

Wasserhaushaltsmodelle als Instrument für Abflussprognosen, Beispiele aus Bayern

Tibor Molnar

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

*Hydrologische Modelle sind wichtige Werkzeuge der Hydrologen. Sie dienen der modelltechnischen Beschreibung der hochgradig nichtlinearen Prozesse des Wasserkreislaufes in der Natur. Mit Hilfe mathematischer Modelle der Hydrologie wurde es möglich, die zeitlich und räumlich sehr inhomogenen Prozesse der lateralen und vertikalen Flüsse in makroskaligen Einzugsgebieten zu modellieren und zu studieren. Dies geschieht i.d.R. überwiegend mit physikalisch basierten oder in seltenen Fällen mit konzeptionellen Modellen für jene Prozesse, die mit physikalisch basierten Ansätzen aus Mangel an räumlich hochaufgelösten Messdaten sehr schwer oder sogar überhaupt nicht modellierbar wären. In diesem Beitrag wurde das Niederschlag-Abfluss-Modell **ASGi/LINUX** als Instrumentarium zur Modellierung des Wasserhaushaltes in Einzugsgebieten von einigen tausend Quadratkilometern eingesetzt. Das Modell ist an das geographische Informationssysteme GRASS angekoppelt. Dadurch bietet **ASGi/LINUX** ein effizientes Prä- und Postprozessing sowohl für die raumbezogenen als auch für die zeitbezogenen Daten an. Die Nutzung der GIS-Ressourcen wird durch eine graphische Oberfläche und Menüführung verwirklicht. In diesem Beitrag wurden die Ergebnisse der Modellierung mit **ASGi/LINUX** in den Einzugsgebieten der Regnitz und der Naab (mit Vils) anhand praxisrelevanter Beispiele vorgestellt.*

1. Veranlassung

Im Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ - kurz KLIWA - wird unter anderem der Wasserhaushalt großräumig und flächendetailliert in verschiedenen Flussgebieten in Baden-Württemberg und Bayern untersucht. Zu diesen Arbeiten wird in Bayern das Wasserhaushaltsmodell ASGi (Kleeberg, 1999) eingesetzt. Mit Hilfe des kalibrierten ASGi-Modells werden die Wasserhaushaltskomponenten, das Verhältnis der einzelnen Komponenten zueinander, der zeitlich-räumliche Ablauf der Veränderungen der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten großräumig und flächendetailliert beschrieben. Mit Hilfe von Klimaszenarien werden dann im weiteren die durch eine eventuelle Veränderung des Klimas induzierten Wasserhaushaltsänderungen simuliert.

2. Ziele der Wasserhaushaltsmodellierung im Vorhaben KLIWA

- Die Ziele dieses Vorhabens sind sehr komplex und beziehen sich auf die Erforschung der großräumigen und flächendetaillierten Wasserhaushaltskomponenten sowie deren räumliche und zeitliche Veränderung. Folgende Ziele werden vorrangig verfolgt: die flächendetaillierte Beschreibung der Wasserbilanzen in Flussgebieten,
- Prognosen und Szenarien zur großräumigen flächendetaillierten Wasserbilanzen in Flussgebieten,
- der Einfluss von anthropogen bedingten Einwirkungen auf den Wasserhaushalt und seine
- rechtzeitige Aufdeckung von klimabedingten Änderungen der Wasserhaushaltsgrößen und ihre quantitative Abschätzung und die
- Erarbeitung von großräumigen flächendetaillierten Planungsgrundlagen als Basis zu Szenarienberechnungen.



3. Das Wasserhaushaltsmodell ASGi

3.1 Allgemeine Charakteristiken des Modells

Zum Modellieren des Wasserhaushaltes in den Bayerischen Einzugsgebieten wird das Wasserhaushaltsmodell ASGi eingesetzt. Dieses Modell ist ein physikalisches, hochgradig nicht-lineares Wasserhaushaltsmodell (WHM) auf Rasterbasis für die großräumige, flächendetaillierte Beschreibung der Wasserbilanz mit theoretisch beliebig gewählten Maschenweiten. Das Modell betrachtet die vertikalen und lateralen Wasserflüsse in Rasterzellen und „routet“ den Gesamtabfluss zum Gebietsauslass. Es ist modular aufgebaut. Die Module sind frei wählbar (Niederschlags-, Schnee-, Interzeptions-, Evapotranspirations-, Bodenwasserhaushalts-, Routingsmodul) und frei konfigurierbar ebenso die Berechnungsverfahren innerhalb eines Bausteines - in Abhängigkeit von der Datenlage im Einzugsgebiet - . Ein wichtiger Bestandteil von ASGi ist das Bodenmodul, das unter anderem die GW-Neubildung berechnet. Im Bodenmodul stehen zwei Berechnungsverfahren (Bodenmodell mit dem TOPMODEL-Ansatz und mit der Richards-Gleichung) zur Verfügung. Der Kern des WHM ASGi ist das Niederschlag-Abfluss-Modell WASIM (Schulla, 1966; Shulla, 1999).

3.2 Eigenschaften des Modells

ASGi ist modular aufgebaut (Abbildung 1) und besteht aus den folgenden Komponenten

- Datenmanagement mit einer internen Buchführung über die benötigten raum- und zeitbezogenen Sachdaten Präprozessor (ArcInfo/GRASS)
- Prozessor (Wasserfluss- u. Stofftransportmodell)
- Postprozessor (ArcInfo/GRASS, Vektorgrafik zur Auswertung von Zeitreihen)
- GIS-Arc/Info oder GRASS

3.3 Leistungsspektrum von ASGi

- Das Leistungsspektrum von ASGi umfasst folgende Merkmale:
- räumlich und zeitlich hochaufgelöste Berechnungen der Wasser- und Stoffströme (frei wählbare Maschenweite und Zeitschrittweite),
- beliebige Szenarienrechnungen zu veränderten Randbedingungen (Landnutzung, Flächenbewirtschaftung, Klima),
- an die jeweilige Datenlage angepasste Berechnungsalgorithmen,
- menü- und dialogorientierte Benutzerführung durch alle Programmteile sowie weitgehend automatisierte Abarbeitung,
- komplexe Modellierungsarbeiten in einem einzigen, modularen Programmsystem,
- Anfangsbedingungen als räumlich verteilte Daten ,
- flexible Auswahl von Ausgabeoptionen,
- optionale Gütekriterien und
- umfangreiche Online-Hilfen.

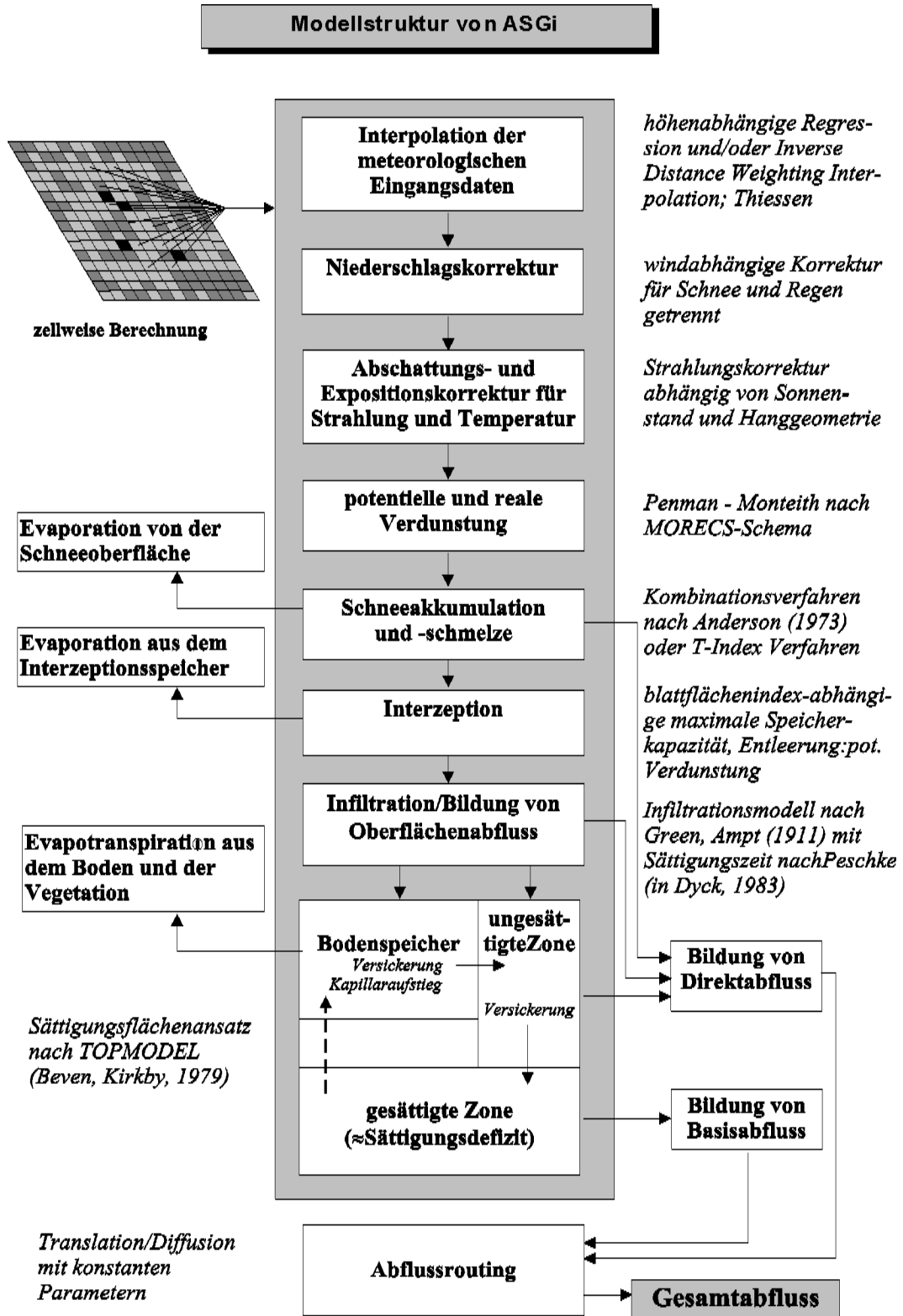


Abb.1: Struktur des Wasserflussmodells (Schulla, 1996)



3.4 Datenbedarf von ASGi

ASGi benötigt grundsätzlich folgende Daten:

- raumbezogene Daten :
 - digitales Höhenmodell DHM (meistverwendete Auflösung: 50x50 m)
 - Landnutzungsgrid (möglicherweise wie das DHM)
 - Bodengrid (virtuell herunterskaliert auf die Auflösung vom DHM)
- zeitbezogene Daten (punktuelle Daten: Niederschlag und weitere von der Modellkonfiguration abhängige Daten, wie z.B. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, usw.)

4. Modellierung des Wasserhaushaltes in Bayern mit ASGi

4.1 Frühere Aktivitäten

Das Wasserhaushaltsmodell ASGi wurde aufgrund des Modells WaSiM zwischen 1994-1997 entwickelt. Der Prototyp von ASGi wurde in UNIX-Umgebung (SGI-Rechner) unterstützt von Arc/Info (Version 7.0.1) erstellt. Um die Kosten zu senken, wurde mittlerweile eine PC-LINUX Version (Abbildung 2) unterstützt von dem Geographischen Informationssystem GRASS fertiggestellt, mit denen zahlreiche Flussgebiete (Oberpfälzer Vils –760 km², Gebenbach-16 km², Weser bis Pegel Leineturm –999 km²) modelliert wurden. Aufgrund der erzielten Ergebnisse aus diesen Arbeiten wurde das Wasserhaushaltsmodell ASGi für die Wasserhaushaltsmodellierung im Vorhaben KLIWA ausgewählt.

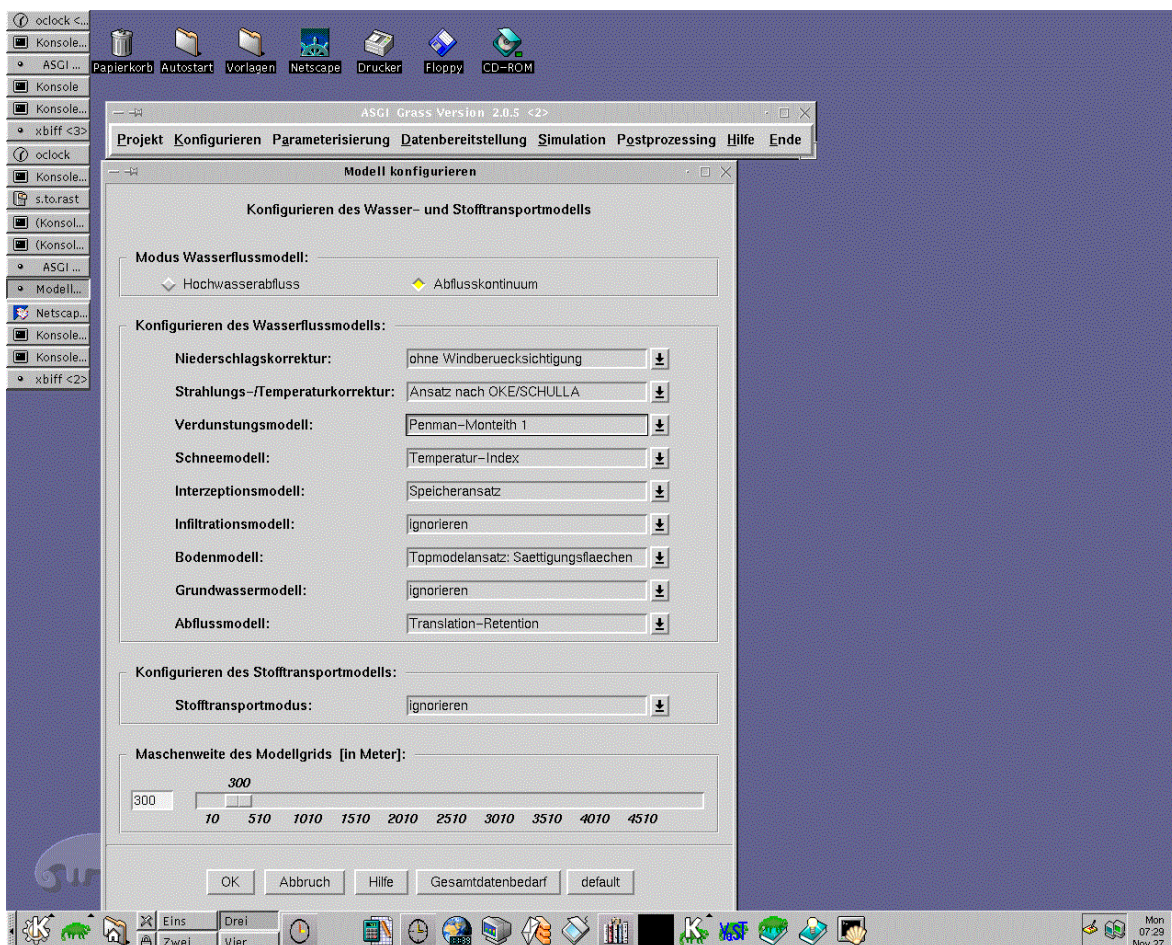


Abb.2: PC-LINUX Version von ASGi

4.2 Momentan laufende Aktivitäten

Derzeit werden die Einzugsgebiete (EG) der Regnitz, Naab, Regen und Tauber bearbeitet. Die Parameterkalibrierung wurde im EG der Naab abgeschlossen, im EG der Regnitz werden die letzten Kontrollen durchgeführt. In den EG's der Tauber und des Regen sind diese Arbeiten gerade angelaufen (Abbildung 3).

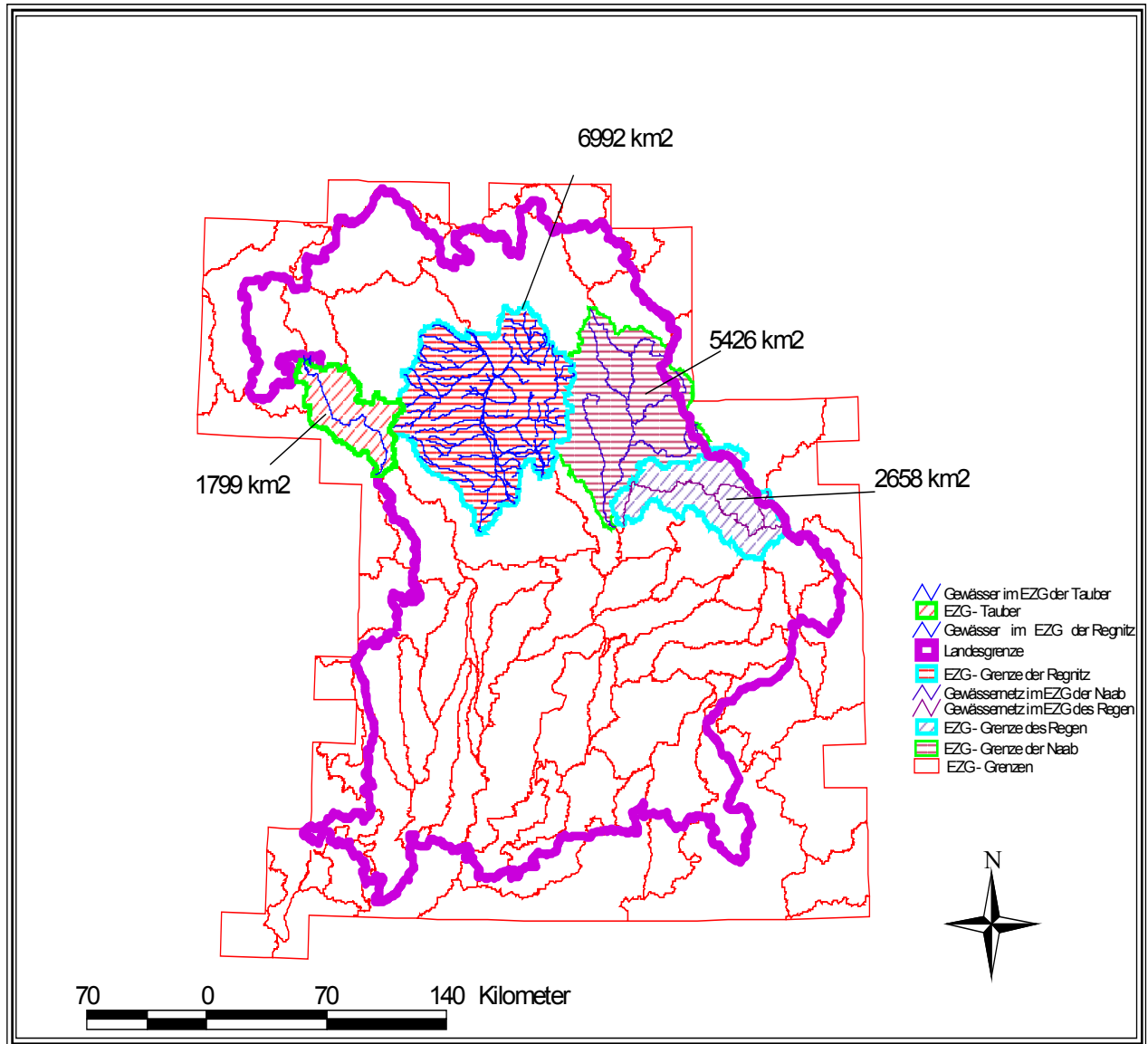


Abb.3: Aktivitäten mit ASGi in den Bayerischen Flussgebieten



5. Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung

5.1 Erste Ergebnisse im EG der Naab

5.1.1 Simulierter Abfluss vom 1963 bis 1990

Das Modell ASGi/LINUX wurde im EG der Naab im Zeitraum vom 1.03.1963 bis zum 31.08.1964 kalibriert. Die Parameter wurden in ihrem physikalischen Geltungsbereich ermittelt. Die Güte der Kalibrierung wurde mit dem Nash-Sutcliff-Gütekriterium gemessen, dessen Wert am Gebietsauslass 0.78 beträgt.

Aufgrund der Kalibrierungsergebnisse wurde dann das Modell im Zeitraum vom 1.03.1963 bis zum 31.12.1990 eingesetzt und verifiziert. Aus dem Simulationszeitraum wurde ein kürzeres Zeitintervall als erstes Beispiel ausgewählt (Abbildung 4.). In der Abbildung ist der Zeitraum vom 26.10.1965 bis 30.11.1966 dargestellt. Die rote Linie zeigt die Simulationsergebnisse mit den kalibrierten Modellparametern. Die schwarze Linie stellt die gemessenen Ganglinie am Gebietsauslass dar. In der Abbildung ist eine ziemlich gute Übereinstimmung zu sehen. Besonders gut wurde die Abflussspitze im Februar 1966 abgebildet. Die Ereignisse vom Dezember 1965 bis Januar 1966 sind überschätzt worden. Im Niedrigwasserbereich im Sommer 1966 liegt eine moderate Unterschätzung vor. Für den gesamten Simulationszeitraum vom 1963 bis 1990 wurde ein Gütewert von 0.73 erreicht. Im weiteren ist noch ein Feintuning vorgesehen, um eine bessere Übereinstimmung erzielen zu können.

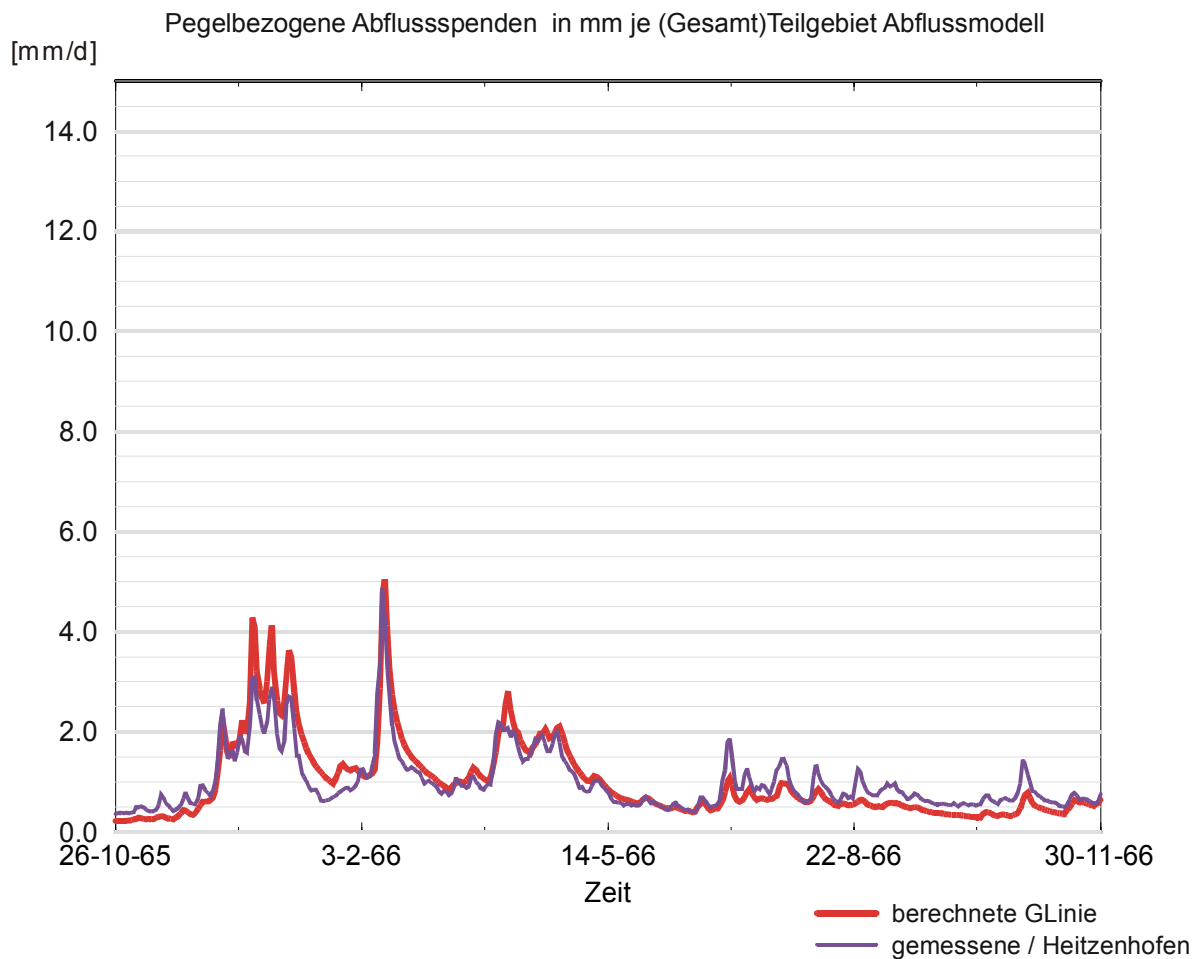


Abb.4: ausgewählte Pegelbezogene Abflussspenden vom 26.10.1965 bis 30.11.1966 aus dem Simulationszeitraum vom 1963 bis 1990
(rote Linie: berechnete Ganglinie;
schwarze Linie: gemessene Ganglinie am Gebietsauslass)

5.1.2 Grundwasserneubildung vom 1963 bis 1990

ASGi/LINUX versteht unter Grundwasserneubildung den Anteil der Sickerwasserrate, der die Grundwasseroberfläche erreicht. Unter der Hypothese, dass die Sickerwasserrate und die Grundwasserneubildungsrate einander entsprechen, kann die GW-Neubildungsrate als Restglied aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell, aus dem Niederschlag und der realen Evapotranspiration errechnet werden.

Das Modellsystem ASGi/LINUX mit dem TOPMODEL-Ansatz berechnet die Grundwasserneubildung als Ergebnis einer Bilanzierung in Form von Gebietsmitteln bezogen auf Teileinzugsgebiete und auf das Gesamtgebiet. Dies erfolgt anhand der teilgebietsbezogenen Statistiken des Sättigungsdefizit-Speichers und des Basisabflusses.

Als zweites Beispiel wurde die Grundwasserneubildung als Gebietsmittel der Teileinzugsgebiete, definiert durch die als Referenz verwendeten Pegelstellen, im Einzugsgebiet der Naab dargestellt (Abbildung 5.).

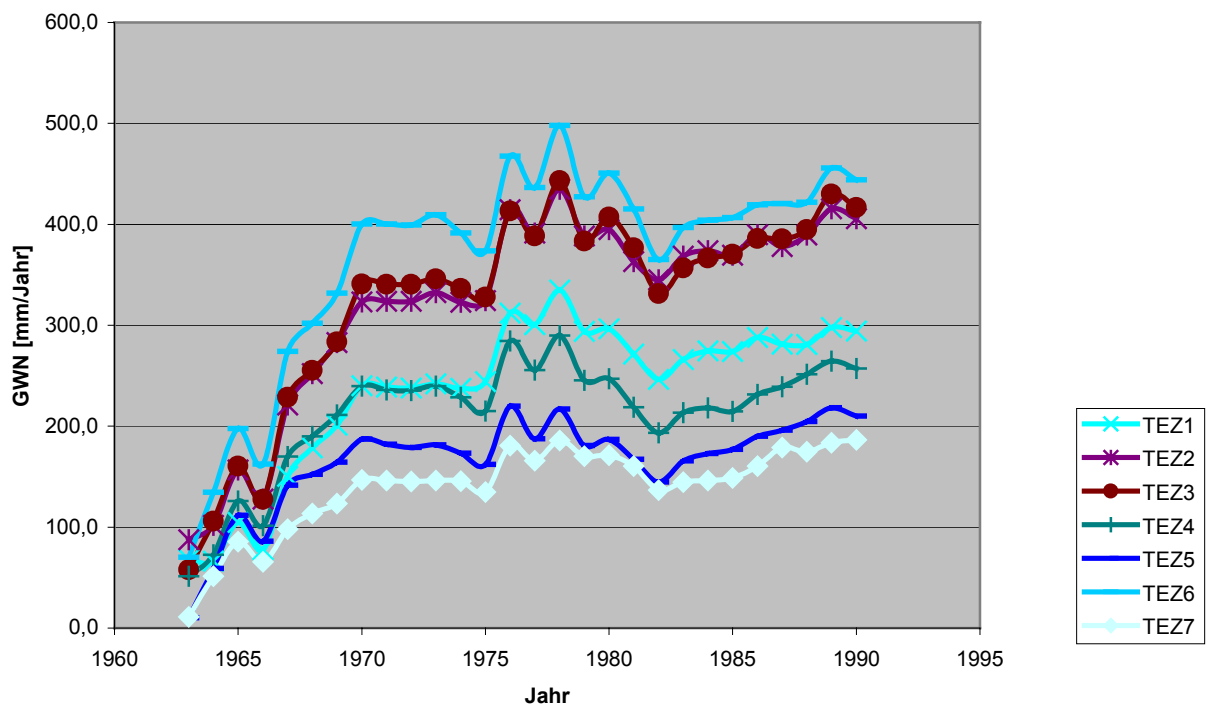


Abb.5: Gebietsmittel der Jahressummen der Grundwasserneubildung vom 1963 bis 1990 im einzelnen Teileinzugsgebieten der Naab



5.1.3 Evapotranspiration

Unter der Wasserhaushaltsgrößen spielt die Evapotranspiration eine wesentliche Rolle. Sie ist eines der wichtigsten Ausgabeglieder in der Wasserbilanz. Die potentielle Evapotranspiration (ET_{POT}) stellt die höchstmögliche Abgabe dar, die nur theoretisch eintreten kann, wenn genügend Wasser in der Wurzelzone zur Evapotranspiration zur Verfügung steht. In der Natur ist die tatsächliche Evapotranspiration, die als reale Evapotranspiration (ET_R) genannt wird, wesentlich geringer als die potentielle ET_{POT} . Beispielhaft wird hier die reale Evapotranspiration ET_R mit der Hamon-Methode aufgrund der vorhandenen Datenlage in der Abbildung 6 für den Zeitraum vom 1963 bis 1990 als Jahressumme dargestellt.

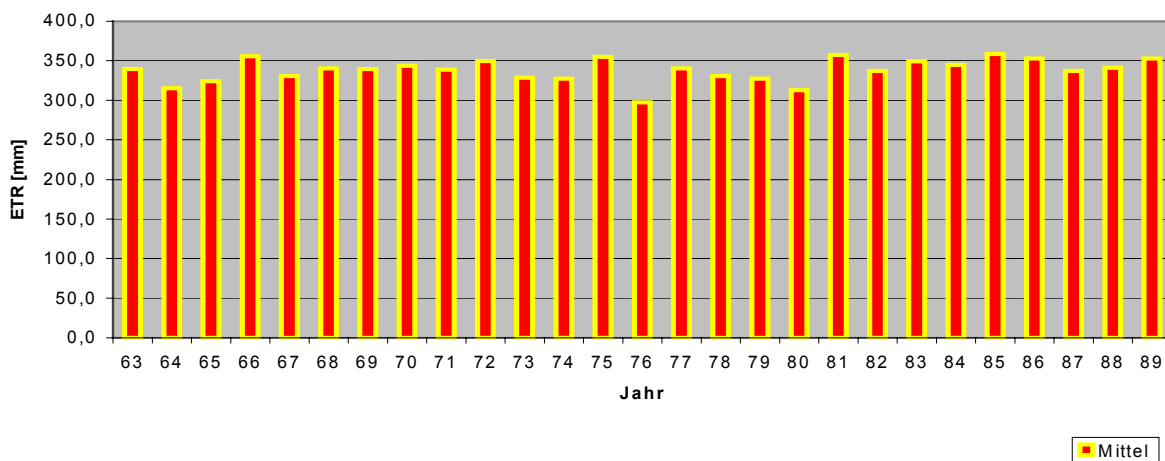


Abb.6: Jahressummen der realen Evapotranspiration vom 1963 bis 1990

In der Abbildung 7 ist eine flächendetaillierte Darstellung des Mittelwertes der jährlichen Summen der realen Evapotranspiration vom 1963 bis 1990 dargelegt. Ihre räumliche Variabilität und räumliche Verteilung des Mittelwertes der Jahressummen zeigt sehr gut das Histogramm und die Abbildung 7 selbst an.

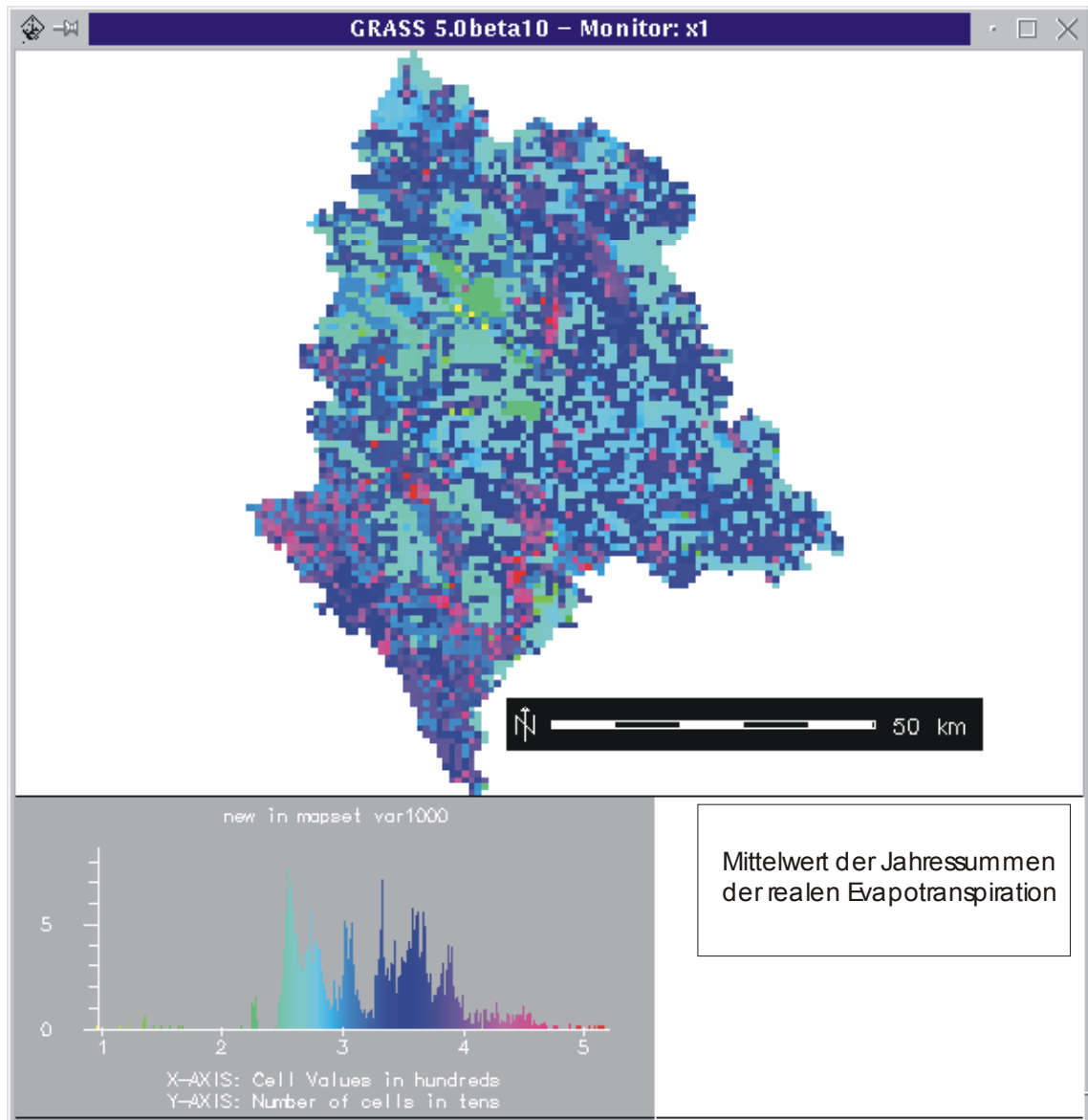


Abb.7: räumliche Verteilung des Mittelwertes der Jahressummen der realen Evapotranspiration im Einzugsgebiet der Naab vom 1963 bis 1990

Farbenverlauf:

rot	- über 500 [mm/Jahr]
cyan	- etwa 300 [mm/Jahr]
hell grün	- etwa 220 [mm/Jahr]
gelblich	- unter 200 [mm/Jahr]

6. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Modell ASGi konnte das räumliche und zeitliche Verhalten der Wasserhaushaltskomponenten im Einzugsgebiet der Naab gut abgebildet werden. Dies zeigen die für die Jahre 1963 bis 1990 in Abbildungen wiedergegebenen Berechnungsergebnisse und der erzielte Wert des Gütekriteriums. Aufgrund dieses Validierungs-Ergebnisses ist das als Beispiel gezeigte Modell in der Lage, relevante Klimaszenarien simulieren zu können und Aufschlüsse auf dadurch eintretende Veränderungen der Wasserhaushaltsgrößen räumlich hochaufgelöst vornehmen zu können.



Im weiteren werden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern aus Baden-Württemberg und vom Deutschen Wetterdienst geeignete Klimaszenarien erzeugt und die Wasserhaushaltsberechnungen mit ihr durchgeführt.

7. Literatur

Kleeberg, H-B.; Becker, M.: Kontinuierlicher Abfluss und Stofftransport – Integrierte Modellierung unter Nutzung von Geoinformationssystemen, Band 1, 2 und 3, Universität der Bundeswehr München und Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Neubiberg, 1998.

Schulla, J.: Flussgebietsmodellierung und Wasserhaushalts-Simulation mit WaSiM-Modellbeschreibung, Geographisches Institut der ETH Zürich, 1996.

Schulla, J.; Jasper, K.: Modellbeschreibung WaSiM-ETH, ETH Zürich, 1999.