

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 89 (1997)  
**Heft:** 5-6

**Artikel:** Zeitgemässer Hochwasserschutz an Fließgewässern  
**Autor:** Bratrich, Christine / Bloesch, Jürg  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940187>

### **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:** 20.02.2026

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

Durch die Vergärung in einem hermetisch geschlossenen Silo (oder Fermenter) werden die Abfälle durch Bakterien bei 55°C innert rund drei Wochen abgebaut. Das entstehende geruchlose Produkt ist hygienisiert und wird danach wieder von den Lieferanten abgeholt.

### Konzept nutzt bestehende Infrastrukturen

Nach der Vergärung folgt eine etwa 20tägige, aerobe Reifung des Vergärrückstandes unter Zumischung von Astmaterial und Frischkompost (Mietenkompostierung). Dies geschieht wieder auf den bestehenden regionalen Kompostieranlagen mit der gelenkten, kontrollierten Kompostierung (System Vollenweider). Das biologisch aktive Endprodukt kann nachher in der Landwirtschaft, im Garten- und Rebbaubereich sowie in Baumschulen als wertvoller Bodenverbesserer verwendet werden. Dank dieses dezentralen Konzepts werden bestehende Infrastrukturen und Absatzkanäle in den Gemeinden genutzt. Leerfahrten werden weitgehend vermieden, weil jeder Liefercamion gleich wieder verarbeitetes Material mitnimmt.

### Es stinkt nicht!

Die Vorvergärung erfolgt geruchsfrei und anaerob (unter Ausschluss von Sauerstoff). Die Abluft wird gewaschen, gereinigt und über einen Biofilter ins Freie geleitet. Auch von der Anlieferungshalle und den Vorbehandlungsräumen können keine Gerüche austreten, da die entsprechenden Gebäude mit Unterdruck betrieben werden. Für den Transport gelangen Grosscontainer zum Einsatz.

### 65 Liter Heizöl pro Tonne Grünabfall

Neben dem Kompostrohstoff wird in der Anlage Biogas erzeugt. Die Menge entspricht rund 65 Litern Heizöl pro Tonne Material. Das Biogas wird in der Anlage in Wärme (Dampf) und Strom umgewandelt. Die Abwärme und den Dampf verwendet das benachbarte Betonwerk der E. Bernasconi AG für die Prozesswärme in der Betonproduktion, der Strom wird über das Elektrizitätswerk Aarberg ins öffentliche Netz eingespeist.

### Umweltverträglichkeitsprüfung

Verschiedene Einsprecher bemängelten, dass mit dem Betrieb der Anlage lästige Gerüche und übermässiger Verkehr anfallen würden. Die Anwohner und die Gemeinde Aarberg konnten von der Bauherrschaft im gemeinsamen Dialog vom Gegenteil überzeugt werden. Das Projekt bestand auch die notwendige kantonale Umweltverträglichkeitsprüfung im wesentlichen dank des emissionsfreien Verfahrens und des Leerfahrts vermeidenden Transportkonzepts. Die Anlieferung der Abfälle erfolgt mit wenigen Lastwagen pro Tag in speziellen Grosscontainern.

### Vier Partnerfirmen

Die Vergärungsanlage Seeland AG wird von der Privatwirtschaft getragen. Den Gemeinden entstehen keine neuen Kosten. Beteiligt sind vier Firmen: Die Grünentsorgungsfirma Berom SA (Biel/Moutier) und die Vollenweider Reisen und Transporte AG (Grenchen) sorgen für Marketing, Logistik und die Anlieferung der Grünabfälle. Das Spannbetonwerk E. Bernasconi AG (Aarberg) ist der Generalunternehmer für den Bau und nimmt einen Teil der anfallenden Energie in Form von Dampf und Wasser ab. Für Verfahren, Anlage und Betriebseinrichtungen des 14-Millionen-Projekts zeichnet die auf Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung spezialisierte Alpha-Umwelttechnik AG (Nidau) verantwortlich.

## Zeitgemässer Hochwasserschutz an Fliessgewässern

Chancen und Grenzen einer neuen Philosophie

### am Beispiel der Engelberger Aa

Christine Bratrich und Jürg Bloesch

#### Zusammenfassung

Die schweren Hochwasserkatastrophen der Jahre 1987 und 1993 führten in der Schweiz zu einer «neuen Philosophie» im Hochwasserschutz. Grundsätze des neuen Konzepts wurden am 27. April 1995 an der Fachtagung «Zeitgemässer Hochwasserschutz – Neuere Entwicklungen und Fallbeispiel Engelberger Aa» in Hergiswil präsentiert. Ökomorphologische und gewässerbiologische Untersuchungen an der Engelberger Aa aus den Jahren 1993/94 ergänzen nun das «Generelle Hochwasserschutzprojekt des Kantons Nidwalden» und zeigen besonders im Unterlauf des Gewässers gravierende ökologische Schutzdefizite. Erst wenn die Umsetzung von Renaturierungsmassnahmen die Bedürfnisse sowohl des Hochwasserschutzes als auch des Naturschutzes berücksichtigt, hat sich die neue Philosophie bewährt.

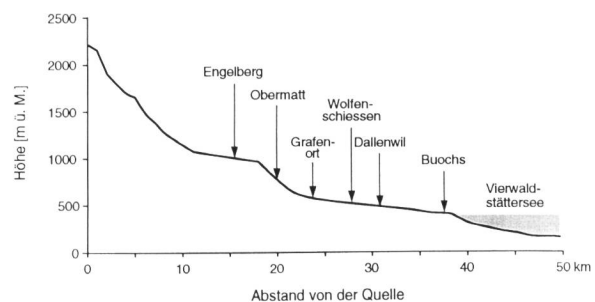
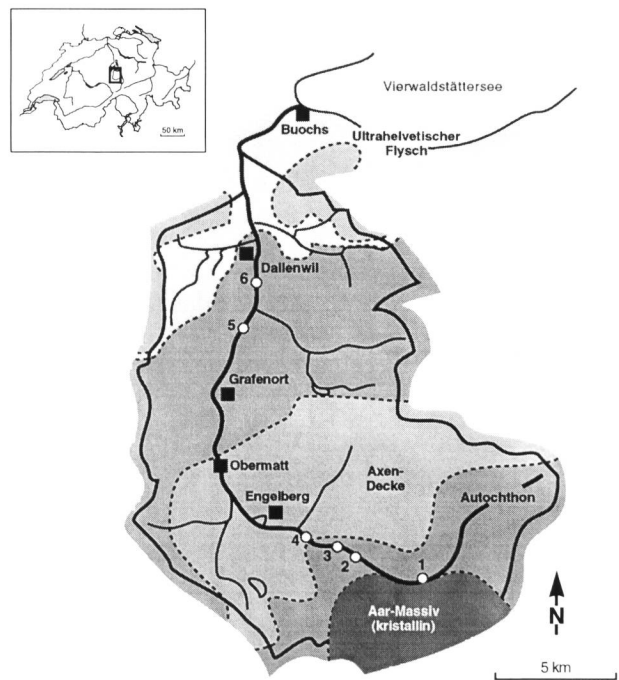


Bild 1. Die Engelberger Aa: Geographische Lage (Inset links oben), Geologie und Längenprofil. Verändert nach Niederer et al. (1992). Die Nummern geben die biologischen Untersuchungsstellen an (Stellen 1–4: Bratrich, 1994; Stellen 5–6: Marrer et al., 1992).



Bild 2. Engelberger Aa, Abschnitt 1: natürlicher Oberlauf oberhalb Engelberg.

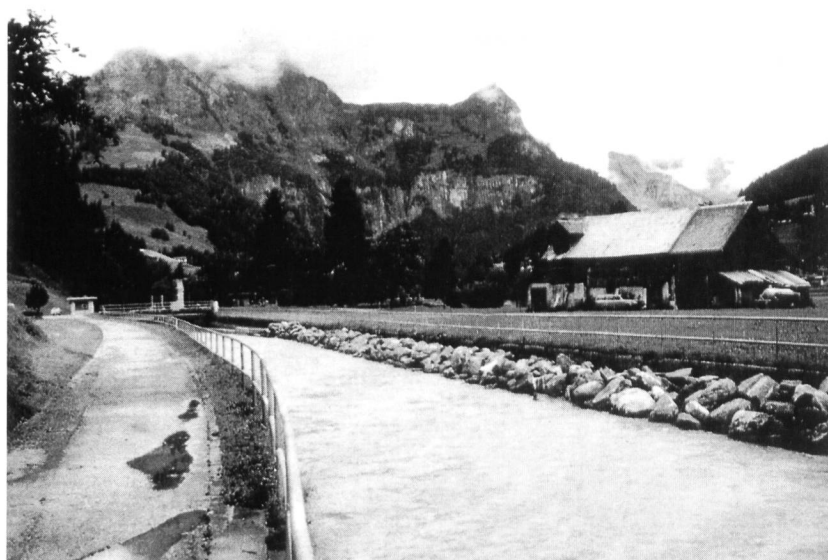


Bild 3. Engelberger Aa, Abschnitt 2: verbauter Abschnitt im Hochtal bei Engelberg. Fotos: Christine Bratrich.

## Einleitung

Parallel zur Ursachenanalyse der letzten Hochwasserkatastrophen wuchs in der Schweiz die Erkenntnis, dass bestehende Sicherheitsdefizite nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit minimiert werden können. Aus solchen Überlegungen entstand eine «neue Philosophie», die im Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau (Wasserbaugesetz, WBG) und in der Verordnung über den Wasserbau vom 2. November 1994 (Wasserbauverordnung, WBV) verankert wurde (Willi, 1995). Die aktuelle Schutzkonzeption konzentriert sich auf die Bereiche Prävention, Gefahrenanalyse und Raumplanung (Guggisberg, 1995, Willi, 1995). Dabei wird – und das ist das eigentlich Neue – unter bestimmten Voraussetzungen ein einkalkuliertes Restrisiko bewusst in Kauf genommen (Weber et al., 1992). Nach umfangreicher Abwägung verschiedenster Interessen und unter Berücksichtigung des jeweiligen Schadenpotentials sollen von nun an keine pauschalen, sondern differenzierte Schutzziele formuliert werden. Dies gilt auch dann, wenn es um die Interessen des Umwelt- und Landschaftsschutzes geht. Ist der jeweils erforderliche Hochwasserschutz gewährleistet, so sind aus ökologischer Sicht erwünschte Minimalverbauungen oder Rückbaumassnahmen ausdrücklich vorzuziehen (WBG, Art. 4, Abs. 2). Gesetzliches Renaturierungsziel ist die Wiederherstellung der natürlichen Gewässerdynamik in ihrer ökologisch funktionellen Vernetzung zu den angrenzenden Lebensräumen (WBV, Art. 6). Damit wurde eine sinn-gemässe Übereinstimmung mit den Zweckartikeln der Bundesgesetze über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991 (Gewässerschutzgesetz, GSchG, Stand am 1. Januar 1995) und über die Fischerei vom 21. Juni 1991 (Fischereigesetz, FG) angestrebt.

Diese juristische Neuerung ist gerade in der Schweiz besonders bedeutsam: Nur noch knapp 5 % der alpinen Fließgewässer können hier als naturnah bezeichnet werden (Cipra, 1992). Im Mittelland sind infolge flächendeckender Flusskorrekturen nahezu alle Fließgewässer stark beeinträchtigt. Über Jahrzehnte hinweg fand dies stillschweigende Akzeptanz, und allmählich passte sich das Naturverständnis des 20. Jahrhunderts dem Erlebnis-horizont einer stark verarmten und «technisch erodierten»

(Ewald, 1978) Kulturlandschaft an. Dabei waren gerade Flusslandschaften früher die mit Abstand artenreichsten Gebiete unserer Breiten (Gonser, 1994). In ihrer natürlichen Morphologie sind Fließgewässer wie kaum ein Ökosystem durch die Übergänge zu anderen Lebensräumen geprägt. Für die ökologische Funktion des gesamten Systems sind gerade diese sogenannten Ökotope<sup>1</sup> bedeutsam (Naiman et al., 1988, Pinay et al., 1990). Sie treten überall dort auf, wo der Kontakt zum Lückensystem des Interstitials erhalten ist und dem Gewässer ausreichend Raum zur Verfügung steht, sich entsprechend den topographischen Gegebenheiten und der natürlichen Abflusssdynamik in seitlicher Richtung auszubreiten. Mit den aus historischer Sicht durchaus nachvollziehbaren, wasserbaulichen Massnahmen der letzten zwei Jahrhunderte (DVWK, 1994) ging somit eine grosse strukturelle und biologische Vielfalt verloren.

Heute zeigt sich nun – neben der ökologischen und ethischen Problematik einer solchen Entwicklung –, dass auch im Bereich des Hochwasserschutzes mögliche Grenzen des technisch Machbaren erreicht sind. Veränderte Wetterverhältnisse und die daraus abgeleiteten Niederschlagsverschiebungen (Caspary & Bárdossy, 1995), mangelnder Retentionsraum sowie begradigte Flussläufe mit ihren schnellen und künstlich überhöhten Hochwasserspitzen provozieren ein vermehrtes Auftreten von Extremabflüssen. Diese Tendenz führte auch im Wasserbau zur Entwicklung alternativer Schutzkonzepte: Immer häufiger werden nun nachhaltige Lösungsansätze formuliert, die sich am dynamischen Gleichgewichtszustand einer naturnahen Gewässerstruktur orientieren (Otto, 1991, Zarn, 1993). Künstlich eingezwängte Flussläufe sollten überall dort mehr Raum erhalten, wo nicht unmittelbarer Schutzbedarf für menschliche Siedlungs- und Nutzungsflächen besteht. Die Umsetzung solcher Ziele erfordert deshalb eine umfassende Dokumentation der ökologischen Schutzdefizite sowie die interdisziplinäre Bereitschaft, diese Defizite mit Hilfe entsprechender Gewässerbetreuungskonzepte zu beseitigen (Jungwirth & Moog, 1994). Im Fall der Engelberger Aa liegt nun die Dokumentation der ökologischen Schutzdefizite vor (Bratrich, 1994).

<sup>1</sup> Erklärung der biologischen Fachbegriffe im Glossar am Textende.



Bild 4. Engelberger Aa, Abschnitt 3: Tobel zwischen Engelberg und Mettlen.



Bild 5. Engelberger Aa, Abschnitt 4: stark verbauter und kanalisierter Unterlauf bei Büren. Fotos: Christine Bratrich.

### Fallbeispiel Engelberger Aa

#### Charakterisierung des Gewässers

Als Stierenbach entspringt die Engelberger Aa im vergletscherten Einzugsgebiet nahe dem Surenenpass in einer Höhe von 2270 m ü. M. (Kanton Uri). Auf ihrer knapp 40 km langen Laufstrecke überwindet sie rund 1800 Höhenmeter und mündet bei Buochs in den Vierwaldstättersee (Bild 1). Der Oberlauf ist über weite Strecken ein charakteristischer, durch Gletscher- und Schmelzwasser geprägter Wildbach. Dagegen ist der Unterlauf infolge jahrhundertelanger Siedlungsaktivität stark anthropogen überformt. Der mittlere Jahresabfluss beträgt 6 m<sup>3</sup>/s (Pegel Engelberg) und 12,5 m<sup>3</sup>/s (Pegel Buochs, Landeshydrologie und -geologie, 1992). Aufgrund der geomorphologischen Charakteristika kann das Gewässer in vier zusammenhängende Abschnitte unterteilt werden (Bilder 2 bis 5): Der erste steile und durch Kaskaden geprägte Abschnitt umfasst eine Lauflänge von rund 12 km. Er liegt zwischen Surenenpass und dem Hochtal um Engelberg. Es folgt eine Strecke, die aufgrund des verringerten Gefälles einer geomorphologischen Umlagerungsstrecke entspricht (Abschnitt 2, etwa 5 km). Unterhalb von Engelberg, am Ende des Eugenisees, wird der Bach nach einer ersten kurzen Restwasserstrecke durch die Zuflüsse des Arni- und Trüebimbaches gespeist und fliesst ebenfalls über Kaskaden durch ein steiles Tobel (Abschnitt 3, etwa 4 km). Nach einer zweiten, fast 8 km langen Restwasserstrecke zwischen Obermatt und Dallenwil erreicht die Engelberger Aa als eingezwängter Kanal eine ehemals grosse Alluvialfläche im weiten Tal zwischen Grafenort und Buochs (Abschnitt 4, etwa 21 km).

#### Methodisches Vorgehen

Die Formulierung ökologischer Schutzdefizite an der Engelberger Aa erfolgte aufgrund einer ausführlichen Dokumentation des Ist-Zustands (Bratrich, 1994). Dazu wurde das Gewässer von der Quelle bis zur Mündung über 38,4 km ökomorphologisch kartiert und an fünf Stellen im Oberlauf biologisch untersucht (Makrozoobenthos, Fische). Die Erhebung der ökomorphologischen Daten erfolgte durch eine von uns erweiterte Methode nach Werth<sup>2</sup> (Werth, 1987), wobei sich die Bewertung der Naturnähe eines Gewässerabschnitts an relativen Massstäben orientierte. Die Zustandsklasse 1 («natürlicher Zu-

stand») entspricht der natürlichen Referenz oder dem «gedachten natürlichen Zustand», wie er ohne anthropogene Einflüsse oder im Sinne einer regionalen Gewässertypologie charakteristisch wäre. In einer siebenstufigen Skala (Bilder 7 und 8) wurden die Summenparameter «Linienführung», «Sohlstruktur», «Verzahnung Wasser/Land», «Böschungsbearbeitung» und «uferbegleitendes Gehölz» beurteilt. Der Gesamtzustand (Bild 7) ergab sich aus dem arithmetischen Mittel aller fünf Summenparameter. Zusätzlich wurde eine Ergebniskarte mit erhöhtem Detaillierungsgrad erstellt, auf der alle Summenparameter einzeln nebeneinanderstehen (entsprechend Werth, 1992, Bild 8). Zur Dokumentation des faunistischen Aspekts im Oberlauf der Engelberger Aa wurden zwischen August und Dezember 1993 monatliche Benthosproben genommen (choriotopspezifisches<sup>3</sup> Kicksampling und Exposition künstlicher Substrate; Stellen 1–4, Bild 1). Eine einmalig durchgeführte qualitative Elektrofischung an diesen vier Stellen ergänzte die Untersuchungen.

#### Ökomorphologischer und biologischer Ist-Zustand

Die kartographische Darstellung der ökomorphologischen Ergebnisse (Bilder 7 und 8) macht folgendes deutlich: Betrachtet man den Gesamtverlauf der Engelberger Aa (38,4 km), so entfallen davon rund 40 % in die Zustandsklasse 1. Das bedeutet, mehr als ein Drittel des Gewässers befindet sich in einem morphologisch «natürlichen Zustand». Allerdings liegen mehr als 43 % der gesamten Fließstrecke (16,6 km) in topographisch so schwer zugänglichen Gebieten, dass sie extrem schlecht «verbaubar» sind (Hochgebirgs- und Tobelabschnitte, Bilder 2 und 4). Die restlichen Abschnitte (überall dort, wo das Gewässer für wasserbauliche Veränderungen gut zugänglich ist,

<sup>2</sup> Die Methode nach Werth (1987) wurde a) durch die Aufnahme der Querbauten (Wanderhindernisse) in die Bewertungskarte, b) durch eine Bestandsaufnahme der bachbegleitenden, ortstypischen Ufervegetation, c) durch die Kurzbeschreibung der geomorphologischen Geländeeigenschaften sowie der angrenzenden Nutzung und d) durch morphometrische Vermessungen der Bett- und Uferstruktur ergänzt.

<sup>3</sup> Die Charakterisierung der beprobten Choriotope erfolgte entsprechend dem herrschenden hydraulischen Stress, der sich (nach Statzner, 1981) aus der aktuellen Gewässertiefe, Strömungsgeschwindigkeit und Substratrauhigkeit ergibt.



**Tabelle 1: Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung an der Engelberger Aa** (Methode modifiziert nach Werth 1987). Erklärungen und Beschreibung der Teilabschnitte siehe Text, Angaben: % Fließstrecke pro Abschnitt, bzw. Gesamtverlauf, *Schattierte Flächen* = max. Anteil einer Zustandsklasse.

	linkes Ufer							rechtes Ufer						
Zustandsklassen	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Abschnitt 1 [%]	92,4	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	89,8	8,9	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0
Abschnitt 2 [%]	0,0	7,6	38,1	50,9	0,0	3,4	0,0	0,0	7,6	22,0	45,4	9,6	15,4	0,0
Abschnitt 3 [%]	89,2	0,0	10,4	0,0	0,0	0,0	0,4	78,1	10,4	10,0	1,0	0,0	0,0	0,4
Abschnitt 4 [%]	0,0	1,6	11,3	39,5	20,9	26,7	0,0	0,0	2,6	11,3	34,1	35,4	16,7	0,0
Gesamtverlauf [%]	39,9	4,2	11,8	24,6	8,5	10,9	0,1	37,7	6,3	9,3	21,5	15,9	9,2	0,1

**Tabelle 2: Abundanz-, Taxazahlen, Diversitätsindex nach Shannon-Wiener und Evenness** unterschiedlich stark beeinflusste Probenahmestellen im alpinen Abschnitt der Engelberger Aa (Stelle 1: "natürlicher Zustand", Stelle 2: "naturnaher Zustand", Stelle 3: "stark beeinträchtigter Zustand", Stelle 4: "naturferner Zustand"); alle Berechnungen nach Mühlenberg (1993); zusammengefasste Ergebnisse aus jeweils drei unterschiedlichen Choriotopen. MW = arithmetisches Mittel der Monate August bis Dezember 1994, SD = Standardabweichung.

		21.08.94	23.09.94	19.10.94	08.11.94	13.12.94	MW	SD
<b>Abundanz</b>	Stelle 1	139	223	182	-	561	276	±60
	Stelle 2	219	487	196	162	345	284	±167
	Stelle 3	229	373	320	-	vereist	307	±59
	Stelle 4	223	292	363	79	trocken	239	±121
<b>Taxazahl</b>	Stelle 1	16	18	23	-	36	23	±7,8
	Stelle 2	25	28	18	18	29	24	±4,8
	Stelle 3	18	25	28	-	vereist	24	±4,1
	Stelle 4	18	24	27	15	trocken	21	±3,0
<b>Diversität</b>	Stelle 1	2	2,2	2,4	-	2,6	2,3	±0,22
	Stelle 2	2,4	1,7	2,1	2,3	3,4	2,4	±0,56
	Stelle 3	2,4	1,9	2,5	-	vereist	2,3	±0,26
	Stelle 4	2,2	1,8	2,4	2,2	trocken	2,2	±0,22
<b>Evenness</b>	Stelle 1	0,72	0,76	0,76	-	0,74	0,75	±0,02
	Stelle 2	0,75	0,5	0,73	0,8	0,74	0,7	±0,10
	Stelle 3	0,81	0,6	0,76	-	vereist	0,72	±0,09
	Stelle 4	0,77	0,55	0,71	0,81	trocken	0,71	±0,10

Bilder 3 und 5) sind durchgängig und teilweise extrem beeinflusst (Tabelle 1). Mehr als 50 % dieser Fließstrecken sind im günstigsten Fall «deutlich beeinträchtigt». Im Unterlauf ab Grafenort mussten rund 85 % der Engelberger Aa als zumindest «deutlich beeinträchtigt» klassifiziert werden; 20 bis 35 % davon (je nach Gewässerseite) als «stark beeinträchtigt» und 15 bis 25 % als «naturfern». Die Linienführung, die über weite Strecken mit «naturfremd» oder

«naturfern» beurteilt wurde, wirkt dabei am negativsten auf die Gesamtbeurteilung (Bild 8). Wehre und Sohlschwellen, zur Kompensation des erhöhten Sohlgefälles im begradigten Unterlauf eingebaut (Bild 7), unterbinden die Fischwanderung bereits kurz nach der Mündung der Engelberger Aa in den Vierwaldstättersee. Die ökologisch bedeutsame Durchgängigkeit des Gewässers ist damit unterbrochen, was durch die Restwasserstrecke zwischen Obermatt und

Dallenwil zusätzlich verschärft wird. Ähnlich bedenklich ist die Situation der Ufer- und Böschungsstrukturen (Bild 8). Im Unterlauf sind viele Uferbereiche sehr hart, häufig mit Beton- oder Steinmauern befestigt. Über weite Strecken fehlt der natürliche Uferbewuchs völlig, oder er ist auf einen schmalen, bachbegleitenden Streifen beschränkt. Der «biologische Wert» vieler dieser Strecken reduziert sich auf vereinzelter Moospolster oder Weidensprösslinge in den verbleibenden Mauerritzen. Gerade dort, wo in einem natürlichen Gewässer das ökologisch bedeutsame Ökoton Wasser-Land entstünde, ist die Verzahnung zwischen Fliessgewässer und terrestrischem Umland häufig vollständig unterbunden. Besonders zwischen Dallenwil und Büren sowie zwischen Ennerberg und der Mündung bei Buochs kann von keinem – auch nur annähernd – natürlichen Fliessgewässer gesprochen werden.

Bezüglich der Gewässerökologie ist zu beachten, dass die biologische Besiedlung in den tieferen, ehemals weiten Alluvialflächen ungleich stärker vom Verlust einer natürlichen Gewässerstruktur betroffen ist als in hochalpinen Gewässerabschnitten. Höher gelegene Fliessgewässer sind besonders stark durch extreme Umweltbedingungen beeinflusst. Natürlicherweise entwickelt sich dort eine sehr gut angepasste, aber artenarme Biozönose (Ward, 1994). Solange das Schotterbett eine relative Habitatvielfalt zulässt und vor allem der Kontakt zum Interstitial erhalten bleibt, können sich alpine Biozönosen in wenig verbauten Gewässerabschnitten teilweise erhalten (Bloesch et al., 1997). Dies konnte auch im vorliegenden Fall der Engelberger Aa bestätigt werden: Der alpine Abschnitt des Gewässers ist durch eine ausgesprochen arten- und individuenarme Zoozönose charakterisiert (Tabelle 2). Verglichen mit einer als «natürlich» klassifizierten Referenzstrecke (Stelle 1, Bild 1) konnten in den verbauten Abschnitten (Stellen 2–4, Bild 1) keine Besiedlungsunterschiede ermittelt werden, die in direktem Zusammenhang zur Uferverbauung standen. Die gesamte biologische Besiedlung war viel mehr durch die ausgeprägten Sommerhochwasser sowie durch das natürliche Trockenfallen einiger Abschnitte im Winter beeinflusst. Da die Sohle, als wichtigster Schutz- und Rückzugsraum, einen durchgängig guten Kontakt zum schotterreichen Untergrund aufwies, wirkten sich saisonale Schwankungen innerhalb der Gesamtbiozönose stärker aus als die Differenzen zwischen den unterschiedlich stark verbauten Strecken (Tabelle 2). Die Verbauungen im Oberlauf der Engelberger Aa beeinträchtigten die Ökologie weit weniger als diejenigen im Unterlauf, wo sich deshalb die grössten Schutzdefizite ergeben. Im kanalisiertem Unterlauf sind die Lebewesen zusätzlich den Auswirkungen des Kraftwerkbetriebes unterworfen. Nach der Wasserrückgabe in Dallenwil (Stelle 6, Bild 1) wurden weniger Makroinvertebraten-Taxa gefunden als oberhalb davon (Stelle 5, Bild 1; Marrer et al., 1992). Ebenso waren die Jungfische infolge des Schwallbetriebes stark dezimiert; die viel zu geringe Abundanz der älteren Fische innerhalb der Ausleitungsstrecke (Stelle 5, Bild 1) war dagegen vor allem die Folge von fehlenden grossen Kolken (Peter, 1993).

#### Renaturierung und zeitgemässer Hochwasserschutz

Re«natur»ierungsmassnahmen an der Engelberger Aa können keineswegs die Rückführung in einen – wie auch immer definierten – «Natur»zustand bedeuten (Bloesch, 1994). Vielmehr sollten realisierbare Massnahmen zu einem «naturnahen Gewässerzustand in der vorgegebenen Kulturlandschaft» führen (Hütte et al., 1994, 1995). Aus ökologischer Sicht ist dabei grundsätzlich zu beachten, dass Fliessgewässer einer hierarchischen Ordnung unterliegen

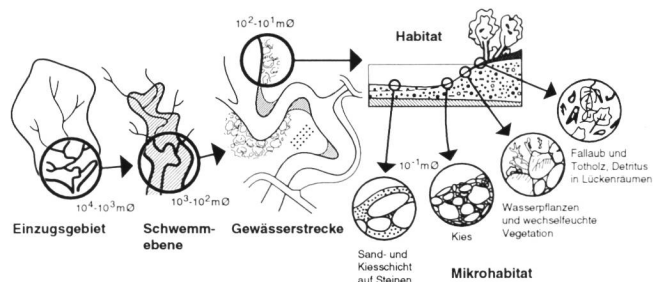


Bild 6. Hierarchische Organisation von Fliessgewässersystemen und ihrer «Subhabitats». Verändert nach Frissell et al. (1986).

(Frissell et al., 1986). Innerhalb dieser Ordnung, vom Einzugsgebiet über die natürlichen Umlagerungsflächen, die Uferstrukturen bis hin zu den Mikrohabitats (Bild 6), enthält und kontrolliert die jeweils höhere Organisationsebene die darunterliegenden Organisationsebenen. Sollen Renaturierungsmassnahmen möglichst weitreichende ökologische Wirkung erzielen, so müssen diese an der höchstmöglichen Organisationsstufe angreifen. Umgekehrt sind sehr kleinräumige Biotopverbesserungen gesamtökologisch eher unbedeutend. Auf das konkrete Beispiel der Engelberger Aa übertragen bedeutet dies, dass wenige, aber grossflächige Massnahmen dem lokalen «grün machen» unbedingt vorzuziehen sind. Im eng begrenzten Etat des Nidwaldner Hochwasserschutzprojekts sind daher folgende Massnahmen (auch finanziell) abzuwägen:

1. Hohe Priorität sollte die Längsvernetzung des Gewässersystems haben. Eine sinnvolle Umgestaltung der Wehre und Abstürze im Unterlauf ist vor allem aus fischbiologischer Sicht unumgänglich (Peter, 1991). Es ist anzunehmen, dass der erfolgreiche Abschluss dieser Massnahmen beispielsweise der Seeforelle ermöglichen wird, wieder in höher gelegenen Gewässerabschnitten abzulaichen.

2. Ebenso dringend und nachdrücklich sollte im Gewässerabschnitt zwischen Grafenort und Dallenwil über den Erwerb von angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen nachgedacht werden. Besonders die strukturelle Verarmung naturnaher Gewässer bedeutet einen Verlust von «ökologischer Potenz». Dies kommt häufig einem deutlichen Rückgang der Arten gleich oder zeigt sich im Verschwinden seltener Arten (Augustin et al., 1987, Speidel, 1992). Im Fall der Engelberger Aa ist anzunehmen, dass mit wenigen, aber flächigen Aufweitungsprojekten eine deutliche Verbesserung sowohl der Gewässermorphologie als auch der Gewässerbiologie zu erreichen wäre. Die natürlichen, flussaufwärts gelegenen Gewässerabschnitte (Bild 4) bieten – falls die Längsvernetzung gewährt ist – ein ausreichendes Potential zur Wiederbesiedlung. Als «ökologische Inseln» erfüllen solch renaturierte Gewässerabschnitte (z. B. als Rückzugshabitat) eine äusserst wichtige gewässerbiologische Funktion. Lokale Gewässer aufweitungen im Unterlauf der Engelberger Aa würden, wie das Beispiel der Emme zeigt (Zarn, 1992, 1993), neben einer deutlichen Erhöhung der Habitatvielfalt auch dem Hochwasserschutzgedanken vermutlich nicht widersprechen. Exemplarisch könnte an der Engelberger Aa die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Wasserbau und Ökologie Schule machen: In Kenntnis der vorhandenen Daten über Hydraulik, Abflussregime, Geländeform und Geschiebetransport (Niederer et al., 1992) wären Auflandungs- und Eintiefungerscheinungen sowie die möglichen Hochwasserauswirkungen mit Hilfe der neuen Modellierungsverfahren der VAW (Vischer, 1995, Hunzinger et al., 1995) vielleicht in nicht allzu ferner Zukunft zu ermitteln. Geht es in dem progressiven Nidwaldner Hochwasserschutzprojekt tatsächlich um

nachhaltige Lösungsvorschläge, so könnten hier – über den unmittelbaren Objektschutz hinaus – lokale Flussaufweitungen beispielhaft den Einklang zwischen Hochwasserschutz und naturnaher Gewässergestaltung demonstrieren. Neben der Vorreiterrolle des Kantons Zürich (Direktion d. öff. Bauten, 1989, *Conradin et al.*, 1993) könnte so auch im Kanton Nidwalden gezeigt werden, dass sich Hochwasserschutz und Ökologie nicht ausschliessen müssen.

3. Würden die gehölzfreien Abschnitte des Unterlaufs zusätzlich sukzessive mit ortstypischen Gehölzen bestockt und die Verzahnung zwischen Fließgewässer und terrestrischem Umland nach und nach durch aufgelockerte Ufersicherungen verbessert, dann könnten weite Abschnitte des «naturfernen» oder «stark beeinträchtigten» Unterlaufs der Engelberger Aa aus zukünftigen Bewertungskarten verschwinden. Sinnvolle und konstruktive Vorschläge zur Umsetzung dieses Ziels sind im «Generellen Hochwasserschutzprojekt des Kantons Nidwalden» beschrieben (*Niederer et al.*, 1992).

4. Obwohl die durch den Menschen veränderte Wasserführung mit der ökomorphologischen Methode nach *Werth* (1987, 1992) nicht erfasst wird, muss bei einer Renaturierung auch den Restwasserstrecken, besonders derjenigen zwischen der Totalfassung beim Ausgleichsbecken Obermatt und Grafenort, die nötige Beachtung geschenkt werden (Herstellung der Durchgängigkeit). Dabei müssen auch die Bauwerke zur Wasserentnahme oder -rückgabe (beispielsweise das Tiroler Wehr bei Obermatt) in die Revitalisierungsmassnahmen mit einbezogen werden. Da die Konzession des Kraftwerks Obermatt erst im Jahr 2041 erneuert werden muss und die gesetzlichen Mindestrestwassermengen (nach GSchG, Art. 31) deshalb noch nicht eingefordert werden können, wäre ein Umdenken der Kraftwerksbetreiber aus ökologischer Sicht wünschenswert. Der freiwilligen Anwendung des Artikels 31 (bei Nulldotations) und des Ausnahmeartikels 33 GSchG (Erhöhung der Mindestrestwassermengen) steht prinzipiell nichts im Wege.

Allerdings – und das ist aus ökologischer Sicht tatsächlich bedauernswert – bestätigte die Fachtagung in Hergiswil, dass noch immer der politische Wille fehlt, Umbaumassnahmen auch dann zu realisieren, wenn sie (selbst im Sinne des Hochwasserschutzes) «nur» zu einer Biotopverbesserung führen. Geht es also aus ökologischer Sicht um die konkrete Umsetzung der «neuen Philosophie im Hochwasserschutz», so scheitert sie offenbar weiterhin an rein materiellen Überlegungen. Der «Wert» eines natürlich intakten Fließgewässers wird dabei nach wie vor ausschliesslich am wirtschaftlichen Nutzen und am Horizont unserer Gesellschaft dimensioniert.

## Fazit

Was bleibt also zu tun, damit die «neue Philosophie im Hochwasserschutz» auch für die Gewässerökologie eine Chance ist?

– Die Gewässer(systeme) sind vor einer Ausbau- oder Renaturierungsmassnahme in ihrem morphologischen und biologischen Ist-Zustand genau zu erfassen. Jede politische Entscheidung kann nur in ausreichender Kenntnis der aktuellen Situation zu einer befriedigenden Lösung führen. Der Detaillierungsgrad solcher Erhebungen sollte, abgestimmt auf die zu erfassenden Dimensionen, flexibel am jeweiligen Ziel orientiert sein. Nebst rein morphologischen Kartierungen (z. B. *Werth*, 1992, modifiziert nach *Bratrich*,

1994, *LAW*, 1994) sind gute Kartierungsmethoden, die Morphologie und Biologie vereinen, in der Literatur bekannt (*Hütte et al.*, 1995). Zumindest ein wie bei *Hütte et al.* (1994, 1995) beschriebenes, hierarchisches Untersuchungskonzept zur Erfassung der Gewässerbiozönose (über fischbiologische und ausgewählte benthologische Untersuchungen) sollte bei gewässerbiologischen Studien in der Praxis nicht fehlen.

– Die Ergebnisse der biologischen und morphologischen Erhebungen müssen in den Entwürfen der Raumplanung berücksichtigt werden (z. B. im Generellen Entwässerungsplan, GEP). Die Aufnahme ökologischer Schutzdefizite in Richt- oder Nutzungspläne müsste dabei in logischer Konsequenz ebenso erfolgen, wie der explizit ausgewiesene Schutzstatus (noch) intakter Gewässerabschnitte.

– Der «Wert» eines intakten Fließgewässers muss über den unmittelbar wirtschaftlichen Faktor hinaus bemessen werden. Rückbaumassnahmen sollten auch dann ausgeführt werden, wenn durch sie – neben dem unmittelbaren Hochwasserschutzaspekt – vor allem eine Biotopverbesserung erzielt wird. Dies führt zu Überlegungen über ein «Eigenrecht» der Natur, wie es in vielen juristischen Auseinandersetzungen der letzten Jahre gefordert wird. Eine solche, für viele sicherlich absurd klingende Forderung bedeutet keineswegs ein «steinzeitliches Zurück zur Natur», das die Menschheitsgeschichte in ihrer technischen und kulturellen Entwicklung illusorisch leugnet. Vielmehr entsteht sie aus einer neuen Wissenschaftsethik, die auch im Bereich der interdisziplinären Diskussion über den (nicht nur wasserbaulichen, nicht nur ökologischen) Hochwasserschutz unerlässlich ist.

– Erkenntnis und Technik erfordern eine Verantwortung, die das Handeln vor den Lebewesen unserer Umwelt und deren zukünftigen Generationen rechtfertigen kann. In diesem Sinne sind im «Generellen Hochwasserschutzprojekt des Kantons Nidwalden» gute Grundlagen geschaffen. Fehlt allerdings der politische Wille zur Umsetzung, so wird aus ökologischer Sicht eine grosse Chance vertan.

## Verdankung

Wir danken *Andreas Frutiger*, *Michael Hütte* und *Klaus Jorde* für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

## Glossar limnologischer Fachausdrücke

Abundanz	Häufigkeit, Individuendichte von Tieren und Pflanzen
Benthos	Gesamtheit der in der Bodenzone eines Gewässers lebenden Organismen (Tiere: Zoobenthos und Pflanzen: Phytobenthos)
Biotop	Lebensraum, in dem Organismen (Biozönosen) in wechselseitiger Beziehung existieren
Biozönose	Lebensgemeinschaft (Zoozönose: der Tiere)
Choriotopt	durch bestimmten Substrattyp abgegrenzter Lebensbereich
Diversität	(biologische) Vielfalt innerhalb eines Ökosystems; wichtige Beziehungsgrösse zwischen Artbestand und Individuenverteilung
Durchgängigkeit	freie Wanderungsmöglichkeiten der Organismen in einem Fließgewässer
Evenness	relatives Verhältnis zwischen vorhandener und maximal möglicher Diversität
Habitat	Lebensraum im Gewässer, z. B. Interstitial, Kolke, Schnellen

Interstitial,  
hyporheisches

Lückenträume im Lockergestein unter oder direkt neben einem Fließgewässer, Grenzzone zwischen Fließgewässer und Grundwasser; Lebensraum der wirbellosen Kleintiere; Fortpflanzungsraum der kieselziehenden Fische

Kicksampling

qualitative Sammelmethode für Makroinvertebraten: das Bachbett wird mit den Schuhen aufgewühlt, und die abdriftenden Tiere werden in einem feinmaschigen Netz aufgefangen

Mikrohabitat

kleinräumiger Lebensraum im Gewässer, begrenzt z. B. auf Steine, Pflanzen, Totholz usw.

Makroinvertebraten

von bloßem Auge sichtbare wirbellose Kleintiere (vgl. Zoobenthos)

Ökosystem

Beziehungsgefüge aus Lebewesen (Biozönoten) und Umweltfaktoren (Biotopen)

Ökoton

Übergangsbereich, der verschiedene Ökosysteme verbindet

Population

die Gesamtheit aller Individuen einer Art, die in einem bestimmten Lebensraum leben und deren genetische Information voll austauschbar ist

Substrat

Untergrund des Gewässers

Taxon, Pl. Taxa

systematische Einteilungseinheit (z. B. Art, Gattung, Familie)

Zoobenthos

tierische Organismen des Gewässergrundes (vgl. Makroinvertebraten)

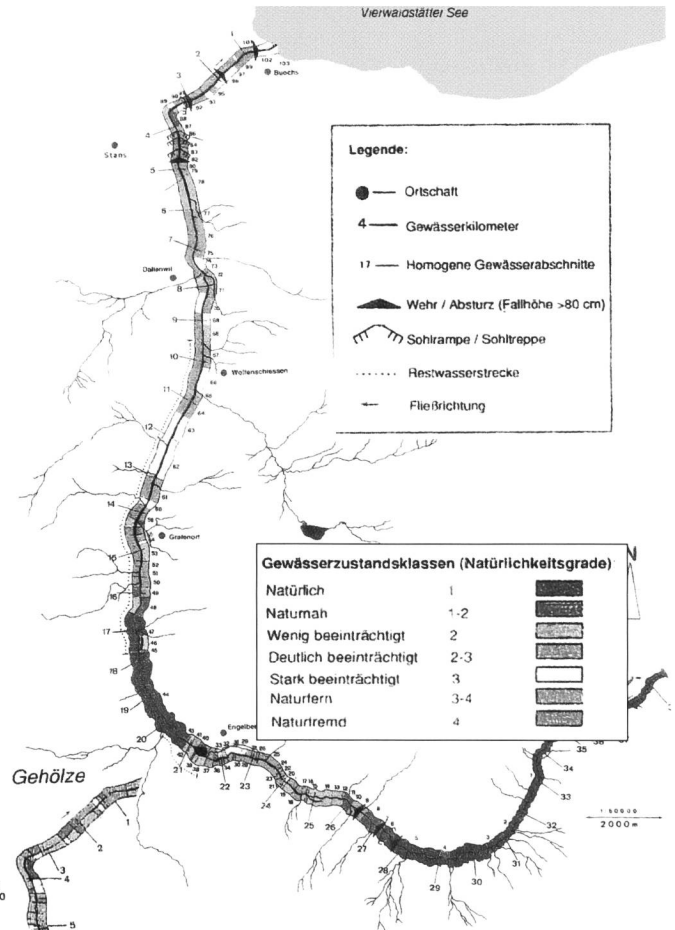


Bild 7. Ökomorphologische Bewertung der Engelter Aa nach der Methode von Werth (1987, 1992). Mittelwerte der Summenparameter.

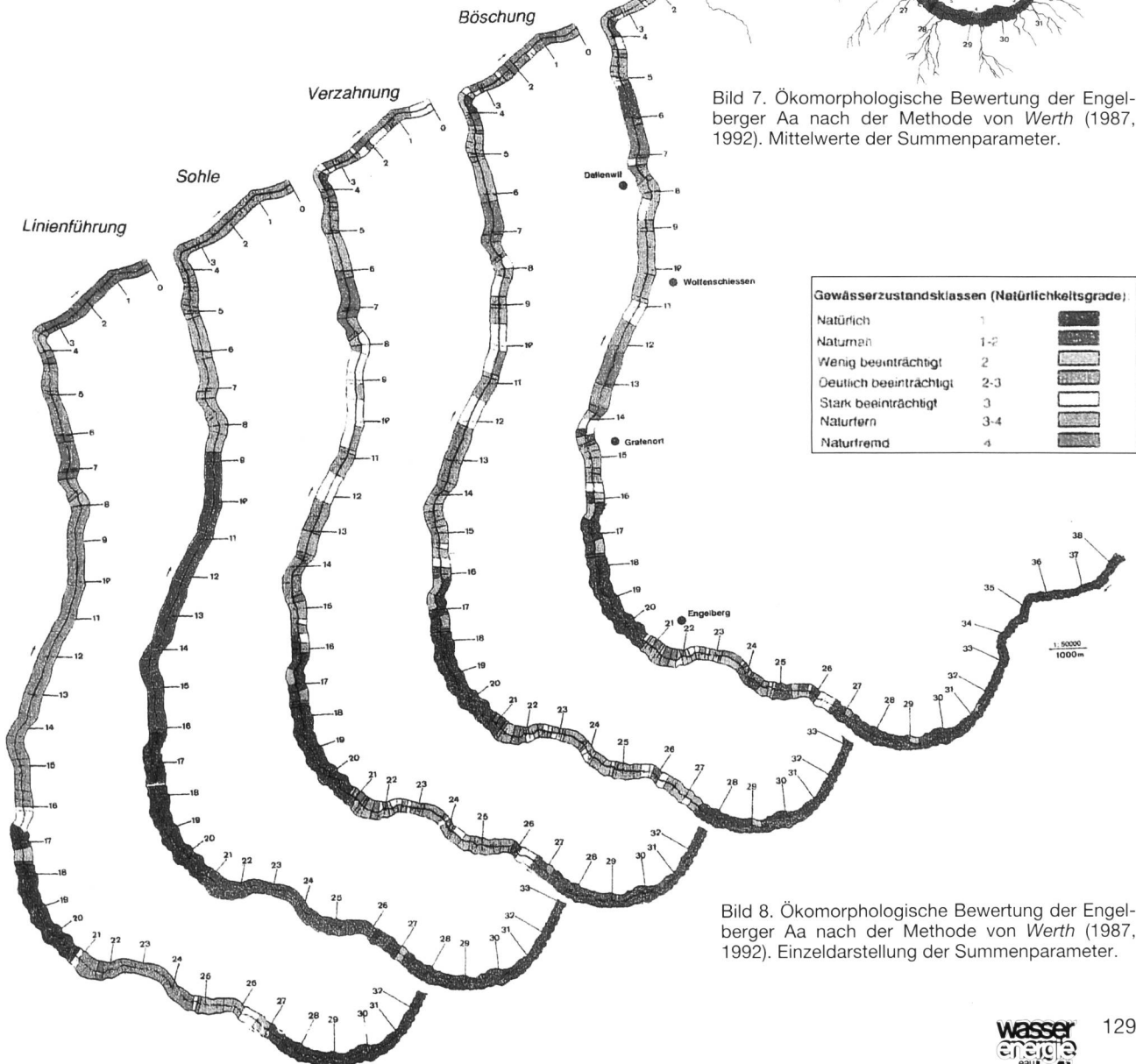


Bild 8. Ökomorphologische Bewertung der Engelter Aa nach der Methode von Werth (1987, 1992). Einzeldarstellung der Summenparameter.



## Literaturverzeichnis

- Augustin H., Unterwiesing W. und Wiener W. (1987). Die Organismenvielfalt in einem natürlich-mäandrierenden und in einem regulierten Abschnitt der Oichten. Jb. Haus der Natur 10: 72–80.
- Bloesch J. (1994). Gewässerschutz im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees. Schlussbericht und Kurzbericht. Eawag-Auftrag Nr. 4752, Dübendorf, 15. September 1994, 105 pp.
- Bloesch J., Peter A. und Frauenlob G. (1997). Effects of technical impacts on alpine stream benthos and fish, and restoration proposals. Verh. Internat. Verein. Limnol. 26: in print.
- Bratrich Ch. (1994). Ökomorphologie und Biologie der Engelberger Aa – Zustandsbewertung und Renaturierungsvorschläge. Diplomarbeit. Universität Konstanz: 115 pp.
- Caspary H. J. und Bárdossy A. (1995). Markieren die Winterhochwasser 1990 und 1993 das Ende der Stationarität in der Hochwasserhydrologie infolge von Klimaveränderungen? Wasser & Boden 47: 18–24.
- Cipra: Internationale Alpenschutz-Kommission (1992). Die letzten naturnahen Alpenflüsse. Kleine Schriften: 11.
- Conradin F., Villiger J. et al. (1993). Das Bachkonzept der Stadt Zürich. Eine Standortbestimmung nach 5 Jahren. Gas Wasser Abwasser 73/7: 489–544.
- Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (1989). Kanton Zürich: Wiederbelebungsprogramm für die Fließgewässer. 38 pp. Sonderdruck aus Gas Wasser Abwasser 69/11.
- DVWK, Hrsg. (1994). Historische Wasserwirtschaft im Alpenraum und an der Donau. Verlag Konrad Wittwer Stuttgart: 592 pp.
- Ewald K. C. (1978). Der Landschaftswandel. Zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert. Sonderdruck aus Tätigkeitsberichte der Naturforschenden Gesellschaft Baselland, Band 38: 55–308.
- Frissel C. A., Liss W. J., Warren C. E. and Hurley M. D. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. Envir. Management 10: 199–214.
- Gonser T. (1994). Die Bedeutung der physiographischen Faktoren für Fließgewässersysteme. Eawag News 36D: 12–16.
- Guggisberg C. (1995). Raumplanung und Hochwasserschutz. Beitrag zur Fachtagung «Zeitgemässer Hochwasserschutz – Neue Entwicklungen und Fallbeispiel Engelberger Aa». Kurzfassungen der Vorträge: S. 11.
- Hunzinger L., Hunziker R. und Zarn B. (1995). Der Geschiebehaushalt in lokalen Aufweitungen. wasser, energie, luft 87, 9: 195–200.
- Hütte M., Bundi U. und Peter A. (1994). Konzept für die Bewertung und Entwicklung von Bächen und Bachsystemen im Kanton Zürich. Studie der Eawag und des Kantons Zürich (Hrsg.): 133 pp.
- Hütte M., Bundi U. und Peter A. (1995). Konzept für die Bachentwicklung im Kanton Zürich. Wasserwirtschaft 85: 16–20.
- Jungwirth M. und Moog O., Hrsg. (1994). Gewässerbetreuungs-konzepte – Stand und Perspektiven. Beiträge zur Tagung an der Universität für Bodenkultur in Wien, April 1994. Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer, Band 120.
- Landeshydrologie und -geologie, Hrsg. (1992). Hydrologisches Jahrbuch, Buwal, Bern.
- LAW, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1994). Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland (Entwurf): 76 pp.
- Marrer H., Joosting T. und Spörri M. (1992). Gewässerschutz im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees. Die Invertebratenfauna der Fließgewässer. Datenübersicht und Kurzinterpretation. Eawag-Auftrag Nr. 4752, Dezember 1992, 370 pp.
- Mühlenberg M. (1993). Freilandökologie. 3. Auflage, Uni-Taschenbücher UTB Nr. 595, Quelle & Meyer, 512 pp.
- Naiman J. R., Décamps H., Pastor J. and Johnston C. A. (1988). The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems. J. N. Benthol. Soc. 7(4): 289–306.
- Niederer, Pozzi, Erni und Lehmann (1992). Engelberger Aa. – Generelles Hochwasserschutzprojekt, Kanton Nidwalden/Detailbericht: 97 pp.
- Otto A. (1991). Grundlagen einer morphologischen Typologie der Bäche. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik/Karlsruhe; Beiträge zur naturnahen Umgestaltung von Fließgewässern, Sonderdruck 18: 1–94.
- Peter A. (1991). Ansprüche von Fischen an die Morphologie und Hydrologie der Bäche. Mitteilungen der Eawag 32: 9–13.
- Peter A. (1993). Gewässerschutz im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees. Die Fischfauna der Fließgewässer. Datenübersicht und Interpretation. Eawag-Auftrag Nr. 4752, Kastanienbaum, 14. Juli 1993, 327 pp.
- Pinay G., Décamps H., Chauvet E. and Fustec E. (1990). Functions of ecotones in fluvial systems. In: R. J. Naiman and H. Décamps (Eds.), The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones: 103–169.
- Speidel E. (1992). Biozönosen unterschiedlich strukturierter Fließgewässerabschnitte. In: DGL (Hrsg.), Erweiterte Zusammenfassung der DGL-Jahrestagung 2: 632–637.
- Statzner B. (1981). The relation between «hydraulic stress» and microdistribution of macroinvertebrates in a lowland running water system, the Schierenseebrooks (North Germany). Arch. Hydrobiol. 91: 192–218.
- Vischer D. (1995). Physikalische und numerische Modelle. wasser, energie, luft 87, 5/6: 109–114.
- Ward J. V. (1994). Ecology of alpine streams. Freshwater Biology 32: 277–294.
- Weber H., Huber H., Katz W., Schleiss A. und Tschopp J. W. (1992). Reuss-Hochwasser 1987. Schlussfolgerungen für den Hochwasserschutz im Kanton Uri. Bauamt Uri, Abteilung Wasserbau. Altdorf, Oktober 1992.
- Werth W. (1987). Ökomorphologische Gewässerbeurteilung in Oberösterreich (Gewässerzustandskartierungen). Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 5/6: 122–128.
- Werth W. (1992). Gewässerzustandskartierungen in Oberösterreich. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (Hrsg.), Heft 14 (Steyer): 180 pp.
- Willi P. (1995). Erwartungen an den Hochwasserschutz aus der Sicht des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Beitrag zur Fachtagung «Zeitgemässer Hochwasserschutz – Neue Entwicklungen und Fallbeispiel Engelberger Aa». Kurzfassungen der Vorträge: S. 3.
- Zarn B. (1992). Lokale Gerinneaufweitung – eine Massnahme zur Sohlstabilisierung der Emme bei Utzenstorf. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (Hrsg.) 118: 115 pp.
- Zarn B. (1993). Sohlstabilisierung der Emme bei Utzenstorf mit einer lokalen Gerinneaufweitung. wasser, energie, luft 85, 3/4: 67–71.

## Adressen der Verfasser:

Christine Bratrich, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag), Forschungszentrum für Limnologie, CH-6047 Kastanienbaum, und Dr. Jürg Bloesch, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag), CH-8600 Dübendorf.