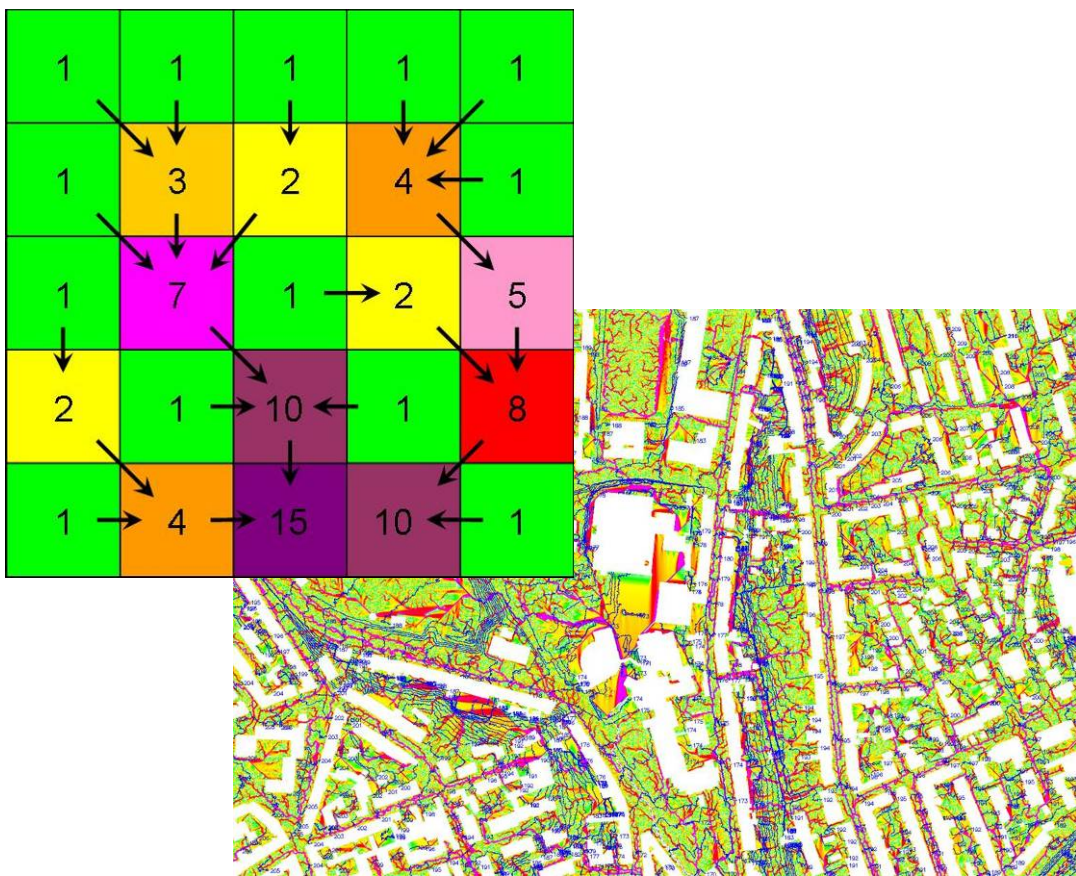


## Rasterfahndung



## Dem Oberflächenwasser auf der Spur

Juni 2011

von Jonas Beck

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b><u>Vorwort</u></b>	<b>3</b>
<b><u>1. Einleitung</u></b>	<b>4</b>
<b><u>2. Hintergrund</u></b>	<b>5</b>
<b><u>3. Das Abflussgeschehen „oberflächlich erfassen“</u></b>	<b>6</b>
3.1 ROHDATEN DER TOPOGRA- PHISCHEN GELÄNDEINFOR- MATION	7
3.2 GELÄNDEMODELL	7
3.3 SIMULATION DES OBER- FLÄCHENABFLUSSES	7
<b><u>4. Wuppertal gerastert: Massendaten im IB Beck</u></b>	<b>9</b>
4.1 <i>MAGRICOM</i>	9
4.2 TECHNISCHE GRUNDLAGE (AUSSTATTUNG)	10
4.3 DAS GELÄNDEMODELL FÜR WUPPERTAL	10
4.4 AUFBAU DER SIMULATION BEI MAGRICOM	11
4.5 RESULTATE	11
<b><u>Literaturangaben</u></b>	<b>13</b>

---

## Vorwort

---

Auch wenn es in diesem Info nicht danach aussieht, auch wenn die dramatischen Ereignisse der letzten Monate in Japan bzw. Nordafrika die vernetzte Wahrnehmung der Weltgemeinschaft auf ganz andere Dinge lenken, und auch wenn man es nicht mehr hören kann: letztendlich hat dieser Beitrag im Kern auch wieder mit dem Thema „Klima im Wandel“ zu tun.

Es hat schon groteske Züge, wenn man von Vertretern der jüngeren Altersgruppen am etwas zu lange geöffneten Kühlschrank in die Mithaftung für globale Erwärmung genommen wird. Aber um derartige überemotionale Spitzfindigkeiten geht es hier selbstverständlich nicht, sondern um das sachlich nüchterne Bearbeiten und Bewerten eines Zustandes, der sich auf der befestigten Oberfläche urbaner Räume besonders deutlich und Schaden bringend manifestiert, dem Oberflächenabfluss nach extremen Niederschlagsereignissen. Dass diese mittlerweile gesichert als tendenziell zunehmend eingestuft werden müssen, haben wir schon im Beck Info 20 ausführlicher beschrieben.

Wir möchten Ihnen mit diesem Beitrag unserer Reihe einen kurzen Einblick geben in das Arbeiten mit den für die genannte Thematik notwendigen Massendaten, den dabei auftretenden Hindernissen und Beschränkungen und unsere Vorgehensweise vorstellen, aus der heraus eine eigene Programmierung zur effizienten Verarbeitung von Rasterdaten erfolgte.

Damit also niemand vom einleitenden Absatz gleich wieder abgeschreckt wird - wir widmen

uns dem Infobeitrag so, dass dieser auch noch den Untertitel „Das etwas andere Informatikerblatt“ vertragen hätte – dröger Text zu einem nassen Inhalt.

Viel Spaß beim Lesen!

---

## 1. Einleitung

---

Den Inhabern und Betreibern von Kanalisationsnetzen obliegt es, diese Netze so zu dimensionieren und zu unterhalten, dass es innerhalb eines festgelegten Rahmens zu keinen Überflutungen kommen kann. Ein solches Anforderungsniveau einzuhalten ermöglicht es, Investitionen in das Kanalnetz gezielt vorzunehmen sowie Investitionsgüter vielfältiger Art sowie die Umwelt zu schützen. Auf diese Weise wird auch der möglichen Gefahr von Schadenersatzansprüchen gegen den Betreiber begegnet. Neben dem eigentlichen Zustand eines für den Bürger als angenehm empfundenen Entwässerungskomforts spielen also auch ganz pragmatische wirtschaftliche und somit finanzielle Gründe eine Rolle, wenn zum Zwecke des Nachweises eines schadfreien Abführens von Abwässern der so genannte Generalentwässerungsplan (GEP) erstellt bzw. aktualisiert wird.

Nach dem bisherigen Stand ingenieurwissenschaftlicher Betrachtungen zur Bemessung der Entwässerungssysteme besteht (noch) kein Bedarf zur Anpassung der Bemessungsgrundlagen an die sich ändernde Niederschlagssituation. Dennoch ist die Überprüfung der Überflutungssicherheiten stärker in den Vordergrund getreten durch die Häufung von Stark- und Extremniederschlagsereignissen (Schmitt 2007). Die Nachweise für Überstau- und Überflutungssicherheiten werden in Normen und Vorschriften (DWA-ATV A 118, DIN EN 752) geregelt und von den ausführenden Büros entsprechend angewandt.

Neben der reinen Anwendung der genannten Regelwerke stellt für uns vor dem Hintergrund

der sich ändernden Niederschlagscharakteristik eine Berücksichtigung des direkten Oberflächenabflusses in bebauten Gebieten einen weiteren wichtigen Faktor bei der Erarbeitung eines GEP dar.

---

## 2. Hintergrund

---

Schon seit Längerem werden für Kommunen und Verbände Gefahren- bzw. Überflutungskarten für besondere Abschnitte natürlicher Fließgewässer erarbeitet. Mit den ausgewiesenen Überflutungsflächen für verschiedene statistische Wiederkehrzeiten von Hochwässern können Abschätzungen des Gefährdungspotenzials vorgenommen und dadurch die notwendigen Abwehrmaßnahmen und -strategien für den möglichen Eintrittsfall effektiv geplant werden.

Diese Prognosen visualisieren somit Hochwasserzustände an natürlichen Fließgewässern, das Hochwasser selbst wird wiederum aus statistischen Niederschlagswerten berechnet. Das Szenario hat also eine Richtung derart, dass der übermäßige Eintrag von Abfluss in ein Gewässer den Anfangszustand einer Gewässerausuferung darstellt und - daraus folgend - das Überfluten von bebauten und unbebauten Gebieten simuliert.

Wie sieht es aber bei Niederschlagsereignissen in den bebauten Gebieten selbst aus, dort wo Oberflächenabfluss aufgrund des hohen Versiegelungsgrades vorherrscht? Hier wird Niederschlag nicht in natürlichen Gerinnen, die kaum oder gar nicht vorhanden sind, abgeführt, sondern über so genannten wilden Abfluss. Es entwickelt sich eine Koppelung aus oberflächlichem Abfluss des Gebietes und dem Ableitvermögen des dort bestehenden künstlichen Entwässerungsnetzes, der Kanalisation. Die Form der Geländeoberfläche einerseits und die unterschiedlichen Charakteristiken der Kanalisation (Lage, Verlauf, Dimensionierung, Vorbelastung, u. a.) andererseits ent-

scheiden darüber, ob es ab bestimmter Niederschlagsintensitäten zu urbanen Sturzfluten kommt und, wenn ja, wo diese in welchem Ausmaß auftreten. Dieses Szenario hat also eine andere Betrachtungsrichtung. Hier muss das Niederschlagsereignis selbst berücksichtigt werden, er stellt nicht die bloße Eingangsgröße für die Modellierung eines Endzustandes dar.

---

### 3. Das Abflussgeschehen „oberflächlich erfassen“

---

Wie Wasser sich auf einer Oberfläche (geneigt und nicht geneigt, natürlich und künstlich) verhält, wie es sich je nach Untergrundbeschaffenheit aufkonzentriert oder versickert, wo es zusammenfließt und sich staut oder schadfrei über Entwässerungssysteme weitergeleitet wird – das kennt vom Prinzip her, also qualitativ, jeder.

Schwieriger wird es, wenn für ein gegebenes Gebiet konkrete Aussagen getroffen werden sollen über die tatsächliche Lage von Fließwegen und Sammelbereichen, über Mengen und zeitliche Größen, die in diesen Abläufen vorkommen werden. Jetzt ist es an der Zeit, ein Modell der betreffenden Geländeoberfläche, auf welcher die beschriebenen Prozesse stattfinden, zu schaffen, um darauf eben diese Prozesse zu simulieren, um daraus letztendlich die gewünschten Resultate abzuleiten.

In der heutigen Zeit mit den uns gewohnten rechnergestützten Möglichkeiten zum Bearbeiten digitaler Daten ist auch das Erstellen eines digitalen Geländemodells (DGM) an sich keine Herausforderung mehr. Im breit gefächerten Feld der Geographischen Informationssysteme (GIS) finden wir die nötigen Anwendungen und die geeigneten Daten, um diese Modelle zu erstellen sowie auf ihnen die natürlichen Fließwege und Fließakkumulationen zu simulieren. So weit, so gut.

Das Potenzial und der Einsatz von GIS haben sich in den letzten Jahren rapide gesteigert durch die Flut an verfügbaren Geoinformationen. Was die

topographischen Geländeinformationen betrifft haben sich durch verschiedene Methoden luft- und weltraumgestützter Fernerkundungsverfahren ganz neue Möglichkeiten ergeben. Insbesondere aber für unsere Projekte greifen wir auf Daten zurück, die durch das luftgestützte Laserscannerverfahren eine neue Qualität, und damit Fülle, gewonnen haben. Hier beginnen aber nun langsam die Probleme. Es können anhand der immer höher auflösenden Rohdaten genauere und damit aussagekräftigere Geländemodelle erstellt werden, aber diese zu verarbeiten stellt ein Problem für die gängigen, in einem Ingenieurbüro eingesetzten Rechnersysteme bzw. für die auf ihnen installierten Anwendungen dar. Natürlich können Rechnersysteme so konzipiert werden, dass das, was der Informatiker „Performance“ nennt, sich deutlich steigern lässt. Aber wir wollen hier realistisch bleiben und die ein paar Zeilen zuvor erwähnten gängigen Rechnersysteme eines Ingenieurbüros ansprechen und nicht theoretisch über die Möglichkeiten von Supercomputern großer Forschungseinrichtungen referieren.

Wir haben für uns mit eigenen Entwicklungen die gegebenen technischen Möglichkeiten so ausgenutzt, dass das Bearbeiten sehr großer Datenmengen ohne technische Hürden unter gleichzeitiger Beschleunigung der Rechenzeiten durchgeführt werden kann. Mit großen Datenmengen meinen wir Dateien, bei deren Größe etablierte Standardanwendungen Berechnungen nicht mehr vornehmen können oder zumindest Rechenzeiten von Tagen bis Wochen benötigen.

Bei der Erstellung eines Geländemodells und der dann darauf erzeugten Simulation von Fließwegen

und -akkumulationen geht es vom Standpunkt der (Geo-)Informatik nun um Folgendes:

---

### 3.1 Rohdaten der topographischen Geländeinformation

---

Die mit der Erzeugung von Geoinformationen beauftragten Ämter und Firmen liefern heutzutage auf Basis von luftgestützten Laserscanverfahren (Airborne Laserscanning) XYZ-Punktwolken der Geländeoberfläche (natürliche Oberfläche und darauf befindliche Objekte). Da hierbei die ermittelte Höhe am jeweiligen erhaltenen Punkt der Erdoberfläche das eigentliche Ergebnisziel darstellt reden wir bei diesen Verfahren auch allgemein von Laseraltimetrie, die auch bodengestützt ausgeführt werden kann. Große Flächen oder gar flächendeckend ganze Hoheitsgebiete wirtschaftlich zu erfassen geht nur aus der Luft. Mittlerweile hat sich diese Form der Höhendatenerhebung zu einem wesentlichen und wirtschaftlich einsetzbaren Instrument entwickelt, welches die klassische Photogrammetrie Schritt für Schritt ablöst. Für Nordrhein-Westfalen liegen die Rohdaten als unregelmäßige Messpunktwolken flächendeckend vor mit einer Dichte von ca. einem Messpunkt pro Quadratmeter (so genanntes primäres DGM10L, Höhengenaugigkeit  $\pm 3$  dm). Bisher nur in Teilen vorliegend, aber bis Ende 2011 ebenfalls als flächendeckend für ganz NRW angestrebt ist der Zustand des primären DGM1L, d. h. 1- 4 Punkte / m<sup>2</sup> (Höhengenaugigkeit  $\pm 2$  dm).

---

### 3.2 Geländemodell

---

Aus den Primärdaten wird das eigentliche Modell des Geländes erzeugt. Dies kann als Vektormodell oder als Rastermodell erfolgen. Jede dieser beiden Modellarten hat ihre Vor- und Nachteile. Das Rastermodell ist in der GIS-Praxis nach wie vor noch das vorherrschende Modell. Rechenschritte und damit verbundene temporäre Datenhaltungsstrukturen im Rechenalgorithmus können für die geordneten Zellmatrizen eines Rasters unkomplizierter aufgestellt werden. Damit werden theoretisch auch alle Eventualitäten natürlicher Heterogenitäten des Geländes für die Simulationen zweifelsfreier erfasst.

Das bei der Bezirksregierung Köln integrierte ehemalige Landesvermessungsamt (heute Abteilung 07 – GEObasis.nrw) liefert für Nordrhein-Westfalen neben den Primärdaten selbst auch fertige DGM-Raster als Sekundärdaten (Standard DGM10, 10x10m Rasterweite, und grober, DGM1 nach Vollendung der flächendeckenden Rohdatenerhebung, s. o.).

---

### 3.3 Simulation des Oberflächenabflusses

---

Für die Ermittlung von Fließwegen in einem Rastermodell des Geländes stehen mehrere Rechenansätze zur Verfügung, die sich in den letzten Jahrzehnten in der Geoinformatik etabliert haben. Allen Ansätzen liegt zu Grunde, dass für jede Zelle (mit der geodätischen Höhe als Rasterwert) die Höhendifferenzen zu den benachbarten acht Zellen betrachtet werden und daraus bei vorhandenem Gefälle zu einer Zelle oder mehreren Zel-

len die Fließrichtung errechnet wird. Auf Basis dieser schematischen Fließrichtung(en) für jede Einzelzelle erfolgt dann die Feststellung der Fließakkumulation für das gesamte Gebiet. Hierbei wird praktisch aufsummiert, wie viele Zellen in die jeweils betrachtete Zelle „entwässern“, so dass am Ende das natürliche Entwässerungsnetz abgebildet wird (keine Akkumulation entlang von Geländekulminationen, höchste Akkumulation entlang der lokalen Tiefenlinien des Geländes als die beiden Endglieder der Akkumulationslogik im Raster). Spezialfälle im Geländemodell, die beim Formulieren des Berechnungsverfahrens der Fließrichtungen besonders berücksichtigt werden müssen, sind Senken (Nachbarzellen liegen höher) und Plateaus (Nachbarzellen haben gleiche Höhe wie Ausgangszelle). Tarboton (1997), Erskine et. al. (2006) und Yang et. al. (2010) geben einen guten Überblick über die bestehenden Verfahren unter Beschreibung eigener Überlegungen und Entwicklungen, die für die Entscheidungsfindung bei unseren Programmierungen teilweise mit berücksichtigt wurde.



---

#### 4. Wuppertal gerastert: Massendaten im IB Beck

---

Für ein Projekt soll das Wuppertaler Gesamtgebiet (rund 160 km<sup>2</sup>) im Sinne der eingangs beschriebenen Aufgabenstellung unter besonderer Berücksichtigung von Sturzregenereignissen betrachtet werden. Neben der schnellen und gesamtheitlichen Ermittlung von potenziell schädigenden Abflussakkumulationen im Stadtgebiet („Brennpunkte“ auskartieren) wird auch durch vorangegangene hydrodynamische Berechnungen des Kanalnetzes das an bestimmten Punkten simulierte Überschreiten der Überflutungssicherheit neben dem reinen Niederschlagseintrag mitberücksichtigt. Für diese Aufgabe liegen Rohdaten mit einer Größe von rund 100 GB vor! Diese Daten können in unserem Büro durch Verwenden einer eigenen Softwareentwicklung vom benutzten Rechnersystem als Ganzes verwendet und in den unter 3.1. bis 3.3. beschriebenen Schritten verarbeitet werden. Da es sich wie zu erkennen um wahre Massendaten handelt, die in einem Rastermodell weiter berechnet werden sollen, trägt unser Programmpaket den Entwicklungsnamen *MaGriCom* (für Massive Grid Computation).

---

##### 4.1 *MaGriCom*

---

Da die zur Verfügung stehende Standardsoftware nicht ausreicht, um derartige Massendaten zusammenhängend zu bearbeiten bzw. Verarbeitungszeiten von mehreren Wochen benötigt, haben wir nach Alternativen gesucht, um mit eigenen Programmierungen eine praktikable Lösung

für dieses und damit auch zukünftige Projekte zu haben.

Das eigentliche Problem besteht für eine GIS-Anwendungssoftware in dem Wechselspiel aus Arbeitsspeicher und Festplatte, das für das Rechnersystem zum zentralen Element bei Berechnungen mit Datenmengen ab einer bestimmten Größe wird, wenn die Kapazität des Arbeitsspeichers nicht mehr ausreicht. Je nach Rechenvorschrift müssen Datenpakete zwischen diesen Speichermedien ein- oder mehrmals hin und her verschoben werden, was zu Lasten der Rechenzeiten geht. Die Leistungssteigerung des Prozessors oder das Verteilen der Rechenleistung auf mehrere Prozessoren alleine stellt keine wesentliche Verbesserung dar, da das besagte Verschieben der Datenpakete im Allgemeinen eher den (technisch limitierten) Datendurchsatz der Festplatte als den der Prozessoren ausreizt. Hier kann irgendwann auch kein noch so ausgetüftelter Algorithmus helfen. Anders gesagt, auch der amtierende Formel 1 Weltmeister wird trotz exzellenter fahrerischer Qualitäten keinen Grand Prix mit einem normalen Alltagsauto gewinnen. Die Informatik nennt dieses Verhalten von Programmen und Algorithmen im Zusammenhang hinsichtlich des benötigten Ressourcenbedarfs bei steigenden Datenmengen „Skalierbarkeit“.

Bei Recherchen zu diesem Problem fiel das an der US-amerikanischen Duke Universität (Durham, North Carolina) entstandene Projekt *TerraFlow* besonders auf. Die beschriebene schlechte Skalierbarkeit von gängigen Programmen vor dem Hintergrund der I/O-Problematik wird dort mit veränderten I/O-Algorithmen erheblich verbes-

sert. Beschreibungen dazu finden sich u.a. bei Arge et. al. (2001), Arge et. al. (2003) und auf der TerraFlow-Internetseite

([http://www.cs.duke.edu/geo\\*/terraflow/](http://www.cs.duke.edu/geo*/terraflow/)). Inspiriert von den dort beschriebenen Ansätzen haben wir in der Sprache C++ eigene Programmcodes entwickelt; jene von *TerraFlow* zu kopieren und anzupassen war nicht unser Ziel.

Auch für unseren Code haben wir einen I/O-Algorithmus geschrieben, der das temporäre Datenverschieben durch die oben erwähnte Engstelle minimiert. Wesentlicher Unterschied unseres Ansatzes zu dem von *TerraFlow* ist allerdings das Ausnutzen des Graphikprozessors als Mehrkern-Coprozessor. Eine derartige Konfiguration, bei der dieser Prozessor entgegen seiner eigentlichen Aufgabe für die Graphikaufbereitung des Rechnersystems für „fremde“ Berechnungen verwendet wird, ist in der Informatik als *General Purpose Computation on Graphics Processing Unit*, kurz GPGPU, bekannt. Eine Verwendung wie bei *MaGriCom* ist uns von anderen Programmen für die Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Fragen auf GIS-Ebene nicht bekannt!

---

## 4.2 Technische Grundlage (Ausstattung)

---

Unser Rechnersystem ist ein Basisgerät der Marke Celsius mit einem Debian Linux 6 Betriebssystem, 3TB Festplattenspeicher, 4 GB Arbeitsspeicher, Intel Core2 Quad 2,66 GHz Prozessor und einer NVIDIA GTX 470 Grafikkarte (1,28 GB Speicher).

---

## 4.3 Das Geländemodell für Wuppertal

---

Die für Wuppertal vorliegenden 50 GB Rohdaten sind jene zuvor genannten DGM1L-Primärdaten. Die Gesamtdaten sind unterteilt in reine Bodenpunkte, Messpunkte von Gebäuden und Messpunkte von Brückenbauwerken. Die Rohdaten werden von uns selbst in ein Geländehöhenraster überführt, wobei je nach den einzelnen Fragestellungen die verschiedenen Punktcharakteristiken kombiniert werden. Soll also z. B. der Abfluss von Dachflächen mit berücksichtigt werden, dann werden die Gebäudepunkte in das Raster integriert. Wir definieren eine leere Rastermatrix und legen sie über die Rohdaten, wobei von Anfang an mit Rasterweiten von 0,25m gearbeitet wird, was vor dem Hintergrund der benutzten XYZ-Messpunkt Wolke im Schnitt einer Punktdichte von 0,4 Punkten pro Pixel (ppp) entspricht. Tatsächlich aber liegen in den einzelnen Rasterzellen (Pixeln) bedingt durch die heterogene Verteilung der Messpunkte sowohl ein Punkt, mehrere Punkte oder gar kein Punkt vor. Nun werden pro Zelle die Werte je nach Charakter des eben beschriebenen Auftretens übernommen bzw. gemittelt bzw. durch das statistische Verfahren IDW interpoliert. Diese Vorgehensweise ist sehr effizient bezogen auf die Rechenzeiten (unsere Rohdaten haben für das Wuppertaler Gesamtgebiet eine Gesamtpunktzahl von ca. 200 Millionen!) und hält lokal die verfügbare Genauigkeit der Höheninformation auf dem höchstmöglichen Niveau. Für eventuelle Berechnungen mit weniger Anforderungen an die Auflösung wird dieses Ursprungsraster überführt in ein Raster mit Maschenweiten von 1x1m. Das

entspricht im Schnitt einer Rohdatendichte von 6,25 ppp.

---

#### 4.4 Aufbau der Simulation bei MaGriCom

---

Für die Berechnung der Fließrichtungen wurde ein Code geschrieben, der vom Charakter her dem **MultipleFlowDirection**-Schema (MFD) entspricht. Hier wird der Inhalt einer Zelle auf alle tiefer liegenden Zellen proportional zum Gefälle verteilt. Im Kontrast dazu stünde das **SingleFlowDirection**-Schema (SFD), das auch in einigen marktführenden Programmen zur Anwendung kommt. Bei diesem auch als D8-Algorithmus bekannten Verfahren wird der Zellinhalt nur an eine Nachbarzelle, nämlich die mit dem größten Gefälle, weitergereicht. Neben diesen beiden Hauptansätzen gibt es weitere Algorithmen, die jene auf verschiedene Arten kombinieren oder relativieren mit neuen Schwerpunkten in der Ergebnisbildung. Anders als beim üblichen Algorithmus für MFD wird in unserem Code die proportionale Verteilung des Zellinhalts auf die Empfängerzelle(n) nur auf Basis der Höhendifferenzen der Zellen untereinander vorgenommen und bei der Informationsweitergabe (Zelle an Zelle) durch Fließkommazahlen berücksichtigt. Das Hinzurechnen der Abstände zwischen den Zellmittelpunkten führt unserer Ansicht nach bei den von uns verwendeten hoch auflösenden Rastern in bestimmten Spezialfällen zu einer Unterrepräsentation der Eckzellen gegenüber den Zellen, die eine gemeinsame Kante mit der Ursprungszelle haben.

Für die „Problemzonen“ bestehend aus lokalen Senken und Plateaus wird analog zu bestehenden Algorithmen in unserem Code so vorgegangen, dass Senken so lange aufgefüllt werden, bis zu einer Nachbarzelle ein Gefälle ermittelt werden kann und es zum „Überlaufen“ kommen kommt. Bei mehreren Überlaufpunkten wird eine Haupt- und eine bzw. mehrere Nebenrichtungen definiert auf Basis der lokalen Gegebenheiten und daraus die Verteilungsproportion ermittelt. Für die Plateaus (Ebenen allgemein und Seen, Flussterrassen, u. a. im Besonderen) gilt das gleiche bezüglich der Haupt- und Nebenrichtungen, woraus die Verteilung analog zu dem Vorgehen bei den Senken erfolgt. In diesen Fällen werden dann im Gegensatz zum oben beschriebenen Vorgehen unseres MFD-Ansatzes tatsächlich Abstände von Zellen berücksichtigt, aber gesamtheitlich auf die Senke bzw. das Plateau bezogen.

---

#### 4.5 Resultate

---

Um das gesamte Wuppertaler Gebiet zusammenhängend in einem Raster-DGM zu generieren benötigte die aktuelle Version von MaGriCom ca. 12 Stunden Rechenzeit. Die nachfolgende Simulation der Fließakkumulationen (s. Ausschnitt in der Abbildung unten) erforderte eine Rechenzeit von rund 3 Tagen. Vor dem Hintergrund der Datenmenge bzw. daraus resultierend der Dateigröße eine Dauer, die nach unserem Wissen bislang von keiner Software/Hardware-Konfiguration erreicht wird, von den üblichen Desktop-GIS Anwendungen ganz zu schweigen.

Momentan werden bei uns technische Erweiterungen getestet, die das Potenzial des GPGPU (s.

4.1.) weiter erhöhen und damit Rechenzeiten verkürzen. Darüber hinaus stehen die verwendeten Algorithmen stetig „unter Beobachtung“, wo noch Änderungen eingebracht werden können, vor allem im Hinblick auf geplante Erweiterungen beim Einbringen von Ergebnissen hydrodynamischer Teilberechnungen.

---

## Literaturangaben

---

Arge, L., Toma, L. und Vitter, J. S. (2001): "I/O-Efficient Algorithms for Problems on Grid-based Terrains".

JEA, Journal of Experimental Algorithmics, 6, 2001

Arge, L., Chase, J., Halpin, P., Toma, L., Urban, D., Vitter, J.S. und Wickremesinghe, R. (2003): "Flow Computation on Massive Grids".

GeoInformatica, International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems, 2003/7(4), S. 283-313.

Erskine, R. H., Green, T. R., Ramirez, J. A. und MacDonald, L. H. (2006): "Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing areas".

Water Resources Research, 2006, Vol. 42/  
W09416, doi:10.1029/2005WR004648.

Schmitt, T.G. (2007): „Siedlungswasserwirtschaft 2030 – mögliche Entwicklungen und Herausforderungen“.

KA – Abwasser, Abfall, Nr. 54 (8).

Tarboton, D. G. (1997): "A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models".

Water Resources Research, 1997, Vol. 33 (2), S. 309-319.

Yang, W., Hou, K., Yu, F., Liu, Z. und Sun, T. (2010): "A novel algorithm with heuristic information for extracting drainage networks from raster DEMs".

Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 2010 (7), S. 441-459.

- Info 15** „Siehste, geht doch nicht ...“ Probleme und ihre Lösungen bei der Inbetriebnahme von Retentionsbodenfiltern und bewachsenen Versickerungsmulden  
Mai 2003
- Info 16** Von einem der auszog das Dichten zu lernen.  
Inspektion, Sanierung und Instandhaltung von Grundstücksentwässerungsanlagen  
Juli 2004
- Info 17** Fremdwasser, Bachwasser, Reinwasser, Drainwasser..... ableiten darf auch Spaß machen  
Wiederherstellung Leyerbach  
März 2006
- Info 18** Fünf Jahre Betrieb eines hochbelasteten Retentionsbodenfilters  
August 2006
- Info 19** „Durchführbarkeitsstudie zur Abwasserbeseitigung in der ländlichen Region Galați“ (Rumänien)  
März 2008
- Info 20** Wasserwirtschaftliches Denken und Handeln unter dem Einfluss des Klimawandels  
Mai 2009
- Info 21** Die automatische Kalibrierung von zwei Niederschlag-Abfluss-Modellen  
August 2009
- Info 22** Alles dicht, oder was??? Pilotprojekt Billerbeck Sanierung der Grundleitung  
Dezember 2009
- Info 23** Vorplanung zur Umgestaltung der Wupper im Wuppertaler Stadtgebiet  
September 2010
- Info 24** Gewässerentflechtungskonzept Essen Stelle  
Eickenscheidter Bach und das Grendbachsystem  
September 2010
- Info 25** Rasterfahndung – Dem Oberflächenwasser auf der Spur  
Juni 2011

**Fax-Antwort:**

**Fax-Nr.: 0202 246 78-44**

**Firma:** \_\_\_\_\_

**Name:** \_\_\_\_\_

**Straße:** \_\_\_\_\_

**PLZ/Ort:** \_\_\_\_\_

**Email:** \_\_\_\_\_

**Bitte schicken Sie mir noch folgende Infos zu**

**Info 15**

**Info 16**

**Info 17**

**Info 18**

**Info 19**

**Info 20**

**Info 21**

**Info 22**

**Info 23**

**Info 24**

**Info 25**