

Verteilte geowissenschaftliche Modellberechnung im Internet

Anwendung der Peer-to-Peer—Architektur für das *CoForm*-Modell zur Berechnung der Oberflächentemperatur in windschwachen Strahlungsnächten

Mario Melle¹

Zusammenfassung

In der Geographie haben neue Meßtechniken und bildgebende Verfahren zu einer außerordentlich hohen Menge an verteilt vorliegenden Daten geführt, für die digitale Verarbeitungs-, Umweltmonitoring- und Analyseverfahren benötigt werden. Diese wiederum sind die Voraussetzung für die interdisziplinäre Nutzung des Wissens über die globalen Veränderungen, die unter anderem die Geographie, Meteorologie als auch die Klimatologie betreffen. Ausgehend von dieser Tatsache soll im Beitrag das geowissenschaftliche Modell *CoForm* und dessen technische Architektur/Framework und Implementierung erläutert werden. Das *CoForm*-Modell ist Ausgangspunkt für die Ableitung einer Reihe relevanter Karten des Untersuchungsgebietes Oberrheingraben (Frankreich, Deutschland und Schweiz). Es wurde auf Basis spezialisierter Server und Clients entwickelt, deren Zusammenarbeit durch den Austausch von Daten über geeignete Protokolle unterstützt wird. Die dabei entstehende Architektur ist heterogen, verteilbar und sehr gut skalierbar. Zentrale Zugangspunkte sorgen für eine einheitliche Schnittstelle der Clients und erlauben das Einbinden eigener Datenmengen in die Netzwerk-Topologie und damit auch die Anwendung auf andere geographische Untersuchungsgebiete.

1. Atlas, GIS und Internet?

Ein Atlas kann als eine Modellrepräsentation der Vorgänge und Zustände der Erde mit unterschiedlicher aspektorientierter Dimension verstanden werden. Sein typisches Erscheinungsbild in Form einer Karte hat sich seit MERCATOR (1512-1594) nicht wesentlich verändert. Allerdings sind neue Medien verschiedene Darstellungsmöglichkeiten wie beispielsweise 3D-Modelle hinzugekommen. Waren es vorderhand Blattsammlungen oder gebundene Werke, die mit Text- und Metainformationen angereichert wurden, sind es heute computergenerierte Darstellungen, die als di-

¹ Universität Leipzig, Institut für Informatik, <http://www.informatik.uni-leipzig.de/>
jetzt: Mario.Melle@M2Software.de, <http://www.Mario-Melle.de/>
Webseite des Projektes ATLAS2000: <http://shear.informatik.uni-leipzig.de:2000/>

gitaler Atlas oder als Geographisches Informationssystem (GIS) Anwendung finden. Pragmatisch und architektonisch befindet sich der Atlas in einem Umwälzungsprozeß, der Anwendungen zugute kommen wird, die georeferenzierte Informationen benötigen oder aber auf geowissenschaftliche Modellberechnungen zurückgreifen müssen. Diese Anwendungen benötigen *delivered computation*, neue Problemlösungstechniken und –werkzeuge, haben einen bedarfsgetriebenen Zugriff auf Ressourcen, sollten nicht verwendete Kapazitäten nutzen und gemeinsame Berechnungsergebnisse verwenden können (vgl. FOSTER et al 1998). Es handelt sich also um eine verteilte Architektur, deren Kernbestandteile auf *Services* aufbauen, die durch ein Netzwerk bereitgestellt werden (*Computational Grids*). Insbesondere trifft dies auf geowissenschaftliche Anwendungen in der Zukunft zu, in der sie eine der *killer applications* des 21. Jahrhunderts sein werden.

Das im Folgenden vorgestellte geowissenschaftliche Modell ist in einer speziellen Architektur implementiert worden, die die oben genannten Anforderungen teilweise hilft zu erfüllen.

2. Geowissenschaftliche Grundlagen

Ziel des *CoForm*-Modells ist es, die thermale Ausstrahlung eines Beobachtungsgebietes der Erdoberfläche zu simulieren und als hochaufgelösten Flächendatensatz bereitzustellen. Die thermale Ausstrahlung kann durch die Oberflächentemperatur des Gebietes repräsentiert werden, welche wiederum durch eine Thermalaufnahme (Landsat-TM) bereitgestellt wird. Geht man von der Voraussetzung aus, dass es sich um eine Aufnahme in einer windstillen, wolkenlosen Nacht handelt und zudem keine Bedeckung der Erde mit Schnee vorliegt, kann angenommen werden, daß die durch den Satelliten erstellte Aufnahme die *effektive Ausstrahlung* der Erdoberfläche darstellt. Als weitere Annahme wird festgestellt, daß es vor allem durch die räumliche Variabilität klimatischer Kenngrößen zur Ausprägung eines speziellen Musters in der Aufnahme kommt. Gesucht ist nun eine geeignete Parametrisierung eines Modellierungsvorganges, so daß die Thermalaufnahme mit einer geringst möglichen Abweichung nachgestellt werden kann. Diese kann dann unter anderem zur Erstellung der Karten der Strahlungsbilanz und der Kaltluftproduktion herangezogen werden, welche beispielsweise für die Stadtplanung und für die Beantwortung anderer angewandter Fragestellungen eingesetzt werden können. Der Vorteil der Nachbildung der Originalkarte liegt in der Möglichkeit einer Veränderung der Parametrisierung bei der Kartenerstellung und damit in der Einschätzung von Auswirkung durch veränderte klimatische Parameter.

Die Beschreibung räumliche Variabilität von klimatischen Kenngrößen wird durch die Erfassung und Nutzung von Geofaktoren ermöglicht. In unseren Breiten sind dies vor allem die Höhe über NN, die Reliefform und die Landnutzung. Sie bestimmen Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, kurz- und langwellige Ausstrahlung und daraus folgend unter anderem die Wärmebelastung des Menschen. Klimatologi-

sche Kenngrößen wurden im *Reklip*²-Gebiet mit Hilfe von Meßstationen aufgenommen, deren Position im Gelände auch bestimmten typischen Reliefformen entspricht (siehe Abbildung 1). Für die Beschreibung der Orographie mit Hilfe sogenannter Reliefparameter wird das digitale Geländemodell (Auflösung 120x120m) herangezogen.

Schritt 1: Ableitung von Geländeparametern und Schätzgleichung

$$R_0 = x_{0,0}$$

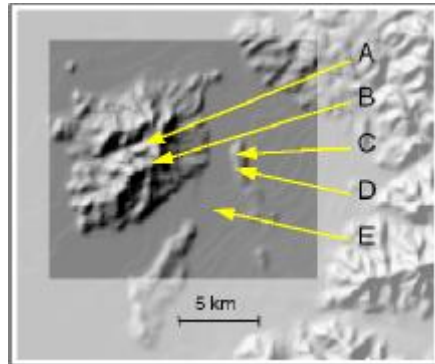
$$\left. \begin{array}{l} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \end{array} \right\} = \sum_{i=1}^{rad} \sum_{j=1}^{rad} |x_{0,0} - x_{i,j}| \left\{ \begin{array}{l} rad = 3, x_{0,0} < x_{i,j} \\ rad = 3, x_{0,0} > x_{i,j} \\ rad = 7, x_{0,0} < x_{i,j} \\ rad = 7, x_{0,0} > x_{i,j} \\ rad = 25 \end{array} \right.$$

Die im Modell eingesetzte Berechnung von Reliefparametern R_0 **K** R_5 erfolgt nach folgendem Schema:

- Reliefparameter R_0 : Die absolute Höhe des Punktes $x_{i,j}$ über NN, d.h. der Wert wird direkt aus dem digitalen Geländemodell übernommen.
- Reliefparameter R_1 : In einer Umgebung von drei Punkten (360m) werden alle Punkte, die höher als der Mittelpunkt sind, betrachtet. R_1 wird als Summe der Höhendifferenzen der Punkte zum Mittelpunkt berechnet und beschreibt somit den Zufluß zum Mittelpunkt aus der Umgebung in einem kleinen Gebiet, wie z.Bsp. Bodensenken und Mulden.
- Reliefparameter R_2 : Für die gleiche Umgebung wie R_1 werden alle Punkte betrachtet, die tiefer gelegen sind, als der Mittelpunkt. Der Parameter R_2 ist also ein Maß für den Abfluß in einer kleinen Umgebung um den Mittelpunkt.
- Reliefparameter R_3 und R_4 : Diese beiden Parameter werden äquivalent zu den Parametern R_1 und R_2 berechnet, allerdings in einer Umgebung mit einem Radius von sieben Punkten (840m). Sie können dann z.Bsp. in Kombination mit R_1 und R_2 für die Beschreibung komplexerer Geländeformen, wie einem kleinen Hügel in einem größeren Tal, herangezogen werden. R_3 ist dabei der Zufluß und R_4 der Abfluß zum Mittelpunkt.
- Reliefparameter R_5 : Dieser Parameter wird auch als Gesamtreliefindex bezeichnet, da er in einer Umgebung mit Radius von 25 Punkten (3km) die Beiträge aller Höhendifferenzen der Punkte zum Mittelpunkt aufaddiert und so

² Das trinationale Reklip-Forschungsprojekt (Deutschland, Frankreich, Schweiz) fokusierte von 1989 bis 1998 klimatische und meteorologische Untersuchungen zum Regionalklima im mittleren und südlichen Rheingraben sowie im Schwarzwald, Jura und den Vogesen.
<http://www-imk.physik.uni-karlsruhe.de/reksym/html3/sym.htm>

zur Unterscheidung zwischen einem breiten Tal und einer Ebene herangezogen werden kann.



	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
A	310	6	4	21	3	11
B	540	0	42	0	60	32
C	270	1	2	0	16	7
D	220	10	15	3	9	4
E	200	0	0	0	0	5

Abbildung 1: Typische Ausprägung klimatologischer Kenngrößen und deren Kombination zu sogenannten Reliefparametern für das *CoForm*-Modell am Beispiel des Kaiserstuhles nahe Freiburg i.Br. Die Punkte A bis E zeigen verschiedene einfache Kombinationen: A – ein Tal in einer Bergregion, B – eine Bergspitze, C – ein ebenes Stück an einem größeren Hang, D – der Fuß eines Berges und E – eine größerer flache Region im Oberrheingraben.

Schritt 2: Berechnung der Referenzkarte der Oberflächentemperatur

$$T_{s(ref)} = f(R_0, R_0, R_0, R_0, R_0, R_0, \{k_1 | \dots | k_6\})$$

Die Oberflächentemperatur T_S wird aus der Satellitenkarte abgeleitet und durch eine abschnittsweise-konstante Funktion approximiert. Hierzu wird der sechsdimensionale Raum der Reliefparameter in 250 Segmente $r_1 \mathbf{K} r_{250}$, sogenannte Reliefklassen, zerlegt. Diese Reliefklassen sind typische, immer wieder auftretende Geländeformen, wie beispielsweise ein Hügel in einem Tal oder eine Ebene.

Die Reliefklassen $r_1 \mathbf{K} r_{250}$ werden durch Kombination mit den Landnutzungs-klassen $k_1 \mathbf{K} k_{250}$ in 1500 ($6 \times 250 = 1500$), sogenannte *CoForm*³-Klassen, unterteilt. Jeder *CoForm*-Klasse stellt ein bestimmtes Gebiet mit ähnlichem Relief dar und diesem wird ein repräsentativer mittlerer T_S -Wert zugewiesen. D.h., die Approximation der Oberflächentemperatur ist abschnittsweise konstant definiert durch 1500 T_S -Werte.

$$T_{S(ref)} = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{250} k_i r_j T_s(i, j)$$

³ Der Name *CoForm* leitet sich als Akronym aus *Cover* (Bedeckung oder Landnutzung) und *Form* (die Reliefform aus dem digitalen Geländemodell R_0, \mathbf{K}, R_5) ab.

Mit der Approximation von $T_{S(ref)}$ wird eine räumlich-auflösende Datenstruktur, die Referenzkarte der Oberflächentemperatur des Oberrheingrabens, erzeugt. Diese Referenzkarte oder besser das *synthetisches Muster der Oberflächentemperatur* (THAMM (2000)) wird genutzt, um in einem weiteren Schritt die zeitliche Auflösung der Kartenerzeugung zu erhöhen. Die in Abbildung 2 dargestellten Schritte 1 und 2 sind die Grundlage für den folgenden dritten Schritt.

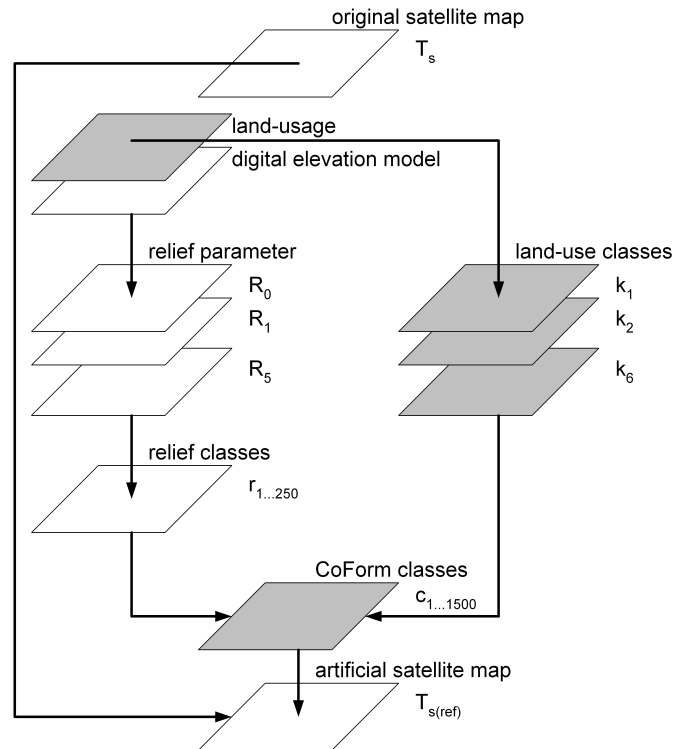


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte 1 und 2 zur Erzeugung der Referenzkarte der Oberflächentemperatur mit dem *CoForm*-Modell. Die räumlich-differenzierten Daten des digitalen Geländemodells und der Landnutzungs-klassifikation werden genutzt, um die aus der Satellitenaufnahme entnommene Oberflächentemperatur zu parametrisieren.

Schritt 3: Zeitliche Auflösung

Um eine zeitliche Differenzierung zu erzielen, müssen Daten mit einer zeitlichen Auflösung und einer Referenzierung in das Beobachtungsgebiet vorhanden sein. Die-

Diese Daten T_p sind durch die *Reklip*-Stationen verfügbar. Die von räumlich-diskret verteilten Punkten vorliegenden Werte werden durch eine lineare Regression auf das gesamte Beobachtungsgebiet angepasst. Die dabei abgeleiteten Werte a und b werden in der Gleichung $T_{S(t)} = a \cdot T_{S(ref)} + b$ genutzt, um die Werte der Karte zu bestimmen. Die Referenzkarte wird durch eine affine Transformation mit den T_p -Werten so gut wie möglich zur Deckung gebracht. Dabei ist es vorteilhaft T_p als Mittelwert über einer gewissen Periode anzunehmen, z.Bsp. eine bis vier Stunden. Eine weitere Verbesserung der Korrelation von T_S und $T_{S(t)}$ wird durch die Nutzung einer Landnutzungsklassifikation mit der Auflösung von 30x30m erreicht. $T_{S(t)}$ ist damit eine räumlich und zeitlich hochauflösende Approximation realer Sachverhalte, die aus primären Datensätzen abgeleitet wurde.

Verschiedene bekannte Abhängigkeiten des Modells von geowissenschaftlichen Sachverhalten wurden beachtet. So werden Wasserläufe und -flächen ausmaskiert, da Wasser durch seine hohe Wärmekapazität verfälschende Berechnungsergebnisse hervorruft. Auch auf lokale Wärmeaustauschprozesse, wie beispielsweise ein lokales Windsystem, wurde im Modell keine Rücksicht genommen. Eine Verbesserung der Modellimplementierung ist allerdings jederzeit möglich. Das Modell ist in der hier vorgestellten Form eine Machbarkeitsstudie der verteilten Architektur. Eine genauere Erläuterung der geowissenschaftlichen Modellierung und deren Hintergründe kann bei THAMM (2000) nachgelesen werden.

3. Implementierungsdetails

Zur Charakteristik des Modells gehört, dass jeder Punkt der räumlichen Auflösung im Schritt 2 unabhängig von seinen Nachbarn berechnet werden kann. Räumliche Zusammenhänge wurden bereits durch die Reliefparameter aus Schritt 1 und die Thermalaufnahme in das Modell eingebracht. Das bedeutet, daß zwischen den zu berechnenden Datenpunkten keine Abhängigkeiten bei der Berechnung zu beachten sind und diese sehr gut verteilt durchgeführt werden kann. Dazu müssen an jeden, an der Berechnung teilnehmenden Computer (*Calculation Server*), initial die 250 Reliefklassen und die, für den zu berechnenden räumlichen Ausschnitt notwendigen Landnutzungsklassen als auch die $T_{S(i,j)}$ -Werte aus Schritt 2 übertragen werden. Dieser Server kann fast beliebig repliziert und dank des Einsatzes von Java auf ein heterogenes Computer-Netzwerk verteilt werden (vgl. hierzu Abbildung 2).

Ein sogenannter *CoForm Server* stellt sowohl allen angeschlossenen *Calculation Servern* eine zentrale Komponente zur Auftragskoordination und -bereitstellung als auch allen *CoForm Clients* einen Gateway zur Verfügung, womit diese Zugriff auf die Funktionalität des Netzwerkes erhalten. Der *CoForm Server* eröffnet für jeden Client eine eigene Session, welche zentrale Berechnungsmethoden des Kernels nutzt (n-fach repliziert auf die *Calculation Server*) aber auf Daten arbeitet, die durch den Client verändert werden.

Im zeitliche Ablauf werden nach dem Start des (*Reklip*) *Data Server* der *CoForm* und die *Calculation Server* gestartet. Die Referenzierung der Einzelkomponenten erfolgt durch Ressourcendefinitionen in XML-Dateien. Durch den Einsatz von XML sowie Java wird die Plattformunabhängigkeit garantiert. Zum Betrieb ist also nur die Java Runtime Environment notwendig. Auch der Client ist eine, in Java implementierte Anwendung mit Thin-Client.-Eigenschaften. Er bietet eine interaktive graphische Benutzeroberfläche zur Inspektion und Veränderung der Landnutzung sowie zur Darstellung der Referenzkarte aus Schritt 2 und der Temperaturkarten aus Schritt 3. Auch die Auswahl der Werte aus der *Reklip*-Datenbank erfolgt dort. Die Kommunikation der einzelnen Softwarekomponenten erfolgt über generische in Java implementierte Sockets und Streams.

Die Anwendung kann sowohl Datensätze aus und Datensätze in IMAGINE im/exportieren, d.h. durch die Interaktion mit einem GIS ist es möglich das Anwendungsspektrum zu erweitern.

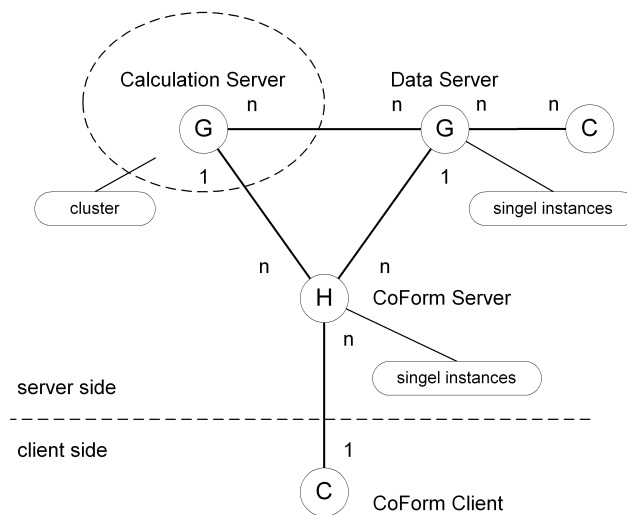


Abbildung 2: Das *CoForm*-Modell ist in einer hybriden Architektur aufgebaut, welche sich als eine Kombination einer hierarchischen und einer generischen PeerTo-Peer-Architektur darstellt. Die hierarchische (H) Anordnung von *Calculation* und *Data Server* zum *CoForm Server* ermöglicht eine einfache Erweiterbarkeit und Austauschbarkeit der Sub-Server und ihre generische Verbindung untereinander (G).

Den Zugang zum Netzwerk erhalten Clients über den *CoForm Server*.

Das geowissenschaftliche Modell *CoForm* öffnet durch die hybride Nutzung verschiedenster Netzwerktopologien einer großen Menge von Anwendungen Raum zur Entfaltung. Modelle, bei denen eine leichte Partitionierung des Problems und eine

unabhängige Berechnung der Partitionen durchgeführt werden kann, eignen sich durch den zu erwartenden Scale-up besonders gut zur Abbildung auf die Topologie.

Das Modell wird gegenwärtig am Institut für Physische Geographie der Universität Freiburg i.Br. weiterentwickelt. Dabei interessieren vor allem geowissenschaftliche Fragestellungen wie der Einfluß einer veränderten Landnutzung. Abbildung 3 zeigt beispielsweise die Landnutzung heute im Vergleich zu 1850 und deren Einfluß auf die Oberflächentemperatur (Schritt 1 und 2). Auffallend sind die stärkere Urbanisierung aber auch die stärkere Bewaldung heute gegenüber 1850 sowie die daraus folgenden geringeren Oberflächentemperaturen.

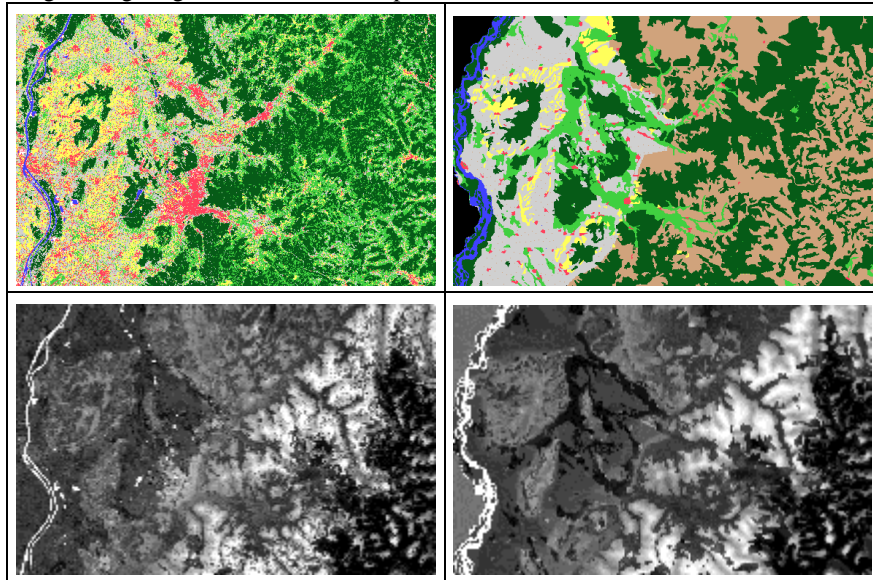


Abbildung 3: Die Kartensammlung zeigt einen Teilausschnitt um Freiburg i.Br. innerhalb des *Reklip*-Gebietes, wobei links-oben, die Landnutzung heute, und rechts-oben 1850, links-unten $T_{S(ref)}$ heute und rechts-unten 1850 zu sehen ist. Gut erkennbar sind in der Landnutzung von heute die Begradigung der Mäander des Rheines, die in der Landnutzung von 1850 noch vorhanden ist.

4. Literatur

FOSTER et al (1998): Ian Foster und Carl Kesselmann *The Grid – Blueprint of a New Computing Infrastructure*. Morgena Kaufmann. 1998.

THAMM (2000): Hans-Peter Thamm, Modellierung von Flächendatensätzen der Oberflächentemperatur, Strahlungsbilanz und Kaltluftproduktion in Strahlungsnächten, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., 2000.