

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 51 (2010)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Anwendung hochauflösender Geländemodelle : Identifikation von Quellgebieten und Abflussflächen in landwirtschaftlich genutzten Zonen von Riehen und Bettingen  
**Autor:** Wegmüller-Gerber, Alexandra  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088038>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Anwendung hochauflösender Geländemodelle

Identifikation von Quellgebieten und Abflussflächen in landwirtschaftlich genutzten Zonen von Riehen und Bettingen

Alexandra Wegmüller-Gerber

### *Zusammenfassung*

*In den Basler Landgemeinden Riehen und Bettingen sind viele landwirtschaftlich genutzte und angrenzende Siedlungsflächen durch Oberflächenabfluss gefährdet. Da unbearbeitete Geländemodelle oftmals nicht die wahre Hydrologie der Oberfläche abbilden, wurden entsprechend ergänzte Geländemodelle entwickelt und getestet. Mit Hilfe von hochauflösenden hydrologisch "wahren" Geländemodellen wurden Abflusswege in gefährdeten Gebieten simuliert. Dabei wurden die Auswirkungen von Anpassungen in Rasterauflösung und die Eignung von verschiedenen Algorithmen zur Berechnung des Oberflächenabflussweges untersucht. Anhand der optimierten Modelle können bessere Prognosen für die unter normalen Umständen zu erwartenden Abflusswege erstellt werden.*

## 1 Einleitung

Erosion und Oberflächenabfluss gefährden viele landwirtschaftlich genutzte Flächen in den Basler Gemeinden Riehen und Bettingen. Neben der Bodenschädigung werden auch sogenannte off-site-Schäden verursacht, welche sich in diesem Fall in Form von Beeinträchtigungen von Strassen und Siedlungsflächen durch Oberflächenabfluss und den damit verbundenen Schlammablagerungen zeigen (Abb. 1). Im Rahmen des Projektes "Bodenfruchtbarkeit Region Basel" der betroffenen Gemeinden und des Kantons wurden bereits eine Bestandesaufnahme der Böden erstellt, eine Erosionsgefährdungskarte angefertigt und entsprechende Schutzmassnahmen mit den Landwirten der betroffenen Flächen vereinbart (Gasche & Emch 2009, 3).



Abb. 1 Oberflächenwasser während und nach einem Starkniederschlag am 15.07.2009 im Gebiet Rotengraben in Riehen.

Fotos: A. Wegmüller



Die untersuchten Flächen in Riehen und Bettingen liegen in der kollinen Stufe (etwa 350 m ü. M.). Das Untersuchungsgebiet umfasst landwirtschaftliche Nutzflächen im Tal und den unteren Hanglagen. Steilere Oberhänge und Kuppen auf dem verkarsteten mesozoischen Ausgangsgestein sind bewaldet (Wittmann et al. 1970). Die landwirtschaftlich genutzten Böden, vorwiegend Kalkbraunerden und Parabraunerden, bestehen in erster Linie aus tiefgründigem schluffig-sandigem Löss- und Hanglehm (Gasche & Emch 2009, 10). Die steilsten Hangneigungen (bis zu 20 %) sind zwar in erster Linie in den Waldgebieten zu finden, doch weisen auch die meisten landwirtschaftlich genutzten Flächen erosionsverstärkende Hangneigungen bis zu 18 % auf. Im Untersuchungsgebiet entsteht der gefährdende Oberflächenabfluss vor allem aus Niederschlägen.

Während Starkniederschlägen oder längerer Regenperioden sind die Wege, entlang derer sich Oberflächenabfluss bewegt, schlecht vorhersehbar. Die Ursache ist ein Mangel von ausreichend aufgelösten Geländemodellen zur Berechnung der Abflusswege (Routing). Anhand von detaillierten Oberflächenabflussanalysen mit Geographischen Informationssystemen (GIS) und Feldbeobachtungen wurde das Abflussrouting ausgewählter Gebiete genauer untersucht. Ein wichtiger Punkt für die Grundlage der digitalen Höhenmodelle stellte die Rastergrösse dar. Insbesondere beim Oberflächenabfluss sind engere Maschenweiten vorzuziehen, da bereits kleinere Objekte einen grossen Einfluss auf die Abflusswege haben können.

Ziel der Arbeit war es, eine hydrologisch “wahre” Karte zu erstellen, welche mit verschiedenen Methoden zur Bearbeitung von hochauflösenden Geländemodellen optimiert wurde. Unbearbeitete Oberflächenmodelle sind für das Routing nur limitiert zu nutzen; daher wurden diverse Möglichkeiten zur Optimierung der Modelle getestet. Anhand der gesammelten und ausgewerteten Informationen sollten der Gemeinde diverse Anwendungsmöglichkeiten als Hilfestellung bei den zu treffenden Massnahmen geboten werden, um die fortschreitende Bodenerosion zu stoppen und zukünftige off-site-Schäden möglichst zu vermeiden.

## 2 Identifikation von Abflussflächen – Wie funktioniert Abflussrouting?

Um Abflussflächen und Wege identifizieren zu können, wurden digitale Geländemodelle in Form von Rasterdaten erzeugt. In diesen Rastern mussten allfällige Senken, welche durch Ungenauigkeiten in den Höhenmodellen auftreten können, aufgefüllt werden. Dabei wird das Höhenmodell “geglättet”. Anschliessend konnte auf der Basis des so genannt depressionslosen Höhenmodells die Fliessrichtung berechnet werden. In der Flow Direction-Matrix (Abb. 2) wird für jede Zelle die Entwässerungsrichtung angegeben. In ArcGIS wurde danach die ‘Flow Accumulation’ berechnet, welche die Summe des jeder Zelle zugeflossenen Wassers ermittelt. Damit kann ein virtuelles Gerinnenetz dargestellt werden. Dieses zeigt aber, wie in Abb. 3 zu sehen ist, nur den Fliessweg einer Singleflow-Matrix, bei der die untersuchte Zelle jeweils nur in eine der acht umliegenden Zellen entwässert wird.

Zum Vergleich konnten im Programm Matlab von Mathworks anhand der Funktionen der TopoToolbox (Schwanghart & Kuhn 2010) Modelle mit den Funktionen Multiflow (Abb. 4), Singleflow und entsprechend angepassten Rastern berechnet werden. Der Algorithmus der Multi-flow-Modelle unterscheidet sich von der Singleflow-Variante durch die Fliessrichtungsmatrix. Dabei wird die Entwässerung in jeweils mehrere Zellen aufgeteilt und entsprechend prozentual gewichtet. Dadurch entstehen naturnähtere Modelle.

Raster mit Höhenangaben (z-Werte)

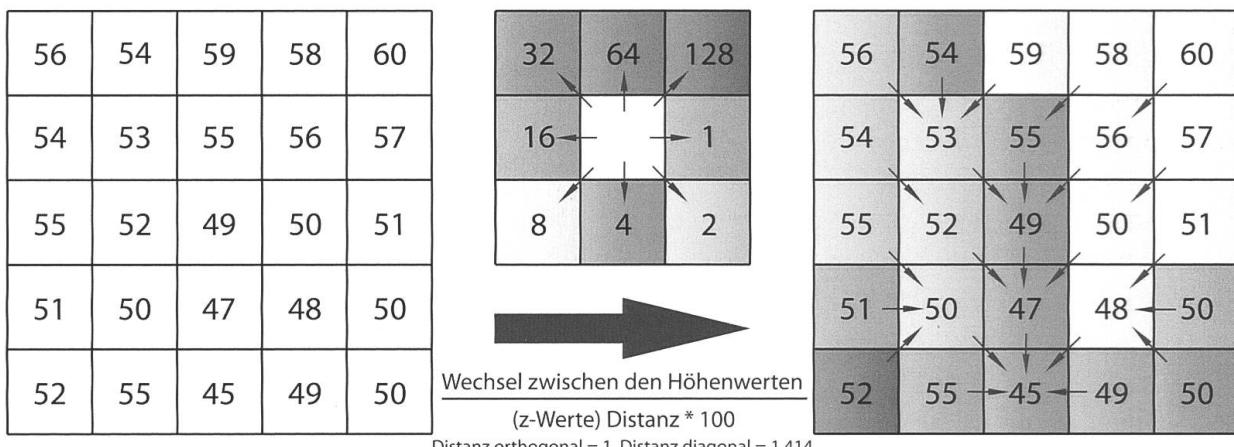


Abb. 2 Flow Direction beim Singleflow-Algorithmus. Jede Zelle entwässert in eine Richtung (verändert nach  $\oplus_1$ ).

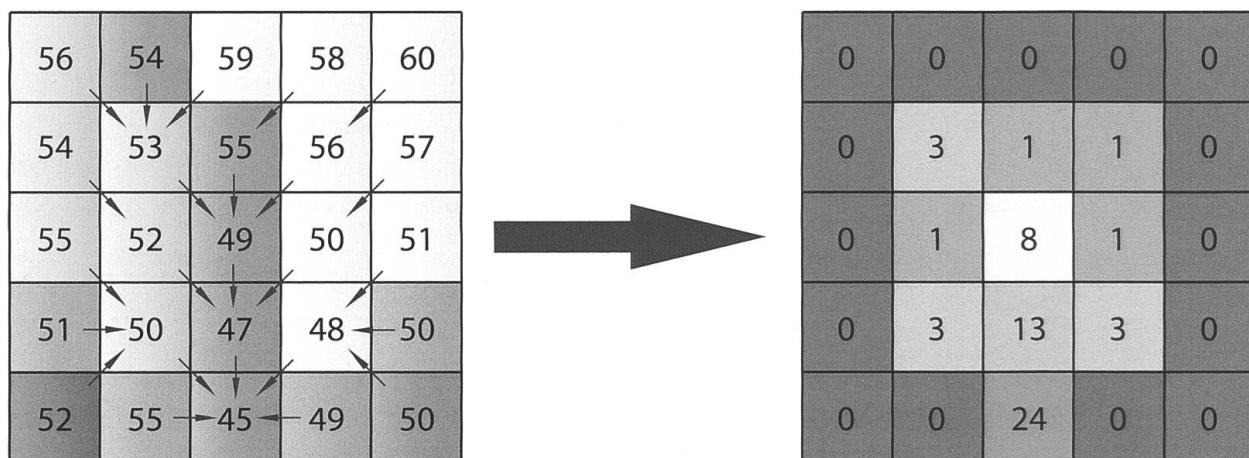


Abb. 3 Flow Accumulation beim Singleflow-Algorithmus (verändert nach  $\oplus_2$ ).

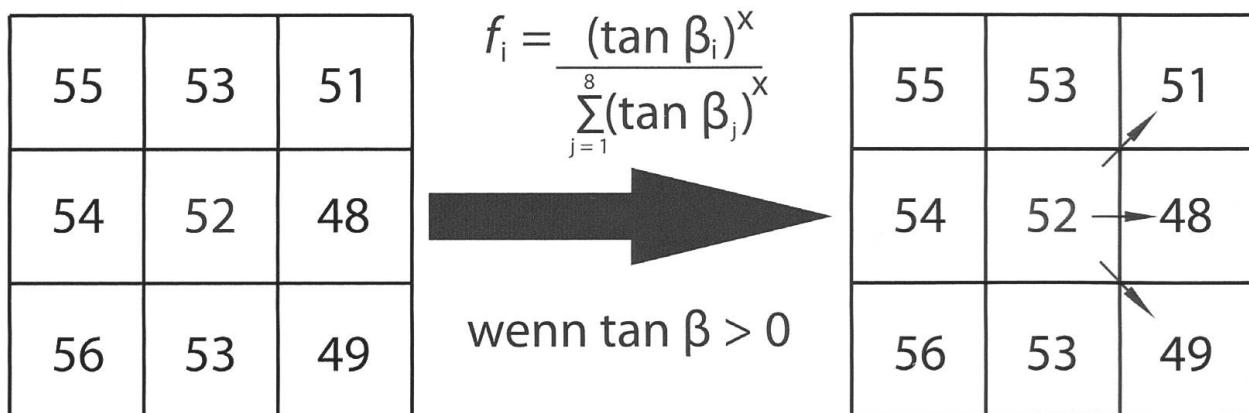


Abb. 4 ‘Flow Direction’ beim Multiflow-Algorithmus. Der Wasserabfluss fliesst in alle Zellen, welche einen niedrigeren z-Wert aufweisen, und wird proportional zu den Neigungsgradienten aufgeteilt, wobei  $f_i$  = Flow Proportion (0..1) in Richtung  $i$ ;  $i,j$  = flow direction;  $\tan \beta_j$  = Neigungsgradient zwischen der Zentralzelle und der Zelle in Richtung  $i$  und  $x$  = variabler Exponent (verändert nach Holmgren 1994).

### 3 Methoden

Als Datengrundlage dienten die Datensätze zu den Haupt- und Nebenhöhenlinien des Grundbuch- und Vermessungsamtes Basel-Stadt. Mit diesen konnten im ArcGIS von ESRI mit dem Tool “Topo to Raster” hydrologisch wahre Digitale Höhenmodelle (DHM) mit den Rasterweiten von 0.2 m, 0.5 m, 1 m und 3 m generiert werden. Anhand dieser Raster wurden dann die im Kapitel 2 besprochenen Routings durchgeführt. Ergebnis ist ein Muster von Oberflächenabfluss, welches entstehen würde, wenn über einen längeren Zeitraum regelmässig pro Zelle 1 mm Wasser fällt (Routing). Dieses Muster bleibt immer gleich, unabhängig davon, welche Wassermengen durchfliessen. Das Ziel der Masterarbeit war, das Routingmuster mit verschiedenen Rastergrössen und Algorithmen zu simulieren und zu vergleichen.

Um eine “wahre” hydrologische Karte herzustellen, wurden Oberflächenabfluss beeinflussende Objekte und Rinnen kartiert, welche nicht im Digitalen Höhenmodell vorhanden waren, und anschliessend in die GIS-Karten übertragen. Dafür konnte die Software ‘DNR Garmin’ der Universität Minnesota (🌐) verwendet werden. Anschliessend wurden entsprechende Anpassungen in den Rastern vorgenommen. Beispielsweise wurden Gebäude erhöht, um den Abfluss wie in der Realität um die Gebäude herumzuleiten.

Zudem ist zu betonen, dass Rastergrössen, welche kleiner sind als die Datengrundlagen, in diesem Fall die Raster 0.2 m und 0.5 m, nur eine scheinbare höhere Genauigkeit liefern, da sie aus einem 1 m-Raster interpoliert wurden. Trotzdem sind sie für kleine Anpassungen mit Vorbehalt geeignet, da viele Anpassungen von Abfluss beeinflussenden Oberflächenstrukturen, wie Rinnen, Mauern und Ähnliches, nur in einem so engmaschigen Raster korrekt abgebildet werden können. Zum Vergleich wurden Datensätze mit den Rasterweiten 0.2 m, 0.5 m, 1 m und 3 m gewählt. Die Rastergrösse hat nicht nur einen Einfluss auf das Resultat, sondern auch einen grossen Einfluss auf die Datensatzgrösse. Da die Datensatzgrösse quadratisch mit der Verkleinerung der Gitterweite ansteigt, müssen die untersuchten Gebietsteile entsprechend verkleinert werden, da die Kapazitäten des Rechners sonst überlastet wären. Da die zu berechnende Fläche extrem verkleinert werden muss, lohnt sich diese Rastergrösse nur für Detailbeobachtungen, welche dann dafür aus dem Gesamtabfluss abgeschnitten werden.

Damit von Abfluss besonders betroffene Gebiete schneller berechnet werden konnten, mussten diese an hydrologisch sinnvollen Grenzen ausgeschnitten werden, damit möglichst zusammenhängende Abflussgebiete entstanden.

Die Ergebniskarten mit dem Routing des Abflusses wurden anhand von realen Schadefällen, welche bei der Gebäudeversicherung Basel-Stadt gemeldet wurden, auf ihre Qualität überprüft. Aus Gründen des Datenschutzes dürfen weder genaue Angaben über betroffene Gebäude noch über die betroffenen Strassenzüge gemacht werden.

### 4 Ergebnisse und Diskussion

Die Qualität und Eignung der Rastergrössen, der Veränderungen in den Rastern, welche als Modellgrundlage dienten, und die Algorithmen, welche verwendet wurden, sollen nun einzeln besprochen werden.

In den Abb. 5 und 6 sind die Akkumulationswerte in Form einer logarithmischen Skala zur Basis e dargestellt. Die Qualitätsunterschiede können nicht nur anhand der vergrösserten Skala, sondern auch in den Abflussbereichen (hell) erkannt werden.

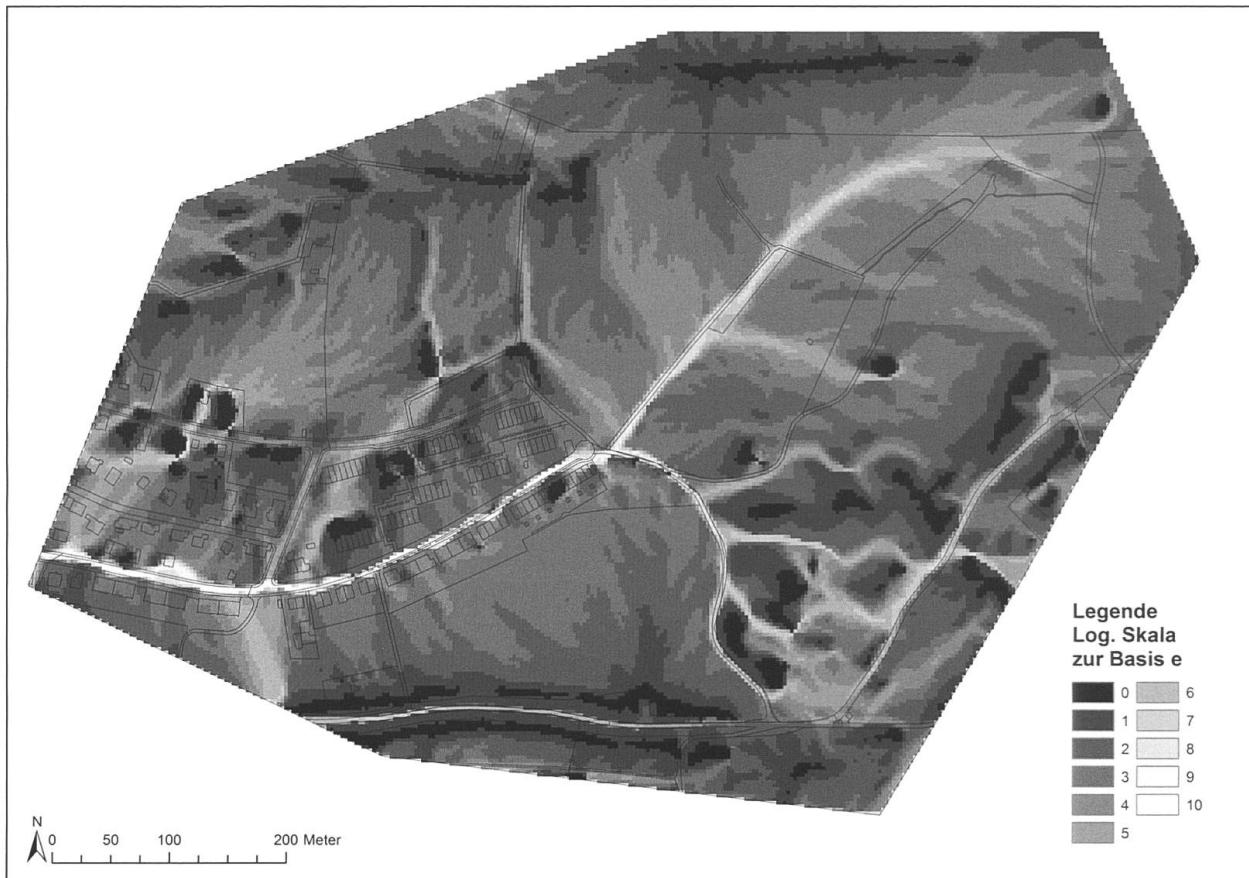


Abb. 5 3 m-Raster im Multiflow-Algorithmus dargestellt. Zur besseren Darstellung der Abflusswege (hell) wurde die Skala logarithmisiert, d. h. die eigentliche Zahl muss mit  $e$  exponiert werden (Universität Basel, Stand 06.12.2009; Benutzungsbewilligung des Grundbuch- und Vermessungsamtes Basel-Stadt zur Verwendung der CAD-Daten vom 01.04.2009; alle Rechte vorbehalten). *Autorin: Alexandra Wegmüller*

#### 4.1 Algorithmen und Rastergrößen

Die beiden Algorithmen Singleflow und Multiflow sind entsprechend nach der verlangten Genauigkeit zu werten. Singleflow zeigt lediglich die Hauptabflusswege an, da jede Zelle nur eine Richtungsmöglichkeit für den Abfluss hat. Das Modell Multiflow ist der Natur schon etwas näher, da im Normalfall nicht alles Wasser in die exakt gleiche Abflusslinie fliesst. Besonders deutlich werden die Unterschiede in den diversen Rastergrößen.

Die Rastergrößen 0.2 m (Abb. 6) und 0.5 m waren zwar sehr genau, hatten aber auch den Nachteil, dass das Bearbeiten der Datensätze sehr mühsam wurde. Die besten Eigenschaften hatte das 1 m Raster, da dieses bei guter Genauigkeit noch im Rahmen der Kapazitäten des Rechners lag. Trotzdem gingen viele kleinere kartierte Details verloren. Es konnten nur Objekte, welche eine Mindestgröße von ein paar Quadratmetern aufwiesen, sinnvoll angepasst werden.

Das 3 m-DHM (Abb. 5) ist für einen ersten Überblick sehr empfehlenswert, da es sehr schnelle Berechnungen erlaubt. Für genauere Identifikationen der Abflusswege muss aber mindestens ein 1 m-DHM genutzt werden.

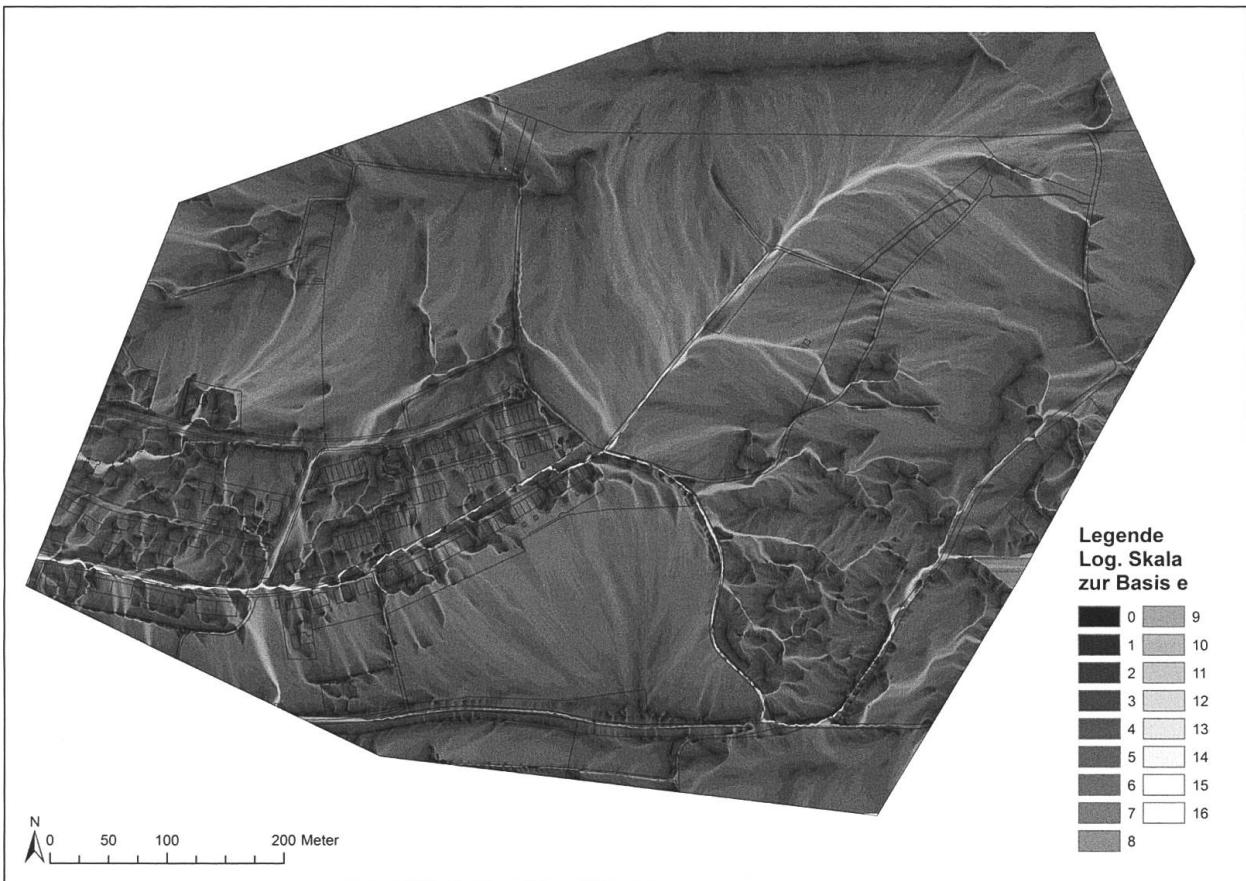


Abb. 6 0.2 m-Raster im Multiflow-Algorithmus dargestellt. Die Genauigkeit der Abflusswege (hell) ist wesentlich höher als im 3 m-Raster. Zu beachten ist auch die durch die vergrösserte Rasteranzahl vergrösserte logarithmische Skala (Universität Basel, Stand 06.12.2009; Benutzungsbewilligung des Grundbuch- und Vermessungsamtes Basel-Stadt zur Verwendung der CAD-Daten vom 01.04.2009; alle Rechte vorbehalten).

*Autorin: Alexandra Wegmüller*

## 4.2 Anpassungen

Die detektierten Rinnen, Mauern etc. wurden in die Karten übertragen und dem DHM entsprechend zu einer wahren hydrologischen Karte angepasst. Die meisten Elemente waren mit nur wenigen cm bis dm Breite zu klein und wurden nicht ins Raster übertragen. Dafür hatten Änderungen bei grösseren Objekten eine grosse Wirkung. Oberflächenanpassungen, welche eine Mindestgrösse von mehreren Quadratmetern aufweisen, konnten ohne Probleme eingefügt werden. Insbesondere Gebäude und Strassen, welche grossen Einfluss auf das Ablussverhalten haben, erlaubten eine viel genauere Berechnung der Abflusswege. Gebäude wurden entsprechend erhöht, damit der Abfluss um das Bauwerk fliesst. Fensteröffnungen, Türen und Kellerschächte, welche als Einlasspforten für das Wasser dienen könnten, wurden nicht berücksichtigt. Strassen wurden entsprechend etwas herabgesetzt, da das Wasser meist innerhalb der durch Rinnsteine begrenzten Fläche bleibt oder die Strassen bei Wald- und Feldwegen oftmals etwas abgesetzt waren. In den Abb. 7 und 8 sind die Veränderungen in einem Raster mit 3 m Auflösung im Singleflow-Algorithmus gut ersichtlich.

Ausschnitt Rotengraben



Abb. 7 3 m-Raster im Singleflow-Algorithmus dargestellt. Hier wurden noch keine Veränderungen im Raster vorgenommen. Die Abflusswege führen noch durch Hindernisse, wie beispielsweise Gebäude, hindurch (Universität Basel, Stand 06.12.2009; Benutzungsbewilligung des Grundbuch- und Vermessungsamtes Basel-Stadt zur Verwendung der CAD-Daten vom 01.04.2009; alle Rechte vorbehalten).

*Autorin: Alexandra Wegmüller*

#### 4.3 Überprüfung der Daten anhand realer Schadensfälle

Von der Gebäudeversicherung Basel-Stadt konnten aus den Schadenmeldungen durch Oberflächenwasser seit dem Jahr 2000 insgesamt 12 Tage mit grösseren Schadenereignissen ermittelt werden. Davon waren rund 45 Haushalte betroffen, wobei drei Häuser bei mehreren Ereignissen involviert waren. Aus Gründen des Datenschutzes dürfen die Häuser und Strassenzüge hier nicht erwähnt werden. Die Übereinstimmung mit den Multiflow-Modellen wurde jedoch überprüft. Dabei konnte eine gute Übereinstimmung gefunden werden. Mehrere Häuser waren mitten in den Hauptabflusslinien, und in drei Fällen wurden bereits Schäden durch Oberflächenwasser gemeldet. Zwei Fälle lagen zwar neben Abflusslinien, doch ist aus der Schadenbeschreibung zu entnehmen, dass die Wasserströme über die Strassen oder Abflussrinnen getreten sind und so in Keller oder Ähnliches laufen konnten. Im gesamten Gebiet gab es lediglich eine Häuserreihe, welche Wasser im Untergeschoß zu beklagen hatte, die nicht in einer entsprechenden Zone lag. Bei einer Besichtigung vor Ort konnte keine befriedigende Erklärung gefunden werden; allerdings stellen niedrige Lüftungsschächte im Untergeschoß der betroffenen Gebäude bei Extremniederschlägen kaum eine Barriere dar.

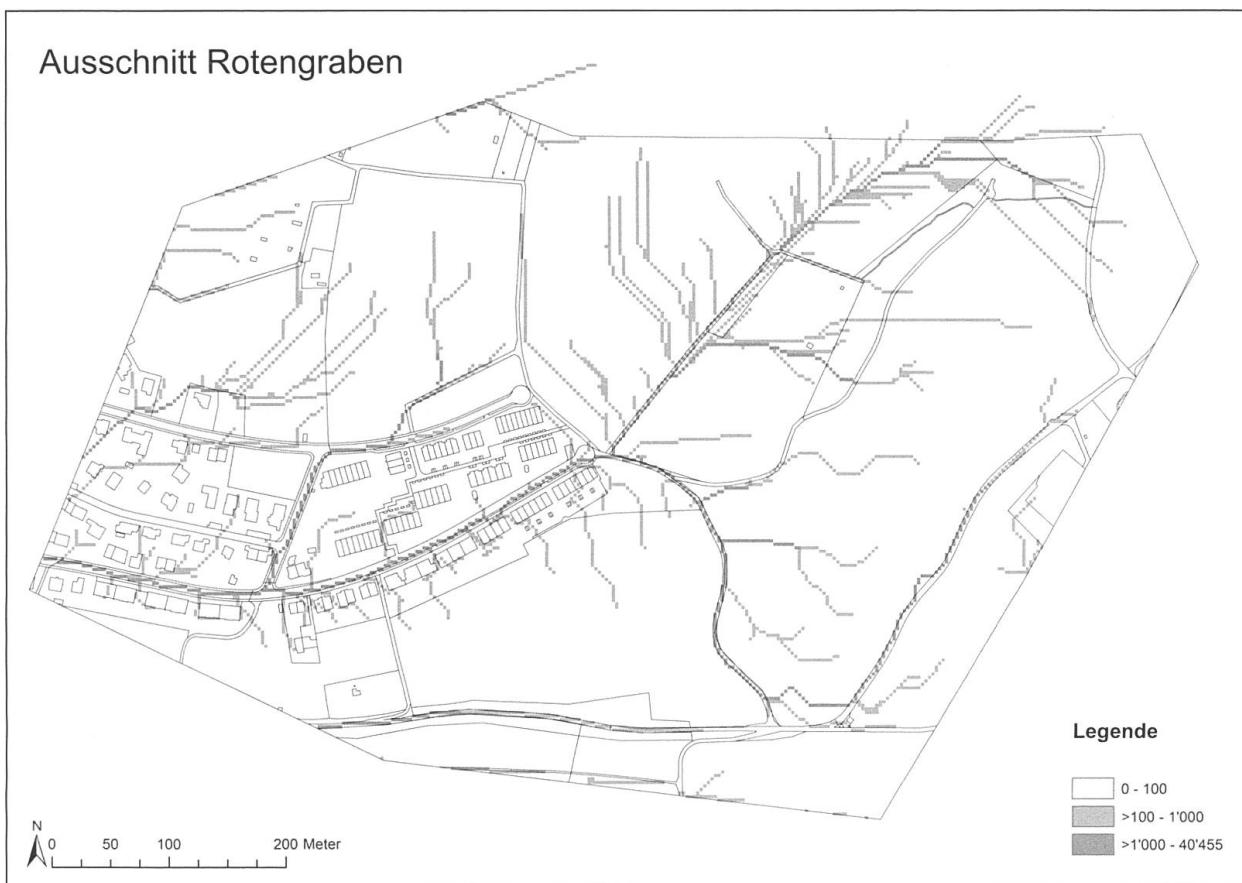


Abb. 8 3 m-Raster im Singleflow-Algorithmus dargestellt. Bei dieser Grafik wurden diverse Veränderungen im Raster vorgenommen. Beispielsweise wurden Straßen angepasst oder Gebäude höher gesetzt. Damit werden realere Abflusswege erreicht (Universität Basel, Stand 06.12.2009; Benutzungsbewilligung des Grundbuch- und Vermessungsamtes Basel-Stadt zur Verwendung der CAD-Daten vom 01.04.2009; alle Rechte vorbehalten).

*Autorin: Alexandra Wegmüller*

## 5 Schlussfolgerungen

Die hydrologisch "wahren" Modelle sind für das Routing gut geeignet. Der limitierende Faktor besteht in erster Linie in der Auflösung der untersuchten Gebiete. Die Rastergrösse ist für eine möglichst genaue Analyse der Abflusswege möglichst klein zu wählen, da der Oberflächenabfluss auch von kleineren Objekten beeinflusst wird. Vor allem für den Singleflow-Algorithmus reichen Rastergrössen von 1 m aus, um gute Resultate zu erzielen. Bei den Multiflow-Algorithmen wird mit kleinerer Rastergrösse die Genauigkeit erhöht. Die Datenmenge ist in diesem Fall der limitierende Faktor.

Veränderungen im Raster machen erst ab einer Mindestgrösse von mehreren Quadratmetern einen Sinn, da sie sonst nicht genügend Rasterpunkte verändern, um das Abflusssystem entsprechend zu verändern. Vor allem grössere Objekte wie Straßen, Gebäude und Ähnliches erzielen gute Effekte. Zudem liegt insbesondere im Multiflow-Algorithmus ein gutes Potenzial, um zu erwartende Abflussflächen und -wege zu prognostizieren.

Trotz den guten Möglichkeiten sind den Modellen aber Grenzen gesetzt. Da bei den Modellen nur das Routing berücksichtigt wurde, können keine Aussagen über Wassermengen gemacht werden. Bei Starkregenereignissen können die Oberflächenabflussbahnen ausserdem kurzfristig andere Richtungen und Routen entwickeln. Es handelt sich also nur um eine wahrscheinliche Abschätzung und um potenzielle Muster, welche die Art des Niederschlags nicht mit einbeziehen.

Als zusätzliche Anpassung können in den Karten Abwasserabflüsse eingefügt werden. Da bei Starkniederschlägen oft die Abflüsse durch mitgeführtes Material verstopfen oder die Öffnungen durch die grossen und schnell fliessenden Wassermassen einfach überflossen werden, müssen geeignete Abflusswerte zugeteilt werden.

Ausserdem wäre ein weiterer Entwicklungsschritt der Einbezug von der zu erwartenden Wassermenge. Damit könnte eine noch genauere Prognose der Abflusswege erstellt werden. Das Potenzial solcher Karten wäre sehr gross. Man könnte gefährdete Siedlungsgebiete etc. erkennen und entsprechende Massnahmen ergreifen. Somit könnten in gefährdeten Zonen bereits mit geringem Aufwand teure und unangenehme Wasserschäden, welche durch Oberflächenwasserabfluss entstehen, vermieden werden.

## Literatur

- Gasche T. & Emch N. 2009. *Projektgesuch Ressourcenprogramm BLW. Bodenfruchtbarkeit Region Basel.* 2. überarbeitete Fassung 11.02.2009, 1–35.
- Holmgren P. 1994. Multiple flow direction algorithms for runoff modelling in grid based elevation models: An Empirical Evaluation. *Hydrological Processes* 8: 327–334.
- Schwanghart W. & Kuhn N.J. 2010. TopoToolbox: A set of Matlab functions for topographic analysis. *Environmental Modelling & Software* 25: 770–781.
- Wittmann O., Hauber L., Fischer H., Rieser A. & Staehelin P. 1970. *Geologischer Atlas der Schweiz 1:25000. Blatt 1047 Bern.*

## Links

- ① [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow\\_Direction](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow_Direction)
- ② [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow\\_Accumulation](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Flow_Accumulation)
- ③ [www.dnr.state.mn.us/mis/gis/tools/arcview/extensions/DNRGarmin/DNRGarmin.html](http://www.dnr.state.mn.us/mis/gis/tools/arcview/extensions/DNRGarmin/DNRGarmin.html)