



KANTON LUZERN
Verkehr und Infrastruktur (vif)
Naturgefahren
6010 Kriens

Gebäudeversicherung Luzern
Hirschengraben 19
6002 Luzern

Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern

Bericht

Impressum

Projektbearbeitung

geo7 AG, geowissenschaftliches Büro

Neufeldstrasse 5 – 9, 3012 Bern
Tel. +41 (0)31 300 44 33

Andy Kipfer, Dr. phil. nat.
Esther Schönthal, MSc. Geografin
Serena Liener, Dr. phil. nat.
Peter Gsteiger, lic. phil. nat.

Änderungskontrolle

Version	Datum	Name / Stelle	Bemerkungen
0.1	02.12.2015	Esther Schönthal	Erstellt
0.9	02.12.2015	Esther Schönthal	Ergänzungen
1.0	07.12.2015	Andy Kipfer	Schlussversion

Anmerkungen zum Dokument

Erstellt mit Microsoft Office Word, Version 2010

Dateiname \\geo7\all\projekte\2015\3463_ofa_lu\bericht\be01sce,b oberflächenabflusskartelu.docx

Dateigrösse 7219 KBytes

geo7-Bericht

Technische Änderungen vorbehalten

© Copyright 2012 by geo7 AG, Bern/Switzerland

Konzeption und Design: geo7 AG, Bern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangslage und Auftrag	1
1.2	Zielsetzung.....	1
1.3	Bearbeitung	1
1.4	Grundlagen.....	2
2	Untersuchungsgebiet	2
3	Modellbeschreibung	3
3.1	Modell	3
3.2	Modellgrundlagen.....	3
4	Vorgehen	4
4.1	Grundlagen.....	4
4.2	Aufbereitung Terrainmodell.....	4
4.3	Niederschlag	7
4.4	Bodenbedeckung	9
4.5	Abflusskoeffizient.....	10
4.5.1	Grundlagen.....	10
4.5.2	Abflusstypenkarte	11
4.6	Simulation.....	13
4.7	Postprocessing	13
4.7.1	Aufbereitung Simulationsoutput.....	13
4.7.2	Validierung	14
5	Resultate Kanton Luzern	15
5.1	Bedeutung und Grenzen der Resultate	15
5.2	Produkte.....	20
6	Fazit.....	20
Anhang A	Klassierung der Bodenbedeckung.....	21
Anhang B	Darstellungsmodell Kartographie.....	22
Anhang C	Digitale Daten	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Unterteilung des Kantons Luzern in 14 Modellierungsregionen	2
Abbildung 2:	Schematisches Vorgehen bei der Oberflächenabfluss-Simulation.....	4
Abbildung 3:	Visualisierung Verarbeitungsschritte Aufbereitung Terrainmodell	6
Abbildung 4:	Für die Modellierung verwendete Niederschlagsmengen [mm] für einen einstündigen Niederschlag mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren.	7
Abbildung 5:	Für die Modellierung verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm/h. Die prozentuale Verteilung pro 5 Minuten wurde gemäss Tabelle 3 festgelegt.....	8
Abbildung 6:	Übersichtsplan UP10 mit den eingefärbten Klassen der AV-Bodenbedeckung (links) und der Modellinput für die Bodenbedeckung (rechts) des Gebietes Weggis Oberdorf.....	9
Abbildung 7:	Abflusstypenkarte für den Kanton Luzern: Grunddatensatz (links) und inkl. Integration der regionalen Abflusstypenkarte Scherrer et al. (2011) im Einzugsgebiet der kleinen Emme (rechts).....	11
Abbildung 8:	Bodenbedeckung (links), Abflusskoeffizient (rechts). Für jede Rasterzelle wird Abflusskoeffizient mit der Niederschlagsganglinie multipliziert.	13
Abbildung 9:	Vergleich zwischen dem klassierten Simulationsoutput (links) mit aufbereiteten Modellierungsdaten (rechts) (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern).....	14
Abbildung 10:	Modellierungsergebnis südlich von Schachen: Durch in der Modellierung berücksichtigte Gewässer (blau dargestellt) wird Oberflächenwasser abgeführt. Wasseraustritte aus diesen Gewässern werden durch die Gefahrenkarte resp. Gefahrenhinweiskarte Wasser abgedeckt.	15
Abbildung 11:	Durch die angewandte Methodik können auf der Oberflächenabflusskarte Fliesswege unterbrochen sein	16
Abbildung 13:	Oberflächenabfluss-Modellierung im Bereich der Allmend Luzern. Durch die generelle Absenkung von Strassen und befestigten Flächen können Fehler entstehen. Diese wurden nicht manuell korrigiert.....	16
Abbildung 14:	Im Terrainmodell abgebildete Ackerstrukturen beeinflussen die Fliesswege vom Oberflächenabfluss.....	17
Abbildung 15:	In Siedlungszentren ist die Genauigkeit der Oberflächenabflusskarte limitiert. Bei der Modellierung wurde die Siedlungsentwässerung nicht berücksichtigt.	18
Abbildung 16:	Oberflächenabflusskarte in den Gebieten Tannberg (oben) und Eschenbach (unten). Im Landwirtschaftsland und an den Siedlungsrandern sind die Hauptabflusswege gut erkennbar.....	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Informationen Digitales Terrainmodell 3

Tabelle 2: Arbeitsschritte zur Aufbereitung des Terrainmodells..... 5

Tabelle 3: Modellregen für 1-Std.-Niederschläge gemäss [3]: Prozentuale 5-
Minuten Anteile 7

Tabelle 4: Klassen Bodenbedeckungstypen und die Umsetzung in der
Modellierung..... 9

Tabelle 5: Gewichtung der Bodenbedeckungstypen für deren Berücksichtigung
bei der Umwandlung in einen Rasterdatensatz 10

Tabelle 6: Bodenbedeckungstypen und die in der Modellierung verwendeten
Abflusskoeffizienten (hergeleitet aus Rickli und Forster, 1997[7]) 11

Tabelle 7: Abflussbereitschaft der verschiedenen Abflusstypen gemäss der
Abflusstypenkarte und die davon abhängige Korrektur des
Abflusskoeffizienten 12

Tabelle 8: Anpassung des Abflusskoeffizienten mit Berücksichtigung des Gefälles..... 12

Referenzierte Dokumente

Referenzenüberschrift

- [1] Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (1997): Hydrologischer Atlas der Schweiz. Landeshydrologie, Bern.
- [2] Dobmann J. (2009): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation, Universität Bern, Bern.
- [3] Fürstentum Liechtenstein, Amt für Bevölkerungsschutz (2014): Niederschlagsstatistik und Modellregen Fürstentum Liechtenstein. Anwendungsdokument, Vaduz.
- [4] geo7 AG (2009): Modellierung Oberflächenabfluss – Methodenevaluation. Gebäudeversicherung Zürich, Zürich.
- [5] geo7 AG (2010): Oberflächenabfluss – Methodenevaluation. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [6] Kanton Zürich (2006): Dominante Abflussprozesse des Kantons Zürich. Datendokumentation. Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich.
- [7] 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.
- [8] Rickli Ch., Forster F. (1997): Einfluss von verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. In: Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen, 148. Jg., Nr.5:367-385. Illnau.
- [9] Röthlisberger G., Geiger H., Zeller J. (1992): Starkniederschläge im Schweizer Mittelland und Jura. Band 9. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, Birmensdorf.
- [10] Scherrer S., Frauchiger R., Margreth M. (2011): Beurteilung der Abflussbereitschaft des Einzugsgebiets der Kleinen Emme (Kt. LU) durch automatisierte Kartierung (GIS), Ermittlung von Flächen mit potentiell Wasserrückhalt und ihr Einfluss auf den Hochwasserabfluss. Bericht: 10/136, Scherrer AG und SoilCom GmbH, Reinach.
- [11] Zeller J., Geiger H., Röthlisberger G. (1978): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes – Intensitäten und Häufigkeiten. Band 3. Ausgewertete Periode 1901 – 1970. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- [12] Zeller J., Geiger H., Röthlisberger G. (1979): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes – Intensitäten und Häufigkeiten. Band 4. Ausgewertete Periode 1901 – 1970. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.

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. Je nach Ereignis variiert diese Zahl stark. Innerhalb von Gebäuden (in ausgebauten Kellern, Untergeschossen etc.) können zudem auch Personen gefährdet werden.

Dennoch ist Oberflächenabfluss in der Schweiz kaum in den Gefahrenkartierungsprozess integriert. So wird auch im Kanton Luzern Oberflächenabfluss nur als optionale Pfeilsignatur auf der Gefahrenkarte dargestellt. Um diese Lücke zu füllen, wurde von *geo7* auf der Basis der Software FloodArea eine Methode entwickelt, welche eine Modellierung von Oberflächenabfluss nach einheitlichen Kriterien über grosse Gebiete erlaubt.

geo7 wurde durch die Dienststelle Verkehr und Infrastruktur (vif) beauftragt, mit der entwickelten Methode eine Oberflächenabfluss-Modellierung auf Stufe Gefahrenhinweiskarte über den gesamten Kanton Luzern zu erstellen.

1.2 Zielsetzung

Es wird flächendeckend über den gesamten Kanton Luzern eine Oberflächenabfluss-Gefahrenhinweiskarte gemäss Pflichtenheft vom 7.4.2015 erstellt. Diese soll im Massstab von 1:12'500 die Fliesswege des Oberflächenabflusses, die betroffenen Flächen und die zu erwartenden Wassertiefen aufzeigen. Die Modellierung wird gemäss der von *geo7* entwickelten und publizierten Methodik durchgeführt. Als Referenz für die Modellierung dient ein 100-jährliches Niederschlagsereignis.

1.3 Bearbeitung

Die Durchführung wurde in der nachstehenden Projektstruktur und mit den nachstehend aufgeführten Schlüsselpersonen erarbeitet:

Auftraggeber:
KANTON LUZERN, Verkehr und Infrastruktur (vif), Naturgefahren

Projektleitung Auftragnehmer: Dr. Andy Kipfer, <i>geo7</i>	
Modellierungen:	Dr. Andy Kipfer, Esther Schönthal
GIS, Kartographie:	Esther Schönthal, Peter Gsteiger
Qualitätssicherung:	Dr. Serena Liener
<i>geo7 AG</i>	
Geowissenschaftliches Büro	Tel.: 031 - 300 44 33
Neufeldstrasse 5 - 9	Fax: 031 - 302 76 11
3012 Bern	email: naturgefahren@geo7.ch

1.4 Grundlagen

Sämtliche benötigten Grundlagendaten für die Modellierungen wurden für den gesamten Kanton bei der Dienststelle für Raum und Wirtschaft (rawi), Abteilung Geoinformation des Kantons Luzern beschafft (Vertragsnummer 0415/21). Dazu gehören insbesondere:

- Digitales Terrainmodell (DTM) 2012, 0.5 m Raster (Datenstand 31.07.2012)
- AV Bodenbedeckung (Datenstand 11.04.2015)
- AV Einzelobjekte (Datenstand 11.04.2015)
- Übersichtsplan 1:10'000 (UP10) (Datenstand 27.11.2014)

2 Untersuchungsgebiet

Die Oberflächenabflussmodellierung umfasst den gesamten Kanton Luzern, mit einer Fläche von knapp 1'500 km². Innerhalb des Kantons gibt es bezüglich Topographie, Geologie, Böden und den klimatischen Verhältnissen grosse Unterschiede.

Für die Modellierung wurde der Kanton in 14 Modellierungsregionen aufgeteilt. Jede Region weist ein spezifisches Niederschlagsszenario auf (vgl. Kapitel 4). Weitere wichtige Eingabeparameter für die Modellierung (Terrainmodell, Bodenbedeckung etc.) werden sehr kleinräumig pro Berechnungsrasterzelle (1m x 1m) 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 überlappend modelliert.

Abbildung 1 zeigt die abgegrenzten Modellierungsregionen welche Flächen zwischen knapp 50 km² (Region 8) und fast 160 km² (Region 1) aufweisen.

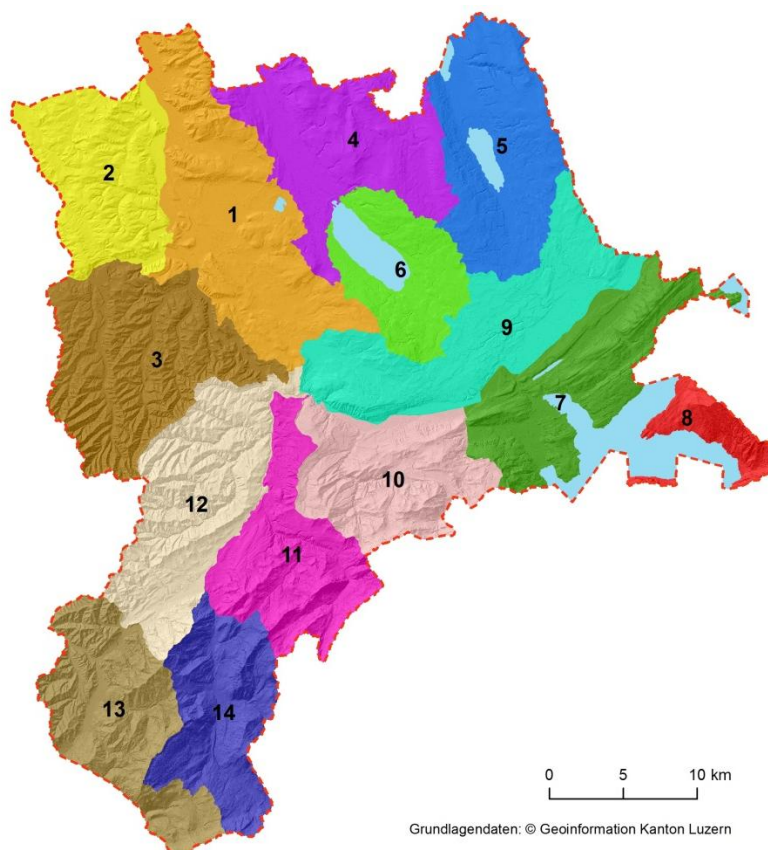


Abbildung 1: Unterteilung des Kantons Luzern in 14 Modellierungsregionen

3 Modellbeschreibung

3.1 Modell

Für die Modellierung des Oberflächenabflusses wird das Programm FloodArea^{HPC} 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 eine reduzierte Wasserzufuhr). Durch diese Reduktion kann z.B. eine mögliche Speicherwirkung des Bodens berücksichtigt werden. Gegenüber von komplexen hydraulischen Strömungsmodellen (z.B. BASEMENT oder Hydro-AS 2D) sind die hydrologischen Prozesse einfacher parametrisiert und die verwendeten Algorithmen sehr robust. Dies erlaubt die Modellierung von kleinen Abflusstiefen (< 5cm) ohne numerische Schwierigkeiten.

3.2 Modellgrundlagen

Die Modellierung basiert auf folgenden drei Hauptgrundlagen:

- Terrainmodell
- Niederschlag
- Abflussbereitschaft

Das verwendete hochaufgelöste Terrainmodell bildet die Topografie der Erdoberfläche ohne Bewuchs und Bebauung ab:

Tabelle 1: Informationen Digitales Terrainmodell

DTM: Digitales Terrainmodell	
Auflösung	0.5m-Raster
Nachführungsstand	Juli 2012
Datenherr/-quelle	Dienststelle Raum und Wirtschaft (rawi), Kanton Luzern

Auf jede Rasterzelle des Terrainmodells kann über eine frei definierbare Niederschlagsganglinie Wasser zugeführt werden. Die Ganglinie kann über einen Faktor für jede Rasterzelle angepasst werden. Enthält eine Rasterzelle den Wert „0“, erfolgt keine Wasserzufuhr. Bei allen anderen Werten werden die Werte der Ganglinie mit dem entsprechenden Wert der Rasterzelle multipliziert. Die Differenzierung erfolgt mit Hilfe einer berechneten Abflussbereitschaft – welche auf der Bodenbedeckung und verschiedenen geologischen und pedologischen Grundlagen basiert. Das Vorgehen wird im Kapitel 4 detailliert erläutert. Es findet keine Modellierung von unterirdischen Wasserflüssen statt. Die Siedlungsentwässerung wurde bei der Modellierung nicht berücksichtigt.

4 Vorgehen

4.1 Grundlagen

Abbildung 2 zeigt schematisch das Vorgehen, welches bei der Oberflächenabfluss-Modellierung angewendet worden ist. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Arbeitsschritte detailliert erläutert.

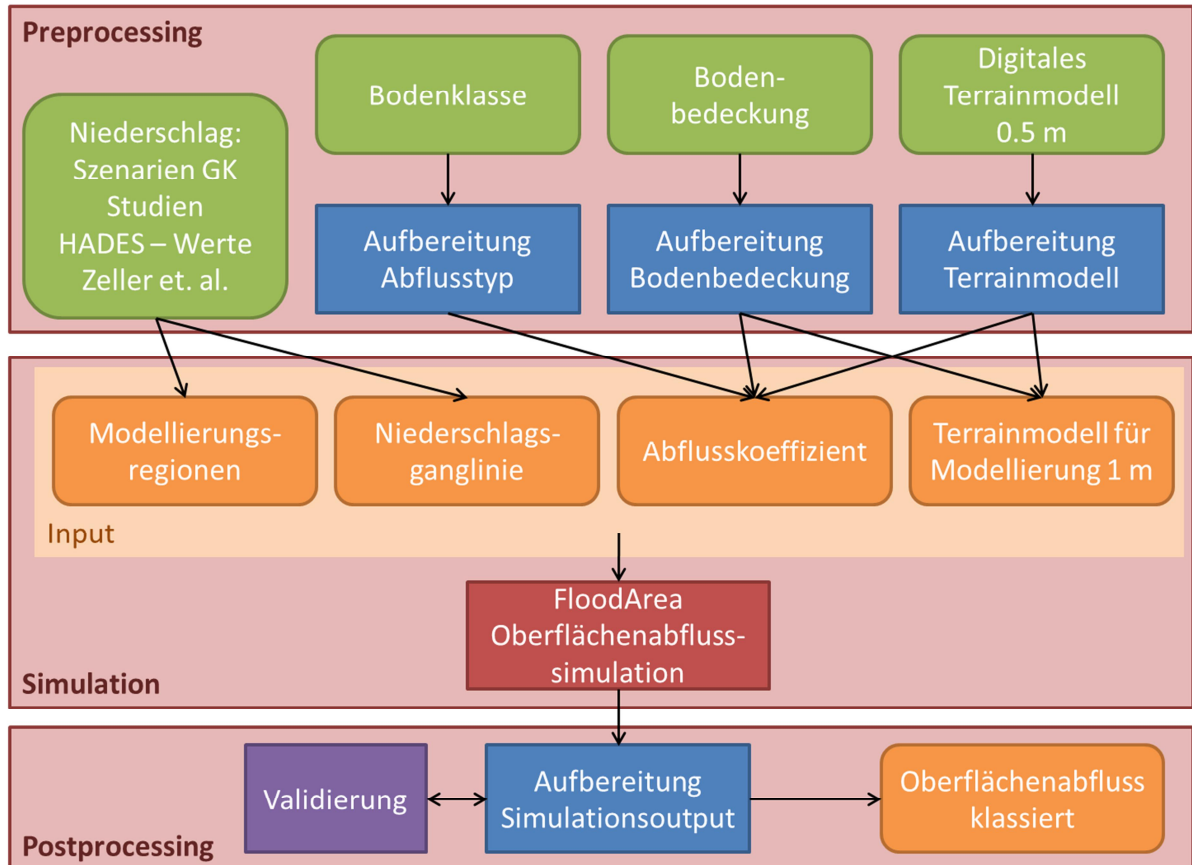


Abbildung 2: Schematisches Vorgehen bei der Oberflächenabfluss-Simulation

4.2 Aufbereitung Terrainmodell

Die Topografie ist neben dem Niederschlagsszenario der entscheidende Faktor bei der Modellierung des Oberflächenabflusses. Damit mit der Modellierung ein möglichst optimales Resultat erreicht werden kann, muss das Terrainmodell aufbereitet werden (vgl. Tabelle 2). Die Aufbereitung basiert auf den Ergebnissen der Methodenevaluationen, welche in verschiedenen Regionen in der Schweiz durchgeführt worden sind (vgl. [4] und [5]). Einzelne Aufbereitungsschritte wurden leicht angepasst, damit mit den zur Verfügung stehenden Grundlegendaten ein möglichst optimales Resultat erreicht werden kann. Insbesondere stand zum ersten Mal ein Terrainmodell mit einer Auflösung von 0.5 m gegenüber von 2 m wie in den Methodenevaluationen zur Verfügung. Die Abbildung 3 visualisiert die vier Aufbereitungsschritte.

Tabelle 2: Arbeitsschritte zur Aufbereitung des Terrainmodells

Arbeitsschritt	Beschreibung
Glättung (LowPassFilter)	<p>Durch die hohe Auflösung des Terrainmodells (0.5 m) können aufgrund der Oberflächenstruktur Höhenunterschiede einzelner benachbarter Rasterzellen auftreten, welche in der Realität weniger ausgeprägt sind. Durch eine Glättung können diese Effekte vermindert werden.</p> <p>Glättung der Höhenwerte der Rasterzellen unter Berücksichtigung sämtlicher unmittelbar anliegenden Rasterzellen</p>
Resampling	<p>Das Terrainmodell weist eine Auflösung von 0.5 m auf. Test-Modellierungen im Gebiet Weggis zeigten, dass Modellierungen nach einem Resampling des Terrainmodells auf 1 m Auflösung keine sichtbaren Qualitätseinbussen erleiden. Hingegen wird das Datenvolumen stark reduziert und damit auch die Handhabung des Resultates deutlich verbessert. Deswegen wurden die Modellierungen mit einer Rasterauflösung von 1 m durchgeführt.</p>
Füllung Senken (FillSink)	<p>Rasterzellen, welche Senken darstellen (umgebende Rasterzelle weisen alle einen höheren Wert auf, werden bis zu 1 m gefüllt. Somit werden kleinräumige Senken, welche hauptsächlich aufgrund der Oberflächenstruktur entstanden sind, geglättet.</p>
Gebäude	<p>Gebäude sind im Terrainmodell nicht enthalten – bilden aber in der Realität wichtige Hindernisse für Fließwege.</p> <p>Erhöhung sämtlicher Gebäudegrundflächen um 5 m (= Hindernis). Die Gebäudegrundflächen wurden aus dem AV Bodenbedeckungsdatensatz übernommen (ART=0).</p>
Gewässer	<p>Die von Oberflächengewässer ausgehende Gefährdung wird vollständig durch die Gefahrenkarten abgedeckt. D.h. Wasser, welches einem Gewässer zugeführt wird, ist für die Modellierung nicht mehr relevant. Durch eine massive Absenkung der oberirdischen Gewässerbereiche (ohne eingedolte Strecken) können eigentliche Senken gebildet werden, welche ein Zurückfliessen von Wasser aus dem Gewässerraum unterbinden. Die Gewässer wurden aus dem AV-Bodenbedeckungsdatensatz (ART = 14/15 stehendes und fließendes Gewässer) übernommen.</p> <p>Absenkung der oberirdischen Gewässerläufe um 500 m.</p>
Strassen/ Verkehrswege	<p>Strassen und übrige versiegelten Flächen bilden häufig wichtige Leitstrukturen für Fließwege. Trotz der hohen Auflösung (0.5 m) können diese durch das DTM-AV nicht immer richtig abgebildet werden. Die Strassen und übrigen versiegelten Flächen werden aus der Bodenbedeckung extrahiert und um 0.25 m abgesenkt. In den Modellierungen der Methodenevaluationen wurde – bei der Verwendung eines Terrainmodells mit 2 m Auflösung – diese Flächen um 0.5 m abgesenkt.</p>

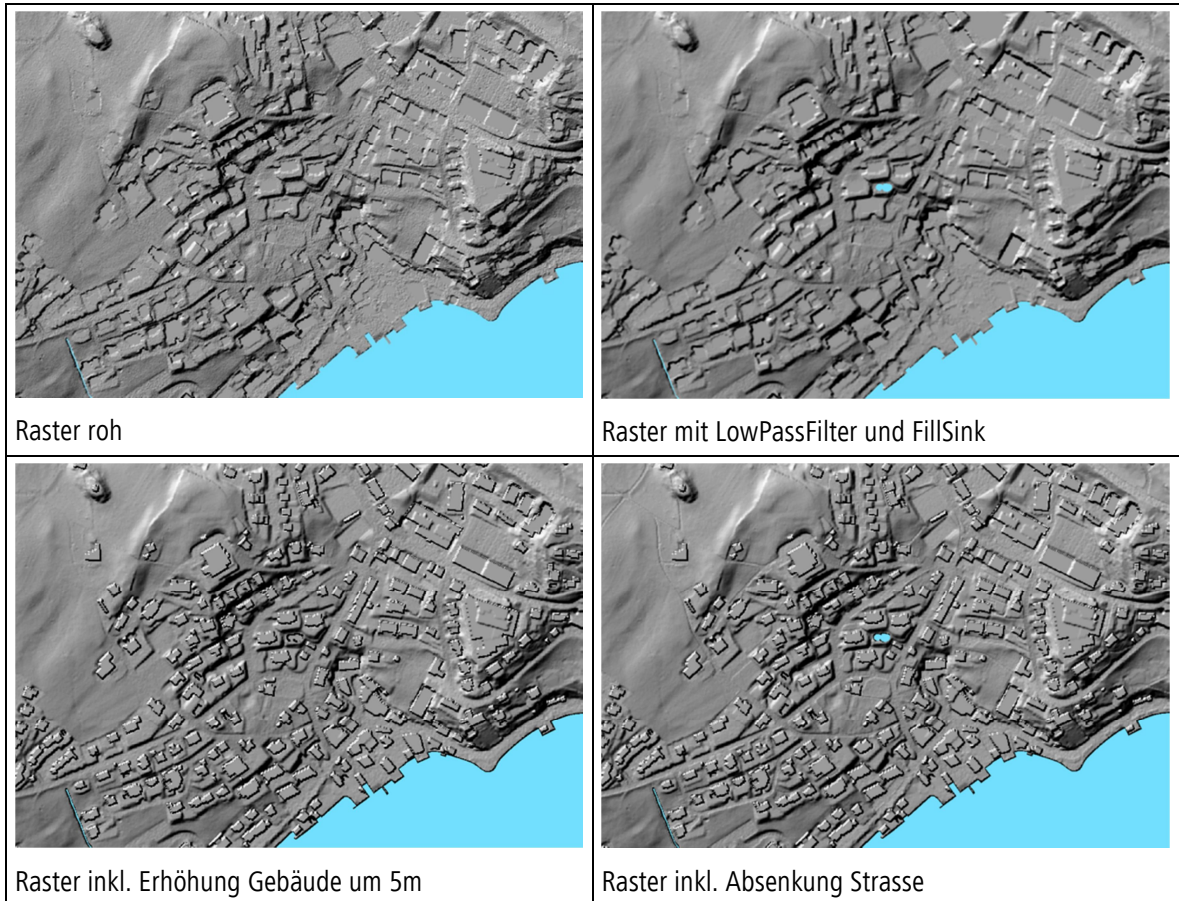


Abbildung 3: Visualisierung Verarbeitungsschritte Aufbereitung Terrainmodell

4.3 Niederschlag

Als Grundlage für die Modellierung wird ein Niederschlagsszenario benötigt. Als massgebendes Szenario wurde ein Gewitter mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren und einer Dauer von einer Stunde bestimmt. Für jede Region wurde danach basierend auf den im Rahmen der Gefahrenkartierung verwendeten Niederschlagswerten, dem Hydrologischen Atlas der Schweiz [1] und den Bänden zu den Starkniederschlägen in der Schweiz ([9], [11], [12]) eine Niederschlagsmenge für einen 1 stündigen Niederschlag mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren festgelegt.

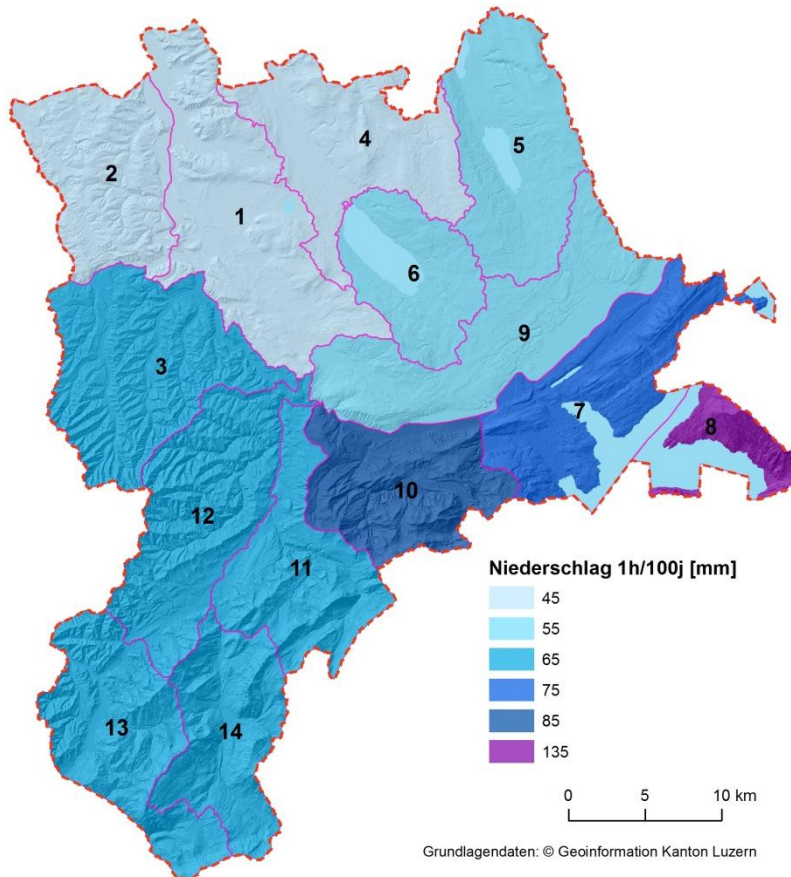


Abbildung 4: Für die Modellierung verwendete Niederschlagsmengen [mm] für einen einstündigen Niederschlag mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren.

Basierend auf [3] wurde für alle Regionen aus den Niederschlagsmengen eine Niederschlagsganglinie abgeleitet. Die verwendete prozentuale Verteilung der Niederschläge über 1 Stunde ist in allen Regionen identisch und entspricht dem Modellregen in Tabelle 3.

Tabelle 3: Modellregen für 1-Std.-Niederschläge gemäss [3]: Prozentuale 5-Minuten Anteile

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 Intensitäten der Ganglinien ändern sich basierend auf den in Abbildung 4 festgelegten Niederschlagsmengen. Abbildung 5 zeigt die verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm (Regionen 1, 2, 4).

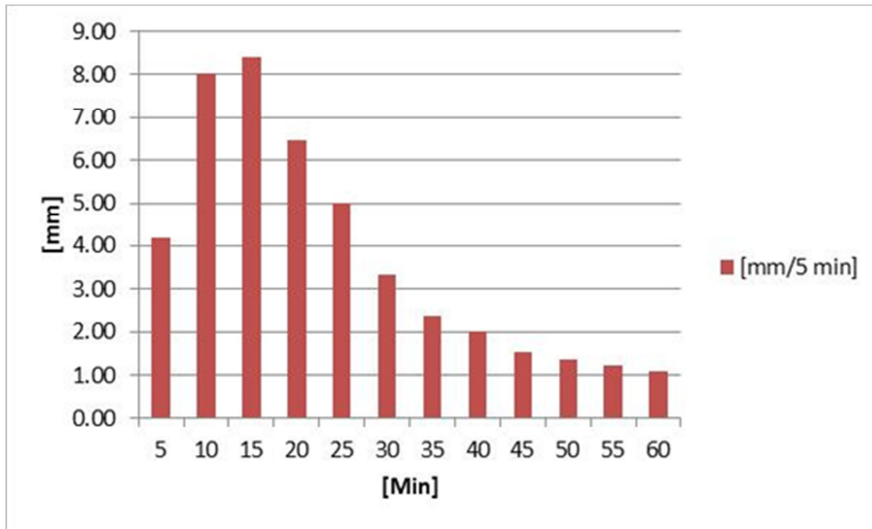


Abbildung 5: Für die Modellierung verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm/h. Die prozentuale Verteilung pro 5 Minuten wurde gemäss Tabelle 3 festgelegt.

4.4 Bodenbedeckung

Als Grundlage für die Bodenbedeckung wurde für die Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern der AV-Datensatz der Bodenbedeckung verwendet. Wo dieser Datensatz Lücken aufwies, wurde er mit den swissTLM Daten ergänzt. Der Vorteil der AV-Daten ist, dass diese eine sehr hohe Lagegenauigkeit aufweisen und mit dem Übersichtsplan UP10 übereinstimmen. Die Bodenbedeckung wird einerseits zur Aufbereitung des Terrainmodells (vgl. Kapitel 4.2), andererseits für die Bestimmung des Abflusskoeffizienten verwendet (vgl. Kapitel 4.5).

Die 25 Klassen des AV-Bodenbedeckungsdatsatzes werden zu sieben Bodenbedeckungstypen klassiert (vgl. Anhang A). Die sieben Klassen sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Klassen Bodenbedeckungstypen und die Umsetzung in der Modellierung

Nummer	Typ	Umsetzung bei der Modellierung
1	Gebäude	Gebäude können als Hindernisse in die Modellierung integriert werden.
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 ebenfalls ins Modell integriert (implementiert über eine Reduktion des Niederschlags). Dazu wird für jede Rasterzelle ein Abflusskoeffizient berechnet (vgl. Kapitel 4.5).
4	Hoch-/ Flachmoore	
5	Garten/ Hausumschwung	
6	Gewässer	Oberflächenabfluss welcher in ein Gewässer fliesst, bleibt im Gewässer. Die allenfalls vom Gewässer ausgehende Gefährdung sollte durch die Gefahrenkarte abgedeckt sein.
7	Wald	Die Speicherwirkung des Waldbodens kann über eine Berücksichtigung der Infiltration (implementiert über eine Reduzierung des Niederschlags) integriert werden.

Ein Beispiel für die klassierte Bodenbedeckung als Modellinput ist in Abbildung 6 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der AV-Datensatz der Bodenbedeckung und der Übersichtsplan räumlich sehr gut übereinstimmen.



Abbildung 6: Übersichtsplan UP10 mit den eingefärbten Klassen der AV-Bodenbedeckung (links) und der Modellinput für die Bodenbedeckung (rechts) des Gebietes Weggis Oberdorf. Legende der Bodenbedeckungskarte: dunkel grau = Gebäude, hellgrau = befestigte Flächen, hellgrün = Landwirtschaftsland, gelb = Garten / Hausumschwung, blau = Gewässer, dunkelgrün = Wald. (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern).

Als Inputdaten der Modellierung werden Rasterdaten benötigt. Bei der Umwandlung der AV-Daten in Rasterdaten werden z.B. bei einer Brücke das Gewässer sowie die Strasse Anspruch auf die betreffende Rasterzelle haben. Damit in Fällen, wo Polygone mit unterschiedlichem Typ eine Rasterzelle abdecken, eine eindeutige Zuordnung vorgenommen werden kann, werden die verschiedenen Oberflächentypen gewichtet. Jede Rasterzelle wird demjenigen Bodenbedeckungstyp zugeordnet, der die höchste Gewichtung besitzt.

Durch die hohe Gewichtung der befestigten Flächen und der Gewässer wird erreicht, dass diese möglichst zusammenhängende Rasterflächen bilden.

Tabelle 5: Gewichtung der Bodenbedeckungstypen für deren Berücksichtigung bei der Umwandlung in einen Rasterdatensatz

Nummer	Bodenbedeckungstyp	Gewichtung
1	Gebäude	3
2	Befestigte Flächen (Verkehrswege etc.)	7
3	Landwirtschaftsland	5
4	Hochmoor/ Flachmoor, Schilfgürtel	2
5	Gartenanlage	4
6	Gewässer	6
7	Wald	1

4.5 Abflusskoeffizient

4.5.1 Grundlagen

Die Abflussbereitschaft der verschiedenen Bodenbedeckungsklassen 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.

Bei der Anwendung eines Bodenspeichers gemäss der evaluierten Methode [4] und [5], bestand bei geringen Niederschlagsmengen das Problem, dass dieser den Modellniederschlag übersteigt und somit kein Oberflächenabfluss resultiert. Aufgrund solcher möglichen Modellkonstellationen wurde anstelle des absoluten Speichervolumens ein relativer Abflusskoeffizient pro Bodenbedeckungstyp für die Herleitung der Abflussbereitschaft verwendet.

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Abflussbereitschaft wurde jedem Bodenbedeckungstyp ein Grundwert des Abflusskoeffizients zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgte in Anlehnung an die Typisierung nach Rickli und Forster 1997 [8] und unter Berücksichtigung von [2].

Tabelle 6: Bodenbedeckungstypen und die in der Modellierung verwendeten Abflusskoeffizienten (hergeleitet aus Rickli und Forster, 1997 [8])

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

4.5.2 Abflusstypenkarte

Scherrer & Naef (2003) entwickelten ein Schema mit welchem der dominante Abflussprozess eines Bodens für Starkniederschläge bestimmt werden kann [7]. Dieses Schema wurde über den gesamten Kanton Luzern angewandt. Als Grundlage dazu diente die Bodenkartierung LK200, welche den Bodentyp flächendeckend aufzeigt. Die Siedlungsgebiete, Seen und Gletscherflächen wurden aus dem AV-Datensatz Bodenbedeckung übernommen. Abbildung 7 links zeigt die nach Schema Scherrer & Naef (2003) resultierende Abflusstypenkarte für den gesamten Kanton Luzern.

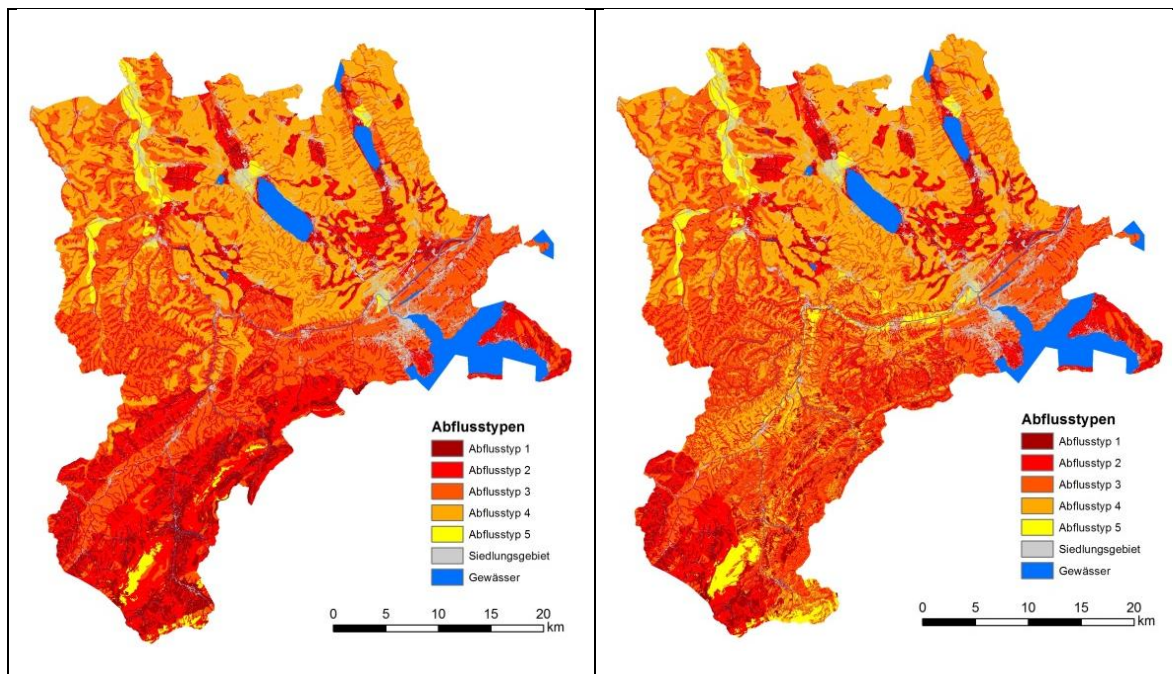


Abbildung 7: Abflusstypenkarte für den Kanton Luzern: Grunddatensatz (links) und inkl. Integration der regionalen Abflusstypenkarte Scherrer et al. (2011) im Einzugsgebiet der kleinen Emme (rechts)

Für das Einzugsgebiet der Kleinen Emme wurde 2011 durch Scherrer im Rahmen einer Studie eine detaillierte Abflussprozesskarte erstellt (vgl. [10]). Diese wurde in den Grunddatensatz der neu berechneten kantonalen Abflusstypenkarte integriert. Dabei wurden die Flächen vom Abflusstyp 1 bis 5 in ein Raster konvertiert (je schneller die Abflussbereitschaft desto höher die

Priorisierung) Anschliessend wurde dieser Befund in den Grunddatensatz eingebracht. Die Gewässerverläufe und Siedlungsbereiche wurden aus dem Grunddatensatz übernommen, da diese Flächen aus der Bodenbedeckung hergeleitet wurden und somit den genaueren Befund darstellen.

Anschliessend wurde der bestehende Abflusskoeffizient ψ (vgl. Tabelle 6) aufgrund der Abflussbereitschaft der verschiedenen Abflusstypen für jede Rasterzelle gemäss der in Tabelle 7 aufgeführten Korrektur neu berechnet.

Tabelle 7: Abflussbereitschaft der verschiedenen Abflusstypen gemäss der Abflusstypenkarte und die davon abhängige Korrektur des Abflusskoeffizienten

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

Durch diesen Berechnungsvorgang resultiert für jede Rasterzelle ein korrigierter Abflusskoeffizient ψ_{neu} .

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 [6]. Mit identischen Gefällskriterien wurde in einem weiteren Berechnungsvorgang der Abflusskoeffizient ψ_{neu} gemäss Tabelle 8 angepasst. Dadurch wird z.B. auf einer sehr stark geneigten Fläche (Gefälle > 36 %) der Abflusskoeffizient auf 1 erhöht.

Tabelle 8: Anpassung des Abflusskoeffizienten mit Berücksichtigung des Gefälles

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

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

Abbildung 8 rechts zeigt eine Übersicht der berechneten Abflusskoeffizienten aus der Region Weggis. Zum Vergleich sind in Abbildung 8 links die Bodenbedeckungstypen dargestellt.

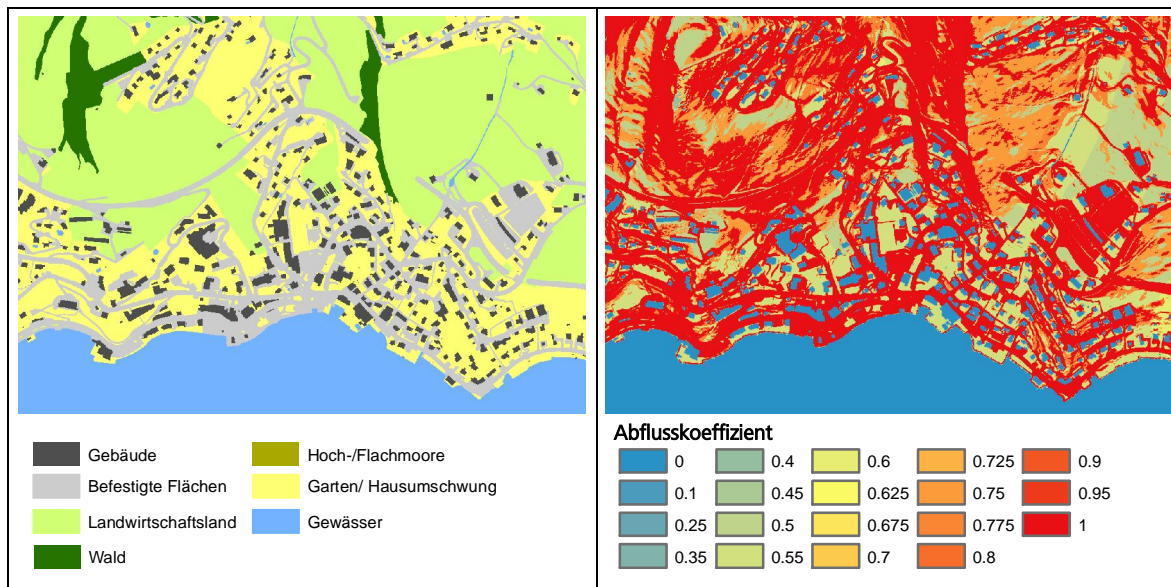


Abbildung 8: Bodenbedeckung (links), Abflusskoeffizient (rechts). Für jede Rasterzelle wird Abflusskoeffizient mit der Niederschlagsganglinie multipliziert.

4.6 Simulation

Mit den in den Kapiteln 4.2 bis 4.5 aufgeführten Grundlagen wurde die Oberflächenabflusssimulation in den einzelnen Regionen gestartet. Dabei wurde für jede Region 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. Die Simulationsdauer betrug in allen Regionen zwei Stunden.

4.7 Postprocessing

4.7.1 Aufbereitung Simulationsoutput

Aus der Modellierung resultierte alle 5 Minuten für jede Rasterzelle eine Wassertiefe in Metern. In einem ersten Schritt wurde für sämtliche Rasterzellen ein maximaler Wasserwert während der gesamten Simulationsdauer berechnet. Durch die flächige Berechnung wird auf praktisch allen Rasterzelle 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 wurde bei 1.5 cm festgelegt.

Der Simulationsoutput wurde anschliessend gemäss folgendem Vorgehen aufbereitet:

- Aufteilung der Abflusstiefen in 3 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 m² zur nächsttieferen Klasse
- Elimination Kleinflächen < 40 m² (Klasse $0 < h \leq 0.10$)
- Bereinigung der Modellierungsflächen mit den Gebäudegrundrissen
- Integration der in der Modellierung berücksichtigten Gewässer
- Vektorisierung und Glättung der Rasterdaten
- Auffüllen „Löcher“ und Schlussbereinigung Kleinflächen < 10 m²

Es wurden keine weiteren manuellen Bereinigungen am Modellierungsergebnis durchgeführt.

Abbildung 9 zeigt an einem Beispiel die Aufbereitung der Simulationsdaten. Links ist der klassierte Simulationsoutput abgebildet (Rasterformat), rechts die generalisierten Vektordaten.

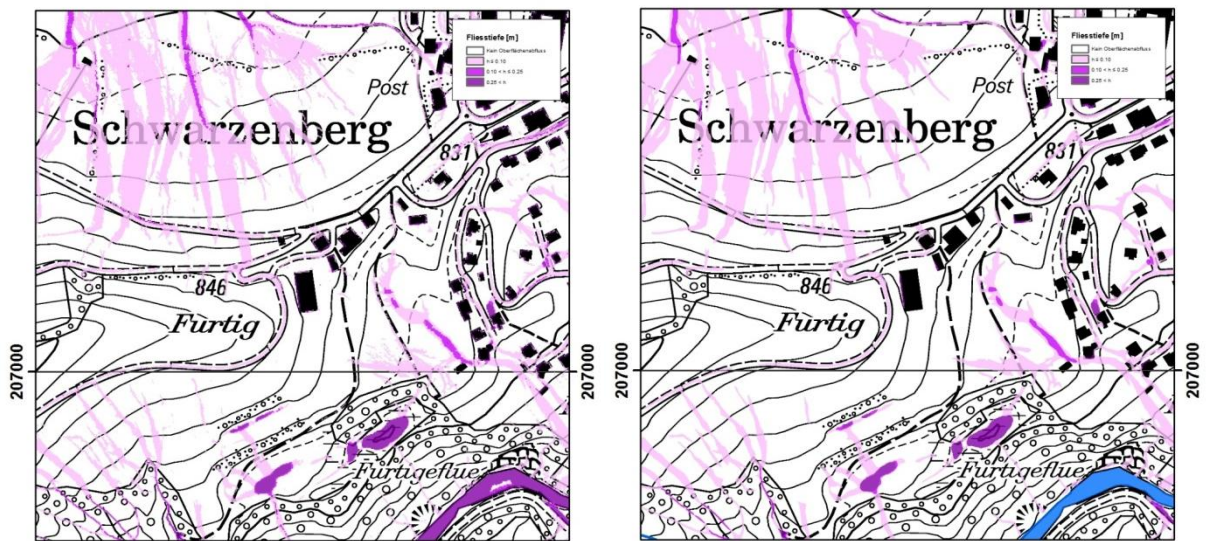


Abbildung 9: Vergleich zwischen dem klassierten Simulationsoutput (links) mit aufbereiteten Modellierungsdaten (rechts) (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern)

4.7.2 Validierung

Nach der Simulation von zwei Regionen (Regionen 6 und 7, vgl. Abbildung 1) wurden die Modellierungsergebnisse mit Hilfe einer Feldbegehung punktuell in den Gebieten Adligenswil/Udligenswil/Ebikon und Sempach/Nottwil validiert – auch mit Hilfe von registrierten Schadenereignissen der Gebäudeversicherung Luzern. Dabei wurde eine gute Übereinstimmung der Resultate mit der Situation vor Ort festgestellt und die restlichen Regionen wurden mit der gleichen Methodik modelliert. Es wurden keine manuellen Korrekturen der Modellierungsergebnisse durchgeführt.

5 Resultate Kanton Luzern

5.1 Bedeutung und Grenzen der Resultate

Die Modellierung wurde flächendeckend über den gesamten Kanton Luzern durchgeführt. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft ausgewählt Resultate. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf Faktoren gelegt, welche bei der Interpretation der Karte berücksichtigt werden müssen. Der Zielmassstab der Oberflächenabflusskarte liegt im Bereich 1:10'000 – 1:15'000. Um einzelne Sachverhalte besser erklären zu können, sind die Resultate in den folgenden Abbildungen oft in einem zu grossen Massstab dargestellt.

Wasseraustritte aus Gewässern werden in der Oberflächenabflusskarte nicht abgedeckt. D.h. Oberflächenwasser, welches ein Gewässer erreicht, verlässt dieses nicht mehr. Eine allfällige Gefährdung ausgehend vom Gerinneabfluss wird über die Gefahrenkarte resp. Gefahrenhinweiskarte Wasser abgedeckt. Abbildung 10 zeigt gut wie Oberflächenabfluss, welches ein Gewässer erreicht (blau dargestellt), in diesem „verschwindet“.

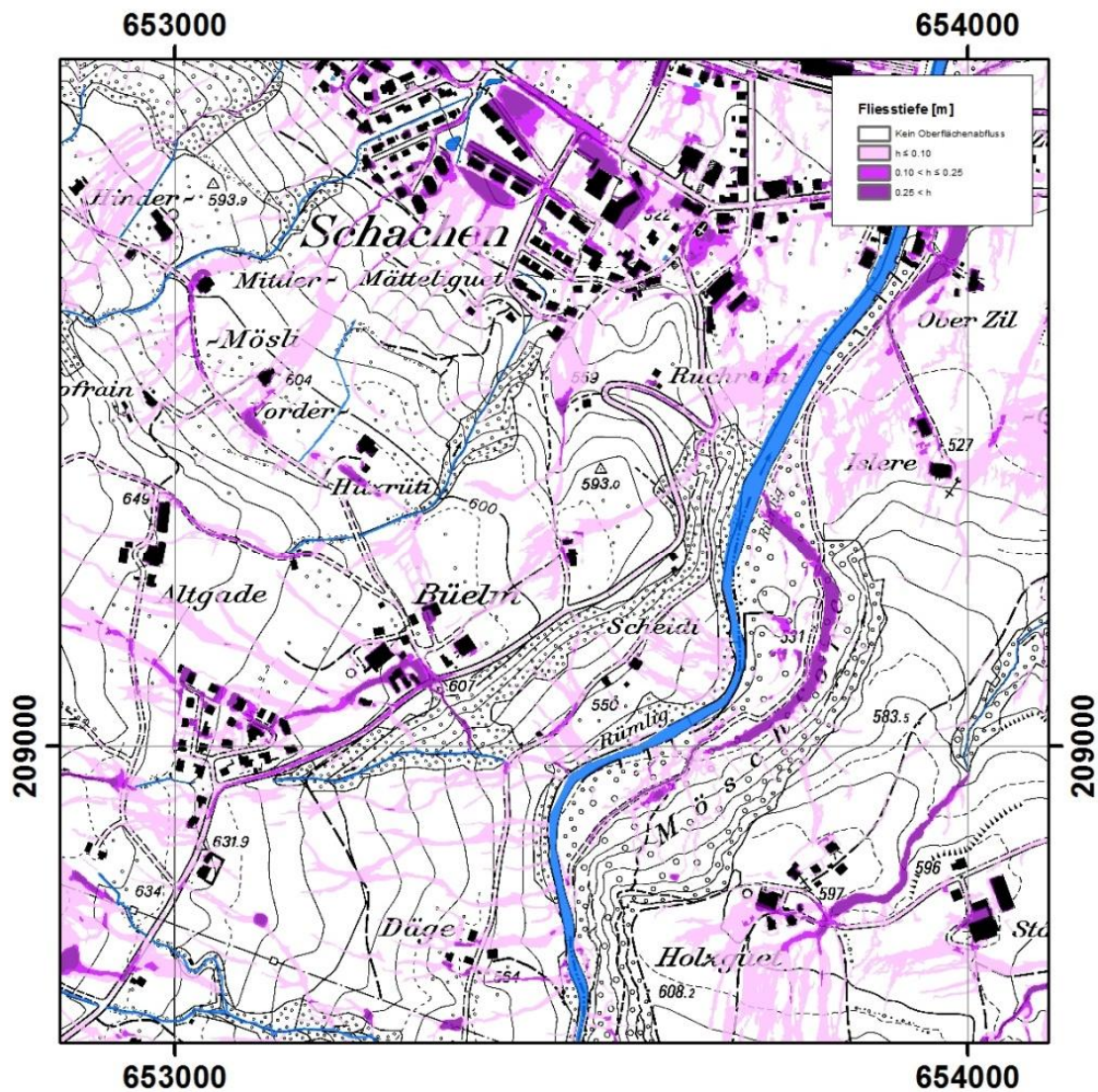


Abbildung 10: Modellierungsergebnis südlich von Schachen: Durch in der Modellierung berücksichtigte Gewässer (blau dargestellt) wird Oberflächenwasser abgeführt. Wasseraustritte aus diesen Gewässern werden durch die Gefahrenkarte resp. Gefahrenhinweiskarte Wasser abgedeckt. (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern)

Bedingt durch die angewandte Methodik (vgl. Kapitel 4.7) können auf der Karte ausgeschiedene Abflusswege teilweise unterbrochen sein. Dies liegt darin begründet, dass bei einem flächigen Niederschlag eine Grenze zwischen einer „nassen“ und einer von Oberflächenabfluss betroffenen Fläche gezogen werden muss. So können – z.B. wenn ein Abflussweg breiter wird und damit die Wassertiefe sinkt – Lücken auftreten. Ein automatisiertes Zusammenführen dieser Fließwege war nicht möglich.

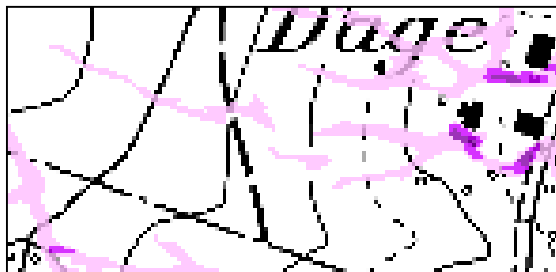


Abbildung 11: Durch die angewandte Methodik können auf der Oberflächenabflusskarte Fließwege unterbrochen sein (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern)

Die Absenkung der Strassen war aufgrund der Datengrundlagen nur zusammen mit den befestigten Flächen möglich. In einigen Fällen kann dies – wie zum Beispiel im Leichtathletik Stadion von Luzern – zu erhöhten Abflusstiefen auf befestigten Flächen führen. Es wurde keine manuelle Bereinigungen der Modellierungsergebnisse durchgeführt. Weiter muss berücksichtigt werden, dass in der Modellierung die Siedlungsentwässerung nicht berücksichtigt worden ist.

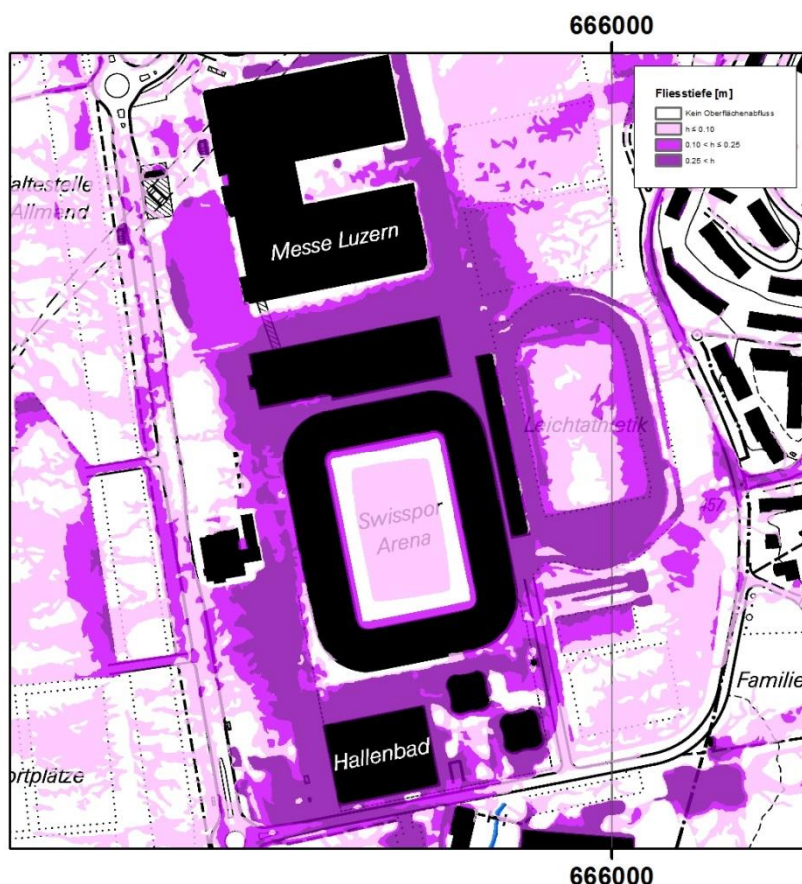


Abbildung 12: Oberflächenabfluss-Modellierung im Bereich der Allmend Luzern. Durch die generelle Absenkung von Strassen und befestigten Flächen können Fehler entstehen. Diese wurden nicht manuell korrigiert (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern).

Trotz Aufbereitung des Terrainmodells sind teilweise Ackerstrukturen im Modellierungsergebnis erkennbar. Diese leiten die Abflusswege des Oberflächenabflusses und beeinflussen damit das Resultat. Wie weit diese Strukturen mit der Realität übereinstimmen, muss im Gelände geprüft werden.

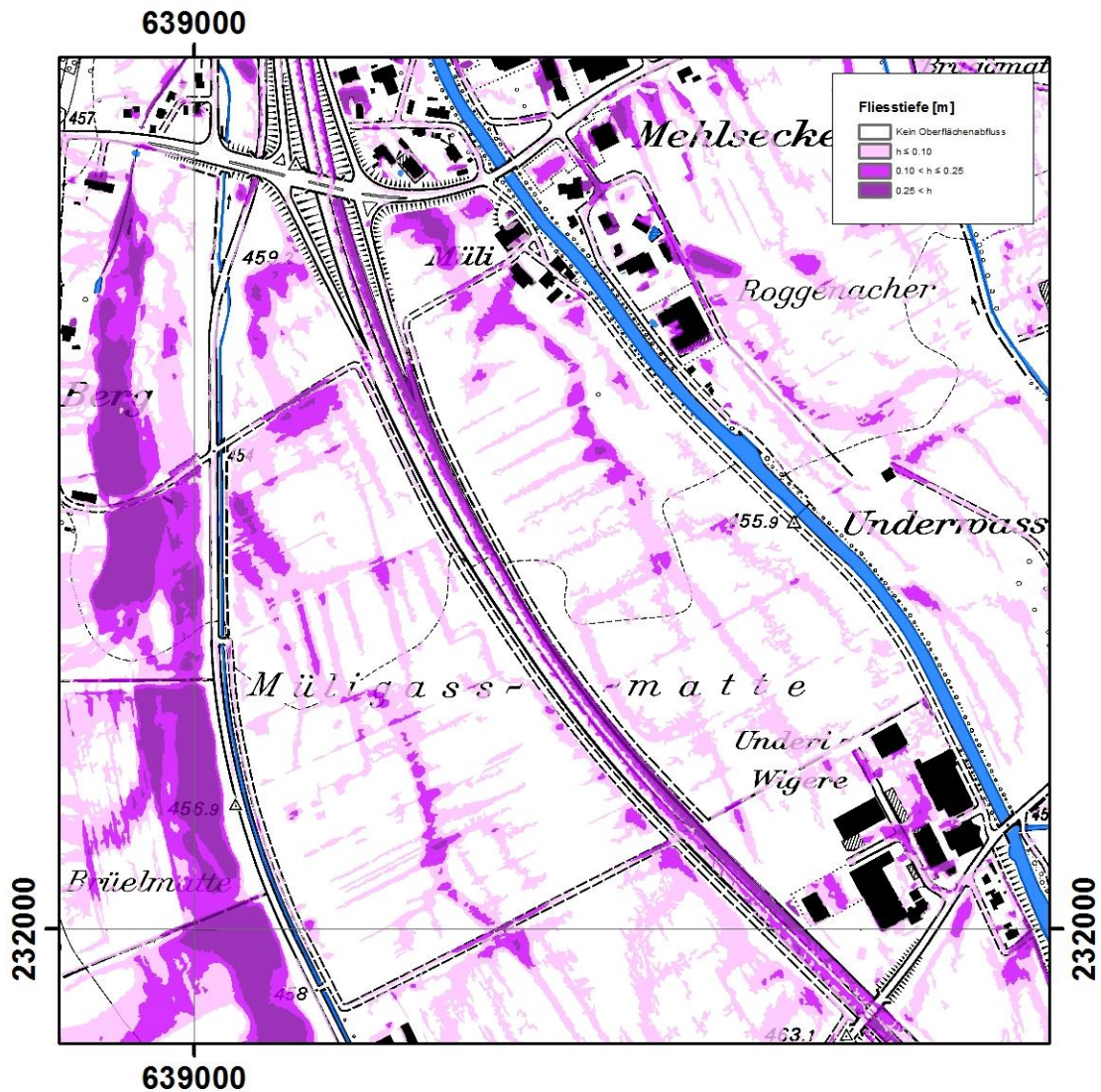


Abbildung 13: Im Terrainmodell abgebildete Ackerstrukturen beeinflussen die Flieswege vom Oberflächenabfluss. (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern).

Aufgrund der vielen im Terrainmodell nicht erfassten Kleinstrukturen sind die Resultate in Siedlungszentren mit Vorsicht zu interpretieren. Die Siedlungsentwässerung ist in den Modellierungen nicht berücksichtigt. Diese kann im Siedlungsraum eine wichtige Rolle spielen.



Abbildung 14: In Siedlungszentren ist die Genauigkeit der Oberflächenabflusskarte limitiert. Bei der Modellierung wurde die Siedlungsentwässerung nicht berücksichtigt. (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern).

An Siedlungsrändern sind die Hauptabflusswege gut erkennbar. Dies zeigt Abbildung 15 an den Beispielen Tannberg (oben) und Eschenbach (unten).

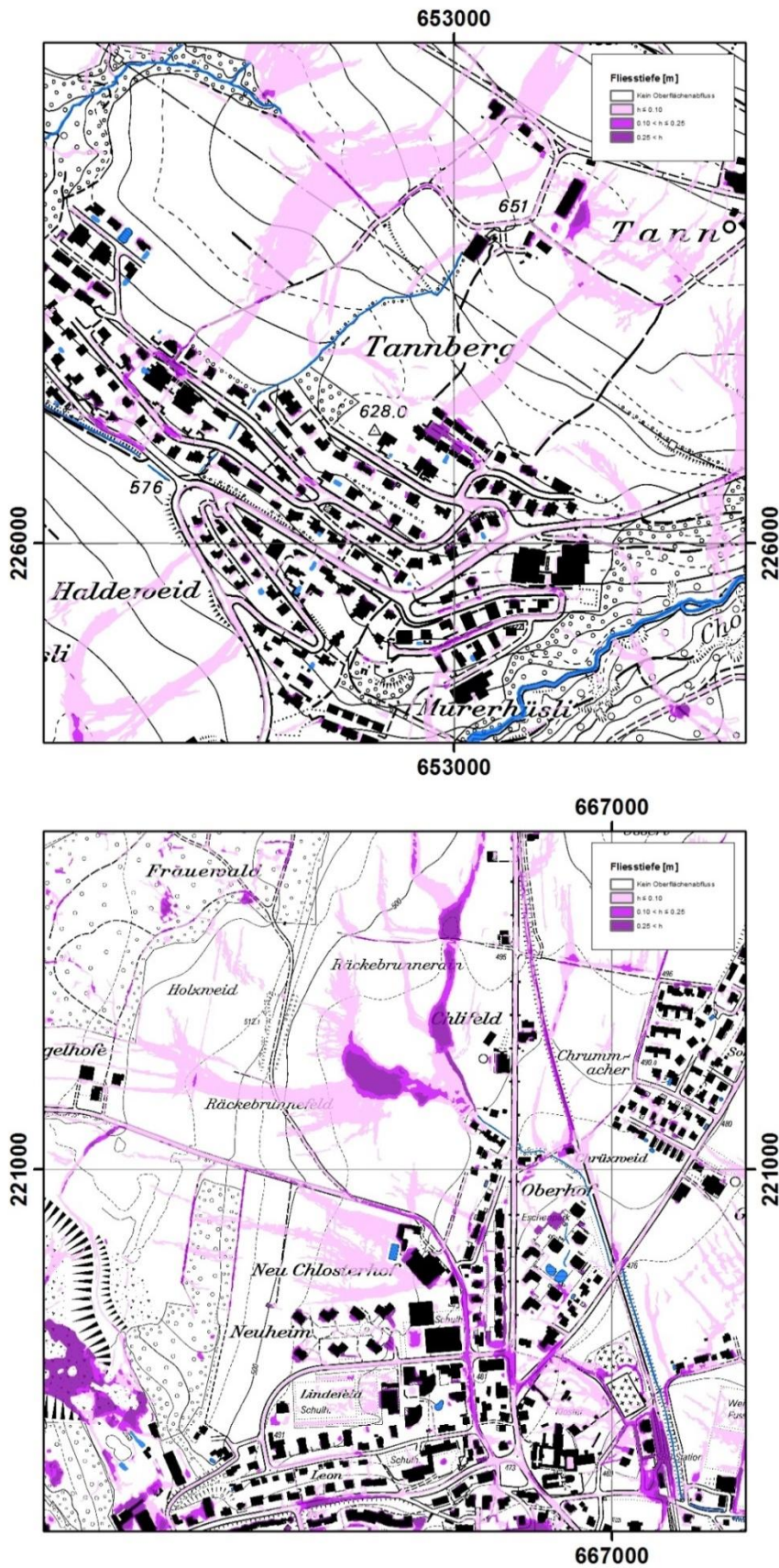


Abbildung 15: Oberflächenabflusskarte in den Gebieten Tannberg (oben) und Eschenbach (unten). Im Landwirtschaftsland und an den Siedlungsrändern sind die Hauptabflusswege gut erkennbar. (Kartenhintergrund: UP10 © GIS Kanton Luzern).

5.2 Produkte

Für die Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern wurden folgende Produkte erstellt:

- Technischer Bericht: Dokumentiert die angewandte Methodik
- 38 Kartenblätter „Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss“ im Massstab von 1:12'500. Die Kartenblätter sind dem Bericht auf einer CD im PDF-Format beigelegt und decken den gesamten Kanton Luzern ab.
Das verwendete Darstellungsmodell ist im Anhang B dokumentiert.
- Digitale Daten: Die modellierten Fliesstiefen wurden in Anlehnung an das Datenmodell Gefahrenkartierung vom Bundesamt für Umwelt BAFU gemäss dem in Anhang C dokumentierten Modell aufbereitet und digital als FeatureClass abgegeben.

6 Fazit

Mit der Oberflächenabflusskarte steht der Gebäudeversicherung, privaten Sachversicherungen, Behörden, Bauherren, Planer oder Ingenieure im Kanton Luzern ein Instrument zur Verfügung, welches flächendeckend wertvolle Hinweise über eine mögliche Gefährdung durch Oberflächenabfluss liefert. Sie stellt eine Ergänzung zu den bestehenden Gefahrengrundlagen dar.

Bei der Anwendung muss beachtet werden, dass die Oberflächenabflusskarte als Hinweiskarte mit einem Massstab 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.

Generell sind die Hauptabflusswege an Siedlungsrändern und im Landwirtschaftsgebiet zuverlässig abgebildet. Innerhalb von Siedlungen nimmt die Zuverlässigkeit ab, da zahlreiche Kleinstrukturen (Randsteine, Mauern etc.) die Fliesswege beeinflussen können. Terrainveränderungen und/oder Neubauten können die Fliesswege von Oberflächenwasser ebenfalls beeinflussen. Bei Verwendung der Oberflächenabflusskarte sind daher die Befunde der Oberflächenabflusskarte vor Ort zu plausibilisieren und interpretieren.

Bern, 7. Dezember 2015






geo7 AG

Anhang A Klassierung der Bodenbedeckung

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 humusierte 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	Befestigte Flächen	2
22	Gletscher, Firn	Befestigte Flächen	2
23	Geröll, Sand	Wald	7
24	Abbau, Deponie	Befestigte Flächen	2
25	Übrige vegetationslose Fläche	Landwirtschaft	3

Anhang B Darstellungsmodell Kartographie

Folgendes Darstellungsmodell wurde bei der kartographischen Umsetzung verwendet:

Klasse Fliesstiefe [h]		Farbe RGB
$0 < h \leq 0.1$		255 / 189 / 255
$0.1 < h \leq 0.25$		204 / 0 / 255
$0.25 < h$		132 / 0 / 168
in der Modellierung berücksichtigte Gewässer		
Fließgewässer/ kleine stehende Gewässer		0 / 122 / 255
Seen		151 / 219 / 242

Anhang C Digitale Daten

Die Resultate wurden in Anlehnung an das Datenmodell Gefahrenkartierung vom Bundesamt für Umwelt BAFU gemäss folgendem Modell aufbereitet und digital als FeatureClass abgegeben:

Attribut	Datentyp	Wertebereich/ Beschreibung										
OBJECTID	Object ID	Eindeutige Identifikationsnummer										
Shape	Geometrie	Polygon										
Kommentar	Text (50)	Der Anwendungsmassstab ist > 1:10'000										
Spezialprozess	Text (30)	Oberflächenabfluss Gewässer (in der Modellierung berücksichtigt)										
Jaehrlichkeit	Short Integer	100j										
UE_Tiefe_UG	Double	Untergrenze des Bereichs, in welchem die modellierte Überschwemmungstiefe in [m] liegt: <table border="1"> <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>99</td> <td>Gewaesser</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	99	Gewaesser
UE_Tiefe_UG	Klasse Fliesstiefe [h]											
0	0 < h ≤ 0.1											
0.1	0.1 < h ≤ 0.25											
0.25	0.25 < h											
99	Gewaesser											
UE_Tiefe_OG	Double	Obergrenze des Bereichs, in welchem die modellierte Überschwemmungstiefe in [m] liegt: <table border="1"> <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>99</td> <td>Gewaesser</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	99	Gewaesser
UE_Tiefe_OG	Klasse Fliesstiefe [h]											
0.1	0 < h ≤ 0.1											
0.25	0.1 < h ≤ 0.25											
<null>	0.25 < h											
99	Gewaesser											
Methode	Text (60)	Methode geo7 AG, vgl. Bericht OFA Kanton Luzern 2015										
Autor	Text (10)	geo7 AG										
Erstellungsdatum	Date	10.12.2015										