

«Spitze Stei»

Tertiärprozesse: Auswirkungen auf die Kander in
Kandersteg

Überarbeitete Version 2022



Auftraggeber

Schwellenkooperation Kandersteg
Gemeindeverwaltung
Aeussere Dorfstrasse 26
Postfach 114
3718 Kandersteg

Kontaktpersonen:

Anton Rösti

Tel.: 077 404 49 38

Auftragnehmer

Hunziker, Zarn & Partner AG
Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau
Schachenallee 29
5000 Aarau

Kontaktpersonen:

Michael Auchli, Patrick Hofer

Tel.: 062 823 94 61

Fax: 062 823 94 66

Email: michael.auchli@hzp.ch

patrick.hofer@hzp.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Auftrag	1
2	Grundlagen	2
3	Definition relevante Prozesse	3
4	Methodik	4
5	Hydrologie	9
5.1	Hochwasserereignisse Öschibach.....	9
5.2	Hochwasserereignisse Kander	10
6	Geschiebемobilisierung und -einträge	11
6.1	Parameter Geschiebe Öschibach	11
6.2	Abschätzung Geschiebe Öschibach während Tertiärprozessen	11
6.3	Abschätzung Feinmaterial Öschibach während Tertiärprozessen	12
7	Szenariendefinition	13
7.1	Aktuelle Hochwassersicherheit Kander	13
7.2	Szenarienkombination Tertiärprozesse Öschibach, Kander.....	14
8	Resultate Geschiebемodellierung Kander	17
8.1	Hochwasserereignisse Kander	17
8.2	Szenarienkombination Tertiärprozesse Öschibach, Kander.....	18
8.3	Hyperconcentrated Flow	21
9	Wirkungsräume Tertiärprozesse	22
9.1	Aufbau hydraulisches Modell	22
9.2	Berechnung der Wirkungsräume	22
9.3	Wirkungsräume	23
9.4	Kartierung der Prozesse	24
10	Beurteilung der Resultate	26
10.1	Geschiebe	26
10.2	Feinmaterial.....	26
11	Schutzmassnahmen Tertiärprozesse	28
11.1	Notwendigkeit von Massnahmen	28
11.2	Organisatorische Massnahmen.....	29
11.3	Bauliche Sofortmassnahmen	29
11.4	Bauliche Langzeitmassnahmen	30
11.5	Gefährdungsgebiete	32
12	Fazit	37

12.1	Zusammenfassung	37
12.2	Handlungsempfehlungen	38
12.3	Grossräumige Auswirkungen	40
13	Monitoringkonzept.....	40
	Anhang.....	i
	Anhang A Übersicht betroffener Gebiete nach Eintreten der Sekundär- und Tertiärprozesse	i

1 Ausgangslage und Auftrag

Ausgangslage

Das Gebiet um den «Spitze Stei» oberhalb des Oeschinensees ist seit jeher dafür bekannt, instabil und in Bewegung zu sein. Im Sommer 2018 wurden eine Zunahme an Abbrüchen aus dem westlichen Teil und grösser werdende Risse beobachtet. Als Folge davon wird der «Spitze Stei» seither ständig überwacht. Die Messungen zeigen, dass im Sommer/Herbst 2019 die Bewegungen in der Felsmasse stark zugenommen haben. Es wird davon ausgegangen, dass sich in naher Zukunft grössere Fels- bzw. Bergstürze ereignen werden und dass sich das Bergsturzmaterial mehrheitlich im Bereich Chalberspissi bzw. im östlichen Teil des Öschiwaldes, westlich des Oeschinensees, ablagern wird. Innerhalb der nächsten 10 Jahre werden Ablagerungen von mehreren Millionen Kubikmetern Sturzmaterial im Gerinnebereich des Öschibachs erwartet. Dieses Material stellt eine grosse Gefahr für das Siedlungsgebiet von Kandersteg dar.

Infolge dieser Erkenntnisse wurden die NDR Consulting GmbH und die Hunziker Gefahrenmanagement GmbH beauftragt, die möglichen Sekundärprozesse, welche als Folge der Sturzprozesse ausgelöst werden, in ihrer Art, Grössenordnung und Eintretenswahrscheinlichkeit zu bestimmen. Die Resultate zeigen auf, dass durch die Sekundärprozesse mit Ablagerungen im Unterlauf vom Öschibach und teilweise auch in der Kander und mit grossen Wirkungsräumen in Kandersteg zu rechnen ist. Durch die Ablagerungen verändert sich der Geschiebehalt des Öschibachs und möglicherweise auch der Kander. Bei anschliessenden Hochwasserereignissen im Öschibach (Tertiärprozesse) kann mehr Geschiebe in die Kander eingetragen werden.

Auftrag

Das Büro Hunziker, Zarn & Partner wurde beauftragt, im Rahmen der Massnahmenplanung «Spitze Stei» die Mobilisierung und den Weitertransport von Geschiebe im Unterlauf des Öschibachs und in der Kander zu untersuchen. In dieser Studie soll aufgezeigt werden, ob durch eine Zunahme an Geschiebe durch die Tertiärprozesse mögliche Probleme bezüglich Hochwasserschutz oder Geschiebehalt an der Kander entstehen können.

2 Grundlagen

- [1] Geschiebestudie Öschibach, Hunziker, Zarn & Partner, November 2019.
- [2] Gefahrenkarte Kandersteg, Technischer Bericht, Revision 2016, GEOTEST AG, 2016.
- [3] Kandersteg, «Spitze Stei», Expertenbericht Phase A und B, Geotest, April 2019.
- [4] Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement 2021, Geotest, 31. Dezember 2021
- [5] Spitze Stei – Sekundärprozesse, NDR Consulting GmbH und Hunziker Gefahrenmanagement, 5. Juni 2020
- [6] Spitze Stei – Sekundärprozesse, Resultate der Überarbeitung 2021, NDR Consulting GmbH und Hunziker Gefahrenmanagement, 23. Februar 2022
- [7] Zweitmeinung Sekundär- und Tertiärprozesse, Szenarien und Wirkungsbereiche «Öschibach/Kander», Kandersteg BE, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 11. Oktober 2021
- [8] Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferungen in Vorfluter – Praxishilfe, Hunziker, Zarn & Partner, Lehmann Hydrologie-Wasserbau, belop gmbh, 2014.
- [9] Vermessung der Kander, Häberli + Toneatti AG, März 2020
- [10] Projekt III für die Verbauung der Kander in Kandersteg, Erlibrücke – Alpbach, Kissling + Zbinden AG, Januar 2008
- [11] Sedimenttransport und Morphodynamik, Andreas Malcherek, Universität München,
- [12] Schwebstoffe in Fließgewässern, Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 7.4, 1997
- [13] Feststoffbeobachtungen in der Schweiz, Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), 2008

3 Definition relevante Prozesse

Sturzprozesse (Primärprozesse)

Nachdem im Bereich vom «Spitze Stei», oberhalb des Oeschinensees, grössere Felsbewegungen beobachtet wurden, wird seit Mitte 2018 das Gebiet überwacht. Geotest hat 2019 einen Expertenbericht [3] erarbeitet, in dem verschiedene Abbruchszenarien definiert und deren Prozessräume ausgedehnt wurden. Die Abbruchszenarien und deren Prozessräume wurden seither überprüft und angepasst [4].

Sekundärprozesse

Je nach Abbruchszenarien führen die Sturzprozesse zu enormen Ablagerungen entlang des Öschibachs, bei den pessimistischen Szenarien talwärts bis an den Siedlungsrand. Diese Ablagerungen können zu einem Rückstau von grossen Wassermengen führen oder das Feststoffpotenzial am Öschibach deutlich erhöhen. Daraus können weitere Prozesse, die sogenannten Sekundärprozesse, ausgelöst werden. Basierend auf den Resultaten zu den Primärprozessen wurden durch die NDR Consulting GmbH und die Hunziker Gefahrenmanagement GmbH die möglichen Sekundärprozesse erarbeitet [5]. Folgende Sekundärprozesse wurden dabei definiert:

- Szenario A: Flutwelle aus Oeschinensee
- Szenario B: Rückschreitende Erosion Sturzmasse
- Szenario E: Gerinneprozesse durch Hochwasser
- Szenario F: Schuttstrom

Tertiärprozesse

Die Resultate aus der Studie der Sekundärprozesse zeigen, dass mit grossen Ablagerungen im Unterlauf vom Öschibach und teilweise auch in der Kander zu rechnen ist. Diese Ablagerungen führen im Unterlauf vom Öschibach zu Veränderungen der Geometrie, des Feststoffpotenzials und dessen Zusammensetzung. Hochwasserereignisse, welche nach den Sekundärprozessen auftreten können (Tertiärprozesse), führen dadurch zu Wasseraustritten oder zu einer Remobilisierung des neu vorhandenen Materials. Dieser Weitertransport und die möglichen Folgen für die Kander, während diesen Tertiärprozessen, gilt es in der vorliegenden Studie zu untersuchen.

4 Methodik

Die Beurteilung der Tertiärprozesse basiert auf den Resultaten der Primär- sowie Sekundärprozesse [3][4][5][6]. Zudem werden die Ergebnisse der Geschiebestudie Öschibach [1] und des Zweitmeinungsberichts der WSL [7] berücksichtigt.

*Geschiebe-
mobilisierung aus
Sekundärprozessen*

Durch die Sekundärprozesse wird eine grosse Menge an Geschiebe im Unterlauf des Öschibachs abgelagert. Durch anschliessende Hochwasserereignisse (Tertiärprozesse) können verhältnismässig grosse Geschiebemengen aus den Ablagerungen mobilisiert werden. Für die Abschätzung der mobilisierten Geschiebefrachten wurde angenommen, dass der Öschibach eine Rinne in die Ablagerungen erodiert. Die Mobilisierung wurde anhand der heutigen Transportkapazität des Gerinneabschnittes zwischen Kapelle und Hauptstrasse (Abschnitt Oe2 aus der Geschiebehaushaltsstudie Öschibach) abgeschätzt.

*Geschiebe-
modellierung*

Nach der Einarbeitung in die Thematik mit Hilfe der vorliegenden Berichte, wurde zur Untersuchung der Tertiärprozesse ein 1D-Geschiebemodell (Programm: MORMO, fraktionsweise Transportberechnung) der Kander aufgebaut. Als Grundlage dafür wurde im Frühjahr 2020 das Kandergerinne innerhalb des Siedlungsgebietes zwischen Hüttetürli und dem Wehr in Kandersteg durch die Häberli + Toneatti AG neu vermessen [9]. Dieser Kander-Abschnitt wird mit dem 1D-Modell abgebildet (vgl. Abb. 1). Mit Hilfe des Modells können die Auswirkungen der Tertiärprozesse auf die Entwicklung der Sohlage über den gesamten Perimeter sowie Auswirkungen auf den Wasserspiegel untersucht werden. Das Modell wurde anhand von Simulationen von Normaljahren plausibilisiert.

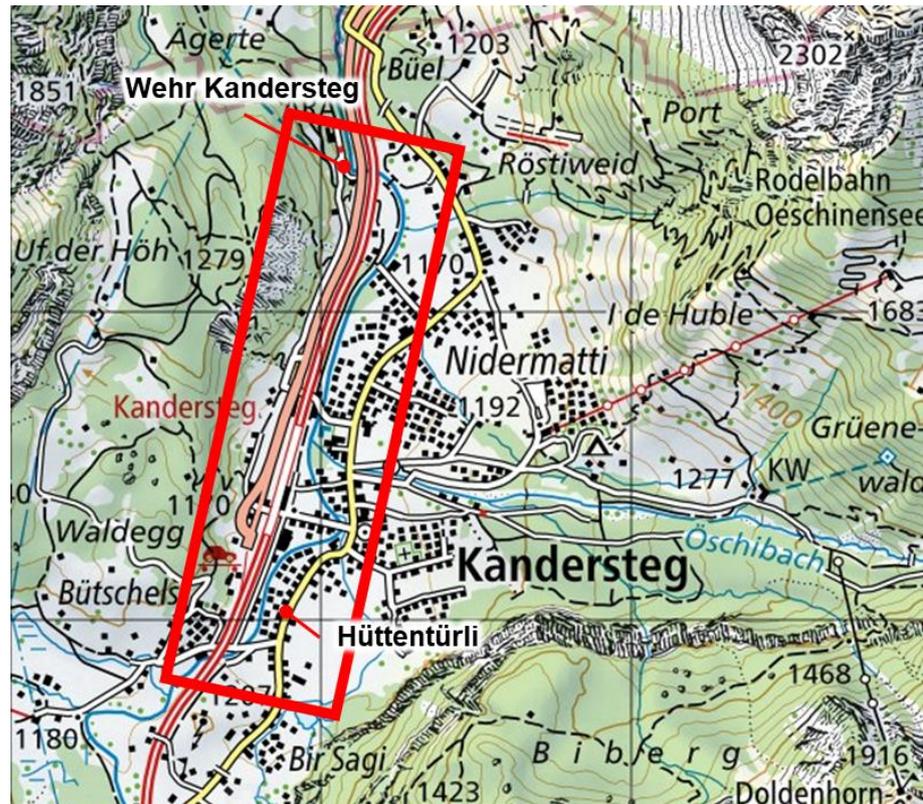


Abb. 1: Perimeter vom 1D-Geschiebemodell MORMO

*Hydrologie und
Geschiebefracht*

Als Grundlage für die Berechnungen im 1D-Geschiebemodell wurden die Abflüsse und Transportkapazitäten aus der Geschiebestudie Öschibach [1] verwendet. Darauf basierend wurden weitere Abflusszenarien sowie die Transportkapazitäten am Öschibach während oder nach den Sekundärprozessen berechnet.

*Beurteilung aktuelle
Hochwasser-
sicherheit Kander
(Szenarien «H»)*

Die Gerinnevermessung 2020 hat gezeigt, dass die Sohlage der Kander im Mündungsbereich des Öschibachs heute deutlich höher liegt als in den Plänen des Wasserbauplans HWS Kander Kandersteg [10]. Dies hat zu den Fragen geführt, ob die heutige Gerinnekapazität noch ausreichend ist und wie die Gefährdung bei Hochwasserereignissen im Zusammenspiel mit Geschiebeeinträgen aus dem Öschibach aussieht. Zur Klärung dieser Fragen wurden hydraulische Berechnungen für den IST-Zustand sowie dynamische Berechnungen (modellierte Ganglinie mit Berechnung Hydraulik, Geschiebetrieb und Sohlveränderungen) für verschiedene Hochwasser-Kombinationen durchgeführt. Einträge aus den Sekundärprozessen werden bei dieser Fragestellung noch nicht berücksichtigt (Szenarien H1 – H8, vgl. Tab.). Die Geschiebeeinträge des Öschibachs entsprechen den heutigen Transportkapazitäten im Bereich der Aufweitung (heutiger Standort GAP). Damit wird aufgezeigt, welche Reserven heute bestehen resp. ob Sofortmassnahmen bezüglich Hochwasserschutz notwendig sind.

Tab. 1: Szenarienübersicht zur aktuellen Hochwassersicherheit an der Kander (Szenarien «H»)

Szenario	Szenario Kander	Szenario Öschibach
H1	Qm	HQ ₁₀₀
H2	Qm	HQ ₃₀
H3	HQ ₂	HQ ₁₀₀
H4	HQ ₅	HQ ₁₀₀
H5	HQ ₁₀	HQ ₁₀₀
H6	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀
H7	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀₀
H8	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀

*Beurteilung
Sekundärprozesse
aus Sicht Kander*

Die Folgen der Sekundärprozesse auf die Hochwassersicherheit der Kander wurden beurteilt. Ist die Kander durch den Sekundärprozess bereits direkt betroffen und das Gerinne grossräumig verfüllt (Sekundärprozesse Szenarien A), so sind zusätzliche geschiebetechnische Berechnungen von Tertiärprozessen hinfällig, die Hochwassersicherheit ist in diesem Fall nicht mehr gegeben. In Absprache mit den Autoren der Studie Sekundärprozesse wurde auf die Ermittlung der entsprechenden Überflutungsflächen für diese Szenarien verzichtet, da diese gegenüber den Wirkungsräumen der Sekundärprozesse nicht relevant sind. Bzgl. Tertiärprozessen wurden daher nur diejenigen Sekundärprozess-Szenarien untersucht, welche zu keiner oder nur zu einer teilweisen (Sekundärprozesse B-, E- und F-Szenarien) Verfüllung der Kander führen. Für diese wurden die Geschiebemengen abgeschätzt, welche durch die Tertiärprozesse remobilisiert und in die Kander eingetragen werden können. Anschliessend wurden die verschiedenen Szenarien der Tertiärprozesse mittels 1D-Geschiebmodell der Kander simuliert.

*Szenarien-
Kombinationen
Tertiärprozesse
(Szenarien «T»)*

Aufgrund der unterschiedlichen Einzugsgebietsgrössen ist nicht anzunehmen, dass die beiden Gewässer Kander und Öschibach gleichzeitig ein Hochwasserereignis von vergleichbarer Jährlichkeit haben. Einer solchen Kombination würde eine kleinere Eintretenswahrscheinlichkeit zugewiesen. Die Szenarien werden deshalb so definiert, dass im Ereignisfall das Hochwasserereignis am Öschibach jeweils eine höhere Jährlichkeit aufweist als dasjenige an der Kander (grosser Geschiebeeintrag, geringer Weitertransport). Zudem wurde die Annahme getroffen, dass die Spitze des Hochwasserereignisses am Öschibach jeweils vor der Spitze der Kander auftritt. Dies ist bzgl. Geschiebetransport und allfälligen Auflandungen resp. bzgl. den maximal auftretenden Wasserspiegellagen in der Kander gemäss

den 1D-Modellierungen die konservativere Kombination. Teilverfüllungen der Kander infolge von «Direkttreffern» aus Sekundärprozessen (Sz. E3, E4, F2, F3) wurden für die Bestimmung der Wirkungsräume berücksichtigt.

Tab. 2: Szenarienkombination der Tertiärprozesse (Szenarien «T»)

Szenarien- kombination	Szenario Kander	Szenario Öschibach	Wahrschein- lichkeit
T1	Qm	HQ2	sehr wahrscheinlich
T2	HQ1	HQ5	sehr wahrscheinlich
T3	HQ2	HQ10	sehr wahrscheinlich
T4	Qm	HQ10	sehr wahrscheinlich
T5.1	HQ2	HQ30	wahrscheinlich
T5.2	HQ5	HQ30	wahrscheinlich
T6	HQ30	HQ100	möglich
T7	HQ100	HQ300	wenig wahrscheinlich

Feinmaterial

Der Einfluss von Feinmaterial wurde mittels vereinfachter Berechnungen nach Einstein (1950) [11] und Bilanzen den Geschiebeuntersuchungen überlagert. Die Beurteilung der Tertiärprozesse berücksichtigt den Einfluss sowohl des Geschiebetransports als auch des Transports von Feinmaterial.

Beurteilung Tertiärprozesse

Die Tertiärprozesse sind an die Sekundärprozesse gekoppelt. Die Tertiärprozesse können nur dann in der untersuchten Form auftreten, solange sich das Ablagerungsbild der Sekundärprozesse sowie die Randbedingungen nicht wesentlich verändern. Sollten die Erfahrungen zeigen, dass die Primär- oder Sekundärprozesse wesentlich anders ablaufen als prognostiziert, ist auch eine Neuurteilung der Tertiärprozesse notwendig.

Es muss davon ausgegangen werden, dass der Zustand nach einem Sekundärprozess mehrere Wochen bestehen bleibt (Dauer Instandstellung, Installation von Schutzmassnahmen) und das Auftreten der Tertiärprozesse zeitlich limitiert ist. Diese Annahme hat Auswirkungen auf die Jährlichkeiten

der untersuchten Szenarienkombinationen. So hat ein Ereignis mit einer kleinen Jährlichkeit eine wesentlich höhere Auftretenswahrscheinlichkeit. Dieser Umstand wird bei der Beurteilung der Tertiärprozesse berücksichtigt.

*Modellierung
Wirkungsräume*

Je nach Szenarienkombination wird das Kandergerinne durch die Tertiärprozesse teilweise oder vollständig verfüllt und es kommt zu Wasseraustritten. Um die Wirkungsräume der Überflutungen festzustellen, wurde ein 2D-Hydraulikmodell eingesetzt. Die ausgeschiedenen Ablagerungsflächen aus den Sekundärprozessen werden im 2D-Modell integriert.

Zusätzlich werden auch die Folgen untersucht, falls nach dem Sekundärprozess ein Hochwasser am Öschibach auftritt (Tertiärprozess) und sich der Abfluss nicht in einer Rinne in den Ablagerungen der Sekundärprozesse eintieft. In diesem Fall wäre das Gerinne vom Öschibach vollständig verfüllt und Wasseraustritte aus dem Öschibach wären die Folge.

Die Wirkungsräume der Tertiärprozesse werden anschliessend in Kombination mit den Wirkungsräumen aus den Sekundärprozessen kartiert.

5 Hydrologie

5.1 Hochwasserereignisse Öschibach

Die Spitzenabflüsse der Hochwasserszenarien HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{300} bei der Mündung in die Kander können der Gefahrenkarte Kandersteg entnommen werden [2]. Im Zuge der Geschiebestudie Öschibach [1] wurden diese Abflüsse überprüft und als eher hoch, aber plausibel beurteilt. Für die Ganglinie wurde eine vereinfachte Dreiecksganglinie mit steilem Anstieg des Abflusses und einem flacheren absteigenden Ast verwendet. Die Konzentrationszeit der jeweiligen Szenarien wurde mit Hilfe des Tools HQ_x _meso abgeschätzt (vgl. Abb. 2). Hochwasserabflussspitzen kleinerer Ereignisse wurden ausgehend von den bekannten Spitzenabflüssen extrapoliert (vgl. Tab. 3).

Tab. 3: Abflussspitzen und Ereignisdauer für die einzelnen Hochwasserszenarien am Öschibach bei der Mündung in die Kander

	HQ_1	HQ_2	HQ_5	HQ_{10}
Abfluss [m ³ /s]	1	4.5	10	14
Ereignisdauer [Std]	0.5	1	2	3
	HQ_{30}	HQ_{100}	HQ_{300}	EHQ
Abfluss [m ³ /s]	19	30	38	47
Ereignisdauer [Std]	4	6	7.5	9.5

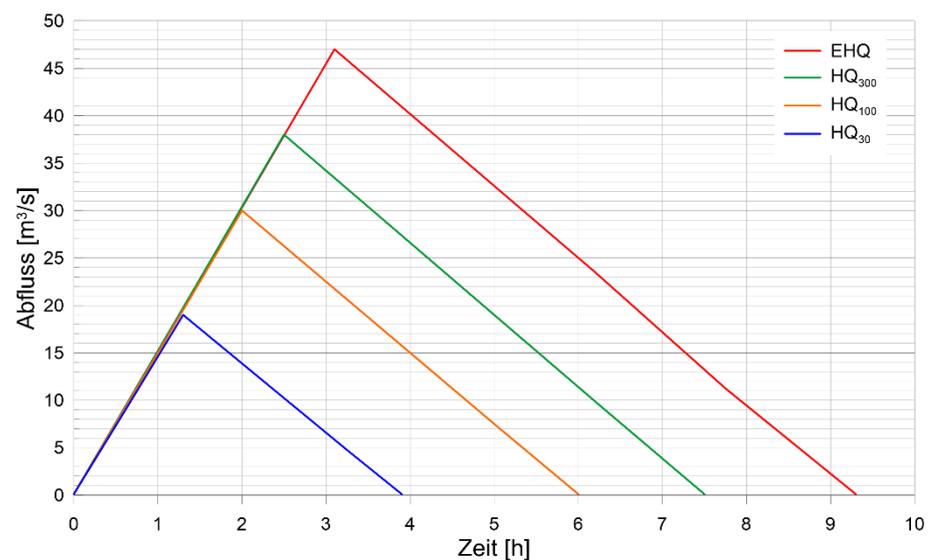


Abb. 2: Generierte Ganglinien der einzelnen Szenarien (HQ_{30} , HQ_{100} , HQ_{300} und EHQ) für den Unterlauf des Öschibachs.

5.2 Hochwasserereignisse Kander

Die Spitzenabflüsse der Hochwasserszenarien HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ wurden aus der «Studie LLE» entnommen.

Für die Ganglinie wurde eine vereinfachte Dreiecksganglinie mit steilem Anstieg des Abflusses und einem flacheren absteigenden Ast, basierend auf der Ereignisganglinie vom Oktober 2011, erstellt.

Kleinere Spitzenabflüsse wurden basierend auf den bekannten Hochwasserabflüssen extrapoliert. Die An- und Abstiegszeiten wurden bei Ereignissen \leq HQ₁₀ verdoppelt, um das Abflussvolumen nicht zu unterschätzen (vgl. Abb. 3). Relevant für den Geschiebetransport an der Kander ist ein Abfluss von über 10 m³/s. Die Gesamtdauer der Ereignisse ist ausserdem für die Beurteilung nicht relevant, da die kritischen Prozesse im Bereich der Spitzenabflüsse stattfinden.

Tab. 4: Abflussspitzen und Ereignisdauer für die einzelnen Hochwasserszenarien der Kander, oberhalb der Öschibachmündung

Kander oberhalb Öschibach	HQ ₁	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀
Abfluss [m ³ /s]	13	22	34	42
Ereignisdauer [Std]	85	140	220	270
	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	EHQ
Abfluss [m ³ /s]	56	70	86	104
Ereignisdauer [Std]	180	225	280	335

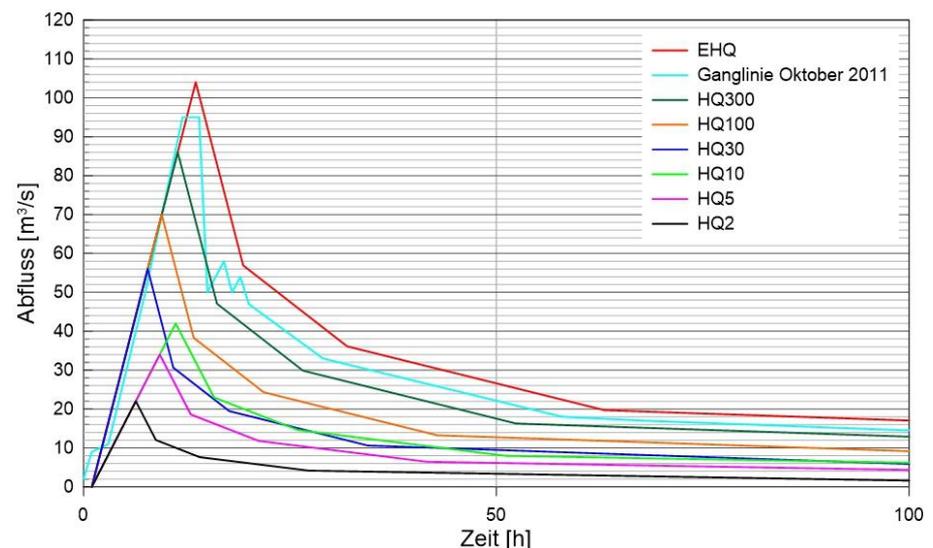


Abb. 3: Generierte HW-Ganglinien der Kander oberhalb der Öschibachmündung

6 Geschiebemobilisierung und -einträge

6.1 Parameter Geschiebe Öschibach

Im Zuge der Geschiebestudie Öschibach [1] wurde das Gerinne in fünf verschiedenen Abschnitte unterteilt (vgl. Tab. 5). Für jeden von diesen Abschnitten wurden die Frachten mit Hilfe der Methode der Tal- und Gebirgsflüsse (Gefälle > 1 %) [8] berechnet, bei welcher der Transport in einem Einkornmodell beschrieben ist. Die Berechnung der Transportkapazität erfolgte nach Smart und Jäggi (1983).

Tab. 5: Parameter für die Berechnung der Transportkapazitäten der einzelnen Abschnitte am Öschibach (1-5)

Abschnitt		Oe1	Oe2	Oe3	Oe4	Oe5
Km	[km]	0.0-	0.17-	0.37-	0.74-	1.432-
		0.17	0.37	0.74	1.43	2.43
Breite	[m]	3.3	4	16	18	15
Gefälle	[%]	3.0	3.5	3.3	9.8	17
Makrorauigkeit	[-]	-	-	-	1.0	1.0
D_m	[cm]	5.5	5.5	5.5	5.5	12.5
D₉₀	[cm]	11.0	11.0	11.0	11.0	30.0

6.2 Abschätzung Geschiebe Öschibach während Tertiärprozessen

Im heutigen Zustand wirkt der Gerinneabschnitt 3 (Oe3) vom Öschibach durch seine grosse Breite als transportlimitierende Strecke und begrenzt so den Geschiebeeintrag in die Kander. Bei allen untersuchten Sekundärprozessen wird eine grosse Menge an Material im Unterlauf vom Öschibach abgelagert. Aufgrund von diesem Ablagerungsbild wird davon ausgegangen, dass der Öschibach eine Rinne in die Ablagerungen der Sekundärprozesse erodieren wird und daher die Transportkapazität des Abschnittes 2 (Oe2) massgebend sein wird für den Geschiebetransport während den untersuchten Tertiärprozessen. Aufgrund der Ablagerungen aus den Sekundärprozessen und des dadurch erhöhten Geschiebepotentials nimmt der Geschiebeeintrag aus dem Öschibach in die Kander während den Tertiärprozessen im Vergleich zum heutigen Zustand deutlich zu (vgl. Tab. 6). Die entsprechenden Sensitivitäten und Bandbreiten sind in Kapitel 8.2 dokumentiert.

Vergleich mit
HW August 2019

Ein Vergleich mit dem Hochwasserereignis vom 11. August 2019 (ca. HQ₁₀ [1]) ist hinsichtlich der Geschiebeeinträge in die Kander nicht möglich, da sich die Topografie und das Geschiebepotential bei Tertiärprozessen deutlich vom Zustand 2019 unterscheiden würden. Der Geschiebeeintrag in die Kander während des Ereignisses 2019 kann ausserdem nicht quantifiziert werden. Das Ereignis hat allerdings gezeigt, dass im steileren Oberlauf mehrere hundert bis wenige tausend m³ Geschiebe und noch grössere Mengen an Feinmaterial umgelagert wurden. Diese Grössenordnungen passen mit den vorliegenden Abschätzungen überein.

Tab. 6: *Transportkapazitäten Geschiebe vom Öschibach in die Kander während verschiedener Hochwasserereignisse*

Szenario		HQ ₁	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	EHQ
Transportkapazität Oe3	[m ³]	0	0	100	400	1'100	3'000	5'100	8'400
Transportkapazität Oe2	[m ³]	0	60	430	900	1'700	4'500	7'200	11'000

6.3 Abschätzung Feinmaterial Öschibach während Tertiärprozessen

Neben dem Geschiebe wird auch das Feinmaterial berücksichtigt, welches als Suspension in Schwebelagerung transportiert wird. Die transportierten Feinmaterialfrachten werden mittels Schwebstofftransportformel nach Einstein berechnet (1950) [11]. Auch für das Feinmaterial wird die Annahme getroffen, dass im heutigen Zustand die Transportkapazität von Abschnitt 3 (Oe3) relevant ist für den Eintrag in die Kander. Treten die untersuchten Sekundärprozesse auf, wird die Transportkapazität aus Gerinneabschnitt 2 (Oe2) massgebend sein für den Eintrag an Feinmaterial in die Kander (vgl. Tab. 7). Die entsprechenden Sensitivitäten und Bandbreiten sind in Kapitel 8.2 dokumentiert.

Tab. 7: *Transportkapazitäten Feinmaterial vom Öschibach in die Kander während verschiedener Hochwasserereignisse*

Szenario		HQ ₁	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	EHQ
Transport Feinmaterial Oe3	[m ³]	0	0	200	700	2'100	8'600	17'000	32'000
Transport Feinmaterial Oe2	[m ³]	0	100	1'600	4'200	10'000	36'000	70'000	125'000

7 Szenariendefinition

7.1 Aktuelle Hochwassersicherheit Kander

Wie die Gerinnevermessung vom Frühjahr 2020 zeigt, liegt die Kandersohle im Bereich der Öschibach-Mündung im heutigen Zustand deutlich höher als gemäss umgesetztem Wasserbauprojekt [10] vorgesehen (vgl. Abb. 4). Es stellt sich deshalb unabhängig von den Prozessen am Spitze Stei die Frage, ob Sofortmassnahmen an der Kander bezüglich dem Hochwasserschutz notwendig sind. Um diese Frage beantworten zu können, wurden verschiedene Hochwasserkombinationen an der Kander und am Öschibach (vgl. Tab. 8) im 1D-Geschiebmodell gerechnet und zusätzlich das Feinmaterial berücksichtigt. Die Hochwasserspitze vom Öschibach tritt dabei jeweils vor der Spitze der Kander auf. Der Geschiebeeintrag aus dem Öschibach wird soweit erhöht, bis die Kapazität der Kander nicht mehr ausreicht und das Wasser über die Ufer tritt. Der Geschiebeeintrag aus der Kander wird ebenfalls berücksichtigt und entspricht der jeweiligen Transportkapazität oberhalb der Öschibachmündung. So lässt sich für verschiedene Hochwasserszenarien feststellen, wieviel Feststoffe maximal aus dem Öschibach in die Kander eingetragen werden können, ohne dass die Kapazität der Kander im untersuchten Abschnitt überschritten wird.

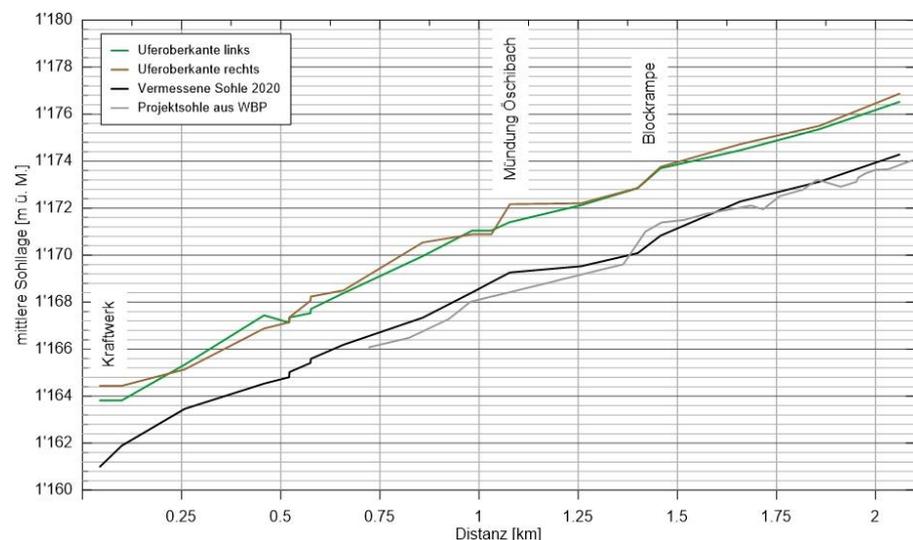


Abb. 4: Vergleich der vermessenen Sohle im Frühjahr 2020 und der geplanten Projektsohle aus dem Wasserbauprojekt [10]

Tab. 8: *Untersuchte Szenarienkombinationen zur Beurteilung der aktuellen Hochwassersicherheit an der Kander*

Szenario	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
Szenario Kander	mQ	mQ	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₁₀₀
Szenario Öschibach	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀				

7.2 Szenarienkombination Tertiärprozesse Öschibach, Kander

*Einordnung
Sekundärprozesse
aus Sicht Kander*

Um die Auswirkungen der Tertiärprozesse auf die Kander zu beurteilen, wurden für die Szenarienkombinationen in einem ersten Schritt die Szenarien der Sekundärprozesse betrachtet (vgl. Tab. 9). Die Szenarien A der Sekundärprozesse werden für diese Untersuchungen nicht weiter berücksichtigt. Das Kandergerinne wird bei diesen Szenarien vollständig verfüllt und die Hochwassersicherheit ist bereits nach dem Sekundärprozess nicht mehr gegeben, wodurch die geschiebetechnische Untersuchung des Tertiärprozesses keine zusätzlichen Erkenntnisse liefert. Auf eine Berechnung der Wirkungsräume der Tertiärprozesse wird für diese Szenariengruppe ebenfalls verzichtet, da diese im Vergleich zu den Wirkungsräumen des Sekundärprozesses nicht ins Gewicht fallen.

Tab. 9: Übersicht der Sekundärprozesse und Direktfolgen für die Kander

Szenario Sekundär -prozess	Sekundärprozess	Direkte Folgen für Kander	Berechnung Tertiärprozess
A1	Kleine Flutwelle aus Oeschinensee	Vollverfüllung Kander	Nein
A2	Mittlere Flutwelle aus Oeschinensee	Vollverfüllung Kander	Nein
A3	Grosse Flutwelle aus Oeschinensee ₂	Vollverfüllung Kander	Nein
A4	Flutwelle aus neu entstandenem Holzspichersee	Vollverfüllung Kander	Nein
B	Erosion in Sturzablagerung	Nicht direkt betroffen	Ja
E1	Gerinnemurgang in hochwasserarmen Jahren	Nicht direkt betroffen	Ja
E2	Gerinnemurgang in normalem Hochwasserjahr	Nicht direkt betroffen	Ja
E3	Gerinneprozesse in hochwasserreichem Jahr	Teilverfüllung Bereich Chappeli	Ja
E4	Gerinnemurgang Einzelereignis	Teilverfüllung Bereich Chappeli - Risetistrasse	Ja
F1	Schuttstrom trocken	Nicht direkt betroffen	Ja
F2	Schuttstrom nass	Teilverfüllung Bereich Chappeli	Ja
F3	Volumenstrom	Teilverfüllung Bereich Chappeli - Risetistrasse	Ja

Szenarien
Tertiärprozesse

Für die restlichen acht Sekundärprozessszenarien wurden nach Absprache mit den Autoren der Studie Sekundärprozesse zu kombinierende Tertiärprozessszenarien definiert. Die Szenarien der Tertiärprozesse setzen voraus, dass zuerst die Primär- und Sekundärprozesse auftreten. Die Tertiärprozesse können während desselben Ereignisses oder während eines Folgeereignisses ablaufen. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen, wurden insgesamt acht verschiedene Szenarienkombinationen für die Tertiärprozesse mit verschiedenen Auftretenswahrscheinlichkeiten definiert (vgl. Tab. 10).

Die Ausgangslage der Tertiärprozesse unterscheidet sich je nach Sekundärprozess nicht massgebend. Das nötige Geschiebepotential ist bei allen acht berücksichtigten Sekundärprozessen vorhanden. Für die Szenarien E3, E4, F2 und F3 wird aufgrund der Wirkungsräume Sekundärprozesse nebst den Tertiärprozessen eine zusätzliche Teilverfüllung der Kander im Bereich Chappeli angenommen.

Es gilt zu berücksichtigen, dass die maximalen Geschiebemobilisierungen bei Tertiärprozessen nur unter der Annahme in dieser Form auftreten werden, sofern der Öschibach auch nach dem Sekundärprozess in seinem heutigen Gerinne in die Kander fliesst. Nach dem Eintreten der Sekundärprozesse besteht je nach Szenario die Möglichkeit, dass das heutige Gerinne vom Öschibach komplett verfüllt wird und der Bach austritt oder ein neues Gerinne bildet. Dieser Zustand wurde aufgrund der geringeren mobilisierten Frachten geschiebetechnisch nicht untersucht, ein Austritt des Öschibachs aus seinem Unterlauf ist allerdings in den ausgeschiedenen Überflutungsflächen berücksichtigt.

Tab. 10: Szenarienkombination der Tertiärprozesse mit berechneten Einträgen

Szenarien-kombination	Szenario Kander	Szenario Öschibach	Eintrag Öschibach während Hochwasser (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Auftretenswahr- scheinlichkeit Tertiärprozess
T1	Qm	HQ2	63 / 100	sehr wahrscheinlich
T2	HQ1	HQ5	430 / 1'600	sehr wahrscheinlich
T3	HQ2	HQ10	900 / 4'200	sehr wahrscheinlich
T4	Qm	HQ10	900 / 4'200	sehr wahrscheinlich
T5.1	HQ2	HQ30	1'730 / 10'000	wahrscheinlich
T5.2	HQ5	HQ30	1'730 / 10'000	wahrscheinlich
T6	HQ30	HQ100	4450 / 36'000	möglich
T7	HQ100	HQ300	7200 / 70'000	wenig wahrscheinlich

8 Resultate Geschiebemodellierung Kander

8.1 Hochwasserereignisse Kander

Die Modellierungen haben gezeigt, dass im heutigen Zustand mit der erhöhten Sohlage im Mündungsbereich vom Öschibach weiterhin ein Hochwasserereignis der Kander bis zu einer Jährlichkeit von 100 Jahren abgeführt werden kann (vgl. Abb. 5), es sind keine Wasseraustritte zu erwarten. Anders sieht es aus, sobald auch der Öschibach Hochwasser führt und wesentliche Geschiebemengen einträgt (vgl. Tab. 11). Die Spalte «Bordvolles Gerinne Kander» in der Tab. 11 gibt an, wie viel Geschiebe bei den jeweiligen Szenarienkombinationen maximal aus dem Öschibach in die Kander eingetragen werden darf, ohne dass Wasser bei der Mündung über die Ufer tritt. Zusätzlich zum Geschiebe ist auch mit einem erheblichen Eintrag an Feinmaterial zu rechnen. Ein Teil davon wird im Mündungsbereich abgelagert. Ab einem Ablagerungsvolumen von rund 2'500 m³ (Summe an Feststoffe) wäre das Kandergerinne vollständig verfüllt.

Berücksichtigt man auch das Feinmaterial, so sind ab einem HQ₁₀₀-Ereignis im Öschibach Wasseraustritte aus der Kander zu erwarten, unabhängig vom Szenario in der Kander. Führt die Kander gleichzeitig ein grösseres Hochwasser, so wird zwar Geschiebe weitertransportiert, der restliche Querschnitt des Gerinnes reicht aber nicht aus, um den gesamten Abfluss abzuführen. Führt die Kander kein Hochwasser, so bleibt mehr Geschiebe liegen, so dass die Restkapazität gering ist. In beiden Fällen ist die Hochwassersicherheit nicht gewährleistet.

Kleinere Hochwasserereignisse aus dem Öschibach (HQ₃₀ oder kleiner) können auch mit der aktuellen hohen Sohlage bei der Mündung bis zu einem HQ₁₀₀ in der Kander ohne Austritte (jedoch ohne Berücksichtigung eines Freibords) abtransportiert werden. Allerdings ist auch in diesem Fall mit weiteren Auflandungen im Mündungsbereich zu rechnen.

Bei diesen Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass gemäss der heutigen Gefahrenkarte [S1] der Öschibach selbst ab einem HQ₁₀₀ über die Ufer tritt. Das bedeutet, dass ab einem solchen Ereignis mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht die ganze Fracht bis in die Kander gelangt.

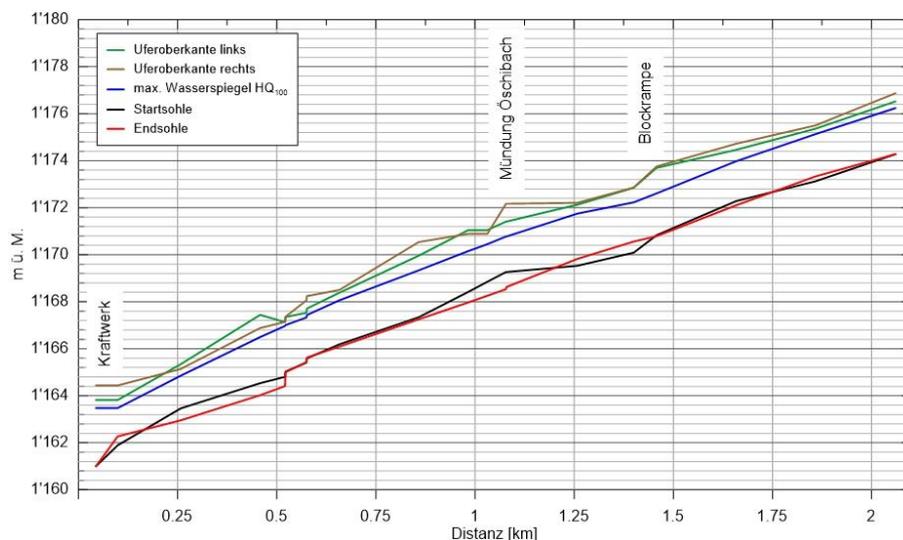


Abb. 5: Wasserspiegellage und resultierende Sohlage bei einem HQ₁₀₀-Ereignis an der Kander. Der Öschibach führt kein Hochwasser

Tab. 11: Übersicht der modellierten Hochwasserszenarien zur Abklärung der aktuellen Hochwassersicherheit an der Kander in Kandersteg. Es wird nur der Transport während dem Öschibach-Ereignis berücksichtigt.

Szenario	Szenario Kander	Eintrag Kander während Hochwasser Öschibach (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Szenario Öschibach	Eintrag Öschibach während Hochwasser (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Weitertransport Kander während Hochwasser Öschibach (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Bordvolles Gerinne Kander im Mündungsbe reich ab (Geschiebe) [m ³ /E]	Auflandung nach Hochwasser Öschibach (Geschiebe- und Feinmaterial) [m ³ /E]	Austritt?
H1	Qm	0 / 0	HQ ₁₀₀	3'000 / 8'600	400 / 3'400	3'600	7'800	Ja
H2	Qm	0 / 0	HQ ₃₀	1'100 / 2'100	100 / 800	2'700	2'300	Nein
H3	HQ ₂	0 / 100	HQ ₁₀₀	3'000 / 8'600	700 / 6'400	3'100	4'600	Ja
H4	HQ ₅	0 / 200	HQ ₁₀₀	3'000 / 8'600	800 / 7'100	3'500	3'900	Ja
H5	HQ ₁₀	0 / 200	HQ ₁₀₀	3'000 / 8'600	800 / 7'100	3'000	3'900	Ja
H6	HQ ₃₀	300 / 3'300	HQ ₁₀₀	3'000 / 8'600	1'500 / 18'300	2'000	1'800	Ja
H7	HQ ₁₀₀	300 / 3'300	HQ ₁₀₀	3'000 / 8'600	1'500 / 18'300	2'000	1'800	Ja
H8	HQ ₁₀₀	0 / 400	HQ ₃₀	1'100 / 2'100	500 / 4'100	2'000	600	Nein

8.2 Szenarienkombination Tertiärprozesse Öschibach, Kander

Die Untersuchungen der Tertiärprozesse haben gezeigt, dass Gerinneverfüllungen und Wasseraustritte aus der Kander mögliche Folgen sind.

<i>Geschiebe</i>	<p>Betrachtet man nur das Geschiebe, so findet bei den Szenarien T1 – T5.2 eine Auflandung im Mündungsbereich statt (vgl. Tab. 12). Das Ablagerungsvolumen durch Geschiebe beträgt je nach Szenarienkombination zwischen $< 100 \text{ m}^3$ (T1) und 1500 m^3 (T5.1). Die maximale Auflandungshöhe liegt zwischen $0.2 - 1.0 \text{ m}$ (vgl. Abb. 6), es kommt bei keinem dieser Szenarien zu einer vollständigen Gerinneverfüllung der Kander. Aber einer Ablagerungsmenge in der Grössenordnung von $2'000 - 2'500 \text{ m}^3$ ist mit einer vollständigen Gerinneverfüllung der Kander zu rechnen. Bei den Szenarien T6 und T7 wäre dies bereits bei einem reinen Geschiebeeintrag der Fall.</p>
<i>Feinmaterial</i>	<p>Berücksichtigt man allerdings auch das aus dem Öschibach eingetragene Feinmaterial, ergibt sich ein anderes Bild. Durch die Primär- und Sekundärprozesse ist im Einzugsgebiet des Öschibachs von grossen, rasch mobilisierbaren Potenzialen an Feinmaterial auszugehen. Die Kander ist bei den untersuchten Szenarienkombinationen nicht in der Lage, das gesamte eingetragene Feinmaterial weiter zu transportieren. Während den Ereignissen kommt es daher nebst der Auflandung durch Geschiebe auch zu Ablagerungen von Feinmaterial. Daraus resultiert, dass bei sechs der acht untersuchten Szenarienkombinationen mit einer Vollverfüllung der Kander zu rechnen ist. Bei einem Szenario wird die Kander teilweise verfüllt, Austritte sind während des Ereignisses aber nicht zu erwarten.</p>
<i>Sensitivitäten</i>	<p>Zur Einschätzung der Sensitivität der Feststofffrachten wird der Parameter Korndurchmesser um $\pm 50 \%$ variiert (vgl. Tab. 13). Die daraus resultierenden Bandbreiten an Geschiebeeinträgen und Transportkapazitäten haben einen Einfluss auf die Verladungsszenarien in der Kander (Tab. 13). Für die Erarbeitung der Wirkungsräume wurde von den angenommenen Werten resp. den Mittelwerten der Bandbreiten ausgegangen (Tab. 12). Bei einer Abnahme des Korndurchmessers um 50% ist nur noch beim Szenario T4 und T5.1 mit einer Vollverfüllung der Kander zu rechnen. Bei den Szenarien T1 und T2 ist bei den untersuchten Bandbreiten jedoch weiterhin keine Vollverfüllung des Gerinnes anzunehmen.</p>
<i>Fazit</i>	<p>Aus den Resultaten lässt sich herleiten, dass Hochwasserereignisse aus dem Öschibach, im Nachgang von Sekundärprozessen, ab einer Jährlichkeit von rund 10 Jahren oder mehr die Kander im Mündungsbereich vollständig verfüllen. Dabei spielt das Szenario beim Sekundärprozess keine Rolle, das mobilisierbare Feststoffpotential ist immer gegeben. Auch hat die Teilverfüllung der Kander im Bereich Chappeli bei den Szenarien E3, E4 und F2 (Sekundärprozess) keinen zusätzlichen Einfluss.</p>

Alternativ zu Szenarien mit grossen Geschiebemobilisierungen ist auch damit zu rechnen, dass das Gerinne des Öschibachs durch Sekundärprozesse verfüllt wird und Wasser austritt. Diese Szenarien sind in den Wirkungsräumen berücksichtigt.

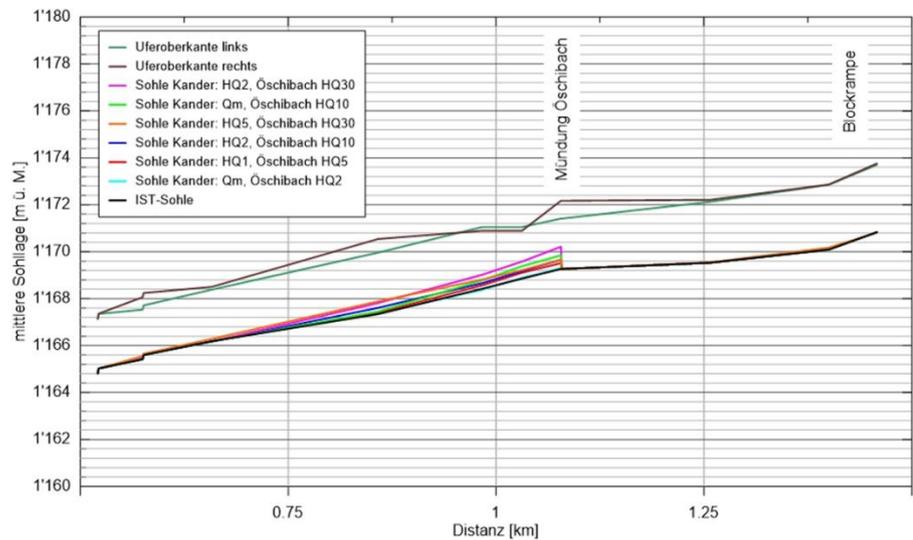


Abb. 6: Auflandung im Mündungsbereich durch Geschiebe bei unterschiedlichen Szenarienkombinationen

Tab. 12: Übersicht der modellierten Tertiärprozesse. Untersucht wurden der Transport von Geschiebe und Feinmaterial.

Szenarien-kombination	Szenario Kander	Eintrag Kander während Hochwasser (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Szenario Öschibach	Eintrag Öschibach während Hochwasser (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Weitertransport Kander während Hochwasser (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	max. Auflandung Kander (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Auswirkung Kander
T1	Qm	0 / 0	HQ2	63 / 100	0 / 0	63 / 100	minimale Auflandung
T2	HQ1	0 / 0	HQ5	430 / 1'600	0 / 200	430 / 1'400	teilverfüllung
T3	HQ2	0 / 100	HQ10	900 / 4'200	300 / 1'700	900 / 2'600	vollverfüllung
T4	Qm	0 / 0	HQ10	900 / 4'200	0 / 100	900 / 4'100	vollverfüllung
T5.1	HQ2	0 / 100	HQ30	1'730 / 10'000	500 / 3'600	1'230 / 6'500	vollverfüllung
T5.2	HQ5	300 / 2'400	HQ30	1'730 / 10'000	1'400 / 10'500	630 / 1'900	vollverfüllung
T6	HQ30	4'600 / 45'000	HQ100	4450 / 36'000	6'700 / 63'000	2'350 / 18'000	vollverfüllung
T7	HQ100	9'400 / 100'000	HQ300	7200 / 70'000	14'400 / 140'000	2'200 / 30'000	vollverfüllung

Tab. 13: Berechnete Bandbreite der Frachten (Min/Max) der untersuchten Tertiärprozesse bei einer Variierung des Korndurchmessers von $\pm 50\%$.

Szenarien-kombination	Szenario Kander	Eintrag Kander während Hochwasser (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Szenario Öschibach	Eintrag Öschibach während Hochwasser (Geschiebe +/- 50%) [m ³ /E]	Eintrag Öschibach während Hochwasser (Feinmaterial +/- 50%) [m ³ /E]	Weitertransport Kander während Hochwasser (Geschiebe +/- 50%) [m ³ /E]	Weitertransport Kander während Hochwasser (Feinmaterial +/- 50%) [m ³ /E]	Auflandung Kander (Geschiebe) [m ³ /E]	Auflandung Kander (Feinmaterial) [m ³ /E]	Auflandung Kander (Geschiebe / Feinmaterial) [m ³ /E]	Auswirkung Kander
T1	Qm	0 / 0	HQ2	40 - 80	100 - 400	0 - 200	0 - 1500	0-40	0-100	0-100	Erosion-minimale Auflandung
T2	HQ1	0 / 0	HQ5	350 - 510	900 - 3500	0 - 200	0 - 2200	310-350	900-1300	1200-1800	teilverfüllung
T3	HQ2	0 / 100	HQ10	770 - 1020	2500 - 9000	0 - 1000	100 - 11300	20-770	0-2500	20-3300	minimale Auflandung-vollverfüllung
T4	Qm	0 / 0	HQ10	770 - 1020	2500 - 9000	0 - 600	0 - 3800	420-770	2500-5200	2900-6000	vollverfüllung
T5.1	HQ2	0 / 100	HQ30	1550 - 1920	6200 - 21000	100 - 1400	700 - 3800	520-1450	5600-17300	6100-18800	vollverfüllung
T5.2	HQ5	300 / 2'400	HQ30	1550 - 1920	6200 - 21000	500 - 4300	2300 - 49500	0-1350	0-6300	0-7650	Erosion-vollverfüllung
T6	HQ30	4'600 / 45'000	HQ100	4'100 - 4'800	23'000 - 73'000	3'300 - 17'100	22'000 - 235'000	0 - 5'400	0 - 46'000	0 - 50'000	Erosion-vollverfüllung
T7	HQ100	9'400 / 100'000	HQ300	6'800 - 7'600	45'000 - 138'000	500 - 30'000	49'000 - 467'000	0 - 15'700	0 - 96'000	0 - 110'000	Erosion-vollverfüllung

8.3 Hyperconcentrated Flow

Unter hyperconcentrated Flow versteht man einen Abfluss mit einer hohen Konzentration an mitgeführtem Feinmaterial. Durch die gegenüber Wasser erhöhte Dichte und Viskosität resultiert eine deutlich erhöhte Geschiebetransportkapazität als bei herkömmlichem fluvialen Transport (Größenordnung 100 %).

Bei den untersuchten Tertiärprozessen ist der hyperconcentrated Flow nur bei Szenarien relevant, welche nicht ohnehin zu einer Vollverfüllung des Kandergerinnes führen. Von wesentlichen Terrainveränderungen ausserhalb des Gerinnes ist nicht auszugehen. Bei den sehr wahrscheinlichen Szenarien (keine Vollverfüllung durch fluviale Prozesse) könnte eine Kombination mit hyperconcentrated Flow zu einer vollständigen Gerinneverfüllung führen. Allerdings wird einer solchen Kombination eine kleinere Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet und bei selteneren Ereignissen wiederum ist ohnehin mit einer Vollverfüllung des Kandergerinnes zu rechnen. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass das Risiko, welches von den Tertiärprozessen ausgeht, durch Kombinationen mit hyperconcentrated Flow nicht massgeblich verändert wird.

9 Wirkungsräume Tertiärprozesse

Die Beurteilung der Tertiärprozesse hat gezeigt, dass ab einem 10-jährlichen Hochwasserereignis am Öschibach die Kander im Mündungsbereich vollständig mit Geschiebe und Feinmaterial verfüllt werden kann. Entsprechend den Handlungsempfehlungen (Kap. 12.2) berücksichtigen die Wirkungsräume für die Tertiärprozesse keine baulichen Schutzmassnahmen. Auch Interventionen während oder zwischen den Ereignissen sind nicht angenommen. Die bereits realisierten Schutzmassnahmen für die Sekundärprozesse sind in diesen Wirkungsräumen allerdings berücksichtigt.

*Geschiebe-
mobilisierung oder
Austritt Öschibach*

Es werden zwei verschiedene Ausprägungen der Tertiärprozesse untersucht. Variante 1 entspricht der in Kapitel 7 und 8 vorgestellten Szenarienkombinationen. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Öschibach nach dem Sekundärprozess weiterhin durch das heutige Gerinne abfließt, dabei Geschiebe mobilisiert und in die Kander transportiert. Bei der Variante 2 wird die Annahme getroffen, dass das Gerinne vom Öschibach vollständig verfüllt oder der Abflussquerschnitt unter den bestehenden Brücken nicht mehr ausreichend ist und der Öschibach bei Hochwasser unterhalb der beiden neuen Querdämme austritt.

9.1 Aufbau hydraulisches Modell

Um die Wirkungsräume (Überflutungsflächen) der Tertiärprozesse zu ermitteln, wurde ein hydraulisches 2D-Modell erstellt. Damit wurden die verschiedenen untersuchten Szenarienkombinationen der Tertiärprozesse abgebildet (vgl. Kap. 7.2). Bei den Szenarien T1 und T2 wird die Kander zwar nicht vollverfüllt, allerdings können die Ablagerungen im Öschibachgerinne zu Wasseraustritten führen. Bei diesen Szenarien führt somit nur die untersuchte Variante 2 zu Überflutungsflächen.

Für die Szenarien, bei welchen mit einer vollständigen Verfüllung des Kandergerinnes zu rechnen ist, wurde die Kander unterhalb der Öschibachmündung im 2D-Modell auf einer Strecke von 200 m verfüllt.

9.2 Berechnung der Wirkungsräume

Für die Berechnung des Geschiebetransportes im 1D-Geschiebemodell der Kander tritt die Hochwasserspitze vom Öschibach jeweils vor der Hochwasserspitze der Kander auf. Dies ist gemäss der 1D-Modellierung die konservativste Kombination. Daraus folgt, dass das Gerinne unterhalb der

Öschibachmündung verfüllt ist, sobald die Hochwasserspitze der Kander auftritt. Der Abfluss vom Öschibach ist zu diesem Zeitpunkt hingegen tiefer, da die Spitze bereits vorbei ist. Dies wird in den hydraulischen 2D-Modellierungen berücksichtigt, indem nicht die ganze Ereignisdauer gerechnet wurde, sondern erst der Zustand nach dem Hochwasser am Öschibach. So werden die Überflutungsflächen nicht überschätzt.

9.3 Wirkungsräume

Die hydraulische Modellierung der Wirkungsräume Tertiärprozesse hat gezeigt, dass bei einem Eintreten einer Vollverfüllung der Kander (Variante 1) und/ oder dem Öschibach (Variante 2), bei allen untersuchten Auftretenswahrscheinlichkeiten grosse Flächen des Siedlungsgebiets von Kandersteg überflutet werden (vgl. Abb. 7). Durch die Vollverfüllung der Kander ab einem wahrscheinlichen Ereignis entsteht oberhalb der Öschibachmündung ein Rückstau. Das Gebiet rund um die Bahnhofstrasse wird dadurch überflutet. Weiter tritt das Wasser unterhalb der Badi rechtsseitig der Kander über die Ufer und fliesst parallel zur Kander durch das Siedlungsgebiet, bevor es kurz oberhalb des Kraftwerks zurück in die Kander gelangt. Die mobilen Massnahmen, welche bei den beiden Unterführungen der Bahnlinie (Bahnhofstrasse, Risetistrasse) installiert sind, wurden bei der Festlegung der Wirkungsräume analog zu einer Gefahrenkartierung nicht berücksichtigt.

Die Wirkungsräume wurden anhand der aktuellen Gefahrenkarte Wasser plausibilisiert. Die wichtigsten Schwachstellen und die betroffenen Flächen sind mit denjenigen aus der Gefahrenkarte vergleichbar. Aufgrund der Szenarien infolge Spitze Stei (grosser Geschiebeanfall, Gerinneverfüllungen) treten allerdings grössere Intensitäten auf.

*Einfluss
Ablagerungen
Sekundärprozesse*

Die Fliesswege des Wassers ändern sich nicht grundlegend durch die Ablagerungen aus den Sekundärprozessen. Je nach Ablagerungen wird der Wirkungsraum des Tertiärprozesses etwas eingeengt und fällt kleiner aus. Die Flächen, welche in diesem Fall nicht durch den Tertiärprozess überflutet werden, sind allerdings bereits beim Sekundärprozess betroffen.

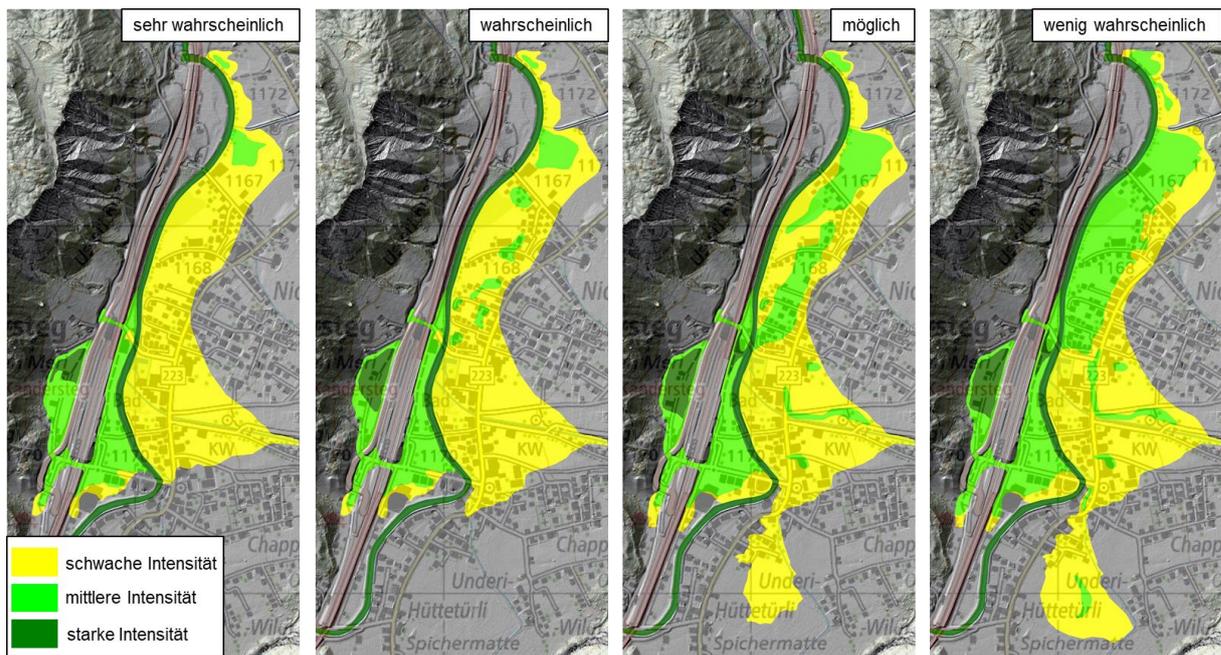


Abb. 7: Übersicht der Überflutungsflächen der Tertiärprozesse mit unterschiedlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten. Berücksichtigt sind Gerinneverfüllung und Wasseraustritte Kander durch Eintrag Öschibach sowie Gerinneverfüllung und Wasseraustritte Öschibach im Anschluss an die Sekundärprozesse.

9.4 Kartierung der Prozesse

Die berechneten Wirkungsräume der Tertiärprozesse wurden für eine gesamtheitliche Übersicht («synoptische Intensitätskarten») mit den Wirkungsräumen der Sekundärprozesse verschnitten und kartiert (vgl. Anhang). Bei der Kartierung wurde der Auftretenswahrscheinlichkeit der Sekundär- und Tertiärprozesse Rechnung getragen. Die Wirkungsräume der Sekundärprozesse wurden nur mit Wirkungsräumen von Tertiärprozessen gleicher oder höherer Eintretenswahrscheinlichkeit verschnitten. So bleibt die Gesamtwahrscheinlichkeit mit derjenigen der Sekundärprozesse identisch (vgl. Tab. 14).

Tab. 14: Übersicht der Wahrscheinlichkeiten bei der Kombination der Sekundär- und Tertiärprozesse. Die unterstrichenen und mit Stern versehenen Felder werden im Anhang A dargestellt.

	Wahrscheinlichkeit	T1	T2	T3	T4	T5.1	T5.2	T6	T7
		sehr wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	möglich	wenig wahrscheinlich
A1	wenig wahrscheinlich	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	wenig wahrscheinlich	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	wenig wahrscheinlich	-	-	-	-	-	-	-	-
A4	wahrscheinlich	-	-	-	-	-	-	-	-
B	wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	<u>wenig wahrscheinlich*</u>
E1	sehr wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	<u>sehr wahrscheinlich*</u>	wahrscheinlich	wahrscheinlich	möglich	wenig wahrscheinlich
E2	sehr wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	<u>sehr wahrscheinlich*</u>	wahrscheinlich	wahrscheinlich	möglich	wenig wahrscheinlich
E3	sehr wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	<u>sehr wahrscheinlich*</u>	wahrscheinlich	wahrscheinlich	möglich	wenig wahrscheinlich
E4	sehr wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	<u>sehr wahrscheinlich*</u>	wahrscheinlich	wahrscheinlich	möglich	wenig wahrscheinlich
F1	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	<u>wahrscheinlich*</u>	möglich	möglich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich
F2	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	<u>wahrscheinlich*</u>	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich
F3	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	wahrscheinlich	<u>wahrscheinlich*</u>	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich

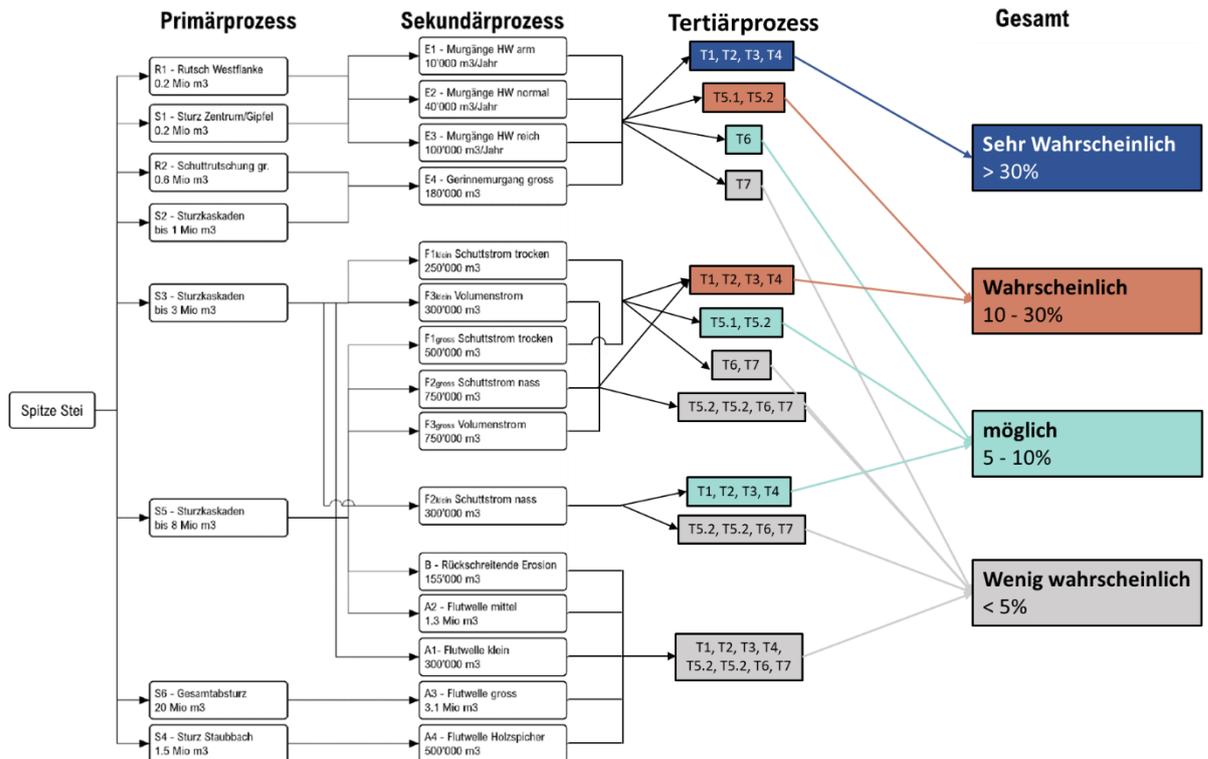


Abb. 8: Übersicht der Gesamtwahrscheinlichkeiten nach Primär- Sekundär- und Tertiärprozess

10 Beurteilung der Resultate

10.1 Geschiebe

Im Zuge der Geschiebehaushaltstudie Öschibach [S1] wurden die berechneten Transportkapazitäten mit den erwarteten Geschiebemengen aus der Gefahrenkarte [S2] verglichen. Die Werte liegen in einer vergleichbaren Grössenordnung. Weiter wurden die berechneten Geschiebeablagerungen, welche im Regeljahr im Öschibach anfallen, den Kiesentnahmen aus den letzten Jahren gegenübergestellt. Daraus geht hervor, dass die Grössenordnung der berechneten Geschiebemengen am Öschibach in einer plausiblen Grössenordnung liegen.

Für die Geschiebemodellierung an der Kander wurde eine aktuelle Vermessung verwendet. Die Abflüsse und Korngrössen im Untersuchungsperimeter sind aus vorangehenden Studien bekannt. Dadurch sind die Randbedingungen gegeben, um plausible Grössenordnungen der morphologischen Prozesse abschätzen zu können.

Sowohl für die Abschätzungen zu den Geschiebemobilisierungen im Öschibach als auch für die Geschiebemodellierungen zur Kander wurden i.R. der vorliegenden Studie Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die resultierenden Bandbreiten haben keine Auswirkungen auf die massgeblichen Wirkungsflächen der Tertiärprozesse.

10.2 Feinmaterial

*Vergleich
Schätzverfahren*

Eine Plausibilisierung der berechneten Schwebstofffrachten ist schwierig. Die abgeschätzten Prozesse lassen sich mittels Vergleichen aus alternativen Verfahren plausibilisieren. So lässt sich mit Hilfe der Sinkgeschwindigkeit nach Kresser feststellen, welche Korngrösse je nach Fliessgeschwindigkeit in der Schwebelagung bleibt. Ist dieser Wert im Nebengewässer grösser als im Hauptgewässer, so wird Feinmaterial abgelagert. Im umgekehrten Fall wird die gesamte Fracht weitertransportiert und, falls vorhanden, weiteres Feinmaterial mobilisiert.

*Plausibilisierung
anhand von
Messungen*

Ausserdem können die berechneten Schwebstoffkonzentrationen anhand von Messungen an anderen Gewässern oder Standorten plausibilisiert werden. So wurden gemäss Benno Zarn, HZP, an der Rabiusa (GR) bei natürlichen Hochwasserereignissen Schwebstoffkonzentrationen von ca. 530 g/l gemessen. Der Oberlauf der Rabiusa ist mit dem Öschibach vergleichbar. Für

den Öschibach wurden im Zuge dieser Studie Schwebstoffkonzentrationen bei Hochwasser zwischen 250 und 430 g/l berechnet.

Im Jahr 1993 wurde an der Kander in Hondrich durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Schwebstoffkonzentration gemessen [12]. Die mittlere Konzentration lag in diesem Jahr bei 47 mg/l. Die mittels Dauerkurve berechnete mittlere Schwebstoffkonzentration in dieser Studie beträgt an der Kander unterhalb der Öschibachmündung 260 mg/l.

Zwischen 1994 und 2003 wurde der Schwebstofftransport an der Lütshine in Gsteig, Bönigen gemessen [13]. Die Lütshine hat ein vergleichbares Einzugsgebiet und Regime wie die Kander. Die Jahresfracht an Feinmaterial lag in diesem Zeitraum zwischen 56'000 und 320'000 t. Mit der berechneten Dauerkurve an der Kander erhält man unterhalb der Öschibachmündung eine Jahresfracht von 200'000 t.

Die Vergleiche zeigen, dass die berechneten Konzentrationen und Mengen an Feinmaterial ähnliche Grössenordnungen aufweisen wie in den durchgeführten Messungen vergleichbarer Gewässer.

11 Schutzmassnahmen Tertiärprozesse

11.1 Notwendigkeit von Massnahmen

Gemäss den aktuellen Vermessungen an der Kander ist im Mündungsbereich vom Öschibach seit der Umsetzung des Wasserbauprojektes die Sohle um bis zu 1 m aufgelandet. Die Berechnungen haben gezeigt, dass heute ein HQ₁₀₀-Ereignis der Kander in Kombination mit einem HQ₃₀ des Öschibachs (ohne Prozesse Spitze Stei) ohne grössere Austritte, allerdings ohne ausreichendes Freibord, abgeführt werden kann. Gegenüber dem Zustand im Wasserbauplan, bei dem ein Freibord eingehalten wird, stellt dies eine leichte Verschlechterung dar. Ein geringes Freibord stellt primär bei Brücken ein Problem dar, im vorliegenden Fall können die Brücken über den Öschibach sowie über die Kander die Erlibrücke und die Brücken Bahnhofgässli und Bahnhofstrasse von den Auflandungen betroffen sein.

Beim Öschibach zeigen die aktuellen Untersuchungen sowie die Gefahrenkarte, dass ohne Prozesse Spitze Stei ab einem HQ₁₀₀ Austritte zu erwarten sind.

Anders ist die Situation nach Eintreten der möglichen Sekundärprozesse infolge Aktivitäten am Spitze Stei. Die untersuchten Tertiärprozesse können zu einer wesentlichen Zunahme der Hochwassergefährdung führen. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Massnahmen empfohlen, um die Gefährdung in Zukunft einzudämmen.

*Bauliche oder
organisatorische
Massnahmen*

Die Prozesse ausgehend vom Spitze Stei sind schwer prognostizierbar und die Ausgangslage kann sich innerhalb kurzer Zeit verändern. Für die Tertiärprozesse, welche am unteren Rand des Gebiets auftreten, ist aus diesem Grund ein Monitoring die wichtigste Massnahme. Damit können auch die Auswirkungen der bereits realisierten baulichen Massnahmen erfasst werden.

Mit baulichen Massnahmen am Unterlauf des Öschibachs oder an der Kander können die Reserven vergrössert werden. Allerdings ist es zum heutigen Zeitpunkt in diesem Bereich wenig sinnvoll, grosse bauliche Massnahmen zu definieren oder auszulösen, da die Erfahrungen zur Wirkungsweise der realisierten Bauwerke noch fehlen. Einerseits sind die Kosten baulicher Massnahmen hoch, andererseits sind die Auswirkungen der Tertiärprozesse im Verhältnis zu den vorangehenden Prozessen gering. Nachfolgend werden

jedoch auch mögliche bauliche Massnahmen beschrieben, welche bei zukünftigem Bedarf in Frage kommen könnten.

11.2 Organisatorische Massnahmen

Für den Schutz vor den Tertiärprozessen werden ein Monitoring und ein geeignetes Interventionskonzept zum heutigen Zeitpunkt als wichtigste Massnahmen vorgeschlagen.

Monitoring

Die zukünftige Entwicklung der Sohllagen ist abhängig von den eintretenden Prozessen und zum heutigen Zeitpunkt nicht prognostizierbar. Je nach eintretenden Prozessen kann sich die Situation rasch stark verändern. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Situation zu überwachen.

Interventionskonzept

Ein schadloses Abführen der anfallenden Wasser- und Feststoffmengen durch den Öschibach und das Siedlungsgebiet in die Kander scheint nicht mit verhältnismässigem Aufwand realisierbar und würde voraussichtlich zu einer Verlagerung der Problematik führen. Mit raschen Interventionen nach Ablagerungen im Geschiebeablagerungsplatz und im Öschibach kann jedoch zumindest ein minimales Gerinne wiederhergestellt und das Risiko durch Austritte reduziert werden. In der Kander ist im Mündungsbereich des Öschibachs eine Interventionsstelle zu sichern, welche die Zugänglichkeit und den notwendigen Platz für Materialentnahmen gewährleistet.

Wehr-Regime Kraftwerk

Der Kraftwerkbetrieb bei der ARA Kandersteg führt zu einem Einstau der Kander, dieser reicht jedoch nicht bis zur Öschibachmündung. Durch das dazwischenliegende Gefälle und die Schwellen ist die Kander im Dorfbereich vom Kraftwerk entkoppelt. Durch die aktuelle Situation am Spitze Stei wird vermehrt Feinmaterial aus dem Öschibach in die Kander eingetragen, was in Zukunft noch zunehmen könnte. Deshalb wird der Staubereich des Wehrs regelmässig gespült.

11.3 Bauliche Sofortmassnahmen

Sohlabsenkung Mündungsbereich

Auch wenn im heutigen Zustand erst ab seltenen Ereignissen mit Wasseraustritten zu rechnen ist, wäre aufgrund des ungenügenden Freibords als präventive Massnahmen eine Sohlabsenkung im Mündungsbereich vom Öschibach sinnvoll. Durch das Entfernen des Hochpunktes und der Absenkung der Sohle auf rund 200 m Länge liesse sich die Kapazität der Kander lokal erhöhen. Zusätzlich könnte so Material für den Bau der Dämme

bei Öschiwald und Zilfuri gewonnen werden. Ein Teil des Materials wurde allerdings bereits durch erhöhte Kanderabflüsse abgetragen.

Es ist davon auszugehen, dass die Kandersohle in diesem Bereich bei erhöhten Geschiebeeinträgen öfters angehoben wird und Interventionen notwendig sind. Aus diesem Grund wird das Einrichten einer entsprechenden Geschiebeentnahmestelle (Zufahrt, Lagerplatz, evtl. Installationen) empfohlen.

*Lokale
Schutzmassnahmen*

In Absprache mit der Schwellenkorporation wurden vor Ort lokale Sofortmassnahmen definiert. Dabei handelt es sich um kleinräumige, einfache Massnahmen, mit welchen zwar die ablaufenden Prozesse und das Gefährdungsbild nicht verhindert oder wesentlich abgeschwächt werden können, die aber bei häufigen Ereignissen eine Schutzwirkung bieten und so das Risiko mindern.

Öschibach GAP bis Kander

- Einseitige Ufererhöhung zwischen GAP und Öschistrassenbrücke zur Wasserausleitung in rechtseitigen Abflusskorridor im Falle von Geschiebeablagerungen.
- Abflusskorridor rechts des Öschibachs unterhalb GAP bis in die Kander bei der Risetistrasse. Begrenzung des Korridors durch permanente und mobile Massnahmen.

Grössere, übergeordnete Massnahmen am Öschibach, wie im Wasserbauplan HWS Öschibach vorgesehen, führen mit den Prozessen Spitze Stei zu keiner wesentlichen Verbesserung der Gefährdungssituation und werden daher momentan nicht empfohlen. Für die entsprechende Planung sind Erkenntnisse aus dem Monitoring grundlegend.

Kander Mündungsbereich Öschibach

- Einrichten einer Interventionsstelle orografisch links der Kander. Gewährleistung der Zufahrt und der Platzverhältnisse. Ggf. Zufahrtsrampe zur Kander.

11.4 Bauliche Langzeitmassnahmen

*Aufweitung
Mündungsbereich*

Falls die Sekundärprozesse eintreten, ist in Zukunft mit einem deutlich höheren Geschiebeeintrag vom Öschibach in die Kander zu rechnen. Die 1D-Geschiebemodellierungen haben gezeigt, dass bereits bei häufigen Ereignissen am Öschibach die Kander vollständig verfüllt werden kann. Diese

Problematik kann nicht verhindert, aber zumindest nach Möglichkeit entschärft werden. Mit einer lokalen Aufweitung der Kander im Bereich der Öschibachmündung könnte die Ablagerungskapazität erhöht und zusätzliche Reserve geschaffen werden, bevor Wasser über die Ufer tritt. Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass mit einer Gerinneaufweitung die Transportkapazität der Kander reduziert wird. Um damit verbundene zusätzliche Ablagerungen zu verhindern, wäre in der Aufweitung eine Rinne auszubilden, welche bis zu bestimmten Abflüssen noch eine hohe Transportkapazität bietet. Diese Massnahme lässt sich ausserdem mit zusätzlichen Hochwasserschutzdämmen kombinieren. Zur Dimensionierung wären detaillierte Abklärungen notwendig.

Hochwasserschutzdämme/ -mauern

Die Berechnung der Wirkungsräume der Tertiärprozesse hat gezeigt, dass bei einer allfälligen Vollverfüllung der Kander das Wasser unterhalb der Öschibachmündung rechtseitig austreten und das Siedlungsgebiet von Kandersteg überfluten kann. Durch eine Erhöhung der rechten Uferseite zwischen der Badi und Gandstrasse mittels Dämmen oder Mauern könnte verhindert werden, dass das Wasser rechtseitig über die Ufer tritt. Dadurch wird zwar die linke Uferseite stärker überflutet, das Schadenpotential ist hier aber deutlich geringer und die Überflutungsflächen durch den Bahndamm begrenzt. Linksseitige Austritte aus der Kander treten ungefähr zwischen der Bahnhof- und der Risetistrasse auf. Diese könnten mit einem linksseitigen Damm entlang der Kander verhindert oder durch einen Querdamm zwischen Kander und Bahndamm begrenzt werden. Zur Dimensionierung wären detaillierte Abklärungen notwendig.

Aufhebung der Schwellen in der Kander

Rund 150-200 m resp. 500 m unterhalb der Öschibachmündung bestehen in der Kander zwei Schwellen. Durch das Entfernen der Schwellen, liesse sich die Kandersohle bis zur Öschibachmündung leicht absenken oder ein höheres Längsgefälle einstellen und dadurch die Gerinnekapazität erhöhen.

Die 1D-Geschiebmodellierungen haben gezeigt, dass sich dadurch auch der heutige Hochpunkt bei der Mündung geringfügig absenken lässt, vorausgesetzt, der Geschiebeeintrag aus dem Öschibach nimmt nicht markant zu (vgl. Abb. 9). Dieser Prozess würde allerdings mehrere Jahre dauern und wäre deshalb nicht als Sofortmassnahme geeignet, resp. müsste maschinell erfolgen. Die Modellierungen zeigen, dass die zusätzliche Reserve, welche dadurch bei der Mündung entsteht, bei Ereignissen aus dem Öschibach keine entscheidende Verbesserung bietet. Der Nutzen wäre somit gering. Es muss damit gerechnet werden, dass zumindest ein Teil der Uferböschungen erneuert werden müsste, was zu verhältnismässig hohen

Kosten führen würde. Zur Dimensionierung wären detaillierte Abklärungen notwendig.

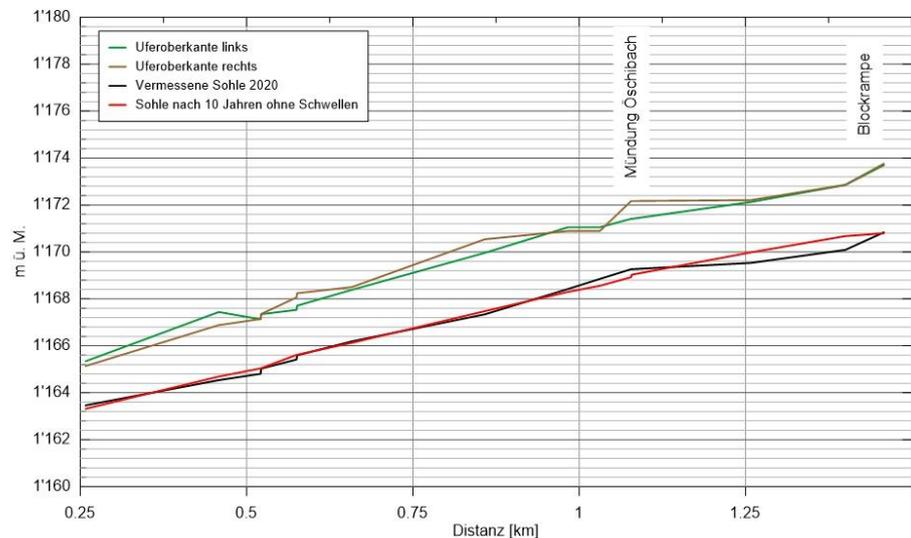


Abb. 9: Einfluss Aufhebung der Schwellen in der Kander nach 10 Jahren

Optimierung Mündung Öschibach

Das Ziel dieses Konzepts ist es, mittels Optimierung des Mündungsbereichs den Weitertransport von Feststoffen zu verbessern und Ablagerungen im Mündungsbereich zu reduzieren. Verschiedene Untersuchungen im Rahmen von anderen Projekten haben gezeigt, dass der Winkel, mit welchem der Seitenbach in den Talfluss mündet, keinen Effekt auf den Geschiebetransport hat, entscheidend ist hauptsächlich die Transportkapazität des anschliessenden Gerinnes. Auch eine Aufweitung des Öschibachs im Mündungsbereich ist nicht zielführend, da diese durch lokale Ablagerungen kompensiert würde. Massnahmen an der Mündungsgeometrie werden daher für die aktuelle Problematik nicht empfohlen.

11.5 Gefährdungsgebiete

Auf Basis des aktuellen Gefährdungsbildes scheidet die Gemeinde Kandersteg Gefährdungsgebiete aus. Die Gebiete aus den Sekundärprozessen werden um allfällige zusätzliche Gebiete für Tertiärprozesse ergänzt, wobei die Skala für die Gefährdungsgebiete sowie die entsprechenden Auflagen übernommen werden.

Mobile Massnahmen

Bei beiden Durchlässen unter dem Bahndamm sind bereits für den Hochwasserschutz der Kander mobile Schutzmassnahmen installiert. Mobile Massnahmen dürfen im Kanton Bern üblicherweise nicht für die Gefahrenkartierung, jedoch im Rahmen von Baugesuchen berücksichtigt

werden. Im Ereignisfall Spitze Stei ist davon auszugehen, dass die Installation dieser Massnahmen keine Priorität hat. Aus diesen Gründen werden die mobilen Massnahmen bei der Ausscheidung der Gefährdungsgebiete nicht berücksichtigt.

Einwirkungen und Gefährdungsgebiete

Durch die Tertiärprozesse entstehen (östlich des Bahndamms) bei sehr wahrscheinlichen Szenarien Flächen mit geringer Einwirkung. Der Bereich westlich des Bahnhofs ist ab sehr wahrscheinlichen Szenarien ebenfalls betroffen, teilweise mit mittlerer und starker Einwirkung (Abb. 10).

Gegenüber den Sekundärprozessen generieren die Tertiärprozesse damit ostseitig, entlang des Bahndamms, eine zusätzliche mittlere Gefährdung. Westlich des Bahndamms entstehen zusätzliche Gefährdungsgebiete und östlich der Kander eine mittlere Gefährdung, ansonsten sind die Sekundärprozesse massgebend (Abb. 11).

Die synoptische Gefährdungskarte weist die gesamte Gefährdung aus, ausgehend von Primär-, Sekundär- sowie Tertiärprozessen (Abb. 12).

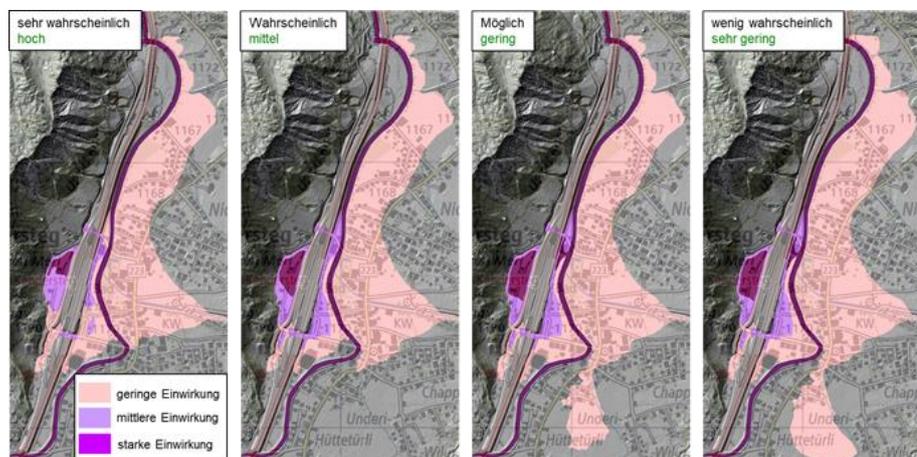


Abb. 10: Übersicht der betroffenen Gebiete durch Tertiärprozesse unter Berücksichtigung der verschiedenen Eintretenswahrscheinlichkeiten

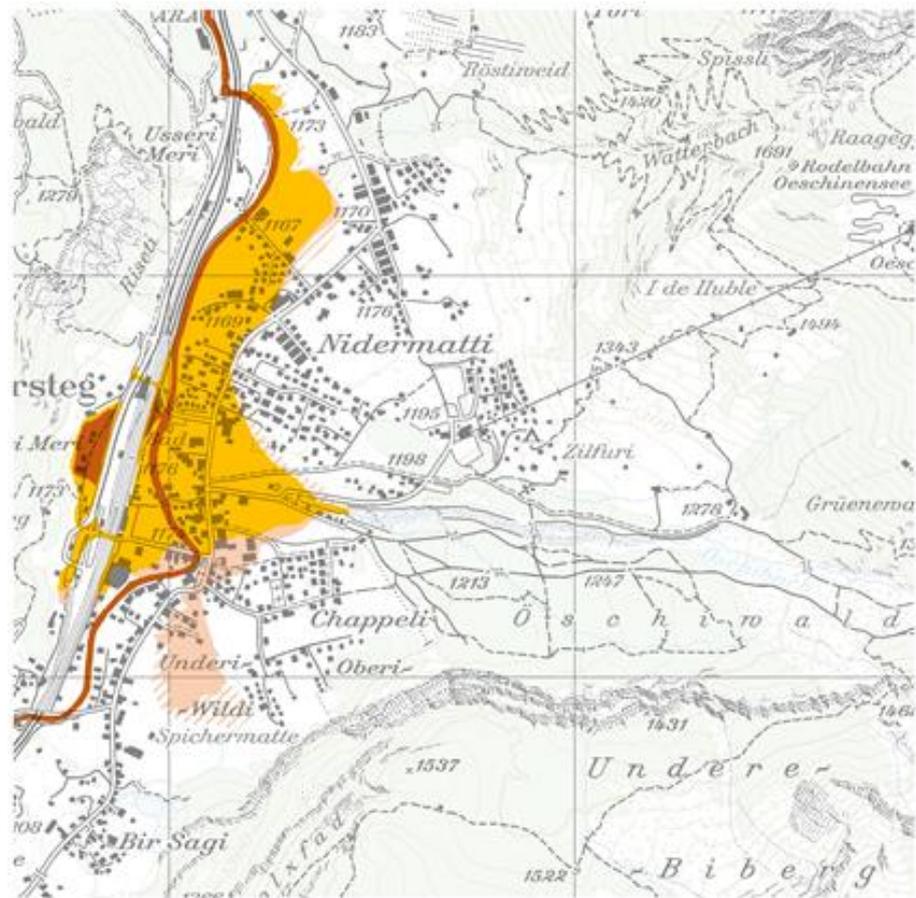


Abb. 11: Gefährdungsgebiete Tertiärprozesse (braun: hohe Gefährdung, orange: mittlere Gefährdung, rosarot: geringe Gefährdung, gestrichelt: Restgefährdung)

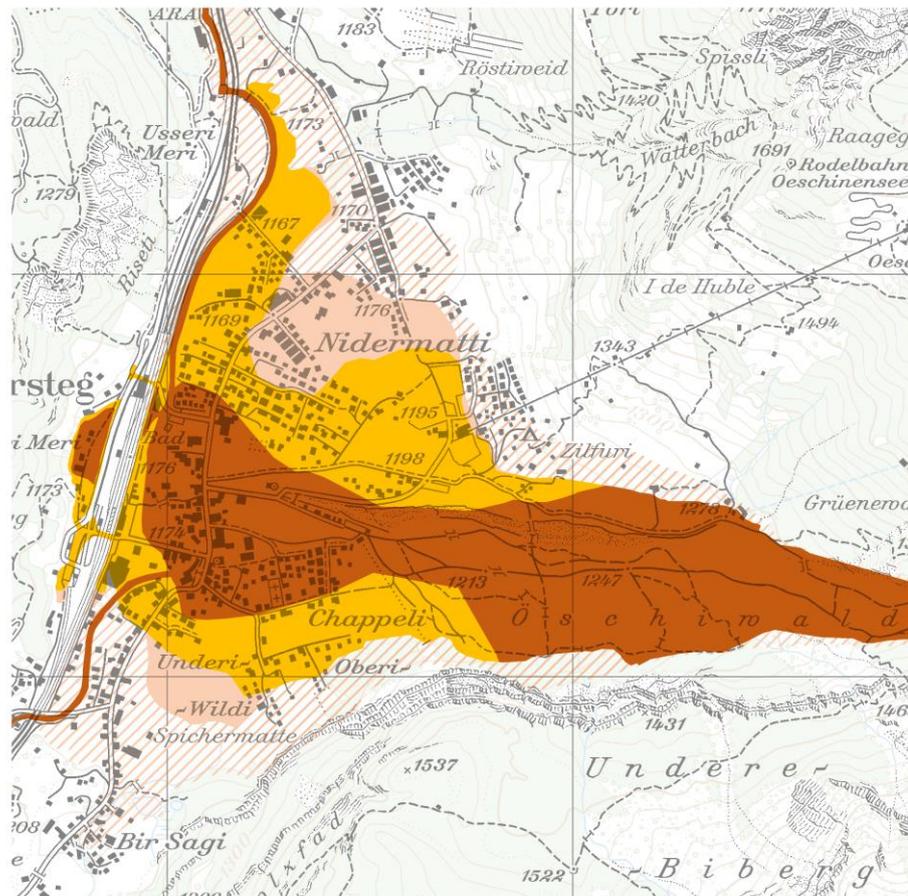


Abb. 12: Synoptische Gefährdungskarte (braun: hohe Gefährdung, orange: mittlere Gefährdung, rosarot: geringe Gefährdung, gestrichelt: Restgefährdung)

Berücksichtigung von Massnahmen

Für die Ausscheidung der Gefährdungsgebiete wurden die baulichen Massnahmen am Geschiebeablagerungsplatz (Leitdämme, Rückhalt, Ausbau Rückhalteraum) berücksichtigt. Diese haben eine grosse Wirkung bei häufigen Ereignissen (Sekundärprozesse) und reduzieren die Eintretenswahrscheinlichkeit und dadurch das Risiko deutlich. Die Gefährdungsgebiete umfassen aber auch seltenere Ereignisse, welche die Kapazitäten der Massnahmen überschreiten. Die Massnahmen haben daher nur eine begrenzte Wirkung auf die Gefährdungsgebiete.

Bei der Gefährdungsbeurteilung für die Tertiärprozesse wurden keine Massnahmen berücksichtigt (auch nicht der Entlastungskorridor). Die Handlungsempfehlung bzgl. Tertiärprozesse beinhaltet prioritär ein Monitoring und ein Interventionskonzept, welche zwar ebenfalls das Risiko deutlich senken können, aber bei eher seltenen Ereignissen ist damit zu rechnen, dass keine wesentliche Wirkung mehr besteht. Bauliche Massnahmen werden für die Tertiärprozesse nur mit zweiter Priorität und eher

mittelfristig empfohlen (auch basierend auf dem Monitoring), aufgrund der grossen baulichen Aufwände im Verhältnis zu ihrer Wirkung bei seltenen Ereignissen.

Grössere bauliche Massnahmen, welche auch bei selteneren Ereignissen eine wesentliche Wirkung zeigen, sind aufgrund der Szenarien mit den extrem grossen Kubaturen technisch nicht realisierbar oder unverhältnismässig. Ausserdem könnten solche Bauwerke bei einer Überlast ein erhöhtes Risiko darstellen.

12 Fazit

12.1 Zusammenfassung

*Spitze Stei:
Prozesse,
Auswirkungen*

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die am Spitze Stei ablaufenden Bergsturzprozesse («Primärprozesse») grossräumige Auswirkungen haben können. Die Verfrachtung des Bergsturzmaterials erfolgt durch Flutwellen, Murgänge und Übersarungen («Sekundärprozesse») und kann im Öschibachtal und auf dessen Schwemmkegel (unterhalb Geschiebeablagerungsplatz, zwischen Chappeli und Nidermatti) zu grossflächigen Ablagerungen führen. Im Unterlauf des Öschibachs sowie in der Kander wird das Material in den Bächen als Geschiebe oder als Schwebstoffe weitertransportiert («Tertiärprozesse»). Grosse Feststoffablagerungen können auch dort noch zu Gerinneverfüllungen und Wasseraustritten führen (ebenfalls «Tertiärprozesse»). Die beschriebenen Tertiärprozesse können auch bei Folgeereignissen auftreten.

Bereits bei «sehr wahrscheinlichen» Szenarien (sehr wahrscheinlich = Eintreten innerhalb der nächsten Jahre) kann Festmaterial auf dem gesamten Öschibach-Kegel und auf den nördlich angrenzenden Gebieten abgelagert werden. Material, welches bis in die Kander transportiert wird, kann dort zu Gerinneverfüllungen und entsprechend grossen Wasseraustritten führen. Es ist beidseitig der Kander mit grossflächigen Überflutungen zu rechnen (Anhang A).

Die Tertiärprozesse, d.h. Prozesse im untersten Kegelbereich sowie in und entlang der Kander, können sowohl während eines einzelnen Ereignisses im Öschibach als auch zeitverzögert bei Folgeereignissen auftreten. Folgeereignisse stellen im Unterlauf ein Risiko dar, solange die Instandstellung nach den eigentlichen Ereignissen nicht umgesetzt ist.

*Hochwasserschutz
Kander*

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde auch der Hochwasserschutz an der Kander im Mündungsbereich des Öschibachs untersucht, unabhängig von Szenarien am Spitze Stei. Vermessungen und Beobachtungen zeigen, dass die Sohle im Mündungsbereich regelmässig durch die Einträge aus dem Öschibach erhöht ist. Solange anhaltende grosse Geschiebeeinträge aus dem Öschibach ausbleiben, kann damit gerechnet werden, dass grössere Abflüsse in der Kander diese Ablagerungen abtragen und kein wesentliches Hochwasserschutzdefizit auftritt (Verletzung Freibord, aber keine wesentlichen Wasseraustritte). Entsprechende Prozesse wurden bereits beobachtet. Im Falle von Ereignissen im Öschibach muss die

Sohlenlage in der Kander aber überwacht und allenfalls ausgebaggert werden.

12.2 Handlungsempfehlungen

Basierend auf Kap. 11 sind für die Gefährdungen durch die Tertiärprozesse nachfolgend Handlungsempfehlungen aufgeführt.

Massnahme	Beschreibung	Aktuelle Priorität / Zeitraum
Monitoringkonzept Bachsohle	<p>Ziel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fortlaufende Überwachung der Bachsohlen Öschibach und Kander in relevanten Perimetern - Beurteilung von Notwendigkeit und Art von Interventionen bei Erreichen von kritischen Zuständen (bspw. Kiesentnahme oder langfristig bauliche Massnahme) durch Entscheidungsgremium <p>Inhalt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definiert Art und Perimeter der Überwachung, örtliche und zeitliche Auflösung - Definiert Interventionshöhen - Definiert Entscheidungsgremium für Beurteilung und Massnahmendefinition <p>Ungefährer Perimeter</p> <ul style="list-style-type: none"> - Öschibach: unterhalb GAP - Kander: Mündungsbereich Öschibach, vereinfacht im Unterlauf 	hoch / sofort
Anpassung Interventions-/ Notfallkonzept Hochwasserschutz	<ul style="list-style-type: none"> - Kenntnis der kritischen Bereiche (Öschibach unterhalb GAP, Kander im Mündungsbereich und Brücken) - Überwachung und Intervention im Ereignisfall - Wiederherstellung von Abflussquerschnitten nach Ereignissen 	hoch / sofort

Einrichten Interventionsstelle Mündungsbereich	<ul style="list-style-type: none"> - Vorbereitung für Interventionen (voraussichtlich v.A. Geschiebeentnahmen) in der Kander im Mündungsbereich Öschibach - Gewährleisten der Zugänglichkeit, Zwischenlager und evtl. Installationen 	hoch / sofort
Lokale Schutzmassnahmen Öschibach GAP bis Kander	<ul style="list-style-type: none"> - Einseitige Ufererhöhung zwischen GAP und Öschistrassenbrücke zur Wasserausleitung in rechtseitigen Abflussskorridor im Falle von Geschiebeablagerungen. Keine übergeordnete Auswirkung auf die Prozesse und auf das Gefährdungsbild. - Abflussskorridor rechts des Öschibachs unterhalb GAP bis in die Kander bei der Risetistrasse. Begrenzung des Korridors durch permanente und mobile Massnahmen. 	hoch / sofort
Sohlabsenkung Mündungsbereich	<ul style="list-style-type: none"> - Absenkung der Kandersohle im Bereich der Öschibachmündung zur Gewährleistung eines ausreichenden Hochwasserschutzes Kander - Beobachtete Anhebungen der Sohle wurden zwischenzeitlich durch erhöhte Kanderabflüsse abgetragen (zumindest teilweise) 	mittel / Beurteilung nach Vorliegen erster Monitoring-Aufnahmen
Bauliche Langzeitmassnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Übergeordnete Massnahmen Öschibach GAP bis Kander (vgl. WBP) - Aufweitung der Kander im Mündungsbereich - Hochwasserschutzdämme/ -mauern - Aufhebung von Schwellen in der Kander 	mittel / Beurteilung nach Vorliegen mehrerer Monitoring-Aufnahmen
Wehr-Regime Kraftwerk	<ul style="list-style-type: none"> - Spülen von Sohlauflandungen, v.A. Feinmaterial (kein Einfluss auf die Situation im Siedlungsgebiet) - Wird bereits durchgeführt, um eine Stauraumverlandung zu verhindern 	gering / wird bereits durchgeführt

Gefährdungsgebiete

Die Massnahmen für die Tertiärprozesse wurden bei der Ausscheidung der Gefährdungsgebiete nicht berücksichtigt. Die Massnahmen zeigen hauptsächlich Wirkung bei häufigen Ereignissen und reduzieren damit das Risiko, bei selteneren Ereignissen kann aber nicht mehr von einer wesentlichen Wirkung ausgegangen werden. Daher bleiben die Gefährdungsgebiete unverändert. Bauliche Massnahmen zur Reduktion der Gefährdungsgebiete (Wirkung bei seltenen Ereignissen) sind technisch nicht

realisierbar oder unverhältnismässig und könnten bei einer Überlast ein erhöhtes Risiko darstellen.

12.3 Grossräumige Auswirkungen

Die Aktivitäten am Spitze Stei haben einen erhöhten Eintrag an Geschiebe und Schwebstoffen in die Kander zur Folge. Einen Teil des zusätzlichen Materials transportiert die Kander weiter in ihren Unterlauf. Dort kommt es auf Flachstrecken zu Auflandungen und Versteilungen des Gefälles, ehe der erhöhte Eintrag weitertransportiert werden kann. Es ist davon auszugehen, dass auf Flachstrecken im nahen Unterlauf (bspw. Schlossweid, Blausee) bereits nach kurzer Zeit Einflüsse von erhöhten Geschiebeeinträgen feststellbar sind (Auflandungen oder verfeinertes Sohlmaterial). Je weiter kanderabwärts der Betrachtungshorizont liegt, desto langfristiger laufen dort allfällige Einflüsse ab.

Um den Einfluss auf den Geschiebehaushalt der gesamten Kander quantitativ und auch bzgl. des zeitlichen Verlaufs aufzeigen zu können, sind grossräumige, langfristige Geschiebemodellierungen notwendig. Für die Beurteilung des Einflusses auf kritische Strecken oder auf laufende Projekte werden solche weitergehende Modellierungen empfohlen.

13 Monitoringkonzept

Das Monitoringkonzept ist im beiliegenden Bericht detailliert festgelegt und beschrieben.

Aufnahmen

Das Monitoring sieht die regelmässige visuelle Beobachtung (1- bis 2-wöchentlich) und periodische Vermessung der Sohlage der Kander (ca. halbjährlich, je nach Aktivität) an 11 ausgewählten Querprofilen im Bereich der Öschibachmündung vor (vgl. Abb. 13). Je nach eintretenden Prozessen kann sich die Situation im Bereich der Öschibachmündung rasch stark verändern. Durch das Monitoring können die ablaufenden Prozesse beurteilt und mit dem Referenzzustand verglichen werden. Daraus können die Wirkung der bereits realisierten Massnahmen am Öschibach beurteilt sowie Aussagen zur Intensität der eintretenden tertiären Prozesse getroffen werden.

Beurteilung

Auf Basis des Monitorings können die Notwendigkeit von Geschiebeentnahmen sowie die Wirksamkeit vorgenommener Massnahmen

oder Bewirtschaftungen beurteilt werden. Bei Bedarf werden Anpassungen vorgeschlagen.

Sollten die Aufnahmen zeigen, dass Geschiebeentnahmen sinnvoll sein sollten, werden Gemeinde und Schwellenkorporation informiert. Umgekehrt wird HZP von der Gemeinde informiert, bevor Entnahmen durchgeführt werden. Der Entscheid über die Entnahmemengen muss gutachterlich, aufgrund der bisherigen Sohlenveränderungen und der Entnahmestatistik, gefällt werden.

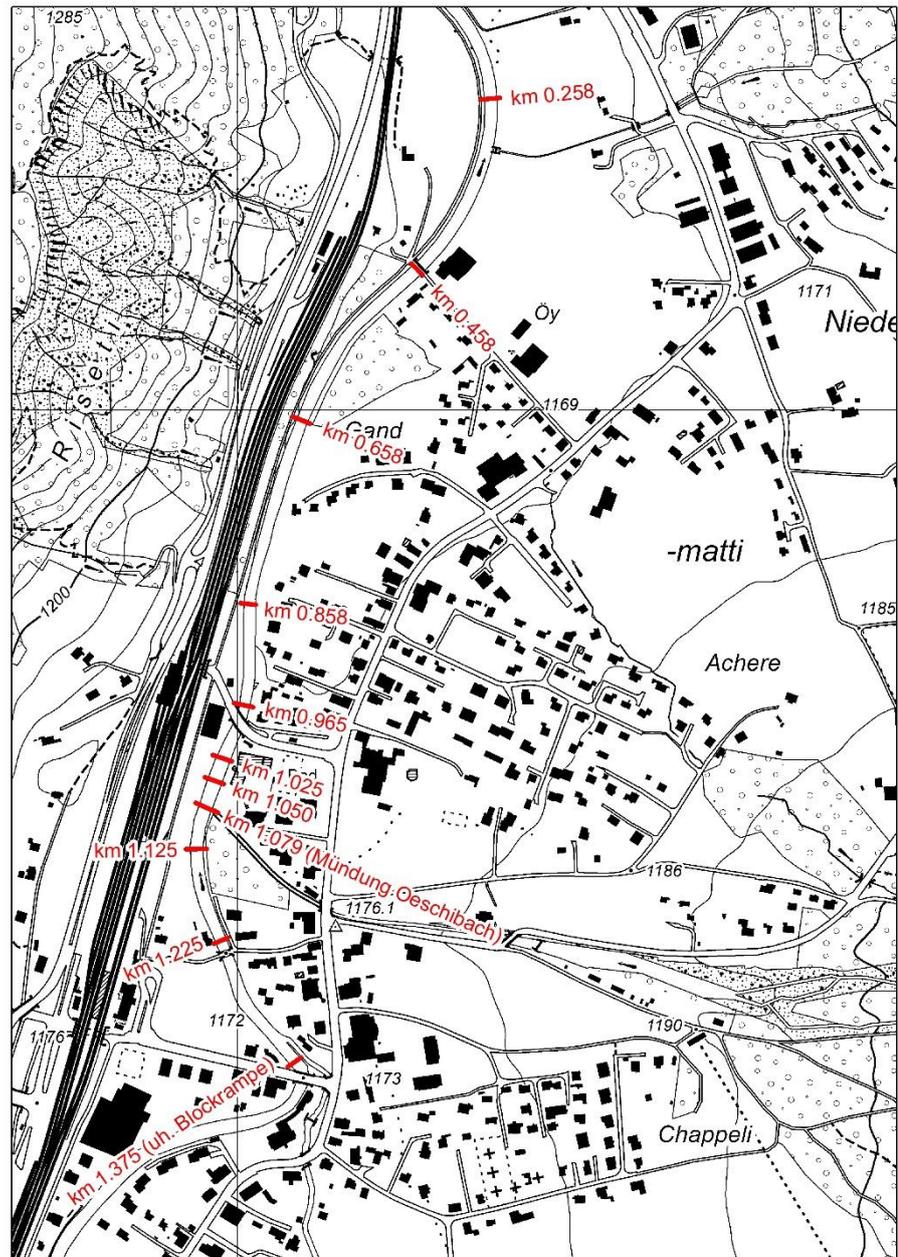


Abb. 13: Lage der Monitoringstandorte entlang der Kander im Bereich der Öschibachmündung

Aarau, 17.03.2022

Hunziker, Zarn & Partner
Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau

Patrick Hofer, MSc Geografie
Michael Auchli, dipl. Bau-Ing. ETH

Anhang

**Anhang A Übersicht betroffener Gebiete nach Eintreten der
Sekundär- und Tertiärprozesse**

Anhang A Übersicht betroffener Gebiete nach Eintreten der Sekundär- und Tertiärprozesse

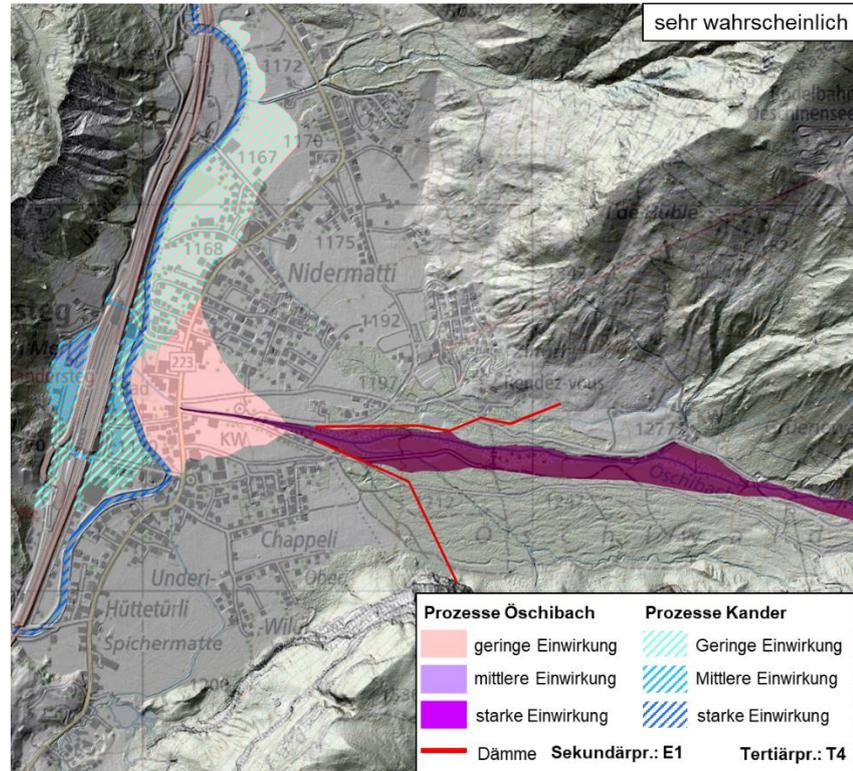


Abb. 14: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses E1 und dem Tertiärprozess T4, sehr wahrscheinliches Szenario.

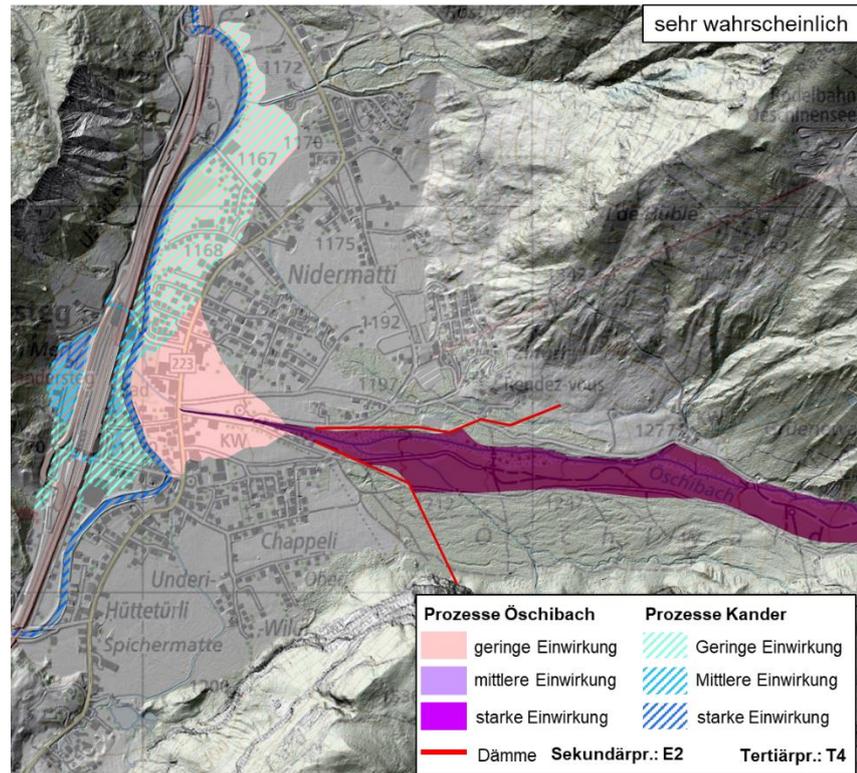


Abb. 15: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses E2 und dem Tertiärprozess T4, sehr wahrscheinliches Szenario.

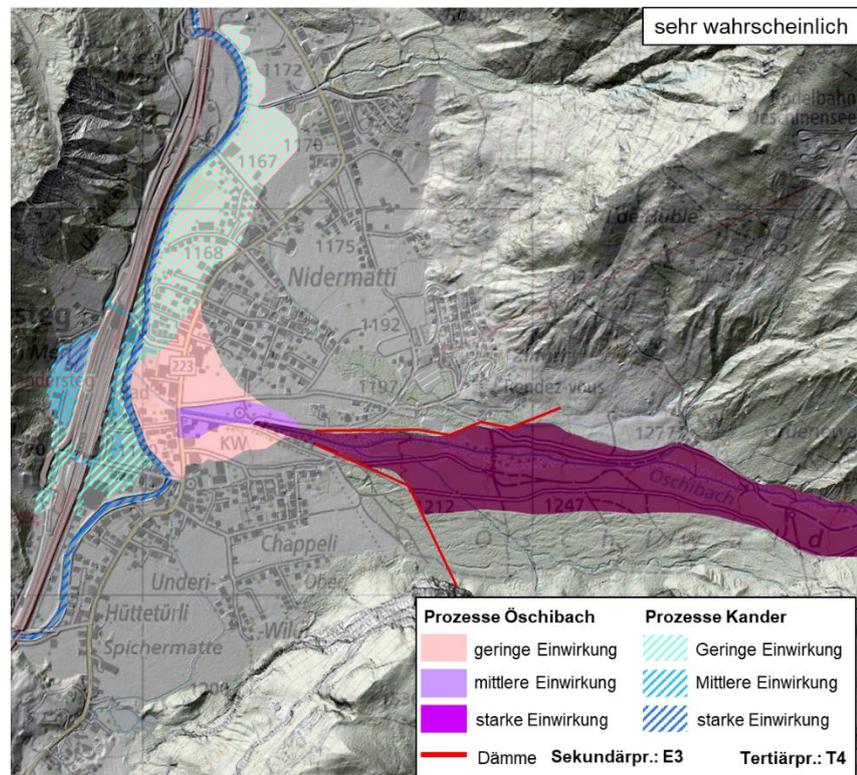


Abb. 16: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses E3 und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.)

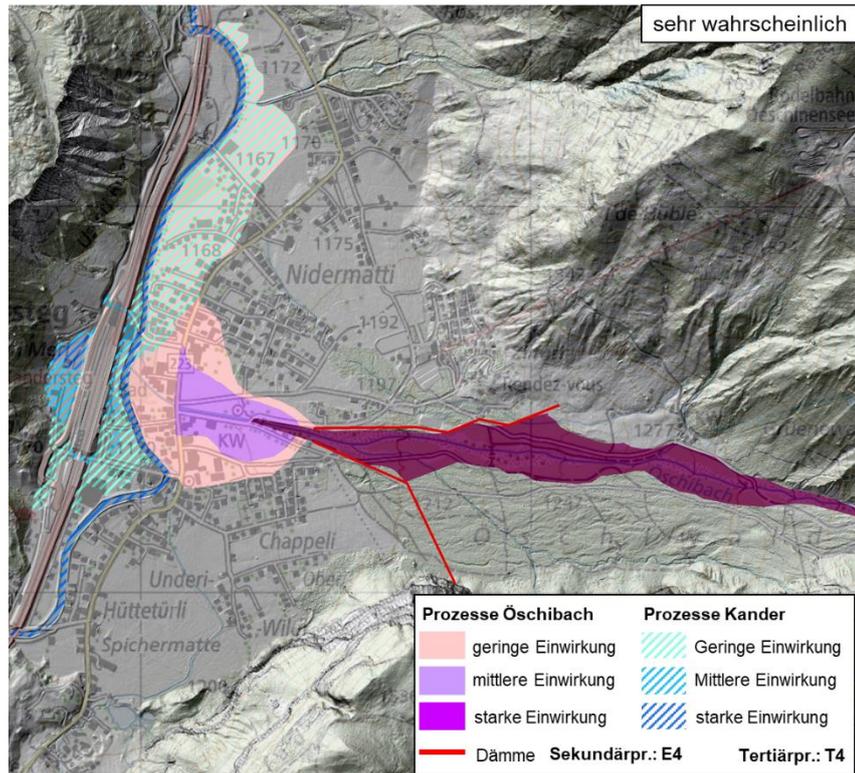


Abb. 17: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses E4 und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.)

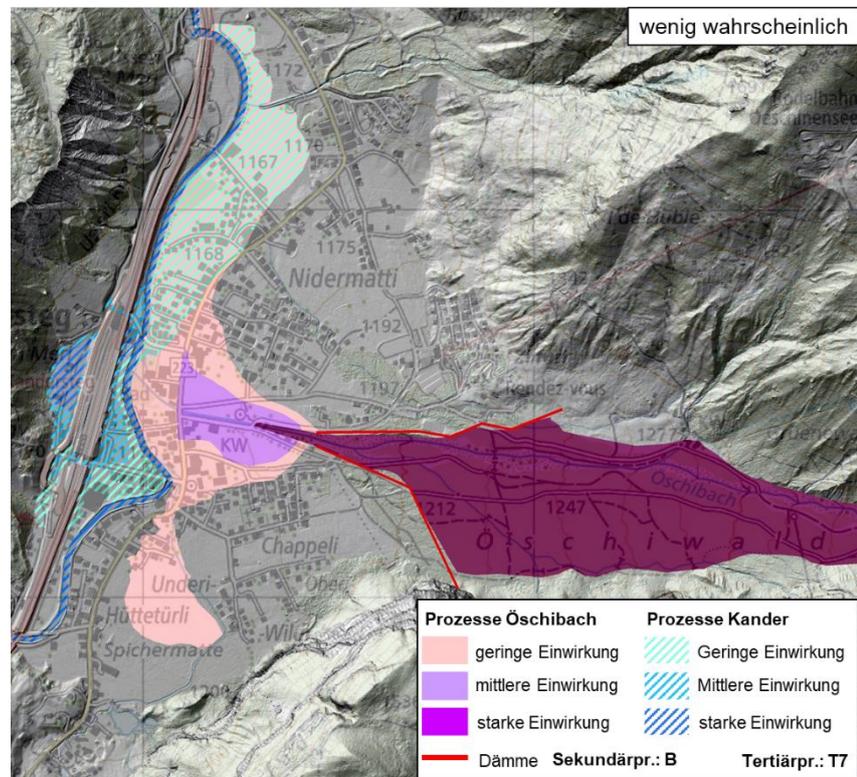


Abb. 18: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses B und dem Tertiärprozess T7, wenig wahrscheinliches Szenario.

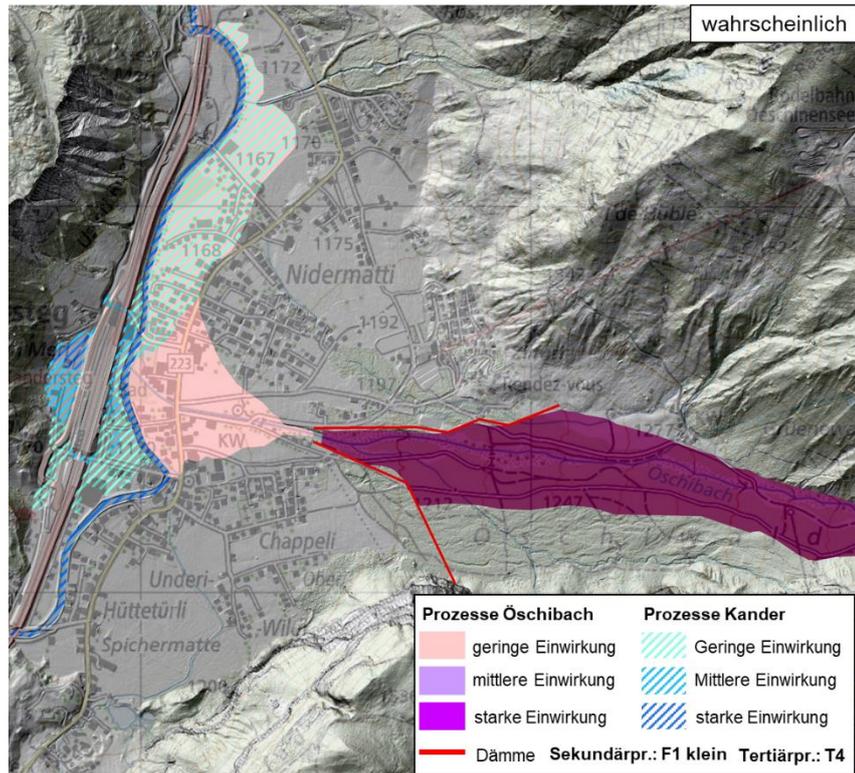


Abb. 19: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses F1 klein und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.

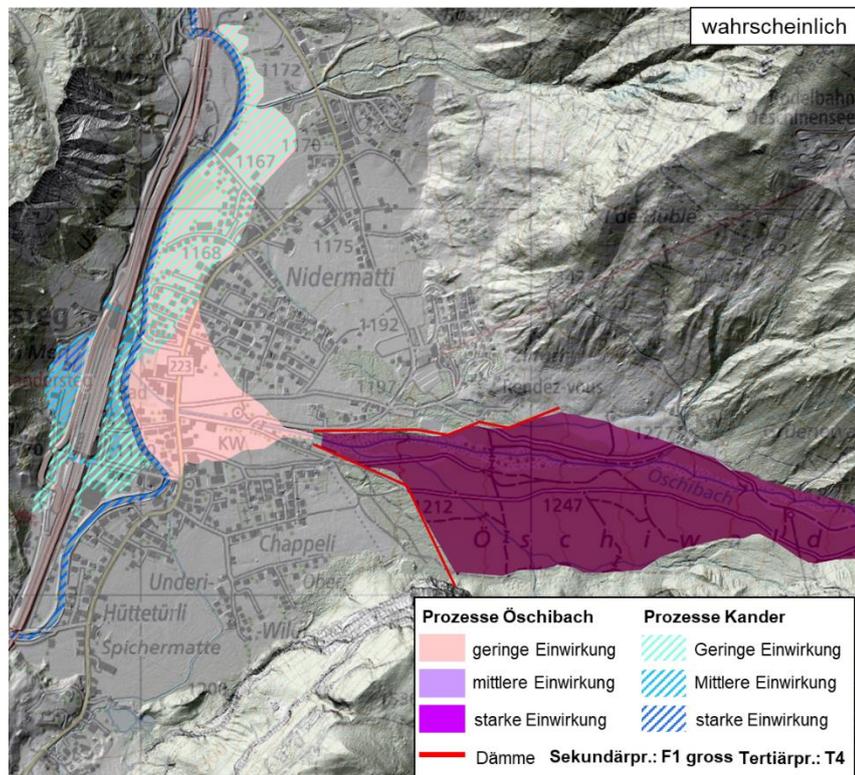


Abb. 20: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses F1 gross und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.

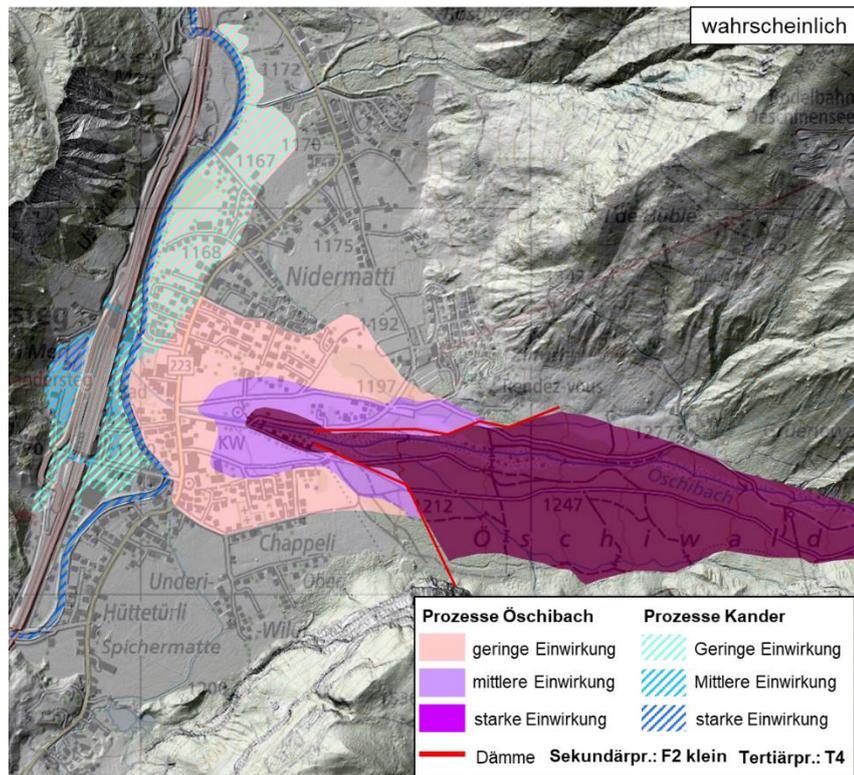


Abb. 21: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses F2 klein und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.

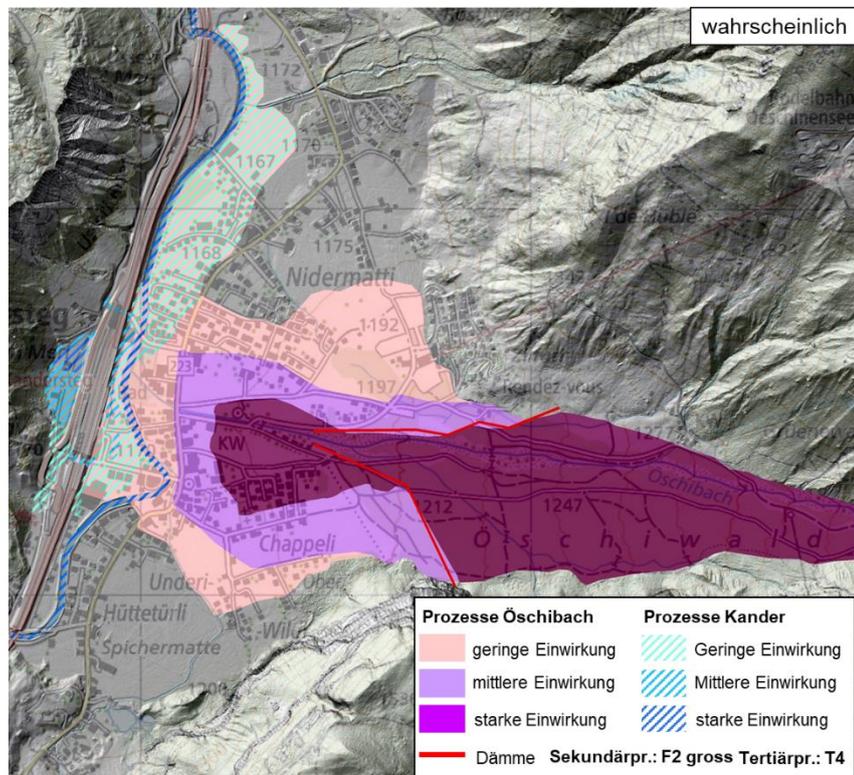


Abb. 22: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses F2 gross und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.

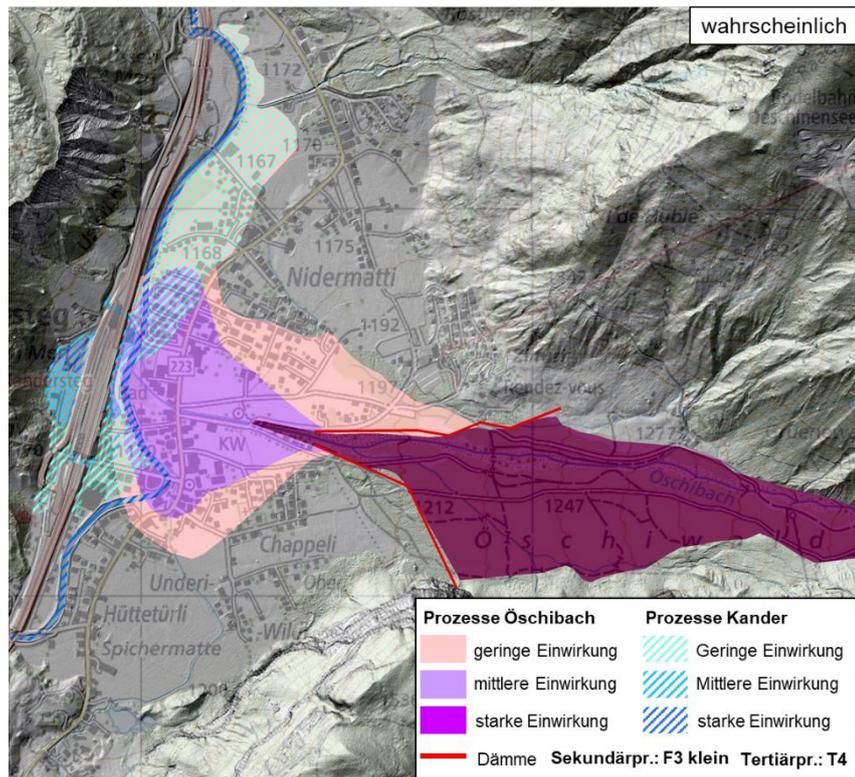


Abb. 23: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses F3 klein und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.

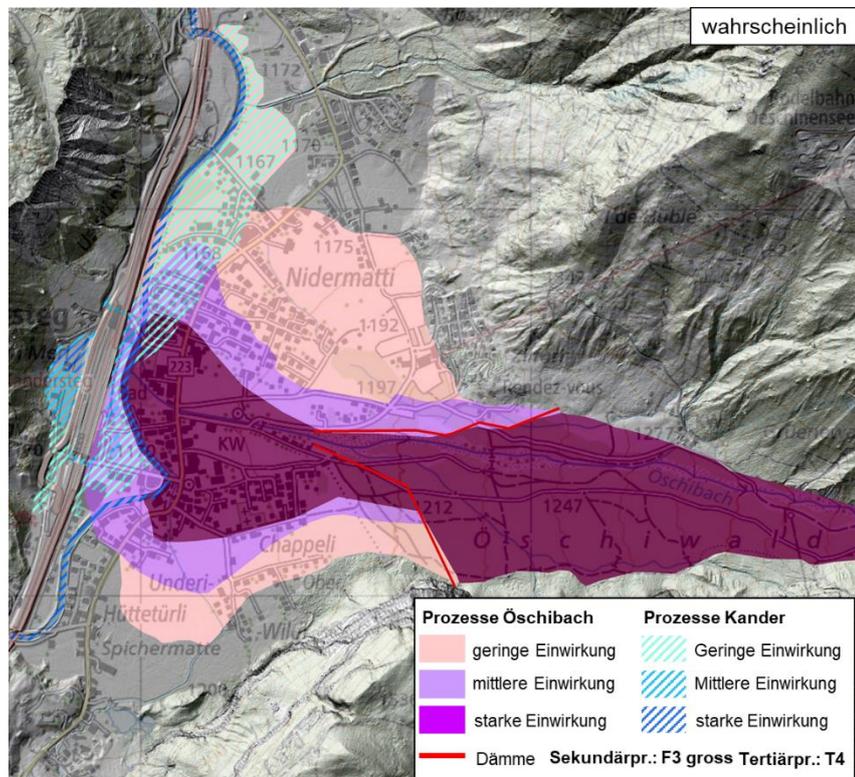


Abb. 24: betroffene Flächen nach Eintreten des Sekundärprozesses F3 gross und dem Tertiärprozess T4, wahrscheinliches Szenario.