

Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz

Technischer Bericht



Im Auftrag von:

- Bundesamt für Umwelt BAFU
- Schweizerischer Versicherungsverband SVV
- Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen VKG

26. Juni 2018

Impressum

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Gefahrenprävention CH-3003 Bern Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Schweizerischer Versicherungsverband (SVV) Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen (VKG)
Auftragnehmer	geo7 AG, geowissenschaftliches Büro Neufeldstrasse 5 – 9, 3012 Bern Tel. +41 (0)31 300 44 33
Autor/Autorin	Andy Kipfer, Dr. phil. nat. Catherine Berger, Dr. phil. nat. Peter Mani, lic. phil. nat. Roderick Hulliger, M.Sc. Ursin Caduff, M.Sc. Judith Dobmann, Dr. phil. nat. Peter Gsteiger, lic. phil. nat. Michael Pauli, lic. phil. nat. Maike Schneider, M.Sc.
Begleitung	Tanja Wilke (SVV) Alain Marti (VKG) Roberto Loat (BAFU) Antoine Magnollay (BAFU)
Hinweis	Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), des Schweizerischen Versicherungsverbandes (SVV) und der Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen (VKG) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Änderungskontrolle

Version	Datum	Name / Stelle	Bemerkungen
0.1	25.10.2016	Andy Kipfer	Erstellt
0.2	29.05.2018	Andy Kipfer	Entwurf intern geo7
0.3	06.06.2018	Andy Kipfer	Entwurf an BAFU, SVV, VKG
1.0	26.06.2018	Andy Kipfer	Endversion

Anmerkungen zum Dokument

Erstellt mit	Microsoft Office Word, Version 2010
Dateiname	\\geo7\data\3000_projekte\3346 ofa ch\06 ergebnisse\bericht\3346 be01 kia gefährdungskarte oberflächenabfluss.docx
Dateigrösse	20857 KBytes

Quelle Hintergrundkarte Titelbild: Bundesamt für Landestopografie

geo7-Bericht
Technische Änderungen vorbehalten
© Copyright 2018 by geo7 AG, Bern/Switzerland
Konzeption und Design: geo7 AG, Bern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangslage und Auftrag.....	1
1.2	Zielsetzung und Abgrenzung.....	1
1.3	Projektorganisation.....	1
1.4	Grundlagen und verwendetes Modell.....	2
1.5	Abgabeprodukte und Darstellungsmodell.....	3
2	Untersuchungsgebiet.....	4
3	Vorgehen.....	5
3.1	Übersicht Grundlagen.....	5
3.2	Bodenbedeckung.....	5
3.2.1	Grundlagen Bodenbedeckung.....	5
3.2.2	Bodenbedeckungstypen.....	7
3.2.3	Aufbereitung swissTLM Daten.....	7
3.2.4	Ergänzung Gewässernetz.....	7
3.2.5	Aktualisierung befestigte Flächen.....	9
3.2.6	Datensatz „klassierte Bodenbedeckung“.....	10
3.2.7	Umwandlung in Rasterdaten.....	11
3.3	Terrainmodell.....	12
3.4	Niederschlag.....	15
3.5	Abflusskoeffizient.....	17
3.5.1	Grundwerte.....	17
3.5.2	Abflussbereitschaft.....	17
3.5.3	Modifikation Grundwert Abflusskoeffizient.....	18
3.6	Angrenzendes Ausland.....	20
3.7	Simulation.....	20
3.8	Postprocessing.....	20
3.8.1	Aufbereitung und Vektorisierung der Simulationsergebnisse.....	20
3.8.2	Zusammenfügen Simulationsresultate.....	21
3.8.3	Aktualisierung Simulationsresultate.....	21
3.8.3.1	Kanton Luzern.....	21
3.8.3.2	Gletscher.....	22
3.8.4	Endbereinigung.....	23
3.9	Kontrolle Simulationsergebnisse.....	25
4	Sensitivitätsanalyse.....	26
4.1	Ausgangslage.....	26
4.2	Einfluss Niederschlagsintensität und Ganglinienform.....	26
4.3	Niederschlagsdauer.....	28
4.4	Niederschlagsmenge.....	30

4.5	Terrainmodell	32
5	Bedeutung und Grenzen der Resultate	34
5.1	Rahmen	34
5.2	Gewässer.....	34
5.3	Unterbrochene Abflusswege.....	36
5.4	Aufbereitung Terrainmodell	37
5.5	Wenig strukturierte Topografie.....	38
5.6	Unterführungen und Durchlässe	39
5.7	Kleinstrukturen und Siedlungsentwässerung	40
5.8	Siedlungsränder	41
5.9	Versiegelte Flächen als Leitstrukturen	42
6	Fazit.....	43
Anhang A	Klassierung der Bodenbedeckung AV DM.01	45
Anhang B	Klassierung der Bodenbedeckung TLM.....	46
Anhang C	Pufferung der TLM-Strassen und -Eisenbahnen	48
Anhang D	Priorisierung der Bodenbedeckungsdaten.....	49
Anhang E	Zuordnung der Abflussprozesse ZH zu der Abflusstypenkarte CH.....	50
Anhang F	Digitale Daten	51
Anhang G	Datenverzeichnis.....	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Organisation im Rahmen des Projektes „Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz“	2
Abbildung 2:	Aufteilung der Schweiz in Modellierungsregionen und Teilprojektgebiete. Im Kanton Luzern wurden die Daten aus [10] übernommen und keine Modellierungen durchgeführt.	4
Abbildung 3:	Schematisches Vorgehen bei der Oberflächenabfluss-Simulation für die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz	5
Abbildung 4:	Abdeckung der Bodenbedeckung durch Daten der Amtlichen Vermessung Rot: AV-Daten liegen vor und wurden als Modellierungsgrundlage verwendet Weiss: Verwendung swissTLM ^{3D} – Datensatz als Modellierungsgrundlage (Datenquellen: swissBOUNDARIES ^{3D} : Bundesamt für Landestopografie; Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL).....	6
Abbildung 5:	Beispiel Korrektur AV-Daten - Grosses Gebäude (blau) in der Joux Verte oberhalb von Roche (VD) gemäss AV-Daten (Datenquellen: Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie, Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL).....	6
Abbildung 6:	Verwendung Gewässernetz-Daten pro Kanton (Datenquelle: swissBOUNDARIES ^{3D} : Bundesamt für Landestopografie).....	8
Abbildung 7:	Ergänzung Gewässernetze am Beispiel Uri. Links: Gewässernetz gemäss AV-Daten in hellblau, rechts: Ergänzung mit dem kantonalen Gewässernetz Uri in rosa (Datenquelle: Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL; Gewässernetz Kanton Uri: Baudirektion Kanton Uri)	8
Abbildung 8:	Ergänzung der befestigten Flächen nördlich von Lausanne. In den AV-Daten nicht enthaltene und aus dem TLM-Datensatz verwendete Strassen sind rot dargestellt. (Datenquellen: Hintergrundkarte und swissTLM ^{3D} : Bundesamt für Landestopografie; Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL).....	9
Abbildung 9:	Zum Teil nicht enthaltene Brücken am Beispiel von Innertkirchen BE im Datensatz der amtlichen Vermessung. Links: PK25 und klassierte Daten zur Bodenbedeckung. Rechts: Klassierte Daten zur Bodenbedeckung. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie, Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)	10
Abbildung 10:	Vergleich Bodenbedeckung mit PK 1:25'000 (links) und Datensatz „klassierte Bodenbedeckung“ im Bereich der Stadt Genf (rechts) Legende der Bodenbedeckungskarte: dunkel grau = Gebäude, hellgrau = befestigte Flächen, hellgrün = Landwirtschaftsland, gelb = Garten / Hausumschwung, blau = Gewässer, dunkelgrün = Wald. (Datenquellen: Hintergrundkarte und swissTLM ^{3D} : Bundesamt für Landestopografie; Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL).....	10
Abbildung 11:	Vergleich zwischen der klassierten Bodenbedeckung: „Vektordatensatz“ (links) und „Rasterdatensatz“ (rechts) am Beispiel Stansstad (Kanton NW) Legende der klassierten Bodenbedeckung: schwarz = Gebäude, hellgrau = befestigte Flächen, hellgrün = Landwirtschaftsland, gelb = Garten / Hausumschwung, blau = Gewässer, dunkelgrün = Wald. (Quelle: Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)	12

Abbildung 12: Berücksichtigtes Höhenmodell je Kanton (Quelle Kartenhintergrund: swissBOUNDARIES ^{3D} : Bundesamt für Landestopografie).....	12
Abbildung 13: Visualisierung Verarbeitungsschritte Aufbereitung am Beispiel Kreuzlingen (Kanton TG). Blau: Gewässer gemäss Bodenbedeckung (Datenquellen: Digitales Terrainmodell Kanton Thurgau: Amt für Geoinformation Kanton Thurgau, Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)	13
Abbildung 14: Für die Modellierung verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm/h. Die prozentuale Verteilung pro 5 Minuten wurde gemäss Tabelle 5 abgeleitet.	15
Abbildung 15: Für die Modellierung verwendete Niederschlagsmengen [mm] für einen einstündigen Niederschlag mit einer Wiederkehrperiode von ungefähr 100 Jahren. Für den Kanton Luzern sind die Werte aus der Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern [10] eingetragen. (Datenquelle Hintergrundkarte und swissBOUNDARIES ^{3D} : Bundesamt für Landestopografie).....	16
Abbildung 16: Abflusstypenkarte Schweiz welche nach dem in [12] beschriebenen Vorgehen hergeleitet worden ist. Im Kanton Zürich wurden die Daten aus [11] ergänzt.....	18
Abbildung 17: Ausschnitt Region Oensingen (Kanton SO): Abflusskoeffizient (links), Bodenbedeckung (rechts) (Datenquelle: Amtliche Vermessung Schweiz / FL).....	19
Abbildung 18: Modellierungsergebnis Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz mit unterbrochenen Fliesswegen im Bereich der rot dargestellten Kantonsgrenze Luzern (links) / Schwyz (rechts) auf Rigi First. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie).....	22
Abbildung 19: Bereinigung der Modellierungsergebnisse im Bereich von Gletscherflächen (Grosser Aletschgletscher, Kanton VS). Links: Resultat nach Einfügen der Gletscherflächen aus der Bodenbedeckung (vgl. Kapitel 3.8.1); Rechts: Bereinigtes Modellierungsergebnis (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie. Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL).....	23
Abbildung 20: Vergleich Rohresultat und Endprodukt am Beispiel Schiers, Kanton GR. Oben Rohresultat (Rasterdaten), unten generalisiertes Resultat (Vektordaten) (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie).....	24
Abbildung 21: Ganglinien G1 - G4 mit einer Niederschlagsmenge von 50 mm. Die Ganglinie G1 wurde für die Modellierung der Gefährdungskarte verwendet.	26
Abbildung 22: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit vier verschiedenen Ganglinienformen (vgl. Abbildung 23) bei Satigny (Kanton GE). Die Modellierung G1 zeigt jeweils das Modellierungsergebnis der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)	27
Abbildung 23: Ganglinien mit unterschiedlichen Zeitdauern für die Modellierung einer Niederschlagsmenge von ca. 50 mm (Ganglinien G1, G9, G11) resp. 25 mm (Ganglinie G10). Die Ganglinie G1 wurde für die Modellierung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss verwendet.	28
Abbildung 24: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit 4 verschiedenen Niederschlagsdauern (vgl. Abbildung 23) bei Satigny (Kanton GE) und Marsens (Kanton FR). Die Modellierung „50 mm in 1 h“ zeigt jeweils das Modellierungsergebnis der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)	29

Abbildung 25: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit vier verschiedenen Niederschlagsmengen bei Satigny (Kanton GE) und Marsens (Kanton FR). Die Modellierung mit 50 mm zeigt jeweils das Modellierungsergebnis der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie) 31

Abbildung 26: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit unterschiedlichen Terrainmodellen bei Satigny (Kanton GE) und Marsens (Kanton FR). Die Modellierungen mit den kantonalen Grundlagen (links) zeigen das Ergebnis der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)..... 33

Abbildung 27: Modellierungsergebnis bei Erstfeld (Kanton UR): Durch in der Modellierung berücksichtigte Gewässer (blau dargestellt) wird Oberflächenwasser abgeführt. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)..... 35

Abbildung 28: Einfluss Gewässernetz auf Modellierung, Beispiel Region Reichenbach (Kanton BE). Ist in einer Rinne gemäss Bodenbedeckung kein Gewässer ausgeschieden, wird Oberflächenabfluss modelliert. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)..... 35

Abbildung 29: Unterbrochene Abflusswege, Beispiel Region Sevelen (Kanton SG). Auf der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss können einzelne Fließwege unterbrochen sein, da ein Grenzwert zwischen einer „nassen“ und einer von Oberflächenabfluss betroffenen Fläche gezogen werden muss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie) 36

Abbildung 30: Im Terrainmodell abgebildete Ackerstrukturen bei Ersigen (Kanton BE) beeinflussen die Fließwege vom Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)..... 37

Abbildung 31: Flächenhafter Oberflächenabfluss bei wenig strukturierter Topografie bei Hofstetten (Kanton SO). (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie). 38

Abbildung 32: Fehlende Durchlässe/Unterführungen bei Ambri (Kanton TI) führen zu einem Rückstau von Oberflächenabfluss und können den Fließweg des Oberflächenabflusses verändern. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie) 39

Abbildung 33: In Siedlungszentren ist die Genauigkeit der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss limitiert, da zahlreiche Kleinstrukturen, welche die Abflusswege beeinflussen können, im Terrainmodell nur sehr beschränkt abgebildet sind. Das Bild zeigt einen Ausschnitt aus der Stadt Basel (Kanton BS). (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)..... 40

Abbildung 34: Oberflächenabflusskarte in der Gemeinde Gächlingen (Kanton SH). Auf offenen Flächen und an den Siedlungsrändern sind die Hauptabflusswege gut erkennbar. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie) 41

Abbildung 35: Oberflächenabfluss-Modellierung in der Umgebung des Stadion Letzigrund in der Stadt Zürich. Die generelle Absenkung von versiegelten Flächen kann zu Fehlern führen. Diese wurden nicht manuell korrigiert. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)..... 42

Abbildung 36: Flächenanteil der von Oberflächenabfluss betroffenen Flächen im Verhältnis zur Kantonsfläche (swissBOUNDARIES^{3D}: Bundesamt für Landestopografie)..... 43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Darstellungsmodell für die kartografische Umsetzung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss	3
Tabelle 2:	Klassen der Bodenbedeckungstypen und die allgemeine Umsetzung in der Modellierung	7
Tabelle 3:	Gewichtung der Bodenbedeckungstypen gemäss Tabelle 1 für deren Berücksichtigung bei der Umwandlung in einen Rasterdatensatz.....	11
Tabelle 4:	Arbeitsschritte zur Aufbereitung des Terrainmodells.....	14
Tabelle 5:	Modellregen für 1-Std.-Niederschläge gemäss [5] mit prozentualen 5-Minuten Anteilen.....	15
Tabelle 6:	Bodenbedeckungstypen gemäss Tabelle 2 und die in der Modellierung verwendeten Abflusskoeffizienten ψ (hergeleitet aus [13] und [4])	17
Tabelle 7:	Zuweisung einer Abflussbereitschaft zu einem Abflusstyp gemäss [14].....	17
Tabelle 8:	Abflussbereitschaft der verschiedenen Abflusstypen gemäss der Abflusstypenkarte und die davon abhängige Korrektur des Grundwerts des Abflusskoeffizienten ψ	18
Tabelle 9:	Anpassung des Abflusskoeffizienten ψ_{neu} unter Berücksichtigung des Gefälles und Bestimmung des definitiven Abflusskoeffizienten ψ_{def}	19
Tabelle 10:	Zuordnung der AV-Bodenbedeckungsarten	45
Tabelle 11:	Zuordnung der TLM-Bodenbedeckungsarten.....	46
Tabelle 12:	Pufferung der TLM-Strassen und -Eisenbahnen	48
Tabelle 13:	Reihenfolge des Zusammenfügens der Bodenbedeckungsdaten	49
Tabelle 14:	Zuordnung der Abflussprozesse aus dem Kanton Zürich (vgl. Tabelle 57) zur Abflusstypenkarte Schweiz (vgl. Kapitel 3.5.2).....	50
Tabelle 15:	Zusammensetzung der Abflusstypenkarte im Kanton Zürich	50
Tabelle 16:	Datenmodell Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz.....	51
Tabelle 17:	Administrative Einheiten und Grenzen der Schweiz: swissBOUNDARIES ^{3D}	52
Tabelle 18:	Daten Amtliche Vermessung: DM.01-AV-CH	52
Tabelle 19:	Digitales Terrainmodell Schweiz swissALTI ^{3D}	52
Tabelle 20:	Landeskarte Schweiz SWISS MAP RASTER 25	52
Tabelle 21:	Topografisches Landschaftsmodell swissTLM ^{3D}	52
Tabelle 22:	Informationen Bauzonen Schweiz.....	52
Tabelle 23:	Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000.....	53
Tabelle 24:	Informationen GeoKarten500	53
Tabelle 25:	Bodeneignungskarte 1:200'000.....	53
Tabelle 26:	Digitales Terrainmodell Kanton Aargau.....	53
Tabelle 27:	Gewässernetz Kanton Aargau	53
Tabelle 28:	Digitales Terrainmodell Kanton Appenzell Ausserrhoden.....	53
Tabelle 29:	Gewässernetz Kanton Appenzell Innerrhoden	54
Tabelle 30:	Digitales Terrainmodell Kanton Basel-Landschaft	54
Tabelle 31:	Gewässernetz Kanton Basel-Landschaft.....	54
Tabelle 32:	Digitales Terrainmodell Kanton Basel-Stadt	54
Tabelle 33:	Digitales Terrainmodell Kanton Bern	54
Tabelle 34:	Gewässernetz Kanton Bern	54
Tabelle 35:	Digitales Terrainmodell Kanton Freiburg	55

Tabelle 36:	Gewässernetz Kanton Freiburg	55
Tabelle 37:	Digitales Terrainmodell Kanton Genf.....	55
Tabelle 38:	Gewässernetz Kanton Genf.....	55
Tabelle 39:	Gewässernetz Kanton Jura	55
Tabelle 40:	Digitales Terrainmodell Kanton Neuenburg	55
Tabelle 41:	Gewässernetz Kanton Neuenburg.....	56
Tabelle 42:	Gewässernetz Kanton Nidwalden	56
Tabelle 43:	Gewässernetz Kanton Obwalden	56
Tabelle 44:	Gewässernetz Kanton St. Gallen	56
Tabelle 45:	Digitales Terrainmodell Kanton Schaffhausen	56
Tabelle 46:	Gewässernetz Kanton Schaffhausen	56
Tabelle 47:	Digitales Terrainmodell Kanton Solothurn.....	57
Tabelle 48:	Gewässernetz Kanton Solothurn	57
Tabelle 49:	Digitales Terrainmodell Kanton Thurgau	57
Tabelle 50:	Gewässernetz Kanton Thurgau	57
Tabelle 51:	Gewässernetz Kanton Uri.....	57
Tabelle 52:	Bodenbedeckungsdaten der Amtlichen Vermessung Kanton Waadt.....	57
Tabelle 53:	Gewässernetz Kanton Waadt.....	58
Tabelle 54:	Gewässernetz Kanton Wallis.....	58
Tabelle 55:	Digitales Terrainmodell Kanton Zug	58
Tabelle 56:	Gewässernetz Kanton Zug	58
Tabelle 57:	Abflussprozesskarte Kanton Zürich	58
Tabelle 58:	Digitales Terrainmodell Kanton Zürich	58
Tabelle 59:	Bodenbedeckungsdaten des Départements de l'Ain.....	59
Tabelle 60:	Bodenbedeckungsdaten des Départements de la Haute Savoie	59
Tabelle 61:	Gebäudekataster des Départements de l'Ain	59

Referenzierte Dokumente

- [1] Bernet D.B., Prasuhn V., Weingartner R. (2017): Surface water floods in Switzerland: what insurance claim records tell us about the damage in space and time. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 17(9), 1659-1682.
- [2] Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (2017): Extremwertanalysen (Version 2016). Zürich.
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/extremwertanalysen.html>
- [3] Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (1997): Hydrologischer Atlas der Schweiz. Landeshydrologie, Bern.
- [4] Dobmann J. (2009): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation, Universität Bern, Bern.
- [5] Fürstentum Liechtenstein, Amt für Bevölkerungsschutz (2014): Niederschlagsstatistik und Modellregen Fürstentum Liechtenstein. Anwendungsdokument, Vaduz.
- [6] geomer GmbH, Ingenieurgemeinschaft Ruiz Rodriguez+Zeisler+Blank (2017): FloodArea^{HPC}- Desktop. ArcGIS-Erweiterung zur Berechnung von Überschwemmungsbereichen. Anwenderhandbuch, Version 10.3 – Januar 2017, Heidelberg.
- [7] geo7 AG (2009): Modellierung Oberflächenabfluss – Methodenevaluation. Gebäudeversicherung Zürich, Zürich.
- [8] geo7 AG (2010): Oberflächenabfluss – Methodenevaluation. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [9] geo7 AG (2011): Oberflächenabfluss. Validierung Methodik: Perimeter Heiden (AR) und Verbier (VS). Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [10] geo7 AG (2015): Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern. Kanton Luzern, Verkehr und Infrastruktur und Gebäudeversicherung Luzern, Luzern.
- [11] Kanton Zürich (2006): Dominante Abflussprozesse des Kantons Zürich. Datendokumentation. Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich.
- [12] Naef F., Margreth M., Schmocker-Fackel P., Scherrer S. (2007): Entwicklung und Anwendung eines Regelwerkes zur automatischen Erstellung von Abflussprozesskarten in einem GIS. Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Massnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen. Mitteilungen FAWV, Nr. 64/07, 183-191.
- [13] Rickli Ch., Forster F. (1997): Einfluss verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. In: Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, 148. Jg., Nr.5:367-385. Illnau.
- [14] Scherrer S., Naef F. (2003): A decision scheme to identify dominant flow processes at the plot-scale for the evaluation of contributing areas at the catchment-scale. In: Hydrological processes, Bd. 17, S. 391 – 401.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Auftrag

Unter Oberflächenabfluss wird derjenige Niederschlagsanteil verstanden, welcher nach dem Auftreffen auf den Boden unmittelbar an der Geländeoberfläche abfließt. Auswertungen von Unwetterereignissen in den letzten Jahren in der Schweiz haben gezeigt, dass rund 50% der durch Wassergefahren verursachten Schadenfälle durch Oberflächenabfluss verursacht worden sind (vgl. z.B. [1]). Je nach Ereignis variiert dieser Anteil stark. Neben den beträchtlichen Schäden können innerhalb von Gebäuden (in ausgebauten Kellern, Untergeschossen etc.) zudem auch Personen gefährdet werden. Dennoch ist Oberflächenabfluss in der Schweiz kaum in den Prozess der Gefahrenbeurteilung integriert. Um diese Lücke zu füllen, wurde von *geo7* eine Methode entwickelt, welche die Modellierung von Oberflächenabfluss nach einheitlichen Kriterien über grosse Gebiete erlaubt.

Im Rahmen von mehreren Pilotgebieten konnte in Aufträgen des Bundesamts für Umwelt BAFU und der Gebäudeversicherung Zürich gezeigt werden, dass die Methode ohne aufwändige Anpassungen in topografisch und geologisch sehr unterschiedlichen Gebieten angewandt werden kann (vgl. [7], [8] und [9]). Im Jahr 2015 wurde für den gesamten Kanton Luzern (1'500 km²) [10] eine Oberflächenabflusskarte basierend auf der von *geo7* entwickelten Methode erstellt. Damit konnte u.a. aufgezeigt werden, dass das Vorgehen auch über grosse Gebiete flächendeckend angewandt werden kann und gute Resultate erzielt werden.

geo7 wurde vom Bundesamt für Umwelt BAFU, vom Schweizerischen Versicherungsverband SVV und der Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen VKG beauftragt, über die gesamte Schweiz (ohne den Kanton Luzern) eine Gefährdungskarte Oberflächenabfluss gemäss der im Kanton Luzern angewandten Methode gemäss [10] zu erstellen.

1.2 Zielsetzung und Abgrenzung

Es wird über die gesamte Schweiz (ohne Kanton Luzern) eine Gefährdungskarte Oberflächenabfluss gemäss der im Kanton Luzern angewandten Methode erstellt (vgl. Kapitel 3 und [10]). Diese Karte zeigt im Massstab 1:12'500 die Fliesswege des Oberflächenabflusses, die betroffenen Flächen und die zu erwartenden Wassertiefen (klassiert) auf. Für den Kanton Luzern werden die Daten aus der Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern [10] übernommen.

Die Modellierung weist die Genauigkeit einer Gefahrenhinweiskarte auf. Diese gibt einen Hinweis auf eine mögliche Gefährdung – kann aber eine detaillierte Gefahrenbeurteilung vor Ort auf Stufe Gefahrenkarte nicht ersetzen.

Eine Gefährdung, welche durch Fliessgewässer oder stehende Gewässer ausgeht, wird in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz nicht berücksichtigt. Dies wird durch eine Gefahrenkarte Wasser oder eine Gefahrenhinweiskarte Wasser abgedeckt. Weiter wird die Siedlungsentwässerung bei der Modellierung nicht berücksichtigt und unterirdische Wasserflüsse werden nicht modelliert.

Als Basis für die Modellierung wird ein ca. 100-jährliches Niederschlagsereignis verwendet, die Modellierung erfolgt auf einem 1 m-Raster.

1.3 Projektorganisation

Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz wurde mit der in Abbildung 1 dargestellten Projektstruktur erarbeitet.

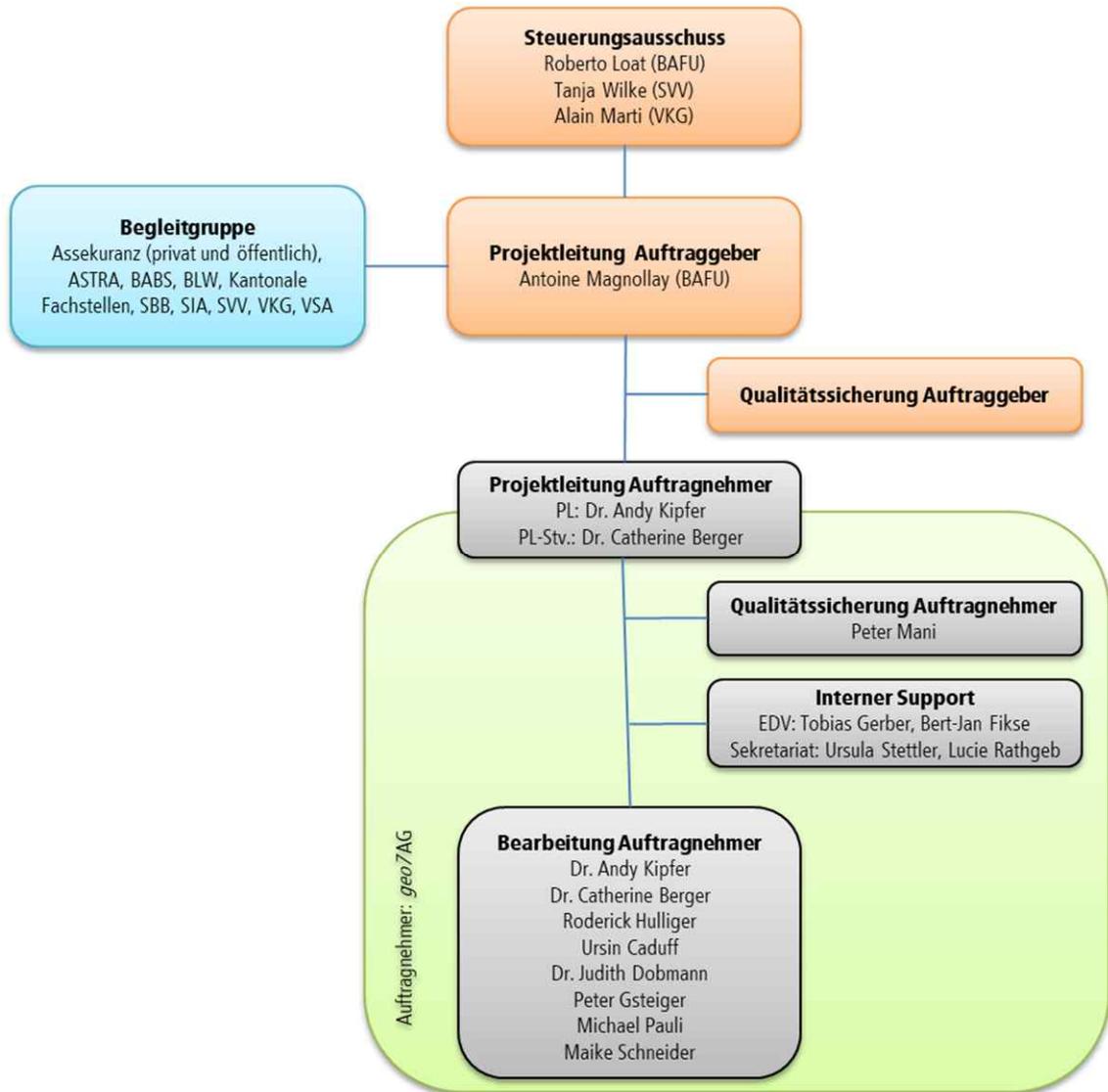


Abbildung 1: Organisation im Rahmen des Projektes „Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz“

1.4 Grundlagen und verwendetes Modell

Für die Erstellung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss wurden zahlreiche digitale Datengrundlagen verwendet. Dazu gehören insbesondere Terrainmodelle und Informationen zur Bodenbedeckung. Die verwendeten Grundlagen sind in Anhang G im Detail aufgeführt.

Für die Modellierung des Oberflächenabflusses wurde das Programm FloodArea^{HPC} (vgl. [6]) verwendet. Es ermöglicht unter anderem die Berechnung von Überschwemmungsbereichen aus einer Beregnung (flächige Einspeisung) über eine Niederschlagsganglinie. Dabei kann für jede Rasterzelle die Wasserzufuhr modifiziert werden (z.B. keine oder reduzierte Wasserzufuhr). Durch eine Reduktion kann z.B. eine Speicherwirkung des Bodens berücksichtigt werden. Gegenüber von komplexen hydraulischen Strömungsmodellen (z.B. BASEMENT oder Hydro-AS 2D) sind die hydraulischen Prozesse einfacher parametrisiert und die verwendeten Algorithmen sehr robust. Dies erlaubt die Modellierung von kleinen Abflusstiefen (< 5 cm) ohne numerische Schwierigkeiten.

1.5 Abgabeprodukte und Darstellungsmodell

Für die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss wurden folgende Produkte erstellt:

- Technischer Bericht: Dokumentiert die angewandte Methodik
- Digitale Daten: Die modellierten Fliesstiefen wurden gemäss dem in Anhang F dokumentierten Modell aufbereitet und digital als FeatureClass abgegeben. In der Feature Class sind auch die berücksichtigten Gewässer und Gletscher enthalten.

Folgendes Darstellungsmodell wird angewandt und auch in diesem Bericht verwendet:

Tabelle 1: Darstellungsmodell für die kartografische Umsetzung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss

Klasse Fliesstiefe [h]		Farbe RGB
$0 < h \leq 0.1$		255 / 189 / 255
$0.1 < h \leq 0.25$		223 / 115 / 255
$0.25 < h$		132 / 0 / 168
in der Modellierung berücksichtigt		
Gewässer		0 / 166 / 255
Gletscher		222 / 245 / 255

Die in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss als „weiss“ ausgedehnten Flächen sind gemäss der Modellierung nicht durch Oberflächenabfluss betroffen. Es muss aber berücksichtigt werden, dass natürlich auch auf diese Flächen Niederschlag fällt.

2 Untersuchungsgebiet

Die Oberflächenabflussmodellierung umfasst die gesamte Schweiz mit Ausnahme des Kantons Luzern. Die Daten aus dem Kanton Luzern werden aus dem Projekt „Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern“ [10] integriert. Innerhalb der Schweiz gibt es bezüglich Topografie, Geologie, Boden und den klimatischen Verhältnissen grosse Unterschiede. Deshalb wurde für die Modellierung die Schweiz in 256 Modellierungsregionen aufgeteilt. Jede Region weist ein spezifisches Niederschlagszenario auf (vgl. Kapitel 3). Weitere wichtige Eingabeparameter für die Modellierung (Terrainmodell, Bodenbedeckung etc.) werden sehr kleinräumig pro Berechnungsrasterzelle (1 m x 1 m) festgelegt. Die Grenzverläufe zwischen den Regionen wurden wo möglich entlang von Wasserscheiden oder Gewässern gelegt, damit ein Zusammensetzen der Resultate gut möglich ist. Um Fehler in den Randbereichen zu vermeiden, wurden die Regionen zudem überlappend modelliert.

Um einen engen Einbezug der Projektbegleitgruppe (vgl. Abbildung 1) zu gewährleisten, wurde das Projekt in 5 Teilprojektgebiete aufgeteilt. Dies ermöglichte einen optimalen Informationsaustausch mit allen Projektpartnern. In sämtlichen Teilprojektgebieten wurde das gleiche Vorgehen angewandt. Abbildung 2 zeigt die Teilprojektgebiete und die abgegrenzten Modellierungsregionen, welche Flächen zwischen knapp 13 km² (Region 405) und fast 500 km² (Region 145) aufweisen.

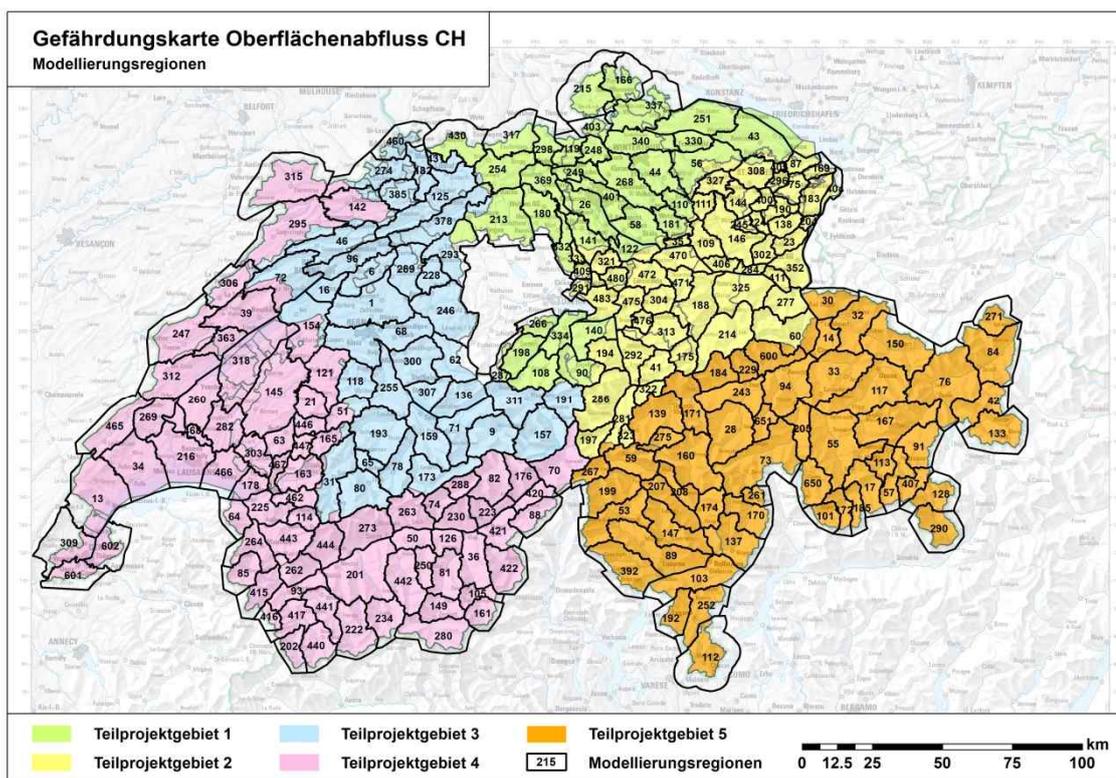


Abbildung 2: Aufteilung der Schweiz in Modellierungsregionen und Teilprojektgebiete. Im Kanton Luzern wurden die Daten aus [10] übernommen und keine Modellierungen durchgeführt.

3 Vorgehen

3.1 Übersicht Grundlagen

Die Modellierung basiert auf folgenden drei Hauptgrundlagen:

- Terrainmodell
- Niederschlag
- Abflussbereitschaft

Das verwendete hochaufgelöste Terrainmodell bildet die Topografie der Erdoberfläche ohne Bewuchs und Bebauung ab. Auf jede Rasterzelle des Terrainmodells wird über eine frei definierbare Niederschlagsganglinie Wasser zugeführt, wobei die Ganglinie über einen Faktor für jede Rasterzelle angepasst werden kann. Die Differenzierung erfolgt mit Hilfe einer berechneten Abflussbereitschaft, welche auf der Bodenbedeckung und verschiedenen geologischen und pedologischen Grundlagen basiert. Es findet keine Modellierung von unterirdischen Wasserflüssen statt. Die Siedlungsentwässerung wird bei der Modellierung nicht berücksichtigt.

Das angewandte Vorgehen ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Arbeitsschritte detailliert erläutert.

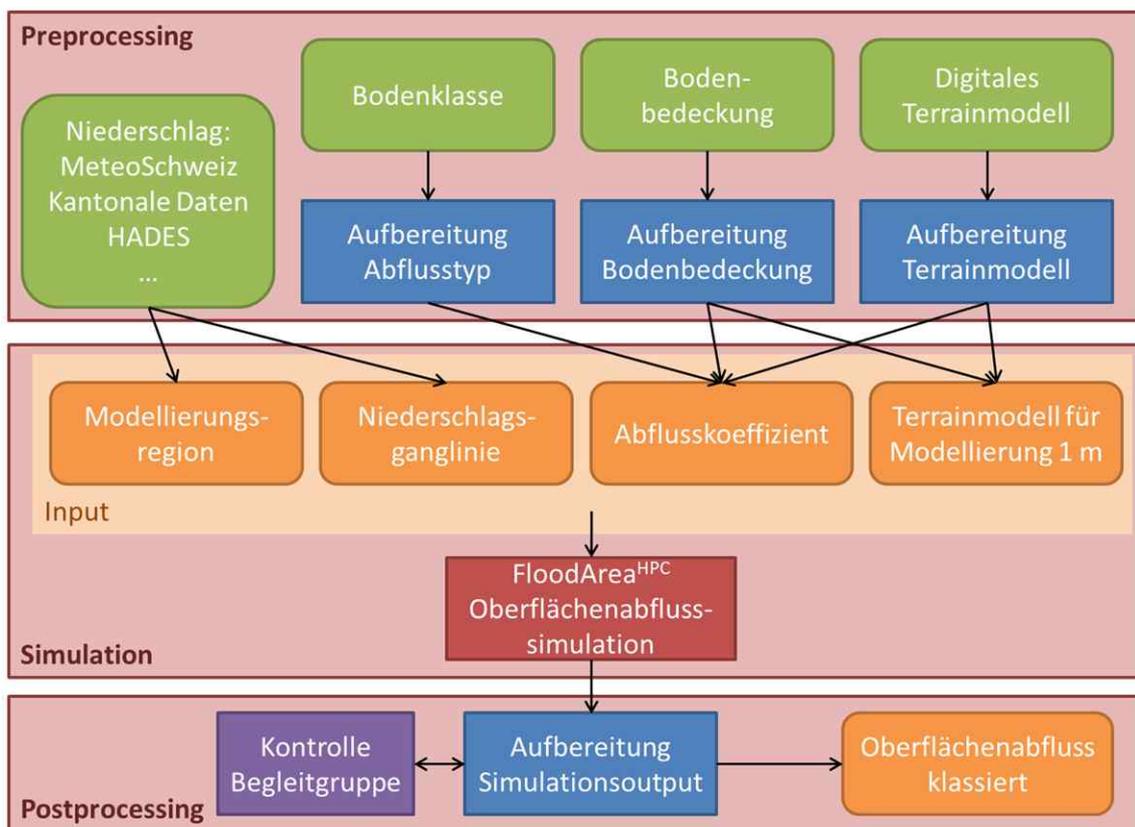


Abbildung 3: Schematisches Vorgehen bei der Oberflächenabfluss-Simulation für die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz

3.2 Bodenbedeckung

3.2.1 Grundlagen Bodenbedeckung

Die Bodenbedeckung wird einerseits zur Aufbereitung des Terrainmodells (vgl. Kapitel 3.3), andererseits für die Bestimmung des Abflusskoeffizienten verwendet (vgl. Kapitel 3.5). Als Haupt-

grundlage für die Bodenbedeckung diente der AV-Datensatz DM.01 (Quelle: Amtliche Vermessung Schweiz / FL). Dieser weist eine sehr hohe Lagegenauigkeit auf, liegt aber nicht flächendeckend für die gesamte Schweiz vor (vgl. Abbildung 4). Die Lücken wurden mit Hilfe der swissTLM^{3D}-Daten des Bundesamtes für Landestopografie ergänzt. Für die Unterscheidung zwischen „Gartenanlage“ und „Landwirtschaftsland“ (vgl. Tabelle 3) wurde bei den swissTLM^{3D}-Daten zusätzlich der Datensatz „Bauzonen Schweiz harmonisiert“ verwendet (Quelle: Kantonale Raumplanungsfachstellen, INFOPLAN-ARE).

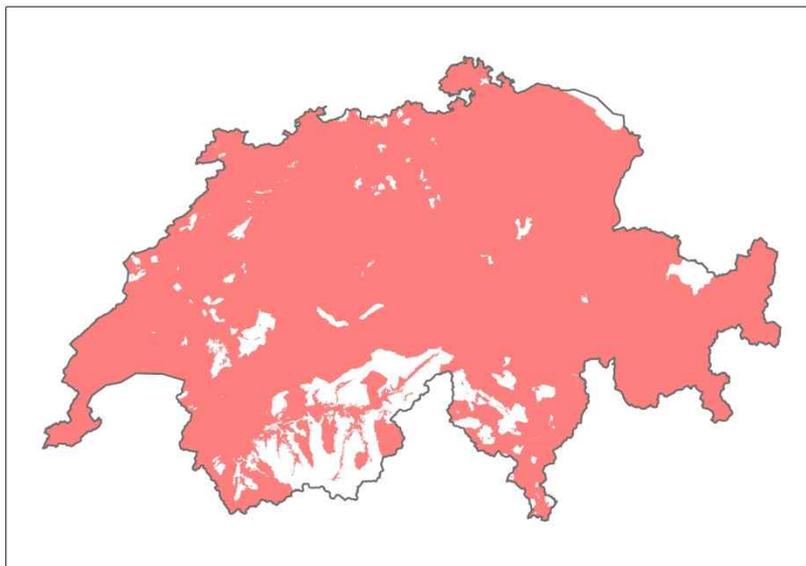


Abbildung 4: Abdeckung der Bodenbedeckung durch Daten der Amtlichen Vermessung
 Rot: AV-Daten liegen vor und wurden als Modellierungsgrundlage verwendet
 Weiss: Verwendung swissTLM^{3D} – Datensatz als Modellierungsgrundlage
 (Datenquellen: swissBOUNDARIES^{3D}: Bundesamt für Landestopografie; Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

Die Daten der amtlichen Vermessung resp. des swissTLM^{3D} Datensatzes sind grundsätzlich ohne systematische Kontrolle als Modellierungsgrundlage verwendet worden. Wurden jedoch bei der Bearbeitung offensichtliche Ungereimtheiten festgestellt, wurden diese manuell behoben. So wurde zum Beispiel oberhalb von Roche (VD) ein imaginäres grosses Gebäude aus der Datengrundlage gelöscht.



Abbildung 5: Beispiel Korrektur AV-Daten - Grosses Gebäude (blau) in der Joux Verte oberhalb von Roche (VD) gemäss AV-Daten
 (Datenquellen: Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie, Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

3.2.2 Bodenbedeckungstypen

Die 25 Klassen des AV-Bodenbedeckungsdatensatzes sowie die swissTLM^{3D}-Daten wurden zu zehn Bodenbedeckungstypen gruppiert. Die Zuordnung des AV-Bodenbedeckungsdatensatzes ist im Anhang A, diejenige der swissTLM^{3D} Daten im Anhang B aufgeführt. Die zehn Klassen sind in Tabelle 2 aufgelistet und werden näher erläutert.

Tabelle 2: Klassen der Bodenbedeckungstypen und die allgemeine Umsetzung in der Modellierung

Nummer	Typ	Umsetzung bei der Modellierung
1	Gebäude	Gebäude werden als Hindernisse in die Modellierung integriert und es erfolgt keine Infiltration.
2	Befestigte Flächen (Verkehrswege etc.)	Auf befestigten Flächen findet keine Infiltration statt. Sie wirken als Leitbahnen für Oberflächenabfluss.
3	Landwirtschaftsland	Die Speicherwirkung des Untergrundes wird über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.5).
4	Hoch-/ Flachmoore	
5	Garten/ Hausumschwung	
6	Gewässer	Oberflächenabfluss, welcher in ein Gewässer fliesst, bleibt im Gewässer und kann nicht mehr austreten. Eine vom Gewässer ausgehende Gefährdung wird in der Modellierung nicht dargestellt und sollte durch eine Gefahrenkarte resp. Gefahrenhinweiskarte Wasser abgedeckt sein. Eingedolte Gewässer werden generell nicht berücksichtigt.
7	Wald	Die Infiltration und Speicherwirkung des Waldbodens werden über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.5).
8	Gletscher	Auf Gletscherflächen wird keine Gefährdung durch Oberflächenabfluss ausgeschieden.
9	Fels	Auf Felsflächen findet keine Infiltration statt.
10	Ausland	In der Modellierung nicht berücksichtigte Flächen ausserhalb der Schweiz.

3.2.3 Aufbereitung swissTLM Daten

In Gebieten ohne Abdeckung durch die AV-Daten wurden die Informationen zur Bodenbedeckung aus dem Datensatz swissTLM^{3D} abgeleitet. In diesem liegen Informationen zu Gewässern und zu Verkehrswegen jedoch nur als Linienobjekte vor. Um eine flächige Information zu erhalten, mussten diese Linien daher mit einem Puffer versehen werden. Dabei wurde nach dem in Tabelle 12 aufgeführten Schema vorgegangen (siehe Anhang C). Die so erhaltenen Flächen konnten anschliessend in die Bodenbedeckung überführt werden.

3.2.4 Ergänzung Gewässernetz

Die Gewässernetze sind zum Teil in den AV-Daten nicht sehr detailliert abgebildet. Aus diesem Grund wurden diese durch Kantonale Gewässernetze oder falls nicht vorhanden, durch das Gewässernetz der swissTLM^{3D}-Daten ergänzt – auch in Gebieten, in welchen die AV-Daten flächendeckend verfügbar sind. Abbildung 6 zeigt, welche Datengrundlage in den einzelnen Kantonen verwendet worden ist.

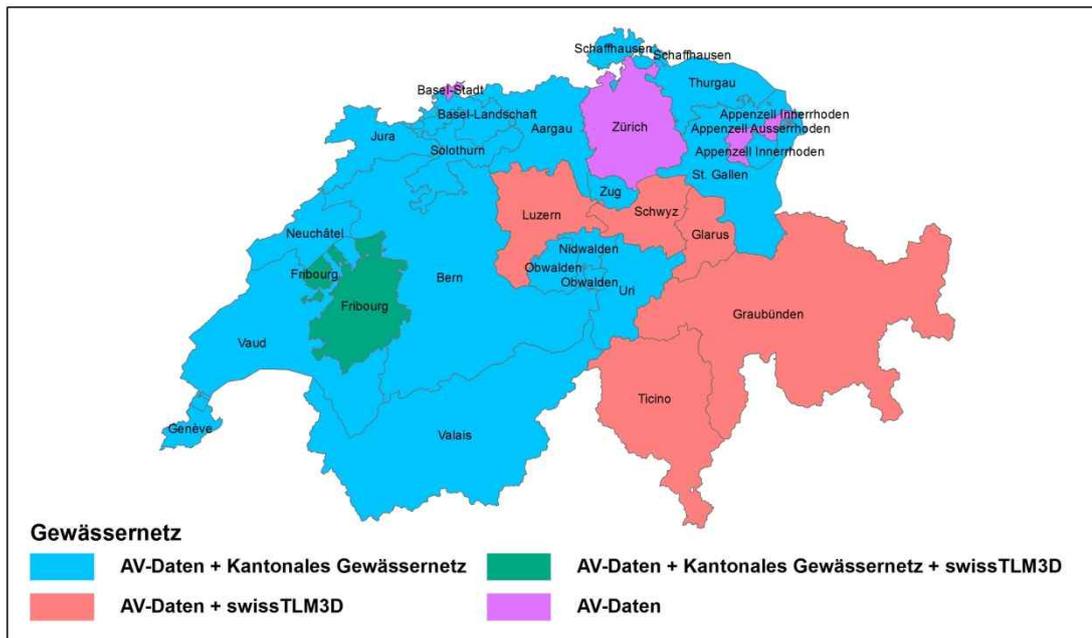


Abbildung 6: Verwendung Gewässernetz-Daten pro Kanton (Datenquelle: swissBOUNDARIES^{3D}: Bundesamt für Landestopografie)

Um ein nachvollziehbares und nach einheitlichen Kriterien generiertes Resultat zu erhalten, wurde die Ergänzung der Gewässernetze automatisiert vollzogen. Da ein Gewässer im Gewässernetz eines Kantons resp. im swissTLM^{3D} vielerorts nicht eine identische Lage wie in den AV-Daten aufweist, musste eine Mindestdistanz für eine Integration berücksichtigt werden, um „doppelte“ Gewässernetze in der Bodenbedeckung bestmöglich zu vermeiden. In Einzelfällen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Gewässer doppelt vorhanden sind.

Am Beispiel des Kantons Uri zeigt Abbildung 7, wie das Gewässernetz der AV-Daten (links) mit dem kantonalen Gewässernetz ergänzt worden ist.



Abbildung 7: Ergänzung Gewässernetze am Beispiel Uri. Links: Gewässernetz gemäss AV-Daten in hellblau, rechts: Ergänzung mit dem kantonalen Gewässernetz Uri in rosa (Datenquelle: Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL; Gewässernetz Kanton Uri: Baudirektion Kanton Uri)

Im Gegensatz zu den flächig ausgeschiedenen Gewässern in den AV-Daten liegen die Gewässernetze der Kantone resp. vom swissTLM^{3D} nur als Linien vor. Um diese als Gewässerfläche in die Bodenbedeckung integrieren zu können, mussten sie mit einem Puffer zu einer Fläche vergrössert werden. Da grössere Gewässer zumeist in den AV-Daten abgebildet sind, wurden die Gewässerlinien mit einem Puffer von 1 m versehen und entsprechen somit einer Gewässerbreite

te von 2 m. Ausnahmen bilden die Suonen / Bisses, welche nur um einen halben Meter gepuffert wurden. Die so erhaltenen zusätzlichen Gewässerflächen wurden anschliessend in die Bodenbedeckung integriert.

Da bei der Oberflächenabflussmodellierung Gewässer „nur“ als Senken berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 4) ist es für das Modellierungsergebnis in den meisten Fällen nicht relevant, ob die Gewässerbreite exakt mit der Realität übereinstimmt.

3.2.5 Aktualisierung befestigte Flächen

Im Kanton Waadt waren stellenweise auch in Gebieten mit Abdeckung durch Daten der amtlichen Vermessung die befestigten Flächen unvollständig. Da befestigte Flächen einen wichtigen Einfluss auf die Fließwege des Oberflächenabflusses ausüben, wurden sie mit einem analogen und automatisierten Vorgehen wie bei den Gewässern (vgl. Kapitel 3.2.4) mit Informationen aus dem Datensatz swissTLM^{3D} ergänzt. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die so ergänzten befestigten Flächen nördlich von Lausanne.

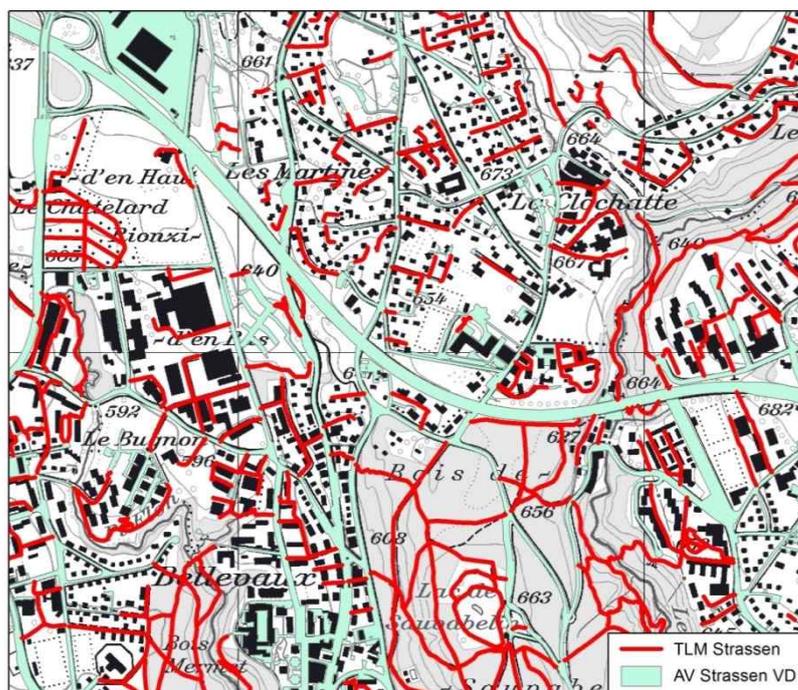


Abbildung 8: Ergänzung der befestigten Flächen nördlich von Lausanne. In den AV-Daten nicht enthaltene und aus dem TLM-Datensatz verwendete Strassen sind rot dargestellt. (Datenquellen: Hintergrundkarte und swissTLM^{3D}: Bundesamt für Landestopografie; Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

Um „doppelte“ Verkehrsnetze zu vermeiden musste wiederum eine Mindestdistanz für eine Integration überschritten werden. Wie bei den Gewässern kann dies auch bei den befestigten Flächen in Einzelfällen dazu führen, dass einzelne Flächen doppelt und andere nicht berücksichtigt worden sind.

Für die Integration in die Bodenbedeckung mussten die Linieninformationen aus dem Datensatz swissTLM^{3D} wiederum mit einem Puffer versehen werden, damit sie als flächige Aussage in die Bodenbedeckung integriert werden konnten (vgl. Kapitel 3.2.3).

Nicht aktualisiert wurden Informationen zu Brücken. Teilweise sind diese in den Daten der amtlichen Vermessung vorhanden, teilweise nicht. Wie Abbildung 9 mit einem Vergleich der Daten der amtlichen Vermessung mit der Karte PK25 am Beispiel von Innertkirchen (Kanton Bern) zeigt, kann dies auf engstem Raum variieren. Auf eine Bereinigung wurde verzichtet, da der Einfluss auf die Modellierung nicht massgebend ist.



Abbildung 9: Zum Teil nicht enthaltene Brücken am Beispiel von Innertkirchen BE im Datensatz der amtlichen Vermessung. Links: PK25 und klassierte Daten zur Bodenbedeckung. Rechts: Klassierte Daten zur Bodenbedeckung.
(Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie, Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

3.2.6 Datensatz „klassierte Bodenbedeckung“

Sämtliche Bodenbedeckungsdaten wurden zum Schluss unter Berücksichtigung einer Prioritätenliste (vgl. Anhang D) zu einem flächendeckenden Datensatz zusammengefügt. Damit stand für die Aufbereitung des Terrainmodells und die Berechnung der Abflusskoeffizienten ein schweizweit flächendeckender Datensatz „klassierte Bodenbedeckung“ zur Verfügung. Abbildung 10 zeigt, dass der so erzielte Bodenbedeckungs-Datensatz und die Landeskarte 1:25'000 räumlich sehr gut übereinstimmen.

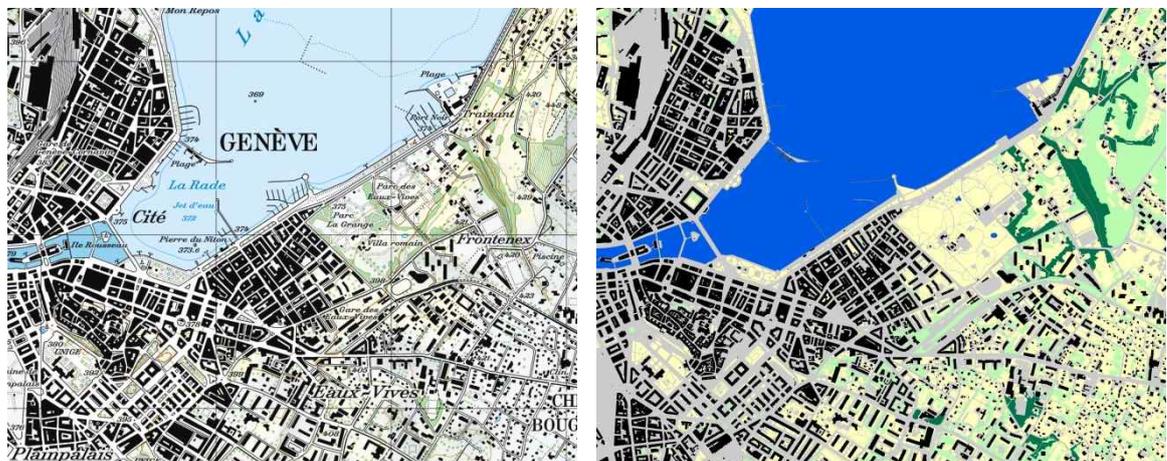


Abbildung 10: Vergleich Bodenbedeckung mit PK 1:25'000 (links) und Datensatz „klassierte Bodenbedeckung“ im Bereich der Stadt Genf (rechts)
Legende der Bodenbedeckungskarte: dunkel grau = Gebäude, hellgrau = befestigte Flächen, hellgrün = Landwirtschaftsland, gelb = Garten / Hausumschwung, blau = Gewässer, dunkelgrün = Wald.
(Datenquellen: Hintergrundkarte und swissTLM^{3D}: Bundesamt für Landestopografie; Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

3.2.7 Umwandlung in Rasterdaten

Für die Modellierung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss werden Rasterdaten als Eingabedaten benötigt. Daher musste der Datensatz zur Bodenbedeckung von einem Vektor- in einen Rasterdatensatz umgewandelt werden. Bei dieser Umwandlung von Vektordaten in Rasterdaten können z.B. bei einer Brücke das Gewässer sowie die Strasse Anspruch auf die betreffende Rasterzelle haben. Damit in Fällen, wo unterschiedliche Polygone eine Rasterzelle abdecken eine eindeutige Zuordnung vorgenommen werden konnte, wurden die verschiedenen Oberflächentypen gewichtet. Jede Rasterzelle wurde demjenigen Bodenbedeckungstyp zugeordnet, der die höchste Gewichtung besitzt.

Befestigte Flächen und Gewässer üben auf das Modellierungsergebnis einen entscheidenden Einfluss aus. Durch die hohe Gewichtung der befestigten Flächen und der Gewässer wird erreicht, dass diese Bodenbedeckungstypen möglichst zusammenhängende Rasterflächen bilden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Gewichtung der Bodenbedeckungstypen gemäss Tabelle 2 für deren Berücksichtigung bei der Umwandlung in einen Rasterdatensatz

Nummer	Bodenbedeckungstyp	Gewichtung
1	Gebäude	6
2	Befestigte Flächen (Verkehrswege etc.)	10
3	Landwirtschaftsland	8
4	Hochmoor / Flachmoor, Schilfgürtel	5
5	Gartenanlage	7
6	Gewässer	9
7	Wald / Lockermaterial	4
8	Gletscher	2
9	Fels	3
10	Ausland	1

Abbildung 11 zeigt einen Vergleich des Vektordatensatzes (links) mit dem nach der Umwandlung entstandenen Rasterdatensatz (rechts). Es ist gut erkennbar, dass z.B. befestigte Flächen (grau) oder Gewässer (blau) weiterhin zusammenhängende Flächen bilden und deren Ausdehnung etwas zugenommen hat. Gebäude (schwarz) oder Gartenanlagen (gelb), welche gemäss Tabelle 3 eine niedrigere Gewichtung aufweisen, wurden hingegen etwas kleiner.



Abbildung 11: Vergleich zwischen der klassierten Bodenbedeckung: Vektordatensatz (links) und Rasterdatensatz (rechts) am Beispiel Stansstad (Kanton NW)

Legende der klassierten Bodenbedeckung: schwarz = Gebäude, hellgrau = befestigte Flächen, hellgrün = Landwirtschaftsland, gelb = Garten / Hausumschwung, blau = Gewässer, dunkelgrün = Wald.

(Quelle: Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

3.3 Terrainmodell

Als digitales Terrainmodell (DTM) wurde standardmässig das swissALTI^{3D} der swisstopo mit einer Rastergrösse von 2 m verwendet. Einige Kantone verfügen jedoch über eigene Terrainmodelle mit höherer Auflösung. Wenn diese von den Kantonen für das Projekt zur Verfügung gestellt worden sind, wurden sie für die Modellierung verwendet. Die verwendeten Höhenmodelle sowie deren Nachführungsstand sind in Anhang G aufgeführt. Abbildung 12 gibt einen Überblick über die in den einzelnen Kantonen verwendeten Höhenmodelle.

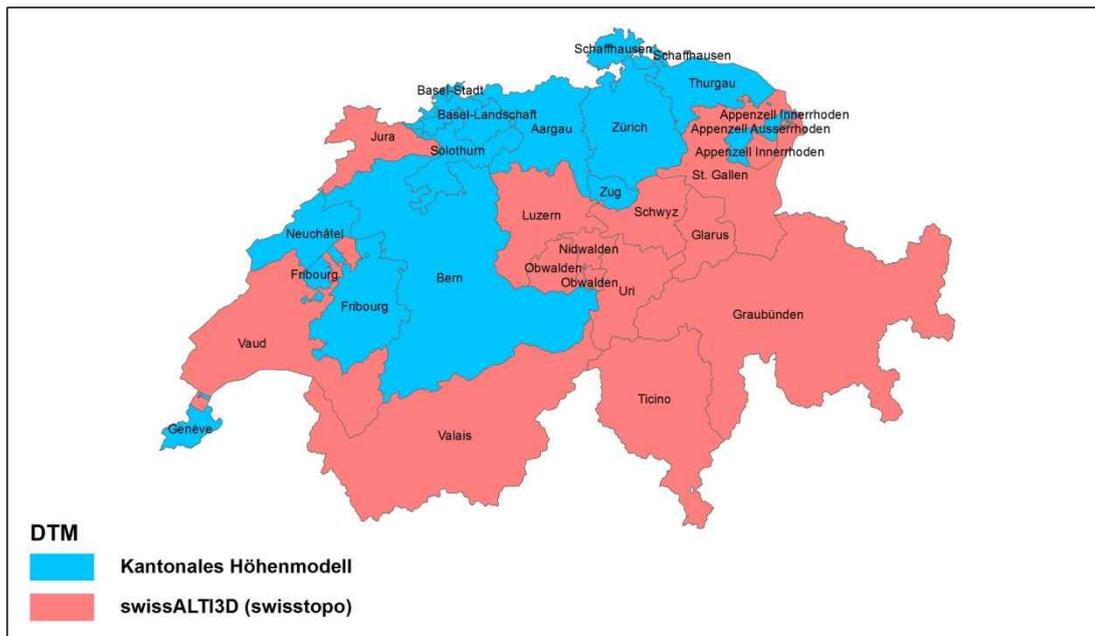
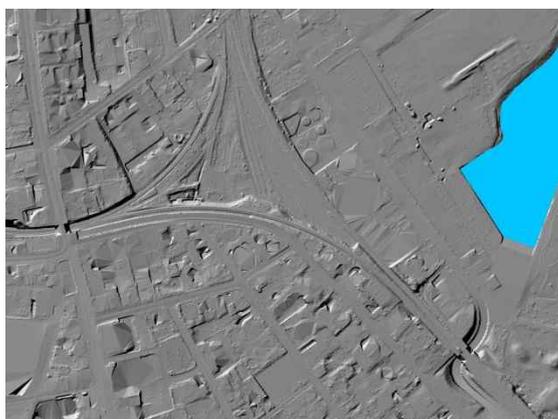


Abbildung 12: Berücksichtigtes Höhenmodell je Kanton

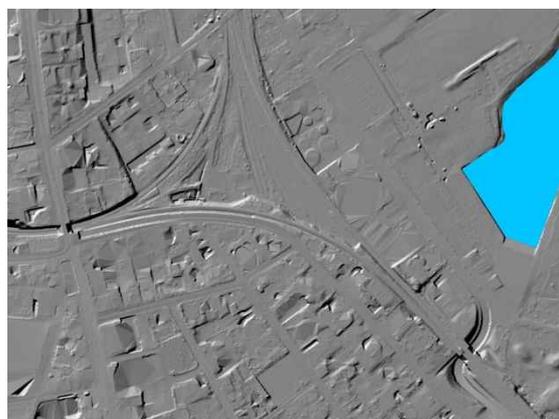
(Quelle Kartenhintergrund: swissBOUNDARIES^{3D}; Bundesamt für Landestopografie)

Sämtliche Terrainmodelle wurden für die Oberflächenabflussmodellierung auf eine Rastergrösse von 1 m konvertiert. Für ein möglichst optimales Resultat der Modellierung musste das Terrainmodell aufbereitet werden. Dazu gehörten, neben der Elimination des Rauschens im DTM, insbesondere Anpassungen im Bereich von Gebäuden, Gewässerstrecken und Verkehrswegen.

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Aufbereitungsschritte und in Abbildung 13 sind sie visualisiert.



Ausgangslage, Raster roh (0.5 m)



Raster (1 m) mit Glättung und FillSink



Raster (1 m) inkl. Erhöhung der Gebäude um 5 m



Raster (1 m) inkl. Absenkung befestigte Flächen um 0.25 m

Abbildung 13: Visualisierung Verarbeitungsschritte Aufbereitung am Beispiel Kreuzlingen (Kanton TG). Blau: Gewässer gemäss Bodenbedeckung
 (Datenquellen: Digitales Terrainmodell Kanton Thurgau: Amt für Geoinformation Kanton Thurgau, Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

Tabelle 4: Arbeitsschritte zur Aufbereitung des Terrainmodells

Arbeitsschritt	Beschreibung
Glättung	In räumlich hoch aufgelösten Terrainmodellen können aufgrund der Oberflächenstruktur Höhenunterschiede einzelner benachbarter Rasterzellen auftreten, welche in der Realität weniger stark ausgeprägt sind und in der Modellierung ein Rauschen verursachen. Durch eine Glättung können diese Effekte vermindert werden. Daher wurden die Höhenwerte der Rasterzellen unter Berücksichtigung sämtlicher unmittelbar anliegenden Rasterzellen geglättet.
Resampling	Sämtliche verwendeten Terrainmodelle wurden auf ein 1 m Raster konvertiert. So konnte die Bodenbedeckung (Häuser, Strassen...) besser ins Terrainmodell integriert werden und schweizweit eine vergleichbare Güte der Modellierung erreicht werden. Bei den Terrainmodellen mit einer räumlichen Auflösung von 2 m wurde das Resampling vor der Glättung durchgeführt.
Zuschneiden	Die Terrainmodelle wurden mithilfe des Datensatzes „swissBOUNDARIES ^{3D} “ auf die Kantons Grenzen zugeschnitten. Die Kantonalen Terrainmodelle wurden beim Zuschneiden auf das swissALTI ^{3D} ausgerichtet (Snapping), damit diese nahtlos zusammengefügt werden können. Das Snapping wurde durchgeführt, da nicht bei allen zur Verfügung gestellten Terrainmodellen die Zellenausrichtung übereinstimmte (Abweichungen in den Kantonen AG, AR und GE).
Zusammenfügen	Die verschiedenen Terrainmodelle wurden zu einem flächendeckenden „Terrainmodell Schweiz“ zusammengefügt.
Füllung Senken (FillSink)	Rasterzellen, welche Senken darstellen (umgebende Rasterzelle weisen alle einen höheren Wert auf), wurden bis zu 1 m gefüllt. Somit konnten kleinräumige Senken, welche hauptsächlich aufgrund der Oberflächenstruktur entstanden sind, geglättet werden.
Gebäude	Gebäude sind im Terrainmodell nicht enthalten, bilden aber in der Realität wichtige Hindernisse für Fließwege. Daher wurden sämtliche Gebäudegrundflächen um 5 m erhöht (= Hindernis). Die Gebäudegrundflächen wurden aus der aufbereiteten Bodenbedeckung (vgl. Kapitel 3.2) übernommen. Im Kanton Basel-Stadt waren die Gebäude bereits im Terrainmodell integriert und wurden deshalb nicht zusätzlich erhöht.
Gewässer	Die von Oberflächengewässern ausgehende Gefährdung wird vollständig durch die Gefahrenkartierung abgedeckt und ist im Produkt Gefährdungskarte Oberflächenabfluss nicht enthalten. Wasser, welches einem Gewässer zugeführt wird, ist für die Modellierung des Oberflächenabflusses daher nicht mehr relevant. Durch eine massive Absenkung (500 m) der oberirdischen Gewässerbereiche wurden eigentliche Senken bzw. Kanäle gebildet, welche ein Austreten von Wasser aus dem Gewässerraum unterbinden. Ausnahmen bilden Suonen / Bisses. Diese wurden aufgrund ihres beschränkten Fassungsvermögens nur um 1 m abgesenkt. Eingedolte Gewässerrläufe wurden generell nicht berücksichtigt. Die Gewässerflächen wurden aus der aufbereiteten Bodenbedeckung (vgl. Kapitel 3.2) übernommen.
Befestigte Flächen	Befestigte Flächen (insbesondere Verkehrswege) bilden häufig wichtige Leitstrukturen für Fließwege. Trotz der hohen Raster-Auflösung können diese durch die Terrainmodelle nicht immer richtig abgebildet werden. Daher wurden sämtliche befestigten Flächen um 0.25 m abgesenkt. Die befestigten Flächen wurden aus der aufbereiteten Bodenbedeckung (vgl. Kapitel 3.2) übernommen.

3.4 Niederschlag

Als Grundlage für die Modellierung wird ein Niederschlagsszenario benötigt. Als massgebendes Szenario wurde ein Gewitter mit einer Wiederkehrperiode von ungefähr 100 Jahren und einer Dauer von einer Stunde verwendet. Für jede Modellierungsregion (vgl. Kapitel 2) wurde deshalb in Absprache mit den Kantonen sowie unter Berücksichtigung von [1], [3] und weiteren Grundlagen eine Niederschlagsmenge für einen einstündigen Niederschlag mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren festgelegt. Abbildung 15 zeigt eine Übersicht über die für die Modellierung verwendeten Niederschlagswerte.

Basierend auf [5] wurde für alle Regionen aus den Niederschlagsmengen für 5-Minuten Zeitschritte eine Niederschlagsganglinie abgeleitet. Die verwendete prozentuale Verteilung der Niederschläge über eine Stunde ist in allen Regionen identisch und entspricht dem berücksichtigten Modellregen gemäss Tabelle 5.

Tabelle 5: Modellregen für 1-Std.-Niederschläge gemäss [5] mit prozentualen 5-Minuten Anteilen

Minuten ab Ereignisbeginn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Häufigkeit pro Stunde [%]	9.30	17.81	18.70	14.37	11.13	7.43	5.28	4.47	3.41	3.01	2.68	2.44

Die in der Modellierung berücksichtigten Intensitäten je 5 Minuten resultieren aus den definierten Niederschlagsmengen je Modellierungsregion und deren Verteilung über die Beregnungsdauer gemäss Modellregen (Tabelle 5). Abbildung 14 zeigt exemplarisch die verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm.

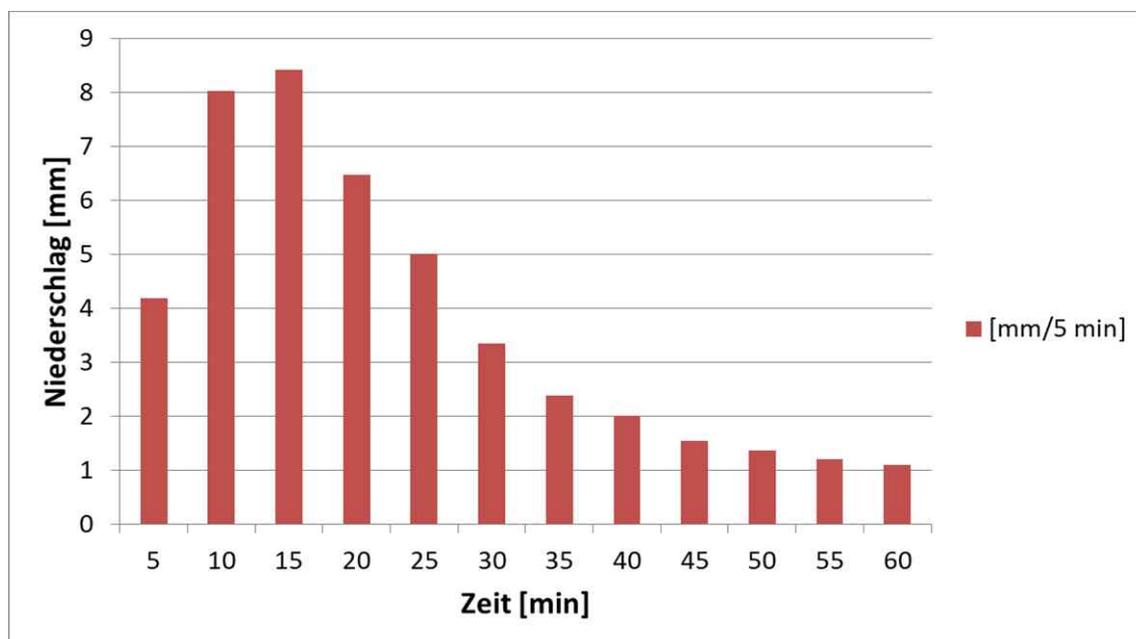


Abbildung 14: Für die Modellierung verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm/h. Die prozentuale Verteilung pro 5 Minuten wurde gemäss Tabelle 5 abgeleitet.

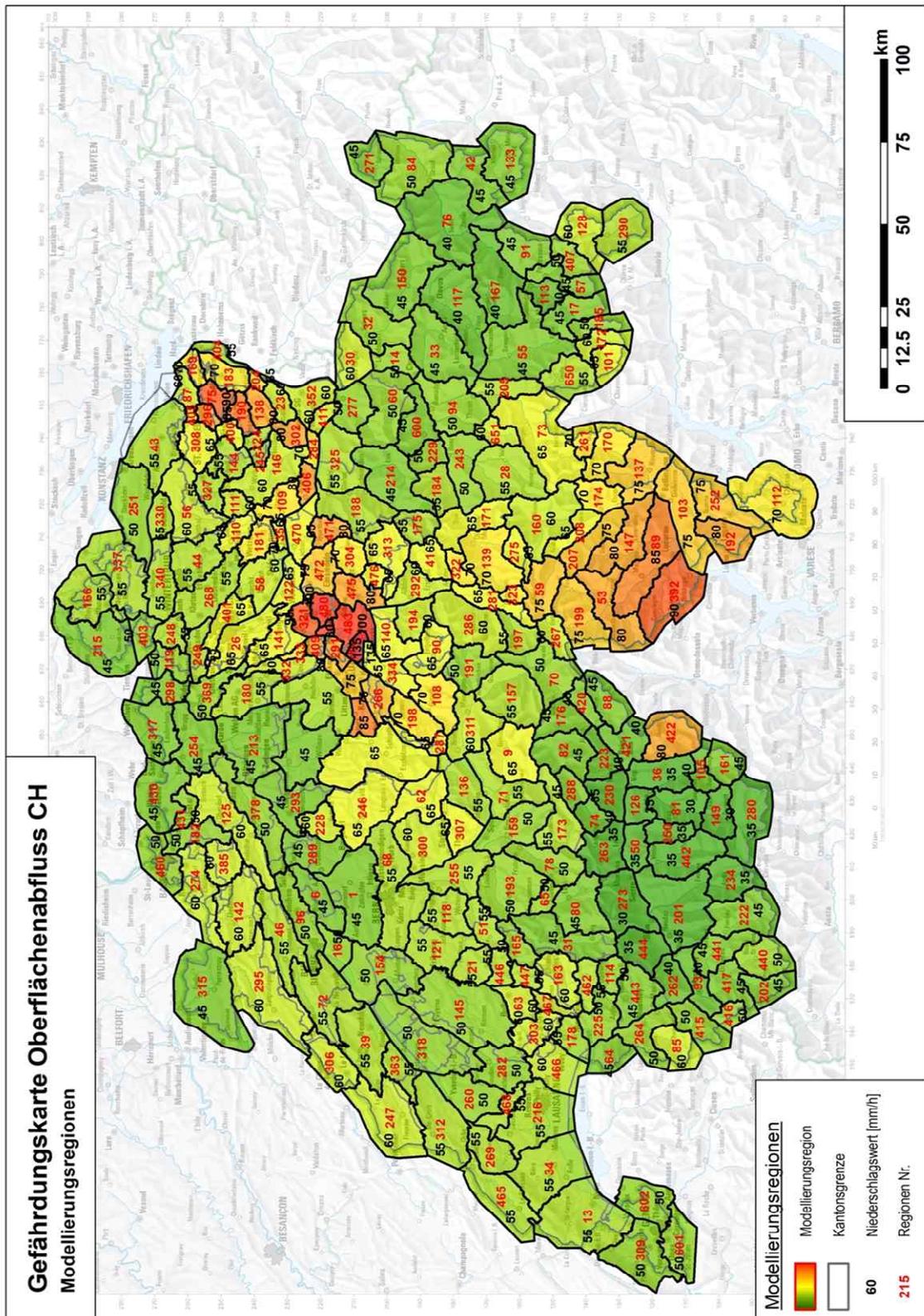


Abbildung 15: Für die Modellierung verwendete Niederschlagsmengen [mm] für einen einstündigen Niederschlag mit einer Wiederkehrperiode von ungefähr 100 Jahren. Für den Kanton Luzern sind die Werte aus der Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern [10] eingetragen. (Datenquelle Hintergrundkarte und swissBOUNDARIES^{3D}: Bundesamt für Landestopografie)

3.5 Abflusskoeffizient

3.5.1 Grundwerte

Die Abflussbereitschaft verschiedener Bodenbedeckungen ist sehr unterschiedlich. Beispielsweise ist die Infiltration von Niederschlagswasser bei befestigten Flächen unterbunden, in Wäldern hingegen kann vielfach ein grosses Wasservolumen in den Boden infiltrieren.

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften zur Abflussbereitschaft wurde jedem Bodenbedeckungstyp ein Grundwert des Abflusskoeffizienten ψ zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgte in Anlehnung an die Typisierung nach [13] und unter Berücksichtigung von [4].

Tabelle 6: Bodenbedeckungstypen gemäss Tabelle 2 und die in der Modellierung verwendeten Abflusskoeffizienten ψ (hergeleitet aus [13] und [4])

Bodenbedeckungstyp	Grundwert Abflusskoeffizient ψ
Gebäude, Gewässer, Ausland	0
Befestigte Flächen, Fels	1
Landwirtschaftsland	0.45
Hoch-/Flachmoore, Schilfgürtel	0.45
Garten / Hausumschwung, Gletscher	0.5
Wald, Geröll	0.35

3.5.2 Abflussbereitschaft

Scherrer & Naef (2003) entwickelten ein Schema mit welchem der dominante Abflussprozess eines Bodens für Starkniederschläge bestimmt werden kann (vgl. [14]). Dabei wird zwischen fünf Abflusstypen unterschieden und entsprechende Abflussreaktionen zugewiesen (Tabelle 6). Dieses Schema wurde basierend auf [12] im Rahmen dieses Projektes schweizweit angewandt und eine „Abflusstypenkarte Schweiz“ berechnet (vgl. Abbildung 16). Im Kanton Zürich wurde die Abflussprozesskarte Kanton Zürich [11] als Grundlage verwendet und gemäss dem im Anhang E aufgeführten Vorgehen und Prioritäten in die Abflusstypenkarte Schweiz überführt.

Tabelle 7: Zuweisung einer Abflussbereitschaft zu einem Abflusstyp gemäss [14]

Abflusstyp	Abflussbereitschaft
1	schnell
2	leicht verzögert
3	verzögert
4	stark verzögert
5	nicht beitragend

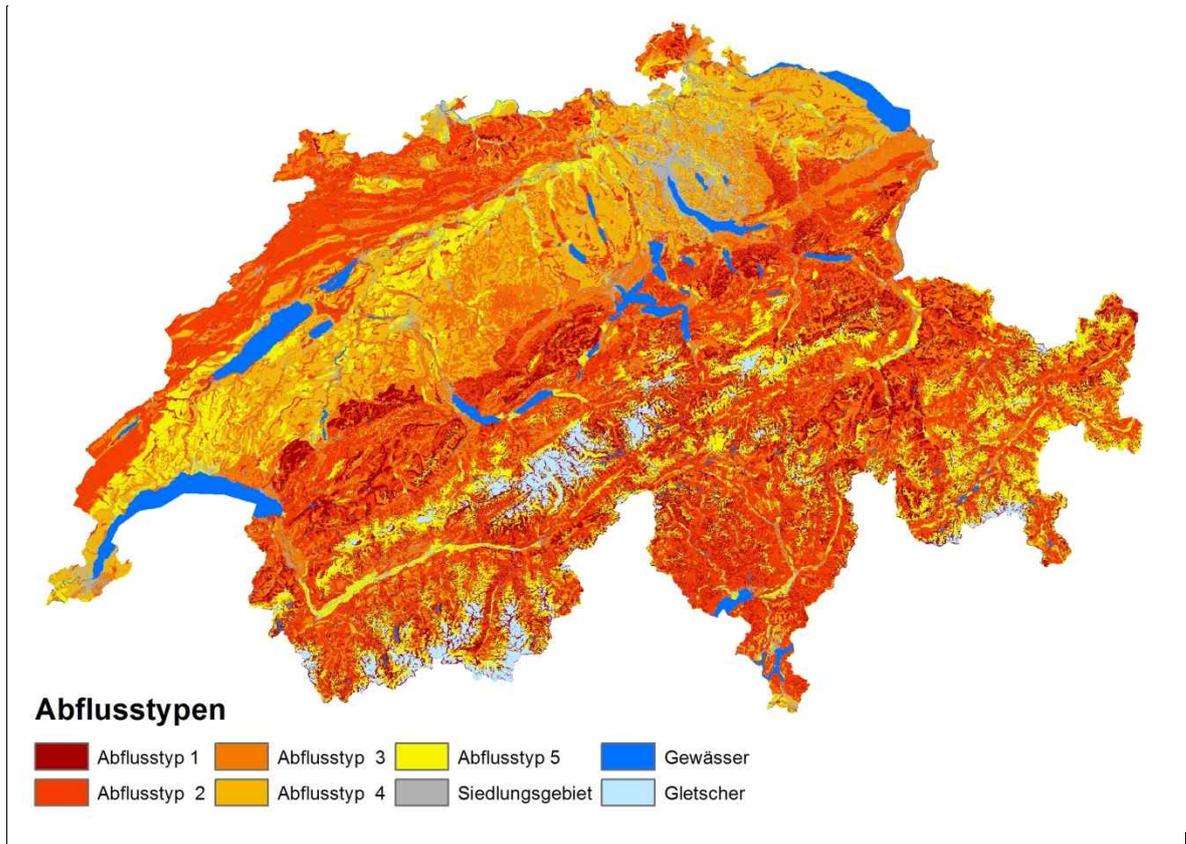


Abbildung 16: Abflusstypenkarte Schweiz, welche nach dem in [12] beschriebenen Vorgehen hergeleitet worden ist. Im Kanton Zürich wurden die Daten aus [11] ergänzt.

3.5.3 Modifikation Grundwert Abflusskoeffizient

Der Grundwert des Abflusskoeffizienten ψ (vgl. Tabelle 6) wurde aufgrund der Abflussbereitschaft der verschiedenen Abflusstypen (vgl. Abbildung 16) für jede Rasterzelle gemäss der in Tabelle 8 aufgeführten Korrektur neu berechnet. Durch diesen Berechnungsvorgang resultiert für jede Rasterzelle ein korrigierter Abflusskoeffizient ψ_{neu} .

Tabelle 8: Abflussbereitschaft der verschiedenen Abflusstypen gemäss der Abflusstypenkarte und die davon abhängige Korrektur des Grundwerts des Abflusskoeffizienten ψ

Abflusstyp	Abflussbereitschaft	Addition zum Grundwert des Abflusskoeffizient ψ
1	schnell	0.1
2	leicht verzögert	0.05
3	verzögert	0
4	stark verzögert	-0.05
5	nicht beitragend	-0.1

Bei der Entwicklung der Risikokarte für Sicker- und Abschwemmverluste von Pflanzennährstoffen im Kanton Zürich wurde das Gefälle als ein wichtiges Kriterium für die Ausscheidung der Risikostufe (gering, mittel, hoch, sehr hoch) verwendet [11]. Ebenso ist bei Oberflächenabfluss auf stark geneigten Flächen von reduzierter Infiltration und entsprechend höheren Abflusskoeff-

fizienten auszugehen. Unter Berücksichtigung der in [11] definierten Gefällskriterien wird daher in einem weiteren Berechnungsvorgang der Abflusskoeffizient ψ_{neu} modifiziert. Dadurch wird z.B. auf einer sehr stark geneigten Fläche (Gefälle > 36 %) der Abflusskoeffizient auf 1 erhöht.

Tabelle 9: Anpassung des Abflusskoeffizienten ψ_{neu} unter Berücksichtigung des Gefälles und Bestimmung des definitiven Abflusskoeffizienten ψ_{def}

Gefälle	Modifikation des Abflusskoeffizienten ψ_{neu}
Eben bis mässig geneigt (bis 25 %)	$\psi_{neu} = \psi_{def}$
Stark geneigt (26 – 35 %)	$\psi_{neu} + ((1 - \psi_{neu}) \times 0.5) = \psi_{def}$
Sehr stark geneigt (36 – 50 %)	$1 = \psi_{def}$
Extrem geneigt (> 50 %)	$1 = \psi_{def}$

Der Abflusskoeffizient ψ_{def} fliesst als Gewichtungsraster in die Modellierung ein. Mit diesem Raster wird für jede Rasterzelle, die direkt zum Abfluss kommende Niederschlagsmenge gesteuert, indem das Gewichtungsraster mit der Niederschlagsganglinie multipliziert wird. So kommt z.B. bei einem Koeffizienten von 1 auf der entsprechenden Rasterzelle der gesamte Niederschlag zum Abfluss (befestigte Flächen und/oder steile Gebiete). Bei einem Koeffizienten von 0.4 sind es hingegen noch 40 % der Niederschlagsmenge.

Abbildung 17 links zeigt eine Übersicht der berechneten Abflusskoeffizienten in der Region Oensingen SO. Zum Vergleich sind in Abbildung 17 rechts die Bodenbedeckungstypen dargestellt.

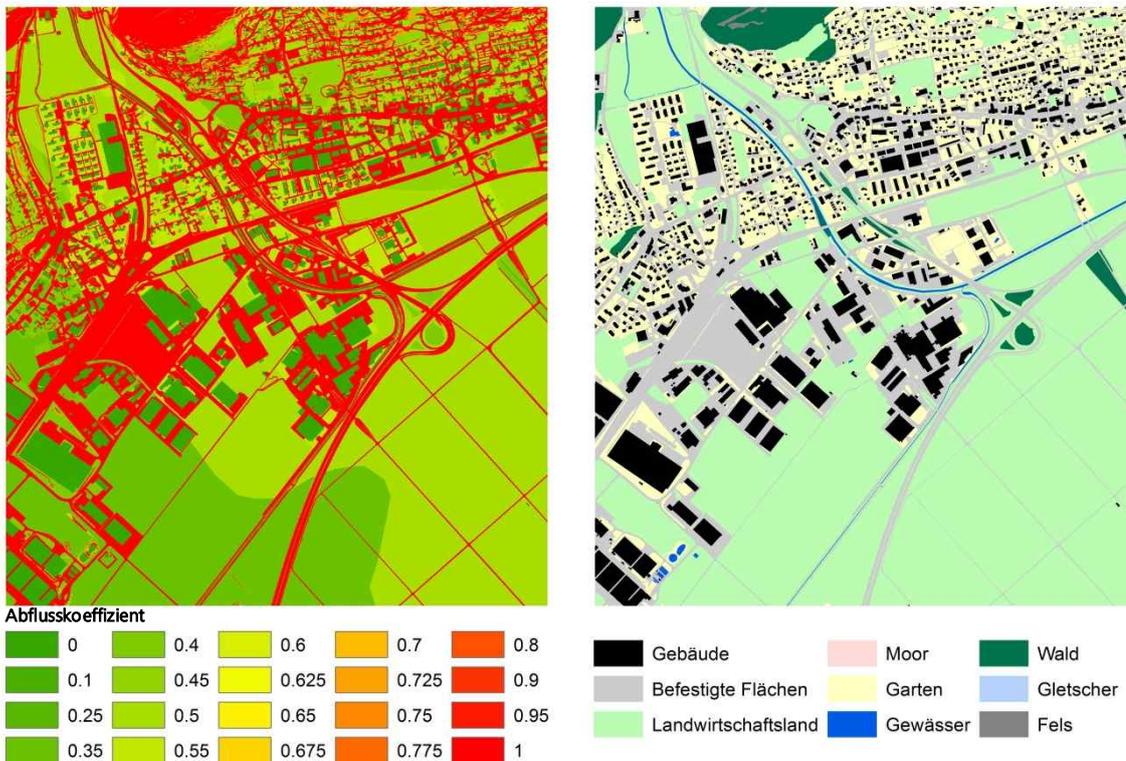


Abbildung 17: Ausschnitt Region Oensingen (Kanton SO): Abflusskoeffizient (links), Bodenbedeckung (rechts) (Datenquelle: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

3.6 Angrenzendes Ausland

Die Landesgrenze der Schweiz verläuft sehr oft entlang von Wasserscheiden oder Gewässern. In weiteren Gebieten liegt das angrenzende Ausland tiefer als das Gelände in der Schweiz. In all diesen Fällen kann eine Oberflächenabflussmodellierung auf die Landesfläche der Schweiz beschränkt bleiben, da kein Wasser auf die Schweiz zufließt. In Einzelfällen liegt aber das Gelände in der Schweiz tiefer als im direkt angrenzenden Ausland und es kann ein Zufluss von Wasser aus dem Ausland stattfinden. Dies ist z.B. in den Regionen Fahy (Kanton Jura), Schönenbuch/Allschwil (Kanton Basel-Landschaft) oder in einigen Tälern des Kantons Tessin (z.B. Valle di Campo oder Valle Onsernone) der Fall. Da die Auswirkungen auf das Modellierungsergebnis in der Schweiz limitiert sind, wurde – ausser in drei Fällen – auf eine Ausdehnung der Modellierungsumgebung ins angrenzende Ausland verzichtet. In unmittelbarer Grenznähe können die von Oberflächenabfluss betroffenen Flächen daher in Ausnahmefällen wegen dem fehlenden Wasserzufluss aus dem Ausland zu klein ausfallen.

Ausnahmen bilden die beiden Enklaven Büsingen und Campione d'Italia, sowie die Region Genf. Für die Enklaven standen aus den Schweizer Datensätzen flächendeckend die für eine Modellierung benötigten Informationen zur Verfügung. In der Region Genf deckte das zur Verfügung gestellte Terrainmodell auch das angrenzende französische Staatsgebiet ab. Informationen zur Bodenbedeckung konnten beim Département de l'Ain resp. beim Département Haute-Savoie beschafft werden (vgl. Anhang G). So wurden diese drei Gebiete in die Modellierungsumgebung einbezogen, auf dem umliegenden Schweizer Staatsgebiet treten daher keine Fehler durch fehlende Wasserzuflüsse aus dem Ausland auf.

3.7 Simulation

Basierend auf dem aufbereiteten Terrainmodell, den berechneten Abflusskoeffizienten und dem festgelegten Niederschlag wurde die Oberflächenabflusssimulation in den einzelnen Regionen durchgeführt. Dabei wurde für jede Modellierungsregion eine eigene Simulation durchgeführt. Damit beim Zusammenfügen der Resultate aus den einzelnen Regionen fließende Übergänge entstehen, wurde der Simulationsperimeter etwas grösser als die jeweilige Modellierungsregion festgelegt. Pro Modellierungsregion wurde ein Niederschlagsszenario gerechnet. Die gesamte Simulationsdauer lag bei zwei Stunden.

Für den Kanton Luzern wurde keine neue Simulation durchgeführt. Für einen flächendeckenden Datensatz Schweiz wurden die Daten aus der Oberflächenabflusskarte Luzern [10] in das Endresultat integriert.

3.8 Postprocessing

3.8.1 Aufbereitung und Vektorisierung der Simulationsergebnisse

Aus der Simulation resultierte alle 5 Minuten für jede Rasterzelle eine Wassertiefe in Metern. In einem ersten Schritt wurde für sämtliche Rasterzellen eine maximale Wassertiefe während der gesamten Simulationsdauer berechnet. Durch die flächige Berechnung wird auf praktisch allen Rasterzellen eine Wassertiefe > 0 m ausgeschieden. Deshalb muss ein Grenzwert für die Unterscheidung zwischen einer nur „nassen“ Rasterzelle und einer von Oberflächenabfluss betroffenen Rasterzelle gezogen werden. Dieser Schwellenwert wurde bei 1.5 cm festgelegt.

Die Simulationsergebnisse wurden gemäss folgendem Vorgehen aufbereitet:

- Berechnung maximale Wassertiefe über die gesamte Simulationsdauer
- Festsetzung Wassertiefen ≤ 0.015 m auf 0 m
- Aufteilung der Abflusstiefen in drei Klassen:
 - $0 \text{ m} < h \leq 0.10 \text{ m}$
 - $0.10 \text{ m} < h \leq 0.25 \text{ m}$
 - $0.25 \text{ m} < h$
- Zuordnung Kleinflächen $< 20 \text{ m}^2$ zur nächsttieferen Klasse
- Elimination Kleinflächen $< 40 \text{ m}^2$ in Abflusstiefenklasse $0 < h \leq 0.10$
- Bereinigung der Modellierungsflächen mit den Gebäudegrundrissen aus den Vektordaten
- Integration der in der Modellierung berücksichtigten Gewässer und Gletscher
- Vektorisierung und Glättung der Rasterdaten (Umwandlung der Rasterdaten in Vektordaten (Polygone))

3.8.2 Zusammenfügen Simulationsresultate

Wie in Kapitel 2 erläutert, wurden die einzelnen Modellierungsregionen überlappend modelliert. Damit konnten in einem nächsten Schritt die Resultate aus den verschiedenen Regionen gesamtschweizerisch (ohne Kanton Luzern, vgl. Kapitel 3.8.3.1) zusammengefügt werden. In den Überlappungsbereichen wurde für jede Fläche der jeweils höhere Wert beibehalten. Da die Grenzverläufe zwischen den Regionen unter Berücksichtigung der lokalen Topografie (bevorzugt entlang Wasserscheiden oder Gewässerbänken) gezogen worden sind, waren nach dem Zusammenfügen keine manuellen Bereinigungen notwendig.

3.8.3 Aktualisierung Simulationsresultate

3.8.3.1 Kanton Luzern

Für das Gebiet vom Kanton Luzern wurden die Daten der Oberflächenabflusskarte Luzern [10] in das Resultat integriert. Diese Oberflächenabflusskarte wurde gemäss der identischen Methodik erstellt. In den Übergangsbereichen entlang der Kantonsgrenze passen die Modellierungen der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz und der Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern [10] jedoch aus mehreren Gründen nicht überall perfekt zusammen:

- Die in den beiden Projekten verwendeten Kantonsgrenzen haben nicht den exakt gleichen Verlauf.
- Die Modellierungsumgebung für die Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern war auf den Kanton Luzern beschränkt (kein Zufluss von ausserhalb).
- Für die Modellierungen im Übergangsbereich zu den umliegenden Kantonen wurde bei der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz im Kanton Luzern das Terrainmodell swisSALTI^{3D} verwendet. Für die Modellierung der Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern hingegen das kantonale Terrainmodell.
- Die verwendete Bodenbedeckung weist nicht den gleichen Nachführungsstand auf. Auch das verwendete Gewässernetz ist nicht bei beiden Projekten identisch.

Kleinere Korrekturen wurden manuell vorgenommen, jedoch können in einigen Situationen entlang der Kantonsgrenze Fliesswege unterbrochen oder Übergänge fehlerhaft sein. Abbildung 18 zeigt ein Beispiel mit unterbrochenen Fliesswegen im Bereich der Kantonsgrenze Luzern / Schwyz auf Rigi First.

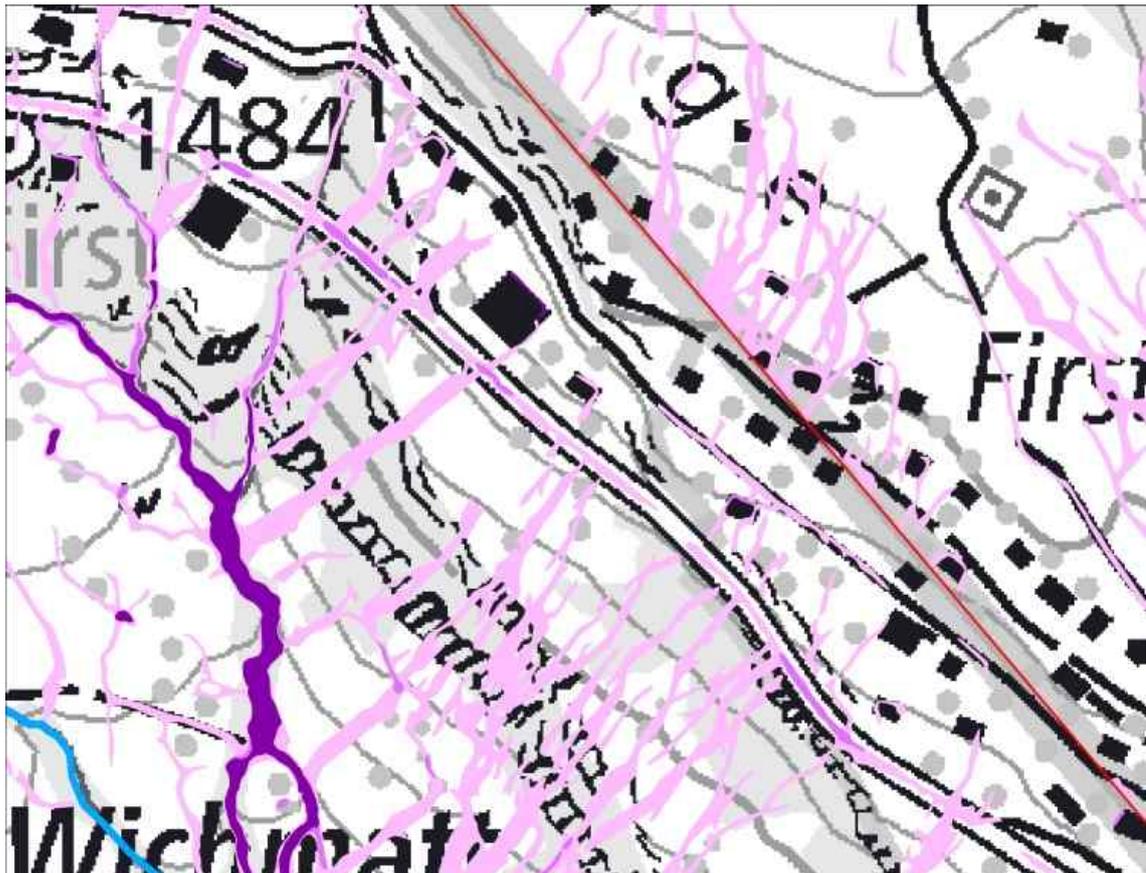


Abbildung 18: Modellierungsergebnis Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz mit unterbrochenen Fliesswegen im Bereich der rot dargestellte Kantonsgrenze Luzern (links) / Schwyz (rechts) auf Rigi First. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

3.8.3.2 Gletscher

Modellierungsergebnisse von Oberflächenabfluss im Bereich von Gletscherflächen sind wenig aussagekräftig. Weisen Gletscher gemäss der Bodenbedeckung Lücken mit einer Fläche von bis zu 30'000 m² auf, wurden die Modellierungsergebnisse in diesen gelöscht. Auch Modellierungsergebnisse auf Mittelmoränen wurden entfernt. Abbildung 19 zeigt diese Bereinigung der Modellierungsergebnisse am Beispiel vom Grossen Aletschgletscher (Kanton VS).

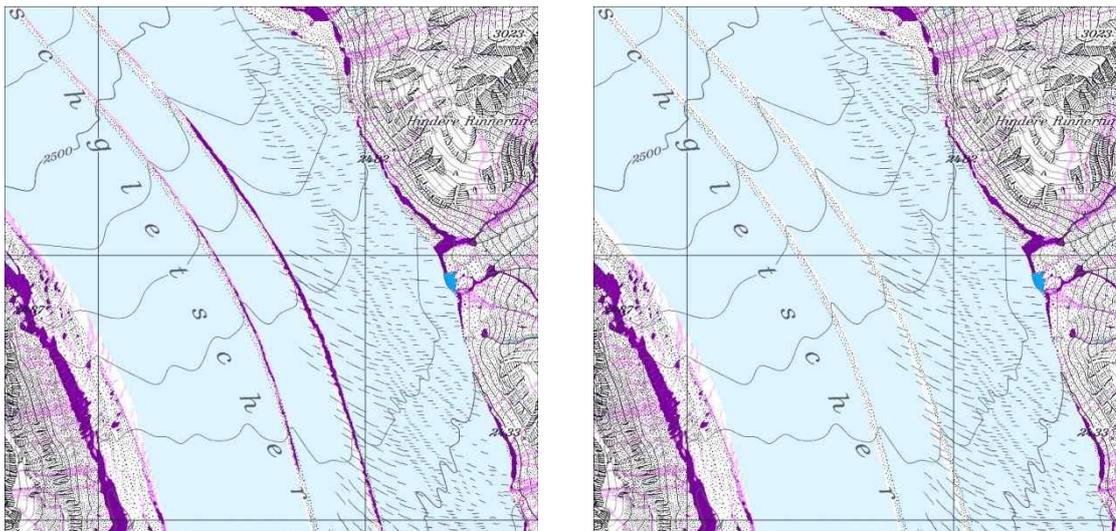


Abbildung 19: Bereinigung der Modellierungsergebnisse im Bereich von Gletscherflächen (Grosser Aletschgletscher, Kanton VS). Links: Resultat nach Einfügen der Gletscherflächen aus der Bodenbedeckung (vgl. Kapitel 3.8.1); Rechts: Bereinigtes Modellierungsergebnis (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie. Daten amtliche Vermessung: Amtliche Vermessung Schweiz / FL)

3.8.4 Endbereinigung

Um das Abgabeprodukt der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss zu erhalten, wurden zum Abschluss folgende Arbeiten durchgeführt:

- Auffüllen „Löcher“ und Schlussbereinigung Kleinflächen < 10 m²: Kleinflächen entstanden durch Einfügen von Gewässer- oder Gletscherflächen (vgl. Kapitel 3.8.1). Sie wurden wenn freistehend entfernt oder der benachbarten Fläche mit der längsten gemeinsamen Grenze zugeordnet.
- Verschnitt des Simulationsergebnisses mit den Kantonsgrenzen. So wird jede ausgeschiedene Oberflächenabfluss-, Gewässer- oder Gletscherfläche eindeutig einem Kanton zugeordnet.
- Verschnitt des Simulationsergebnisses mit einem 5 km*5 km Raster (Kachelung). Dies erlaubt eine raschere Darstellung am Bildschirm.
- Kleinflächen, welche durch den Verschnitt mit einer Kantonsgrenze oder der Rasterung entstanden sind, wurden nicht bereinigt.

Abbildung 20 zeigt als Beispiel das Rohresultat (Rasterdaten) im Vergleich mit dem aufbereiteten Endprodukt (Vektordaten) bei Schiers (Kanton Graubünden). In Absprache mit der Begleitgruppe wurde die Generalisierung der Modellierungsergebnisse sehr zurückhaltend eingesetzt. So bleibt das Bild des Endproduktes nahe am Resultat der Modellierung. Eine detaillierte Analyse der Fließwege aus der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ist somit sehr gut möglich.

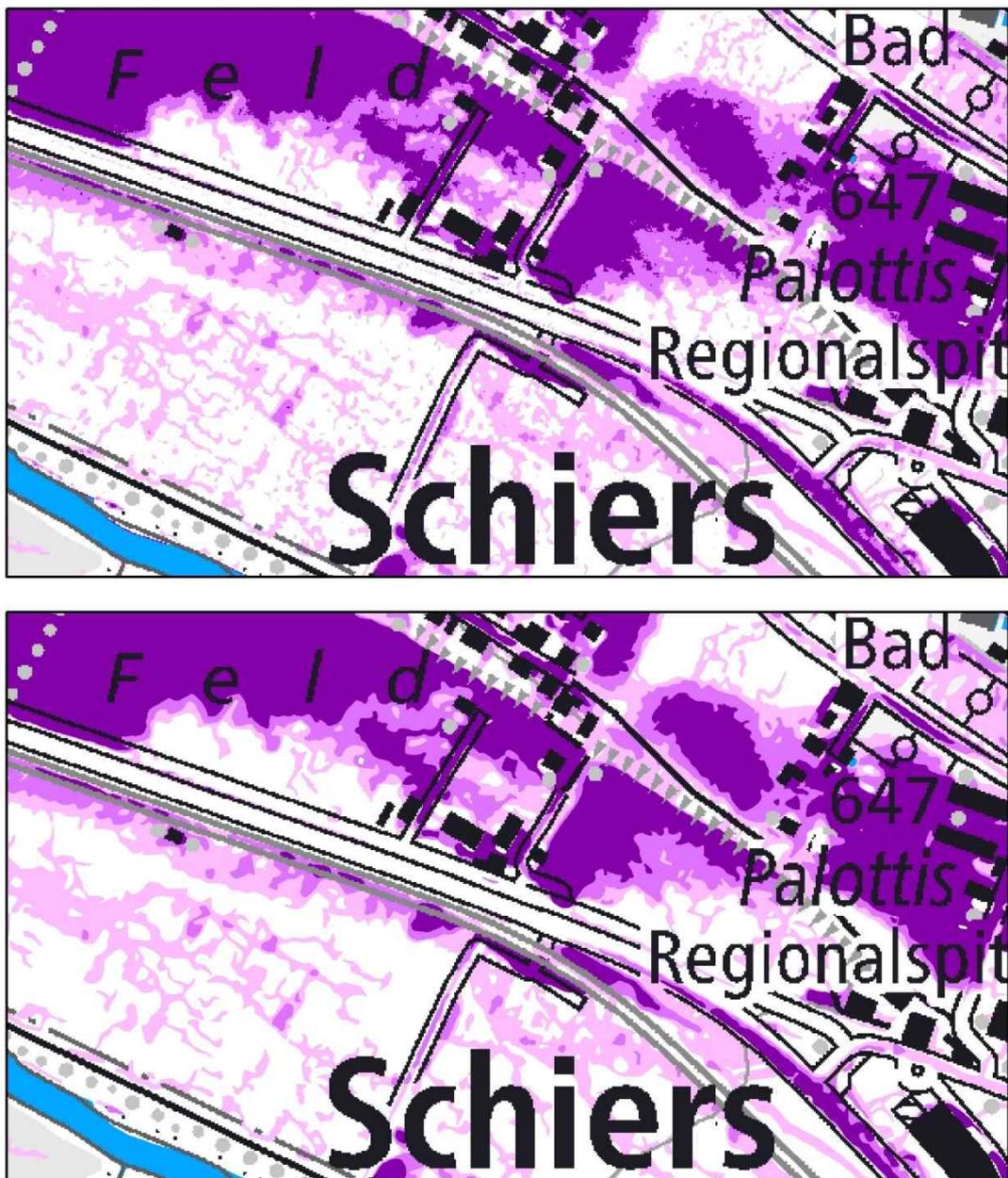


Abbildung 20: Vergleich Rohresultat und Endprodukt am Beispiel Schiers, Kanton GR. Oben Rohresultat (Rasterdaten), unten generalisiertes Resultat (Vektordaten)
(Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

3.9 Kontrolle Simulationsergebnisse

Die Simulationen wurden schweizweit nach einem vordefinierten Verfahren durchgeführt (vgl. vorherige Kapitel). Die Güte der Modellierung ist stark abhängig von den verwendeten Grundlagendaten. Weisen diese Fehler oder Unstimmigkeiten auf, dann kann dies Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse haben. Um ein nachvollziehbares Ergebnis zu erhalten, wurden Mängel in den Grundlagendaten nicht bereinigt.

Die Modellierung weist die Genauigkeit einer Gefahrenhinweiskarte auf und bildet ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode >100 Jahre ab. Sie gibt einen Hinweis auf eine mögliche Gefährdung – kann aber eine Gefahrenbeurteilung vor Ort auf Stufe Gefahrenkarte nicht ersetzen.

Die gerechneten Simulationsergebnisse wurden einerseits intern geprüft. Andererseits wurden sie dem Auftraggeber und der Begleitgruppe nach der Entwurfssitzung zur Verfügung gestellt, um die Rechenresultate mit Schadendaten der Assekuranz und/oder persönlichem Erfahrungswissen überprüfen zu können. Basierend auf den Rückmeldungen wurden keine Nachmodellierungen vorgenommen. Es wurden aber einige Punkte angesprochen, bei welchen das angewandte Vorgehen an seine Grenzen stösst oder Fehler verursachen kann. Diese Hinweise werden im Kapitel 5 diskutiert.

4 Sensitivitätsanalyse

4.1 Ausgangslage

Ein Modellierungsergebnis ist abhängig von der Qualität der Eingabedaten, den Modellierungsalgorithmen und den verwendeten Einstellungen. Für eine grossräumige Modellierung auf Stufe Gefahrenhinweiskarte ist es zentral, dass kleine Änderungen bei den Eingabedaten nicht zu stark unterschiedlichen Resultaten führen. Die folgenden Kapitel zeigen auf, welchen Einfluss Variationen bei den Eingabedaten auf das Modellierungsergebnis der Oberflächenabflussmodellierung haben. Sämtliche Abbildungen in den folgenden Kapiteln zeigen Rohresultate ohne weitere Aufbereitung und Generalisierung.

4.2 Einfluss Niederschlagsintensität und Ganglinienform

Für die Simulationen wurde schweizweit eine identische Form der Niederschlagsganglinien gewählt (vgl. Kapitel 3.4). Um zeigen zu können, welchen Einfluss die Ganglinienform auf das Modellierungsergebnis hat, wurden in einem Testgebiet im Kanton Genf Modellierungen mit vier verschiedenen Ganglinienformen durchgeführt (vgl. Abbildung 21). Alle übrigen Einstellungen blieben unverändert.

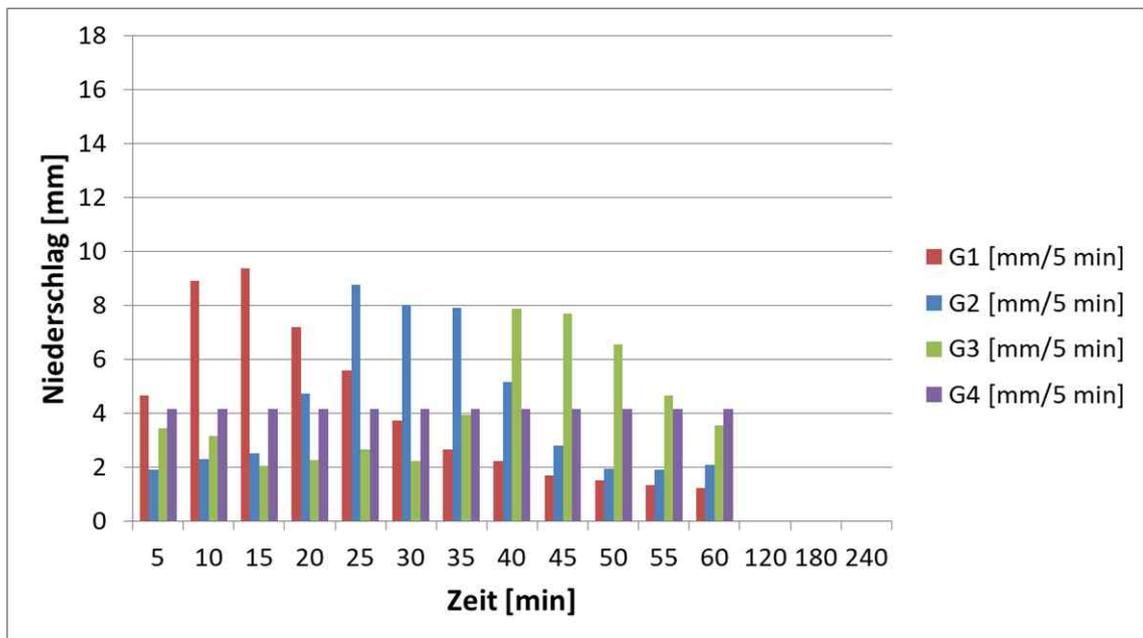


Abbildung 21: Ganglinien G1 - G4 mit einer Niederschlagsmenge von 50 mm. Die Ganglinie G1 wurde für die Modellierung der Gefährdungskarte verwendet.

Die Resultate zeigen (vgl. Abbildung 22), dass die Modellierungsergebnisse der Ganglinienformen G1 – G3 sehr ähnlich ausfallen. Bei der Ganglinienform G4 (Blockregen) sind die ausgewiesenen Flächen etwas kleiner. Dies zeigt, dass beim verwendeten Vorgehen primär die maximale Niederschlagsintensität für das Modellierungsergebnis (maximale Fliesstiefe) relevant ist – nicht aber die Form der Ganglinie.

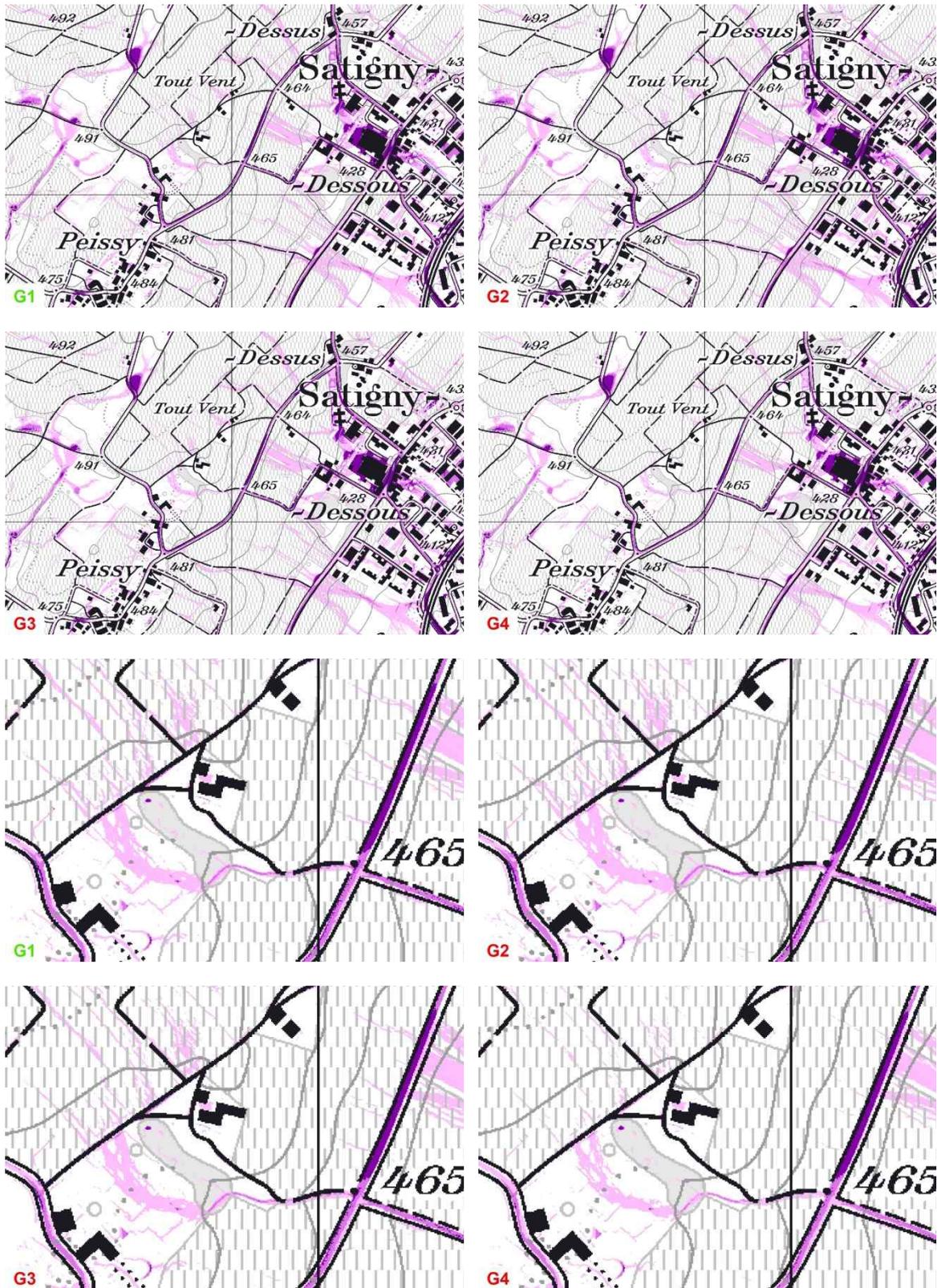


Abbildung 22: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit vier verschiedenen Ganglinienformen (vgl. Abbildung 23) bei Satigny (Kanton GE). Die Modellierung G1 zeigt jeweils das Modellierungsergebnis der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

4.3 Niederschlagsdauer

Für die Simulationen wurde schweizweit eine Niederschlagsdauer von 60 Minuten gewählt (vgl. Kapitel 3.4). Um zeigen zu können, welchen Einfluss die Niederschlagsdauer auf das Modellierungsergebnis hat, wurden in zwei Testgebieten Modellierungen mit je vier verschiedenen Niederschlagsdauern durchgeführt (10 min (G10) / 30 min (G9) / 60 min (G1) / 240 min (G11)) vgl. Abbildung 21). Bei der Modellierung mit einer Zeitdauer von 10 Minuten (Ganglinie G10) betrug der Gesamtniederschlag 25 mm, bei den übrigen Ganglinien je ca. 50 mm. Alle übrigen Einstellungen blieben unverändert.

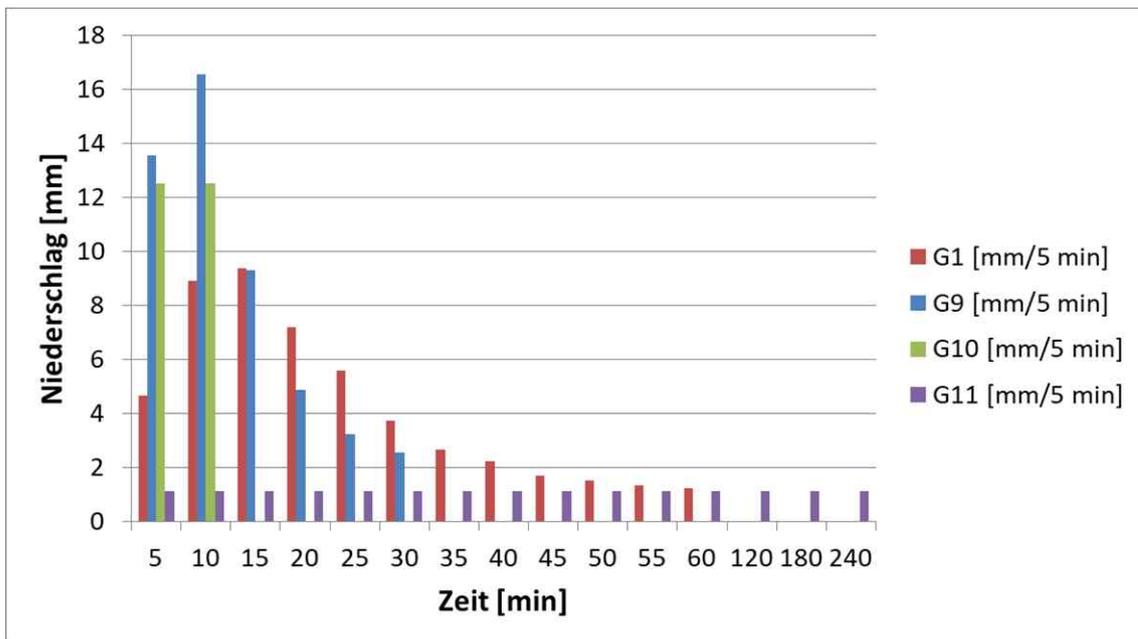


Abbildung 23: Ganglinien mit unterschiedlichen Zeitdauern für die Modellierung einer Niederschlagsmenge von ca. 50 mm (Ganglinien G1, G9, G11) resp. 25 mm (Ganglinie G10). Die Ganglinie G1 wurde für die Modellierung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss verwendet.

Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass auf geneigten Flächen das Modellierungsergebnis primär von der maximalen Niederschlagsintensität abhängig ist. Die ausgewiesenen Flächen basierend auf der Modellierung mit der Ganglinie G11 (53 mm in 4 Stunden) sind deutlich reduziert. In wenig stark geneigten Bereichen, wo sich Oberflächenabfluss sammelt, spielt die Niederschlagsmenge hingegen eine wichtige Rolle. Auf diesen Flächen ist eine deutliche Reduktion bei der Modellierung basierend auf der Ganglinie G10 (25 mm in 10 Minuten) erkennbar.

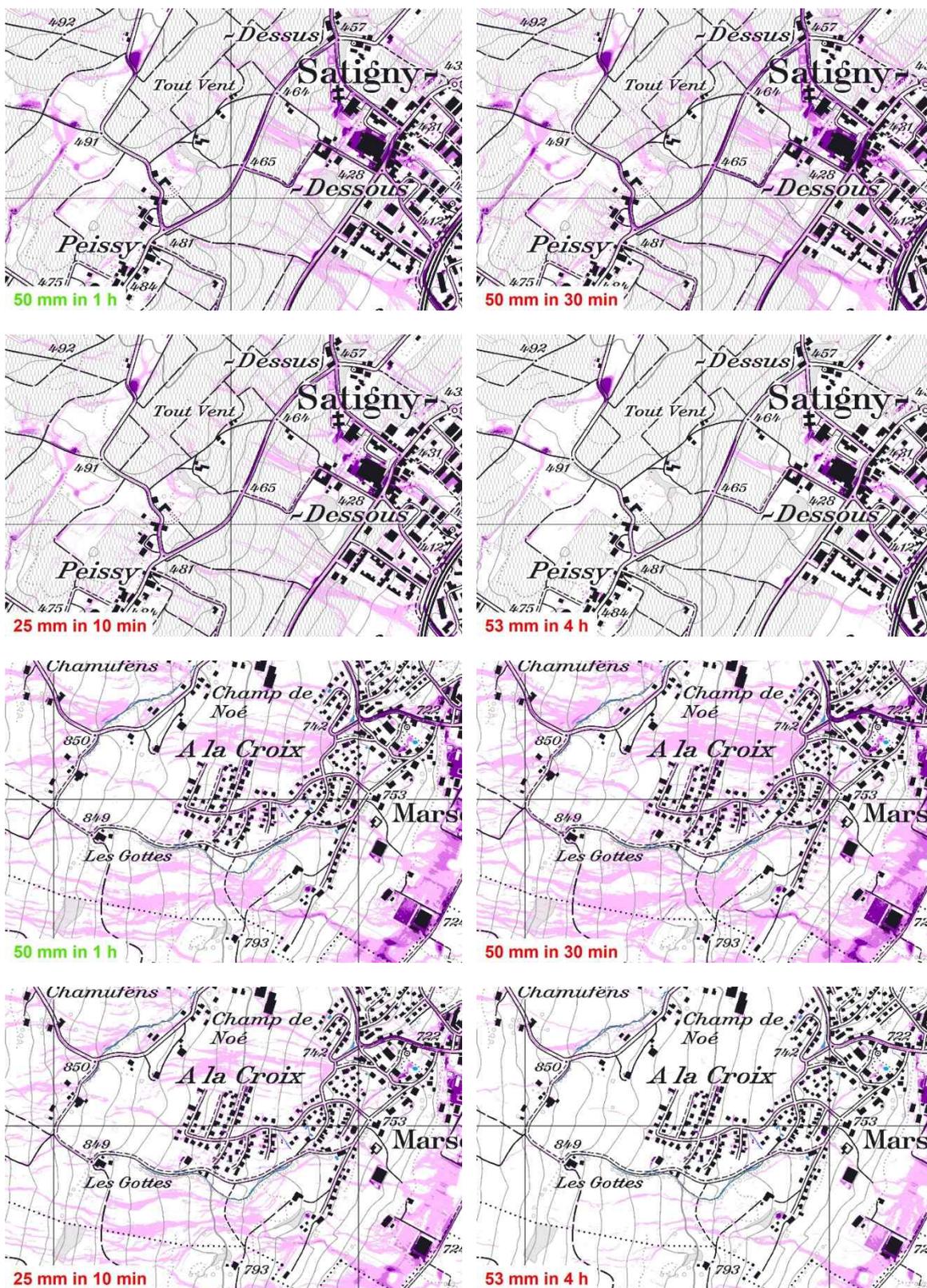


Abbildung 24: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit vier verschiedenen Niederschlagsdauern (vgl. Abbildung 23) bei Satigny (Kanton GE) und Marsens (Kanton FR). Die Modellierung „50 mm in 1 h“ zeigt jeweils das Modellierungsergebnis der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss.

(Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

4.4 Niederschlagsmenge

Für die Simulationen wurde für jede Modellierungsregion ein Niederschlagsszenario festgelegt. Dieser Wert muss für eine Region plausibel sein. Lokal können die realen Werte aber davon abweichen. Um zu zeigen, welchen Einfluss Änderungen bei der Niederschlagsmenge auf das Modellierungsergebnis haben, wurden in zwei Testgebieten je vier Modellierungen mit vier unterschiedlichen Niederschlagsmengen durchgeführt (25 mm / 50 mm / 75 mm / 100 mm). Die übrigen Einstellungen blieben unverändert.

Die Resultate in Abbildung 25 zeigen, dass die Hauptfliesswege auch bei einer Halbierung der Niederschlagsmenge erhalten bleiben. Bei einer Erhöhung der Niederschlagsmenge um die Hälfte resp. einer Verdoppelung werden die ausgeschiedenen Gefahrenbereiche flächiger. Es ergibt sich aber insbesondere bei der Modellierung mit 75 mm kein komplett anderes Bild als mit 50 mm. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass erst massive Änderungen bei der Niederschlagsmenge gravierende Auswirkungen auf das Modellierungsergebnis haben. Eine Modellierung mit einem regionalen Durchschnittswert kann daher gut verwendet werden.

Die Form der Ganglinie und die Niederschlagsdauer (1 Stunde) sind bei allen Modellierungen identisch.

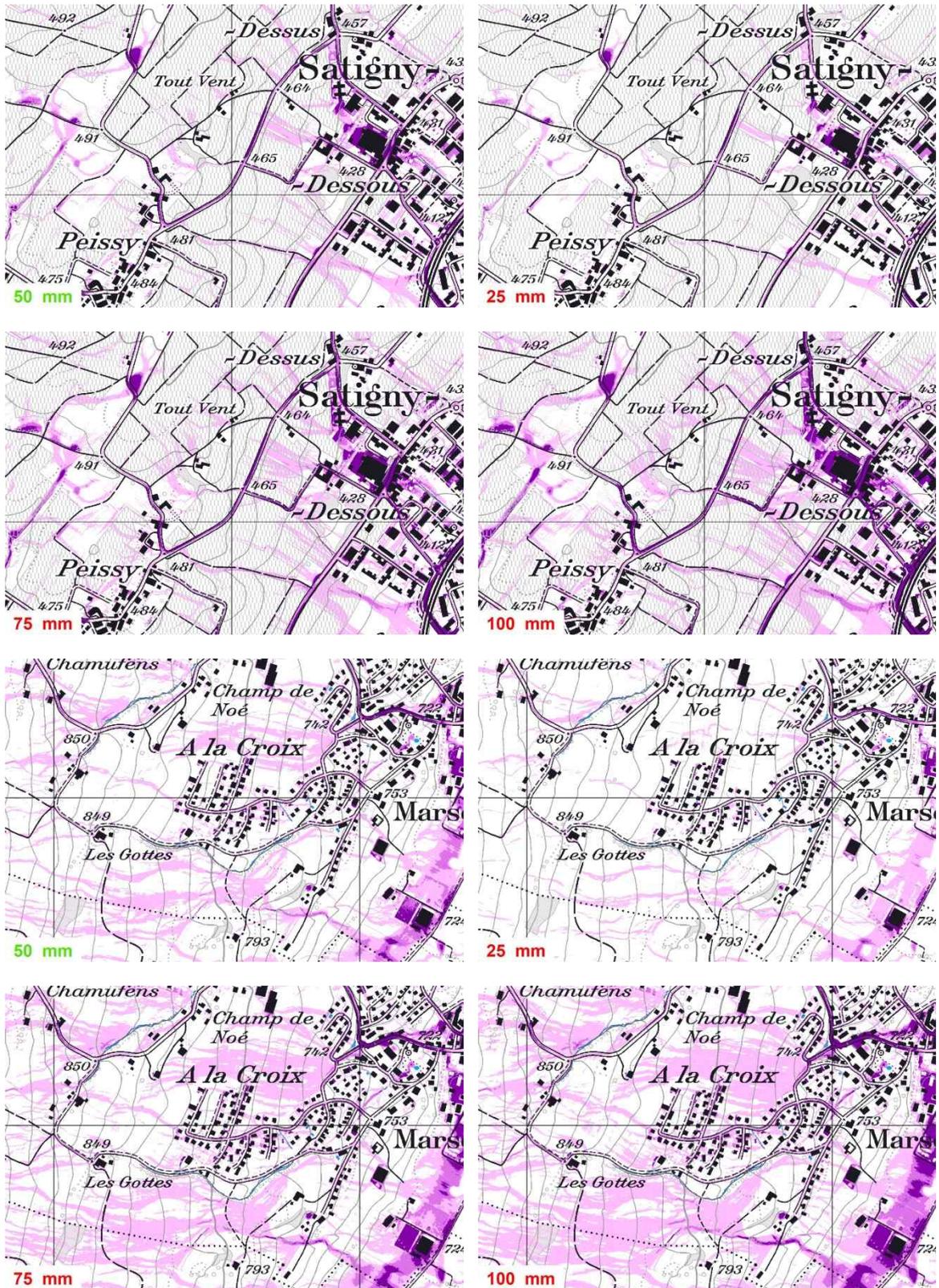


Abbildung 25: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit vier verschiedenen Niederschlagsmengen bei Satigny (Kanton GE) und Marsens (Kanton FR). Die Modellierung mit 50 mm zeigt jeweils das Modellierungsergebnis der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

4.5 Terrainmodell

Der wichtigste Einflussfaktor auf das Modellierungsergebnis bildet das Terrainmodell. Mit dem schweizweit verfügbaren Terrainmodell swissALTI^{3D} (Rasterauflösung 2 m) sowie den in vielen Kantonen verfügbaren noch höher aufgelösten kantonalen Terrainmodellen sind in der gesamten Schweiz sehr gute Grundlagen verfügbar. Da das Terrainmodell unmittelbar auf die Fliesswege des Oberflächenabflusses einwirkt, können kleine Differenzen zur Realität oder zwischen den Terrainmodellen aber trotzdem beträchtliche Auswirkungen haben. In den zwei Testgebieten bei Marsens (Kanton Freiburg) und Satigny (Kanton Genf) wurde für die Modellierung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz das jeweilige kantonale Höhenmodell verwendet. Abbildung 26 zeigt wie die Resultate ausgefallen wären, wenn stattdessen das Höhenmodell swissALTI^{3D} verwendet worden wäre. Beide Höhenmodelle wurden mit den gleichen Grundlagen gemäss dem im Kapitel 3 beschriebenen Vorgehen aufbereitet und die Modellierung anschliessend mit einer Rasterauflösung von 1 m durchgeführt.

Die Resultate zeigen deutlich, dass Hauptfliesswege mit beiden Terrainmodellen zumeist sehr ähnlich abgebildet sind. Bei Nebenfliesswegen können sich aber teilweise beträchtliche Abweichungen ergeben. Dies zeigt deutlich, dass der Einfluss vom Terrainmodell und dessen Aufbereitung auf das Modellierungsergebnis grösser ist als z.B. die Wahl einer Niederschlagsmenge oder Niederschlagsganglinie.

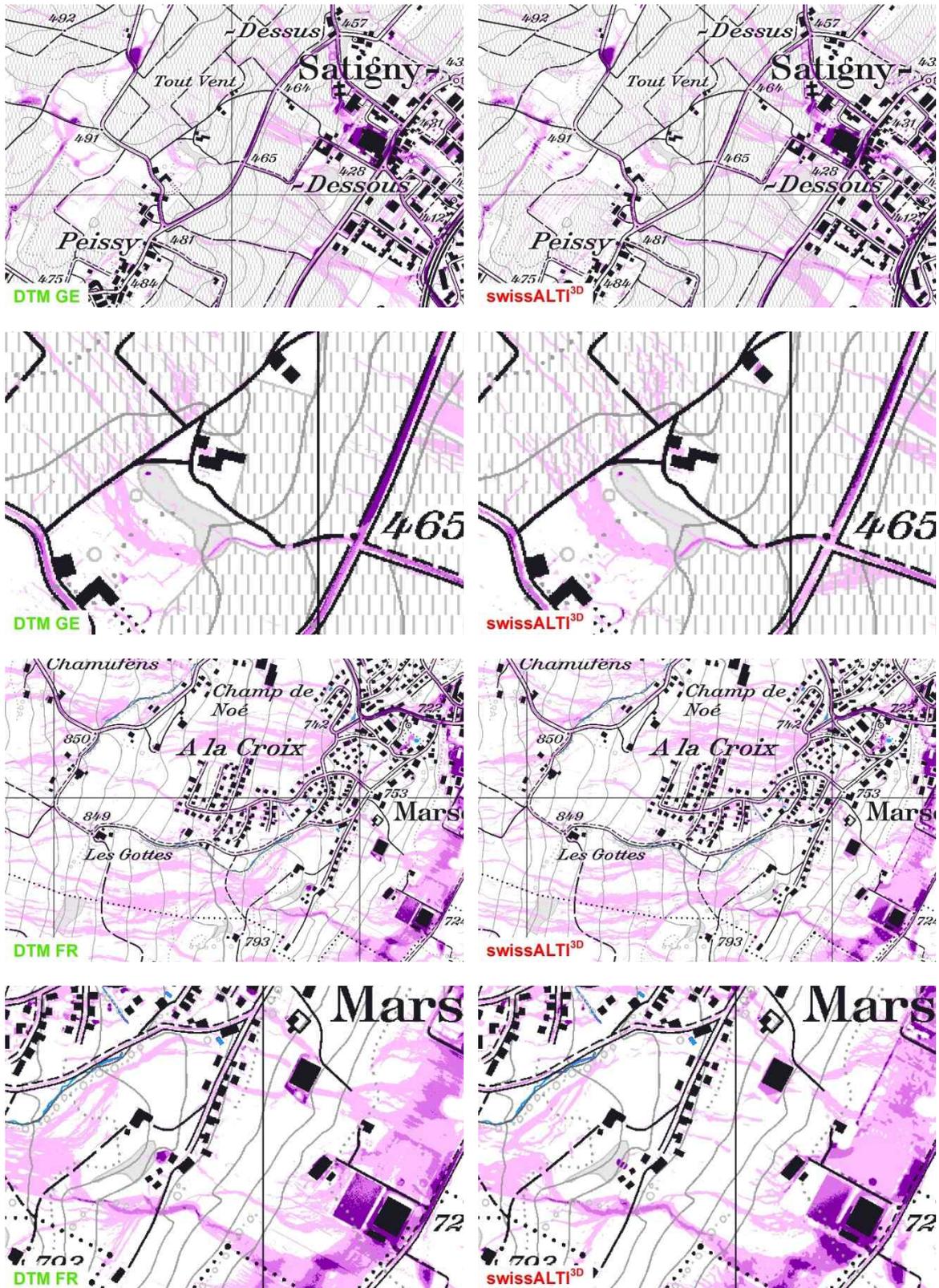


Abbildung 26: Ausschnitte Oberflächenabfluss-Modellierungen mit unterschiedlichen Terrainmodellen bei Satigny (Kanton GE) und Marsens (Kanton FR). Die Modellierungen mit den kantonalen Grundlagen (links) zeigen das Resultat der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5 Bedeutung und Grenzen der Resultate

5.1 Rahmen

Die Modellierung wurde mit Ausnahme des Kantons Luzern flächendeckend über die gesamte Schweiz durchgeführt. Die Daten aus dem Kanton Luzern wurden aus dem Projekt „Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern (vgl. 3.8.3.1 und [10]) integriert. Die Abbildungen in den folgenden Kapiteln stellen ausgewählte Resultate dar. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf Faktoren gelegt, welche für eine korrekte Interpretation der Karte berücksichtigt werden müssen:

- Die Siedlungsentwässerung wurde bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass sie bei seltenen Ereignissen (wie in der Modellierung berücksichtigt) überlastet ist.
- Die Wirkung von Durchlässen und Unterführungen auf den Oberflächenabfluss wird auf der Karte nicht abgebildet.
- Wasser, welches einem Gewässer zugeführt wurde, wird nicht weiter als Oberflächenabfluss betrachtet. Ebenso wenig werden Wasseraustritte aus Gewässern in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss dargestellt. Sie sind in den Gefahrenhinweis- und/oder Gefahrenkarten Wasser enthalten (<https://www.bafu.admin.ch/gefahrenkarten>).
- Unterirdische Wasserflüsse und Grundwasseraufstoss wurden nicht modelliert.

Der Zielmasstab der Oberflächenabflusskarte liegt im Bereich 1:10'000 – 1:15'000. Wie bereits in Kapitel 3.8.4 erwähnt, wurde die Aufbereitung der Rohresultate der Modellierung sehr zurückhaltend eingesetzt. Das Bild des Endproduktes liegt demnach nahe am Resultat der Modellierung und bildet die Fliesswege detailliert ab. Dies erlaubt in der praktischen Anwendung eine zielgerichtete Interpretation und Einsatz des Ergebnisses.

Um einzelne Sachverhalte besser veranschaulichen zu können, sind die Resultate in den Abbildungen in den folgenden Kapiteln oft in einem grösseren Masstab dargestellt.

5.2 Gewässer

Wasseraustritte aus Gewässern werden in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss nicht abgedeckt. D.h. Oberflächenwasser, welches ein Gewässer erreicht, verlässt dieses nicht mehr. Eine allfällige Gefährdung ausgehend von einem Gewässer muss über die Gefahrenkarte resp. Gefahrenhinweiskarte Wasser abgedeckt werden.

Dies bedeutet auch, dass das Modellierungsergebnis stark abhängig ist, ob z.B. in einer Runse ein Gewässer ausgeschieden ist oder nicht (vgl. Abbildung 28), oder ob ein Gewässerlauf eingedolt verläuft. Die in der Modellierung berücksichtigten Gewässer sind in den abgegebenen Geodaten integriert (vgl. Anhang G).

Abbildung 27 zeigt, wie Oberflächenabfluss, welches ein offen geführtes Gewässer erreicht (blau dargestellt), in diesem „verschwindet“.

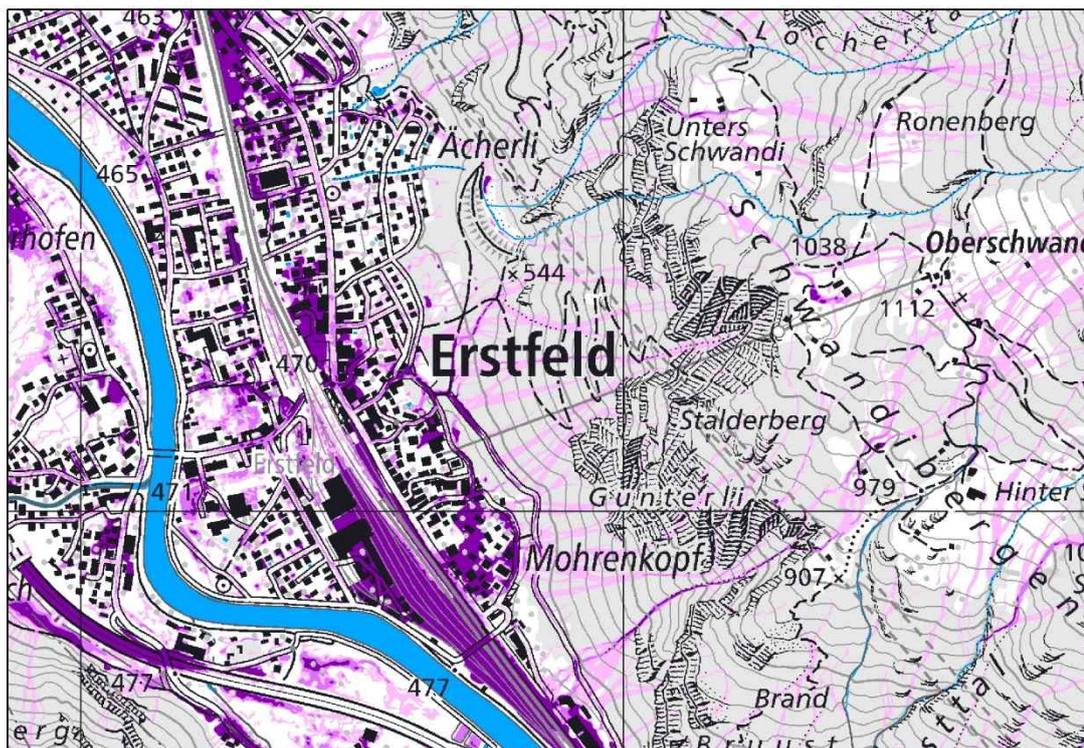


Abbildung 27: Modellierungsergebnis bei Erstfeld (Kanton UR): Durch in der Modellierung berücksichtigte Gewässer (blau dargestellt) wird Oberflächenwasser abgeführt. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

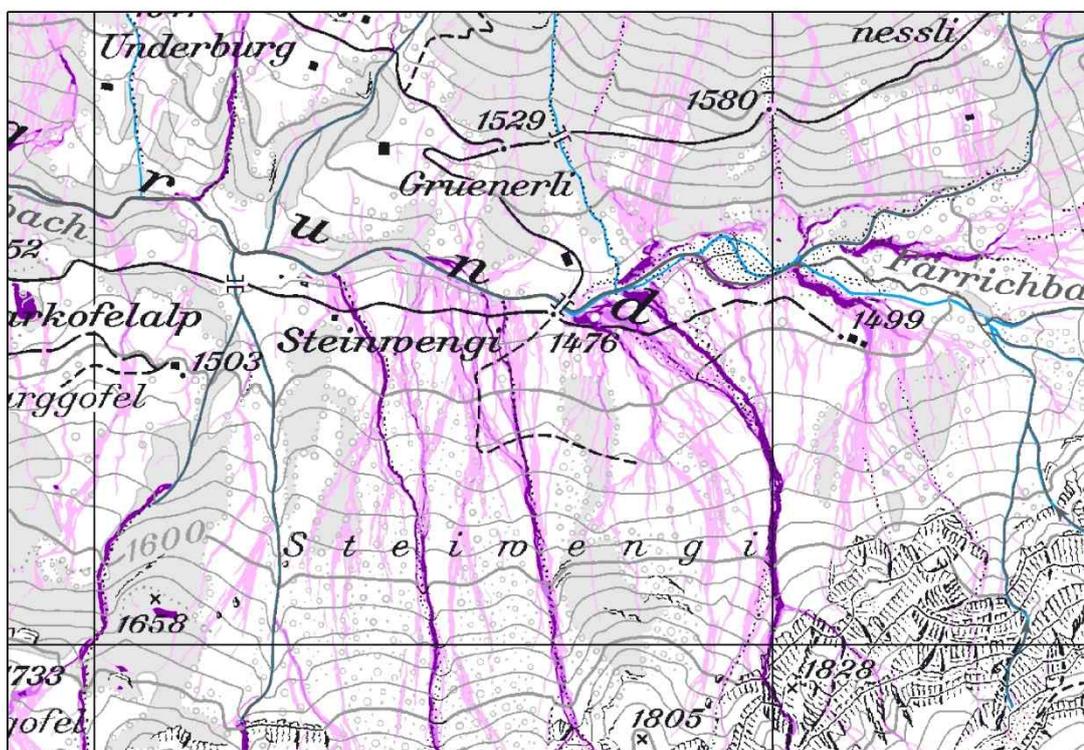


Abbildung 28: Einfluss Gewässernetz auf Modellierung, Beispiel Region Reichenbach (Kanton BE). Ist in einer Runse gemäss Bodenbedeckung kein Gewässer ausgeschieden, wird Oberflächenabfluss modelliert. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5.3 Unterbrochene Abflusswege

„Wenn es regnet, wird es überall nass“. Entsprechend muss bei einem flächigen Niederschlag eine Grenze zwischen einer „nassen“ und einer von Oberflächenabfluss betroffenen Fläche gezogen werden. Dieser Grenzwert wurde schweizweit bei einer Fliesstiefe von 1.5 cm festgesetzt. Bedingt durch die angewandte Methodik (vgl. Kapitel 3) können deshalb auf der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ausgeschiedene Abflusswege teilweise unterbrochen sein. Dies kann z.B. geschehen, wenn ein Abflussweg breiter wird und dadurch die Wassertiefe unter den festgelegten Grenzwert sinkt. In seltenen Fällen können auch durch die Bereinigung von Kleinflächen (vgl. Kapitel 3.8.1) Lücken entstehen. Diese Lücken wurden nicht bereinigt.



Abbildung 29: Unterbrochene Abflusswege, Beispiel Region Sevelen (Kanton SG). Auf der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss können einzelne Fliesswege unterbrochen sein, da ein Grenzwert zwischen einer „nassen“ und einer von Oberflächenabfluss betroffenen Fläche gezogen werden muss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5.4 Aufbereitung Terrainmodell

Das Terrainmodell bildet eine wichtige Einflussgrösse auf das Resultat der Oberflächenabflussmodellierung. Trotz zusätzlicher Aufbereitung/Bereinigung der verwendeten Terrainmodelle sind in diesen zum Teil Strukturen abgebildet, welche nicht oder nur zu einem bestimmten Zeitpunkt mit der Realität übereinstimmen. Dies zeigt sich z.B. gut bei Ackerstrukturen, welche im Modellierungsergebnis an vielen Stellen erkennbar sind (vgl. Abbildung 30). Diese leiten die Abflusswege des Oberflächenabflusses und beeinflussen damit das Resultat. Wie weit diese Strukturen mit der Realität übereinstimmen, muss im Gelände geprüft werden. Übergeordnete Fließwege können aber in der Regel gut aus den kleinräumigen Strukturmustern abgeleitet werden.

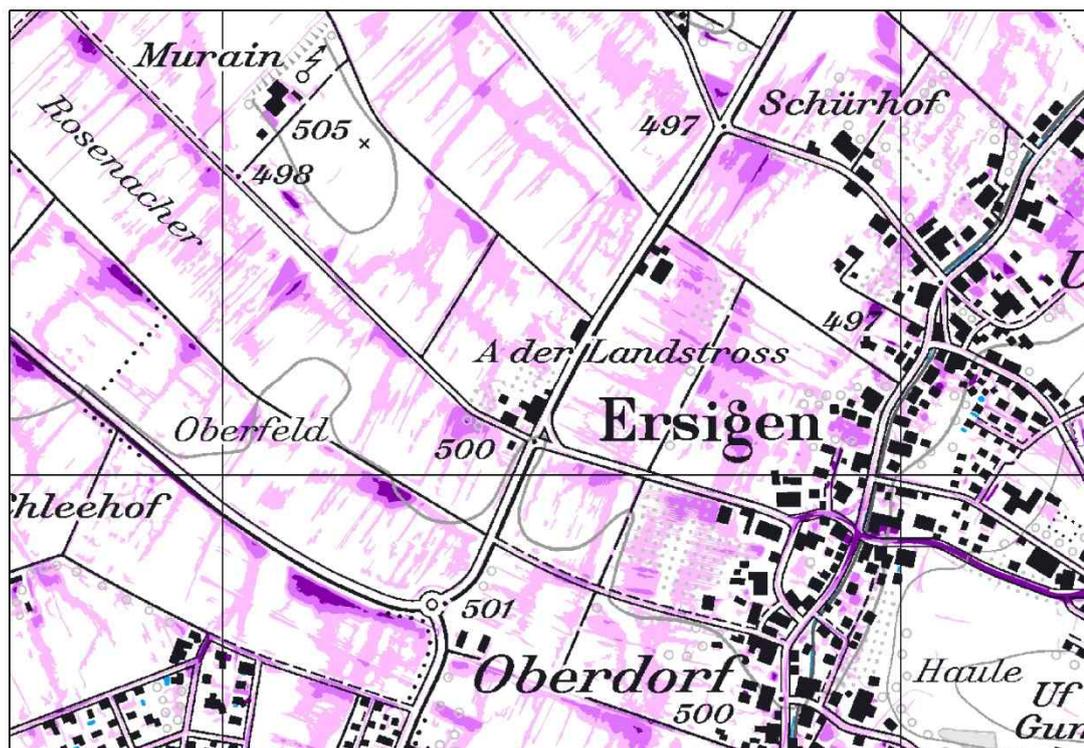


Abbildung 30: Im Terrainmodell abgebildete Ackerstrukturen bei Ersigen (Kanton BE) beeinflussen die Fließwege vom Oberflächenabfluss. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5.5 Wenig strukturierte Topografie

Weist ein Hang eine wenig strukturierte Topografie auf, kann auf der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ein flächenhafter Oberflächenabfluss ausgeschieden sein. Dies ist, da der Grenzwert zwischen einer „nassen“ und einer von Oberflächenabfluss betroffenen Fläche über die Fliesstiefe definiert wird, insbesondere in Regionen der Fall, wo mit hohen Niederschlagsintensitäten gerechnet werden muss. Dank der Unterteilung des Modellierungsergebnisses in drei Fliesstiefenklassen (vgl. auch Kapitel 3.8 und Anhang F) können Bereiche, wo sich abfließendes Wasser konzentriert, in vielen Fällen aber trotzdem gut identifiziert werden. Abbildung 31 zeigt ein Beispiel eines Modellierungsergebnisses mit wenig strukturierter Topografie. Der fehlende Gewässerlauf im Talboden – welcher Oberflächenabfluss abführen würde – führt zudem zu einer markanten Konzentration von Oberflächenabfluss auch im Siedlungsgebiet.

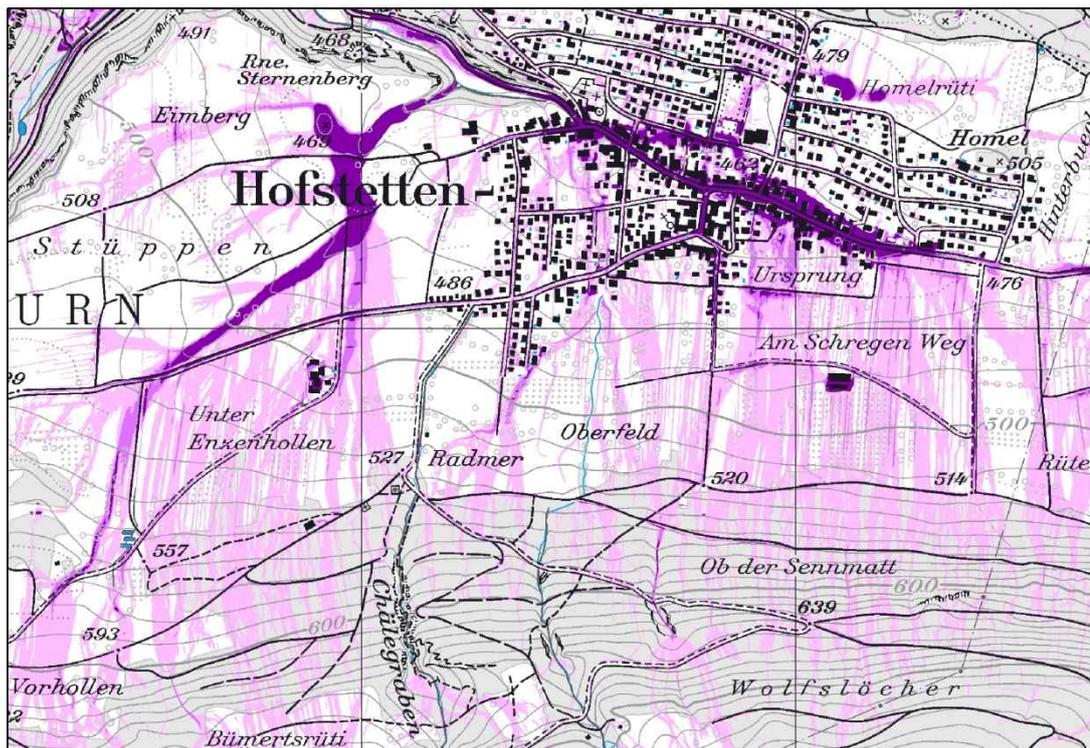


Abbildung 31: Flächenhafter Oberflächenabfluss bei wenig strukturierter Topografie bei Hofstetten (Kanton SO). (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5.6 Unterführungen und Durchlässe

Die Wirkung von Unterführungen oder Durchlässen (z.B. durch einen Eisenbahndamm) auf einen Fließweg wurde in der Modellierung nicht berücksichtigt, sofern nicht das Terrainmodell in diesem Bereich einen Einschnitt aufweist. Dies kann dazu führen, dass Oberflächenabfluss bergseitig von einem Damm zurückgestaut oder umgeleitet wird, obwohl in Realität ein anderer Fließweg möglich ist. Dieser Umstand muss bei der Anwendung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, z.B. als Grundlage für ein Objektschutzgutachten, unbedingt berücksichtigt werden.

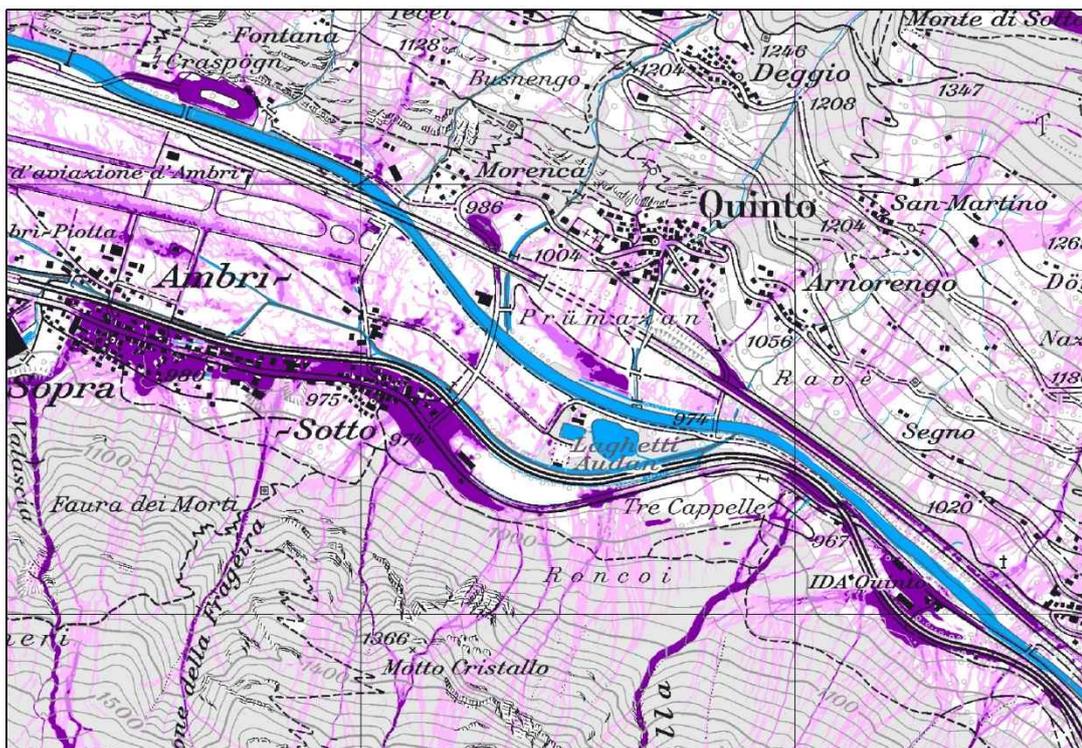


Abbildung 32: Fehlende Durchlässe/Unterführungen bei Ambri (Kanton TI) führen zu einem Rückstau von Oberflächenabfluss und können den Fließweg des Oberflächenabflusses verändern. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5.7 Kleinstrukturen und Siedlungsentwässerung

Innerhalb von Siedlungen können zahlreiche Kleinstrukturen (Randsteine, Mauern etc.) die Fliesswege beeinflussen. Diese Strukturen sind im Terrainmodell kaum erfasst. Auch „mobile Hindernisse“ (wie Container, Autos etc.) können bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden. Daher kann die Genauigkeit der Gefährdungskarte innerhalb von Siedlungen aufgrund des deutlichen Einflusses der Kleinstrukturen abnehmen. Ebenfalls können Terrainveränderungen und/oder Neubauten die Fliesswege beeinflussen.

Weiter wurde auch die Siedlungsentwässerung bei den Modellierungen nicht berücksichtigt. Diese ist aber üblicherweise auf ein 5 – 10 jährliches Niederschlagsereignis ausgerichtet und damit bei der in diesem Projekt betrachteten Ereignisgrösse (Wiederkehrperiode > 100 Jahre) deutlich zu klein dimensioniert. Abbildung 33 zeigt dazu einen Ausschnitt der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss aus der Stadt Basel.



Abbildung 33: In Siedlungszentren ist die Genauigkeit der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss limitiert, da zahlreiche Kleinstrukturen, welche die Abflusswege beeinflussen können, im Terrainmodell nur sehr beschränkt abgebildet sind. Das Bild zeigt einen Ausschnitt aus der Stadt Basel (Kanton BS). (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5.8 Siedlungsränder

An Siedlungsrändern und auf offenen Flächen sind die auf der Gefährdungskarte dargestellten Fliesswege deutlich und zuverlässig abgebildet. Hauptsächlich folgt der Oberflächenabfluss der Geländetopografie, in Rinnen und Mulden läuft das Wasser zusammen. Abbildung 34 zeigt einen Ausschnitt der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss aus Gächlingen (Kanton SH).



Abbildung 34: Oberflächenabflusskarte in der Gemeinde Gächlingen (Kanton SH). Auf offenen Flächen und an den Siedlungsrändern sind die Hauptabflusswege gut erkennbar.
(Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

5.9 Versiegelte Flächen als Leitstrukturen

Versiegelte Flächen bzw. Strassen bilden wichtige Leitstrukturen für Fließwege des Oberflächenabflusses. Basierend auf den Resultaten der Pilotmodellierungen wurden diese Flächen im Terrainmodell abgesenkt, um ihre Leitwirkung in der Modellierung möglichst gut abzubilden. In einigen Fällen kann dies dazu führen, dass erhöhte Abflusstiefen auf Flächen berechnet werden, welche in der Realität nicht eintreten können. Abbildung 35 zeigt als Beispiel das Resultat der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss aus der Stadt Zürich, wo unter anderem die Leichtathletik Rundbahn im Stadion Letzigrund abgesenkt worden ist. Es wurden keine manuellen Bereinigungen der Modellierungsergebnisse durchgeführt.



Abbildung 35: Oberflächenabfluss-Modellierung in der Umgebung des Stadion Letzigrund in der Stadt Zürich. Die generelle Absenkung von versiegelten Flächen kann zu Fehlern führen. Diese wurden nicht manuell korrigiert. (Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie)

6 Fazit

Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss wurde schweizweit nach einem einheitlichen Vorgehen modelliert. Abbildung 36 zeigt für jeden Kanton (ohne Kanton Luzern) den Flächenanteil der von Oberflächenabfluss betroffenen Fläche an der Kantonsfläche. Die Werte schwanken zwischen 11.5 % im Kanton Appenzell Ausserrhoden und fast 24 % im Kanton Basel Stadt.

Hohe Anteile an befestigten Flächen und Gebäuden oder eine geringe Dichte an Oberflächen-gewässern führen tendenziell zu höheren von Oberflächenabfluss betroffenen Flächenanteilen.

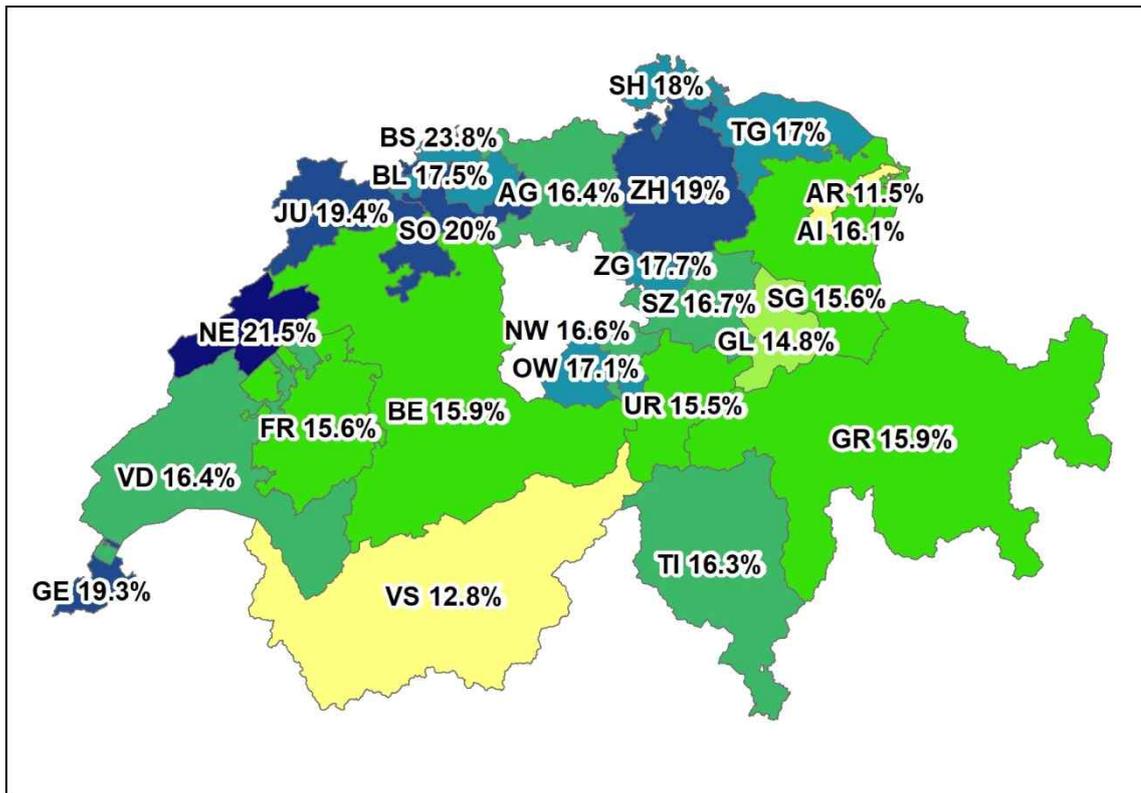


Abbildung 36: Flächenanteil der von Oberflächenabfluss betroffenen Flächen im Verhältnis zur Kantonsfläche (swissBOUNDARIES^{3D}: Bundesamt für Landestopografie)

Bei der Anwendung muss beachtet werden, dass die Gefährdungskarte als Hinweiskarte mit einem Anwendungsmaßstab im Bereich von 1:10'000 – 1:15'000 erstellt worden ist. Die ausgeschiedenen Hinweisflächen basieren auf einem Modellierungsergebnis, welches ohne Geländearbeit erarbeitet worden ist. Die Karte weist somit nicht die Genauigkeit einer Gefahrenkarte auf und für weiterführende Informationen sind Detailabklärungen notwendig.

Generell sind die Hauptabflusswege an Siedlungsändern und im Landwirtschaftsgebiet, bzw. auf offenen Flächen zuverlässig abgebildet. Innerhalb von Siedlungen kann die Zuverlässigkeit abnehmen, da zahlreiche Kleinstrukturen (Randsteine, Mauern etc.) die Fließwege beeinflussen können. Terrainveränderungen und/oder Neubauten können die Fließwege von Oberflächenwasser ebenfalls verändern. Bei Verwendung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss sind daher die Befunde vor Ort zu plausibilisieren und zu interpretieren.

Mit der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss steht Behörden, Versicherungen, Bauherren, Planern und Ingenieuren schweizweit ein Instrument zur Verfügung, welches flächendeckend wertvolle Informationen über Prozessräume und mögliche Gefährdungen durch Oberflächenabfluss liefert. Sie stellt eine wichtige Ergänzung zu den bestehenden Gefahrengrundlagen dar. Die Karte ermöglicht es, innerhalb kurzer Zeit einen Überblick über ein Gebiet zu erlangen und stellt für viele Fragestellungen wertvolle Informationen zur Verfügung.

Bern, 26. Juni 2018

Dr. Andy Kipfer
Projektleiter
geo7 AG

Dr. Catherine Berger
Mitglied der Geschäftsleitung
geo7 AG

Peter Mani
Mitglied der Geschäftsleitung
geo7 AG

Anhang A Klassierung der Bodenbedeckung AV DM.01

Tabelle 10: Zuordnung der AV-Bodenbedeckungsarten

ART	Bedeutung (Objektart)	Kategorie neu	Klassifikation
0	Gebäude	Gebäude	1
1	Strasse, Weg	Befestigte Flächen	2
2	Trottoir	Befestigte Flächen	2
3	Verkehrinsel	Befestigte Flächen	2
4	Bahn	Befestigte Flächen	2
5	Flugplatz	Befestigte Flächen	2
6	Wasserbecken	Gewässer	6
7	Übrige befestigte Flächen	Befestigte Flächen	2
8	Acker, Wiese, Weide	Landwirtschaft	3
9	Reben	Landwirtschaft	3
10	Übrige Intensivkulturen	Landwirtschaft	3
11	Gartenanlage	Garten	5
12	Hoch-, Flachmoor	Moor	4
13	übrige humusierete Fläche	Landwirtschaft	3
14	Stehendes Gewässer	Gewässer	6
15	Fliessendes Gewässer	Gewässer	6
16	Schilfgürtel	Moor	4
17	Geschlossener Wald	Wald	7
18	Dichte Wytweide	Landwirtschaft	3
19	Offene Wytweide	Landwirtschaft	3
20	Übrige bestockte Fläche	Landwirtschaft	3
21	Fels	Fels	9
22	Gletscher, Firn	Befestigte Flächen	8
23	Geröll, Sand	Wald	7
24	Abbau, Deponie	Befestigte Flächen	2
25	Übrige vegetationslose Fläche	Landwirtschaft	3
(26)	30m Puffer um die Schweiz	Ausland	10

Anhang B Klassierung der Bodenbedeckung TLM

Tabelle 11: Zuordnung der TLM-Bodenbedeckungsarten

Layer	Beschreibung (Objektart)	ART	Kategorie neu	Klassifikation
Bodenbedeckung	Fels	21	Fels	9
Bodenbedeckung	Feuchtgebiet	12	Moor	4
Bodenbedeckung	Stehende Gewässer	14	Gewässer	6
Bodenbedeckung	Fliessgewässer	15	Gewässer	6
Bodenbedeckung	Wald	17	Wald	7
Bodenbedeckung	Gletscher	22	Gletscher	8
Bodenbedeckung	Lockergestein	23	Wald	7
Bodenbedeckung	Gebüschwald	17	Wald	7
Bodenbedeckung	Wald offen	17	Wald	7
Gebäude_Footprint	Gebäude	0	Gebäude	1
Gebäude_Footprint	Historische Baute	0	Gebäude	1
Gebäude_Footprint	Kapelle	0	Gebäude	1
Gebäude_Footprint	Sakraler Turm	0	Gebäude	1
Gebäude_Footprint	Sakrales Gebäude	0	Gebäude	1
Nutzungsareal	Reben	9	Landwirtschaft	3
Nutzungsareal	Schrebergartenareal	11	Garten	5
Nutzungsareal	Deponieareal	24	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Lehmabbauareal	24	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Kiesabbauareal	24	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Steinbruchareal	24	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Abwasserreinigungsareal	7	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Antennenareal	7	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Baumschule	20	Landwirtschaft	3
Nutzungsareal	Friedhof	11	Garten	5
Nutzungsareal	Historisches Areal	11	Garten	5
Nutzungsareal	Kraftwerkareal	7	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Messeareal	7	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Obstanlage	10	Landwirtschaft	3
Nutzungsareal	Oeffentliches Parkareal	11	Garten	5
Nutzungsareal	Schul- und Hochschulareal	7	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Spitalareal	7	Befestigte Flächen	2
Nutzungsareal	Wald nicht bestockt	17	Wald	7
Verkehrsareal	Flugfeldareal	5	Befestigte Flächen	2
Verkehrsareal	Flughafenareal	5	Befestigte Flächen	2
Verkehrsareal	Flugplatzareal	5	Befestigte Flächen	2
Verkehrsareal	Heliport	5	Befestigte Flächen	2
Verkehrsareal	Oeffentliches Parkplatzareal	7	Befestigte Flächen	2
Verkehrsareal	Privates Fahrareal	7	Befestigte Flächen	2
Verkehrsareal	Privates Parkplatzareal	7	Befestigte Flächen	2
Verkehrsareal	Rastplatzareal	7	Befestigte Flächen	2

Verkehrsareal	Verkehrsfläche	7	Befestigte Flächen	2
Freizeitareal	Campingplatzareal	11	Garten	5
Freizeitareal	Freizeitanlagenareal	7	Befestigte Flächen	2
Freizeitareal	Golfplatzareal	11	Garten	5
Freizeitareal	Pferderennbahnareal	11	Garten	5
Freizeitareal	Schwimmbadareal	11	Garten	5
Freizeitareal	Sportplatzareal	11	Garten	5
Freizeitareal	Standplatzareal	7	Befestigte Flächen	2
Freizeitareal	Zooareal	11	Garten	5
Sportbaute_Ply	Sportplatz	11	Garten	5
Verkehrbaute_Ply	Graspiste	11	Garten	5
Verkehrbaute_Ply	Hartbelagpiste	7	Befestigte Flächen	2
Verkehrbaute_Ply	Perron	7	Befestigte Flächen	2
Verkehrbaute_Ply	Rollfeld Gras	11	Garten	5
Verkehrbaute_Ply	Rollfeld Hartbelag	7	Befestigte Flächen	2
Staubaute	Wasserbecken	14	Gewässer	6
Staubaute	Staudamm	0	Gebäude	1
Staubaute	Staumauer	0	Gebäude	1
Strasse	10m Strasse	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	1m Weg	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	1m Wegfragment	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	2m Weg	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	2m Wegfragment	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	3m Strasse	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	4m Strasse	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	6m Strasse	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	8m Strasse	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Ausfahrt	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Autobahn	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Autostrasse	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Autozug	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Dienstzufahrt	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Einfahrt	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Faehre	1	(nicht berücksichtigt)	
Strasse	Klettersteig	1	(nicht berücksichtigt)	
Strasse	Markierte Spur	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Platz	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Raststaette	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Verbindung	1	Befestigte Flächen	2
Strasse	Zufahrt	1	Befestigte Flächen	2
Eisenbahn	Kleinbahn	4	Befestigte Flächen	2
Eisenbahn	Normalspur	4	Befestigte Flächen	2
Eisenbahn	Schmalspur	4	Befestigte Flächen	2
Eisenbahn	Schmalspur mit Normalspur	4	Befestigte Flächen	2

Anhang C Pufferung der TLM-Strassen und -Eisenbahnen

Tabelle 12: Pufferung der TLM-Strassen und -Eisenbahnen

Layer	Beschreibung (Objektart)	Pufferung
Strasse	10m Strasse	5 m
Strasse	1m Weg	0.5 m
Strasse	1m Wegfragment	0.5 m
Strasse	2m Weg	1 m
Strasse	2m Wegfragment	1 m
Strasse	3m Strasse	1.5 m
Strasse	4m Strasse	2 m
Strasse	6m Strasse	3 m
Strasse	8m Strasse	4 m
Strasse	Ausfahrt	3.5 m
Strasse	Autobahn	5 m
Strasse	Autostrasse	5 m
Strasse	Autozug	1.75 m
Strasse	Dienstzufahrt	2 m
Strasse	Einfahrt	3.5 m
Strasse	Markierte Spur	0.5 m
Strasse	Platz	3 m
Strasse	Raststaette	3.5 m
Strasse	Verbindung	3 m
Strasse	Zufahrt	3.5 m
Eisenbahn	Kleinbahn	0.75 m
Eisenbahn	Normalspur	1.5 m
Eisenbahn	Schmalspur	1.5 m
Eisenbahn	Schmalspur mit Normalspur	1.5 m

Anhang D Priorisierung der Bodenbedeckungsdaten

Tabelle 13: Reihenfolge des Zusammenfügens der Bodenbedeckungsdaten

Priorität	Class	Name	Quelle
1	1	Gebäude	DM01
2	2	Befestigte Flächen	DM01
3	6	Gewässer	KT/TLM
4	6	Gewässer	DM01
5	1	Gebäude	TLM
6	2	Befestigte Flächen	TLM
7	6	Gewässer	KT/TLM
8	6	Gewässer	TLM
9	5	Garten	TLM
10	3	Landwirtschaft	TLM
11	4	Moor	TLM
12	7	Wald	TLM
13	9	Fels	TLM
14	8	Gletscher	TLM
15	5	Garten	DM01
16	3	Landwirtschaft	DM01
17	4	Moor	DM01
18	7	Wald	DM01
19	9	Fels	DM01
20	8	Gletscher	DM01
21	5	Garten	Bauzonen
22	3	Landwirtschaft	geo7
23	10	Ausland	geo7

Anhang E Zuordnung der Abflussprozesse ZH zu der Abflusstypenkarte CH

Tabelle 14: Zuordnung der Abflussprozesse aus dem Kanton Zürich (vgl. Tabelle 57) zur Abflusstypenkarte Schweiz (vgl. Kapitel 3.5.2)

Abflussprozesse Kanton ZH	Abflusstyp Schweiz
Saturated Overland Flow 1	2
Saturated Overland Flow 2	3
Saturated Overland Flow 3	4
Subsurface Flow 1	2
Subsurface Flow 2	3
Subsurface Flow 3	4
Deep Percolation	5
Drainagenabfluss 1	2
Drainagenabfluss 2	3
Drainagenabfluss 3	4
Hortonian Overland Flow 1	61
Hortonian Overland Flow 2	61
Siedlungsgebiet	61
Strassen	62
Seen	63

Tabelle 15: Zusammensetzung der Abflusstypenkarte im Kanton Zürich

Datensatz	Priorität
Abflusstypenkarte Schweiz: Siedlung, befestigte Flächen, Seen, Gletscher und Fließgewässer	1
Hortonian Overland Flow Flächen des Kantons Zürich	2
Dominante Abflussprozesse des Kantons Zürich	3
Abflusstypenkarte Schweiz: Abflusstyp 1-5	4

Anhang F Digitale Daten

Tabelle 16: Datenmodell Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz

Attribut	Datentyp	Wertebereich/ Beschreibung												
OBJECTID	Object ID	Eindeutige Identifikationsnummer												
Shape	Geometrie	Polygon												
Kommentar	Text (50)	Der Anwendungsmassstab ist < 1:12'500												
SpezialProzess	Text (50)	Oberflächenabfluss Gewässer (in der Modellierung berücksichtigt) Gletscher												
Jaehrlichkeit	Text (15)	Jährlichkeit, für welche die modellierte Überschwemmungstiefe in [m] eine Aussage liefert: <table border="1" data-bbox="635 745 1038 999"> <thead> <tr> <th>Jährlichkeit</th> <th>Klasse Fliesstiefe [h]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> 100 Jahre</td> <td>0 < h ≤ 0.1</td> </tr> <tr> <td>> 100 Jahre</td> <td>0.1 < h ≤ 0.25</td> </tr> <tr> <td>> 100 Jahre</td> <td>0.25 < h</td> </tr> <tr> <td><null></td> <td>Gletscher</td> </tr> <tr> <td><null></td> <td>Gewässer</td> </tr> </tbody> </table>	Jährlichkeit	Klasse Fliesstiefe [h]	> 100 Jahre	0 < h ≤ 0.1	> 100 Jahre	0.1 < h ≤ 0.25	> 100 Jahre	0.25 < h	<null>	Gletscher	<null>	Gewässer
Jährlichkeit	Klasse Fliesstiefe [h]													
> 100 Jahre	0 < h ≤ 0.1													
> 100 Jahre	0.1 < h ≤ 0.25													
> 100 Jahre	0.25 < h													
<null>	Gletscher													
<null>	Gewässer													
Kanton	Text (2)	Kürzel des Kantons												
UE_Tiefe_UG	Double	Untergrenze des Bereichs, in welchem die modellierte Überschwemmungstiefe in [m] liegt: <table border="1" data-bbox="635 1128 1038 1382"> <thead> <tr> <th>UE_Tiefe_UG</th> <th>Klasse Fliesstiefe [h]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0 < h ≤ 0.1</td> </tr> <tr> <td>0.1</td> <td>0.1 < h ≤ 0.25</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>0.25 < h</td> </tr> <tr> <td>88</td> <td>Gletscher</td> </tr> <tr> <td>99</td> <td>Gewässer</td> </tr> </tbody> </table>	UE_Tiefe_UG	Klasse Fliesstiefe [h]	0	0 < h ≤ 0.1	0.1	0.1 < h ≤ 0.25	0.25	0.25 < h	88	Gletscher	99	Gewässer
UE_Tiefe_UG	Klasse Fliesstiefe [h]													
0	0 < h ≤ 0.1													
0.1	0.1 < h ≤ 0.25													
0.25	0.25 < h													
88	Gletscher													
99	Gewässer													
UE_Tiefe_OG	Double	Obergrenze des Bereichs, in welchem die modellierte Überschwemmungstiefe in [m] liegt: <table border="1" data-bbox="635 1464 1038 1718"> <thead> <tr> <th>UE_Tiefe_OG</th> <th>Klasse Fliesstiefe [h]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0 < h ≤ 0.1</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>0.1 < h ≤ 0.25</td> </tr> <tr> <td><null></td> <td>0.25 < h</td> </tr> <tr> <td>88</td> <td>Gletscher</td> </tr> <tr> <td>99</td> <td>Gewässer</td> </tr> </tbody> </table>	UE_Tiefe_OG	Klasse Fliesstiefe [h]	0.1	0 < h ≤ 0.1	0.25	0.1 < h ≤ 0.25	<null>	0.25 < h	88	Gletscher	99	Gewässer
UE_Tiefe_OG	Klasse Fliesstiefe [h]													
0.1	0 < h ≤ 0.1													
0.25	0.1 < h ≤ 0.25													
<null>	0.25 < h													
88	Gletscher													
99	Gewässer													
Methode	Text (70)	Methode geo7 AG, vgl. Bericht Gefährdungskarte Oberflächenabfluss CH												
Autor	Text (10)	geo7 AG												
Erstellungsdatum	Date	22.05.2018												
KachelNr	Short	Eindeutige Identifikationsnummer												

Anhang G Datenverzeichnis

Tabelle 17: Administrative Einheiten und Grenzen der Schweiz: swissBOUNDARIES^{3D}

swissBOUNDARIES^{3D}	
Nachführungsstand	01.01.2016
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Landestopografie

Tabelle 18: Daten Amtliche Vermessung: DM.01-AV-CH

DM.01-AV-CH	
Nachführungsstand	13.12.2016
Datenherr/-quelle	Amtliche Vermessung Schweiz / FL

Tabelle 19: Digitales Terrainmodell Schweiz swissALTI^{3D}

DTM CH: swissALTI^{3D}	
Auflösung	2 m Raster
Nachführungsstand	2016
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Landestopografie

Tabelle 20: Landeskarte Schweiz SWISS MAP RASTER 25

SWISS MAP RASTER 25	
Nachführungsstand	01.06.2015
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Landestopografie

Tabelle 21: Topografisches Landschaftsmodell swissTLM^{3D}

swissTLM^{3D}	
Nachführungsstand	15.03.2016
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Landestopografie

Tabelle 22: Informationen Bauzonen Schweiz

Bauzonen Schweiz	
Nachführungsstand	07.01.2013
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Raumentwicklung ARE

Tabelle 23: Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000

Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000	
Nachführungsstand	1990
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Landestopografie

Tabelle 24: Informationen GeoKarten500

GeoKarten500	
Nachführungsstand	2014
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Landestopografie

Tabelle 25: Bodeneignungskarte 1:200'000

Bodeneignungskarte 1:200'000	
Nachführungsstand	2000
Datenherr/-quelle	Bundesamt für Landestopografie

Tabelle 26: Digitales Terrainmodell Kanton Aargau

DTM AG: Digitales Terrainmodell Kanton Aargau	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2014
Datenherr/-quelle	Abteilung Wald Kanton Aargau

Tabelle 27: Gewässernetz Kanton Aargau

Bachkataster ohne Dolungen Kanton Aargau	
Nachführungsstand	01.01.2017
Datenherr/-quelle	Abteilung Landschaft und Gewässer Kanton Aargau

Tabelle 28: Digitales Terrainmodell Kanton Appenzell Ausserrhoden

DTM AR: Digitales Terrainmodell Kanton Appenzell Ausserrhoden	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2014
Datenherr/-quelle	Kanton Appenzell Ausserrhoden Amt für Raum und Wald / GEOINFO IT AG

Tabelle 29: Gewässernetz Kanton Appenzell Innerrhoden

Gewässernetz Kanton Appenzell Innerrhoden	
Nachführungsstand	26.11.2015
Datenherr/-quelle	Kanton Appenzell Innerrhoden, Bau- und Umweltdepartement

Tabelle 30: Digitales Terrainmodell Kanton Basel-Landschaft

DTM BL: Digitales Terrainmodell Kanton Basel-Landschaft	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2012
Datenherr/-quelle	Amt für Geoinformation, Kanton Basel-Landschaft

Tabelle 31: Gewässernetz Kanton Basel-Landschaft

Gewässernetz Kanton Basel-Landschaft	
Nachführungsstand	06.02.2017
Datenherr/-quelle	Tiefbauamt Basel-Landschaft

Tabelle 32: Digitales Terrainmodell Kanton Basel-Stadt

DTM BS: Digitales Terrainmodell Kanton Basel-Stadt	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	01.04.2005
Datenherr/-quelle	Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt

Tabelle 33: Digitales Terrainmodell Kanton Bern

DTM BE: Digitales Terrainmodell Kanton Bern	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	02.11.2014
Datenherr/-quelle	Amt für Wald des Kantons Bern

Tabelle 34: Gewässernetz Kanton Bern

Gewässernetz Kanton Bern	
Nachführungsstand	11.11.2016
Datenherr/-quelle	Amt für Geoinformation des Kantons Bern

Tabelle 35: Digitales Terrainmodell Kanton Freiburg

DTM FR: Digitales Terrainmodell Kanton Freiburg	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2017
Datenherr/-quelle	Etat de Fribourg, Service du cadastre et de la géomatique

Tabelle 36: Gewässernetz Kanton Freiburg

Réseau hydrographique Canton de Fribourg	
Nachführungsstand	06.07.2016
Datenherr/-quelle	Etat de Fribourg, Service de l'environnement

Tabelle 37: Digitales Terrainmodell Kanton Genf

DTM GE: Digitales Terrainmodell Kanton Genf	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2013
Datenherr/-quelle	Direction de la mensuration officielle Genève

Tabelle 38: Gewässernetz Kanton Genf

LCE Graphe Eau Canton de Genève	
Nachführungsstand	06.06.2016
Datenherr/-quelle	Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture Genève

Tabelle 39: Gewässernetz Kanton Jura

Réseau hydrographique Canton de Jura	
Nachführungsstand	19.01.2017
Datenherr/-quelle	Office de l'environnement Jura

Tabelle 40: Digitales Terrainmodell Kanton Neuenburg

DTM NE: Digitales Terrainmodell Kanton Neuenburg	
Auflösung	1 m Raster
Nachführungsstand	2010
Datenherr/-quelle	Département du développement territorial et de l'environnement Neuchâtel

Tabelle 41: Gewässernetz Kanton Neuenburg

Segments cours eau Canton de Neuchâtel	
Nachführungsstand	23.01.2017
Datenherr/-quelle	Département du développement territorial et de l'environnement Neuchâtel

Tabelle 42: Gewässernetz Kanton Nidwalden

Gewässernetz Kanton Nidwalden	
Nachführungsstand	2013
Datenherr/-quelle	GIS Daten AG

Tabelle 43: Gewässernetz Kanton Obwalden

Gewässernetz Kanton Obwalden	
Nachführungsstand	2014
Datenherr/-quelle	GIS Daten AG

Tabelle 44: Gewässernetz Kanton St. Gallen

Gewässernetz Kanton St. Gallen	
Nachführungsstand	09.01.2017
Datenherr/-quelle	Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen

Tabelle 45: Digitales Terrainmodell Kanton Schaffhausen

DTM SH: Digitales Terrainmodell Kanton Schaffhausen	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	März/April 2013
Datenherr/-quelle	Amt für Geoinformation des Kantons Schaffhausen

Tabelle 46: Gewässernetz Kanton Schaffhausen

Fliessgewässernetz Kanton Schaffhausen	
Nachführungsstand	Januar 2017
Datenherr/-quelle	Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen - Gewässer

Tabelle 47: Digitales Terrainmodell Kanton Solothurn

DTM SO: Digitales Terrainmodell Kanton Solothurn	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2014
Datenherr/-quelle	Amt für Umwelt des Kantons Solothurn

Tabelle 48: Gewässernetz Kanton Solothurn

Oberflächengewässer Kanton Solothurn	
Nachführungsstand	07.12.2016
Datenherr/-quelle	Amt für Umwelt des Kantons Solothurn

Tabelle 49: Digitales Terrainmodell Kanton Thurgau

DTM TG: Digitales Terrainmodell Kanton Thurgau	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2014
Datenherr/-quelle	Amt für Geoinformation Kanton Thurgau

Tabelle 50: Gewässernetz Kanton Thurgau

Gewässerart Kanton Thurgau	
Nachführungsstand	21.11.2016
Datenherr/-quelle	Amt für Geoinformation Kanton Thurgau

Tabelle 51: Gewässernetz Kanton Uri

Gewässernetz Kanton Uri	
Nachführungsstand	15.12.2016
Datenherr/-quelle	Kanton Uri Baudirektion

Tabelle 52: Bodenbedeckungsdaten der Amtlichen Vermessung Kanton Waadt

Bodenbedeckungsdaten der Amtlichen Vermessung Kanton Waadt	
Nachführungsstand	13.04.2017
Datenherr/-quelle	Mensuration officielle Canton de Vaud

Tabelle 53: Gewässernetz Kanton Waadt

Réseau hydrographique Canton de Vaud (GESREAU)	
Nachführungsstand	2016
Datenherr/-quelle	Etat de Vaud

Tabelle 54: Gewässernetz Kanton Wallis

Réseau hydrographique Canton du Valais	
Nachführungsstand	2010
Datenherr/-quelle	Canton du Valais Service des registres fonciers et de la géomatique

Tabelle 55: Digitales Terrainmodell Kanton Zug

DTM ZG: Digitales Terrainmodell Kanton Zug	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2013
Datenherr/-quelle	Grundbuch- und Vermessungsamt des Kantons Zug

Tabelle 56: Gewässernetz Kanton Zug

Gewässernetz Kanton Zug	
Nachführungsstand	25.11.2016
Datenherr/-quelle	Grundbuch- und Vermessungsamt des Kantons Zug

Tabelle 57: Abflussprozesskarte Kanton Zürich

Abflussprozesskarte Kanton Zürich	
Nachführungsstand	15.08.2006
Datenherr/-quelle	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich

Tabelle 58: Digitales Terrainmodell Kanton Zürich

DTM ZH: Digitales Terrainmodell Kanton Zürich	
Auflösung	0.5 m Raster
Nachführungsstand	2014
Datenherr/-quelle	Amt für Raumentwicklung Geoinformation Kanton Zürich

Tabelle 59: Bodenbedeckungsdaten des Départements de l'Ain

Base de données Occupation du Sol à l'échelle COMMunale (OSCOM) - Département de l'Ain	
Nachführungsstand	2017
Datenherr/-quelle	DREAL Auvergne-Rhône-Alpes (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement)

Tabelle 60: Bodenbedeckungsdaten des Départements de la Haute Savoie

Base de données Occupation du Sol à l'échelle COMMunale (OSCOM) - Département de la Haute-Savoie	
Nachführungsstand	2017
Datenherr/-quelle	DREAL Auvergne-Rhône-Alpes (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement)

Tabelle 61: Gebäudekataster des Départements de l'Ain

Assemblage du bâti cadastre du département de l'Ain	
Nachführungsstand	2017
Datenherr/-quelle	Conseil Départemental de l'Ain