



Ein gemeinsames Projekt der Kantone
Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden und Luzern

Dauerüberwachung der Fließgewässer in den Urkantonen

Ergebnisse der Untersuchungsperiode
2000 bis 2003





Um es gleich vorweg zu nehmen: die Wasserqualität unserer Flüsse und Bäche hat sich in den letzten Jahrzehnten markant verbessert. Meldungen über schäumende Gewässer, Fischsterben oder massive Verunreinigungen gibt es zumindest in unserer Region nur noch selten. Die grossen Anstrengungen im Bereich der Abwasser-sammlung und -reinigung sowie in der Ökologisierung der Landwirtschaft haben zu dieser erfreulichen Situation wesentlich beigetragen.

Unsere Oberflächengewässer haben aber nicht nur eine gute Wasserqualität aufzuweisen. Sie sind auch Lebensraum für einheimische Tiere und Pflanzen. Sie bilden ein wichtiges Landschaftselement, dienen der Bewässerung und der Erholung und stellen ein entscheidendes Glied im Wasserkreislauf dar. Die Frage stellt sich, ob unsere Oberflächengewässer heute noch all diese Anforderungen erfüllen. Oder anders ausgedrückt: Wie steht es um den Gesamtzustand unserer Gewässer? Genügen unsere Anstrengungen im Gewässerschutz langfristig? Wo liegen die Defizite und welche Aufgaben stehen uns bevor? Fragen, welche gemäss Gewässerschutzgesetz die kantonalen Gewässerschutzfachstellen zu beantworten haben.

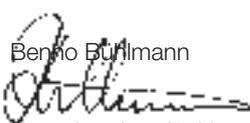
Um Antworten auf diese Fragen zu finden, starteten die Kantone Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden und Luzern 2000 ein gemeinsames Überwachungsprogramm für Bäche und Flüsse. Aus dieser so genannten Dauerüberwachung der Fliessgewässer in den Urkantonen, kurz DÜFUR, liegen die Ergebnisse der ersten vier Jahre vor. Sie werden im nachfolgenden Bericht erläutert.

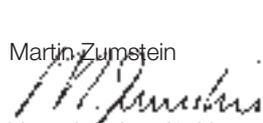
Die Ergebnisse der DÜFUR zeigen auf, dass bei zahlreichen Fliessgewässern nicht alles in Ordnung ist, obwohl die Wasserqualität hinsichtlich der chemischen Inhaltsstoffe die

Zielvorgaben des Bundes mehrheitlich erfüllt. Verbauungen von Bachsohlen und Ufer, fehlende Uferbereiche und Pufferstreifen, übermässige Wasserentnahmen, die Einleitung aus Abwasserreinigungsanlagen oder aus belastetem Regenabwasser aus Siedlungsräumen bewirken, dass bei einem erheblichen Teil der untersuchten Bäche und Flüsse Handlungsbedarf besteht.

Für heute und die Zukunft bedeutet dies, dass im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung (GEP), der Richt- und Nutzungsplanung aber auch bei jedem einzelnen Bauprojekt im und am Gewässer den Bedürfnissen der Fliessgewässer die erforderliche Beachtung geschenkt werden muss. Nur naturnah gestaltete, unverbaute Bäche und Flüsse mit genügend Gewässerraum können ihre ökologischen Funktionen und ihre Selbstreinigungsleistung in einem ausreichenden Ausmass erfüllen.

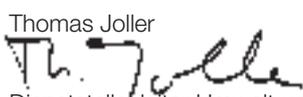
Das Programm DÜFUR zeigt auch auf, wie mittels interkantonaler Zusammenarbeit gesetzliche Aufgaben effizient und kompetent erfüllt werden können. Nun ist es wichtig, die einmaligen Messungen periodisch zu wiederholen, damit nicht nur der Zustand, sondern auch die Entwicklung der Gewässerqualität erfasst werden kann.


Benno Bühlmann
Vorsteher Amt für Umweltschutz Uri


Martin Zumstein
Vorsteher Amt für Umweltschutz Schwyz


Stephan Scherer
Leiter Abteilung Umwelt Obwalden


Guido Portmann
Vorsteher Amt für Umwelt Nidwalden


Thomas Joller
Dienststellenleiter Umwelt und Energie Luzern



Herausgeber

Amt für Umweltschutz Uri
Amt für Umweltschutz Schwyz
Amt für Landwirtschaft und Umwelt Obwalden
Amt für Umwelt Nidwalden
Umwelt und Energie Kanton Luzern

Autoren

Alexander Imhof (Projektkoordination und Redaktion)
Alain Schmutz
Barbara Suter
Jean-Claude Bernegger
Markus Bolz
Robert Lovas

Fotos

Alexander Imhof
AquaPlus, Zug

Gestaltung

Max Wettach GmbH, Kriens

Druck

Gisler Druck AG, Altdorf

Landeskarten

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA057015)

Bezugsquellen

Amt für Umweltschutz Uri
Klausenstrasse 4, 6460 Altdorf
Tel. 041 875 24 16, Fax 041 875 20 88
E-Mail: afu@ur.ch

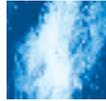
Amt für Umweltschutz Schwyz
Postfach 2162, 6431 Schwyz
Tel. 041 819 20 35, Fax 041 819 20 49
E-Mail: afu.di@sz.ch

Amt für Landwirtschaft und Umwelt Obwalden
Dorfplatz 4a, Postfach 1661, 6061 Sarnen
Tel. 041 666 63 27, Fax 041 666 62 82
E-Mail: umwelt@ow.ch

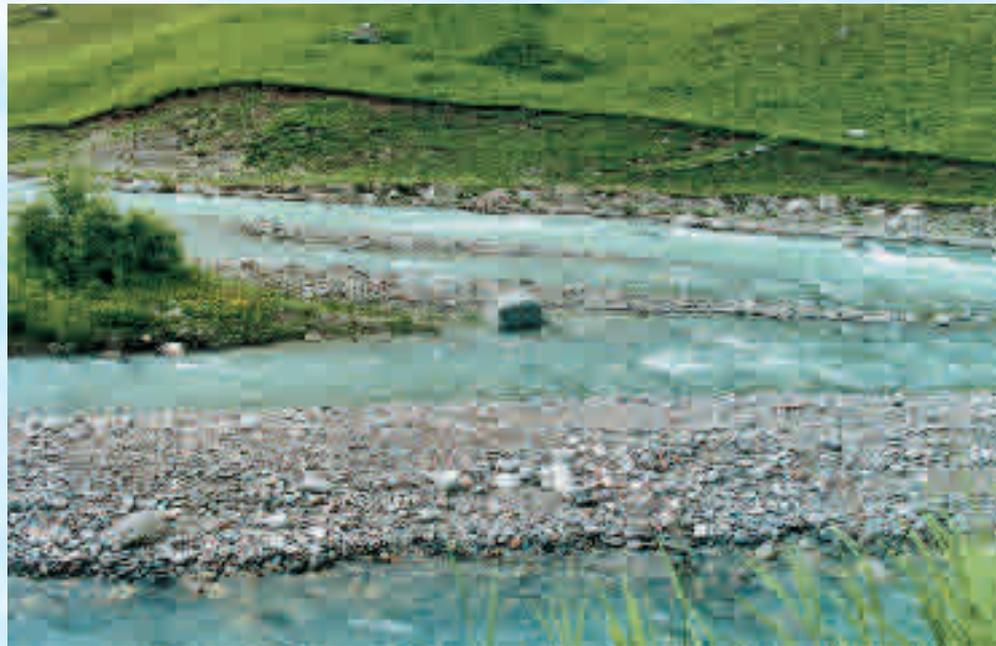
Amt für Umwelt Nidwalden
Engelbergstrasse 34, 6371 Stans
Tel. 041 618 75 04, Fax 041 618 75 28
E-Mail: afu@nw.ch

Umwelt und Energie Kanton Luzern
Libellenrain 15, Postfach 3439, 6002 Luzern
Tel. 041 228 60 60, Fax 041 228 64 22
E-Mail: uwe@lu.ch

Altdorf, im Mai 2005



Zusammenfassung	5
1. Einleitung	6
2. Gesetzlicher Auftrag	7
3. Konzept	8
3.1 Projektorganisation	8
3.2 Untersuchungsgebiet	8
3.3 Auswahl der Gewässerstellen	8
3.4 Untersuchungsmethoden und -programm	10
4. Biologie	11
4.1 Zeiger des Gewässerzustands	11
4.2 Äusserer Aspekt	13
4.3 Pflanzlicher Bewuchs	14
4.4 Kieselalgen	15
4.5 Wasserkleintiere	16
5. Chemie	21
5.1 Zweck der chemischen Untersuchungen	21
5.2 Auswertung und Beurteilung	22
5.3 Ergebnisse und Kommentar	22
6. Handlungsbedarf	27
7. Gewässerbeispiele	29
Kritische Wasserqualität im ländlichen Alpenraum	30
Trotz natürlichen Strukturen keine befriedigende Wasserqualität	32
Fliessgewässer in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung	34
Einfluss von Landwirtschaft und Gerinnestruktur auf den Gewässerzustand	36
Mehrfache Belastungen in einem urbanen Fliessgewässer	38
8. Literatur/Dank	40





Im Projekt «Dauerüberwachung der Fliessgewässer in den Urkantonen (DÜFUR)» wird der allgemeine Zustand der Fliessgewässer in den Kantonen Uri, Schwyz, Obwalden und Nidwalden sowie im Kanton Luzern im Einzugsgebiet der Reuss und des Vierwaldstättersees an 124 Gewässerstellen periodisch kontrolliert. Das gemeinsame Projekt der fünf Kantone hat zum Ziel, Veränderungen oder Beeinträchtigungen der Gewässer rechtzeitig zu erkennen und die Auswirkungen getroffener Gewässerschutzmassnahmen zu überprüfen. Die Messresultate bilden die Grundlage für künftige Gewässerschutzmassnahmen und dienen der Information der Öffentlichkeit über den allgemeinen Gewässerzustand.

Untersucht werden die Hauptgewässer aller grösseren Einzugsgebiete, spezielle Gewässertypen und Beeinträchtigungen wie Gräben, Seeausflüsse oder Restwasserstrecken sowie einzelne Referenzgewässer. Die Untersuchungen werden alle vier Jahre wiederholt. An den Gewässerstellen werden biologisch-ökologische Parameter zweimal und chemische viermal pro Jahr erfasst. Die Erhebung und Beurteilung der Gewässerzustände richten sich im Wesentlichen nach den vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) erarbeiteten Untersuchungsmethoden.

In der ersten Messperiode (2000 bis 2003) zeigten die Wasserkleintiere bei zwei Drittel der untersuchten Stellen einen sehr guten oder guten biologischen Gewässerzustand an. Bei einem Drittel der Stellen war der Gewässerzustand ungenügend, d. h. mässig, unbefriedigend oder sogar schlecht. Ungenügende Gewässerzustände treten vermehrt in verbauten, strukturarmen Gewässern auf und konzentrieren sich in dicht besiedelten und landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten.

Bei den sichtbaren Beeinträchtigungen wie Trübungen, Verfärbungen, Geruch, Schaum oder Bewuchs durch Abwasserzeiger hielten nur rund 39% der untersuchten Stellen die gesetzlichen Vorgaben nach Gewässerschutzverordnung des Bundes (GSchV) ein. Bei 42% waren sie knapp und bei 19% deutlich nicht eingehalten.

Bei rund 10% der Stellen traten Pflanzenwucherungen auf. Pflanzenwucherungen weisen auf einen erhöhten Nährstoffgehalt, fehlende Beschattung sowie eine fehlende Umlagerung der Flusssohle hin, was besonders häufig in verbauten Gewässern und in Restwasserstrecken anzutreffen ist.

Die chemischen Untersuchungen ergaben weniger gravierende Qualitätsmängel und eine mehrheitlich geringe Belastung. So waren in rund 85% der Fälle die Zielvorgaben der GSchV eingehalten. Es gilt jedoch zu beachten, dass chemische Messungen (vier Stichproben pro Jahr und Gewässer) nur Momentanwerte angeben, währenddem die biologisch-ökologischen Indikatoren die Qualität über einen längeren Zeitraum anzeigen.

Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Verbaute, wenig strukturierte Gewässer führen zu einer Verarmung der Lebensgemeinschaft, zu einer starken Reduktion der Selbstreinigungskraft und damit zu einer ungenügenden Gewässerqualität. In solchen Fliessgewässern hat die Verbesserung der Lebensraumvielfalt durch Aufwertungs- und Renaturierungsmassnahmen erste Priorität. Voraussetzung dafür ist die Ausscheidung des notwendigen, gesetzlich vorgeschriebenen Gewässerraums.
- Die Siedlungsentwässerung und Einträge aus der Intensivlandwirtschaft führen immer noch zu übermässigen Belastungen der Gewässer. Bei der Siedlungsentwässerung gilt es, die Vorfluter den Anforderungen entsprechend auszuwählen oder aufzuwerten. Im Landwirtschaftsgebiet ist die Durchsetzung und gegebenenfalls Erweiterung der Pufferstreifen entlang der Fliessgewässer vordringlich.
- Schliesslich zeigen sich auch unterhalb von Wasserentnahmen, bei denen kein Restwasser abgegeben wird, negative Veränderungen in der aquatischen Lebensgemeinschaft. In diesen Fluss- und Bachabschnitten sind die gesetzlich vorgeschriebenen Sanierungen voranzutreiben.

1. EINLEITUNG



6 Die Dauerüberwachung der Fliessgewässer in den Urkantonen (DÜFUR) ist ein gemeinsames Projekt der Kantone Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden und Luzern. Es hat zum Ziel, den allgemeinen Zustand der Bäche und Flüsse in regelmässigen Abständen anhand repräsentativer Gewässerstellen zu erheben und zu beurteilen. Bei diesem langjährigen Überwachungsprogramm werden die ausgewählten Gewässerstellen alle vier Jahre nach derselben Methodik untersucht. Veränderungen und Beeinträchtigungen sollen so rechtzeitig erkannt und die Auswirkungen getroffener Gewässerschutzmassnahmen überprüft werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen bilden die Grundlage für künftige Gewässerschutzmassnahmen und dienen der Information der Öffentlichkeit über den allgemeinen Gewässerzustand.

Das Untersuchungsgebiet umfasst die Kantonsflächen von Uri, Schwyz, Obwalden und Nidwalden sowie diejenigen Gebiete des Kantons Luzern mit Zuflüssen zum Vierwaldstättersee und zur Reuss. Verteilt auf vier Jahre werden insgesamt 124 Gewässerstellen untersucht. Dabei wird der Gewässerzustand anhand biologisch-ökologischer und che-

mischer Parameter bestimmt. Mit diesem Vorgehen sind die Mindestanforderungen an ein Überwachungsprogramm erfüllt. Der erste Durchlauf des Untersuchungsprogramms hält den Ausgangszustand der Fliessgewässer in den beteiligten Kantonen um die Jahrtausendwende fest. Die künftigen Erhebungen dienen dem Erkennen von Veränderungen und Entwicklungstrends.

Im vorliegenden Bericht wird die erste Untersuchungsperiode 2000 bis 2003 vorgestellt. Die Ergebnisse geben einen Überblick über den biologischen und chemischen Zustand der Fliessgewässer im Untersuchungsgebiet. Sie bilden die Voraussetzung für gezielte Analysen der Defizite und für die Entwicklung von Massnahmenplänen.

Je nach strukturellen Voraussetzungen haben die Kantone bei der Auswahl ihrer Gewässerstellen leicht unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt. So haben die Kantone Schwyz und Luzern hauptsächlich Gewässer im Siedlungsraum untersucht, bei denen grössere anthropogene Beeinträchtigungen zu erwarten sind.





Das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991 (Gewässerschutzgesetz, GSchG) bezweckt, die Gewässer umfassend vor schädlichen Einwirkungen in qualitativer und quantitativer Hinsicht zu schützen. Insbesondere gilt es, die natürlichen Lebensräume für einheimische Tiere und Pflanzen zu erhalten. Nach Artikel 58 GSchG ist es die Aufgabe der Kantone, die für den Vollzug erforderlichen Erhebungen durchzuführen. Gestützt auf Artikel 50

GSchG haben Bund und Kantone die Auswirkungen der Gewässerschutzmassnahmen zu prüfen und die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz und den Zustand der Gewässer zu informieren. Zudem müssen die kantonalen Gewässerschutzfachstellen Massnahmen zur Verhinderung und Verminderung nachteiliger Einwirkungen auf die Gewässer empfehlen.

7

Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer

(GSchG, SR 814.20)

Artikel 1

Dieses Gesetz bezweckt, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen. Es dient insbesondere:

- a. der Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen;
- b. der Sicherstellung und haushälterischen Nutzung des Trink- und Brauchwassers;
- c. der Erhaltung natürlicher Lebensräume für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt;
- d. der Erhaltung von Fischgewässern;
- e. der Erhaltung der Gewässer als Landschaftselemente;
- f. der landwirtschaftlichen Bewässerung;
- g. der Benützung zur Erholung;
- h. der Sicherung der natürlichen Funktion des Wasserkreislaufs.

Artikel 50 Absatz 1

Bund und Kantone prüfen die Auswirkungen der Massnahmen dieses Gesetzes und informieren die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz und den Zustand der Gewässer.

Artikel 50 Absatz 3

Sie empfehlen Massnahmen zur Verhinderung und zur Verminderung nachteiliger Einwirkungen auf die Gewässer.

Artikel 58 Absatz 1

Die Kantone führen die weiteren Erhebungen durch, die für den Vollzug dieses Gesetzes erforderlich sind. Sie teilen die Ergebnisse den Bundesstellen mit.

Abb. 2-1: Auszug aus dem Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer.

3. KONZEPT



8 3.1 Projektorganisation

Die Projektleitung der DÜFUR wird von den Gewässer-schutzfachstellen der fünf beteiligten Kantone wahrgenom-men. Probenahmen und biologisch-ökologische Untersu-chungen wurden von der Firma AquaPlus, Zug, ausgeführt. Für die Wasseranalytik wurde das Laboratorium der Urkan-tone, Brunnen, beauftragt. Die Ergebnisse werden jährlich in einem Detailbericht zusammengestellt.

3.2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet weist eine Fläche von 3'079 km² auf. Es umfasst die Kantonsgebiete Uri, Schwyz, Obwalden und Nidwalden sowie die Einzugsgebiete der Reuss und des Vierwaldstättersees im Kanton Luzern.

Die Fliessgewässer werden an 124 Gewässerstellen unter-sucht. Diese verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Kan-tone:

Jahr	Uri	Schwyz	Obwalden	Nidwalden	Luzern
2000	10	8	7	4	4
2001	9	9	6	4	-
2002	11	9	6	4	4
2003	11	7	2	4	5

Tab. 3-1: Anzahl DÜFUR-Gewässerstellen verteilt auf die Untersuchs-perioden 2000 bis 2003.

3.3 Auswahl der Gewässerstellen

Um den flächendeckenden Charakter der Dauerüberwa-chung sicher zu stellen, werden die Hauptgewässer aller grösseren Einzugsgebiete mit mindestens einer Gewässer-stelle erfasst. Zudem werden im Untersuchungsprogramm spezielle Gewässertypen wie Gräben, Seeausflüsse oder Fischaufzuchtgewässer sowie typische Gewässerbeein-trächtigungen wie Einleitungen von Abwasserreinigungsan-lagen (ARAs), Restwasserstrecken oder Gewässerverbau-ungen berücksichtigt. Ebenfalls zum Programm gehören so genannte Referenzstellen, also natürliche und naturnahe Stellen ohne Beeinträchtigung. Die Gewässerstellen befin-den sich entweder im untersten Drittel des Gewässers oder im direkten Einflussbereich der Beeinträchtigungsquelle.

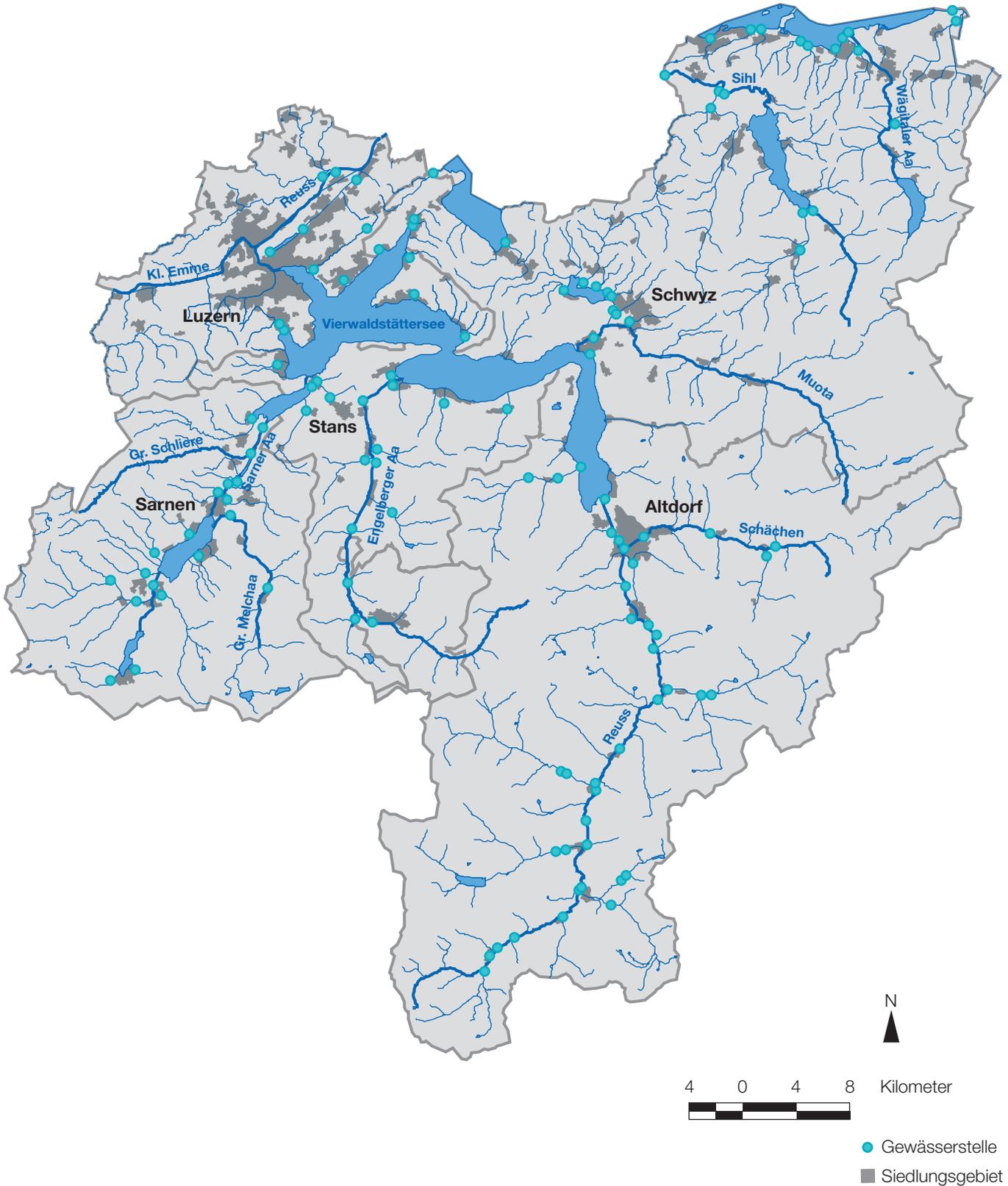


Abb. 3-1: Untersuchungsgebiet mit Gewässerstellen.



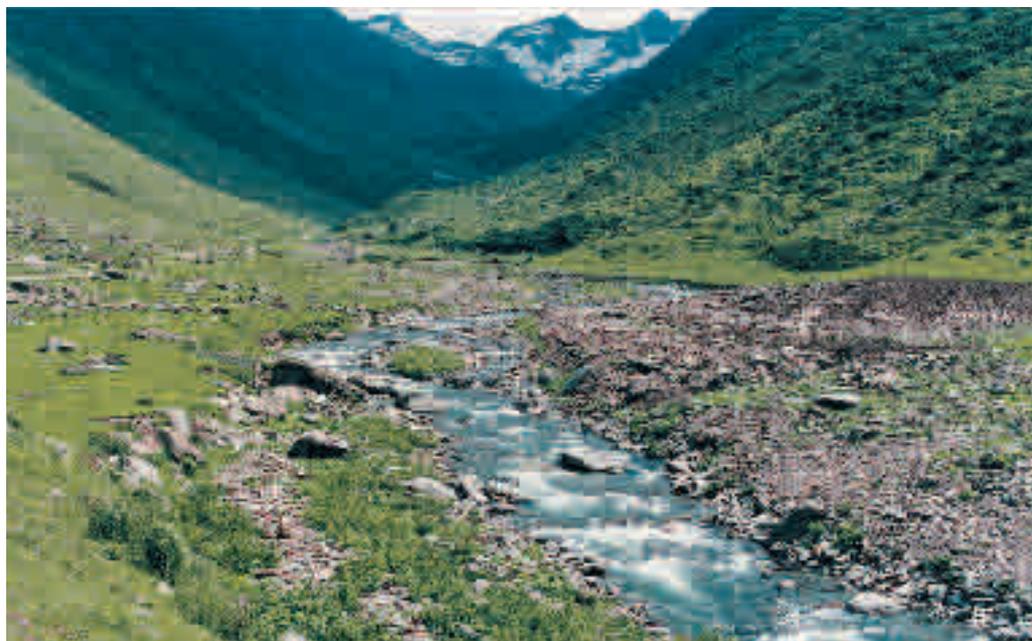
10 3.4 Untersuchungsmethoden und -programm

In Anlehnung an das Modul-Stufen-Konzept (BUWAL, 1998) erfolgt die Beurteilung des Gewässerzustands anhand biologisch-ökologischer und chemischer Parameter der Stufe F. Die Untersuchungen richten sich nach den Modulen Makrozoobenthos (BUWAL, Entwurf 2004), Kieselalgen (BUWAL, Entwurf 2002) und Chemie (BUWAL, Entwurf 2004). In Abweichung zu diesen Modulen wurden die Erhebungen und Auswertungen teilweise ergänzt und modifiziert. Der Äussere Aspekt wird nach einer eigenen Methodik erfasst, welche mit dem Modul äusserer Aspekt des BUWAL (Entwurf 2002) grosse Übereinstimmung aufweist, zusätzlich aber eine Beurteilung der Einzelparameter wie auch eine Gesamtbewertung zulässt.

Im Zentrum der Dauerüberwachung stehen die biologisch-ökologischen Untersuchungen. Aus ihnen lässt sich der Gesamtzustand eines Gewässers rückwirkend über einen längeren Zeitraum herleiten. Die anhand von Einzelproben untersuchte Wasserchemie stellt eine Momentaufnahme dar und ergänzt die biologisch-ökologischen Befunde.

Jede Gewässerstelle wird innerhalb von vier Jahren einmal untersucht. Nach vier Jahren wird die Untersuchung wiederholt. Die Untersuchung umfasst pro Stelle zwei biologisch-ökologische Erhebungen und vier Einzelproben für die Wasserchemie. Die biologisch-ökologischen Erhebungen werden im Winter/Frühjahr und im Spätsommer/Herbst durchgeführt. Die Chemieprobenahmen erfolgen jeweils im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter bei Trockenwetter.

Für jede Gewässerstelle wird ein Stellendossier erstellt. Dieses beinhaltet eine detaillierte Zusammenstellung der biologisch-ökologischen Untersuchungsergebnisse inklusive Gewässerbeurteilung. Weiter werden im Stellendossier die Gewässerstruktur an der Gewässerstelle (Uferbeschaffenheit, Korngrössenverteilung, Choriotope) beschrieben und eine grobe Charakterisierung des Gewässers (Gewässertyp, mittleres Gefälle, Abflussregime und Wasserführung, Grösse und Art des Einzugsgebiets sowie Nutzung des Umlands) vorgenommen. Die Stellendossiers sind den Jahresberichten beigelegt.





4.1 Zeiger des Gewässerzustands

Ein Lebewesen braucht zum Überleben eine ganze Reihe von Umgebungsbedingungen. In einem Fließgewässer gehören zu diesen Umgebungsbedingungen unter anderem die Wasserqualität, die Wassertemperatur, das Abflussgeschehen, die Fließgeschwindigkeit und die Beschaffenheit von Bachsohle und Ufer. Verändern sich diese Bedingungen, werden gewisse Arten geschwächt, treten weniger häufig auf oder verschwinden ganz. Andere wiederum werden unter Umständen häufiger oder kommen neu hinzu. Je nach Umgebungsbedingungen bildet sich eine andere Artenzusammensetzung aus. Umgekehrt gibt die Artenzusammensetzung Aufschluss über die vorherrschenden Umgebungsbedingungen. Lebewesen können daher als Zeiger bzw. als Bioindikatoren für die Beurteilung ihres Lebensraums herangezogen werden.

Auch Fließgewässerorganismen eignen sich als Bioindikatoren. Sie geben Aufschluss über den Gesamtzustand des Gewässers und lassen Veränderungen im Laufe der Zeit erkennen. Im Vergleich zu chemischen Untersuchungen, welche Momentaufnahmen der Wasserqualität darstellen und keine Rückschlüsse auf vergangene Ereignisse erlauben, sind aufgrund der vorkommenden Fließgewässerorganismen solche Rückschlüsse möglich. Die Bioindikatoren zeigen den herrschenden Gewässerzustand während ihrer gesamten Lebensdauer an. Der Gewässerzustand ergibt sich aus den verschiedenen Einwirkungen aus der Umgebung.

Mit den Bioindikatoren der Fließgewässer lassen sich auch Aussagen machen über die Erfüllung der gesetzlich verankerten ökologischen Ziele für Gewässer resp. die Einhaltung der Anforderungen an die Wasserqualität. Weiter zeigen die Indikatoren akute oder chronische stoffliche

Belastungen an und geben Hinweise auf Verunreinigungen, deren chemischer Nachweis nur mit unverhältnismässig grossem Aufwand möglich wäre. Die Bioindikation bildet somit ein wichtiges Instrument zur Gewässerüberwachung und zur Überprüfung von getroffenen Gewässerschutzmassnahmen.



Diese flache Eintagsfliegen-Larve (*Ecdyonurus* sp.) mit ihren starken Krallen vermag der Strömung des Wassers Widerstand zu leisten. Sie ist eine typische Vertreterin der Kleintierfauna eines Baches.

Beim vorliegenden Projekt werden der pflanzliche Bewuchs (Algen, Moose und höhere Pflanzen), die Wasserkleintiere (Wasserwirbellose, Makroinvertebraten) und an ausgewählten Gewässerstellen auch die Kieselalgen als Bioindikatoren verwendet. Daneben wurde an jeder Gewässerstelle der visuelle Gewässereindruck, der so genannte äussere Aspekt als weiterer Indikator festgehalten. Mit diesen vier biologisch-ökologischen Indikatoren lässt sich der Gewässerzustand umfassend beurteilen und die Einhaltung der in der GSchV definierten Ziele und Anforderungen für Fließgewässer überprüfen. Die Tabelle 4-1 zeigt auf, welche Indikatoren für welche Ziele und Anforderungen geeignet sind.

Ergänzend zu den biologisch-ökologischen Indikatoren werden bei jedem Fließgewässer hydrografische und strukturelle Merkmale erfasst. Diese prägen die Lebensgemeinschaft mit und bilden eine wichtige Information bei der Interpretation der Ergebnisse.

4. BIOLOGIE



12

Ökologische Ziele für Gewässer (Anhang 1 GSchV)	Äusserer Aspekt	Pflanzlicher Bewuchs	Makroin- vertebraten	Kieselalgen
Naturnahe, standortgerechte Lebensgemeinschaften, die sich selbst reproduzieren und regulieren (Ziff. 1, Abs. 1, Bst. a)		●	●	●
Typische Artenvielfalt (Ziff. 1, Abs. 1, Bst. b)		●	●	●
Keine nachteiligen Einwirkungen auf die Lebensgemeinschaft durch die Wasserqualität (Ziff. 1, Abs. 3, Bst. c)		●	●	●
Keine unnatürlich hohe Biomasse-Produktion (Ziff. 1, Abs. 3, Bst. c)		●		

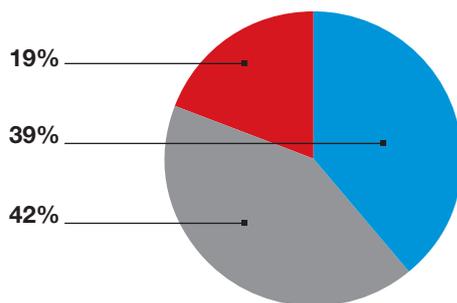
Anforderung an die Wasserqualität (Anhang 2 GSchV)	Äusserer Aspekt	Pflanzlicher Bewuchs	Makroin- vertebraten	Kieselalgen
Keine mit blossem Auge sichtbaren Kolonien von Bakterien, Pilzen oder Protozoen und keine unnatürlichen pflanzlichen Wucherungen (Ziff. 11, Abs. 1, Bst. a)	●	●		
Keine Eisensulfidflecken (Ziff. 12, Abs. 1, Bst. a)	●			
Keine sichtbaren (Schlamm, Trübung, Verfärbung, Schaum) und geruchlichen Veränderungen nach Abwassereinleitungen (Ziff. 11, Abs. 2, Bst. a bis c)	●			

Tab. 4-1: Gewässerziele und Wasserqualitätsanforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) sowie die entsprechenden biologisch-ökologischen Indikatoren. Die blauen Punkte geben an, mit welchen Indikatoren welche Ziele und Anforderungen überprüft werden können.



4.2 Äusserer Aspekt

Mit dem äusseren Aspekt wird der visuelle Gewässereindruck beurteilt. Trübungen und Verfärbungen des Wassers, Geruch, Schaum, Verschlämzung, sichtbare Bakterien-, Protozoen- und Pilzkolonien, Eisensulfid-Flecken an den Steinunterseiten und Feststoffablagerungen (Abfälle) bilden die Beurteilungsmerkmale. Es wird für jedes Merkmal geprüft, ob die Anforderungen von Anhang 2 Ziffern 11 und 12 GSchV eingehalten werden oder nicht. Sind sie bei einem bis mehreren Merkmalen nicht eingehalten, so erfolgt je nach Grad der Ausprägung für den ganzen äusseren Aspekt die Beurteilung «knapp nicht eingehalten» oder «deutlich nicht eingehalten».



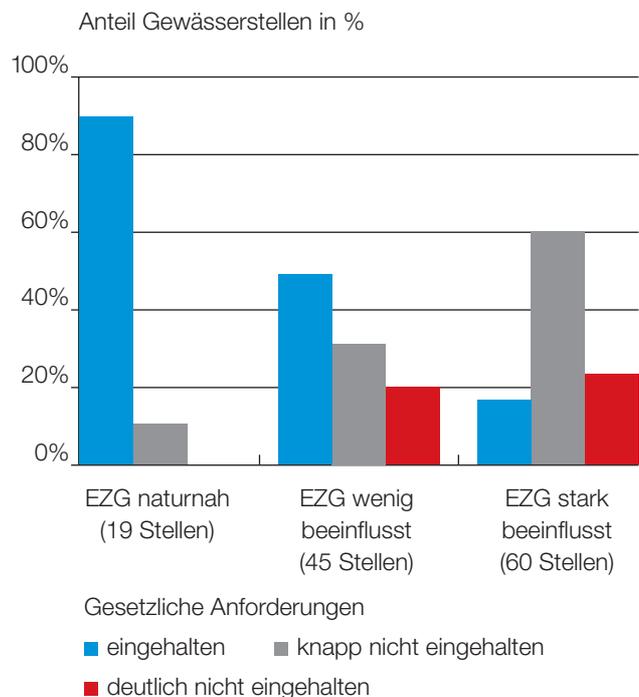
Anforderungen an die Wasserqualität hinsichtlich des äusseren Aspekts:

- eingehalten
- knapp nicht eingehalten
- deutlich nicht eingehalten

Abb. 4-1: Äusserer Aspekt: Verteilung der drei Beurteilungsstufen. Es wurde jeweils der schlechtere Zustand aus zwei Erhebungen berücksichtigt.

Bei 39% der Gewässerstellen waren die gesetzlichen Anforderungen eingehalten, bei weiteren 42% waren sie knapp nicht eingehalten und bei 19% resp. 24 Gewässerstellen waren die Vorgaben nach Gewässerschutzgesetzgebung deutlich nicht eingehalten (Abb. 4-1). Am häufigsten wurden unnatürliche Schaumbildungen, Eisensulfid-Flecken sowie heterotropher Bewuchs, d.h. Bakterien-, Protozoen- oder Pilzkolonien, festgestellt. Bei den übrigen Parametern wurden die Anforderungen an die Wasserqualität mit wenigen Ausnahmen eingehalten.

Bei Gewässerstellen mit stark beeinflusstem Einzugsgebiet, d.h. mit hoher Siedlungsdichte und/oder Intensivlandwirtschaft, waren die Anforderungen an den äusseren Aspekt mehrheitlich nicht eingehalten (Abb. 4-2). Solche Stellen befinden sich beispielsweise entlang des Zürichsees oder im Raum Luzern. Dieser Befund zeigt, dass sich im Siedlungs- und Intensivlandwirtschaftsgebiet die Schmutzwassereinträge aus Regenentlastungen der Kanalisation, von ungeklärtem häuslichem Abwasser einzelner Liegenschaften, von Strassen und Plätzen, aber auch diffuse Einschwemmungen von Nähr- und Schadstoffen konzentrieren und zu sichtbaren Gewässerbelastungen führen. Häufig nicht eingehalten waren die Anforderungen bezüglich äusserem Aspekt auch bei stark verbauten Gewässerstellen. Diese kanalisiert, monotonen Gewässerabschnitte weisen gegenüber naturnahen Bach- und Flussläufen eine geringere Strukturvielfalt und damit auch eine verminderte Selbstreinigungskraft auf. Gewässerverunreinigungen werden hier nur langsam abgebaut und bleiben länger sichtbar als in unverbauten Fließgewässern.



Tab. 4-2: Äusserer Aspekt und Einzugsgebietstypen: Je stärker das Einzugsgebiet (EZG) anthropogenen Einflüssen ausgesetzt ist, desto häufiger finden sich Stellen, bei denen die gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich des äusseren Aspekts nicht eingehalten sind resp. eine sichtbare Belastung vorliegt.



4.3 Pflanzlicher Bewuchs

Algen, Moose und höhere Wasserpflanzen (Makrophyten) bilden die Flora eines Fließgewässers. Zusammensetzung und Dichte dieser Pflanzenbestände hängen von verschiedensten Umweltfaktoren ab. Dabei spielen das Abflussschehen, der Nährstoffgehalt und die Temperatur des Wassers sowie die Besonnung eine zentrale Rolle. Wucherungen

von Wasserpflanzen sind jedoch meist ein Hinweis auf eine deutliche Belastung des Gewässers mit Nährstoffen. Diese stammen aus Einleitungen der Siedlungsentswässerung oder werden aus den landwirtschaftlichen Flächen diffus eingeschwemmt.

Fehlende Beschattung bewirkt übermässiges Wachstum der Wasserpflanzen



Wuchernde Wasserpflanzen

Fehlende Beschattung durch Bäume und Sträucher im Uferbereich, verbaute Gewässersohle und Böschungen, Nährstoffeinträge aus der angrenzenden Intensivlandwirtschaft sowie die Einleitung aus der weiter oben gelegenen ARA führen im Wildbachkanal, einem Entwässerungskanal der Linthebene (Kanton Schwyz), zu einem übermässigen Wachstum von Algen und Wasserpflanzen. Der Kanal muss daher regelmässig von den Wasserpflanzenbeständen «gesäubert» werden. Diese Unterhaltsmassnahme ist nicht nur aufwändig; sie beeinträchtigt auch die im Kanal lebenden Tiere.

Bei den Untersuchungen im Feld wird die Bewuchsdichte abgeschätzt und auf die Einhaltung der in der GSchV (Anhang 2 Ziffer 11) festgelegten Anforderungen überprüft. Bei 24 Erhebungen wurden Wucherungen von Algen oder Makrophyten nachgewiesen, was etwa 10% aller Erhebungen ausmacht. Solche Wucherungen können sich vor allem dort ausbilden, wo ein übermässiges Nährstoffangebot oder starke Besonnung vorliegt und die Flusssohle auch bei Hochwasser kaum umgelagert wird. So fanden sich denn

die festgestellten Wucherungen meist an Stellen mit verbauter Gewässersohle, in Restwasserstrecken oder in Gräben resp. Kanälen mit geringen Abflussschwankungen. Im Gegensatz zu Gewässern, bei denen natürliche Hochwasser die Bachsohle regelmässig umlagern und damit den pflanzlichen Aufwuchs entfernen, ist dieser mechanische Prozess bei den erwähnten Gewässerstellen nicht mehr oder nur noch abgeschwächt wirksam.

Algenwucherungen bei zu geringer Wasserführung



Goldalgen auf der Bachsohle

Die Engelberger Aa bei Obermatt (Kanton Obwalden) wies im Frühjahr eine hohe Algendichte auf. In diesen Algenwucherungen dominierte die langfädige Goldalge. Die Stelle liegt in einer Restwasserstrecke ca. 2 km unterhalb der ARA Engelberg. Hier treten ausser bei Schneeschmelze oder nach Gewittern kaum Abflüsse mit Geschiebeumlagerungen auf. Die durch die Wasserkraftnutzung stark verminderte Wasserführung und der Eintrag von Nährstoffen aus dem gereinigten Abwasser der ARA begünstigen die unnatürlichen Algenwucherungen.



4.4 Kieselalgen

Die Zusammensetzung der Kieselalgen, einem Teil des pflanzlichen Bewuchses in Fließgewässern, hängt besonders stark von der Wasserqualität ab. Auf Veränderungen der Wasserqualität reagieren Kieselalgen mit charakteristischen Verschiebungen des Artenspektrums und der relativen Artenhäufigkeit, wobei sich nach wenigen Wochen wieder eine stabile Gemeinschaft einstellt. Für die Beurteilung der Belastungssituation wird der Kieselalgenindex DI-CH gemäss BUWAL Modul Kieselalgen (BUWAL, Entwurf 2002) berechnet. Der Index trennt nach folgenden vier Beurteilungsklassen: unbelastet bis gering belastet (blau), schwach belastet (grün), deutlich belastet (gelb) und stark bis sehr stark belastet (rot).

Im Rahmen der DÜFUR werden Kieselalgenuntersuchungen an einzelnen Gewässerstellen durchgeführt, bei denen chemische Belastungen regelmässig zu erwarten sind, beispielsweise unterhalb von ARA-Einleitstellen, bei Entlastungsbauwerken der Siedlungsentwässerung oder im intensiv genutzten Landwirtschaftsgebiet mit erwartungsgemäss hohen Nährstoffeinträgen.

Insgesamt wurde die Kieselalgenzusammensetzung an 26 Gewässerstellen analysiert. Davon waren an acht Stellen keine stofflichen Belastungen zu erwarten. Die meisten dieser Stellen wurden als Referenz im Vergleich zu beeinflussten Stellen untersucht. Bei den restlichen 18 Gewässerstellen, die alle im Einflussbereich von ARAs, Siedlungs- und Strassenentwässerungen oder der Intensivlandwirtschaft liegen, wies die Hälfte eine schwache bis deutliche Belastung auf. Die anderen Stellen lagen im unbelasteten bis gering belasteten Bereich.

Es sind hauptsächlich Bäche in urbanen resp. stark besiedelten Gebieten, bei denen der Kieselalgenindex eine Belastung anzeigt. Diese meist kleinen Bäche werden über weite Strecken als Vorfluter der Siedlungs- und Strassenentwässerung genutzt und sind somit ständig einer hohen stofflichen Belastung ausgesetzt. Beispiele dafür sind etwa der A2-Kanal bei Stans (Nidwalden) und der Dorfbach in Horw (Luzern). Im Gegensatz dazu werden bei grösseren Gewässern, wie beispielsweise der Reuss im Kanton Uri die Einträge aus kommunalen ARAs, aus Regenentlastungen und Strassenentwässerungen stark verdünnt. Hier zeigen die Kieselalgen keine oder nur eine geringe Belastung an.

Kieselalgen geben Auskunft über die Wasserqualität



Kieselalgenschalen

Der A2-Kanal bei Stansstad (Nidwalden) ist der Vorfluter der ARA Rotzwinkel. Trotz Einhaltung der Grenzwerte gelangen mit dem gereinigten Abwasser immer noch zahlreiche Stoffe der Siedlungsentwässerung in den Bach. Bei einem kleinen Vorfluter wie dem A2-Kanal, der zudem massiv verbaut ist und eine geringe Selbstreinigungskraft aufweist, führen diese Stoffe zu einer Verschlechterung der Wasserqualität und dadurch zu einer Veränderung des Artenspektrums bei den Kieselalgen. So zeigt das Kieselalgenvorkommen beim A2-Kanal eine schwache bis deutliche Belastung an.



16 4.5 Wasserkleintiere

Der biologische Gewässerzustand wird anhand der auf und in der Gewässersohle lebenden Wasserkleintiere, auch Wasserwirbellose oder Makroinvertebraten genannt, bestimmt. Zu dieser Tiergruppe zählen die von blossen Auge sichtbaren Insektenlarven, Spinnentiere, Krebse, Schnecken, Muscheln, Egel, Würmer und ähnliche. Die Zusammensetzung der Makroinvertebraten wird sowohl von der Wasserqualität wie auch von den Abflussverhältnissen und der morphologischen Qualität des Lebensraums beeinflusst. So weisen beispielsweise langsam strömende Gewässer eine andere Lebensgemeinschaft auf als schnell fliessende, reich strukturierte wiederum eine andere als monoton verbaute Kanäle.

Die gesammelten Wasserkleintiere der Gewässersohle werden im Labor aussortiert und bestimmt. Gleichzeitig werden die Anzahl Taxa (Organismengruppen) sowie deren Häufigkeit erfasst. Diese Daten bilden die Voraussetzung für die Zustandsbewertung und sind für die langfristige Beobachtung des Artenspektrums unerlässlich.

Zur Beurteilung des biologischen Gewässerzustands anhand der Wasserkleintiere wird unter anderem der Makroindex berechnet. Dieser Bewertungsindex wurde in einer umfangreichen Studie an Fliessgewässern in der Schweiz entwickelt und wird heute häufig angewendet. Er beschreibt im Wesentlichen das Verhältnis der Anzahl anspruchsvoller Arten zur Anzahl eher anspruchsloser Arten und das Vorkommen gewisser Zeigerorganismen wie Eintagsfliegen-, Steinfliegen- und Köcherfliegenlarven (= EPT-Taxa). Fehlen die anspruchsvolleren Arten oder sind sie stark untervertreten, so deutet dies auf eine Beeinträchtigung des Gewässerzustands hin. Mit Hilfe des achtstufigen Makroindex werden gemäss BUWAL-Methodik fünf Qualitätsklassen des biologischen Gewässerzustands unterschieden.

Makroindex	Biologischer Gewässerzustand
1 bis 2	sehr gut
3	gut
4	mässig
5 bis 6	unbefriedigend
7 bis 8	schlecht

Abb. 4-2: Makroindex und die Zuteilung der fünf Qualitätsklassen zur Beurteilung des biologischen Gewässerzustands (nach BUWAL, Entwurf 2004).

Bei einem mässigen bis schlechten biologischen Gewässerzustand fehlen die Steinfliegenlarven, welche an ihr Habitat wie auch an die Wasserqualität hohe Ansprüche stellen. Gleichzeitig nimmt die Vielfalt an Köcher- und Eintagsfliegenlarven ab. Eine solche Lebensgemeinschaft kann als deutlich verarmt bis stark geschädigt bezeichnet werden. Als Ursache für eine Verarmung kommen akute oder chronische stoffliche Belastungen, eine beeinträchtigte Gewässermorphologie (Bachverbauungen und -begradigungen), eine unnatürliche, meist reduzierte Wasserführung (Restwasser) oder eine Kombination verschiedener Faktoren in Frage.

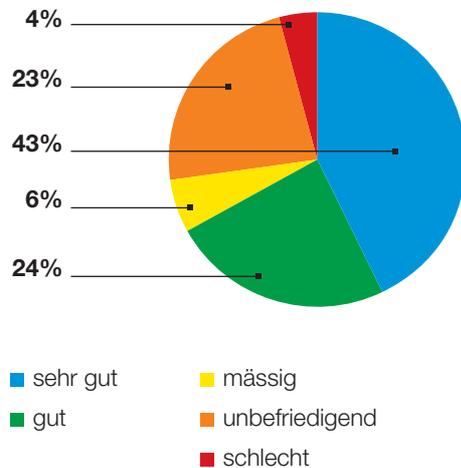


Abb. 4-3: Biologischer Gewässerzustand (Makroindex): Verteilung über das ganze Untersuchungsgebiet. Es wurde jeweils der schlechtere Zustand aus zwei Erhebungen berücksichtigt.

43% der untersuchten Gewässerstellen zeigten einen sehr guten Gewässerzustand an (Abb. 4-3). Bei einem Viertel der Gewässerstellen kann der biologische Zustand noch als gut klassiert werden, allerdings entspricht dies bereits einer leichten bis deutlichen Verarmung der Makroinvertebraten-Gemeinschaft. Ein Drittel aller untersuchten Stellen wies einen mässigen bis schlechten Zustand auf, was einer stark verarmten bis geschädigten Gemeinschaft der Wasserkleintiere entspricht. Bei diesen Gewässerstellen sind die in der GSchV festgelegten Ziele für oberirdische Gewässer, wonach die Lebensgemeinschaft des Gewässers naturnah und standortgerecht zu sein hat und eine für den jeweiligen Gewässertyp typische Vielfalt und Häufigkeit der Arten aufweisen soll, nicht mehr erfüllt.

Die Abbildung 4-4 zeigt, dass bei nicht verbauten, naturnahen Stellen der biologische Gewässerzustand mit wenigen Ausnahmen gut bis sehr gut ist. Bei verbauten Gewässern nimmt der Anteil an Stellen mit mässigem bis schlechtem Zustand deutlich zu. Durch Verbauungen werden die Gerinne kanalisiert und verlieren an Struktur- und Lebensraumvielfalt. Die Entwicklung einer natürlichen Wasserkleintier-Gemeinschaft ist in solchen Gewässern kaum mehr möglich. Die Auswirkungen von Gewässerverbauungen auf die Makroinvertebraten-Gemeinschaft sind allerdings unterschiedlich. So können grosse Fließgewässer mit einer breiten und vielfältig strukturierten Gewässersohle trotz beispielsweise einer massiven Verbauung der Uferböschungen eine artenreiche und standorttypische Makroinvertebraten-Gemeinschaft beherbergen. Je schmaler die Gewässer werden, desto stärker wirken sich allerdings Uferverbauungen auf den gesamten Lebensraum und damit auch auf die darin vorkommenden Lebewesen aus. Neben den Verbauungen wird der biologische Gewässerzustand durch zahlreiche weitere Umgebungsfaktoren beeinflusst. So können beispielsweise in einem naturnahen Bach mit vielfältigem Lebensraumangebot stoffliche Belastungen aus dem Einzugsgebiet die Makroinvertebraten schädigen und damit einen ungenügenden biologischen Gewässerzustand bewirken.



Guter Gewässerzustand bei natürlicher Vielfalt



Alp unterhalb Biberbrugg (SZ)

In einem natürlichen Bett mit grossen Steinen, Fels und Kies fliesst die Alp unterhalb Biberbrugg (Kanton Schwyz) mit sehr unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeit durch den Wald. Der Bach und seine Ufer sind gänzlich unverbaut. Die Lebewesen finden im vielfältigen Bett die verschiedensten ökologischen Nischen wie stille oder schnell fließende Bereiche, Totholz, flache oder tiefe Stellen etc. Diese natürliche Gewässersituation widerspiegelt sich in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft. Die Wasserkleintiere zeigen einen sehr guten Gewässerzustand an.

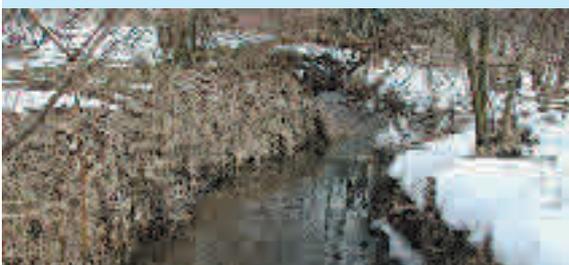
Guter Gewässerzustand trotz verbauten Ufern



Schächen bei Bürglen (UR)

Der Schächenbach bei Bürglen (Kanton Uri) ist stark kanalisiert. Zwischen den hohen Ufermauern befindet sich jedoch ein natürliches Bachbett aus Felsbrocken, groben Steinen, Kies und Sand. In dieser vielfältigen Sohlenstruktur fliesst das Wasser mit unterschiedlicher Strömung. Es entstehen tiefe, langsam fließende Abschnitte, Hinterwasser und rasch fließende Bereiche. Das Geschiebe wird bei Hochwasser immer wieder umgelagert und das Bachbett so neu strukturiert. Trotz massiver Uferverbauung kann sich hier eine intakte Gemeinschaft von Wasserkleintieren ausbilden. Diese zeigt denn auch einen guten Gewässerzustand an.

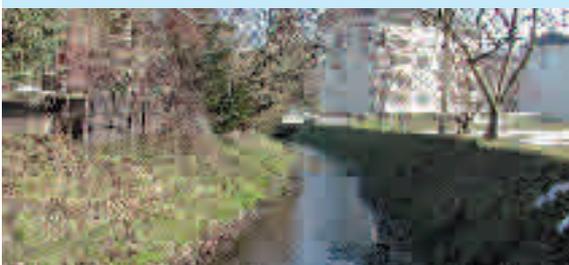
Schlechter Gewässerzustand trotz guter Struktur



Würzenbach bei Adligenswil (LU)

Der Würzenbach bei Adligenswil (Kanton Luzern) hat an der Untersuchungsstelle eine natürliche Gewässerstruktur. Ufer und Bachsohle sind nicht verbaut und die Ufervegetation ist standorttypisch. Trotzdem zeigen die Wasserkleintiere einen schlechten Gewässerzustand an. Der Würzenbach dient als Vorfluter für die ARA Udligenswil. Das gereinigte Abwasser stellt für diesen kleinen Bach eine starke stoffliche Belastung dar und wirkt sich entsprechend auf die Lebensgemeinschaft der Wasserkleintiere aus. So fehlen anspruchsvolle Arten, die auf sauerstoffhaltiges, sauberes Wasser angewiesen sind.

Schlechter Gewässerzustand im monotonen Kanal



Giessenbach bei Küssnacht (SZ)

Der Giessenbach fliesst mit gleichmässiger Geschwindigkeit monoton in einem Kanal mit einer Sohle aus Betongittersteinen und steilen Böschungen durch Küssnacht (Kanton Schwyz). Auf weiten Strecken ist der Bach zudem eingedolt. Der gewässerfremde Uferbereich besteht aus Weg, Fettwiese und Siedlungsgebiet. Algenfäden und Moose sowie Abfälle verschiedenster Art finden sich im Bach. Die Wasserkleintiere zeigen eine starke bis sehr starke Belastung des Gewässers an. Dies ist einerseits durch die Lage im Siedlungsgebiet mit den verschiedenen Einleitungen und durch die normalerweise geringe Wassermenge bedingt, andererseits durch die Kanalisierung.

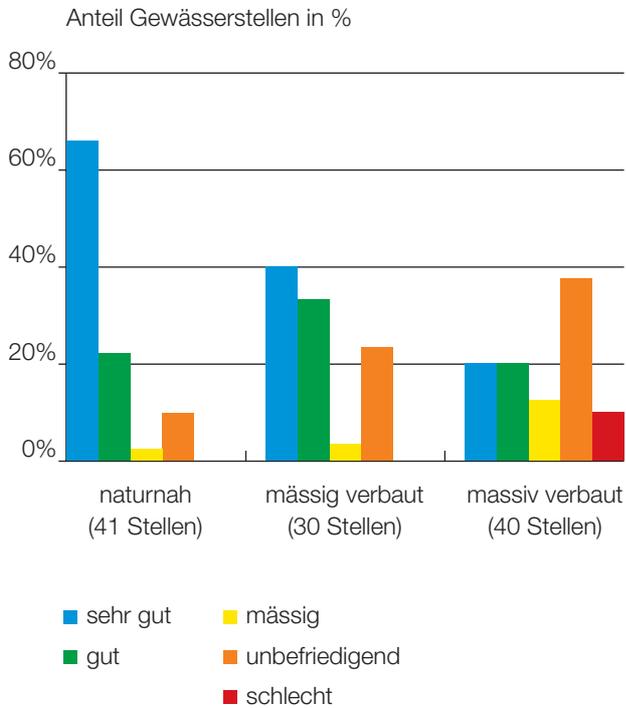


Abb. 4-4: Biologischer Gewässerzustand und Verbauebene der Untersuchungsstrecke (=morphologische Beeinträchtigung): Gewässerstellen mit massiver Verbauebene weisen deutlich häufiger einen ungenügenden biologischen Gewässerzustand (mässig bis schlecht) auf als unverbaute Stellen. Bei Letzteren dominiert die Qualitätsstufe «sehr gut».

In Gebieten mit hoher Siedlungsdichte und intensiver Landwirtschaft sind die Fließgewässer oft stark verbaut und begradigt. Gleichzeitig sind in diesen Gebieten hohe stoffliche Belastungen zu erwarten. Entsprechend häufig treten im Siedlungs- und im Intensivlandwirtschaftsgebiet Stellen mit einem nur mässigen bis schlechten Gewässerzustand auf. So fallen das untere Reusstal bei Altdorf, die Gegend um Schwyz, die Siedlungsräume Stans, Sarnen, entlang dem Zürichsee und bei Luzern durch viele Stellen mit mässigem, unbefriedigendem oder sogar schlechtem Gewässerzustand auf. Dagegen wiesen die im weniger dicht

besiedelten Gebiet untersuchten Gewässerstellen intakte oder nur leicht verarmte Wasserkleintier-Gemeinschaften auf. Dieses Ergebnis lässt sich in der Verteilung nach Höhenlage illustrieren (Abb. 4-5). Ungenügende Gewässerzustände (mässig bis schlecht) konnten im Untersuchungsgebiet ausschliesslich unterhalb von 600 m ü. M. nachgewiesen werden. Diese Höhenstufe ist geprägt durch Verkehrsachsen und grosse Siedlungsräume, welche Auswirkungen auf die Gewässer haben (Verbauungen, Siedlungsentwässerung etc.). Oberhalb dieser Höhenstufe zeigten alle untersuchten Gewässerstellen einen guten bis sehr guten Gewässerzustand.

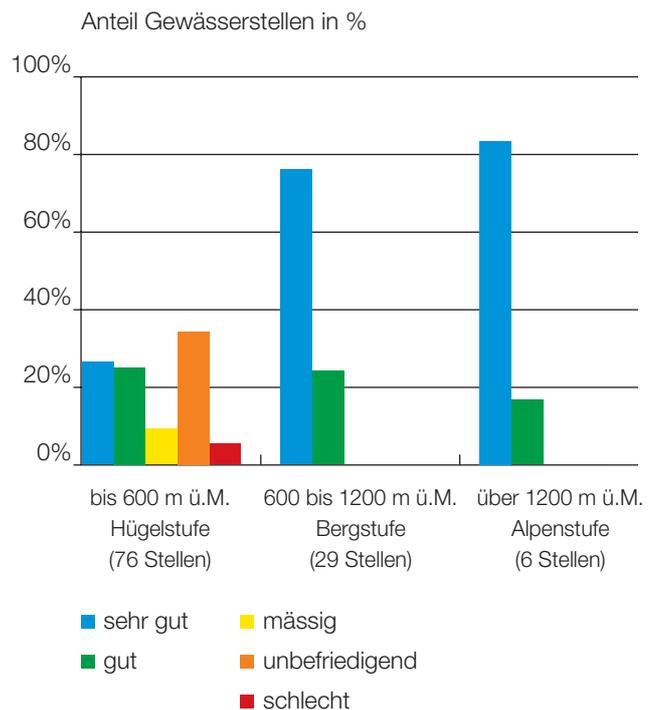


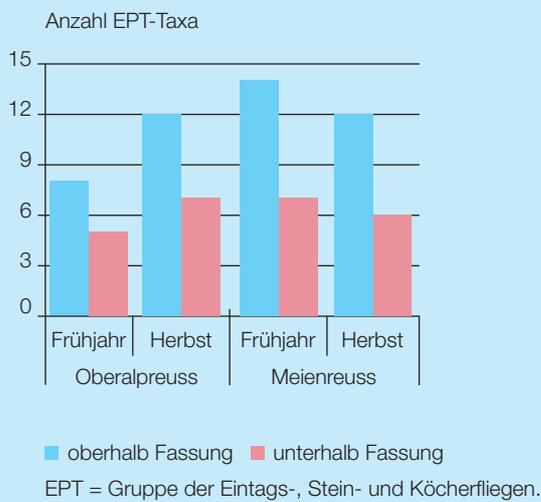
Abb. 4-5: Biologischer Gewässerzustand verteilt auf drei Höhenstufen: Gewässerstellen mit ungenügendem Gewässerzustand (mässig bis schlecht) wurden ausschliesslich unterhalb 600 m ü. M. (Hügeltstufe) nachgewiesen.

4. BIOLOGIE



20 Im alpinen Gebiet der Untersuchungsregion wird das Wasser vieler Bäche und Flüsse für die Stromproduktion genutzt. Im Rahmen des DÜFUR-Programms wurde der Einfluss dieser Wassernutzung an ausgewählten Restwasserstrecken untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass

sich unterhalb von Wasserfassungen, bei denen das Flusswasser vollständig abgeleitet wird, die Gemeinschaft der Wasserkleintiere verändert. Diese Veränderungen führen jedoch nicht zu einer Verschlechterung der Qualität.



Restwasser und Wasserkleintiere

Im Rahmen der DÜFUR wurden auch Gewässerstellen unterhalb von Wasserentnahmen untersucht, welche das Flusswasser vollständig nutzen. Eine Dotation an der Fassung existiert in den untersuchten Beispielen nicht. Mit den Wasserkleintieren konnte bei diesen Restwasserstellen keine oder nur eine geringe Verschlechterung des biologischen Gewässerzustands festgestellt werden. Es zeigte sich aber, dass die anspruchsvollen Organismengruppen (Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen = EPT-Taxa) in den Restwasserstrecken meist deutlich untervertreten waren. Für viele Vertreter dieser anspruchsvollen Organismen sind die spezifischen Ansprüche hinsichtlich Wasserführung, Fließgeschwindigkeit oder Wassertemperatur in den Restwasserstrecken nicht mehr erfüllt.



5.1 Zweck der chemischen Untersuchungen

Mit dem systematischen Aufbau eines Netzes von ARAs ab Mitte des letzten Jahrhunderts konnte die stoffliche Belastung der Gewässer durch häusliche, gewerbliche und industrielle Abwässer stark reduziert werden. Dennoch ist die chemische Untersuchung der Gewässer nötig. Diffuse Einträge, vor allem aus der Landwirtschaft und der Entwässerung versiegelter Flächen, beeinträchtigen die Wasserqualität nach wie vor. Auch unterhalb von ARAs genügt die Qualität den Anforderungen teilweise nicht, weil das Verhältnis zwischen eingeleitetem gereinigtem Abwasser und der Wasserführung des Gewässers ungünstig ist oder bestimmte Stoffe zu wenig abgebaut werden. Und die vorliegenden Untersuchungen erfassen vor allem auch kleinere Fließgewässer, deren Zustand bisher kaum bekannt war.

Beim Überwachungsprogramm DÜFUR werden an jeder Gewässerstelle im jeweiligen Untersuchungsjahr vier Chemiestichproben entnommen. Dies entspricht den Minimalanforderungen gemäss Modul Chemie des BUWAL (Entwurf 2004). Die Untersuchungen beschränken sich auf die wichtigsten physikalischen und chemischen Grössen, welche anthropogene Belastungen anzeigen und mit geringem Aufwand erfasst werden können. Die einzelnen Messgrössen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

Messgrösse	Symbol	Einheit
Temperatur	T	°C
Abflussmenge (gemessen oder geschätzt)	Q	m ³ /s
pH-Wert	pH	
Elektrische Leitfähigkeit	LF	µS/cm
Ammonium-Stickstoff	NH ₄ -N	mg/l N
Nitrit-Stickstoff	NO ₂ -N	mg/l N
Nitrat-Stickstoff	NO ₃ -N	mg/l N
Ortho-Phosphat-Phosphor	o-PO ₄ -P	mg/l P
Gesamt-Phosphor	GP	mg/l P
Chlorid	Cl	mg/l Cl
Gelöster organischer Kohlenstoff	DOC	mg/l C

Tab. 5-1: Messgrössen für die chemischen Untersuchungen.

Neben den untersuchten Stoffen ist heute eine Vielzahl von chemischen Substanzen in Gebrauch, die auf verschiedenen Wegen mehr oder weniger direkt in die Gewässer gelangen. Viele dieser Substanzen üben schon in kleinsten Konzentrationen eine negative Wirkung auf Fische und andere Gewässerorganismen aus. Dazu gehören beispielsweise hormonaktive Substanzen und Pestizide, welche in den ARAs nicht oder kaum abgebaut werden. Die Untersuchung solcher Substanzen ist äusserst aufwändig und sprengt den Rahmen einer Dauerüberwachung mit über 100 Gewässerstellen. Allerdings ist nicht auszuschliessen, dass die festgestellten biologischen Defizite teilweise auch unter dem Einfluss solcher Substanzen entstanden sind. Dies müsste im Einzelfall mit entsprechenden Untersuchungen geklärt werden.



5.2 Auswertung und Beurteilung

Die Auswertung und Beurteilung der gemessenen Werte erfolgt nach dem Modul Chemie des BUWAL (Entwurf 2004). Für sechs der insgesamt elf erfassten Messgrössen (Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Stickstoff, ortho-Phosphat- und Gesamt-Phosphor, DOC) werden die untersuchten Gewässer anhand der vier Stichproben in eine von fünf Qualitäts- oder Zustandsklassen eingeteilt (siehe Tab. 5-2). Eine Einteilung in die Klassen «sehr gut» und «gut» bedeutet, dass die Zielvorgabe der Gewässerschutzverordnung für die entsprechende Messgrösse eingehalten ist. Bei den Zustandsklassen «mässig», «unbefriedigend» und «schlecht» ist die Zielvorgabe nicht erfüllt resp. nicht eingehalten. Falls alle untersuchten Messgrössen in die Zustandsklassen «sehr gut» oder «gut» fallen, handelt es sich um ein unbelastetes oder wenig belastetes Gewässer. Wenn eine oder mehrere Messgrössen als «mässig», «unbefriedigend» oder «schlecht» bewertet werden, ist im Einzelfall zu prüfen, ob ergänzende Erhebungen durchgeführt und Massnahmen zur Reduktion der Belastung angeordnet werden müssen.



Tab. 5-2: Qualitäts- oder Zustandsklassen gemäss Modul Chemie.

Für das Jahr 2000 sind lediglich Einzelwerte von einigen ausgewählten Fliessgewässern vorhanden. Die Stellen im Kanton Luzern werden erst seit 2002 chemisch untersucht. Bei den Auswertungen im folgenden Kapitel 5.3 sind nur diejenigen Gewässerstellen berücksichtigt, bei denen die Resultate von vier Stichproben vorliegen. Dies ist der Fall für die Untersuchungen der Jahre 2001 bis 2003 (Luzern 2002 und 2003).

5.3 Ergebnisse und Kommentar

**Anorganische Stickstoffverbindungen
(Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Stickstoff)**

Die Ammoniumkonzentrationen geben Aufschluss über die Belastung eines Gewässers durch kommunale Abwässer und durch Einträge aus Abschwemmung und Auswaschung landwirtschaftlich genutzter Gebiete. Zwischen Ammonium und dem starken Fischgift Ammoniak besteht ein chemisches Gleichgewicht, das durch den pH-Wert und die Temperatur bestimmt wird. Die Qualitätsanforderungen für Ammonium werden deshalb in Abhängigkeit von Temperatur und pH-Wert festgelegt.

Nitrit ist in natürlichen, durch menschliche Aktivitäten nicht belasteten Fliessgewässern kaum nachweisbar. Es ist ein Zwischenprodukt der Nitrifizierung, d. h. der oxidativen Umwandlung von Ammonium in Nitrat. Erhöhte Konzentrationen sind unterhalb von ungenügend nitrifizierenden ARAs zu erwarten. Nitrite sind stark fischgiftig, wobei die Toxizität von der Chloridkonzentration abhängig ist. Die Zielvorgaben werden deshalb in Abhängigkeit des Chloridgehalts festgelegt.

Ähnlich wie beim Ammonium deuten erhöhte Nitratwerte auf einen grösseren Abwasseranteil im Gewässer oder auf eine intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Einzugsgebiet hin. Tiefe Nitratkonzentrationen finden sich unterhalb von Seen oder in Bächen mit einem hohen Anteil bewaldeter Flächen im Einzugsgebiet.

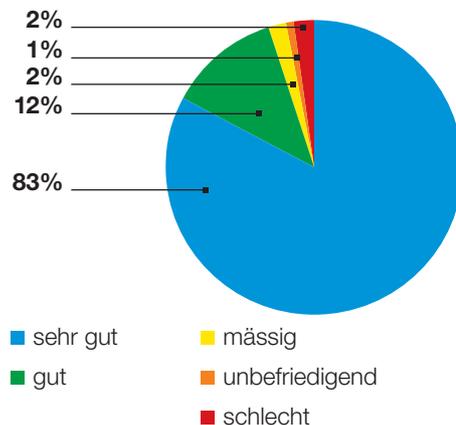
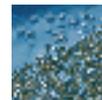


Abb. 5-1: Verteilung der Zustandsklassen bezüglich Ammonium.



Bezüglich Ammonium befinden sich 95% der insgesamt 92 Gewässerstellen in den Zustandsklassen «sehr gut» oder «gut» und erfüllen damit die Zielvorgabe der Gewässerschutzverordnung (Abb. 5-1). Bei 5% oder 5 Stellen wird die Zielvorgabe nicht eingehalten.

Abbildung 5-2 zeigt, dass sich die Ammonium-Belastung der Gewässer mit zunehmender anthropogener Beeinflussung des Einzugsgebiets erhöht. Währenddem alle Gewässer mit naturnahem Einzugsgebiet in der Zustandsklasse «sehr gut» sind, ist die Zielvorgabe bei wenig beeinflussten Einzugsgebieten an zwei und bei stark beeinflussten Einzugsgebieten an drei Stellen nicht erfüllt. Für die Belastung im Siedlungsbereich sind als wichtigste Ursachen ARA-Einleitungen, Strassenentwässerungen und Regenentlastungen der Kanalisation zu nennen.

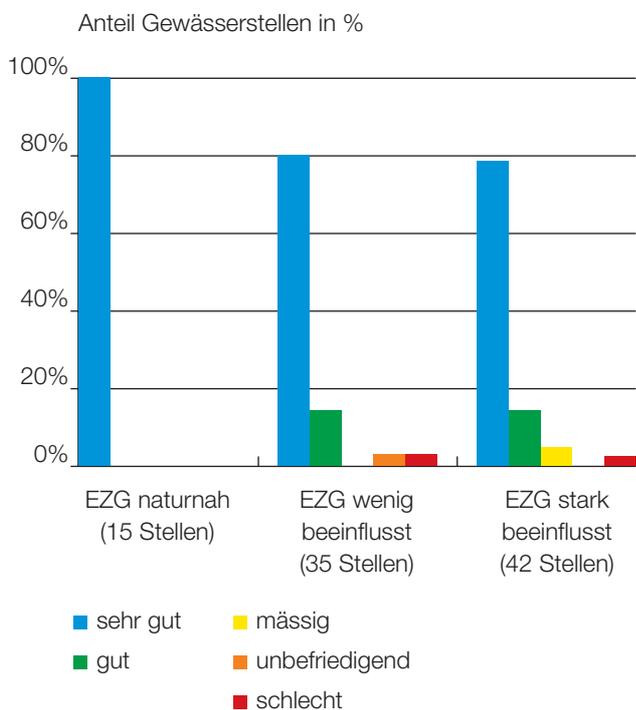


Abb. 5-2: Zustandsklassen bezüglich Ammonium in Abhängigkeit des Einzugsgebiets (EZG).

Auch eine hohe Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung im Bereich der Untersuchungsstelle wirkt sich negativ auf die Wasserqualität hinsichtlich Ammonium aus (Abb. 5-3). In landwirtschaftlich nicht oder wenig intensiv genutzten Gebieten erreichen 3% der Stellen die Zielvorgabe nicht, in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft sind es 11.5%. Hier ist meist die Abschwemmung von Hofdüngern für die Beeinträchtigung der Gewässer verantwortlich.

Im Einzelfall ist es oft schwierig, die Gewässerbelastung einer bestimmten Ursache zuzuordnen. Gewässer in dichter besiedelten Einzugsgebieten sind häufig gleichzeitig durch intensive Landwirtschaft beeinflusst. So stammen alle drei Stellen, welche als «unbefriedigend» oder «schlecht» klassiert sind, aus wenig bis stark beeinflussten Einzugsgebieten mit gleichzeitig intensiver landwirtschaftlicher Nutzung.

Beim Nitrit zeigen die Untersuchungsergebnisse ein ähnliches Bild wie beim Ammonium. Der Anteil an Gewässerstellen, bei denen die Zielvorgabe nicht eingehalten wird, nimmt auch bei dieser Messgrösse mit der Intensität von Besiedlung und landwirtschaftlicher Nutzung zu. Beim Nitrat wurde keine einzige Überschreitung der Zielvorgabe festgestellt.

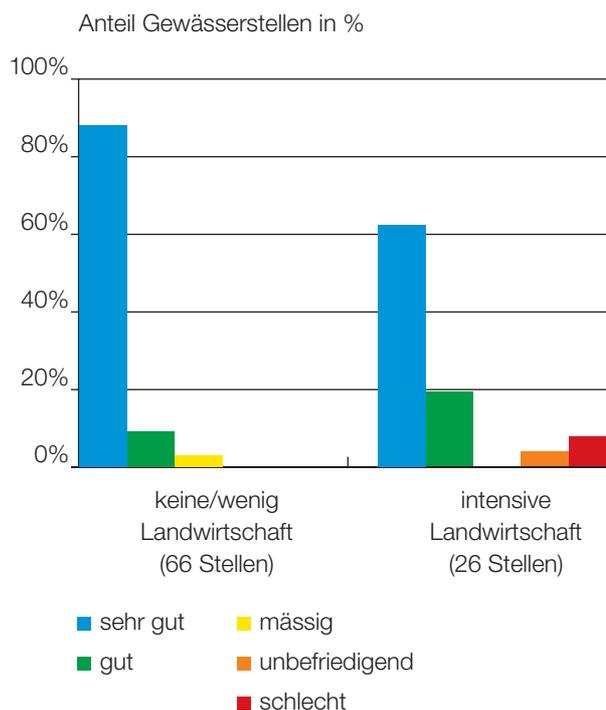
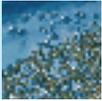


Abb. 5-3: Zustandsklassen bezüglich Ammonium in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Nutzung.



24 Phosphorverbindungen (ortho-Phosphat- und Gesamt-Phosphor)

Einträge von ortho-Phosphat in Fließgewässer stammen hauptsächlich aus Einleitungen von ARAs, aus Regenentlastungen der Kanalisation und aus Abschwemmungen und Auswaschungen landwirtschaftlich genutzter Flächen. Weil in unseren Seen Phosphat der limitierende Nährstoff für das Pflanzenwachstum ist, sind in den Zuflüssen möglichst tiefe Konzentrationen anzustreben. Bei der Bestimmung des Gesamt-Phosphors werden gelöste und ungelöste Phosphorverbindungen erfasst. Unter den gelösten Phosphorverbindungen finden sich solche anorganischer (ortho-Phosphat, Polyphosphate z.B. aus Reinigungsmitteln) wie auch organischer Herkunft (pflanzliche und tierische Bestandteile, Phosphonate aus Reinigungsmitteln). Ungelöste Phosphorverbindungen stammen aus biologischem Material (z.B. Algen) oder aus Bodenteilchen, welche durch Erosion des Bodens oder Verwitterung der Gesteine in die Gewässer gelangen.

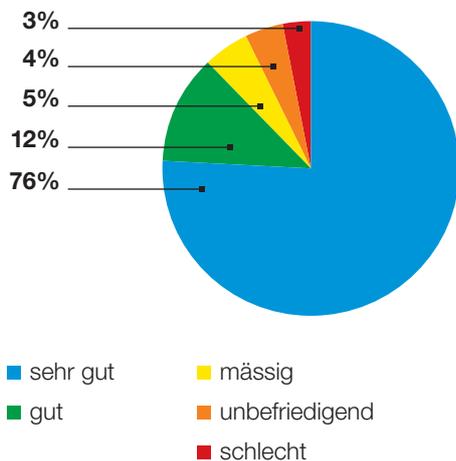


Abb. 5-4: Verteilung der Zustandsklassen bezüglich Gesamt-Phosphor.

Der Anteil an Gewässerstellen in den Zustandsklassen «sehr gut» und «gut» beträgt beim Gesamt-Phosphor 88% (Abb. 5-4). Von den 12% oder 12 Gewässerstellen, welche die Zielvorgabe der Gewässerschutzverordnung nicht einhalten, sind fünf als «mässig», vier als «unbefriedigend» und drei als «schlecht» klassiert.

Wie beim Ammonium nimmt auch bei den Phosphorverbindungen der Anteil der als mässig bis schlecht eingestuft Gewässerstellen in Siedlungsgebieten und bei intensiver Landwirtschaft zu. Für die Belastungen kommen als Ursachen wiederum ARA-Einleitungen, Strassenentwässerungen, Regenentlastungen der Kanalisation und Abschwemmung von Hofdüngern in Frage. Zusätzlich gilt es beim Gesamt-Phosphor zu beachten, dass erhöhte Konzentrationen auch aus natürlichen Quellen stammen können (biologisches Material, Bodenteilchen).

Aus Abbildung 5-5 geht hervor, dass sich bezüglich Gesamt-Phosphor kein Gewässer mit naturnahem Einzugsgebiet in einer der beiden schlechtesten Zustandsklassen befindet. Bei wenig beeinflussten Einzugsgebieten sind dagegen drei, bei stark beeinflussten Einzugsgebieten sogar vier Stellen als «unbefriedigend» oder «schlecht» klassiert.

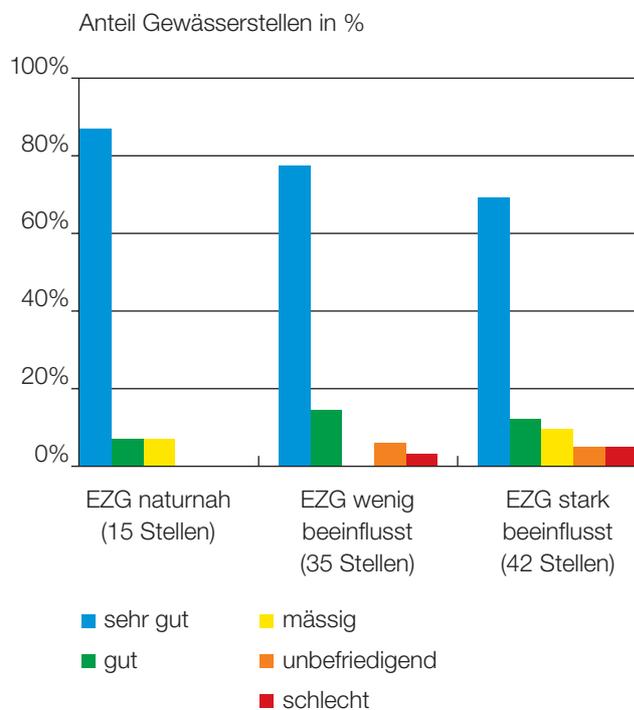


Abb. 5-5: Zustandsklassen bezüglich Gesamt-Phosphor in Abhängigkeit des Einzugsgebiets (EZG).

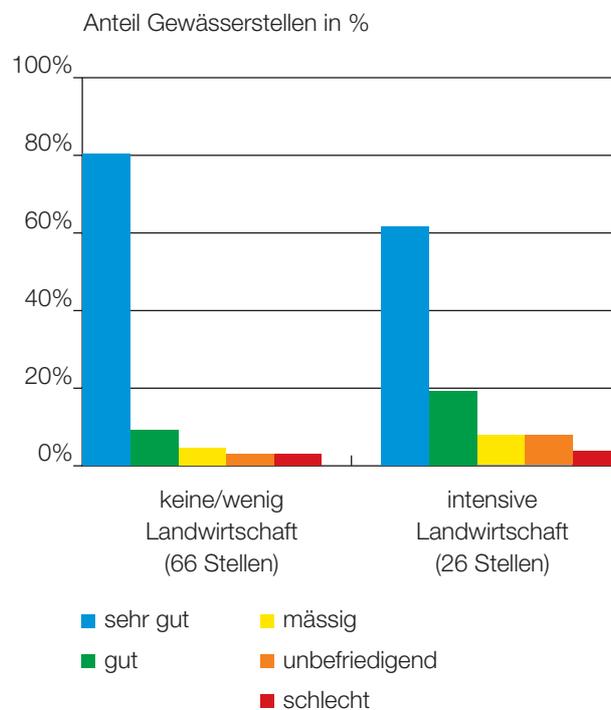
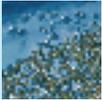


Abb. 5-6: Zustandsklassen bezüglich Gesamt-Phosphor in Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Nutzung.

Die Abhängigkeit der Gesamt-Phosphor-Belastung von der landwirtschaftlichen Nutzung ist in Abbildung 5-6 dargestellt. Hier fällt vor allem auf, dass bei intensiver Landwirtschaft der Anteil an Gewässerstellen in der Zustandsklasse «sehr gut» deutlich abnimmt. In landwirtschaftlich nicht oder wenig intensiv genutzten Gebieten erfüllen 10.6% der Stellen die Zielvorgabe nicht, in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft sind es mit 19.2% fast doppelt so viele.

Beim ortho-Phosphat ist die gleiche Tendenz zu beobachten wie beim Gesamt-Phosphor. Allerdings wird die Zielvorgabe bei dieser Messgrösse deutlich seltener nicht eingehalten.



26 **Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)**

Mit dem DOC wird der Kohlenstoffanteil der im Wasser gelösten organischen Stoffe bestimmt. Dieser Summenparameter lässt keine direkten Rückschlüsse auf Zusammensetzung und Herkunft der Kohlenstoffverbindungen zu. Er setzt sich aus einem natürlicherweise vorhandenen und einem zivilisatorisch bedingten Anteil zusammen. Der natürliche Anteil stammt vom Abbau von organischem Material und von der Auswaschung der Böden im Einzugsgebiet. Insbesondere kleinere Fließgewässer aus Moor- oder Waldgebieten sowie Seeabflüsse können relativ hohe DOC-Konzentrationen aufweisen. Eine anthropogen bedingte Erhöhung des DOC-Gehalts kann bei denjenigen Gewässerabschnitten erwartet werden, welche auch erhöhte Ammonium- und Nitritkonzentrationen aufweisen. Beim DOC ist die Zielvorgabe bei allen untersuchten Gewässerstellen eingehalten, 80% der Stellen sind in die beste Zustandsklasse eingeteilt.

Zusammenfassender Kommentar

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen von 92 Stellen während der Jahre 2001, 2002 und 2003 geht hervor, dass die stoffliche Belastung der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet mehrheitlich gering ist. Die Zielvorgaben der Gewässerschutzverordnung werden zum grössten Teil eingehalten:

Messgrösse	Zielvorgabe eingehalten	Zielvorgabe nicht eingehalten
Ammonium	94.5 %	5.5 %
Nitrit	92.4 %	7.6 %
Nitrat	100 %	0 %
Ortho-Phosphat	96.7 %	3.3 %
Gesamt-Phosphor	88.0 %	12.0 %
DOC	100 %	0 %

Tab. 5-3: Überschreitung der Zielvorgabe bei den unterschiedlichen Messgrössen.

Bei 77 Stellen (84%) sind die Zielvorgaben für alle Messgrössen eingehalten. Diese Flüsse und Bäche sind als unbelastet oder wenig belastet einzustufen. Bei neun Stellen (10%) ist die Zielvorgabe für eine Messgrösse, bei einer Stelle (1%) für zwei Messgrössen, bei vier Stellen (4%) für drei Messgrössen und bei einer Stelle (1%) für vier Messgrössen nicht erfüllt.

Die belasteten Bäche finden sich mehrheitlich in den Talgebieten mit dichter Besiedlung und intensiver Landwirtschaft. Eine Verbesserung der Situation ist dann zu erwarten, wenn die Massnahmen der Generellen Entwässerungspläne (GEP) schrittweise umgesetzt und die Gewässerschutzvorschriften in der Landwirtschaft konsequent durchgesetzt werden.



Die Dauerüberwachung der Fliessgewässer in den Urkantonen soll unter anderem Grundlagen für künftige Gewässerschutzmassnahmen liefern. Massnahmen drängen sich dort auf, wo die gesetzlichen Anforderungen an die Wasserqualität oder die gesetzlich festgelegten ökologischen Ziele nicht erfüllt sind. Dies ist bei mehr als der Hälfte der 124 untersuchten Gewässerstellen der Fall. Die Defizite lassen sich hauptsächlich durch die biologisch-ökologischen Indikatoren nachweisen. Es sind vor allem drei Ursachen, die zu diesen Defiziten führen: die massive Verbauung vieler Fliessgewässer, die Entwässerung dicht besiedelter Gebiete und die Intensivlandwirtschaft. Daneben hat auch die im Untersuchungsgebiet häufige hydroelektrische Wassernutzung negative Auswirkungen auf die Gewässerqualität. Aufgrund dieser Feststellungen lässt sich nachfolgender Handlungsbedarf ableiten.

1. Gewässerraum sichern, Fliessgewässer renaturieren

Zahlreiche Bäche im Siedlungs- und im Intensivlandwirtschaftsgebiet sind heute kanalisiert und massiv verbaut. Es fehlt an natürlichen Lebensräumen. Diese Gewässer können ihre ökologische Funktion nicht mehr erfüllen. In strukturellen Abflussrinnen verarmt aber nicht nur die aquatische Lebensgemeinschaft, auch die Selbstreinigungskraft ist stark beeinträchtigt. Solche Fliessgewässer sind daher meist schlechte Vorfluter für die Siedlungsentwässerung. Gefordert sind in erster Linie Massnahmen zur ökologischen Aufwertung, so genannte Renaturierungen. Die Wiederherstellung der verlorenen Lebensräume in und am Gewässer braucht Platz. Es ist daher wichtig, dass der notwendige Gewässerraum bei anstehenden Zonenplanrevisionen oder im Rahmen von wasserbaulichen Massnahmen rechtsverbindlich ausgeschieden wird. Diesen Raum gilt es für geeignete Aufwertungs- und Renaturierungsmassnahmen zu nutzen. Selbstverständlich müssen Renaturierungsmassnahmen konzeptionell und durch Kosten-Nutzen-Analysen abgestützt sein.

2. ARA-Vorfluter verbessern

Das Untersuchungsgebiet verfügt über gut ausgebaute und moderne ARAs, welche die gesetzlichen Einleitbedingungen praktisch ausnahmslos erfüllen. Trotzdem konnte im Rahmen der Dauerüberwachung festgestellt werden, dass die Einleitung von gereinigtem Abwasser in einigen Vorflutern massive Beeinträchtigungen auslöst. Bei den meisten dieser Vorfluter handelt es sich um kleinere, stark verbaute Gewässer, welche die gesetzlich tolerierten Stoffbelastungen des gereinigten Abwassers nicht genügend verdünnen oder abbauen können. Bei den betroffenen ARAs gilt es zu prüfen, ob das gereinigte Abwasser in einen grösseren Vorfluter (Fluss oder See) eingeleitet werden kann. Eine andere Möglichkeit ist die Verbesserung der Selbstreinigungskraft durch Renaturierung des Vorfluters, damit das Gewässer künftig als natürlicher Lebensraum funktionieren kann.

3. Regenentlastungen optimieren

Im Rahmen der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass Regenentlastungen der Siedlungsentwässerung zu permanenten Beeinträchtigungen der betroffenen Gewässer führen können. Als Gründe kommen eine ungenügende Wartung, fehlender Retentionsraum oder falsche Steuerung der Anlage in Frage. Die Auswirkungen der Entlastungsbauwerke auf den Vorfluter müssen im Rahmen der generellen und regionalen Entwässerungsplanungen überprüft werden. Sind Belastungen ersichtlich, so sind Massnah-



28 men wie eine verbesserte Wartung, eine Optimierung der Steuerung oder ein Ausbau (beispielsweise grössere Retentionsbecken) in die Wege zu leiten. Bei allzu kleinen Vorflutern ist eine Aufhebung der Regenentlastung zu prüfen.

4. Pufferstreifen einhalten

Die Untersuchungsergebnisse zahlreicher Gewässer in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten weisen auf einen erhöhten Nährstoffeintrag hin. Diese Stoffe bewirken unter anderem Algen- und Wasserpflanzenwucherungen im Bach und können schlussendlich ins Grundwasser gelangen. Eine strikte Einhaltung der in der Stoffverordnung festgelegten Düngeabstände ist hier unerlässlich. Dazu sind entsprechende Kontrollen notwendig. Weiter sind Massnahmen zur Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung entlang der Gewässer zu unterstützen. So sollen ökologische Ausgleichsflächen vermehrt an Fließgewässern angelegt werden. Eine gute Voraussetzung für Extensivierungsmassnahmen ist die Ausscheidung des erforderlichen Gewässerraums.

5. Wasserentnahmen sanieren

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass unterhalb von Wasserentnahmen ohne Dotation von Restwasser anspruchsvolle Wasserkleintiere deutlich weniger häufig auftreten. Dies obwohl die Wasserkleintiere bezüglich Wasserführung gegenüber Fischen wesentlich toleranter sind. In den untersuchten Abschnitten können Fische meist gar nicht mehr über längere Zeit überleben. Das Gewässerschutzgesetz verlangt denn auch die Sanierung der Bach und Flussabschnitte unterhalb von Entnahmestellen. Diese Sanierungen sind so rasch wie möglich durchzuführen.

6. Intakte Fließgewässer erhalten

Etlliche Gewässerstellen weisen keine oder nur ganz geringe Belastungen auf und können heute noch als natürlich bis naturnah bezeichnet werden. Solche intakten Fließgewässer prägen in höheren Lagen des Untersuchungsgebiets heute noch das Landschaftsbild. Es ist eine Aufgabe aller betroffenen Akteure, diese natürlichen und naturnahen Gewässer für die Zukunft zu erhalten.



Nachfolgend werden ausgewählte Gewässerstellen aus der DÜFUR vorgestellt. Sie sollen einen Einblick in die Verschiedenartigkeit der Fliessgewässertypen und Beeinträchtigungsarten im Untersuchungsgebiet geben.

Legende

Wasserchemie

Klasse 1 (blau)	sehr gut
Klasse 2 (grün)	gut
Klasse 3 (gelb)	mässig
Klasse 4 (orange)	unbefriedigend
Klasse 5 (rot)	schlecht

Äusserer Aspekt

Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Anhang 2 Ziffern 11 und 12 GSchV sind:

Klasse 1 (blau)	eingehalten
Klasse 2 (grau)	knapp nicht eingehalten
Klasse 3 (rot)	deutlich nicht eingehalten

Wasserpflanzen

Algen und Makrophyten/Moose:

5 Bewuchsdichte-Stufen nach Thomas & Schanz (1976). Bewuchsdichte > Stufe 3.5 gilt in der Regel als unnatürliche Wucherung.

Kieselalgen

Kieselalgenindex (DI-CH)	Qualitätsklassen
1.0 bis 3.49 (blau)	unbelastet bis gering belastet
3.5 bis 4.49 (grün)	schwach belastet
4.5 bis 5.49 (gelb)	deutlich belastet
5.5 bis 8.0 (rot)	stark bis sehr stark belastet

Makroinvertebraten (Wasserkleintiere)

Makroindex	Biologischer Gewässerzustand
1 bis 2 (blau)	sehr gut
3 (grün)	gut
4 (gelb)	mässig
5 bis 6 (orange)	unbefriedigend
7 bis 8 (rot)	schlecht

Saprobien-Index (A)	Grad der organischen Belastung
1.0 bis < 1.5	unbelastet bis sehr gering belastet
1.5 bis < 1.8	gering belastet
1.8 bis < 2.3	mässig belastet
2.3 bis < 2.7	kritisch belastet
2.7 bis < 3.2	stark verschmutzt
3.2 bis < 3.5	sehr stark verschmutzt
3.5 bis < 4.0	übermässig verschmutzt

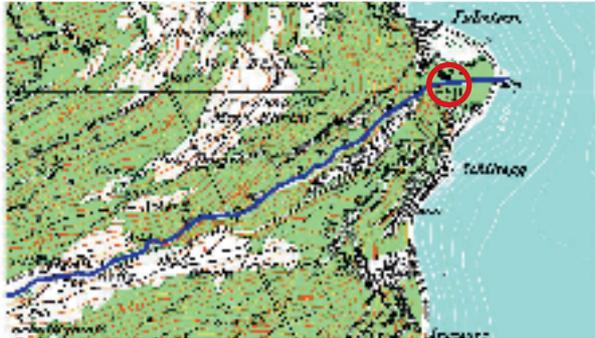
7. GEWÄSSERBEISPIELE



30

Kritische Wasserqualität im ländlichen Alpenraum

Beispiel Isitalerbach, Kanton Uri (DÜFUR-Stelle Nr. 102)



Der Isitalerbach entspringt als Gletscherbach auf ca. 2'300 m ü. M. und mündet bei Isleten in den Vierwaldstättersee. Sein Einzugsgebiet weist eine Fläche von 60 km² auf und ist durch einen hohen Waldanteil sowie land- und alpwirtschaftliche Nutzung geprägt. Neben dem Dorf Isenthal (780 m ü. M.) dominieren im Tal die Streusiedlungen. Das ganze Tal hat ca. 800 Einwohner. Der Isitalerbach wird ab Isenthal hydroelektrisch genutzt. Zwei Fassungen, eine am Isitalerbach, die andere an einem Seitenbach, leiten das Bachwasser über zwei Kraftwerksstufen direkt in den Vierwaldstättersee. Unterhalb der Entnahmestellen im Isitalerbach wird das Gewässer im Winter mit 100 l/s und im Sommer mit 260 l/s Restwasser dotiert. Im natürlichen Zustand wäre bei der Mündung eine mittlere Abflussmenge von 2.5 m³/s zu erwarten. Der Isitalerbach dient als Vorfluter für die mit einer mechanisch-biologischen Stufe ausgerüstete ARA Isenthal. Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in die Restwasserstrecke.

Die untersuchte Gewässerstelle liegt unmittelbar nach einer Tobelstrecke (letzte Gefällstufe) im ursprünglichen Bachdelta kurz vor der Mündung in den Vierwaldstättersee. Die Stelle wird sowohl vom Restwasserabfluss wie auch der ARA-Einleitung beeinflusst. Der Bach ist an der Untersuchungsstelle begradigt, die Uferböschungen sind mit Blocksteinen befestigt, die Gewässersohle weist hingegen eine natürliche Struktur auf. Die Ufer sind beidseitig bewaldet, was zu einer relativ intensiven Beschattung des beprobten Bachabschnitts führt.

Der Isitalerbach und seine Seitengewässer befinden sich heute noch in einem weitgehend natürlichen bis naturnahen Zustand. Die Bachläufe sind nicht über längere Strecken verbaut. Die Gewässer sind, bedingt durch die geringe Besiedlungsdichte, stofflich wenig belastet. Diese Situation ändert sich allerdings im Unterlauf. Mit den Wasserentnahmen wird die Wasserführung stark reduziert. Die geringen Restwassermengen, die weit unter den gesetzlichen Anforderungen liegen, genügen nicht zur Aufnahme des gereinigten Abwassers aus der ARA Isenthal. Bis zur Mündung in den See bleiben erhöhte Phosphat- und Phosphorkonzentrationen. Eine Infiltration dieses belasteten Bachwassers ins Grundwasser bei Isleten ist nicht unproblematisch. Eine Erhöhung der Restwassermengen auf das gesetzliche Niveau würde zu einer stärkeren Verdünnung führen und das Problem der stofflichen Belastung entschärfen.


**Gewässerzustand Isitalerbach
(DÜFUR-Stelle Nr. 102)**

Chemie (Werte 2004)	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal	Gesamtwertung
Abfluss [m³/s]	0.04	0.25	0.28	0.05	
Temperatur [°C]	0.5	8.6	11.5	9.8	
Ammonium NH ₄ [mg/l N]	0.023	< 0.016	< 0.016	< 0.016	sehr gut
Nitrat NO ₃ [mg/l N]	1.3	0.70	0.50	0.95	sehr gut
Nitrit NO ₂ [mg/l N]	0.0046	0.0033	0.0021	< 0.0006	sehr gut
Phosphat o-PO ₄ -P [mg/l P]	0.041	0.023	0.023	0.042	mässig
Gesamt-Phosphor [mg/l P]	0.045	0.026	0.024	0.064	gut
DOC [mg/l C]	0.8	0.7	0.7	1.0	sehr gut

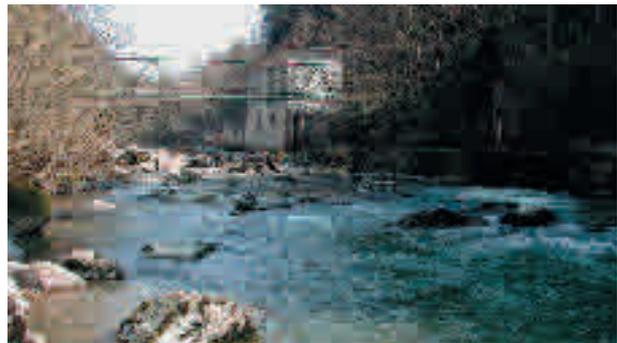
Äusserer Aspekt	Frühjahr	Herbst
Trübung	keine	keine
Verfärbung	keine	keine
Geruch	kein	kein
unnatürlicher Schaum	wenig	wenig
Verschlämmung	keine	keine
Pilze / Bakterien / Protozoen	keine	keine
Eisen-Sulfid-Flecken	0%	0%
Feststoffe Siedlungsentw.	keine	keine

Wasserpflanzen	Frühjahr	Herbst
Makrophyten / Moose	Stufe 0	Stufe 0
Algen	Stufe 3	Stufe 3-4
Kieselalgen-Index	2.01	2.81
Makroinvertebraten	Frühjahr	Herbst
Anzahl Taxa	12	18
Makroindex	1	1
Saprobien-Index	1.4	1.3



Trotz natürlichen Strukturen keine befriedigende Wasserqualität

Beispiel Sihl, Kanton Schwyz
(DÜFUR-Stelle Nr. 220)



Die Sihl entspringt im Kreidekalk zwischen Flüebrig und Druesberg. Das Wasser versickert zum Teil und kommt weiter unten wieder zum Vorschein. Die Sihl fliesst dann als Wildbach und in der Talebene als kanalisierter Fluss und mündet in den künstlich aufgestauten Sihlsee. Von da an fliesst die Sihl grösstenteils in einem natürlichen Gerinne und mit einem mittleren Gefälle von 1% durch bewaldetes Gebiet, bis sie das Kantonsgebiet Richtung Zürich verlässt. In ihrem rund 280 km² grossen Einzugsgebiet macht der Wald etwas mehr als die Hälfte aus. Den Rest des Einzugsgebiets bilden Wiesen und Weiden sowie Streusiedlungen und ein Dorf mit einem kleineren Industrie- und Gewerbegebiet. Das Wasser der Sihl wird an verschiedenen Orten mittels Wasserkraftwerken genutzt.

Die Untersuchungsstelle befindet sich in der durch den Sihlstausee verursachten Restwasserstrecke. Sie liegt im Wald unterhalb einer Wasserrückgabestelle unmittelbar vor der Grenze zum Kanton Zürich. Fels und Steinblöcke dominieren die Sohle, Wasser fliesst ständig, aber relativ wenig. Zum Teil steht es auch beinahe zwischen den Steinen. Der Böschungsfuss ist unmittelbar bei der Messstelle durchlässig und unverbaut. Daneben befindet sich am linken Ufer flussaufwärts jedoch ein Gebäude mit einer Mauer.

Sowohl die chemischen wie auch die biologischen Parameter zeigen mehrheitlich eine gute Wasserqualität an. Dank der natürlichen Strukturen der Sihl in diesem Bereich konnte sich eine natürliche Lebensgemeinschaft der Wasserkleintiere entwickeln. Das Vorkommen makroskopisch sichtbarer Pilze, Bakterien und Protozoen ist allerdings ein Hinweis auf den Eintrag von Abwasserstoffen. Diese gelangen vermutlich oberhalb der Wasserfassung ins Gewässer und wirken sich aufgrund der kaum vorhandenen Selbstreinigungskraft in der Kraftwerksleitung auch noch unterhalb der Wasserrückgabe auf das Gewässer aus. Zudem wird die Entwicklung der Belastungszeiger unter der vorherrschenden Restwassersituation (geringe Wassermenge, wenig Strömung, z. T. stehendes Wasser, wenig Sauerstoffeintrag) begünstigt. Die Wasserqualität ist folglich nicht genügend. Die chemischen Stichproben ergaben allerdings keine kritischen Konzentrationen. Dies lässt darauf schliessen, dass die stofflichen Belastungen ereignisabhängig stattfinden.

Es gilt jedoch zu beachten, dass trotz hoher Strukturvielfalt der Fluss keinen natürlichen Zustand aufweist. Durch die Regulation des Abflusses mit dem Sihlsee wurde sein Charakter verändert und der Lebensraum für Fische und andere Wassertiere markant beeinträchtigt.



**Gewässerzustand Sihl
(DÜFUR-Stelle Nr. 220)**

Chemie	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal	Gesamtwertung
Abfluss [m³/s]	k. A*	2.8	2.5	0.12	
Temperatur [°C]	9.0	18.0	7.0	3.4	
Ammonium NH ₄ [mg/l N]	< 0.016	0.016	0.016	< 0.016	sehr gut
Nitrat NO ₃ [mg/l N]	0.72	0.63	0.61	0.84	sehr gut
Nitrit NO ₂ [mg/l N]	0.0040	0.0046	0.0030	0.0018	sehr gut
Phosphat o-PO ₄ -P [mg/l P]	0.004	0.008	0.011	0.007	sehr gut
Gesamt-Phosphor [mg/l P]	0.021	0.030	0.029	0.010	sehr gut
DOC [mg/l C]	2.1	2.0	2.8	1.5	gut

* keine Angaben / keine Messung

Äusserer Aspekt	Frühjahr	Herbst
Trübung	geringe	geringe
Verfärbung	keine	keine
Geruch	kein	kein
unnatürlicher Schaum	wenig	wenig
Verschlämmung	keine	keine
Pilze / Bakterien / Protozoen	wenig	vereinzelt
Eisen-Sulfid-Flecken	0%	0%
Feststoffe Siedlungsentw.	keine	wenige

Wasserpflanzen	Frühjahr	Herbst
Makrophyten / Moose	Stufe 1	Stufe 1
Algen	Stufe 3-4	Stufe 1
Kieselalgen-Index	-	-

Makroinvertebraten	Frühjahr	Herbst
Anzahl Taxa	22	18
Makroindex	2	2
Saprobien-Index	1.7	1.7



Fließgewässer in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung

Beispiel Grosse Schliere, Kanton Obwalden
(DÜFUR-Stelle Nr. 302)



Die Grosse Schliere entspringt auf ca. 1600 m ü. M. in der ausgedehnten Moorlandschaft Glaubenberg. Der obere Teil des 28.8 km² grossen Einzugsgebiets ist geprägt durch zahlreiche Hoch- und Flachmoore. Im Mittelteil fliesst die Grosse Schliere durch das von Wäldern dominierte Schlierental in Richtung Alpnach. Nach rund 17 km mündet sie unterhalb des Wichelsees in die Sarner Aa.

Der ursprünglich wegen der bei Hochwasser auftretenden grossen Geschiebefrachten gefürchtete Wildbach ist durch den Bau verschiedener Sperren im Mittelteil gezähmt worden. Seither gelangen deutlich geringere Mengen an Kies und Steinen in den grossen Geschiebesammler vor der Einmündung in die Sarner Aa. Die Abflussmenge beträgt im Mittel ca. 0.8 m³/s, kann aber bei grossen Hochwassern auf über 50 m³/s anschwellen.

Die Untersuchungsstelle liegt im Geschiebesammler Schlierenrüti, einem Auengebiet von nationaler Bedeutung. Im 450 x 200 Meter grossen Sammler steht der Grossen Schliere viel Raum zur Verfügung. Das Gerinne ist stark verzweigt, die Sohle durchlässig und die Ufer unbefestigt. Die Struktur kann an dieser Stelle als natürlich bezeichnet werden.

Die Grosse Schliere ist bis heute trotz einigen punktuellen Verbauungen zum grössten Teil natürlich bis naturnah geblieben. Das moorige und stark bewaldete Einzugsgebiet lässt nur eine extensive Landwirtschaft zu. Der Einfluss der Siedlungsgebiete von Kägiswil und Alpnach ist ebenfalls gering. Dementsprechend ist das Wasser weitgehend unbelastet, nährstoffarm und sauerstoffreich. Charakteristisch für einen Abfluss aus Mooregebieten sind die hohe DOC-Konzentration, die leichte Verfärbung und der zeitweise zu beobachtende natürliche Schaum. Bei der Grossen Schliere geht es vor allem darum, den guten Zustand auch in Zukunft zu erhalten.


**Gewässerzustand Grosse Schliere
(DÜFUR-Stelle Nr. 302)**

Chemie (Werte 2004)	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal	Gesamtwertung
Abfluss [m³/s]	0.2	1.4	0.07	1.8	
Temperatur [°C]	0.0	7.4	16.8	8.0	
Ammonium NH ₄ [mg/l N]	< 0.016	< 0.016	< 0.016	< 0.016	sehr gut
Nitrat NO ₃ [mg/l N]	0.54	0.25	0.20	0.27	sehr gut
Nitrit NO ₂ [mg/l N]	0.0018	0.0018	0.0012	0.0015	sehr gut
Phosphat o-PO ₄ -P [mg/l P]	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	sehr gut
Gesamt-Phosphor [mg/l P]	< 0.002	< 0.004	0.003	0.021	sehr gut
DOC [mg/l C]	2.2	6.0	3.6	8.7	nicht bewertet*

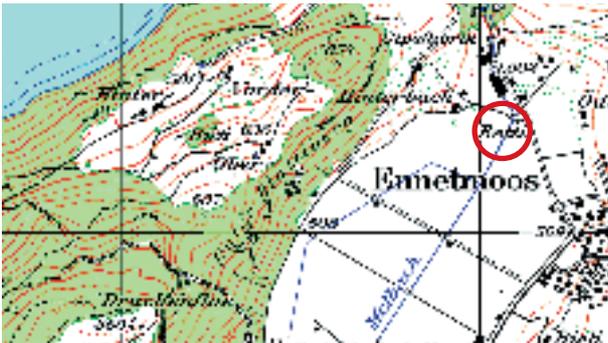
* Die erhöhten DOC-Konzentration sind natürlichen Ursprungs (Abfluss aus Moorgebiet)

Äusserer Aspekt	Frühjahr	Herbst	Wasserpflanzen	Frühjahr	Herbst
Trübung	geringe	keine	Makrophyten / Moose	Stufe 0	Stufe 0
Verfärbung	leichte	keine	Algen	Stufe 1-2	Stufe 1
Geruch	kein	kein	Kieselalgen-Index	-	-
unnatürlicher Schaum	kein	kein			
Verschlämmung	wenig	keine	Makroinvertebraten	Frühjahr	Herbst
Pilze / Bakterien / Protozoen	keine	keine	Anzahl Taxa	20	17
Eisen-Sulfid-Flecken	0%	0%	Makroindex	1	2
Feststoffe Siedlungsentw.	keine	keine	Saprobien-Index	1.5	1.6



Einfluss von Landwirtschaft und Gerinnestruktur auf den Gewässerzustand

Beispiel: Melbach, Kanton Nidwalden
(DÜFUR-Stelle Nr. 409)



Der Melbach hat ein Einzugsgebiet von rund 18 km². In seinem Oberlauf im Bereich des Stanserhorns hat er den Charakter eines Wildbachs. Im mittleren Teilstück durchquert er die Ebene des Drachenriedes zwischen St. Jakob und Ennetmoos. Während des 2. Weltkriegs wurde das Ried melioriert. Der Bach wurde dabei begradigt und das Gerinne mit Bruchsteinen befestigt. Bevor der Bach im Industriegebiet Rotzloch in den Alpachersee mündet, durchquert er die Rotzschlucht. Beim Eingang der Schlucht wird das Wasser gefasst (Kleinkraftwerk Rotzloch). Im Einzugsgebiet herrscht die Intensivlandwirtschaft vor. Im Oberlauf fällt der Bach vielfach trocken. In seinem Mittel- und Unterlauf führt er ständig Wasser (Grundwasserabsenker).

Die Untersuchungsstelle liegt im kanalisierten, ökomorphologisch als künstlich klassierten Bachabschnitt, kurz vor der Rotzschlucht. Sie ist für den ganzen Mittellauf repräsentativ. Im Umfeld der Stelle herrscht intensiver Naturfutterbau vor. Abschnittsweise erfolgt diese Nutzung bis ans Gewässer. Im Uferbereich der Untersuchungsstelle wurden ökologische Ausgleichsflächen ausgeschieden. Oberhalb der Stelle wird nur in St. Jakob Regenabwasser zugeleitet. Die Beeinflussung durch die Landwirtschaft dominiert. Sohle und Böschungsfuss sind mit nicht verfugten Bruchsteinen verbaut. Eine Uferbestockung ist nicht vorhanden.

Bei den chemischen Untersuchungen weisen die einmal festgestellte extreme Phosphorbelastung und die leicht erhöhten Stickstoffwerte (ein Ammonium-Wert, alle Nitratwerte) deutlich auf die Beeinflussung durch die Intensivlandwirtschaft hin. Die Stossbelastung mit Phosphor wird durch das Ausbringen von Gülle bei nicht idealen Bedingungen verursacht. Die Ergebnisse der biologischen Untersuchungen (Makroindex: tolerierbare Belastung; Wasserpflanzen: unnatürliche Wucherung) sowie der Nachweis von Eisen-Sulfid-Flecken bestätigen diese Befunde. Der Einfluss der Regenabwassereinleitung aus dem Siedlungsgebiet St. Jakob ist von untergeordneter Bedeutung. Insgesamt erfüllt der Bach die Anforderungen an die Wasserqualität der Gewässerschutzverordnung des Bundes (GSchV) knapp nicht. Die künstliche Verbauungsweise und die nicht gewässergerechte Bepflanzung und Bestockung sowie Nutzung der Uferbereiche ist für die Wasserqualität mitverantwortlich. Verbesserungen könnten mit einer geeigneten Bepflanzung und Bewirtschaftung des Uferbereichs erzielt werden. Die künstliche Verbauung von Sohle und Böschungsfuss kann nur mit aufwändigeren Massnahmen rückgängig gemacht werden. Die chemische Belastung wird in Zukunft vermutlich zunehmen. Der Grund dazu liegt in der zunehmenden Mineralisierung des organischen Bodens des ehemaligen Riedgebiets. Die Überdeckung der Drainagen nimmt dadurch stetig ab und Düngestoffe können vermehrt direkt ins Gewässer gelangen. Koordinierte Sanierungsanstrengungen im Gebiet scheiterten bisher.


**Gewässerzustand Melbach
(DÜFUR-Stelle Nr. 409)**

Chemie	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal	Gesamtwertung
Abfluss [m³/s]	0.330	0.200	0.410	0.750	
Temperatur [°C]	-	12.0	11.5	8.1	
Ammonium NH ₄ [mg/l N]	< 0.016	< 0.016	0.093	0.078	gut
Nitrat NO ₃ [mg/l N]	2.1	2.3	2.2	1.7	gut
Nitrit NO ₂ [mg/l N]	0.0061	0.0040	0.0037	0.0082	sehr gut
Phosphat o-PO ₄ -P [mg/l P]	0.003	0.005	0.003	0.070	gut
Gesamt-Phosphor [mg/l P]	0.007	0.021	0.009	0.20	unbefriedigend
DOC [mg/l C]	0.9	1.0	1.0	3.0	sehr gut

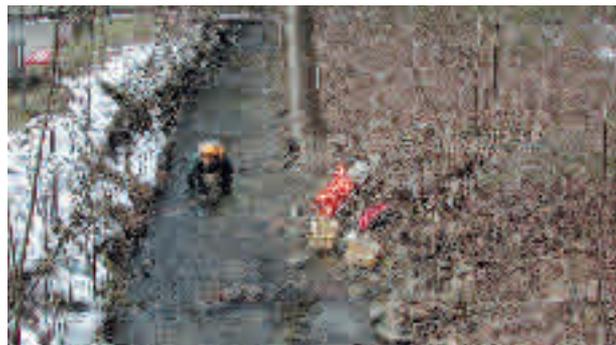
Äusserer Aspekt	Frühjahr	Herbst
Trübung	keine	keine
Verfärbung	keine	keine
Geruch	kein	kein
unnatürlicher Schaum	kein	kein
Verschlämmung	keine	keine
Pilze / Bakterien / Protozoen	keine	keine
Eisen-Sulfid-Flecken	0%	1-10%
Feststoffe Siedlungsentw.	keine	keine

Wasserpflanzen	Frühjahr	Herbst
Makrophyten / Moose	Stufe 4	Stufe 3
Algen	Stufe 3	Stufe 3-4
Kieselalgen-Index	-	-
Makroinvertebraten	Frühjahr	Herbst
Anzahl Taxa	17	16
Makroindex	3	3
Saprobien-Index	2.0	2.2



Mehrfache Belastungen in einem urbanen Fliessgewässer

Beispiel Würzenbach bei Luzern (DÜFUR-Stelle Nr. 502)



Der 7.7 km lange Würzenbach entspringt im Eggwald auf einer Höhe von 770 m ü. M. in der Gemeinde Udligenswil. Er durchfliesst ein rund 1 km langes flaches Ried, das Siedlungsgebiet von Adligenswil, ein verhältnismässig enges Tobel und das dicht besiedelte Gebiet der Stadt Luzern. In seinem Einzugsgebiet liegen Teile des Meggerwalds und landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen. Der Würzenbach mündet auf 432 m ü. M. im Strandbad Lido in den Vierwaldstättersee. Das mittlere Gefälle beträgt 4.4%. In seinem rund 39 km² grossen Einzugsgebiet machen Wiese und Weide annähernd zwei Fünftel aus. Je etwa 30% bilden Siedlungsgebiet und Wald. Vor dem Riedgebiet belastet die ARA Udligenswil den Würzenbach als Vorfluter. An der Grenze zur Stadt Luzern befindet sich ein Hochwasserentlastungsstollen. Der eingedolte Mündungsbereich in den Vierwaldstättersee wurde im Jahr 2003 geöffnet und soweit wie möglich renaturiert.

Die Untersuchungsstelle liegt im Siedlungsgebiet der Stadt Luzern unweit der Mündung in den See. Nach der Unterquerung der Hauptstrasse säumt ein kleiner Uferstreifen den Würzenbach, rechts befindet sich ein Kiesweg und am linken Ufer befinden sich versiegelte Plätze um Wohnhäuser. Weiter unterhalb der Stelle ist der Bach eingedolt, bevor er vor der Mündung wieder ans Tageslicht tritt. Die Sohle ist durchlässig und der Böschungsfuss ist locker mit Natursteinen gesichert.

Verschiedene Belastungen beeinträchtigen den Zustand des Würzenbachs: landwirtschaftliche Nutzung und Einleitung der ARA Udligenswil im Oberlauf, Regenentlastungen und Strassenentwässerungen aus dem Siedlungsgebiet im Unterlauf.

Die chemischen Untersuchungen aus dem Jahr 2004 zeigen hohe Konzentrationen an Phosphorverbindungen. Der Zustand aufgrund der Gesamtposphorwerte und des Phosphats ist mässig, was vermutlich auf die Einleitung der ARA und die landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen ist. Die anderen Messgrössen zeigen eine gute Wasserqualität. Beim äusseren Aspekt konnten die Anforderungen an die Wasserqualität im Herbst nicht (wenig Schaum und vereinzelt Protozoen resp. Einzeller) und im Frühjahr sogar deutlich nicht eingehalten werden (wenig Protozoen). Aufgrund der Kieselalgen wurde im Frühjahr ein mässiger und im Herbst ein sehr guter Zustand festgestellt. Genau umgekehrt präsentiert sich das Bild beim Makroindex. Hier wurde ein guter Gewässerzustand im Frühjahr und ein mässiger im Herbst ermittelt. Die Algenfäden im Frühjahr und Herbst zeigen infolge mangelnder Beschattung eine mittlere Belastung an.

Gesamthaft sind die gesetzlichen Anforderungen an ein Fliessgewässer weder im Frühjahr noch im Herbst eingehalten. Es besteht Handlungsbedarf!


**Gewässerzustand Würzenbach
(DÜFUR-Stelle Nr. 502)**

Chemie (Werte 2004)	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal	Gesamtwertung
Abfluss [m³/s]	0.15	0.19	0.11	0.042	
Temperatur [°C]	2.0	9.0	16.7	11.0	
Ammonium NH ₄ [mg/l N]	< 0.016	0.016	0.023	< 0.016	sehr gut
Nitrat NO ₃ [mg/l N]	4.0	3.1	4.5	3.8	gut
Nitrit NO ₂ [mg/l N]	0.0085	0.0140	0.0055	0.0130	sehr gut
Phosphat o-PO ₄ -P [mg/l P]	0.012	0.031	0.072	0.044	mässig
Gesamt-Phosphor [mg/l P]	0.031	0.052	0.077	0.070	mässig
DOC [mg/l C]	2.8	2.6	3.2	3.0	gut

Äusserer Aspekt	Frühjahr	Herbst
Trübung	keine	keine
Verfärbung	keine	keine
Geruch	keine	keine
unnatürlicher Schaum	wenig	wenig
Verschlämmung	keine	keine
Pilze / Bakterien / Protozoen	wenig	vereinzelt
Eisen-Sulfid-Flecken	0%	0%
Feststoffe Siedlungsentw.	keine	keine

Wasserpflanzen	Frühjahr	Herbst
Makrophyten / Moose	Stufe 1	Stufe 1
Algen	Stufe 3	Stufe 3
Kieselalgen-Index	4.77	2.80

Makroinvertebraten	Frühjahr	Herbst
Anzahl Taxa	20	25
Makroindex	3	5
Saprobien-Index	1.6	2.0



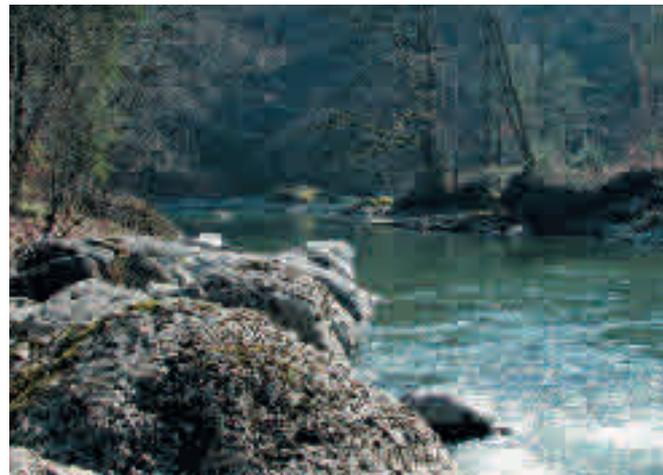
Literatur

- Amt für Umweltschutz Uri, Amt für Umweltschutz Schwyz, Amt für Umwelt und Energie Obwalden, Amt für Umweltschutz Nidwalden und Amt für Umweltschutz Luzern (2002): Dauerüberwachung der Fliessgewässer in den Urkantonen, Zwischenbericht 2000/2001.
- AquaPlus (2004): Koordinierte Dauerüberwachung der Fliessgewässer in den Urkantonen (UR, SZ, OW, NW) und im angrenzenden Gebiet des Kantons Luzern, Kurzberichte, Messergebnisse und Stellendokumentationen für die Kantone Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden und Luzern.
- Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG; SR 814.20).
- BUWAL (1998): Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26, Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Modul-Stufen-Konzept.
- BUWAL (Entwurf 2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz – Makrozoobenthos Stufe F.
- BUWAL (Entwurf 2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz – Chemie Stufe F & S.
- BUWAL (Entwurf 2002): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz – Kieselalgen Stufe F.
- Gewässerschutzfachstellen der Kantone Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden und Luzern (2005); Dauerüberwachung der Fliessgewässer in den Urkantonen, Datenanhang der Untersuchungsperiode 2000 bis 2003.
- Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV; SR 814.201).
- Thomas, E. A. & Schanz, F. (1976): Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern, ein limnologisches Problem. Vjsschr. Natf. Ges. Zürich, 121: 309-317.

Dank

Herrn Dr. Fredy Elber, AquaPlus, Zug, danken wir für die vielen wertvollen fachlichen Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Herrn Niklas Joos, Amt für Umweltschutz Uri, und Frau Natalie Kamber, Umwelt und Energie Luzern, danken wir für die Durchsicht des Manuskripts.



Amt für Umweltschutz Uri

Amt für Umweltschutz Schwyz

Amt für Landwirtschaft und Umwelt Obwalden

Amt für Umwelt Nidwaden

Umwelt und Energie Kanton Luzern

