FAN
Fachleute Naturgefahren Schweiz

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Association suisse pour l'aménagement des eaux
Associazione svizzera di economia delle acque

Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN
Kommission für Hochwasserschutz KOHS des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes

Empfehlung der Beurteilung der Gefahr der Ufererosion an Fliessgewässern

Anwendungsbeispiele
Weisse Lütschine und Ticino

Arbeitsgruppe Ufererosion:
Lukas Hunzinger (Flussbau AG SAH)
Annette Bachmann (CSD Ingénieurs SA)
Ralph Brändle (Sektion Naturgefahren Kanton St. Gallen)
Paul Dändliker (Abteilung Gefahrenprävention BAFU)
David Jud (Meier und Partner AG)
Mario Koksch (Verkehr und Infrastruktur Kanton Luzern)

Version	Datum	Sachbearbeitung	Freigabe	Verteiler
V1.0	15.10.2014	Annette Bachmann		
V2.0	06.02.2015	Annette Bachmann		
V3.0	18.02.2015	Lukas Hunzinger Annette Bachmann		
V4.0	23.02.2015	Lukas Hunzinger		
V4.1	24.02.2015	Lukas Hunzinger		
V5.0	06.03.2015	Lukas Hunzinger Annette Bachmann		
V6.0	04.05.2015	Lukas Hunzinger Annette Bachmann		
V6.1	05.10.15	Lukas Hunzinger		zur Veröffentlichung

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 3

2 BEISPIEL WEISSE LÜTSCHINE – STUFE GEFAHREN-KARTE 5

2.1 Untersuchter Abschnitt 5

2.2 Grundszenarien 9

2.3 Schwachstellenanalyse 11

2.3.1 Bekannte Erosionsstellen 11
2.3.2 Morphologie 12
2.3.3 Gefährdungsbilder 12
2.3.4 Belastungsgrössen 13
2.3.5 Erosionswiderstand 14
2.3.6 Fazit der Schwachstellenanalyse 15

2.4 Wirkungsanalyse 16

2.4.1 Ausdehnung und Intensität 16
2.4.2 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 18

2.5 Unsicherheiten bei der Beurteilung 18

3 BEISPIEL TICINO – STUFE GEFAHRENKARTE ERWEITERTE BEARBEITUNG 19

3.1 Untersuchter Abschnitt 19

3.2 Grundszenarien 19

3.3 Schwachstellenanalyse 20

3.3.1 Bekannte Erosionsstellen 20
3.3.2 Morphologie 21
3.3.3 Gefährdungsbilder 22
3.3.4 Belastungsgrössen 22
3.3.5 Erosionswiderstand 23
3.3.6 Fazit der Schwachstellenanalyse 24

3.4 Wirkungsanalyse 24

3.4.1 Ausdehnung und Intensität 24
3.4.2 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 24

3.5 Unsicherheiten bei der Beurteilung 25

4 LITERATUR 27

1 EINLEITUNG

Die vorliegende Dokumentation beschreibt die Anwendung der Empfehlung zur Beurteilung der Gefahr von Ufererosion anhand von zwei Beispielen. Am Beispiel der Weissen Lütschine in Stechelberg wird die Beurteilung mit einer Bearbeitungstiefe auf Stufe einer standardmässigen Gefahrenkarte aufgezeigt. Bei diesem Beispiel wird das 30-jährliche Hochwasserszenario berücksichtigt, bei welchem keine übergeordneten morphologischen Veränderungen erwartet werden. An der Weissen Lütschine werden zwei Gerinneabschnitte betrachtet, einer mit und einer ohne Ufersicherung.

Das erweiterte Vorgehen einer Beurteilung auf der Stufe Gefahrenkarte wird am Beispiel des Ticino bei Chiggiogna illustriert. Bei diesem Beispiel werden ein 100- und 300-jährliches Hochwasserszenario betrachtet, bei denen die Ufer durch morphologische Änderungen während eines Hochwassers beansprucht werden können. Die Beurteilung wurde im Rahmen der Risikoanalyse Naturgefahren für die Nationalstrassen durchgeführt (Bundesamt für Strassen ASTRA, 2008) und wird hier in angepasster Form wiedergegeben.

2 BEISPIEL WEISSE LÜTSCHINE – STUFE GEFAHREN-KARTE

2.1 Untersuchter Abschnitt

Der zu untersuchende Abschnitt der Weissen Lütschine liegt zwischen Matta und Lengwald bei Stechelberg direkt neben der Seilbahnstation Richtung Mürren (siehe Abbildung 1). Die Weisse Lütschine weist auf diesem Abschnitt einen gestreckten Verlauf auf. Gemäss der Siegfriedkarte wies die Weisse Lütschine auch schon früher diese Gerinneform auf (siehe Abbildung 2).

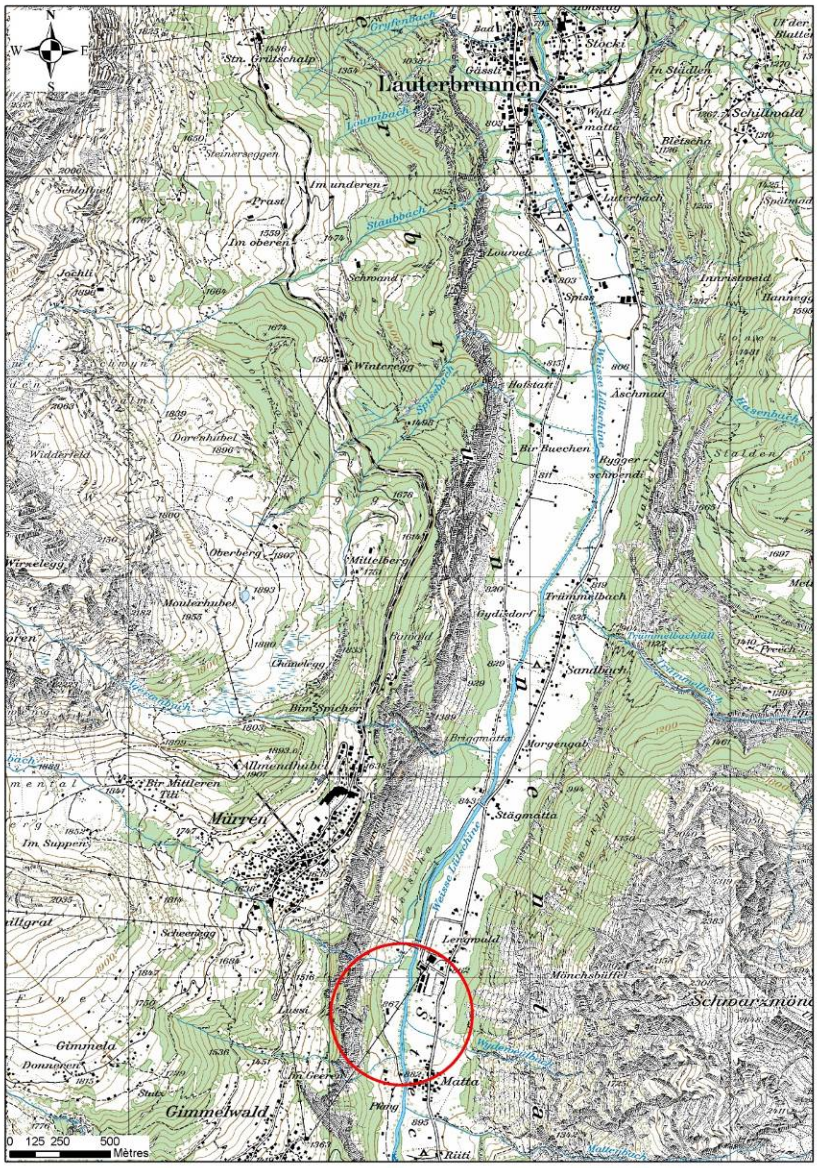


Abbildung 1: Untersuchter Abschnitt an der Weissen Lütschine bei Stechelberg. Fliessrichtung von Süd nach Nord.

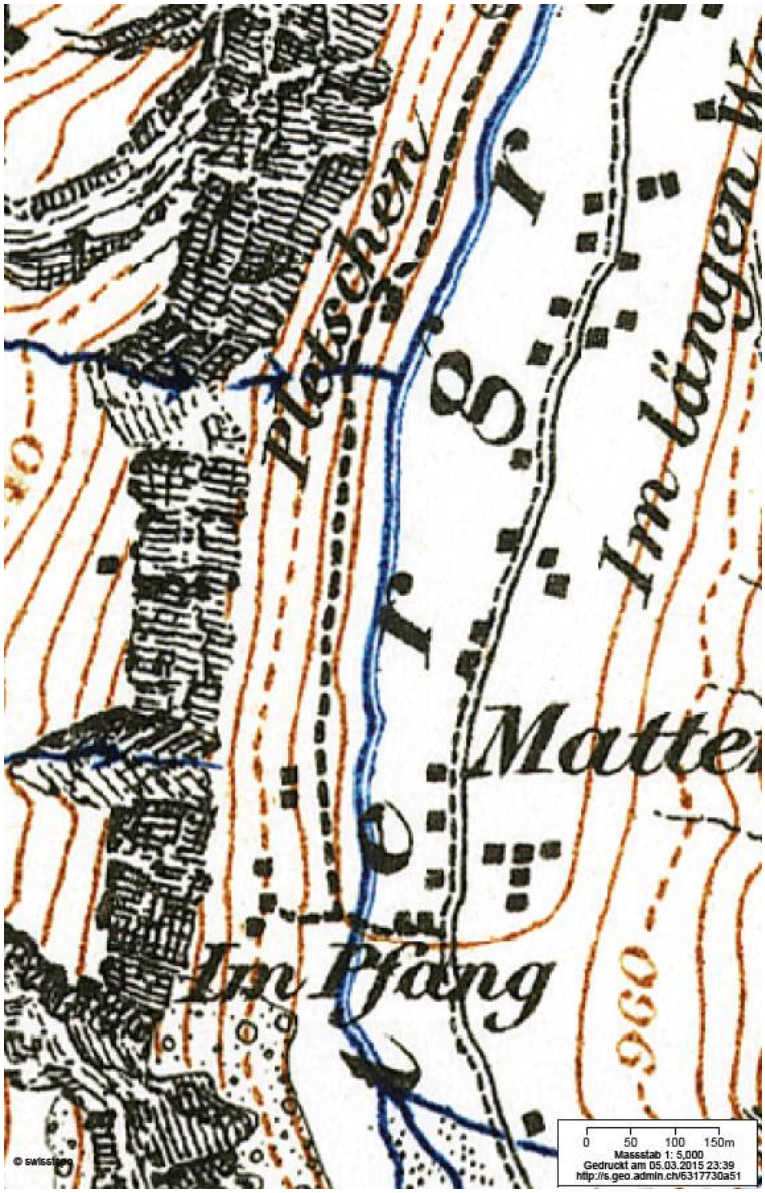


Abbildung 2: Siegfriedkarte der Weissen Lütschine bei Stechelberg.

Für die Gefahrenbeurteilung wurde das Gerinne in zwei homogene Abschnitte unterteilt, da das Gewässer auf dem nördlichen Teil 2 mit Blocksatz befestigt ist und im südlichen Teil 1 kaum eine Verbauung aufweist (siehe Abbildung 3). Für die Grundszenarien wurden die Daten der Gefahrenkarte Lütschine entnommen (OIK I 2013).

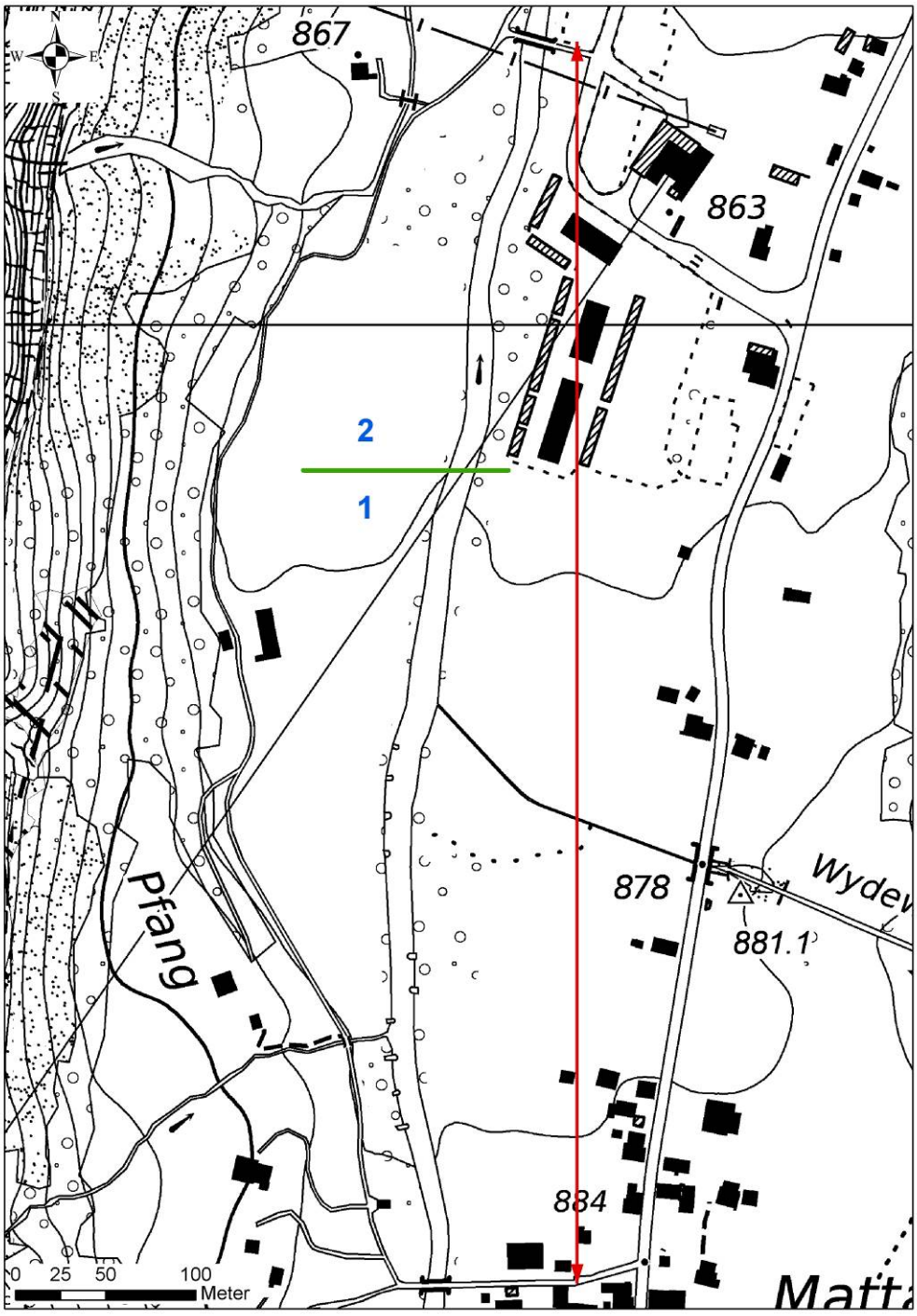


Abbildung 3: Untersuchter Abschnitt der Weissen Lütschine

Abschnitt 1

Der südliche Abschnitt 1 weist keine Verbauungen auf abgesehen von ein paar vereinzelten Buhnen mit grossem Abstand. Diese werden in der Beurteilung nicht berücksichtigt und das Ufer als unverbaut betrachtet. Die Weisse Lütschine hat auf diesem Abschnitt eine ungefähre Uferhöhe von 1-2m und

eine Breite von etwa 15m. Die Sohle ist unbefestigt. Am südlichen Ende des untersuchten Abschnittes befindet sich eine Brücke.



Abbildung 4: Zustand des Abschnittes 1

Abschnitt 2

Das Ufer ist beidseits mit einem Blocksatz befestigt, aber die Sohle ist natürlich. Rechtsseitig befindet sich ein Damm zum Schutz der Talstation Richtung Mürren. Das Ufer weist auf diesem Abschnitt eine ungefähre Höhe von 2 m auf und die Gerinnebreite entspricht etwa 11m. Am nördlichen, flussabwärts gelegenen, Ende des untersuchten Abschnittes befindet sich eine Brücke.



Abbildung 5: Seitenerosion Hochwasser 2011 bei der Seilbahnstation Mürren



Abbildung 6: Nahaufnahme der Erosion und des Blocksatzes

2.2 Grundszenarien

Abfluss Q

In der untenstehenden Tabelle 1 sind die verschiedenen Abflussszenarien für die Weisse Lütschine aufgeführt. Im vorliegenden Beispiel wurde das 30-jährliche Szenario berücksichtigt und beurteilt.

Tabelle 1: Abflüsse nach Jährlichkeit in [m^3/s] auf dem untersuchten Abschnitt (EZG: 78.7 km^2) auf der Weissen Lütschine.

	30* j	100 j	300 j	EHQ
Abfluss [m^3/s]	48*	70	82	98

*: Berücksichtigte Jährlichkeit für das vorliegende Beispiel.

Bei häufigen Ereignissen kommt es auf der orografisch linken Seite des Abschnittes 2 auf der Weissen Lütschine zu flächigen Überflutungen (siehe Intensitätskarte auf der Abbildung 7). Die Gerinnekapazität ist limitiert und die zu erwartenden Auflandungen führen zu Ausuferungen. Da der Uferbereich sehr flach ist und die Böschungen teilweise erhöht sind (Dämme), kann das Wasser nur schlecht in die Lütschine zurückfliessen und fliesst deshalb parallel zum Gewässer Richtung Lauterbrunnen.

Geschiebe G

Oberhalb Stechelberg ist das Geschiebeaufkommen so gross, dass der Abfluss der limitierende Faktor für den Geschiebetransport ist, d.h. es wird so viel Geschiebe transportiert, wie das Wasser Kapazität hat.

Holzzufuhr H

Der Eintrag von Frischholz wird durch Seitenerosion und Uferrutschungen verursacht. Ansonsten ist wenig Totholz im Gerinne vorhanden.

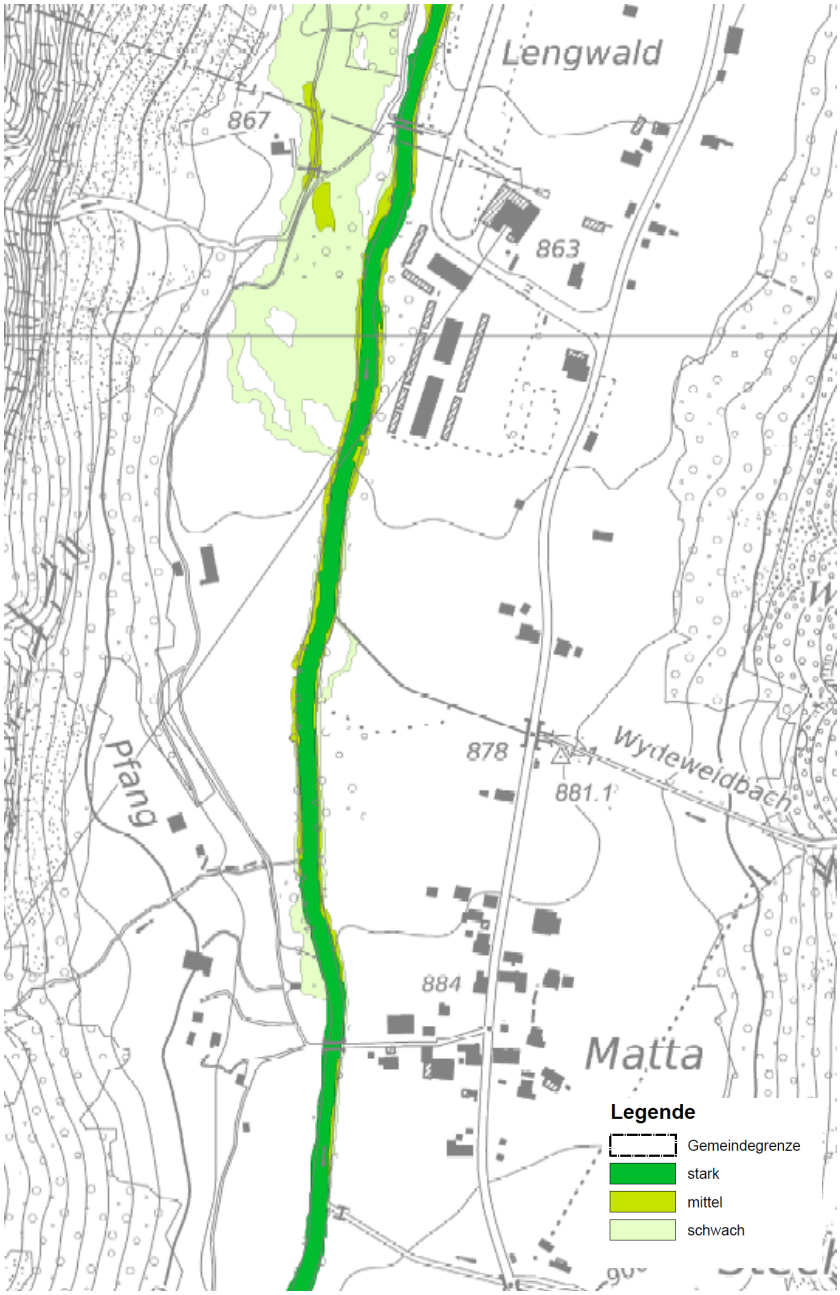


Abbildung 7: Intensitätskarte Überflutung für ein 30-jährliches Ereignis für den untersuchten Abschnitt (OIK I 2013)

2.3 Schwachstellenanalyse

2.3.1 Bekannte Erosionsstellen

	Vorgaben GK	Beurteilung Abschnitt 1	Beurteilung Abschnitt 2
Konsultation Ereigniskataster (EK)	Ja	Lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) 2005: Keine Seitenerosion Lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) 2011: - zwei Erosionsstellen beidseits unmittelbar nach der Brücke - rechtsufrige Erosion nach der Mündung des Wydeweidbaches Ereigniskataster (EK): Keine Angaben auf dem Geoportal.	Lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) 2005: Keine Seitenerosion Lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) 2011: - rechtsufrige Erosion bei der Seilbahnstation - rechtsufrige Erosion bei der Brücke unmittelbar nach der Seilbahnstation Ereigniskataster (EK): Keine Angaben auf dem Geoportal.
Konsultation der Karte der Phänomene, von Luftbildern oder Terrainmodellen	Ja	Es steht keine Karte der Phänomene zur Verfügung. Luftbilder geben keinen Hinweis, da zu klein und zu bewachsen.	Es steht keine Karte der Phänomene zur Verfügung. Luftbilder geben keinen Hinweis, da zu klein und zu bewachsen.
Alte Verbauungsprojekte	Ja	Keine Information	Keine Information
Begehung vor Ort	Ja	Oktober 2011 Bestätigung der Erosionsstellen der LLE 2011	Oktober 2011 Bestätigung der Erosionsstellen der LLE 2011
Befragung von lokalen Wissensträgern	Ja	Erfolgt: Oberingenieurkreis I (OIK I) Bestätigung der Erosionsstellen der LLE 2005 und 2011 sowie EK.	Erfolgt: Oberingenieurkreis I (OIK I) Bestätigung der Erosionsstellen der LLE 2005 und 2011 sowie EK

2.3.2 Morphologie

	Vorgaben GK	Beurteilung Abschnitt 1	Beurteilung Abschnitt 2
Aktuelle Gerinneform	Beurteilen im Feld oder mit Karte oder Luftbild.	Gerades Gerinne.	Gerades Gerinne.
Veränderung der Gerinneform bei Hochwasserszenario HQx	Beurteilen aufgrund von Abfluss- und Geschiebeszenarien. Potentielle Gerinneform aus historischen Karten.	Das Wasser ist mit Geschiebe gesättigt. Da das Gerinne nach dem Zusammenfluss abflacht, ist grundsätzlich mit Auflandungen zu rechnen und somit mit einer verzweigten Morphologie. Beim HQ30 kann allerdings davon ausgegangen werden, dass keine nennenswerten Auflandungen und somit auch keine Veränderung der Morphologie auftreten.	Das Wasser ist mit Geschiebe gesättigt. Da das Gerinne nach dem Zusammenfluss abflacht, ist grundsätzlich mit Auflandungen zu rechnen und somit mit einer verzweigten Morphologie. Beim HQ30 kann allerdings davon ausgegangen werden, dass keine nennenswerten Auflandungen und somit auch keine Veränderung der Morphologie auftreten.
Linienführung	Beurteilen im Feld oder mit Karte oder Luftbild.	Gerader Abschnitt.	Gerader Abschnitt.
Sohlenveränderung	Beurteilen aufgrund von Abfluss- und Geschiebeszenarien.	Keine relevante Veränderung der Sohlenlage. Es ist mit geringen Auflandungen zu rechnen.	Keine relevante Veränderung der Sohlenlage. Es ist mit geringen Auflandungen zu rechnen.
Unregelmässigkeiten im Querschnitt	Im Feld erheben	Brücke beim Abschnittsbeginn, ansonsten keine Unregelmässigkeiten.	Brücke unterhalb der Seilbahnstation, ansonsten keine Unregelmässigkeiten.

2.3.3 Gefährdungsbilder

	Vorgaben GK	Beurteilung Abschnitt 1	Beurteilung Abschnitt 2
Erosion am Böschungsfuss	Bei Sohlenerosion und bei Unregelmässigkeiten im Querschnitt betrachten. In Flusskrümmungen, bei Verzweigung und bei Mäanderbildung betrachten.	Keine relevante Sohlenerosion zu erwarten, da es sich eher um eine Auflandungsstrecke handelt. Lokale Kolkbildung bei der Brücke möglich. Keine übergeordneten morphologischen Prozesse.	Keine relevante Sohlenerosion zu erwarten, da es sich eher um eine Auflandungsstrecke handelt. Lokale Kolkbildung bei der Brücke möglich. Keine übergeordneten morphologischen Prozesse.
Direkter Strömungsangriff	Bei allen Gerinneformen und bei Unregelmässigkeiten im Querschnitt betrachten.	Mit direktem Strömungsangriff auf das Ufer ist zu rechnen. Da das Gerinne einen gestreckten Verlauf aufweist ist nicht mit lokalen Belastungsspitzen aufgrund der Linienführung zu rechen. Unregelmässigkeiten bestehen bei der Brücke beim Abschnittsbeginn.	Mit direktem Strömungsangriff auf das Ufer ist zu rechnen. Da das Gerinne einen gestreckten Verlauf aufweist ist nicht mit lokalen Belastungsspitzen aufgrund der Linienführung zu rechen. Unregelmässigkeiten bestehen bei der Brücke unterhalb der Seilbahnstation.
Erosion an der Böschungsoberkante	Bei Überströmen der Böschung und beim Rückfluss von austretendem Wasser betrachten.	Auf diesem Abschnitt ist mit keinen Ausuferungen gemäss IK30 zu rechnen. Es treten keine Erosionen durch rückfliessendes Wasser auf.	Linksufrig gibt es beim HQ30 Ausuferungen. Es handelt sich um schwache Intensitäten. Rückfliessendes Wasser tritt auf diesem Gerinneabschnitt nicht auf.

2.3.4 Belastungsgrössen

	Vorgaben GK	Beurteilung Abschnitt 1	Beurteilung Abschnitt 2
Erosion am Böschungsfuss	Ausmass von Sohlenerosion und Kolktiefen gutachterlich schätzen. Kolktiefen aufgrund von Unregelmässigkeiten besonders beachten.	Erhöhte Belastung auf Böschungsfuss eher unwahrscheinlich, da es eine Auflandungsstrecke ist und somit nicht mit einer Sohlenerosion zu rechnen ist. Die gutachterlich bestimmte Kolktiefe bei der Brücke beträgt ungefähr 1m.	Erhöhte Belastung auf Böschungsfuss eher unwahrscheinlich, da es eine Auflandungsstrecke ist und somit nicht mit einer Sohlenerosion zu rechnen ist. Die gutachterlich bestimmte Kolktiefe bei der Brücke beträgt ungefähr 1m.
Direkter Strömungsangriff	Belastung gutachterlich schätzen, Belastungsspitzen aufgrund von Unregelmässigkeiten besonders beachten.	Es ist von einer erhöhten hydraulischen Belastung auf das Ufer bei einem HQ30 auszugehen.	Es ist von einer erhöhten hydraulischen Belastung auf das Ufer bei einem HQ30 auszugehen.
Erosion an der Böschungsoberkante	In Abhängigkeit der Überflutung gutachterlich beurteilen (z.B. in Funktion der Intensität der Überflutung).	Keine Ausuferungen auf diesem Abschnitt gemäss IK30.	Linksufrig gibt es Ausuferungen. Es handelt sich allerdings um schwache Intensitäten.

2.3.5 Erosionswiderstand

	Vorgaben GK	Beurteilung Abschnitt 1	Beurteilung Abschnitt 2
Erosion am Böschungsfuss	Beschaffenheit, Zustand und Dauerhaftigkeit des Böschungsfusses im Feld bestimmen (Fels, Verbauungsart, Blockgrössen, Kornzusammensetzung, Böschungsneigung, etc.). Fundationstiefe soweit ersichtlich im Feld abschätzen. Widerstand des Böschungsfusses qualitativ beschreiben.	Das Ufer und die Sohle weisen auf diesem Abschnitt keine Verbauung auf, sondern sind aus Lockermaterial aufgebaut. Das Ufermaterial besteht aus grobblockiger Ablagerung in feinkörniger Matrix. Die Lütschine verläuft in ihrem eigenen Alluvium. Es gibt keinen Fels auf diesem Abschnitt. Die Böschungsneigung beträgt ungefähr 1:2. Der Widerstand des Böschungsfusses ist allgemein und gegenüber Kolkbildung eher gering.	Das Ufer und der Böschungsfuss sind mit einem Blocksatz befestigt. Es handelt sich vorwiegend um kantige Steine mit einem Durchmesser von d ~ 0.5m. Wahrscheinlich ist der Blocksatz nicht fundiert. Die Ufersicherung ist intakt und in einem guten Zustand, da sie teilweise nach dem Hochwasser 2011 erneuert wurde. Die Böschungsneigung beträgt ungefähr 1:1. Der Widerstand des Böschungsfusses ist allgemein hoch. Der Widerstand gegenüber Kolkbildung und Sohlenerosion ist mangels Fundierung gering.
Direkter Strömungsangriff	Beschaffenheit Zustand und Dauerhaftigkeit der Böschung im Feld bestimmen (Fels, Verbauungsart, Bauhöhe der Ufersicherung, Blockgrössen, Kornzusammensetzung, Bewuchs, Böschungsneigung, etc.). Widerstand der Böschung gegenüber dem direkten Strömungsangriff qualitativ beschreiben.	Uferbeschaffenheit siehe „Erosion am Böschungsfuss“. Der Widerstand des Ufers gegenüber dem direkten Strömungsangriff ist gering.	Beschrieb Uferverbauung siehe „Erosion am Böschungsfuss“. Das Ufer ist auf der gesamten Höhe befestigt. Der Widerstand des Ufers gegenüber dem direkten Strömungsangriff ist hoch.
Erosion an der Böschungsoberkante	Beschaffenheit und Zustand des Terrains an der Böschungsoberkante im Feld bestimmen (Fels, Kornzusammensetzung, Bewuchs, Neigung, etc.). Widerstand des Terrains gegenüber der Beanspruchung durch die Strömung qualitativ beschreiben.	Das Terrain wird ab Uferoberkante landwirtschaftlich genutzt. Der obere Bereich des Ufers ist aus Lockermaterial und einer Gras überwachsenen Erdauflage zusammengesetzt. Bei einer Überflutung ist der Widerstand der Böschungsoberkante sehr gering.	Der Damm wurde mit Lockermaterial aufgeschüttet. Die Verdichtung ist nicht bekannt. Die Böschungsoberkante besteht aus einer mit Gras überwachsenen Erdauflage. Bei Überströmen der Uferverbauung ist der Widerstand gering.

2.3.6 Fazit der Schwachstellenanalyse

	Vorgaben GK	Beurteilung Abschnitt 1	Beurteilung Abschnitt 2
Erosion am Böschungsfuss	Bei unverbauten Ufern wird bei Sohlenerosion oder Kolkbildung immer eine Erosion des Ufers angenommen. Bei verbauten Ufern wird eine Ufererosion angenommen, wenn die Sohlenerosion oder der Kolk unter die Fundation der Ufersicherung reicht.	Auf diesem Abschnitt ist mit keiner Ufererosion am Böschungsfuss zu rechnen. Weder das Ufer noch der Böschungsfuss sind verbaut, aber da es sich um eine Auflandungsstrecke handelt, ist eher mit einer Anhebung der Sohle zu rechnen. Wegen der Brücke beim Abschnittsbeginn können sich lokale Kolke bilden. An dieser Stelle ist mit Erosion am Böschungsfuss zu rechnen.	Auf diesem Abschnitt ist mit keiner Ufererosion am Böschungsfuss zu rechnen. Der Blocksatz ist wahrscheinlich nicht fundiert, aber da es sich um eine Auflandungsstrecke handelt, ist eher mit einer Anhebung der Sohle zu rechnen. Wegen der Brücke am Abschnittsende können sich lokale Kolke bilden. An dieser Stelle ist mangels Fundationstiefe mit Erosion am Böschungsfuss zu rechnen.
Direkter Strömungsangriff	Es wird eine Ufererosion angenommen, wenn die Bedingungen nach Protect (Stufe Grobbeurteilung) nicht eingehalten sind. Bei unverbauten Ufern in Lockermaterial immer Erosion annehmen.	Auf diesem Abschnitt ist mit Ufererosion durch direkten Strömungsangriff zu rechnen. Das Ufer ist ungesichert und kann durch die hydraulische Belastung aufgerissen werden. Durch die Brücke beim Abschnittsbeginn können Querströmungen verursacht werden. An dieser Stelle ist mit Ufererosion durch direkten Strömungsangriff wegen Unregelmässigkeiten zu rechnen.	Auf diesem Abschnitt ist mit keiner Ufererosion durch direkten Strömungsangriff zu rechnen. Gemäss der Grobbeurteilung nach Protect weist die Uferverbauung eine ausreichende Länge und Höhe auf und ist intakt. Es werden keine übergeordneten morphologischen Gerinneprozesse erwartet. Dementsprechend ist die hydraulische Belastung des HQ30 zu gering, um den Blocksatz zu beschädigen. Die Uferverbauung weist einen ausreichenden Schutz gegenüber Querströmungen bei der Brücke am Abschnittsende auf. Deshalb ist mit keiner Ufererosion durch direkten Strömungsangriff wegen Unregelmässigkeiten zu rechnen.
Erosion Böschungsoberkante	In Abhängigkeit der Überflutung gutachterlich beurteilen (z.B. in Funktion der Intensität der Überflutung).	Auf diesem Abschnitt ist mit keiner Ufererosion an der Böschungsoberkante zu rechnen, weil es beim HQ30 nicht zu Ausuferungen kommt.	Auf diesem Abschnitt ist mit keiner Ufererosion an der Böschungsoberkante zu rechnen. Obschon es linksufrig zu Wasseraustritten kommen kann, sind die Intensitäten zu gering, um das Ufermaterial abzutragen. Rückfliessendes Wasser wird auf diesem Abschnitt nicht erwartet.

2.4 Wirkungsanalyse

2.4.1 Ausdehnung und Intensität

Abschnitt 1

Auf dem Abschnitt 1 ist sowohl am linken als auch am rechten Ufer Seitenerosion entlang des gesamten Ufers möglich. Dies ist auf das Gefährdungsbild des direkten Strömungsangriffes zurückzuführen. Das Erosionsausmass wurde basierend auf frühere Ereignisse, aber insbesondere aus den Erfahrungswerten des Hochwassers 2011 abgeleitet. Beim Ereignis 2011 wurden auf diesem Abschnitt Erosionsbreiten von 3-4m gemessen. Da es sich dabei um ein HQ100 handelte, wurden für die vorliegende Gefahrenbeurteilung des HQ30 eine **Erosionsbreite (B_{UE})** von 2m ausgeschieden. Die Ausdehnung ist relativ gering, da es sich nicht um einen übergeordneten morphologischen Prozess, sondern um eine primäre Seitenerosion handelt. Die **Erosionslänge (L_{UE})** wird auf dem gesamten Abschnitt ausgeschieden, da der direkte Strömungsangriff überall ungefähr gleich gross ist.

Durch die Unregelmässigkeit bei der Brücke wird eine punktuelle Ufererosion verursacht, welche wegen der lokal erhöhten hydraulischen Belastung eine grössere Ausdehnung aufweisen kann. Direkt bei der Brücke wurde entsprechend eine **Erosionsbreite (B_{UE})** von 3-4m und eine **Erosionslänge (L_{UE})** von 20m ausgeschieden.

Die Uferhöhe auf dem Abschnitt 1 entspricht etwa 2m. Da es sich bei diesem Abschnitt eher um eine Auflandungsstrecke handelt, wird von einem Abtrag auf der gesamten Uferhöhe ausgegangen. Es handelt sich bei den ausgeschiedenen Erosionsstellen somit um eine **mittlere Intensität**, da die Erosionshöhe **Erosionshöhe (H_{UE})** zwischen 0,5 bis 2m liegt.

Abschnitt 2

Auf dem Abschnitt 2 tritt keine kontinuierliche Ufererosion auf. Die Brücke am Abschnittsende verursacht eine Unregelmässigkeit im Abflussprofil, weshalb eine lokale Ufererosion auftreten kann. Die Erosionsbreite (B_{UE}) und die Erosionslänge (L_{UE}) werden ähnlich wie bei Abschnitt 1 basierend auf vergangenen Ereignissen bestimmt. Die **Erosionsbreite (B_{UE})** beträgt somit 3-4 m und die **Erosionslänge (L_{UE})** ungefähr 20 m. Die Ausdehnung der Ufererosion ist relativ gering, da es sich nicht um einen übergeordneten morphologischen Prozess handelt.

Die Uferhöhe vor der Brücke entspricht 2m. Es wird davon ausgegangen, dass das Ufer auf der gesamten Höhe abgetragen wird. Es handelt sich bei der Erosionsstelle vor der Brücke somit um eine **mittlere Intensität**, da die Erosionshöhe **Erosionshöhe (H_{UE})** zwischen 0,5 bis 2m liegt.

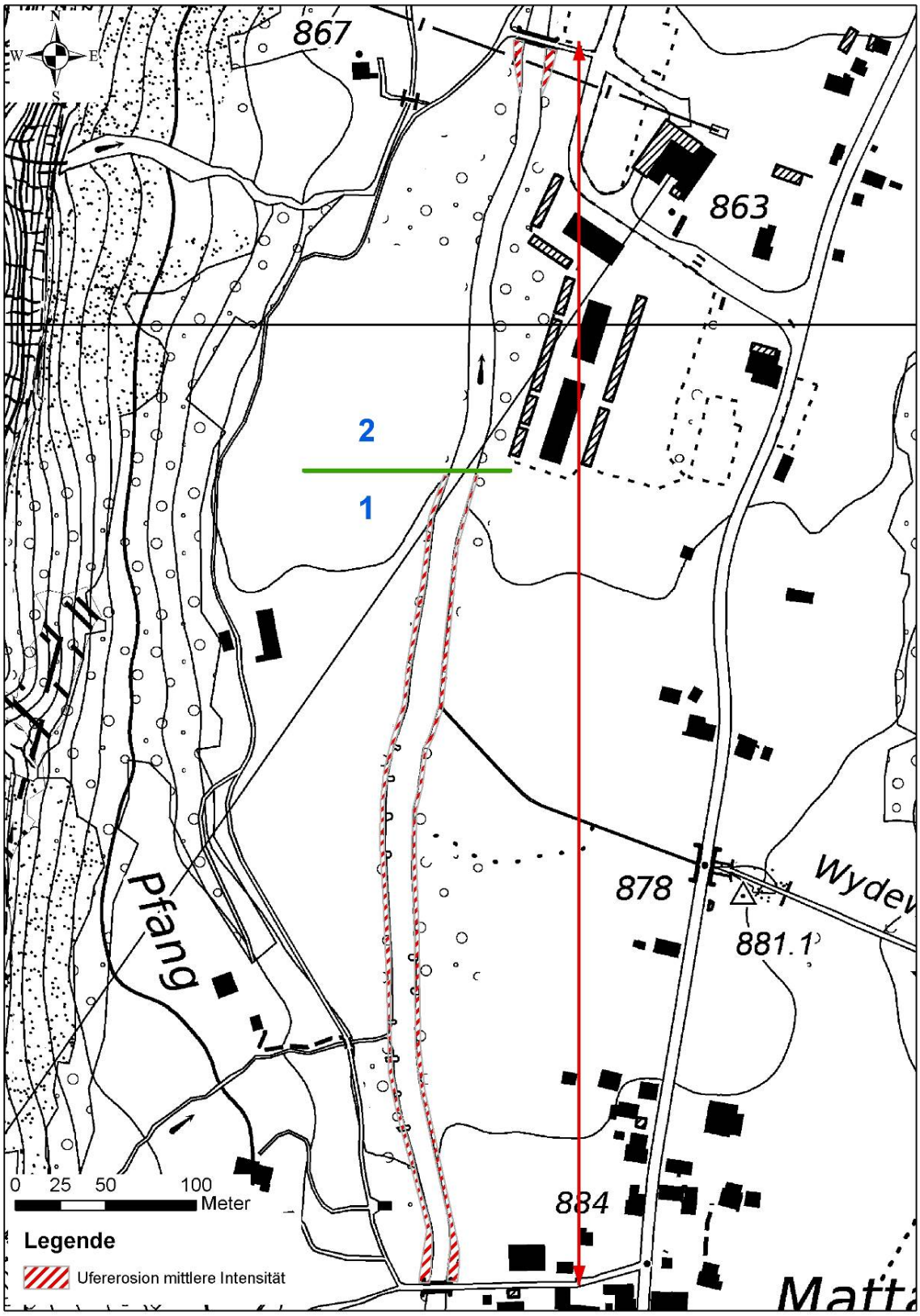


Abbildung 8: Intensitätskarte Ufererosion für ein 30-jährliches Ereignis an der Weissen Lütschine

2.4.2 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit hängt insbesondere von der Gerinneform und der Linienführung ab. Die Weisse Lütschine weist auf der gesamten untersuchten Strecke einen geraden Gerinneverlauf auf.

Die Auftretenswahrscheinlichkeit auf dem Abschnitt 1 ist durch die homogene Linienführung entlang des gesamten Ufers gleich hoch. Da entlang der gesamten Strecke keine lokalen Belastungsspitzen wie bei Prallhängen auftreten, und da keine übergeordneten morphologischen Prozesse zu erwarten sind, wird die Auftretenswahrscheinlichkeit mit 0.1 als eher gering eingestuft. Nach der Brücke auf dem Abschnitt 1 ist eine Ufererosion wahrscheinlicher, wegen der Unregelmässigkeit im Abflussquerschnitt. Dieser Ufererosion wird dementsprechend eine Auftretenswahrscheinlichkeit von 0.5 zugeteilt. Auch beim Abschnitt 2 wird unmittelbar vor der Brücke eine Auftretenswahrscheinlichkeit von 0.5 ausgeschieden.

2.5 Unsicherheiten bei der Beurteilung

Auf dieser Bearbeitungstiefe treten insbesondere bei der Wirkungsanalyse Unsicherheiten auf. Bei der Schwachstellenanalyse sind die Unsicherheiten tendenziell kleiner, weil man sich bei der Beurteilung auf die Erfahrung aus zwei wenige Jahre zurück liegende Hochwasserereignisse abstützen konnte (Ereignisse von 2005 und 2011). Aus den Beobachtungen dieser Ereignisse wurde auch die Ausdehnung möglicher Erosionsstellen abgeleitet. Je nach untersuchtem Grundszenario können die Erosionsbreiten und –längen aber von den Beobachtungen abweichen (siehe Kapitel 2.4.1).

3 BEISPIEL TICINO – STUFE GEFAHRENKARTE ERWEITERTE BEARBEITUNG

3.1 Untersuchter Abschnitt

In diesem Beispiel wird ein Abschnitt des Ticino bei Chiggiogna untersucht. Auf der rechten Seite des Ticino verläuft die Autobahn N2 parallel zum Fluss. Die Gefahrenbeurteilung konzentriert sich deshalb auf das rechte Ufer.

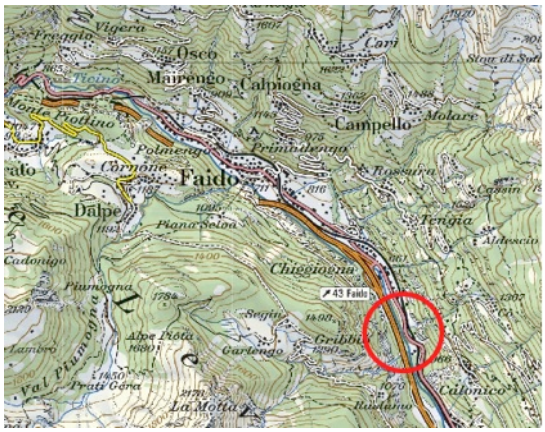


Abbildung 9: Ausschnitt aus der Landeskarte LK100 mit dem untersuchten Abschnitt des Ticino.



Abbildung 10: Ticino bei Chiggiogna (rechtes Teilgerinne), Blick in Fliessrichtung.

3.2 Grundszenarien

Die Grundszenarien sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Beurteilung konzentriert sich auf die Szenarien mit einer Wiederkehrdauer von 100 bzw. 300 Jahren. Auf dem untersuchten Abschnitt führen keine Brücken über den Ticino, deren Verklausung eine Seitenerosion provozieren könnte. Aus diesem Grund ist das Schwemmholzaufkommen nicht relevant.

Tabelle 2: Grundszenarien der Gefahrenbeurteilung am Ticino bei Chiggiogna.

	30 j	100 j	300 j
Abfluss	470 m^3/s	540 m^3/s	610 m^3/s
Geschiebe	10-15'000 m^3	30-40'000 m^3	60-70'000 m^3
Schwemmholz	für Beurteilung Ufererosion nicht relevant		

3.3 Schwachstellenanalyse

3.3.1 Bekannte Erosionsstellen

	Vorgaben GK erweitert	Beurteilung
Konsultation Ereigniskataster (EK)	Ja	In der Dokumentation des Hochwassers von 1987 wird rund 3 km oberhalb des untersuchten Abschnittes eine Erosion auf einer Länge von rund 300m dokumentiert (Abbildung 11).
Konsultation der Karte der Phänomene, von Luftbildern oder Terrainmodellen	Ja	Es steht keine Karte der Phänomene zur Verfügung. Luftbilder geben keinen weiteren Hinweis auf Erosionsstellen.
Alte Verbauungsprojekte	Ja	Keine Information.
Begehung vor Ort	Ja	Begehung im Mai 2010: Keine Erosionsstellen sichtbar.
Befragung von lokalen Wissensträgern	Ja	Keine Information.



Abbildung 11: Ufererosion bei Faido. Aus Unwetterdokumentation 1987. Quelle: Ufficio corsi d'acqua (1987).

3.3.2 Morphologie

	Vorgaben GK erweitert	Beurteilung
Aktuelle Gerinneform	Beurteilen im Feld oder mit Karte oder Luftbild.	Verzweigtes Gerinne mit ein bis zwei Einzelgerinnen. Auf den Kiesbänken hat sich eine dichte Vegetation entwickelt. Das Gerinne hat auch schon 1911 eine ähnliche Form.
Veränderung der Gerinneform bei Hochwasserszenario HQx	Beurteilen aufgrund von Abfluss- und Geschiebeszenarien. Potenzielle Gerinneform aus historischen Karten.	Bei HQ_{100} wird keine Veränderung der Gerinneform erwartet. Bei HQ_{300} werden großräumige Ablagerungen auf der Sohle erwartet, welche zu neuen Gerinneverzweigungen führen.
Linienführung	Beurteilen im Feld oder mit Karte oder Luftbild.	Prallhangsituation aktuell und bei Gerinneverzweigung erwartet.
Sohlenveränderung	Sohlenveränderungen mit Geschiebetransportrechnungen bestimmen.	HQ_{100}: Sohlenerosion wird wegen eines Geschiebedefizits erwartet. Eintiefung der Einzelgerinne um rund -1 m. HQ_{300}: Auflandung wegen eines Geschiebeüberschusses.
Unregelmässigkeiten im Querschnitt	Im Feld erheben	keine Unregelmässigkeiten



Abbildung 12: Ausschnitt aus der Sigfriedkarte von 1911. Das Gerinne war damals schon verzweigt.



Abbildung 13: Luftbild des Ticino von 2008. Die Gerinneform ist ähnlich derjenigen von 1911.

3.3.3 Gefährdungsbilder

	Vorgaben GK erweitert	Beurteilung
Erosion am Böschungsfuss	Bei Sohlenerosion und bei Unregelmässigkeiten im Querschnitt betrachten. In Flusskrümmungen, bei Verzweigung und bei Mäanderbildung betrachten.	Erosion am Böschungsfuss ist ein massgebliches Gefährdungsbild bei HQ_{100} (Sohlenerosion) und bei HQ_{300} (Kolkbildung bei Verzweigung).
Direkter Strömungsangriff	Bei allen Gerinneformen und bei Unregelmässigkeiten im Querschnitt betrachten.	Der direkte Strömungsangriff ist ein massgebliches Gefährdungsbild bei allen betrachteten Szenarien.
Erosion an der Böschungsoberkante	Bei Überströmen der Böschung und beim Rückfluss von austretendem Wasser betrachten.	Auf diesem Abschnitt ist mit keinen Ausuferungen zu rechnen. Erosion an der Böschungsoberkante ist kein massgebliches Gefährdungsbild.

3.3.4 Belastungsgrössen

	Vorgaben GK erweitert	Beurteilung
Erosion am Böschungsfuss	Sohlenerosion durch Geschiebetransportrechnung bestimmen, Kolktiefen berechnen	HQ_{100}: Sohlenerosion -1 m HQ_{300}: Morphologische Kolke im verzweigten Gerinne -2.5 m bis -4.3 m (nach Zarn, 1997).
Direkter Strömungsangriff	Schleppspannung auf der Böschung berechnen, Belastungsspitzen bei Unregelmässigkeiten schätzen.	HQ_{300}: Schleppspannung auf der Böschung 370N/m^2 mit Abflussrechnung in einem 40 m breiten Gerinne bestimmt. Belastung an der Kurvenaussenseite +15%. Keine Unregelmässigkeiten → gleichmässige Belastung.
Erosion an der Böschungsoberkante	Schleppspannung auf dem Terrain berechnen.	Kein Gefährdungsbild, keine Belastung.

3.3.5 Erosionswiderstand

	Vorgaben GK erweitert	Beurteilung
Erosion am Böschungsfuss	Beschaffenheit, Zustand und Dauerhaftigkeit des Böschungsfusses im Feld bestimmen (Fels, Verbauungsart, Blockgrössen, Kornzusammensetzung, Böschungsneigung, etc.). Fundationstiefe von Verbauungen aus Projektplänen ermitteln. Grenzschleppspannung der Böschung an ihrem Fuss berechnen.	Das rechte Ufer ist mit einem Blocksatz mit Blöcken bis 4 t Gewicht gesichert. Neigung: 1:1 Fundationstiefe: -1.5 m (aus Projektplänen) Der Zustand der Ufersicherung ist gut (Abbildung 14). Berechnung der Grenzschleppspannung s. unten.
Direkter Strömungsangriff	Beschaffenheit Zustand und Dauerhaftigkeit der Böschung im Feld bestimmen (Fels, Verbauungsart, Bauhöhe der Ufersicherung, Blockgrössen, Kornzusammensetzung, Bewuchs, Böschungsneigung, etc.) Grenzschleppspannung der Böschung berechnen.	Das rechte Ufer ist mit einem Blocksatz mit Blöcken bis 4 t Gewicht gesichert. Neigung: 1:1 Grenzschleppspannung nach Stevens & Simons: 390N/m^2 mit Teilsicherheitsbeiwert 1.1 Der Zustand der Ufersicherung ist gut (Abbildung 14). Hinter der Ufersicherung wird anstehendes Alluvium vermutet, im Bereich des Schwemmkegels der Gribbiasca (Zufluss von rechts) wird grobblockiges Material vermutet. Der Damm der Autobahn ist wahrscheinlich aus leicht erodierbarem Material aufgebaut.
Erosion an der Böschungsoberkante	Beschaffenheit und Zustand des Terrains an der Böschungsoberkante im Feld bestimmen (Fels, Kornzusammensetzung, Bewuchs, Neigung, etc.). Grenzschleppspannung für das Terrain oberhalb der Böschung berechnen.	Kein Gefährdungsbild, der Widerstand wird nicht bestimmt.



Abbildung 14: Blocksatz am rechten Ufer des Ticino.

3.3.6 Fazit der Schwachstellenanalyse

	Vorgaben GK erweitert	Beurteilung
Erosion am Böschungsfuss	Bei verbauten Ufern wird eine Ufererosion angenommen, wenn die Sohlenerosion oder der Kolk unter die Fundation der Ufersicherung reicht. Bei verbauten Ufern wird eine Ufererosion angenommen, wenn die Sohlenerosion oder der Kolk unter die Fundation der Ufersicherung reicht.	HQ_{100}: Sohlenerosion -1.0 m > Fundationstiefe -1.5 m → kein Versagen. HQ_{300}: Kolktiefe -2.5 m < Fundationstiefe -1.5 m → Versagen der Ufersicherung und Erosion
Direkter Strömungsangriff	Eine Ufererosion wird angenommen, wenn die Schleppspannung auf der Böschung grösser ist als deren Grenzschleppspannung.	HQ_{300}: Belastung 370 N/m^2 < Grenzschleppspannung 390 N/m^2 → kein Versagen
Erosion an der Böschungsoberkante	Eine Erosion an der Böschungsoberkante wird angenommen, wenn die Schleppspannung auf dem Terrain grösser ist als dessen Grenzschleppspannung.	Kein Gefährdungsbild, keine Erosion an der Böschungsoberkante.

3.4 Wirkungsanalyse

3.4.1 Ausdehnung und Intensität

Bei HQ_{300} kann sich ein neues verzweigtes Gerinne bilden. Dieses kann sich über den gesamten Bereich des ehemaligen Auenwaldes in der Talebene des Ticino ausdehnen. Die von Erosion gefährdete Fläche wird durch die Talflanke bzw. den Schwemmkegel der Gribbiasca begrenzt (Abbildung 15).

Die Böschung hat eine Höhe von 2.5 m bis 3 m. Die Intensität der Erosion ist daher hoch (> 2m).

3.4.2 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Für die Ufererosion entlang des verzweigten Gerinnes am Ticino wird eine räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit von 0.25 veranschlagt.

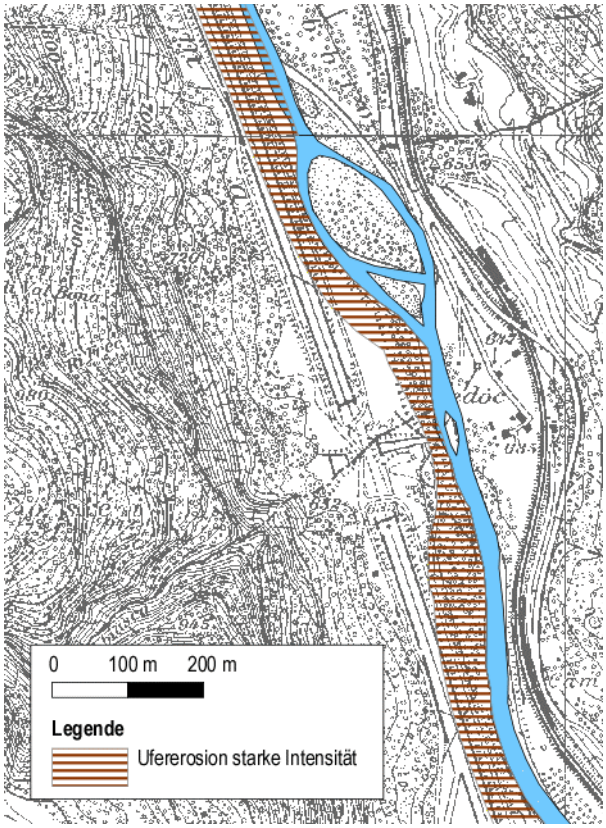


Abbildung 15: Intensitätskarte Ufererosion am Ticino für HQ_{300}.

3.5 Unsicherheiten bei der Beurteilung

Die Unsicherheiten in der Beurteilung der Gefahr der Ufererosion am Ticino und ihre Auswirkung auf das Ergebnis sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Thema	Unsicherheit	Auswirkung auf die Beurteilung
Veränderung der Gerinneform bei Hochwasserszenario HQ_x	Ein Szenario der Bildung eines verzweigten Gerinnes ist denkbar, seine Wahrscheinlichkeit ist aber schwierig abzuschätzen.	Die Jährlichkeit der in Abbildung 15 dargestellten Gefahrenfläche kann über- oder unterschätz sein.
Sohlenveränderung und Gefährdungsbild Erosion am Böschungsfuss	Die Stabilität der Deckschicht und damit das Ausmass der Sohlenerosion bei einem Hochwasser HQ_{100} mit wenig Geschiebe ist schwierig abzuschätzen.	Erodiert die Sohle während eines Ereignisses HQ_{100} deutlich mehr als 1 m kann die Ufersicherung ihren Widerstand verlieren. In diesem Fall müsste auch bei HQ_{100} eine Erosionsgefahr angenommen werden.
Fazit Schwachstellenanalyse bei direktem Strömungsangriff	Der Erosionswiderstand ist nur wenig höher als die berechnete Belastung bei HQ_{300}. Bei der Berechnung des Widerstandes wurde eine Teilsicherheitsbeiwert berücksichtigt.	Müsste auch ein Versagen der Ufersicherung durch direkten Strömungsangriff angenommen werden, hätte das keine Auswirkung auf die ausgewiesene Gefahrenfläche, weil für HQ_{300} bereits ein Versagen durch Unterkolkung postuliert wird.

4 LITERATUR

Bachmann A. 2012. Ausmass und Auftreten von Seitenerosionen bei Hochwasserereignissen.

Bundesamt für Strassen ASTRA (2012): Gefahrenbeurteilung und Risikoanalyse betreffend Naturgefahren auf Nationalstrassen. Los 03 - Leventina. Überprüfen der prioritären Naturgefahrenstellen in Ergänzung zur Phase II (Risikobestimmung). Technischer Bericht. *IMPULS AG, geo7 AG, Flussbau AG SAH, Kellerhals + Haefeli AG,* Thun, 30.09.2012.

Geoportal des Kantons Bern. 2014. Bau- Verkehrs- und Energiedirektion. http://www.map.apps.be.ch/pub/synserver?project=a42pub_ngkat&language=de

Oberingenieurkreis I (OIK I). 2007. Hochwasser 2005 – Lokale Lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) Lütschine. *Dr. Martin Jäggi, Dr. Felix Naef, Dr. Christoph Lehmann, Mätzener & Wyss, Geotest, Bettschen + Blumer*, Mai 2007.

Oberingenieurkreis I (OIK I). 2014. Hochwasser 2011 – Lokale, lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) Lütschine. Entwurf vom 4. Juli 2014. *Flussbau AG SAH*, *Geotest AG, geo7 AG*, *Mätzener & Wyss Bauingenieure AG, Porta West G, Dr. C. Lehmann, Dr. F. Näf*, Juli 2014.

Oberingenieurkreis I (OIK I). 2013. Technischer Bericht. Gefahrenkarte Lütschine. *Ingenieure Bart AG,* Januar 2013.

Ufficio corsi d'acqua 1987: Alluvione del 25.8.1987. Documentazione fotografica zone Valle Bedretto, Valle Leventina, Valle Maggia. SEA, Bellinzona, 31.8.1987