Geotechnische und allgemeine Grundsätze zur Realisierung von Hochwasserschutzdämmen am Beispiel des Projekts Hochwasserschutz Linth 2000 [1]

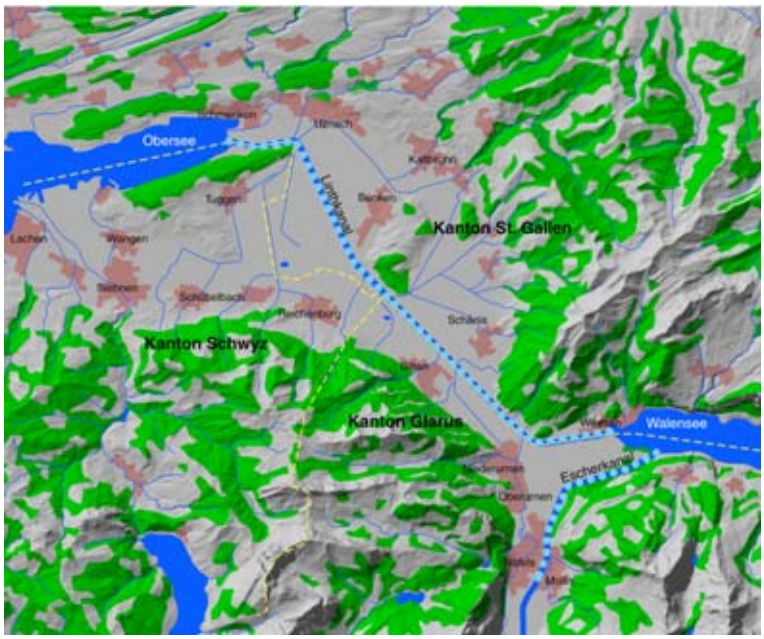
Markus Jud, Linthingenieur

1. Einführung

1.1 Das System des Linthwerks

Das Linthwerk, bestehend aus Escher- und Linthkanal und diversen Nebengewässern, ist ein technisch hoch komplexes System, das den Erbauern vor bald 200 Jahren ein hervorragendes Zeugnis ausstellt. Es ist in seiner Konzeption von nationaler Bedeutung und ermöglichte erst die Entwicklung der Linthebene.

Mit dem Linthwerk wird das Wasser der Glarner Linth in den Walensee umgeleitet (Escherkanal); der Walensee selber dient als Retentionsbecken und Geschiebesammler. Der Linthkanal entwässert – vereinfacht dargestellt – den Walensee in den Obersee (Zürichsee).



© swisstopo 2006

Abb. 1: Das Linthwerk (hellblau punktiert) umfasst den Escherkanal zwischen Näfels/Mollis und dem Walensee und den Linthkanal zwischen Walen- und dem Obersee (Zürichsee) mit ihren jeweiligen Binnenkanälen (Hintergräben). Der Perimeter des Linthwerks umfasst Teile der Kantone Glarus, St. Gallen und Schwyz. Der Kanton Zürich ist ebenfalls am Linthwerk beteiligt.

[1] Autorenbeitrag der Gemeinschaftstagung Berner Fachhochschule und Bau und Wissen, Burgdorf, 14. März 2006 (Tagung Nr. 854471)

Escher- und Linthkanal sowie die Binnenkanäle (Hintergräben) verfügen je über ein eigenes Abflussregime. So bringt ein Hochwasser hier nicht notwendigerweise ein Hochwasser dort. Der Escherkanal ist ein typischer Gebirgsfluss, gekennzeichnet durch kurze und intensive Hochwasser sowie Geschiebe- und Schwemmholzfracht. Der Walensee dämpft die Hochwasserspitze seiner Zuflüsse, daher ist die Abflussspitze im Linthkanal kleiner aber deutlich länger als im Escherkanal. Der Linthkanal hat geschiebefreien Abfluss.

Abb. 2: Das System an seiner Belastungsgrenze. Das Bild vom Maihochwasser 1999 zeigt das komplexe System des Linthwerks mit seinen drei hydraulischen Stockwerken. Der Linthkanal ist flankiert von den beiden tieferliegenden Hintergräben. Im Vordergrund verläuft der noch tiefer liegende Meliorationskanal.

Das Linthwerk ist aber nicht nur ein technisches Bauwerk. Es garantiert ebenso den Bestand von Gewässerlebensräumen (Wasser, Auen, Ried) und die Funktion der ganzen Entwässerungen in der Linthebene (Hauptvorfluter für Meliorationswerke). Schliesslich ist das Werk mit seiner markanten Geometrie ein wesentlicher Bestandteil der Landschaft.

Das Linthwerk wird seit bald 200 Jahren als grundsätzlich selbsttragendes Unternehmen geführt, welches nur in aussergewöhnlichen Fällen Subventionen erhält. Der laufende Unterhalt und kleinere Bauvorhaben konnten und können durch eigene Einnahmen finanziert werden. Die ganzen Hochwasserschutzanlagen und grosse Flächen am Walensee sind im Eigentum des Linthwerks; auch hat das Linthwerk das Recht, Konzessionen zu erteilen.

Die Rechtsform des Linthwerks musste im Hinblick auf die zu erwartenden Erneuerungsarbeiten den heutigen Erfordernissen angepasst werden. Auf den 1. Januar 2004 wurde das Linthwerk in ein interkantonales Konkordat (Interkantonale Vereinbarung) überführt. Das Werk steht neu unter der Oberaufsicht der Regierungen der Vereinbarungskantone Glarus, Schwyz, St. Gallen und Zürich. Die Linthkommission ist das oberste Organ des Linthwerks; die Linthverwaltung besorgt die Geschäftsführung.

1.2 Problematik

Die Abflusskapazitäten der Haupt- und Nebengerinnne sind grundsätzlich genügend. Problematisch ist heute jedoch der Stabilitätszustand der Dämme über weite Abschnitte.

Die Anforderungen an die Hochwasserschutzdämme sind insbesondere beim Linthkanal besonders hoch. Aufgrund der abflussdämpfenden Wirkung des Walensees sind beim Linthkanal die Hochwasserschutzdämme während Tagen hohen Belastungen ausgesetzt. Hinzu kommt, dass die Gewässer auf individuell berechneten Niveaus verlaufen. Das Flussbett des Linthkanals liegt im Unterlauf sogar über der umliegenden Ebene, so dass die Vorfluter in diesem Abschnitt nicht mehr in das Hauptgerinne entwässern können. Der Linthkanal folgt über weite Strecken nicht dem ursprünglichen Flusslauf, so dass die Untergrundsverhältnisse immer wieder ändern.

Diese aussergeöhnliche Charakteristik ergibt sich aus der Baugeschichte des Linthwerks. Im Vordergrund standen damals die Entwässerung der oberen Linthebene und der Gebiete am Walensee (Melioration) sowie die Schiffbarkeit des Kanals. Diese damals sicher berechtigten Anforderungen führten bei den geringen Gefällsverhältnissen zwischen Walen- und Obersee zu einem gestreckten Kanal. Dieser Kanal quert immer wieder alte Flussläufe aber auch setzungsempfindliche Sumpfablagerungen und hat ein weitgehend einheitliches Längsgefälle. Aber auch der Escherkanal verläuft ausserhalb des ursprünglichen Flussbetts und quert ebenfalls alte Linthläufe. Das System ist fein austariert, so dass der Handlungspielraum heute eng begrenzt ist.

Abb. 3: Alter Linthlauf und projektierter Kanal bei Mollis. Plan von H. J. Frey, 1807.

1.3 Projekt „Hochwasserschutz Linth 2000“

Die Dringlichkeit der Linthsanierung ist unbestritten. Das Hochwasserereignis vom Mai 1999 (Linthkanal) sowie das jüngste Hochwasser vom August 2005 (Escherkanal, Linthkanal und rechter Hintergraben) zeigten die Schwachstellen des Linthwerks auf. Nur mit grossem Einsatz, aber auch mit Glück, konnten Dammbrüche vermieden werden. Ganze Abschnitte weisen rechnerische Sicherheiten um 1.0 auf (vgl. Abb. 4).

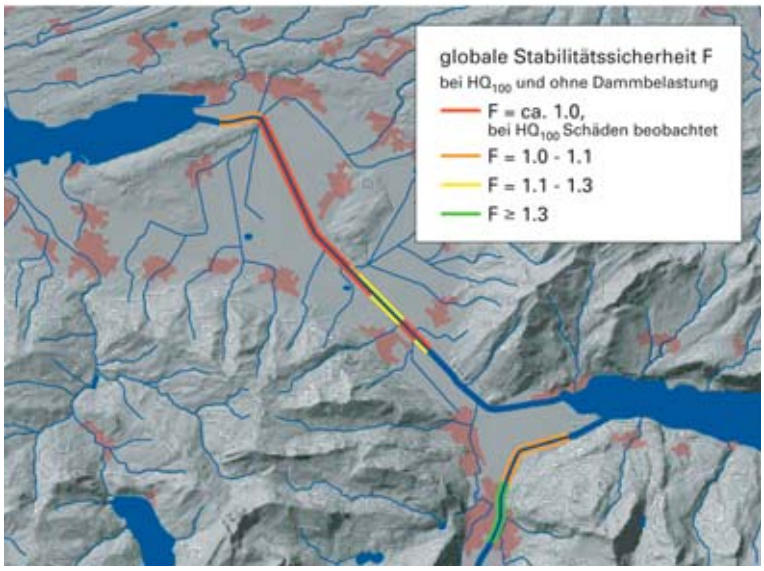
Die Linthkommission erkannte bereits Ende 1998, dass ein langfristiger Schutz nur mit einer Gesamtsanierung gewährleistet werden kann. Nach rund sieben Jahren intensiver Planung wurde das entsprechende Auflageprojekt „Hochwasserschutz Linth 2000“ (Linth 2000) im Oktober 2005 öffentlich aufgelegt. Die Erkenntnisse aus dem jüngsten Hochwasserereignis vom August 2005 sind ebenfalls in das Projekt eingeflossen.

Ziel des Projekts Linth 2000 ist der Schutz der Ebene zwischen Näfels/Mollis (Kanton Glarus) und dem oberen Zürichsee (Kantone St. Gallen und Schwyz) vor Überschwemmungen, insbesondere vor Dammbrüchen. Das Projekt umfasst die Sanierung von Dämmen, die Verminderung von Gefahren bei Brücken und Massnahmen für die Erhaltung und Verbesserung von Lebensräumen.

Von den insgesamt **23 km Kanallänge** werden zirka **12 km** (d.h. rund 50%) einer eigentlichen Sanierung unterzogen (vgl. Abb. 5). Die Dämme werden hier mit einem Auflastfilter verstärkt bzw., bei geometrisch einengenden Randbedingungen, gänzlich neu aufgebaut (Materialersatz). Rund **2,5 km** Flusslauf werden aufgeweitet (Aufweitungen, Entfernung von Uferlängsverbau), vielfach in Kombination mit Hochwasserschutzmassnahmen. Durch die Aufweitungen und ähnliche Massnahmen kann das Linthgebiet auch als Lebensraum für Pflanzen und Tiere aufgewertet werden. Zusätzlich wird der bestehende Kanal für die Naherholung wesentlich attraktiver.

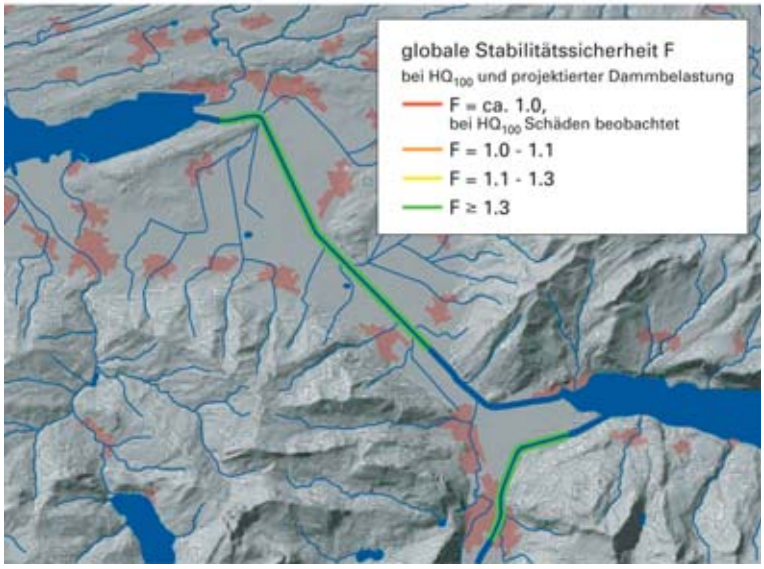
Das Auflageprojekt rechnet mit einer Bauzeit von rund 10 Jahren und mit Gesamtkosten von 94 Mio. Franken.

Nicht alle Probleme können im Rahmen des Wasserbauprojekts Linth 2000 gelöst werden. Mit einem **Entwicklungskonzept** für die Linthebene sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, dass die beabsichtigten Wirkungen von Linth 2000 (Hochwasserschutz und Erhalt und Verbesserung von Lebensräumen) ausserhalb des eigentlichen Linthperimeters unterstützt und ergänzt werden. Für die Schnittstellen zwischen Landwirtschaft und Linthsanierung (Landerwerb, Landumlegung, Entwässerung usw.) wurde zudem in einem Gebiet von rund 1000 ha eine **landwirtschaftliche Planung** durchgeführt (Landw. Vorprojekt Benken Plus).



© swisstopo 2006

Abb. 4: Darstellung der globalen Sicherheitsfaktoren F der Hauptdämme am Escher- und Linthkanal, heutiger Zustand **vor** der Sanierung.



© swisstopo 2006

Abb. 5: Darstellung der globalen Sicherheitsfaktoren F der Hauptdämme am Escher- und Linthkanal, zukünftiger Zustand **nach** der Sanierung.

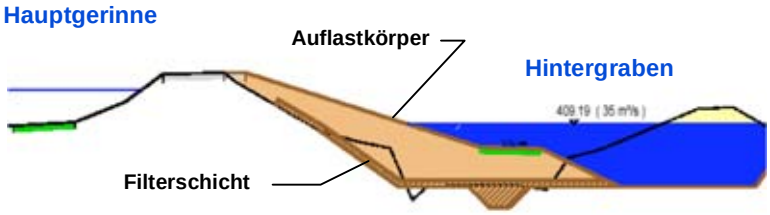


Abb. 6: Prinzipskizze der gewählten Sanierungsmethode „Auflastfilter“. Diese Methode hat den Vorteil, dass das Grundwasser nicht betroffen ist.

2. Erkenntnisse aus den Hochwasserereignissen 1999 und 2005

2.1 Allgemeine Feststellungen

Hochwasserereignisse sind Grossversuche im Massstab 1:1: Das System wird belastet und die Schwachstellen kommen zum Vorschein. Dabei handelt es sich um Schwachstellen sowohl an den eigentlichen Hochwasserschutzanlagen als auch in der Gesamtkonzeption des Werks.

Die beobachteten Schadensbilder sind allgemein bekannt und bestätigen, dass eine Sanierung dringend notwendig ist. Nicht vorhersagbar ist aber, wo diese Schadensbilder bei einem nächsten Hochwasser auftreten werden. So sind beim Hochwasser 2005 am Linthkanal bei einem mittleren Abfluss (HQ_{20}) an Stellen Damminstabilitäten aufgetreten, an denen beim Jahrhunderthochwasser 1999 nur lokale Wasseraustritte festgestellt wurden. Eine punktuelle Sanierung der aufgetretenen Schwachstellen ist daher wenig sinnvoll. Bis zum Abschluss der Gesamtsanierung muss mit einer guten Notfallplanung das vorhandene Sicherheitsdefizit überbrückt werden. Auch sind kritische Abschnitte dauernd zu überwachen (Monitoring).

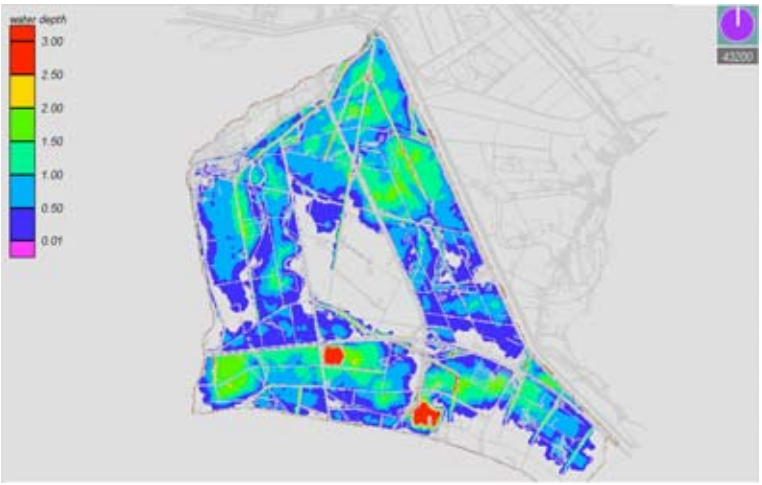


Abb. 7: Die Überflutungsmodellierung zeigt deutlich, dass im Falle eines Dammbruchs grosse Teile der Linthebene überflutet würden.

Abb. 8: Schadstelle Linthkanal, Hochwasser 1999: Szenario für obige Überflutungsmodellierung.

2.2 Schadensbilder an den Hochwasserschutzdämmen

Die festgestellten Schadensbilder können generell in drei Kategorien eingeteilt werden.

Grundbrucherscheinungen im luftseitigen Fussbereich der Dämme

An Stellen, wo der Dammuntergrund aus kiesig-sandigem Material besteht, mussten während den Hochwasserereignissen Dammsicherungen mit Steinvorlagen und/oder Auflastfiltern ausgeführt werden. Dies war vor allem auf Gerinneabschnitten der Fall, wo der heutige Linthkanal verästelte, kiesreiche alte Linthläufe quert.

An diesen Stellen entstand ein hydraulischer Kurzschluss zwischen Linthbett und dem Linthschotter (Grundwasserträger). Dies führte wiederum zu hydraulischen Grundbrucherscheinungen, besonders nach dem beobachteten raschen Absinken der Hintergrabenspiegel (Potenzialdifferenz Wasserspiegel). Über dem Linthschotter liegen zudem Überschwemmungssedimente, welche vornehmlich aus stark grundbruchgefährdetem Sand bestehen.

Während dem Hochwasserereignis 1999 konnten Aussandungen festgestellt werden, welche auf eine innere Erosion hinweisen. Beim Hochwasser 2005 kam es auf der Luftseite des Dammes zu eigentlichen Wasseraufstössen.

Einzelne Dammrisse sind auch infolge grossen Porenwasserüberdruck, verursacht durch den schnellen Wasserabfall im Hintergraben, entstanden.

Abb. 9: Grundbrucherscheinungen mit Böschungsfussrutschungen am Hauptdamm des Linthkanals während dem Hochwasser 1999

Abb. 10: Aussandungen im Hintergraben während dem Hochwasser 1999.

Stetige und über einen längeren Zeitraum stattfindende Aussandungen können aufgrund der inneren Erosion auch zu einem statischen Grundbruch führen (Hohlraum unter Damm).

Abb. 11: Wasseraufstoss am Rand des Hintergrabens während dem Hochwasser 2005 (ohne Materialaustrag): Anzeichen eines hydraulischen Grundbruchs.

Abb. 12: Wasseraufstoss im Vorland des Hintergrabens während dem Hochwasser 2005 (ohne Materialaustrag): Anzeichen eines hydraulischen Grundbruchs.

Die geologischen Untergrundverhältnisse korrelieren gut mit den beobachteten Schadstellen. Dort wo der Kanal kiesige Zonen quert (rosa / grün) besteht ein erhöhtes Dammbruchrisiko.

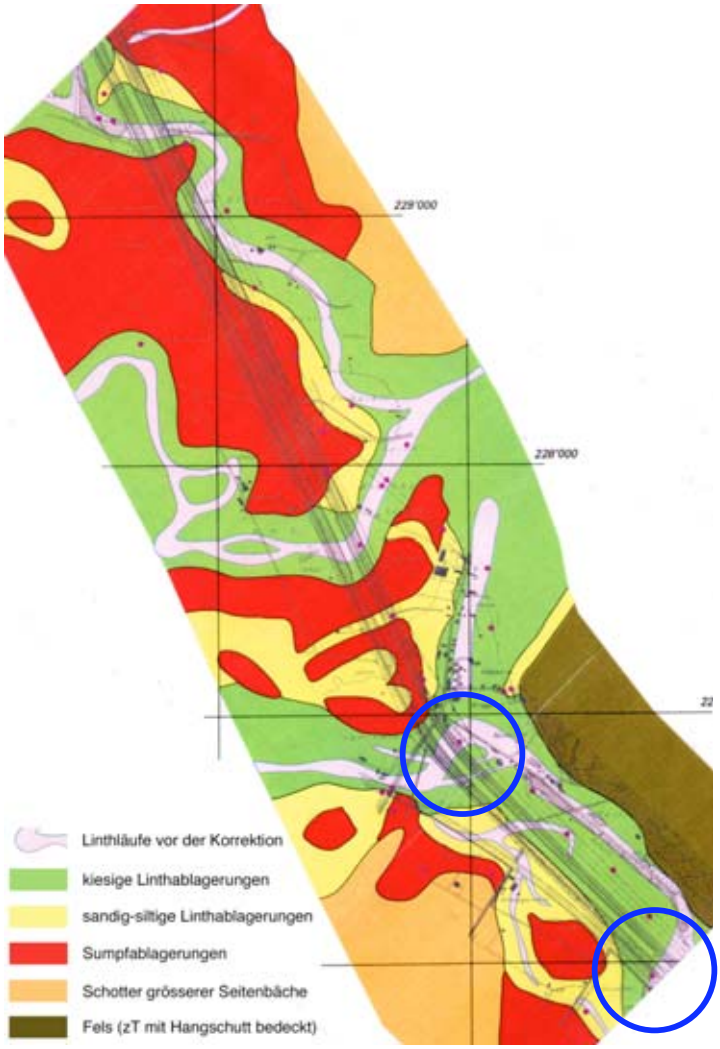


Abb. 13: Geologische Baugrundkarte . Die Lage der festgestellten Schadstellen (schematisch dargestellt als blaue Kreise) korreliert gut mit der Lage der ehemaligen Linthläufe.

Durchsickerungen im Dammkörper mit oder ohne Materialausschwemmung

Die Dämme des Linthwerks wurden seinerzeit aus dem anstehenden Material geschüttet. Eine den heutigen Anforderungen entsprechende Verdichtung dieser Schüttungen war nicht möglich. Auch sind die Dämme ohne dichtenden Kern ausgebildet. Das Schadensbild der Durchsickerungen des Dammkörpers konnte denn auch beim Hochwasser 1999 mehr oder weniger über den gesamten Abschnitt beobachtet werden.

Bedingt durch das langanhaltende Hochwasser bildeten sich durchgehende Sickerströme (Vernässungen und Hangquellen), welche jedoch nirgends zu nennenswerten Ausschwemmungen von Feststoffen führten. Einzelne Stellen wurden mit Sandsackauflasten stabilisiert.

Interessant waren während dem Hochwasser 2005 die Schadensbilder am Damm des Hintergrabens. Auf einer Länge von ca. 150 m wurden an mehreren Stellen Wasseraustritte mit Materialausschwemmungen beobachtet. Die Lage der Hangquellen entspricht der Materialgrenze zwischen dem ursprünglichen Terrain und der Dammschüttung.

Überströmung der Dämme

Beim Hochwasser 2005 ist der Damm des Hintergrabens im Bereich einer Senke (Setzung über Mächtigen Überschwemmungsablagerungen) auf einer Länge von wenigen Metern überströmt worden. Aller Wahrscheinlichkeit nach verhinderte die Grasnarbe eine Erosion auf der Luftseite des Dammes.

Abb. 14: Beim Damm des rechten Hintergrabens sind die beiden Schadensbilder „Überströmen des Dammes“ und „Durchsickerung Damm mit Materialausschwemmung“ gut sichtbar.
Nicht sichtbar sind die ebenfalls festgestellen hydr. Grundbrucherscheinungen („Wasserkissen“ bei intakter Grasnarbe).

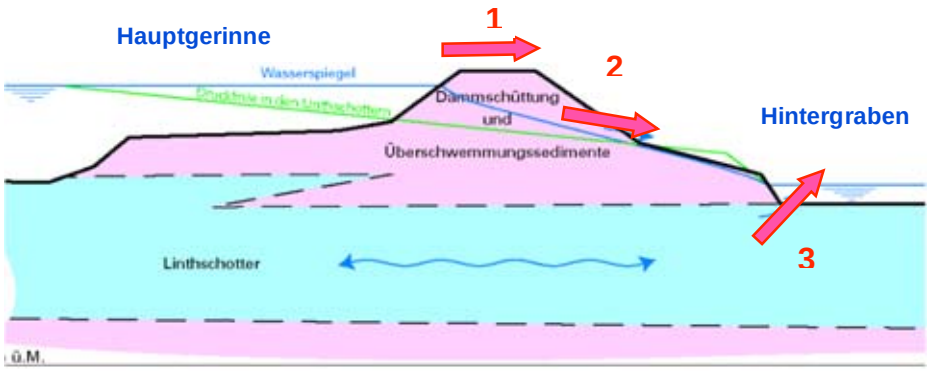


Abb. 15: Typischer Schnitt durch den Damm des Linthkanals mit den drei möglichen Schadensbildern:
1) Überströmen des Dammes;
2) Durchsickerung Damm mit Materialausschwemmung.
3 hydr. Grundbrucherscheinungen

2.3 Zugänglichkeit

Mit den heute verfügbaren technischen Mitteln und einer guten Notfallplanung kann innert kurzer Zeit viel erreicht werden. Damit aber am oder auf dem Damm bauliche Massnahmen getroffen werden können (sei es im Zuge der Gesamtsanierung oder im Notfall), muss er mit Baumaschinen gut und schnell erreichbar sein.

Während dem Hochwasser 1999 wurde klar, dass diese Zugänglichkeit auf weiten Strecken nicht gewährleistet ist. Die Dämme selber sind aufgrund der schmalen Dammwege mit den heutigen Lastwagen nur noch beschränkt befahrbar. Im Hochwasserfall mussten die Dämme zudem für alle Fahrzeuge gesperrt werden. Von der Luftseite her können die Dämme über ganze Abschnitte weder mit Baumaschinen zu Lande (vernässtes Land, weiche Böden, Hintergräben, Meliorationskanäle) noch mit Helikoptern aus der Luft (Hochspannungsleitungen) erreicht werden. Vielfach konnten nur behelfsmässige Mittel wie z.B. Sandsackauflasten oder Förderbänder eingesetzt werden.

Im Rahmen der Akutmassnahmen (Notmassnahmen) mussten beim Linthkanal bei jedem Hochwasserereignis längere Baupisten erstellt werden. Dies braucht sehr viel Zeit, und erhöht so die Gefahr eines Dammbruchs. Als eine der ersten Sofortmassnahmen wurde deshalb bereits während dem Hochwasserereignis 1999 ein Erschliessungskonzept für den unteren Abschnitt des Linthkanals erarbeitet.

Im Nachgang zum Hochwasserereignis 1999 wurde der Zugang zu den als kritisch bezeichneten Abschnitten am Linth- und Escherkanal mit dem Bau von zwei rund 1300 m bzw. 200 m langen Baupisten gewährleistet. Die Baupisten sind grössstenteils überhumusiert und mussten daher in einen Ausführungsplan eingetragen werden. Im Notfall, d.h. bei einem nächsten Hochwasser, können schwere Baumaschinen ohne grosse Verzögerung (lediglich Abhumusieren) direkt auf dem vorhandenen Koffer an den Hintergraben, bzw. Damm fahren.

Abb. 16: Hochwasser 2005, Baupiste entlang rechtsseitigem Hintergraben, geschütteter Auflastfilter.

Abb. 17: Hochwasser 2005, Akutmassnahmen bei den Schadstelle von Abb. 11 und 12: Aufbringen des Auflastfilters mit einem Förderband, Trennschicht zum Untergrund mit einem Geotextil.

2.4 Umsetzung im Projekt

Mit der geplanten Erneuerung der Dämme werden die beschriebenen Schwachpunkte behoben.

- Die Dammkronen der Hauptgerinne und der Hintergräben werden durchgehend auf die erforderliche Höhe ausgebaut.
- Mit der gewählten Methode Auflastfilter werden die Dammböschungen abgeflacht, die Binnenkanäle weg vom Hauptdamm verlegt und die Durchsickerungsstellen kontrolliert entwässert.
- Gleichzeitig garantieren die Verbreiterung der Dammkronen und die Unterhaltswege längs und quer zu den Anlagen eine durchgehende Zugänglichkeit zu den Anlagen.

3. Allgemeine Anforderungen für die Nutzung

3.1 Vorgesehene Nutzung

Das Linthwerk stellt den Hochwasserschutz in der Linthebene sicher. Auf die Bedürfnisse der Bewohner und der Umwelt wird im Sinne der Bundesgesetzgebung Rücksicht genommen (Art. 2 Linthkonkordat).

Mit der Sanierung des Linthwerks muss die festgelegte Ausbauwassermenge vollständig und schadlos abgeleitet werden (Kp. 4). Auch Extremalhochwasser müssen so beherrscht werden, dass es zu keinem vollständigen Versagen des Systems kommt (Kp. 5).

Das Linthwerk ist ein Teil der Umwelt. Es ist ein Lebensraum für seltene Tiere und Pflanzen, es dient aber auch der Erholung und Freizeit. Die Nutzungen und Drittanforderungen ändern sich laufend. Daher sollen diese möglichst gelenkt und soweit zugelassen werden, als sie den Zweck des Linthwerks nicht in Frage stellen.

3.2 Nutzungsdauer

Das Linthwerk ist ein Bauwerk mit zweihundertjähriger Geschichte. Mit dem Projekt Linth 2000 wird die erste Gesamtsanierung des Werks vorgenommen, entsprechend gross ist der Aufwand.

Für Neukonstruktionen und die zu sanierenden Dämme wird eine Nutzungsdauer von **100 Jahren** angestrebt. Die geplante Nutzungsdauer wird durch die Bauherrschaft mit einem angemessenen Unterhalt (Unterhaltskonzept) und einer periodische Überwachung (Monitoring) sichergestellt.

3.3 Umfeld und Drittanforderungen

Bei der Evaluation der Sanierungsvarianten gilt es auch die verschiedenen Interessen Dritter zu berücksichtigen. Am Beispiel der Interessenabwägung von Naturschutz und Denkmalpflege soll dies exemplarisch aufgezeigt werden.

Das Bauwerk stellt als erstes kantonsübergreifendes Wasserbauprojekt der damaligen Schweiz ein kulturhistorisches Denkmal dar, das nicht ohne weiteres umgebaut werden darf. An der Linth können deshalb der Schutz von Kulturgütern einerseits und der Naturschutz anderseits in einen Konflikt geraten.

Die Aspekte des Naturschutzes werden von Gesetzes wegen bei der Planung und im Umweltverträglichkeitsbericht berücksichtigt (Prozess-UVB). Der Aspekt der Denkmalpflege wurde im Rahmen der Planung am Vor- und Auflageprojekt von einer eigens eingesetzten Fachgruppe, bestehend aus Vertretern der Denkmalpflege des Bundes und der Linthkantone, behandelt.

Das Bundesamt für Kultur (BAK) hält in seiner Stellungnahme fest: „Auf Grund der soziohistorischen Bedeutung der früheren hydrotechnischen Kunstbaute ist das Werk als wichtiges Kulturdenkmal der Schweizer Ingenieurbaukunst einzustufen.“ Das BAK forderte für die Planung u.a., dass die Lesbarkeit des linearen Charakters des Kanalwerks zu erhalten sei. Auch die Eidgenössische Natur- und Heimatschutzkommission (ENHK) hat sich mit dem Linthprojekt befasst und dabei eine Stellungnahme abgegeben.

Ein markanter Abschnitt im Linthwerk ist der „Chupfernrank“ beim Escherkanal. Nirgends kommt das Grundkonzept des Linthwerks – die Ableitung der Glarner Linth in den Walensee – deutlicher zum Vorschein. Bei der Planung wurde versucht, den Charakter dieser Kurve („Rank“) weitgehend beizubehalten.

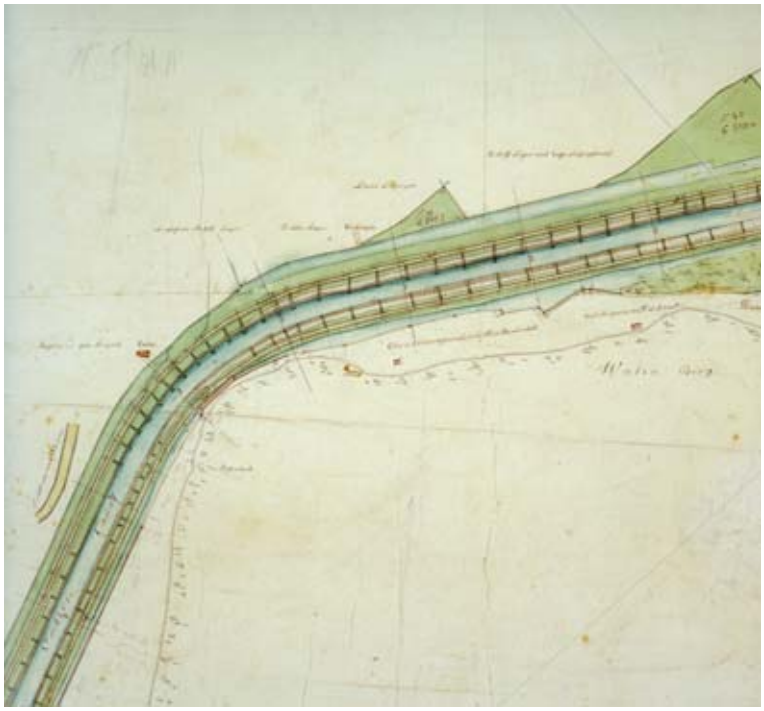


Abb. 18: Situation am Chupfernrank. Plan von C. Salvetti, 1843

Die Dammaussenseite ist aber auch ein Lebensraum des grossen Moorbläulings. Diese Schmetterlingsart hat nationale Bedeutung und ist europäisch geschützt. Das Vorkommen des Moorbläulings in der Linthebene beschränkt sich nur noch auf wenige Stellen entlang der Dämme des Linthwerks.

Die nun vorliegende Lösung sieht eine Sanierung der Dämme nach innen vor. Mit dieser Lösung kann der Charakter des Chupfernranks beibehalten und der Lebensraum des Moorbläulings geschützt werden.

Eine Sanierung nach innen führt jedoch zu einer Verminderung der Abflusskapazität. Dort wo der gegenüberliegende Damm entfernt werden kann (Flussaufweitung) ist dies kein Problem, bei den übrigen Abschnitten muss der Damm neu aufgebaut werden (Materialersatz). Die Lösung ist daher klar teurer als eine Sanierung mit Auflastfilter (Standartlösung) und führt dazu, dass mit schweren Maschinen nicht auf dem Damm sondern im Vorland gefahren werden muss (vgl. Kp. 6).

Abb. 19: Die markante Kurve hat auch nach bald 200 Jahren seit dem Bau nichts von ihrer Faszination verloren. Blick flussaufwärts

Abb. 20: Visualisierung der Sanierung. Blick flussabwärts.

4. Schutzziele Hochwasser

4.1 Definition

Das Schutzziel ist das Mass der Sicherheit, welche mit Schutzmassnahmen erreicht werden soll (Loat, Meier 2003). Beim Linthwerk wird als Schutzziel für ein schadloses Abführen des gewählten Ausbauabflusses HQ_{Ausbau} ein hundertjährliches Hochwasser HQ_{100} gewählt (Dimensionierungswassermenge). Dieses Schutzziel gilt sowohl für die Hauptgerinne als auch für die Hintergräben.

4.2 Minimale Dammhöhen

Die minimalen Dammhöhen ergeben sich aus den Wasserspiegellagen (unter Berücksichtigung der geplanten Massnahmen wie Buhnen oder Flachufer sowie allfälligen Auflandungen) und einem Freibord.

Das Freibord setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen (Auszug aus Vereinbarung der Projektziele):

1. Geschwindigkeitshöhe $v^2/2g$ (kinetische Energie). Damit werden der maximale Aufstau bei lokalen Strömungshindernissen und die Wellenbildung abgedeckt. Mit wenigen Ausnahmen schwanken die Geschwindigkeitshöhen für den Ausbauabfluss im Linthkanal zwischen 0.30 m und 0.40 m und im Escherkanal zwischen 0.70 m und 1.00 m.

2. Zuschlag für Unsicherheiten in der hydraulischen Berechnung (Geometrie, Rauhigkeiten). Dieser Zuschlag wird bei Dammstrecken am Escherkanal mit 0.50 m und bei den übrigen Dammstrecken mit 0.30 m angenommen. Bei Brücken, die verklausen und zu einem Engpass werden können, gelten strengere Freibordbedingungen. Aufgrund des erhöhten Risikos (Gefahrenpotentials) wird ein Zuschlag beim Escherkanal von 0.70 m angesetzt. Bei den übrigen Gewässern beträgt er 0.50 m. Beim Escherkanal sind die Zuschläge wegen den vergleichsweise hohen Fliessgeschwindigkeiten und des Wildbachcharakters höher als bei den übrigen, deutlich flacheren Gewässern.

Das maximale Freibord beträgt 1 m, auch wenn aus der Geschwindigkeitshöhe und dem Unsicherheitszuschlag ein grösserer Wert resultiert. Bei Flussstrecken im Einschnitt mit geringem Risiko bei Ausuferungen (Gefahrenpotential), kann das Freibord weggelassen werden.

5. Schutz vor der Überlastung der Dämme

5.1 Beherrschung Extremereignis

Die Dammhöhen werden auf die Dimensionierungswassermenge ausgerichtet (vgl. Kp. 4). Es muss aber naturgemäss davon ausgegangen werden, dass es immer ein Hochwasser mit einem grösseren Abfluss gibt. Bei einem solchen extremen Hochwasser (Extremalhochwasser EHQ) werden Schäden akzeptiert, das System darf aber nicht versagen; das Extremereignis (Überlastfall) muss beherrscht werden.

5.2 Problematik und Lösungsansätze

Bei einem Überlaufen der Dämme kann es zur Erosion der Dämme mit anschliessendem Dammbruch kommen, nahezu das ganze Gerinne würde auslaufen und grosse Teile der Linthebene würden überflutet. Zudem wäre das System bis zum Abklingen des Hochwassers nicht mehr beherrschbar, da die Dammbresche erst nach Tagen geschlossen werden kann.

Theoretisch können die Dämme so konzipiert werden, dass sie einer Überströmung standhalten. Diese Lösung ist aber sehr teuer und beansprucht mehr Land (flacher Damm) und/oder wertvolle Materialresourcen (Erosionssschutz). Die Wasserbauphilosophie des Bundes sieht daher eine andere Massnahme für die Beherrschung des Überlastfalles vor: Wenn immer möglich soll das Mehrwasser (Differenz zwischen Dimensionierungswassermenge und Extremalhochwasser) über Notentlastungen aus dem Gerinne in Entlastungsräume und/oder –korridore abgeleitet werden. Mit einer Entlastung kann ein unkontrolliertes Überlaufen der Dämme verhindert werden.

Am Linthkanal ist eine derartige Entlastung oberhalb der eigentlichen Dammstrecke möglich. Die Mehrwassermenge wird in eine Geländekammer abgeleitet, im Kanal verbleibt ein bordvoller Abfluss (HQ_{300}).

Anderst präsentiert sich die Situation beim Escherkanal. Unterhalb der Siedlungen wurde der rechtsseitige Damm bereits während dem Bau, d.h. vor bald 200 Jahren, rund 0.25 m tiefer ausgeführt. Dadurch kann zusätzliches Wasser in die Geländekammer zwischen Kanal und Berghang in Richtung Walensee entwässern. Im Siedlungsgebiet hingegen kann die Überlastfallproblematik nicht isoliert für den Escherkanal gelöst werden. Hier müssen Massnahmen oberhalb des Projektperimeters, an der Glarner Linth, gesucht werden.

Beim Überlastfall gilt es zu beachten, dass die Dämme auf einen bordvollen Abfluss zu bemessen sind. Die Sicherheitsfaktoren können hier reduziert werden.

Abb. 21: Beispiel eines Dammbruches am Alpenrhein beim Hochwasser 1927. Weil der Damm brach, floss praktisch der ganze Alpenrhein aus.

6. Bedürfnisse für den Betrieb und Unterhalt

6.1 Ausgangslage

Die Baumaschinen werden immer breiter und schwerer und die Arbeitsausführung wird immer mehr rationalisiert. Diese Entwicklungen sind bei der neuen Konzeption der Dämme zu berücksichtigen.

Die Anlagen des Linthwerks müssen im Betrieb (Unterhalt) aber auch während einem Hochwasser jederzeit gut zugänglich sein. Zudem müssen die Dämme maschinell bewirtschaftet werden können.

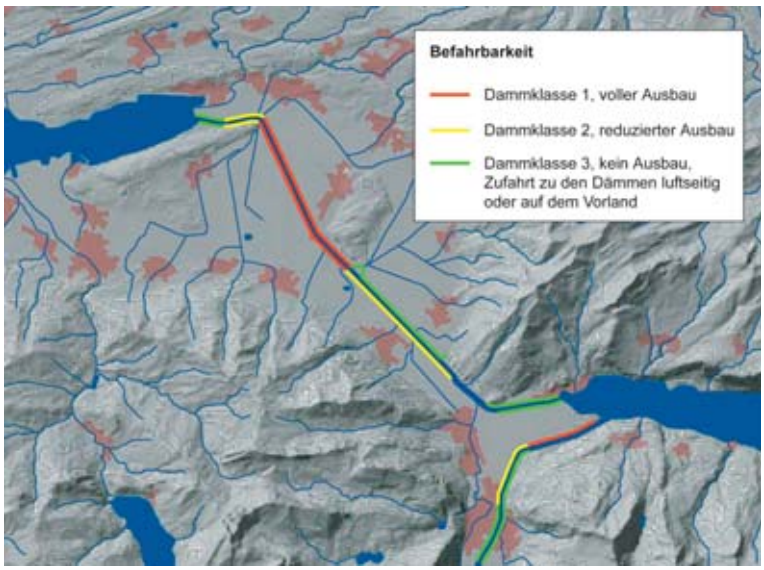
6.2 Anforderungen an Zugänglichkeit

Aufgrund der Erkenntnisse aus den Hochwasserereignissen wurden für das Projekt Linth 2000 folgende Grundsätze festgelegt:

- Die Zugänglichkeit zu den Haupt- und Sekundärdämmen sowie die Verschiebungsmöglichkeit auf den Dämmen selbst muss auch bei einem Hochwasser möglich sein.
- Die Befahrbarkeit der sanierten Hauptdämme in Längsrichtung muss nach Möglichkeit mit Fahrzeugen (Lastwagen und Baugeräte) der Lastklasse 40 to bei begrenzter Geschwindigkeit möglich sein.
- Die befahrbare Breite der Dammkrone beträgt 4.0 m (Koffer), die Breite des Fahrweges 3.0 m bis 3.5 m.
- Die Querzugänglichkeit vom aussenliegenden Weg- und Strassennetz auf die Dammwege (Haupt- und Sekundärdämme) muss in einem Abstand von jeweils rund 1 km bis 3 km sichergestellt werden. Die Querzugänge sind dabei auf das bestehende Strassen- und Wegnetz abzustimmen. Sie richten sich nach den Bedürfnissen der Notfallplanung bzw. des Unterhalts.
- Für die Bewirtschaftung, Überwachung und den Unterhalt der Dämme muss die Befahrbarkeit des luftseitigen Dammfusses der Hauptdämme sowie der Sekundärdämme mit Bau- und Landwirtschaftsmaschinen möglich sein.

In der Praxis ist die Umsetzung dieser Anforderungen nicht ganz einfach. Die Befahrbarkeit der Dammkronen mit 40 to hat direkte Auswirkungen auf die Dimensionierung der Dämme. Um den finanziellen Aufwand in Grenzen zu halten, wurden drei verschiedene Dammklassen gewählt.

Hauptdämme, welche massiv verstärkt werden müssen, werden auf 40 to ausgebaut (Dammklasse 1). Dort wo die Belastung mit 40 to Fahrzeugen zu unverhältnismässigem Sanierungsaufwand geführt hätte, wird die Belastung der Krone auf maximal 28 to (Dammklasse 2), bzw. auf die Zulassung von Leichtfahrzeugen (5 to, Dammklasse 3) reduziert. Zur Dammklasse 3 gehören alle Dammabschnitte, welche nicht saniert werden.



© swisstopo 2006

Abb. 22: Vorgesehene Befahrbarkeit der sanierten Hauptdämme.

6.3 Anforderungen an die Dammgeometrie

Die sanierten Dämme werden mit maximalen Neigungen von 2:5 ausgeführt. Am Dammfuss ist eine befahrbare Berme vorgesehen. Mit diesen Massnahmen sind die Dämme maschinell gut bewirtschaftbar. Diese Dammgeometrie hat aber auch bautechnische Vorteile, da keine besonderen Anforderungen an die Qualität des Schüttmaterials gestellt werden müssen.

Abb. 23: Querschnitt mit projektiertem Damm. Rot hervorgehoben die neuen bzw. verbreiterten Dammwege und Unterhaltsbermen.

7. Normenbezogene Bestimmungen / Sonderrisiken

7.1 Grundlagen

Bei der Sanierung von Hochwasserschutzdämmen gelten die einschlägigen Bestimmungen der Baunormen. Der Nachweis der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit erfolgt nach den massgebenden Tragwerksnormen der SIA.

7.2 Einwirkungen

Ständige Auflasten sind Masten von Hochspannungsleitungen und Bunker.

Für die Verkehrslasten (temporäre Auflasten) werden grundsätzlich die Lastmodelle für Strassenverkehr der Norm SIA 261, Einwirkungen auf Tragwerke, verwendet. Dabei wird in Abweichung zu den Lastmodellen der Norm eine erhöhte Fahrzeug-Gesamtlast (120 %) über einen Streifen von 1 m auf 10 m verteilt angeordnet.

Der Wasserdruck auf die Dämme resultiert aus den Wasserständen gemäss der hydraulischen Berechnung. Ebenfalls berücksichtigt werden Strömungsdruck, Auftrieb und ein schnelles Absenken der Wasserspiegel im Hintergraben.

Die Bodenkennwerte zur Bemessung der Dämme sind aufgrund der Sondierresultate abgeschätzt und durch Rückwärtsrechnungen der beobachteten Damminstabilitäten ermittelt worden.

7.3 Tragsicherheit

Für den Nachweis der Tragsicherheit sind die verschiedenen Nutzungszustände mit den zugehörigen relevanten Gefährdungsbildern zu berücksichtigen. Als Nutzungszustände werden die **Bauphasen**, die **Normal- bzw. Niedrigwasserabflüsse** sowie die **definierten Abflüsse** betrachtet. Es sind dies der als Schutzziel festgelegte hundertjährliche Abfluss (HQ_{100}) sowie der Überlastfall (EHQ).

7.4 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

Bei den Hochwasserschutzdämmem sind unzulässige Setzungen zu vermeiden. Setzungen werden mit einer während dem Bau angeordneten Überhöhung der Dämme berücksichtigt. Im Rahmen der Dammüberwachung sind diese Setzungen periodisch zu kontrollieren. Eine spätere Erhöhung der Dämme auf die Sollkote gehört zum Unterhalt.

7.5 Sonderrisiken

Die Sonderrisiken (ausserordentlicher Nutzungszustand) wurden zusammen mit dem Bund (Bundesamt für Wasser und Geologie, ab 1.1.2006 Bundesamt für Umwelt) festgelegt.

Das Erdbeben wird als Sonderrisiko betrachtet und ist nach der neuen SIA-Norm 261 zu berücksichtigen. Für die Hochwasserschutzdämme des Linthwerks gilt:

- Die Hochwasserschutzdämme gehören zur Bauwerksklasse 1 (BWK I);
- Die Tragsicherheit ist für ein Bemessungserdbeben E_{475} (Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren) bei einem Bemessungsabfluss HQ_1 zu führen;
- Die Erdbebenzone und der Baugrund sind nach Norm einzusetzen.

Sonderrisiken wie militärische Einwirkungen sowie zivile Katastrophenereignisse und Unfälle (Explosionen, Aufprall usw.) werden akzeptiert und daher in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Quellen und Grundlagen

Verwendete Grundlagen:

- IG HWS Linth-Escherkanal, Gesamtdossier Auflageprojekt „Hochwasserschutz Linth 2000“, 29. September 2005
- Dr. von Moos AG, Linth- und Escherkanal: Hochwasser August 2005, Dokumentation der geotechnischen Ereignisse und der getroffenen Akutmassnahmen, Dezember 2005
- ARGE Linth 2000, Hochwasserschutzkonzept Linth 2000, Massnahmenkonzept, Projektdossier, 27. Mai 2002
- ARGE Linth 2000, Hochwasserschutzkonzept Linth 2000, Situations- und Gefahrenanalyse Linth 2000, Projektdossier, 20. Dezember 2001
- Eidg. Linthverwaltung, Hochwasser Linthkanal 1999 - Schlussbericht, Dossier, 28. Juli 2000
- Dr. von Moos AG, Hochwasserereignis Linth 1999, Beurteilung der Schadensbilder und der getroffenen Akut- und Sofortmassnahmen, Dossier, Mai 2000
- Eidg. Linthverwaltung, Das Linthwerk – Technisches Werk und Gewässerlebensraum, Hochwasserschutz Linth 2000 (Konzept), Informationsbroschüre, April 2003

Bildnachweis:

Die Karten sind reproduziert mit der Bewilligung von Swisstopo.

Abb. 1: Swisstopo; Abb. 2: Werkschutz Linthwerk; Abb. 3: Lintharchiv; Abb. 4,5: Swisstopo; Abb. 6: IG HWS Linth-Escherkanal; Abb. 7: Niederer + Pozzi Umwelt AG; Abb. 8-12: Werkschutz Linthwerk; Abb. 13: Dr. von Moos AG; Abb. 14: Werkschutz Linthwerk; Abb. 15: Dr. von Moos AG; Abb. 16, 17: Werkschutz Linthwerk; Abb. 18: Lintharchiv, Abb. 19: Linthverwaltung; Abb. 20: Linthverwaltung; Abb. 21: Rheinunternehmen; Abb. 22: Swisstopo; Abb. 23: IG HWS Linth-Escherkanal.

Adresse Verfasser:

Markus Jud, Linthverwaltung, c/o P. Meier & Partner AG, Tellstrasse 1, CH-8853 Lachen

Anhang: Informationen zum Projekt Linth 2000

Bauherrschaft:

Linthwerk, vertreten durch die interkantonale Linthkommission, CH-8730 Uznach

Projektleitungsteam:

Linthverwaltung	Markus Jud
	Leo Kalt (Berater)
ETHZ/VAW	Prof. Dr.-Ing. Hans-Erwin Minor
Bund	Roberto Loat
Kantons Glarus	Ernst Grünenfelder
Kanton Schwyz	Alois Rey
Kanton St. Gallen	Urs Gunzenreiner
Kanton Zürich	Christian Göldi (bis Mitte 2004)
	Heinz Hochstrasser (seit Mitte 2004)
Linthebene-Melioration	Stephan Hauser

Planer Linth 2000:

Situations- und Gefahrenanalyse / Massnahmenkonzept:
ARGE Linth 2000 (Niederer + Pozzi Umwelt AG, Uznach, Tuffli + Partner AG, Mels, Habitat, Uznach)

Vor-, Bau- und Auflageprojekt / Umweltverträglichkeitsbericht:
IG HWS Linth-Escherkanal (IM Ingenieurbüro Maggia AG, Locarno, IUB Ingenieur Unternehmung AG, Bern, Hunziker Zarn und Partner AG, Domat-Ems, ANL AG Natur und Landschaft, Aarau, Remund + Kuster AG, Pfäffikon, Berchtold + Eicher AG, Zug)

Geologie / Geotechnik:
Dr. von Moos AG, Zürich

Weitere Informationen:

www.linthwerk.ch