



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Wasserbau / Planung
Walcheplatz 2
8090 Zürich

Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich

Dokumentation

Impressum

Projektbearbeitung

geo7 AG, geowissenschaftliches Büro

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

Dr. Andy Kipfer
Nataschia von Wattenwyl
Alice Zaugg
Sibylle Wilhelm

Änderungskontrolle

Version	Datum	Name / Stelle	Bemerkungen
0.1	23.09.2024	geo7	Entwurf
1.0	11.04.2025	geo7	Finale Version

geo7-Bericht

Technische Änderungen vorbehalten

© Copyright 2024 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	2
2	Untersuchungsgebiet	2
3	Methodik Simulation Oberflächenabfluss	4
3.1	Allgemeines	4
3.2	Aufbereitung Grundlagedaten	5
3.2.1	Niederschlag	5
3.2.2	Gewässer	7
3.2.3	Bodenbedeckung	7
3.2.4	Terrainmodell.....	9
3.2.5	Abflusskoeffizient.....	10
3.2.6	Rauigkeit.....	14
3.3	Unterführungen	15
3.4	Simulation	16
4	Aufbereitung Abgabedaten	17
4.1	Fliesstiefen	17
4.2	Fliessrichtungen	18
5	Resultate.....	19
5.1	Fliesstiefen	20
5.2	Fliessrichtungen	23
5.3	Einordnung und Grenzen der Modellierungen	25
5.3.1	Siedlungsränder	25
5.3.2	Kleinstrukturen und Siedlungsentwässerung	26
5.3.3	Unterführungen	28
5.3.4	Gewässer	30
5.3.5	Wald	31
5.3.6	Unterbrochene Abflusswege	32
5.3.7	Aufbereitung Terrainmodell.....	33
5.3.8	Wenig strukturierte Topografie	34
5.3.9	Abgrenzung zur Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz	35

6	Produkte	37
6.1	Bericht.....	37
6.2	Geodaten	37
7	Fazit.....	38
	Verzeichnisse	39
	Literaturverzeichnis	39
	Geodaten.....	40
	Anhang	
Anhang A	Klassierung der Bodenbedeckungsdaten	41
Anhang B	Beschrieb Abgabedaten	45

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 Oberflächenabfluss für rund 50% der Schadenfälle durch Wassergefahren verantwortlich ist (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. Als Grundlage für die Gefahrenbeurteilung hat geo7 eine Methode entwickelt, um die Modellierung von Oberflächenabfluss nach einheitlichen Kriterien über grosse Gebiete zu berechnen und diese für die ganze Schweiz angewandt [3].

Die daraus resultierende Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz wurde von geo7 im Auftrag vom Bundesamt für Umwelt BAFU, dem Schweizerischen Versicherungsverband SVV und der Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen VKG erarbeitet und 2018 veröffentlicht [3]. Diese Karte deckt das gesamte Landesgebiet ab und hat sich als wichtige Arbeitsgrundlage für zahlreiche Akteure etabliert.

Allerdings bildet die bestehende Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz (2018, [3]) nicht mehr überall den aktuellen Stand ab. Dies zeigt sich z.B. in folgenden Bereichen:

- Bei der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz wurde für den Kanton Zürich als Basis das Terrainmodell des Kantons Zürich mit einer Auflösung von 0.5 m mit Nachführungsstand 2014 verwendet [3]. Bereits kleine Geländeänderungen können die Fliesswege des Oberflächenabflusses markant beeinflussen. Die Verwendung eines möglichst aktuellen und detaillierten Terrainmodells trägt stark zur Güte einer Oberflächenabflussmodellierung bei.
- Oberflächenabflussströme werden nicht nur durch Geländeänderungen, sondern auch durch Fliesshindernisse wie Neubauten massgebend beeinflusst. Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz basiert auf Amtlichen Vermessungs- und TLM-Daten aus dem Jahr 2016 [3] und bildet damit nicht mehr den aktuellen Stand ab.
- Der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz ist keine explizite Jährlichkeit zugeordnet, was die Dimensionierung von Objektschutz-Massnahmen basierend auf dieser Grundlage schwierig macht.
- Die Modellierung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz wurde auf einem 1 m Raster gerechnet [3]. Dies führte dazu, dass man beispielsweise Verkehrswege absenken musste, um deren Leitwirkung auf Fliesswege möglichst gut berücksichtigen zu können.
- Unterführungen wurden bei der Berechnung der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss [3] nicht berücksichtigt. Diese können je nach räumlichen Gegebenheiten zu Rückstau und Seenbildung führen.

Die geo7 AG wurde vom Kanton Zürich beauftragt, eine aktuelle Hinweiskarte Oberflächenabfluss zu erstellen. Die Methodik soll sich grundsätzlich an der für die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz angewandten Methode [3] anlehnen und zusätzlich neue Erkenntnisse berücksichtigen. Die Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich soll zudem mehrere Jährlichkeiten abbilden, weshalb sowohl ein 100-jährliches als auch ein 30-, 300- und 1'000-jährliches Ereignis modelliert wird.

1.2 Zielsetzung und Abgrenzung

Für den Kanton Zürich soll flächendeckend eine Hinweiskarte Oberflächenabfluss auf der Basis aktueller Datengrundlagen erstellt werden. Die Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich soll folgende Geodaten enthalten:

- Klassierte Fliesstiefen für die Jährlichkeiten T_{30} , T_{100} , T_{300} und T_{1000}
- Fliessrichtungen für die Jährlichkeiten T_{30} , T_{100} , T_{300} und T_{1000}

Die Geodaten zeigen im Zielmassstab 1:12'500 die Fliesswege des Oberflächenabflusses, die betroffenen Flächen und die zu erwartenden Fliesstiefen (klassiert) und Fliessrichtungen auf. Damit handelt es sich um Produkte auf Stufe Hinweis: Sie geben einen Hinweis auf eine mögliche Gefährdung, können aber eine detaillierte Gefahrenbeurteilung vor Ort auf Stufe Gefahrenkarte nicht ersetzen.

Die Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich wird anhand von Oberflächenabflussmodellierungen erstellt. Die Methodik orientiert sich am Vorgehen der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz [3], enthält aber einige Verbesserungen insbesondere bezüglich der Datengrundlage und -aufbereitung, sowie bei der Wahl der Modellparameter. Die Modellierungen erfolgen pro Jährlichkeit (30-, 100-, 300-, und 1000-jährlich) mit einer Rasterauflösung von 0.5 m. Dank der hohen Auflösung ist eine Absenkung der Verkehrswege nicht mehr nötig. Zudem führt die Verwendung aktueller Datengrundlagen zu einer verbesserten Wiedergabe der Fliesswege.

Eine Gefährdung, welche durch Fliessgewässer oder stehende Gewässer ausgeht, wird in der Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich nicht berücksichtigt. Diese Gefährdungen werden durch die kantonalen Gefahrengrundlagen zu Hochwasserprozessen abgebildet. Schutzbauwerke sind in den Modellierungen nicht berücksichtigt, sofern sie nicht im Terrainmodell abgebildet sind. Die Wirkung von Unterführungen auf einen Fliessweg wurde im Gegensatz zu den Modellierungen der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz [3] vielerorts berücksichtigt.

Die Siedlungsentwässerung wird in den Modellierungen nicht explizit berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass diese bei den betrachteten Szenarien bereits ausgelastet ist. Wasserabläufe entlang von Strassen und andere Elemente der Siedlungsentwässerung werden deshalb in den Modellierungen nicht berücksichtigt. Weiter werden unterirdische Wasserflüsse nicht modelliert. Allerdings wird angenommen, dass das Dachwasser vollständig von der Siedlungsentwässerung aufgenommen werden kann, weshalb die Dachflächen in den Modellierungen nicht beregnet werden und somit nicht zum Oberflächenabfluss beitragen.

2 Untersuchungsgebiet

Die Oberflächenabflussmodellierung umfasst den gesamten Kanton Zürich. Innerhalb des Kantons gibt es bezüglich Topografie, Geologie, Boden und den klimatischen Verhältnissen grosse Unterschiede. Deshalb wurde der Kanton Zürich für die Modellierung in 17 Modellierungsregionen aufgeteilt. Jede Region weist spezifische Niederschlagsszenarien auf (vgl. Kapitel 3.2.1). Weitere wichtige Eingabeparameter für die Modellierung (Terrainmodell, Bodenbedeckung etc.) werden sehr kleinräumig pro Berechnungsrasterzelle (0.5 m x 0.5 m) festgelegt. Die Grenzverläufe zwischen den Regionen wurden wo möglich entlang von Wasserscheiden oder Gewässern gelegt, damit ein Zusammensetzen der Resultate gut möglich ist. Beim Erstellen der Regionen wurde zudem darauf geachtet, dass das gesamte Einzugsgebiet des Oberflächenabflusses abgedeckt ist. Dies führt dazu, dass die Regionen über die Kantonsgrenze hinausragen. Um Fehler in den Randbereichen zu vermeiden, wurden die Regionen zudem auf 500 m überlappend modelliert.

Abbildung 1 zeigt die berücksichtigten Modellierungsregionen, welche Flächen zwischen ca. 40 km² (Region 13) und fast 250 km² (Region 9) aufweisen.

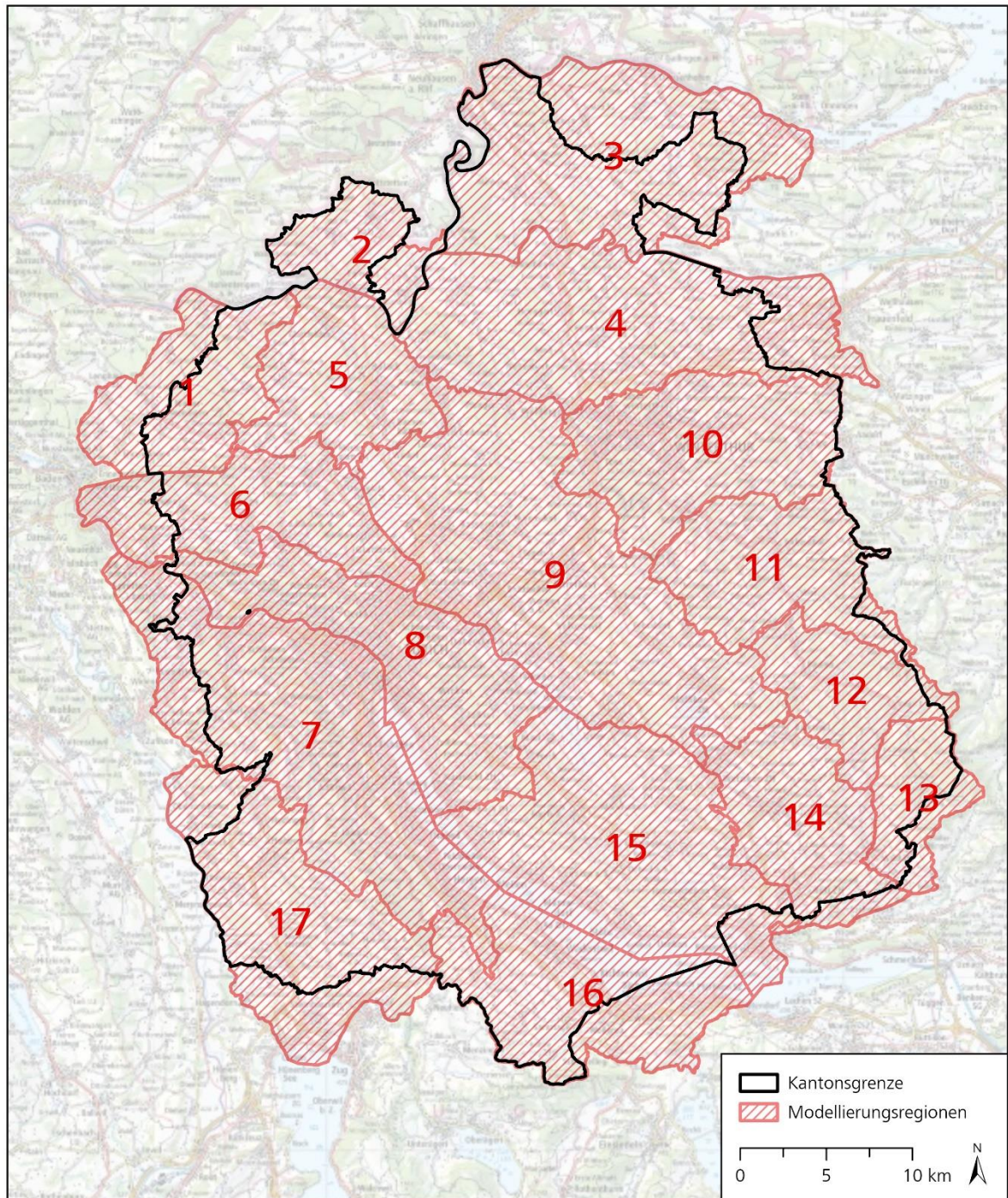


Abbildung 1: Aufteilung des Kantons Zürich in Modellierungsregionen. Die Zahlen bezeichnen die Regionsnummern (Quelle Kartenhintergrund und Kantonsgrenze: Bundesamt für Landestopografie).

3 Methodik Simulation Oberflächenabfluss

3.1 Allgemeines

Für die Modellierung der Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich wurde das Programm FloodArea^{HPC} (vgl. [9]) verwendet. Das Programm ermöglicht die Berechnung von Überschwemmungsbereichen ausgehend von einer Beregnung (flächige Einspeisung von Niederschlagswasser). Folgende Modellgrundlagen wurden für die Modellierung aufbereitet und verwendet:

- *Niederschlag:*
Die Beregnung erfolgte zeitlich variabel über Niederschlagsganglinien.
- *Höhenmodell:*
Als Grundlage für die Modellierungen diente das Höhenmodell des Kantons Zürich 2022 [15]. Darin wurden die Gebäude als Fließhindernisse und Gewässer als Senken hinterlegt.
- *Abflusskoeffizient:*
Der Einfluss der Bodenbedeckung und Bodeneigenschaften wurde in den Modellierungen mittels Abflusskoeffizienten abgebildet. Dies bedeutet, dass je nach Infiltration und Speichervirkung des Bodens die Beregnung entsprechend reduziert wird. Als Grundlage diente die Amtliche Vermessung des Kantons Zürich [13] und das swissTLM^{3D} [19] für die Bestimmung der Bodenbedeckung sowie die OpenLandMap [18] zur Bestimmung der Bodeneigenschaften.
- *Rauigkeit:*
Die Rauigkeit des Untergrundes beeinflusst insbesondere die Fließgeschwindigkeit des oberflächlich abfließenden Wassers und wurde anhand der Bodenbedeckung (Amtliche Vermessung [13] und swissTLM^{3D} [19]) bestimmt.
- *Unterführungen:*
Unterführungen werden in der Modellierungsumgebung berücksichtigt, indem an diesen Stellen Zu- und Ausflussspunkte sowie maximale Durchflussmengen und die Durchflussrichtung definiert werden. Dadurch wird das Wasser von A nach B geführt. Zudem kann das Wasser mit dieser Methodik ganz dem System entnommen werden (Details s. Kapitel 3.3). Als Grundlage diente das swissTLM^{3D} [19] und der Kunstbauten-Datensatz des Kantons Zürich [17].

Die Datenaufbereitung erfolgte gemäss den Ausführungen in Kapitel 3.2.

Anschliessend an die Grundlagenaufbereitung wurden die Überschwemmungsbereiche in FloodArea^{HPC} modelliert (Details s. Kapitel 3.4). FloodArea^{HPC} beruht auf einem vereinfachten hydraulischen 2D-Modell. Gegenüber von komplexen hydraulischen Strömungsmodellen (z.B. BASEMENT oder Hydro-AS 2D) sind die hydraulischen Prozesse einfacher parametrisiert und die verwendeten Algorithmen robust. Dies erlaubt die Modellierung von kleinen Abflusstiefen (< 5 cm) ohne numerische Schwierigkeiten.

Abschliessend werden die Resultate aufbereitet und die finalen Lieferprodukte erstellt (Details s. Kapitel 6.2). Zu den finalen Produkten zählen die Überschwemmungsbereiche und die dazugehörigen Fliesstiefen, sowie die Fließrichtungen pro Jährlichkeit (Details s. Kapitel 6.2).

Die Abbildung 2 zeigt das Vorgehen zur Erstellung der Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich schematisch auf.

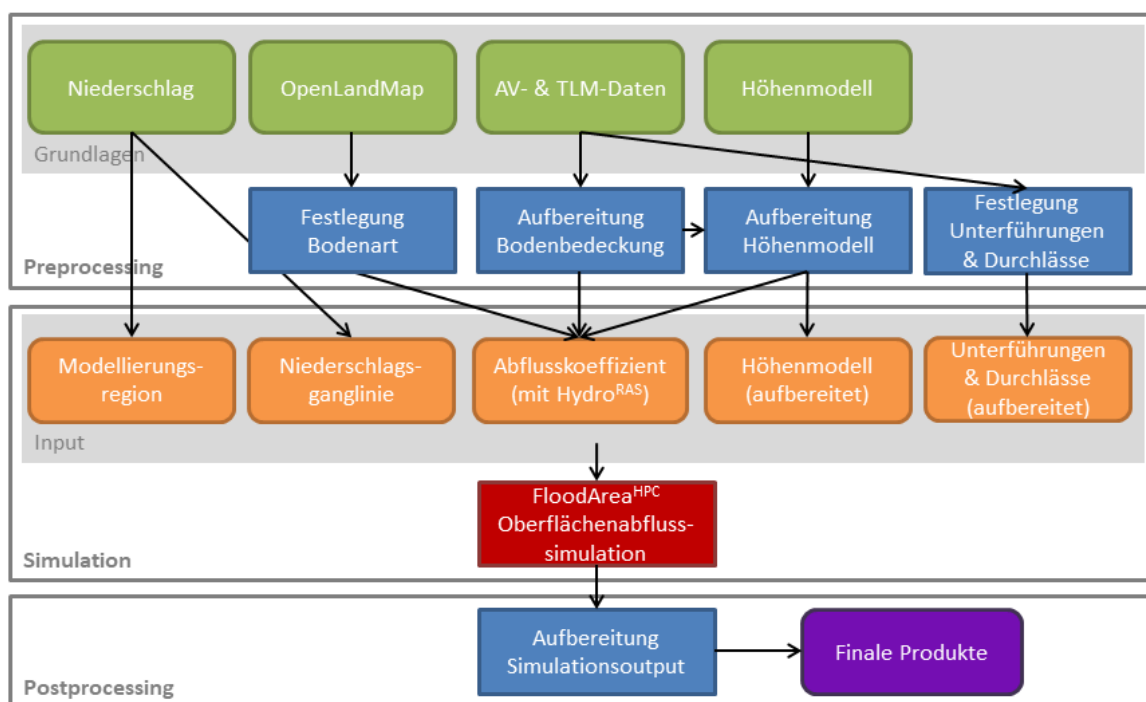


Abbildung 2: Schematisches Vorgehen bei der Oberflächenabfluss-Simulation für die Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich.

3.2 Aufbereitung Grundlagedaten

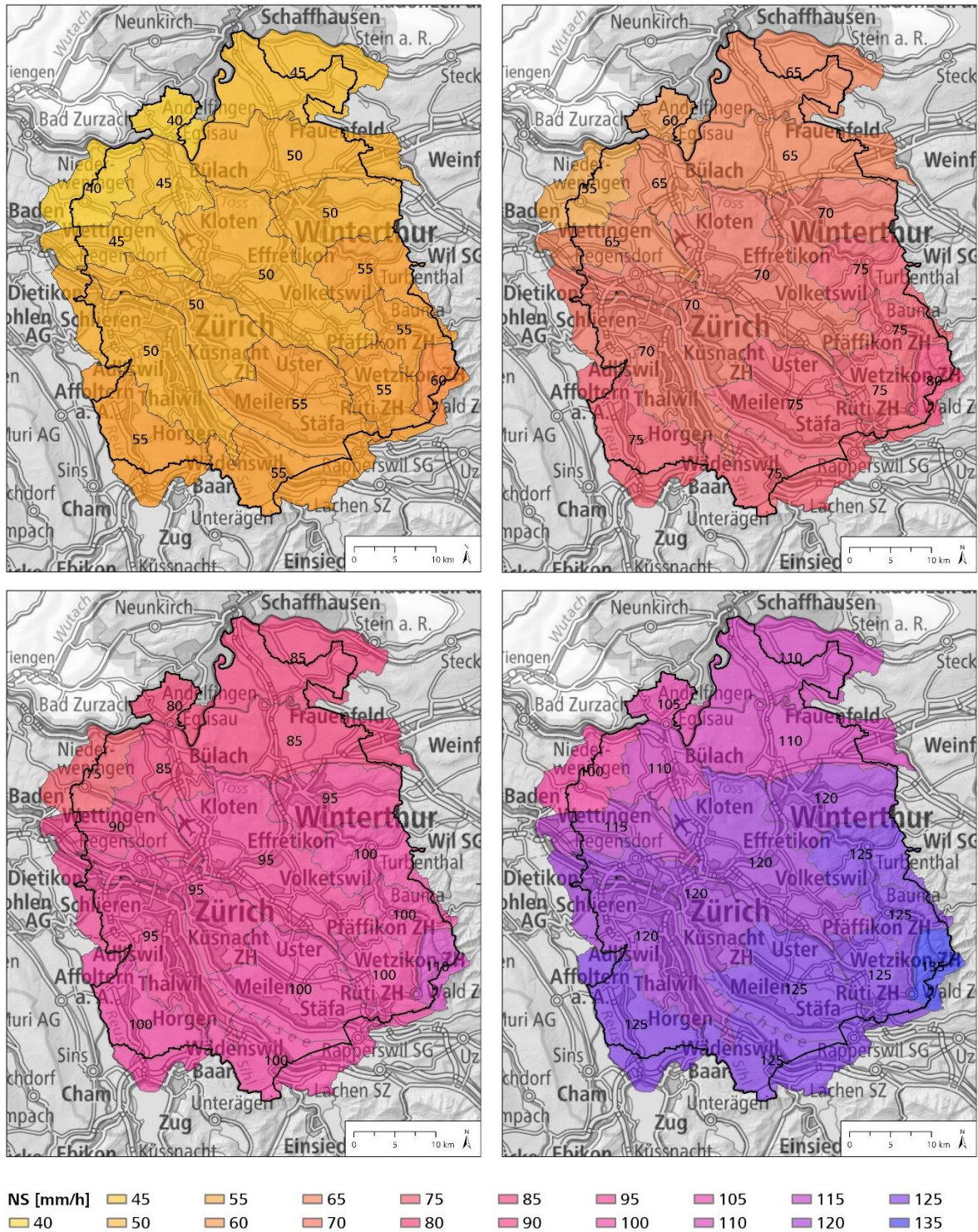
3.2.1 Niederschlag

Als Grundlage für die Modellierungen werden Niederschlagsszenarien benötigt, wobei vier Szenarien betrachtet werden: ein 30-jährliches Ereignis (T_{30}), 100-jährliches Ereignis (T_{100}), 300-jährliches Ereignis (T_{300}) und ein 1'000-jährliches Ereignis (T_{1000}). Für jede Modellierungsregion (vgl. Kapitel 2) wurde anhand [2] und [6] ein massgebender einstündiger Niederschlag pro Szenario festgelegt (s. Abbildung 3).

Basierend auf [7] wurde aus den Niederschlagsmengen pro Szenario eine Niederschlagsganglinie (in 5-Minuten Zeitschritten) abgeleitet. Die resultierenden Ganglinien sind anfangsbetont, wobei die prozentuale Verteilung für alle Szenarien identisch ist (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Prozentuale Verteilung der Niederschlagsmenge pro 5-Minuten gemäss [7].

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 (Abbildung 3) und deren Verteilung über die Berechnungsdauer gemäss Tabelle 1. Die Abbildung 4 zeigt exemplarisch die verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm/h (z.B. Modellierungsregion 5, 30-jährliches Szenario).

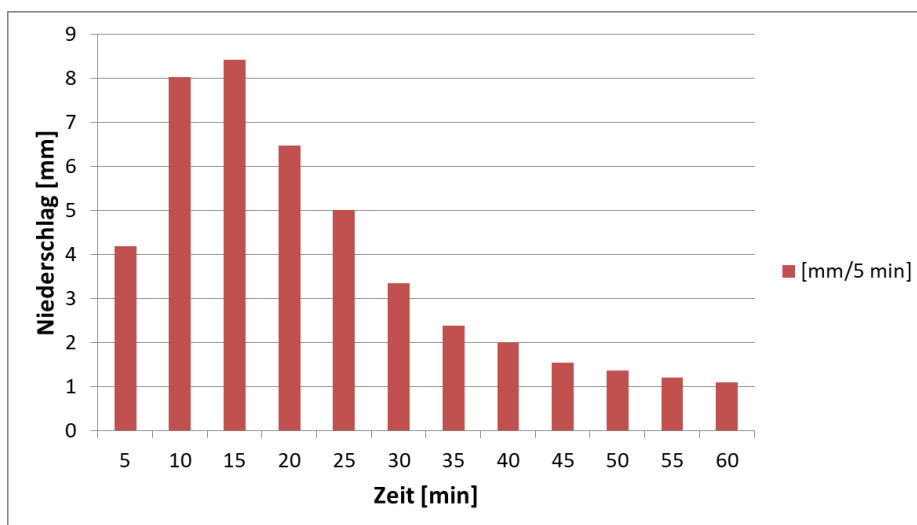


Abbildung 4: Für die Modellierung verwendete Niederschlagsganglinie bei einer Niederschlagsmenge von 45 mm/h (z.B. Region 5, 30-jährliches Ereignis).

3.2.2 Gewässer

Die von Gewässern ausgehende Gefährdung wird durch die Gefahrenkarte Hochwasser abgedeckt und soll deshalb im Produkt Hinweiskarte Oberflächenabfluss nicht abgebildet werden. Fliesst Wasser oberflächlich in ein Gewässer, ist es für die Modellierung des Oberflächenabflusses nicht mehr relevant. Ein Austreten des Wassers aus dem Gerinne wurde unterbunden, indem die Gewässerflächen als unendlich tiefe Senken im Modell abgebildet wurden (s. Kapitel 3.2.4). Die Gewässerflächen wurden aus der Amtlichen Vermessung (AV) des Kantons Zürich [13] übernommen (s. Kapitel 3.2.3). Eingedolte Gewässer wurden nicht berücksichtigt und entsprechend nicht abgesenkt.

3.2.3 Bodenbedeckung

Die Bodenbedeckung wird einerseits zur Aufbereitung des Terrainmodells (vgl. Kapitel 3.2.4), andererseits für die Bestimmung des Abflusskoeffizienten und der Rauigkeit verwendet (vgl. Kapitel 3.2.5 und Kapitel 3.2.6).

Als Grundlage diente der Datensatz der Amtlichen Vermessung (AV) des Kantons Zürich [13]. Die Bereiche ausserhalb des Kantons wurden mit Hilfe der swissTLM^{3D}-Daten des Bundesamtes für Landestopografie [19] und des Datensatzes «Bauzonen Schweiz harmonisiert» des Bundesamtes für Raumentwicklung [14] ergänzt.

Die Klassen des AV-Bodenbedeckungsdatensatzes sowie die swissTLM^{3D}-Daten und der Datensatz «Bauzonen Schweiz harmonisiert» wurden zu 14 Bodenbedeckungstypen gruppiert (s. Tabelle 2). Die Zuordnung ist im Anhang A detailliert beschrieben.

Der resultierende klassierte Bodenbedeckungsdatensatz wurde anschliessend von einem Vektor in einen Rasterdatensatz umgewandelt. Bei der Umwandlung wurden die verschiedenen Bodenbedeckungstypen unterschiedlich gewichtet (s. Tabelle 2), damit in Fällen, wo unterschiedliche Polygone eine Rasterzelle abdecken, eine eindeutige Zuordnung vorgenommen werden konnte. Beispielsweise werden befestigte Flächen oder Gewässer stark gewichtet, damit diese Bodenbedeckungstypen möglichst zusammenhängende Rasterflächen bilden.

Tabelle 2: Klassen der Bodenbedeckungstypen und die allgemeine Umsetzung in der Modellierung, sowie deren Gewichtung (Grosse Nummer = starke Gewichtung) bei der Umwandlung in einen Rasterdatensatz.

Typ	Umsetzung bei der Modellierung	Gewichtung
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 die Gefahrenkarte Wasser abgedeckt sein.	14
Befestigte Flächen (z.B. Verkehrswege)	Auf befestigten Flächen trägt der gesamte Niederschlag zum Abfluss bei, da keine Infiltration stattfindet. Verkehrswege wirken oft als Leitbahnen für Oberflächenabfluss.	13
Schienen	Die Speicherwirkung auf Bahnarealen wird über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.2.5).	12
Weinanbau und Obstanbau	Die Speicherwirkung des verschiedenen Landwirtschaftsflächen wird über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.2.5).	11
Ackerland		10
Grünland	Die Speicherwirkung übriger Grünflächen wird über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.2.5).	9
Moore und Marschland		6
Grünflächen Siedlungsgebiete	Die Speicherwirkung von Grünflächen innerhalb der Siedlungsgebiete (z.B. Gartenanlagen, Hausumschwung) wird über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.2.5).	8
Gebäude	Gebäude werden als Hindernisse in die Modellierung integriert und es erfolgt keine Beregnung der Dachflächen.	7
Wald	Die Infiltration und Speicherwirkung des Waldbodens werden über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.2.5).	5
Brachland	Die Speicherwirkung vegetationsloser Flächen wird über eine Reduktion des Niederschlags ins Modell integriert (vgl. auch Kapitel 3.2.5).	4
Strand		3
Bergbau und Deponien		2
Fels	Auf Felsflächen trägt der gesamte Niederschlag zum Abfluss bei, da keine Infiltration stattfindet.	1

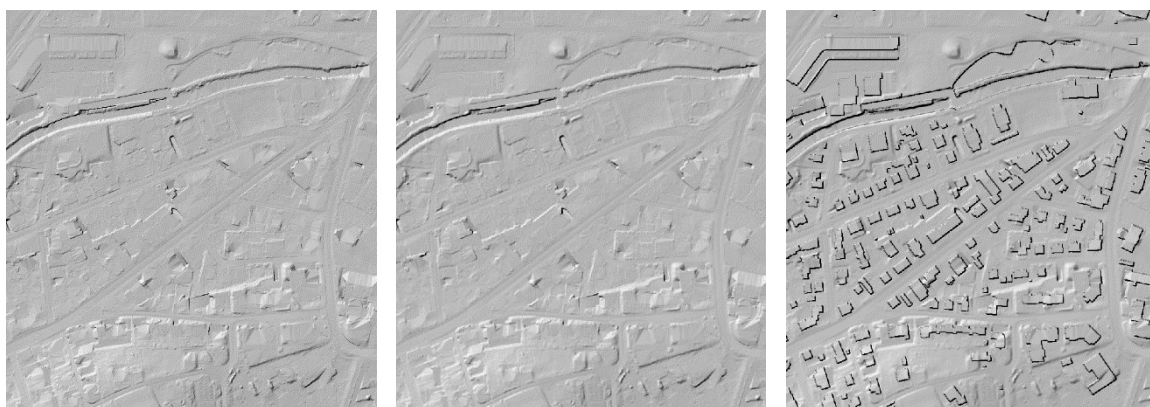
3.2.4 Terrainmodell

Als digitales Terrainmodell (DTM) wurde das Höhenmodell des Kantons Zürich 2022 [15] verwendet. Für ein möglichst optimales Resultat der Modellierungen wurde das DTM gemäss der Tabelle 3 aufbereitet.

Tabelle 3: Arbeitsschritte zur Aufbereitung des Höhenmodells.

Arbeitsschritt	Beschreibung
Aggregation & Glättung	Das kantonale Höhenmodell liegt mit einer Rasterauflösung von 0.25 m vor. In räumlich hoch aufgelösten Terrainmodellen können aufgrund der Oberflächenstruktur Höhenunterschiede einzelner benachbarter Rasterzellen auftreten, welche in der Realität weniger stark ausgeprägt sind und in den Modellierungen ein Rauschen verursachen. Um diese Effekte zu vermindern, wurde das Höhenmodell auf 0.5 m aggregiert. Zudem wurden die Höhenwerte der Rasterzellen unter Berücksichtigung sämtlicher unmittelbar anliegenden Rasterzellen geglättet.
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 3.2.3) übernommen.
Gewässer	Die von Oberflächengewässern ausgehende Gefährdung wird vollständig durch die Gefahrenkartierung Hochwasser abgedeckt und ist im Produkt Hinweiskarte Oberflächenabfluss nicht enthalten. Wasser, welches einem offenen Gewässer zugeführt wird, ist für die Modellierung des Oberflächenabflusses daher nicht mehr relevant. Durch eine Absenkung der oberirdischen Gewässerbereiche um 500 m wurden unlimitierte Senken bzw. Kanäle gebildet, welche ein Austreten von Wasser aus dem Gewässerraum unterbinden. Eingedolte Gewässerläufe wurden nicht abgesenkt. Die Gewässerflächen wurden aus der Amtlichen Vermessung des Kantons Zürich [13] übernommen (vgl. Kapitel 3.2.2).

Die Abbildung 5 visualisiert die Aufbereitungsschritte des DTMs. Im Gegensatz zur Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz [3] wurden Verkehrsflächen nicht mehr abgesenkt. Eine Absenkung war dank des höher aufgelösten DTMs (0.5 m vs. 1 m), welches als Grundlage für die Modellierungen verwendet wurde, nicht mehr notwendig.



Ausgangslage, Raster roh (0.25 m).

Raster mit Glättung und Aggregation auf 0.5 m.

Raster (0.5 m) inkl. Erhöhung der Gebäude um 5 m und Absenkung der Gewässerflächen um 500 m.

Abbildung 5: Visualisierung Verarbeitungsschritte Aufbereitung Höhenmodellmodell (Datenquelle digitales Terrainmodell Kanton Zürich [15]).

3.2.5 Abflusskoeffizient

Der Abflusskoeffizient definiert die direkt zum Abfluss kommende Niederschlagsmenge und fliesst als Gewichtungsraster in die Modellierung ein. So kommt beispielsweise bei einem Koeffizienten von 1 der gesamte Niederschlag zum Abfluss (z.B. bei befestigten Flächen). Bei einem Koeffizienten von 0.4 sind es noch 40 % der Niederschlagsmenge, während bei einem Koeffizienten von 0 kein Niederschlagswasser zum Abfluss beiträgt. Der Abflusskoeffizient beschreibt somit die Abflussbereitschaft des Bodens.

Für die Berechnung des Abflusskoeffizienten wurde die hydrologische Prozessierungssoftware Hydro^{RAS} der geomer GmbH verwendet, welche die unten genannten Faktoren berücksichtigt. Das Vorgehen erfolgte gemäss [8] und wird nachfolgend erläutert.

- *Bodenbedeckung/Landnutzung:*
Die Landnutzung beeinflusst die Abflussbereitschaft massgeblich. Beispielsweise ist bei befestigten Flächen keine Wasserinfiltration möglich, in Wäldern hingegen kann vielfach ein grosses Wasservolumen in den Boden infiltrieren.
- *Bodeneigenschaften:*
Auf nicht versiegelten Flächen spielen diverse Bodeneigenschaften, welche die Speicherkapazität bzw. Durchlässigkeit eines Bodens definieren, eine wichtige Rolle. So ist die Abflussbereitschaft eines tonigen und verdichteten Bodens grösser, als jene eines sandigen, durchlässigen Bodens.
- *Relief:*
Das Relief spielt nicht nur bei der Bestimmung der Fliesswege eine entscheidende Rolle. Geländeformen haben auch einen Einfluss auf den Abflusskoeffizienten. An steileren Hängen kann das Wasser tendenziell weniger schnell vom Boden aufgenommen werden, sodass ein grösserer Anteil des Niederschlags direkt zum Abfluss beiträgt, als in flachen Gebieten.
- *Niederschlag:*
Der Abflusskoeffizient ist abhängig von der Niederschlagsmenge und der Niederschlagsganglinie.

Aufbereitung Grundlagedaten zur Berechnung der Abflusskoeffizienten

Als Grundlage zur Berechnung der Abflusskoeffizienten dienen die in Tabelle 4 aufgeführten Daten.

Tabelle 4: Verwendete Grundlagen zur Bestimmung der Abflusskoeffizienten mithilfe der Software Hydro^{RAS}.

Parameter Hydro ^{RAS}	Verwendete Grundlagedaten
Bodenbedeckung/Landnutzung	Als Grundlage dienen die aus den AV- und TLM-Daten generierten Bodenbedeckungstypen (s. Kapitel 3.2.3).
Bodeneigenschaften	Als Grundlage dient die OpenLandMap [18], welche flächendeckende Informationen über den Ton- und Siltgehalt in unterschiedlichen Bodentiefen enthält. Die OpenLandMap hat mit einer Auflösung von 250 m Hinweischarakter, bildet erfahrungsgemäss aber eine gute Grundlage für Oberflächenabflussmodellierungen. Tests, welche im Rahmen von Detailmodellierungen Oberflächenabfluss für die Gemeinden Dietikon [10] und Knonau [11] durchgeführt wurden, zeigten zudem, dass sowohl mit der OpenLandMap als auch unter Berücksichtigung der Bodenkarte Landwirtschaft bzw. der Abflussprozesskarte des Kantons Zürich sehr ähnliche Abflussbeiwerte resultieren. Da die OpenLandMap gegenüber den anderen Karten flächendeckend zur Verfügung steht und auch die Gebiete in den angrenzenden Kantonen abdeckt, wurde deshalb von der Berücksichtigung der kantonalen Bodenkarte Landwirtschaft und der Abflussprozesskarte abgesehen.
Relief	Als Grundlage dient das aufbereitete digitale Terrainmodell (s. Kapitel 3.2.4).
Niederschlag	Für die Ermittlung der Abflusskoeffizienten werden die Niederschlags-ganglinien des 100-jährlichen Szenarios verwendet (s. Kapitel 3.2.1).

Für die Ermittlung der Abflusskoeffizienten unterscheidet die Software Hydro^{RAS} zwischen versiegelten Gebieten (z.B. Verkehrsinfrastruktur, Siedlungsgebiete und Fels) und nicht versiegelten Gebieten (Landwirtschaftsland, Wald, etc.). Für versiegelte Gebiete wird jedem Bodenbedeckungstyp (vgl. Kapitel 3.2.3) ein konstanter Abflusskoeffizient zugeordnet (s. Tabelle 5). Die Zuordnung erfolgte in Anlehnung an [8] und [3].

Tabelle 5: Bodenbedeckungstypen mit konstantem Abflussbeiwert.

Bodenbedeckungstyp	Abflussbeiwert
Gebäude	0
Befestigte Flächen (z.B. Verkehrswege)	1
Schienen	0.5
Grünflächen Siedlungsgebiete	0.5
Gewässer	0
Fels	1

In nicht versiegelten Gebieten werden die Abflussbeiwerte aus einer Kombination zwischen Bodenbedeckung, Bodeneigenschaften, Relief und Niederschlag berechnet. Dazu werden in einem ersten Schritt die Bodenbedeckungstypen (vgl. Kapitel 3.2.3) in verschiedene Abflussbeiwertsklassen eingeteilt. Die Einteilung erfolgte in Anlehnung an [8] und [3] (s. Tabelle 6). Dabei gilt, je höher der Wert, desto weniger durchlässig ist der Bodenbedeckungstyp.

Tabelle 6: Abflussbeiwertsklassen der verschiedenen Bodenbedeckungstypen für die Ermittlung der Abflussbeiwerte mit Hydro^{RAS}.

Bodenbedeckungstyp	Abflussbeiwertsklasse
Ackerland	35
Weinanbau und Obstanbau	30
Wald	25
Grünland	30
Moore und Marschland	40
Brachland	40
Strand	25
Bergbau und Deponien	40

In einem zweiten Schritt erfolgte die Aufbereitung der Bodeneigenschaften. Dabei wurden die Böden verschiedenen Bodenarten zugeordnet. Als Grundlage diente die OpenLandMap [18], welche flächendeckende Informationen über den Ton- und Siltgehalt in unterschiedlichen Bodentiefen enthält. Anhand dieser Werte wurde der mittlere Anteil an Ton, Schluff und Sand bestimmt und mithilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung [4] in die Bodenarten gemäss Abbildung 6 eingeteilt.

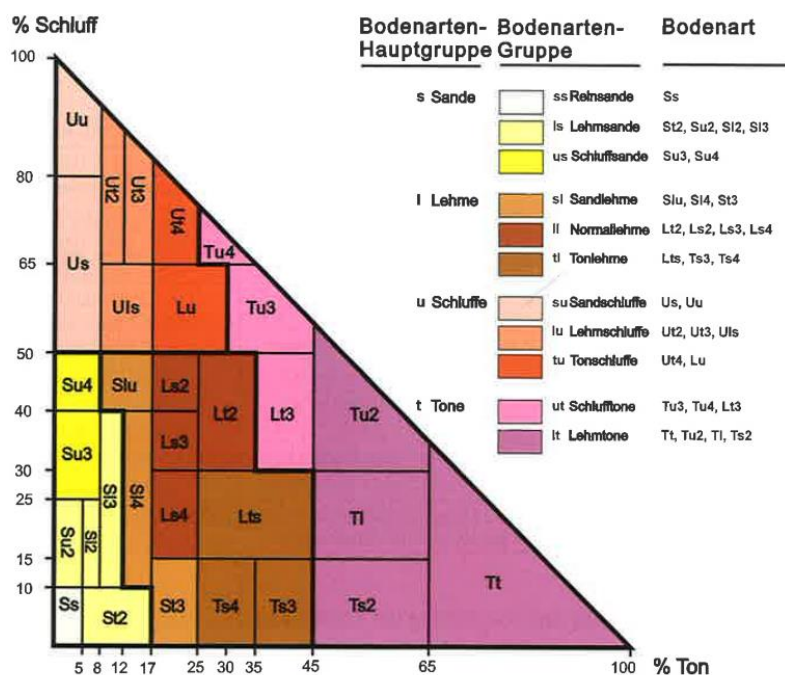


Abbildung 6: Klassifikation der Bodenarten anhand der Ton-, Schluff- und Sandgehalte. Abbildung aus [4].

Hydro^{RAS} ermöglicht zudem zur Auswahl zwischen zwei unterschiedlichen Vorfeuchtebedingungen (3 Stunden oder 3 Tage) des Bodens. Für die vorliegenden Modellierungen wurde als Einstellung eine Vorfeuchte von 3 h angenommen.

In einem letzten Schritt wurde das Gefälle anhand des digitalen Höhenmodells ermittelt und anschliessend gemäss [8] in Klassen mit 5%-Neigungsschritten unterteilt.

Berechnung der Abflusskoeffizienten mit Hydro^{RAS}

Hydro^{RAS} generiert in Abhängigkeit der Niederschlagsganglinie zeitlich variable Abflusskoeffizienten. D.h. für die gesamte Berechnungszeit (1 Stunde) wird pro 5-Minutenzeitschritt ein Raster mit Abflusskoeffizienten berechnet (total 12 Raster). Basierend auf diesen 12 Rastern wurde anschliessend der maximale Abflusskoeffizient pro Rasterzelle berechnet.

Die Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt des resultierenden Abflusskoeffizientenrasters. Dabei sind versiegelte Flächen wie Verkehrswege (Abflusskoeffizient = 1) und Gebäude (Abflusskoeffizient = 0) gut zu erkennen. Zudem zeigt sich, wie das Relief den Abflusskoeffizienten beeinflusst und in steileren Gebieten höhere Werte als in flachen Gebieten resultieren. Für sämtliche Szenarien wurden in Absprache mit dem Auftraggeber die gleichen Abflusskoeffizienten, basierend auf dem 100-jährlichen Niederschlagsereignis verwendet.

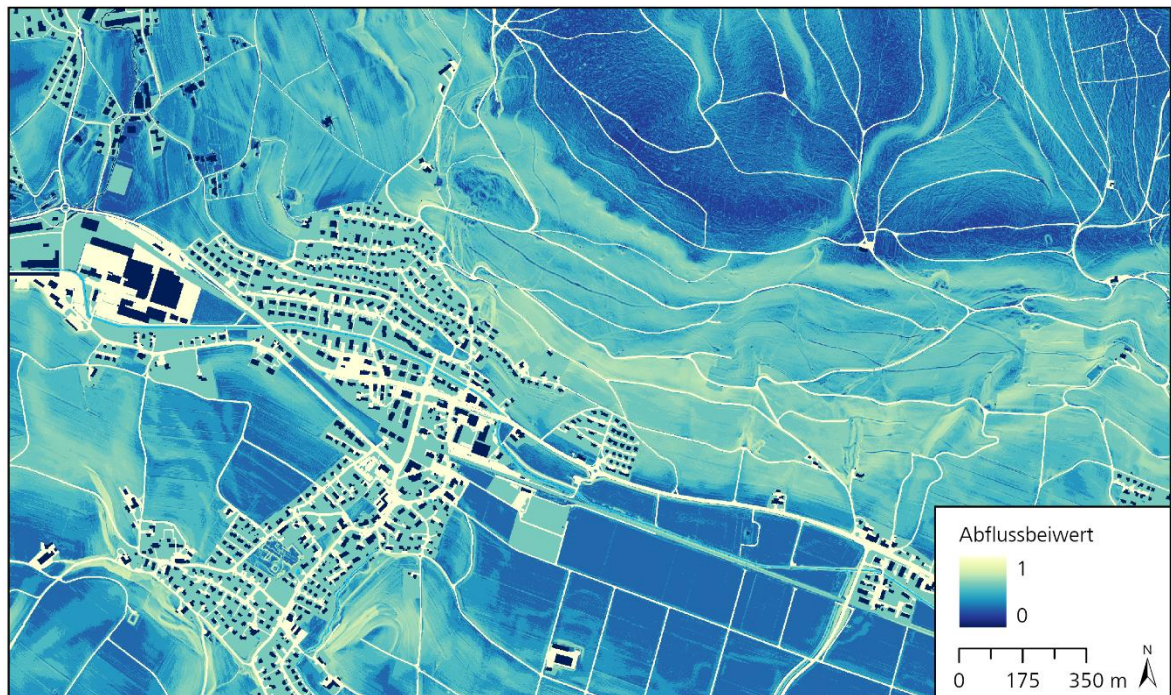


Abbildung 7: Ausschnitt des Abflusskoeffizientenrasters bei Niederweningen.

3.2.6 Rauigkeit

Die Rauigkeit des Untergrunds hat einen entscheidenden Einfluss auf die Fliessgeschwindigkeit [9]. Beispielsweise fliesst Oberflächenwasser auf glatten Oberflächen (z.B. Strassen, befestigte Flächen) deutlich schneller als auf rauen Oberflächen wie im Wald oder auf Wiesen. In den Simulationen wird die Rauigkeit durch die Definition von modellspezifischen Rauigkeitswerten berücksichtigt. Die Zuordnung erfolgte anhand der Bodenbedeckung gemäss Tabelle 7 und in Abhängigkeit der Modellauflösung [9].

Tabelle 7: Rauigkeitswerte für die verschiedenen Bodenbedeckungstypen.

Bodenbedeckungstyp	Rauigkeitswert [$m^{1/3}/s$]
Gebäude, befestigte Flächen, Fels	70
Gewässer, Wasserbecken	65
Brachland, Bergbau und Deponien	35
Ackerland, Grünland, Moore und Marschland, Grünflächen Siedlungsgebiete	25
Schienen, Strand, Wald (offen)*	15
Wald (geschlossen)*	10

* Für die Definition der Rauigkeit wird zwischen offenem und geschlossenem Wald unterschieden. Als geschlossener Wald wird der Objekttyp «geschlossener Wald» gemäss den AV-Daten bezeichnet (vgl. Anhang A). Flächen mit dem Attribut «bestockte Fläche» werden dem offenen Wald zugeordnet.

3.3 Unterführungen

Brücken und Unterführungen sind häufig nicht im Höhenmodell abgebildet. Dies kann dazu führen, dass Oberflächenabfluss bergseitig eines Dammes zurückgestaut oder umgeleitet wird, obwohl in Realität wegen einer Unterführung im Damm ein anderer Fliessweg möglich ist und damit eine zusätzliche Geländekammer betroffen wäre. Um diese Rückstaueffekte von Oberflächenwasser zu verhindern, werden relevante Durchlässe in den Modellierungen berücksichtigt.

Die Berücksichtigung der Durchlässe im Modell erfolgt mittels Punktentnahmen und -einspeisungen (vgl. [9]). Anhand eines Punktdatensatzes wird definiert, wo Wasser entnommen wird (Punkt A) und wo das Wasser wieder eingespeist wird (Punkt B). Das Wasser wird somit von A nach B geführt, wobei die maximale Durchflussmenge festgelegt werden kann. Bei Unterführungen oder Tunnels, wo das Wasser keine klare Fliessrichtung aufweist und davon ausgegangen werden kann, dass eintretendes Oberflächenwasser nicht wieder hinausfliesst, wird das Wasser nur beim Punkt A entnommen. Es erfolgt keine Einspeisung an einem Punkt B. Das Wasser wird in diesen Fällen komplett aus dem System entnommen. Damit das Wasser korrekt durchgeleitet werden kann, wurden pro Unterführung teilweise mehrere Durchflussspunkte definiert (s. Abbildung 8). Die Kapazität pro Unterführung beträgt je nach Grösse zwischen 1 und 10 m³.

Die relevanten Unterführungen wurden anhand des swissTLM^{3D} [19] und des Kunstbauten-Datensatzes des Kantons Zürich [17] selektioniert. Die Auswahl erfolgte gemäss Tabelle 8.

Tabelle 8: Für die Unterführungen verwendeten Attribute aus dem Datensatz swissTLM^{3D} [19] und Kunstbauten Kanton Zürich [17].

Datensatz	Art (Attribut «Kunstbaute» / «Kategorie»)
TLM_Strasse	1000 - Tunnel
	1100 - Unterführung
	1200 - Unterführung mit Treppe
TLM_Eisenbahn	800 - Tunnel
	900 - Unterführung
Kunstbauten Kanton Zürich	Brücke mit Rahmentragwerk
	Brücke auf Wanne
	Tagbautunnel mit Rahmentragwerk
	Tagbautunnel mit Gewölbekonstruktion
	Tagbautunnel (nicht spezifiziert)

Damit sichergestellt werden kann, dass die Standorte ideal platziert wurden, wurde eine Oberflächenabfluss Grobsimulation durchgeführt und auf Basis dieser, die Standorte der Unterführungen überprüft und gegebenenfalls optimiert.

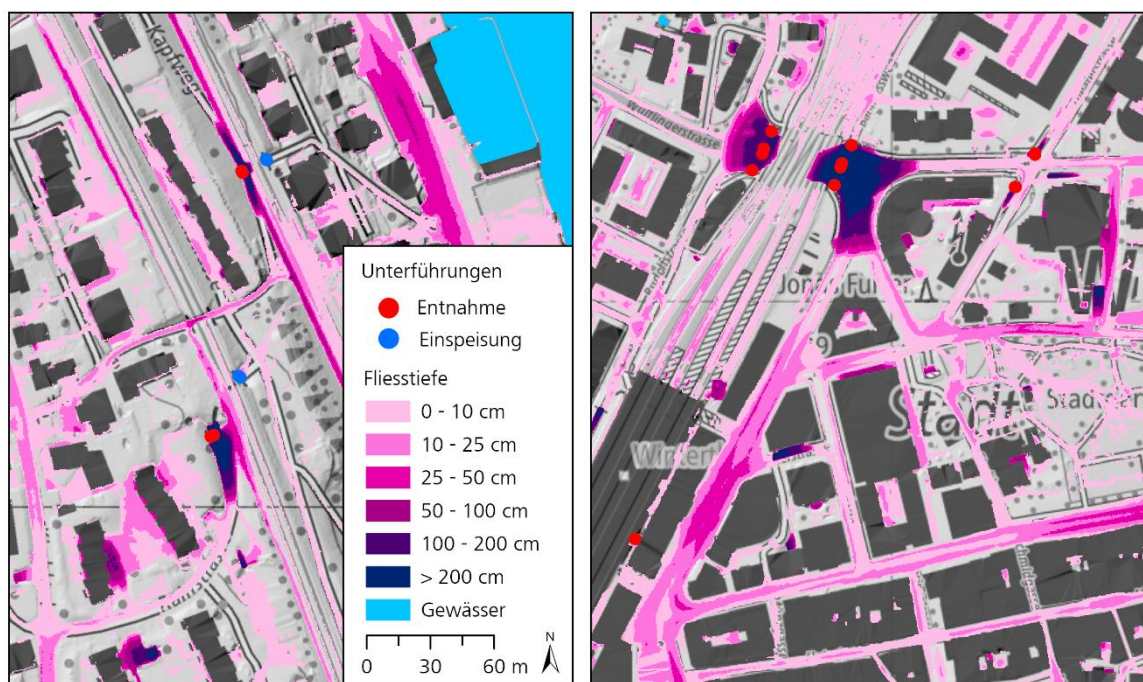


Abbildung 8: Beispiel berücksichtigte Unterführungen. Dargestellt ist das Rohresultat der Grobsimulation, anhand welcher die Unterführungen bestimmt wurden. Links zeigt eine Situation mit klaren Fließrichtung (in den finalen Modellierungen erfolgt eine Entnahme bei rotem Punkt und Einspeisung bei blauem Punkt). Rechts zeigt eine Situation ohne klare Fließrichtung (in den finalen Modellierungen erfolgt nur eine Entnahme beim roten Punkt und keine Einspeisung) (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

3.4 Simulation

Die Oberflächenabflusssimulationen erfolgten mit dem Modell FloodArea^{HPC} der geomer GmbH [9] und wurden pro Modellierungsregion (s. Kapitel 2) durchgeführt. Basierend auf dem aufbereiteten Terrainmodell, den berechneten Abflusskoeffizienten, der ermittelten Rauigkeit und dem festgelegten Niederschlag wurden für jede Region die vier Szenarien (T_{30} , T_{100} , T_{300} und T_{1000}) modelliert. Die gesamte Simulationsdauer lag bei 2 Stunden, wobei sich diese aus 1 Stunde Niederschlag (s. Kapitel 3.2.1) und einer Stunde Nachlaufzeit zusammensetzt.

Damit beim Zusammenfügen der Resultate aus den einzelnen Regionen fließende Übergänge entstehen, wurde der Simulationsperimeter etwas grösser als die jeweilige Modellierungsregion festgelegt (500 m Puffer um die Modellierungsregion, s. Kapitel 2). Durch die überlappende Modellierung können Fehler in den Randbereichen vermieden werden.

Das Modell erlaubt neben der Integration der in Kapitel 3.1 erläuterten Parameter die Festlegung der maximalen Austauschwassermenge pro Rasterzelle. Diese wurde für die vorliegenden Modellierungen auf 15 Promille festgelegt. Die Modellauflösung liegt bei 0.5 m.

4 Aufbereitung Abgabedaten

4.1 Fliesstiefen

Aus der Simulation resultiert alle 5 Minuten ein Raster mit der Überflutungstiefe zu diesem Zeitpunkt (total 24 Raster). Für die finalen Fliesstiefen wird aus diesen Rastern die maximale Wassertiefe pro Rasterzelle berechnet. Die Fliesstiefen widerspiegeln damit den maximalen Wasserstand während der Simulationsperiode. Wie in Kapitel 2 erläutert, überlappen sich die einzelnen Modellierungsregionen. In den Überlappungsbereichen wurde für jede Fläche der jeweils höhere Wert beibehalten. Da die Grenzen zwischen den Regionen unter Berücksichtigung der lokalen Topografie (z.B. Wasserscheiden oder Gewässerläufen) gezogen wurden, waren keine zusätzlichen Bereinigungen notwendig.

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, analog der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz [3], auf 1.5 cm festgelegt. Alle Rasterzellen des maximalen Fliesstiefenrasters, welche unter diesem Schwellenwert liegen, wurden auf 0 m gesetzt.

In einem nächsten Arbeitsschritt wurden die maximalen Fliesstiefen gemäss der Tabelle 9 klassifiziert und in einen Polygondatensatz umgewandelt.

Tabelle 9: Klassierung Fliesstiefe: Abstufung Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich (6 Klassen).

Klassierung Fliesstiefen h

$0 < h \leq 10$ cm

$10 < h \leq 25$ cm

$25 < h \leq 50$ cm

$50 < h \leq 100$ cm

$100 < h \leq 200$ cm

$h > 200$ cm

Anschliessend wurden die Geodaten zu den Fliesstiefen geglättet und Kleinflächen bereinigt. Die Aufbereitung umfasste die folgenden Aspekte:

- Ausstanzen der Gebäude: Bereinigung der Überflutungsflächen mit den Gebäudegrundrissen aus den AV-Daten. Die Flächen ums Gebäude wurden generalisiert und entsprechen deshalb nicht mehr exakt den Umrissen der AV-Daten.
- Integration Gewässer: Die in der Modellierung berücksichtigten Gewässer (s. Kapitel 3.2.2) werden als Gewässerflächen gekennzeichnet. Die Flächen der Gewässer wurden generalisiert und entsprechen nicht mehr exakt den Umrissen der AV-Daten.
- Kleinflächenbereinigung: Für eine bessere Lesbarkeit der Geodaten zu den Fliesstiefen wurde eine Kleinflächenbereinigung vorgenommen. Dabei wurde zwischen alleinstehenden und zusammenhängenden Kleinflächen unterschieden. Grenzt eine Überflutungsfläche mit bestimmter Fliesshöhe an eine Überflutungsfläche mit anderer Fliesshöhe wird sie bei einer Grösse von < 20 m² der angrenzenden Überflutungsfläche zugeordnet. Komplette alleinstehende Kleinflächen werden ab einer Grösse von < 40 m² eliminiert. So kann die Lesbarkeit des Produktes verbessert werden. Für die Interpretation der Fliesstiefen bedeutet dies, dass es kleinflächig (< 20 bzw. < 40 m²) auch zu höheren Wassertiefen kommen kann, als in der Karte ersichtlich ist.

- Konsistenzprüfung: Eine Konsistenzprüfung verhindert, dass aufgrund der Glättung und Kleinflächeneliminierung bei einem häufigeren Szenario höhere Fliesstiefen ausgeschieden werden als bei den selteneren Szenarien.

Die Abbildung 9 zeigt als Beispiel das Rohresultat (Rasterdaten) im Vergleich mit dem aufbereiteten und kleinflächenbereinigten Endprodukt (Vektordaten).



Abbildung 9: Ausschnitt des Rohresultats (links) und des aufbereiteten und kleinflächenbereinigten Endproduktes (rechts) für ein 100-jährliches Ereignis bei Oerlikon. (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte (grau), Bundesamt für Landestopografie).

4.2 Fließrichtungen

Das für die Modellierung der Hinweiskarte Oberflächenabfluss verwendete Überflutungsmodell kann pro Rasterzelle 16 verschiedene Richtungsangaben ausgeben. Für jede Rasterzelle (Grösse: 0.25 m²) liegt aus den Modellierungen für 24 Zeitstände eine eigenständige Information zur Fließrichtung des Oberflächenabflusses vor. Diese Raster wurden wie folgt aufbereitet:

- Die aus der Modellierung vorliegenden 24 Zeitstände mit Fließrichtungsvektoren werden zu einem Raster zusammengezogen. Rasterzellen mit uneinheitlichen Fließrichtungen werden für die Berechnung der Fließrichtungsvektoren nicht verwendet.
- Die homogenen Fließrichtungen pro Rasterzelle werden für die Massstäbe 1:3'000, 1:6'000 sowie 1:12'000 so generalisiert, dass sie eine möglichst optimale Aussage über die vorherrschende Fließrichtung geben.
- Der Massstab definiert die Länge der Fließrichtungsvektoren. Je nach Massstab ist ein Fließrichtungsvektor 15, 30 und 60 m lang. Auf jeder Rasterzelle kann potenziell das Zentrum eines Fließrichtungsvektors zu liegen kommen, der in 16 verschiedene Fließrichtungen zeigen kann.
- Für jede Rasterzelle (potenzieller Zentrumspunkt) wird in Bezug auf alle 16 Fließrichtungsmöglichkeiten sowie für jeden der drei Massstäbe ein Gütewert (Score) bestimmt.
- Die Fließrichtung mit dem höchsten Gütewert pro Zentrumspunkt wird bestimmt. Potenzielle Fließrichtungsvektoren, welche Hindernisse berühren würden (Häuser), wurden eruiert und nicht berücksichtigt.
- Die pro Zentrumspunkt ermittelten Fließrichtungen werden mit ihren dazugehörigen Gütewerten räumlich ausgedünnt, sodass die höchsten Gütewerte auf Basis eines je nach Massstab definierten Mindestabstandes übrigbleiben. Durch die Ausdünnung der Fließrichtungsvektoren auf Basis ihrer Gütewerte entstehen die massstabsspezifischen Fließrichtungsvektoren (Punkt-Feature), welche sich in den Abgabedaten befinden (s. Anhang B) befinden.

5 Resultate

Bei der Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich handelt es sich um ein Modellierungsprodukt auf Stufe Hinweis über den gesamten Kanton Zürich ohne Validierung im Gelände. Ziel war, dass mit einheitlicher Methode eine flächendeckend verfügbare und vergleichbare Gefahrengrundlage für den Prozess Oberflächenabfluss zur Verfügung steht. Die Hinweiskarte Oberflächenabfluss liefert somit eine Übersicht über die potenzielle Betroffenheit. Bei der weiteren Verwendung der Daten ist zentral, dass diese kritisch validiert und mit der örtlichen Situation abgeglichen werden. Folgende Punkte gilt es zu beachten:

- a. Die Siedlungsentwässerung wurde bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass diese bei den betrachteten Szenarien überlastet ist.
- b. Wasser, welches in ein offenes Gewässer floss, wird nicht weiter als Oberflächenabfluss betrachtet. Ebenso wenig werden Wasseraustritte aus Gewässern in der Hinweiskarte Oberflächenabfluss dargestellt. Detailliertere Informationen zu den Gewässern sind in der Gefahrenkarte Hochwasser enthalten.
- c. Unterirdische Wasserflüsse und Grundwasseraufstösse wurden nicht modelliert.

Der Zielmassstab der Oberflächenabflusskarte liegt bei 1:12'500.

Für einen möglichst geringen Informationsverlust wurden die Modellierungsergebnisse nur geringfügig generalisiert. Auf diese Weise können auch detaillierte Informationen der Karte entnommen werden. Umso mehr ist jedoch der Umstand wichtig, dass es sich um ein reines Modellierungsprodukt auf Stufe Hinweis handelt. Oberflächenabflussmodellierungen sind stark abhängig von Kleinstrukturen und eine Validierung der Ergebnisse ist zwingend erforderlich.

5.1 Fliesstiefen

Die Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich zeigt die durch Oberflächenabfluss betroffenen Gebiete und die erwarteten Fliesstiefen für ein 30-, 100-, 300-, und 1'000-jährliches Ereignis. Wie in Abbildung 10 und Abbildung 11 zu erkennen ist, zeigen die selteneren Szenarien oft dieselben markanten Fließwege und Mulden wie bei einem häufigen Szenario. Mit dem Unterschied, dass bei den betroffenen Gebieten mit grösseren Fliesstiefen zu rechnen ist. Wie die Abbildung 12 für einen Ausschnitt bei Regensdorf zeigt, ist beispielsweise bei einem 100-jährlichen Ereignis an vielen Orten mit 10 bis 50 cm grösseren Fliesstiefen als bei einem 30-jährlichen Ereignis zu rechnen.

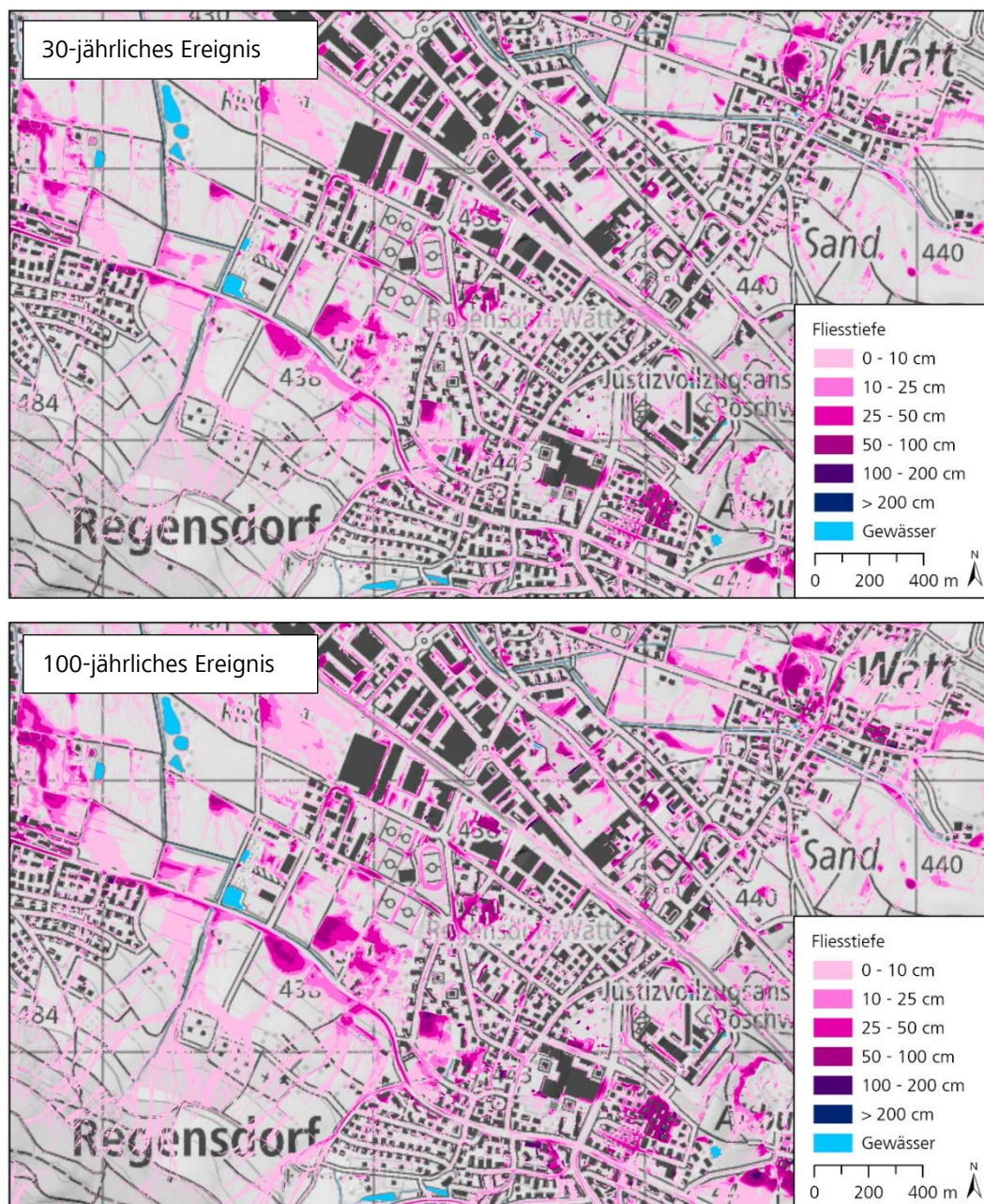


Abbildung 10: Oberflächenabfluss für ein 30-jährliches Ereignis (oben) und ein 100-jährliches Ereignis (unten) am Beispiel Regensdorf-Watt (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

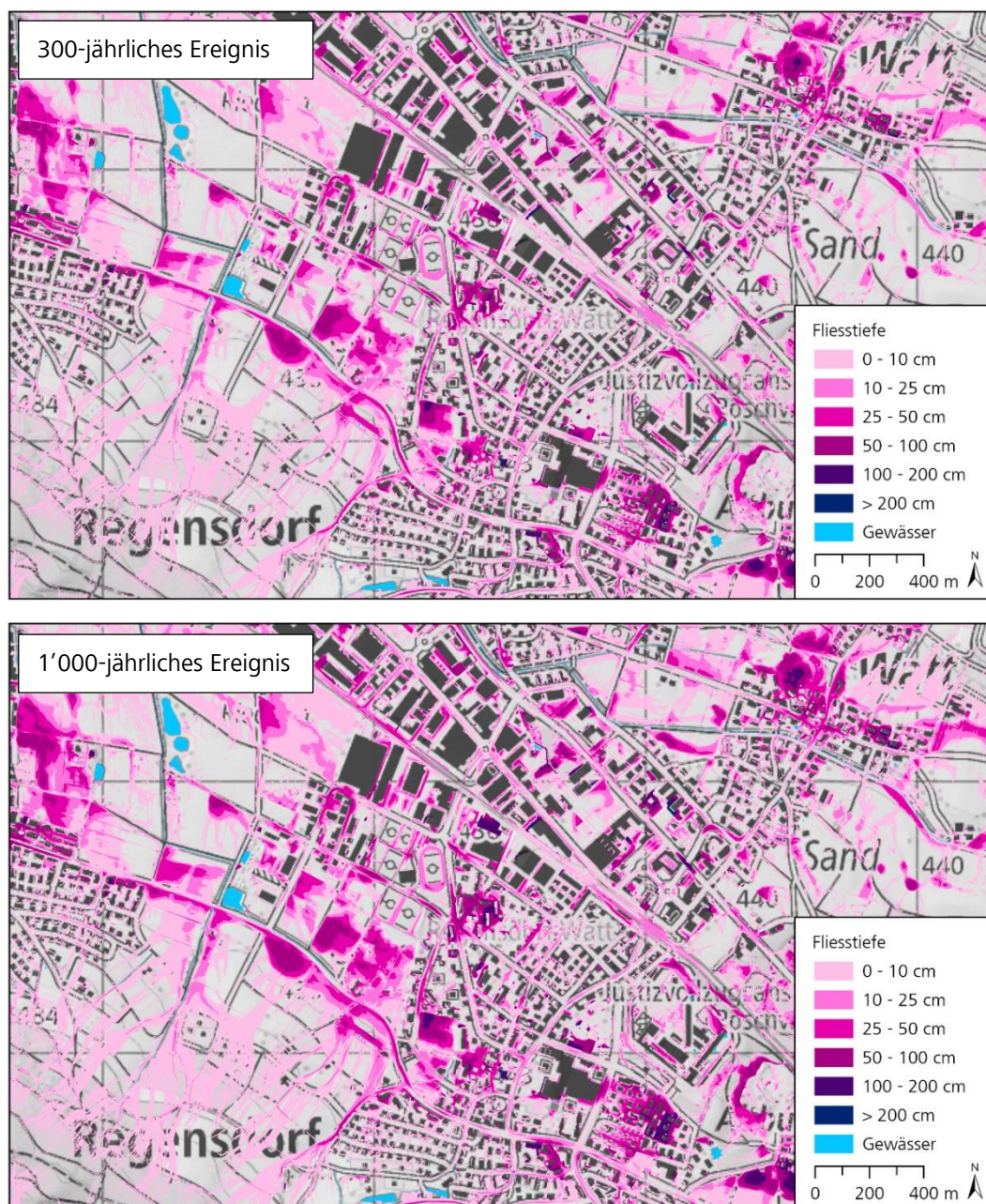


Abbildung 11: Oberflächenabfluss für ein 300-jährliches Ereignis (oben) und ein 1'000-jährliches Ereignis (unten) am Beispiel Regensdorf-Watt (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

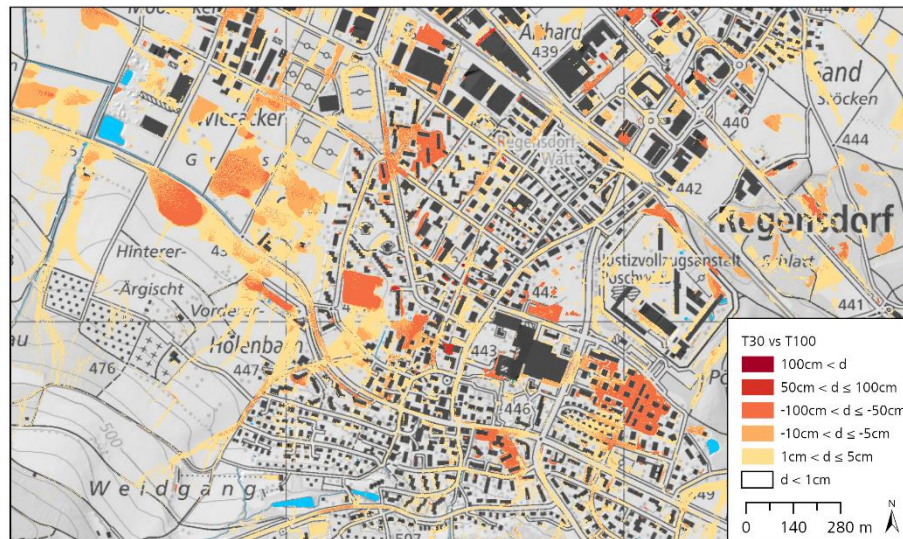


Abbildung 12: Unterschied der Fliesstiefen zwischen dem 30- und 100-jährlichen Ereignis. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Rohresultate (Rasterdaten) bei Regensdorf. Je dunkler die Einfärbung, desto grösser ist der Unterschied zwischen den Fliesstiefen der beiden Szenarien.

Es gibt aber auch Situationen, wo bei selteneren Ereignissen neue Geländekammern betroffen werden. Wie beispielsweise in Abbildung 13 ersichtlich, verhindert ein Damm, dass bei einem 30-jährlichen Ereignis das auf der Strasse fließende Oberflächenwasser auf die östlich liegenden Parzellen fliesst. Bei einem 300-jährlichen Ereignis reicht der Damm nicht mehr aus, um das Oberflächenwasser auf der Strasse zu halten und die östlich liegenden Parzellen sind von Oberflächenabfluss betroffen.

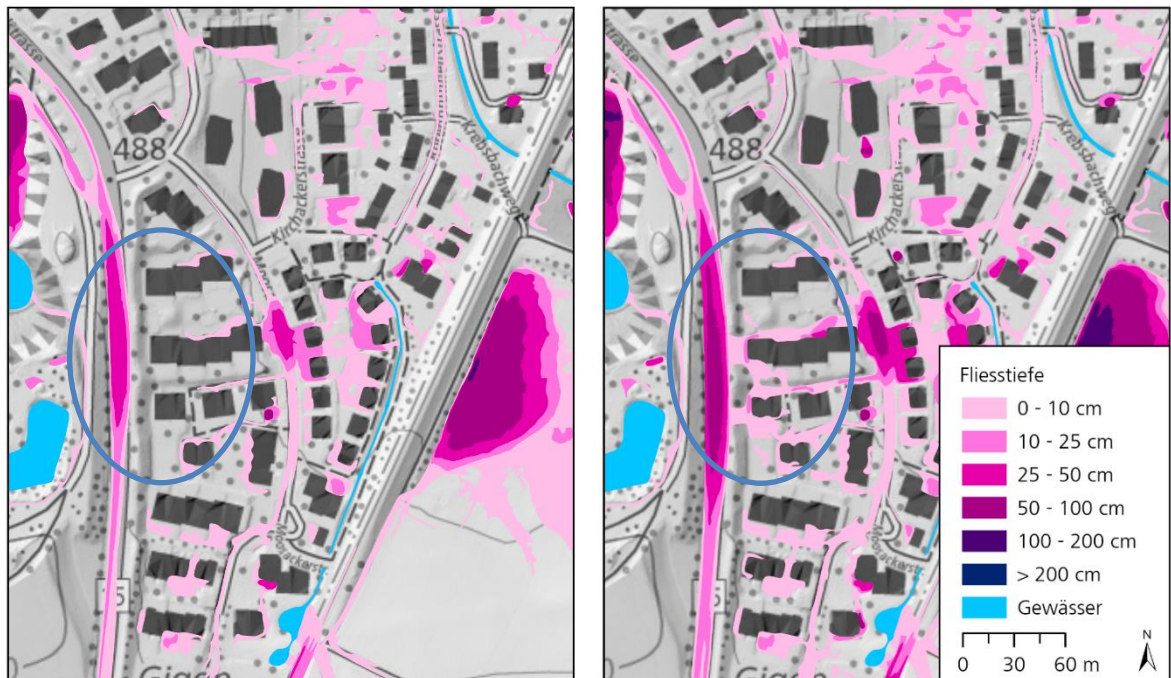


Abbildung 13: Oberflächenabfluss bei Ganzenbühl (Winterthur) bleibt bei einem 30-jährlichen Ereignis (links) auf der Strasse (blauer Kreis). Erst bei einem 300-jährlichen Ereignis (rechts) wird eine neue Geländekammer geöffnet und weitere Häuser sind von Oberflächenabfluss betroffen (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

5.2 Fliessrichtungen

Die Fliessrichtungen sind für drei verschiedene Betrachtungsmassstäbe ausgeschieden (1:3'000, 1:6'000 und 1:12'000). Die Pfeile sind für jeden Betrachtungsmassstab separat berechnet. Je kleiner der Betrachtungsmassstab, desto mehr Fliessrichtungen sind ausgeschieden. Je grösser der Betrachtungsmassstab, desto weniger Pfeile sind vorhanden. Die Pfeile für die unterschiedlichen Betrachtungsmassstäbe sind in Abbildung 14 dargestellt.

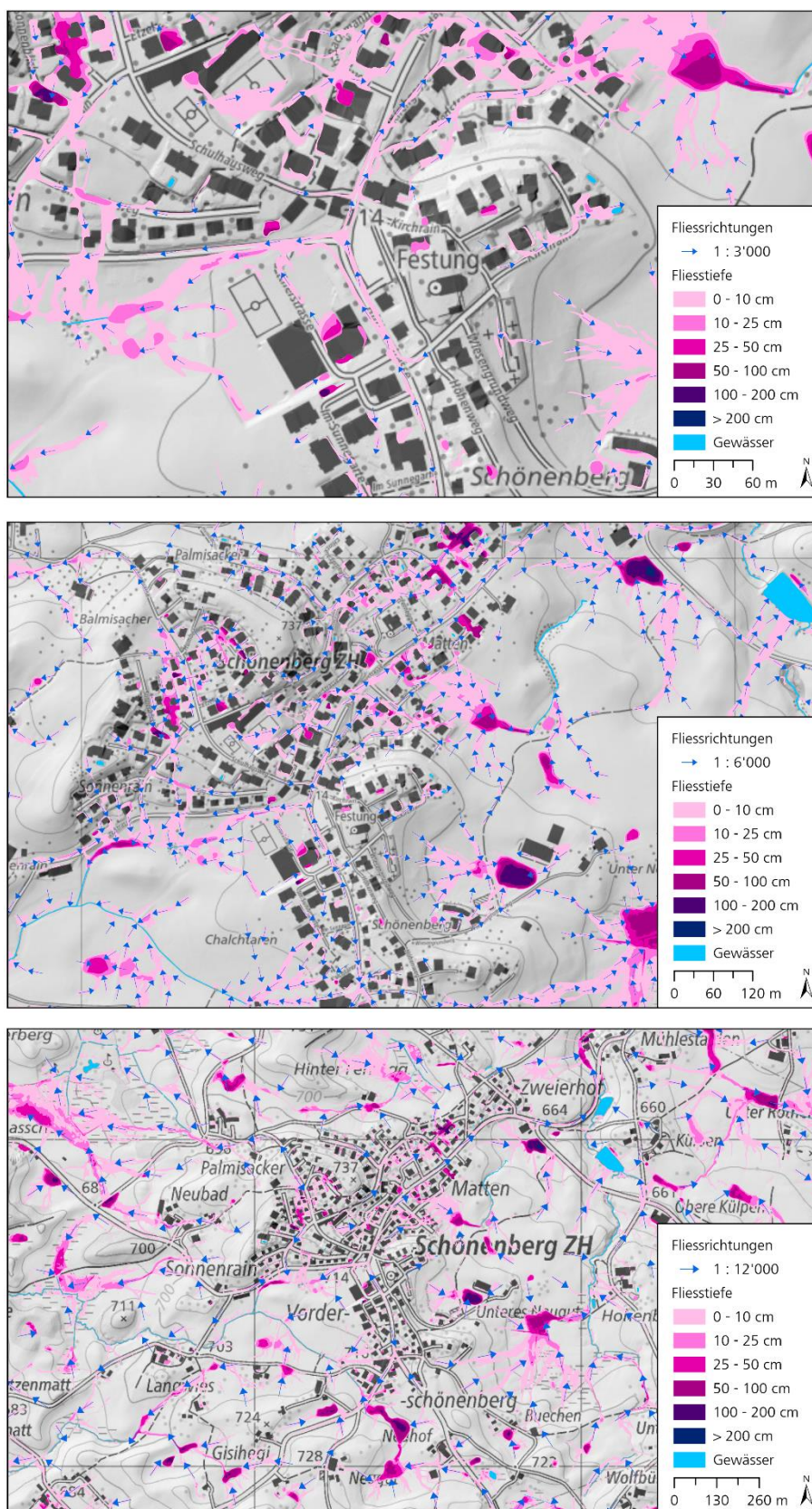


Abbildung 14: Oberflächenabflusskarte mit Fließrichtungen für ein 100-jährliches Ereignis bei Schönberg ZH, Massstab 1:3'000 (oben), Massstab 1:6'000 (Mitte) und Massstab 1:12'000 (unten) (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

5.3 Einordnung und Grenzen der Modellierungen

5.3.1 Siedlungsränder

An Siedlungsrändern und auf offenen Flächen sind die auf der Hinweiskarte dargestellten Fliesswege deutlich und zuverlässig abgebildet. Hauptsächlich folgt der Oberflächenabfluss der Geländetopografie, in Rinnen und Mulden sammelt sich das Wasser. Abbildung 15 zeigt einen Ausschnitt des 100-jährlichen Ereignisses bei Ottikon bei Kempththal. Hier ereignete sich am 07.06.2021 ein Oberflächenabflussereignis. Wie ein Vergleich zeigt, weist die Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich realitätsnah auf die Gefährdung hin.



Abbildung 15: Hinweiskarte Oberflächenabfluss und vergangenes Ereignis (07.06.2021) bei Ottikon bei Kempththal, Gemeinde Illnau-Effretikon (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie; Quelle Fotos: Augenzeuge).

5.3.2 Kleinstrukturen und Siedlungsentwässerung

Oberflächenabflussmodellierungen sind generell stark abhängig von Kleinstrukturen und diese sind entscheidend für die Robustheit des Ergebnisses. 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 Hinweiskarte innerhalb von Siedlungen aufgrund des steigenden Einflusses der Kleinstrukturen abnehmen. Ein Beispiel ist in Abbildung 16 gezeigt. Ebenfalls können Terrainveränderungen und/oder Neubauten die Fliesswege beeinflussen.



Abbildung 16: Nicht erfasste Kleinstrukturen wie hier eine Lärmschutzmauer in Dietikon (rechts), führen zu Fliesswegen im Modell, welche nicht mit der Realität übereinstimmen (links, blau umrandet) (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie; Quelle Foto: geo7 AG).

Weiter wurde die Siedlungsentwässerung bei den Modellierungen, nur insofern berücksichtigt, als dass über den Gebäuden kein Niederschlag fällt. Die Siedlungsentwässerung ist aber üblicherweise auf ein 5 – 10 jährliches Niederschlagsereignis ausgerichtet und damit bei den in diesem Projekt betrachteten Szenariengrößen (Wiederkehrperioden 30, 100, 300 und 1'000 Jahre) zu klein dimensioniert. Abbildung 17 zeigt dazu einen Ausschnitt der Hinweiskarte Oberflächenabfluss aus der Stadt Zürich.



Abbildung 17: In Siedlungszentren ist die Genauigkeit der Hinweiskarte 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 Zürich für das 100-jährliche Ereignis (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

5.3.3 Unterführungen

Durch die Berücksichtigung relevanter Brücken und Unterführungen können Fliesswege realitätsgetreuer abgebildet und die von Oberflächenabfluss betroffenen Geländekammern erkannt werden. Unrealistische Seenbildung und fälschlicher Rückstau wird so verhindert. In Abbildung 18 ist an einem Beispiel zu sehen, wie sich das Oberflächenwasser ohne Berücksichtigung der Unterführungen und Durchlässe bergseits staut. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Durchlässe kann das Wasser von A (roter Punkt) nach B (blauer Punkt) fliessen und die Situation wird realitätsgetreuer abgebildet. Dabei ist zu beachten, dass das Wasser ohne zeitliche Verzögerung direkt von A nach B durchgeleitet wird.

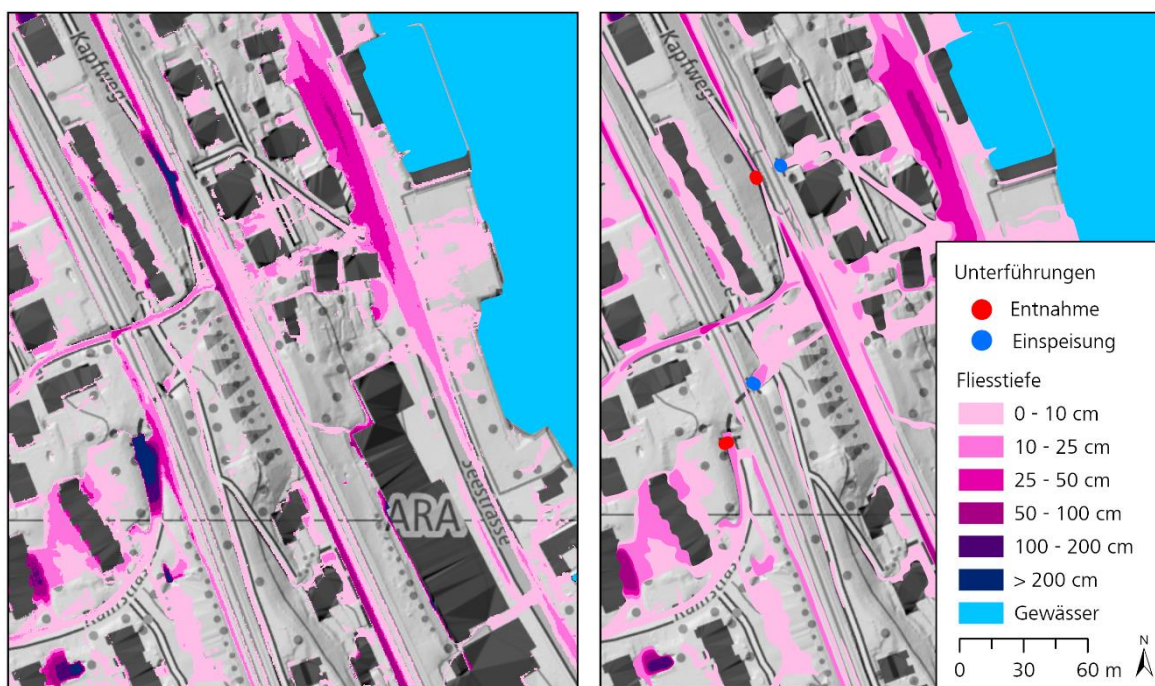


Abbildung 18: Einfluss von Unterführungen und Durchlässen am Beispiel des 100-jährlichen Ereignisses bei Thalwil. Links: Ohne Berücksichtigung der Unterführungen (Grobsimulation: Rasterdatensatz). Rechts: Mit Berücksichtigung der Unterführungen (finale Hinweiskarte Oberflächenabfluss). (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

Ist die Fliessrichtung bei Unterführungen unklar, so wird entsprechend der Grösse auf beiden Seiten Wasser entnommen, um einen zu grossen Rückstau zu verhindern (s. Abbildung 19).

Grundsätzlich ist bei der Interpretation der Karte zu beachten, dass die Unterführungen aus dem swissTLM^{3D} und dem Kunstbauten-Datensatz des Kantons Zürich ohne Überprüfung vor Ort generiert wurden (s. Kapitel 3.3). Für den Einzelfall sind die Resultate im Gelände zu überprüfen.

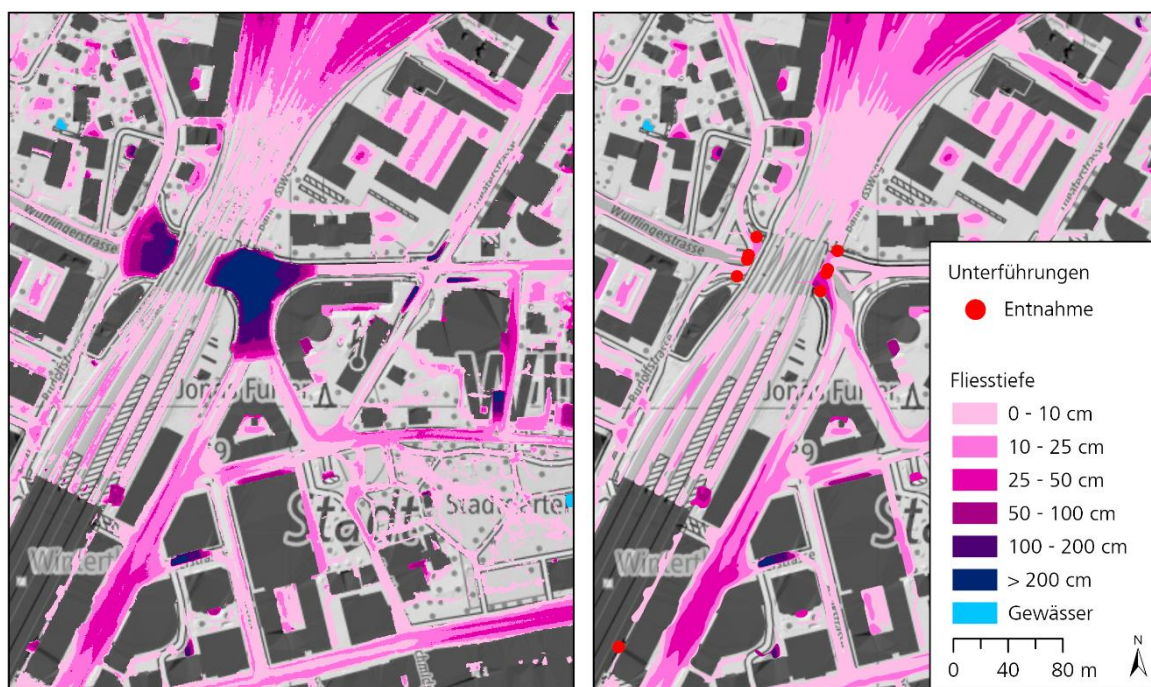


Abbildung 19: Einfluss von Unterführungen am Beispiel des 100-jährlichen Ereignisses bei Winterthur. Links: Ohne Berücksichtigung der Unterführungen (Grob-simulation: Rasterdatensatz). Rechts: Mit Berücksichtigung der Unterführungen und Durchlässe (finale Hinweiskarte Oberflächenabfluss) (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

5.3.4 Gewässer

Wasseraustritte aus Gewässern sind in der Hinweiskarte Oberflächenabfluss nicht abgebildet. Diese Gefährdungen werden über die Gefahrenkarte Hochwasser abgedeckt.

Dies bedeutet auch, dass das Modellierungsergebnis stark abhängig ist, ob z.B. in einer Runse ein Gewässer ausgeschieden ist oder nicht, oder ob ein Gewässerlauf eingedolt verläuft (vgl. Abbildung 20). Die in der Modellierung berücksichtigten Gewässer sind in den abgegebenen Geodaten enthalten (vgl. Anhang B).

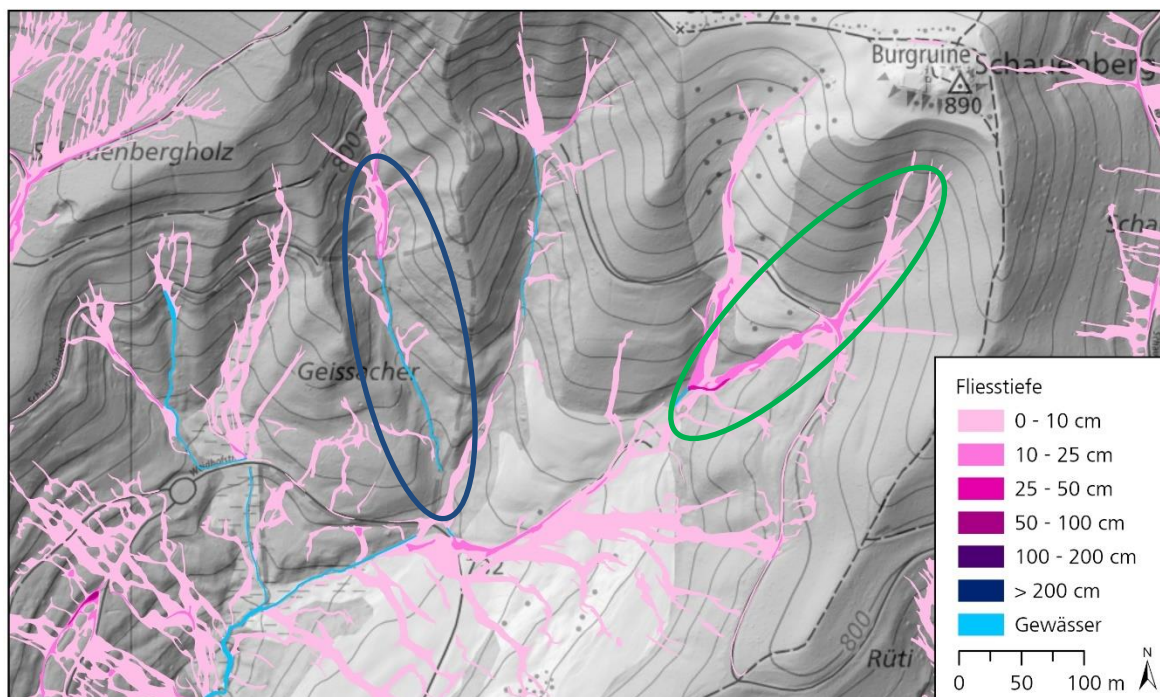


Abbildung 20: Einfluss des Gewässernetzes auf die Modellierungsergebnisse, Beispiel beim Schauenberg für das 100-jährliche Ereignis. Ist ein Gewässer in den Modellierungen berücksichtigt (in blau), wird das Oberflächenwasser ins Gewässer abgeführt (z.B. Runse beim Geissacher, blau umkreist). Ist in einer Runse gemäss Bodenbedeckung (s. Kapitel 3.2.3) kein Gewässer ausgeschieden (z.B. Runse südlich des Schauenbergs, grün umkreist), wird Oberflächenabfluss ausgeschieden (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

5.3.5 Wald

Durch die Definition von Rauigkeitswerten pro Bodenbedeckung kann die Fliessgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses im Modell genauer abgebildet werden: Bei rauen Oberflächen wie im Wald fliesst das Wasser langsamer als auf glatten Oberflächen wie auf Strassen und anderen befestigten Flächen. Dies kann je nach Situation zum Beispiel dazu führen, dass im Wald mehr Oberflächenabfluss ausgeschieden wird als auf einer Landwirtschaftsfläche (s. Abbildung 21).



Abbildung 21: Oberflächenabfluss im Wald für ein Ausschnitt bei Hedingen. Auf der Hinweiskarte Oberflächenabfluss ist im Wald teilweise flächiger Oberflächenabfluss ausgeschieden (blau umkreist), da aufgrund der Rauigkeit das Oberflächenwasser langsamer fliesst als z.B. auf Landwirtschaftsflächen (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

Bei der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz wurde keine differenzierte Rauigkeit berücksichtigt [3], weshalb dort das Oberflächenwasser im Wald vergleichsweise schneller fliesst. Dadurch ist in der aktuellen Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich tendenziell mehr Oberflächenabfluss im Wald ausgeschieden, als bei der schweizweiten Karte.

5.3.6 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 kantonsweit bei einer Fliesstiefe von 1.5 cm festgesetzt. Bedingt durch die angewandte Methodik (vgl. Kapitel 4.1) können deshalb auf der Hinweiskarte 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 4.1) Lücken entstehen. Diese Lücken wurden nicht bereinigt.

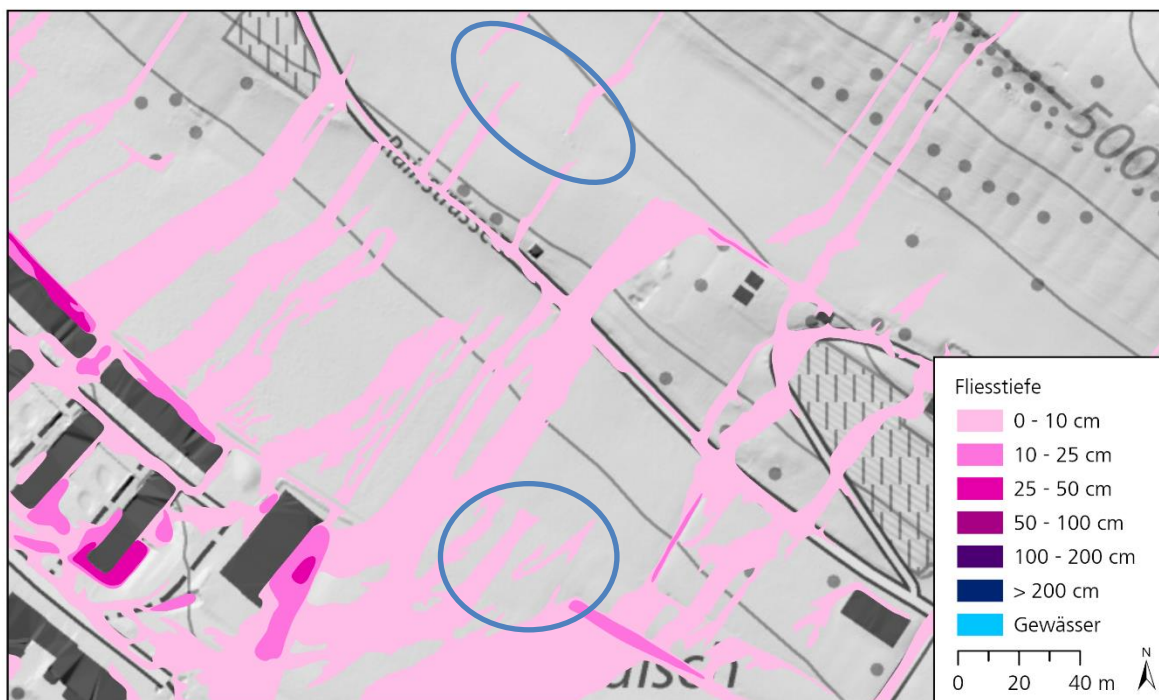


Abbildung 22: Unterbrochene Abflusswege bei einem 100-jährlichen Ereignis bei einem Ausschnitt bei Meilen. Auf der Hinweiskarte Oberflächenabfluss können einzelne Fließwege unterbrochen sein (blau umkreist), da ein Grenzwert zwischen einer „nassen“ und einer von Oberflächenabfluss betroffenen Fläche gezogen werden muss (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

5.3.7 Aufbereitung Terrainmodell

Das Terrainmodell ist eine wichtige Einflussgrösse für das Resultat der Oberflächenabflussmodellierung. Trotz zusätzlicher Aufbereitung / Bereinigung des verwendeten Terrainmodells sind in diesem 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 23). Diese beeinflussen die Abflusswege des Oberflächenabflusses und 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.

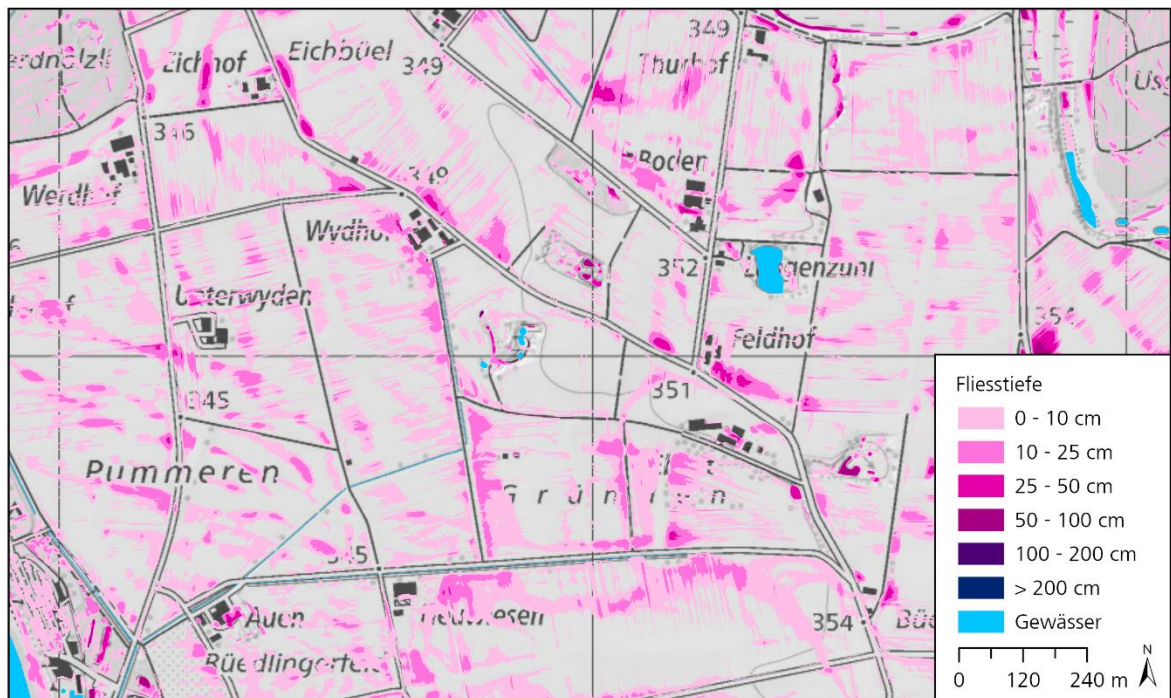


Abbildung 23: Im Terrainmodell abgebildete Ackerstrukturen beeinflussen die Fliesswege des Oberflächenabfluss. Hier ein Beispiel bei Flaach für ein 100-jährliches Ereignis (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

5.3.9 Abgrenzung zur Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz

Im Vergleich zur Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz (2018, [3]), weist die vorliegende Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich einige Verbesserungen insbesondere bezüglich der Datengrundlage und -aufbereitung, sowie bei der Wahl der Modellparameter auf. Die Tabelle 10 fasst die wichtigsten methodischen Unterschiede und Verbesserungen zusammen.

Tabelle 10: Methodische Unterschiede und Verbesserungen der Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich im Vergleich zur Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz (2018, [3]).

	Gefährdungskarte Schweiz	Hinweiskarte Kanton Zürich
Publikationsjahr	2018	2025
Modellversion	FloodArea ^{HPC} 10.3	FloodArea ^{HPC} 11.4
Modellauflösung	1 Meter	0.5 Meter
Aktualität Datengrundlagen	DTM: 2014 Bodenbedeckung: 2016	DTM: 2022 Bodenbedeckung: 2023
Niederschlag / Szenarien	Ein Szenario. Entspricht ca. einem 100- bis 300-jährlichen Ereignis	Vier Szenarien: - 30-jährliches Ereignis - 100-jährliches Ereignis - 300-jährliches Ereignis - 1'000-jährliches Ereignis
Aufbereitung Höhenmodell	Aufgrund der gröberen Auflösung wurden Strassen und befestigte Flächen abgesenkt, um deren Leitwirkung besser abbilden zu können.	Dank der höheren Auflösung und des besseren Höhenmodells konnte auf eine Absenkung befestigter Flächen verzichtet werden.
Abflusskoeffizient	Vereinfachter Ansatz zur Bestimmung der Abflusskoeffizienten. Insbesondere in steilen Gebieten resultierten dadurch eher zu hohe Abflusskoeffizienten.	Verbesserte Methodik unter Berücksichtigung der wichtigsten Faktoren wie - Bodenbedeckung/Landnutzung - Bodeneigenschaften - Relief - Niederschlag Die Berechnung erfolgte mit der hydrologischen Prozessierungssoftware Hydro ^{RAS} . Daraus resultieren hochaufgelöste Abflusskoeffizienten.
Rauigkeit	Einheitlicher Rauigkeitswert; keine Differenzierung in Abhängigkeit der Bodenbedeckung.	Definition der Rauigkeit in Abhängigkeit der Bodenbedeckung. Damit wird insbesondere die Fließgeschwindigkeit realitätsnaher abgebildet.
Unterführungen	Keine Berücksichtigung von Unterführungen. Bergseits von Unterführungen, welche nicht bereits im Höhenmodell abgebildet sind, kommt es deshalb zu einem künstlichen Rückstau und zu einer Seebildung. Die Gefahrensituation unterhalb der Unterführungen wird dadurch unterschätzt.	Berücksichtigung von Unterführungen mittels Punkteinspeisungen und -entnahmen und damit realitätsgetreuere Modellierung in Bereichen mit Brücken und Unterführungen.

Durch die verbesserte Methodik können Fliesswege noch realitätsgetreuer abgebildet werden. Dies spiegelt sich an zahlreichen Stellen in den Resultaten wider (vgl. Abbildung 25 & Abbildung 26).

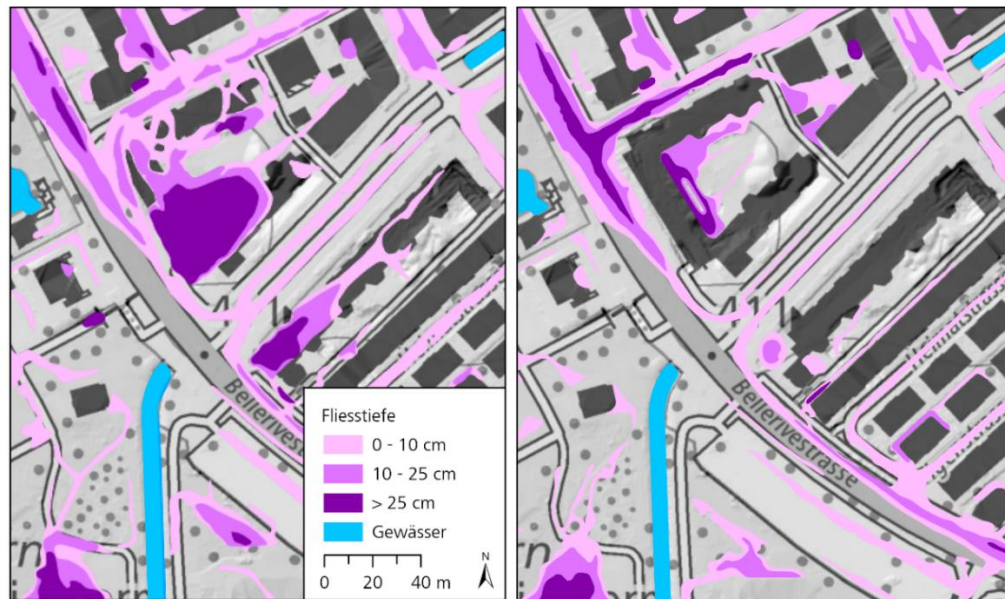


Abbildung 25: Vergleich Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz 2018 [3] (links) und Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton ZH (rechts) für einen Ausschnitt an der Bellerivestrasse in der Stadt Zürich. Die neue Überbauung ist in der Hinweiskarte des Kantons Zürich erfasst und die Fliesswege werden plausibel wiedergegeben, während die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz nicht mehr den aktuellen Stand abbildet und die neuen Gebäude nicht als Fließhindernisse erkennt. (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

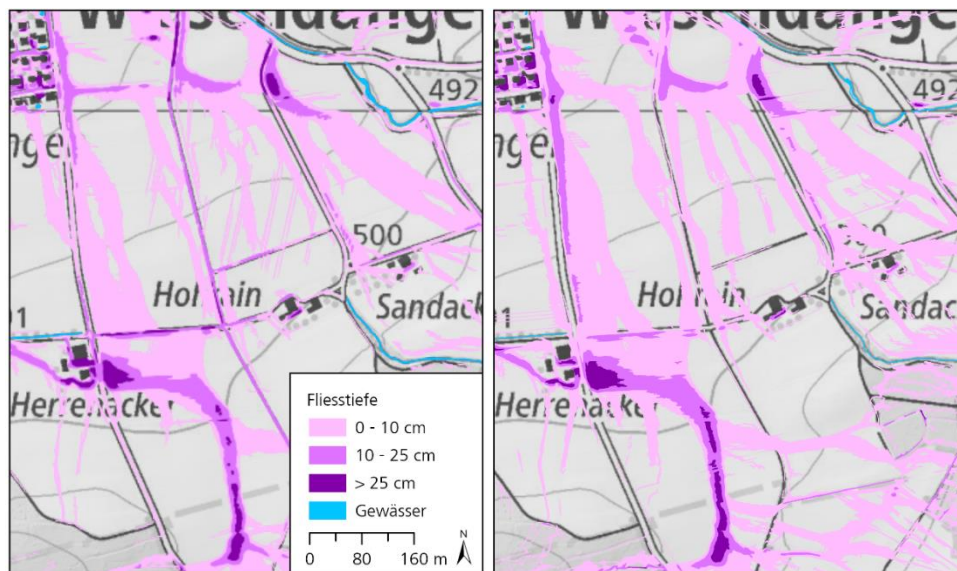


Abbildung 26: Vergleich Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz 2018 [3] (links) und Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton ZH (rechts) für einen Ausschnitt bei Wiesendangen. Bei der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz wurden befestigte Flächen abgesenkt, weshalb diese teilweise zu deutliche Leitlinien bilden. In der Hinweiskarte des Kantons Zürich wurde auf diese Absenkung verzichtet und das Oberflächenwasser folgt vermehrt der Topografie. (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarten und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

6 Produkte

6.1 Bericht

Der vorliegende Bericht besteht aus dem beschreibenden Hauptteil und den Anhängen. Der Bericht erläutert die angewandte Methodik zur Erarbeitung der Hinweiskarte Oberflächenabfluss Zürich sowie der aufbereiteten Geodaten. Weiter werden wichtige Hinweise zur Interpretation der Resultate gegeben. Es wird empfohlen, den Bericht und die Geodaten immer gemeinsam aufzubewahren.

6.2 Geodaten

Für den Kanton Zürich wurden basierend auf der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich (Datenstand: 23.09.2024) für den gesamten Kanton folgende Geodaten aufbereitet:

- Fliesstiefen für die Jährlichkeiten T_{30} , T_{100} , T_{300} , T_{1000}
- Fließrichtungen für die Jährlichkeiten T_{30} , T_{100} , T_{300} , T_{1000}
 - Massstab 1:3'000
 - Massstab 1:6'000
 - Massstab 1:12'000

Zudem wird ein Datensatz mit den berücksichtigten Unterführungen abgegeben. Damit ist die Nachvollziehbarkeit der oben genannten Produkte gegeben.

Die Abgabedaten sind im Anhang B detailliert beschrieben.

7 Fazit

Die Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich wurde kantonsweit nach einem einheitlichen Vorgehen modelliert.

Bei der Anwendung muss beachtet werden, dass das Produkt auf Stufe Hinweis mit einem Anwendungsmassstab von 1:12'500 erstellt worden ist. Die ausgeschiedenen Hinweisflächen basieren auf einem Modellierungsergebnis, welches ohne Geländearbeit und Plausibilisierung vor Ort erarbeitet worden ist. Die Karte weist somit nicht die Genauigkeit einer Gefahrenkarte auf und für weiterführende Informationen sind Detailabklärungen zwingend notwendig.

Generell sind die Hauptabflusswege an Siedlungsrandern 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. Kleinstrukturen und Schutzbauwerke wurden nämlich nicht in der Modellierung berücksichtigt, sofern sie nicht im verwendeten Terrainmodell abgebildet sind. Terrainveränderungen und/oder Neubauten können die Fliesswege von Oberflächenwasser ebenfalls verändern. Bei Verwendung der Hinweiskarte Oberflächenabfluss sind daher die Befunde vor Ort zu plausibilisieren und zu interpretieren.

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

Mit der Hinweiskarte Oberflächenabfluss Kanton Zürich verfügt der Kanton über ein Instrument, 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, 11. April 2025

geo7 AG

Dr. Andy Kipfer
Projektleiter / Geschäftsleitung

Natascia von Wattenwyl
Fachgruppen-Leitung Naturgefahren Simulation

Verzeichnisse

Literaturverzeichnis

- [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 (2021): Extremwertanalysen (Version 2021), Standardperiode 1961 – 2021. Zürich. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/>
- [3] Bundesamt für Umwelt (BAFU) / SVV / VKG (2018): Gefährdungskarte Oberflächenabfluss.
- [4] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten (Hrsg.) (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung KA5, 5. Auflage, 438 Seiten. Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden, Hannover.
- [5] BWW, BRP & BUWAL (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlungen. Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Freiburg und Biel.
- [6] Frei C. & Fukutome S. (2022): Extreme Punktniederschläge. In Daten- und Analyseplattform. Hydrologischer Atlas der Schweiz. <https://hydromaps.ch/>
- [7] Fürstentum Liechtenstein, Amt für Bevölkerungsschutz (2014): Niederschlagsstatistik und Modellregen Fürstentum Liechtenstein. Anwendungsdokument, Vaduz.
- [8] geomer GmbH, Ingenieurgemeinschaft Ruiz Rodriguez+Zeisler+Blank (2018): HydroRAS, Software zur Berechnung von Abflusskoeffizienten für die Starkregensimulation FloodAreaHPC. Anwenderhandbuch, Version 1.1 – April 2018, Heidelberg.
- [9] geomer GmbH (2022): FloodAreaHPC- Desktop. ArcGIS-Erweiterung zur Berechnung von Überschwemmungsbereichen. Anwenderhandbuch, Version 11.4.1 – 2022 Heidelberg.
- [10] Kanton Zürich (2025): Detailmodellierung Oberflächenabfluss Gemeinde Dietikon. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich. Bericht, Zürich.
- [11] Kanton Zürich (2025): Detailmodellierung Oberflächenabfluss Gemeinde Knonau. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich. Bericht, Zürich.
- [12] Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) (2013): Definition der Schutzhöhe beim Objektschutz Hochwassergefahren, Suter Hydro, Meilen.

Geodaten

- [13] Amtliche Vermessung Kanton Zürich (2023), Amt für Raumentwicklung Abteilung Geoinformation Kanton Zürich (Stand 19.09.2023).
- [14] Bauzonen Schweiz (harmonisiert), Bundesamt für Raumentwicklung ARE & kantonale Raumplanungsfachstellen (Stand 01.01.2022).
- [15] Digitales Terrainmodell Kanton Zürich (2022), Amt für Raumentwicklung Abteilung Geoinformation Kanton Zürich (Stand 13.12.2022).
- [16] Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, Bundesamt für Umwelt (BAFU) / Schweizerischer Versicherungsverband (SVV) / Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen (VKG) (2018).
- [17] Kunstbauten Kanton Zürich (2023), Tiefbauamt Kanton Zürich (Stand 22.11.2023)
- [18] Re3data.Org (2020): re3data.org - Registry of Research Data Repositories. Datensätze: Clay and Silt content in % (kg / kg), www.OpenLandMap.org, (Datenstand: Nov 2018).
- [19] swissTLM^{3D}, Bundesamt für Landestopografie (Stand März 2023).

Anhang

Anhang A Klassierung der Bodenbedeckungsdaten

Die AV-Daten wurden gemäss der Tabelle 11 klassiert.

Tabelle 11: Zuordnung der AV-Bodenbedeckungsarten.

Nr AV (ARTCHID)	Objektart AV (ART)	Bodenbedeckungstyp
0	Gebäude	Gebäude
1	Strasse, Weg	Befestigte Flächen
2	Trottoir	Befestigte Flächen
3	Verkehrinsel	Befestigte Flächen
4	Bahngebiet	Schienen
5	Flugplatz	Befestigte Flächen
6	Wasserbecken	Gewässer
7	Befestigte Fläche	Befestigte Flächen
8	Acker, Wiese, Weide	Ackerland
9	Reben	Weinanbau und Obstanbau
10	Intensivkultur	Ackerland
11	Gartenanlage	Grünflächen Siedlungsgebiete
12	Hoch-, Flachmoor	Moore und Marschland
13	Humusierte Fläche	Grünland
14	Stehendes Gewässer	Gewässer
15	Fliessendes Gewässer	Gewässer
16	Schilfgürtel	Moore und Marschland
17	Geschlossener Wald	Wald
20	Bestockte Fläche	Grünland
21	Fels	Fels
23	Geröll, Sand	Strand
24	Abbau, Deponie	Bergbau und Deponien

Ausserhalb des Kantons Zürich wurden die TLM-Daten verwendet. Da diese keinen flächendeckenden Datensatz bilden, wurden sie mit den homogenisierten Bauzonen Schweiz ergänzt. Die verwendeten Layers und deren Klassierung sind in Tabelle 12 beschrieben.

Tabelle 12: Klassierung der TLM-Daten und ARE-Bauzonen sowie deren Gewichtung bei der Umwandlung in einen Rasterdatensatz.

Layer	Objektart	Objektart AV	Nr AV (ART)	Gewichtung
Gebaeude_Footprint	Gebaeude	Gebäude	0	11
Gebaeude_Footprint	Hochhaus	Gebäude	0	11
Gebaeude_Footprint	Historische Baute	Gebäude	0	11
Gebaeude_Footprint	Kapelle	Gebäude	0	11
Gebaeude_Footprint	Sakraler Turm	Gebäude	0	11
Gebaeude_Footprint	Sakrales Gebaeude	Gebäude	0	11
Sportbaute_Ply	Sportplatz	Gartenanlage	11	7
Verkehrsbaute_Ply	Graspiste	Gartenanlage	11	7
Verkehrsbaute_Ply	Harbelaqpiste	Übriqe befestiqte	7	10
Verkehrsbaute_Ply	Perron	Übriqe befestiqte	7	10
Verkehrsbaute_Ply	Rollfeld Gras	Gartenanlage	11	7
Verkehrsbaute_Ply	Rollfeld Hardbelaq	Übriqe befestiqte	7	10
GHKW Gewaesserfl.	Wasserbecken	Wasserbecken	6	12
Staubaute	Staudamm	Gebäude	0	11
Staubaute	Staumauer	Gebäude	0	11
Verkehrsareal	Fluqfeldareal	Fluqplatz	5	10
Verkehrsareal	Fluqhafenareal	Fluqplatz	5	10
Verkehrsareal	Fluqplatzareal	Fluqplatz	5	10
Verkehrsareal	Heliport	Fluqplatz	5	10
Verkehrsareal	Öffentliches Parkplatzareal	Übriqe befestiqte	7	10
Verkehrsareal	Privates Fahrareal	Übriqe befestiqte	7	10
Verkehrsareal	Privates Parkplatzareal	Übriqe befestiqte	7	10
Verkehrsareal	Rastplatzareal	Übriqe befestiqte	7	10
Verkehrsareal	Verkehrsfläche	Übriqe befestiqte	7	10
Nutzungsareal	Reben	Reben	9	6
Nutzungsareal	Schrebergartenareal	Gartenanlage	11	7
Nutzungsareal	Deponieareal	Abbau, Deponie	24	10
Nutzungsareal	Lehmabbauareal	Abbau, Deponie	24	10
Nutzungsareal	Kiesabbauareal	Abbau, Deponie	24	10
Nutzungsareal	Steinbruchareal	Abbau, Deponie	24	10
Nutzungsareal	Abwasserreinigungsareal	Übriqe befestiqte	7	10
Nutzungsareal	Antennenareal	Übriqe befestiqte	7	10
Nutzungsareal	Baumschule	Übriqe bestockte Fläche	20	6
Nutzungsareal	Friedhof	Gartenanlage	11	7
Nutzungsareal	Historisches Areal	Gartenanlage	11	7
Nutzungsareal	Kraftwerkareal	Übriqe befestiqte	7	10
Nutzungsareal	Messeareal	Übriqe befestiqte	7	10

Layer	Objektart	Objektart AV	Nr AV (ART)	Gewichtung
Nutzungsareal	Obstanlage	Übrige Intensivkulturen	10	6
Nutzungsareal	Oeffentliches Parkareal	Gartenanlage	11	7
Nutzungsareal	Schul- und Hochschulareal	Übrige befestigte	7	10
Nutzungsareal	Spitalareal	Übrige befestigte	7	10
Nutzungsareal	Wald nicht bestockt	Geschlossener Wald	17	6
Freizeitareal	Campingplatzareal	Gartenanlage	11	7
Freizeitareal	Freizeitanlagenareal	Übrige befestigte	7	10
Freizeitareal	Golfplatzareal	Gartenanlage	11	7
Freizeitareal	Pferderennbahnareal	Gartenanlage	11	7
Freizeitareal	Schwimmbadareal	Gartenanlage	11	7
Freizeitareal	Sportplatzareal	Gartenanlage	11	7
Freizeitareal	Standplatzareal	Übrige befestigte	7	10
Freizeitareal	Zooareal	Gartenanlage	11	7
Bodenbedeckung	Fels	Fels	21	3
Bodenbedeckung	Fels locker	Fels	21	3
Bodenbedeckung	Feuchtgebiet	Hoch-, Flachmoor	12	8
GHKW Gewässerfl.	Stehende Gewässer	Stehende Gewässer	14	12
GHKW Gewässerfl.	Stehende Gewässer	Stehende Gewässer	15	12
Bodenbedeckung	Schilfgürtel	Schilfgürtel	16	6
Bodenbedeckung	Wald	Geschlossener Wald	17	6
Bodenbedeckung	Gletscher	Gletscher	22	4
Bodenbedeckung	Toteis, Schneefeld	Gletscher	22	4
Bodenbedeckung	Lockergestein	Geröll, Sand	23	5
Bodenbedeckung	Felsblöcke	Geröll, Sand	23	5
Bodenbedeckung	Felsblöcke locker	Geröll, Sand	23	5
Bodenbedeckung	Lockergestein locker	Geröll, Sand	23	5
Bodenbedeckung	Gebüschwald	Geschlossener Wald	17	6
Bodenbedeckung	Wald offen	Geschlossener Wald	17	6
Bodenbedeckung	Gehölzfläche	Geschlossener Wald	17	6
Strasse	-	Strasse, Weg	1	10
Eisenbahn	-	Bahn	4	10
ARE Bauzonen homogenisiert	-	Gartenanlage	11	2
Restliche weder im TLM noch in den ARE Bauzo- nen enthaltenen Flächen		Übrige humusierte	13	1

Da Strassen und Schienen im TLM nur als Liniendatensatz enthalten sind, wurden diese gemäss Tabelle 13 gepuffert.

Tabelle 13: Pufferung der TLM-Strassen und -Eisenbahnen:

Layer	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 B Beschrieb Abgabedaten

Datensätze Fliesstiefen:

Fliesstiefen.gdb

Dateinamen: ofa_fliesstiefen_(Jaehrlichkeit)

Format: Feature Class, Polygon

Koordinatensystem: CH1903+ LV95

Attribut	Inhalt	
Waterlevel	Bezeichnung Fliesstiefe:	Wert Fliesstiefe [m]:
	0 – 0.1 m	$0 < h \leq 0.1$
	0.1 – 0.25 m	$0.1 < h \leq 0.25$
	0.25 – 0.5 m	$0.25 < h \leq 0.5$
	0.5 – 1.0 m	$0.5 < h \leq 1$
	1.0 – 2.0 m	$1 < h \leq 2$
	≥ 2.0 m	$h \geq 2$
	Gewässer	Gewässer
Waterlevel_Code	Numerischer Code:	Wert Fliesstiefe [cm]:
	1	$0 < h \leq 10$
	2	$10 < h \leq 25$
	3	$25 < h \leq 50$
	4	$50 < h \leq 100$
	5	$100 < h \leq 200$
	6	$h \geq 200$
	99	Gewässer

Vorschlag Darstellung:

Bezeichnung Fliesstiefe	RGB Farb-Definition
0 – 0.1 m	FFBEE8
0.1 – 0.25 m	FF73DF
0.25 – 0.5 m	E600A9
0.5 – 1.0 m	A80084
1.0 – 2.0 m	4C0073
≥ 2.0 m	002673

Details s. auch Abgabedaten Symbolology «ofa_fliesstiefen.lyrx»

Datensätze Fliessrichtungen:

Fliessrichtungen.gdb

Dateinamen: **ofa_fliessrichtungen_(Jaehrlichkeit)_1zu12000**

Format: Feature Class, Point

Koordinatensystem: CH1903+ LV95

Vorschlag Darstellung: ab Massstab 1:10'000

(s. Abgabedaten Symbology «Fluessrichtung_Massstab_1_12000.lyrx»)

Attribut	
DIR	Fluessrichtung für Massstab 1:12000
SCORE	Gütwert des Fluessrichtungsvektors

Dateinamen: **ofa_fliessrichtungen_(Jaehrlichkeit)_1zu6000**

Format: Feature Class, Point

Koordinatensystem: CH1903+ LV95

Vorschlag Darstellung: zwischen 1:5'000 und 1:10'000

(s. Abgabedaten Symbology «Fluessrichtung_Massstab_1_6000.lyrx»)

Attribut	
DIR	Fluessrichtung für Massstab 1:6000
SCORE	Gütwert des Fluessrichtungsvektors

Dateinamen: **ofa_fliessrichtungen_(Jaehrlichkeit)_1zu3000**

Format: Feature Class, Point

Koordinatensystem: CH1903+ LV95

Vorschlag Darstellung: bis zu Massstab 1:5'000

(s. Abgabedaten Symbology «Fluessrichtung_Massstab_1_3000.lyrx»)

Attribut	
DIR	Fluessrichtung für Massstab 1:3000
SCORE	Gütwert des Fluessrichtungsvektors

Datensatz Unterführungen:

Dateiname: **ofa_unterfuehrungen**

Format: Shape file, Polyline

Koordinatensystem: CH1903+ LV95

Attribut	
Typ	Pump / Entnahme *

* Typ Pump: Wasser wird vom Startvertex zum Endvertex gepumpt

Typ Entnahme: Wasser wird am Startvertex entnommen und aus dem System entfernt (keine Einspeisung beim Endvertex)