



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Versuchsanstalt für Wasserbau,  
Hydrologie und Glaziologie (VAW)  
Prof. Dr.-Ing. H.-E. Minor

Institutsverbund Wasser

Kontaktperson: R. Weichert  
ETH Zentrum  
8092 Zürich

Tel. +41-1-632 57 17  
Fax +41-1-632 11 92  
weichert@vaw.baug.ethz.ch  
www.vaw.ethz.ch

Gutachten betreffend der Wirksamkeit der wasserbaulichen Massnahmen im Rahmen des  
Hochwasserschutzprojektes Linth 2000

## INHALTSVERZEICHNIS

1. Auftrag	3
2. Zur Verfügung stehende Unterlagen und Grundlagen	3
3. Methoden und Szenarien	3
4. Gerinnekapazität	5
Escherkanal	5
Linthkanal	8
Hintergräben	9
5. Massnahmen am Escherkanal	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 <u>Escherkanal: Hochwasserentlastung Kunderriet</u>	9
5.3 Escherkanal: Aufweitung Chli Gäsitschachen	11
5.4 Brückenquerschnitte	12
6. Massnahmen am Linthkanal	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Aufweitung Hänggelgiessen	14
7. Schlussfolgerungen	14
Wasserbauliche Beurteilung der Massnahmen des Auflageprojektes	15
Weiterführende Untersuchungen sowie Empfehlungen	15
8. Literatur	16

## 1. Auftrag

Mit dem Schreiben vom 21.07.2005 erteilte die Linthverwaltung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich den Auftrag im Rahmen des Projekts „Hochwasserschutz Linth 2000“ eine wasserbauliche Prüfung der im Auflageprojekt dargestellten Massnahmen durchzuführen. Die Hydrologie wurde im Rahmen der Situations- und Gefahrenanalyse [1] näher betrachtet. Auf dieser Grundlage wurden die Ausbauwassermengen von einer Fachgruppe festgelegt. Die geotechnischen Aspekte werden vom Institut für Geotechnik (IGT) der ETH Zürich betrachtet und sind Gegenstand eines separaten Gutachtens.

Im vorliegenden Gutachten wird auf folgende Aspekte näher eingegangen:

- Hydraulik Escherkanal
- Hydraulik Linthkanal
- Escherkanal: Seitliche Entlastung Kunderriet
- Escherkanal: Aufweitung Chli Gäsitschachen
- Escherkanal: Brückenquerschnitte
- Linthkanal: Aufweitung Hänggelgiessen

Weitere geplante Massnahmen am Linthkanal wie die Bühnenstrecke werden im entsprechenden Hydraulik-Abschnitt behandelt.

## 2. Zur Verfügung stehende Unterlagen und Grundlagen

Dem vorliegenden Gutachten lagen folgende Unterlagen zugrunde:

- Dossier Auflageprojekt (Version 29.09.2005), IG HWS Linth-Escherkanal
- Geschiebestudie Linth (Version 30.03.2004), Ingenieurbüro Schälchli, Abegg und Hunzinger

Gemäss den obigen Ausführungen erfolgt keine Stellungnahme zum Kapitel Hydrologie des technischen Berichts. Demzufolge basieren die folgenden Beurteilungen auf den in Tabelle 3.1 des technischen Berichts dargestellten Ausbauwassermengen. Trotz des derzeitigen Zuflusses des Spinnereikanals etwa bei km 4.5, wurde die Ausbauwassermenge entlang des Escherkanals als konstant angenommen. Gemäss den Ausführungen des Auflageprojekts ist vorgesehen in Zukunft den Spinnereikanal in den Rütelibach zu leiten und das Wasser erst in der geplanten Aufweitung wieder dem Escherkanal zuzuführen.

Im Linthkanal wird aufgrund der Einmündung der Maag im Bereich Ziegelbrücke von zwei Ausbauwassermengen ausgegangen.

## 3. Methoden und Szenarien

Die im technischen Bericht ausgeführten Betrachtungen basieren im Wesentlichen auf hydraulischen Modellrechnungen, die von der „IG HWS Linth-Escherkanal“ mit den

eindimensionalen Programmen HEC-Ras und MORMO durchgeführt wurden. Für die gegebene Problemstellung ist die Verwendung dieser Programme die allgemein übliche Vorgehensweise. Sowohl im Escher- als auch im Linthkanal müssen jedoch lokal Fließvorgänge berücksichtigt werden, die mit einer eindimensionalen Betrachtung nicht mehr ausreichend simuliert werden können. Hierauf wird im Einzelnen bei der Diskussion der verschiedenen Massnahmen eingegangen.

Numerische Simulationsprogramme für Gerinne mit beweglicher Sohle erfordern in der Regel eine Kalibrierung anhand gemessener Langzeitveränderungen der Sohlenlage. Im Auflageprojekt wurde jedoch aufgrund der Datengrundlage auf eine Eichung des Simulationsmodells verzichtet. Für das vorliegende Projekt lagen dabei Vermessungen für den Escherkanal aus den Jahren 1939 und 2000 vor. Zugehörige Abflussmessungen an der Station Mollis sind ab 1971 vorhanden. Zudem existieren Aufzeichnungen der Abflussstation Gäsi zwischen 1910 und 1971, allerdings nicht in digitaler Form. Demzufolge hätte eine Kalibrierung anhand dieser Daten erfolgen können.

Die fehlende Kalibrierung hat zur Folge, dass wesentliche Modellrandbedingungen, wie z.B. der Eintrag des Geschiebes in den Escherkanal, auf Annahmen und Schätzungen beruhen. Diese Voraussetzungen bei der Bearbeitung der flussbaulichen Fragestellungen bedingen Unsicherheiten, die in die Betrachtung verschiedener Szenarien eingegangen ist. Im Folgenden wird auf die Plausibilität der betrachteten Szenarien und Randbedingungen eingegangen. In der Mehrzahl basieren diese Szenarien und Randbedingungen auf den Untersuchungen der „Geschiebestudie Linth“ vom 30.3.2004.

Zwei für die Modellrechnungen wesentliche Parameter sind die Kornverteilungen des laufenden Geschiebes sowie des Sohlenmaterials. Während die Kornverteilung des Sohlenmaterials anhand von Proben der „Geschiebestudie Linth“ bestimmt wurde, muss man bei der Zusammensetzung des laufenden Geschiebes verschiedene Szenarien unterscheiden. Für Abflüsse, die unterhalb der Stabilität der Deckschicht liegen, wird vorwiegend feines Material transportiert, das in erster Linie aus dem Bergsturz der Sandalp kommt. Anhand von Beprobungen wurde ein mittlerer Korndurchmesser von  $d_m=2.5$  cm bestimmt (Geschiebestudie Linth) und den Berechnungen zugrunde gelegt. Für Abflüsse bei denen die Stabilität der Deckschicht überschritten wird, wird ein mittlerer Korndurchmesser von  $d_m=4.5$  cm angegeben.

Die betrachteten Abfluss-Szenarien lassen sich unterteilen in eine Langzeitbetrachtung, in der die zwischen 1974 und 2002 tatsächlich gemessenen Abflüsse simuliert wurden und in die Betrachtung einer Hochwasserganglinie für die Ausbauwassermenge von  $450 \text{ m}^3/\text{s}$  (Abbildung 3.5 des technischen Berichts des Auflageprojekts).

Der Escherkanal zeichnet sich durch eine ausgeprägte Deckschicht aus, die erst bei grösseren Abflüssen ( $300\text{-}350 \text{ m}^3/\text{s}$ ) grossflächig aufgerissen wird (Bild 14, Geschiebestudie Linth). Da diese Abflüsse während der Langzeitbetrachtung nicht überschritten werden, sind die Berechnungen mit einem Korndurchmesser für das laufende Geschiebe von  $d_m=2.5$  cm ein plausibles Szenario. Für die Simulation der Hochwasserganglinie ( $Q=450 \text{ m}^3/\text{s}$ ) kann von einem Aufreißen der Deckschicht ausgegangen werden. In diesem Fall ist mit einem grösseren Wert für das laufende Geschiebe zu rechnen. Hierbei treten zwei Effekte auf. Zum einen ist mit einem Vermischen des laufenden Geschiebes und des Sohlenmaterials zu rechnen, zum anderen werden die grössten Komponenten des Sohlenmaterials nur über kürzere Strecken transportiert. Unter diesen Randbedingungen ist ein Korndurchmesser von  $d_m=4.5$  cm als Grundlage zu rechtfertigen.

Die Plausibilität dieser Szenarien bestätigt sich in den Ausführungen der Geschiebestudie. Dort wurden Simulationsrechnungen des Langzeitszenarios mit  $d_m=4.5$  cm durchgeführt, d.h. Berechnungen mit Abflüssen, die kleiner als die für das Aufreißen der Deckschicht notwendigen Belastungen sind. Die Ergebnisse dieser Berechnungen zeigten, dass diese Randbedingungen zu Ablagerungen im Escherkanal führen würden, die jedoch in der Natur nicht beobachtet wurden.

Neben den Kornverteilungen des Sohlenmaterials und des laufenden Geschiebes spielt der Geschiebeeintrag in den Escherkanal eine wesentliche Rolle für die Vorgänge im Gerinne, die mit

dem Modell simuliert wurden. Das laufende Geschiebe in der Linth stammt heute zum grössten Teil aus feinkörnigen Ausschwemmungen aus dem Bergsturzmaterial der Sandalp. Aufgrund fehlender Grundlagendaten war die Beurteilung des Geschiebeeintrags in den Escherkanal schwierig. Eine grobe Mengenanalyse von Geschiebeeinträgen und Baggerungen zwischen dem Bereich Tierfehd und dem Walensee (Geschiebestudie Linth) zeigt, dass eine jährlich transportierte Geschiebemenge von etwa 23'000 m<sup>3</sup> mit einem mittleren Geschiebedurchmesser von  $d_m=2.5$  cm wahrscheinlich ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für das Langzeitszenario mit den momentanen Randbedingungen ein mittlerer Korndurchmesser des laufenden Geschiebes von  $d_m=2.5$  cm und ein Geschiebeeintrag in den Escherkanal von etwa 23'000 m<sup>3</sup>/a ein plausibles Szenario darstellt. Das untersuchte Szenario mit einem Korndurchmesser des laufenden Geschiebes von  $d_m=4.5$  cm und ein Eintrag in den Escherkanal von etwa 9'000 m<sup>3</sup>/a wird als Extremszenario für die Langzeitberechnungen bewertet.

Für die Berechnungen mit der Ausbauwassermenge ( $Q=450$  m<sup>3</sup>/s) ist die Annahme eines  $d_m$  von 4.5 cm ein plausibles Szenario. Für diesen Fall wurde von den Planern der Geschiebeeintrag zwischen 50% (10'000 m<sup>3</sup>) und 100% (20'000 m<sup>3</sup>) der Transportkapazität variiert. Das entsprechende Szenario mit  $d_m=2.5$  cm und einem Geschiebeeintrag zwischen 50% (15'000 m<sup>3</sup>) und 100% (30'000 m<sup>3</sup>) ist bezüglich des Korndurchmessers als untere Grenze anzusehen.

Nicht näher berücksichtigt wurde ein zukünftiges, mögliches Szenario bei dem das Bergsturzmaterial der Sandalp ausgewaschen ist. Dies könnte zu einem grösseren Geschiebedefizit und geringeren Geschiebeeinträgen in den Escherkanal führen. Auch für die zu betrachtenden Korndurchmesser hätte dies Konsequenzen. Für dieses in näherer Zukunft nicht sehr wahrscheinliche Szenario wären zum Beispiel für ein Hochwasserereignis tendenziell grössere Korndurchmesser zu erwarten, als die heutigen, der Rechnung zugrunde gelegten Werte für  $d_m$ . Dieses könnte Auswirkungen auf die Sohlenlagenentwicklung haben. Das heisst, dass für dieses Szenario sowohl für die Langzeit- als auch für die Hochwasserbetrachtung, der Geschiebeeintrag und die repräsentativen Korndurchmesser des laufenden Geschiebes neu zu bewerten wären. Die Beobachtung der Entwicklungen im Escherkanal nach Realisierung des Projektes „Linth 2000“ ist daher ein wichtiger Aspekt für die Gewährleistung des Hochwasserschutzes der Linthebene. Dieses muss nicht über eine Überwachung der Entwicklungen an den Geschiebequellen im Einzugsgebiet (vorwiegend Bergsturz Sandalp) erfolgen, sondern kann effektiver über die Beobachtung der Sohlenlagen im Escherkanal geschehen.

Die dargestellten Überlegungen bezüglich der Plausibilität der verschiedenen Szenarien ist die Basis für die folgenden Betrachtungen.

#### 4. Gerinnekapazität

##### Escherkanal

Die Gerinnekapazität im Escherkanal wurde anhand von Wasserspiegeln und Energielinien beurteilt, die von der „IG HWS Linth-Escherkanal“ mit dem Programm HEC-Ras berechnet wurden. Die Rauigkeitswerte wurden aus der „Geschiebestudie Linth“ entnommen und anhand der Hochwasserspuren 2000 und der Aufzeichnungen des Pegels Mollis zwischen 1974-2002 geprüft. Aus der „Geschiebestudie Linth“ ist unklar, ob dort die Rauigkeitsbeiwerte anhand der Hochwasserspuren 2000 geeicht wurden. Daraus folgt, dass mindestens eine Überprüfung für die Daten des Pegels Mollis vorhanden ist. Die Überprüfung der Rauigkeitsbeiwerte ergibt eine gute Übereinstimmung für Abflüsse bis etwa 230 m<sup>3</sup>/s. Bei diesen Abflüssen befindet sich der Wasserspiegel im Escherkanal noch weitestgehend unterhalb der Kote der Vorländer. Für grössere Abflüsse wurde für die Vorländer ein Strickler-Beiwert von  $k_{st}=35$  m<sup>1/3</sup>/s angenommen. Während des Hochwasserereignisses im August 2005 wurde gemäss der vorläufigen Angaben der Messstation

Mollis ein Abfluss von  $330 \text{ m}^3/\text{s}$  registriert. Da für dieses Ereignis zudem die Hochwasserspuren eingemessen wurden, konnte das Modell auch für grössere Abflüsse getestet werden. Hierbei ergab sich eine deutliche Diskrepanz (im Mittel  $42 \text{ cm}$ ) zwischen dem berechnetem Wasserspiegel und den Hochwasserspuren. Auch wenn die Hochwasserspuren zwischen dem berechneten Wasserspiegel und der Energielinie zu finden sind, so ist aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten auf den Vorländern davon auszugehen, dass sich die Hochwasserspuren eher in der Nähe des Wasserspiegels befinden sollten. Gemäss Bild 28 des Anhangs E zum technischen Bericht sind die Geschwindigkeiten auf den Vorländern für einen Abfluss von  $330 \text{ m}^3/\text{s}$  im oberen Teil des Escherkanals circa  $1 \text{ m/s}$ , was einer Geschwindigkeitshöhe von etwa  $5 \text{ cm}$  entspricht. Im unteren Teil des Escherkanals wurde eine höhere Fliessgeschwindigkeit über den Vorländern ermittelt (ca.  $1.5 \text{ m/s}$ ). Dieses entspricht einer Geschwindigkeitshöhe von etwa  $11.5 \text{ cm}$ . Diese Geschwindigkeitshöhen geben an, wie gross eine plausible Diskrepanz zwischen dem Wasserspiegel und der Hochwasserspuren in etwa ist. Sie zeigen jedoch auch wie sensitiv diese als plausibel bewertete Abweichung auf die Geschwindigkeit über dem Vorland reagiert. Die Geschwindigkeiten wiederum sind mit den verwendeten Methoden als Richtwerte zu verstehen. Diese Überlegungen zeigen, dass mit den vorhandenen Modellparametern und den Angaben des Pegels Mollis eine unzulässig hohe Abweichung zwischen der Rechnung und den Beobachtungen besteht.

Im Falle der Korrektheit der Messstation würde das Rechenmodell demnach keine realistischen Werte reproduzieren und es müsste für die Ausbauwassermenge mit signifikant höheren Wasserspiegeln gerechnet werden als bisher angenommen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass für die Messstation Mollis während des Ereignisses 2005 zu tiefe Spitzenabflüsse angegeben wurden, wie es auch schon in einem email von der Landeshydrologie angedeutet wurde (Anhang E zum technischen Bericht). Das würde bedeuten, dass das Rechenmodell auf korrekten Annahmen beruht und zudem geeignet ist die hydraulischen Prozesse während eines grösseren Hochwasserereignisses zu reproduzieren. Eine Ungenauigkeit der Messungen der Messstelle liesse sich zum Beispiel auf Sohlenveränderungen im Messquerschnitt während des Ereignisses zurückführen.

Unter diesen Randbedingungen sprechen gemäss den Ausführungen des Anhangs E des technischen Berichts folgende Indizien dafür, dass während des Hochwasserereignisses 2005 höhere Abflüsse aufgetreten sind, als der von der Landeshydrologie provisorisch angegebene Wert:

- Gute Ergebnisse bei der Überprüfung der Hochwasserspuren 2000.
- Eine extreme Erhöhung der Rauigkeit der Vorländer von  $k_{st}=35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  auf  $k_{st}=15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  bringt kaum eine Verbesserung (mittlere Diskrepanz  $35 \text{ cm}$ ).
- Ausbildung von Dünen, mit denen sich eine Erhöhung der Sohlrauigkeit rechtfertigen liesse, ist für das gegebene Sohlmaterial unwahrscheinlich.
- Beim Pegel Mollis liegen die interpolierten Hochwasserspuren fast  $25 \text{ cm}$  höher als der von der Landeshydrologie beobachtete Wasserspiegel. Diese Diskrepanz ist insbesondere unplausibel, wenn die Geschwindigkeiten über den Vorländern zugrunde gelegt werden.

Gemäss den Betrachtungen im Anhang E des technischen Berichts resultiert für das Hochwasser 2005 sowohl aus der Staukurvenrechnung als auch aus der Hochwasserspuren eine maximale Abflussmenge von etwa  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Diese Argumentation wird als plausibel bewertet. Es muss jedoch in Erwägung gezogen werden, dass auch gewisse Abweichungen der zugrunde gelegten Rauigkeiten eine Erklärung, zumindest eines Teiles der beobachteten Diskrepanzen, darstellen, da sowohl durch die Idealisierungen im

verwendeten Modell als auch bei der Bestimmung der Rauigkeiten gewisse Variationen möglich sind. Zudem basieren die hydraulischen Berechnungen auf der Annahme, dass zwischen Spinnereisteg und der Mündung in den Walensee keine Zuflüsse zum Escherkanal vorhanden sind, was eine Idealisierung der realen Bedingungen darstellt. Des Weiteren sind grundsätzlich Variationen bei den Angaben der Abflusswerte von etwa 10-15 % nicht ungewöhnlich.

Dieses würde bedeuten, dass auch für die Ausbauwassermenge von  $450 \text{ m}^3/\text{s}$  höhere Wasserspiegel als ursprünglich berechnet, erwartet werden müssten. Diesen Unsicherheiten wurde im Rahmen des Auflageprojekts Rechnung getragen, indem das Freibord für den Escherkanal auf 50 cm erhöht wurde.

Nichtsdestotrotz ist im Rahmen weiterführender Abklärungen im Nachgang zum Auflageprojekt zu empfehlen, die Angaben der Messstation Mollis für das Hochwasser 2005 überprüfen zu lassen. Des Weiteren wird für die weitere detaillierte Bearbeitung des Projekts empfohlen, die Hydrologie der Zuflüsse zum Escherkanal näher zu untersuchen.

Unter der plausiblen Annahme, dass die aus dem Hochwasserereignis 2005 resultierenden Unsicherheiten eher auf ungenauen Angaben der Messstation Mollis zurückzuführen sind, wird im Folgenden das Vorgehen zur Bestimmung der Gerinnekapazität beurteilt.

Entgegen der Tatsache, dass während eines Hochwassers prinzipiell Erosionen und Auflandungen möglich sind, basieren die Hec-Ras-Rechnungen stark vereinfachend auf einer unveränderlichen Sohlenlage. Für den Nachweis einer ausreichenden Gerinnekapazität ist daher eine tendenziell hohe Sohlenlage zu wählen. Für alle betrachteten Szenarien zeigen die Berechnungen im Auflageprojekt (Anhang D des technischen Berichts), dass signifikante Auflandungen ausserhalb der Aufweitungsstrecke nicht zu erwarten sind. Aus diesem Grund wurde ausserhalb der geplanten Aufweitungsstrecke die vermessene Sohlenlage von 2000 verwendet. Diesem Vorgehen wird zugestimmt. Im Rahmen der Ereignisdokumentation des Hochwassers 2005 wurden die Querprofile im Escherkanal aufgenommen. Anhand eines Vergleichs der Profillagen zwischen 2000 und 2005 ist eine Überprüfung der Plausibilität dieser Annahme zu empfehlen.

In der geplanten Aufweitungsstrecke „Chli Gäsitschachen“ wurde für die Kapazitätsberechnung ein Sohlenniveau gewählt, welches aus einem Szenario mit einem  $d_m$  von 4.5 cm und einem hohen Eintrag von  $20'000 \text{ m}^3$  während eines Hochwasserereignisses resultiert. Diese Annahmen sind betreffend einer Beurteilung der Gerinnekapazität sinnvoll. Wenn das Extremszenario einer Langzeitbetrachtung mit einem  $d_m$  von 4.5 cm verwendet wird, reichen die projektierten Dammhöhen direkt oberhalb der Aufweitung jedoch nicht aus. Wie eingangs erwähnt wird dieses Szenario jedoch als wenig plausibel erachtet.

Aufgrund der verbleibenden Unsicherheiten bezüglich Menge und Zusammensetzung des Geschiebeeintrages ist in jedem Fall die Entwicklung der Sohlenlage nach Realisierung des Projekts zu beobachten. Möglichen Auflandungs- oder Erosionstendenzen im Gerinne könnten dann durch Projektanpassungen bzw. Unterhaltsmassnahmen begegnet werden.

Ein Vergleich der berechneten Wasserspiegel mit den Damm- und Brückenkoten im Auflageprojekt zeigt, dass mit Ausnahme des Spinnereistegs der Wasserspiegel im Bereich der Brücken bei einer Ausbauwassermenge von  $450 \text{ m}^3/\text{s}$  etwa auf Höhe der Brückenunterkante ist. Demzufolge liegt die Energielinie deutlich über den Brückenunterkanten. Wie das Hochwasser 2005 gezeigt hat, ist im Escherkanal mit grösseren Mengen Schwemmholz und Geschwemmsel zu rechnen. Diese Materialien können dann mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Verklausungen der Brücken führen, was ohne Gegenmassnahmen ein grosses Gefahrenpotenzial darstellt. Dieses wurde im Auflageprojekt erkannt und behandelt. Die getroffenen Massnahmen werden im Abschnitt 5.4 dieses Gutachten beurteilt.

Zusammenfassend festgehalten sei, dass betreffend der Beurteilung der Gerinnekapazität von plausiblen Szenarien ausgegangen wurde. Die Analyse des Hochwassers 2005 hat jedoch gezeigt, dass Unsicherheiten im Zusammenhang mit den verwendeten Modellen nicht vollständig ausräumbar sind. Diesen Unsicherheiten wurde mit einem am Escherkanal erhöhten Freibord von

50 cm Rechnung getragen. Unter den gegebenen Randbedingungen wird diese Grösse als sinnvoll erachtet. Bei den hier diskutierten Dammhöhen wird immer von den projektierten, theoretischen Dammhöhen ausgegangen. Beim Bau und beim Unterhalt ist sicherzustellen, dass diese Dammhöhen z.B. durch Setzungen nicht unterschritten werden.

Es wird empfohlen, die Sohlenlagen im Escherkanal regelmässig aufzunehmen und zu bewerten. Die Analyse der Querprofilvermessung für das Hochwasserereignis 2005 kann dabei schon wichtige Erkenntnisse bezüglich der Plausibilität der verschiedenen Szenarien und der Rechengenauigkeit des Modells liefern. In diesem Zusammenhang wird auch das Nachrechnen grösserer, in der Zukunft auftretender Hochwasserereignisse als sinnvoll erachtet, um mehr Sicherheit bei der Beurteilung der langfristigen Schutzfunktion des Escherkanals zu gewinnen.

### Linthkanal

Für die Bestimmung der Wasserspiegellagen wurde von der „IG HWS Linth-Escherkanal“ das Programm HEC-Ras verwendet. Als Ausgangslage dienten hierbei die Sohlenlagen von 2000. Dieses Vorgehen ist plausibel, zeigen doch die Vermessungen eher eine Eintiefungstendenz (Abbildung 5.23, technischer Bericht). Während beim Escherkanal eine Überprüfung anhand vermessener Hochwasserspuren aus dem Jahre 2000 möglich war, fehlen diese Daten für den Linthkanal. Daher konnte das Modell vor August 2005 nur für die Pegelmessungen der Station Biäsche überprüft werden. Dieses bereitet insofern Schwierigkeiten, als dass dieser Pegel nicht als repräsentativ für den gesamten Linthkanal erachtet werden kann. Die Überprüfung des Modells anhand des Pegels Biäsche ergab eine gute Übereinstimmung für Abflüsse bis etwa  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ . Für grössere Abflüsse ergibt die Pegel-Abfluss-Relation der Landeshydrologie höhere Wasserspiegel als die Modellrechnung.

Ebenso wie am Escherkanal wurden am Linthkanal für das Ereignis 2005 die Hochwasserspuren aufgenommen. Dieses erlaubte eine Überprüfung des hydraulischen Modells anhand eines grösseren Hochwasserereignisses (Pegel Biäsche:  $235 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Die im Anhang E des technischen Berichts dargestellten Ergebnisse zeigen, dass sich anhand der Berechnungen im hydraulischen Modell die Hochwasserspuren des Ereignisses 2005 gut reproduzieren lassen.

Für diese Überprüfung verbleiben jedoch Unsicherheiten hinsichtlich der Wassermenge, die während des Ereignisses im Bereich Ziegelbrücke dem Linthkanal zugeflossen ist. Dieses wurde bei der Analyse berücksichtigt, indem die Untersuchung für zwei verschiedene Abflüsse durchgeführt wurde, die entsprechend der Festlegungen für die Ausbauwassermenge (Tabelle 3.1 des technischen Berichts) ermittelt wurden. Auch wenn die genauen Mengen der Zuflüsse zum Linthkanal vom jeweiligen Niederschlagsereignis abhängig sind und somit eine pauschalisierte Betrachtung eine Idealisierung darstellt, wird diese Vorgehensweise als plausibel erachtet.

Im Flussabschnitt zwischen Roter Brücke und Hänggelgiessen ist eine Umgestaltung des Mittelgerinnes vorgesehen, bei der unter anderem Buhnen zum Einsatz kommen sollen. Diese bewirken zusätzliche Strömungsverluste, die in einer Berechnung mit HEC-Ras nur sehr grob berücksichtigt werden können. In diesem Abschnitt sind daher zusätzliche Unsicherheiten in der hydraulischen Rechnung zu erwarten. Aus diesem Grund ist das geplante Konzept einer Teststrecke sinnvoll. Hierbei ist ein gut konzipiertes Messprogramm mit einem gut dokumentierten Ausgangszustand zu gewährleisten.

Die dargestellten Überlegungen haben gezeigt, dass aufgrund der verwendeten Methoden und der Datenlage Unsicherheiten in der hydraulischen Berechnung existieren. Dieses ist bei der Projektierung durch die Berücksichtigung eines Freibords von 30 cm auf die Energielinie einkalkuliert worden. Diese Grössenordnung wird als plausibel erachtet.

## Hintergräben

Die hydraulischen Untersuchungen an den Hintergräben basieren auf der empirischen Festlegung von Rauigkeitsbeiwerten. Da diese Beiwerte a priori nicht exakt bestimmbar sind, birgt dieses Vorgehen eine gewisse Unsicherheit. Problematisch ist hierbei, dass keine näheren Angaben zu den Abflüssen vorhanden sind, so dass eine Eichung des Modells nicht möglich war. Auch wenn an den Hintergräben die Hochwasserspuren nach dem Ereignis 2005 aufgenommen worden sind, so ist auch hier eine Überprüfung des hydraulischen Modells ohne bekannte Wassermengen nicht möglich. Eine grobe Angabe existiert gemäss den Ausführungen des Anhangs E des technischen Berichts für den rechten Hintergraben ( $Q=60 \text{ m}^3/\text{s}$  im Bereich des Hänggelgiessen), der während des Hochwassers 2005 deutlich stärker belastet wurde als der linke Hintergraben. Die Nachrechnung des Ereignisses ergab eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messung für einen etwas geringeren Wert ( $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Aufgrund der Tatsache, dass die Plausibilität des Modells bei den Hintergräben nur begrenzt überprüft werden kann, verbleiben bei den Hintergräben Unsicherheiten, die nur über ein Monitoringprogramm eingrenzbar wären. Das Ereignis 2005 hat vorhandene Schwachstellen am System des rechten Hintergrabens aufgezeigt. Ein Vergleich der projektierten Massnahmen im Bereich des rechten Hintergrabens mit den bekannten Schwachstellen sollte im weiteren Verlauf des Projektes erfolgen.

## 5. Massnahmen am Escherkanal

### 5.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden die geplanten Massnahmen am Escherkanal beurteilt. Vorher wird jedoch auf einen Punkt eingegangen, der aus den MORMO-Berechnungen der „IG HWS Linth-Escherkanal“ resultiert. Für alle betrachteten Szenarien konnte eine Erosionstendenz am oberen Modellrand (ca. km 6.5) festgestellt werden. Die Grössenordnungen dieser Erosionen variieren je nach betrachteter Variante zwischen wenigen Dezimetern bis zu gut einem Meter. Für das zukünftige Szenario eines grösseren Geschiebedefizits (siehe Abschnitt 3) würden die Berechnungsergebnisse vermutlich noch grössere Werte liefern. Diese Tendenzen wurden auch für den Ist-Zustand berechnet und sind daher nicht in direktem Zusammenhang mit den geplanten Massnahmen zu sehen. Ursache dieses Phänomens könnte in der Modellierung der Anfangsbedingungen liegen und somit keine direkten Konsequenzen für das Projekt besitzen. Nichtsdestotrotz wurden leichte Erosionstendenzen (ca. 50 cm, Abb. 5.4 technischer Bericht) in diesem Bereich auch in der Natur beobachtet (Vergleich Vermessung 1939 und 2000). Eine entsprechende Berücksichtigung der Einbindetiefen des Uferschutzes, ist deshalb bei der fortlaufenden Projektierung zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sei daher noch einmal auf die Wichtigkeit der periodischen Aufnahmen der Sohlenlage hingewiesen, die erlauben etwaige Erosionstendenzen zu erkennen und zu begegnen.

### 5.2 Escherkanal: Hochwasserentlastung Kundertriet

Im Bereich Kundertriet ist eine linksseitige, innenliegende Dammverstärkung geplant. Um die Kapazität des Gerinnes zu gewährleisten, ist daher für Abflüsse grösser als etwa  $380 \text{ m}^3/\text{s}$  eine rechtsseitige Entlastung ins Kundertriet vorgesehen. Gemäss den Angaben des Anhangs D des technischen Berichts wurde die Bemessung dieser seitlichen Entlastung anhand hydraulischer Berechnungen mit HEC-Ras durchgeführt. Dieses eindimensionale Programm eignet sich für eine grobe Vordimensionierung der Entlastungsanlage, kann jedoch nicht die vorhandenen dreidimensionalen Fliessverhältnisse reproduzieren. Im Wesentlichen entstehen Unsicherheiten aus den folgenden Gegebenheiten:

- Anspringpunkt und Kapazität der Entlastung hängen im Wesentlichen von den lokalen hydraulischen Verhältnissen ab. Die dem Programm HEC-Ras zugrunde gelegte Annahme einer eindimensionalen Anströmung ist aufgrund der aus der Dammsanierung vorhandenen Gerinneverengung, 75 m oberhalb der seitlichen Entlastung, nicht mehr gewährleistet.
- Die Kapazität einer Entlastungsanlage hängt stark vom Überfallbeiwert ab, der jedoch schwierig bestimmbar ist. Eine Beurteilung des für die Projektrechnung verwendeten Überfallbeiwerts ist aufgrund fehlender Angaben nicht möglich. Zudem wird davon ausgegangen, dass der Überfallbeiwert entlang des seitlichen Entlastungsbauwerks konstant ist. Diese Annahme entspricht nicht der Realität, da der Anströmwinkel entlang des Überfalls ändert. Daher sind Berechnungsverfahren, die auf einem konstanten Überfallbeiwert basieren, prinzipiell nur für eine Grobdimensionierung zweckmässig.
- Es existieren keine Angaben zur genauen Konfiguration des Überfalls. Neben der Ausbildung der Überfallkrone (Überfallbeiwert) ist auch das Gefälle des Überfalls im Verhältnis zum Wasserspiegelverlauf von Bedeutung für den Anspringpunkt und die Wirksamkeit des Entlastungsbauwerks.
- Bei einem Korndurchmesser des laufenden Geschiebes von  $d_m=2.5$  cm und Abflüssen die kleiner sind als die für das Aufbrechen der Deckschicht notwendige Belastung, ist die Bildung von Dünen nicht komplett auszuschliessen. Dieses würde eine Erhöhung der Rauigkeit der Sohle und somit einen früheren Anspringpunkt der Entlastung bewirken.
- Die Bemessung erfolgt unter der Annahme einer fixen Sohlenlage. Eine sich verändernde Sohlenlage wirkt sich direkt auf Anspringpunkt und Wirksamkeit der Entlastungsanlage aus. Insbesondere im Entlastungsfall können lokale Sohlenveränderungen möglich sein.

Aufgrund der Tatsache, dass sich im Bereich der seitlichen Entlastung kein Sohlenfixpunkt befindet, erfordert der letzte der aufgelisteten Punkte eine nähere Betrachtung. Ablagerungen im näheren Bereich des Überfallbauwerks sind aufgrund zweier Mechanismen möglich. Durch ein seitliches Abführen von Wasser sinkt im unterwasserseitigen Gerinne die Transportkapazität. Dieser Umstand wurde im Auflageprojekt mittels einer hydraulischen Simulationsrechnung (MORMO) berücksichtigt und es zeigte sich, dass unter der Annahme der berechneten Entlastungsmengen kein Einfluss auf die Sohlenlage im Bereich des Überfallbauwerks feststellbar war. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass diese Rechnung auf den Ergebnissen der hydraulischen Bemessung des Überfalls beruht. Demzufolge werden die Unsicherheiten in der Hydraulik des Bauwerks auf die Berechnungen bezüglich der Geschiebeablagerungen übertragen.

Langjährige Erfahrungen aus Modellversuchen an der VAW haben zudem gezeigt, dass unter gewissen Umständen lokale Ablagerungen auf der dem Entlastungsbauwerk gegenüberliegenden Seite beobachtet werden können, die sich auf Sekundärströmungen zurückführen lassen. Diese Ablagerungen und ihre möglichen Konsequenzen auf das Entlastungsbauwerk und auf die Gerinnekapazität lassen sich mittels der verwendeten Methoden nicht erfassen.

Neben der hydraulischen Wirksamkeit der seitlichen Entlastung besteht eine wesentliche Anforderung an den Widerstand des überströmten Dammes gegen Erosion. Auch wenn die Kenngrößen in Abb. 8.11 des technischen Berichts sowie im Plan 1-2-2-110 dargestellt ist, sind genauere Angaben über die in diesem Zusammenhang zu erbringenden Nachweise im Auflageprojekt nicht enthalten. Eine genaue Bemessung (siehe z.B. [2]) ist daher im weiteren Fortgang des Projekts sicherzustellen.

Aus Gründen der Vermeidung ungewollter Schäden im Entlastungsgebiet sowie zur Gewährleistung der Funktionalität des Rückführungsbauwerks (vollkommener Überfall bzw. Rückstau) ist eine Betrachtung der Kapazitäten der Überflutungsfläche notwendig. Diesbezüglich fehlen detaillierte Angaben im Auflageprojekt. Eine grobe Abschätzung anhand der Karte „Linthebene“ der Landestopographie (Massstab 1:25000) ergibt eine Entlastungsfläche von etwa 65'000 m<sup>2</sup>. Ein Vergleich mit dem berechneten Entlastungsvolumen von 700'000 m<sup>3</sup> zeigt, dass das Ausschöpfen der Kapazitäten der Entlastungsfläche sowie eine schadlose Ab- und Rückführung des Wassers näher betrachtet werden müssen. Den Ausführungen im Auflageprojekt kann entnommen werden, dass ein Teil zurück in den Escherkanal geführt werden soll, ein anderer Teil des Wassers über den Rütelibach abgeführt werden soll. Die geplanten Massnahmen betreffend einer Rückführung des Wassers in den Escherkanal sehen eine Dammscharte vor, analog zum Entlastungsbauwerk (unterschiedliche Koten). Die Abflussmenge im Rütelibach soll durch ein Durchlassbauwerk begrenzt werden, über dessen genauere Ausbildung keine genaueren Angaben gemacht werden. Zusätzlich fehlen Angaben über die Hydraulik des Spinnereikanals und etwaiger Korrelationen zwischen den Hochwassern des Escherkanals und des Spinnereikanals/Rütelibachs. Dieses kann von Bedeutung sein, da dieses kleinere Fließgewässer ebenfalls durch die Entlastungsfläche fließt. Auch fehlen Angaben, ob im Entlastungsfall die luftseitige Böschung des rechten Dammes des Escherkanals entlang der Entlastungsfläche gefährdet ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit den im Auflageprojekt durchgeführten Methoden lediglich eine Grobdimensionierung des Entlastungsbauwerks durchgeführt werden konnte. Die daraus resultierenden Unsicherheiten können zu Variationen bezüglich Anspringpunkt und Wirksamkeit der Anlage führen. Eine genaue Dimensionierung und Optimierung des Bauwerks bezüglich Länge und Konfiguration kann nur über eine Kombination aus dreidimensionalen numerischen Simulationsmodellen und physikalischen Modellversuchen erfolgen. Neben der Entlastung des Escherkanals ins Kunderriet sind genauere Überlegungen bezüglich der Rück- und Weiterführung des Wassers notwendig. In diesem Zusammenhang steht auch eine notwendige, nähere Betrachtung der Hydrologie des Spinnereikanals.

### 5.3 Escherkanal: Aufweitung Chli Gäsitschachen

Im Bereich Chli Gäsitschachen ist eine einseitige Aufweitung geplant. Neben ökologischen Aspekten hat eine Aufweitung vor allem Konsequenzen auf den Geschiebehalt eines Flussabschnittes. Wird in einem Flussabschnitt die Gerinnebreite vergrössert, so ist in der Aufweitung mit Sohlenveränderungen zu rechnen. Zusätzlich muss aufgrund der zu erwartenden Sohlenformen auch mit Kolken gerechnet werden, die insbesondere im Uferbereich und im Erweiterungs- sowie Verengungsabschnitt beachtet werden müssen. Neben den Auswirkungen in der Aufweitung selbst, sind je nach Randbedingungen auch Sohlenveränderungen im Ober- und Unterwasser der Aufweitung zu erwarten. Aufgrund der Tatsache, dass weder zu grosse Erosionen noch Auflandungen ausserhalb der Aufweitung erwünscht sind, wurden im Auflageprojekt die folgenden Massnahmen vorgeschlagen:

- Fixierung der Sohle oberhalb der Aufweitung
- Vorwegnahme der Ablagerungen in der Aufweitung (Sohlenversatz).

Das fachgerechte Ausführen dieser Massnahmen muss dabei unbedingt gewährleistet sein, um negative Auswirkungen bei der geplanten Aufweitung zu vermeiden. Für die Fixierung der Sohle oberhalb der Aufweitung ist eine 22 m lange Blockrampe vorgesehen (Plan 1-2-2-106). Eine zuverlässige Dimensionierung dieses Bauwerks wird jedoch als schwierig erachtet, da es sich im Beschleunigungsbereich der Aufweitung befindet. Aus diesen Gründen werden physikalische

Modellversuche empfohlen, um die Funktionsfähigkeit dieser Massnahme im Zusammenhang mit den Prozessen in der Aufweitung zu verifizieren. Ein weiterer Vorteil von Modellversuchen wäre eine Optimierung des Bauwerks hinsichtlich Konfiguration und Länge. Zusätzlich sind Modellversuche bezüglich der zu erwartenden Kolkstiefen von Interesse, um einen ausreichend tief fundierten Uferschutz bemessen zu können. Neben den Kolkstiefen in der Aufweitung sind dabei die lokalen Erosionen im Verengungsbereich von besonderer Bedeutung, da deren Grösse bei einseitigen Aufweitungen nur grob abgeschätzt werden kann.

Die Bemessung der Höhe des Sohlenversatzes ist abhängig von der effektiven Breite der Aufweitung. Aufgrund von Analogieschlüssen der Breite der Linth vor dem Bau des Linthwerks, sowie Überlegungen bezüglich der hydraulisch effektiv wirksamen Breite (Einwachsen von Kiesbänken) wurde von den Planern eine Gerinnebreite von 70 m zugrunde gelegt. Dieser Wert muss als Schätzwert betrachtet werden. Alle weiteren Berechnungen wurden jedoch auf der Basis des sich für diese Breite bildenden Sohlenversatzes getätigt. Daraus resultieren Unsicherheiten, die berücksichtigt werden müssen.

Zur Beurteilung des Verhaltens der Sohle mit und ohne Aufweitung wurden verschiedene Szenarien betrachtet. Die Plausibilität dieser Szenarien ist in Abschnitt 3 dargelegt, ihre Auswirkungen auf die Gerinnekapazität in der Aufweitung sind in Abschnitt 4 diskutiert.

Nicht betrachtet wurde das in Abschnitt 3 angesprochene Szenario eines Geschiebedefizits, welches aufgrund eines kompletten Ausschwemmens des Bergsturzmaterials der Sandalp in Zukunft möglich erscheint. Beobachtungen in Modellversuchen haben gezeigt, dass sich in Natur bei einem grösserem Geschiebedefizit ein Einzelgerinne ausbildet, dessen lokale Sohlenlage letztendlich massgebend für die Sohlenlage der angrenzenden Flussabschnitte ist.

Überraschende Ergebnisse liefert die Betrachtung der Hochwasserszenarien für die Projektgeometrie für einen Durchmesser von  $d_m=4.5\text{cm}$  (Bilder 19-21, Anhang D zum technischen Bericht). Gemäss der Darstellung des Bilds 21 wird demnach unabhängig vom Geschiebeeintrag sämtliches Material in der Aufweitung zurückgehalten. Trotz des nun im Unterwasser vorherrschenden Klarwasserabflusses und eines Abflusses, der grösser ist als der Widerstand der Deckschicht, werden jedoch keine Sohlenveränderungen prognostiziert. Die möglichen Gründe dieses Verhaltens sollten im weiteren Verlauf des Projekts näher betrachtet werden.

Die Überlegungen dieses Abschnitts zeigen wiederum die Bedeutung anhand von periodischen Vermessungen der Sohlenlagen im Escherkanal die Auswirkungen der vorhandenen Unsicherheiten zu kontrollieren.

#### 5.4 Brückenquerschnitte

Wie im Abschnitt 4 dieses Gutachtens erläutert, stellen die Brückenquerschnitte im Escherkanal kritische Punkt bezüglich der Abflusskapazität dar. Dieses Problem wird für die Molliserbrücke, das Linthbrüggli, der Chupferensteg und die Vrenelisbrücke im technischen Bericht des Auflageprojekts aufgegriffen. Es fehlen jedoch nähere Angaben über die Zukunft des Gäsistegs, auch wenn gemäss den Berechnungen dort ebenfalls ein Verklauungsrisiko vorhanden ist.

Für die Molliserbrücke sind eine Stahlschürze sowie eine Verkleidung der Brückenunterseite geplant. Diese Massnahmen sind sinnvoll, um das Verklauungsrisiko signifikant zu reduzieren. Als zusätzliche Massnahme ist ein Vorlandabtrag geplant. Nach Ausführung dieser Massnahme verbleibt eine Höhe über dem Vorland von etwa 2.30 m (Plan 1-2-2-114). Auch wenn die geplanten Massnahmen als sehr effektiv einzustufen sind, besteht aufgrund der relativ kleinen, lichten Höhe über dem Vorland ein Restrisiko. Eine Beobachtung der Brücke während eines Hochwassers mit etwaigen Sofortmassnahmen bei einer Verklauung, ist daher zu empfehlen. Die Höhe der

geplanten Schürze ist in der Detailskizze im Plan 1-2-2-114 richtigerweise mit einem ausreichenden Freibord auf die Energielinie versehen. Oberwasserseitig der Brücke muss durch den Damm oder einer Mauer in ausreichender Länge (Rückstau) sichergestellt sein, dass ein seitliches Ausbrechen verhindert wird.

Prinzipiell ist bei einem Einstau der Schürzen im Hochwasserfall mit einer höheren Belastung der Sohle zu rechnen. Dieses kann unter Umständen zu lokalen Erosionen im Brückenquerschnitt führen. Bei der weiteren Planung des Projekts ist dieser Mechanismus zu prüfen und gegebenenfalls in die Bemessung des Uferschutzes einzubinden.

Die gleichen Massnahmen, einer ausreichend hohen oberwasserseitigen Schürze im Zusammenspiel mit einem leichten Vorlandabtrag sind für das Linthbrüggli vorgesehen. Die prinzipiellen Anmerkungen, wie sie für die Molliserbrücke gemacht wurden, sind demnach auch für das Linthbrüggli gültig. Eine Diskrepanz ergibt sich zwischen den Angaben im technischen Bericht (Abschnitt 8.3.2, S.117) und dem zugehörigen Plan 1-2-2-115. Während im Bericht vom Einbau einer rund 100 cm hohen Schürze gesprochen wird, ist im Plan diese nur mit 80 cm vermerkt und entgegen der äquivalenten Massnahme an der Molliserbrücke nicht bis auf die Höhe der Energielinie hochgezogen. Auch wenn für den Überlastfall im Escherkanal mit einem Abfluss von  $550 \text{ m}^3/\text{s}$  gerechnet wird (im Plan ist das EQ mit  $680 \text{ m}^3/\text{s}$  angegeben), ist aus Sicherheitsüberlegungen die Schürze besser gemäss den Angaben im technischen Bericht auszuführen.

Für den Chupferensteg ist eine Anhebung der gesamten Brücke um 1 m geplant. Mit dieser Massnahme resultiert ein Freibord auf die Energielinie von 50 cm und es besteht eine ausreichende Sicherheit für die Ausbauwassermenge gegen Verklauung. Im Gegensatz zur Molliserbrücke und dem Linthbrüggli befinden sich die Brückenpfeiler im Gerinnequerschnitt. Wie die Ereignisanalyse des Hochwassers 2005 gezeigt hat, ist eine Gefährdung dieser relativ schlanken Brückenpfeiler durch Anprall des Holzes vorhanden. Auch kann Holz, das sich vor dem Brückenpfeiler ansammelt, dazu beitragen, dass sich der hydraulisch wirksame Pfeilerdurchmesser erhöht, was zu erhöhten Kolkerscheinungen führen kann. Diese können die Stabilität der Brücke gefährden. Langfristig ist zu überlegen, ob man die Brücke so konfiguriert, dass die Brückenpfeiler nicht im Gerinne stehen. Alternativ lässt sich die Stabilität auch über einen angemessenen Kolkschutz bzw. eine ausreichend tiefe Fundierung des Pfeilers gewährleisten.

An der Vrenelibrücke besteht zum jetzigen Zeitpunkt ein Manko in der Höhe von 105 cm, wenn ein Freibord von 50 cm auf die Energielinie zugrunde gelegt wird. Die Lage der Vrenelibrücke ist gekennzeichnet durch ihre unmittelbare, unterwasserseitige Nähe zum Ende der geplanten Aufweitung Chli Gäsitschachen (ca. 100 m). Am unteren Ende der Aufweitung ist als Massnahme geplant, den rechten Hochwasserschutzdamm überflutbar auszuführen (Plan 1-2-2-106) und das Wasser in eine Flutmulde zu leiten. Das Wasser soll dann in einem Hintergraben um den Brückenquerschnitt herumgeführt werden und unterhalb der Brücke dem Escherkanal wieder zugeführt werden. Neben den allgemeinen Schwierigkeiten eine seitliche Entlastung zu dimensionieren (Abschnitt 5.2), ist die hydraulische Berechnung der komplizierten Abflusskonfiguration im Verengungsbereich im Zusammenhang mit der geplanten Überflutung des rechten Hochwasserschutzdammes schwierig. Gemäss den Ausführungen im Plan 1-2-2-106 befindet sich im Bereich der Entlastung eine Buhne, welches die Bedingungen für die Berechnung weiter erschwert. In Abhängigkeit der Entlastungsmenge ist bei der Rückleitung in den Escherkanal zudem mit lokalen Kolken zu rechnen. Eine genaue Dimensionierung ist nur mittels einer dreidimensionalen numerischen Simulationsbetrachtung kombiniert mit einem physikalischen Modellversuch möglich.

Die Brücken im unteren Teil des Escherkanals (Autobahn, Eisenbahn) weisen kein Verklauungsrisiko auf. Für die Berechnung des zu erwartenden Kolkes muss jedoch beachtet werden, dass am Pfeiler hängendes Schwemmholz zu einem effektiv grösseren Pfeilerdurchmesser führen kann und somit vergrössernde Auswirkungen auf den Pfeilerkolk besitzen kann. Zudem ist

die Fortführung des linken Dammes oberhalb der Brücken geplant. Gemäss der Darstellung im Plan 1-2-2-107 ist dabei die Linienführung des Dammes so vorgesehen, dass eine gewisse Überflutung bei grossen Hochwasserereignissen (siehe Ereignisdokumentation Hochwasser 2005, Anhang E des technischen Berichts) aus ökologischen Gründen zugelassen wird. Bei der Dimensionierung des Kolksschutzes des am linken Gerinnerand platzierten Brückenpfeilers ist daher auf die zusätzlichen Belastungen aus der Rückströmung des überflutenden Gebiets zu achten.

## 6. Massnahmen am Linthkanal

### 6.1 Allgemeines

Ein wesentliches Kennzeichen des Linthkanals, der vom Walensee in den Obersee fliesst, ist der fehlende Geschiebeeintrag ins Gerinne. Profilaufnahmen aus den Jahren 1939, 1970 und 2000 zeigen, dass sich der Linthkanal abschnittsweise unterschiedlich eingetieft hat. Dieses wird unter anderem mit grössräumigen Setzungen (insbesondere im unteren Abschnitt) in Verbindung gebracht. Denkbar wäre jedoch auch eine Eintiefung aufgrund einer nicht ausreichenden Stabilität der Sohle. Eine quantitative Beurteilung des Einflusses dieser beiden Szenarien auf die Sohleintiefung wäre wichtig in Hinblick auf eine ausreichende Fundation des Uferschutzes. Dieses ist jedoch schwierig, da genauere Kenntnisse über die Zusammensetzung des Sohlmaterials fehlen. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Sohle des Escherkanals neu aufzunehmen. Dies würde eine Abschätzung möglich machen, da aufgrund des wenig lang zurückreichenden Zeitpunkts der letzten Vermessung (2000) der Einfluss der Setzungen vernachlässigbar klein wäre. Für die Sohleintiefung jedoch sollte ein Einfluss erkennbar sein, waren doch die Abflüsse beim Ereignis August 2005 relativ gross.

### 6.2 Aufweitung Hänggelgiessen

Aufgrund der Tatsache, dass mit keinen grösseren Geschiebeeinträgen zu rechnen ist, wird im Folgenden eine hydraulische Prüfung der Massnahme vorgenommen. Die Beurteilung der Gerinnekapazität erfolgte schon im Abschnitt 4 dieses Gutachtens.

Im Erweiterungsbereich der Aufweitung ist mit einer Beschleunigung des Abflusses zu rechnen. Um eventuellen Sohlenerosionen vorzubeugen, ist daher das Einbringen von groben Blöcken vorgesehen. Die hydraulische Berechnung mit HEC-Ras kann diesen Beschleunigungsprozess nicht simulieren, weswegen bei einer Dimensionierung der Blockrampe genauere Betrachtungen erforderlich sind. Durch das Einbringen der groben Blöcke wird der Fließwiderstand erhöht, was unter Umständen zu einer lokalen Erhöhung der Fliesstiefen und einer Verringerung der Gerinnekapazität führen kann.

Neben Kolkerscheinungen am oberen Ende der Aufweitung sind lokale Erosionsprozesse auch im Bereich des Beginns der neuen Flussschlaufe und am Ende der einseitigen Aufweitung (siehe Abschnitt 5.3) zu erwarten. Diese müssen bei der Gestaltung des Uferschutzes berücksichtigt werden.

## 7. Schlussfolgerungen

Die Analyse des gegenwärtigen Zustands des Linthwerks hat gezeigt, dass ein ausreichender Hochwasserschutz im Linth- und Escherkanal zum jetzigen Zeitpunkt nicht mehr gewährleistet ist. Es ist eine vollumfängliche Sanierung sowohl des Escherkanals als auch des Linthkanals notwendig. Das vorliegende Gutachten beurteilt die im Auflageprojekt dargestellten

wasserbaulichen Massnahmen für das Projekt „Hochwasserschutz Linth 2000“. Es wird im Folgenden eine Trennung der für das Auflageprojekt relevanten Aspekte von weiterführenden, notwendigen Untersuchungen durchgeführt.

#### **Wasserbauliche Beurteilung der Massnahmen des Auflageprojektes**

- Die Planer sind zweckmässig vorgegangen und haben die notwendigen Untersuchungen und Berechnungen durchgeführt. Mögliche Alternativen wurden studiert. Die gewählten Massnahmen sind aus wasserbaulicher Sicht angemessen.
- Wie häufig bei solchen Projekten ist die Datenlage vor allem in Bezug auf das Geschiebe und die damit verbundenen flussbaulichen Entwicklungen mit Unsicherheiten behaftet. Die Planer sind generell mit diesen Unsicherheiten vernünftig umgegangen.
- Aufgrund der gesamthaften Beurteilung der im Dossier „Auflageprojekt“ (Version 29.09.2005) enthaltenen Berichte und Pläne kann das Projekt „Hochwasserschutz Linth 2000“ aus wasserbaulicher Sicht aufgelegt werden.

#### **Weiterführende Untersuchungen sowie Empfehlungen**

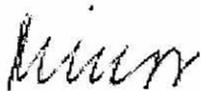
- Die im Auflageprojekt dargelegte Bemessung der wasserbaulichen Massnahmen im Escherkanal basiert auf plausiblen Szenarien bezüglich Menge und Zusammensetzung des während kleinerer und grösserer Hochwasserereignisse transportierten Geschiebes. Nichtsdestotrotz existieren Unsicherheiten dieser Grössen, die sich direkt auf die Schwierigkeit übertragen, die Entwicklung der Sohlenlage zu prognostizieren. Hinzu kommen Unsicherheiten, die auf die Idealisierungen der hydraulischen Modellierung zurückzuführen sind. Ausgehend von dieser Erkenntnis wird empfohlen, nach der Realisierung des Projekts die Entwicklung der Sohlenlage zu überwachen. Möglicherweise auftretenden Erosions- oder Auflandungstendenzen kann dann durch geeignete Projekteingriffe bzw. Unterhaltmassnahmen begegnet werden. Eine weitere Möglichkeit die Verlässlichkeit des Modells zu erhöhen und damit bestehende Unsicherheiten zu reduzieren, besteht in der Nachrechnung der Sohlenveränderungen im Zeitraum zwischen 1939 und 2000. In diesem Zusammenhang wird auch das Nachrechnen grösserer, in der Zukunft auftretender Hochwasserereignisse als sinnvoll erachtet, um mehr Sicherheit bei der Beurteilung der langfristigen Schutzfunktion des Escherkanals zu gewinnen.
- Die Erkenntnisse aus der Analyse des Hochwassers 2005 am Escherkanal erbrachten zusätzliche Unsicherheiten, die im Auflageprojekt berücksichtigt wurden. Um die Ursachen für die festgestellte Diskrepanz der Wasserspiegellagen im Modell und in der Natur eingrenzen zu können, ist insbesondere eine Überprüfung der während des Ereignisses gemessenen Abflussspitze an der Messstation Mollis durch die Landeshydrologie notwendig. Zusätzlich wird empfohlen, die im Anschluss an das Hochwasser 2005 aufgenommenen Querprofile mit denen aus dem Jahr 2000 sowie mit den Modellrechnungen zu vergleichen.
- Die Aufweitung Chli Gäsitschachen ist grundsätzlich mit den vorgesehenen Begleitmassnahmen durchführbar. Die im Auflageprojekt dargelegte Bemessung basiert dabei auf plausiblen Szenarien. Zusätzlich zu den schon genannten Unsicherheiten bezüglich Menge und Zusammensetzung des Geschiebeeintrags ist ein wesentlicher Parameter die sich einstellende effektive Flussbettbreite. Die regelmässige Aufnahme von Querprofilen bietet daher die Möglichkeit neben den Sohlenlagen auch die tatsächliche Breitenentwicklung in der Aufweitung zu beobachten und zu bewerten.

- Neben einer Überwachung der Sohlenlage, wird zudem empfohlen, vor der Umsetzung des Projekts wasserbauliche Modellversuche durchzuführen. Diese bieten die Möglichkeit, die wesentlichen Begleitmassnahmen wie etwa die vorgesehene Blockrampe oberhalb der Aufweitung hinsichtlich ihrer wasserbaulichen Funktionalität zu testen und zu optimieren. Des Weiteren kann anhand dieser Versuche die Entlastung über die geplante Flutmulde bei der Vrenelisbrücke untersucht und optimiert werden.
- Anhand der bestehenden Untersuchungen kann die Wirkungsweise der seitlichen Entlastung des Kundertriets nur näherungsweise nachgewiesen werden. Im weiteren Verlauf des Projekts ist zudem die Entwässerung des Kundertriets zurück in den Escherkanal sowie über einen Auslass in den Rütelibach näher zu betrachten. In diesem Zusammenhang fehlt zudem eine Beurteilung der anfallenden Wassermengen aus dem Spinnereikanal/Rütelibach. Es wird daher empfohlen, die seitliche Entlastung sowie die Rückführung in den Escherkanal anhand von wasserbaulichen Modellversuchen näher zu untersuchen. Diese können dazu dienen, bestehende Unsicherheiten zu reduzieren, sowie die notwendigen Baumassnahmen zu optimieren.
- Eine Aufnahme und Analyse der Querprofile im Linthkanal im Nachgang zum Hochwasserereignis 2005 könnte die Ursachen der beobachteten, abschnittswisen Sohleneintiefungen eingrenzen. Diese Analyse wäre in Hinblick auf die Prognose weiterer Tendenzen zu empfehlen, mit denen eine hinreichend tief fundierte Dimensionierung des Uferschutzes gewährleistet werden könnte.
- Aufgrund der Schwierigkeiten der Modelleichung oder –überprüfung an den Hintergräben wird empfohlen, Untersuchungen durchzuführen, die zu mehr Klarheit im Zusammenhang mit der Hydraulik der Hintergräben führen.

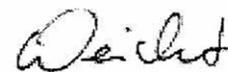
## 8. Literatur

- [1] Eidgenössische Linthverwaltung 2001: Hochwasserschutzkonzept Linth 2000, Situations- und Gefahrenanalyse
- [2] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 90, 2004

Zürich, 23.11.2005



Prof. Dr. H. E. Minor  
Direktor



R. Weichert  
Leiter der Abteilung Flussbau