

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 91 (1999)  
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Melezza: kleiner Eingriff - grosse Wirkung  
**Autor:** Roth, Martin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940041>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.05.2025

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

## 6. Schlussfolgerungen

Das Geschiebe macht den Hochwasserschutz zu einer äusserst anspruchsvollen Aufgabe. Geschiebe verändert den Abflussquerschnitt und allenfalls auch die Morphologie eines Flusses, was dem Hochwasserschutz eine ausgesprochen räumliche Dimension verleiht. Die Berücksichtigung des Geschiebes bedingt zudem normalerweise eine stationäre Betrachtungsweise; Gesamtrachten und -volumen spielen eine grosse Bedeutung. Diese Komplexität kann heute teilweise mit numerischen Simulationen veranschaulicht, aber nur schwer quantifiziert werden. Die Gefahrenanalyse muss besonders sorgfältig durchgeführt werden, falls das Geschiebe eine bedeutende Rolle spielt. Die Schutzziele haben dem Geschiebe Rechnung zu tragen, indem der Bemessungsabfluss auch bei möglichen extremen Geschiebeszenarien noch abführbar sein muss. Das Geschiebe beeinflusst schliesslich die Wahl und Konzeption der Hochwasserschutzmassnahmen entscheidend.

### Bezeichnungen

|                  |                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| $A_{\text{eff}}$ | effektive Abflussfläche für Abflussberechnung                |
| $B_F$            | Flussbettbreite                                              |
| $B_{\text{opt}}$ | optimale Flussbettbreite                                     |
| $d_{90}$         | Korndurchmesser der 90 %-Fraktile                            |
| $d_m$            | mittlerer Korndurchmesser des Sohlenmaterials (Unterschicht) |
| $d_{mD}$         | mittlerer Korndurchmesser der Deckschicht                    |
| $h$              | Abflusstiefe                                                 |
| $h_D$            | Grenzabflusstiefe bei Aufreissen der Deckschicht             |
| $h_{\text{mg}}$  | mittlere Abflusstiefe mit Geschiebe                          |
| $h_{\text{mw}}$  | mittlere Abflusstiefe bei Reinwasser                         |
| $J$              | Sohlengefälle                                                |
| $J'$             | reduziertes Sohlengefälle                                    |
| $k_{\text{St}}$  | Reibungsbeiwert nach Strickler [ $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ ] |
| $k_{\text{ui}}$  | Reibungsbeiwert eines Uferteilbereiches                      |
| $P_u$            | benetzter Umfang eines Uferteilbereiches                     |
| $Q$              | Abfluss                                                      |
| $Q_b$            | Geschiebetransport                                           |
| $Q_D$            | Abfluss bei Aufreissen der Deckschicht                       |
| $Q_0$            | Abfluss bei Transportbeginn                                  |
| $R_s$            | auf Sohle wirksamer hydraulischer Radius                     |
| $R_{\text{ui}}$  | hydraulischer Radius eines Uferteilbereiches                 |
| $v_m$            | mittlere Fliessgeschwindigkeit                               |
| $\rho_s$         | Dichte des Sohlenmaterials                                   |

### Literatur

- [1] Anforderung an den Hochwasserschutz. Bundesamt für Wasserwirtschaft, August 1995.
- [2] Jäggi, M.: Abflussberechnung in kiesführenden Flüssen. Wasserwirtschaft, 74. Jg., Heft 5. S. 263–267, 1984.
- [3] Zarn, B.: Einfluss der Flussbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 154, Zürich, 1997.
- [4] Jäggi, M.: Der Geschiebetransport in Flüssen mit der VAW-Formel 1983. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 47, 1984.
- [5] Smart, G.; Jäggi, M.: Sedimenttransport in steilen Rinnen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 64, Zürich, 1983.
- [6] Hunziker, R.: Fraktionsweiser Geschiebetransport. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 138, Zürich, 1995.
- [7] Günter, A.: Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischung unter Berücksichtigung der Deckschicht-

bildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubschwankung. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 3, Zürich, 1971.

[8] Bezzola, G. R.; Schilling, M.; Oplatka, M.: Reduzierte Hochwassersicherheit durch Geschiebe. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 41, 1996.

[9] Bezzola, G. R.; Abegg, J.; Jäggi, M.: Saltinabrücke Brig-Glis, Rekonstruktion des Hochwassers vom 24. September 1993 in Brig-Glis. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 11, 1994.

[10] Empfehlungen zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft, 1997.

[11] Jäggi, M.; Abegg, J.: Cimavilla-Brücke Poschiavo – eine unkonventionelle Lösung aufgrund der Erfahrungen aus dem Unwetter vom Juli 1987. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 16/17, 1993.

[12] Zarn, B.: Sohlenstabilisierung der Emme bei Utzensdorf mit einer lokalen Gerinneaufweitung. «wasser, energie, luft»; 85. Jg., Heft 3/4, 1993.

[13] Boillat, J.-L.; Divet, E.: Lutte contre les inondations – Le Doubs à St-Ursanne. Internationales Symposium Interpraevent 1992, Band 5, 1992.

[14] Schleiss, A.; Aemmer, M.; Philipp, E.; Weber, H.: Erosionsschutz an Gebirgsflüssen mit eingegrabenen Betonprismen. «wasser, energie, luft»; 90. Jg., Heft 3/4, 1998.

[15] Schleiss, A.: Flussbauliche Massnahmen an der Reuss zum Hochwasserschutz von Gurtellen. «wasser, energie, luft»; 88. Jg.,

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Anton Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), Département de génie civil, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, E-mail: Anton.Schleiss@epfl.ch, <http://lchwww.epfl.ch>

## Melezza: kleiner Eingriff – grosse Wirkung

Martin Roth

### Zusammenfassung

Im Anschluss an die Hochwasserkatastrophe von 1978 in den Alluvionsebenen der Maggia und der Melezza im Kanton Tessin wurden zur Untersuchung der weiteren Entwicklung des Zusammenflussbereiches der beiden Flüsse hydraulische Modellversuche durchgeführt. Die anschliessend realisierten Verbauungsmassnahmen basierten im wesentlichen auf den Ergebnissen dieser Versuche. Schon bald nach Fertigstellung der Verbauungen wurde im eigentlich breiten Flussbett der Melezza stellenweise eine starke Eintiefung innerhalb eines schmalen Einzelgerinnes festgestellt. Diese Entwicklung erfasste nach und nach den gesamten Unterlauf der Melezza und gefährdet heute zunehmend die Stabilität der Uferverbauungen.

Eine weitergehende morphologische Untersuchung ergab nun, dass sich die Melezza offenbar bereits seit längerer Zeit in einem Erosionszustand befindet. Der Hauptgrund dafür dürfte eine abnehmende Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf sein. Die Erosionstendenz steht aber auch im Zusammenhang mit lokalen Phänomenen, welche sich gegenseitig beeinflussen. Einerseits handelt es sich dabei um eine rückschreitende Erosion, ausgehend von der Mündung der Melezza. Andererseits dürfte die starke Eintiefung lokal durch die Krümmungen des Flusslaufes begünstigt worden sein. Mit zunehmender Eintiefung nahm die Abflusskonzentration innerhalb eines dominanten Gerinnes zu, womit wiederum die Erosion verstärkt wurde. Solange nicht ein grösseres Hochwasser für eine umfassende Umgestaltung des Flusslaufes sorgt, dürfte diese Entwicklung weiter anhalten.

Im Rahmen der kürzlich abgeschlossenen Untersuchung wurden unter anderem die Gründe für die ausgeprägte Rückwärtserosion im untersten Abschnitt der Melezza erörtert. Der Einfluss dieser Erosion ist heute entlang einem rund 1 km langen Abschnitt prägend. Die Eintiefung seit der ersten Sohlenaufnahme von 1980 beträgt innerhalb der Erosionsrinne im Mittel rund 4 m. Wie die Untersuchung ergab, dürfte die Rückwärtserosion zum Grossteil auf eine im Anschluss an die Hochwasserkatastrophe von 1978 ausgeführte Massnahme zurückzuführen sein. Damals wurde aus hydraulischen Gründen eine Insel aus dem Flussbett der Maggia entfernt, was lokal eine Abtiefung von rund 4 m zur Folge hatte. Weil das Flussbett der Maggia in bezug auf die Sohlenlage der Melezza eine geometrische Randbedingung darstellt, ist die beobachtete Rückwärtserosion als Anpassung an die veränderte Randbedingung aufzufassen.

In den Modellversuchen Anfang der 80er Jahre wurde die Absenkung des Flussbettes der Maggia bereits berücksichtigt. Damals konnte im untersten Abschnitt der Melezza auch tatsächlich eine Rückwärtserosion festgestellt werden. Dennoch wurde das Ausmass der sich abzeichnenden Entwicklung aber unterschätzt. Hauptursache dafür dürfte sein, dass die Untersuchung auf extreme Hochwasserereignisse fokussiert war und deshalb keine kleineren Abflüsse untersucht wurden.

Mit den heutigen Mitteln und dem deutlich verbesserten Kenntnisstand über die Zusammenhänge bei der morphologischen Entwicklung in breiten, kiesführenden Flüssen würde man sowohl die Versuchsanordnung als auch die Methodik bei der Durchführung der Versuche anders wählen. Das Beispiel der Melezza zeigt aber insbesondere auch auf, dass eine möglichst umfassende Betrachtung sowohl in physikalischer als auch in zeitlicher Hinsicht für die Erfassung der längerfristigen morphologischen Entwicklung eines Flusses von entscheidender Bedeutung ist.

## 1. Einleitung

Die Melezza entwässert im Kanton Tessin im Süden der Schweiz ein Einzugsgebiet mit einer Fläche von 320 km<sup>2</sup> (Bild 1). Der höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf 2551 m, der tiefste auf 215 m ü. M. Unterhalb Ponte Brolla mündet die Melezza in die Maggia, welche rund 4 km weiter flussabwärts bei Locarno in den Lago Maggiore fliesst. Der wichtigste Zufluss der Melezza ist der Isorno, welcher eine Fläche von 147 km<sup>2</sup> entwässert.

Nach dem Austritt aus der langen, durch steile Flanken geprägten Schlucht und der Einmündung des Isorno fliesst die Melezza auf den letzten rund 4 km vor dem Zusammenfluss mit der Maggia in ihrer eigenen Alluvionsebene. Das Längsgefälle liegt hier bei rund 0,9 %. Die an verschiedenen Orten sichtbaren Terrassen deuten darauf hin, dass sowohl der Verlauf des Hauptgerinnes als auch die Höhenlage des Flussbettes in der Vergangenheit mehrmals erhebliche Veränderungen erfahren haben müssen. Währenddem früher die Dörfer nur an den Hängen oder auf kleineren Anhöhen anzutreffen waren, wurden seit Mitte dieses Jahrhunderts zunehmend auch die tiefer und näher beim Fluss gelegenen Bereiche der Alluvionsebene besiedelt.

Die speziellen klimatischen Bedingungen in der Region westlich des Lago Maggiore mit einer ausgeprägten Tendenz zu Starkniederschlägen bringen es mit sich, dass die Melezza mit zu den eindrucklichsten Wildflüssen des Alpenraumes gehört. Das Abflussregime des Flusses ist insbesondere geprägt durch den grossen Unterschied zwischen dem mittleren Abfluss (etwa 15 m<sup>3</sup>/s in den Jahren von 1985 bis 1994) und den möglichen Spitzenabflüssen

bei extremen Hochwasserereignissen (etwa 3000 m<sup>3</sup>/s beim Hochwasser von 1978). Das Abflussregime der Melezza kann allerdings seit der Inbetriebnahme von Wasserkraftanlagen im Jahre 1953, insbesondere des Ausgleichsbeckens Palagnedra im Centovalli, nicht mehr als natürlich bezeichnet werden. Die mittlere, zur Stromerzeugung aus dem Einzugsgebiet der Melezza abgeleitete Wassermenge liegt bei rund 15 m<sup>3</sup>/s.

Trotz dem Siedlungsdruck wurde die Melezza bis zum heutigen Zeitpunkt nur unwesentlich eingengt und begradigt. Noch immer weist der Fluss in der Alluvionsebene einen gewundenen Lauf mit vier grossen Krümmungen auf. Seit Anfang der 80er Jahre sind die Aussenufer in den Krümmungen mit Blocksätzen gesichert.

Die Gesamtbreite des Flussbettes zwischen den eigentlichen Ufern variiert im Bereich der Alluvionsebene zwischen 70 m und 170 m. Innerhalb dieses Flussbettes fliesst die Melezza in einem mehrere Meter tiefen Einzelgerinne, welches abwechselungsweise dem linken oder rechten Ufer entlang verläuft. Dabei kann beim Seitenwechsel des Talweges jeweils eine örtliche Beschleunigung des Abflusses, verbunden mit einer vergleichsweise geringen Abflusstiefe, beobachtet werden. Demgegenüber befindet sich dort, wo der Fluss dem Ufer entlang verläuft, ein ausgeprägter Kolk auf der einen und eine Bank auf der anderen Seite des Flussbettes. Die Breite des Einzelgerinnes beträgt minimal rund 20 m im Bereich der Kolke und maximal etwa 70 m in den Abschnitten mit einem Seitenwechsel des Flusslaufes. Auf den Bänken ist ein Bewuchs anzutreffen, welcher darauf schliessen lässt, dass dort seit bald 20 Jahren keine morphologischen Veränderungen mehr stattgefunden haben (Bild 2).

## 2. Hochwasserkatastrophe vom 7./8. August 1978

Dass sowohl die Melezza als auch die Maggia unberechenbare Wildflüsse sind, wurde den Bewohnern der Region beim katastrophalen Hochwasserereignis vom 7./8. August 1978 schmerzlich in Erinnerung gerufen. Die grossen Wassermassen und Geschiebeeinträge aus dem Oberlauf führten zu Überflutungen und umfassenden morphologischen Veränderungen entlang den beiden Flussläufen. Der Spitzenabfluss der Maggia wurde bei diesem Ereignis auf rund 5000 m<sup>3</sup>/s geschätzt, wobei allein die Melezza rund 3000 m<sup>3</sup>/s dazu beitrug. Die verheerendsten Folgen waren im Bereich des Maggiadeltas zu verzeichnen, wo nach dem Bruch des Schutzdammes grosse Gebiete überflutet wurden.

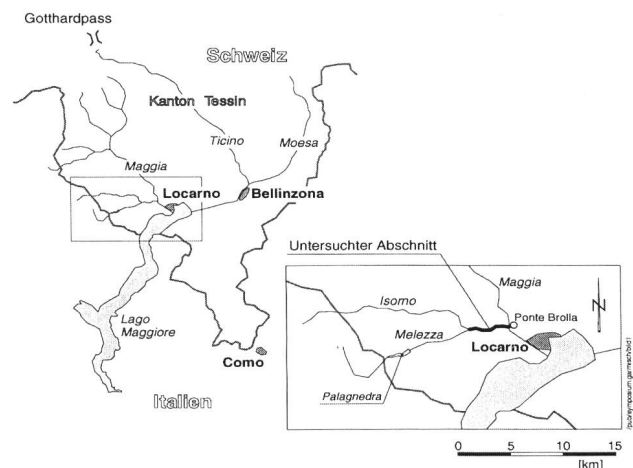


Bild 1. Geographische Lage der Melezza im Kanton Tessin im Süden der Schweiz.

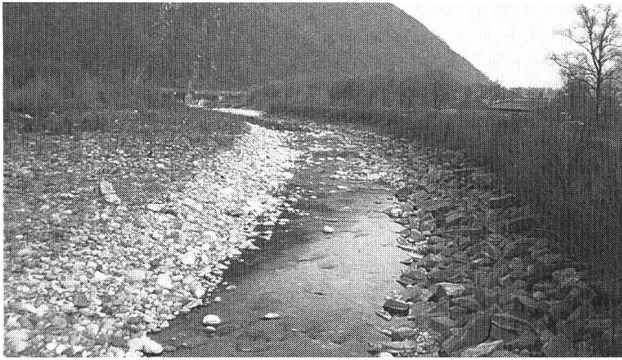


Bild 2. Erosionsrinne im Flussbett der Melezza am 12. Februar 1997 rund 800m oberhalb der Mündung in die Maggia. Blick in Fließrichtung.

Die Melezza lagerte sich beim Hochwasser im Bereich ihrer Alluvionsebene durch seitliche Erosion der zu diesem Zeitpunkt noch kaum befestigten Ufer stellenweise erheblich um (Bild 3). Die Schäden an den betroffenen Gebäuden und Infrastrukturbauten in Flussnähe nahmen dementsprechend beträchtliche Ausmasse an. Stark umgestaltet wurde auch der Mündungsbereich der Melezza, wo ein zum damaligen Zeitpunkt eingewachsener Altlauf reaktiviert wurde. Die Morphologie der Melezza unmittelbar nach dem Hochwasser glich derjenigen eines verzweigten Flusses im Auflandungszustand. Tatsächlich dürfte ein bedeutender Teil des aus dem Oberlauf zugeführten Geschiebes im Bereich der Alluvionsebene der Melezza abgelagert worden sein.

Im Anschluss an das Hochwasser wurden die ersten grösseren Verbauungsmassnahmen an der Melezza in Angriff genommen. Im Zuge derselben erfolgten zunächst umfangreiche Geschiebeentnahmen aus dem Flussbett. Des weiteren wurde der Flusslauf abschnittsweise leicht korrigiert, indem die Ufer an den Krümmungsaussenseiten verbaut wurden. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem Zusammenflussbereich von Maggia und Melezza geschenkt. Weil für diesen Bereich in näherer Zukunft noch erhebliche morphologische Veränderungen erwartet wurden, entschloss man sich, die geplanten Massnahmen vorgängig in einem hydraulischen Modell zu prüfen.

### 3. Modellversuche an der VAW Anfang der 80er Jahre

Anfang der 80er Jahre wurden an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW) hydraulische Modellversuche zur Untersuchung des Zusammenflussbereiches von Maggia und Melezza durchgeführt. Ziel dieser Studie war, Erkenntnisse bezüglich Umfang und Ort von Verbauungsmassnahmen sowie der dafür erforderlichen Fundationstiefen und Bauwerkshöhen zu gewinnen. Weiter sollten die Eignung der Massnahmen bei starker Beanspruchung beurteilt und die Wasserspiegel für einen ausserordentlichen Hochwasserabfluss gemessen werden.

Das hydraulische Modell im Massstab 1:67 umfasste rund 1,2 km der Melezza vor deren Mündung sowie einen rund 1,5 km langen Abschnitt der Maggia. Ausgehend von der Morphologie des Flussbettes im Jahre 1980 – die Absenkung des Flussbettes der Maggia wurde dabei bereits berücksichtigt – wurden verschiedene Zustände untersucht. Dabei ging man davon aus, dass hauptsächlich die extremen Hochwasser der Maggia und der Melezza einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung der Sohlenlage im Zusammenflussbereich der beiden Flüsse hätten.

Als massgebende Belastungsbedingung wurde ein Hochwasserereignis mit Spitzenabflüssen von je 2000 m<sup>3</sup>/s in beiden Flüssen festgelegt. Dieses Ereignis wurde für einen bestimmten Zustand im Modell jeweils mehrmals nacheinander simuliert, bevor die resultierenden Sohlenveränderungen ermittelt wurden. Im Rahmen der Modellierung wurden ausserdem einige Versuche mit kleineren Abflüssen durchgeführt (Anastasi, 1984a).

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Nachbildung des Sohlenmaterials im hydraulischen Modell beigemessen. Die Untersuchungen zu dieser Problematik wurden später im Rahmen von Forschungsarbeiten weitergeführt (Anastasi, 1984b; 1987).

Die Geschiebezufuhr in den modellierten Abschnitt der Melezza wurde aufgrund rechnerischer Abschätzungen und anschliessender Verifikation in Eichversuchen bestimmt.

Eine der im Modell untersuchten Varianten bildete später die Grundlage für das effektiv realisierte Verbauungskonzept. Dieses sah am rechten Ufer der Melezza – rund 50 m oberhalb der Mündung (km 0,0) – den Bau einer grösseren Buhne vor. Zwischen km 0,8 und km 0,3 sollte das an der Kurvenaußenseite liegende rechte Ufer mit einem durchgehenden Längsdamm gesichert werden. Mit diesen Massnahmen sollte einerseits der Hauptimpuls der Strömung der Melezza auf die Felsböschung am linken Ufer der Maggia gelenkt und andererseits eine weitere Laufverlegung der Melezza in südlicher Richtung verhindert werden.



Bild 3. Luftbildaufnahmen des rund 4,3 km langen Abschnittes der Melezza in der Alluvionsebene vor dem Zusammenfluss mit der Maggia. Die Aufnahmen stammen aus den Jahren 1966/68 (links), 1978 – unmittelbar nach dem Hochwasserereignis – (Mitte) sowie 1996 (rechts). Fließrichtung jeweils von oben nach unten.

#### 4. Morphologische Entwicklung in den 80er und 90er Jahren

Der Hauptteil der geplanten Verbauungsmassnahmen wurde Anfang der 80er Jahre realisiert. Es bestanden damals noch Projekte für weitere Ufersicherungen, diese wurden aber bis heute nicht umgesetzt.

Noch vor Fertigstellung der Verbauungen konnten im Flussbett der Melezza an einigen Stellen die Bildung eines dominanten Gerinnes und eine Abtiefung der Sohle innerhalb desselben beobachtet werden. Besonders markant trat diese Erscheinung im Abschnitt unmittelbar vor der Mündung sowie im Bereich der Flusskrümmung zwischen km 2,5 und km 3,0 auf. Die anhaltende Eintiefung erfasste nach und nach den gesamten Abschnitt der Melezza im Bereich der Alluvionsebene. Sohlenaufnahmen ergaben, dass sich das Flussbett innerhalb des dominanten Gerinnes in den Jahren von 1980 bis 1995 im Mittel um rund 3,5 m eingetieft hat (Bild 4). Die Erosion erreichte damit ein Ausmass, welches die Stabilität der Uferverbauungen an einigen Stellen bereits erheblich gefährdete. Diese mussten entsprechend mit einer zusätzlichen Vorschüttung gesichert werden.

Weil die Eintiefung offenbar weiter anhielt, mussten schon bald zusätzliche Massnahmen ins Auge gefasst werden. Um eine umfassende und nachhaltige Sanierung sicherzustellen, wurde eine Untersuchung der Morphologie und des Geschiebehaltbes der Melezza im gesamten, rund 4,3 km langen Abschnitt in der Alluvionsebene durchgeführt. Ziel dieser Studie war, die Schlussfolgerungen aus den Modellversuchen an der VAW mit der tatsächlichen Entwicklung zu vergleichen, eine Prognose bezüglich der wahrscheinlichen zukünftigen Entwicklung aufzustellen sowie ein Verbauungskonzept zu erarbeiten. Diese umfangreiche Untersuchung führte zu einigen doch eher unerwarteten Ergebnissen.

Wenig überraschend war die Erkenntnis, dass für die beobachtete Entwicklung verschiedene Prozesse verantwortlich waren, welche sich gegenseitig überlagerten. Dabei dürfte die Ursache für den Hauptteil der im untersten Abschnitt der Melezza festgestellten Eintiefung auf eine Massnahme im Anschluss an das Hochwasser von 1978 zurückgehen. Damals wurde nämlich im Zusammenflussbereich von Maggia und Melezza aus hydraulischen Gründen eine Insel aus dem Flussbett der Maggia entfernt, womit die Flusssohle lokal um rund 4 m abgetieft wurde. Davon ausgehend erfolgte eine ebensotiefe, rückschreitende Erosion innerhalb eines dominanten Gerinnes in der Melezza. Diese Rückwärtserosion dürfte heute etwa km 1,0 erreicht haben. Weiter flussaufwärts überwog demgegenüber der Einfluss der Flusskrümmungen, welche lokal ausgeprägte Kolkungen hervorriefen. Als Folge dieser Eintiefungsprozesse wurden immer grössere Abflüsse auf immer längeren Abschnitten innerhalb des entstandenen Erosionsgerinnes konzentriert. Dies führte zu einer Erhöhung der Transportkapazität und damit wiederum zu einer verstärkten Eintiefung.

Handelt es sich bei dieser Eintiefung nun um eine neue Erscheinung, welche ausschliesslich auf die Folgen der Korrektionsmassnahmen im Anschluss an das Hochwasser von 1978 zurückzuführen ist? Einerseits legen Aufnahmen aus dem letzten Jahrhundert, welche die Melezza als breite Kiesebene zeigen, die Vermutung nahe, dass sich das Flussbett damals tatsächlich noch in einem Auflandungszustand befand. Andererseits ergab aber die Auswertung von Luftbildern aus den Jahren 1966 und 1968, dass schon damals eine Konzentration des Abflusses innerhalb eines dominan-

ten Gerinnes beobachtet werden konnte, obwohl das durch die eigentlichen Ufer begrenzte Flussbett im Vergleich zu heute stellenweise breiter war. Der zu jener Zeit starke Bewuchs auf den Kiesbänken deutet darauf hin, dass die Sohlenform offenbar seit mehreren Jahrzehnten stabil war (Bild 3).

Diese Erkenntnis legt die Vermutung nahe, dass im Unterlauf der Melezza schon vor dem Hochwasser von 1978 eine gewisse Erosionstendenz bestand, welche die nach dem Ereignis einsetzende Eintiefung zumindest begünstigte. Ursache der Erosionstendenz könnte ein abnehmender Geschiebeeintrag aus dem Oberlauf sein. Mögliche Gründe dafür gibt es wiederum verschiedene. So könnte die bis ins letzte Jahrhundert anhaltende Abholzung der Wälder damals zu verstärkten Hangerosionen geführt haben. Seit der Jahrhundertwende hat der Waldbestand deutlich zugenommen, womit das Geschiebepotential im Einzugsgebiet tendenziell wieder abnahm. Als weitere mögliche Gründe sind Geschiebeentnahmen sowie Hang- und Bachverbauungen im Oberlauf zu erwähnen. Das Ausgleichsbecken Palagnedra besitzt zwar einen Umleitstollen für das anfallende Geschiebe, doch könnte der Bau des Beckens dazu geführt haben, dass in diesem Bereich gegenüber früher weniger Geschiebe mobilisiert wird.

Im Verlaufe der Hochwasserkatastrophe von 1978 führten grossflächige Erosionen im oberen Einzugsgebiet zu umfangreichen Geschiebeeinträgen und damit zu einer temporären Auflandungstendenz im Bereich der Alluvionsebene der Melezza. Entsprechend veränderte sich die Morphologie: Aus einem dominanten Einzelgerinne wurde ein dynamischer, verzweigter Fluss mit einer deutlich grösseren aktiven Bettbreite. In der Zeit nach diesem Ereignis trat nun aber kein vergleichbares Hochwasser mehr auf. Der Geschiebeeintrag aus dem oberen Einzugsgebiet entsprach nach und nach wieder den Verhältnissen vor 1978. Folgerichtig stellte sich wiederum eine Erosionstendenz ein mit den entsprechenden morphologischen Veränderungen: Im kurzzeitig verzweigten Fluss bildete sich ein dominantes, nahezu stationäres Einzelgerinne. Ähnliche Prozesse konnten auch schon in entsprechenden Modellversuchen beobachtet werden (Zarn, 1997).

#### 5. Vergleich der heutigen Situation mit den Voraussagen von 1983

Der Vergleich der Entwicklung der mittleren Sohlenlage im hydraulischen Modell der VAW mit der entsprechenden in der Melezza gemessenen Veränderung zeigt eine erstaun-

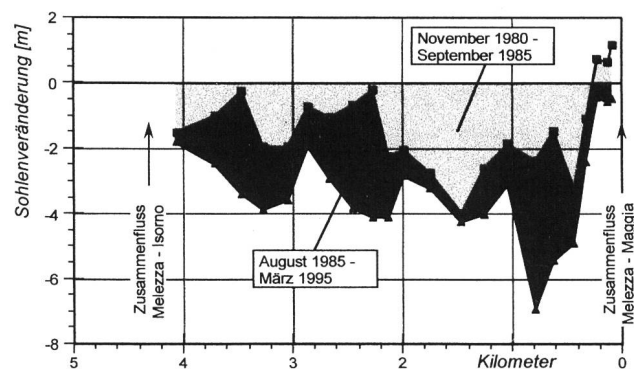


Bild 4. Veränderung der mittleren Sohlenlage innerhalb des dominanten Einzelgerinnes im Flussbett der Melezza in der Zeit von 1980 bis 1995. Im Zusammenflussbereich von Melezza und Maggia erfolgte eine grössere Abtiefung kurz nach dem Hochwasser von 1978 und damit noch vor der ersten Sohlenaufnahme vom November 1980.

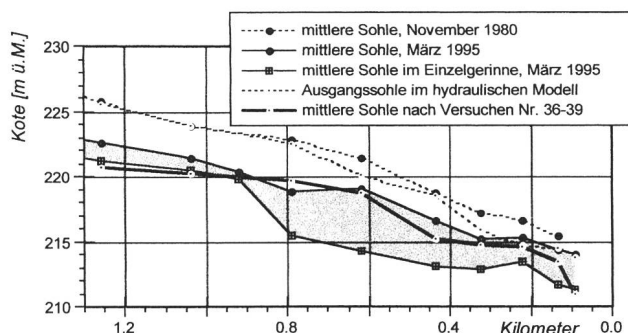


Bild 5. Sohlenlagen im hydraulischen Modell der VAW Anfang der 80er Jahre und in der Natur. Die Anordnung bei den Versuchen Nr. 36 bis 39 entsprach weitgehend den später realisierten Verbauungsmassnahmen. Pro Versuch wurde jeweils ein Hochwasser simuliert.

lich geringfügige Abweichung. Vergleicht man demgegenüber nur die über die Breite des dominanten Gerinnes gemittelte Sohlenlage mit den Voraussagen aufgrund der Modellversuche, so ergibt sich eine Abweichung von bis zu 5 m (Bild 5).

Was sind nun die Gründe dafür, dass die sich abzeichnende morphologische Entwicklung in der Melezza mit der Bildung eines sich eintiefenden Einzelgerinnes im hydraulischen Modell nicht oder nur teilweise erkannt wurden? Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Versuchsprotokolle und übrigen Unterlagen zu den Modellversuchen nochmals ausgewertet.

Zum einen muss zunächst festgehalten werden, dass – in erster Linie aus Platzgründen – nur der unterste Flusskilometer der Melezza im Modell nachgebildet werden konnte. Eine Prognose der morphologischen Entwicklung oberhalb dieses Abschnittes war demzufolge von Anfang an ausgeschlossen.

Interessant ist nun aber, dass im Modell ebenfalls eine von der Mündung ausgehende, rückschreitende Erosion in der Melezza festgestellt wurde. Diese Erkenntnis geht aus dem Vergleich der Entwicklung des Talweges im Modell und in der Natur hervor (Bild 6). Offenbar wurde diese Erosionstendenz aber unterschätzt, und zwar sowohl bezüglich ihrer räumlichen Ausdehnung als auch hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufs.

Ein Hauptgrund für die Unterschätzung der Erosionstendenz dürfte sein, dass im Modell nicht die für die maximale Erosionstiefe massgebenden Abflüsse simuliert wurden. Damals betrachtete man – im Hinblick auf die hydraulischen Probleme im Zusammenflussbereich – insbesondere extreme Hochwasserabflüsse. Diese wurden im Modell für einen bestimmten Zustand jeweils mehrmals hintereinander simuliert, solange, bis keine wesentlichen Sohlenveränderungen mehr beobachtet werden konnten. Man ging davon aus, dass damit ein Gleichgewichtszustand erreicht sei. In der Natur traten jedoch seit dem Hochwasser von 1978 keine ähnlich extremen Abflüsse mehr auf. Es müssen somit kleinere und mittlere Abflüsse gewesen sein, welche die Entwicklung in der Melezza massgeblich prägten.

Bei der Durchführung der Modellversuche fehlten aber auch die Mittel, um in einer bestimmten Versuchsanordnung längere Ganglinien mit variablen Spitzenabflüssen simulieren zu können. Wie neuere Untersuchungen zeigen, laufen aber morphologische Entwicklungen in einem breiten, geschiebeführenden Fluss häufig sehr langsam und nicht linear ab (Zarn, 1997).

Die festgestellten baulichen Abweichungen des schliesslich realisierten Verbauungsprojektes von der Anordnung in den Modellversuchen dürften demgegenüber nur einen

untergeordneten Einfluss gehabt haben. Dasselbe gilt für die ebenfalls festgestellten Abweichungen einzelner Modellparameter gegenüber den entsprechenden, im Rahmen der VAW-Studie von 1997 ermittelten Werten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im hydraulischen Modell im untersten Abschnitt der Melezza eine Sohlenerosion beobachtet wurde. Aus verschiedenen Gründen wurde diese Entwicklung aber unterschätzt. Im Vordergrund dürfte dabei der Umstand stehen, dass keine Langzeitsimulationen mit Ganglinien durchgeführt wurden, welche deutlich kleinere Spitzenabflüsse als beim Hochwasser von 1978 aufwiesen. Mit den heutigen Mitteln und dem deutlich verbesserten Verständnis der Zusammenhänge bei der morphologischen Entwicklung in breiten, kiesführenden Flüssen wäre es möglich, die Methodik bei der Modelleichung, den Ablauf der Versuche sowie die im Modell simulierten Abflüsse entsprechend anzupassen.

## 6. Numerische Simulation und Prognose 1997

Für die numerische Simulation wurde das an der VAW entwickelte Programm MORMO (MORphologisches MOdell) eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein eindimensionales, quasistationäres Simulationsmodell zur Berechnung der Sedimenttransportraten und der Sohlenveränderungen in Flüssen und Stauhaltungen. Eine Beschreibung des Programms gibt beispielsweise Hunziker (1995).

Die vergleichsweise komplizierte Topographie des Flussbettes der Melezza im Bereich der Alluvionsebene sowie die extremen Unterschiede bei den Abflussmengen verursachten bei der hydraulischen Berechnung erhebliche numerische Schwierigkeiten. Entsprechende Testrechnungen zeigten auf, dass die Simulation einer längeren Periode in einem Modell des gesamten Flussbettes mit vertretbarem Aufwand nicht möglich sein würde. Da sich aber der Hauptanteil des Abflusses heute ohnehin innerhalb eines dominanten Gerinnes konzentriert und die Sohlenveränderungen entsprechend hauptsächlich auf diesen Bereich beschränkt bleiben, wurde im numerischen Modell nur dieses Gerinne vereinfacht simuliert. Die Ergebnisse der Simulationen treffen dementsprechend nur solange zu, als die Veränderungen der Gerinnegeometrie gering bleiben. Auch konnten mehrdimensionale Effekte (beispielsweise Kolkerscheinungen im Bereich der Flusskrümmungen) mit dem eingesetzten Programm nicht simuliert werden.

Das numerische Modell wurde anhand der in der Periode von 1985 bis 1995 in der Melezza gemessenen Sohlenveränderungen geeicht. Weiter wurden Sensitivitätsanalysen bezüglich Abfluss, Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf, Kornverteilung des Sohlenmaterials, Breite des Gerinnes sowie untere Randbedingung im Modell durchgeführt.

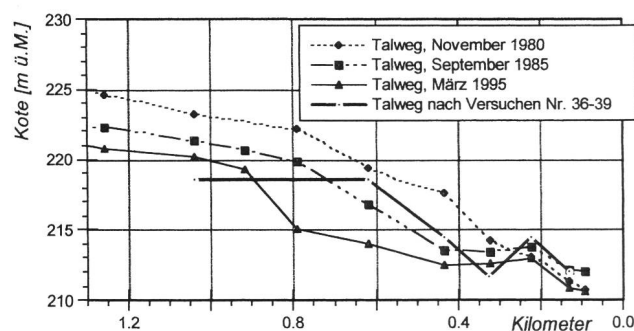


Bild 6. Tiefste Sohlenpunkte (Talweg) im hydraulischen Modell der VAW Anfang der 80er Jahre und in der Natur.

Basierend auf den in der Modelleichung bestimmten Grössen wurden Extrapolationsrechnungen ausgehend vom aktuellen Zustand durchgeführt. Vorausgesetzt wurde dabei, dass sich das Abflussgeschehen der Jahre 1985 bis 1995 im wesentlichen wiederhole und dass sich die Geometrie der Abflussrinne nicht stark verändere.

Aus den Ergebnissen dieser Extrapolation geht hervor, dass sich die Melezza innerhalb des heute dominanten Einzelgerinnes weiter eintiefen wird, sofern nicht ein grosses, geschiebeführendes Hochwasser für eine umfassende Neugestaltung des Flussbettes sorgt. Das Ausmass einer möglichen weiteren Eintiefung dürfte im Verlaufe der nächsten ein bis zwei Jahrzehnte innerhalb der bestehenden Abflussrinne im Bereich von 1 bis 2 m liegen und lokal bis zu 3 m betragen.

Da eine weitere Eintiefung in der erwarteten Grössenordnung zumindest lokal zu einer erheblichen Gefährdung der Stabilität der bestehenden Uferverbauung führen würde, wurde ein Katalog von Gegenmassnahmen erarbeitet. Eine Auswahl dieser Massnahmen wurde anschliessend wiederum im numerischen Modell simuliert.

## 7. Massnahmen

Es ist anzunehmen, dass mehr oder weniger isolierte Massnahmen wie die Verstärkung des bestehenden Blocksatzes am Ufer oder der Bau von strömungsabweisenden Buhnen lokal kurzfristig eine Entschärfung der Situation bringen können. Es ist aber zu befürchten, dass diese Massnahmen infolge der übergeordneten Erosionstendenz der Melezza keine nachhaltige Wirkung haben werden.

Aus diesem Grund ist eine ganzheitliche Betrachtung der Melezza im Bereich der Alluvionsebene zu bevorzugen. Dabei sollten neben den allenfalls notwendigen lokalen Sanierungsmassnahmen an den bestehenden Verbauungen insbesondere auch Massnahmen geprüft werden, welche in erster Linie darauf ausgerichtet sind, den Erosionstrend mittelfristig aufzuhalten. Im Rahmen der VAW-Untersuchung wurden diesbezüglich hauptsächlich zwei Massnahmen eingehender untersucht, welche im folgenden kurz erläutert werden. Eine ausführliche Beschreibung aller geprüften Massnahmen ist an dieser Stelle jedoch nicht möglich.

Eine dieser Massnahmen sieht den Bau einer Blockrampe bei der Mündung der Melezza vor. Damit soll die rückschreitende Erosionstendenz innerhalb der Abflussrinne gestoppt werden. Wie weit der Stabilisierungseffekt einer solchen Massnahme reicht, ist einerseits von der Höhe der Blockrampe abhängig und andererseits davon, ob sich die Abflussrinne infolge einer Auflandung wieder etwas verbreitert. In den numerischen Simulationen stellte sich zumindest auf dem untersten Flusskilometer eine Stabilisierung der Sohle ein.

Weiter wurden die Auswirkungen einer maschinellen Umgestaltung des Flussbettes der Melezza zur Verbreiterung der Abflussrinne untersucht. Es zeigte sich, dass die Erosionstendenz mit einer solchen Massnahme aufgehalten werden kann, sofern es gelingt, die erneute Bildung einer schmalen Abflussrinne wirksam zu verhindern. Denkbar ist in diesem Zusammenhang die Schaffung eines Pilotgerinnes, innerhalb welchem die Sohle zusätzlich gesichert wird. Dabei muss man sich allerdings auch bewusst sein, dass ein solchermassen modelliertes Flussbett möglicherweise bereits beim nächsten grösseren, geschiebeführenden Hochwasser wieder umgestaltet wird.

## Literatur

Anastasi G. (1984a): «Simulazione di regime torrentizio su modello fisico a fondo mobile mediante micro-computer»; XIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Pavia, 6–8 settembre. 1984; p. A9 – A9/10.

Anastasi G. (1984b): «Geschiebeanalysen im Felde unter Berücksichtigung von Grobkomponenten»; Mitteilung Nr. 70 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

Fehr R. (1987): «Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen – Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren»; Mitteilung Nr. 92 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

Hunziker R. (1995): «Fraktionsweiser Geschiebetransport»; Mitteilung Nr. 138 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

Zarn B. (1997): «Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität»; Mitteilung Nr. 154 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

Adresse des Verfassers: *Martin Roth*, Zelgstrasse 24, CH-8003 Zürich.

## Vom Wasser zum Licht – ein Besuch der Grabenöle Lütterswil

*Christian Fux*

*Seit Menschengedenken nutzt der Mensch das Wasser, um sich eine zuverlässige Lichtquelle zu verschaffen. Ein Besuch der mittelalterlichen Grabenöle Lütterswil kann diese Verbindung eindrücklich aufzeigen.*



Bild 1. Der 1988 restaurierte Öleraum der Grabenöle Lütterswil mit der Flachsreibe im Vordergrund.