertlos ist. Genau diese vernichtende Logik ist für den rasenden Verlust von tropischem Regenwald verantwortlich.

Wir müssen dringend einen ökonomischen Rahmen schaffen, welcher solche Umweltschäden verhindert (FREEDMAN 1995, TISDELL 1991, FIELD 1994). Im Sinne der Ökonomie heisst das, die Ressourcenvorräte von erneuerbarem

Tab. 3. "Gratis-Leistungen" von Ökosystemen.
Ecosystem services.

*	Klimaregulierung
*	Wasserkreislauf
*	Nährstoffkreislauf
*	Reinigung von Luft, Wasser und Boden
*	Bodenschutz
*	Regulierung von Schädlingen und Krankheiten

natürlichem Kapital zu sichern. Dies ist ein enorm komplexes ökonomisches und politisches Problem. Weil Umweltschäden von globalem Ausmass sind, ist eine enge internationale Zusammenarbeit erforderlich. Es gibt einige Kernpunkte, wo ein ökologischer Input wesentlich ist; einer davon ist die Bewertung von Ökosystemleistungen. Unser Überleben ist von den Leistungen der natürlichen Ökosysteme abhängig (Tab. 3; EHRLICH und EHRLICH 1991). Diese Leistungen kosten nichts; niemand besitzt sie. In der Vergangenheit konnten wir annehmen, dass das natürliche Kapital immer in ausreichenden Mengen verfügbar sei, dass es das ökonomische Wachstum nicht einschränken werde. Das ist aber nicht länger so. Menschliche Aktivitäten zerstören die Qualität dieser Leistungen auf alarmierende Weise. Das ökonomische Problem ist, wie der Wert dieser Leistungen in unser ökonomisches System integriert werden kann. Der Ökologe kann dabei helfen, präzisere Grundlagen zu vermitteln, wie man diese Leistungen bewerten soll. Wenn man z.B. den Wert einer flussbegleitenden Vegetation anschaut, so kann man zehn Punkte quantifizierbarer Nutzen finden (Tab. 4).

Tab. 4. Nutzen von flussbegleitender Vegetation. (Verändert nach PETTS 1990).
Uses of river corridor vegetation. (Adapted from PETTS 1990).

*	Regulierung der Abflussmenge durch Feuchtgebietsvegetation
*	Regulierung der Wasserqualität
*	Regulierung der Wassertemperatur durch Ufergehölze
*	Zufuhr von organischer Nahrung für die Gewässergemeinschaft
*	Erhöhte Fischproduktion
*	Stabilisierung von Flussbett und Damm
*	Schaffung von Habitaten für die aquatische Fauna
*	Produktion von Nutzholz in Ufergehölzen
*	Schaffung von Habitaten für das Landleben
*	Gesteigerte Landschaftsqualität

Wenn wir einmal den Wert eines natürlichen Dienstes kennen, können wir auch die Kosten der Zerstörung desselben berechnen. Nur so werden diese Kosten internalisiert. Unsere gegenwärtigen ökologischen Kenntnisse sind ausreichend, die Art von Konsequenzen zu identifizieren - wie reduzierte biologische Diversität, Bodenverluste, Verschmutzung -, viel schwieriger ist es hingegen, diesen einen Wert zu geben. Welches sind zum Beispiel die ökonomischen Kosten, wenn wir die natürlichen Feinde einer Insektenplage zerstören? Dies ist eine grosse Herausforderung an die Ökologie, in welcher sie viel zu einer nachhaltigen Ökonomie beitragen kann.

7. ÖKOLOGIE - WOHIN?

Als Umweltberater empfand ich, dass mein Rat, z.B. zur Umweltauswirkung eines neuen Flugplatzes, sehr oft äusserst vage und allgemein war. Er stand zu der technischen Präzision der ingenieurbaulichen Anträge in starkem Kontrast. Es ist klar, dass in vielen Gebieten unser ökologisches Verständnis unzureichend ist. Tatsächlich fehlt es der Ökologie manchmal an Vorhersagekraft. Im Folgenden werden einige Gebiete genannt, in denen sich die Ökologie sich entwickeln sollte.

1. *Experimentelle Ökologie.* Ökologie begann als eine beschreibende Wissenschaft. Wir lernten viel durch die Beschreibung von Pflanzengesellschaften und der Bedingungen, unter welchen sie vorkommen. Einige Fragestellungen können jedoch nur durch Experimente beantwortet werden.

2. *Landwirtschaftliche, industrielle und städtische Umwelt.* Ökologen haben ihre grösste Aufmerksamkeit den natürlichen Habitaten gewidmet. Wir sollten im Gegenteil unsere Bemühungen auf die landwirtschaftlichen, industriellen und städtischen Gebiete konzentrieren, denn dort geschehen die grössten ökologischen Veränderungen. Besonders besorgniserregend ist der Verlust an biologischer Diversität.
   Unser Interesse im Naturschutz sollte zunehmend der Erhaltung von Diversität in der Umwelt, in der wir leben und arbeiten, gelten. In der Schweiz besteht z.B. ein interessantes Projekt, Wildblumen in intensiv bewirtschafteten Agrargebieten wiedereinzuführen. Man konnte dort bereits den zusätzlichen Effekt einer Zunahme der Diversität von Insekten und Vögeln beobachten. Experimente dieser Art könnten die ersten Schritte

zur Bildung einer nachhaltigeren Landwirtschaft sein, welche weniger stark von Agrochemikalien abhängig ist.

3. *Ökologie auf grossräumigem Massstab.* Es herrscht ein grosses Missverhältnis zwischen dem Massstab von Umweltproblemen und dem, in welchem wir Ökologie betreiben (EDWARDS, MAY und WEBB 1994). Die meisten ökologischen Theorien stammen von Studien, die in kleinem Massstab innerhalb von Habitaten gemacht wurden.
   In ökologischen Modellen vereinfachen wir das System oft bewusst, indem wir Prozesse ignorieren, die in den Zwischenräumen innerhalb der Habitate ablaufen, wie die Migration von Tieren oder die Verlagerung von Nährstoffen. Die meisten Umweltprobleme tauchen im grossräumigem Masstab auf und sind oft ein Resultat von Transfervorgängen (Tab. 5). Wir müssen z.B. die Wasserbewegung untersuchen, wenn wir die Funktionsweise von Feuchtgebieten verstehen wollen. Um den Einfluss von Tieren auf ein Ökosystem zu verstehen, müssen wir wissen, wie sie ihr Gebiet ausnützen. Ganz allgemein: um Voraussagen im grossräumigen Massstab machen zu können, müssen wir fähig sein, unsere ökologischen Modelle in der realen Landschaft anzuwenden. In anderen Worten, wir benötigen ausführliche räumliche Modelle, welche die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Landschaftselementen berücksichtigen (PULLIAM und DUNNING 1995). Dazu sind räumliche Werkzeuge wie Geographische Informationssysteme (GIS) und Fernerkundung nötig.

Tab. 5. Einige Fragen der grossräumigen Ökologie.
Some questions in large scale ecology.

Klimaveränderungen		Populationen
Habitat-Fragmentierung		Gemeinschaften
Gundwasserabsenkung	→ ?	Biodiversität
Saurer Regen		Produktivität
Umweltverschmutzung		Nährstoffkreisläufe
Überweidung		Wasserkreislauf

8. ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

Sie sind vielleicht überrascht, dass ich das Thema Nachhaltigkeit für diese Einführungsvorlesung gewählt habe, anstelle eines spezifischen Gebietes in der ökologischen Forschung. Der Grund dafür liegt in meiner Überzeugung, dass die Herausforderung der Nachhaltigkeit die wichtigste Aufgabe unserer Zeit ist. Darf ich Ihnen aus dem Buch "Ecological Literacy" von David ORR (1992) zitieren: *"It is not too much to say that the decisions about how or whether life will be lived in the next century are being made now. We have a decade or two in which we must make unprecedented changes in the way we relate to each other and to nature."* Ich bin froh, dass ich Teil einer Institution bin, die die Bedeutung der Nachhaltigkeit durch ihre Beteiligung an der "Alliance for Sustainability" erkannt und bestätigt hat.

Ebenso glaube ich, dass Ökologie eine zentrale Disziplin ist, um in der Herausforderung Nachhaltigkeit zu erlangen.
Alle Universitäten sollten ökologische Kenntnisse und ökologisches Bewusstsein vermitteln.

Schliesslich ist dies für die ETH speziell wichtig. Die Leute, die wir ausbilden - Bauingenieure, Kulturingenieure, Forstingenieure und Agronomen - werden durch ihre Arbeit die Entwicklung der Umwelt beeinflussen. *Ökologie sollte für sie ein Werkzeug sein, um "Harmonie mit der Natur" zu erreichen.*

SUMMARY

The theme of this lecture is that ecology is an essential tool in solving problems of resource management and engineering. Two examples, water mangement and agriculture, are taken to illustrate that technological progress has often been associated with serious environmental damage and loss of biological divesity. Both examples demonstrate a 'spiral of intervention' which is driven by the undesirable consequences of previous technical advances. We are now realising the limits of technology alone in solving environmental problems, and it is encouraging to see the emergence of 'soft engineering', which aims to work with nature rather than against it, and the new discipline of agro-ecology, which seeks to find more sustainable types of agricultural production based upon an understanding of ecological processes. It is argued that three issues are important to meet the challenges posed by the crisis of sustainability: 1. getting ecology into technology, 2. getting ecology into economics, and 3. improving the ability of ecology to address environmental issues at a large spatial scale.

VERDANKUNGEN

Für die Übersetzung dieser Vorlesung in die deutsche Sprache bin ich Y. Edwards-Widmer und L. Pazeller, für das Zeichnen der Abbildungen A. Hegi und für die Bereitstellung der Dias R. Graf und S. Locher äussert dankbar.

LITERATUR

ALTIERI M.A., 1987: Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Westview Press, Boulder, Colorado. 227 S.

ALTIERI M.A., 1991: The agro-ecology of temperate cereal fields: entomological implications. In: FIRBANK L.G., CARTER N., DARBYSHIRE J.F. und POTTS G.R. (eds), The Ecology of Temperate Cereal Fields. Blackwell. 259-274.

BRIGGS D.J. und COURTNEY F.M., 1985: Agriculture and Environment - the Physical Geography of Temperate Agricultural Systems. Longman. 442 S.

BROOKES A., 1987: The distribution and management of channelized streams in Denmark. Regulated Rivers *1*, 3-16.

BROOKES A., 1988: Channelized Rivers - Perspectives for Ecological Management. Wiley. 326 S.

CARTER R.W.G., 1988: Coastal Environments. Academic Press.

EDWARDS P.J., MAY R.M. und WEBB N.R., 1994: Large-Scale Ecology and Conservation Biology. Blackwell. 375 S.

EHRLICH P.R. und EHRLICH A.H., 1991: Healing the Planet. Addison-Wesley Publishing Company. 366 S.

FIELD B.C., 1994: Environmental Economics. McGraw-Hill. 482 S.

FREEDMAN B., 1995: Environmental Ecology. 2. Aufl. Academic Press. 606 S.

GOODLAND R., 1992: The case that the world has reached limits. In: GOODLAND R., DALY H.E. and EL-SERAFY S. (eds), Population, Technology, and Lifestyle - the Transition to Sustainability. Island Press, Washington, D.C. 3-22.

GRAY A.J., BENHAM P.E.M. und RAYBOULD A.F., 1990: *Spartina anglica* - the evolutionary and ecological background. In: *Spartina anglica* - a Research Review. ITE Research Publication *2*. Natural Environment Research Council, London. 5-14.

HARPER D.M. und FERGUSON J.D. (eds), 1994: The Ecological Basis for River Management. Wiley. 614 S.

LAWTON J.L., 1994: What will you give up? Oikos *71*, 353-354.

L'VOVICH M.I. und WHITE G.F., 1990: Use and transformation of terrestrial water systems. In: TURNER II B.L., CLARK W.C., KATES R.W., RICHARDS J.F., MATTHEWS J.T. und MAYER W.B. (eds), The Earth as Transformed by Human Action. - Global and Regional Changes in the Biosphere over the past 300 Years. Cambridge. 235-252.

ORR D.W., 1992: Ecological Literacy - Education and the Transition to a Postmodern World. State University of New York Press. 210 S.

PETERS R.H., 1991: A Critique for Ecology. Cambridge. 366 S.

PETTS G.E., 1984: Impounded Rivers. - Perspectives for Ecological Management. Wiley. 326 S.

PETTS G.E., 1990: Forested river corridors: a lost resource. In: COSGROVE D. und PETTS G. (eds), Water, Engineering and Landscape. Belhaven Press, London. 12-34.

PIMENTAL D., 1987: Is Silent Spring behind us? In: MARCO G.J., HOLLINGWORTH R.M. und DURHAM W. (eds), Silent Spring Revisited. American Chemical Society, Washington DC. 175-190.

POIROT J.W., 1995: Urban regenertation and environmental challenge. J. of Professional Issues in Engineering Education and Practice *121*, 59-61.

PONTING C., 1991: A Green History of the World. St. Martins Press, New York. 432 S.
PULLIAM H.R. und DUNNING J.B. Jr., 1995: Spatially explicit models. Ecological Applications *5*, S. 2.
RANWELL D.S., 1983: Use of vegetation in shoreline protection. In: Shoreline Protection. Thomas Telford Ltd, London. 105-110.
SATTAUR O., 1990: Guyana's test at high tide. New Scientist *31,* March 1990. 46-49.
SMIL V., 1990: Nitrogen and phosphorus. In: TURNER II B.L., CLARK W.C., KATES R.W., RICHARDS J.F., MATTHEWS J.T. und MAYER W.B. (eds), The Earth as Transformed by Human Action. - Global and Regional Changes in the Biosphere over the past 300 Years. Cambridge. 423-436.
TISDELL C.A., 1991: Economics of Environmental Conservation. Elsevier. 233 S.
TOLBA M.K. und EL-KHOLY O.A. (eds), 1992: The World Environment 1972-1992: Two Decades of Challenge. Chapman & Hall, London. 884 S.
VITOUSEK P.M., MATHESON P., EHRLICH A. und EHRLICH P., 1986: Human appropriation of the products of photosynthesis. BioScience *34*, 368-373.

Adresse des Autors: Prof. Dr. Peter J. EDWARDS
Geobotanisches Institut ETHZ
Zürichbergstrasse 38
CH-8044 Zürich