

# Prozessoptimierung in der Hochwassermodellierung – Methodenvergleich und 2D-HPC

Jan-Hendrik HARTERT

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“  
angenommen.*

## Vorwort

Dieser Beitrag entstand im Anschluss an die Diplomarbeit des Autors an der Fachhochschule Weihenstephan zum Thema: „Prozessoptimierung in der Hochwasserberechnung am Beispiel der Isar bei Landshut“. Alle Aussagen und Schlussfolgerungen dieses Beitrags basieren somit auf den Ergebnissen aus dieser Arbeit. Die Diplomarbeit entstand in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in München und dem Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) in Garching.

## Zusammenfassung

Unter anderem oder vor allem durch einen sich abzeichnenden Klimawandel hat in den letzten Jahrzehnten die Regelmäßigkeit und die Intensität von Hochwasserereignissen stetig zugenommen. Immer häufiger eintretende „Jahrhunderthochwasser“ an stark verbauten Gewässern richten heutzutage erhebliche Schäden an. Die Kernfrage in der Hochwasserschutzplanung und Forschung liegt darin, durch richtige Hochwasservorsorge Menschen zu schützen und Schäden zu vermeiden oder zu reduzieren. Ein zentrales Instrument hierfür ist die Simulation von Hochwasserereignissen. Auch für Hochwassergefahrenkarten ist die Berechnung verschiedener Hochwasserszenarien für Gewässer aller Ordnungen die zentrale Grundlage und seit 2007 auch von der Europäischen Union im Rahmen der EU-Hochwasserrichtlinie (EU-HWRL) gesetzlich vorgeschrieben. Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) ist die zentrale Behörde in Bayern für Hochwasserangelegenheiten. Seit einigen Jahren wird am LfU für Hochwassermodellierungen die Berechnungssoftware Hydro\_AS\_2D mit der Pre- und Postprocessingsoftware SMS (Surface Water Modeling System) verwendet. Im Rahmen der Diplomarbeit des Autors wurden verschiedene Möglichkeiten zur Prozessoptimierung in der Hochwasserberechnung analysiert und miteinander verglichen. Durch den Vergleich gängiger Modellierungsmethoden wurde herausgearbeitet, ob es auch mit anderen fachspezifischen kommerziellen oder freien Softwarelösungen möglich ist, schneller oder auch effizienter ein Hochwassermodell zu erstellen. Neben dem 2D-Programm Hydro\_AS-2D, wurden weitere Anwendungen aus der 2D-, der 1D- und der rasterbasierten Modellierung untersucht. Im Fokus dieses Methodenvergleichs standen somit das Referenzprogramm Hydro\_AS-2D sowie BASEMENT, HEC-RAS und FloodArea. Im direkten Vergleich wurden diese Programme den Ergebnissen von Hydro\_AS-2D gegenübergestellt und nach den Kriterien Genauigkeit, Rechenzeit und Kosten bewertet. Als eine spezielle Möglichkeit der Prozessoptimierung wurde durch Auslage-

zung des Berechnungsprozesses auf Großrechnerarchitekturen an ein Rechenzentrum eine Verkürzung der Berechnungszeit durch 2D-HPC (2D High Performance Computing) erreicht.

## 1 Methodenvergleich

Da es sich bei der Hochwassermodellierung im Allgemeinen um ein sehr komplexes Themengebiet mit vielen Teil- und Unterdisziplinen handelt, wird hier versucht einen verständlichen Überblick über die Thematik und die aus der Untersuchung resultierenden Erkenntnisse zu vermitteln.

### 1.1 Methoden zur Modellierung von Überschwemmungsgebieten

Gängige Methoden in der Hochwassermodellierung sind die 1D-Modellierung, die 2D-Modellierung und die rasterbasierte Modellierung. Jede dieser Methoden hat einen anderen Anspruch an Qualität und Quantität der Eingangsdaten, so sind z. B. Informationen wie die Rauigkeit von Gewässern unterschiedlich detailliert integrierbar. Nachfolgend wird ein Überblick der Methoden, ein Einblick in die benötigten Geländegeometrien sowie den beanspruchten Berechnungsaufwand gegeben. Die Methoden zur Modellierung von Hochwasserereignissen an Gewässern lassen sich durch die Geländegeometrie nach Abbildung 1 differenzieren.



**Abb. 1:** Gegenüberstellung der Geländegeometrien der verschiedenen Methoden zur Modellierung von Überschwemmungsgebieten

Für den Methodenvergleich wurde als Beispiel für die 1D-Modellierung das weit verbreitete HEC-RAS gewählt. Wesentliche Grundlage sind hierbei die Querprofile der Gewässer und des Vorlandes. Die Genauigkeit und die Anzahl der Querprofile entscheiden maßgeblich über die Qualität der Ergebnisse. Zudem lässt sich die Qualität der Ergebnisse mit der Definition von Geländestrukturen, Brücken, Durchlässen und Fließhindernissen erheblich steigern. Die Geländehöhen der Profile werden durch Verschneidung mit einem TIN (Triangulated Irregular Network) abgeleitet. Für die Erstellung der Querprofile wurde mit der ArcGIS-Extension HEC-GeoRAS gearbeitet. Das detaillierte Vorgehen zur Profilerstellung und -aufbereitung kann entsprechender Literatur entnommen werden (HEC 2008). Der Berechnungsaufwand bei der 1D-Modellierung ist im allgemeinen sehr gering, so dass innerhalb kürzester Zeit Ergebnisse vorliegen.

Als Vertreter der 2D-Modellierung kamen Hydro\_AS-2D und BASEMENT zum Einsatz. Ein mit SMS erzeugtes Berechnungsnetz aus Flussschlauch und Vorlandnetz ist in der Regel bei der 2D-Modellierung die zentrale Datengrundlage (BASEMENT 2008). Durch den Aufbau des Berechnungsnetzes werden Geländestrukturen und Bauwerke, sowie Höhendaten wie z. B. DGM-Daten mit Laserscanning- oder KTB-Daten integriert. In der 2D-Modellierung kann wiederum der Berechnungsaufwand sehr unterschiedlich ausfallen, je nach Größe des Modells und des Rechenaufwands, bzw. der Skalierbarkeit des eingesetzten Berechnungsprogramms.

Für die rasterbasierte Modellierung wurde FloodArea untersucht. Bei der rasterbasierten Modellierung werden die Informationen in den einzelnen Rasterzellen gespeichert. Durch die Umwandlung einer 2dm-Datei in einen ASCII-Text lassen sich die einzelnen Punkte mit Höheninformation in ein GI-System, wie z. B. ArcMap importieren. Aus diesen Punktdaten mit Höheninformationen wurden wiederum verschiedene GRIDs mit unterschiedlichen Zellgrößen erstellt. Diese GRIDs sind Grundlage für die Geländegeometrie bei rasterbasierten Modellen. Alle weiteren Randbedingungen, wie Rauigkeit oder Durchlässe werden ebenso über GRIDs in das Modell integriert.

## 1.2 Eingangsparemeter für den Methodenvergleich

Um möglichst vergleichbare und somit aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten wurden für alle Modelle gleichwertige Eingangsparemeter definiert.

### DGM-Daten

Die Vorgabe der Geländegeometrie war die Datenmenge eines DGM 2, jeweils für die entsprechende Methode aufbereitet.

- *2D-Modellierung*: 359.992 Knoten und 706.374 Elementen
- *1D-Modellierung*: 104 Querprofile mit Stützstellen
- *Raster-Modellierung*: 27.716.256 Rasterzellen

Jedes DGM wurde erstellt aus aufbereiteten Laserscanning-Daten, vermessenen Gewässerquerprofilen mit Ufer und Sohlinformationen sowie extrahierten Bruchkanten. Die 2dm-Datei unterscheidet sich von den anderen Geometrien durch eine vorherige Ausdünnung des Netzes um die Datenmenge zu reduzieren. Die detaillierte Aufbereitung der Geländegeometrien kann bei HARTERT (2009) in den jeweiligen Analysekapiteln nachgelesen werden und würde hier den Rahmen sprengen.

Ergänzende Informationen zu den Auswirkungen auf die Datenmenge bei TIN oder GRID Anwendungen wird in Tabelle 1 gegeben. Hier lässt die 4,5-fache Datenmenge bei gleicher Genauigkeit der GRID-Geometrie bereits Vermutungen über den Berechnungsaufwand zu. Exemplarisch für die anderen Geländedaten wurde in Tabelle 2 auf der nächsten Seite auszugswise das Prinzip der Vermaschung einer 2dm-Datei schematisch dargestellt.

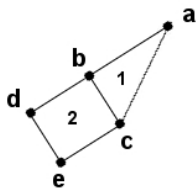
**Tabelle 1:** Auswirkungen eines GRIDs oder TINs auf die Datenmenge

Geometrietyp	Genauigkeit	Datenmenge	Speicherbedarf
GRID	Rasterweite 2 m	27.716.256 Rasterzellen	109 MB
TIN	DGM 2	721.897 Elemente	23,6 MB

**Tabelle 2:** Vermaschungsprinzip einer 2dm-Datei

ID	Nr.	ND	ND	ND	ND	Material
E3T	1	a	b	c		A
E4Q	2	b	c	d	e	B
ND	a	x	y	z		
ND	b	x	y	z		

**ID** = Element oder Knoten, **E3T** = Dreieckselement, **E4Q** = Viereckselement, **Nr.** = Elementnummer, **ND** = Knoten, **a (b,c,d,...)** = Knotennummer, **Material** = Rauigkeitsbeiwert des Elements, **x,y** = Koordinaten, **z** = Höheninformation.


**Abb. 2:** Vermaschungsprinzip

### Rauhigkeiten

Bei hydraulischen Berechnungen ist die Berücksichtigung der Rauigkeitsbeiwerte, z. B. nach Manning-Strickler eine der wichtigsten Größen. Je nach Landnutzung und entsprechender Vegetationsbedeckung herrscht eine andere Rauigkeit und daher entwickelt sich auch eine andere lokale Fließdynamik und Fließgeschwindigkeit. Die Einbindung der Rauigkeiten erfolgt je nach Methode unterschiedlich und kann detailliert u. a. bei HARTERT (2009) nachgelesen werden.

### Stationarität

Im Rahmen des EU-LIFE Projekts FloodScan wurde in einem Workshop zum Thema Hochwassergefahrenkarten festgelegt, dass standardmäßig stationär, also mit konstanten Abflüssen, gerechnet werden sollte (FLOODSCAN 2008). So wurde auch für diesen Vergleich mit allen Methoden ausschließlich stationär gerechnet.

### Abflussmenge

Die Abflussmenge an der mittleren Isar bei Landshut beträgt bei einem  $HQ_{100}$ :  $1301\text{m}^3/\text{s}$ . Für alle Modelle wurde mit dieser Abflussmenge gerechnet.

Weitere detaillierte Randbedingungen wie Gebäude, Durchlässe und Wehre sind nicht bei allen Programmen im vergleichbaren Rahmen integrierbar und im Untersuchungsgebiet eher als hydraulisch irrelevant zu beurteilen. Diese wurden aus eben diesen Gründen für den Vergleich vernachlässigt.

### 1.3 Prozesskette zur Modellierung von Überschwemmungsgebieten

Eine generelle Prozesskette zur 2D-Modellierung von Fließgewässern wurde im Rahmen des EU-LIFE Projekts FloodScan als Schema erstellt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde dieses Schema mit dem Berechnungsprozess ergänzt und als Ablaufdiagramm umgesetzt. Diese Vorgänge sind Grundlage für die im Rahmen dieser Untersuchung zu optimierende Prozesskette. Nachfolgendes Prozessdiagramm zeigt die Aufeinanderfolge der einzelnen Vorgänge bei der Modellierung von Überschwemmungsgebieten.

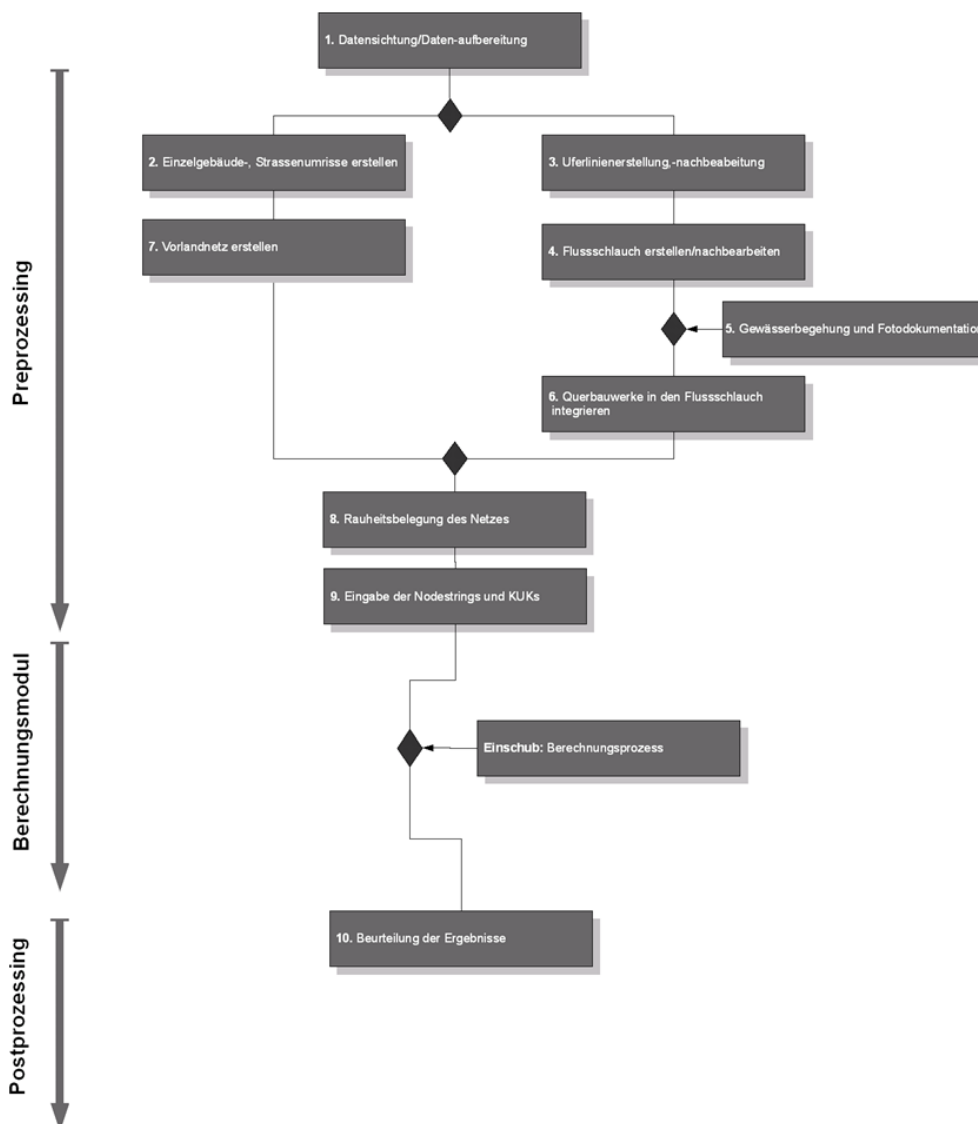


Abb. 3: Prozessdiagramm zur Modellierung von Überschwemmungsgebieten

## 1.4 Ergebnis des Vergleichs

Hervorzuheben sind in diesem Vergleich die weitgehend übereinstimmenden Ergebnisse der 2D-Modellierungsprogramme Hydro-AS-2D und BASEMENT. Dies ist in erster Linie auf die gleichen Geländegeometrien in Form einer 2dm-Datei zurückzuführen. Eine überraschende Ähnlichkeit der Ergebnisse miteinander weist auch das 1D-Modellierungsprogramm HEC-RAS mit der rasterbasierten ArcGIS-Extension Flood-Area auf, obwohl die Ergebnisse mit unterschiedlichen Geländegeometrien ermittelt wurden. Für HEC-RAS werden Querprofile verwendet, deren Höheninformationen von einem TIN abgeleitet sind. Im Gegensatz dazu, dient bei FloodArea ein RasterGRID, deren Höheninformationen in den einzelnen Rasterzellen gespeichert ist, als Datengrundlage. So wurde in den Detailausschnitten der Abbildungen 5 und 6 der Unterschied von 2D-Modellen zu 1D- und Rastermodellen zusammengefasst dargestellt.

In Anbetracht der ermittelten Ergebnisse ist es somit möglich durch eine projektbezogene Auswahl der richtigen Methode eine Optimierung der Prozesskette zu erreichen. Für weniger komplexe Projektgebiete, mit maximal einem Damm pro Uferseite, ist es in jedem Fall möglich mit HEC-RAS schneller und kosteneffizienter zu arbeiten. Bei komplexeren Gebieten, wie bei der Isar in Landshut sind 2D-Modelle durch ihre hohe Genauigkeit die bessere Wahl. Rasterbasierte Systeme wie FloodArea schneiden in diesem Methodenvergleich für Hochwassermodellierungssysteme eher unzureichend ab. Rasterbasierte Systeme weisen in der Regel eine vereinfachte Hydraulik auf und besonders die Rechenzeit übersteigt die Vorgaben, wie durch die enormen Datenmengen bereits vermutet war. Um dennoch hochauflösende Berechnungen von Hochwasserereignissen an einem Raster-DGM durchzuführen, gibt es zum einen die Möglichkeit den Rasterdatensatz durch Interpolation ausdünnen, zum anderen gibt es auch für FloodArea eine HPC-Variante. Eine solche Variante wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht untersucht. Mit rasterbasierten HPC-Modellierungen könnten somit ggf. auch zeitnähere Ergebnisse errechnet werden (ASSMANN 2007).

So steht als Endergebnis des Methodenvergleichs ganz klar der hohe Qualitätsvorsprung von 2D-Modellen im Vergleich zu 1D-Modellen und rasterbasierten Modellen. Sowohl Hydro\_AS-2D als auch BASEMENT zeigen gerade in Detailausschnitten die höchste Genauigkeit der errechneten Überschwemmungsflächen. Außerdem hebt sich die Qualität der Ergebnisse gerade im komplexen Gewässerverlauf von den anderen Methoden ab. Bei einfacheren Gewässern kann trotzdem auch ein Einsatz von 1D-Modellen, wie HEC-RAS sinnvoll sein. Hier wäre eine Typisierung der Flussgebietsabschnitte nach Modellierungstechnik sinnvoll, um vorab eine Methode zur Modellierung festzulegen. Dies betrifft vor allem das Qualitätsmanagement von Hochwassergefahrenkarten.

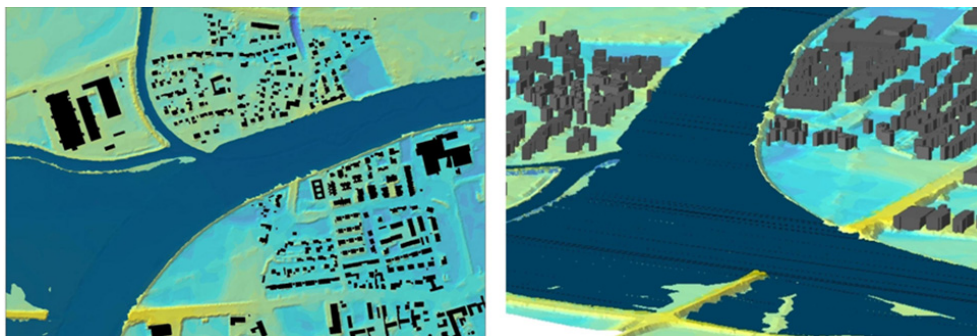


**Abb. 4:** Die Isar bei Landshut  
(Länge: ca. 34 Fluss-km,  
Fläche: ca. 224 km<sup>2</sup>)

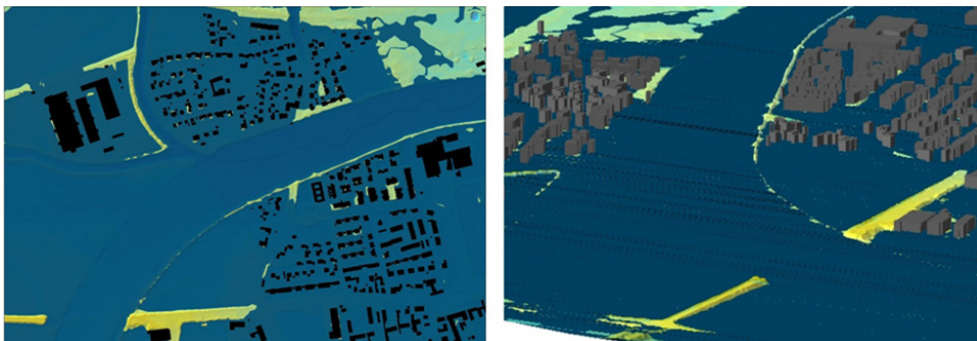
Eine ausführliche Beschreibung aller Ergebnisse und detaillierte Szenarienwertungen sind der erwähnten Diplomarbeit zu entnehmen und würden nicht in den Umfang dieses Beitrags passen. Neben den Gegenüberstellungen der Detailausschnitte wurden die wichtigsten Tendenzwertungen in einem Kurzübersicht der Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3:** Kurzübersicht Ergebnisse

Programm	Methode	Wertungen		
		Genauigkeit	Kosten	Rechenzeit
Hydro_AS-2D	2D	+	-	+
BASEMENT	2D	+	+	-
HEC-RAS	1D	(projektabhängig)	+	+
FloodArea	Rasterbasiert	-	-	-



**Abb. 5:** 2D-Ergebnisse: Hydro\_AS-2D und BASEMENT



**Abb. 6:** Ergebnisse 1D- und Rasterbasiert: HEC-RAS und FloodArea

## 2 2D-HPC

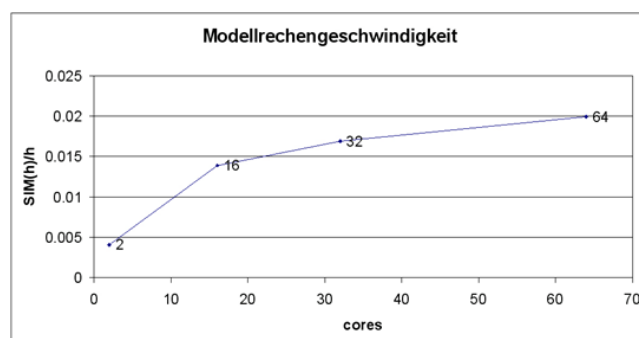
### 2.1 Skalierbarkeit von BASEMENT

Durch die Erkenntnisse der langen Rechenzeiten bei BASEMENT entstand im Zusammenhang mit der Prozessoptimierung in der Hochwasserberechnung die Idee Testberechnungen auf einem Hochleistungsrechner durchzuführen. Der Faktor Zeit kann als der am Besten zu optimierende Faktor zwischen den Bewertungskriterien beurteilt werden. Je nach verfügbarer Rechenleistung und zukünftiger CPU-Entwicklungen kann die Rechenzeit für Hochwassermodellierungen erheblich verkürzt werden. Eine festgestellte Rechenzeit von über 854 Stunden bei dem Programm BASEMENT im Vergleich zu knapp 86 Stunden bei Hydro\_AS-2D, ist ohne Zweifel als unzureichend einzuschätzen. Da BASEMENT vor allem in der Genauigkeit und den Kosten sehr gut abschneidet, könnte durch eine starke Verkürzung der Rechenzeit eine durchgehende Optimierung der Prozesskette zur Hochwasserberechnung erreicht werden. Daher wurde in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) ein Forschungsprojekt zu BASEMENT ins Leben gerufen, welches sich zum Ziel setzt zweidimensionale numerische Hochwassermodellierungen mit BASEMENT an verschiedenen Cluster-Architekturen im Hinblick auf die Skalierbarkeit und eine Verkürzung der Rechenzeit zu testen. Die Ergebnisse dieser Tests sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

**Tabelle 4:** 2D-HPC mit BASEMENT

HPC-Baseament Tests							
System	cores	h	CPUh	SIM(s)	SIM(h)	SIM(s) nach 96 h	SIM(h)/h
Dualcore Workstation	2	854	1708	12600	3.5	1416	0.0040
x86-64	16	144	2304	7200	2	4800	0.0139
Altix	32	96	3072	5850	1.625	5850	0.0169
Altix	64	96	6144	6900	1.917	6900	0.0199

**cores** = CPU Ressourcen, **h** = Rechenzeit eines Testlaufs, **CPUh** = CPU × h, **SIM(s)** = Simulierte Zeit in s, **SIM(h)** = Simulierte Zeit in h, **SIM(h)/h** = Modellrechengeschwindigkeit



**Abb. 7:** Modellrechengeschwindigkeit



Das entscheidende Kriterium in der Beurteilung der Ergebnisse bei der 2D-HPC (High Performance Computing) ist die Skalierbarkeit. Die Skalierbarkeit beschreibt das Verhalten einer Software bezüglich der Performance bei steigenden Ressourcen. Als Messwerte dienen die Höhe der CPUh ( $\text{CPU} \times \text{Rechenzeit}$ ), der Fortschritt der Modellrechnung in SIM(h) oder SIM(s), sowie die Anzahl der Ressourcen (cores). In Abbildung 7 ist in diesem Fall die Modellrechengeschwindigkeit dargestellt, diese Geschwindigkeit beschreibt wie viel Stunden des berechneten Modells SIM(h) in einer Realstunde bei unterschiedlichen Ressourcen erreicht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem Einsatz von 64 CPUs bei einer Testrechnung über 96 Stunden bereits 6900 SIM(s) erreicht wurden. Auf einer Dual-core Workstation beträgt die Modellzeit nach der gleichen lediglich 1416 SIM(s). So ergibt sich bei einer Testrechnung über 96 Stunden ein Fortschritt um den Faktor 4,9 bei einer entsprechenden Erhöhung der Ressourcen um den Faktor 32. Die Abbildung 6 zeigt allerdings auch deutlich, dass ab einer gewissen CPU-Anzahl sich die Modellrechengeschwindigkeit in SIM(h)/h nicht mehr wesentlich weiter erhöhen lässt. Gleichzeitig nimmt auch die Leistung eines einzelnen Prozessors am Modellfortschritt, in SIM(h)/core ab. Eine gute Skalierbarkeit von BASEMENT wäre eher eine gleichmäßige Ausnutzung der Ressourcen. Hier zeigt sich wesentliches Verbesserungspotenzial bei BASEMENT.

Diese Phänomene sind eher softwarespezifisch und könnten in weitergehenden Untersuchungen näher beschrieben oder verbessert werden. Hier liegt die Ursache vermutlich in der programmiertechnischen Umsetzung von ingenieurtechnischen Formelansätzen. Im Allgemeinen wurde dennoch gezeigt, dass hydraulische 2D-Berechnungen auf Großrechnerarchitekturen praxistauglich sind und so erschließt sich ein weiteres umfangreiches Aufgabenfeld im Bereich des High Performance Computing (HPC). Bei entsprechender Anpassung der Software und einer besseren Skalierung kommen ganz neue Anwendungsbereiche für die Hochwasserberechnung wie die 2D-HPC in Frage. Mit der 2D-HPC könnte somit in Zukunft die Modellierung von ganzen Gewässernetzen zeitnah umgesetzt werden.

### 3 Ausblick

#### **Ausblick: Qualitätsmanagement HWGK**

Neben dem Potenzial der 2D-HPC Modellierung wurde ebenso festgestellt, dass für die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten (HWGK) anerkannte Qualitätsstandards für die Praxis fehlen. Es existieren lediglich Empfehlungen, z. B. durch LAW (2006). Bei der Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten sollte jedoch zusätzlich mit angegeben werden, mit welcher Methodik die Überschwemmungsflächen berechnet wurden. Nicht jede Modellierungsmethode ist gleich gut und für das spezifische Projekt geeignet. Nach den Erkenntnissen dieser Untersuchungen und den derzeitigen Möglichkeiten sollten vor allem komplexe Gewässer ausschließlich zweidimensional berechnet werden.

#### **Ausblick: 2D-HPC**

Hochwasserereignisse halten sich nicht an die statistisch auftretenden Abflussmengen  $HQ_x$ . Oft gibt es keine exakten Prognosen für ein sich abzeichnendes Ereignis. Obwohl die entstehenden Abflussmengen in Bayern über den Bayerischen Hochwassernachrichtendienst

ständig abrufbar sind, können nur Warnungen ausgegeben werden. Eine Anwendungsmöglichkeit der 2D-HPC Modellierung könnte es daher sein, zeitnahe Berechnungen zu wahrscheinlich eintretenden Szenarien zu erstellen, und über einen Kartenserver der breiten Öffentlichkeit über das Internet zugänglich zu machen. Basierend auf den Messungen des Hochwassernachrichtendienstes in Bayern könnten somit in kürzester Zeit bei entsprechendem Ressourcenzugriff, z. B. mit dem SGI Altix 4700 am LRZ, frühzeitige Schadensabschätzungen zu einem tatsächlich eintretenden Hochwasserereignis gemacht werden und nachfolgend entsprechende Maßnahmen des Hochwassermanagements greifen können. Ein Restrisiko und Modellunsicherheiten sind jedoch nie ganz auszuschließen.

## Literatur

- ASSMANN (2007) – Assmann, A., Schroeder, M. & Hristov, M.: High Performance Computing für die rasterbasierte Modellierung. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2007*. Heidelberg, Wichmann, S. 19-24.
- BASEMENT (2008) – Faeh, R., Mueller, R., Rousselot, P., Vetsch, D., Volz, C. & Farshi, D.: *System Manuals of BASEMENT, Version 1.4.* Laboratory of Hydraulics, Glaciology and Hydrology (VAW), ETH Zurich.
- FLOODSCAN (2008): LfU, Bericht zum Workshop Hochwassergefahrenkarten, 27 S.
- FLOODSCAN (2009): Projektseite. <http://www.wzw.tum.de/floodscan/index.php/ubersicht> (09.01.2009)
- HARTERT (2009) – Hartert, J.-H.: Prozessoptimierung in der Hochwasserberechnung am Beispiel der Isar bei Landshut. Diplomarbeit, Fachhochschule Weihenstephan, 149 S.
- HEC (2008) – US Army Corps of Engineers: HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> (09.01.2009).
- LAWA (2006) – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Empfehlungen der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zur Aufstellung von Hochwasser-Gefahrenkarten, 37 S.