

<b>Zeitschrift:</b>	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
<b>Band:</b>	84 (1986)
<b>Heft:</b>	9: 100 Jahre Abteilung für Kulturtechnik und Vermessung an der ETH Zürich
<b>Artikel:</b>	Wasserwirtschaftliches Gesamtkonzept Val Müstair : Beispiel einer kulturtechnischen Diplomarbeit am Institut für Kulturtechnik, Abt. Wasser und Boden, ETHZ
<b>Autor:</b>	Angst, Peter / Fritsch, Martin / Gysin, Daniel
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-233078">https://doi.org/10.5169/seals-233078</a>

### 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:** 26.01.2026

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

Geländemodell erstellt. Dieses diente wiederum als Grundlage für die Herstellung eines Orthophotos. Das besondere an der Disposition liegt darin, dass als Bezugsebene eine schräge Ebene gewählt wurde, welche mit einem Winkel von 60 gon der durchschnittlichen Neigung dieser Bergflanke entspricht. Das Orthophoto erfuhr in zwei Punkten noch eine Veränderung. Einerseits wurde das Orthophoto-Halbtongbild durch eine reproductionstechnische Strichumsetzung in den Details viel prägnanter und aussagekräftiger. Andererseits wurden dem Bild zusätzliche Informationen über die Geometrie der Wand (Höhenkurven und Höhenknoten) und über die Routen der Erstbesteiger beigefügt. Graphisch stellt sich bei dieser Karrenprobe das heikle Problem der Abstimmung der linearen Elemente und der Schrift auf das Orthophoto. Eine Absicht war unter anderem, für den Einsatz von Rettungskolonnen in der Wand bessere Planungsgrundlagen zu schaffen.

## Umschau und Ausschau

Die Einrichtung solcher Studienarbeiten, von uns schon 1968 in grösserem Umfang realisiert und vertreten, hat inzwischen verschiedenenorts im Ausland Anklang gefunden. An einer ganzen Reihe von Hochschulen werden solche projektorientierten praktischen Arbeiten als Semesterarbeiten oder Abschlussarbeiten durchgeführt. Die Erfahrungen sind, eine gute Betreuung vorausgesetzt, überwiegend positiv. Im Rahmen der Lehrlingsausbildung in

unseren Betrieben waren solche integrale Arbeiten schon länger üblich.

In nächster Zukunft wird das Problem zu lösen sein, graphikfähige Personalcomputer für solche Arbeiten nutzbringend einzusetzen. Damit könnte den Studierenden ein direkter und individueller Zugang und vertiefte Einsichten in die computergestützte Kartenherstellung geboten werden. Der Aufwand für den Unterhalt eines leistungsfähigen Netzwerkes für den Programm- und Datentransfer und für die Unterstützung dieser Aktivitäten mit geeigneter Software dürfte beträchtlich sein. In Anbetracht der Gefahr des Abgleitens der Interessen in rein technische Probleme muss mit besonderem Nachdruck dafür gesorgt werden, dass die graphischen Aspekte nicht zu kurz kommen.

---

## Wasserwirtschaftliches Gesamtkonzept Val Müstair

### Beispiel einer kulturtechnischen Diplomarbeit am Institut für Kulturtechnik, Abt. Wasser und Boden, ETHZ

Peter Angst, Martin Fritsch und Daniel Gysin

Zwei ehemalige Diplandanden und ihr betreuender Assistent fassen ihre wasserwirtschaftliche Diplomarbeit zusammen (ökologischer Wert eines Gewässers, Bedarfsanalysen, Restwassermenge).

*Deux anciens diplômés et leur assistant résument leur travail de diplôme en économie des eaux (valeur écologique des eaux, analyse des besoins, débit minimal).*

### 1. Situation und Hintergrund

Im Sommer 1984 wurde vom Meliorationsamt Chur die Idee aufgeworfen, im Rahmen einer Diplomarbeit, für das Val Müstair die aktuellen und zukünftigen Wassernutzungen zu untersuchen und im Sinne eines wasserwirtschaftlichen Gesamtkonzeptes zusammenzustellen.

Ausschlaggebend waren einerseits die geplante Wasserkraftnutzung am Rom (Hauptbach des Tales) und Vau (ein Zufluss des Romans), andererseits die Absicht, in der noch laufenden Gesamtmeilioration Val Müstair weitere Flächen des Tales unter Bewässerung zu stellen, womit die Landwirtschaft vor allem im Hochsommer grössere Mengen des vorhandenen Wasserangebotes für sich beanspruchen würde. Aspekte des Natur- und Landwirtschaftsschutzes kamen hinzu, galt es grössere Bestände von Auwäldern entlang des Rom und des Vau zu berücksichtigen, welche im Zuge der Melioration unter Schutz gestellt wurden, indem sie 1972 ins Inventar der schützenswerten Landschaften und Naturdenkmäler des Kanton Graubündens aufgenommen wurden.

Das Institut nahm diese Anregung gerne entgegen, unabhängig von den laufenden juristischen Auseinandersetzungen, welche vor allem den Ausbau der Wasserkraftnutzung und damit die Festlegung einer Restwassermenge zum Inhalt haben und schrieb das Problem eines wasserwirtschaftlichen Gesamtkonzeptes als Diplomaufgabe aus. Da die Arbeit im Sommer 1985 in Angriff genommen wurde, war der Stand der Verhandlungen – so wie er sich heute präsentiert – nicht bekannt und es war auch nie die Absicht in diese einzutragen. Es handelt sich um eine *Diplomaufgabe*, d.h., um eine Übung und nicht um ein Gutachten oder um eine offizielle Stellungnahme der ETH. Dieser Umstand erwies sich einerseits als Vorteil, da die Autoren unabhängig und unkonventionell ihre Aufgabe bewältigen konnten, andererseits aber auch als Nachteil, da die Ergebnisse im Zusammenhang mit den erwähnten Auseinandersetzungen zitiert wurden. Wenn die Arbeit schon Verwendung finden soll, dann als Denkanstoss, wie man ein solches Problem anpacken könnte.

Der Grund, warum sich das Institut dieser Arbeit annahm, war vielmehr die Tatsache, dass die Behandlung von Restwassermengen (sie stellen die Gesamtwassermenge dar, die nach der Fassung in der Entnahmestrecke noch verbleibt) heute vor allem ein juristisches Problem darstellt. Dabei spielen die Gesetze über das Fischereiwesen sowie über den Gewässerschutz eine zentrale Rolle. Die Arbeit sollte sich deutlich von dieser – nach Meinung des Institutes – zu einseitigen Optik unterscheiden und versuchen, aus ökologisch umfassender Sicht das Gewässersystem Val Müstair ingenieurtechnisch zu durchdenken und die entsprechenden Konsequenzen aus den gestellten Nutzungsansprüchen aufzuzeigen. Auch wenn es sich im Kern um die Beurteilung von tolerierbaren Restwassermengen handelt, sollte diese einheitliche Optik eine Grundvoraussetzung bilden.

Als Hauptexponenten sind dabei also nicht nur die Elektrizitäts- und Landwirtschaft sondern in einem besonderen Masse auch der Natur- und Landwirtschaftsschutz im Val Müstair angesprochen.

Im Zuge der Güterzusammenlegung wurden die im Tal zahlreichen pflanzensoziologisch und landschaftlich einmaligen Standorte, wie Feuchtgebiete, Trockenrasen und Hecken als Natur- und Landschaftsschutzgebiete ausgeschieden und explizit geschützt. Unter diese Schutzgebiete fallen auch die schon erwähnten Auwaldflächen entlang des Rom zwischen Valchava und Sta. Maria sowie entlang des Vau-Baches.

### 2. Die Aufgabe

Die Diplandanden sollten Beurteilungskriterien erarbeiten, welche in den Bereichen «ökologischer Wert eines Gewässers» sowie «Natur- und Landschaftsschutz» –

also dort, wo der Buchstabe des Gesetzes nur schwer zu greifen vermag – zu klaren ingenieurtechnischen Aussagen führen sollten.

Grundlage dazu bildete der zweiwöchige Feldkurs, welcher in Sta. Maria vom 7. bis 19. Juli 1985 stattfand. Die eigentliche Ausarbeitung erfolgte während vier Wochen im Dezember an der ETH Hönggerberg.

Im einzelnen wurden den Diplomanden folgende Detailaufgaben gestellt:

- Bestandesaufnahme bestehender oder zukünftiger Interessen bez. Wassernutzungen.
- Erstellen der jeweiligen Bedarfsanalyse (qualitativ und quantitativ).
- Herausschälen von Konfliktsituationen, der gegenseitigen Beeinflussung der Nutzungen sowie deren Auswirkungen auf rechtliche, technische, hydrologische und ökologische Belange.
- Erarbeiten einer optimalen Ordnung und Konfliktbereinigung unter Berücksichtigung der oben erwähnten Punkte.
- Empfehlungen zur Frage der Restwassermenge unter Berücksichtigung von Mengen und Gütebedingungen sowie Fischerei- und sonstigen ökologischen Belangen.

### 3. Vorgehen

#### 3.1 Situationsanalyse

Sie bildete die Basis zum Verständnis für die heutige Situation im Tal und umfasste folgende Teilbereiche:

- Bevölkerungsentwicklung
- Entwicklung der einzelnen Wirtschaftssektoren
- Stellung der Landwirtschaft
- Entwicklung des Energiebedarfs
- Natürliche Begebenheiten betreffend Ausdehnung, Klima und Geologie des Einzugsgebietes.

Die Ausführungen wurden kurz gehalten und stützten sich vor allem auf folgende Quellen: Das Entwicklungskonzept der «Pro Engadinia bassa, Corporaziun regiunala Val Müstair», 1977, Erhebungen des Bau- und Forstdepartementes Graubünden bezüglich Stromverbrauch von 1972–1982 sowie eigene Erhebungen.

Interessant ist dabei, dass bei einer stagnierenden Bevölkerung von ca. 1600 Einwohnern im gesamten Tal, eine Stromverbrauchszunahme nur allein durch den steigenden Lebensstandard verursacht wird, d.h. wohlstandsbedingt ist. Ein weiterer markanter Mehrverbrauch könnte auch durch die Ansiedlung eines kleineren Gewerbebetriebes zustande kommen. Wie empfindlich sich dies im Stromkonsum niederschlägt, zeigt die Statistik. In den Jahren 1981/82 sank der Stromverbrauch um 5,6% alleine wegen dem Wegzug des einzigen grösseren Gewerbebetriebes im Tal!

Im Gesamten und ohne Rücksicht auf sol-

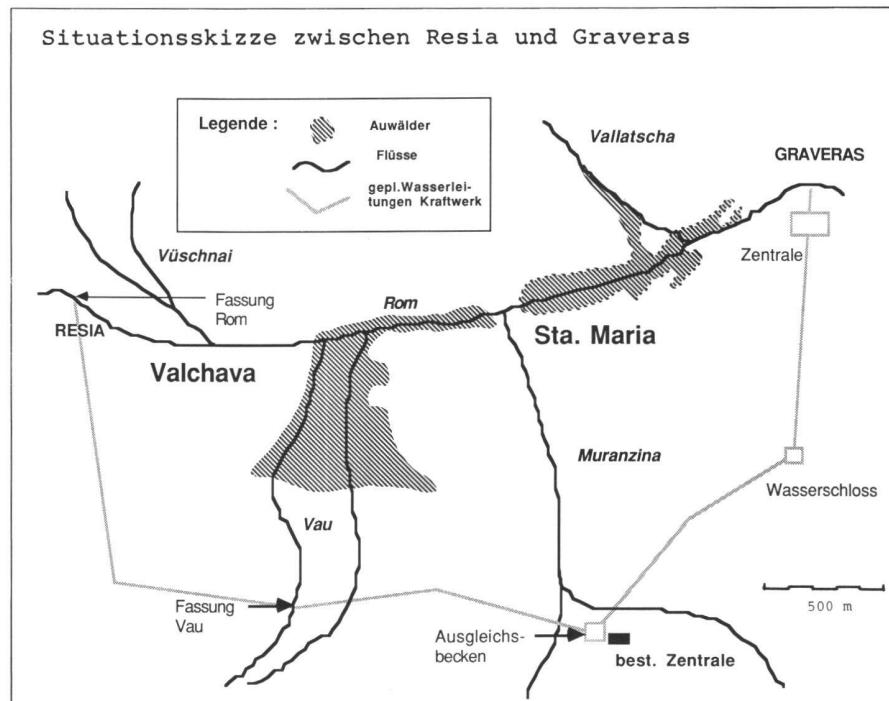


Abb. 1: Situationsskizze des Münstertales zwischen Resia und Graveras.

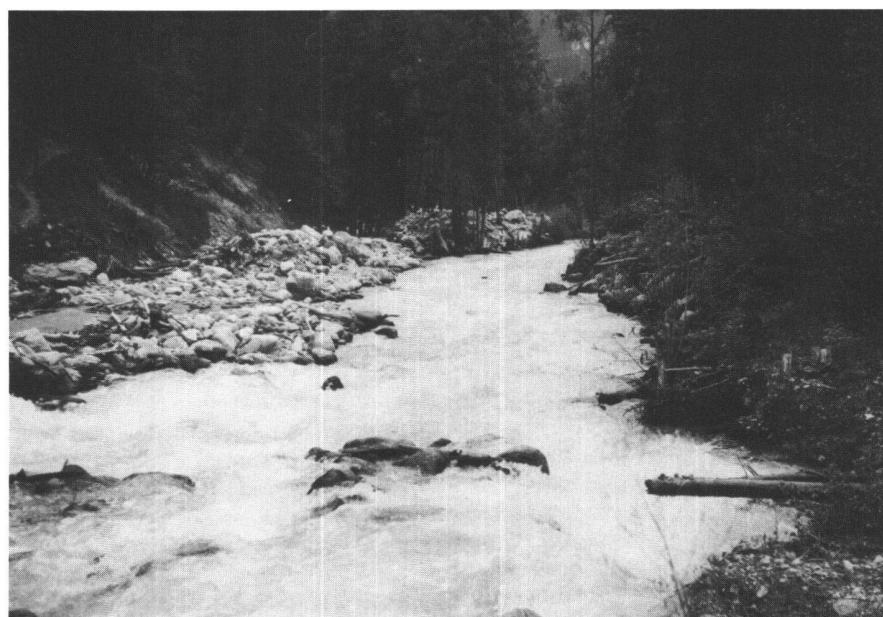


Abb. 2: Typisches Erscheinungsbild des Rom bei Valchava flussabwärts.

che Ausschläge wird die Zuwachsrate des Stromverbrauchs mit 4–6% pro Jahr angegeben. Im Jahre 1983 verbraucht das Tal ca. 7,9 Mio kWh. Das bestehende Kraftwerk produziert insgesamt 5,37 Mio kWh., womit eine zusätzliche Energieversorgung tatsächlich notwendig wird. Sie ist durch das bestehende Erdkabel über den Ofenpass auch gewährleistet. Mittelfristig wird jedoch aufgrund der Zuwachsraten eine weitergehende Energieversorgung des Tales notwendig.

#### Hydrologische Daten

Obwohl eigentlich zur Situationsanalyse

gehörend, wurden die vorhandenen Daten in einem eigenen Kapitel aufgearbeitet. Die Untersuchungen bezogen sich auf Abflussmengen der Landeshydrologie des Roms bei Müstair von 1914–1922 sowie auf Messungen der PEM aus den Jahren 1979–1982 jeweils an den Fassungsstandorten im Rom, Vau und in der Muranzina. Die Interpretation dieser Messwerte muss mit Vorsicht durchgeführt werden, da sie zum Teil viele Jahre zurückliegen, unvollständig sind und die Messkanäle teilweise in schlechtem Zustand waren. Zur Ermittlung von kritischen Abflussverhältnissen waren vor allem die mittleren



Abb. 3: Blick auf die Auwälder entlang der Vallatscha. Sie wurden bei der Melioration unter Schutz gestellt.

minimalen Sommer- und Winterabflüsse von Interesse. Das bedeutet – rein statistisch –, dass etwa ein Drittel aller Abflüsse unter diesen Werten liegen.

Zwischen Resia und Graveras wurden im Feld Flussquerschnitte aufgenommen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Teil einzugsgebiete die entsprechende Abflussmenge berechnet. So konnte für sämtliche Standorte der Zusammenhang zwischen Wassertiefe und Flussbreite in Abhängigkeit der Wassermenge bestimmt werden.

### 3.3 Bestandesaufnahme und Bedarfsanalyse

Obwohl das Val Müstair topographisch als auch orographisch eine klar begrenzte und einfache Einheit darstellt, sind die Ansprüche an das vorhandene Wasserangebot sehr verschieden, sich oft widersprechend, mengenmäßig beträchtlich und eng miteinander verknüpft.

Wie eingangs schon erwähnt, sind es vor allem die Landwirtschaft, die Kraftwerksgesellschaft, die Fischerei sowie der Natur- und Landschaftsschutz, welche klare quantitative wie auch qualitative Anforderungen stellen. Der Bereich des Siedlungswasserbaus fällt weg, da praktisch sämtliche Gemeinden ihr Trinkwasser aus Quellen beziehen, die Bereitstellung von Brauchwasser mangels Industrie und grösseren Gewerbezonen wegfällt und sich die Einleitung der ARA-Abwärser am Talausgang befindet, also dort, wo ohnehin wieder genügend Wasser für eine dem Gesetz entsprechende Durchmischung vorhanden ist.

Zusammengefasst können die Ansprüche wie folgt dargestellt werden:

Landwirtschaft:

Im Hochsommer bei einer potentiellen Bewässerungsfläche von 617 ha und 1 l/s ha:

617 l/s. Es handelt sich bei diesem Wert um den theoretisch grösstmöglichen Wasserverbrauch, falls alle zur Bewässerung sich eignenden Flächen mit Wasser versorgt würden. Diese Wassermenge wird denn auch als *Extremwert* für die folgenden Szenarien verwendet.

Kraftwerk:

Maximale Ausbaumenge des bestehenden und geplanten Kraftwerkes:

1430 l/s.

Fischerei:

Nach Gutachten Ammann: («Auflagen zum Schutze der Fischerei im Rombach mit Zuflüssen» vom 31. 7. 1983) 400 l/s (im Sommer). Nach Ansatz der Diplomanden: 500 l/s.

### 3.4 Ausarbeitung von Beurteilungskriterien

Zur Beurteilung der Folgen einer Gewässernutzung wurden – entsprechend der Aufgabenstellung – vor allem ökologische Kriterien erarbeitet, zugeschnitten auf die Verhältnisse im Val Müstair. Wirtschaftliche Aspekte wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt miteinbezogen.

Bei der Bearbeitung von fischereirechtlichen, natur- und landschaftsschützerischen sowie ästhetischen Gesichtspunkten wurde jeweils versucht, diese Kriterien vorerst auf bestimmte Wassermengen anzuwenden. Chemische und physikalische Kriterien wurden eher auf Gesetzesebene behandelt.

#### Kriterien bezüglich Fischerei

Um ein Gewässer als Fischereigewässer zu erhalten, sollte eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 0,5 – 1,8 m/s und eine minimale Wassertiefe von 20 cm an mindestens einer Stelle jedes Querschnitts gegeben sein. Dadurch wird eine ungehinderte Fischwanderung möglich.

Um diese Forderung zu erfüllen, muss auf der Strecke Resia-Graveras eine Mindestabflussmenge von 0,5 m<sup>3</sup>/s vorhanden sein. Dies lässt sich anhand der aufgenommenen Querprofile rechnerisch bestimmen, indem jeder aufgenommene Flussquerschnitt streng den oben erwähnten Bedingungen unterworfen wurde. Der Hauptanteil dieser Romstrecke zeigt keine ausgesprochene Niederwasserrinne. So könnte dieser Abflusswert durch flussbauliche Massnahmen wie zum Beispiel Baggerung noch gesenkt werden. Dies bedeutet jedoch einen massiven Eingriff in Ökologie und Erscheinungsbild des Flusses.

Mit der Formel von Huet lässt sich der Fischerertrag in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren bestimmen:

$$K = B \cdot L \cdot k$$

Dabei bedeuten:

K Gewicht des Fischertrages in kg/Jahr auf 1 km Flusslänge

B Biogener Faktor, der die Einflüsse auf das Ertragsvermögen berücksichtigt. Sein Wert variiert zwischen 1 und 10 und beträgt im Val Müstair 4,6

L Mittlere Flussbreite in m (Rom: 4,5 m)

k Koeffizient, der die Temperatur bei der Hauptlaichzeit, die Alkalinität, das Reichtum der Fischarten und die Altersklassen der Fische berücksichtigt. k hat im Beispiel den Wert 1.

Mit dieser Formel erhält man einen Fangertrag von ca. 80 kg/Jahr für den Abschnitt zwischen Resia und Graveras (4 km). Im Gegensatz zum Rom stellt der Vau ein maiges Fischgewässer dar, das demzufolge aber gesetzlich zu schützen ist (BG über die Fischerei Art. 2). Dieser bedingt, dass hier mindestens 0,054 m<sup>3</sup>/s abfliessen, um den gleichen Bedingungen wie ein-gangs erwähnt, zu genügen.

Der fischereiliche Wert der Muranzina hingegen wird von der Bündner Regierung wegen den bestehenden Verbauungen und wegen den Pflästerungen gleich Null bezeichnet. Im Winter muss zudem mit Versiegen dieser beiden Bäche gerechnet werden.

#### Kriterien bezüglich Natur- und Landschaftsschutz

Da der Wasserhaushalt von Pflanzenstandorten hauptsächlich vom Grundwasser gesteuert wird, müssen vor allem die Auswirkungen einer Abflussänderung auf den Grundwasserspiegel untersucht werden. Um In- und Exfiltrationsstrecken am Rom und Vau ausscheiden zu können, müssen zuverlässige Abfluss- und Grundwasserstandsmessungen während *mindestens zwei Vegetationsperioden durchgeführt* werden. Damit können Isohypsen-karten erstellt werden aus denen die Fließrichtung des Grundwassers ersichtlich wird.

Mangels besserer Daten wurde aufgrund von Beobachtungen von Grundeisbildung

im Bereich der Auwälder an Rom und Vau bei Sta. Maria auf eine Infiltrationsstrecke geschlossen. Der Grundwasserspiegel ist hier – so die Vermutung der Autoren – wegen der Infiltration von Flusswasser unmittelbar von der Abflussmenge abhängig.

Eine Grundwasserspiegelabsenkung infolge einer Abflussverminderung müsste also eine Veränderung der pflanzensoziologischen Zusammensetzung der flussnahen Vegetation zur Folge haben. Die Ausarbeitung des laufenden hydrogeologischen Gutachtens wird diese Fragestellung sicherlich zum Inhalt haben. Aufgrund einer kurzen Beobachtungs- und Messkampagne sind die Autoren nicht in der Lage, dazu einwandfreie Aussagen zu machen. Die Beurteilungskriterien sind jedoch rein pflanzen-soziologisch gegeben: Bedingung ist, dass die heutige Pflanzengemeinschaft in ihrem Bestand und vor allem in ihrem Fortbestand nicht gefährdet ist. Dabei ist anzumerken, dass es äußerst schwierig ist anzugeben, in welchem Stadium sich eine Pflanzengemeinschaft befindet. Die natürliche Sukzession ist ein Prozess, den es hier nicht zu vernachlässigen gilt. Es fragt sich, ob ein rein hydrogeologisches Gutachten, das während nur einer Vegetationsperiode erhoben wurde, dazu Auskunft geben können.



**Abb. 4:** Heute sind die ersten Arbeiten der Melioration abgeschlossen (Güterzusammenlegung und Wegbau). Mit der Wiederaufnahme der Bewässerung ist vor kurzem begonnen worden.

## Kriterien bezüglich Ästhetik

Für die Bewertung des ästhetischen Wertes einer Naturlandschaft existieren keine allgemeingültigen Kriterien. Der Ansatz geschieht so, dass Eingriffe auf ihre direkten und indirekten visuellen, auf die akustischen sowie auch die spürbaren Auswirkungen überprüft werden. Dies bedingt, dass der Rom in seinen typischen Eigenarten als Gebirgsfluss charakterisiert wird:

- Zu den direkt sichtbaren Werten gehört die charakteristische Abflussmenge, die aus hydrologischen Messungen ermittelt wurde.

Die meisten Kurven des mäandernden Rom werden voll ausgeflossen. Blöcke bis zu einem Durchmesser von 30 cm werden vom schaumigen sauerstoffreichen Wasser überspült oder übersprührt.

Änderungen in der Wasserführung werden vor allem in flachen Bereichen und Krümmungen deutlich sichtbar. Schon bei kleiner Reduktion vergrössert sich die Tendenz zur Bildung von Verzweigungen, Kiesinseln und abflusslosen Tümpeln.

- Indirekte Folgen ergeben sich für die flussnahen Auvegetationen (siehe Kriterien bezüglich Natur- und Landschaftsschutz).
- Akustisch ist bei Strecken mit viel Geröll und einem Gefälle > 0,06 lautes Tosen zu hören. Der Flusslauf ist geprägt von Murmeln, Plätschern und Rauschen.
- Spürbare Elemente zeigen sich in der

erfrischenden, feuchten und relativ kühlen Luft während der Sommermonate sowie im Sprühen von Gischt.

Mögen diese Aussagen für viele als nicht «ingenieurwürdig» gelten, so prägen die geschilderten Elemente doch ganz wesentlich das Landschaftsbild des Tales. Die Folgen jeder Abflussveränderung sind somit klar abzuschätzen, wenn auch nur deskriptiv. Dabei muss zur Vollständigkeit angefügt werden, dass der Rom heute nicht mehr als ein unkorrigierter Gebirgsfluss bezeichnet werden kann. Viele Streckenabschnitte sind schon verändert worden.

## Rechtliche Kriterien

Es existieren keine Gesetze auf Bundesebene, welche allgemeingültige Werte für Restwassermengen festlegen. Momentan liegt ein «Entwurf zur Revision des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer» vor. Darin sollen Restwassermengen in Abhängigkeit von der Wasserführung eines Flusses geregelt werden. Für die Anforderungen der Fischerei hat sich die sogenannte Matthey-Formel als geeignet erwiesen. Sie wurde in die Gesetzgebung verschiedener Westschweizer-Kantone aufgenommen.

Vorläufig haben sich gewässerverändernde Massnahmen nach folgenden bestehenden Gesetzen zu richten. Richtlinien finden sich im:

- BG über die Fischerei
- BG über den Natur- und Heimatschutz
- BG über die Wasserbaupolizei
- BG über die Raumplanung
- BG über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung (GschG)

Einleitungen in ein Gewässer haben dem GschG zu genügen. Gemäss VSA-Richtlinien wird ein Durchmischungsverhältnis von 1:10 gefordert.

## Pflichtwassermenge – Dotierwassermenge

Was folgt, ist der Versuch, eine Wassermenge festzulegen, welche sämtlichen Kriterien genügt. Dabei wurde festgestellt, dass von allen Ansprüchen die Fischerei mengenmäßig am meisten fordert. Sind die Kriterien, wie sie im entsprechenden Kapitel erwähnt wurden (Fließgeschwindigkeit = 0.5-1.8 m/s, gerechnet wurde mit einem Mittelwert von 1,2 m/s;  $H_{min} = 0.2$  m), in jedem Flussabschnitt erfüllt, so sind auch alle anderen Ansprüche genügend abgedeckt.

Unterschieden wurde dabei zwischen der Pflicht- und Dotierwassermenge. Die Pflichtwassermenge ist jene Wassermenge, welche an jeder Stelle der Entnahmestrecke (Strecke zwischen der Wasserfassung und der Wiedereinleitung) vorhanden sein muss. Damit stellt sie die geforderte Mindest-Wassermenge dar. Aufgrund des vorhin beschriebenen Kriterienrasters ergaben sich folgende Pflichtwassermengen:

Rom:  $Q_{PF} = 500 \text{ l/s}$

Vau:  $Q_{PF} = 54 \text{ l/s}$ .

Die Dotierwassermenge dagegen beschreibt jene Menge Wasser, welche bei der Fassung in die Entnahmestrecke abgegeben werden muss. Diese Menge ist auf jeden Fall gleich oder grösser der Pflichtwassermenge, je nachdem, ob sich der Fluss in einer Infiltrations- oder Exfiltrationsstrecke befindet. Infiltriert der

# Etudes

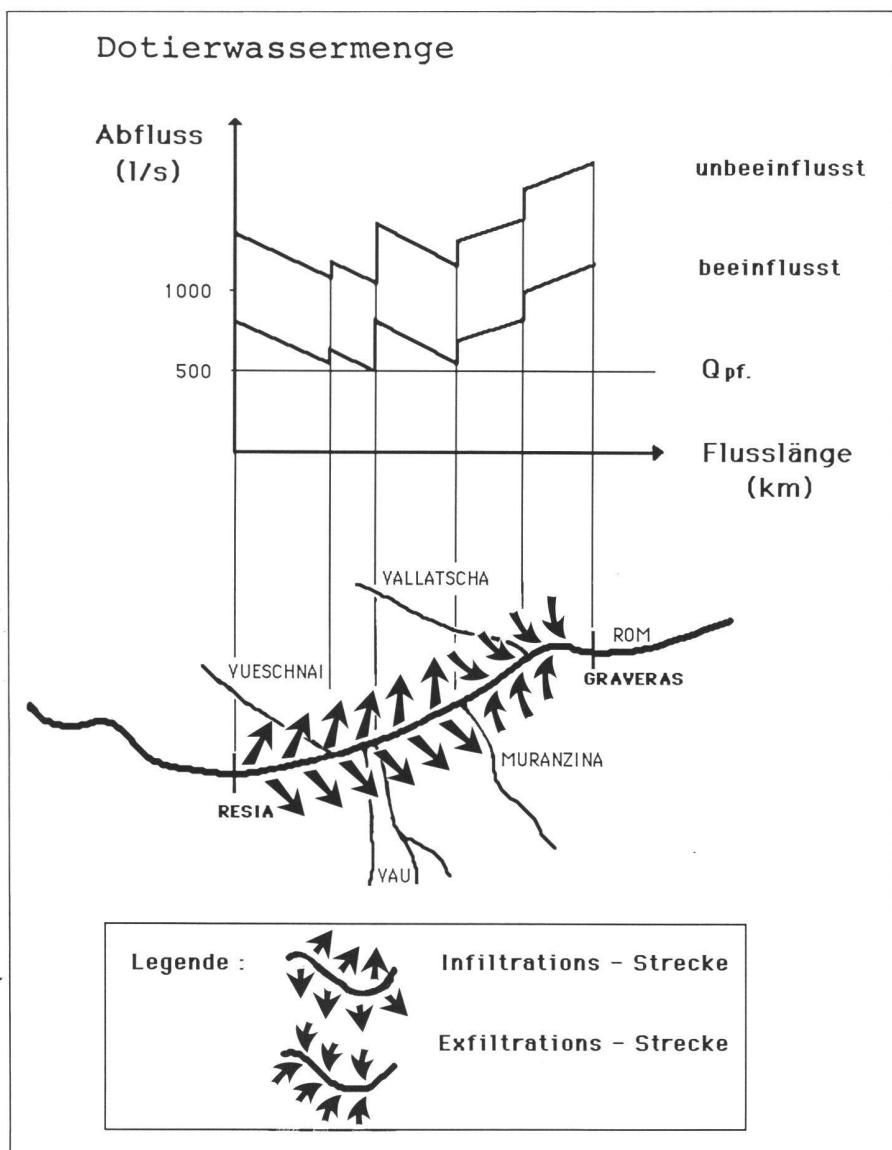


Abb. 5: Schema zu den Abflussmengen: Die fallende Abflusskurve bedeutet, dass sich der Fluss in einer Infiltrationsstrecke befindet. Bei der steigenden Kurve ist er in einer Exfiltrationsstrecke. Die Differenz zwischen den beiden Kurven stellt die gefasste Wassermenge dar.

Fluss, so bedeutet dies, dass Wasser an das Grundwasser abgegeben wird, d.h. der Fluss verliert an Abflussmenge. Der umgekehrte Vorgang wird als Exfiltration bezeichnet. Im Falle des Rom zwischen Resia und Graveras sind, je nach der Grundeisbildung im Winter, beide Phänomene zu beobachten (Abb. 5). Der Festlegung der Dotierwassermenge wurden folgende Parameter zugrunde gelegt:

- die Pflichtwassermenge
- Wassermenge der Zuflüsse in die Entnahmestrecke
- Grundwasserverhältnisse: Infiltrations-, Exfiltrationsstrecken (Abb.5)

Die Pflichtwassermenge sowie die Infiltrations- und Exfiltrationsleistungen [ $m^3/m \cdot d$ ] werden als von der Jahreszeit unabhängig beobachtet. Einzig die Zuflüsse sind saisonabhängig und dementsprechend auch

die Dotierwassermenge. Je nachdem liegt damit der kritische Flussabschnitt, in welchem am wenigsten Wasser fliesst, an einer anderen Stelle innerhalb der Entnahmestrecke. Gleichzeitig muss angfügt werden, dass für diese *prinzipiellen Überlegungen* zwischen Winter und Sommer nicht unterschieden wurde. Dass es sich dabei um eine grobe Vereinfachung handelt, ist den Autoren bewusst. Allein die mittleren minimalen Winterabflüsse bei Resia liegen bei 470 l/s. Dennoch wird angenommen, dass diese an sich schon geringe Wassermenge zur Überwinterung der Fischzucht notwendig sei. Wieweit diese Menge tatsächlich noch verringert werden kann, muss Sache von Fischereiexperten sein.

Das Diagramm in Abb. 5 zeigt deutlich, wie die Abflussmengen des Flusses variieren.

Dabei ist, wie hier für den Sommer gezeigt, der kleinste Abfluss unmittelbar vor der Einmündung des Vau festzustellen. In den vorangegangenen Überlegungen ging es darum, dass bei einer Wasserentnahme die Abflussmenge an diesem *kritischen Punkt* nicht unter  $Q_{PF}$ , d.h. 500 l/s fallen darf, um den gesetzten Kriterien zu genügen. In anderen Worten: Bei der Entnahme der Resia müssen 545 l/s im Fluss belassen werden, was in diesem Fall der Dotierwassermenge ( $Q_{Dot}$ ) entspricht. Die Restwassermenge an einem beliebigen Ort  $i$  lässt sich wie folgt berechnen:

$$Q_{Ri} = Q_{Dot} + Q_{Zufl.} - Q_{Inf.} + Q_{Exf.}$$

wobei  $Q_{Ri}$  = Wassermenge beim Flussquerschnitt  $i$

$Q_{Dot}$  = Dotierwassermenge  
 $Q_{Zufl.}$  = Zuflüsse innerhalb der Entnahmestrecke

$Q_{Inf.}$  = Infiltrationsmenge  
=  $f(L_i, q_i)$   
 $L_i$  = Länge der Infiltrationsstrecke **vor** dem Flussquerschnitt  $i$   
 $q_i$  = Infiltrationsleistung  $i$   
in  $[m^3/m \cdot d]$

$Q_{Exf.}$  = Exfiltrationsmenge  
=  $f(L_i, q_E)$   
 $q_E$  = Exfiltrationsleistung  $E$   
in  $[m^3/m \cdot d]$

Als Grundbedingung gilt, wie schon erwähnt

$$Q_{Ri} \geq Q_{pfl.}$$

## 3.6 Szenarien

Nach diesen theoretischen und formalen Überlegungen, schien es angebracht, das Gewässerregime des Val Müstair verschiedenen «Lastfällen» zu unterziehen. Dabei wurden die verschiedenen Ansprüche und Nutzungen miteinander kombiniert. Anhand der verbleibenden Restwassermenge wurde überprüft, ob diese spezielle Situation den Anforderungen des Kriterienrasters genügt oder nicht. Bewusst wurden *drei Extremvarianten* ausgewählt, um die Belastbarkeit des Systems besser darzustellen. Es ist einleuchtend, dass keine dieser Extrema realisiert würde. Dennoch wird deutlich, innerhalb welcher Bandbreite eine Lösung, d.h. ein Kompromiss gefunden werden muss.

Folgende Varianten wurden durchgespielt:

### Szenario I:

Elektrizitäts- und Landwirtschaft dürfen ohne Einschränkung, d.h. ohne auf eine Restwassermenge Rücksicht zu nehmen, Wasser beziehen.

### Szenario II:

Es wird eine Pflichtwassermenge von 500 l/s festgelegt. Die verbleibende Wassermenge darf im Sinne einer Priorität von der Kraftwerksgesellschaft genutzt werden.

### Szenario III:

## Abflussberechnung der Variante I

Jahreszeit	Winter (l/s)				Sommer (l/s)			
Gewässer	Rom	Vau	Mur.	Vü.	Rom	Vau	Mur.	Vü.
unbeeinflusste Abflüsse (1)	470	140	160	—	1190	400	250	50
Kraftwerk	785	365	280	—	785	365	280	—
Landwirtschaft	—	—	—	—	193	—	106	23
Totaler Verbrauch K.w. + L.w. (2)	785	365	280	—	978	365	386	23
Differenz: (1) – (2)	–315	–225	–120	—	212	35	–136	27
beeinflusste Abflüsse	0	0	0	—	212	35	0	27

Tab. 1

## Abflussberechnung der Variante II

Jahreszeit	Winter (l/s)				Sommer (l/s)			
Gewässer	Rom	Vau	Mur.	Vü.	Rom	Vau	Mur.	Vü.
unbeeinflusste Abflüsse	470	140	160	—	1190	400	250	50
Dotierwassermenge	597	76	25	—	545	76	25	—
Kraftwerk	785	365	280	—	785	365	280	—
zu Verfügung stehende Wassermenge für K.w.	0	64	135	—	645	324	225	—
zu Verfügung stehende Wassermenge für L.w.	—	—	—	—	0	0	0	0
beeinflusste Abflüsse	470	54	25	—	545	54	25	50

Tab. 2

## Abflussberechnung der Variante III

Jahreszeit	Winter (l/s)				Sommer (l/s)			
Gewässer	Rom	Vau	Mur.	Vü.	Rom	Vau	Mur.	Vü.
unbeeinflusste Abflüsse	470	140	160	—	1190	400	250	50
Dotierwassermenge	597	76	25	—	571	76	25	—
Landwirtschaft	—	—	—	—	193	—	106	23
verb. Abfluss zur Elektrizitätsgew.	—	64	135	—	426	324	119	—
beeinflusste Abflüsse	470	54	25	—	571	54	25	27

Tab. 3

Auch hier gilt die Pflichtwassermenge von 500 l/s. Im Gegensatz zu II darf jedoch hier die Landwirtschaft mit Priorität das Wasser nutzen.

### 3.7 Resultate

(Tabellen 1, 2, und 3)

Alle vorliegenden Resultate (Tabellen 1, 2 und 3) sind bemerkenswert, zeigen sie doch, wie vor allem bei einer ungehemmten und unkoordinierten Wassernutzung das Tal buchstäblich trockengelegt würde (Tabelle 1).

Dass dies aus ökologischer Sicht untragbar ist, bedarf keiner weiteren Erklärung. Die Extremsituation I führt uns dies deutlich vor Augen: Obwohl die Annahme, dass keine Restwassermenge festgelegt wurde, gesetzeswidrig ist, wird deutlich, dass auch unter diesen «ungebremsten» Umständen ein aus wirtschaftlicher Sicht optimaler Betrieb des Kraftwerkes sowie die Bewirtschaftung aller potentiellen Bewässerungsflächen gleichzeitig nicht möglich sind. Nutzt die Landwirtschaft sämtliche Flächen voll aus, so kann das Kraftwerk mit 90% der potentiellen Aus-

baumenge gefahren werden. Erhöht man diese Menge auf 98% zu Lasten der Landwirtschaft, kann diese wiederum nur 67% der potentiell zu bewässernden Flächen ausnützen. Noch kritischer wird die Situation im Winter. Dann gehen die Wasserstände aller Bäche soweit zurück, dass auch bei völliger Ausnutzung (Restwassermenge Null) das geplante Kraftwerk nur zu 54% ausgenutzt wird und das während der Jahreszeit des höchsten Energieverbrauchs.

Abgesehen von der *Unmöglichkeit*, die vollen Interessen von Land- und Elektrizitätswirtschaft *gleichzeitig* zu erfüllen, wären die Folgen für die Fischerei sowie für den Natur- und Landschaftsschutz einschneidend. Die im Rom nach der Fassung verbleibenden rund 200 l/s wären im Vergleich zu seinem ursprünglichen *durchschnittlichen minimalen Abfluss* von rund 1200 l/s ganze 17%. Die Forderungen der Fischerei könnten bei weitem nicht erfüllt werden und man müsste in Kauf nehmen, dass der Rom als Brachgewässer aussterben würde. Zudem wären die geschützten Auwälder, insbesondere entlang des Vau, durch erhöhte Trockenheit gefährdet.

Setzt man – wie dies in der Situation II getan wurde – eine Restwassermenge voraus, so wird die Situation zum Betrieb des geplanten Kraftwerkes unter ökonomisch vernünftigen Gesichtspunkten noch kritischer. Legt man die von den Diplomanden aufgrund strikter befolgter fischereirechtlicher Kriterien errechnete Pflichtwassermenge von 500 l/s fest, so reduziert sich der Ausnutzungsgrad der sehr geringen Abflüsse im Winter auf 15,5%. Natürlich lässt sich über die 500 l/s als Pflichtwassermenge streiten. Für viele mag sie zu hoch sein. Hervorzuheben ist jedoch, dass nur diese Menge erlaubt, auf jedem Abschnitt – bezüglich der aktuellen Flussquerschnitte – die Kriterien des Fischereigesetzes zu erfüllen. Würde man wie im Gutachten des Fischereiexperten Ammann 400 l/s oder wie die Bündner Regierung 250 l/s als Pflichtwassermenge annehmen und gleichzeitig im Vau und der Muranzina keine Restwassermenge lassen, so würde sich der Ausnutzungsgrad im Winter nur unwesentlich auf 26% bzw. 36% erhöhen. Wie anfangs schon erwähnt, wurden diese Resultate aufgrund der mittleren minimalen Winter- und Sommerabflüsse berechnet, d.h. basierend auf einem statistischen mittleren Minimalwert. Man könnte diese rein rechnerischen Beitrachtungen noch weiterführen. Wesentlich ist jedoch – und das hat die Arbeit deutlich gezeigt und hervorgehoben –, dass in einem sehr kleinen und praktisch abgeschlossenen System wie demjenigen von Val Müstair bei der Behandlung von Restwasserfragen *alle* Ansprüche (der Wasserkraftnutzung, Natur und Landschaftsschutz, Landwirtschaft und Fischerei) an das bescheidene Wasservorkommen



Abb. 6: Flussabschnitt des Rom bei Valchava. Links und rechts im Bild sind provisorische Korrekturarbeiten durch einen Bagger sichtbar.

men berücksichtigt werden müssen. Insbesondere gilt dies in einer Situation, in welcher bestehende Projekte (Bewässerung, Biotopschutz) durch neue Absichten (Wasserkraftnutzung) konkurrenzieren werden. So ist zu erwähnen, dass die sich kurz vor dem Abschluss befindende Gesamtmeilioration Fr. 32 Mio kostet und dieses Jahr eine neue Fischzucht bei Müstair in Betrieb genommen wird. Dass dem Tal neue Energiequellen erschlossen werden sollen, bestreitet niemand. Es fragt sich nur, ob mit dem Festhalten am neuen Projekt nicht Werte gefährdet sind, welche zusammen einiges mehr an Kosten und Zeit verbrauchen, als der gesamte Kraftwerksbau.

Diese Arbeit verdeutlicht sehr gut, dass es zwischen den verschiedenen Interessengruppen einer gegenseitigen Abstimmung bedarf. Ein wasserwirtschaftliches Gesamtkonzept wäre ein erster Ansatz dazu. Die darin angestellten ingenieurtechnischen Überlegungen sind jedoch wertlos, wenn nicht auch auf politischer Ebene an dieser Abstimmung gearbeitet wird. Mit anderen Worten bedeutet dies das Festsetzen von *Prioritäten* – und dies wiederum ist alleine Sache des Münstertales.

## Praxisbezogene Ausbildung der Kulturingenieurstudenten am Beispiel des Vertiefungsblocks «Horgen–Gemeindeingenieurwesen in der Agglomeration Zürich»

Ulrich Flury, Thomas Glatthard, mit Beiträgen von Markus Aebli, Peter Haas, Egon Hellbach, Thomas Isenring

Die Autoren stellen den Vertiefungsblock in der Ausbildung höherer Semester «Gemeindeingenieurwesen» aus der Sicht von Professor, Assistenten, Studenten und mitbeteiligten Ingenieuren aus der Praxis dar.

*Les auteurs décrivent le bloc d'approfondissement «ingénieurs communaux» dispensé dans les semestres supérieurs, du point de vue du professeur, des assistants, des étudiants et des ingénieurs pratiquants.*

Der Studienplan der Abteilung VIII der ETH Zürich sieht im Vertiefungsstudium u.a. projekt- bzw. problemorientiertes Studium zur Schulung der ingenieurmässigen Denk- und Arbeitsweise an konkreten Inhalten des Berufes vor. Der Vertiefungsblock «Horgen – Gemeindeingenieurwesen in der Agglomeration Zürich» ist ein Beispiel für ein solches Vertiefungsstudium. Die durchwegs positiven Äusserungen aller Beteiligten zeigen die Wichtigkeit der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Praxis auf.

Die Studenten, die ab Wintersemester 79/80 ihr Studium an der Abteilung VIII für Kulturtechnik und Vermessung an der ETH Zürich begannen, wurden mit dem neuen Studienplan konfrontiert (vgl. Conzett, Schneider 1980 sowie Horner 1985). Im Dezember 1983 haben die ersten Studenten ihr Studium gemäss diesem neuen Studienplan abgeschlossen. Eine erste Erfolgskontrolle konnte damit einsetzen und führt laufend zu innovativen Bereinigungen. Im vorliegenden Bericht beschränkt sich

die Erfolgskontrolle nur auf ein Element der Studienplanreform, nämlich die Vertiefungsblöcke mit projekt- bzw. problemorientiertem Studium. Anhand des Vertiefungsblocks «Horgen – Gemeindeingenieurwesen in der Agglomeration Zürich» für die Studenten des 7. Semesters soll ein Überblick über die Aufgaben, Arbeitsweise und Erfahrungen aus der Sicht der Beteiligten gegeben werden.

### Ziele des Kulturingenieurstudiums und der Vertiefungsblöcke

Die Ziele für Bildung und Ausbildung an der Abt. VIII sind im Antrag der Abt. VIII betreffend Studienplanreform an den Schweizerischen Schulrat eingehend formuliert und in dieser Zeitschrift bereits früher vorgestellt. Als Überblick mag der Kasten genügen.

Das Vertiefungsstudium soll die ingenieurmässige Denk- und Arbeitsweise an konkreten Inhalten des Berufes schulen, grundsätzlich aber nicht Spezialisierung hervorrufen. Das projekt- bzw. problemorientierte Studium setzt disziplinübergreifende Projekte und Probleme in den Mittelpunkt einer weitgehend selbständigen Vertiefung der Studenten. Die Unterrichtsform beinhaltet selbständiges Arbeiten, Kolloquien und Vorträge von Lehrkräften