

Hochwasser 2005

Lokale Lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE)

Lütschine

TECHNISCHER BERICHT



Interlaken, im Mai 2007

PD Dr. Martin Jäggi

Flussbau und Flussmorphologie

Bergholzweg 22
8123 Ebmatingen

Dr. Felix Naef
Institut für Hydromechanik
und Wasserwirtschaft
8093 Zürich

Dr. Christoph Lehmann
Hydrologie - Wasserbau
Staldenstrasse 11c
3322 Schönbühl

Impressum

Projektbearbeitung (Team LLE Lüttschine)

Vorsitz:	Rudolf Gerber, Wasserbauingenieur Oberingenieurkreis I Schlossberg 20, 3600 Thun Tel. 033 225 10 68 / Fax 033 225 10 70 E-Mail: rudolf.gerber@bve.be.ch
Strasseninspektor Oberland Ost:	Bruno Burkhard, Strasseninspektorat Oberland Ost Lindenallee 82, 3800 Interlaken Tel. 033 822 70 27 / Fax 033 822 00 21 E-Mail: bruno.burkhard@bve.be.ch
Flussbau und Flussmorphologie:	PD Dr. Martin Jäggi Bergholzweg 22, 8123 Ebmatingen Tel. 044 980 36 26 / Fax 044 980 36 30 E-Mail: jaeggi@rivers.ch Internet: http://www.rivers.ch
Hydrologie:	Dr. Christoph Lehmann Staldenstrasse 11c, 3322 Schönbühl Tel. 031 859 46 81 E-Mail: hydrologie@solnet.ch Dr. Felix Naef, Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft Schafmattstr. 6, ETH Hönggerberg, HIF C 43, 8093 Zürich Tel. 044 632 41 36 E-Mail: naef@ihw.baug.ethz.ch
Geologie:	Dr. Hans-Rudolf Keusen Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen Tel. 031 910 01 01 / Fax 031 910 01 00 E-Mail: zollikofen@geotest.ch Internet: http://www.geotest.ch
Bauingenieure:	Fritz Bettschen Bettschen + Blumer AG, Beatenbergstrasse 2, 3800 Unterseen Tel. 033 822 08 66 / Fax 033 822 04 40 E-Mail: bettschen-blumer@bluemail.ch Peter Wyss und Martin Amacher Mätzener & Wyss AG, Untere Bönigstrasse 10A, 3800 Interlaken Tel. 033 826 10 10 / Fax 033 826 10 11 E-Mail: mail@maetzener-wyss.ch Internet: http://www.maetzener-wyss.ch

Projektleitung Bund

Bundesamt für Umwelt (BAFU) Urs Nigg

Koordination LLE

Kantonales Tiefbauamt Heinz Roth
Geo 7 AG Peter Mani

Vertreter Fischerei

Fischereiinspektorat des Kantons Bern Willy Müller und Hans Roth

Zusammenfassung

Im Anschluss an das Hochwasserereignis vom August 2005 wurden in sämtlichen betroffenen Gebieten des Kantons Bern so genannte „Lokale, lösungsorientierte Ereignisanalysen (LLE)“ durchgeführt. Dazu wurde pro Schadengebiet ein Team aus Fachspezialisten gebildet, welches unter der Leitung des Oberingenieurkreises I folgende Fragen zu beantworten hatte:

- Was ist passiert?
- Was kann künftig passieren?
- Was gilt es wie zu schützen?

Mit diesem pragmatischen Lösungsansatz soll sichergestellt werden, dass an sämtlichen Schadenplätzen nach den gleichen Grundsätzen und Überlegungen vorgegangen wird.

Die LLE Lüttschine hatte es mit dem grössten Gebiet zu tun, die Aufarbeitung des Ereignisses und die Erarbeitung der Schutzkonzepte nahm dementsprechend relativ viel Zeit in Anspruch.

Der nun vorliegende, umfangreiche Schlussbericht bildet den Grundstein für eine nachhaltige und zielgerichtete Umsetzung von Hochwasserschutzprojekten in den Lüttschinentälern.

Ereignisablauf

Vom 20. - 22. August 2005 kam es in den Lüttschinentälern zu langanhaltenden Niederschlägen. Diese Niederschläge verursachten massive Überschwemmungen in Grindelwald / Burglauenen, Lüttschental, Gündlischwand / Zweilüttschinen, Lauterbrunnen, Wilderswil und schliesslich auf dem gesamten Bördeli bis nach Matten, Interlaken und Bönigen.

Die Schäden betragen insgesamt über Fr. 211 Mio.

Die Hauptschadengebiete lagen entlang der Schwarzen und der Vereinigten Lüttschinen. Die Weisse Lüttschine verursachte zwar örtlich Überschwemmungen und Erosionen, die Schäden waren hier aber deutlich geringer.

Meteorologie und Hydrologie

Die Niederschläge in den Lüttschinentälern waren von mittlerer Intensität und damit geringer als in den übrigen Schadengebieten im Kanton Bern. Niederschläge wie im August 2005 waren bereits früher aufgetreten. Die Abflussmengen waren aber aussergewöhnlich hoch.

Erstmals seit Beginn der Messungen fielen mehrtägige Niederschläge auf einen Sommermonat und damit mit einem hohen Basisabfluss in den Lüttschinen zusammen. Ferner führten Schwarze und Weisse Lüttschine fast praktische gleichzeitig Hochwasser. Diese Kombination hat zu den grossen Abflüssen geführt.

Über dem Gesamt - Einzugsgebiet der Lüttschinen sind während dem Ereignis rund 60 Mio. m³ Wasser gefallen.

Die Bestimmung der Jährlichkeit ergibt für die Weisse Lüttschine 100 Jahre, für die Schwarze Lüttschine 200 bis 300 Jahre und für die Vereinigten Lüttschinen 300 Jahre (rückblickend aufgrund der bisherigen Statistiken).

Es stellt sich die Frage, was bei grösseren Niederschlagsmengen von 200 mm wie bei den umliegenden Gebieten geschehen wäre.

Hydraulik

Für die Vereinigten Lüttschinen wurde eine Abflussrekonstruktion durchgeführt und die Abflussspitze für das Ereignis 2005 bestimmt. Die Abflussspitze hat demnach ca. 240 - 250 m³/s betragen. Davon sind rund 30 m³/s über den Damm beim Musterplatz in Wilderswil ausgetreten, weitere 15 bis 20 m³/s haben die Ufermauer oberhalb der Abflussmessstation Gsteig überströmt. Der Spitzenabfluss zwischen der Abflussmessstation und dem Brienersee lag bei ca. 200 m³/s.

Die rechnerischen Abflusskapazitäten (Energierlinie entspricht der Dammhöhe resp. unterkant Brücken) der Vereinigten Lüttschinen zwischen Wilderswil und dem Brienersee liegen über längere Abschnitte im Bereich von 150 - 180 m³/s. Sie liegen also deutlich unter dem Spitzenabfluss des Hochwasserereignisses.

Geschiebeprozesse

Während des Ereignisses vom August 2005 haben sich die Lüttschinen bei den flachen Talstrecken mancherorts bis an die historischen Terrassenränder ausgebreitet. In Steilstrecken setzte starke Erosion ein und es wurden grosse Mengen an Feststoffen mobilisiert. Im Gebiet Bödeli folgte das Wasser nach dem Ausbruch aus dem Kanal mehr oder weniger den alten Fließwegen Richtung Interlaken.

Die wichtigsten Geschiebeprozesse waren:

- Erosion in Steilstrecken
- Ablagerungen im Bereich von Gefällsknicken
- Ablagerungen infolge Vorlandabfluss
- Ufererosion
- Murgänge und Hangmuren in Seitenbächen

In Grindelwald wurden Geschiebeablagerungen einerseits durch Unregelmässigkeiten im Längenprofil (Einfluss der Seitenbäche), andererseits durch die generelle Gefällsabnahme entlang der Strecke verursacht. Der Bereich des Zusammenflusses der Schwarzen und der Weissen Lüttschine beim Kieswerk Gryth wurde massiv mit Geschiebe überlastet.

Aus der Steilstrecke Stalden oberhalb Lüttschental wurden grosse Geschiebemengen (80'000 - 100'000 m³) erodiert, dieses Geschiebe wurde beim anschliessenden Gefällsknick in Lüttschental wieder abgelagert. Die enormen Schäden an Infrastruktur und Kulturland sind auf diesen Prozess zurück zu führen.

Auch in der Steilstrecke Dangelstutz oberhalb Wilderswil wurden grosse Mengen an Feststoffen erodiert. Das Material wurde wie in Lüttschental beim anschliessenden Gefällsknick abgelagert.

Rutschungsprozesse

Neben zahlreichen kleineren Ufererosionen traten einige grössere direkt durch die Lüttschine verursachte Rutschungen an fünf Stellen in Burglauenen, Lüttschental und Gündlischwand auf. Alle Rutschungen erfolgten in ausgeprägten Prallhangsituationen. Die Erfahrung zeigt, dass dieser Naturgefahr in Zukunft mehr Beachtung geschenkt werden muss.

Ebenfalls während des Hochwasserereignisses 2005 kam es im Stalden zwischen Burglauenen und Lüttschental zu einer durch die Niederschläge ausgelösten Rutschung mit einem bewegten Volumen von 100'000 - 200'000 m³. Der Rutschkörper wird seither überwacht. Die Messungen zeigen, dass sich die Rutschung jeweils im Frühjahr beschleunigt. Ein Gesamtabbruch hätte eine vollständige Verklauung der Lüttschine mit anschliessender Überflutung / Zerstörung der Kantonsstrasse zur Folge.

Vergleich mit Gefahrenkarten

Bei der Beurteilung der bestehenden Gefahrenkarten wurde generell eine gute Übereinstimmung zwischen Gefahrenkarte und abgelaufenem Hochwasserereignis festgestellt. Die Gefahrenkarten weisen also in dieser Hinsicht realistische Einschätzungen der Gefahren auf.

Die Gefahrenkarte Lüttschental sollte bezüglich Überflutung Talfluss unbedingt ergänzt werden.

Die Gefahrenkarte Bödeli wurde parallel zur Ereignisanalyse erstellt, sie ist derzeit bei den kantonalen Fachstellen in Vernehmlassung.

Massnahmenkonzepte

Für die drei Hauptschadengebiete Grindelwald, Lüttschental und Bödeli wurden durch die Arbeitsgruppe LLE Lüttschine Hochwasserschutzkonzepte entwickelt.

Der Bearbeitungsstand der Massnahmenkonzepte ist unterschiedlich; während es sich für Grindelwald um erste Ideen handelt, sind die dringendsten Massnahmen für das Bödeli bereits im Rahmen einer Wasserbaubewilligung in Planung. In Lüttschental wurde das in diesem Bericht beschriebene Konzept zwischenzeitlich zu einem Wasserbauplan weiter bearbeitet.

Folgende Massnahmen sollen im Rahmen von Folgeprojekten realisiert werden:

Hochwasserschutzkonzept Grindelwald

Wegen der Intensivierung der Nutzungen im früheren Auengebiet „In Erlen“ ab Mitte des 20. Jahrhunderts liegen heute diverse Objekte und Infrastrukturanlagen im unmittelbaren Gefahrenbereich.

Der gewählte Lösungsansatz verfolgt folgende Ziele:

- Kurzfristig: Erhöhung der Hochwassersicherheit für das Gebiet Grindelwald Grund
- Mittelfristig: Verbesserung des Geschiebehaltshalts durch gezielte Interventionen
- Langfristig: Aufwertung und Revitalisierung der Auenlandschaft

Für den *Hochwasserschutz Grindelwald Grund* wird im Frühjahr / Sommer 2007 eine Konzeptstudie erarbeitet. Dabei soll insbesondere das rechtsufrige Gebiet mit dem Bahnhof Grund besser gegen Hochwasser geschützt werden. Die landwirtschaftlich genutzten Flächen linksseitig des Lüttschinentalflusses sollen bei Extremereignissen überflutet werden können.

Zur *Optimierung des Geschiebehaltshalts* werden folgende Möglichkeiten in Betracht gezogen:

- Homogenisierung des Längenprofils
- Lokale Flussaufweitung Schwendibach
- Interventionen in der Weissen Lüttschine

Mit Breiten- und Gefällsanpassungen im Bereich des Zusammenflusses der Weissen und der Schwarzen Lüttschine können Extremhochwasser ins Auengebiet „In Erlen“ ausgeleitet werden und das Geschiebe kann sich dort ablagern. *Das Auengebiet wird aufgewertet* und es wird zum attraktiven Naherholungsgebiet. Diese Massnahmen bedingen allerdings auch Anpassungen beim Betrieb der Kieswerke. Der Zusammenflussbereich und auch der Bereich Rollbahnbrücke kann entlastet und konzentrierte Ablagerungen wie beim Ereignis 2005 können verhindert werden.

Hochwasserschutzkonzept Lüttschental

Naturgemäss wird sich in Lüttschental auch bei zukünftigen Hochwasserereignissen Geschiebematerial beim Gefällsknick ablagern. Das heute zur Verfügung stehende Ablagerungsvolumen reicht bei weitem nicht aus, um die entsprechenden Mengen aufzunehmen. Auch die auf der aufgelandeten Sohle verbleibenden Abflussquerschnitte genügen nicht, um die gleichzeitig anfallenden Wassermengen schadlos abzuleiten. Infrastrukturanlagen, Verkehrsträger und Siedlungsgebiet müssen deshalb geschützt werden.

Das Schutzkonzept sieht die Schaffung eines Geschiebepflichtbereiches mit abgesenkten Vorlandbereichen vor. Dabei wird die Gerinnegeometrie so angepasst, dass der Gefällsknick an einen günstigen Ort unterhalb des Siedlungsgebietes zu liegen kommt. Im Bereich dieses Gefällsknickes wird das Gerinne etwas aufgeweitet. Bei häufigen Ereignissen kann überschüssiges Geschiebe im Bereich dieser Aufweitung abgelagert werden. Nach Realisierung des Hochwasserschutzprojekts wird auch für Extremereignisse wie im Jahr 2005 mit Ablagerungsvolumina bis 100'000 m³ genügend Raum zur Verfügung stehen. In diesem Fall werden dann allerdings auch die Vorlandbereiche ausserhalb des Hauptgerinnes beansprucht.

Der Massnahmenentwurf (Vorprojekt) wurde mit Hilfe einer numerischen 1D-Modellierung (Wasser und Geschiebe) überprüft.

Die wesentlichen Vorteile des Schutzkonzepts liegen neben der generellen Verbesserung der Hochwassersicherheit darin, dass die landwirtschaftlich nutzbare Fläche weitgehend erhalten bleibt und dass der natürliche Geschiebehaushalt nicht durch harte Massnahmen gestört wird.

Das Hochwasserschutzprojekt Lüttschental bildet ausserdem die Basis für das Projekt Neubau Kantonsstrassenbrücke Stägmatta. Die Wiederherstellung der Kantonsstrasse und damit die Ablösung des Provisoriums durch einen definitiven Brückenneubau erfordert zwingend die Realisierung der Wasserbaumassnahmen.

Während dem Hochwasserereignis 2005 waren verschiedene Brückenbauwerke der Kantonsstrasse Lüttschental - Burglauenen akut einsturzgefährdet. Diese Bauwerke überqueren die Schwarze Lüttschine im Bereich der Steilstrecke Stalden. Wegen des hohen Längsgefälles können hier bei einem Hochwasser enorme Belastungen und damit die Brückenfundationen gefährdende Ufer- und Sohlenerosion auftreten. Es ist damit zu rechnen, dass diese Probleme auch in Zukunft anhalten. Im vorliegenden Bericht werden deshalb erste Konzeptideen zur Verbesserung dieser Situation vorgestellt.

Hochwasserschutzkonzept Bödeli

Die grossräumige Überflutung der Siedlungsgebiete von Wilderswil, Matten und Interlaken wurde verursacht durch den Dammbbruch im Gebiet Musterplatz sowie durch zu geringe Abflusskapazitäten oberhalb der Holzbrücke Gsteig in Wilderswil. Vom Gefällsknick am Ende der Steilstrecke Dangelstutz bis zur BOB-Brücke in Wilderswil wurden ausserdem ungefähr 26'000 m³ Geschiebematerial abgelagert.

Ein Gerinne-Vollausbau (Strecke Wilderswil - Brienersee), welcher auf das Extremszenario und damit auf die Durchleitung der Wassermassen ausgelegt ist, stösst an die Grenzen der technischen Machbarkeit. Das Konzept sieht deshalb in Anlehnung an die aktuelle Schutz-Philosophie des Bundes eine Kombination aus Durchleiten und Umleiten / Rückhalten vor. Das Schutzkonzept ist aufgrund der unterschiedlichen Dringlichkeiten in drei Prioritätsstufen aufgeteilt.

1. Priorität: Verhinderung Überflutung Matten und Interlaken Ost

Prioritär soll die Überflutung von weiten Teilen der Siedlungsgebiete von Matten und Interlaken im Überlastfall verhindert werden. Dies kann gemäss den aktuellen Erkenntnissen mit relativ einfachen Massnahmen erreicht werden. Der im August 2005 von der Nationalstrasse N8 ausgehende Vorlandabfluss wird mit einem neuen Schutzdamm westlich der Autobahn verhindert. Daneben sind weitere Terrainanpassungen und auch einige mobile Massnahmen vorgesehen. Mit diesem Massnahmenpaket kann das Schadenbild grossflächig und effizient reduziert werden und bereits kurzfristig, d.h. noch bevor die ungenügende Abflusskapazität der Vereinigten Lüttschinen verbessert wird, ein massgeblicher Schutz erreicht werden.

2. Priorität: Teilausbau Gerinne / Abflusskorridor Flugplatz - Moos - Sendli / Optimierung Geschiebehaushalt

Die Massnahmen 2. Priorität beinhalten einerseits den teilweisen Gerinneausbau von Wilderswil bis zur Mündung in den Brienersee. Dabei soll die Abflusskapazität so weit erhöht werden, dass ein Ereignis in der Grössenordnung des Ereignisses vom August 2005 gerade noch abgeleitet werden kann.

Neben dem Gerinneausbau soll im Rahmen der Massnahmen 2. Priorität ein Abflusskorridor realisiert werden, welcher das Hauptgerinne bei einem Extremereignis entlastet. Das Massnahmenpaket besteht im wesentlichen aus Terrainmodellierungen, Strassenanpassungen, neuen Durchlässen und mobilen Massnahmen. Weiterer Bestandteil der Massnahmen 2. Priorität ist die Optimierung des Geschiebehaushalts:

- Geschiebemanagement im Deltabereich oder in einer Aufweitung oberhalb.
- Neue Aufweitung beim Gefällsknick Dangelstutz / Talstrecke, ev. mit integriertem Schwemmholzurückhalt.

3. Priorität: Hochwasser - Entlastung Wilderswil (Umfahrungstunnel)

In Wilderswil besteht die Absicht, das Dorfzentrum mit einer neuen Umfahrungsstrasse (inkl. Tunnel) verkehrstechnisch zu entlasten. Das Massnahmenkonzept 3. Priorität sieht vor, den geplanten Umfahrungstunnel als Hochwasserentlastung für Extremereignisse zu nutzen und damit das gesamte Dorf Wilderswil nachhaltig und wirkungsvoll gegen Hochwasser zu schützen.

Bei einem Extremereignis wird oberhalb der BOB-Brücke in Wilderswil kontrolliert Wasser entlastet und in den neuen Umfahrungstunnel eingeleitet. Im Gebiet Aegerti (beim Nordportal des Umfahrungstunnels) können die Wassermassen schliesslich unter der Bahnlinie der BOB durch- und in den bereits im Rahmen der 2. Priorität realisierten EHQ-Abflusskorridor eingeleitet werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Ereignisablauf	1
1.1	Ausgangslage.....	1
1.2	Beschreibung des Ereignisablaufes	2
1.2.1	Grindelwald	2
1.2.2	Lütschental	3
1.2.3	Gündlischwand	4
1.2.4	Weisse Lüttschine	5
1.2.5	Vereinigte Lüttschinen	6
1.3	Schäden	7
2	Ereignisanalyse	8
2.1	Meteorologie.....	8
2.1.1	Allgemeine Lage	8
2.1.2	Niederschläge über dem Gebiet der Lüttschinentäler	9
2.1.3	Fazit	18
2.2	Hydrologie	19
2.2.1	Ausgangslage und Problemstellung	19
2.2.2	Ablauf des Hochwassers	20
2.2.3	Rekonstruktion des Hochwassers	23
2.2.4	Ausgetretene Wassermengen in Wilderswil	26
2.2.5	Abflüsse von Saxetbach und vom „Restgebiet“	30
2.2.6	Hochwasserspitzen während des Ereignisses	30
2.2.7	Hochwasservolumen während des Ereignisses	30
2.2.8	Einordnung des Hochwassers	31
2.2.9	Das Abflussverhalten der Lüttschine	33
2.2.10	Zusammenfassung	35
2.3	Hydraulik.....	37
2.3.1	Abflussrekonstruktion Vereinigte Lüttschinen	37
2.3.2	Abflusskapazitäten Vereinigte Lüttschinen	40
2.3.3	Abflusskapazitäten Schwarze Lüttschine Lütschental	40
2.3.4	Abflusskapazitäten Schwarze Lüttschine Grindelwald	41
2.4	Geschiebeprozesse.....	42
2.4.1	Die Lüttschinen vor den Gewässerkorrekturen	42
2.4.2	Die Lüttschinen während des Ereignisses	43
2.4.3	Schwerpunkte der Feststoffverlagerung	45
2.4.4	Massgebliche Geschiebeprozesse und räumliche Zuordnung.....	46
2.4.5	Geschiebeprobleme in Grindelwald	50
2.4.6	Geschiebesimulation Lütschental	55
2.4.7	Geschiebeumlagerungen Bödeli.....	59
2.4.8	Die Rolle der Seitenbäche	61
2.4.9	Der Geschiebetransport von Grindelwald bis zum Brienersee während dem Ereignis 2005.....	62
2.4.10	Feststoffbilanz	64
2.4.11	Linienzahlanalysen	66
2.5	Rutschungsprozesse	68
2.5.1	Einleitung und Allgemeines	68
2.5.2	Grössere Rutschungen infolge Ufererosion	68
2.5.3	Die Rutschung Stalden	69
2.6	Schwemmholz	72
2.7	Bauwerke.....	77
2.7.1	Wasserbauliche Schutzbauwerke	78
2.7.2	Brückenbauwerke	84
2.8	Gefahren- und Schadenprozesse	87
2.8.1	Überflutung infolge Feststoffablagerungen.....	87
2.8.2	Überflutung infolge zu geringer Abflusskapazität	87
2.8.3	Überflutung infolge Dammbbruch	87
2.8.4	Ufer- und Sohlenerosion	88
2.8.5	Rutschungen	88
2.8.6	Verkläusungen	88
2.8.7	Gerinneverstopfung	88
2.9	Spezielle Prozesse.....	89
2.9.1	Subglaziale Abflüsse aus dem Unteren Grindelwaldgletscher.....	89
2.9.2	Rutschung Stieregg	90
2.9.3	Mikrobeben	90
2.10	Aktuelle Gefährdungssituation	91
2.10.1	Generelle Situation im Frühjahr 2007	91
2.10.2	Vorbehalt der Gletscherproblematik.....	91
2.10.3	Schwarze Lüttschine Grindelwald - Burglauenen	91
2.10.4	Schwarze Lüttschine Lütschental - Zweilüttschinen.....	92
2.10.5	Weisse Lüttschine Stechelberg - Zweilüttschinen.....	92
2.10.6	Vereinigte Lüttschinen Zweilüttschinen - Bönigen	92

3	Vergleich mit Gefahrenkarten.....	93
3.1	Grindelwald.....	94
3.2	Lütschental.....	95
3.3	Gündlischwand.....	96
3.4	Lauterbrunnen.....	96
3.5	Gsteigwiler.....	97
3.6	Mysteries of the World.....	97
3.7	Ufererosion.....	98
3.8	Fazit.....	98
4	Massnahmenkonzepte.....	99
4.1	Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen.....	99
4.1.1	Schadensummen / Kostenübersicht Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen.....	100
4.2	Massgebende Erkenntnisse aus der Ereignisanalyse.....	101
4.2.1	Einleitung.....	101
4.2.2	Grindelwald.....	101
4.2.3	Lütschental.....	102
4.2.4	Bödeli.....	103
4.3	Schutzziele.....	104
4.4	Hochwasserschutzkonzept Grindelwald.....	105
4.4.1	Hochwasserschutz Grindelwald Grund.....	106
4.4.2	Homogenisierung des Längenprofils.....	106
4.4.3	Geschiebebewirtschaftung / Neue Gerinneaufweitung „Schwand“.....	107
4.4.4	Aufwertung des Auengebiets „In Erlen“.....	107
4.4.5	Wehranlage Burglauenen.....	107
4.5	Hochwasserschutzkonzept Lütschental.....	108
4.5.1	Variantenstudien und Entscheide.....	108
4.5.2	Schutzkonzept.....	109
4.5.3	Kantonsstrasse Lütschental - Burglauenen.....	111
4.6	Hochwasserschutzkonzept Bödeli.....	115
4.6.1	Konzeptionelle Überlegungen.....	115
4.6.2	Szenarien.....	116
4.6.3	Schutzkonzept.....	117
5	Kommunikation.....	121
	Abbildungsverzeichnis.....	126
	Grundlagen- und Literaturverzeichnis.....	128
	Quellenhinweise Fotos.....	128

Anhänge

Die Anhänge zum Technischen Bericht sind separat gebunden.

Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BOB	Berner Oberland Bahnen
EHQ	Extremhochwasser - Abflussmenge
Fw	Feuerwehr
GGM	Gondelbahn Grindelwald - Männlichen
GK	Gefahrenkarte
HQ	Hochwasser - Abflussmenge
HWS	Hochwasserschutz
IMIS	Interkantonales Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung
KAWA	Kantonales Amt für Wald
Kdt	Kommandant
LLE	Lokale, Lösungsorientierte Ereignisanalyse
LHG	Landeshydrologie und -geologie
OIK	Oberingenieurkreis
Q	Abflussmenge
SI	Strasseninspektorat
SMA	Schweizerische Meteorologische Anstalt
TBA	Tiefbauamt des Kantons Bern

Planbeilagen

Ereigniskataster und Schadenstellen

(Feststoffumlagerungen, Überflutungen, Schadenstellen, Bauwerke)

- 2167-1 Übersichtsplan 1:5'000, Vereinigte Lüttschine km 0.000 - 5.500, Brienersee - Dangelstutz
- 2167-2 Übersichtsplan 1:5'000, Vereinigte Lüttschine km 5.000 - 8.700, Dangelstutz - Zweilüttschinen
- 2167-3 Übersichtsplan 1:5'000, Schwarze Lüttschine km 0.000 - 5.000, Zweilüttschinen - Burglauenen
- 2167-4 Übersichtsplan 1:5'000, Schwarze Lüttschine km 4.500 - 13.000, Burglauenen - Grindelwald
- 2167-5 Übersichtsplan 1:5'000, Weisse Lüttschine km 0.000 - 6.500, Zweilüttschinen - Lauterbrunnen
- 2167-6 Übersichtsplan 1:5'000, Weisse Lüttschine km 6.000 - 11.000, Lauterbrunnen - Stechelberg

Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen, Folgeprojekte und Schutzkonzepte

HWS-Konzept Bödeli

- 2167-7 Übersichtsplan 1:5'000, Vereinigte Lüttschine km 0.000 - 6.800, Brienersee - Dangelstutz
- 2167-8 Längenprofil 1:5'000/200, Vereinigte Lüttschine km 0.000 - 7.400, Brienersee - Dangelstutz

HWS-Konzept Lüttschental

- 2167-9 Übersichtsplan 1:5'000, Schwarze Lüttschine km 0.000 - 5.000, Zweilüttschinen - Lüttschental
- 2167-10 Längenprofil 1:2'000/200, Schwarze Lüttschine km 2.800 - 4.900, Lüttschental

HWS-Konzept Grindelwald

- 2167-11 Übersichtsplan 1:5'000, Schwarze Lüttschine km 4.500 - 13.000, Lüttschental - Grindelwald
- 2167-12 Längenprofil 1:5'000/200, Schwarze Lüttschine km 5.500 - 13.000, Burglauenen - Grindelwald

1 Ereignisablauf

1.1 Ausgangslage

Am 20. bis 22. August 2005 verursachten lang dauernde Niederschläge über den Lütschinentälern Überschwemmungen in Grindelwald / Burglauenen, Lütschental, Gündlischwand / Zweilütschinen, Lauterbrunnen, Wilderswil und schliesslich auf dem gesamten Bördeli bis nach Matten, Interlaken und Bönigen. Die Hauptschadensgebiete lagen dabei entlang der Schwarzen und Vereinigten Lütschinen. Die Weisse Lütschine verursachte örtlich Überschwemmungen und Erosionen, blieb schadensmässig jedoch deutlich geringer als die Schwarze Lütschine.

Die Schäden betragen insgesamt ca. 211 Mio. Fr. (inkl. Not- und Sofortmassnahmen), wobei sich die Hauptschadensgebiete in Grindelwald, Lütschental und auf dem Bördeli befanden (siehe Abb 1). Einen detaillierten Überblick über die Schadenstellen geben die beiliegenden Pläne Nr. 2167-1 bis 2167-6.

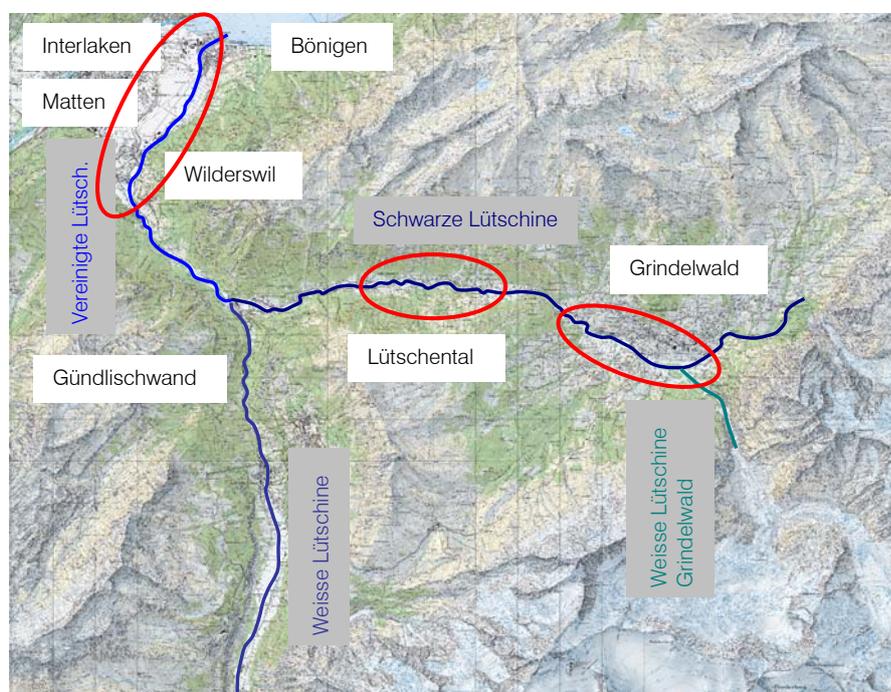


Abb 1 Übersicht über die hauptsächlichlichen Schadensgebiete in den Lütschinentälern.

Ein bis zwei Tage vor dem Ereignis hatte es noch bis 2'200 m.ü.M. geschneit, so dass sich eine geringe Schneedecke bilden konnte, welche etwas Regen zurückhielt. Am Montag, den 22. August 2005 allerdings regnete es bis auf 3'300 m Höhe.

Das Hochwasser hatte sich bereits am Sonntag, den 21. August 2005 abgezeichnet, als die gesamtschweizerisch anhaltenden Niederschläge auch in den Lütschinentälern einen erheblichen Anstieg des Abflusses (sowohl in der Weissen als auch in der Schwarzen Lütschine) bewirkten. Die Lage spitzte sich in den frühen Morgenstunden vom Montag, den 22. August 2005, zu. Sowohl die Abflüsse der Weissen als auch der Schwarzen Lütschine hatten bereits in der Nacht einen Stand erreicht, welcher vielerorts an eine kritische Grenze stiess. In den frühen Morgenstunden des Montags waren die Feuerwehren in den einzelnen Ortschaften ausgerückt und einsatzbereit. Um sechs Uhr morgens verzeichnete die Messstation in Gsteig / Wilderswil einen Wasserstand, der bereits einem 100-jährlichen Hochwasser entsprach (Details siehe Kapitel 2.2 Hydrologie). Im Verlaufe des Montag vormittags stiegen die Abflüsse zusätzlich an, was den Einsatz von schweren Maschinen notwendig machte.

1.2 Beschreibung des Ereignisablaufes

Die Beschreibung des Ereignisablaufes stützt sich auf Protokolle der Feuerwehr, Interviews und Aufzeichnungen. Für Grindelwald und Lüttschental wurde das Ereignis von E. Gertsch im Detail protokolliert und erfasst (STORME). Die entsprechenden vollständigen Protokolle sind in Anhang A1 beigefügt.

➤ Anhang A1 Abb 1 bis 7: Ereignisprotokolle

Das Hochwasserereignis wird folgendermassen aufgeteilt beschrieben:

- Schwarze Lüttschine Grindelwald / Lüttschental
- Weisse und Schwarze Lüttschinen Gündlischwand
- Weisse Lüttschine Stechelberg / Lauterbrunnen
- Vereinigte Lüttschinen Zweilüttschinen - Bönigen

Die Rekonstruktion der Geschehnisse erwies sich als ziemlich schwierig, da die Hochwasser vor allem nachts ihre Kulminationspunkte erreichten und die Hauptschäden während dieser Zeit auftraten. Zudem bestand ein längerer Stromunterbruch, so dass die Sicht generell stark eingeschränkt war und das Ausmass der Verheerungen erst am Dienstag morgen ersichtlich war.

1.2.1 Grindelwald

Während des Nachmittags des 22. August 2005 stieg das Hochwasser sowohl aus der Seite Mettenberg (Schwarze Lüttschine) als auch aus dem Unteren Grindelwaldgletscher (Weisse Lüttschine) an. Um 14.45 Uhr wurde die Mettenbergbrücke gesperrt, und ab diesem Zeitpunkt stieg auch die Weisse Lüttschine immer stärker an. Kurz vor 17.00 Uhr begann die Lüttschine bei der Rollbahnbrücke Richtung Werkhof auszufern. Um 18.06 Uhr wurde die Strasse Rollbahnbrücke - Werkhof Talgüetli gesperrt. Nach stetigem Wasseranstieg ging das Wasser in der Weissen Lüttschine um 18.46 Uhr plötzlich zurück, um eine Minute später wiederum anzuschwellen. Um 18.55 Uhr ging das Wasser wiederum zurück. Kurz vor 19.00 Uhr trat Wasser in das Mountain Hostel beim Bahnhof Grund ein.

Wenige Minuten später wurde von der Mettenbrücke her ein Wasseranstieg mit vermehrtem Geschiebe gemeldet. Nach einem Wasserrückgang um 19.09 Uhr bei der Rollbahnbrücke wurde ab 19.20 Uhr von der Gletscherschlucht her wiederum vor einem spürbaren Wasseranstieg gewarnt. Um 19.46 Uhr ereignete sich beim Campingplatz Mettenberg ein kleiner Dammbbruch, welcher aber vorerst noch ohne grössere Konsequenzen blieb. Um 20.17 Uhr waren alle Bewohner von Grindelwald Grund evakuiert, kurz vor 21.00 Uhr auch diejenigen des Mountain Hostel. Um 20.40 Uhr fiel der Strom aus.

Um 21.15 Uhr trat in der Tschingeley in Burglauenen das Wasser über die Ufer und ein grosser Teil des Talbodens wurde überschwemmt.

Nach einem erneuten Wasseranstieg in der Gletscherschlucht um 21.20 Uhr floss um 22.31 Uhr eine ca. 1 m hohe Welle aus der Gletscherschlucht. Dies bewirkte um 22.40 Uhr einen bisherigen Wasserhöchststand, das Wasser reichte nun bis hinter Gryth. Gegen 23.00 Uhr sank das Wasser in der Gletscherschlucht wiederum ab.

Um 22.48 Uhr wurde die Schwendibrücke als unpassierbar gemeldet. Um 23.17 Uhr wurde wiederum eine Welle aus der Gletscherschlucht gemeldet, um 23.38 Uhr wurde bei allen Brücken ein bisheriger Wasserhöchststand erreicht. Bis gegen 01.00 Uhr blieb der Wasserstand ungefähr bestehen, unter der Schwendibrücke blieben bis zum Anschlag ca. 10 cm frei.

Um 03.22 Uhr wurde wiederum ein Wasseranstieg aus der Gletscherschlucht gemeldet, um 03.29 Uhr ein solcher von der Mettenbergbrücke her. Bis gegen 04.00 Uhr wurde überall im Grund ein Ansteigen des Wasserspiegels vermerkt. Um ca. 03.50 bis 04.04 Uhr erreichte eine neuerliche Flutwelle die Schwendibrü-

cke und überfloss diese um ca. 30 cm. Das Wasser reichte bis 2 m in die Einfahrt der Liegenschaft (Garage) Kurt Amacher. Nach dem Wellendurchgang blieben Eisblöcke auf der Brücke liegen.

Bei der Rollbahnbrücke war unterdessen der Wasserspiegel bis zum Anschlag angestiegen, in der Folge stand die Baracke der Alpinice AG im Wasser. Ab ca. 05.25 Uhr war ein allgemeiner starker Wasserrückgang festzustellen.

Die Abbildungen 8 und 9 in Anhang A2 zeigen die Feststoffablagerungen im Gebiet Mettenberg - Gryth und die Überschwemmungsgebiete im Bereich Grund am Tag nach dem Ereignis:

➤ Anhang A2 Abb 8 und 9

1.2.2 Lütschental

Am 22. August 2005 wurde um 12.30 Uhr Alarm ausgelöst, als die Schwarze Lütschine stellenweise bereits einen bedrohlichen Anstieg verzeichnete. Um ca. 18.00 Uhr musste die Stägmatta und die Lehmma evakuiert werden. Zur selben Zeit wurde das rechtsufrige Widerlager der Stägmattabrücke unterspült, welche um ca. 19.15 Uhr absank. Bei der Sagi wurde das Ufer um 18.30 Uhr weggeschwemmt. Um 19.45 Uhr stürzte die Holzbrücke zusammen. Um 23.00 Uhr wurde das Haus Baumann weggeschwemmt. Während der darauf folgenden Nacht auf den 23. August 2005 schwemmte der Fluss die Umgebung der Gemeindeverwaltung weg, um ca. 03.00 Uhr wurde die rechtsufrige Kantonsstrasse nach Grindelwald sowie die BOB-Trasse im Gebiet Underem Rain weggeschwemmt resp. unterspült. Morgens um 08.00 Uhr war das Wasser so weit zurückgegangen, dass mit ersten grösseren Aufräumarbeiten begonnen werden konnte.

Ein nochmaliger Anstieg des Hochwassers in den frühen Morgenstunden durch die kalte Abflusswelle wurde im Feuerwehr-Protokoll nicht erwähnt. Da sich die Schwarze Lütschine bis zu diesem Zeitpunkt ein viel breiteres Bachbett erodiert hatte, ist es möglich, dass dieser neuerliche Anstieg unbemerkt blieb, da ja auch hier seit 18.30 Uhr kein Strom und infolgedessen keine adäquate Beleuchtung mehr zur Verfügung stand.

Zeitlich gesehen stieg der Abfluss der Lütschine am 22. August 2005 gegen Abend kontinuierlich an. Die Flutwelle des Unteren Grindelwaldgletschers hatte ihre Spitze in der Nacht vom 23. August 2005 um ca. 4.00 Uhr und führte zusätzlich noch zu grossen Geschiebe-Umlagerungsprozessen. Es soll auch in Lütschental noch Eis vom Unteren Grindelwaldgletscher beobachtet worden sein!

Die Abbildungen 10 und 11 in Anhang A2 zeigen die Schäden im Stalden und im Siedlungsgebiet von Lütschental:

➤ Anhang A2 Abb 10 und 11

1.2.3 Gündlischwand

Ein eigentliches Einsatzprotokoll besteht nicht. Die Rekonstruktion des Ereignisses in der Gemeinde Gündlischwand basiert auf der mündlichen Besprechung mit Herrn Heinz Seematter, Feuerwehr Gündlischwand. Die angegebenen Zeiten sind als „ungefähre“ Zeitangaben zu verstehen.

Weisse Lüttschine, Montag 22. 8. 2005:

Geschätzte Uhrzeit	Ereignis	Massnahmen	Abflussmenge Q gemäss Messstation (m ³ /s)
ab 08.00	WL kommt „sehr hoch“.	-	70
ca. 11.00	WL erreicht kritischen Stand im Bereich der Messstation. Gefahr des Auslaufes nach rechts Richtung Bahnhof.	Bereitstellung von Sandsäcken.	80
bis 15.00	...hatte man das Gefühl, die Sache sei ok.	-	80
ab 15.00	Zusätzlicher Schub Wasser, schlägt an der Strassenbrücke an.	-	90
16.00		Wasser wird die Zeughausstrasse abgeleitet, um die Häuser zu schützen. Aushub eines ca. 3 m breiten Grabens.	90
ab 16.00	WL tritt beim Fäldli über die Ufer.	-	90
17.00 - 18.00	Ausbruch rechte Talseite bei der „Schmelzi“, bei der Scheune.	-	<100
18:00	Wasser fliesst Richtung „Bären“ und durch die Häuser, auf der Strasse sind ca. 80 cm Wasserhöhe beobachtet worden.		100
ca. 23.00	Wasserstand beim Zeughaus 30 - 40 cm.	-	100 - 110
bis ca. 24.00	Hochwasserspitze hält an.		100 - 110
04.45	Die alte Stahlfachwerkbrücke wird überflossen. Der Stau bei der Brücke ist vorwiegend auf den hohen Abfluss, nicht auf Holztransport zurückzuführen.	-	100 - 110

Abb 2 Ereignisablauf in Gündlischwand (WL = Weisse Lüttschine)

Schwarze Lüttschine:

- Bis ca. 22.00 Uhr keine Probleme.
- Um ca. 02.30 - 03.00 Uhr staute die Weisse Lüttschine die Schwarze Lüttschine.
- Das Maximum wurde zwischen 04.00 und 06.00 Uhr beobachtet. Allerdings war das Wasser plötzlich sehr kalt. Um ca. 04.45 Uhr wurde die alte Stahlfachwerkbrücke weggeschwemmt.

1.2.4 Weisse Lütschine

Entlang der Weissen Lütschine von Stechelberg bis nach Zweilütschinen waren viel geringere Schäden als in der Schwarzen Lütschine aufgetreten. Stellenweise war die Abflusskapazität des Flussbettes zu klein, wobei bei den Austrittsstellen örtliche und zeitlich begrenzte Sohlenerhöhungen die Kapazität verringert haben dürften, was zu den Ausbrüchen führte. Das Hochwasser in der Weissen Lütschine erreichte seine Spitze bei Zweilütschinen einige Stunden früher als dasjenige der Schwarzen Lütschine.

Stechelberg

In Stechelberg traten insgesamt nur geringfügige Schäden auf, welche primär Infrastruktur im / am Gerinne und Wasserbauten betraf.

Bei Stechelberg treffen unterhalb des Elektrizitätswerkes die Tschingel- und die Sefinenlütschine aufeinander und fließen von hier weg als „Weisse Lütschine“ gegen Lauterbrunnen zu.

Laut Karl Feuz, Kdt Fw Stechelberg, wurde die Hochwasserspitze aus der Tschingellütschine um ca. 17.00 - 18.00 Uhr erreicht. Danach hat sich die Wassermenge bis in die Morgenstunden allmählich reduziert.

Bei der unteren Stechelbergbrücke war das Wasser hauptsächlich auf der linken Seite geflossen, was am Ufer Baggerungen zur Stabilisierung der Böschung und Verhinderung des Ausbruches Richtung EW Zentrale Stechelberg notwendig machte.

Um ca. 15.00 Uhr am 22. August 2005 überflutete der Mürrenbach Kulturland. Die Schilthornbahnbrücke wurde ein halbe Stunde später unterspült, dann weggerissen. Die Weisse Lütschine trat linksufrig über, wie auch ausserhalb der Siedlung Segmatte (ab ca. 14.00 Uhr).

Um 17.35 Uhr wurde Wasser von der Weissen Lütschine auf dem Parkplatz der Schilthornbahn gemeldet.

Ab 20.00 Uhr hatte die gesamte Gemeinde Stromausfall.

Lauterbrunnen

In Lauterbrunnen trat die Weisse Lütschine um 11.30 Uhr am 22. August 2005 „im Loch“ über die Ufer und floss über die Kantonsstrasse. Zur Verhütung weiterer Schäden wurde bei der Kiesgrube Steiner ein Damm geschüttet.

1.2.5 Vereinigte Lüttschinen

Wilderswil

Am Morgen des 22. August 2005 (Montag) um 05.00 Uhr war die Flisou mit den drei Ställen bis zur Bahnlinie bereits unter Wasser. Diese Fläche war in den letzten 5 Jahren 3 Mal überflutet. (2000, 2002 und 2005; siehe Abbildung 16 in Anhang A2).

Zwischen ca. 10.30 und 11.00 Uhr begann die Überflutung des Dammes unterhalb der Gsteigwilerbrücke und somit die Überflutung des Gebietes Greichen (Abbildung 13 in Anhang A2).

Die Gsteigbrücke wurde am frühen Morgen für den Durchgangsverkehr gesperrt. Im Laufe des späteren Vormittags wurde ein Bagger für die Freilegung des Gerinnes unmittelbar oberhalb der Brücke eingesetzt. Dieser Bagger blieb in der Folge bis am Dienstag am genannten Ort im Einsatz.

Ab ca. 13.30 Uhr begann oberhalb der Werrenkurve das Überfliessen des Dammes auf ca. 20 m Länge. Das Wasser floss dem Feld entlang Richtung Werrenkurve und dem Bahnhof Wilderswil zu. Die dabei ausgetretene Wassermenge dürfte ca. 15 - 17 m³/s gewesen sein.

Beim Musterplatz begann die Überflutung etwa um 13.30 Uhr. Sie dauerte bis zum nächsten Tag etwa um 12.00 Uhr. Um 09.31 Uhr am 23. August 2005 wurde ein Bild aufgenommen, welches das nach wie vor fließende Wasser zeigt (siehe Abbildung 17 in Anhang A2).

Ab ca. 17.00 Uhr war ein plötzlicher weiterer Anstieg des Wassers zu erkennen und bei der Liegenschaft Messerli (Musterplatz, Wilderswil) setzte die Erosion des Dammes ein. Ab Mitternacht begann die Erosion bei der Bahnbrücke ca. 100 m unterhalb, und in den frühen Morgenstunden vom Dienstag, 23. August 2005 löste sich allmählich ein Loch von ca. 1.50 x 3.00 - 4.00 m Grösse, was einem Querschnitt von ca. 5 - 6 m² entspricht.

Beim Haus Messerli gab es um ca. 04.00 Uhr einen zusätzlichen Bruch (Abbildung 7 in Anhang A2), so dass eine trapezförmige Bresche mit einer Fläche von ca. 10 m² entstand.

Das Wasser aus den beiden Breschen überflutete Wilderswil und füllte u.a. die Autobahn N8 auf (Abbildung 12 in Anhang A2). Den Feuerwehrleuten stand das Wasser im Dorf teilweise bis zur Hüfte. Ab Zeitpunkt Dambruch war die Autobahn innerhalb von 2 Stunden gefüllt.

Richtung Bönigen, also unterhalb der Messstation bis zum Brienersee, überfloss das Wasser die Dämme ebenfalls, aber nur in bescheidenem Masse.

➤ Anhang A2 Abb 12 bis 17: Überschwemmungen in Wilderswil

1.3 Schäden

Die Hauptschadensgebiete liegen entlang der Schwarzen und der Vereinigten Lüttschinen. Die Schäden im Gebiet der Weissen Lüttschine waren vergleichsweise gering.

Die grössten Schadensgebiete befanden sich an den folgenden Orten:

Ort	Art des Prozesses, der zum Schaden führte	Vermuteter / erwiesener Grund
Grindelwald Grund	Überschwemmung / Übersandung Sand	zu kleine Gerinnekapazität wegen Sohlenuflandungen
Grindelwald Schwendibach	Murgang	starke Gerinneerosion
Burglauenen Tschingeley	Überschwemmung / Übersandung Sand	zu kleine Gerinnekapazität wegen Sohlenuflandungen
Stalden	Sohlen- und Ufererosion	lang anhaltender hoher Abfluss mit hoher Erosions- resp. Transportkapazität
Lüttschental	Seitenerosion / Überschwemmung / Übersandung Sand	zu kleine Gerinnekapazität wegen Sohlenuflandungen
Gündlischwand (Schwarze Lüttschine)	Überschwemmung / Übersandung Sand	zu kleine Gerinnekapazität wegen Sohlenuflandungen / Rückstau durch Weisse Lüttschine
Zweilüttschinen (Weisse Lüttschine)	Überschwemmung / Übersandung Sand	zu kleine Gerinnekapazität wegen Sohlenuflandungen
Dangelstutz	Sohlen- und Ufererosion	lang anhaltender hoher Abfluss mit hoher Erosions- resp. Transportkapazität
Wilderswil (Flisou)	Überschwemmung / Übersandung Sand	zu kleine Gerinnekapazität wegen Sohlenuflandungen
Wilderswil (Kanal)	Überschwemmung	Dammbruch, zu kleine Gerinnekapazität
Matten, Bönigen, Interlaken	Überschwemmung	Dammbruch, zu kleine Gerinnekapazität

Abb 3 Hauptschadensgebiete in den Lüttschinentälern (vgl. auch Kapitel 2.7 Bauwerke)

2 Ereignisanalyse

2.1 Meteorologie

2.1.1 Allgemeine Lage

Vom 19. - 23. August 2005 fielen in der Schweiz und im angrenzenden Ausland starke Niederschläge, welche vielerorts Überschwemmungen verursachten und verheerende Schäden von insgesamt über 2.5 Mia. Franken anrichteten. Die nachfolgende Beschreibung der Witterungssituation wurde aus Informationsmaterial der Meteoschweiz zusammengestellt (www.meteoschweiz.ch¹). Vor dem genannten Zeitraum regnete es bereits in der Zentral- und Ostschweiz, wo zwischen dem 14. und dem 18. August 2005 an einigen Stationen über 40 mm Regen gemessen wurden.

Am Freitag, den 19. August 2005 wurde ein Tief mit Kern über den Niederlanden erkannt. Am nachfolgenden Tag war das Tief im Raum der Benelux-Länder noch knapp zu erkennen, der Schwerpunkt der zyklonalen Aktivität hatte sich aber nach Norditalien verlagert, wo sich ein sekundäres Bodentief entwickelte. In der Schweiz kamen nordöstliche Winde auf, nur in grosser Höhe herrschte noch Südwind.

Am Sonntag, 21. August 2005 vertiefte sich das Tief weiter, sein Kern lag über dem Golf von Genua, und in der Höhe entstand eine stark zyklonale Situation. In der Nacht zum 22. August 2005 erreichte das Höhentief seine maximale Ausprägung. Gleichzeitig bewegte sich das ganze System ostwärts, so dass es am Montag, 22. August 2005, am Mittag immer noch konzentrisch über der nördlichen Adria lag. Damit drehten die Höhenwinde auf der Alpennordseite auf Nord, was zu zunehmenden Stausituationen führte.

Am Dienstag, 23.08.2005 befand sich die Tiefdruckzone über Ungarn. Die feuchtesten Luftmassen lagen nun nicht mehr über der Schweiz, wo nennenswerte Niederschläge nur noch im Prättigau fielen. Dafür aber waren die nordalpinen Teile Bayerns und Österreichs immer noch im Starkregenbereich. Gemäss Meteoschweiz handelt es sich bei diesem Wetterlagenverlauf nicht um eine reine „Vb-Lage“. Das beschriebene Tief zog von Norditalien her nur unwesentlich nordwärts, sondern eher ostnordöstlich ab. Es erfasste Polen nur am Rande und zog Richtung Ukraine, wo es sich auffüllte. Diese Zugbahn liegt zwischen „Vb“ und „Vd“.

In bezug auf das Niederschlagsgeschehen wirkte sich der Witterungsverlauf folgendermassen aus:

Am 19. und 20. August 2005 erfolgten teilweise konvektiv geprägte Niederschläge. Sie behelligten besonders das nördliche Alpenvorland und führten zu ersten Schäden. Eine flächige Regenzone zog allerdings am 20. August 2005 über Graubünden nordostwärts und brachte am Weissfluhjoch bis 36 mm Niederschlag.

Der Verlauf der stärksten Niederschläge in den verschiedenen Regionen zeigt eine recht klare Struktur:

- Bis zum 20. August 2005 wurden keine besonders starken und flächigen Summen registriert. Es herrschte ein weitgehend konvektives Regime ohne Staueffekte.
- Am 21. August 2005 war schwerpunktmässig die Region Berner Oberland - Zentralschweiz betroffen, primär in der zweiten Tageshälfte.
- Bis am 22. August 2005 verlagerte sich der Schwerpunkt des Regens Richtung Ostschweiz. Gleichzeitig wurde der Streifen der Starkniederschläge schmaler und betraf in der westlichen Landeshälfte noch das Hauptanstiegsgebiet der Nordalpen. In dieser Phase wurden die Niederschläge weiter östlich auch über den ersten Alpenkamm bis ins Unterengadin transportiert. In allen Höhenlagen herrschten nun nördliche Winde, das Tief lag ja recht genau östlich der Schweiz.
- Am 23. August 2005 war nur noch die Region Prättigau in nennenswertem Masse von den Niederschlägen betroffen. Die Höhenwinde zeigten nun Westkomponente, so dass weniger feuchte Luft von ausserhalb des Tiefs nachfliessen konnte. Das Hauptereignis betraf damit die Zeit vom 21. August 2005 Mittag bis 23. August 2005 Morgen. Insgesamt dauerte die Phase relevanter Niederschläge volle vier Tage.

¹ August-Hochwasser 2005, Analyse der Niederschlagsverteilung, Chr. Frei, MeteoSchweiz, Zürich, 8. September 2005

2.1.2 Niederschläge über dem Gebiet der Lüttschinentäler

Die drei-stündliche Niederschlagsabfolge aufgrund von Radarauswertungen über den Lüttschinentälern findet sich in Anhang B1.

➤ **Anhang B1** **Abb 18 - 42: Radarbilder 3-stündliche Niederschlagsdaten**

In Abb 4 kann das gegenüber der näheren Umgebung tiefere Niederschlagstotal für den Zeitraum 20. - 22. August 2005 erkannt werden. Die Zahlen bedeuten die Gesamt - Niederschlagssumme in mm, wobei die dunklen Zahlen die Werte der Stationen der Meteoschweiz, die hellen Zahlen die Werte der IMIS - Stationen darstellen (Interkantonales Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung). Das Einzugsgebiet der Lüttschinentäler liegt im Bereich der hellblauen Niederschlagszone (rot umrandet) mit einem Gebietsmittel von ca. 150 mm, was gegenüber anderen Gebieten im Berner Oberland und insbesondere in der Zentralschweiz eine verhältnismässig bescheidene Menge war.

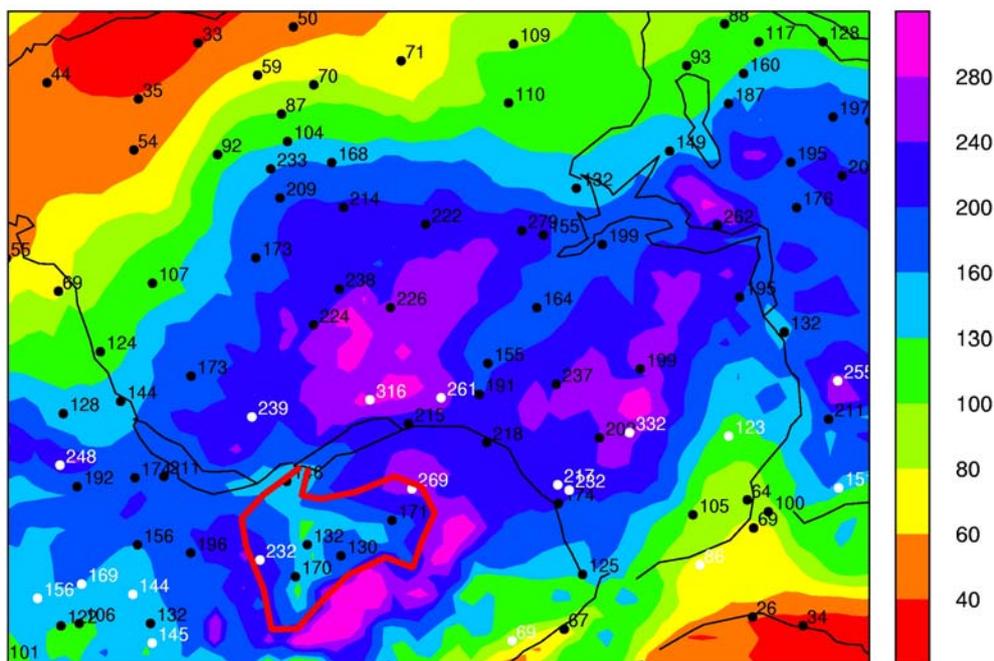


Abb 4 3-Tages-Niederschlagsmengen (mm) im Raum Berner Oberland, Emmental und Zentralschweiz.
(20. - 22. August 2005, Quelle: www.meteoschweiz.ch) Einzugsgebiet der Lüttschinentäler rot eingezeichnet.

Im Vergleich zu übrigen IMIS - Stationen im Berner Oberland liegen die Werte der beiden Stationen First und Türliböden, beide über 2'000 m.ü.M. gelegen, eher im oberen Bereich (siehe Abb 5).

Die Niederschläge sind aber räumlich wie zeitlich sehr unterschiedlich ausgefallen und waren für das Gebiet der Lüttschinentäler im Vergleich zu früher aufgetretenen Niederschlägen nicht aussergewöhnlich hoch (vgl. Kapitel 2.1.2.4).

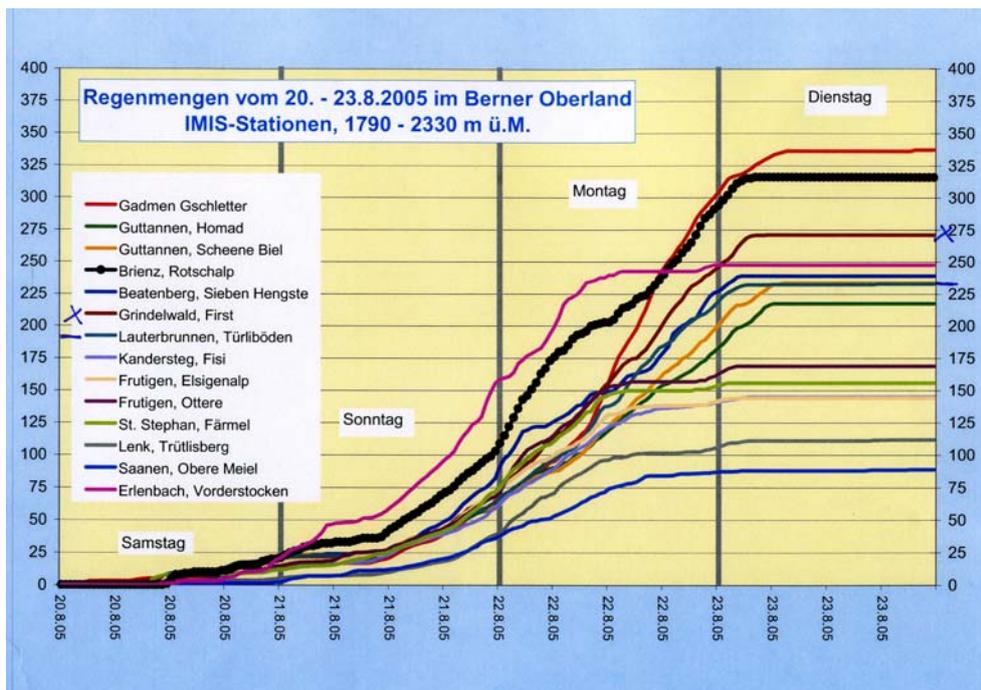


Abb 5 Aufsummierte Niederschlagsmengen im Vergleich zu Messstationen aus anderen Gebieten (Kantonales Amt für Wald KAWA, Interlaken)

2.1.2.1 Räumlicher Unterschied

Die während des Ereignisses gefallenen Niederschläge wurden von insgesamt 9 im oder unmittelbar am Perimeter gelegenen Messstationen registriert. Dabei handelt es sich einerseits um Stationen der Meteoschweiz, eine Station des Elektrizitätswerks Lauterbrunnen, Zentrale Stechelberg (Daten als Tagestotal), andererseits um IMIS - Stationen und um eine Station des Instituts für angewandte Pflanzenbiologie in Schönenwerd BL, (IAP, ½ - h - Total, siehe Abb 6).

In Abb 6 sind die Tages - Niederschlagssummen für die 9 Messstationen angegeben. Die 4 - Tages - Niederschlagssummen variieren bis zu 220 Prozent Unterschied (Vergleich Stechelberg - First). Der Unterschied ist an den massgeblichen Tagen des 21. und 22. August 2005 sogar noch etwas höher. Im Durchschnitt fielen über dem Gebiet der Lütschinentäler zwischen dem 20. und 23. August 2005 ca. 150 mm Niederschlag.

Station	Koordinaten	H.ü.M. (m)	20.8.	21.8.	22.8.	23.8.	Total	21. -22.8.
1 First ¹⁾	647900/168780	2110	19.4	100	149.8	0	269.2	249.8
2 Grindelwald ²⁾	646460/163830	1040	13.5	64.8	92.8	0.0	171.1	157.6
3 Kleine Scheidegg ²⁾	639950/159450	2061	14.6	20.3	95.4	0.2	130.5	115.7
4 Wengernalp ³⁾	638470/158420	1886	14.8	69.0	59.8	0.0	143.6	128.8
5 Stechelberg ⁴⁾	635370/154900	905	13.2	59.7	48.9	0.0	121.8	108.6
6 Müren ²⁾	634670/156380	1638	16.9	61.0	92.2	0.0	170.1	153.2
7 Lauterbrunnen ²⁾	635890/160740	818	13.4	59.6	58.8	0.0	131.8	118.4
8 Interlaken ²⁾	633070/169120	580	18.8	81.6	45.7	0.1	146.2	127.3
9 Türliböden ¹⁾	630430/158480	2330	21.4	80.6	129.0	0.4	231.4	209.6

Abb 6 Gemessene Niederschlagssummen (mm) im Einzugsgebiet der Lüttschinentäler.
(Die Stationsnummern 1 - 9 entsprechen denjenigen in Abb 7).

- 1) IMIS Station
- 2) Station der Meteoschweiz
- 3) Messstation IAP
- 4) Messstation der ELW Lauterbrunnen

In Abb 7 sind die Niederschlags- und Abflussmessstationen dargestellt.

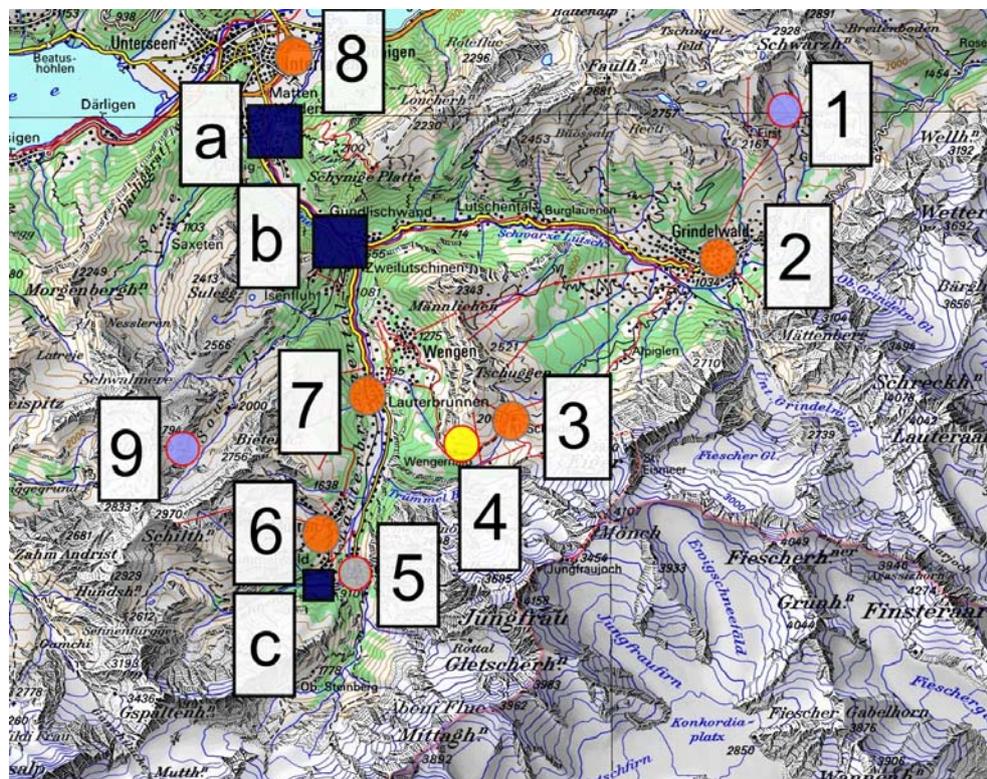


Abb 7 Übersicht über die Messstationen im Lüttschinengebiet
1 - 9 = Niederschlag gemäss Tabelle1, a - c = Abfluss.
Die Farben geben die unterschiedlichen Betreiber wieder.

In Anhang B1 Abb 43 sind die Niederschlagssummen in einem schematischen West - Ost Profil dargestellt. Demnach fielen die höchsten Niederschläge an den Bergflanken der West- und Ostgrenzen des Einzugsgebietes der Lütschinentäler, während in den Tälern bedeutend geringere Summen anfielen. Allerdings lässt sich ein generelles Ansteigen der Niederschlagsmengen mit zunehmender Höhe für das Gebiet der Lütschinentäler nicht generell belegen. Würden beispielsweise die beiden IMIS - Messstationen Türliboden und First in Anhang B1 Abb 44 fehlen, wäre eine entsprechende Tendenz nicht feststellbar. In Anhang B1 Abb 44 kann auch erkannt werden, dass die Niederschläge bei 7 der 9 Messstationen ähnliche Mengen erreichten, nur die beiden an der westlichen und östlichen Einzugsgebietsgrenze gelegenen Stationen Türliboden und First weisen erheblich höhere Werte auf. Diese Stationen liegen auch am Grenzbereich zu den höheren Niederschlagsgebieten um die Lütschinentäler herum.

➤ **Anhang B1 Abb 43 und 44: Zwei-Tages - Niederschlagssummen**

Die auf das jeweilige Tagestotal aufsummierten Niederschläge für den 20. - 23. August 2005 sind in Abb 6 aufgezeichnet. Dabei fällt die generell hohe Niederschlagsmenge des 22. August 2005 auf. Nur bei der Wengernalp, Stechelberg, Lauterbrunnen und Interlaken fällt das grösste Tagestotal auf den 21. August 2005. Diese Stationen befinden sich mit Ausnahme von Interlaken im Gebiet der Weissen Lütschine. Sieht man von der nicht direkt im Gebiet gelegenen Station Interlaken ab, lassen sich für die übrigen Stationen grob zwei Niederschlagsmuster feststellen, anhand derer drei Niederschlagsregionen auseinander gehalten werden können:

Region 1 mit First, Grindelwald und Kleine Scheidegg (Abdeckung Schwarze Lütschine):

Mit Ausnahme der Kleinen Scheidegg sehr hohes Niederschlagstotal und am 22. August 2005 die mit Abstand höchsten Niederschläge. Die auf das bereits in den Morgenstunden des 22. August Hochwasser verursachende Niederschlagsereignis folgenden nun intensivierten Regenfälle, wodurch in der Schwarzen Lütschine Abflüsse von seltenem Ausmass auftreten.

Region 2 mit Wengernalp, Stechelberg und Lauterbrunnen:

Verhältnismässig geringe Niederschläge und ähnlich hohe Niederschlagsmengen am 21. und 22. August 2005. Das vergleichsweise geringe Niederschlagstotal für den Zeitraum vom 20. - 22. August 2005 ist auf das Fehlen höherer Niederschläge am 22. August 2005 zurückzuführen. Dies könnte evtl. mit ein Grund sein, dass das Hochwasser der Weissen Lütschine am Abend des 22. August 2005 keinen Rekordwert erreicht hat.

Region 3 mit Mürren und Türliböden:

Niederschlagsmässig ähnliche Verteilung und Menge wie in Region 1, gilt aber vermutlich nur für die Ostabhänge der Kette Schilthorn - Bietenhorn und Hinteres Soustal.

2.1.2.2 Zeitliche Niederschlagsverteilung - Niederschlagsverlauf

Die zeitliche Niederschlagsverteilung ist bei allen Messpunkten bis auf wenige Unterschiede ähnlich (Abb 6).

Die täglichen Niederschlagsmengen erhöhen sich in den meisten Fällen vom 20. bis zum 22. August 2005. Dies gilt insbesondere für das Gebiet der Schwarzen Lüttschine mit den Stationen First, Grindelwald und Kleine Scheidegg, während die entsprechende Beobachtung nur bedingt für die Stationen im Gebiet der Weissen Lüttschine gilt.

Eine halbstündliche Niederschlagsauflösung steht für die Messstationen First, Wengernalp und Türliboden zu Verfügung. Der Niederschlagsverlauf während des Ereignisses kann deshalb anhand dieser drei Messstationen im Detail rekonstruiert werden.

➤ **Anhang B1** **Abb 45 - 47: Niederschlagsverlauf Messstationen First, Wengernalp, Türliboden**

Ein sehr kurzer aber intensiver Niederschlag fand am Abend des 19. August 2005 statt. Leichter Regen mit Unterbrüchen prägte den 20. August 2005. Eine mehrstündige Regenpause setzte in den Morgenstunden des 21. August 2005 ein. Gegen Mittag begann es wiederum zu regnen, wobei der betreffende Niederschlagsblock mit unterschiedlichen Intensitäten ununterbrochen bis in die frühen Morgenstunden des 23. August 2005 anhielt. Bei allen drei Stationen ist also eine Konzentration der Niederschläge im Zeitraum zwischen Mittag, den 21. August 2005 und den frühen Morgenstunden des 23. August 2005 ersichtlich. Die aufgetretenen Intensitäten sind moderat und übertreffen 7 mm pro halbe Stunde (= 14 mm/h bezogen auf eine halbe Stunde, Türliboden, Mittag des 22. August 2005) nicht. Auch wenn der Regen sehr unregelmässig fiel, betrug die Niederschlagsmenge während des genannten Zeitraumes bei der Station First fast 250 mm und im Türliboden 210 mm. Die Niederschlagsintensitäten stiegen insbesondere bei der Messstation First bis in die frühen Abendstunden des 22. August 2005 tendenziell an, womit auch der Anstieg des Hochwassers in der Schwarzen Lüttschine zeitverzögert bis Mitternacht desselben Tages plausibel erscheint (vgl. Kapitel 2.2 Hydrologie).

Für das Gebiet der Weissen Lüttschine (Wengernalp, Türliböden) ist dieses Anstiegsmuster nicht derart ausgeprägt. Die jeweiligen Niederschlagsspitzen werden bereits in der Nacht auf den 22. August 2005 und am Mittag desselben Tages erreicht (Wengernalp) resp. bis gegen die frühen Nachmittagsstunden (Türliböden). Dies wiederum kann eine Erklärung für das gegenüber der Schwarzen Lüttschine frühere Auftreten der Hochwasserspitze aus dem Lauterbrunnental sein.

In Kapitel 2.2 findet sich ein Kurzkomentar zur Korrelation Niederschlag - Abfluss während des fraglichen Zeitraumes in den Lüttschinentälern.

2.1.2.3 Niederschlagsbewertung anhand der Radardaten

Die mittels Radar aufgenommenen Niederschlagsmengen sind bei höheren Niederschlagsintensitäten tiefer als die mit den herkömmlichen Stationen gemessenen Niederschläge. Für niedrige Intensitäten scheint zumindest für die Station First das Gegenteil zu gelten. Bezogen auf die 3 - Stundenmittel ist dies anhand von Abb 6 und 7 in Anhang B1 ersichtlich.

➤ Anhang B1 Abb 48 und 49: Vergleich 3 - Stundenmittel First und Wengernalp mit Radardaten

Die Stationen sind allerdings für das jeweilige Teileinzugsgebiet nicht repräsentativ positioniert, was mit ein Grund für das unterschiedliche Niederschlagsbild sein dürfte.

Die Figuren der Radarauswertungen befinden sich in Anhang B1.

➤ Anhang B1 Abb 18 - 42: Radarbilder 3-stündliche Niederschlagsdaten

Gebietsniederschlag

Für die Bestimmung des über den Lüttschinentälern gefallenen Gesamtniederschlagsvolumens wurde der Punktniederschlag jeder Station auf ein bestimmtes Teilgebiet übertragen. Das auf diese Weise ermittelte Niederschlagsvolumen beläuft sich auf ca. 60 Millionen m³. Davon sind gemäss Ganglinie an der Abflussmessstation Gsteig ca. 40 Millionen m³ Wasser abgeflossen. Demzufolge kamen ca. 1/2 des Niederschlags praktisch direkt zum Abfluss, wenn man den Basisabfluss (ca. 10 Mio. m³) berücksichtigt. Reduziert man die abgeflossene Wassermenge um den saisonüblichen Basisabfluss gemäss den Tagen unmittelbar vor dem Ereignis, ändert sich das Bild nur wenig (Tagesabfluss am 18. August 2005 = 2.1 Mio. m³, am 19. August 2005 = 2.8 Mio. m³).

Niederschlagsdaten aufgrund von Stationsmessungen liefern im Hinblick auf die Übertragung auf ein grösseres Gebiet nur beschränkten Aussagewert. Deshalb wurde versucht, die Niederschlagsverteilung im Lüttschingegebiet mittels Radardaten besser zu erfassen. Hierfür wurde das Einzugsgebiet in 10 Teileinzugsgebiete unterteilt (Abb 8).

Zu beachten ist, dass die Radardaten deutlich zu niedrige Werte ergeben. Die Auswertung der auf Stundenwerte aggregierten Niederschlagswerte zeigt für die Teileinzugsgebiete eine erste intensive Phase in der Nacht vom 21. auf den 22. August 2005. Eine zweite Aktivierung fand am Nachmittag des 22. August 2005 statt (die entsprechende Auswertung erfolgte durch Geo 7).

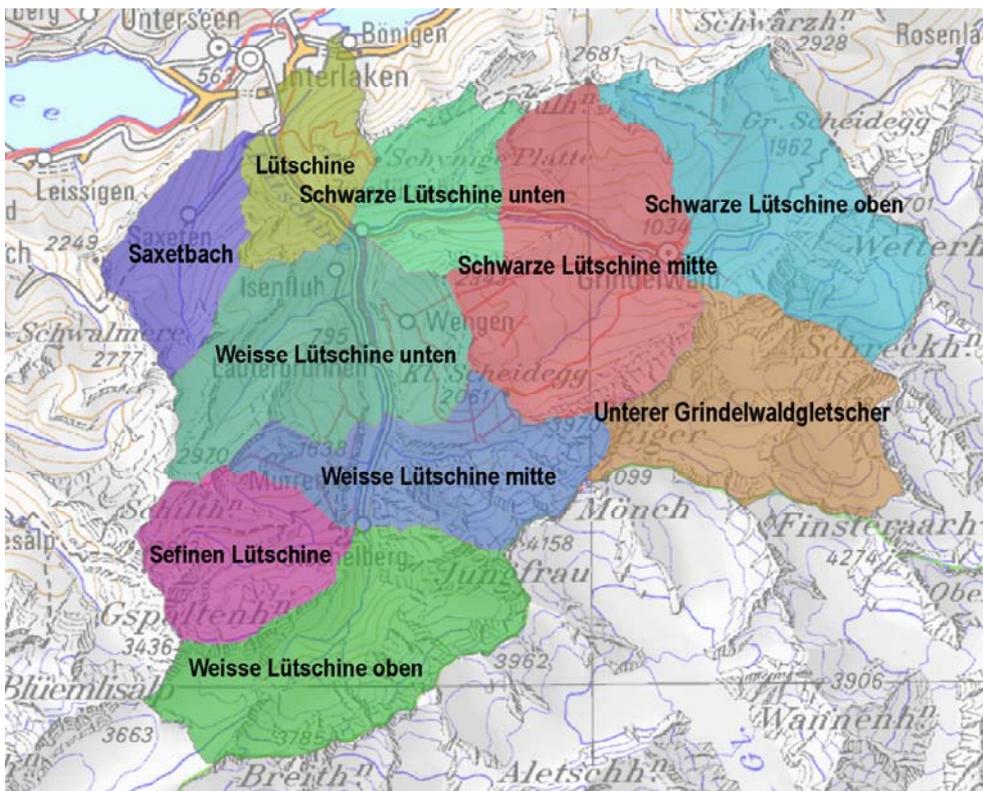


Abb 8 Teileinzugsgebiete der Lüttschinentäler

Die Auswertung der Tagesniederschläge ergibt für alle Teileinzugsgebiete ähnliche Verläufe. Die höchsten Niederschlagssummen wurden im obersten Einzugsgebiet der Schwarzen und der Weissen Lüttschine registriert. Die Gitter - Interpolation der Tagesniederschläge, basierend auf den ANETZ-, IMIS- und Niederschlagsmessstationen unter Einbezug der Radardaten, wurde von der SMA vorgenommen. Aus diesen Daten wurden die Gebietsniederschläge für 10 Teileinzugsgebiete ermittelt (Abb 9).

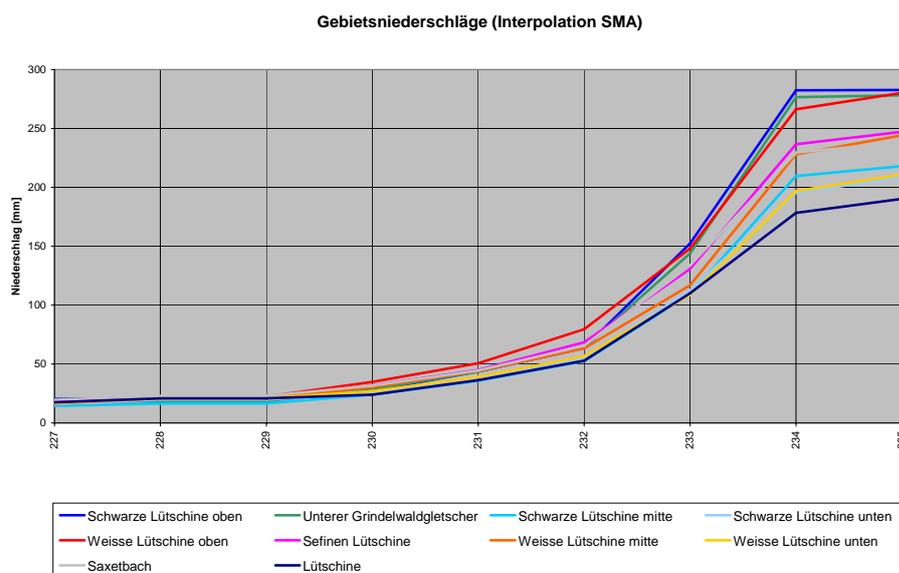


Abb 9 Gebietsniederschlag in den 10 Teileinzugsgebieten der Lüttschinentäler gemäss Interpolation SMA

Werden nur die stündlich aufgelösten Radarwerte berücksichtigt, sind die entsprechenden Niederschlagswerte erheblich tiefer (vgl. Abb 50 in Anhang B1). In den einzelnen Teileinzugsgebieten ist ein ähnlicher Verlauf in Bezug auf die Niederschlagsverteilung und -menge zu ersehen. Interessant ist in diesem Zusammenhang der geringe Unterschied bei den Niederschlagsmengen zwischen den Gebieten der Schwarzen Lütschine und der Weissen Lütschine. Vergleichsweise hohe Gesamtniederschlagsmengen wurden in den oberen Einzugsgebieten der Schwarzen Lütschine und interessanterweise im Gebiet des Saxetbaches registriert, während die Radarwerte beispielsweise im Teilgebiet „Schwarze Lütschine unten“ relativ bescheiden ausfallen.

➤ Anhang B1 Abb 50: Stundenradarwerte für die einzelnen Teileinzugsgebiete

2.1.2.4 Vergleich mit früheren Niederschlägen und Einordnung der Tages- und Mehrtagesniederschläge

Ein Vergleich mit früheren Niederschlägen ist nicht für alle Niederschlags-Messstationen möglich, da nur wenige Stationen wie Lauterbrunnen, Grindelwald und Interlaken über langjährige Messreihen verfügen. Geo7 erarbeitete einen Vergleich anhand der Station Lauterbrunnen, weil die entsprechenden Daten seit 1901 digital vorliegen, was bei den andern Stationen nicht der Fall ist. Die auf die Station Lauterbrunnen bezogenen Ergebnisse sind aber nur bedingt für das Gebiet der Lüschantäler aussagekräftig:

- Es handelt sich um Punktniederschläge.
- Lauterbrunnen weist für den fraglichen Zeitraum vom 20. bis 22. August 2005 innerhalb des Gebietes unterdurchschnittliche Niederschläge auf.
- Die Niederschlagsmuster waren innerhalb der Lüschantäler nicht identisch.

➤ Anhang B1: Abb 51 - 54: Auswertung langjähriger Messreihen Station Lauterbrunnen

Zusätzlich wurde versucht, die Niederschläge des Augustereignisses 2005 auch anhand der Messstationen Grindelwald, Kleine Scheidegg und Mürren zu vergleichen, weil eben die Vermutung nahe lag, dass aufgrund der hohen räumlichen Niederschlagsvariabilität zwischen dem 20. und 23. August 2005 auch andere Schlüsse als diejenigen anhand der Station Lauterbrunnen gezogen werden könnten.

Ein Vergleich mit den Daten aus den Starkniederschlagsbänden WSL ist in Abb 12 dargestellt. Die Daten decken dabei die Jahre bis 1977 ab, wobei zwischenzeitlich die Niederschlagsereignisse von 1978 und Oktober 2000 mitberücksichtigt sind. Dies ist ein gewisses Manko, ändert aber nichts an der Tatsache, dass die Niederschlagswerte an jeder der genannten Messstation bereits einmal oder mehrfach übertroffen worden sind.

Die Wiederkehrperiode des Niederschlagsereignisses in den Lüschantälern dürfte je nach Teilgebiet etwa zwischen 20 und 50 Jahren liegen.

Für die Periode 1901 - 2005 wurde eine statistische Auswertung der 1-, 2- und 5-Tagesniederschläge sowie der Monatsniederschläge vorgenommen. Die Einordnung des Ereignisniederschlags vom August 2005 ergibt folgende Jährlichkeiten:

	1-TagesN	2-TagesN	5-TagesN	MonatsN
Wert [mm]	59	118	148	265
Jährlichkeit 1901-2005	> 20	Ca. 50	Ca. 50	Ca. 20

Abb 10 Jährlichkeiten der in Lauterbrunnen gemessenen Niederschläge (Geo7).

Bei den 2-, 3- und 5-Tagesniederschlägen figuriert das Ereignis vom August 2005 auf dem ersten Rang. Die statistische Einordnung des "Gebietsniederschlags" sieht wie folgt aus:

	1-TagesN	2-TagesN	5-TagesN	MonatsN
Wert [mm]	78	150	185	315
Jährlichkeit	Ca. 20	Ca. 200	Ca. 100	Ca. 50

Abb 11 Jährlichkeiten für den Gebietsniederschlag (Geo7)

Vergleicht man die 2 - Tagesniederschläge mit früheren Ereignissen, werden die Angaben für Lauterbrunnen weitgehend bestätigt. In den Abbildungen 55 bis 58 in Anhang B1 werden die Mehrtages-Niederschläge des Augustereignisses 2005 mit denjenigen früherer Ereignisse verglichen.

➤ Anhang B1 Abb 55 - 58: Niederschläge Ereignis 2005 im Vergleich zu früheren Ereignissen

Die Niederschläge des 2. / 3. 11. 1968, des 7. / 8. 8. 1978, des 13. / 14. 10. 2000 haben zum dritt-, neunt- resp. grössten Hochwasser vor demjenigen des August 2005 geführt. Jedoch zeigt sich aufgrund der Niederschläge vom Oktober 2000 und August 1978 und November 1968, dass die hohen Niederschläge vor allem am ersten Tag fielen und nicht primär am zweiten Tag wie im August 2005. Die hohen Mehrtages-summen sind bisher praktisch ausnahmslos in den Herbstmonaten aufgetreten.

In Abb 12 können 1- und Mehrtages-Niederschläge vom August 2005 direkt mit den entsprechenden bestehenden Maximalwerten verglichen werden. Dabei ist das Folgende ersichtlich:

- 1-Tagesniederschläge: bei allen Stationen, ausgenommen Kleine Scheidegg, waren die 1-Tages-Niederschlagsmengen deutlich kleiner als das bisherige Maximum.
- Dasselbe gilt für die 2-Tages-Niederschläge mit Ausnahme von Grindelwald. Hier war der Unterschied zwischen dem Niederschlag des 21. und dem 22. August 2005 nicht gross.
- In Grindelwald und Mürren übertrafen die 3-Tages-Niederschläge das bisherige 5-Tages-Maximum.

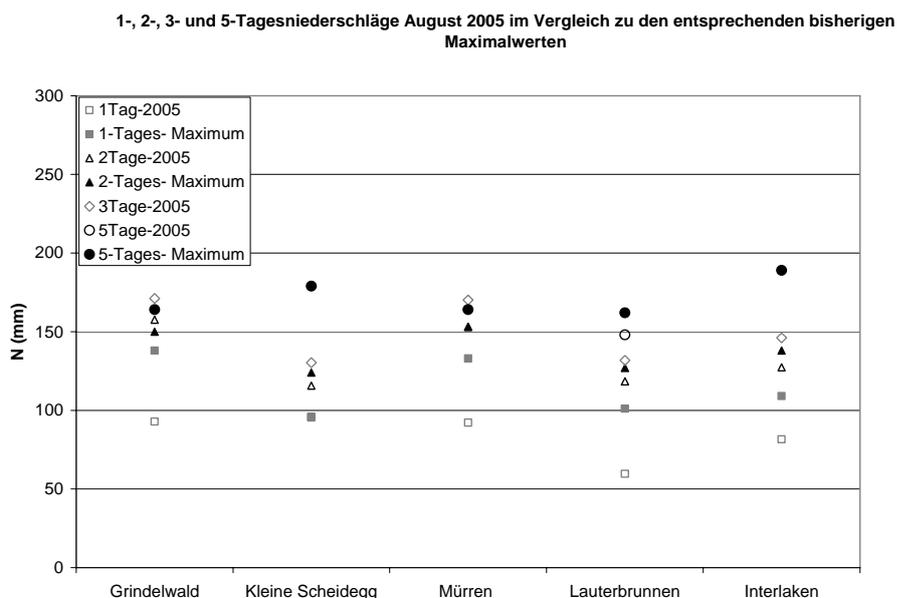


Abb 12 Vergleich von 1- und Mehrtagesniederschlägen vom August 2005 mit den bisherigen Maximalwerten

Eine Einordnung der Niederschläge wurde in Abb 13 versucht. Daraus ist ersichtlich, dass nur die Mehrtagesniederschläge von Grindelwald eine höhere Seltenheit erreichen, was unter Einbezug der Station First mit den verhältnismässig hohen Werten die aufgetretenen hohen Abflüsse in der Schwarzen Lütschine erklären kann.

	1-Tages-Niederschlag (mm)	Jährlichkeit 1 Tag	2-Tages-Niederschlag (mm)	Jährlichkeit 2 Tage	3-Tages-Niederschlag (mm)	Jährlichkeit 3 Tage
Grindelwald	92.8	15	157.6	150	171.1	200
Kleine Scheidegg	95.4	20	115.7	20	130.3	10
Mürren	92.2	5	153.2	50	170.1	>50*
Lauterbrunnen	59.6	20	118.4	50	131.8	50
Interlaken	81.6	10	127.3	50	146.1	50

Abb 13 Einordnung der Niederschläge vom August 2005

2.1.3 Fazit

Die Niederschläge über den Lütschinentälern waren, obwohl sie sehr hohe Abflüsse und letztlich gravierende Schäden verursacht haben, über das Ganze betrachtet nicht aussergewöhnlich. Im Verlaufe der letzten Jahrzehnte sind schon einmal ähnlich hohe Niederschläge registriert worden, ohne dass diese ein ausserordentliches Schadenausmass bewirkt hatten. Ferner waren die registrierten Niederschlagsintensitäten mittelmässig. Die Hochwasser, welche im Gegensatz zu den gefallenen Regenmengen ein seltenes Ereignis waren, wurden vermutlich aufgrund zweier Merkmale akzentuiert:

1. Lang dauernde Niederschläge fanden vor 2005 primär während der Herbstmonate statt. Damit trafen die Niederschläge auf Basisabflüsse, die bedeutend tiefer lagen als jeweils im Sommer. Die auf mehrere Tage verteilten Niederschlagsmengen fielen nun erstmals in einem Sommermonat, als bereits ein hoher Basisabfluss vorhanden war.
2. Anders als in früheren Jahren fielen die Hauptregenmengen am Ende der letzten Niederschlagsphase und trafen deshalb bereits auf eine vergleichsweise hohe Bodenfeuchte und Abflussbereitschaft.

Damit stellt sich aber auch die Frage, was bei Niederschlagsmengen wie bei den umgebenden Gebieten geschehen wäre, welche teilweise über 200 mm aufzufangen hatten. Diese Frage wird in Kapitel 2.2 näher diskutiert.

2.2 Hydrologie

2.2.1 Ausgangslage und Problemstellung

In der Studie „Die Grösse der extremen Hochwasser der Lütschine“ (Lehmann / Naef 2003) wurden für die 100-jährlichen Abflüsse folgende Werte ermittelt:

- Weisse Lütschine: ca. 110 m³/s
- Schwarze Lütschine: ca. 130 m³/s
- Vereinigte Lütschinen: ca. 195 m³/s

Die Abflusswerte ergaben sich aufgrund historischer Betrachtungen sowie aufgrund von Messreihenanalysen. Dabei wurden die 12 grössten Hochwasser seit 1933 speziell berücksichtigt.

Ein zeitlich direktes Zusammentreffen von grossen Hochwassern sowohl aus der Weissen als auch aus der Schwarzen Lütschine war bis 2004 im überblickbaren Zeitraum etwa bei einem Drittel der Ereignisse vorgekommen. Für diesen Fall wurde ein 300-jährliches Ereignis mit etwa 240 m³/s Spitzenabfluss in den Vereinigten Lütschinen abgeschätzt. Aufgrund der vorhandenen Daten und Rekonstruktionen bewegten sich die Abflüsse des Augusthochwassers in der letztgenannten Grössenordnung und haben damit eine in den letzten 170 Jahren (betrachtetes Zeitfenster in der genannten Studie) nicht erreichte Dimension angenommen.

Für die Studie wurden Daten bis 2001 verwendet. In der Zwischenzeit wurde nochmals ein Ereignis mit ca. 180 m³/s im Jahre 2002 registriert (Abb 14). Zusammen mit den Ereignissen von 2000 und vom August 2005 wurde die Flisou bei Wilderswil in den letzten sechs Jahren drei mal überflutet. Die maximalen Abflüsse von 2000 bis 2005 sind in der folgenden Abbildung zu finden:

Jahr	Abfluss (m ³ /s) / Jährlichkeit		
	Vereinigte Lütschinen	Weisse Lütschine	Sefinenlütschine
2000	190 / 40	82 / 10	- / - *
2001	165 / 10	70 / 5	11 / 2
2002	180 / 20	83 / 10	14 / 5
2003	110 / - **	74 / 5	7.7 / -
2004	145 / 5	76 / 5	11.8 / 3
2005	240 - 260 / >300	110 / 100	25 / (>>30) ***

Abb 14 Jährliche Spitzenabflüsse und Jährlichkeiten Lütschinen 2000 - 2005
Vereinigte Lütschinen Gsteig, Weisse Lütschine Zweilütschinen und Sefinenlütschine (Daten EWL Stechelberg)

Schätzung der Jährlichkeit inkl. Ereignis 2005, siehe unten

* noch keine Messung

** Jährlichkeit < 1

*** aufgrund der kurzen Messreihe kann seltenes Ereignis nicht bestimmt werden

Auffallend sind die in den letzten 5 Jahren hohen Abflüsse, welche bis auf eine Ausnahme jeweils mehrjährige Wiederkehrperioden erreichen. Da stellt sich die unmittelbare Frage, ob es sich dabei um einen Trend handelt oder ob diese Häufung zufällig ist. Eine Antwort darauf zu finden war im Rahmen des Projektes nicht möglich und würde in der nahen Zukunft weitere Untersuchungen benötigen.

In diesem Kapitel wird den folgenden Fragen nachgegangen:

- Wie ist das Hochwasser aus hydrologischer Sicht abgelaufen?
- Welche Abflussmengen sind aufgetreten?
- Kann der zeitliche und räumliche Verlauf des Hochwassers erklärt werden?
- Wie ist das Hochwasser einzuordnen?
- Können Aussagen über das zukünftige Verhalten der Lütschine gemacht werden?

2.2.2 Ablauf des Hochwassers

Der Ablauf des Hochwassers (Geschehnisse chronologisch) wurde bereits in Kapitel 1 beschrieben. In diesem Abschnitt geht es um eine Darstellung der Entwicklung der Abflussganglinie in der Schwarzen, Weissen und Vereinigten Lütschinen. Die Rekonstruktion der Hochwasserganglinie (Spitze und Verlauf) wurde dadurch erschwert, dass sowohl die Messstation in Zweilütschinen (Weisse Lütschine) als auch diejenige in Gsteig (Vereinigte Lütschinen) während des fraglichen Zeitraumes ausser Betrieb fielen. Ausserdem fiel während der Nacht vom 22. zum 23. August 2005 der Strom aus, so dass die Sicht auf die Lütschine für die Angehörigen der Wehrdienste zusätzlich eingeschränkt war. Aus diesem Grund fehlen nähere Angaben über den Verlauf des Hochwassers während besagter Nacht. Die erforderlichen Angaben mussten aufgrund von Beschreibungen von Zeugen, Hochwasserspuren, Fotos und hydraulischen Nachrechnungen hergeleitet werden.

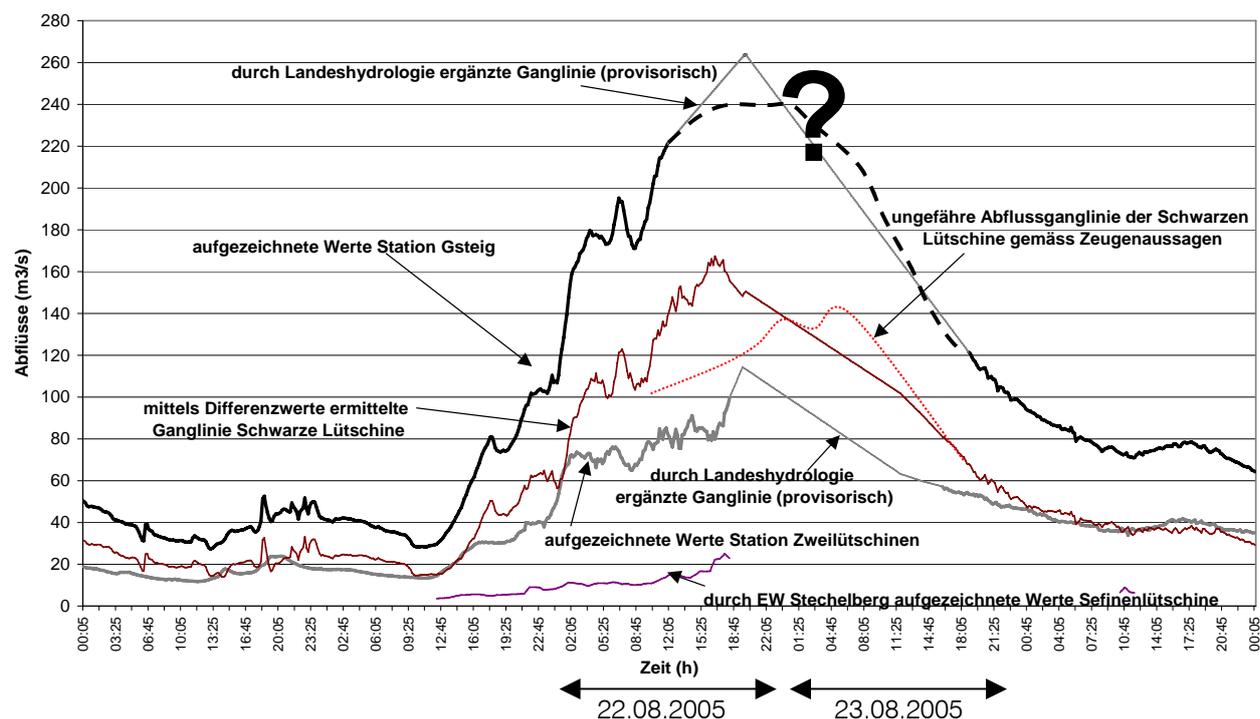


Abb 15 Aufgezeichnete und rekonstruierte Ganglinien Lützschine.

Die Hochwasserspitze der Weissen Lützschine trat allerdings einige Stunden früher auf als diejenige der Schwarzen Lützschine (Abb 15). Dies kann durch die Aussagen der Angehörigen der Feuerwehr Gündlichswand (siehe Kapitel 1) belegt werden. Die Abflussspitze der Weissen Lützschine trat um ca. 21.00 Uhr auf und hielt sich etwa bis gegen Mitternacht. Zu diesem Zeitpunkt war die Schwarze Lützschine dermassen angestiegen, dass die Feuerwehr ihren Einsatzort von der Weissen zur Schwarzen Lützschine verlegte. Gegen die frühen Morgenstunden hin schwächte sich der Abfluss der Schwarzen Lützschine etwas ab, um

gegen 04.45 Uhr nochmals anzusteigen. Die Ausläufer einer Abflusswelle aus dem Unteren Grindelwaldgletscher hatten u. a. die alte Stahlfachwerkbrücke in Gündlischwand mitgerissen.

Bei Betrachtung der Ganglinie fällt neben den generell hohen Abflüssen die lange Zeitdauer auf. In den frühen Morgenstunden des 22. August 2005 stieg der Abfluss der Lütschine stetig an. Das sog. „100-jährliche Ereignis“ in den Vereinigten Lütschinen (ca. $195 \text{ m}^3/\text{s}$) wurde bereits vor dem Mittag des 22.8.2005 erreicht (Abb 15), vermutlich etwas nach 11.00 Uhr. Um diese Zeit konnte das Wasser im Kanal noch schadlos abfliessen, jedenfalls sind für diese Zeit neben der Flisou keine Informationen über nennenswerte Ausbrüche vorhanden, weder für die Schwarze, Weisse noch Vereinigten Lütschinen. Die Weisse Lütschine wies zu dieser Zeit einen Abfluss von ca. $75 \text{ m}^3/\text{s}$ auf, was etwa einem 5-jährlichen Hochwasser entspräche. Der entsprechende Abfluss der Schwarzen Lütschine bewegte sich vermutlich auch noch unterhalb des 100-jährlichen Wertes, dürfte aber bereits über $100 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen haben.

Nach dem Mittag sind die Abflüsse sowohl bei Gsteig als auch bei Zweilütschinen weiter angestiegen. Um 13.00 Uhr ist der Abfluss bei Gsteig auf $222 \text{ m}^3/\text{s}$ (Messwert LHG) angestiegen. Die Weisse Lütschine trug zu diesem Zeitpunkt (d. h. bei der Messstation Zweilütschinen ca. 25 Min. vorher) $84 \text{ m}^3/\text{s}$ bei (Wiederkehrperiode ca. 10 - 15 Jahre). Der Beitrag des Restgebietes zwischen Zweilütschinen und Gsteig inkl. Saxetbach ist unbekannt, dürfte jedoch noch nicht sehr hoch gewesen sein (insgesamt ca. $10 - 15 \text{ m}^3/\text{s}$, der Saxetbach führte vorsichtig geschätzt etwa $3 - 5 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Schwarze Lütschine dürfte um diese Zeit bereits etwa $120 - 130 \text{ m}^3/\text{s}$ Abfluss aufgewiesen haben, was fast einem 100-jährlichen Abfluss entspräche.

Zu diesem Zeitpunkt hat aber die Lütschine einen kritischen Stand und wohl auch ihre Abflusskapazität erreicht. Die Feuerwehr Wilderswil versuchte nun mit dem Einsatz von schweren Baumaschinen bei der Einmündung Saxetbach in die Lütschine, bei der Werrenkurve, und auch bei der Gsteigbrücke den Wasserlauf der Lütschine freizumachen.

Um 13.30 Uhr überfloss die Vereinigte Lütschine den Damm bei der Werrenkurve und dem Musterplatz. Die Abflussmessstation Gsteig registrierten kurz vor ihrem Ausfall nach dem Mittag einen Abflusswert² von $227 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies dürfte bereits ein Wert gewesen sein, welcher die Abflusskapazität des Kanals an manchen Stellen gerade erreicht oder knapp überstiegen hat. Von da an dürfte der Abfluss im Kanal nicht mehr wesentlich angestiegen sein, die nun folgenden zusätzlichen Abflussanteile überflossen wohl mehrheitlich den Damm.

Die Weisse Lütschine wies nun bereits einen leicht reduzierten Abfluss von ca. $80 \text{ m}^3/\text{s}$ auf (Abb 15, Abb 16), der Abfluss der Schwarzen Lütschine dürfte hingegen etwas weiter angestiegen sein (zwischen 130 und $140 \text{ m}^3/\text{s}$, >100 -jährliches Hochwasser; Abb 15).

Am Nachmittag sind die Abflüsse weiter angestiegen. Um 16.00 Uhr betrug der Abfluss der Weissen Lütschine in Zweilütschinen $91 \text{ m}^3/\text{s}$ (entsprechend einem ca. 20-jährlichen Hochwasser). Später erreichte die Weisse Lütschine jedoch einen kritischen Stand, was die Feuerwehr veranlasste, Wasser durch die Zeughausstrasse abzuleiten, um die Häuser zu schützen. Auch wurde der Aushub eines ca. 3 m breiten Entlastungsgrabens durch die Kantonsstrasse nach Grindelwald an die Hand genommen (Abb 17).

In der Schwarzen Lütschine dürfte der Abfluss unterdessen den Wert eines 100-jährlichen Abflusses erreicht oder gar übertroffen haben. Aufgrund des Niederschlagsverlaufes sowohl bei der Station First als auch der Stationen Wengernalp und Türliböden dürfte im Verlauf des Nachmittags eine leichte Beruhigung in den Abflusskurven eingetreten sein.

² Gemäss hydraulischer Nachrechnung in Kapitel 2.3 etwas zu hoch.

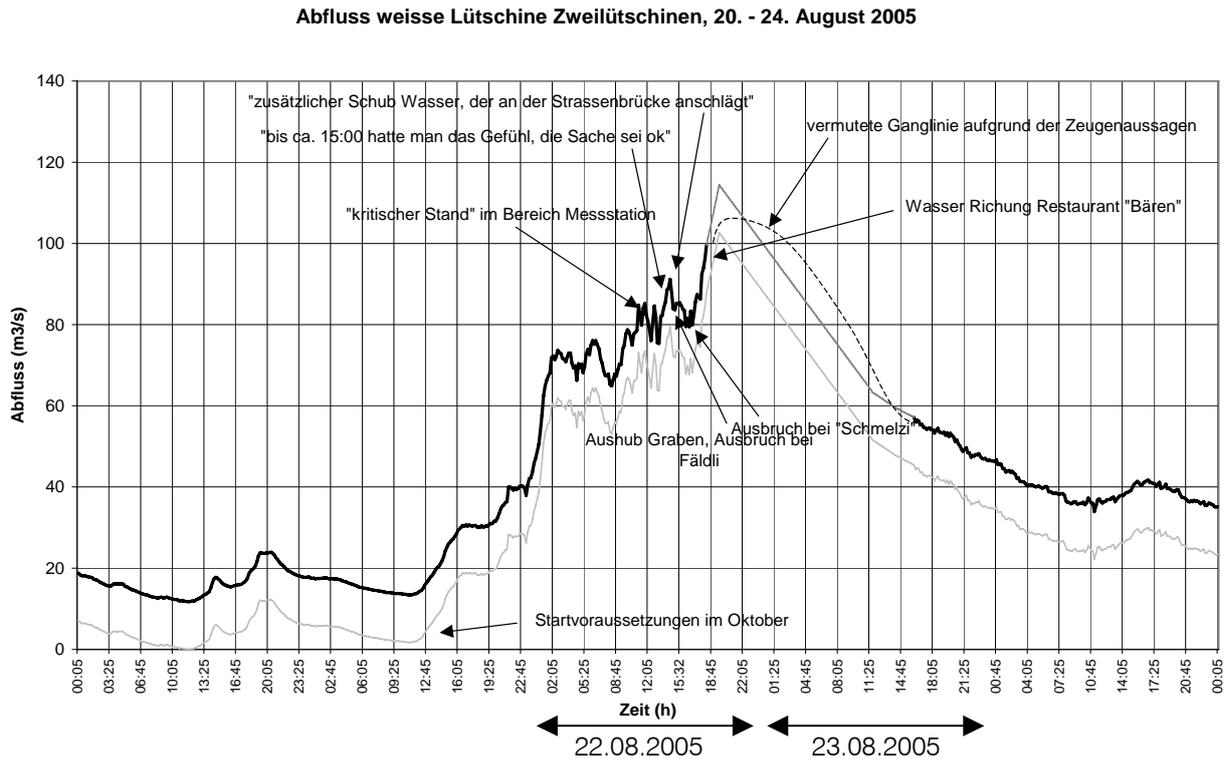


Abb 16 Verlauf der Abflussganglinie in der Weissen Lüttschine Zweilüttschinen.



Abb 17 Entlastungsgraben durch Kantonsstrasse nach Grindelwald, Zweilüttschinen.

Das zweite Ereignis „Flutwelle“ um ca. 04.00 bis 05.00 Uhr (Nacht vom 22. auf den 23. August 2005) muss nicht zwingend einen höheren Abfluss als das Hochwasser um Mitternacht gehabt haben, da dieses Ereignis ja bereits im Nachgang eines vermutlich 200-jährlichen Hochwassers abgeflossen ist. Zu diesem Zeitpunkt haben sich an manchen Stellen die hydraulischen Bedingungen aufgrund von Auflandungen und Böschungsdetabilisierungen etc. verschlechtert. Wegen den fehlenden Aufzeichnungen bei den Messstationen ist in dieser Hinsicht keine verlässliche Aussage möglich.

2.2.3 Rekonstruktion des Hochwassers

Die Rekonstruktion des Hochwassers erfolgte aufgrund von folgenden Grundlagen und Arbeiten:

- Auswertung von Hochwasserspuren
- Modellrechnungen

2.2.3.1 Auswertung der Hochwasserspuren in der Schwarzen Lütschine anhand von Querprofilen

Die Hochwasserspitzen wurden vor allem anhand von Fotos unmittelbar nach dem Ereignis und anhand von Beschreibungen rekonstruiert. Fotos zum Zeitpunkt der Hochwasserspitze standen keine zur Verfügung, so dass gewisse Ungenauigkeiten eingerechnet werden müssen. An fünf verschiedenen Stellen wurden Querprofile ausgemessen (Abb 18). Im Raum Burglauenen - Lütschental konnte aufgrund der fortgeschrittenen Räumungsarbeiten keine Abflussrekonstruktion durchgeführt werden. Die gewählten Standorte sollten folgende Bedingungen möglichst gut erfüllen:

- Möglichst stabile Sohle während des Ereignisses
- Foto oder Beschreibung vorhanden
- Definierbares Querprofil
- Möglichst geringe Eingriffe seit dem Unwetter

Für die hydraulische Berechnung wurde die Gesamtquerschnittsfläche in einzelne Abschnitte unterteilt und getrennt betrachtet. In der Regel wurde die Sohle von einem Böschungsanteil abgetrennt, dieser wiederum vom Abflussanteil ausserhalb des Gerinnes. Bei der Nachkontrolle wurde darauf geachtet, dass sich keine unwahrscheinlich hohen Fliessgeschwindigkeiten ergaben. Anhand der Feststoffablagerungen seitlich des Flussbettes musste aber auch auf eine stark reduzierte Fliessgeschwindigkeit in diesem Bereich geschlossen werden. Als Kontrolle dienen die mehr oder weniger bekannten Abflüsse aus der Weissen und der Vereinigten Lütschinen, so dass die Bandbreite der plausiblen Abflüsse in der Schwarzen Lütschine praktisch vorgegeben war. Es war mit Ausnahme der Schwendibrücke in Grindelwald (da bestand eine gute Beschreibung des Ereignisablaufs) nicht möglich, zwischen dem Hochwasserstand aufgrund der Niederschläge bis Mitternacht und demjenigen der Abflusswelle aus dem Unteren Grindelwaldgletscher morgens um 04.00 Uhr zu unterscheiden. Ferner waren die Sohlenlagen zum Zeitpunkt des Ereignisses unbekannt, was eine weitere Unsicherheit bedeutet. Der Standort Baumgartenbrücke ist hydraulisch gesehen sehr ungünstig, es war aber der einzige verwendbare Standort zwischen Grindelwald und Gündlischwand.

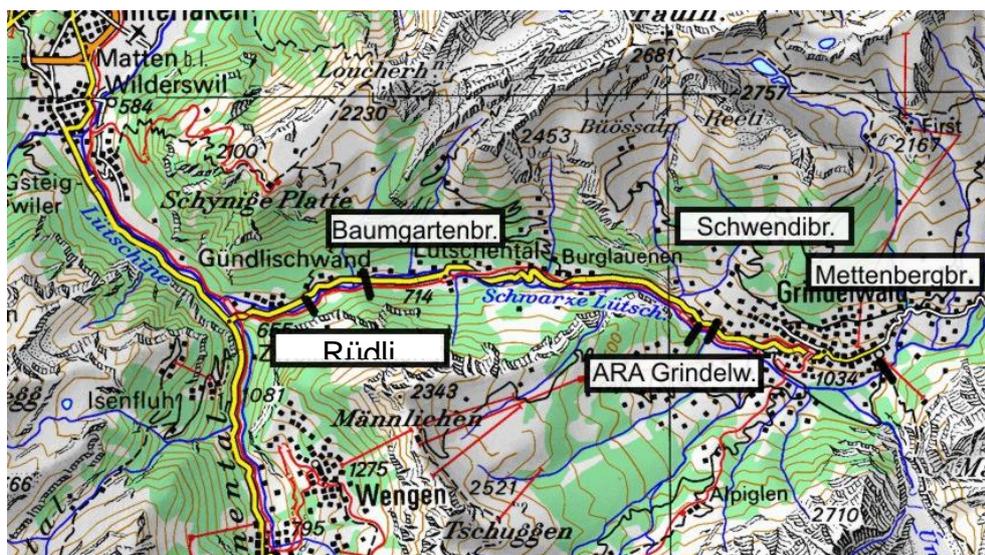


Abb 18 Standorte der Querprofile für die Abflussrekonstruktion

Die Kennwerte der einzelnen Standorte der Abflussrekonstruktion sind in Anhang B2 dargestellt:

- Anhang B2 Abb 59 bis 63: Auswertung der Hochwasserspuren in der Schwarzen Lütschine anhand von Querprofilen

Die basierend auf dieser Auswertung von Querprofilen und einfacher Hydraulik berechneten Abflusswerte in Abb 19 sind selbstredend nicht auf den Kubikmeter pro Sekunde genau rekonstruierbar. Die Unsicherheit dürfte sich zudem im Bereich von etwa 10 - 20 % bewegen. Die für das Ereignis 2005 ermittelten Hochwassermengen sind im nachfolgenden Kapitel aufgelistet. Die Werte wurden anhand der Spuren im Gelände nachgerechnet und sind kleiner als die verwendete Ganglinie für die Geschiebesimulation.

Standort	Q (m³/s) HW Mitternacht		Q (m³/s) Flutwelle 04.00 Uhr oder insgesamt	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Mettenbergbrücke, Grindelwald	59	71		
Schwendibrücke, Grindelwald	78	83	89	97
ARA Grindelwald			93	106
Baumgartenbrücke, Lütschental			94	136
Rüdli, Gündlischwand			120	139

Abb 19 Berechnete Abflüsse Schwarze Lütschine

2.2.3.2 Auswertung der Hochwasserspuren in den Vereinigten Lütschinen anhand von Fotos

Entlang der Lütschine fanden sich eine Vielzahl von weiteren Hochwasserspuren mit nur bedingter Aussagekraft für Rückschlüsse auf den Abfluss. Dafür aber bestanden viele Aufnahmen (Fotos und Videos), welche je nach Zeitpunkt ihrer Entstehung Rückschlüsse auf die Abflussentwicklung erlaubten. Am meisten Informationen konnten anhand der Aufnahmen im Lütschinenkanal gewonnen werden. Hier konnten die Abflüsse mittels hydraulischer Nachrechnungen rekonstruiert werden (siehe Kapitel 2.3.1).

In Anhang B2 sind diese Fotos von verschiedenen Standorten in Wilderswil beigelegt und beschrieben.

- Anhang B2 Abb 64 bis 69: Auswertung Hochwasserereignis anhand von Fotos

2.2.3.3 Rekonstruktion des Hochwassers 2005 mittels Modellrechnungen

Der zeitliche Verlauf der Abflüsse der Lütschine beim Hochwasser 2005 ist nach dem Ausfall der beiden Pegel nicht bekannt. Verschiedene Beobachtungen lassen auf einen erneuten Anstieg in der Schwarzen Lütschine in der Nacht vom 22. zum 23. August 2005 schliessen, der eventuell im Zusammenhang steht mit dem Ausbruch des Sees auf dem Unteren Grindelwaldgletscher. Unabhängig von den in den vorangegangenen Kapiteln zusammengetragenen Informationen wurde der Abfluss auch anhand des Niederschlagsverlaufs mit Hilfe eines Niederschlag-Abfluss-Modells rekonstruiert. Dazu wurde das Modell Qarea verwendet. Hinweise zu diesem Modell finden sich z.B. in: Wasser, Energie, Luft, Heft 11/12, 2004, 331-338. Qarea verwendet den anhand der verschiedenen Stationen ermittelten Niederschlagsverlauf und berücksichtigt die Speicherkapazität der Böden und die Fliesszeiten des Oberflächen- und des unterirdischen Abflusses. Die Parameter wurden so gewählt, dass der erste, noch gemessene Teil des Hochwassers gut erfasst wurde (Abb 20). Der rasche Rückgang nach Ende der Niederschläge ist auf die ungenügende Erfassung der Entleerung der unterirdischen Speicher zurückzuführen, die in diesem Zusammenhang nicht so stark interessiert.

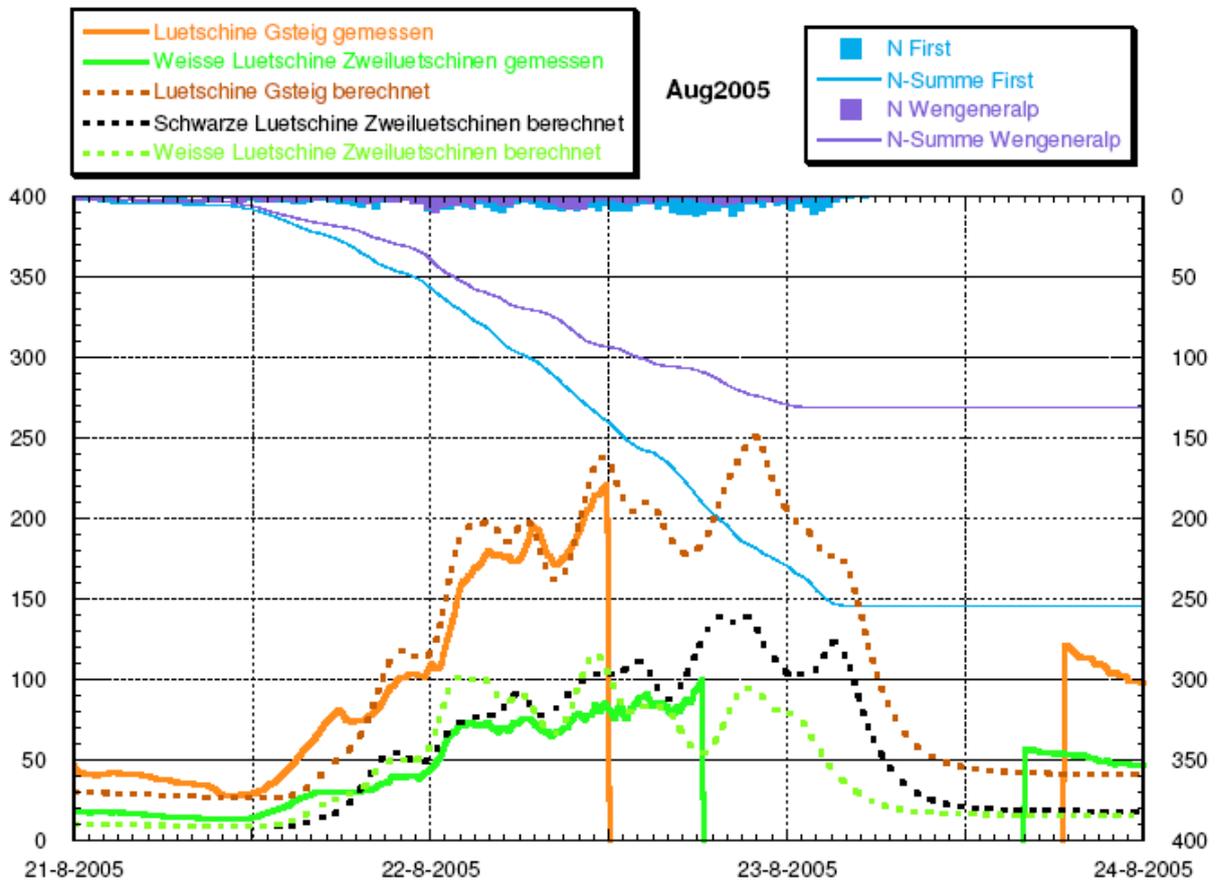


Abb 20 Mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell Qarea rekonstruierte Hochwasserabflüsse.
Weisse, Schwarze und Vereinigte Lütschinen zwischen dem 21. und 23. 8. 2005.

Dargestellt sind die Abflüsse der Schwarzen, der Weissen und der Vereinigten Lütschinen. Aufgrund des unterschiedlichen Niederschlagsverlaufs erreichen die beiden Lütschinen ihr Maximum nicht gleichzeitig. In der Überlagerung ergibt sich in der Vereinigten Lütschine dann eine klare Spitze vor Mitternacht. Diese ist aber nicht wesentlich höher als die erste, um die Mittagszeit beobachtete Spitze. In der Schwarzen Lütschine steigt der Abfluss durch den Niederschlagsverlauf bedingt in den frühen Morgenstunden noch einmal an, auch ohne Berücksichtigung Wasserwelle aus dem Unteren Grindelwaldgletscher.

2.2.4 Ausgetretene Wassermengen in Wilderswil

Die bei Wilderswil ausgetretenen Wassermengen werden in solche, welche (etwas zeitverzögert) wiederum in den Kanal einflossen, und solche, die den Kanal endgültig verliessen und über das Bödeli wegflossen, unterschieden. Eine Übersichtsskizze über die Austrittsstellen findet sich in Abb 21. Die wichtigsten Ausbruchstellen befinden sich beim Haus Messerli (siehe Abb 21), wo während der Nacht nach stundenlangem Überfluten (Abb 22) des betreffenden Dammtails zwei Brüche entstanden, sowie oberhalb der Werrenkurve, wo der Damm zwar nicht brach, jedoch seit den frühen Nachmittagsstunden des 22. August 2005 Wasser über den Damm lief (vgl. Anhang B2 Abb 65, 66, 69 resp. Anhang B3 Abb 75 - 77). Andere Stellen befanden sich bei der Flisou und Tschingelmatta (Abb 23).

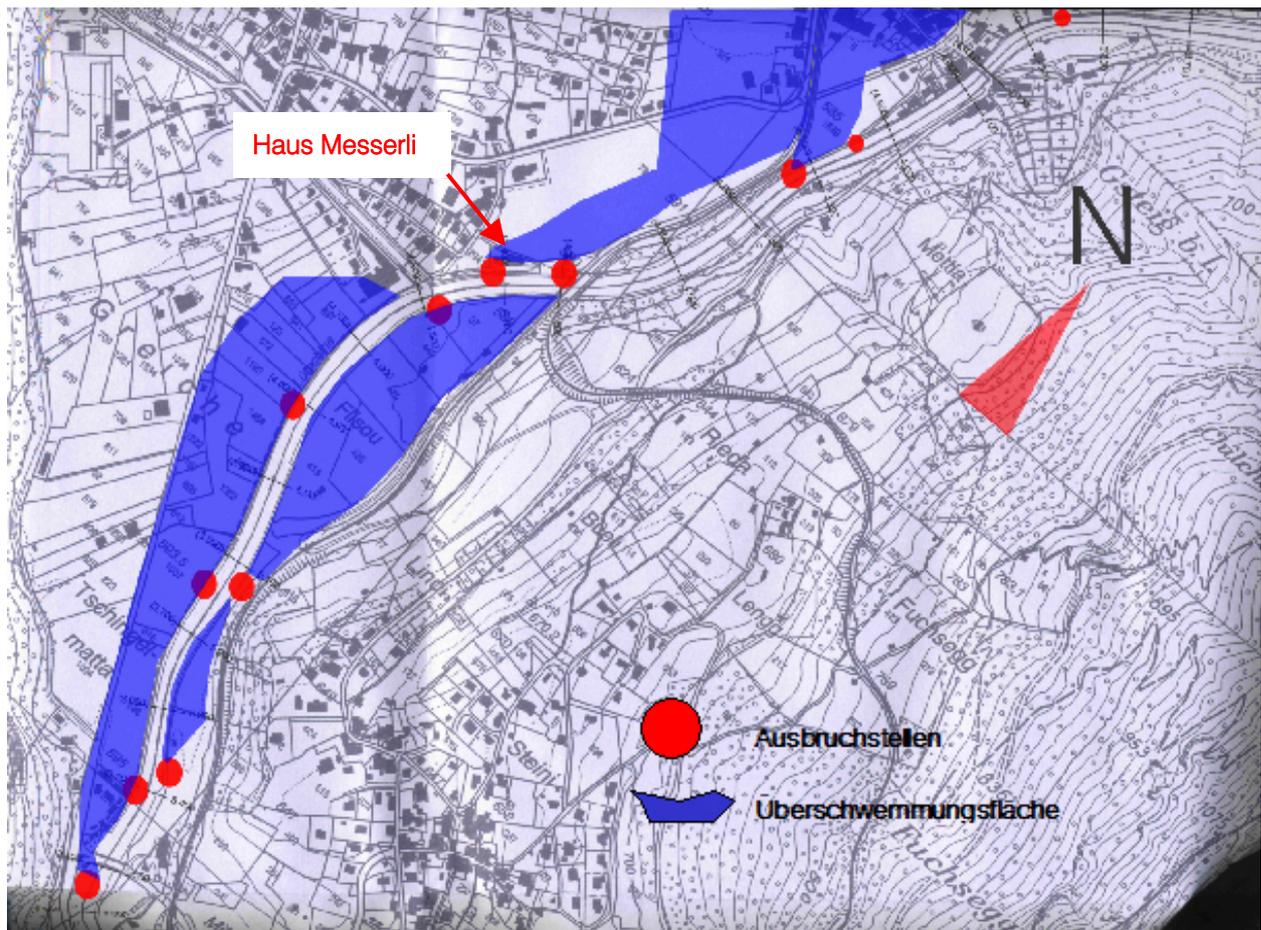


Abb 21 Schematische Darstellung der Ausbruchstellen aus den Vereinigten Lüttschinen bei Wilderswil.

Die grösseren Punkte markieren die Stellen mit Dammüberlauf oder Dambruch, bei den kleinen Punkten war den Damm durchlässig (Beispiel Abb 25). Die linke Dammsseite bei der Tschingelmatta wurde praktisch vollständig überströmt.

Die oberhalb des Saxetbacheinlaufes ausgetretenen Wassermengen flossen wiederum in das Gerinne zurück. Die Ausbrüche von dieser Stelle nordwärts lenkten das Wasser dem Bödeli zu. Diese Aus- und späteren Rückflüsse hatten auf die Ganglinie bei Gsteig praktisch keinen Einfluss.



Abb 22 Stelle des späteren Dammbrechens beim Haus Messerli in Wilderswil.
Aufnahme vom 22.08.2005, ca. 15.00 Uhr

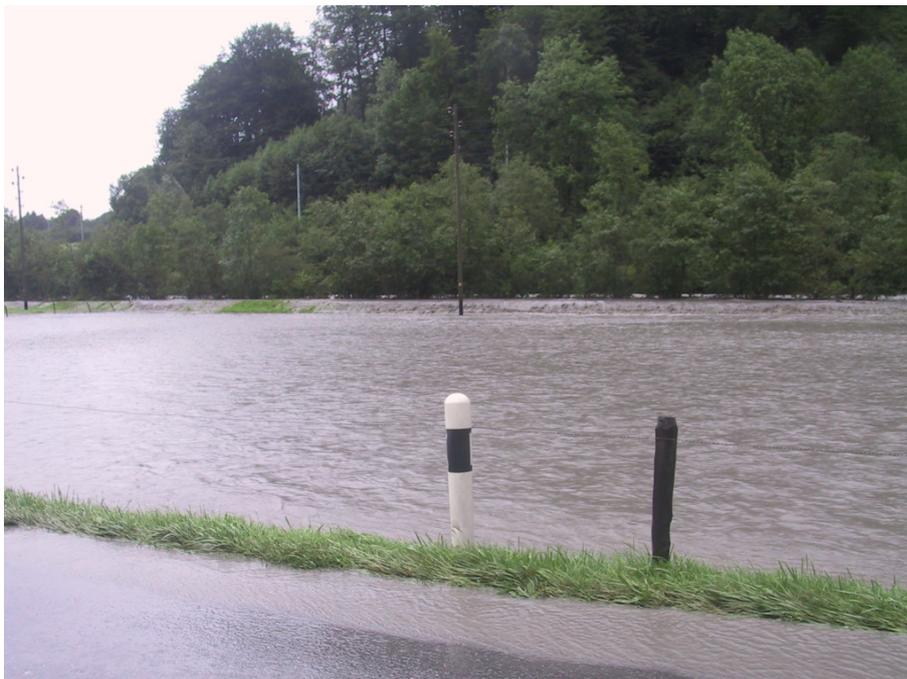


Abb 23 Praktisch vollständige Überströmung des Lütschinentammes in der Tschingelmatta in Wilderswil.
Aufnahme vom 22.08.2005, ca. 15.30 Uhr.

Die Ausbrüche erfolgten gemäss Abb 24. In Abb 24 sind nur die Ausbrüche im Bereich Wilderswil vermerkt. Diejenigen aus den oberen Flussbereichen wie Grindelwald, Burglauenen, Lütschental und Gündlischwand (Zweilütschinen) dämpften wohl den Abfluss im Lütschinentamm etwas, jedoch konnten die betreffenden Wassermengen nicht quantifiziert werden, da diese grösstenteils bereits kurz nach dem Ereignis wiederum ins Gerinne zurückgeflossen waren.

Stelle	Zeitpunkt Beginn Ausbruch	Ausflussmenge (m ³ /s) bis ca.	Rückkehr (R) in Kanal / Verlust (V)
Flisou	04.00-05.00 und später	2 - 5	R
Überlauf Messerli	14.30	15 - 17	V
Bruch 1 Bahnbrücke	Mitternacht	5 - 10	V
Bruch 2 Haus Messerli	04.00 am 23.8.	10 - 15	V
Überlauf Werrenkurve	13.30	15 - 17	V

Abb 24 Ausbrüche aus dem Lüttschinnenkanal

Die in Abb 24 dargestellten Wassermengen flossen nicht allesamt parallel zum Zeitpunkt der bei Gsteig aufgetretenen Hochwasserspitze ab. Die tatsächliche Abflussspitze des Hochwassers (die Verluste eingerechnet) wird nicht wesentlich beeinflusst. Die Abflüsse bei der Flisou, der Tschingelmatta, beim Haus Messerli und bei der Werrenkurve traten bereits vor dem Erreichen der Hochwasserspitze auf, wogegen diejenigen der Damnbrüche bei der Bahnbrücke und beim Haus Messerli im Zeitraum während resp. nach der Ganglinienspitze entstanden.



Abb 25 Ausflüsse aus dem Damm

Der Gesamtabflussspitze im Lüttschinnenkanal unterhalb der Ausflusstellen wäre ohne diese vermutlich nur unwesentlich höher gewesen (d. h. bis um die 250 m³/s), resp. hätte eventuell Ausbrüche weiter unten verursacht, da die Abflusskapazität des Lüttschinnenkanals während vielen Stunden ohnehin bis zum Limit ausgeschöpft war. In Kapitel 2.3.1 werden diese ersten Aussagen anhand einer detaillierten Abflussrekonstruktion des Abschnittes Wilderswil - Brienersee ergänzt.

2.2.4.1 Volumenschätzung der ausgetretenen Wassermengen

Eine Abschätzung der insgesamt ausgeflossenen Wassermenge wurde anhand von Flugaufnahmen des Bödels vom Vormittag des 23. August 2005 durchgeführt. Dabei wurden die einzelnen betroffenen Überflutungsflächen erfasst und mit einer mittleren Wassertiefe multipliziert. Die Wassertiefe beträgt kaum je Kniehöhe, so dass eine mittlere Wassertiefe zwischen 20 und 30 cm angenommen wurde. Da es sich aber in den meisten Fällen nicht um stehendes, sondern um fließendes Wasser handelte, dürfte die vorgenommene Schätzung eher einer Untergrenze des tatsächlich ausgelaufenen Wasservolumens entsprechen. Insgesamt wurden im Gebiet Wilderswil - Matten - Bödels - Interlaken durch die Lütschine ca. 2 km² Siedlung, Infrastruktur und Kulturland überschwemmt (Abb 26). Das Gesamtvolumen Wasser dürfte über eine halbe Million Kubikmeter betragen haben.

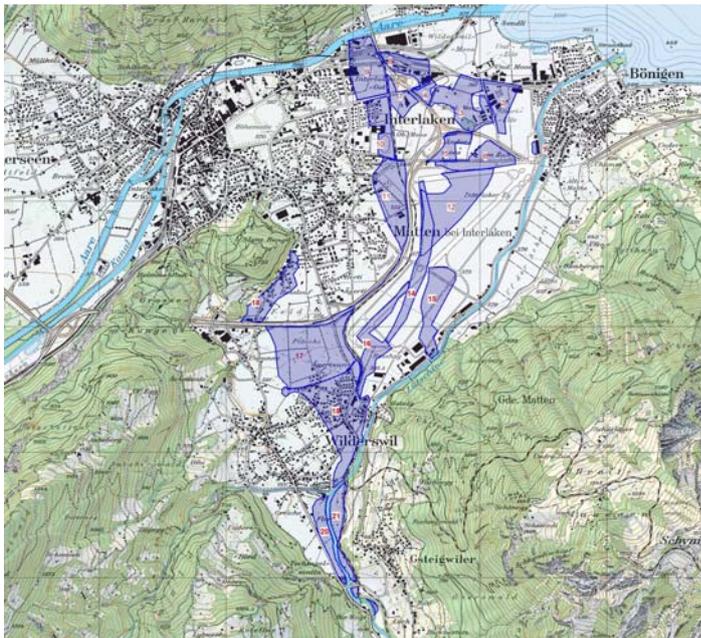


Abb 26 Schematisch dargestellte Überflutungsflächen Wilderswil - Bödels.

2.2.4.2 Wirkung der Nationalstrasse A8 (Umfahrung Interlaken)

In Abb 26 ist ersichtlich, dass die Nationalstrasse A8 während dem Hochwasserereignis eine Art „Riegel“ für die in Wilderswil ausgetretenen Wassermengen bildete. Ohne die Nationalstrasse hätten die Überflutungen in Matten und Interlaken ein wesentlich grösseres Ausmass angenommen.

Im Einschnittbereich der A8 wurde ein Volumen von rund 75'000 m³ Wasser zurück gehalten. Da dieses Volumen aber innerhalb kurzer Zeit (ca. 2 Std.) gefüllt war, kann nicht von einer ausgeprägten Retentionswirkung gesprochen werden.

Bei Dammsituationen entlang der A8 wurden die Wassermassen gestaut. Dies hatte beispielsweise bei der Unterführung Rugenstrasse zur Folge, dass Wasser die Unterführung passierte und in Matten einigen Schaden anrichtete. Aus dem selben Grund wurde die Lütschinenunterführung der A8 komplett mit Wasser gefüllt. Auch hier entstand grosser Sachschaden.

Im Gebiet Juhei in Matten konnte beim Übergang von Einschnitt zu Damm auf der Nationalstrasse ebenfalls eine grosse Wassermenge austreten. Diese Quelle war für die starken Überflutungen in Matten und im Ostquartier Interlaken mit hohen Schadenfolgen verantwortlich.

2.2.5 Abflüsse von Saxetbach und vom „Restgebiet“

Zwischen dem Zusammenfluss von Schwarzer und Weisser Lütschine bis zur Messstation Gsteig münden neben dem Saxetbach verschiedene kleine Bäche in die Vereinigte Lütschine. Diese haben ebenfalls Wassereinträge geliefert, wenn auch nicht in hohem Masse. Entsprechende Schäden blieben weitgehend aus, obwohl die teilweise vorhandenen Geschiebesammler auch angeschwemmtes Material zurückhielten. Die Abflusskapazitäten der Bäche sind durchwegs geringer als $1 \text{ m}^3/\text{s}$, so dass der zusätzliche Wassereintrag aus diesen Gebieten total etwa $10 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht überstiegen haben dürfte (eine Zusammenstellung für die einzelnen Bäche befindet sich im Anhang).

➤ Anhang B2 Abb 71 und 72: Zusammenstellung Seitenbäche

Der Wasser- und Geschiebeeintrag aus dem Saxetbach war gemäss Angaben von U. Bettschen (alt Strasseninspektor) kleiner als im Juni 2005. Damals traten im Saxetal Schäden auf, und dieses Mal war es nicht notwendig, die Feuerwehr von Saxeten aufzubieten. Eine Aufnahme von den frühen Nachmittagsstunden des 22. August 2005 zeigt den Saxetbach bei der Kantonsstrassenbrücke Wilderswil. Wären aus dem Saxetbach höhere Wassermengen in die Lütschine zugeflossen, hätten sich die Probleme unterhalb möglicherweise verschärft. Ob dadurch allerdings ein weiterer Dambruch entstanden wäre, bleibt Spekulation.

2.2.6 Hochwasserspitzen während des Ereignisses

Die für das Ereignis vom August 2005 rekonstruierten Hochwasserspitzen sind in Abb 27 zu finden.

Abschnitt	Abflussspitze (m^3/s)	Zeitpunkt (22. resp. 23.08.05)	Wiederkehrperiode (Jahre)
Schwarze Lütschine Gündlischwand	140 - 160	24.00; 05.00	200 - 300
Weisse Lütschine Zweilütschinen	100 - 120	20.00 - 24.00	100
Restgebiet inkl. Saxetbach	10 - 20	Variabel	-
Vereinigte Lütschine Gsteigwilerbrücke ³	240 - 250	nach 20.00	> 300
Vereinigte Lütschine Gsteig (nach Austritten im Gerinne verbleibender Abfluss)	ca. 200 ⁴	14.00 - 04.00	300

Abb 27 Rekonstruierte Hochwasserspitzen Ereignis 2005

2.2.7 Hochwasservolumen während des Ereignisses

Das insgesamt abgeflossene Wasservolumen bei Gsteig wurde auf ca. 42 Mio. m^3 geschätzt. Das würde bedeuten, dass von den ca. 60 Mio. Niederschlagsvolumen über dem Gebiet ca. 2/3 abgeflossen wären.

Von diesen 42 Mio. m^3 Abfluss aus dem Gebiet der Lütschine haben etwa 0.5 - 1 Mio. m^3 oder ungefähr 2 % der Gesamtwassermenge das Gerinne bei Wilderswil verlassen. Mit anderen Worten haben die in jüngster Zeit als eher ungenügend und reparaturbedürftig beurteilten Dämme des Lütschinnenkanals 98% der Gesamtabflussmenge zu halten vermocht, was insbesondere angesichts der unter Kapitel 2.2.8 beschriebenen Einordnung des Hochwassers als sehr seltenes Ereignis erstaunlich ist.

³ Ohne Verluste.

⁴ Gemäss hydraulischer Nachrechnung.

2.2.8 Einordnung des Hochwassers

In Abb 28 ist das Ereignis vom August 2005 im Vergleich mit den Jahresabflussspitzen seit Messbeginn in Gsteig dargestellt.

Anhand der Messreihe fällt das recht träge Verhalten der Lüttschine bei extremen Hochwasserereignissen auf. Das 20-jährliche Hochwasser ist nur etwa 10% kleiner als das 100-jährliche Hochwasser (innerhalb des grauen Bandes in Abb 28, welches eine 10%-Bandbreite darstellt, finden sich 6 Hochwasser seit 1923 ohne dasjenige vom August 2005).

Obwohl sich das Ereignis vom August 2005 deutlich abhebt, beträgt der Unterschied zum bisher grössten Hochwasser aus dem Jahre 2000 mit 190 m³/s nur 20 - 30 %.

Anhand der Trendlinie ist ferner eine Zunahme der jährlichen Spitzenabflüsse entlang der Zeitachse erkennbar.

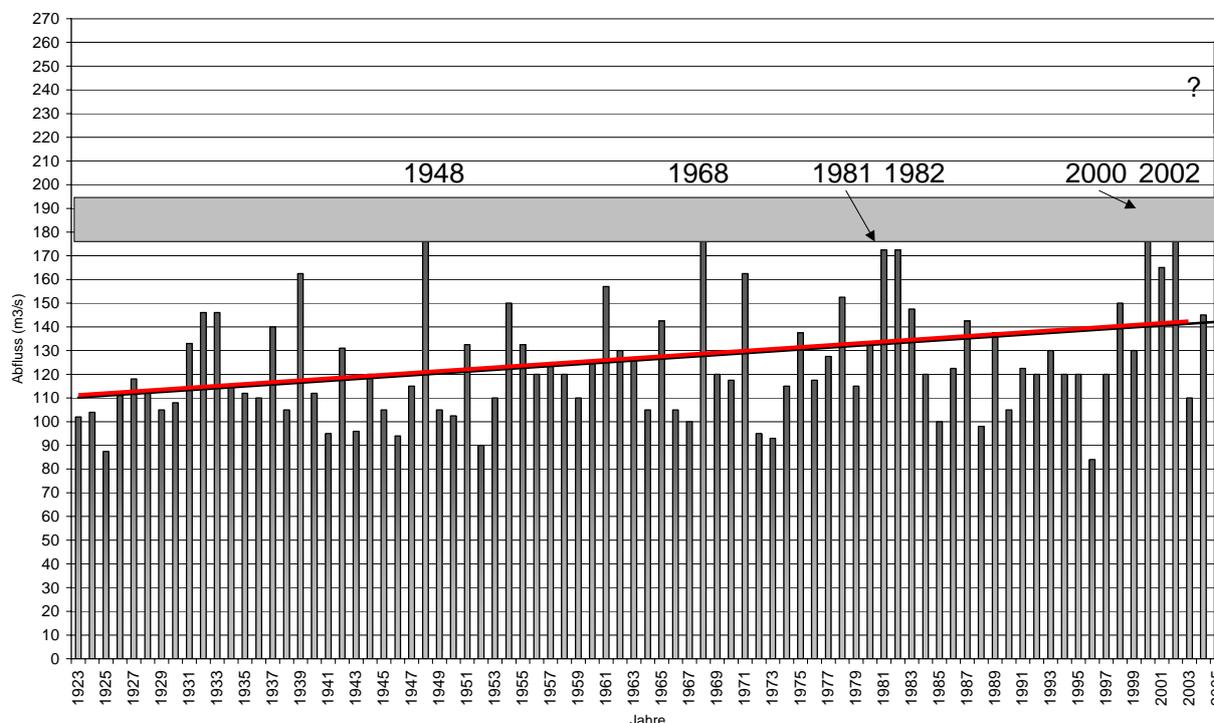


Abb 28 Jährliche Hochwasserspitzen inkl. Ereignis vom August 2005.

In Abb 29 ist das Hochwasser im Vergleich mit den Regressionsberechnungen dargestellt. Die Einordnung des Hochwassers für Weisse, Schwarze und Vereinigte Lüttschinnen erfolgt gemäss Abb 30.

Wiederkehrperioden der Abflüsse von Weisser, Schwarzer und Vereinigter Lütschine

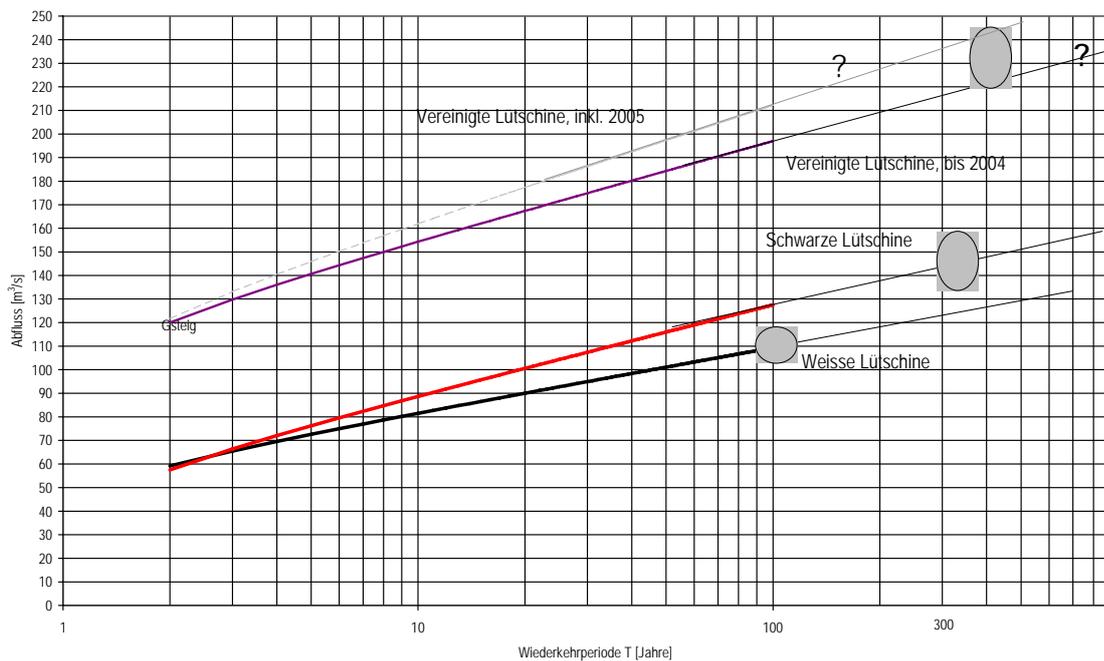


Abb 29 Einordnung Ereignis August 2005 in die Regressionslinien von Weisser, Schwarzer und Vereinigter Lütschinen

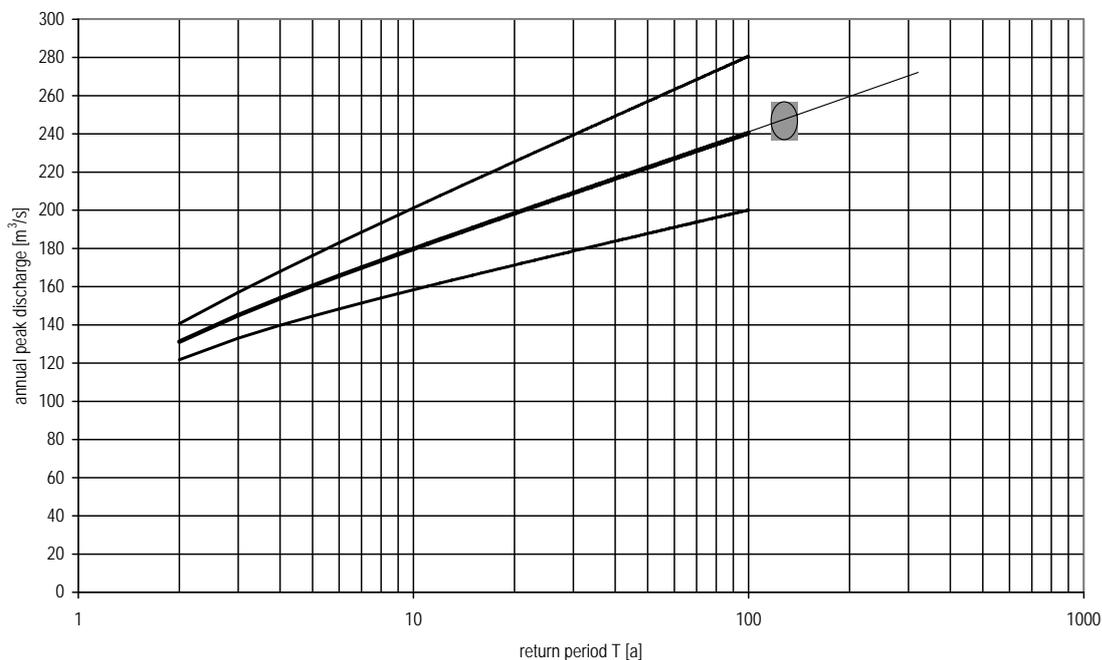


Abb 30 Einordnung Ereignis August 2005 in die Regressionslinie der Vereinigten Lütschinen der letzten 30 Jahre

Hätte man bei der Messstation Gsteig nur eine Messreihe von 1976 bis 2005 zur Verfügung, würde die Einordnung des Ereignisses von 2005 eine häufigere Wiederkehrperiode von etwa 100 - 200 Jahren ergeben. Die führt zur Frage, ob allfällige Aussagen über die zukünftige Entwicklung im Abflussverhalten der Lütschine gemacht werden können.

2.2.9 Das Abflussverhalten der Lütschine

Die Lütschine reagiert, wie zahlreiche Gebirgsflüsse, eher gedämpft auf Starkregen. Der spezifische Abfluss war im August 2005, beim grössten Hochwasser der letzten 100 Jahre, mit $0.6 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ vergleichsweise bescheiden. Das 20-jährliche Hochwasser unterscheidet sich um weniger als 20 % vom 100-jährlichen. Auch das 100-jährliche Hochwasser und das Extremereignis von 2005, das nach der Statistik eine mehrhundert-jährliche Wiederkehrperiode besitzt, unterscheiden sich nur um 20%.

Die Schäden waren also 2005 nicht deshalb so gross, weil der Abfluss wesentlich grösser war als bei den bisher beobachteten Hochwassern, sondern weil er einen in der letzten ca. 150 Jahren nicht erreichten Schwellenwert überschritten hat.

Dennoch weist die Messreihe einen Aufwärtstrend auf; die Messreihe ist nicht homogen. In Abb 31 wurden für gleitende 30-Jahresperioden (1923-52; 1924-53; 1925-54 usw.) jeweils der Durchschnitt der jährlichen Spitzenabflüsse, sowie das 20-, 50- und 100-jährliche Hochwasser berechnet. Auch hier ist eine Aufwärtstendenz ersichtlich. Die letzten Jahre mit den grossen Hochwassern haben die ansteigende Tendenz akzentuiert. Abb 31 ist für sich alleine genommen kein Beweis für den Einfluss z.B. einer Klimaveränderung, die ansteigenden Abflüsse können auch aufgrund anderer Faktoren beeinflusst sein. Die beobachtete Häufung grosser Hochwasser in den letzten Jahren (Abb 28) kann tatsächlich einem Trend entsprechen oder auch nur rein zufällig sein.

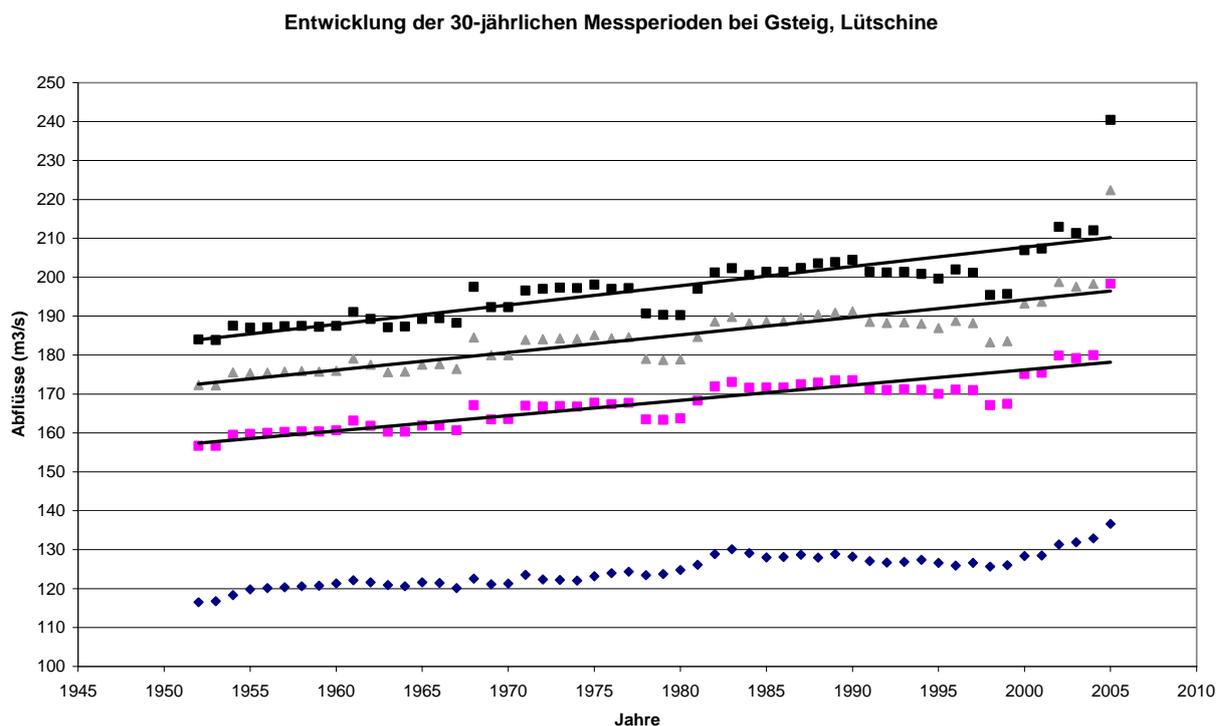


Abb 31 Gleitende Dreissigjahresperioden mit durchschnittlichen jährlichen Spitzenabflüssen (blau), berechneten Wiederkehrperioden für 20-(violett), 50- (grau) und 100-jährlichen (schwarz) Hochwasser

Einblicke in die Reaktionsweise des Einzugsgebietes der Lütschine erlauben Abflussprozesskarten (Abb 32), die anhand der geologischen, der topographischen und der Bodenkarte des Gebietes erstellt werden und räumlich differenziert zeigen, wie Abfluss gebildet wird. Ausgedehnte Flächen von speicherfähigen Böden und Untergrund, die Niederschlag zurückhalten, erklären die gedämpfte Reaktionsweise der Lütschine. Allerdings ist deren Speicherfähigkeit begrenzt. Bei Niederschlagsmengen, wie sie 2005 beobachtet wurden, waren grössere Flächen noch in der Lage, Niederschlag zu speichern, sie näherten sich aber ihren Kapazitätsgrenzen. Bei noch grösseren Niederschlägen werden diese überschritten. Abb 33 zeigt, dass die Lütschine ab 150 mm beginnt, überproportional zu reagieren.

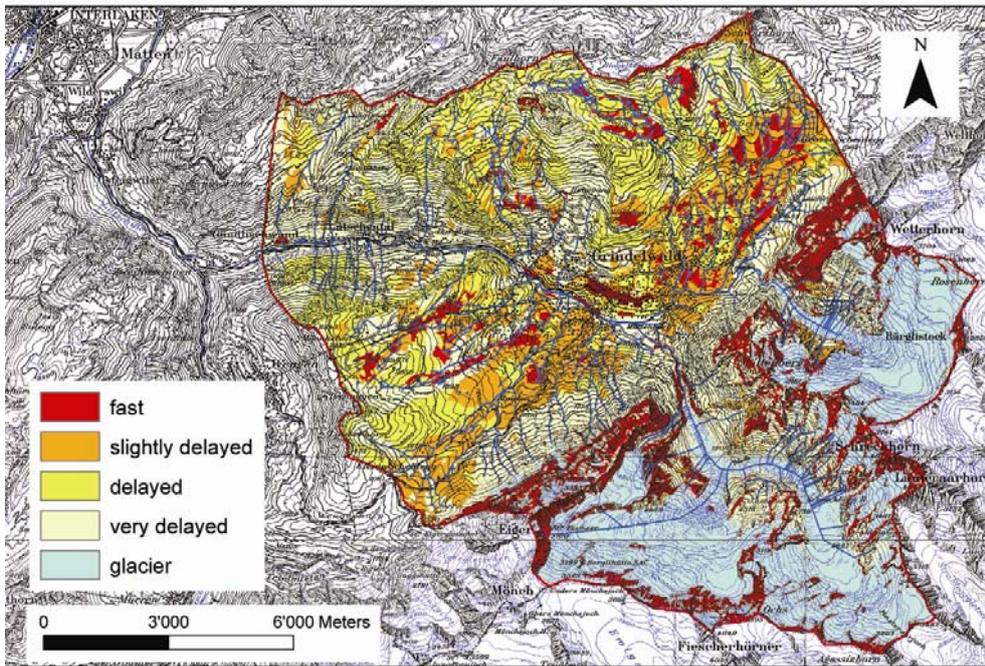


Abb 32 Abflussprozesskarte Schwarze Lütschine

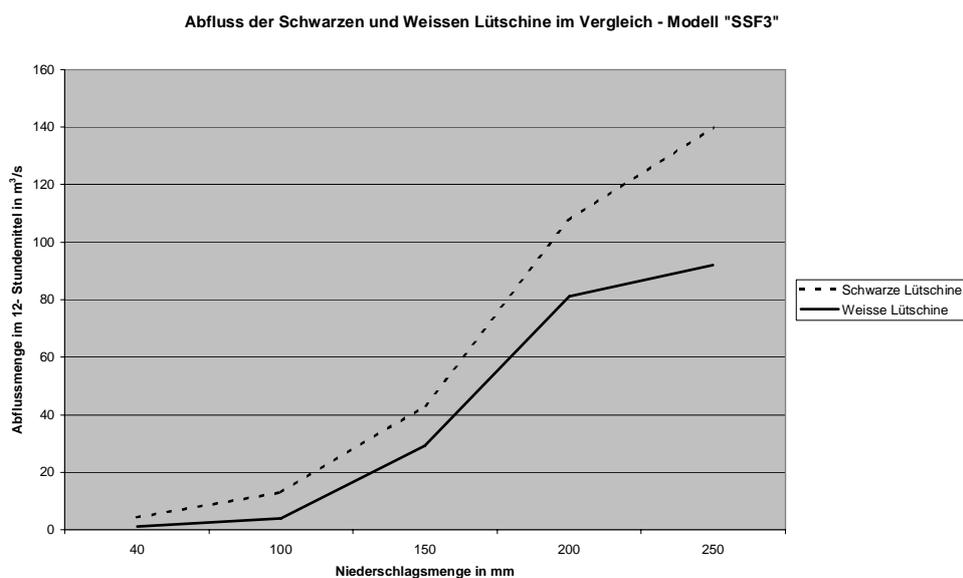


Abb 33 Anhand der Retentionsfähigkeit der Böden berechnete Abflüsse der Schwarzen und Weissen Lütschine als Funktion der Niederschlagssumme.

Seit dem Ereignis vom August 2005 sind zudem Prozesse beobachtet worden, welche unter ungünstigen Umständen die Abflüsse in der Lütschine erhöhen könnten (vgl. Kapitel 2.9).

Auf der Zunge des Unteren Grindelwaldgletschers bilden sich immer wieder Seen, die sich periodisch entleeren. Schwallwellen aus Gletschergebieten hat es bereits früher zu gewissen Perioden gegeben, sie haben sich aber in letzter Zeit gehäuft. Im Jahre 2006 wurden drei Wellen beobachtet. Durch das Abschmelzen der Gletscherzunge wird erwartet, dass sich das Volumen dieser Seen und damit das Volumen der Schwallwellen vergrössert.

Das zukünftige Abflussverhalten der Lütschine muss deshalb auch unter dem Aspekt der Gletschersee-Problematik beurteilt werden.

Für die Massnahmenplanung Hochwasserschutz entlang der Lütschine sind die folgenden hydrologischen Befunde von Bedeutung:

1. Niederschläge wie 2005 wurden in den letzten 100 Jahren schon einmal beobachtet, allerdings war die Verteilung und der Zeitpunkt des Auftretens 2005 ungünstiger. Die Niederschläge waren 2005 in den umliegenden Gebieten des Berner Oberlandes grösser als im Einzugsgebiet der Lütschine, grössere Niederschläge über den Lütschinentälern sind durchaus möglich.
2. Fallen grössere Niederschläge, kann die Retentionsfähigkeit der Böden überschritten werden, was zu einem überproportionalen Anstieg der Abflüsse führen könnte.
3. Die Entleerungen der Gletscherseen werden die Wahrscheinlichkeit der hohen Abflüsse zumindest in der Schwarzen Lütschine erhöhen. Da diese Prozesse in nächster Zeit wiederholt auftreten dürften, muss das Problem der Überlagerung der Seeausbrüche mit den Hochwassern der Lütschine berücksichtigt werden.
4. Diese neuen Entwicklungen zeigen ein Potenzial für höhere Abflüsse der Lütschine auf, die zu berücksichtigen sind um Strategien für deren Bewältigung zu entwickeln.

2.2.10 Zusammenfassung

Die Hochwasser in den Lütschinentälern vom August 2005 verursachten grosse Schäden. Im Rahmen der LLE Lütschine wurden die Ursachen für diese Schäden aufgearbeitet und wichtige Erkenntnisse abgeleitet. Einige der Befunde und Erkenntnisse sind nachstehend zusammengefasst.

1. Die Niederschläge waren von mittlerer Intensität, aber in der Gesamtmenge nicht aussergewöhnlich. Ein Vergleich der 2-Tages-Niederschläge ergibt folgendes Bild:
 - Grindelwald und Mürren: 1. Rang seit Messbeginn
(Grindelwald teilt den Rang mit einem früheren Datum)
 - Kleine Scheidegg und Lauterbrunnen: 2. Rang
 - Interlaken: 4. Rang

Im Vergleich zu den umliegenden Gebieten des Berner Oberlandes sind über den Lütschinentälern gefallene Niederschlagsmengen nicht extrem.

2. Die bis anhin grössten 2-Tagesniederschläge sind jeweils im Herbst oder Winter gefallen. Am 21. / 22. August 2005 ereignete sich niederschlagsmässig ein „Herbstereignis“.

3. Die Niederschlagsmuster waren über dem gesamten Einzugsgebiet ähnlich, wenn teilweise auch mit unterschiedlichen Mengen.
4. Im Unterschied zu den früheren vergleichbaren Niederschlagsereignissen wies der zweite Tag markant mehr Niederschlag auf als der erste. Ferner trug der sommerlich hohe Basisabfluss wesentlich am Zustandekommen des Hochwassers bei.
5. Über dem Gebiet dürften ca. 60 Mio. m³ Wasser gefallen sein. Das Volumen der Abflussganglinie bei Gsteig beträgt um die 40 Mio. m³ (inkl. Basisabfluss). Ca. $\frac{2}{3}$ des Niederschlags sind demnach sofort abgeflossen.
6. Die Abflussspitzen betragen:
 - Weisse Lütschine: 100 - 120 m³/s
 - Schwarze Lütschine: 140 - 160 m³/s
 - Vereinigte Lüttschinen: 240 - 250 m³/s

Die Ausflussspitze bei den Damnbrüchen wurde in den frühen Morgenstunden des 23. August 2005 allerdings nach der Abflussspitze im Gerinne der Lütschine erreicht.

7. Die Bestimmung der Jährlichkeit ergibt für die Weisse Lütschine ca. 100 Jahre, für die Schwarze Lüttschine ca. 300 Jahre und für die Vereinigten Lüttschinen ebenfalls ca. 300 Jahre.
8. Die Befunde aus der hydrologischen Studie des Jahres 2003 treffen insgesamt auch heute noch zu. Für eine wesentliche Anpassung der damaligen Ergebnisse besteht keine Notwendigkeit, allerdings sollen die im Rahmen der LLE Lüttschine gewonnenen Erkenntnisse in die Studie integriert werden.
9. Das Einzugsgebiet der Lüttschine reagiert insgesamt träge bei seltenen Ereignissen. Der Unterschied zwischen einem 20-jährlichen und 100-jährlichen Ereignis ist nicht sehr gross (etwa 10 %). Diese 10 % sind sehr klein und entsprechen etwa demjenigen einiger Gewässer des Juras und Graubündens. Die verhaltene Reaktion der Lüttschine wird teilweise mit der Gebietscharakteristik mit vielen Flächen mit hohem Absorptionspotential erklärt.
10. Während des Ereignisses vom August 2005 sind über dem Gesamtgebiet der Lüttschine im Mittel 150 mm Niederschlag gefallen. Es drängt sich die Frage auf, ob für einen wesentlich höheren Anstieg des Abflusses viel zusätzlicher Niederschlag gefehlt hat oder nicht. Erste Modellrechnungen haben ergeben, dass die Abflüsse ab einem Niederschlag von ca. 200 mm Gebietsmittel wesentlich stärker ansteigen werden. Dieses Problem stellt sich insbesondere aus der Tatsache heraus, dass prinzipiell höhere Niederschläge als im August 2005 über den Lüttschinentälern möglich sind.
11. Aufgrund der Hochwasser der letzten Jahre (d.h. 2002 bis 2005) ist möglicherweise mit einer Verschiebung der Jährlichkeiten nach unten zu rechnen. Die weitere Entwicklung ist zu verfolgen.

2.3 Hydraulik

Von der parallel zur LLE laufenden Untersuchung über die Mündung der Lütschine in den Brienersee⁵ (Auftrag des Oberingenieurkreis I an PD Dr. M. Jäggi, Ebmatingen) stand eine Modellierung der Vereinigten Lütschinen mittels des Programms HEC-RAS zur Verfügung. Mit Hilfe dieses Modells wurde der Spitzenabfluss des Ereignisses rekonstruiert und es wurden die vorhandenen Abflusskapazitäten des Unterlaufs der Lütschine untersucht.

2.3.1 Abflussrekonstruktion Vereinigte Lütschinen

Während des Durchgangs des Spitzenabflusses in Wilderswil wurden der linke Damm zwischen Mündung des Saxetenbachs und der BOB-Brücke sowie die Ufermauer oberhalb der Abflussmessstation Gsteig überströmt. Bei der Messstation war somit die Abflussspitze bereits um die entlastete Wassermenge reduziert. Der Dambruch oberhalb der BOB-Brücke (siehe Abb 34) ereignete sich erst nach Durchgang des Spitzenabflusses (am Abend des 22. August 2005, 20.00 - 24.00 Uhr). Auf der Höhe der Messstation wurde eine Hochwasserspür mit einer Kote von ca. 587.30 m.ü.M. mit einer Genauigkeit von ca. ± 10 cm ermittelt. Zwischen Gsteig und Bönigen wurde der linke Damm teilweise leicht überströmt. Die Gsteigbrücke und die Bönigbrücken gerieten unter Druck. Die Abbildungen 72 bis 81 in Anhang B3 dokumentieren diese verschiedenen Abflusszustände, aufgrund welcher die Abflussrekonstruktion möglich wurde.



Abb 34 Lütschine bei Wilderswil, Abschnitt Saxetbach bis BOB-Brücke
Aufnahme am 23. August 2005, ca. 10.30 Uhr, nach Dambruch

➤ Anhang B3 Abb 72 - 81: Abflussrekonstruktion

⁵ Flussmorphologische Studie zur Entwicklung der Lütschinenmündung, der zukünftigen Gestaltung und der Geschiebemanagement, M. Jäggi, Ebmatingen, Januar 2007

Gerinnerauigkeiten und Pegelschlüsselkurve

In das HEC-RAS-Modell wurde im Bereich der Messstation aufgrund von Linienproben ein k-Wert der Sohle von $27 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ eingesetzt. Der entsprechende Beiwert für die Ufer wurde auf $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ geschätzt. Die mittleren k-Werte des Gerinnes lagen so um $26 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Dies deckt sich weitgehend mit den in einer Publikation der LHG⁶ veröffentlichten Werten und mit der Pegelschlüsselkurve. Abbildung 82 in Anhang B3 dokumentiert diese Übereinstimmung.

➤ Anhang B3 Abb 82: Vergleich Abflussmengenkurve mit Pegelschlüsselkurve Messstation

Abflussmodell

Die folgende Abbildung zeigt das Abflussmodell für den Unterlauf der Vereinigten Lüttschinen im Längenprofil. Aus programmtechnischen Gründen musste die Kilometrierung als negative Zahlen eingegeben werden.

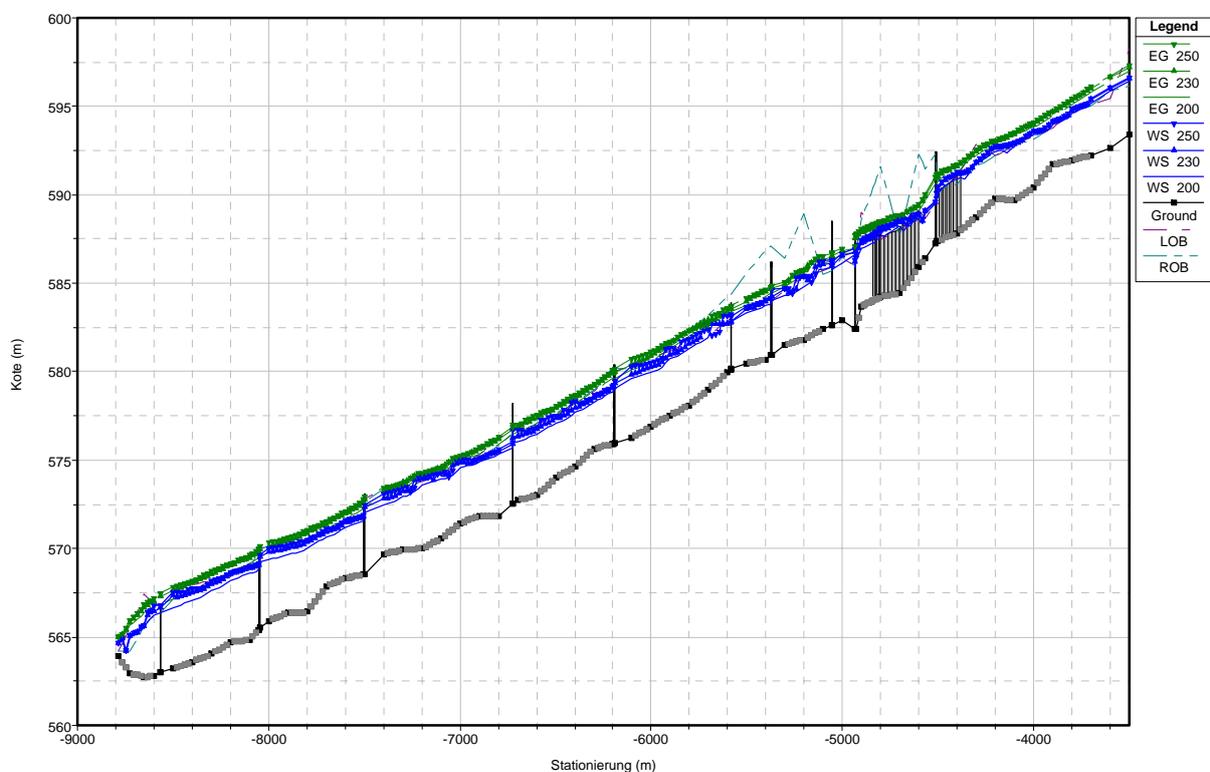


Abb 35 Für die Abflussrekonstruktion berechnete Wasserspiegellagen, Unterlauf Vereinigte Lüttschinen, Übersicht

⁶ Rauheiten bei ausgesuchten Fließgewässern, Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 1, 2001

Resultate der Abflussrekonstruktion

Folgende Überlegungen führen zur Abschätzung der Abflussspitze:

Aus dem Vergleich der berechneten Abflussmengenkurve auf Höhe der Messstation mit den Hochwasserspuren ergibt sich ziemlich genau ein Abfluss von $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Das Überströmen der Dämme und Ufermauern wurde im Programm HEC-RAS durch abschnittsweise Einführung von Streichwehren simuliert. Diese Streichwehre sind in den Abbildungen 83 und 84 in Anhang B3 als graue Flächen erkennbar. Gemäss dieser Rechnung sind oberhalb der BOB-Brücke vor dem Dammbrech etwa 15 bis $17 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgeflossen, dies bei einem Zufluss von etwa $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Rechnung simuliert allerdings das Zuschlagen der Brücke nicht genau. Die Spuren an der Brücke stimmen etwa mit der Höhe der Energielinie für einen Abfluss von 220 bis $230 \text{ m}^3/\text{s}$ überein. Da der berechnete Wasserspiegel nur sehr knapp unter der Brückenunterkante liegt, kann angenommen werden, dass beim Ereignis lokal der Wasserspiegel tatsächlich bis an die Energielinie angestiegen ist. Die Rechnung berücksichtigt aber jenen Abflussanteil nicht, der infolge Anschlagens des Wasserspiegels an der Brücke zusätzlich seitlich entlastet wurde. Dieser Abflussanteil kann auf etwa 10 bis $15 \text{ m}^3/\text{s}$ geschätzt werden. Wird der Abfluss in der Rechnung nach der BOB-Brücke entsprechend auf etwa $220 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert, ergibt sich bei den Ufermauern oberhalb der Messstation eine weitere seitliche Entlastung von wieder etwa 15 bis $17 \text{ m}^3/\text{s}$, worauf sich wieder ein Abfluss von ca. $200 \text{ m}^3/\text{s}$ bei der Abflussmessstation ergibt.

An der Gsteigbrücke stimmt die Hochwasserspuren mit dem Wasserspiegel überein, wenn wieder die Energielinie für einen Abfluss von $200 \text{ m}^3/\text{s}$ betrachtet wird. Weiter flussabwärts liegt der berechnete Wasserspiegel sehr nahe an der Krone des linken Damms. Lokal liegen die Wasserspiegel höher, was grundsätzlich mit den beobachteten kleinen Wasseraustritten übereinstimmt. Dies ist insbesondere auch für die dokumentierten Spuren beim RUAG-Areal der Fall.

➤ Anhang B3 Abb 80 und 81: Hochwasserspuren Bereich RUAG-Areal

Die Übereinstimmung ist auch im Bereich der Unteren Bönigbrücke sehr gut.

Die Abflussspitze kann somit auf etwa 240 bis $250 \text{ m}^3/\text{s}$ geschätzt werden. Davon sind um die $30 \text{ m}^3/\text{s}$ über den Damm oberhalb der BOB-Brücke ausgetreten, weitere 15 bis $20 \text{ m}^3/\text{s}$ haben die Ufermauer oberhalb der Abflussmessstation überströmt. Der Spitzenabfluss hätte dann zwischen der Abflussmessstation und den Brienersee ca. $200 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen.

Die Abbildungen 83 bis 86 in Anhang B3 zeigen die Resultate der Abflussrekonstruktion.

➤ Anhang B3 Abb 83 - 86: Resultate der Abflussrekonstruktion

2.3.2 Abflusskapazitäten Vereinigte Lütschinen

Mit dem aufgrund des Hochwasserereignisses geeichten HEC-RAS - Modell wurden die bestehenden Abflusskapazitäten im Unterlauf der Lütschine überprüft. Die Ergebnisse sind im beiliegenden Längenprofil 1:5'000/200, Vereinigte Lütschinen km 0.000 - 7.400, Plan Nr. 2167-8, dargestellt. Dabei wurde in herkömmlicher Art ein Freibord für Dämme, Ufermauern und Brücken berücksichtigt, das der Geschwindigkeitshöhe entspricht. Im betrachteten Abschnitt beträgt die Geschwindigkeitshöhe für Extremhochwasser ca. 0.60 - 0.80 m. Mit dieser Annahme für das Freibord wird die Welligkeit des Abflusses berücksichtigt. Bei Dämmen, welche nicht überströmungssicher ausgestaltet sind, ist ein solches Sicherheitsmass unbedingt erforderlich. Bei überströmbaren Dämmen und Ufermauern könnte grundsätzlich ein kleineres Freibord gewählt werden. Bei Brücken entspricht dieses Mass der Sicherheit gegen Anschläge an der Unterkante, aber nicht unbedingt für die schadlose Abfuhr von Geschwemmsel.

Die so bestimmten Kapazitäten liegen für längere Abschnitte im Bereich von 150 - 180 m³/s. Sie liegen also deutlich unter dem Spitzenabfluss des Ereignisses vom August 2005.

In dem 2006 ausgebauten Abschnitt Erlen im Bereich der Bönigbrücken ist die Kapazität höher und entspricht den Projektannahmen.

Beim Ereignis von 2005 war der Abfluss über weite Strecken bordvoll und das Freibord praktisch gleich Null. Dies entspricht für Dämme, welche nicht überströmungssicher ausgebaut sind, nicht den üblichen Sicherheitsanforderungen. Zudem besteht für längere Abschnitte ein erhebliches geotechnisches Dambruchrisiko. Diese Problematik wurde im Bericht⁷ zur Gefahrenkarte „Mysteries of the World - Bödeli“ im Detail behandelt.

Die Problematik der Brücken wird weiter unten behandelt (siehe 2.7 Bauwerke).

2.3.3 Abflusskapazitäten Schwarze Lütschine Lütschental

In Lütschental verfügt die Schwarze Lütschine über ausreichende Abflusskapazitäten für die Ableitung von häufigen Hochwasserereignissen (bis ca. HQ₂₀) mit eher geringem Feststofftransport. Bei Extremereignissen wie im Jahr 2005 werden in der Steilstrecke Stalden oberhalb Lütschental grosse Geschiebemengen mobilisiert und die Abflusskapazität im Siedlungsgebiet wird durch Sohlenauflandungen derart stark reduziert, dass massive Ausuferungen stattfinden.

In Lütschental ist also nicht der Reinwasserabfluss resp. die Abflusskapazität, sondern der Geschiebetransport die entscheidende Grösse (siehe dazu Kapitel 2.4.6).

⁷ Gefahrenkarte Mysteries of the World - Bödeli; Staubli, Kurath & Partner, Lehmann, Beffa, 1999

2.3.4 Abflusskapazitäten Schwarze Lütschine Grindelwald

Im Gebiet Grindelwald steht ebenfalls ein HEC-RAS - Abflussmodell zur Verfügung. Die Abflusskapazitäten wurden anhand dieses Modells grob überprüft. Dabei wurde wie in Kapitel 2.3.2 in herkömmlicher Art ein Freibord für Dämme, Ufermauern und Brücken berücksichtigt, das der Geschwindigkeitshöhe entspricht.

Nicht berücksichtigt sind bei dieser Überprüfung die im Anschluss an das Hochwasserereignis ausgeführten Sofortmassnahmen (Gerinneräumungen und Dammerhöhungen, neuer Querdamm bei Rollbahnbrücke).

Für den Zusammenflussbereich der Weissen mit der Schwarzen Lütschine in Grindelwald Gryth kommen wie in Lütschentäl die Geschiebeprozesse zum Tragen (siehe dazu Kapitel 2.4.5).

In Abb 36 sind die berechneten Wasserspiegel für eine Abflussmenge $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ vom Zusammenfluss der Weissen und der Schwarzen Lütschine bis zur Männlichenbahn dargestellt. Der Abfluss wird demnach bei sämtlichen Brückenbauwerken eingestaut und oberhalb ergeben sich Überflutungen.

Die effektive Abflusskapazität (Freibord = Geschwindigkeitshöhe) nimmt vom Zusammenfluss bis zur Rollbahnbrücke kontinuierlich ab von 150 auf $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Zwischen der Rollbahnbrücke und der Chilchbodenbrücke variiert die Abflusskapazität zwischen 80 und $130 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Chilchbodenbrücke verfügt über die geringste Abflusskapazität im betrachteten Abschnitt, hier liegt die Energiefinie bereits bei einem Abfluss von $60 \text{ m}^3/\text{s}$ auf Höhe der Brückenunterkante. Zwischen der Chilchbodenbrücke und dem GGM-Steg variiert die Abflusskapazität zwischen 70 und $100 \text{ m}^3/\text{s}$, ca. 70 m oberhalb des GGM-Steges findet linksufrig schon ab $50 \text{ m}^3/\text{s}$ eine Ausuferung statt.

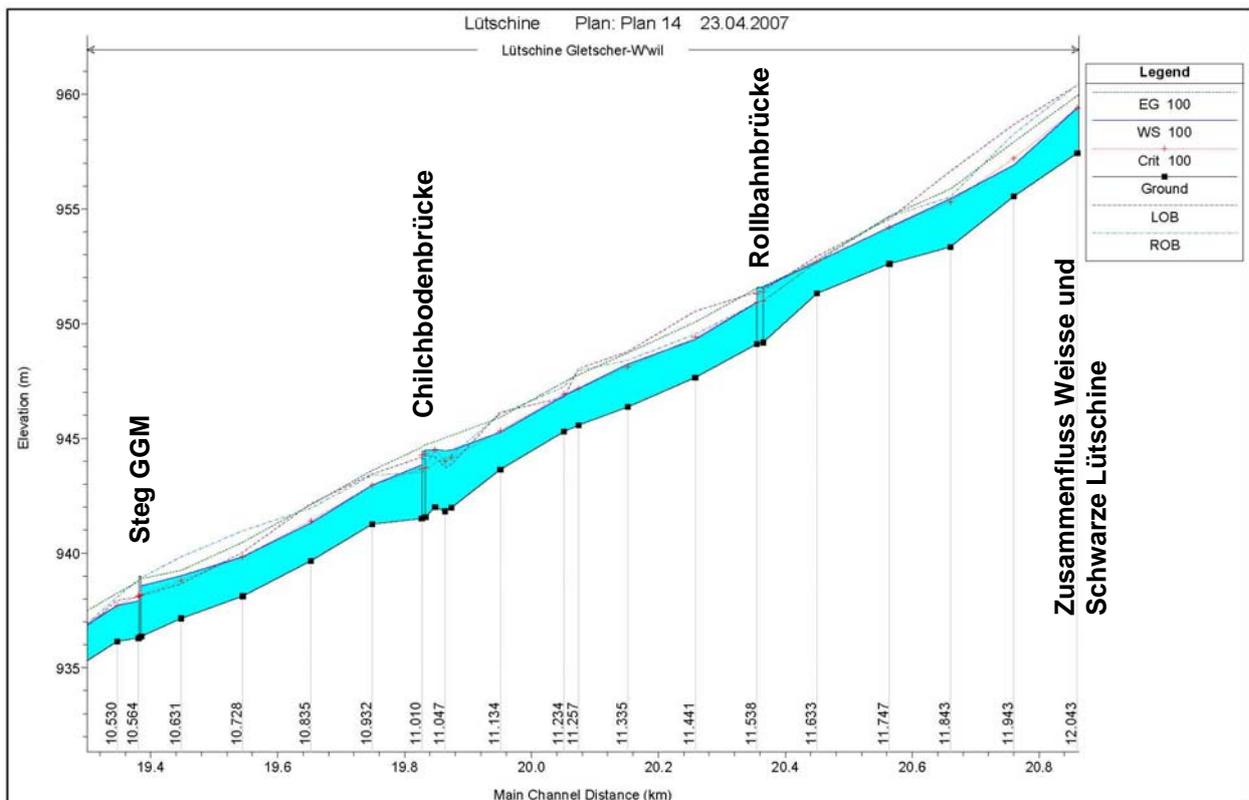


Abb 36 Berechnete Wasserspiegel im Abschnitt Zusammenfluss Weisse und Schwarze Lütschine - Männlichenbahn. Abflussmenge $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Abfluss wird bei sämtlichen Brückenbauwerken eingestaut.

2.4 Geschiebeprozesse

2.4.1 Die Lüttschinen vor den Gewässerkorrekturen

In historischer Zeit (hier begriffsmässig nicht ganz korrekt zusammengefasst als die Zeit vor den Flusskorrekturen und grösserer Besiedlung der Haupttäler) verlief die Lüttschine in den Haupttälern praktisch über den gesamten Talboden. Der Fluss änderte seinen aktuellen Lauf stetig.

Die damalige Flussbettbreite war insbesondere in Grindelwald Grund, Tschingeley Burglauenen, in Lüttschentäl und vom Rüdli Richtung Gündlischwand bis zum Zusammenfluss mit der Weissen Lüttschine (grosse Schwemmebene) sowie beim Gebiet Flisou oberhalb Wilderswil viel grösser als heute.

Im Bödeli floss die Lüttschine auf ihrem Kegel direkt der Aare bei Interlaken zu. Dabei dürfte sich der Fluss damals von der Tschingelmatta an verbreitert haben und wurde durch den Saxetbach an die rechte Talflanke gedrängt. Von hier weg floss die Lüttschine als mehrfach verzweigter Fluss nördlich Richtung Matten um den Rugen herum gegen die Aare hin.

Im Laufe der Zeit wurde der Lüttschine ein enges Bett zugewiesen. In vermutlich noch viel früherer Zeit soll die Lüttschine im Bödeli in den Brienersee eingeleitet worden sein. Die Linienführung des Lüttschinentals ungefähr vom Einlauf des Saxetbaches abwärts entspricht in keiner Weise einer natürlichen Veranlagung des Flusses: er ist von seinem herkömmlichen Kegel völlig abgetrennt und verläuft am Schnittpunkt Gebirgsfuss - Schwemmebene praktisch an der höchsten Stelle des Bödeli in den Brienersee.

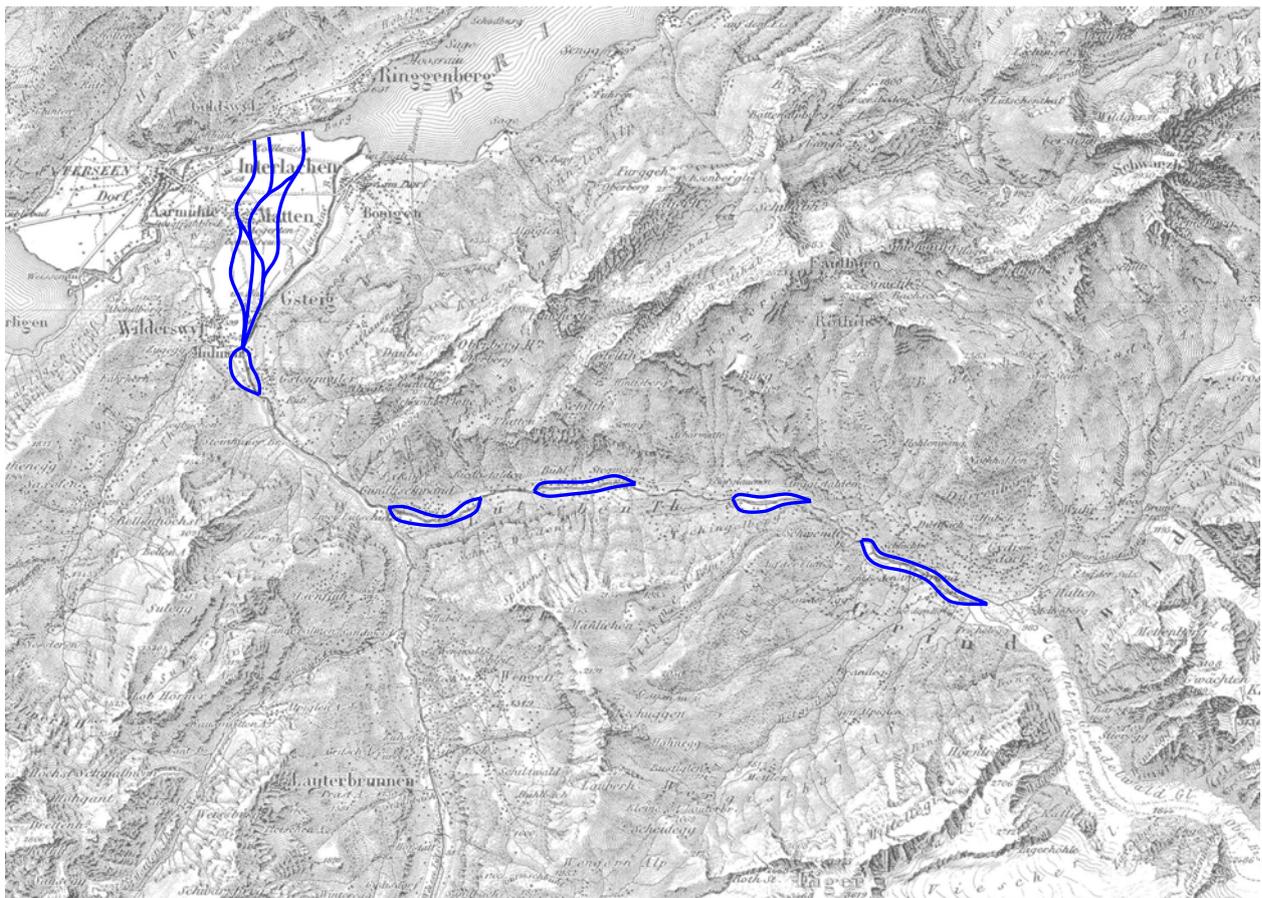


Abb 37 Die Lüttschinentäler vor den Gewässerkorrekturen. (Ergänzter Ausschnitt aus Dufourkarte von 1864, Blatt 13). Um 1864 waren die grossen Gewässerkorrekturen bereits abgeschlossen. Blau eingetragen sind die breiten Talstrecken und die verzweigte Lüttschine auf dem Bödeli (möglicher Verlauf) vor den Korrekturen.

2.4.2 Die Lüttschinnen während des Ereignisses

Die Bemühungen des Flusses, den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen, war aufgrund des Auguster-
eignisses deutlich erkennbar (Anhang B4 Abb 87 - 92):

- Die flachen Abschnitte des Grindelwaldtales wurden übersart und überflutet.
- In steilen Abschnitten setzte Erosion ein, teilweise begleitet von einer gewissen Tendenz zur Mäandrie-
rung (Stalden).
- Im Bödeli folgte das Wasser, allerdings behindert durch die Autobahn, nach dem Ausbruch aus dem
Kanal mehr oder weniger alten Fließwegen Richtung Interlaken.

Wäre der Zustand nach dem Ereignis belassen worden, hätte der Fluss Zeit gehabt, sich innerhalb diesen
neuen Grenzen festzusetzen. Dabei würde der Fluss seinen Lauf ständig variieren und es könnten mit der
Zeit Auenlandschaften entstehen, welche periodisch überflutet würden. Ein solches Szenarium ist aufgrund
der Platzverhältnisse in den Lüttschinentälern sowie den Nutzungsansprüchen an die Talflächen sowie an
das Bödeli nicht realistisch. Es zeigt aber auf, wie weit ein alpiner Fluss wie die Lüttschine vom natürlichen
Zustand entfernt ist.

Natürliche Ausbreitungen der Lüttschine aufgrund des Hochwassers fanden im Boden bei Grindelwald statt,
in der Tschingeley Burglauenen, Lüttschental, bei Gündlischwand und bei Wilderswil.

➤ Anhang B4 Abb 87 - 92: Der Fluss nimmt während dem Hochwasser 2005 zusätzliche
Flächen in Beschlag

Die Prozesse, welche diese temporären Flussverbreiterungen bewirkt haben, waren allerdings sehr unter-
schiedlich. In der Regel handelte es sich nicht um eigentliche Flussaufweitungen, in welchen die Uferpartien
seitlich erodiert werden (Ausnahme Lüttschental), sondern um seitliche Ausbrüche infolge reduzierter Ab-
flusskapazität im Gerinne. Auflandungen im Gerinne haben die Sohle erhöht und in der Folge die Ausbrüche
verursacht.

Entlang des Flusslaufes zeugen alte Terrassenabfolgen von verschiedenen Flussepochen und teilweise
höherem Flussbettniveau (Abb 38). Die Lüttschine versuchte sich innerhalb dieser natürlichen Grenzen
auszubreiten. In Lüttschental hatte der Fluss genügend Energie, die Ufer bis zu den alten Terrasserändern zu
erodieren (Abb 39)



Abb 38 Zustand in Lüttschental mit alten Terrasserändern (Pfeile) vor dem Ereignis.



Abb 39 Zustand in Lüttschental nach dem Ereignis.

➤ Anhang B4 Abb 93 - 94: Weitere Beispiele von Terrassenrändern

Auf dem alten Schwemmkegel zwischen Wilderswil und Interlaken versuchte der Fluss seinen ursprünglichen Verlauf geradewegs Richtung Aare in mehreren Flussarmen wieder herzustellen (Abb 40).



Abb 40 Überschwemmungen auf dem Bödeli.

2.4.3 Schwerpunkte der Feststoffverlagerung

Der Schwerpunkt der Feststoffverlagerung lag während des Ereignisses vom August 2005 in der Schwarzen Lütschine. In der Weissen Lütschine wurden ebenfalls Feststoffverlagerungen (Raum Stechelberg, Lauterbrunnen, Sandweidli - Schmelziwald) festgestellt. Diese waren jedoch unbedeutend im Vergleich zu denjenigen in der Schwarzen und auch Vereinigten Lütschinen (v. a. Dangelstutz).

Die hohen Feststoffaufkommen betrafen vor allem folgende Stellen (siehe auch Abb 57):

Schwarze Lütschine

- Abschnitt Schwarze Lütschine Grindelwald Gletschersand - Mündung Milibach
- Abschnitt Stalden (Wehr Burglauenen - Kraftwerk Lütschentäl)

Vereinigte Lütschinen

- Dangelstutz



Abb 41 Massive Feststoffverlagerungen in Lütschentäl.
Aufnahme vom 24.08.2005.

Wie weiter hinten noch dargestellt wird, waren vor allem die Steilstrecken für hohe Erosionsraten verantwortlich.

Im Folgenden werden einzelne wichtige Prozesse erläutert und das Gesamtverhalten der Lütschine aufgrund des Hochwassers beurteilt. Ferner wird eine Feststoffbilanz über das Gesamtereignis dargestellt. Geschiebomodellierungen im Hinblick auf zukünftige Massnahmenkonzepte liefern Hinweise auf abgelaufene Transportprozesse.

2.4.4 Massgebliche Geschiebeprozesse und räumliche Zuordnung

Die wichtigen Geschiebeprozesse waren:

- Erosion in Steilstrecken
- Ablagerungen im Bereich von Gefällsknicken
- Ablagerungen im Hauptgerinne infolge Vorlandabfluss
- Ufererosion durch das Hauptgerinne (siehe dazu auch Kapitel 2.5)
- Murgänge und Hangmuren in Seitenbächen

2.4.4.1 Erosion in Steilstrecken

Steile Abschnitte von Gebirgsflüssen (Gefälle von fünf bis zehn Prozent) sind oft sehr stabil, da ihre Sohle durch grosse Blöcke abgeplästert ist. Die Stabilität wird auch dadurch erhöht, dass die Blöcke Strukturen bilden, welche nur durch sehr hohe Abflüsse destabilisiert werden können. Somit wird bei häufigen, kleineren Hochwasserereignissen kaum Geschiebe aus der Sohle und den Ufern aufgenommen. Es kann zwar durchaus bei diesen Abflüssen Geschiebe transportiert werden, welches von oben oder durch Seitenbäche zugeführt wird. Das theoretische Transportvermögen wird aber bei weitem nicht ausgelastet (ungesättigter Transport). Wenn dann aber bei einem seltenen Ereignis mit hohem Abfluss die Sohlenstrukturen in Bewegung gebracht werden (Aufreissen der Deckschicht), so kommt das hohe Gefälle zum Tragen und die mobilisierten Geschiebemengen sind, verglichen mit den üblichen Werten, ausserordentlich hoch. Dieses Phänomen konnte bei folgenden Abschnitten beobachtet werden:

Gletschersand - Mündung Milibach (oberhalb Mettenbergbrücke)

In diesem Abschnitt dürften etwa 20'00 - 30'000 m³ Feststoffe erodiert worden sein. Einerseits wurde eine gewisse Tiefenerosion festgestellt, welche in der Folge ein Nachrutschen der Böschungen verursachte und auch Hangprozesse auslöste (Abbildungen 95 und 96 in Anhang B4).

Stalden

In der Steilstrecke zwischen Burglauenen und Lüttschental hat die Erosion zu massiven Veränderungen des Gerinnes und hohem Geschiebeaufkommen geführt. Nebst der Eintiefung, welche vor allem im Bereich von Brücken zu Problemen führte, war auch eine generelle Verbreiterung und teilweise eine starke Mäandertendenz zu beobachten (Abbildungen 97 bis 100 in Anhang B4). Es wurden sehr hohe Erosionsvolumen im Bereich von 80'000 bis 100'000 m³ festgestellt. Die erodierten Kubaturen stammten dabei einerseits aus der Sohle, andererseits aus Böschungserosionen.

Dangelstutz

Auch im Dangelstutz oberhalb Wilderswil kam es infolge Eintiefung und Seitenerosion zu Schäden (Abbildungen 101 und 102 in Anhang B4).

Weitere Erosionsstrecken untergeordneter Bedeutung

Weitere Gewässerabschnitte mit Erosionen befanden sich unterhalb der Baumgartenbrücke Lüttschental, wo die Bahnlinie unterspült wurde. Die Erosionsraten waren verhältnismässig gering. Im Rüdli in Gündlischwand verbreiterte sich die Lüttschine um etwa 20 Meter.

In der Weissen Lüttschine wurde Material in Lauterbrunnen, nördlich des Bahnhofes, sowie nördlich des Sandweidli erodiert.

2.4.4.2 Ablagerungen im Bereich von Gefällsknicken

Naturgemäss lagert sich Geschiebe ab, wenn das Gefälle stark abnimmt. Somit sind Ablagerungen wie im Bereich des Zusammenflusses von Schwarzer und Weisser Lütschine in Grindelwald oder bei der Mündung des Saxetbachs in Wilderswil keine Überraschung. Unerwartet waren massive Ablagerungen dort, wo in der oberliegenden Strecke wie beschrieben eine normalerweise stabile Sohle destabilisiert wurde und das Geschiebeaufkommen unerwartet hoch ausfiel. Ausser in Lütschentäl war auch am Fuss des Dangelstutzes in der Flisou eine solche Entwicklung zu beobachten. In geringem Masse gab es auch Erosionen in der Steilstrecke nach der Baumgartenbrücke und entsprechende Ablagerungen hinter Gündlischwand.

Raum Grindelwald - Burglauenen

Auflandungsstrecken hat es oberhalb des Zusammenflusses von Weisser und Schwarze Lütschine⁸ gegeben: die Strecke Camping Mettenberg - Gryth (Schwarze Lütschine) sowie in der Weissen Lütschine Grindelwald die Strecke unterhalb des Austrittes aus der Gletscherschlucht (Abb 103 Anhang B4). Diese Auflandungen führten zu den Übersarungen im Gebiet Aspi. Flugaufnahmen zeigen deutlich die unterschiedlichen Farben der Ablagerungen von Schwarzer und Weisse Lütschine (dunkles Ablagerungsmaterial entstammt der Schwarzen Lütschine, Abb 104 Anhang B4).

Weitere Ablagerungsgebiete waren der Raum Bahnhof Grund, sowie die Gebiete Boden und Ertli (Abb 105 Anhang B4). Alle diese Ablagerungsgebiete entsprechen den natürlichen Retentionsgebieten des Flusses, welche nach und nach anderen Nutzungen zugeführt worden sind.

Ein weiteres grosses natürliches Ablagerungsgebiet ist die Tschingeley in Burglauenen. Die Lütschine lagerte Material praktisch auf der gesamten Strecke zwischen der Ortweid und dem Wehr Burglauenen (Abb 106 und 107 Anhang B4) ab. Auf dieser Strecke dürften insgesamt etwa 10'000 m³ abgelagert worden sein. Die Schätzung war hier sehr schwierig und ist sicher fehlerbehaftet, da die Räumungsarbeiten zum Zeitpunkt der Aufnahmen sehr weit fortgeschritten waren.

Raum Lütschentäl

Das grösste Ablagerungsgebiet befand sich auf der Ebene von Lütschentäl. Hier wurden zwischen 80'000 und 100'000 m³ Material abgelagert (Abb 108 Anhang B4). Eine genaue Prozessbeschreibung sowie die Darstellung der Geschiebesimulationen als Grundlage für den Hochwasserschutz findet sich in Kapitel 2.4.6.

Raum Gündlischwand

Auf der Schwemmebene von Gündlischwand fliessen Schwarze und Weisse Lütschine zusammen. In früherer Zeit wurde diese Fläche durch Prozesse der beiden Flüsse dominiert. Als natürliches Ablagerungsgebiet hat sich im Laufe der Zeit auf der gesamten Fläche Geschiebe abgelagert, ähnlich wie dies auch im Sommer 2005 eingetreten ist (Abb 109 Anhang B4). Durch das Bahnhofareal wurde die durch die beiden Flüsse gemeinsam genutzte Ablagerungsfläche künstlich getrennt (Aufschüttung Bahntrasse), so dass die Weisse Lütschine praktisch alles Material westlich des Bahnhofes ablagerte (mehrheitlich Schwebstoffe).

⁸ Das Fliessgewässer aus dem Unteren Grindelwaldgletscher heisst „Weisse Lütschine“, dasjenige aus dem Oberen Grindelwaldgletscher „Schwarze Lütschine“. Eine „Weisse Lütschine“ fliesst auch aus dem Lauterbrunnental und vereinigt sich mit der „Schwarzen Lütschine“ bei Zweilütschinen. Von hier weg heisst das Gewässer „Vereinigte Lütschinen“.

Raum Stechelberg - Schilthornbahn - Bornige Brücke

In der Weissen Lüttschine waren die Geschiebeumsätze erheblich geringer als in der Schwarzen Lüttschine. Der Fluss verliess das Gerinne nur an wenigen Stellen. Ablagerungen fanden vor allem auf der Strecke Untere Stechelbergbrücke bis zum Zusammenfluss mit der Sefinenlüttschine statt. Ferner erhöhte sich die Sohlenlage im Raum Schilthornbahn bis zur Bornigen Brücke, was zu linksseitigen Ausbrüchen bei der Bletscha führte. Die auf den genannten Strecken abgelagerten Feststoffkubaturen dürften etwa 15'000 - 20'000 m³ erreicht haben.

Raum Lauterbrunnen - Sandweidli

Die Ablagerungen im Raum Lauterbrunnen - Sandweidli waren klein, auch wenn lokal Schäden aufgetreten sind. Ablagerungen fanden im Buechen - Boden, im Eytli, beim Elektrizitätswerk (Loch) bis über die Schmidmatta hinaus zum Sandweidli hin statt. Etwa 5'000 - 8'000 m³ Material dürfte in den genannten Bereichen abgelagert worden sein.

Raum Schmelzi - Bahnhof Zweilüttschinen

Im Raum Schmelzi - Zweilüttschinen befand sich das grösste Ablagerungsgebiet der Weissen Lüttschine. Der Fluss verliess bei der Schmelzi sein Bett Richtung „Hinder der Egg“ und lagerte insgesamt etwa um die 20'000 m³ Feststoffe ab. Dabei war auch nach den Räumarbeiten noch ein deutlicher Unterschied beim abgelagerten Material zu erkennen: unmittelbar unterhalb der Ausbruchstellen bei der Schmelzi bis zum Raum „Hinder der Egg“ waren auch grössere Geschiebekomponenten liegen geblieben, gegen die Mündung zur Schwarzen Lüttschine hin war das Material praktisch nur noch Sand und feiner.

Wilderswil - Bödeli

Die Ablagerungsvorgänge im Raum Flisou und im Bereich Bödeli werden in Kapitel 2.4.7 beschrieben.

Auf dem ehemaligen Kegelgebiet der Lüttschine wurden grosse Feststoffkubaturen von vorwiegend Feinmaterial abgelagert. Die tatsächliche abgelagerte Kubatur (inner- und ausserhalb des Lüttschinnenkanals) konnte nicht im Detail rekonstruiert werden, da die Aufräumarbeiten positiverweise sehr rasch vonstatten gingen.

2.4.4.3 Ablagerungen im Hauptgerinne infolge Vorlandabfluss

Fliesst ein grösserer Abflussanteil über Vorländer ab, reduziert das die Geschiebetransportkapazität im Hauptgerinne. Beim Übergang von einem Gerinne mit einem einfachen Trapezprofil auf einen Abschnitt mit Doppelprofil bedeutet dies einen plötzlichen Verlust an Transportkapazität. Das Geschiebe bleibt im Hauptgerinne liegen. Das Phänomen wird durch Bildung eines Versatzes verschärft (Analogie zu Gerinneaufweitungen).

Zu beobachten war dies in Grindelwald nach dem Zusammenfluss der beiden Lüttschinen. Durch die starken Ablagerungen im Bereich des Zusammenflusses wurde ein Teil des Abflusses auf die Wiesen am rechten Ufer abgedrängt. Dadurch füllte sich das Gerinne der Schwarzen Lüttschine unterhalb des Zusammenflusses wie beschrieben auf. Auch der oberste Abschnitt der Vereinigten Lüttschinen nach dem Zusammenfluss war durch diese Entwicklung geprägt, wie auch der Abschnitt Flisou zwischen Gsteigwilerbrücke und Mündung des Saxetbaches. Hier ist die Kapazität des Hauptgerinnes relativ gering und die Ausuferungen waren entsprechend gross. Das Hauptgerinne wurde entsprechend stark aufgefüllt (siehe Plan Nr. 2167-8, Längprofil 1:5'000/200, HWS-Konzept Bödeli).

2.4.4.4 Ufererosion

Ufererosionsprozesse werden in Kapitel 2.5 beschrieben, hier werden einige Stellen solcher Vorkommen genannt. Wichtige Stellen der Ufererosion befanden sich im Ertli in Grindelwald, im Bereich Stalden in Lüt-schentäl (Prozess Seitenerosion) sowie unterhalb der Baumgartenbrücke und im Dangelstutz (Abb 110 bis 113 Anhang B4).

2.4.4.5 Murgänge und Hangmuren

Murgänge und Hangmuren waren im Vergleich zu den Erosions- und Ablagerungsvorgängen im Talfluss von untergeordneter Bedeutung. Sie betrafen vor allem Zubringergerinne und Hangpartien im Raum Grindelwald, halfen jedoch den Prozess der Feststoffbelastung des Talflusses im obersten Bereich oberhalb Mettenberg-brücke teilweise zu verstärken (z.B. Bärgelbach, Milibach, ev. auch Schwendibach bei der ARA Grindelwald). Wo keine Murgänge stattfanden, hat die teilweise hohe Wasserführung in den Seitenbächen die Entstehung des Hochwassers in der Schwarzen Lütschine ebenfalls beeinflusst.

Murgänge entstanden bereits oben in den Bächen zwischen Grosser Scheidegg und First (Bärgelbach und Zuflüsse, Hörbach und Zuflüsse). Die aufgetretenen Geschiebeumlagerungen waren für die Vorgänge im Tal nicht entscheidend, zeigten jedoch die hohe morphologische Aktivität auf der Nordseite des Einzugsgebiets der Schwarzen Lütschine auf (Abb 114 Anhang B4). In dieser Abbildung ist auch zu erkennen, dass ein erheblicher Teil der Feststoffe nicht sehr weit transportiert worden ist und in Flachstrecken abgelagert wurde. Dadurch konnte sich kein hoher Geschiebeanfall für die Schwarze Lütschine aufbauen.

Oberhalb der Hagschiir brach der Hörbach Richtung Bärgelbach aus und lagerte Material auf dem benach-barten Flachstück ab. Ein Teil des ausgeschwemmten Materials aus dem Hörbach gelangte in den Bärgel-bach (Abb 115 Anhang B4).

Hangmuren spielten für den Geschiebeumsatz nur lokal eine Rolle, auch wenn die einzelnen Schadenstellen entlang der Firststrasse sehr spektakulär aussahen (Abb 116 Anhang B4). Viele Hangmuren gelangten nicht bis an ein Gerinne, wo Material hätte weiter transportiert werden können. Das erodierte Material lagerte sich meist wenige Meter unterhalb der Anrisszone wieder ab.

Eine Ausnahme bildete der Schwendibach (Abb 117 Anhang B4). Die Murgänge entstanden im Zubringer Büössalp bach und setzten sich bis auf den Kegel fort. Im Weiler Schwendi entstand hoher Sachschaden, mehrere Gebäude wurden durch die Übersarungen beschädigt. Ein unbekannter Anteil des Materials er-reichte die Lütschine und wurde wegtransportiert (Abb 118 und 119 Anhang B4).

2.4.5 Geschiebeprobleme in Grindelwald

Grundlagen

Die Schwarze Lütschine wurde oberhalb von Lütschental im Jahr 2006 zum ersten Mal vermessen. Somit fehlen Vergleiche mit früheren Sohlenlagen, aus denen Tendenzen ermittelt werden könnten.

Unregelmässigkeiten im Längenprofil

Das Längenprofil zeigt einen relativ unruhigen Verlauf. Flachstrecken alternieren mit Steilstrecken. Generell nimmt das Gefälle entlang der Strecke ab. Der Vergleich mit einer linearen Anpassung zeigt diese Gefällsabnahme ebenfalls. Die Gerinnebreite variiert wenig und liegt in der Grössenordnung von 15 m. Somit ist die Transportkapazität entlang der Strecke stark veränderlich.

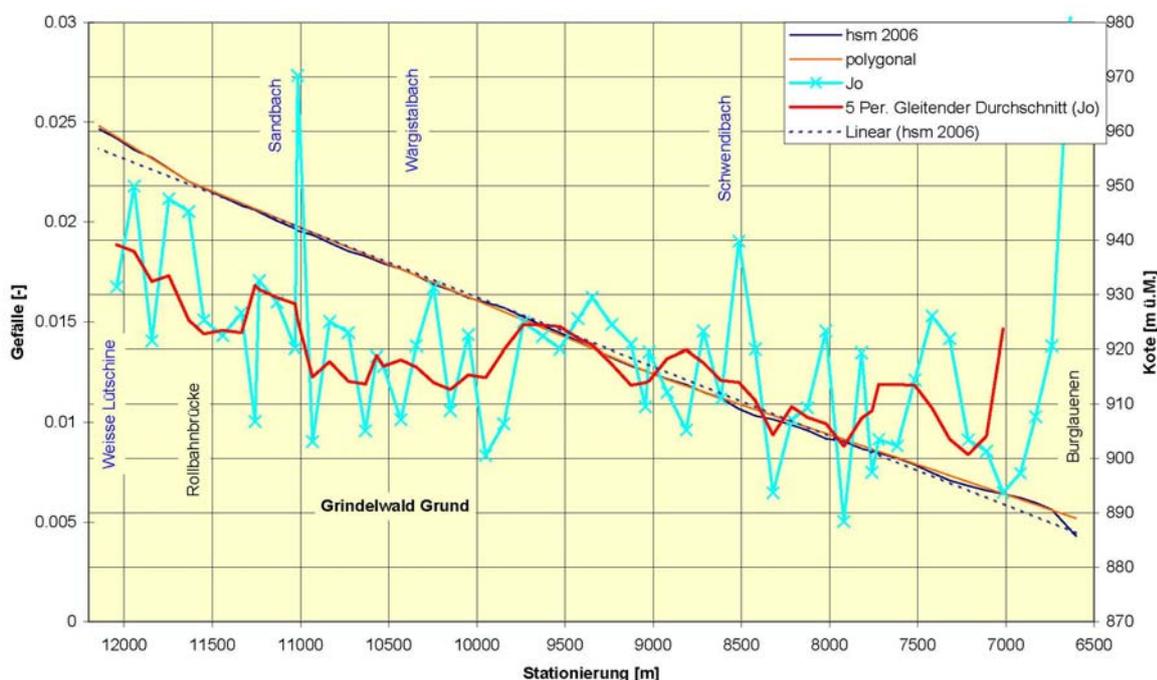


Abb 42 Längenprofil der Schwarzen Lütschine in Grindelwald

Die Unregelmässigkeiten im Längenprofil sind teilweise auf den Einfluss von Seitenbächen zurückzuführen. Es ist möglich, dass diese gröberes Geschiebe im Gerinne der Schwarzen Lütschine ablagern. Dadurch entsteht unterhalb der Mündung eine Steil- und oberhalb davon eine Flachstrecke. Teilweise hat die geomorphologische Entwicklung des Tals solche Alternationen bewirkt. Die Seitenbäche haben Schwemmkegel aufgeschüttet, welche das Längenprofil der Schwarzen Lütschine prägen. Klare morphologische Elemente dieser Art weist der Schwemmkegel des Schwendibachs oberhalb von Burglauenen auf. Bei der Verbauung der Schwarzen Lütschine wurde das Gerinne kanalisiert, aber solche Unregelmässigkeiten nicht ausgeglichen.

Somit ist es nicht erstaunlich, dass es im Bereich der Gefällsabnahme zu den Flachstrecken zu Geschiebeablagerungen kam. Sie wurden teilweise dadurch verstärkt, dass das Gerinne in den Steilstrecken eher eingetieft ist, und in der Flachstrecke nach Überschreiten der Gerinnekapazität ein grosser Teil des Abflusses quasi auf einem Vorland abfließt. Dies ergibt im Hauptgerinne einen zusätzlichen Verlust an Geschiebetransportkapazität (vgl. Kapitel 2.4.4.3).

Zusammenflussbereich Schwarze und Weisse Lütschine

Oberhalb ihres Zusammenflusses waren sowohl die Schwarze wie die Weisse Lütschine mit Geschiebe überlastet. Bei der Schwarzen Lütschine stammte ein Teil des Geschiebes aus Uferanrissen im oberliegenden steileren Abschnitt, wo wie in anderen Fällen die Sohlenstrukturen destabilisiert wurden. An der Weissen Lütschine wurde im Raum des Kieswerks Aspi relativ viel Geschiebe aufgenommen, so dass Ausuferungen und Ablagerungen auf dem Schwemmkegel relativ bescheiden waren.



Abb 43 Mit Geschiebe überlasteter Zusammenflussbereich Schwarze und Weisse Lütschine in Grindelwald

Der Bereich des Kieswerks Gryth und der Zusammenfluss wurde massiv mit Geschiebe überlastet. Die Kanalisierung der Weissen Lütschine führte zu einem konzentrierten Geschiebeeinstoss mit einer raschen Auflandung. Durch diese wurde die Schwarze Lütschine aufgestaut und sie füllte ihr Gerinne oberhalb des Zusammenflusses mit Geschiebe. Dies führte zu einer starken Ausuferung auf der rechten Seite, was die Ablagerung im Gerinne weiter anfachte. Im Bereich des Zusammenflusses und im Abschnitt bis zur Rollbahnbrücke war dadurch das Gerinne praktisch aufgefüllt.

Oberer Abschnitt

Die Rollbahnbrücke überquert die Schwarze Lütschine im Bereich eines starken Gefällsknicks, was zu weiteren Ablagerungen führte. Ohne die Ablagerungen im Zusammenflussbereich weiter oben wären hier die Probleme noch grösser geworden.

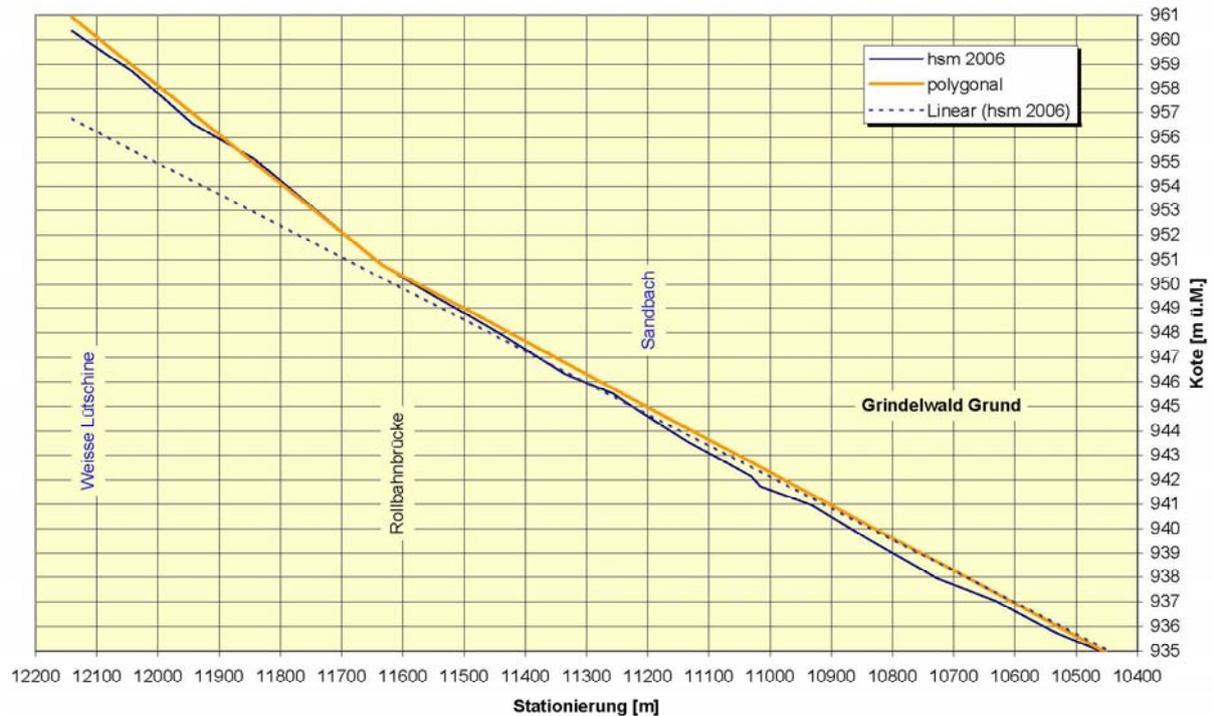


Abb 44 Oberer Abschnitt Längsprofil der Schwarzen Lütschine in Grindelwald



Abb 45 Schwarze Lütschine, Bereich Gefällsknick oberhalb Rollbahnbrücke, Grindelwald.
Aufnahme vom 07.12.2006.

Mittlerer Abschnitt

Wie weiter oben bereits beschrieben, ist das Längenprofil der Schwarzen Lüttschine in Grindelwald durch Unregelmässigkeiten geprägt. Eine dieser Inhomogenitäten befindet sich unterhalb der Mündung des Wärgstalbachs. Die polygonale Annäherung in Abb 46 visualisiert diesen Buckel im Längenprofil. Bei dieser Annäherung wurde im obersten Abschnitt ein Gefälle von 1.8 % angenommen, das bei km 0.9 (BWG km 11.134) unterhalb der Rollbahnbrücke auf 1.3 % und weiter bei km 3.8 (ca. BWG km 8.214) auf 1 % reduziert wird.

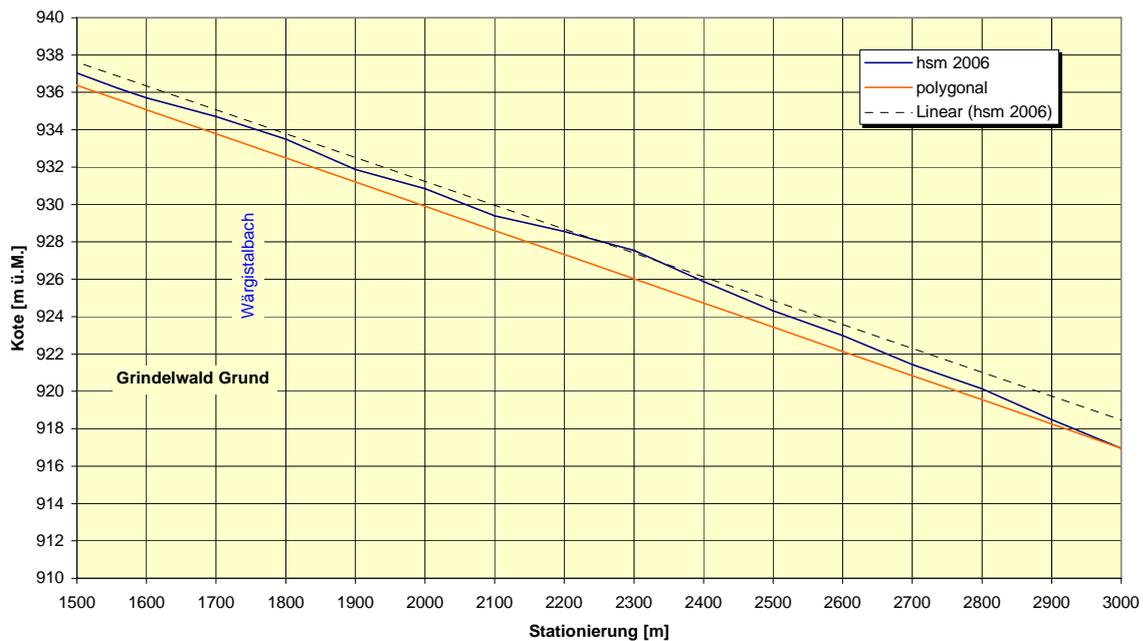


Abb 46 Mittlerer Abschnitt Längenprofil der Schwarzen Lüttschine in Grindelwald
(abwärts stationiert ab Zusammenfluss Schwarze / Weisse Lüttschine)

Die Ausuferungen unterhalb von Grindelwald-Grund sind Folge dieser verschiedenen Diskontinuitäten. Abb 105 in Anhang B4 verdeutlicht diesen Effekt.

Unterer Abschnitt

Der untere Abschnitt ist primär durch den Kegel des Schwendibachs geprägt. Dieser Zufluss lagerte einen grossen Teil seines Geschiebes auf dem Schwemmkegel ab (Abb 118 und 119 Anhang B4). Direkt an der Mündung waren keine nennenswerten Ablagerungen zu verzeichnen. Hingegen kam es in analoger Weise wie weiter oben zu Ablagerungen beim Gefällsknick ab km 4.7 (ca. BWG km 7.319, siehe auch Abb 107 in Anhang B4).

Die Gefällsabnahme auf 1 % hat wohl primär natürliche Gründe. Zum Teil kann sie der Lage der Schwelle oberhalb der Fassung Burglauenen angelastet werden. Sie wurde beim Neubau der Fassung eingerichtet, um bei Spülungen eine Rückwärtserosion zu verhindern. Zwischen Schwelle und Fassung beträgt das Sohlgefälle 3 %, so dass bei voll geöffneten Schützen die Spülungen sehr effizient sind. Wollte man das Gefälle im unteren Abschnitt auf 1.3 % wie weiter oben erhöhen, müsste die Schwelle um 4.5 m abgesenkt werden, womit auch das feste Wehr abgesenkt werden müsste.

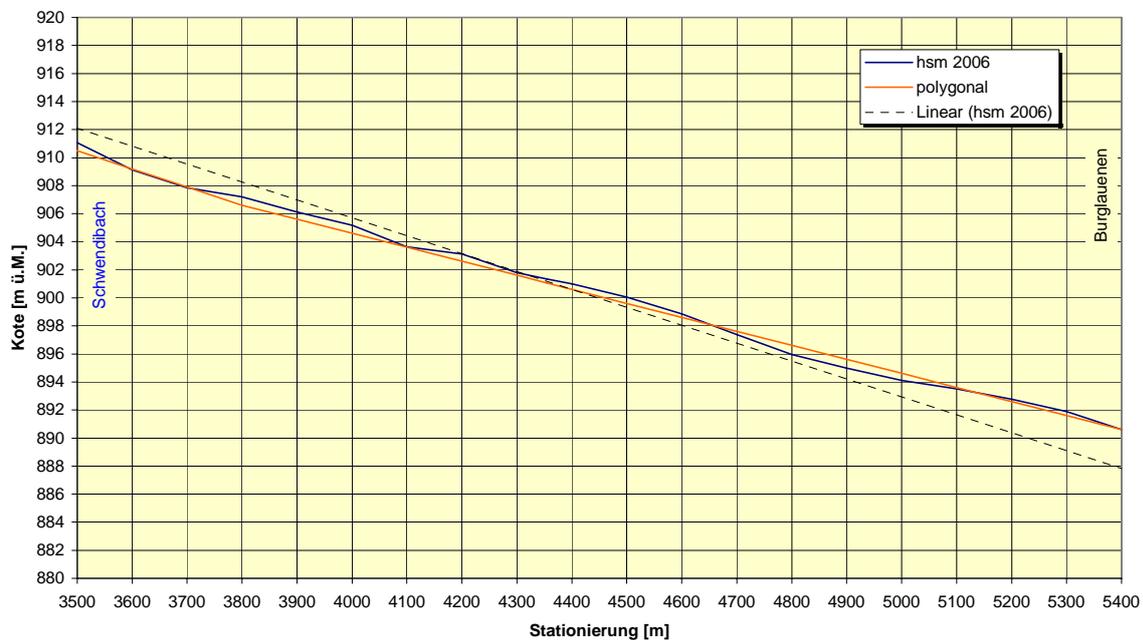


Abb 47 Unterer Abschnitt Längsprofil der Schwarzen Lütschine in Grindelwald
 (abwärts stationiert ab Zusammenfluss Schwarze / Weisse Lütschine)

2.4.6 Geschiebesimulation Lütschental

Einleitung und Vorgehensweise

Aus der Steilstrecke Stalden der Schwarzen Lütschine wurden grosse Geschiebemengen erodiert, was dort zu mächtigen Ablagerungen und entsprechender Schadensfolge führte. Um genauere Erkenntnisse zu den Vorgängen zu erhalten, wurde das Ereignis mit Hilfe des Programms GESMAT, das den Geschiebetransport und die Veränderung der Sohlenlagen nachvollzieht, simuliert.

Kornverteilung

Die Kornverteilung des eingetragenen Geschiebes ist in Abb 48 dargestellt. Die Linienproben sind für das Material zwischen der Roten Brücke und der Baumgartenbrücke repräsentativ. Das eingetragene Material enthält aber deutlich gröbere Komponenten. Aus klimatischen Gründen konnten diese im Winter 2005/06 nicht mehr genauer erfasst werden. In Analogie zu Untersuchungen am Schächen, der ähnliche Charakteristiken aufweist wie die Schwarze Lütschine, wurden die Linienproben mit 8 bis 10 % Grobanteil ergänzt.

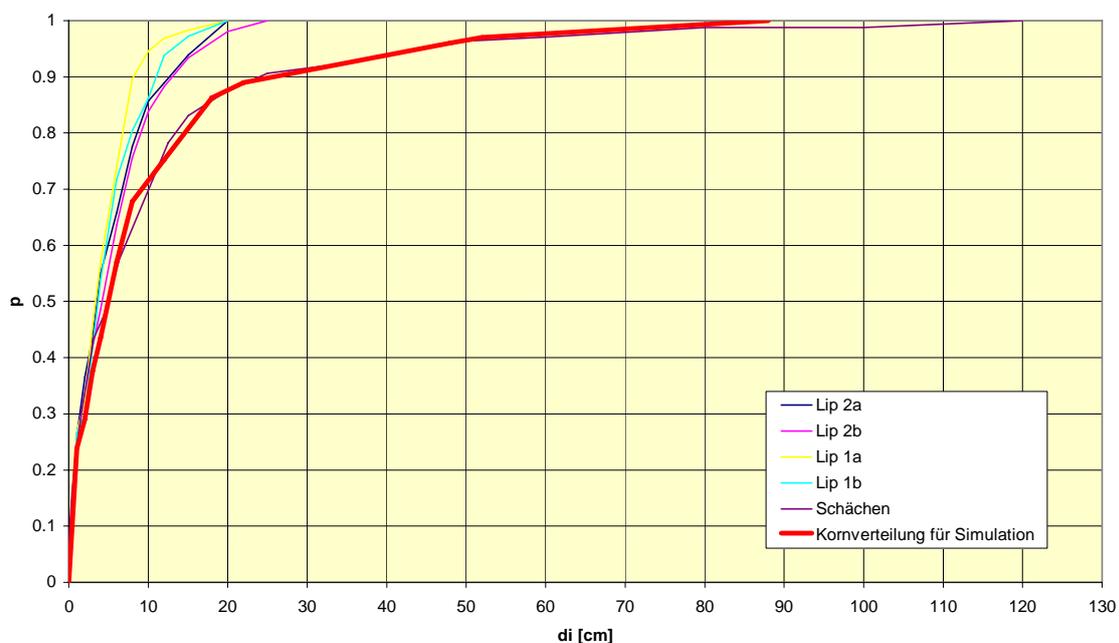


Abb 48 Für die Simulation gewählte Kornverteilungskurve des eingetragenen Geschiebes

Abflussganglinie

Die Ganglinie des Ereignisses wurde aus der Differenz zwischen den geschätzten Ganglinien bei der Messstation Gsteig und der weissen Lütschine rekonstruiert. Es handelt sich naturgemäss um eine Näherung.

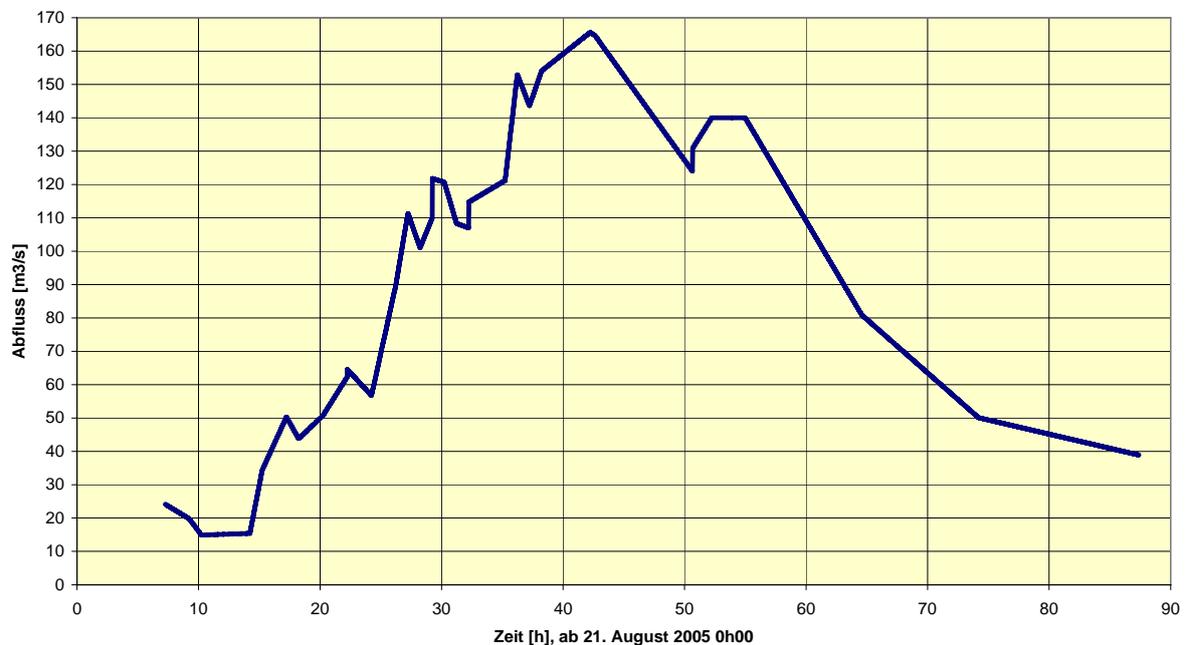


Abb 49 Für die Simulation gewählte Abflussganglinie

Resultate der Geschiebesimulation

Die folgenden Parameter konnten für die Nachrechnung verändert werden:

- Der Geschiebeeintrag am oberen Ende. Er wird aus der Transportkapazität für ein fiktives Eintragsprofil bestimmt. Letztlich wird das Längsgefälle in diesem Profil verwendet.
- Der Grenzabfluss, ab welchem massiver Geschiebetransport einsetzt. Die Simulation erfolgte jeweils nur für den Teil der Ganglinien, welche über diesem Grenzwert lag. Geschiebeführung bei kleineren Abflüssen wurde entsprechend vernachlässigt.

Mit der Optimierung des Geschiebeeintrags konnte die Form des Ablagerungskörpers nachvollzogen werden. Durch Variation des Grenzabflusses ergab sich dann eine mehr oder weniger gute Übereinstimmung mit den gemessenen Sohlenlagen und damit dem Ablagerungsvolumen. So konnte auch dieser Parameter eingegrenzt werden.

Für die gewählte Ganglinie und die gewählte Kornverteilungskurve wurde die beste Übereinstimmung mit den gemessenen Sohlenlagen für ein Gefälle von 2.2 %, welches am oberen Ende die Intensität der Eintragsrate bestimmt, und für einen Grenzabfluss von 110 m³/s, welche die Mobilisierung der Sohlenstrukturen in der Steilstrecke charakterisiert, erreicht. Die Übereinstimmung mit den Messwerten ist zufrieden stellend, siehe Abb 50.

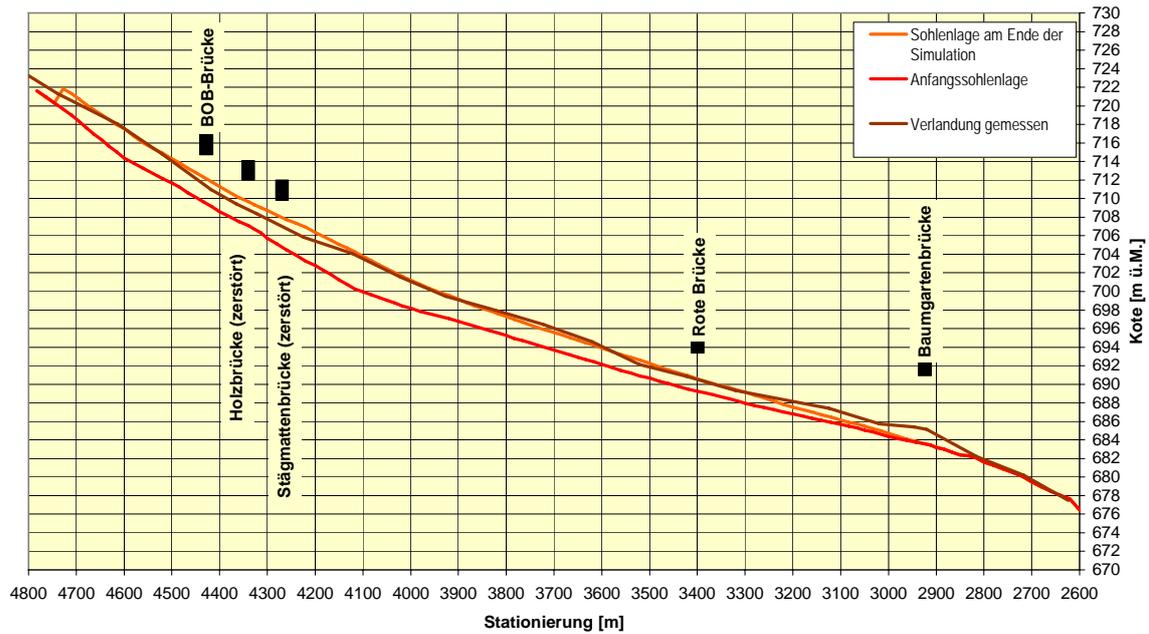


Abb 50 Vergleich berechnete und vermessene Sohlenlagen Lütschental

Wie Abb 51 zeigt, beginnt die Auflandung vorerst lokal im Bereich des Gefällknicks. Mit der Zeit zu wirkt sich die Auflandung sowohl flussaufwärts wie flussabwärts aus. Es wird anschaulich, wie sich dann die Verhältnisse im Bereich der Stägmattabrücke und der Roten Brücke ändern, was teilweise zur Zerstörung beigetragen hat. Erst in der letzten Phase des Ereignisses reicht die Auflandung flussaufwärts bis über den Bereich der Bahnbrücke hinaus.

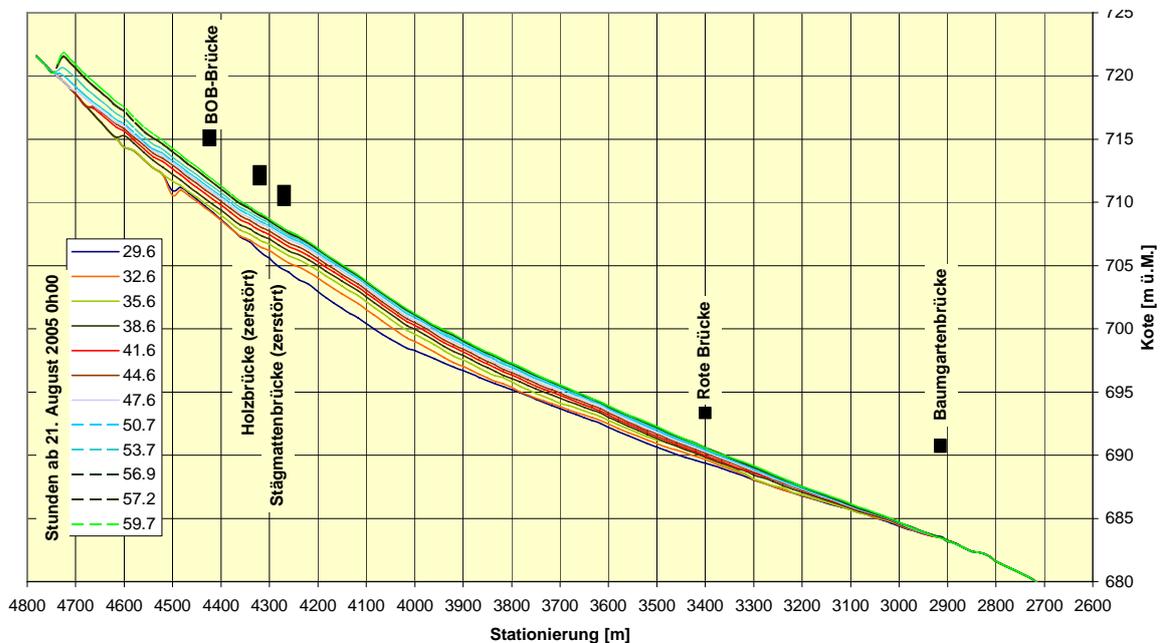


Abb 51 Entwicklung der Sohlenlagen in Lütschental

Gemäss Transportdiagramm Abb 52 sind in der Simulation ca. 112'000 m³ Geschiebe eingetragen worden. Nur etwa 18'000 m³ wurden ans Unterwasser abgegeben. Nominell wären also im Raum Lüttschental 94'000 m³ Geschiebe abgelagert worden. Dies deckt sich mit der Schätzung, welche von einer Grössenordnung von 80'000 bis 100'000 m³ ausgeht. Dabei muss betont werden, dass es sich beim Geschiebe immer um Kies und Steine handelt. Sand- und Schlammablagerungen sind in diesen Zahlen nicht enthalten.

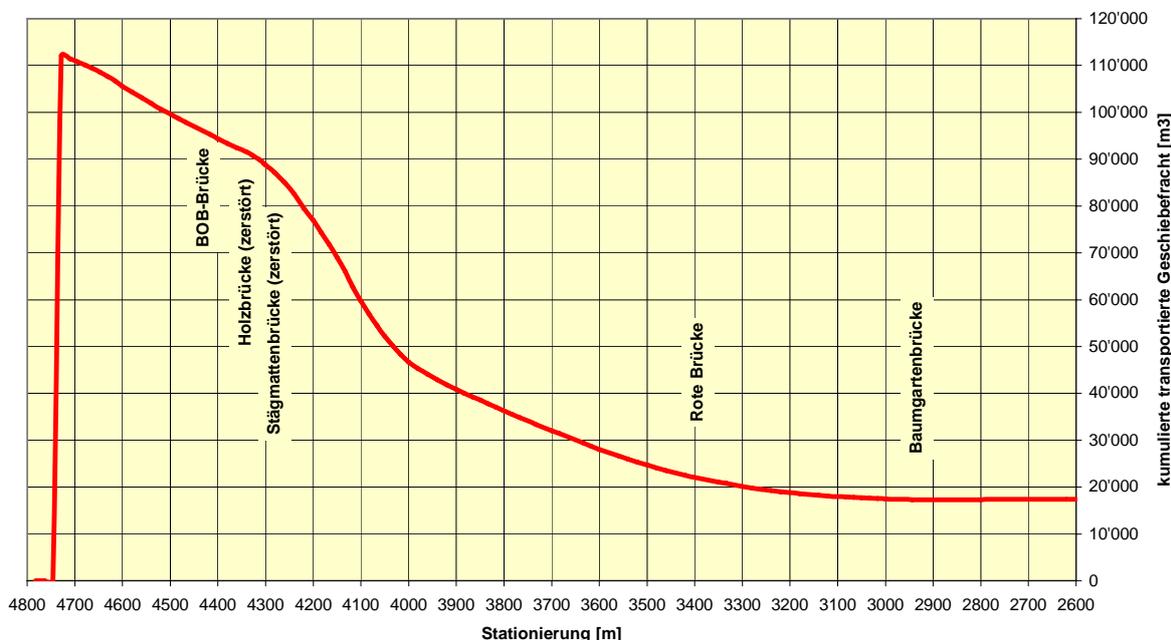


Abb 52 Transportdiagramm Geschiebesimulation Lüttschental

Erkenntnisse

Der Grenzwert von 110 m³/s wurde gemäss der angenommenen Ganglinien während nahezu 30 Stunden übertroffen. Dies erklärt einerseits die ausserordentliche Wirkung dieses Ereignisses und andererseits die Seltenheit des Auftretens. Es kann davon ausgegangen werden, dass Abflüsse um 110 m³/s in den letzten Jahrzehnten nicht oder nur während sehr kurzer Zeit aufgetreten sind. Während langer Zeit war somit die Sohle in der Steilstrecke praktisch stabil und eine Mobilisierung von grossen Geschiebemengen aus der Sohle und den Flanken war nicht möglich. Es kann sein, dass eine solche Mobilisierung grosser Geschiebemengen seit dem Bau der Holzbrücke in Lüttschental vor ca. 120 Jahren noch nie aufgetreten ist.

Das für den Eintrag massgebende Gefälle von 2.2 % scheint im Vergleich zum lokalen Gefälle in der Rampe eher klein. Es handelt sich zwar um einen Parameter in einem fiktiven Profil. Doch entspricht die Grössenordnung durchaus der Beobachtung, welche bei vergleichbaren Fällen gemacht wurde (etwa das Ereignis in Baltschieder von Oktober 2000). Es hat sich nämlich gezeigt, dass nach Mobilisierung der Blockstrukturen nicht ein voll gesättigter Geschiebetransport einsetzt, sondern dass die Blöcke immer noch zu Formverlusten führen. Dies bedeutet, dass in eine Transportrechnung ein Gefälle eingeführt werden muss, das etwa der Hälfte des Talgefälles entspricht. Dies hätte sich somit auch im vorliegenden Fall bestätigt. Dies schliesst im Übrigen nicht aus, dass ein Teil des in Lüttschental ankommenden Geschiebes aus Zuflüssen in der Steilstrecke stammt.

2.4.7 Geschiebeumlagerungen Bödeli

Die Auswirkungen des Hochwassers vom August 2005 auf die Sohlenlagen ergeben sich aus der Differenz der Sohlenvermessungen 2003 und 2006. Sie sind durch den beiliegenden Plan Nr. 2167-8, Längenprofil 1:5'000/200, HWS-Konzept Bödeli dokumentiert. Das Ereignis führte zu Geschiebeablagerungen in der Grössenordnung von 25'000 m³ zwischen Gsteigwiler und der Gsteigbrücke (siehe Abb 53). Ein grosser Teil des Geschiebes wurde durch die Erosion im Dangelstutz mobilisiert, was sich wegen des hohen Blockanteils in der Sohle sehr selten ereignen dürfte. Der hohe Anteil an ausuferndem Abfluss in der Flisou hat dort die Verfüllung des Hauptgerinnes gefördert. Schliesslich hat auch der Saxetbach zu den Ablagerungen beigetragen. Seine Ablagerungen haben das Gerinne der Lüttschine ebenfalls aufgefüllt und dadurch die Ausuferung nach rechts gefördert (siehe Abb 34 in Kapitel 2.3 Hydraulik)



Abb 53 Ablagerungen im Bereich der Gsteigwilerbrücke

Die Ablagerungen laufen von der BOB-Brücke gegen die LHG Messstation linear aus. Da der Spitzenabfluss verhältnismässig früh aufgetreten ist, dürften diese Ablagerungen bei den Ausuferungen auf der linken Seite gegen Wilderswil nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben. Fazit ist, dass bei einem Extremereignis zwischen Gsteigwilerbrücke und BOB-Brücke Auflandungen und nicht Erosionen zu erwarten sind.

Die kanalisierte Strecke der Lüttschine blieb bis in den Raum Bönigen praktisch stabil. Etwa auf dem letzten Kilometer vor der Mündung haben sich dann wieder etwa 11'000 m³ Geschiebe abgelagert. Dieser Vorgang erfolgte wahrscheinlich am Ende des Ereignisses bei einem ausserordentlich hohen Seestand und abnehmender Wasserführung der Lüttschine (Mündungswall). Es dürfte sich auch vorwiegend um feines Geschiebe handeln. Normalerweise müsste ein Grossteil dieser Ablagerungen durch die nachfolgenden Hochwasser bei durchschnittlichem Seestand wieder abgetragen werden.

Simulation des Geschiebetransports während des Ereignisses von August 2005

Die Resultate der Simulation finden sich im Transportdiagramm von Abb 54. In Zweilütschinen wurde ein Eintrag angenommen, welcher der örtlichen Transportkapazität entspricht. In der Rechnung wurde eine Fracht von 24'000 m³ erreicht. Die Ablagerungen auf der nachfolgenden Flachstrecke bis zum Dangelstutz konnten nur teilweise simuliert werden, da Seitenerosion und Ablagerungen im Hauptgerinne als Folge von starkem Vorlandabfluss in der Berechnung nicht berücksichtigt werden konnten.

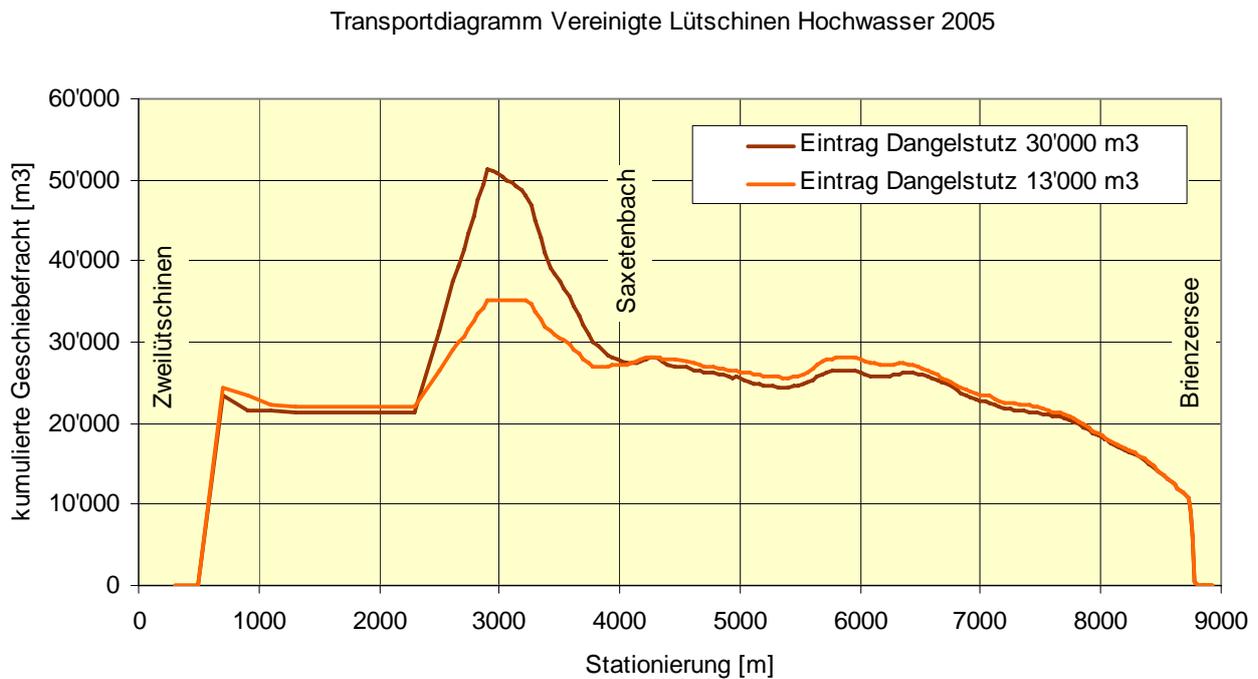


Abb 54 Transportdiagramm Geschiebesimulation Unterlauf Vereinigte Lütschinen Ereignis 2005

Unsicher ist der Eintrag infolge Sohlen- und Ufererosion im Dangelstutz. Simuliert wurden Einträge von 13'000 und 30'000 m³. Aufgrund der berechneten Ablagerungen im nachfolgenden Abschnitt Flisou dürfte die effektive umgelagerte Menge dazwischen, also etwa bei 20'000 m³, liegen. Genauer kann diese Menge nicht bestimmt werden, da auch die Ablagerungsvorgänge in der Flisou nur angenähert simuliert werden konnten.

Die Ablagerungen dehnten sich bis zur BOB-Brücke in Wilderswil aus. Von dort an blieb die Sohle praktisch im Gleichgewicht und es wurden im folgenden Abschnitt ca. 27'000 m³ weiter transportiert. Etwa 2 km oberhalb des Brienzersees beginnt die Ablagerung von feinerem Geschiebe als Folge des hohen Seestands. Bis zum Ende des kanalisierten Abschnitts wurden deshalb etwa 11'000 m³ Geschiebe abgelagert. Gemäss Simulation war es mit einem mittleren Durchmesser von 2 bis 4 cm wesentlich feiner als das eingetragene Geschiebe mit einem mittleren Durchmesser von 10 bis 12 cm. Etwa 10'000 m³ wurden gemäss Simulation im Brienzersee abgelagert.

2.4.8 Die Rolle der Seitenbäche

Seitenbäche waren vor allem auf der Nordseite der Schwarzen Lüttschine aktiv. Der Feststoffeintrag in den Vorfluter war bei den meisten Bächen allerdings gering. Ausnahmen waren verschiedene Bäche im Raum Grindelwald. Der Eintrag des Schwendibaches, welcher bei „Bir-Arven“ selbst hohe Schäden anrichtete, konnte nicht genau beziffert werden. Da auch eindeutige Spuren eines deutlichen Aufstaus der Lüttschine oder gar einer Verdrängung derselben gegen die linke Talseite hin im Bereich der ARA Grindelwald fehlten, dürfte der Feststoffeintrag des Schwendibaches entweder nur langsam erfolgt oder nicht bedeutend gewesen sein. Die Lüttschine war jedenfalls in der Lage, das anfallende Material abzutransportieren. In den Abb 108 und 109 in Anhang B4 ist der übersarte Kegel des Schwendibaches ersichtlich: der Grossteil der anfallenden Feststofffracht wurde hier abgelagert und erreichte den Vorfluter nicht.

Feststoffeinträge in die Schwarze Lüttschine auf Gemeindegebiet Grindelwald erfolgten ferner durch den Milibach und den „Bärgel“, in kleinem Ausmass u.a. durch das Hällergräbli sowie den Horbach. Feststoffeinträge durch Bäche auf der Südseite der Lüttschine waren, soweit überhaupt erfolgt, minim.

Im Bereich Burglauenen war ein kleiner Bach aktiv, welcher jedoch die Kantonsstrasse übersarte und Material bis zum Bahntrasse der BOB führte. Ein Geschiebeeintrag in die Schwarze Lüttschine fand hier aber nicht statt.

Zwischen Burglauenen und Lüttschental waren u.a. die folgenden Bäche aktiv:

- Wartenberggraben
- Kleinere Gewässer aus dem Glatthardwald
- Ryschbach
- Stiglisbach
- Louwibach
- Fallbach
- Chienbach

Auf der südlichen Seite waren u.a. folgende Bäche bei Lüttschental in geringem Masse aktiv:

- Blattengraben
- Riitigraben
- Innerer und Äusserer Blindlouigraben
- Furibach
- Fulhaltebach
- Choleygraben.

Einige der Bäche verfügen über Geschiebeablagerungsplätze und richteten aus diesem Grund keinen Schaden an. Als Beispiele werden Fallbach sowie Innerer und Äusserer Blindlouigraben aufgeführt, auch wenn die insgesamt transportierte Feststoffkubatur gering war.

Weitere Bäche waren in bezug auf den Feststofftransport nicht aktiv.

2.4.9 Der Geschiebetransport von Grindelwald bis zum Brienersee während dem Ereignis 2005

Einleitung und Vorgehensweise

Um einen Überblick über die feststoffrelevanten Zusammenhänge im Gesamtsystem der Lütschinen zu schaffen, wurden die Resultate der Geschiebesimulationen in Lütschental resp. im Unterlauf mit abschnittsweisen Geschiebetransportrechnungen ergänzt.

Dazu wurden für die Strecke von der Gletscherschlucht in Grindelwald bis zur Mündung in den Brienersee total 23 Abschnitte definiert und in charakteristischen Querprofilen Geschieberechnungen durchgeführt.

In einem weiteren Schritt wurde ebenfalls pro Abschnitt das Feststoff- und Ablagerungspotential abgeschätzt. Dabei wurden die Erkenntnisse aus den im Anschluss an das Ereignis durchgeführten Feldbegehungen und Kartierungen sowie Auswertungen der Veränderung der Sohlenlagen (aufgrund BWG-Querprofilen) mit einbezogen.

Das Resultat dieser Berechnungen ist im Transportdiagramm in Abb 55 dargestellt (siehe nächste Seite).

Erkenntnisse

Die Darstellung der Topographie der Lütschinen im Längensprofil in Abb 55 zeigt, dass an mehreren Stellen Übergänge von Steil- in Flachstrecken mit ausgeprägten Gefällsknicken vorhanden sind. Es sind dies:

- Zusammenflussbereich Schwarze / Weisse Lütschine in Grindelwald
Gefällsabnahme von 8.7 % (oberhalb Aspibrücke) auf 4.0 % (Aspibrücke - Zusammenfluss) und schliesslich auf 2.2 % (Zusammenfluss - Rollbahnbrücke)
- Steilstrecke Stalden und Siedlungsgebiet in Lütschental
Gefällsabnahme von 8.0 % (Stalden) auf 2.6 % (Kraftwerk - Stägmatte) und schliesslich auf 1.8 resp. 1.0 % (Stägmatte - Rote Brücke - Baumgartenbrücke)
- Gebiet Buechi in Gündlischwand
Gefällsabnahme von 1.9 % (Baumgartenbrücke - Buechi) auf 1.1 % (Buechi - Zusammenfluss)
- Steilstrecke Dangelstutz und Flisou in Wilderswil und Gsteigwiler
Gefällsabnahme von 3.7 % (Dangelstutz) auf 1.3 % (oberhalb Leuenberger - Gsteigwilerbrücke) und schliesslich auf 0.3 % (Gsteigwilerbrücke - Flisou)

Im Transportdiagramm (Abb 55) ist ersichtlich, dass die flachen Talstrecken während dem Hochwasserereignis vom August 2005 bei weitem nicht über ausreichende Transportkapazitäten zur Durchleitung des in den oben liegenden Steilstrecken erodierten Materials verfügten. Beim markantesten Gefällsknick in Lütschental wurde fünf Mal mehr Geschiebe aus der Steilstrecke eingetragen, als die anschliessende Flachstrecke zu transportieren vermochte.

Das in den Steilstrecken erodierte Material wurde jeweils grösstenteils beim direkt folgenden Gefällsknick wieder abgelagert, so dass über die gesamte Strecke gesehen nicht von einem Ungleichgewicht in bezug auf den Geschiebetransport gesprochen werden kann. Der Mündungsbereich in den Brienersee wurde deshalb nicht ausserordentlich überlastet.

Ablagerungsprozesse wie beim Ereignis 2005 sind auch in Zukunft zu erwarten. Denn diese Ablagerungen sind naturgegeben (direkt abhängig von der Topographie) und können nicht mit vernünftigem Aufwand (eine mögliche Gegenmassnahme wäre die Verhinderung der Erosion in den Steilstrecken) verhindert werden.

Nur wenn die beschriebenen natürlichen Prozesse ausreichend berücksichtigt werden, können wirksame und nachhaltige Lösungen erzielt werden. In diesem Sinne sollte bei Hochwasserschutzprojekten in erster Priorität ausreichend Ablagerungsvolumen für die Bewältigung zukünftiger Ereignisse geschaffen werden.

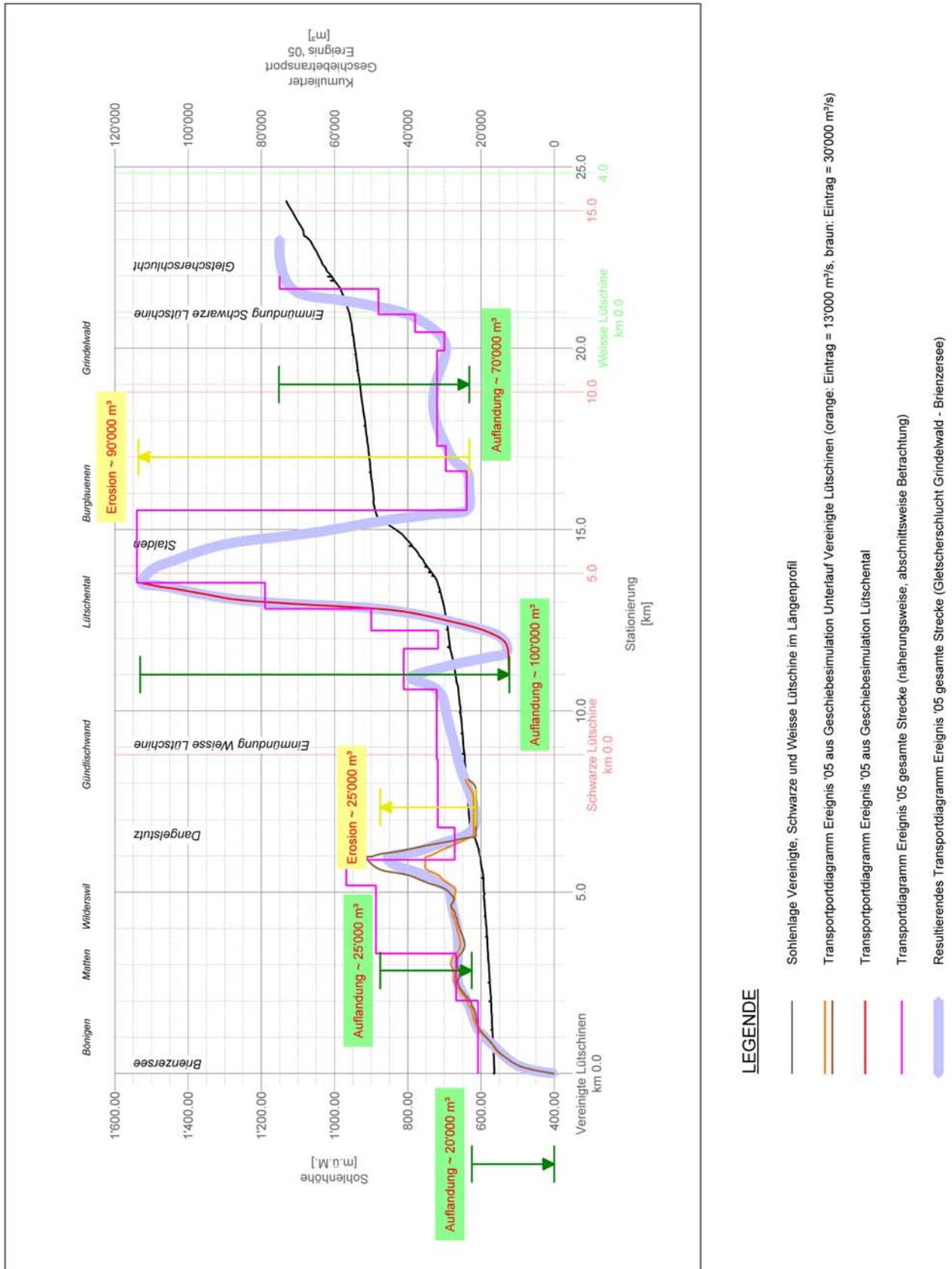


Abb 55 Transportdiagramm Vereinigte und Schwarze Lüttschinen Grindelwald - Brienzsee

2.4.10 Feststoffbilanz

Für die Erstellung einer Feststoffbilanz wurden zwei verschiedene Ansätze gewählt:

- Volumenvergleich in der Periode zwischen zwei Querprofilaufnahmen
- Volumenabschätzungen im Gelände und anhand Fotos

Die beiden Ansätze weisen beide gewisse Vor- wie Nachteile auf. Aufgrund der Verschiedenheit sind Abweichungen in der jeweiligen Volumenbilanz keine Überraschung. Die Vor- und Nachteile beider Verfahren sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben. Die hauptsächliche Schwäche bei einem Querprofilvergleich liegt in der Tatsache, dass Änderungen nur punktuell am Standort der jeweiligen Querprofile und auch nur für das Gerinne selbst verfolgt werden können. Der Schwachpunkt der Feldmethode liegt in der Ungenauigkeit, vor allem dort, wo Bezugspunkte als Vergleichsbasis fehlen (Abb 56).

Methoden	Erfassung	Genauigkeit	Prozesse ausserhalb Gerinne	Aufwand
Querprofile	Punktuell	hoch	nicht erfassbar	mittel
Geländeaufnahme	Detail	mässig	erfassbar	hoch

Abb 56 Methodenbewertung für die Erfassung der Feststoffbilanz

Die Beurteilungen im Gelände wurden kartografisch als Handzeichnung festgehalten (siehe beiliegende Pläne Nr. 2167-1 bis 2167-6). Die Geländebefunde wurden durch Angaben, welche aufgrund von Flugaufnahmen kurz nach dem Ereignis erhoben werden konnten, ergänzt. Diese Angaben umfassten vor allem Ablagerungsflächen ausserhalb der Lütschine sowie Prozesse in den Seitengerinnen. Die erfassten Flussstrecken sind:

- Schwarze Lütschine:
Halsboden (ca. 1 km unterhalb Brücke Gletschersand) - Zusammenfluss mit Weisser Lütschine
- Weisse Lütschine:
obere Brücke Stechelberg - Zusammenfluss mit Schwarzer Lütschine
- Vereinigte Lütschine:
Zusammenfluss bis Gsteigbrücke

Die aufgrund der Geländeaufnahmen erhobene Feststoffbilanz für Schwarze, Weisse und Vereinigte Lütschine findet sich in Abb 57.

Schwarze Lütschine	Erosion (m ³)	Auflandung (m ³)	Bilanz (m ³)
Oberhalb Mettenberg	11'600	1'900	9'700
Grindelwald - Schwendibrücke	2'800	32'900	- 30'100
Swendibrücke bis Wehr Burglauenen	4'400	10'200	- 5'800
Wehr Burglauenen bis Zentrale Lütschentäl	79'900	900	79'000
Lütschentäl	0	80'000	- 80'000
Baumgartenbrücke bis Zusammenfluss WL	13'000	12'500	500
	111'700	138'400	-26'700

Weisse Lütschine			
Stechelberg - Bornige Brücke	900	16'600	- 15'700
Bornige Brücke - Trümmelbach	700	3'400	- 2'700
Trümmelbach - Lauterbrunnen - Kirche	300	2'700	- 2'400
Lauterbrunnen – Sandweidli	2'600	3'700	- 1'100
Sandweidli - Zusammenfluss SL	7'600	20'200	- 12'600
	12'100	46'600	- 34'500

Vereinigte Lütschine			
Zusammenfluss - Dangelgrabe	4'600	7'700	- 3'100
Dangelgrabe - Gsteigwilerbrücke	12'100	6'300	5'800
	16'700	14'000	2'700

Total	140'500'	199'000	- 58'500
--------------	-----------------	----------------	-----------------

Abb 57 Feststoffbilanz aufgrund der Geländeerhebung.

Abb 57 zeigt die Problematik von Feldebilanzierungen auf.

Die Bilanz weist einen Ablagerungsüberschuss von etwa 60'000 m³ auf. Ferner sind die Ablagerungen auf dem Bödéli nicht enthalten. Obwohl diese vor allem Feinmaterial betreffen, dürfte das während des Ereignisses transportierte Feinmaterial nur ungenügend erfasst worden sein. Ein hoher Anteil des Feinmaterials dürfte aus sohlennahen Quellen ausgewaschen worden sein, ohne dass dies klar ersichtlich war. Über- und Unterschätzungen können sich aufsummieren, ferner sind Erosionen oberhalb der betrachteten Flussstrecken unbekannt (v.a. Bereiche unmittelbar unterhalb der beiden Grindelwaldgletscher, sowie Tschingellütschine und Zuflüsse im Lauterbrunnental).

2.4.11 Linienzahlanalysen

Grundlage für die in den vorangehenden Abschnitten beschriebenen Simulationen und Überlegungen zum Geschiebetransport bilden Linienzahlanalysen, welche im Unterlauf für die Studie über die Mündung der Lüttschine in den Brienersee⁹ bereits zur Verfügung standen, sowie im Winter 2006 / 2007 durchgeführte Analysen von Grindelwald bis nach Wilderswil. In Abb 58 sind die Standorte der Linienzahlanalysen dargestellt.

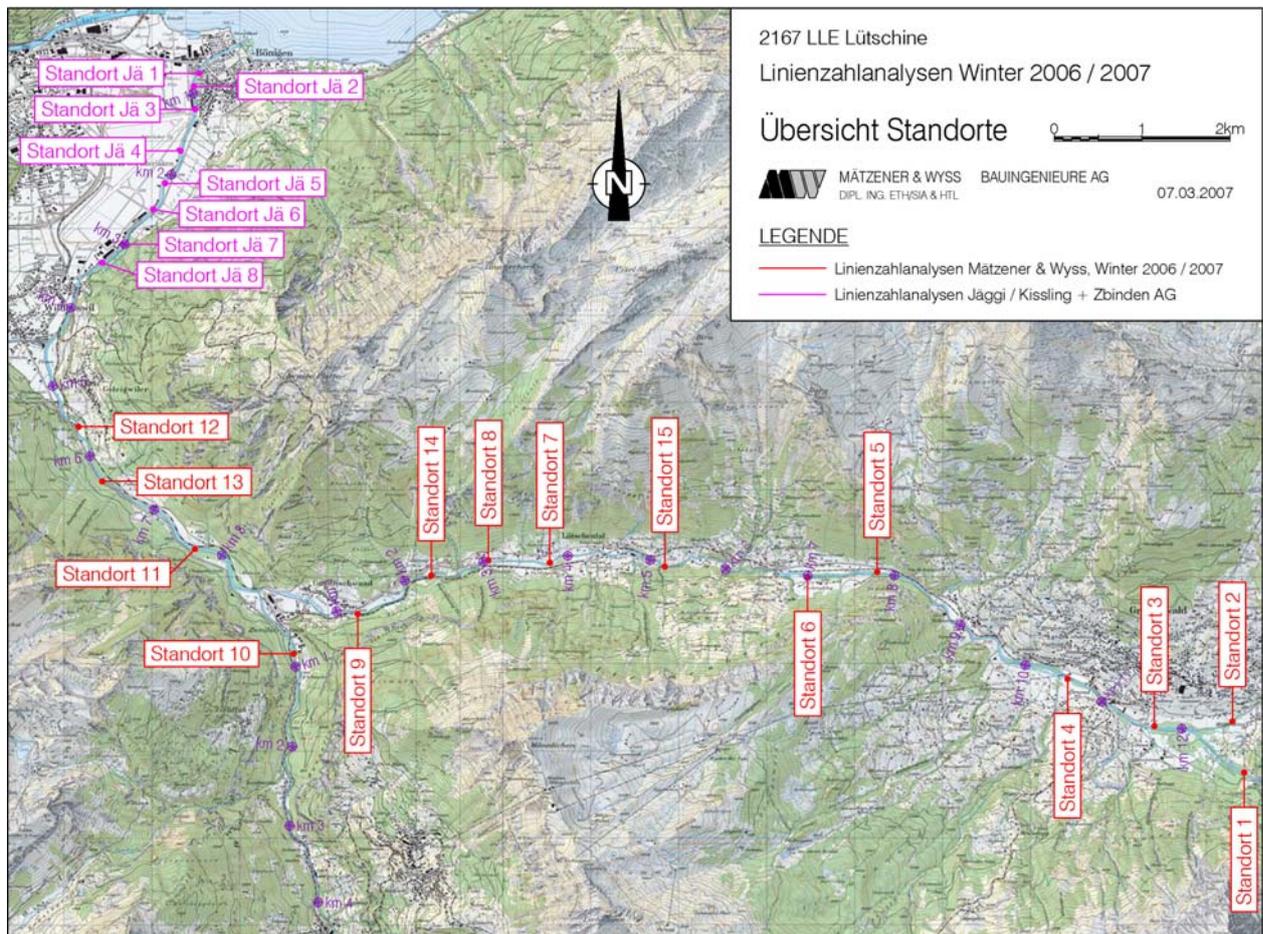


Abb 58 Übersicht Standorte Linienzahlanalysen Lüttschinentäler

Eine detaillierte Auswertung der im Winter 2006 / 2007 durchgeführten Linienzahlanalysen findet sich im separaten Bericht „Linienzahlanalysen Schwarze und Vereinigte Lüttschinnen“, Mätzener & Wyss Bauingenieur AG, Interlaken, Mai 2007.

Bei der Auswertung dieser Linienzahlanalysen zeigte sich, dass die Deckschichtbildung bei manchen Flussabschnitten noch nicht weit fortgeschritten ist. Bei den Proben handelt es sich zum Teil um Material aus Kiesbänken oder um laufendes Geschiebe. Die berechneten charakteristischen Korndurchmesser mussten deshalb untereinander abgeglichen werden.

Die Resultate der Linienzahlanalysen sind in Abb 59 zusammenfassend dargestellt.

⁹ Flussmorphologische Studie zur Entwicklung der Lüttschinentmündung, der zukünftigen Gestaltung und der Geschiebemanagement, M. Jäggi, Ebmatingen, Januar 2007

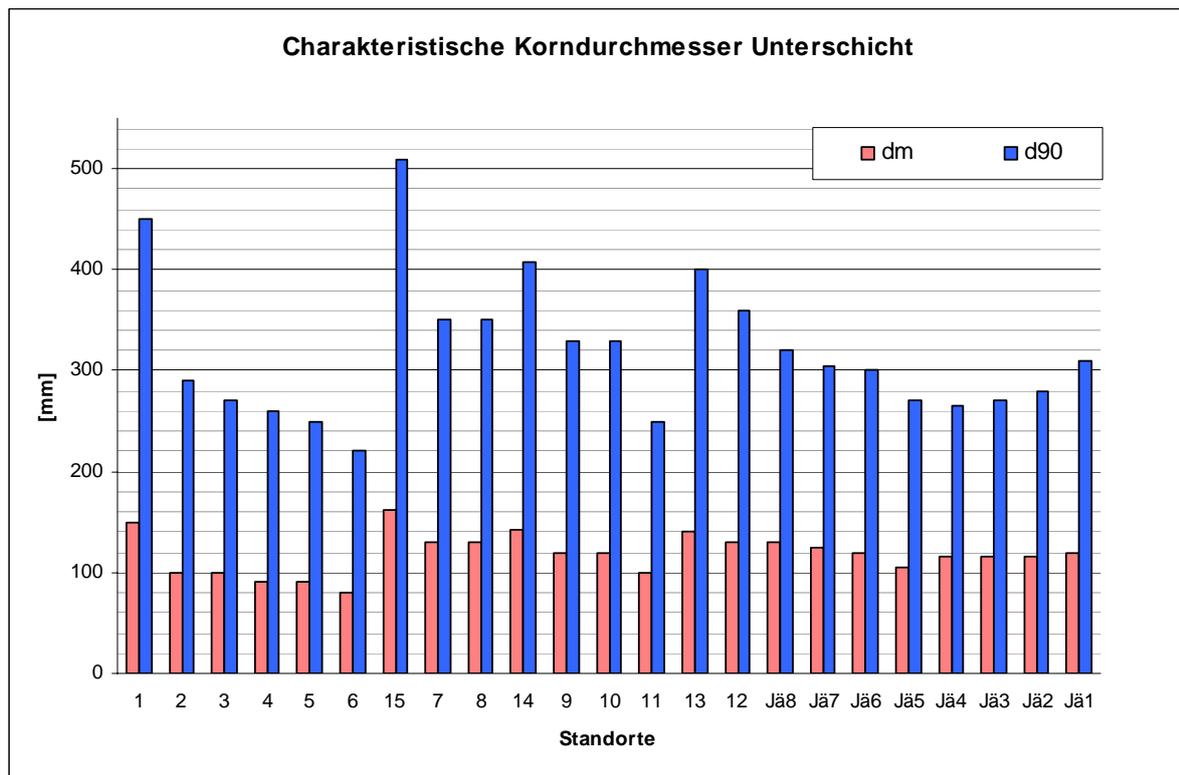


Abb 59 Charakteristische Korndurchmesser Unterschicht (Grindelwald - Brienersee)

2.5 Rutschungsprozesse

2.5.1 Einleitung und Allgemeines

Hinsichtlich der Entstehung sind zwei Arten von Rutschungen zu unterscheiden:

- a) durch direkte Ufererosion ausgelöste Rutschungen in Prallhängen der Lütschine
- b) Hangrutschungen unabhängig der Einwirkung der Lütschine (z.B. Rutschung Stalden).

Daneben führten Seitenbäche Murgänge bis in die Talböden, deren Entstehung durch kleinere Rutschungen und Hangmuren im Oberlauf dieser Gerinne bedingt ist.

2.5.2 Grössere Rutschungen infolge Ufererosion

Neben zahlreicheren kleineren Ufererosionen traten einige grössere direkt durch die Lütschine verursachten Rutschungen an fünf Stellen in Burglauenen, Lütschental und Gündlischwand auf (Abb 60). Alle Rutschungen erfolgten in ausgeprägten Prallhangsituationen. Zum Teil verursachten sie massive Schäden an der Infrastruktur; Gebäude waren nicht direkt betroffen. In den Fällen Burglauenen und Buechholz wurde dem fortbestehenden Gefahrenpotenzial durch Strassen- und Bahnverlegungen ausgewichen. Im Gebiet Buechiwang war dies nicht möglich, weil die Bahntrasse an die bestehende Linienführung gebunden ist. Die BOB planen hier mittelfristig eine Verlegung dieses empfindlichen Abschnitts in einen Tunnel bergwärts.

Ort	Koordinaten	Art der Rutschung	Schäden / Massnahmen
"im Weidli"	640'145 / 165'250	Böschungsabtrag auf ca.85 m Länge unmittelbar unterhalb Haus A. Kolb	keine Schäden an Gebäude
Burglauenen Pkt. 688 "Rotmoos"	640'890 / 165'100	Lokale Erosion der Steilböschung im Prallhang der Lütschine	Beschädigung der Kantonsstrasse / Verlegung Kantonsstrasse gegen Norden
Buechholz "Underem Rain"	639'450 / 165'350	Grosser Böschungsabtrag im Prallhang der Lütschine	Zerstörung Kantonsstrasse und BOB / Verlegung Kantonsstrasse und Bahn gegen Norden
Buechi-Wanggraben "Choley" (Gündlischwand)	637'680 / 165'100 und 637'400 / 165'000	Mehrere Böschungsrutschungen in Prallhängen	Zerstörung der BOB Hangsicherungen

Abb 60 Grössere Rutschungen infolge Ufererosion

In den Gefahrenkarten wurde der Prozess Ufererosion nicht erfasst. Wie die Erfahrungen mit den Unwettern 2005 in der ganzen Schweiz, insbesondere auch in den Kantonen Luzern, Ob-, Nidwalden und Bern zeigen, muss dieser Naturgefahr vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Gefährdet sind ausgeprägte Prallhangsituationen. Wie die Fälle entlang der Lütschine zeigen, kann ein hochgehender Fluss in kurzer Zeit grössere Böschungsbereiche tiefgründig abtragen.

2.5.3 Die Rutschung Stalden

2.5.3.1 Ereignis

Während der Unwetter vom 22./23. August 2005 kam es am linksseitigen Steilhang der Lüttschine bei Stalden (Koord. 640'560 / 165'065) zu einem Felssturz. Dabei brachen talwärts geschichtete Felsbänke aus Eisensandstein ab und stürzten ins Flussbett. Da das Flussgerinne hier steil ist, kam es zu keinen grösseren Verklausungen. Einen Tag später, am 24. August 2005, wurden oberhalb der Abbruchstelle, bei Pkt. 887, grosse Hanganrisse entdeckt. Unterhalb des hier bestehenden Weidhauses war der Hang auf einer Breite von ca. 80 m angerissen. Die Anrisse waren weit offen und tauchten steil in den Untergrund ab. Bei einer angenommenen Tiefe der Rutschung von 20 - 40 m ergibt sich ein bewegtes Volumen von ca. 100'000 bis 200'000 m³. Es wurden sofort provisorische Handmessstellen eingerichtet. Die Messungen zeigten, dass sich die instabile Lockergesteinsmasse talwärts bewegte.

2.5.3.2 Schadenpotenzial

Ein Gesamtabsturz der instabilen Masse hätte eine vollständige Verklausung der Lüttschine und in der Folge eine Überflutung resp. Zerstörung der rechtsufrig verlaufenden Kantonstrasse zur Folge.

Der ca. 80 m weit im Berginnern verlaufende Stollen der KW Lüttschental mit einem Fenster unweit talseits (westlich) der Rutschung ist durch die Hangbewegung wahrscheinlich nicht betroffen. Eine Kontrolle des Stollens ergab bisher keinerlei Hinweise auf Schäden.

2.5.3.3 Distanzmessungen als Frühwarndienst

Nach der Installation von 8 Spiegeln in der felsigen Front der Rutschung und 4 Referenzspiegeln (Abb 61) wurden am 2.9.2005 mit den systematischen Distanzmessungen vom Gegenhang (Lage Messpfeiler Koord. 640'600 / 165'150 Distanz zu Spiegeln 130 - 210 m). Die Messungen wurden später automatisiert. Die Bewegungen waren anfangs stark und erreichten in der Zeit vom 2. September bis Anf. November 2005 ca. 2 mm / Tag. Sie beruhigten sich im Winter zunehmend, um ab April 2006 erneut auf 2 - 3 mm / Tag anzusteigen. Bis zum Oktober 2006 beruhigte sich die Hangbewegung wieder weitgehend (Abb 62).

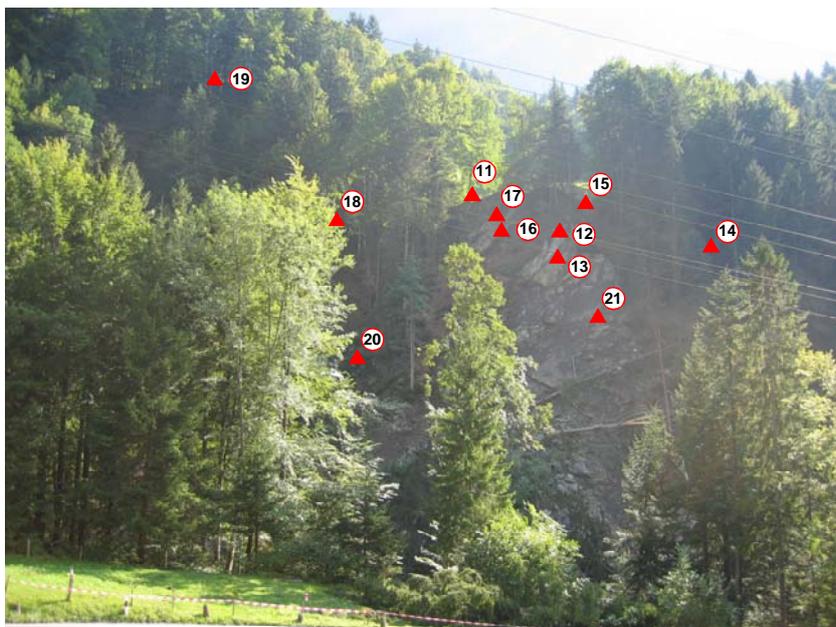


Abb 61 Rutschung Stalden. Blick auf die Front der aktiven Bewegung und Standorte der Spiegel.

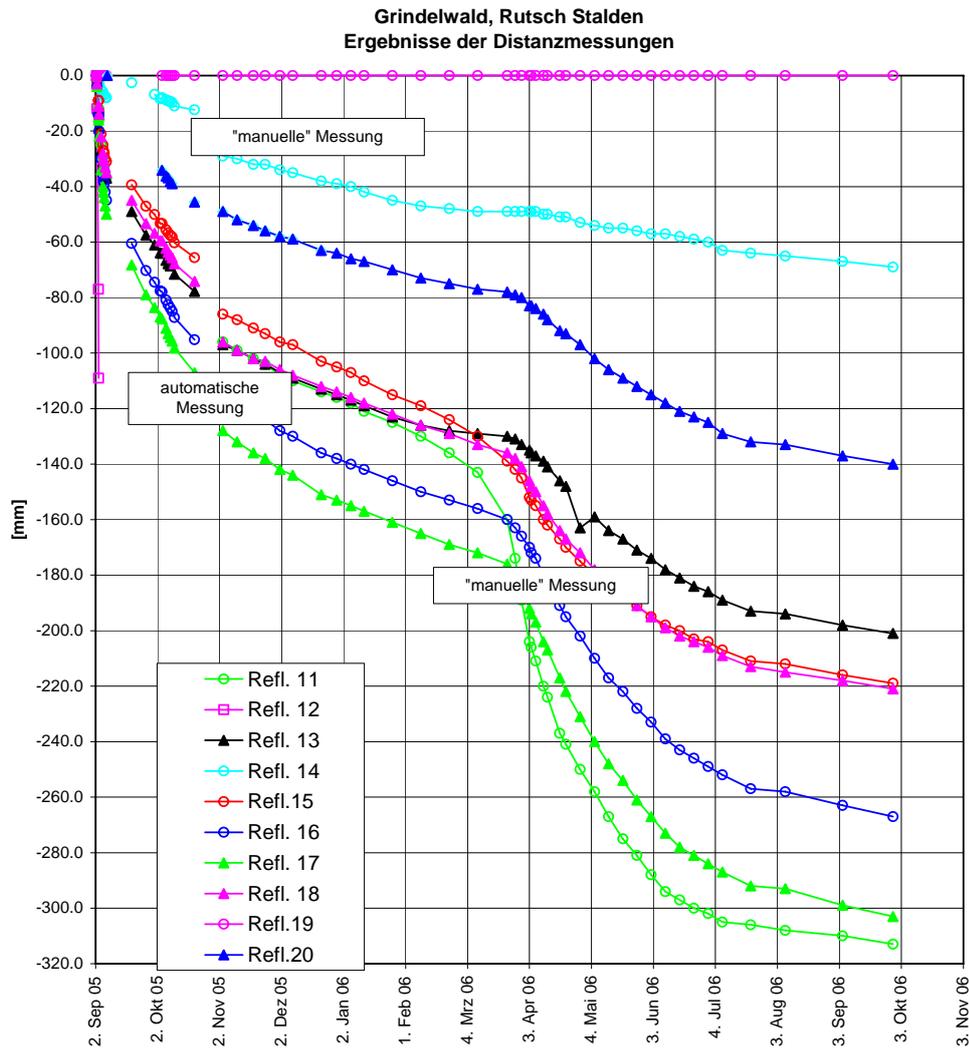


Abb 62 Rutschung Stalden. Aufzeichnung der Hangbewegungen.

2.5.3.4 Kausalität, Modellverständnis

Unterhalb der Felswand des Itramenberges besteht eine grossflächige alte und wahrscheinlich tiefgründige Rutschung (Tschingelberg, Abb 63) von ca. 100 ha. Vermutlich ist die grossflächige Rutschmasse heute weitgehend ruhig und nur wenig aktiv. Die Rutschung Stalden ist ein vergleichsweise kleines Ereignis in der übersteilten Front dieser grossen Rutschung. Die Rutschung Stalden wurde durch die starken Niederschläge ausgelöst; sie steht kausal nicht in einem direkten Zusammenhang mit dem Hochwasser der Lütschine.

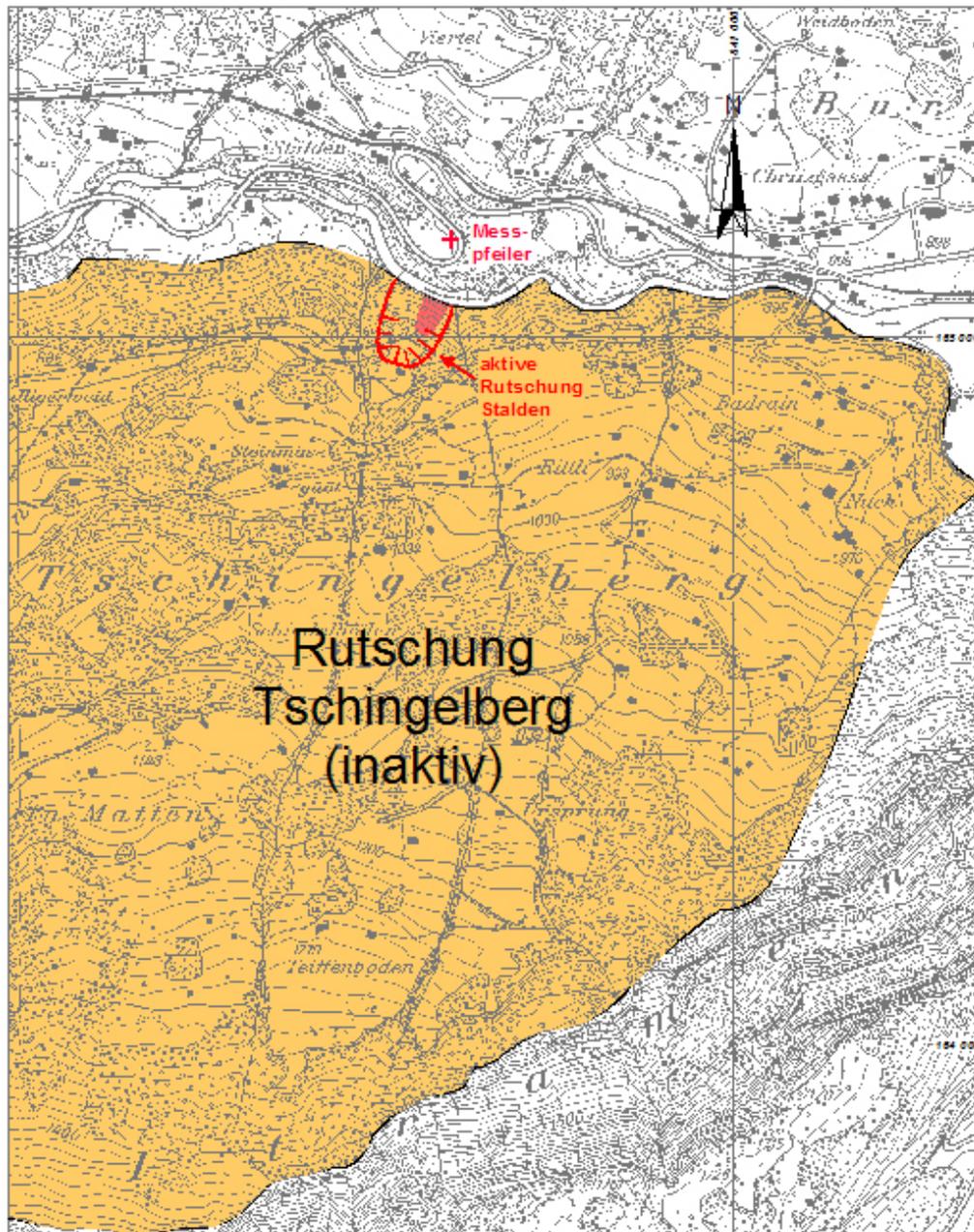


Abb 63 Aktive Rutschung Stalden und inaktive Rutschung Tschingelberg. Übersicht 1:10'000.

2.5.3.5 Weitere Entwicklung, Empfehlungen

Es ist zu erwarten, dass sich die Rutschung Stalden jeweils im Frühjahr beschleunigt. Dabei können Geschwindigkeiten von einigen Millimetern pro Tag erreicht werden. Es ist mit kleineren Abbrüchen zu rechnen. Obschon zurzeit keine Hinweise dafür bestehen, dass ein Gesamtabbruch bevorsteht, empfehlen wir eine minimale Überwachung der Rutschung mit ca. 5 Messungen pro Jahr. Dabei muss kontrolliert werden, ob sich die Hangbewegung wie bis anhin im Herbst/Winter vollständig beruhigt. Eine verstärkte Wasserinfiltration von den bestehenden Wildbächen beidseits der Rutschung in neu eröffnete Wasserwege könnte die Hangbewegung weiter destabilisieren und sie schlussendlich zum Absturz bringen.

Im Weiteren wird empfohlen, den Kraftwerkstollen periodisch zu kontrollieren.

2.6 Schwemmholz

Die mitgeführten Schwemmholzmengen während dem Hochwasserereignis vom August 2005 waren sehr gross. Sie haben aber wegen der gut koordinierten Interventionen bei Brückenbauwerken (Feuerwehr, Schwellenkorporationen und Bauunternehmungen) keine grösseren Schäden verursacht und daher eine eher untergeordnete Rolle gespielt.

Die Gegenüberstellung von Orthophoto-Aufnahmen vor / nach dem Ereignis zeigt, dass zahlreiche intakte Waldflächen infolge Seitenerosion weggerissen wurden. Eine genaue Quantifizierung der Schwemmholzmengen für die einzelnen Flussabschnitte und Seitenbäche ist nicht möglich. Die nachfolgenden Mengenangaben beruhen deshalb auf Schätzungen anhand der Luftaufnahmen. Weitere Aussagen zur Gesamtfracht sind anhand der im Brienersee zurückgehaltenen und auf dem Flugplatz Interlaken und in Brienz aufgeschichteten Schwemmholzmengen möglich. Nach Aussage von Rudolf Zumstein, Waldabteilung 1 in Interlaken, wurde eine Kubatur von rund 6'700 m³ am Haufen gemessen. Aus dem Gebiet der Lütschine wurden ca. 3'000 m³ Festmass Holz angeschwemmt. Dabei handelte es sich um Frischholz, in Bachnähe gelagertem Holz oder Konstruktionsholz (z. B. die fortgeschwemmte Stägmattabrücke aus Lütschental).

Schwarze Lütschine Grindelwald

Nach Aussage von Schwellenmeister Urs Moser wurden keine grossen Mengen Holz abgeschwemmt. Nach Aussage von Peter Abegglen, Kraftwerk Jungfraubahn, waren während des Hochwassers beim Stauwehr Burglauenen dank den neuen Wehröffnungen keine Massnahmen bezüglich Schwemmholz notwendig.

Seitenbäche der Schwarzen Lütschine in Grindelwald

Beim Schwendibach trugen grosse Mengen Schwemmholz (> 50 m³), vor allem aus dem Büössalpbach, zur Verklauung des Gerinnes oberhalb der Kantonsstrasse und damit zur Ausuferung und Übersarung bei.



Abb 64 Auf dem Schwemmkegel des Schwendibaches wurden grosse Mengen Schwemmholz abgelagert.

Beim Bärbach führten mehrere Bäume zur Verklauung des Durchlasses unter der Gemeindestrasse und damit zur Übersarung.

Schwarze Lüttschine Lüttschentäl

In der Steilstrecke vom Wehr Burglauenen bis zum Kraftwerk Lüttschentäl wurden grosse Schwemmhölmengen infolge Seitenerosion mobilisiert. Es dürfte sich um schätzungsweise 500 m³ frisches Holz handeln. Im Talboden von Lüttschentäl wurde infolge Uferanrissen und Laufverlagerungen der Grossteil der Ufervegetation weggerissen. Die Holzkubatur beträgt hier ungefähr 250 m³.



Abb 65 Uferanriss in der Steilstrecke in Lüttschentäl

Seitenbäche der Schwarzen Lüttschine in Lüttschentäl

Mitgeführtes Schwemmhölm war hier kaum ein Problem, da die Uferböschungen vielerorts bebuscht waren. Durch das Hochwasser wurden die Büsche abgelegt und schützten so die Uferböschungen wirkungsvoll gegen Erosion. Insbesondere Haselstauden eignen sich besonders, weil sie schnell wieder aufkommen.



Abb 66 Abgelegte Stauden schützten die Ufer im Wartenberggraben vor Erosion.

Im Bereich der Schwemmkegel übersarten die Seitenbäche vielerorts infolge Gerinneverstopfungen. Dadurch wurden seitliche Waldstücke und Bäume mit Geschiebe eingeschottert.



Abb 67 Eingeschotterte Bäume auf dem Schwemmkegel des Louwibachs.

Schwarze Lüttschine Gündlichswand

Einzelne bestockte Uferböschungen wurden unterspült und rutschten in das Gerinne ab.



Abb 68 Abgerutschte Uferbäume im Gebiet Buechi

Seitenbäche der Schwarzen Lütschine in Gündlichwand

Es wurden nur unbedeutende Mengen an Schwemmholz mobilisiert.

Weisse Lütschine Lauterbrunnen

Schwemmholz verursachte keine Probleme.

Seitenbäche der Weissen Lütschine in Lauterbrunnen

Mit Ausnahme der Wasserfassung für das Kraftwerk Stechelberg in der Sefinenlütschine, welche durch Schwemmholz verstopft wurde, verursachte das Schwemmholz keine Probleme. Das Kraftwerk war mehrere Tage ausser Betrieb.

Weisse Lütschine Gündlichwand

Bei der Zweilütschinenbrücke war schweres Gerät im Einsatz, Schwemmholz bildete hier jedoch kaum Probleme.

Seitenbäche der Weissen Lütschine in Gündlichwand

Schwemmholz verursachte keine Probleme.

Vereinigte Lütschinen

In der Steilstrecke Dangelstutz wurden infolge Seitenerosion schätzungsweise 500 m³ Schwemmholz mobilisiert. Dieses Schwemmholz führte beispielsweise bei der Gsteigwilerbrücke zu geringfügigen Schäden an der Brückenentwässerung. In Wilderswil wurde der Fussgängersteg BOB-Brücke arg in Mitleidenschaft gezogen. Sowohl bei der BOB-Brücke wie auch bei der Gsteigbrücke musste mit Baumaschinen interveniert werden, um Verklausungen zu verhindern. Auch in Bönigen war das mitgeführte Schwemmholz in der voll laufenden Lütschine dafür verantwortlich, dass bei den Brücken mit Baggern gearbeitet werden musste.



Abb 69 Teilverklausung der BOB-Brücke Gsteig durch Schwemmholz

Seitenbäche der Vereinigte Lüttschinen

Es wurden nur unbedeutende Mengen an Schwemmholz mobilisiert.

Schwemmholz im Brienersee

Im Lüttschindelta wurden gemäss Angabe von Herrn E. Hunziker vom Wasserwirtschaftsamt des Kantons Bern rund 6'000 m³ Schwemmholz zurückgehalten.



Abb 70 Schwemmholz im Lüttschindelta

Das Schwemmholz wurde zu Holzschnitzeln verarbeitet. Es konnten rund 8'000 m³ Schnitzeln gewonnen werden. Bis Ende November 2006 wurden davon etwa 3'000 m³ in der Fernheizanlage AVARI in Wilderswil verbrannt.

2.7 Bauwerke

In diesem Kapitel werden wichtige Bauwerke bezüglich folgender Kriterien kurz beschrieben:

- Funktion während des Ereignisses
- Einfluss auf die ablaufenden Prozesse
- Zustand des Bauwerkes nach dem Ereignis

Folgende Bauwerke wurden anlässlich des Hochwassers beschädigt oder weggerissen:

Gemeinde	Gewässer	Bauwerk	Ort	Schaden
Grindelwald	Schwarze Lüttschine	Brückensteg	Judenwang	stark beschädigt
Grindelwald	Schwarze Lüttschine	3 Quersperren	Oberhalb Mettenbergbrücke	Sperrenabdeckungen weggerissen
Grindelwald	Büössalpbach	Brücke	Anggistalden	weggerissen
Grindelwald	Burstgraben	Durchlass	Anggistalden	verstopft
Lüttschental und Grindelwald	Schwarze Lüttschine	Eybrücke	Kantonsstrasse Zweilüttschinen - Grindelwald	beschädigt
Lüttschental und Grindelwald	Schwarze Lüttschine	2 Quersperren	unterhalb Eybrücke	zerstört
Lüttschental und Grindelwald	Schwarze Lüttschine	Zaunbrücke	Kantonsstrasse Zweilüttschinen - Grindelwald	Gefährdung wegen defekter Ufersicherung
Lüttschental und Grindelwald	Schwarze Lüttschine	3 Quersperren	unterhalb Zaunbrücke	weggerissen und zerstört
Lüttschental und Grindelwald	Schwarze Lüttschine	Lindibrücke	Kantonsstrasse Zweilüttschinen - Grindelwald	beschädigt
Lüttschental und Grindelwald	Schwarze Lüttschine	2 Quersperren	unterhalb Lindibrücke	weggerissen und zerstört
Lüttschental und Grindelwald	Schwarze Lüttschine	Pfänglibrücke	Kantonsstrasse Zweilüttschinen - Grindelwald	Widerlager unterkolkt
Lüttschental	Schwarze Lüttschine	Holzbrücke	alte Pfänglibrücke	beschädigt
Lüttschental	Schwarze Lüttschine	Holzbrücke	alte Stägmattabrücke	weggerissen
Lüttschental	Schwarze Lüttschine	Rohrbrücke	Stägmatta	weggerissen
Lüttschental	Schwarze Lüttschine	Kantonsstrassenbrücke	Stägmatta	eingestürzt
Lüttschental	Schwarze Lüttschine	Rote Brücke	Lischestutz	weggerissen
Gündlischwand	Choleygraben	BOB-Brücke	Choley	weggerissen
Gündlischwand	Schwarze Lüttschine	Fussgängersteg	Buechiwang	weggerissen
Gündlischwand	Schwarze Lüttschine	Stahlfachwerkbrücke	im Spitz	weggerissen
Gündlischwand und Wilderswil	Weisse Lüttschine	Kantonsstrassenbrücke	Zweilüttschinen	Notumleitung gegraben
Lauterbrunnen	Weisse Lüttschine	Pletschensteg	bei Schilthornbahn in Stechelberg	weggerissen
Wilderswil	Vereinigte Lüttschinen	Lehnenviadukt Dangelstutz	Kantonsstrasse Interlaken - Zweilüttschinen	stark beschädigt
Wilderswil und Gsteigwiler	Vereinigte Lüttschinen	Brückensteg	Flisou	weggerissen
Alle Gemeinden	Alle Gewässer	Uferverbauungen	Längs Bach- und Flussläufen	weggerissen, beschädigt, zerstört

Abb 71 Schäden an Bauwerken

Gemäss Abb 71 wurden im Gebiet der Lütschinentäler insgesamt zehn Brückenbauwerke weggerissen. Praktisch alle Brücken bildeten wasserbauliche Hindernisse und in der Folge stauten sich Holz oder Siloballen am Brückenkörper. In den meisten Fällen musste mit schwerem Gerät interveniert werden, um Verklausungen zu verhindern. Die beschädigten Brücken sind in Abb 71 aufgeführt, die übrigen Brücken haben das Hochwasser erstaunlich gut und ohne Schaden überstanden.

Wie die Zusammenstellung zeigt, waren aber auch zahlreiche Schutzbauwerke (Quersperren und Ufersicherungen) betroffen. Das Versagen dieser Schutzbauten führte als weitere Folge zur Mobilisierung von grossen Feststoffvolumina.

Die beschädigten oder zerstörten Bauwerke sind in den Übersichtsplänen 1:5'000 dargestellt (Pläne Nr. 2167-1/2/3/4/5/6).

In Anhang B5 sind zusätzlich Fotos der Bauwerke während oder nach dem Hochwasserereignis angefügt.

➤ Anhang B5 Abb 120 bis 154: Schutz- und Brückenbauwerke

2.7.1 Wasserbauliche Schutzbauwerke

2.7.1.1 Schutzbauwerke an der Schwarzen Lütschine in Grindelwald

Oberhalb der Mettenbergbrücke wurden drei Quersperren in Mitleidenschaft gezogen, die Sperrenabdeckungen wurden weggerissen, die Betonoberfläche stark abrasiert und die Armierung freigelegt. Die Sperren haben ihre Funktion während dem Ereignis jedoch erfüllt, die Sohlenlage im Bereich der Sperren blieb stabil.

Zwischen Gryth und Rollbahnbrücke wurden sechs Schildkröten / Blockbuhnen total zerstört und drei weitere teilweise beschädigt.

Die kurz vor dem Ereignis 2005 unterhalb der Rollbahnbrücke fertiggestellte Gerinneaufweitung mit renaturierten Uferpartien hat sich nicht bewährt, weil Geschiebeauflandungen zu Ausuferungen am rechten Ufer und zu Überschwemmungen und Übersarungen des unterliegenden Gebiets führten.

Oberhalb der Chilchbodenbrücke wurde die Ufermauer links vollständig und rechts teilweise zerstört.

Im Bereich der Unterstation BKW wurden Blocksatz und Schildkröten beschädigt.

Zwischen Einmündung Mälbaumgraben und Fluhgraben wurden Blockbuhnen zerstört und beschädigt.

Oberhalb der Schwendibrücke wurde die 60 m lange Ufermauer bis auf 10 m vollständig zerstört.

Zwischen der Einmündung Schwendibach und der Kehrlichtbrücke wurden an vier Stellen Blockvorlagen und eine Blockbuhne zerstört.

Oberhalb dem Stauwehr Burglauenen wurden am linken Ufer Vorlagesteine hinterspült und freigelegt.

Unterhalb dem Stauwehr Burglauenen wurde die Ufermauer vor dem Wohnhaus 905D unterspült und teilweise beschädigt.

Uferanrisse und Sohlenuflandungen entstanden immer wieder über die ganze Strecke der Schwarzen Lütschine in Grindelwald. Das aufgelandete Material musste zur Wiederherstellung der Gerinnekapazität ausgehoben und deponiert werden (siehe Deponie Ey).

➤ Anhang B5 Abb 120 und 121: Bauwerke Grindelwald

2.7.1.2 Schutzbauwerke an der Schwarzen Lütschine in Lütschental

Die bestehenden Schutzbauwerke (Quersperren und Ufersicherungen) wurden infolge hoher und lang andauernder Belastung mehrheitlich stark beschädigt oder gar vollständig zerstört.

Schutzbauwerke Eybrücke

Die beiden Bruchsteinsperren unterhalb der Eybrücke wurden während dem Hochwasserereignis praktisch vollständig zerstört. In der Folge wurde die Sohle erodiert und die bestehende Ufersicherung (Betonriegel und Blocksatz) im Bereich des linksufrigen Brückenwiderlagers weggerissen. Die Einzelfundamente wurden freigespült und die Brücke war deshalb akut einsturzgefährdet.

Schutzbauwerke Zaunbrücke

Die drei Sperrenbauwerke, welche die Sohlenlage im Bereich der Zaunbrücke über Jahre sichergestellt haben, wurden weggerissen oder schwer beschädigt. Die Bruchsteinsperre im Bereich der Brücke und die Bruchsteinsperre ca. 50 m unterhalb der Brücke wurden komplett weggerissen. Die im Rahmen des Verbauungsprojektes 1985 ca. 20 m unterhalb der Brücke erstellte Betonsperre erfuhr in Sperrenmitte einen Vertikalriss und die beiden Sperrenflügel kippten dadurch nach unten ab. Die Sohle wurde im Bereich der Brücke abgetieft und als weitere Folge wurden die Ufersicherungen im Bereich der Brücke sowie der rechtsufrige Blocksatz oberhalb der Zaunbrücke auf einer Länge von ca. 150 m komplett weggerissen.

Die 16 kV - Leitung der Jungfraubahnen und auch die 50 kV - Leitung der BKW, welche die Lütschine direkt unterhalb der Zaunbrücke überqueren, wurden wegen dem Abkippen der Betonsperre unterbrochen.

Schutzbauwerke Lindibrücke

Die beiden bestehenden Bruchsteinsperren unterhalb der Lindibrücke wurden fast vollständig weggerissen. Im Bereich der Lindibrücke setzte in der Folge starke Sohlenerosion ein. Das linksufrige Widerlager wurde von unten her hinterspült, die Brücke war vom Einsturz bedroht.

Schutzbauwerke Pfänglibrücke

Im Bereich der Pfänglibrücke wurde die Sohle während dem Ereignis abgetieft und die Betonriegel im Widerlagerbereich unterkolkelt.

Schutzbauwerke Bereich Kraftwerk Jungfraubahnen / Uderem Rain

Die linksufrige Ufermauer zwischen alter Holzbrücke und Kraftwerk wurde weggerissen. Der rechtsufrige Blocksatz vis à vis Kraftwerk wurde ebenfalls zerstört und danach wurde sowohl die Bahntrasse der BOB wie auch die Kantonsstrasse Nr. 221 auf einer Länge von ca. 130 m komplett weggerissen. Die bestehende Sohlenrippe oberhalb Einlauf Unterwasserwasserkanal Kraftwerk wurde nicht beschädigt, da in diesem Bereich die Auflandungsstrecke beginnt.

Ufersicherungen in der Talstrecke Lütschental

Sämtliche bestehenden Ufersicherungen in der flachen Talstrecke von Lütschental wurden während dem Hochwasserereignis weggerissen. Als Folge wurden grosse Flächen Kulturland infolge Seitenerosion oder Laufverlagerungen zerstört.

➤ Anhang B5 Abb 122 bis 130: Bauwerke Lütschental

2.7.1.3 Schutzbauwerke an der Schwarzen Lütschine in Gündlichwand

Das linke Ufer im Bereich Stägghalta - Buechiwang wurde entlang der BOB-Strecke auf einer Länge von rund 200 m stark erodiert.

Oberhalb des Bahntunnels im Buechi wurde die linksseitige Ufermauer teilweise zerstört und die Wasserleitung der Einwohnergemeinde und das Swisscom - Kabel wurden freigelegt.

Unterhalb des Bahntunnels wurde die 6 m hohe Ufermauer der BOB auf 12 m Länge vollständig zerstört.

Von hier an abwärts bis zur Kantonsstrasse wurden an vier Stellen Blocksätze teilweise zerstört und auf 50 m Länge das Swisscom - Kabel freigelegt.

Der bestehende, linksufrige Blocksatz im Gebiet Matteneggen wurde unterkolkt. Die Kantonsstrasse musste in diesem Bereich mit einem neuen Blocksatz gesichert werden.

Zwischen der Viertelbrücke und dem Zusammenfluss mit der Weissen Lütschine wurde die Ufersicherung an mehreren 13 Stellen weggerissen.

➤ Anhang B5 Abb 131: Bauwerke Gündlichwand

2.7.1.4 Schutzbauwerke in den Seitenbächen der Schwarzen Lütschine

Weisse Lütschine, Grindelwald

Unterhalb der Gletscherschlucht wurde ein Teil des Hochwasserdammes am linken Ufer abgeschwemmt und die Blockmauer zerstört. Oberhalb der Aspibrücke wurden die drei Schildkröten am linken Ufer unterspült, so dass sie in das Gerinne abrutschten. Auch in der Weissen Lütschine musste aufgelandetes Material für die Wiederherstellung der Gerinnekapazität entfernt werden.

Burstgraben, Grindelwald

Der Durchlass Anggistalden im Burstgraben verstopfte und das Wasser floss über die Strasse und später wieder zurück in den Burstgraben.

Schwendibach, Grindelwald

Nach dem Einlauf des Büössalpbachs wurden im Kegelhalsbereich der linksufrige Hochwasserdamm, eine Scheune sowie ein Fussgängersteg total zerstört. Ein kleiner Spycher wurde von den Wasser- und Geschiebmassen verschoben, blieb aber unversehrt.

Teilweise wurde die Bachschale zwischen Kantonsstrasse und BOB-Linie zerstört.

Abbach, Grindelwald

Mehrere, aus der Zeit nach 1906 stammende Stein- und Holzsperrren wurden teilweise oder ganz zerstört.

Allgemeine Bemerkungen zu den Seitenbächen der Schwarzen Lütschine in Lütschental

Die vorhandenen Geschiebesammler erfüllten ihre Funktion gut und hielten viel Material zurück.

Louwibach, Lütschental

Das Fehlen eines Geschiebesammlers im Louwibach wirkte sich fatal aus. Der Louwibach übersarte den ganzen Schwemmkegel bis zu einem Meter hoch.

Spisgraben, Lütschental

Im Spisgraben wurden alte Querbauwerke so stark unterspült, dass ein vollständiger Zerfall befürchtet werden musste.

➤ Anhang B5 Abb 132 bis 136: Bauwerke Seitenbäche Schwarze Lütschine

2.7.1.5 Schutzbauwerke in der Weissen Lütschine

Unterhalb der Lochbrücke wurden die zur Sicherung des Bahnkörpers der BOB versetzten Vorlagesteine teilweise weggerissen.

Im Sandweidli wurde die Ufermauer der BOB auf 50 m Länge unterspült und zerstört.

Oberhalb der Einmündung Soubach wurde der Blocksatz der BOB auf 30 m Länge weggerissen.

Im Bereich Schmelzi wurde der Bahnkörper der BOB an zwei Stellen durch zerstörte Blockvorlagen und eine zerstörte Ufermauer gefährdet. Im selben Bereich mussten am linken Ufer drei durch Hinterspülung im Gerinne liegende Schildkröten neu hinterfüllt und gesichert werden. Am rechten Ufer musste die Ufermauer der Forststrasse Schmelzi, welche auf 20 m unterspült war, neu unterfüllt werden.

Zwischen Lauterbrunnen und Zweilütschinen stürzten zwei losgeschwemmte Tannen auf die 50 kV - Leitung der BKW und unterbrachen diese wichtige Stromzulieferung ins Lauterbrunnental.

Nach der Einmündung des Leiterhorngrabens wurde am rechten Ufer die Blockvorlage weggerissen und die Ufer grossflächig überströmt. Die Lütschine brach hier rechts aus und übersarte das ganze Gebiet, wobei insbesondere das Eidgenössische Zeughausareal bis hin zum Zentrum Zweilütschinen mit Restaurant Bären und Bahnhofareal betroffen war.

Bei der Rechenfeldlibrücke der BOB musste das freigelegte Widerlager rechts durch einen Blocksatz gesichert werden.

Unterhalb der Kantonsstrassenbrücke Zweilütschinen wurden auf 20 m Länge Vorlagesteine weggerissen.

➤ Anhang B5 Abb 137 und 138: Bauwerke Weisse Lütschine

2.7.1.6 Schutzbauwerke in den Seitenbächen der Weissen Lütschine

Die Wasserfassung für das Kraftwerk Stechelberg in der Sefinen Lütschine wurde durch Schwemmholz und Geschiebe verstopft. Die Stromproduktion durch das Kraftwerk fiel aus. Die Stromversorgung im Lauterbrunnental war anschliessend noch durch die BKW gewährleistet, doch die 50 kV - Leitung wurde durch zwei stürzende Tannen ausser Betrieb gesetzt, so dass nur noch die 16 kV - Leitung der Jungfraubahnen Strom lieferten. Doch schliesslich ging auch diese Leitung ausser Betrieb, und im Lauterbrunnental war kein Strom mehr vorhanden. Es mussten Notstromaggregate aus Balsthal organisiert werden (siehe Geschäftsbericht 2005 des EW Lauterbrunnen).

2.7.1.7 Schutzbauwerke in den Vereinigten Lütschinen

Die Vereinigten Lütschinen fliessen vom Zusammenfluss der Schwarzen und der Weissen Lütschine in Zweilütschinen über eine Flachstrecke in einem weitgehend unverbauten und natürlichen Gerinne bis zum Dangelstutz, einer relativ engen Steilstrecke, wo sich Kantonsstrasse, Bahnlinie der BOB und Lütschine den Platz streitig machen. Nach der Steilstufe geht es von der Gsteigwilerbrücke wieder relativ flach in einem verbauten Schalengerinne bis zur Mündung in den Brienersee.

Im Vergleich zu den meisten übrigen Flussabschnitten in den Lütschinentälern waren auf dem unverbauten, natürlichen Abschnitt vom Zusammenfluss der Schwarzen und der Weissen Lütschine bis zur Steilstrecke Dangelstutz verhältnismässig wenig Schäden zu verzeichnen. Das Flussbett verfügt hier über eine relativ grosse Breite und wird durch keine Brückenquerungen eingeengt. Auf der Flachstrecke wurde aber auch relativ viel Geschiebematerial abgelagert.

In der Steilstrecke Dangelstutz wurde die Sohle wie auch beide Uferbereiche stark erodiert. Die Kantonsstrasse und die BOB-Linie waren an diversen Stellen gefährdet.

In der Flachstrecke von der Gsteigwilerbrücke an abwärts haben Sohlenauflandungen zu grossflächigen Überflutungen geführt.

Uferschäden im Feldli

Die bestehende linksufrige Ufermauer wurde an vier Stellen teilweise und auf 20 m Länge ganz zerstört.

Ufersicherungen Bereich Einmündung Sylerbach

Die bestehende Ufersicherung wurde auf einer Länge von 100 m unterkolkt und der Längsholzverbau freigelegt, die Ufermauern und Blocksätze wurden auf einer Länge von 30 m zerstört.

Hanganriss BOB-Trasse Dangelstutz

Kurz unterhalb der Lehnenkonstruktion wurde auch das rechte Ufer erodiert und das Bahntrasse der BOB war unmittelbar gefährdet.

Ufersicherungen Seite Kantonsstrasse im Dangelstutz

Die bestehenden linksufrigen Verbauungen entlang der Kantonsstrasse im Bereich Steilstrecke Dangelstutz wurden praktisch auf der ganzen Länge unterkolkt und teilweise zerstört. Die steilen Böschungen rutschten in der Folge nach.

Ufersicherungen Bereich Autoabbruch Leuenberger

Am rechten Ufer wurden Blocksatz und Ufermauern auf 120 m Länge praktisch vollständig zerstört. Auch linksufrig wurde der Blocksatz im Pralluferbereich weggerissen und die Kantonsstrasse auf einer Länge von etwa 30 m stark unterspült.

Gsteigwilerbrücke - Saxetbach

Oberhalb der Gsteigwilerbrücke wurde der bestehende linksufrige Schutzdamm überströmt und teilweise erodiert. Die Bühnen (Schildkröten) wurden unterkolkt und teilweise weggerissen. Auch rechtsufrig wurde das Ufer lokal angerissen.

Unterhalb der Gsteigwilerbrücke wurde die Ufermauer linksufrig auf 8 m Länge beschädigt und rechts die Vorlagesteine auf 80 m weggerissen.

Zwischen Gsteigwilerbrücke und der Einmündung des Saxetbachs wurden sowohl der linksseitige, wie auch der rechtsseitige Hochwasserdamm an vielen Stellen überströmt, was zu Schäden an den Dammkronen führte.

Saxetbach - BOB-Brücke

Zwischen der Einmündung des Saxetbachs und der BOB-Brücke hielt das gemauerte Schalenprofil, nach anfänglichem Überströmen, den Wassermassen nicht mehr stand und brach im Bereich des Musterplatzes auf einer Länge von 15 m. Dies genügte, um die Lüttschine massiv ausbrechen zu lassen und führte zu den grossen Schäden in Wilderswil, Matten und Interlaken.

ARA-Pumpwerk - Mündung in Brienersee

Unterhalb dem ARA-Pumpwerk, am linken Ufer erwies sich der Hochwasserdamm mit Schalenmauer auf ca. 400 m Länge als durchlässig, das Wasser durchströmte den Damm und ergoss sich auf die Bönigstrasse. Der Damm musste mit Schüttmaterial provisorisch verstärkt werden, da ein Dambruch befürchtet wurde.

Im Bereich der Halle 1 wurde die linksufrige, 4 m hohe Schalenmauer auf einer Länge von 15 m im oberen Teil zerstört und die Vorlagesteine weggerissen.

Vom ARA-Pumpwerk in Wilderswil bis zur Oberen Bönigbrücke wurden im Winter 2006 / 2007 an beiden Ufern viele hohle, ausgeschwemmte Stellen mit Beton und Steinen verfüllt und weggerissene Vorlagesteine im Rahmen der Sofortmassnahmen ersetzt.

Der Fussgängersteg beim Strandbad Bönigen hielt auf dem Wasser schwimmendes Treibgut auf und wurde dadurch dermassen belastet, dass er im Grundriss verbogen wurde und die Gefahr des Abschwemmens bestand. Der Steg musste an beiden Ufern zurückgebunden werden. Er war während Tagen nicht begehbar.

➤ Anhang B5 Abb 139 bis 154: Bauwerke Vereinigte Lüttschinen

2.7.1.8 Schutzbauwerke in den Seitenbächen der Vereinigten Lüttschinen

Bei den Seitenbächen der Vereinigten Lüttschinen sind einzig im Sylerbach Bauwerksschäden aufgetreten. So mussten im Bereich des Hochwasserdamms und der Abschlussperre Kolksschäden behoben werden.

Im Saxetbach mussten im Mündungsbereich Geschiebeablagerungen entfernt werden und auf der Bönigallmi im Stubegrabe und Gsässgrabe wurden die Geschiebesammler entleert.

2.7.2 Brückenbauwerke

Die für die Brückenbauwerke relevanten Prozessmuster und die betroffenen Schutzbauwerke sind in Kapitel 2.7.1 beschrieben. Während an der Schwarzen Lütschine diverse Brücken Opfer des extremen Abflusserignisses wurden, hielten die Brücken an den Vereinigten Lütschinen der Belastung ausserordentlich gut stand. Obwohl sie nicht als Druckbrücken konzipiert waren, funktionierten sie als solche. Schwemmholz führte zu Schäden, doch trotz hohem Anfall nicht zu Verklausungen, dies obwohl die üblicherweise geforderten Freiborde nicht erreicht wurden. Bei einem Teil der Brücken funktionierten der Druckabfluss und der Schwemmholztransport offensichtlich ohne Intervention. Bei anderen Brücken halfen die Interventionen, kritische Situationen zu vermeiden.

2.7.2.1 Brückenbauwerke in Grindelwald

Der bestehende Steg im Gebiet Judenwang wurde während dem Hochwasserereignis stark beschädigt.

Die Brücke Anggistalden im Büössalpbach wurde durch das Hochwasser weggerissen. Provisorisch wurden zwei Rohre DN 150 cm eingebaut.

2.7.2.2 Brückenbauwerke in Lütschental

Diverse Brücken wurden hier durch das Hochwasser zerstört oder stark in Mitleidenschaft gezogen (siehe Kapitel 1.2.2). Sie waren konstruktiv den extremen Belastungen dieses Ereignisses nicht gewachsen. Die Fundationstiefen der Auflager wie auch die Flügelmauern waren für die Tiefen- und Seitenerosion bei solchen Verhältnissen ungenügend. In der flachen Talstrecke von Lütschental wurde die Seitenerosion noch durch den generellen Auflandungstrend gefördert.

Eybrücke

Die Einzelfundamente wurden freigespült und die Brücke war deshalb akut einsturzgefährdet.

Zaunbrücke

Da die zerstörte Betonsperre unterhalb der Zaunbrücke durch einen sehr grossen Felsblock gehalten wurde und dadurch die Sohlenerosion nicht weiter fortschreiten konnte, war die Zaunbrücke nicht einsturzgefährdet und es waren keine Schäden am Brückenbauwerk zu verzeichnen.

Lindibrücke

Das linksufrige Widerlager wurde von unten her hinterspült, die Brücke war vom Einsturz bedroht.

Pfänglibrücke

Im Bereich der Pfänglibrücke wurde die Sohle während dem Ereignis abgetieft und die Betonriegel im Widerlagerbereich unterkolkt.

Holzbrücke Gadestatt oberhalb Kraftwerk (alte Pfänglibrücke)

Die mächtigen Felsblöcke im Bereich der Brückenwiderlager verhinderten den Einsturz der alten Holzbrücke. Die Widerlager wurden unterkolkt und teilweise weggerissen.

Rohrbrücke Stägmatta

Die Rohrbrücke (Abwasser, Trinkwasser), welche unmittelbar oberhalb der Holzbrücke Stägmatta lag, wurde während dem Ereignis ebenfalls weggerissen.

Holzbrücke Stägmatta

Die alte Holzbrücke in der Stägmatta wurde am Abend des 22. August 2005 weggerissen, nachdem das rechtsufrige Widerlager hinterspült worden war. Der Einsturz der Brücke wurde durch einen Einwohner von Lüttschental auf Video festgehalten.

Kantonsstrassenbrücke Stägmatta

Bereits in der Nacht vom 22. auf den 23. August 2005 wurde die rechtsufrige Flügelmauer der Stägmat-
tabrücke hinterspült. Das rechtsufrige Widerlager der 38 m langen Brücke sackte in der Folge um mehr als
1 m ab und die Brücke erfuhr eine starke Verdrehung. Aufgrund einer im Anschluss an das Hochwasserere-
ignis durchgeführten Analyse¹⁰ wurde entschieden, die Brücke nicht wieder instand zu stellen.

Rote Brücke

Die sogenannte „Rote Brücke“, welche die Schwarze Lüttschine im Gebiet Tschingeley überquert, wurde
während dem Ereignis ebenfalls weggerissen.

Ferienhaus Hiislimatta

Neben den zahlreichen betroffenen Brücken wurde in der Hiislimatta ein Ferienhaus (während dem Unwetter
glücklicherweise unbewohnt) komplett weggerissen.

2.7.2.3 Brückenbauwerke in Gündlischwand

BOB-Brücke Choley

Das linke Ufer im Bereich Stägghalta - Buechiwang wurde auf einer Länge von rund 200 m stark erodiert, die
BOB-Brücke über den Choleygraben stürzte deshalb ein.

Fussgängersteg Buechiwang

Auch der Fussgängersteg Buechiwang wurde infolge der Ufererosion weggerissen.

Stahlfachwerkbrücke Spitz

Die alte Kantonsstrassenbrücke im Gebiet Spitz (Stahlfachwerk) wurde weggerissen.

Kantonsstrassenbrücke Zweilüttschinen

Schon vor dem Hochwasserereignis wurde festgestellt, dass die Kantonsstrassenbrücke in Zweilüttschinen
über einen zu geringen Abflussquerschnitt verfügt. Während dem Ereignis musste eine Notumleitung neben
der Brücke gegraben werden, um die Wassermassen abzuleiten.

¹⁰ Zustandsbeurteilung / Nutzwertanalyse Stägmatbrücke, Mätzener & Wyss AG, September 2005

2.7.2.4 Brückenbauwerke in Lauterbrunnen

Der Pletschensteg bei der Talstation der Schilthornbahn in Stechelberg wurde weggerissen.

2.7.2.5 Brückenbauwerke der Vereinigten Lüttschinen

Lehnenbrücke BOB

Durch den grossen, ca. 200 m langen Uferanriss zwischen Chelligraben und Riedgraben wurden die Wandscheiben der BOB-Lehnenbrücke freigelegt. Die Konstruktion musste mit neuen Blocksätzen gesichert werden.

Lehnenkonstruktion Dangelstutz

Die Lehnenkonstruktion Dangelstutz wurde unterkolt und die Pfahlfundation freigelegt. Die Strasse war zeitweilig nur noch einspurig befahrbar.

Privater Fussgängersteg Obereyli

Der bestehende Fussgängersteg über die Lüttschine wurde weggerissen.

BOB-Brücke Gsteig

Bei dieser Brücke geriet der Abfluss unter Druck. Offensichtlich hakte temporär Schwemmholz am Geländer und der Tragkonstruktion des oberwasserseitig an der Brücke angehängten Fussgängerstegs ein. Dieses wurde durch den Sog der Strömung erfasst und unter die Brücke gezogen. Dabei wurden Teile des Stegs mitgerissen. Der Aufstau an der Brücke hat das Überströmen des linken Damms und die Breschenbildung gefördert, da die Höhe des Damms nicht auf solche Abflussverhältnisse ausgerichtet war.

Holzbrücke Gsteig

Bei der historisch wertvollen Holzbrücke schlug der Abfluss an und geriet zumindest zeitweise unter Druck. Es musste mit Baggern interveniert werden, um das Geschwemmsel unter der Brücke hindurch zu zwingen. Wie Videoaufnahmen zeigen, wurde ein Grossteil des anfallenden Schwemmholzes von der Strömung unter der Brücke hindurch gesogen. Durch den Aufprall des mitgeführten Geschwemmsels ergaben sich Schäden an der Holzverschalung.

Bönigbrücken

Auch an den Brücken in Bönigen geriet der Abfluss unter Druck oder Geschwemmsel schlug zumindest an der Brückenkonstruktion an. Dies führte zu leichteren Schäden an der Konstruktion und zu Aufstau im Oberwasser. In Bönigen war das Freibord an den Dämmen deshalb nur noch sehr gering, doch hielten sie der Belastung gerade noch stand.

2.8 Gefahren- und Schadenprozesse

In diesem Kapitel werden sämtliche während dem Hochwasserereignis vom August 2005 in den Lüttschinentälern beobachteten Prozessmuster noch einmal zusammenfassend beschrieben.

2.8.1 Überflutung infolge Feststoffablagerungen

Die Gerinnetopographie ist geprägt durch zahlreiche Übergänge von Steil- in Flachstrecken mit unterschiedlich grossen Gefällsknicken. Wie bereits in Kapitel 2.4 Geschiebeprozesse beschrieben, wurde während dem Hochwasserereignis bei sämtlichen Gefällsknicken Material abgelagert. Diese zum Teil massiven Anhebungen der Sohlenlage führten zur Reduktion des zur Verfügung stehenden Abflussquerschnitts und damit zur Überflutung der umliegenden Gebiete. Dieses Prozessmuster konnte an folgenden Stellen beobachtet werden:

- Grindelwald: Kieswerk Gryth - Rollbahnbrücke
Station Gondelbahn Grindelwald-Männlichen - Schwendi
Kehrichtbrücke - Stauwehr Burglauenen
- Lüttschental: Kraftwerk Jungfraubahn - Rote Brücke
- Lauterbrunnen: Station Schilthornbahn - Bornigen Brücke
- Wilderswil / Gsteigwiler: Feldli - Dangelstutz
Leuenberger - Einmündung Saxetbach

2.8.2 Überflutung infolge zu geringer Abflusskapazität

Früheren Wasserbauprojekten wurden Dimensionierungswassermengen zugrunde gelegt, welche deutlich unter den Werten des Ereignisses vom August 2005 liegen. Die zur Verfügung stehenden Abflussquerschnitte reichten an diversen Stellen nicht aus, um die Wassermassen schadlos abzuleiten:

- Grindelwald: Bereich Aspibrücke
Bereich Mettenbergbrücke
WAB-Brücke - Station Gondelbahn Grindelwald-Männlichen
- Lüttschental: Rote Brücke - Baumgartenbrücke
- Gündlischwand: Gebiete Rüdli / Boden / Bärenmatta (Schwarze Lüttschine)
Gebiete Schmelzi / Hinder der Egg / Feldli (Weisse Lüttschine)
- Lauterbrunnen: Bornigen Brücke - Briggmatta
Kieswerk Steiner - Eybrücke
Loch - Sandweidli
- Wilderswil / Gsteigwiler: Brücke BOB - Mündung in den Brienersee

2.8.3 Überflutung infolge Dammbbruch

Wegen der langen Ereignisdauer wurden die Hochwasserschutzdämme einer enormen Belastung ausgesetzt. In Wilderswil ereignete sich am 22. August 2005 kurz nach Durchgang der Abflussspitze um ca. 16.00 Uhr ein Dammbbruch im Gebiet Musterplatz. Dieser Dammbbruch war neben der ungenügenden Abflusskapazität verantwortlich für die grossräumige Überflutung des Siedlungsgebietes auf dem Bodeli.

2.8.4 Ufer- und Sohlenerosion

Die Belastung der Ufer- und Sohlenbereiche war wegen der langen Ereignisdauer und den hohen Abflussmengen sehr gross. In nahezu sämtlichen Gerinneabschnitten und in manchen Seitenbächen waren Erosionsprozesse zu beobachten.

Insbesondere in den Steilstrecken, die über Jahrzehnte (wenn nicht Jahrhunderte) relativ stabil waren, wurden durch die Bewegung von grossen Natursteinblöcken Instabilitäten ausgelöst und dementsprechend enorme Geschiebemengen mobilisiert. Diese Feststoffe wurden teilweise in den unterliegenden Flachstrecken abgelagert und führten dort zu Überflutungen und Übersarungen.

Ufer- und Sohlenerosionsprozesse führten ausserdem zur Beschädigung oder Zerstörung von zahlreichen Schutzbauwerken und zum Einsturz von diversen Brückenbauwerken.

2.8.5 Rutschungen

Beim Hochwasserereignis vom August 2005 konnten zwei Arten von Rutschungen beobachtet werden:

- a) Durch direkte Ufererosion ausgelöste Rutschungen in Prallhängen der Lütschine
- b) Hangrutschungen unabhängig der Einwirkung der Lütschine (z.B. Rutschung Stalden).

Daneben führten Seitenbäche Murgänge bis in die Talböden, deren Entstehung durch kleinere Rutschungen und Hangmuren im Oberlauf dieser Gerinne bedingt ist.

Die Erfahrung zeigt, dass diesem Naturgefahrenprozess vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Gefährdet sind ausgeprägte Prallhangsituationen. Wie die Fälle entlang der Lütschine zeigen, kann ein hochgehender Fluss in kurzer Zeit grössere Böschungsbereiche tiefgründig abtragen.

2.8.6 Verklausungen

Wie bereits erwähnt, bildete das Schwemmholz bei den Brücken nicht grössere Probleme. Dazu trug der Einsatz schwerer Bagger wesentlich bei, da sie mithalfen, das Holz einzudrücken, damit es unter der Brücke passieren konnte oder das Schwemmholz herauszogen. Die allermeisten Brücken bildeten ein wasserbauliches Hindernis, weil sie mit ihren Widerlagern in den Flussquerschnitt ragen und meist auch über ein zu geringes Freibord verfügen. Zehn Brücken wurden durch diese Mängel weggerissen.

Weitere Schwachstellen waren Rohrdurchlässe in Seitengewässern, welche verschiedentlich verstopften.

2.8.7 Gerinneverstopfung

Gerinneverstopfungen entstanden vor allem durch Geschiebeablagerungen, welche den Abflussquerschnitt auffüllten. Dies führte unmittelbar zu Ausuferungen des Gewässers. Verstopfungen durch Holzverklausungen wurden nicht beobachtet.

2.9 Spezielle Prozesse

Neben den bisher beschriebenen Gefahrenprozessen wurden während oder nach dem Hochwasserereignis 2005 weitere, in den Lütschinentälern bisher unbekannte Prozesse beobachtet. Diese Prozesse werden in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben.

2.9.1 Subglaziale Abflüsse aus dem Unteren Grindelwaldgletscher¹¹

Während und nach den Unwettern vom 22./23. August 2005 wurden im Gebiet des Unteren Grindelwaldgletschers folgende Beobachtungen gemacht:

- Bildung eines grossen Gletschersees im unteren Bereich des Gletschers (wenig südlich der Stieregg)
- Stark wechselndes Abflussverhalten der Weissen Lütschine in der Schlucht.

Die Gemeinde stellte in der Folge Beobachtungsposten in der Schlucht auf, um das Abflussverhalten zu überwachen. Gemäss Aussagen der Verantwortlichen kam es zu Unterbrüchen des Abflusses mit einem nachfolgenden starken Anschwellen der Wasserführung.

Es gibt zudem Aussagen von Anwohnern in Lütschental, welche "Flutwellen" in der Lütschine beobachtet haben wollen. Ob diese direkt mit den in der Schlucht beobachteten Phänomenen zusammenhängen ist unbekannt.

Die GEOTEST installierte am 6.9.2005 in der Schlucht bei km 1.291 (ca. 300 m oberhalb Schluchteingang) einen Messpegel. Der Wasserstand resp. der Abfluss der Weissen Lütschine kann seither über einen Drucksensor überwacht werden. Mit den Messungen werden zwei Ziele verfolgt:

- a) Analyse des Abflussverhaltens der Weissen Lütschine.
(Abhängigkeit von Niederschlägen, auslaufenden Seen oder Wassertaschen)
- b) Alarmierung von verantwortlichen Stellen im Falle von Flutwellen.

Der Pegel funktioniert seither einwandfrei. Alarme werden zurzeit über SMS an Verantwortliche (Alarmkonzept Gemeinde Grindelwald) gesandt. Im Weiteren wurde eine lokale Alarmeinrichtung für den Eventbetrieb in der Schlucht mittels Warnlampen eingerichtet.

2006 kam es dreimal zu Seeentleerungen. Sie verursachten kleine Flutwellen, welche jedoch keine Schäden anrichteten. Die Seeentleerungen erfolgten spontan. Aufgrund von Beobachtungen von der Bäregg beträgt die Zeit von Beginn der Entleerung bis zum Durchgang der Flutwelle beim Pegel GEOTEST ca. 15 - 20 Minuten. Nach den Entleerungen füllte sich der See jeweils wieder rasch durch den Zufluss vom Mättenbergbach. Es wird vermutet, dass die Seeentleerungen bei Seespiegelhochständen durch ein vorübergehendes Anheben des Eises infolge Auftrieb erfolgten.

Die Schosslau, welche mit Eisabbrüchen vom Challigletscher in Erscheinung tritt, verursachte im Herbst 2006 mehrmals kleine Verklausungen in der Gletscherschlucht. Diese Verklausungen wurden beim Abflusspegel registriert: sie waren kurzzeitig und hatten nur unbedeutende Erhöhungen des Abflusses zur Folge.

Seit Herbst 2006 wird der Gletscher mit einer automatischen Kamera überwacht. Gleichzeitig wurde ein Seepegel eingerichtet. Damit kann ein spontanes Auslaufen des Sees erkannt und ein frühzeitiger Alarm ins Tal gesandt werden.

¹¹ Die Probleme im Zusammenhang mit dem Abfluss Unterer Grindelwaldgletscher und der Felsbewegung "Eiger" werden in einem separaten Bericht beschrieben.

2.9.2 Rutschung Stieregg

Die Rutschung Stieregg mit ca. 650'000 m³ Volumen am 29.5.2005 steht nicht in Zusammenhang mit den Unwettern vom August. Sie wurde kausal einerseits durch die seit 2000 extrem starke Erosion im Graben vom Mättenberg und andererseits das starke Abschmelzen und Absinken der mit Toteis durchsetzten Moräne an der Basis der Rutschung verursacht.

2.9.3 Mikrobeben

Im Raum "Mättenberg", "uf der Halten", "Brand" wurden von zahlreichen Anwohnern in der Nacht vom 22. auf den 23. August 2005 Mikrobeben verspürt. Die leichten Beben wurden als Wumm-Geräusche aus dem Erdinnern wahrgenommen. Der Schweizerische Erdbebendienst registrierte gleichzeitig zwei kleine oberflächennahe Erdbeben am 23. August 2005 um 0.46 und 3.44 Uhr. Die sogenannten Mikrobeben erreichten Stärken von 1 - 2 auf der Richterskala. Sie konnten im Gebiet Stieregg lokalisiert werden.

Ähnliche Erscheinungen konnten während der Unwetter auch in Alpnach, im Muotatal und in Schüpflheim beobachtet werden. Solche Mikrobeben entstehen durch hohe Wasserdrücke auf Klüften im Gebirge, welche Gesteinsbrücken aufzuknacken vermögen und dadurch kleine Erschütterungen und Geräusche auslösen können. In den steilstehenden Klüften der Ostseite des Eigers können bei starken Niederschlägen (grosse Wasserinfiltration, behinderter Abfluss) an der Basis ohne weiteres Wassersäulen von mehreren Hundert Metern aufgebaut werden. Die entsprechenden Drücke können 20 - 50 bar (200 - 500 Tonnen pro Quadratmeter) erreichen.

Es erscheint plausibel, dass die grosse Felsbewegung "Eiger" von über 2 Mio. Kubikmeter in der Schlossplatten, welche am 10.6.2006 entdeckt wurde, auf die Unwetter 2005 zurückgeht, d.h., hier ihre Geburtsstunde hatte.



Abb 72 Der Untere Grindelwaldgletscher im Sommer 2006.
Das Bergsturzgebiet Schlossplatten links, der supraglaziale Gletschersee im Vordergrund,
die Rutschung Stieregg rechts und die neue Bäreghütte rechts oben. Aufnahme vom 16.07.2006.

2.10 Aktuelle Gefährdungssituation

2.10.1 Generelle Situation im Frühjahr 2007

Die umfangreichen Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen konnten per Ende 2006 weitgehend abgeschlossen werden (siehe dazu Kapitel 4.1 resp. Anhang E1).

Daneben wurden aber auch Problemstellen, welche bereits vor dem Hochwasserereignis bekannt waren und für welche Projektvorhaben bestanden, behoben. Es handelt sich um folgende Projekte:

- Entwurf Wasserbaubewilligung HWS Rechenfeldlibrücke - Birchgraben, Weisse und Vereinigte Lütschinen, Zweilütschinen
- Wasserbaubewilligung HWS Allmend und Gsteig, Vereinigte Lütschinen, Wilderswil und Gsteigwiler (in Ausführung)
- Wasserbaubewilligung HWS Musterplatz, Einmündung Saxetbach - BOB-Brücke, Vereinigte Lütschinen, Wilderswil und Gsteigwiler
- Wasserbaubewilligung HWS Projekt XVIII/2003, Einlauf Sagibach - Untere Bönigbrücke, Vereinigte Lütschinen, Bönigen

Mit den oben beschriebenen Massnahmen konnte mehrheitlich ein Zustand hergestellt werden, welcher in etwa den gleichen Schutz bietet wie vor dem Hochwasserereignis 2005. Dort, wo Projekte im Rahmen von Wasserbaubewilligungen ausgeführt wurden, liegt der Schutzgrad heute über demjenigen zum Zeitpunkt des Ereignisses.

Die Gefahrensituation unterscheidet sich jedoch je nach Örtlichkeit teilweise erheblich, sie muss daher differenziert betrachtet werden.

Das gesamte Flusssystem wurde beim Ereignis 2005 destabilisiert. Es ist zu erwarten, dass es noch einige Zeit dauert, bis sich das Sohlenmaterial wieder etwas verfestigt hat (Deckschichtbildung), und es ist gut möglich, dass in dieser Zeitspanne tendenziell eher Sohlenmaterial erodiert wird.

2.10.2 Vorbehalt der Gletscherproblematik

Die Probleme im Zusammenhang mit dem Abfluss aus dem Unteren Grindelwaldgletscher und der Felsbewegung "Schlossplatten" am Fuss des Eigers werden derzeit durch eine Arbeitsgruppe untersucht und in einem separaten Bericht beschrieben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich infolge der Gletscherproblematik ein gegenüber den nachfolgenden Aussagen grösseres Gefahrenpotential ergibt (Flutwellen).

2.10.3 Schwarze Lütschine Grindelwald - Burglauenen

In Grindelwald sind die Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen abgeschlossen.

Mit den neu erstellten Schutzdämmen im Bereich Rollbahnbrücke - WAB-Brücke konnte die Abflusskapazität in der Schwarzen Lütschine erhöht werden. Das Gebiet Bahnhof Grund ist nun besser gegen Hochwasser geschützt als vor dem Ereignis 2005.

Die Abflussquerschnitte wurden mittels Kiesentnahmen wieder auf das Niveau vor dem Jahr 2005 gebracht. Die Schwarze Lütschine in Grindelwald wurde erst nach dem Hochwasserereignis vermessen. Die Sohlenlage konnte deshalb möglicherweise nicht exakt auf die gleiche Höhe wie vor dem Hochwasser ausgerichtet werden. Die alten Sohlenlagen wurden vor allem optisch überprüft und wiederhergestellt.

Das Gefahrenpotential von subglazialen Abflüssen aus dem Unteren Grindelwaldgletscher kann aufgrund der heutigen Kenntnisse nur sehr schwer abgeschätzt werden (siehe dazu auch Kapitel 2.9.1). Erste diesbezügliche Abklärungen haben aber gezeigt, dass Flutwellenszenarien gegenüber „normalen“ Hochwasser-

szenarien zu massiv höheren Gefährdungssituationen führen könnten. Die bestehenden Schutzbauten sind nicht auf Flutwellen-Extremereignisse ausgelegt, sie könnten ihre Funktion in einem solchen Fall eindeutig nicht erfüllen. In der Gemeinde Grindelwald besteht ein Alarmkonzept, welches direkt an die Messsonden im Gletschensee und in der Gletscherschlucht gekoppelt ist.

2.10.4 Schwarze Lüttschine Lüttschental - Zweilüttschinen

In der Steilstrecke Stalden wurden im Bereich der Brückenbauwerke der Kantonsstrasse (Eybrücke - Pfänglibrücke) im Rahmen der Sofortmassnahmen Sohlen- und Ufersicherungen zumindest provisorisch wieder hergestellt. Im oberliegenden Abschnitt von der Wehranlage Burglaenen bis oberhalb Eybrücke wurden aus Kostengründen keine Sicherungsmassnahmen ausgeführt.

Die Gefährdungssituation in der Steilstrecke kann mit derjenigen vor dem Ereignis 2005 verglichen werden. Das heisst, dass bei einem nächsten grösseren Hochwasser wieder Uferanrisse, ev. mit Rutschungen als Folge davon, zu erwarten sind. Im Bereich der Brückenbauwerke konnte die Situation mit den angeordneten Sofortmassnahmen erheblich verbessert werden.

Im Übergangsbereich von der Steil- in die Flachstrecke im Siedlungsgebiet (KW Lüttschental - Stägmatte) wurde abgelagertes Kiesmaterial aus der Sohle entnommen und provisorische Ufersicherungen erstellt. Der Schutzgrad liegt aber trotz dieser Massnahmen wohl eher tiefer als vor dem Jahr 2005.

Auch in der Flachstrecke von der Stägmatte an abwärts wurde im Winter 2005 / 2006 abgelagertes Kiesmaterial entnommen und ein minimaler Abflussquerschnitt wieder hergestellt. Die im Winter 2006 / 2007 vorgesehene Sohlenabsenkung hätte die Gefährdungssituation weiter entschärft, die Arbeiten konnten aber wegen Einwänden aus Fischereikreisen leider nicht ausgeführt werden.

Das Gefahrenpotential in der Gemeinde Lüttschental wird erst mit der Realisierung des Wasserbauplanes wirkungsvoll reduziert. Bei einem grösseren Hochwasserereignis vor Ausführung der geplanten Massnahmen können Schäden in der Grössenordnung des Ereignisses 2005 nicht ausgeschlossen werden, da weder die erforderlichen Abflussquerschnitte noch der notwendige Ablagerungsraum zur Verfügung steht.

In Gündlichswand konnte der Zustand vor dem Hochwasserereignis weitgehend wieder hergestellt werden.

2.10.5 Weisse Lüttschine Stechelberg - Zweilüttschinen

Die Schäden entlang der Weissen Lüttschine waren im Vergleich zur Schwarzen Lüttschine gering. Die Abflusskapazitäten konnten durch Kiesentnahmen wieder angehoben werden und der Schutzgrad entspricht in etwa demjenigen vor dem Ereignis 2005.

2.10.6 Vereinigte Lüttschinen Zweilüttschinen - Bönigen

Sohlenuflandungen schränken die Abflusskapazität von Zweilüttschinen bis zum Dangelstutz ein. Die Gefährdung ist auf dieser Strecke jedoch gering, da Vorländer ein Hochwasser gut aufnehmen können. Die Problemstellen beim Dangelstutz wurden repariert und können als stabil beurteilt werden.

Oberhalb der BOB-Brücke in Wilderswil schützen grosse Vorländer vor erheblicher Überflutungsgefahr.

Auf der Strecke Wilderswil - Bönigen sind die Dämme weniger widerstandsfähig als vor dem Ereignis. Sie wurden an den beschädigten Stellen nur notdürftig repariert. Obwohl die Dämme für kleinere Hochwasser grösstenteils noch stabil sein dürften, könnten ab ca. 150 - 160 m³/s (entspricht einem ca. 10-jährlichen Hochwasser) Probleme auftreten.

3 Vergleich mit Gefahrenkarten

Im Gebiet der Lüttschinentäler bestanden zur Zeit des Hochwassers im August 2005 Gefahrenkarten in den Gemeinden Grindelwald, Lüttschental, Gündlischwand, Lauterbrunnen und Gsteigwiler.

Die Gefahrenkarten werden durch eine Gefahrenbeurteilung aufgrund eines neunstufigen Intensitäts- / Wahrscheinlichkeitsdiagramms erstellt. Das Restrisiko wird gelb - weiss gestreift dargestellt (Abb 73). Rot bedeutet erhebliche Gefährdung, Blau eine mittlere und Gelb eine geringe Gefährdung für den betrachteten Perimeter.

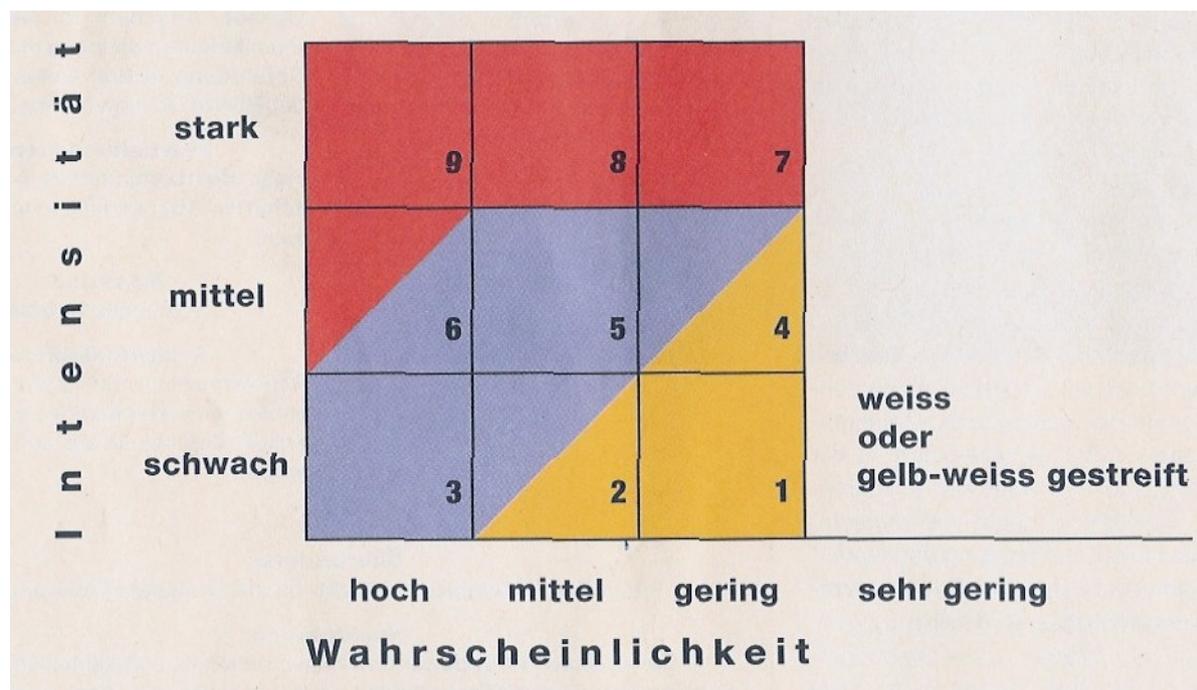


Abb 73 Intensitäts- / Wahrscheinlichkeitsdiagramm für Gefahrenkartenbearbeitung

Für nähere Erklärungen der Intensitäts- und Wahrscheinlichkeitskategorien wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

In der Folge werden die Gefahrenkarten mit dem Ereignis vom August 2005 verglichen und das Wesentlichste kurz kommentiert. Als Grundlage für die Vergleiche dienen einerseits die Gefahrenkarten, andererseits die kartografischen Aufnahmen nach dem Ereignis 2005 (siehe beiliegende Pläne Nr. 2167-1 bis 2167-6). Für die Gefahrenkarte werden nur die Beurteilungen im Zusammenhang mit Prozessen des Hochwassers 2005 berücksichtigt, d.h. vor allem in bezug auf den Talfluss. Seitenbäche und Rutschungen werden nur bei erfolgter Aktivität im Jahr 2005 einbezogen.

3.1 Grindelwald

Für Grindelwald ist bezogen auf das Ereignis vom August 2005 von einem Hochwasser geringer Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode >100 Jahre) auszugehen. Mit wenigen Ausnahmen handelte es sich zudem um ein Ereignis des Talflusses.

Ausbruchstelle resp. Überschwemmungsfläche	Qualifikation Ausbruch	Gefahrenkarte Kategorie	Beurteilung
Schwarze Lüttschine Mettenberg - Almisei	Ausbruch von Geschiebe / Feinmaterial	Ü8 / Ü7/ Ü2	vorhanden
Weisse Lüttschine oberhalb Gryth	Ausbruch von Geschiebe / Feinmaterial	Ü10	als Restrisiko vorhanden
Zusammenfluss - Rollbahnbrücke	Feinmaterial / Wasser	Ü10 / Ü1	vorhanden
Rollbahnbrücke - Bahnhof Grund	Feinmaterial / Wasser	Ü10	vorhanden
Bahnhof Grund - Parkplatz Männlichenbahn	Feinmaterial / Wasser	Ü10 / Ü5/ Ü4 Ü2	vorhanden
Im Boden	Feinmaterial	Ü4 / Ü3/ Ü2	vorhanden
Im Cheer / Ertli		Ü3 (?) / Ü1	vorhanden
Schwendibach	Übermürung / Geschiebe / Feinmaterial	M9/ M8 / M7 / M4	vorhanden
Tschingeley - Wehranlage Burglauenen	Überschwemmung / Feinmaterial	Ü10 / Ü5 / Ü4 / Ü3/ Ü2 / Ü1	vorhanden
Seitenbäche Burglauenen	Übermürung / Geschiebe	verschiedene Kategorien „M“	vorhanden

Abb 74 Beurteilung der Gefahrenkarte Grindelwald

Grundsätzlich sind die Überschwemmungsflächen des Hochwassers 2005 alle in der Gefahrenkarte berücksichtigt. Einzelne kleinere Abweichungen in der Beurteilung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens fallen kaum ins Gewicht. Lediglich die gerinnenahen Flächen links- und rechtsseitig der Weissen Lüttschine („In Edlen“, Ü10, d.h. Restgefährdung), würden nach dem heutigen Kenntnisstand eher einer mittleren Wahrscheinlichkeit zugeordnet, da diese bereits aufgrund der Flutwelle vom 2. Juli 1951 und nun im August 2005 überführt worden sind.

Zusammenflussbereich Weisse und Schwarze Lüttschine - Rollbahnbrücke

Die Kategorisierung potenzieller Überflutungsflächen mit „Ü1“ (geringe Wahrscheinlichkeit und schwache Intensität) dürfte zutreffen. Die im August 2005 überführten Flächen befinden sich innerhalb des auf der Gefahrenkarte einbezogenen Perimeters.

Rollbahnbrücke - Bahnhof Grund

Restgefährdung (Ü10). Diese Fläche wäre in Kenntnis der heutigen Lage in Ü1 oder Ü2 einzuordnen. Allerdings darf nicht vergessen werden, dass die Wiederkehrperiode des Ereignisses für den Bereich des Bahnhof Grund nicht genau bekannt ist (Abschätzungen gehen von einem Ereignis von seltener als 100 Jahren aus; allerdings wurde ein Bereich des Bahnhofes auch infolge der Wasserwelle vom 2. Juli 1951 überflutet).

Bahnhof - Parkplatz Männlichenbahn

Die Überschwemmungsflächen von 2005 sind links- und rechtsseitig der Lüttschine in der Gefahrenkarte enthalten, ebenso die überfluteten Flächen im Boden und Im Cheer.

Schwendibach

Auf der Karte ist eine Abgrenzung innerhalb der einzelnen Kategorien M9 bis M7 nicht dargestellt. Wird die Frage der Wahrscheinlichkeit ausgeklammert, ist aufgrund der entstandenen Schäden und der Überführungsmuster die Beurteilung für die Gefahrenkarte korrekt. Die Flächen unterhalb der Kantonsstrasse sind blau markiert (M4, geringe Wahrscheinlichkeit, mittlere Intensität). Das im Rahmen der Gefahrenkarte aufgezeigte Gefährdungsbild stimmt demnach recht gut mit den Ereignissen von 2005 überein.

Tschingeley

Für die Tschingeley trifft die generelle Beurteilung (mittlere bis seltene Wahrscheinlichkeit bei geringer Intensität) allgemein zu. Die überschwemmbar Fläche entspricht praktisch der im August 2005 überschwemmten Fläche.

Die Seitenbäche bei Burglauenen

1 Runse (auf der Karte nicht als eigentlicher Bach erkennbar) hatte im Bereich „Uf em Grund“ - „Ortweid“ Geschiebe abgelagert. Dieser Prozess fehlt auf der Gefahrenkarte.

3.2 Lüttschental

Die GK Lüttschental (GEOTEST AG, 2000) zählt zu den frühesten Gefahrenkarten des Kantons und entspricht damit nicht den heute verlangten Anforderungen. Die Beurteilung der Hochwassergefahr der Lüttschine basierte auf den alten Unterlagen von Kissling + Zbinden (Projekt 1 Schwarze Lüttschine, 1977 - 1985). In der GK Lüttschental ist die Überflutungsgefahr der Lüttschine nur dort dargestellt, wo sie nicht durch Wildbachgefahren überlagert ist (z.B. Gebiet "Lischa"). Eine detailliertere Beurteilung kann aufgrund des besagten Fehlens der Talflussprozesse nicht vorgenommen werden.

Es kann festgestellt werden, dass die GK Lüttschental bezüglich der Hochwassergefahr Lüttschine nur ungenügende Informationen liefert. Sie muss diesbezüglich dringend überarbeitet werden (siehe 3.8).

3.3 Gündlischwand

Die GK Gündlischwand (GEOTEST - Hunziker, Zarn & Partner, 2004) entspricht weitgehend den heutigen Anforderungen. Die Überflutungsgefahren werden klar deklariert. Allerdings ist die Abgrenzung der Überflutung von Seiten eines Wildbachs und jener von Seiten des Talflusses nicht ersichtlich. Dies ist ein Manko für das Gefahrenmanagement. Im Falle der GK Gündlischwand könnte die Begrenzung ohne zusätzliche Untersuchungen aufgrund der bestehenden Unterlagen in die GK übertragen werden.

Die 2005 überschwemmten Flächen im Rüdli, bei der Kantonsstrassenbrücke westwärts und im Bereich Bahnhof sind auf der Gefahrenkarte gelb eingefärbt zu finden. Das Hochwasser von 2005 wurde in Gündlischwand auf eine Jährlichkeit von ca. 300 Jahre eingeschätzt, so dass die weitgehende Einstufung in Kategorie „Ü1“ auch hier korrekt ist.

Südlich Zweilütschinen im Bereich „Hinder der Egg“ wurde das Ausuferungspotenzial der Weissen Lütschine allerdings unterschätzt, die 2005 überfluteten Flächen sind weiss.

3.4 Lauterbrunnen

Die Weisse Lütschine trat auf Gemeindegebiet Lauterbrunnen an wenigen Stellen über die Ufer (Abb 75):

Ausbruchstelle	Qualifikation Ausbruch	Gefahrenkarte Kategorie	Beurteilung
Schilthornbahn - Bornige Brücke	Geschiebe / Feinmaterial	Ü4 / Ü5	vorhanden
Bornige Brücke - 200 m nördlich, links und rechts	Geschiebe / Feinmaterial	Ü5	vorhanden
Briggmatta	Anbruch mit Auflandung	Ü5	vorhanden
Spiss	Geschiebe / Feinmaterial	Ü2	vorhanden
Eyetli	Feinmaterial	Ü4	vorhanden
Steinhalten	Wasser	?	vorhanden

Abb 75 Beurteilung der Gefahrenkarte Lauterbrunnen

Die während des Hochwassers 2005 aktiven Prozesse sind im wesentlichen in der Gefahrenkarte dargestellt. Für eine detaillierte Beurteilung muss die Wiederkehrperiode des Ereignisses bekannt sein. Diese kann aufgrund der vorhandenen Abflussmessungen bei der Station Zweilütschinen für diesen Bereich ermittelt werden (ca. 100 Jahre), hingegen ist die Wiederkehrperiode des Ereignisses insbesondere für Gebiete südlich Lauterbrunnen unbekannt. Die Annäherung: „Wiederkehrperiode Abflussmessstation = Wiederkehrperiode gesamtes Flussgebiet“ ist an sich unzutreffend. Da jedoch keine genaueren Daten für die Weisse Lütschine südlich Lauterbrunnen vorhanden sind, müssen die Einschätzungen in der Gefahrenkarte (mittlere und geringe Wahrscheinlichkeit bei den betreffenden Stellen gemäss Abb 73) als korrekt angesehen werden.

3.5 Gsteigwiler

Die Gemeinde Gsteigwiler befindet sich östlich der Vereinigten Lüttschinen, die Gemeindegrenze zu Wilderswil verläuft in der Lüttschine. Deshalb wurden auf der Gefahrenkarte Gsteigwiler nur die östlich der Lüttschine gelegenen Flächen beurteilt. Für die westlichen Gebiete und das Bödeli ist zur Zeit (April 2007) eine Gefahrenkarte in Bearbeitung, welche die Effekte des Hochwassers von 2005 selbstverständlich berücksichtigt.

Die Gefahrenkarte Gsteigwiler erstreckt sich vom Meizun (unterhalb des Zusammenflusses Schwarze und Weisse Lüttschine) bis zur Flisou bei der linksseitigen Mündung des Saxetbaches.

Ausbruchstelle	Qualifikation Ausbruch	Gefahrenkarte Kategorie	Beurteilung
Meizun - Riedgrabe	Feinmaterial / Wasser	Ü4 / Ü3	vorhanden
Strecke Riedgraben - Faltsche	Wasser	Ü10	vorhanden
Leuenberger Recycling	Geschiebe / Feinmaterial	Ü5	vorhanden
Bereich vis-à-vis Tschingelmatta	Feinmaterial / Wasser	Ü5	vorhanden
Flisou	Feinmaterial / Wasser	Ü9 / Ü6 / Ü3	vorhanden

Abb 76 Beurteilung der Gefahrenkarte Gsteigwiler

Der Vergleich mit der Gefahrenkarte erfolgt auf Grundlage eines ca. 300-jährlichen Ereignisses (geringe Wahrscheinlichkeit).

Die einzelnen Gefahrenkategorien gleicher Farbe (z.B. Ü6 / Ü3) sind nicht gegeneinander abgegrenzt. Beim Meizun sind die 2005 überschwemmten Flächen dargestellt. Unterhalb der Mündung des Riedgrabens wurde in der Gefahrenkarte eine Überschwemmungsfläche ausgeschieden (Ü3), im 2005 fand hier starke seitliche Erosion statt. Die betroffene Fläche wurde aber erfasst, ebenso diejenige oberhalb der „Garage“. Vis à vis der Tschingelmatta und in der Flisou sind die Überschwemmungsflächen ebenfalls berücksichtigt (Ü9 / Ü6 / Ü3).

In der Flisou sind Überschwemmungen in den letzten Jahren mehrfach vorgekommen, so dass die Zuteilung in eine Kategorie von „hoher Wahrscheinlichkeit“ korrekt ist.

3.6 Mysteries of the World

Bei der Erarbeitung der Gefahrenkarte wurde aufgrund der damaligen Erfahrungen von einem kurzdauernden Ereignis ausgegangen. Die Resistenz der Dämme wurde viel schwächer als sie sich 2005 erwiesen haben, beurteilt. Die Einstufung für die Gefährdung des Standortes für den Vergnügungspark hat dazu geführt, dass dieser für die entsprechenden Konstruktionen erhöht wurde.

3.7 Ufererosion

Der Prozess der Ufererosion vor allem in Prallhangsituationen spielte bei der Lüttschine an verschiedenen Stellen eine wichtige Rolle. Diesem Prozess wurde bis heute auf den Gefahrenkarten wohl zu wenig Rechnung getragen. Erfahrungen auch aus anderen Schadengebieten wie Reichenbach, Guttannen, Engelberg und Entlebuch zeigen, dass Ufererosion ein grosses Gefahrenpotenzial sein kann. Es ist eine der Lehren aus dem Unwetter 2005, diesem Prozess künftig mehr Beachtung zu schenken.

3.8 Fazit

Bei der Beurteilung der bestehenden Gefahrenkarten wurde - in Berücksichtigung der Wiederkehrperiode des Hochwassers vom August 2005 - generell eine gute Übereinstimmung zwischen Gefahrenkarte und abgelaufenem Hochwasserereignis festgestellt. Die Gefahrenkarten weisen also in dieser Hinsicht, abgesehen von einigen kleineren Flächen, realistische Einschätzungen der Gefahren auf.

Ein Manko ist, dass die Überflutungsprozesse, Wildbach und Talfluss meist nicht abgegrenzt sind. Dies ist aber für das Gefahrenmanagement wichtig.

Die GK Lüttschental sollte bezüglich Überflutung Talfluss unbedingt ergänzt werden. Bei den übrigen Gefahrenkarten sind Ergänzungen bezüglich oben erwähnter Abgrenzung zu empfehlen.

Der Prozess Ufererosion sollte bei einer Überarbeitung der GK ebenfalls gebührend berücksichtigt werden.



Abb 77 Grossflächige Übersarungen in Lüttschental
Aufnahme vom 24.08.2005, 10.44 Uhr.

4 Massnahmenkonzepte

Für die drei Hauptschadengebiete Grindelwald, Lüttschental und Bödeli wurden im Rahmen der Arbeitsgruppe LLE Lüttschine Hochwasserschutzkonzepte entwickelt. Im folgenden Abschnitt werden diese Konzeptideen vorgestellt.

Die seit dem Unwetter ausgeführten Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen wurden so weit möglich jeweils auch durch die Arbeitsgruppe LLE beurteilt. Dabei wurde darauf geachtet, dass keine Massnahmen zur Ausführung kamen, welche im Widerspruch zu den konzeptionellen Überlegungen stehen. Da diese Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen bei der Weiterbearbeitung (Folgeprojekte) unbedingt mit einbezogen werden müssen, werden sie einleitend zusammengefasst und beschrieben (Kapitel 4.1).

Als weitere Grundlage für die Massnahmenkonzepte und Folgeprojekte werden in Kapitel 4.2 die massgebenden Erkenntnisse aus der Ereignisanalyse zusammenfassend beschrieben und die entsprechenden Dimensionierungsgrössen festgelegt. In Kapitel 4.3 werden schliesslich in Abstimmung auf die jeweiligen Objekte und das Schadenpotential die Schutzziele für die Lüttschinentäler differenziert festgehalten.

Der aktuelle Bearbeitungsstand der Massnahmenkonzepte und -projekte (Kapitel 4.4 bis 4.6) unterscheidet sich wesentlich:

- In Grindelwald liegen erste Ideen für die kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung vor; die Empfehlungen zielen hauptsächlich darauf ab, den Geschiebehalt nachhaltig zu verbessern.
- Für das Gebiet Lüttschental wurde das in diesem Bericht beschriebene Konzept zwischenzeitlich zu einem Wasserbauplan weiter bearbeitet. Die erste Etappe der vorgesehenen Massnahmen soll ab Herbst 2007 ausgeführt werden.
- Das für den Raum Bödeli entwickelte Hochwasserschutzkonzept wurde in drei Prioritätsstufen aufgeteilt; für die Massnahmen 1. Priorität wird derzeit ein Wasserbaubewilligungsdossier erarbeitet.

4.1 Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen

In Anbetracht des enormen Ausmasses der Schäden mussten umfangreiche Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen eingeleitet werden.

In erster Priorität wurden Gerinneräumungen zur Gewährleistung eines minimalen Abflussquerschnittes durchgeführt. Im Winterhalbjahr 2005 / 2006 wurden dann die Infrastrukturanlagen soweit möglich wieder hergestellt und für zu erwartende Schneeschmelze-Abflüsse im Frühjahr 2006 gesichert (2. Priorität).

In dritter Priorität wurden schliesslich die Gerinnequerschnitte mittels Räumungen oder provisorischen Schutzdämmen auf die Sommerabflüsse vorbereitet. Glücklicherweise wurden im Sommer 2006 keine grösseren Abflüsse registriert und es waren keine neuerlichen Schäden zu beklagen.

Die Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen konnten bis heute weitgehend abgeschlossen werden. Bis in den Herbst 2007 werden an mehreren Orten noch Fertigstellungsarbeiten auszuführen sein.

In Anhang C1 ist eine zusammenfassende Auflistung mit zahlreichen Fotos der Bauausführung angefügt.

➤ **Anhang C1** **Abb 155 bis 213: Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen**

Die Sofortmassnahmen und Instandsetzungsarbeiten zur Sicherung der Kantonsstrasse Nr. 221 (kantonssegener Wasserbau) sind in einem separaten Technischen Bericht¹² dokumentiert.

¹² Technischer Bericht „Sofortmassnahmen und Instandsetzungsarbeiten, Kantonsstrasse Nr. 221, Vorschlag Kostenteiler“, Mätzener & Wyss Bauingenieure AG / Prantl Bauplaner AG, Februar 2007

4.1.1 Schadenssummen / Kostenübersicht Not-, Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen

Gemeinde	Schadenssummen / Kosten nach Kostenträger							Total
	Schwellen- korporation gemäss Subventions- abrechnungen	Gemeinden gemäss Angaben Gemeinden	Kantons- eigener Wasserbau gemäss Subventionsge- such an Bund	Kantons- strasse gemäss Angaben OIK	Bahnen gemäss Angaben Bahnen	National- strasse A8 gemäss Angaben TBA	Private, Dritte Schätzung, Basis 2 x GVB- Schadenssumme	
Grindelwald	4'050'000	2'250'000	20'000	1'550'000	-	-	3'300'000	11'170'000
Lütschental	3'300'000	1'200'000	1'110'000	2'470'000	-	-	2'100'000	10'180'000
Gündlischwand	1'215'000	920'000	60'000	-	-	-	2'100'000	4'295'000
Lauterbrunnen	765'000	270'000	-	3'000	-	-	600'000	1'638'000
Wilderswil	-	4'250'000	1'370'000	385'000	-	500'000	64'400'000	70'905'000
Gsteigwiler	-	50'000	-	-	-	-	300'000	350'000
Matten b. I.	-	2'130'000	-	-	-	-	18'000'000	20'130'000
Interlaken	-	505'000	-	-	-	250'000	60'000'000	60'755'000
Bönigen	-	335'000	-	-	-	2'200'000	9'700'000	12'235'000
Saxeten	-	10'000	-	-	-	-	8'000	18'000
Bödeli Süd	1'200'000	-	-	-	-	-	-	1'200'000
Berner Oberland- Bahnen	-	-	-	-	14'300'000	-	-	14'300'000
Wengernalpbahn (G'wald Grund)	-	-	-	-	1'520'000	-	-	1'520'000
Kraftwerk Jungfraubahn	-	-	-	-	1'300'000	-	-	1'300'000
Firstbahn	-	-	-	-	460'000	-	-	460'000
Schnige Platte- Bahn	-	-	-	-	375'000	-	-	375'000
Total	10'530'000	11'920'000	2'560'000	4'408'000	17'955'000	2'950'000	160'508'000	ca. 211 Mio.

Abb 78 Schadenssummen / Kostenübersicht Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen per Ende 2006

Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Mit Ausnahme der Sachwerte des Kantons und des Bundes sind die Haupt - Kostenträger aufgeführt. Die Kolonne Private und Dritte basiert auf den 2-fachen Schadenssummen der GVB (Gebäudeversicherung Bern). Mit diesem Wert sind die Sachversicherungswerte miteinbezogen. In Interlaken wurden 25% der Aare und 75% der Lütschine zugeordnet.

4.2 Massgebende Erkenntnisse aus der Ereignisanalyse

4.2.1 Einleitung

Die massgebenden Prozesse entlang der Lütschinen unterscheiden sich teilweise erheblich und müssen daher differenziert und pro Gerinneabschnitt betrachtet werden.

Für die Szenarienbildung sind folgende Einflussfaktoren relevant:

- Hochwasserspitze und -dauer
- Geschiebeeintrag und -transport

Im einem kürzlich veröffentlichten Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS) zu den „Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz“¹³ wird dargelegt, wie die Klimaänderung im Hochwasserschutz berücksichtigt werden muss und welche Massnahmen in Zukunft bei Hochwasserschutzprojekten zu treffen sind. Daraus kann zusammenfassend folgendes Fazit abgeleitet werden:

- Künftig werden vermehrt Hochwasser auftreten, die Extremwerte werden zunehmen.
- Die aktuellen Grundsätze für den Hochwasserschutz behalten ihre Gültigkeit.
- Die Schutzwirkung bestehender Anlagen (z.B. Schutzbauten) ist periodisch zu prüfen, das Schadenpotential ist zu beurteilen und notwendige Verbesserungen sind auszuführen.
- Bei der Beurteilung und Planung von Massnahmen ist das Verhalten im Überlastfall zu prüfen.
- Die Dimensionierungsgrössen (Abflussmenge, Wasserfracht, Geschiebe) sind vorausschauend im oberen Entscheidungsbereich festzulegen.

Diese wichtigen Feststellungen und Empfehlungen bilden neben der Ereignisanalyse (Kap 2) die Basis für die nun folgenden Abschnitte.

4.2.2 Grindelwald

Neben dem in Kapitel 2.3.4 beschriebenen Defizit an Abflusskapazität sind bei der Festlegung von Dimensionierungsgrössen vor allem die Probleme beim Geschiebehaushalt (Kapitel 2.4.5) speziell zu beachten.

Für das Gebiet Grindelwald ist es jedoch wegen noch laufender Untersuchungen im Bereich des unteren Grindelwaldgletschers zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich, Szenarien und Dimensionierungsgrössen zu beschreiben. Die Resultate dieser Untersuchungen werden voraussichtlich Ende 2007 in einem separaten Bericht veröffentlicht.

Unter diesen Umständen erscheint es besonders wichtig, dass die bestehende Notfallplanung (Alarmierung und Evakuation) regelmässig überprüft und falls erforderlich angepasst wird.

Für Studien und Planungen, welche noch vor Abschluss dieser Untersuchungen in Angriff genommen werden, sind folgende Grössen (unterhalb Zusammenfluss Schwarze / Weisse Lütschine) zu berücksichtigen:

- $HQ_{100} = \text{ca. } HQ_{2005} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$
- $EHQ = 180 \text{ m}^3/\text{s}$

(Einfluss von Flutwellen aus dem Unteren oder Oberen Grindelwaldgletscher nicht enthalten)

¹³ Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Hochwasserschutz
Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS)
Wasser Energie Luft, 99. Jahrgang, 2007, Heft 1

4.2.3 Lütschental

Für das Gebiet Lütschental konnte das Ereignis vom August 2005 relativ gut nachvollzogen werden. Die Ereignisanalyse (Kap 2) zeigt, dass der physikalisch bedingte Feststoffablagerungsprozess beim natürlichen Gefällsknick in Lütschental nicht eliminiert werden kann. Die Steilstrecke Stalden ist bei häufigen Ereignissen relativ stabil. Der kritische Abfluss für den Erosionsbeginn liegt bei ungefähr 100 m³/s. Bei seltenen Ereignissen mit langer Ereignisdauer können grosse Feststoffmengen mobilisiert werden.

Bei der Szenariendefinition wird einerseits von der Studie „Die Grösse der extremen Hochwasser der Lüt-schine“¹⁴ ausgegangen (Szenario „kurz“), andererseits werden die Erkenntnisse aus der Ereignisanalyse (Kap 2.4.6) und die eingangs (Kap 4.2.1) erwähnten Aspekte berücksichtigt (Szenarien „lang“ / „extrem“).

Szenario „kurz“ für Schwarze Lüt-schine, Lütschental (Sommergewitter) gemäss Hydrologie-Studie 2000 ¹⁴	
Ereignis	Hochwasserspitze Q [m ³ /s]
HQ ₃₀	100
HQ ₁₀₀	130

Abb 79 Szenario „kurz“ für Schwarze Lüt-schine, Lütschental

Szenario „lang“ für Schwarze Lüt-schine, Lütschental (lange Ereignisdauer)			
Ereignis	Hochwasserspitze Q [m ³ /s]	Geschiebeeintrag [m ³]	Zeit ansteigender Ast Ganglinie / Totale Ereignisdauer [h]
HQ ₃₀	130	30'000	
HQ ₁₀₀ = ca. HQ ₂₀₀₅	160	100'000	30 / 80
HQ ₃₀₀	220	120'000	

Abb 80 Szenario „lang“ für Schwarze Lüt-schine, Lütschental

Szenario „extrem“ für Schwarze Lüt-schine, Lütschental (1.5mal HQ ₁₀₀)			
Ereignis	Hochwasserspitze Q [m ³ /s]	Geschiebeeintrag [m ³]	Zeit ansteigender Ast Ganglinie / Totale Ereignisdauer [h]
EHQ	240	140'000	40 / 100

Abb 81 Szenario „extrem“ für Schwarze Lüt-schine, Lütschental

¹⁴ Die Grösse der extremen Hochwasser der Lüt-schine, Chr. Lehmann / F. Naef, November 2003

4.2.4 Bödéli

Auch für das Gebiet Bödéli konnte das Ereignis vom August 2005 relativ gut nachvollzogen werden. Die Ereignisanalyse (Kap 2) zeigt, dass hauptsächlich die ungenügende Abflusskapazität der Vereinigten Lüttschinnen für die Probleme verantwortlich ist.

In der Steilstrecke Dangelstutz oberhalb Wilderswil können bei seltenen Ereignissen mit langer Ereignisdauer grosse Feststoffmengen mobilisiert werden. Dieses Geschiebe wird dann beim Gefällsknick wieder abgelagert.

Wie in Lüttschental wird bei der Szenariendefinition einerseits von der Studie „Die Grösse der extremen Hochwasser der Lüttschine“¹⁵ ausgegangen (Szenario „kurz“), andererseits werden die Erkenntnisse aus der Ereignisanalyse (Kap 2.3.1, Kap 2.4.7) und die eingangs (Kap 4.2.1) erwähnten Aspekte berücksichtigt (Szenarien „lang“ / „extrem“).

Szenario „kurz“ für Vereinigte Lüttschinnen, Wilderswil (Sommergewitter) gemäss Hydrologie-Studie 2000 ¹⁴	
Ereignis	Hochwasserspitze Q [m ³ /s]
HQ ₃₀	175
HQ ₁₀₀	200

Abb 82 Szenario „kurz“ für Vereinigte Lüttschinnen, Wilderswil

Szenario „lang“ für Vereinigte Lüttschinnen, Wilderswil (lange Ereignisdauer)			
Ereignis	Hochwasserspitze Q [m ³ /s]	Geschiebeeintrag [m ³]	Zeit ansteigender Ast Ganglinie / Totale Ereignisdauer [h]
HQ ₃₀	185	10'000	
HQ ₁₀₀	220	25'000	
HQ ₂₀₀₅	250	30'000	40 / 100
HQ ₃₀₀	280	50'000	

Abb 83 Szenario „lang“ für Vereinigte Lüttschinnen, Wilderswil

Szenario „extrem“ für Vereinigte Lüttschinnen, Wilderswil		
Ereignis	Hochwasserspitze Q [m ³ /s]	Geschiebeeintrag [m ³]
EHQ	350	70'000

Abb 84 Szenario „extrem“ für Vereinigte Lüttschinnen, Wilderswil

¹⁵ Die Grösse der extremen Hochwasser der Lüttschine, Chr. Lehmann / F. Naef, November 2003

4.3 Schutzziele

In Anlehnung an die Wegleitung „Hochwasserschutz an Fließgewässern“ und in Absprache mit Auftraggeber und Fachstellen werden die Schutzziele für die bestehenden Nutzungen wie folgt definiert und festgelegt:

- Verhindern von neuen Risiken im roten Gefahrengebiet mittels raumplanerischer Massnahmen (unter Berücksichtigung baulicher Schutzmassnahmen).
- Keine hohen Intensitäten im Siedlungsgebiet (d.h. keine Todesopfer), d.h. keine roten Gefahrenbereiche.
- Höherer Schutzgrad für kurzfristig auftretende Ereignisse als für sich langsam anbahnende.
- Verbleibende Risiken werden mit organisatorischen Massnahmen reduziert.

Es werden folgende generelle Schutzziele definiert:

Objektkategorie	Schadengrenze Qa	Gefahrgrenze Qb
Naturlandschaft / Wald	Kein Schutzziel	
Landwirtschaft	HQ ₂₀	HQ ₃₀
Unbewohnte Einzelgebäude	HQ ₂₀	HQ ₅₀
Bewohnte Einzelgebäude	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀
Kantonsstrassen	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀
Geschlossenes Siedlungsgebiet	HQ ₁₀₀	EHQ
Bahnstrecken	HQ ₁₀₀	EHQ
Siedlungs- und Industriegebiete Bördeli	HQ ₃₀₀ - EHQ	EHQ
Kantonsstrassenbrücken	EHQ	
Kunstabauten Nationalstrasse N8	EHQ	

Abb 85 Schutzzieldefinition Lüttschöntäler

4.4 Hochwasserschutzkonzept Grindelwald

Das Gebiet oberhalb der Rollbahnbrücke wurde bis etwa 1955 nur landwirtschaftlich genutzt. Bei Extremhochwassern diente das Auengebiet „In Erlen“ als natürlicher Ablagerungsraum für überschüssiges Geschiebe. Ab 1955 (vier Jahre nach dem letzten grossen Gletscherausbruch von 1951) wurde die Nutzung dieses Gebietes intensiviert. Heute liegen verschiedene Objekte wie das Kieswerk Gryth oder eine Driving Range im unmittelbaren Bereich der ehemaligen Aue.

Unterhalb der Rollbahnbrücke nimmt die Nutzung noch einmal zu, im Talboden liegen unter anderem Werkstätte und Bahnhofstation der Wengernalpbahn AG, das „Mountain Hostel“ oder die Talstation der Männlichenbahn im Schutz von Hochwasserdämmen. Die Abflusskapazität der Schwarzen Lütschine ist auf diesem Abschnitt stellenweise zu gering und die wichtigen Infrastrukturanlagen wurden in der Vergangenheit mehrmals überflutet.

Basierend auf der Ereignisanalyse werden folgende Prioritäten für die Verbesserung der Hochwassersicherheit in Grindelwald festgelegt:

1. **Hochwasserschutz Grindelwald Grund**
2. **Homogenisierung des Längensprofils**
3. **Geschiebebewirtschaftung / Neue Aufweitung unterhalb Einmündung Schwendibach**
4. **Aufwertung des Auengebiets „In Erlen“**

Für den Hochwasserschutz Grindelwald Grund wurde Anfang 2007 bereits ein Auftrag für die Erarbeitung einer Konzeptstudie in Auftrag gegeben.

Die oben aufgeführten und in den beiliegenden Plänen Nr. 2167-11 und 2167-12 dargestellten konzeptionellen Ansätze werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.



Abb 86 Übersicht Weisse und Schwarze Lütschine Grindelwald.
Aufnahme vom 16.07.2006.

4.4.1 Hochwasserschutz Grindelwald Grund

Wie in Kapitel 2.3.4 beschrieben, verfügt die Schwarze Lütschine in Grindelwald nicht über genügend Abflusskapazität. Die Chilchbodenbrücke unmittelbar unterhalb der WAB-Brücke bildet dabei das Hauptengnis. Die Brücke soll deshalb aufgehoben und rund 200 m weiter unten mit grösserem Querschnitt wieder aufgebaut werden.

Das rechtsufrige Gebiet mit dem Bahnhof Grund und dem weiter unten liegenden Mountain Hostel bis zur Talstation der Männlichenbahn soll besser gegen Hochwasser geschützt werden. Dazu sind neue Hochwasserschutzdämme vorgesehen.

Der linksufrige Parkplatz der Wengernalpbahn AG soll bei Extremhochwassern überflutet werden können, der Vorlandabfluss muss mit geeigneten Massnahmen kontrolliert und wieder in das Hauptgerinne zurück geführt werden.

Die Wirkung der im Anschluss an das Hochwasserereignis vom August 2005 realisierten Not- und Sofortmassnahmen (Dammerhöhungen und neuer Querdamm Rollbahnbrücke) wird im Rahmen der Konzeptstudie zu prüfen und zu berücksichtigen sein. Falls erforderlich kann das Wasser oberhalb der Bahnwerkstätte mit einem Hinterdamm aufgefangen und über eine Rückleitstelle in das Hauptgerinne zurück geleitet werden.



Abb 87 Übersarungen in Grindelwald Grund während dem Hochwasserereignis.
Aufnahme vom 23.08.2005, 11.10 Uhr.

4.4.2 Homogenisierung des Längenprofils

Im gesamten Raum Grindelwald ist ein Ausgleich im Sohlenlängenprofil anzustreben. Gemäss Kapitel 2.4.5 ist eine polygonale Annäherung mit drei Teilstrecken möglich (Abb 42). Die Knickpunkte kämen einerseits zwischen Rollbahnbrücke und Sandbach und andererseits etwas unterhalb der Mündung des Schwendibachs zu liegen. Das oberste Gefälle würde 1.8 %, das mittlere etwa 1.3 % und das unterste 1.0 % betragen.

4.4.3 Geschiebemanagement / Neue Gerinneaufweitung „Schwand“

Bei der oben beschriebenen Gefällsabnahme ist es nicht möglich, das Geschiebe ohne Ablagerungstendenz durch den ganzen Abschnitt hindurch zu transportieren. Die natürlichen Einträge bei der Mettenbergbrücke (Schwarze Lütschine) und Gletscherschlucht (Weisse Lütschine) sind noch höher, als es dem Transportvermögen der Schwarzen Lütschine oberhalb der Rollbahnbrücke entspricht. Nach Möglichkeit sollte das natürliche Ablagerungsvermögen in den Schwemmkegeln wieder gefördert werden. Dies gilt vor allem für das Auengebiet von nationaler Bedeutung „In Erlen“.

Geschiebeentnahmen in der Weissen Lütschine werden aber auch in Zukunft notwendig sein, wenn die landwirtschaftliche und touristische Nutzung einigermaßen im heutigen Rahmen beibehalten wird. Allenfalls muss diese im Zusammenhang mit der zunehmenden Gefährdung durch Wasserausbrüche aus dem Unteren Grindelwaldgletscher eingeschränkt werden (siehe Kapitel 2.9.1).

Unterhalb der Schwendibachmündung sollte beim Gefällsknick eine kleine lokale Aufweitung angeordnet werden, damit überschüssiges Geschiebe laufend entnommen werden kann. Die bestehende kurze Steilstrecke ab der Mündung des Schwendibachs soll belassen werden, um bei Überlastung durch den Seitenbach den Transport bis in diese Aufweitung zu ermöglichen.

4.4.4 Aufwertung des Auengebiets „In Erlen“

Konzepte für die Aufwertung des Auengebiets wurden schon früher aufgezeigt¹⁶. Für den Unterlauf entscheidend ist vor allem eine Aufweitung im Bereich des Zusammenflusses und der Schwarzen Lütschine bis zur Rollbahnbrücke. Durch die Reduktion der Transportkapazität wird die Ablagerungstendenz in den Zusammenfluss- und Auenbereich verlagert. Die grössere Breite kompensiert das steilere Gefälle und es kann annähernd kontinuierlicher Geschiebedurchgang im Bereich der Rollbahnbrücke erreicht werden, wo heute eine latente Ablagerungstendenz herrscht. Breite und Gefälle sowie die genaue Lage des Knickpunkts müssen noch aufeinander abgestimmt und optimiert werden. Der Betrieb der Kieswerke muss angepasst werden. So könnte das Auffangbecken, das heute im Bereich der Mündung angeordnet ist, weiter flussaufwärts seitlich der Weissen Lütschine angeordnet werden. Die Schmelzhochwasser würden diesem Becken zugeführt, während Extremhochwasser daran vorbei fließen und das Geschiebe im Auengebiet ablagern könnten. Dadurch würde auch die konzentrierte Ablagerung im Zusammenflussbereich wie im August 2005 verhindert oder zumindest abgedämpft werden.

4.4.5 Wehranlage Burglauen

Die Schwelle ob der Fassung Burglauen könnte um etwa 1 bis 1.5 m abgesenkt werden. Dies bedingt eine Anpassung der Ufersicherungen im Oberwasser. Durch diese Massnahme kann mehr Geschiebe ans Unterwasser abgegeben werden. Ein vollständiger Geschiebedurchgang durch die untere Strecke wäre aber nur bei einer massiven Absenkung der Schwelle und des Wehrs möglich, was unverhältnismässig erscheint. Dieser Abschnitt müsste dann auch grösstenteils neu gestaltet werden.

¹⁶ M. Jäggi, ‚In Erlen‘ – Grindelwald, flussmorphologisches Gutachten zu den Möglichkeiten der Auenrevitalisierung, im Auftrag der Kieswerke Gryth und Gletscherschlucht, P 36, April 1996

4.5 Hochwasserschutzkonzept Lüttschental

In Anbetracht der hohen Dringlichkeit wurde das Gebiet Lüttschental im Rahmen der LLE Lüttschine in erster Priorität bearbeitet. Es wurden verschiedene Lösungsansätze diskutiert und beurteilt. Aus dieser Diskussion hat sich eine Kompromisslösung im Spannungsfeld zwischen Hochwasserschutz, Gewässerraum und Bodennutzung herauskristallisiert, wobei dem Hochwasserschutz für den Siedlungsbereich, für die Verkehrsträger und für Infrastrukturanlagen ein hoher Stellenwert zukommt.



Abb 88 Gemeinde Lüttschental nach dem Hochwasserereignis

Der hohe Geschiebeeintrag in Kombination mit hohen Abflussspitzen stellt die Hauptgefährdung für den Raum Lüttschental dar. Die heute zur Verfügung stehenden Ablagerungsräume reichen nicht aus, um die Feststoffmengen aufzunehmen und die auf der aufgelandeten Sohle verbleibenden Abflussquerschnitte verfügen nicht über eine genügend grosse Kapazität zur schadlosen Durchleitung von Hochwassern.

4.5.1 Variantenstudien und Entscheide

Die folgenden grundsätzlich möglichen Massnahmen wurden auf Konzeptstufe auf ihre Machbarkeit und Wirksamkeit überprüft:

- a) Verhinderung Geschiebeeintrag
- b) Geschieberückhalt
- c) Durchleitung Geschiebe
- d) - f) Vergrösserung Gewässer- und Ablagerungsraum

Anhang C2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Varianten und über die durchgeführte (qualitative) Bewertung.

➤ Anhang C2 Variantenstudium Hochwasserschutz Lüttschental

Das Variantenstudium führte zum Schluss, dass mit der Schaffung eines Geschiebebewirtschaftungsraumes mit abgesenkten Vorlandbereichen das beste Kosten- / Nutzenverhältnis erzielt werden kann.

Die Lösung bildet die Basis für das Projekt des Neubaus der Kantonsstrassenbrücke in der Stägmatte, welche beim Hochwasser 2005 Totalschaden erlitt. Die Wiederherstellung der Kantonsstrasse und damit die Ablösung des Provisoriums durch einen definitiven Brückenneubau erfordert zwingend die Realisierung der Wasserbaumassnahmen.

4.5.2 Schutzkonzept

Das Konzept sieht vor, die Gerinnegeometrie so anzupassen, dass der Gefällsknick an einen günstigen Ort zu liegen kommt und dass oberhalb und unterhalb davon die Geschiebetransportkapazität möglichst konstant ist. Im Bereich des Gefällsknicks wird das Gerinne etwas aufgeweitet. Bei häufigen Ereignissen (jährliche bis 20-jährliche Abflüsse) soll überschüssiges Geschiebe im Bereich dieser Aufweitung abgelagert werden können. Es muss dann periodisch entnommen werden.

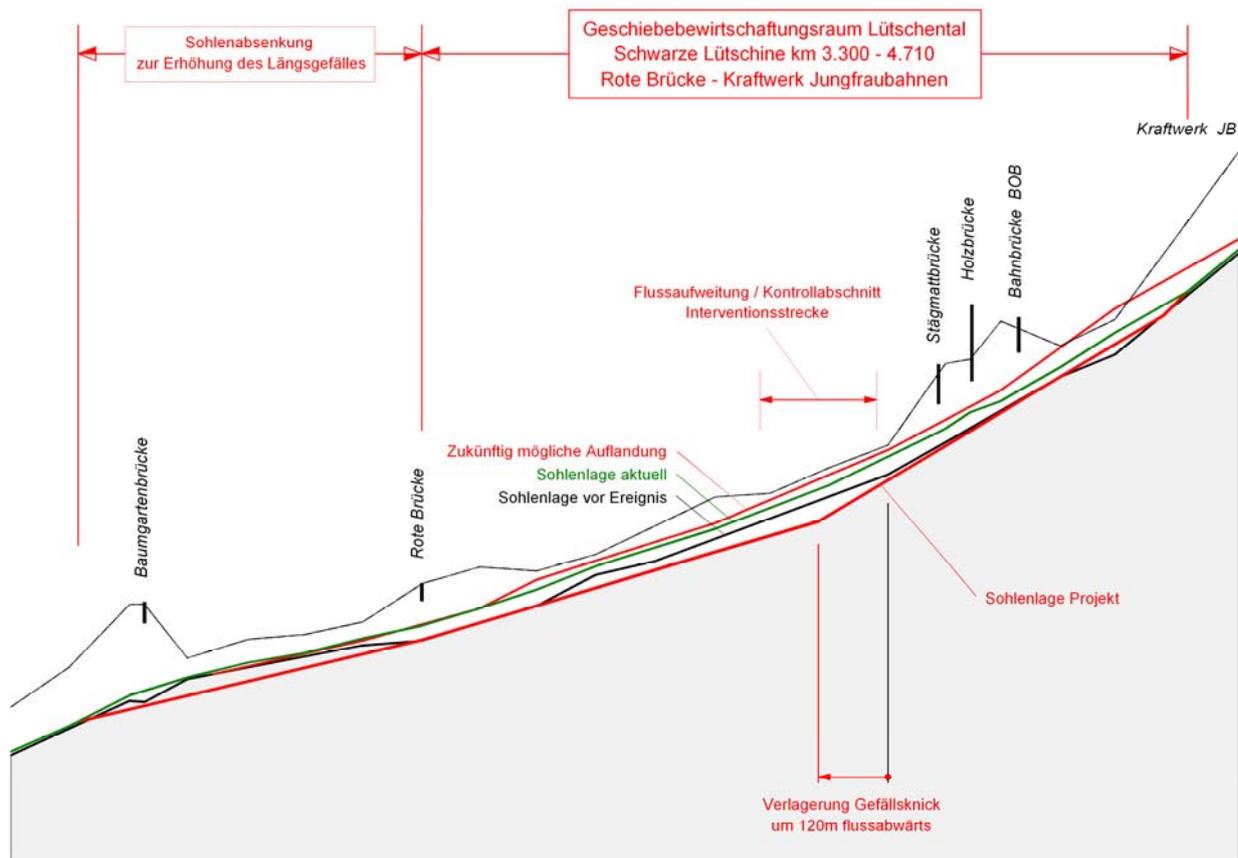


Abb 89 Längsprofil HWS-Konzept Lüttschentäl

Bei Extremereignissen wie im August 2005 ist mit Ablagerungsvolumina in der Grössenordnung von 100'000 m³ zu rechnen. Durch das Projekt wird für eine solche Menge Raum geschaffen. Im Falle einer solch massiven Ablagerung müssen allerdings die abgesenkten Vorländer ausserhalb des Gerinnes beansprucht werden. Da solche Ereignisse aber sehr selten sind (möglicherweise in durchschnittlichen Abständen von über 100 Jahren auftreten), kann dieses Gebiet landwirtschaftlich genutzt werden. Die Ablagerungen solch grosser Mengen ist aber nach Realisierung des Projekts möglich, ohne dass es zu grösseren Schäden an Gebäuden und Infrastruktur kommt.

Ein Problem dieses Ausbaus liegt darin, dass der Abfluss auf einer Ablagerung sehr instabil ist. Wie das Ereignis vom August 2005 gezeigt hat, pendelt der Abfluss dann leicht seitlich hin und her. Trotz Sohlenhebung kann es zu seitlichen Abflusskonzentrationen und dadurch zu Ufererosionen kommen. Deshalb müssen einzelne Gebäude und die Bahnlinie der BOB gezielt gegen Seitenerosion geschützt werden.

Die Querprofil-Geometrie im Bereich des Geschiebebewirtschaftungsraums wurde in Anlehnung an die Schutzzieldefinition in Kapitel 4.3 darauf ausgelegt, dass ein 20-jährliches Hochwasser gerade noch innerhalb des Hauptgerinnes abgeleitet werden kann. Erst bei selteneren Ereignissen können aus der Steilstrecke Stalden grössere Geschiebemengen eingetragen werden und über grössere Strecken Material abgelagert werden. In diesem Fall werden dann auch die Vorländer beansprucht. Abb 90 verdeutlicht diese Konzeptidee.

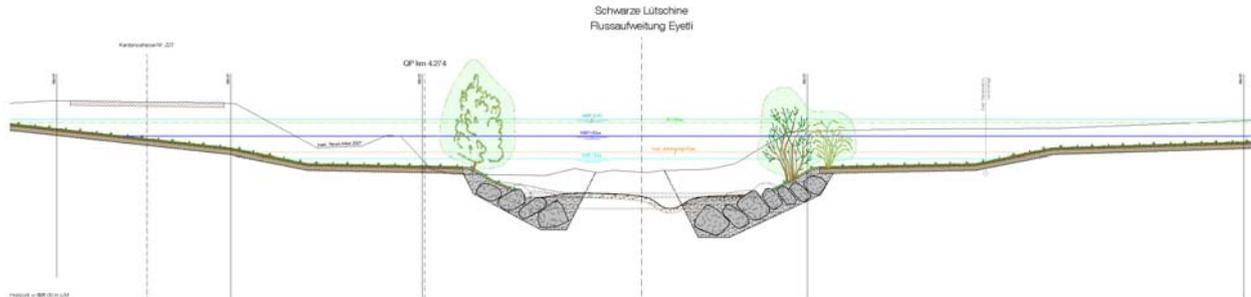


Abb 90 Typisches Querprofil mit abgesenkten Vorländern aus dem HWS-Konzept Lüttschental

Die gemäss dem Schutzkonzept vorgesehenen Massnahmen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Schaffung eines natürlichen Ablagerungsraumes (Sohlenabsenkung Stägmatta - Rote Brücke auf Niveau 2003)
- Schaffung von ausreichendem Abflussquerschnitt durch Vorlandabsenkungen
- Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit (Sohlenabsenkung zur Erhöhung des Längsgefälles Rote Brücke - Baumgartenbrücke)
- Verlagerung Gefällsknick um 120 m flussabwärts (weg vom Siedlungsraum)
- Lokale Flussaufweitung / Kontrollabschnitt im Bereich des neuen Gefällsknickes mit Intervention in den ersten zwei bis drei Jahren, danach nur nach Hochwasserereignissen
- Intervention im gesamten Geschiebebewirtschaftungsraum (Rote Brücke – Kraftwerk JB) nur nach Extremereignissen erforderlich
- Gezielte Längsverbauung der Ufer (Prallufer mit Blocksatz, Streichufer mit Fussblöcken)
- Naturnahe Gerinne- und Ufergestaltung
- Wiederherstellung der Uferbestockung

Der Massnahmenentwurf (Vorprojekt) wurde mit Hilfe einer numerischen 1D-Modellierung (Wasser und Geschiebe) überprüft.

Die wesentlichen Vorteile des Schutzkonzepts liegen neben der generellen Verbesserung der Hochwassersicherheit darin, dass die landwirtschaftlich nutzbare Fläche weitgehend erhalten bleibt und dass der natürliche Geschiebehaushalt nicht durch harte Massnahmen gestört wird.

Das Schutzkonzept ist in den beiliegenden Plänen Nr. 2167-9 resp. 2167-10 ersichtlich.

Die Gesamtkosten für den Hochwasserschutz Lüttschental betragen rund Fr. 7.9 Mio.

4.5.3 Kantonsstrasse Lüttschental - Burglauenen

Brückenbauwerke

Die heutige Kantonsstrasse Nr. 221 zwischen Lüttschental und Burglauenen ist geprägt durch zahlreiche Brückenübergänge über das Gerinne der Schwarzen Lüttschine.

Es handelt sich um folgende, teilweise sanierungsbedürftige Brückenobjekte:

(in Klammern ist der Zustand nach dem Hochwasserereignis vom August 2005 beschrieben)

- Objekt 10212, Stägmattabrücke, Baujahr 1963 (stark beschädigt, musste abgebrochen werden)
- Objekt 10213, Pfänglibrücke, Baujahr 1969 (Betonriegel im Widerlagerbereich unterkolt)
- Objekt 10214, Lindibrücke, Baujahr 1939 (linksufriges Widerlager hinterspült, Quersperren weggerissen)
- Objekt 10215, Zaunbrücke, Baujahr 1967 (Brücke ohne Schaden, drei Quersperren zerstört)
- Objekt 10216, Eybrücke, Baujahr 1956 (einsturzbedroht wegen unterkoltter Einzelfundamente, Quersperren weggerissen)
- Objekt 10217, Wartenberggrabenbrücke, Baujahr 1941 (keine Schäden)

Die Stägmattabrücke liegt im Ablagerungsbereich unmittelbar beim Gefällsknick in Lüttschental. Hier ist vorgesehen, ein neues Brückenbauwerk zu errichten¹⁷, welches auf ein Extremhochwasser EHQ ausgelegt ist.

Die übrigen Brücken liegen in der Steilstrecke Stalden. Aufgrund des grossen Längsgefälles in der Schwarzen Lüttschine können hier während Hochwassern enorme Belastungen der Sohlen- und Uferbereiche entstehen und die Brückenbauwerke sind in der Folge durch Kolk- und Erosionserscheinungen direkt gefährdet (siehe dazu Kapitel 2.8.4).

Neben den in den nächsten Jahren zwangsläufig anfallenden Kosten für Instandsetzungsarbeiten der Brückenbauwerke sind weitere Kosten für die Schadenverhinderung und -behebung vor und nach Hochwassern zu erwarten.

Linienführung

Die bestehende Linienführung auf der Strecke Eybrücke bis Wartenberggrabenbrücke ist aus Sicht der Verkehrssicherheit nicht unproblematisch. Die engen Wendeplatten in Verbindung mit relativ hohen Längsneigungen (lokal bis ca. 17 %) führten in der Vergangenheit zu zahlreichen Unfällen.

Gemäss der Unfallstatistik des Tiefbauamtes des Kantons Bern ereigneten sich von 1992 - 2006 (15 Jahre) auf dieser Strecke insgesamt 76 Verkehrsunfälle. Dabei wurden 48 Personen verletzt (38 leicht, 10 schwer) und es war auch ein Todesfall zu beklagen. Die Schadensumme dieser Unfälle beträgt ca. Fr. 800'000.-.

In Anbetracht dieser Tatsachen wurde ebenfalls im Rahmen der Arbeitsgruppe LLE Lüttschine nach Lösungen zur Verbesserung dieser Situation gesucht.

In Abb 91 sind erste Konzeptideen dargestellt, in den nachfolgenden Unterabschnitten 4.5.3.1 bis 4.5.3.3 werden die drei Varianten kurz beschrieben.

¹⁷ Strassenplan Kantonsstrasse Lüttschental, Mätzener & Wyss AG / Metron Bern AG, Projekt vom Dezember 2006

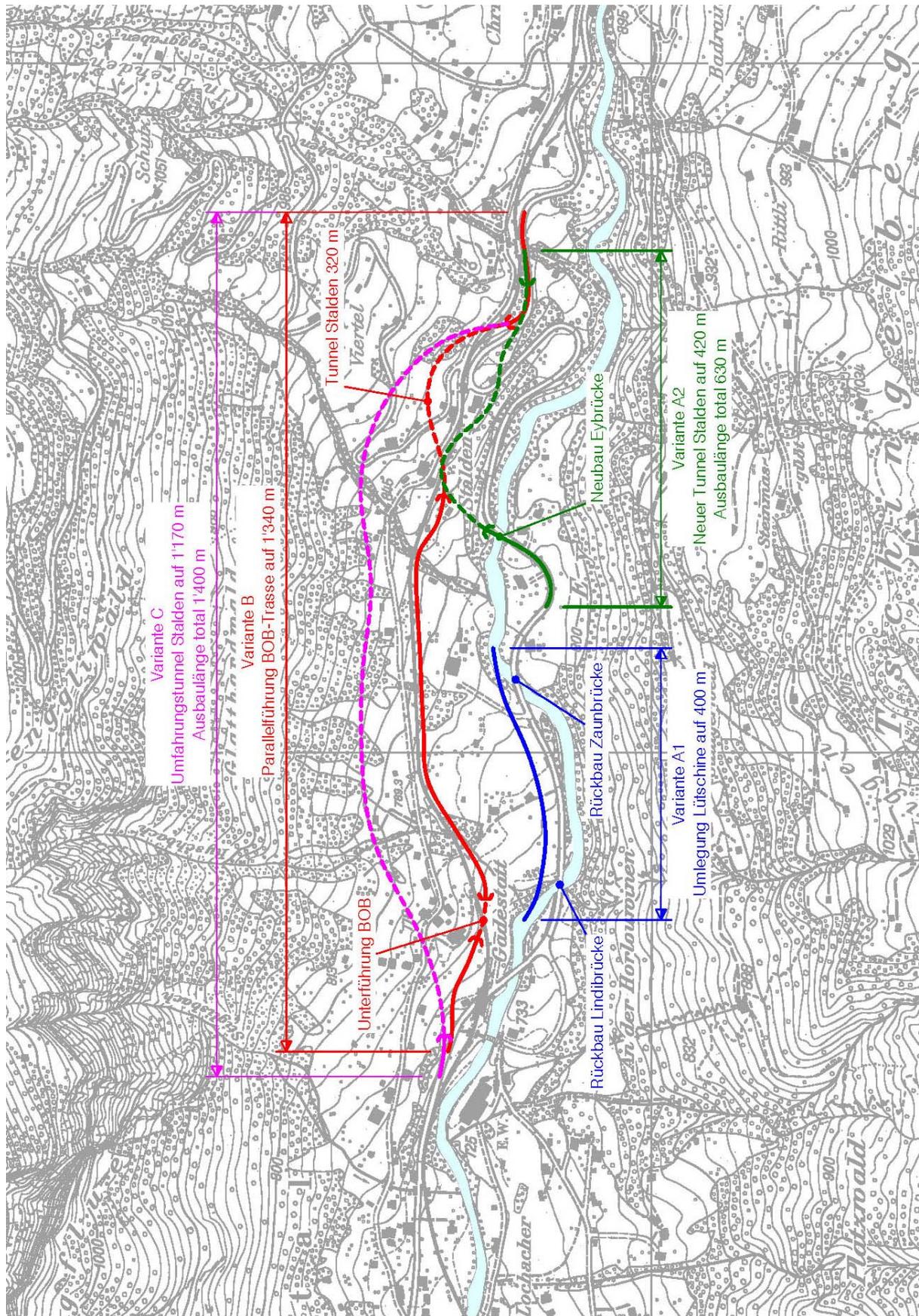


Abb 91 Konzeptideen Optimierung / Anpassung Linienführung Kantonstrasse Nr. 221 Lüttschentäl - Burglauenen

4.5.3.1 Variante A: Umlegung Lütschine / Strassenausbau

A1: Umlegung Lütschine

Im Rahmen des im Herbst 2006 durchgeführten Variantenstudiums für den Objektschutz Zaunbrücke¹⁸ wurde auch eine Alternativ-Variante „Umlegung Lütschine“ ausgearbeitet. Diese sieht vor, die Lütschine zwischen der Zaun- und Lindibrücke (Länge = 400 m) auf die Nordseite der Kantonsstrasse zu verlegen.

Nach der Umlegung der Lütschine können die beiden Brücken (Lindi- und Zaunbrücke) zurück gebaut werden. Der bestehende Gerinneabschnitt zwischen der Zaun- und Lindibrücke wird mit dem anfallenden Aus-hubmaterial aufgefüllt und rekultiviert. Durch die Verlegung der Lütschine fällt die Erosion am aktiven linksufrigen Hangrutsch weg, was zu einer Stabilisierung führt.

Die Kosten für diese Massnahmen wurden auf rund Fr. 6 Mio. geschätzt.

A2: Strassenausbau Ey - Wartenberggraben

Mit dem Neubau der Strassenanlage auf der Strecke Ey - Wartenberggrabenbrücke (Ausbaulänge = total ca. 630 m) kann die problematische Steilstrecke Stalden aufgehoben und die Situation im Bereich der Eybrücke verbessert werden. Die Konzeptidee besteht aus folgenden Objekten:

- Strassenanpassung auf L = ca. 125 m südlich der Eybrücke
- Neubau Eybrücke:
 - Optimierte horizontale Linienführung (neu in rechtem Winkel zur Lütschine)
 - Rückversetzte Brückenwiderlager
 - Hauptspannweite L_w = ca. 35 m
 - Anhebung der Fahrbahn um ca. 5 - 6 m gegenüber heute
- Neuer Tunnel Stalden:
 - Länge = ca. 420 m
 - Längsneigung = i.M. 13.5 - 14.0 %
 - Tunnelportal West beim nördlichen Widerlager Eybrücke
 - Tunnelportal Ost bei Wartenberggrabenbrücke
- Strassenanpassung auf L = ca. 50 m östlich Tunnelportal Nord

Die Kosten für diese Massnahmen wurden auf rund Fr. 24 Mio. geschätzt.

Mit der vorgeschlagenen Variante A werden mit Ausnahme der Pfänglibrücke sämtliche während Hochwasserereignissen gefährdeten Brückenbauwerke rückgebaut oder neu erstellt. Bei der Pfänglibrücke müssen Objektschutzmassnahmen (Sohlensicherung) vorgesehen werden.

Die Gesamtkosten für Variante A betragen rund Fr. 30 Mio. (Grobkostenschätzung).

¹⁸ Variantenstudium „Wiederherstellung Objektschutz Zaunbrücke“, Mätzener & Wyss AG / PD Dr. M. Jäggi, November 2006

4.5.3.2 Variante B: Parallelführung BOB-Trasse

In Variante B wird die Kantonsstrasse auf der gesamten Strecke vom Kraftwerk Lüttschental bis zur Wartenberggrabenbrücke (Ausbaulänge = total ca. 1'340 m) verlegt und parallel zur Trasse der Berner Oberland Bahnen geführt. Die Konzeptidee besteht aus folgenden Objekten:

- Offene Strecke Kraftwerk JB - Stalden:
 - Offene Strecke mit berg- oder talseitigen Stützkonstruktionen auf L = ca. 790 m
 - Unterführung BOB Gadestatt (L = ca. 60 m)
 - Neue Brückenbauwerke Ryschbach und Staldenbach
 - Längsneigung = i.M. 10.0 %
- Neuer Tunnel Stalden:
 - Länge = ca. 320 m
 - Längsneigung = i.M. 13.0 %
 - Tunnelportal West im Stalden
 - Tunnelportal Ost bei Wartenberggrabenbrücke
- Strassenanpassung auf L = ca. 175 m beim Tunnelportal Ost mit Tieferlegung Wartenberggraben
- Neubau Wartenberggrabenbrücke, Spannweite = ca. 10 m

Problematisch erscheint bei diesem Massnahmenvorschlag die Erschliessung der Liegenschaften entlang der heutigen Kantonsstrasse. Ob und wie die bestehenden Kantonsstrassenbrücken aufrecht erhalten werden, wäre abzuklären.

Die Gesamtkosten für Variante B wurden auf rund Fr. 30 Mio. geschätzt (Grobkostenschätzung exkl. Rückbau Kantonsstrassen und Brücken / Erschliessungen).

4.5.3.3 Variante C: Umfahrungstunnel Stalden

In Variante C wird die Kantonsstrasse ebenfalls auf der gesamten Strecke vom Kraftwerk Lüttschental bis zur Wartenberggrabenbrücke (Ausbaulänge = total ca. 1'400 m) verlegt und neu in einem Umfahrungstunnel geführt. Die Konzeptidee besteht aus folgenden Objekten:

- Strassenanpassung Tunnelportal West auf L = 60 m
- Neuer Umfahrungstunnel Stalden:
 - Länge = ca. 1'170 m
 - Längsneigung = i.M. 10.0 %
- Strassenanpassung auf L = ca. 175 m beim Tunnelportal Nord mit Tieferlegung Wartenberggraben
- Neubau Wartenberggrabenbrücke, Spannweite = ca. 10 m

Auch bei dieser Variante müsste die Erschliessung der Liegenschaften entlang der heutigen Kantonsstrasse im Detail abgeklärt werden.

Die Gesamtkosten für Variante C wurden auf rund Fr. 55 Mio. geschätzt (Grobkostenschätzung exkl. Rückbau Kantonsstrassen und Brücken / Erschliessungen).

4.6 Hochwasserschutzkonzept Bödeli

Im Raum Bödeli führte das Hochwasserereignis vom August 2005 zu enormen Schäden an Gebäuden, Infrastruktur und Kulturland. Das Gebiet wurde im Rahmen der LLE Lüttschine in zweiter Priorität bearbeitet.

4.6.1 Konzeptionelle Überlegungen

Die grossräumige Überflutung der Siedlungsgebiete von Wilderswil, Matten und Interlaken wurde verursacht durch den Dammbreach im Gebiet Musterplatz in Wilderswil sowie durch zu geringe Abflusskapazitäten oberhalb der Holzbrücke Gsteig (ebenfalls in Wilderswil). Vom Gefällsknick am Ende der Steilstrecke Dangelstutz bis zur BOB-Brücke in Wilderswil wurde ausserdem ungefähr 26'000 m³ Geschiebmaterial abgelagert. Siehe auch Kapitel 2 Ereignisanalyse.

Neben den Erkenntnissen aus der Ereignisanalyse galt es bei der Konzeptbearbeitung folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Geschiebehaushaltstudie Lüttschindelata
- Projekt XVIII/2003, Hochwasserschutz Einlauf Sagibach - Untere Bönigbrücke, Bönigen
- Projekt Hochwasserschutz Allmend und Gsteig, Wilderswil / Gsteigwiler
- Projekt Hochwasserschutz Musterplatz, Einmündung Saxetbach - BOB Brücke, Wilderswil / Gsteigwiler



Abb 92 Grossräumige Überflutung Bödeli Hochwasserereignis 2005



Abb 93 Überflutungsflächen Bodeli Hochwasserereignis 2005

4.6.2 Szenarien

Bei einem 100-jährlichen Hochwasser mit langer Ereignisdauer (Szenario „lang“) beträgt die Abflussspitze gemäss Szenariendefinition ca. $220 \text{ m}^3/\text{s}$ und es ist am Ende der Steilstrecke Dangelstutz mit einem Geschiebe - Überschuss von etwa $30'000 \text{ m}^3$ zu rechnen. Die Abflussspitze für ein Extremereignis (EHQ) wird auf $350 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt.

4.6.3 Schutzkonzept

Ein Gerinne-Vollausbau (Strecke Wilderswil - Brienersee), welcher auf das Extremszenario und damit auf die Durchleitung der Wassermassen ausgelegt ist, stösst an die Grenzen der technischen Machbarkeit. Das Konzept sieht deshalb in Anlehnung an die aktuelle Schutz-Philosophie des Bundes eine Kombination aus Durchleiten (Gerinneausbau soweit, dass ein Ereignis in der Grösse Hochwasser 2005 innerhalb des Abflussprofils mit minimalem Freibord abgeleitet werden kann) und Umleiten / Rückhalten (Abflusskorridor) vor.

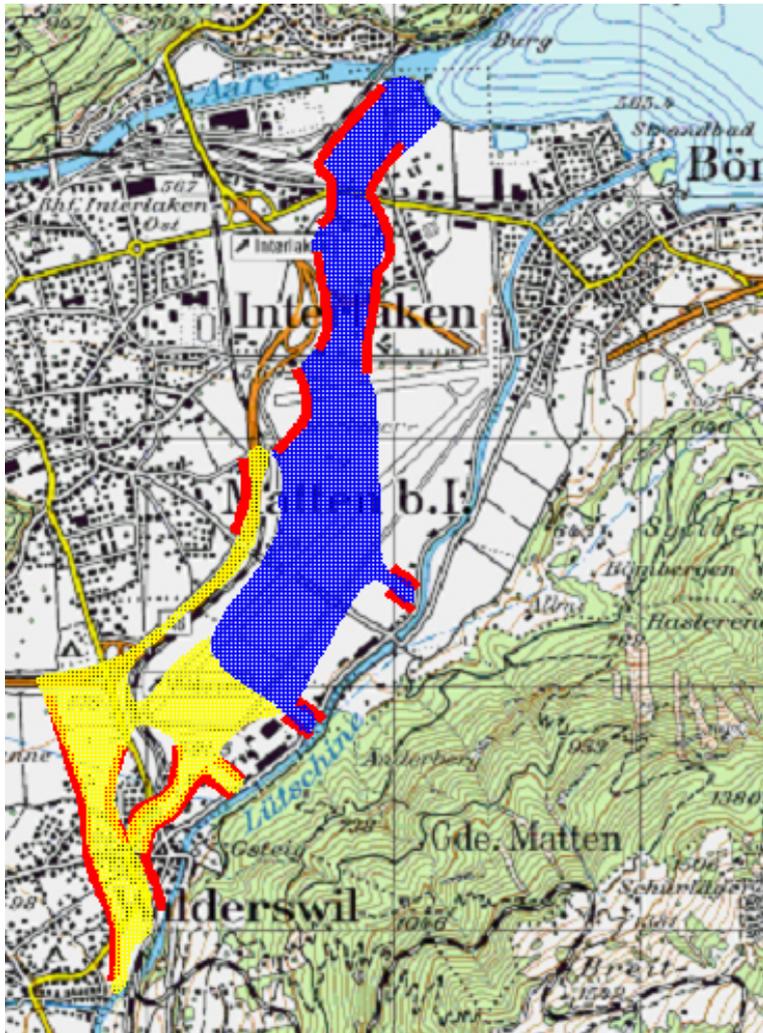


Abb 94 Erste Konzeptidee Hochwasserschutz Bödeli (PD Dr. M. Jäggi)

Das Schutzkonzept ist aufgrund der unterschiedlichen Dringlichkeiten in drei Prioritätsstufen aufgeteilt.

1. Priorität: Verhinderung Überflutung Interlaken Ost mit Schutzdämmen und mobilen Massnahmen

Prioritär soll die Überflutung von weiten Teilen der Siedlungsgebiete von Matten und Interlaken im Überlastfall verhindert werden. Dies kann gemäss den aktuellen Erkenntnissen mit relativ einfachen Massnahmen erreicht werden. Der im August 2005 von der Nationalstrasse N8 ausgehende Vorlandabfluss wird mit einem neuen Schutzdamm westlich der Autobahn verhindert. Daneben sind weitere Terrainanpassungen und auch einige mobile Massnahmen vorgesehen. Mit diesem Massnahmenpaket kann das Schadenbild grossflächig und effizient reduziert werden.

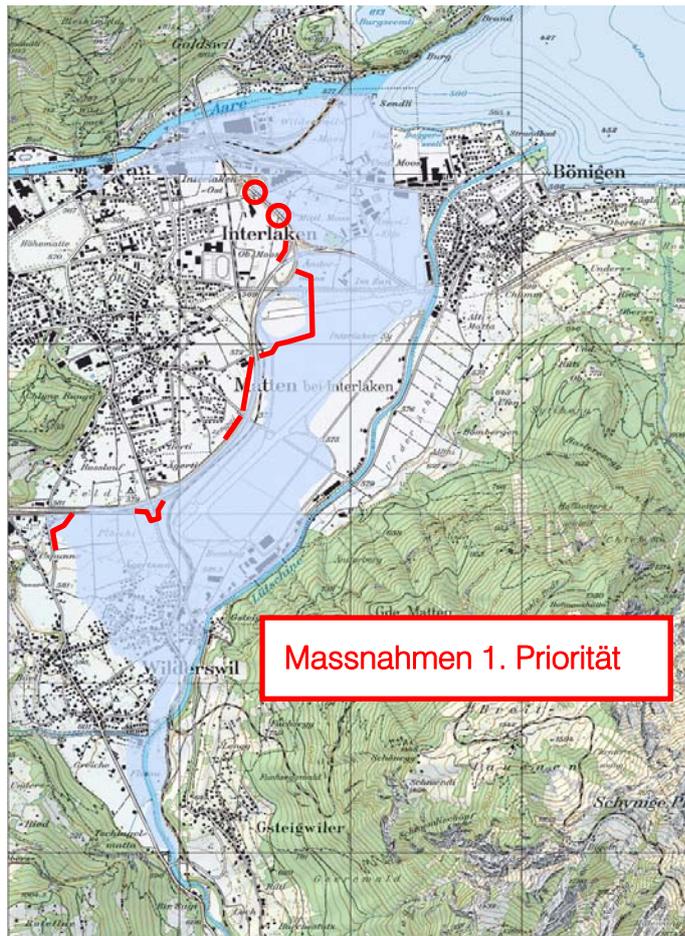


Abb 95 HWS Bödeli Massnahmen 1. Priorität mit approximativen Überflutungsflächen nach Realisierung

Mit den Massnahmen 1. Priorität kann bereits kurzfristig, d.h. noch bevor die ungenügende Abflusskapazität der Vereinigten Lütschinen verbessert wird, ein massgeblicher Schutz erreicht werden.

2. Priorität: Teilausbau Gerinne / Abflusskorridor Flugplatz - Moos - Sendli / Optimierung Geschiebehaushalt

Die Massnahmen 2. Priorität beinhalten u.a. den teilweisen Gerinneausbau von Wilderswil bis zur Mündung in den Brienersee. Es sind dazu folgende Projektabschnitte festgelegt worden:

- AVARI - Aenderbergbrücke mit Hochwasserentlastung Eichelti
- Aenderbergbrücke - Einlauf Sagibach
- Untere Bönigbrücke - Brienersee

Die Bemessungsgrössen für den Teilausbau des Hauptgerinnes werden wie folgt definiert:

- Kapazitätserhöhung auf Energielinie $HQ_{100} = 220 \text{ m}^3/\text{s}$
- Sicherstellung Abfluss $HQ_{2005} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ innerhalb Freibord

Neben dem Gerinneausbau soll im Rahmen der Massnahmen 2. Priorität ein Abflusskorridor realisiert werden, welcher das Hauptgerinne bei einem Extremereignis ($EHQ = 350 \text{ m}^3/\text{s}$) entlastet. Das Massnahmenpaket besteht im wesentlichen aus Terrainmodellierungen (Schutzdämme), Strassenanpassungen, neuen Durchlässen und mobilen Massnahmen.

Weiterer Bestandteil der Massnahmen 2. Priorität ist die Optimierung des Geschiebehaushalts:

- Geschiebebewirtschaftung Deltabereich / Aufweitung oberhalb gemäss der Geschiebehaushaltstudie¹⁹.
- Neue Aufweitung beim Gefällsknick Dangelstutz / Talstrecke, ev. mit integriertem Schwemmhölzrückhalt.

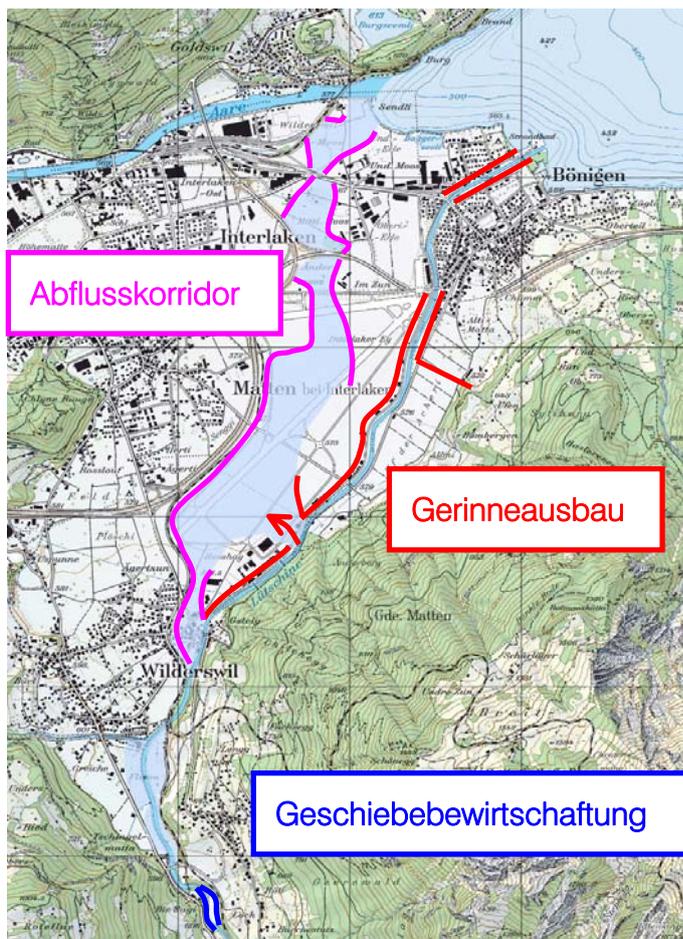


Abb 96 HWS Bödeli Massnahmen 2. Priorität mit approximativen Überflutungsflächen nach Realisierung

¹⁹ Lüttschine - Flussmorphologische Studie zur Entwicklung der Lüttschinentmündung, der zukünftigen Gestaltung und der Geschiebebewirtschaftung, PD Dr. Martin Jäggi, Flussbau und Flussmorphologie, Dezember 2006

3. Priorität: Hochwasser - Entlastung Wilderswil (Umfahrungstunnel)

In Wilderswil besteht die Absicht, das Dorfzentrum mit einer neuen Umfahrungsstrasse (inkl. Tunnel) verkehrstechnisch zu entlasten. 2002 wurde eine Machbarkeitsstudie²⁰ für diese Umfahrung erarbeitet.

Das Massnahmenkonzept 3. Priorität sieht vor, den geplanten Umfahrungstunnel als Hochwasserentlastung für Extremereignisse zu nutzen und damit auch den Dorfteil „Almi“ in Wilderswil nachhaltig und wirkungsvoll gegen Hochwasser zu schützen.

Ab einer Abflussmenge von $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ wird das Wasser bei einem Extremereignis oberhalb der BOB-Brücke in Wilderswil kontrolliert entlastet und in den neuen Umfahrungstunnel eingeleitet. Im Gebiet Aegerti (beim Nordportal des Umfahrungstunnels) können die Wassermassen schliesslich unter der Bahnlinie der BOB durch- und in den bereits im Rahmen der 2. Priorität realisierten EHQ-Abflusskorridor eingeleitet werden.

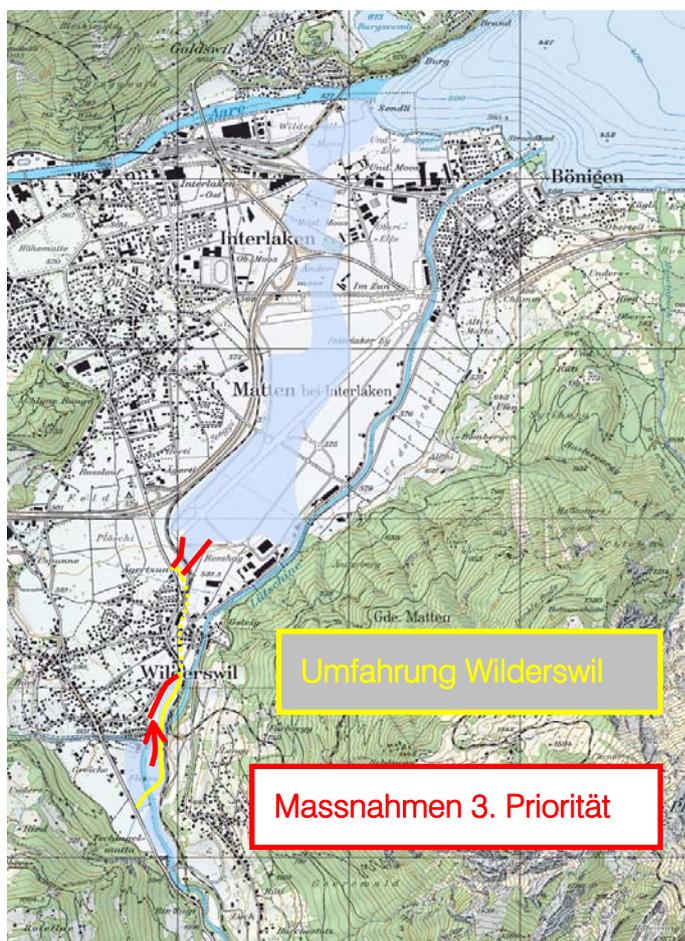


Abb 97 HWS Bödeli Massnahmen 3. Priorität mit approximativen Überflutungsflächen nach Realisierung

Das Schutzkonzept ist in den beiliegenden Plänen Nr. 2167-7 resp. 2167-8 ersichtlich.

Die Gesamtkosten für den Hochwasserschutz Bödeli betragen rund Fr. 20 Mio.

²⁰ Machbarkeitsstudie Umfahrung Wilderswil, B+S Ingenieur AG, Bern, vom März 2002

5 Kommunikation

Orientierungen, Kontakte, Gespräche und Sitzungen

Das im Rahmen der LLE Lüttschine zu beurteilende Gebiet umfasst den Bereich der Lüttschine, welcher beim Hochwasser vom August 2005 wesentlich betroffen worden war. Der Perimeter erstreckt sich also von Grindelwald bis zur Einmündung in den Brienersee (Weisse Lüttschine Grindelwald, Schwarze Lüttschine, Vereinigte Lüttschinen) und deckt vor dem Zusammenfluss im Bereich Zweilüttschinen auch noch einen Abschnitt der Weissen Lüttschine ab.

Die Auswirkungen des Hochwasserereignisses in diesem Perimeter waren insgesamt enorm, die Dringlichkeit und Art der Massnahmen war und ist aber unterschiedlich. Die Arbeitsweise der Arbeitsgruppe (AG) LLE Lüttschine wurde wesentlich durch diese vielschichtige Ausgangslage vorgegeben.

Die schwerpunktmässige Tätigkeit und damit die Kommunikation kann phasenweise den folgenden Bearbeitungsstufen zugeordnet werden:

Stufe	Ziel	Tätigkeit	Inhalt der Information	Art der Kommunikation
Beschaffung Überblick / Grundlagen	Erarbeitung superprovisorische Grundlagen	Erste Sichtung vor Ort und anhand Dokumentationen. Erste Grobanalyse.	Ergebnisse erste Grobanalyse und Abschätzungen	Interne Kommunikation, Arbeitspapiere
Notmassnahmen	HW-Tauglichkeit der Provisorien und Notmassnahmen. Wenn möglich unter Einbezug von Überlegungen zur Entwicklungsfähigkeit und Verträglichkeit mit ersten Konzeptideen.	Ermittlung / Abschätzung grober Dimensionierungsgrössen für einzelne Objekte. Teilweise Festlegungen / Überwachung der Massnahmen vor Ort	Technische, punktuelle Angaben z.Hd. von Ingenieuren / Unternehmungen	Beantwortung Anfragen von Gemeinden oder beauftragten Projektierungsbüros (mündlich, Mail, schriftlich), Stellungnahme zu Projektentwürfen etc., Besprechungen, Begehungen.
Analyse des Ereignisses	Erkennen der Ursachen, die für den Betrachtungsperimeter zum Ereignis geführt haben. Erkennen des Bezuges zu den bekannten bisherigen Ereignissen, Einreihung in die Eintretenswahrscheinlichkeit rückblickend und Schlüsse auf zukünftige Entwicklung.	Erhebung / Aufarbeitung Daten und Dokumentationen. Studien und Auswertungen aller beteiligten Faktoren und Aspekte wie Meteorologie / Niederschlagswerte, Hydrologie und Geschiebe, Geologie, Glaziologie in ihren Einflüssen auf das System der Lüttschine mit ihrer Topographie und in ihrem Umfeld.	Systematische Auflistung der Grundlagen. Beschrieb der Vorgehensweise. Ergebnisse der Analysen mit Begründungen und Erläuterungen zu den einzelnen Fachbereichen und Schlussfolgerungen in Bezug auf die aktuelle Situation, die mittel- und längerfristige Entwicklung.	Zwischenberichte LLE, Präsentationen vorläufige Ergebnisse, Schlussbericht LLE mit Anhängen. Präsentation im engeren Fachkreis und im grösseren Kreis von interessierten Stellen. Einbindung in Gesamtbericht der LLE's Berner Oberland. Laienverständliche Fassung für Öffentlichkeit / Medien.

Stufe	Ziel	Tätigkeit	Inhalt der Information	Art der Kommunikation
Konzepte, Strategien, Massnahmenvorschläge, Empfehlungen, Ausblick auf weitergehende Planungen	Es liegen Strategien und / oder Konzepten vor, die lokal und regional aufzeigen, welche Ziele mit welchen Massnahmen zu welchem Zeitpunkt anvisiert werden sollen. Je nach Priorität liegen bereits Ergebnisse einer vertieften Bearbeitung in Form von Dimensionierungsgrössen und konkreten Vorschlägen vor.	Folgerungen aus der Ereignisanalyse. Erkennen der aktuellen und künftigen Defizite und des Handlungsbedarfs. Festlegung / Zuordnung von Schutzzielen. Entwickeln von Lösungssystemen und Beurteilen / Ausscheiden von Systemvarianten. Aufarbeiten und verifizieren des gewählten Systems und Entwicklung des Konzeptes bis zur bedarfsgerechten Bearbeitungstiefe.	Darlegung der Ausgangslage, systematisch und nachvollziehbar beschriebene Entwicklung der Lösungsschritte und Kriterien. Erwägungen / Begründungen zu den Entscheidungen. Beschrieb / Dokumentation der vorgeschlagenen Strategien, Konzepte und Lösungsvorschläge mit den entsprechenden Detailinformationen.	Zwischenberichte LLE, Präsentationen vorläufige Ergebnisse, Schlussbericht LLE mit Anhängen. Präsentation im engeren Fachkreis und im grösseren Kreis von interessierten Stellen. Einbindung in Gesamtbericht der LLE's Berner Oberland. Laienverständliche Fassung für Öffentlichkeit / Medien.
Wiederherstellungs- und Folgeprojekte	Konzeptionelle Vorgaben für Projekte aus Konzepten, Definition der Zielsetzung des Projektes und Vorschläge zur Umsetzung. Überprüfung / Einbindung im Gesamtkonzept. Miteinbezug Behörden, Betroffene, Träger.	Aufarbeitung von Grundlagen und vertiefte Bearbeitung aus den lokalen Konzepten, Verfeinerung von Dimensionierungsgrössen, Bemessung der Grenzwerte, Begleitung Projekterarbeitung. Vordiskussion mit Fachstellen und Öffentlichkeitsarbeit.	Technische, projektbezogene Angaben an Projektleitung / Projektverfasser. Vermittlung der grundsätzlichen Lösungsansätze. Allgemein verständliche Erläuterungen zu Ursachen / Analysen / Lösungen. Festgehaltene Meinungsäusserungen / Reaktionen in Form von Aktennotizen, Protokollen. Zugehörige Kommentierungen.	Fachtechnische Unterlagen, Analysen, Berichte, Bemessungen direkt an Planende oder Auftraggeber. Präsentationen auf projektbezogener Ebene vis à vis von örtlichen Behörden, Fachstellen, Trägern, Begleitgruppen, Betroffenen etc.

Abb 98 Bearbeitungsstufen, Tätigkeiten und Kommunikation der Arbeitsgruppe LLE Lüttschine

Der Beschluss zur Erarbeitung von lokalen lösungsorientierten Ereignisanalysen LLE's in den vom Hochwasser vom 22./23. August 2005 hauptsächlich betroffenen Gebieten des Berner Oberlandes und zur Bildung entsprechender LLE - Teams erfolgte an der gemeinsamen Sitzung der Fachstelle Hochwasserschutz des TBA und der Wasserbauingenieure BeO mit der Abteilung Naturgefahren und den Vertretern des Bundes (BWG heute BAFU) und des Koordinators P. Mani (Geo7) am 01. September 2005 in Spiez (Protokoll J. Studer).

Nachfolgend werden die in bezug auf den kommunikativen Aspekt wesentlichen Aktivitäten der Arbeitsgruppe (AG) LLE Lüttschine chronologisch aufgeführt. Nicht aufgeführt sind die zahlreichen Besprechungen, Begehungen und Sitzungen einzelner Mitglieder der AG, welche im Zusammenhang mit konkreten spezifischen oder lokalen Fragen erforderlich waren.

Termin	Anlass	Dokument
29.08.2005	Erste Grobbeurteilung Abflüsse Lüttschine vom 22.-24.08.2005 durch Chr. Lehmann	Kommentar / superprovisorische Einstufung Lehmann (als Basis zur Abschätzung der Dimensionierungsgrößen bei Not- und Sofortmassnahmen / Provisorien).
22.09.2005	1. Sitzung LLE Lüttschine: Startsitung	Aktennotiz Nr.1 (P. Wyss, 01.10.2005)
26.09.2005	Besprechung / Information über Notmassnahmen Lüttschental (Gde.-Präs./ Ing. Büro)	Aktennotiz P. Wyss vom 30.09.2005
19.10.2005	Schriftl. Orientierung Regierungsstatthalter Interlaken und Gemeinden / Schwellenkorporationen Lüttschinentäl bis Interlaken über LLE	Informationsschreiben OIK 1 vom 19.10.2005 zum Stand und Vorgehen. Verteiler nebst Adressaten auch an BWG und weitere interessierte Stellen.
26.10.2005	2. Sitzung LLE Lüttschine	Aktennotiz Nr.2 (M. Amacher, 04.11.2005)
25.11.2005	Zwischenpräsentation / Koordinationssitzung LLE's beim TBA	Präsentationsmappe / Powerpoint-Präsentation Team LLE Lüttschine
02.12.2005	3. Sitzung LLE Lüttschine und Orientierung Schwellenkorporation Bödeli Süd über Arbeit Team LLE und erste Ergebnisse	Aktennotiz Nr.3 (M. Amacher, 06.12.2005)
13.01.2006	Schriftl. Orientierung Regierungsstatthalter Interlaken und Gemeinden / Schwellenkorporationen Lüttschinentäl bis Interlaken über Stand und Beurteilung der aktuellen Gefährdungssituation.	Informationsschreiben OIK 1 vom 13.01.2006. Beilage: Papier Chr. Lehmann / LLE-Team vom 13.12.2005 „Einschätzung akt. Gefahrensituation“. Verteiler nebst Adressaten auch an BWG und Weitere.
18.01.2006	4. Sitzung LLE Lüttschine	Aktennotiz Nr.4 (M. Amacher, 01.02.2006)
25.01.2006	Orientierung BAFU (Urs Nigg) über Stand LLE und Besprechung Konzepte / Lösungsvorschläge	Tabelle (F. Bettschen, 09.02.2006) mit gebiets- oder objektweiser Auflistung der Projekte, Massnahmenbeschrieb und Bemerkungen. Übersichtsplan.
14.02.2006	Präsentation HWS-Konzept Schwarze Lüttschine Lüttschental bei SK / Begleitgruppe Lüttschental	Präsentationsmappe / Powerpoint-Präsentation M & W
16.02.2006	5. Sitzung LLE Lüttschine Ergebnisse / Zwischenstand Geschiebmodellierung Lüttschental	Aktennotiz Nr.5 (M. Amacher, 5.02.2006). Powerpoint-Präs. Geschiebmodellierung durch M & W / Jäggi
21.02.2006	Stellungnahme LLE Lüttschental zH Begleitgruppe (Kantonsstrasse / HWS)	Schriftl. Stellungnahme vom 21.02.2006 zu Evaluation / Standort neue Strassenbrücke.
28.03.2006	6. Sitzung LLE Lüttschine Vorläufige Ergebnisse Hydrologie	Aktennotiz Nr.6 (M. Amacher, 17.04.2006). Internes Papier Chr. Lehmann vom 27.03.2006; Hydrologie
19.05.2006	7. Sitzung LLE Lüttschine	Aktennotiz Nr.7 (M. Amacher, 21.06.2006).
23.06.2006	8. Sitzung LLE Lüttschine und Orientierung Schwellenkorporation Bödeli Süd über Stand LLE und erste Präsentation Konzept Bödeli	Aktennotiz Nr.8 (M. Amacher / R. Gerber, 14.07.2006). Unterlagen Präsentation
19.07.2006	9. Sitzung LLE Lüttschine Orient. Felssturz Schlossplatten d. H.R. Keusen	Aktennotiz Nr.9 (M. Amacher, 20.08.2006).

Termin	Anlass	Dokument
24.07.2006	Besprechung betr. Felssturz Schlossplatten beim BAFU	Protokoll BAFU (U. Nigg)
22.08.2006	10. Sitzung LLE Lütschine	Aktennotiz Nr.10 (M. Amacher, 29.08.2006).
01.12.2006	11. Sitzung LLE Lütschine	Aktennotiz Nr.11 (M. Amacher, 06.01.2007).
31.01.2007	Eingabetermin Teilberichte Mitglieder LLE Lütschine für Schlussbericht (Eingabe an M & W)	Teilberichte mit Beilagen
06.03.2007	12. Sitzung LLE Lütschine (Schlusssitzung)	Entwurf Schlussbericht LLE Lütschine. Akttenotiz Nr. 12
Ende Mai 2007	Abgabe Schlussbericht an Auftraggeber TBA / OIK I, an Geo7 (Koordinator LLE's im Kanton) und an BAFU	Bereinigter Schlussbericht LLE Lütschine. (Geo7 erstellt eine Zusammenfassung über die Berichte LLE's im Kanton)
01.05.2007	Orientierung der Bödeli-Gemeinden über Gefahrenkarte Bödeli.	Präsentation Gefahrenkarte.
05.06.2007	Öffentliche Orientierung der Einwohner der Bödeli-Gemeinden über die Gefahrenkarte und das Hochwasserschutzkonzept Bödeli	Präsentationen Gefahrenkarte und Ergebnisse der LLE im Bödeli: HWS-Konzept und Projekt Massnahmen 1. Priorität
<i>Mai / Juni 2007</i>	Erstellen / Vorbereiten Dokumentation LLE Lütschine für Schlussveranstaltung LLE's BE sowie für Orientierungen und Medien	Entwürfe Dokumentation und Präsentation (intern)
<i>27.06.2007</i>	Abschluss-Veranstaltung LLE's Kanton Bern (unter Leitung TBA / Geo7)	Präsentationsmaterial Bereich LLE Lütschine
<i>Sommer 2007</i>	Vorstellung des Schlussberichtes für die Gemeindebehörden und Schwellenkorporationen des Gebietes der LLE Lütschine	Schlussbericht LLE (Abgabe an Behörden). Dokumentation / Präsentation
<i>Sommer 2007</i>	Ev. separate Medien-Info oder Abgabe Kurzdoku für Medien und weitere interessierte Stellen (im Anschluss an obige Orientierung)	Kurzdokumentation LLE Lütschine (Abgabe)
<i>Sommer 2007</i>	Schluss der Tätigkeit der Arbeitsgruppe LLE Lütschine in dieser Organisationsstruktur.	Offizielle Mitteilung über den Abschluss LLE, Schlussabrechnung über die im Auftrag des Kantons Bern (Auftraggeber) ausgeführten Arbeiten.
<i>Weiterhin laufend</i>	Besprechungen mit Schwellenkorporationen und Gemeinden in bezug auf noch erforderliche Sofortmassnahmen und auf die kurz-, mittel- und langfristige Planungen und Realisierung konkreter Vorhaben und Massnahmen (Gewässerunterhalt, passiver und aktiver HWS, Organisatorische Massnahmen etc.)	Konkrete Grundlagen, Vorschläge, Beurteilungen und Stellungnahmen auf Stufe Richtplan, Projekt oder anderer Massnahmenplanung (ausserhalb Organisationsstruktur und Aufgabenfeld LLE).
<i>Ab Sommer 2006 und bis auf weiteres</i>	In einer angepassten Struktur der Arbeitsgruppe (Einbezug Glaziologie) und mit Mitarbeit des BAFU und der Gemeinde Grindelwald erfolgte ab Mitte 2006 ein fließender Übergang zu den Arbeiten über die Problematik Unterer Grindelwaldgletscher / Gletschersee / Abflüsse Lütschine. Diese Arbeiten sind noch im Gange und werden je nach Entwicklung der Situation noch einige Zeit weiter zu führen sein.	Interne Unterlagen / Beurteilungen / Mess- und Beobachtungsergebnisse. Zwischenberichte usw.(unter der Organisationsstruktur Arbeitsgruppe Felssturz / Eigergletscher / Gletschersee / Abfluss Lütschine)

Abb 99 Kommunikative Aktivitäten der Arbeitsgruppe LLE Lütschine

Mit der umfangreichen Analyse des Hochwasserereignisses vom August 2005 wurde das Gewässersystem in den Lüttschinentälern erstmals ganzheitlich betrachtet.

Diese Untersuchungen haben zu Erkenntnissen geführt, aus welchen Lösungsansätze für die Hauptschadengebiete Grindelwald, Lüttschental und Bödéli abgeleitet werden konnten.

Wir sind überzeugt, dass es sich dabei um angemessene und nachhaltige Vorschläge handelt, welche auch Umweltsanliegen und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen und den Schutz vor Naturgefahren in Zukunft gewährleisten.

Einen absoluten Schutz vor Hochwassern und den damit verbunden Gefahren gibt es jedoch nicht. Auch seriös festgelegte und allseits abgestützte Bemessungsgrössen können im Extremfall überschritten werden.

Es bleibt zu hoffen, dass sich die immer rascher fortschreitenden klimatischen Veränderungen in Zukunft nicht allzu negativ auf unseren faszinierenden Lebensraum auswirken werden.

Interlaken, den 31. Mai 2007

Arbeitsgruppe LLE Lüttschine

Berichtsbeiträge von:

- R. Gerber, Wasserbauingenieur Oberingenieurkreis I
- PD Dr. M. Jäggi, Flussbau und Flussmorphologie
- Dr. Chr. Lehmann, Hydrologie
- Dr. F. Naef, Institut für Hydrometrie und Wasserwirtschaft, Hydrologie
- Dr. H.R. Keusen, Geotest AG, Geologie
- F. Bettschen, Bettschen + Blumer AG, Bauingenieur
- M. Amacher, Mätzener & Wyss AG, Bauingenieur

Abbildungsverzeichnis

Abb 1	Übersicht über die hauptsächlichlichen Schadensgebiete in den Lüttschinentälern.	1
Abb 2	Ereignisablauf in Gündlischwand (WL = Weisse Lüttschine)	4
Abb 3	Hauptschadensgebiete in den Lüttschinentälern (vgl. auch Kapitel 2.7 Bauwerke)	7
Abb 4	3-Tages-Niederschlagsmengen (mm) im Raum Berner Oberland, Emmental und Zentralschweiz.	9
Abb 5	Aufsummierte Niederschlagsmengen im Vergleich zu Messstationen aus anderen Gebieten	10
Abb 6	Gemessene Niederschlagssummen (mm) im Einzugsgebiet der Lüttschinentäler.	11
Abb 7	Übersicht über die Messstationen im Lüttschinengebiet	11
Abb 8	Teileinzugsgebiete der Lüttschinentäler	15
Abb 9	Gebietsniederschlag in den 10 Teileinzugsgebieten der Lüttschinen gemäss Interpolation SMA	15
Abb 10	Jährlichkeiten der in Lauterbrunnen gemessenen Niederschläge (Geo7).	16
Abb 11	Jährlichkeiten für den Gebietsniederschlag (Geo7)	17
Abb 12	Vergleich von 1- und Mehrtagesniederschlägen vom August 2005 mit den bisherigen Maximalwerten	17
Abb 13	Einordnung der Niederschläge vom August 2005.	18
Abb 14	Jährliche Spitzenabflüsse und Jährlichkeiten Lüttschinen 2000 - 2005.	19
Abb 15	Aufgezeichnete und rekonstruierte Ganglinien Lüttschine.	20
Abb 16	Verlauf der Abflussganglinie in der Weissen Lüttschine Zweilüttschinen.	22
Abb 17	Entlastungsgraben durch Kantonsstrasse nach Grindelwald, Zweilüttschinen.	22
Abb 18	Standorte der Querprofile für die Abflussrekonstruktion	23
Abb 19	Berechnete Abflüsse Schwarze Lüttschine	24
Abb 20	Mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell Qarea rekonstruierte Hochwasserabflüsse.	25
Abb 21	Schematische Darstellung der Ausbruchstellen aus den Vereinigten Lüttschinen bei Wilderswil.	26
Abb 22	Stelle des späteren Dammbrechens beim Haus Messerli in Wilderswil.	27
Abb 23	Praktisch vollständige Überströmung des Lüttschinendamms in der Tschingelmatta in Wilderswil.	27
Abb 24	Ausbrüche aus dem Lüttschinental	28
Abb 25	Ausflüsse aus dem Damm	28
Abb 26	Schematisch dargestellte Überflutungsflächen Wilderswil - Bödeli.	29
Abb 27	Rekonstruierte Hochwasserspitzen Ereignis 2005.	30
Abb 28	Jährliche Hochwasserspitzen inkl. Ereignis vom August 2005.	31
Abb 29	Einordnung Ereignis August 2005 in die Regressionslinien von Weisser, Schwarzer und Vereinigter Lüttschinen	32
Abb 30	Einordnung Ereignis August 2005 in die Regressionslinie der Vereinigten Lüttschinen der letzten 30 Jahre	32
Abb 31	Gleitende Dreissigjahresperioden mit durchschnittlichen jährlichen Spitzenabflüssen (blau), berechneten Wiederkehrperioden für 20-(violett), 50- (grau) und 100-jährlichen (schwarz) Hochwasser	33
Abb 32	Abflussprozesskarte Schwarze Lüttschine.	34
Abb 33	Anhand der Retentionsfähigkeit der Böden berechnete Abflüsse der Schwarzen und Weissen Lüttschine als Funktion der Niederschlagssumme.	34
Abb 34	Lüttschine bei Wilderswil, Abschnitt Saxetbach bis BOB-Brücke	37
Abb 35	Für die Abflussrekonstruktion berechnete Wasserspiegellagen, Unterlauf Vereinigte Lüttschinen, Übersicht	38
Abb 36	Berechnete Wasserspiegel im Abschnitt Zusammenfluss Weisse und Schwarze Lüttschine - Männlichenbahn.	41
Abb 37	Die Lüttschinentäler vor den Gewässerkorrekturen. (Ergänzter Ausschnitt aus Dufourkarte von 1864, Blatt 13).	42
Abb 38	Zustand in Lüttschental mit alten Terrassenrändern (Pfeile) vor dem Ereignis.	43
Abb 39	Zustand in Lüttschental nach dem Ereignis.	44
Abb 40	Überschwemmungen auf dem Bödeli.	44
Abb 41	Massive Feststoffverlagerungen in Lüttschental.	45
Abb 42	Längenprofil der Schwarzen Lüttschine in Grindelwald.	50
Abb 43	Mit Geschiebe überlasteter Zusammenflussbereich Schwarze und Weisse Lüttschine in Grindelwald.	51
Abb 44	Oberer Abschnitt Längenprofil der Schwarzen Lüttschine in Grindelwald.	52
Abb 45	Schwarze Lüttschine, Bereich Gefällsknick oberhalb Rollbahnbrücke, Grindelwald.	52
Abb 46	Mittlerer Abschnitt Längenprofil der Schwarzen Lüttschine in Grindelwald	53
Abb 47	Unterer Abschnitt Längenprofil der Schwarzen Lüttschine in Grindelwald	54
Abb 48	Für die Simulation gewählte Kornverteilungskurve des eingetragenen Geschiebes	55
Abb 49	Für die Simulation gewählte Abflussganglinie	56
Abb 50	Vergleich berechnete und vermessene Sohlenlagen Lüttschental	57
Abb 51	Entwicklung der Sohlenlagen in Lüttschental	57
Abb 52	Transportdiagramm Geschiebesimulation Lüttschental.	58
Abb 53	Ablagerungen im Bereich der Gsteigwilerbrücke	59
Abb 54	Transportdiagramm Geschiebesimulation Unterlauf Vereinigte Lüttschinen Ereignis 2005	60

Abb 55	Transportdiagramm Vereinigte und Schwarze Lüttschinen Grindelwald - Brienersee.....	63
Abb 56	Methodenbewertung für die Erfassung der Feststoffbilanz.....	64
Abb 57	Feststoffbilanz aufgrund der Geländeerhebung.....	65
Abb 58	Übersicht Standorte Linienzahlanalysen Lüttschinentäler.....	66
Abb 59	Charakteristische Korndurchmesser Unterschicht (Grindelwald - Brienersee).....	67
Abb 60	Grössere Rutschungen infolge Ufererosion.....	68
Abb 61	Rutschung Stalden. Blick auf die Front der aktiven Bewegung und Standorte der Spiegel.....	69
Abb 62	Rutschung Stalden. Aufzeichnung der Hangbewegungen.....	70
Abb 63	Aktive Rutschung Stalden und inaktive Rutschung Tschingelberg. Übersicht 1:10'000.....	71
Abb 64	Auf dem Schwemmkegel des Schwendibaches wurden grosse Mengen Schwemmholz abgelagert.....	72
Abb 65	Uferanriss in der Steilstrecke in Lüttschental.....	73
Abb 66	Abgelegte Stauden schützten die Ufer im Wartenberggraben vor Erosion.....	73
Abb 67	Eingeschotterte Bäume auf dem Schwemmkegel des Louwibachs.....	74
Abb 68	Abgerutschte Uferbäume im Gebiet Buechi.....	74
Abb 69	Teilverkläusung der BOB-Brücke Gsteig durch Schwemmholz.....	75
Abb 70	Schwemmholz im Lüttschindelta.....	76
Abb 71	Schäden an Bauwerken.....	77
Abb 72	Der Untere Grindelwaldgletscher im Sommer 2006.....	90
Abb 73	Intensitäts- / Wahrscheinlichkeitsdiagramm für Gefahrenkartenbearbeitung.....	93
Abb 74	Beurteilung der Gefahrenkarte Grindelwald.....	94
Abb 75	Beurteilung der Gefahrenkarte Lauterbrunnen.....	96
Abb 76	Beurteilung der Gefahrenkarte Gsteigwiler.....	97
Abb 77	Grossflächige Übersarungen in Lüttschental.....	98
Abb 78	Schadensummen / Kostenübersicht Sofort- und Wiederherstellungsmassnahmen per Ende 2006.....	100
Abb 79	Szenario „kurz“ für Schwarze Lüttschine, Lüttschental.....	102
Abb 80	Szenario „lang“ für Schwarze Lüttschine, Lüttschental.....	102
Abb 81	Szenario „extrem“ für Schwarze Lüttschine, Lüttschental.....	102
Abb 82	Szenario „kurz“ für Vereinigte Lüttschinen, Wilderswil.....	103
Abb 83	Szenario „lang“ für Vereinigte Lüttschinen, Wilderswil.....	103
Abb 84	Szenario „extrem“ für Vereinigte Lüttschinen, Wilderswil.....	103
Abb 85	Schutzzieldefinition Lüttschinentäler.....	104
Abb 86	Übersicht Weisse und Schwarze Lüttschine Grindelwald.....	105
Abb 87	Übersarungen in Grindelwald Grund während dem Hochwasserereignis.....	106
Abb 88	Gemeinde Lüttschental nach dem Hochwasserereignis.....	108
Abb 89	Längenprofil HWS-Konzept Lüttschental.....	109
Abb 90	Typisches Querprofil mit abgesenkten Vorländern aus dem HWS-Konzept Lüttschental.....	110
Abb 91	Konzeptideen Optimierung / Anpassung Linienführung Kantonsstrasse Nr. 221 Lüttschental - Burglauenen.....	112
Abb 92	Grossräumige Überflutung Bödeli Hochwasserereignis 2005.....	115
Abb 93	Überflutungsflächen Bödeli Hochwasserereignis 2005.....	116
Abb 94	Erste Konzeptidee Hochwasserschutz Bödeli (PD Dr. M. Jäggi).....	117
Abb 95	HWS Bödeli Massnahmen 1. Priorität mit approximativen Überflutungsflächen nach Realisierung.....	118
Abb 96	HWS Bödeli Massnahmen 2. Priorität mit approximativen Überflutungsflächen nach Realisierung.....	119
Abb 97	HWS Bödeli Massnahmen 3. Priorität mit approximativen Überflutungsflächen nach Realisierung.....	120
Abb 98	Bearbeitungsstufen, Tätigkeiten und Kommunikation der Arbeitsgruppe LLE Lüttschine.....	122
Abb 99	Kommunikative Aktivitäten der Arbeitsgruppe LLE Lüttschine.....	124

Grundlagen- und Literaturverzeichnis

- Gefahrenkarte Bödeli, provisorisch
Herzog Ingenieure, beffa tognacca GmbH, April 2007
- Flussmorphologische Studie zur Entwicklung der Lütschinenmündung,
der zukünftigen Gestaltung und der Geschiebemanagement,
M. Jäggi, Ebmatingen, Januar 2007
- LLE Lütschine, Auswertung Niederschlagsdaten,
Interner Arbeitsbericht im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Bern,
geo7 AG, Bern, 2006
- Prozessraumkarten 1:5'000,
Flotron AG, Meiringen, April 2006
- August-Hochwasser 2005, Analyse der Niederschlagsverteilung,
Chr. Frei, MeteoSchweiz, Zürich, 8. September 2005
Siehe www.meteoschweiz.ch
- Die Grösse der extremen Hochwasser der Lütschine,
Unveröffentlichte Studie im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Bern,
Chr. Lehmann, Schönbühl; F. Naef, Zürich, November 2003
- Machbarkeitsstudie Umfahrung Wilderswil,
B+S Ingenieur AG, Bern, März 2002
- Rauheiten bei ausgesuchten Fliessgewässern, BWG, 2001
- Gefahrenkarte Lütschental, GEOTEST AG, Zollikofen, 11. Juli 2000
- Gefahrenkarte Mysteries of the World - Bödeli,
Staubli, Kurath & Partner; Chr. Lehmann, C. Beffa, 1999

Quellenhinweise Fotos

Die im vorliegenden Bericht und Anhang abgebildeten Fotos wurden durch folgende Personen und Institutionen zur Verfügung gestellt:

- B. Schaad, Gasthaus Steinbock, Wilderswil
- Flotron AG, Meiringen
- E. Gertsch, Geographisches Institut der Universität Bern GIUB
- Dr. Chr. Lehmann
- PD Dr. M. Jäggi
- Bettschen + Blumer AG
- Mätzener & Wyss AG