

Wasserhaushaltsmodelle als Instrument für Abflussprognosen Beispiele aus Baden-Württemberg

Vassilis Kolokotronis
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

1. Zusammenfassung

Im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA werden für das gesamte Land Baden-Württemberg Wasserhaushaltsmodelle (WHM) auf Basis des Programmsystems LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) erstellt.

Am Beispiel des WHM Neckar wird der Aufbau des Modells erläutert sowie einige Ergebnisse der Kalibrierung und Verifizierung vorgestellt. Ferner werden die Anwendungsmöglichkeiten der Wasserhaushaltsmodelle in Baden-Württemberg aufgezeigt.

Wasserhaushaltsmodelle sind mathematische Rechenverfahren zur Beschreibung und Quantifizierung der räumlichen und zeitlichen Verteilung wesentlicher Komponenten des Wasserhaushaltes wie Niederschlag, Verdunstung, Versickerung, Wasserspeicherung und Abfluss. Mit ihrer Hilfe können die Wirkungen von Veränderungen der eingehenden Komponenten auf das Gesamtsystem „Wasserhaushalt“ dargestellt und beurteilt werden.

Derzeit liegen für rd. $\frac{2}{3}$ der Landesfläche von Baden-Württemberg Wasserhaushaltsmodelle vor oder sie sind in Bearbeitung. Für die Einzugsgebiete des Neckars (ca. 14.000 km²) und der Donau bis oberhalb der Illermündung (ca. 5.300 km²) sind die Wasserhaushaltsmodelle für Szenarienrechnungen von Niederschlags- und/oder Landnutzungsänderungen einsatzbereit. Sie sind auf der Basis von Tageswerten kalibriert und somit für Prognosen- und Szenarienrechnungen des Abflusskontinuums (mit Ausnahme von Hochwasserereignissen) einsetzbar. Bis Ende des Jahres 2000 werden die Wasserhaushaltsmodelle für die Einzugsgebiete der Tauber (ca. 1.800 km²) und des Kraichbachs (ca. 160 km²) hinzukommen (Abb. 1). Am Einzugsgebiet der Tauber sollen im Jahr 2001 die Wasserhaushaltsmodelle ASGi, das in Bayern genutzt wird, und LARSIM, das in Baden-Württemberg genutzt wird, gegenübergestellt werden.

2. Prozessbeschreibung in Wasserhaushaltsmodellen

Mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM werden

- die Prozesse in der Vegetation und im Boden, wie z.B. Verdunstung, Infiltration, Bodenwasser, Sickerwasser usw. beschrieben
- ferner der laterale Wassertransport in der Fläche (Abflusskonzentration) und
- der Wassertransport im Gerinne, wobei Wasserein- und -überleitungen oder abflussbeeinflussende Bauwerke berücksichtigt werden können (Abb. 2).

Bei der Anwendung von LARSIM in Baden-Württemberg erfolgt die Berechnung der Interzeption, potentieller und aktueller Evapotranspiration, Schneeakkumulation und Schneeablation sowie der Bodenwasserspeicherung separat für die jeweils vorhandenen Landnutzungen innerhalb der Rasterflächen.



Die Abflusskonzentration sowie der Wassertransport in Gerinnen werden hingegen pro Rasterfläche erfasst (bzw. pro Hauptvorfluter in der Rasterfläche). Das Modellschema LARSIM zeigt Abbildung 3.

Folgende **Einflussgrößen** werden mit dem WHM erfasst:

- **Hydrometeorologische Kenngrößen**
 - Niederschlag
 - Lufttemperatur
 - relative Luftfeuchte
 - Windgeschwindigkeit
 - Globalstrahlung oder Sonnenscheindauer
 - und Luftdruck
- **Gebietskenngrößen**
 - nutzbare Feldkapazität (nFK)
 - Landnutzungen (und ihre Anteile pro Rasterfläche)
 - Gerinnegeometrie
 - Geländehöhen
 - Flächengrößen
 - usw.
- **Vegetationsparameter**
 - Blattflächenindex
 - Bestandshöhe
 - Albedo (Reflektivität)
 - Stomatawiderstand
 - usw.
- Der Betrieb von Speichern
oder z.B. Wasserein- und -überleitungen
können in der **Abflussregelung** erfasst werden.

3. Modellaufbau am Beispiel des WHM Neckar

In das WHM Neckar gehen folgende **Systemdaten** ein:

- das digitale **Höhenmodell** (30 m – Raster) (Abb. 4)
- das digitale **Gewässernetz** (Abb. 4)
auf Basis der Topographischen Karte 1 : 50.000 (TK 50)
- die **Landnutzung** (30 m – Raster, 16 Landnutzungsklassen)
Die Landnutzung ist durch Satellitenbilddauswertung einer LandSat-Aufnahme in das Modell aufgenommen. Im Modell werden pro Rasterfläche die Anteile aller vorhandenen Landnutzungen berücksichtigt (Abb. 5).
- die **Nutzbare Feldkapazität**
Die nutzbare Feldkapazität (nFK) ist auf der Grundlage der sogenannten BÜK 200, d.h. der Bodenübersichtskarte 1 : 200.000, in das Modell aufgenommen. Es werden 10 Klassen unterschieden (Abb. 6).

Das **Modellraster** wurde auf 1 km² festgelegt; wie bei allen Wasserhaushaltsmodellen in Baden-Württemberg. Das Einzugsgebiet des Neckars hat somit rd. 14.000 Rasterflächen (Abb. 4).

Das reale Gewässernetz wird im Modell idealisiert nachgebildet (Abb. 7). Rasterflächen, die nicht durch das digitale Gewässernetz erfasst sind, werden mit Hilfe des digitalen Höhenmodells an das Gewässernetz angebunden (braune Linien). Pro Rasterfläche sind 8 Abflussrichtungen möglich (Süd, Südost, Ost, Nordost, Nord usw.).

Für die Berechnung des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet des Neckars werden als sogenannte **Ereignisdaten** (neben den Daten für die Wasserein- und -überleitungen)

- die Tageswerte aus 180 Niederschlagsstationen genutzt.
Bei den gemessenen Niederschlägen erfolgt eine Umrechnung der Punktmessungen an Stationen auf mittlere Verhältnisse in den Rasterflächen. Hierzu wird der systematische Niederschlagsmessfehler um die Benetzungs- und Verdunstungsverluste sowie um den Einfluss der Winddriftung korrigiert.
- je nach Kenngröße Tageswerte aus bis zu 70 Klimastationen genutzt.
Die gemessenen Werte für Lufttemperatur und Luftdruck werden unter Berücksichtigung von höhenabhängigen Gradienten auf mittlere Werte für die Rasterflächen umgerechnet.

Die Tageswerte der gemessenen Abflüsse an 54 Pegel des Einzugsgebietes dienen als Kontrollelement der Simulationsergebnisse.

Das Modell wurde anhand der gemessenen Abflüsse für den Zeitraum 1987 bis 1991 kalibriert und für den Zeitraum 1992 bis 1996 verifiziert.

4. Ergebnisse

Abbildung 8 zeigt das Ergebnis der Verifizierung eines kleineren Einzugsgebietes am Beispiel der gemessenen und berechneten Abfluss-Ganglinie des Pegels Oppenweiler an der Murr; das Einzugsgebiet beträgt 181 km². Das Bestimmtheitsmaß r^2 beträgt 0.75 und die Modelleffizienz für logarithmierte $\ln E$ 0.83, was eine gute Übereinstimmung des berechneten Abflusses mit dem gemessenen zeigt.

Als Beispiel für ein größeres Einzugsgebiet zeigt Abbildung 9 die gemessene und berechnete Ganglinie des Pegels Wendlingen-Kläranlage am Neckar; das Einzugsgebiet beträgt 3.269 km². Das Bestimmtheitsmaß r^2 beträgt 0.88 und die Modelleffizienz für logarithmierte Abflusswerte $\ln E$ 0.88

Das Modell berechnet nicht nur den Gesamtabfluss, sondern auch getrennt den Basisabfluss und den Interflowabfluss (Abb. 10).

Als weitere Outputgrößen liefert das Modell z.B. den berechneten Jahresmittelwert der Verdunstung im Einzugsgebiet des Neckars für den Zeitraum 1987 bis 1996, als Flächendarstellung (Abb. 11). Abbildung 11 zeigt weiterhin die anhand des berechneten Basisabflusses ermittelte mittlere Sickerwasserhöhe, die man der Grundwasserneubildung gleichsetzen kann.



5. Einsatzbereiche der Wasserhaushaltsmodelle in Baden-Württemberg

Die Wasserhaushaltsmodelle in Baden-Württemberg können eingesetzt werden

- für die **Ermittlung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen** auf Niedrig- und Mittelwasser sowie z.B. auf die GW-Neubildung
- für die **operationelle Abflussvorhersage** für Niedrig- und Mittelwasser
Weiterhin sollen die Wasserhaushaltsmodelle auch mit kürzeren Berechnungszeitschritten (voraussichtlich Stundenwerte) eingesetzt werden, um Hochwassersituationen besser zu erfassen und die Modelle gegebenenfalls auch im Bereich der Hochwasservorhersage anzuwenden.
- für **Flussgebietsuntersuchungen**
z.B. im Sinne der künftigen EU – Wasserrahmenrichtlinie
- für die **Gewässerentwicklungsplanung**
z.B. Auswirkungen von Landnutzungsänderungen
- für ereignisbezogene **Flussgebietsmodellierung**
z.B. bei der Planung von HW – Schutzmaßnahmen.

Ein weiterer Einsatzbereich der Wasserhaushaltsmodelle in Baden-Württemberg kann die Bereitstellung von Eingangsdaten sein für:

- **Gewässergüte-Modelle**
Hier können Abflüsse und Abflusskomponenten z.B. für den Stoffhaushalt bereitgestellt werden.
- **Grundwasser-Modelle**
Hier kann die GW-Neubildung flächendeckend und zeitlich hochaufgelöst bereitgestellt werden.
- **Wasserspiegellagen-Modelle**
Hier können die Abflüsse z.B. für Gewässer ohne Pegel bereitgestellt werden.

6. Ausblick

- Die Wasserhaushaltsmodelle werden **flächendeckend** für ganz Baden-Württemberg erstellt.
- Wasserhaushaltsmodelle können mit **Gütemodellen** gekoppelt werden und als Planungs- und Vorhersageinstrument zur Optimierung der Gewässergüte dienen.
- Bei Koppelung der Wasserhaushaltsmodelle mit hydraulischen Modellen können sie zur **operationellen Vorhersage von Stofflaufzeiten** eingesetzt werden.
- Wasserhaushaltsmodelle können zur **Optimierung und Abstimmung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen**, bei Einarbeitung der abflussbeeinflussender Bauwerke, genutzt werden.
- Durch die hohe räumliche Auflösung und verbesserte Erfassung der Vorfeuchte können die Wasserhaushaltsmodelle zur **Verbesserung der Hochwasser-Vorhersage** verwendet werden.

7. Literatur

- Bremicker M., 1998: Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser- und das Ostsee-Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells. Dissertation, Institut für Hydrologie, Universität Freiburg.
- Bremicker M., 2000: Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM - Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg.
- Bremicker M., Gerlinger K., 2001: Operational application of the water balance model LARSIM in the Neckar basin. In: Runoff Generation and Implications for River Basin Modelling - Proceedings of the International Workshop 9.-13. October 2000. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 13. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg.
- Bremicker M., Ludwig K., Richter K.-G., 1997: Effiziente Erstellung mesoskaliger Wasserhaushaltsmodelle. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Heft 5, S. 209 - 212.
- Ebel, M., Ludwig, K., Richter, K.G. 2000: Mesoskalige Modellierung des Wasserhaushaltes im Rheineinzugsgebiet mit LARSIM. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 6 (44), S. 308 - 312
- Richter K.-G., Jacob D., Ebel M., Lenz C.-J. 2001: Regionales Klimamodell zur Vorhersage meteorologischer und hydrologischer Extremereignisse am Beispiel des Rheineinzugsgebietes. - In: Modellierung in meso- bis makroskaligen Flusseinzugsgebieten, 4. Workshop am 16./17. November 2000 in Lauenburg, Hrsg.: J. Sutmoeller & E. Raschke. GKSS 2001/15, GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

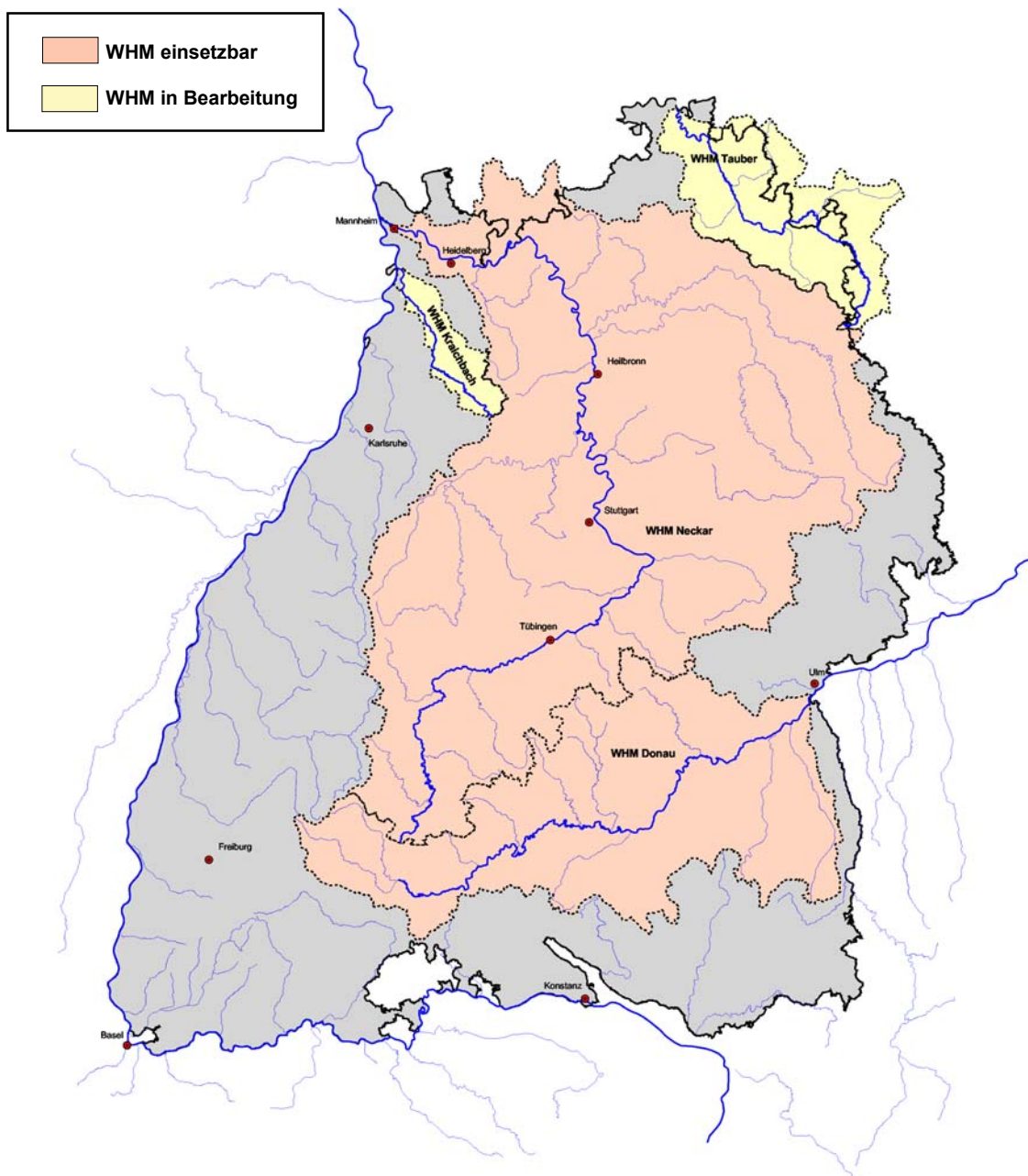


Abb.1: Wasserhaushaltsmodelle Baden-Württemberg (Stand 1.11.2000)

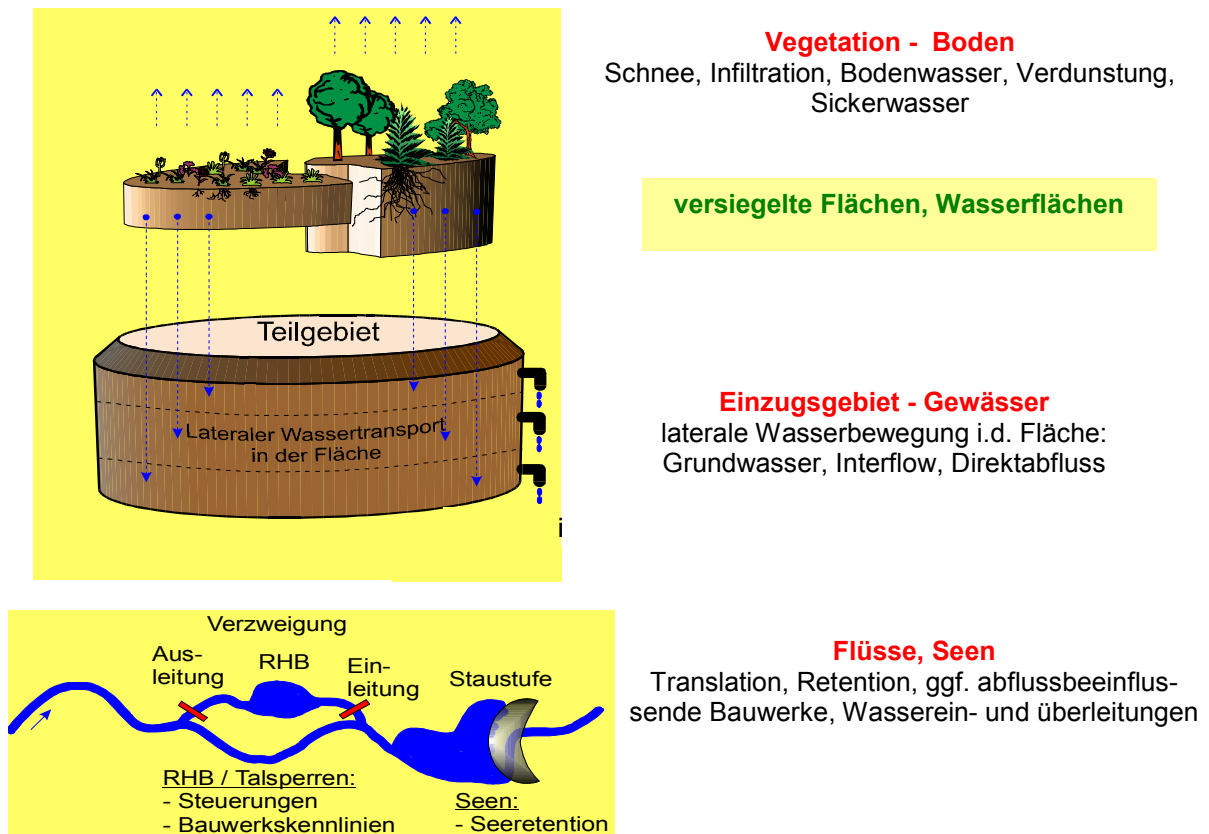


Abb.2: Prozessbeschreibung in Wasserhaushaltsmodellen

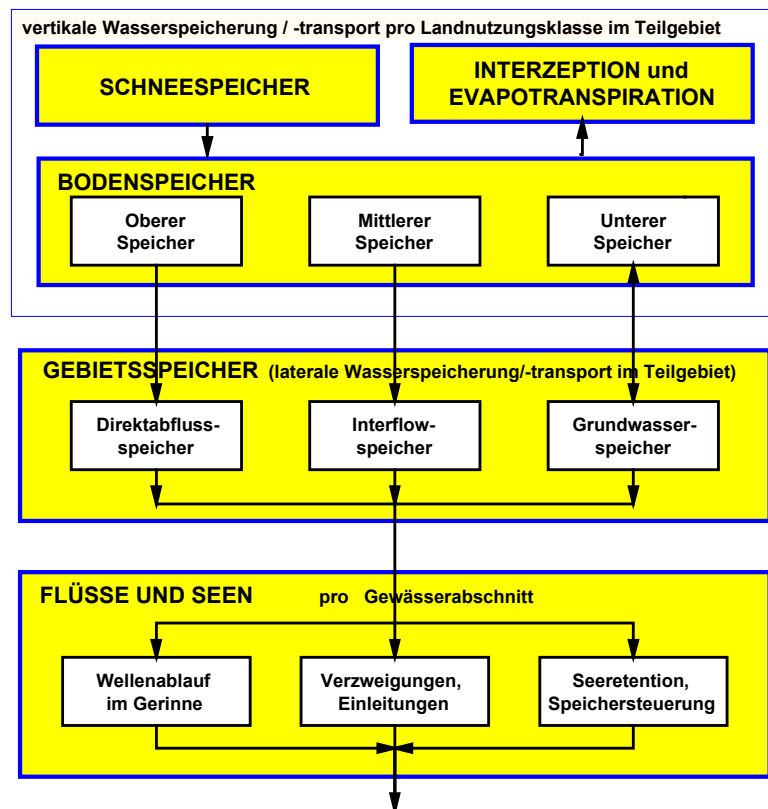


Abb.3: Modellschema LARSIM

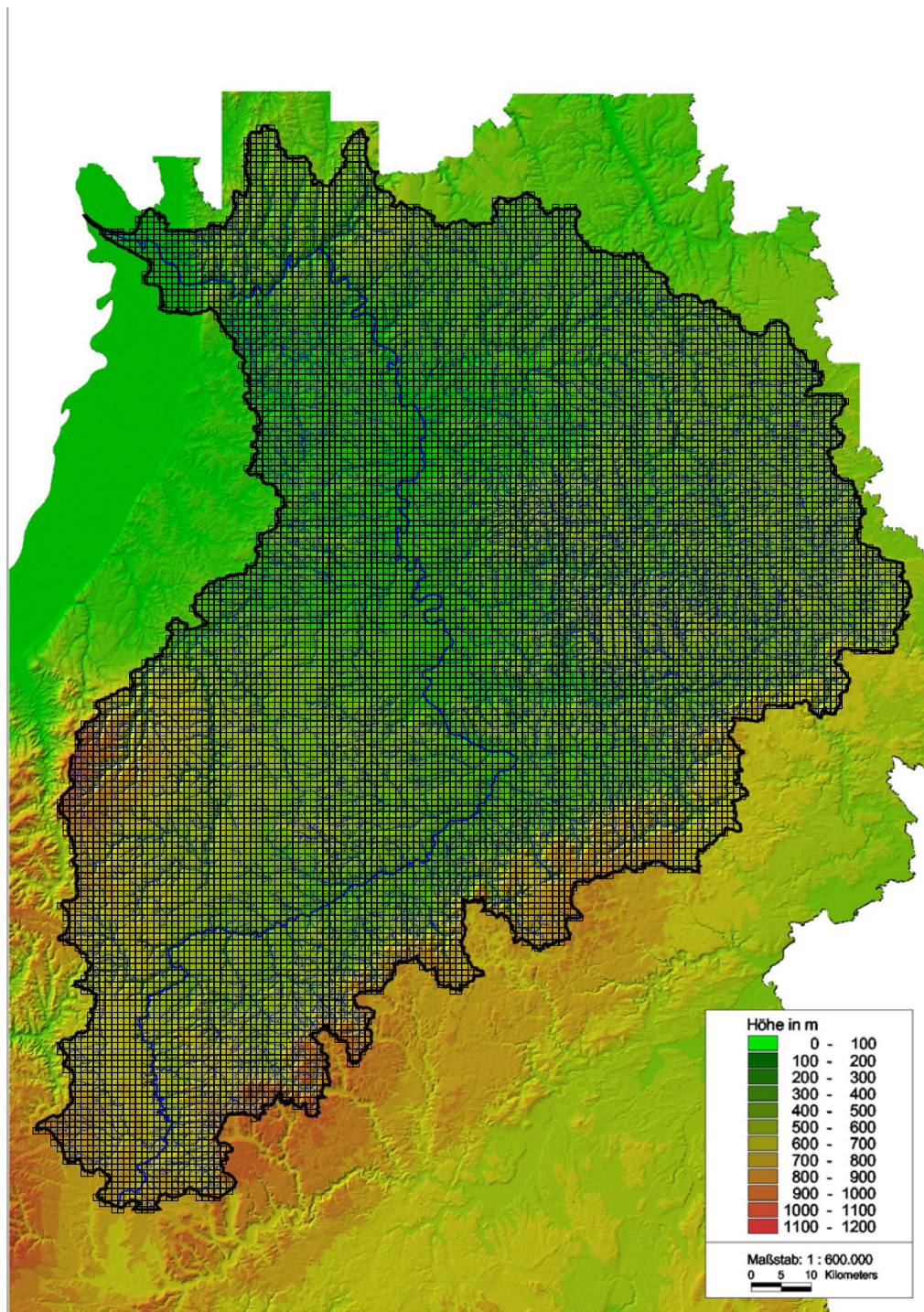


Abb.4: Systemdaten für den Aufbau des WHM Neckar: dig. Höhenmodell, dig. Flussnetz
Modellraster (1 km²)

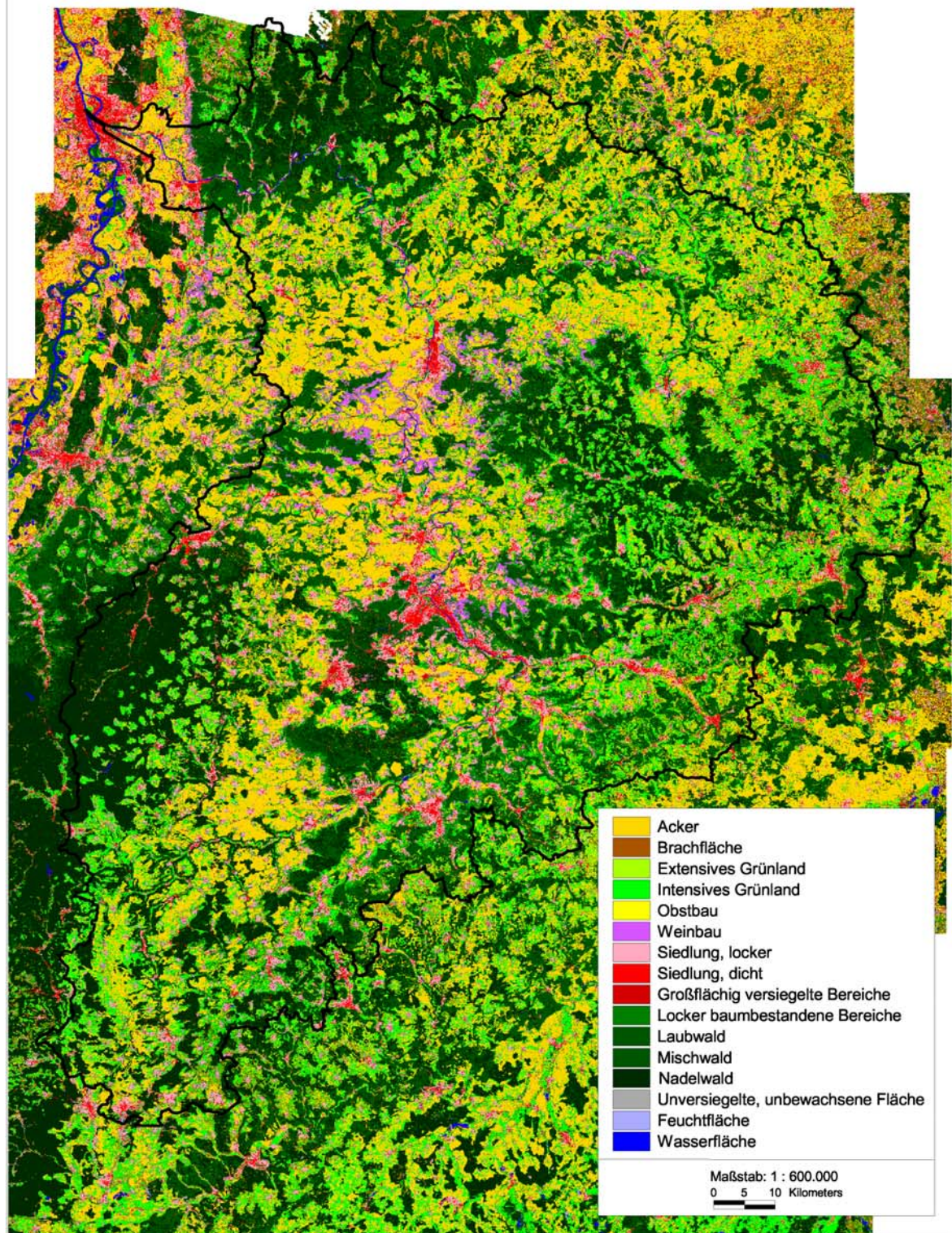


Abb.5: Systemdaten für den Aufbau des WHM Neckar: Landnutzung (16 Klassen)

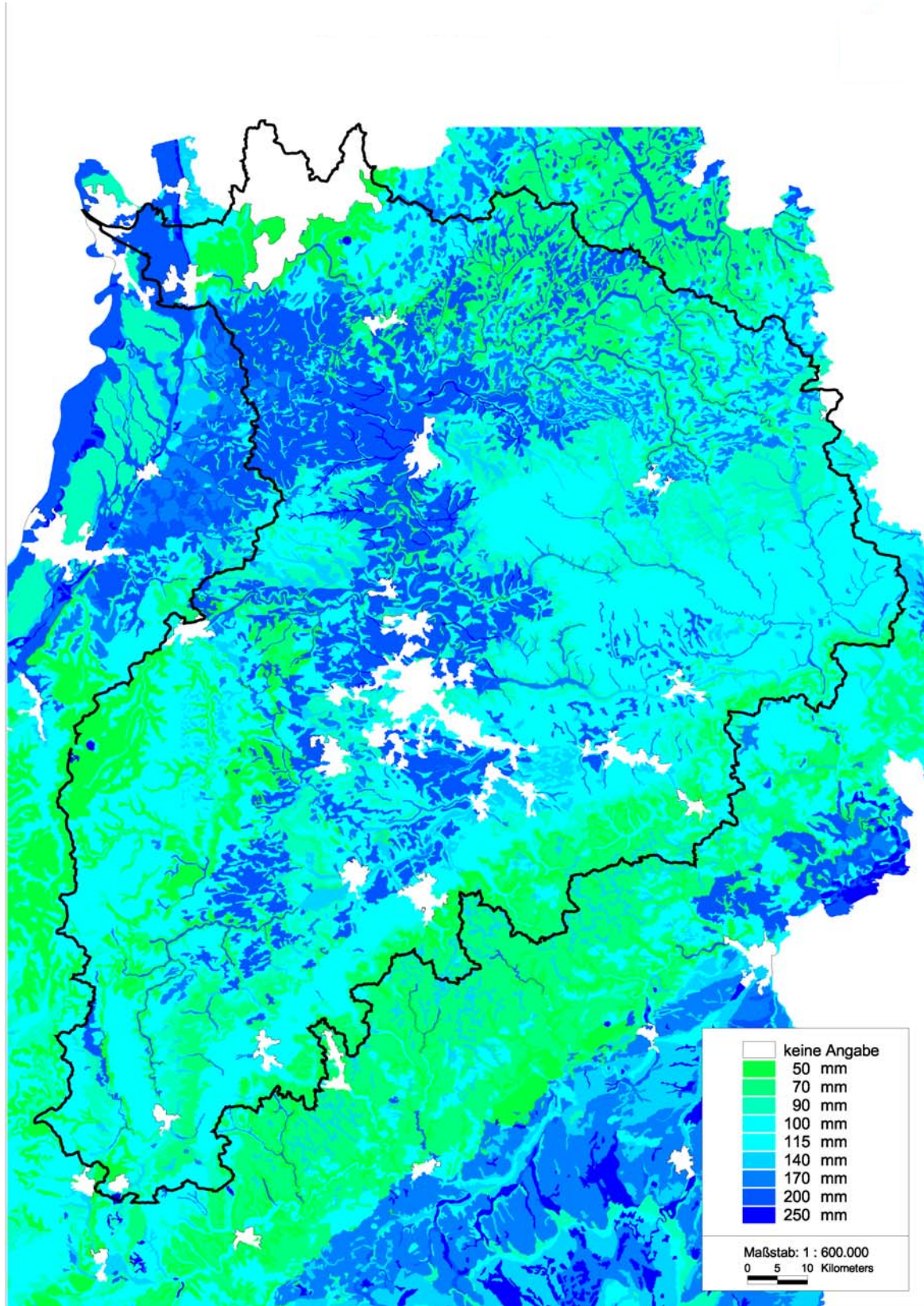


Abb.6: Systemdaten für den Aufbau des WHM Neckar:
Mittl. Nutzbare Feldkapazität

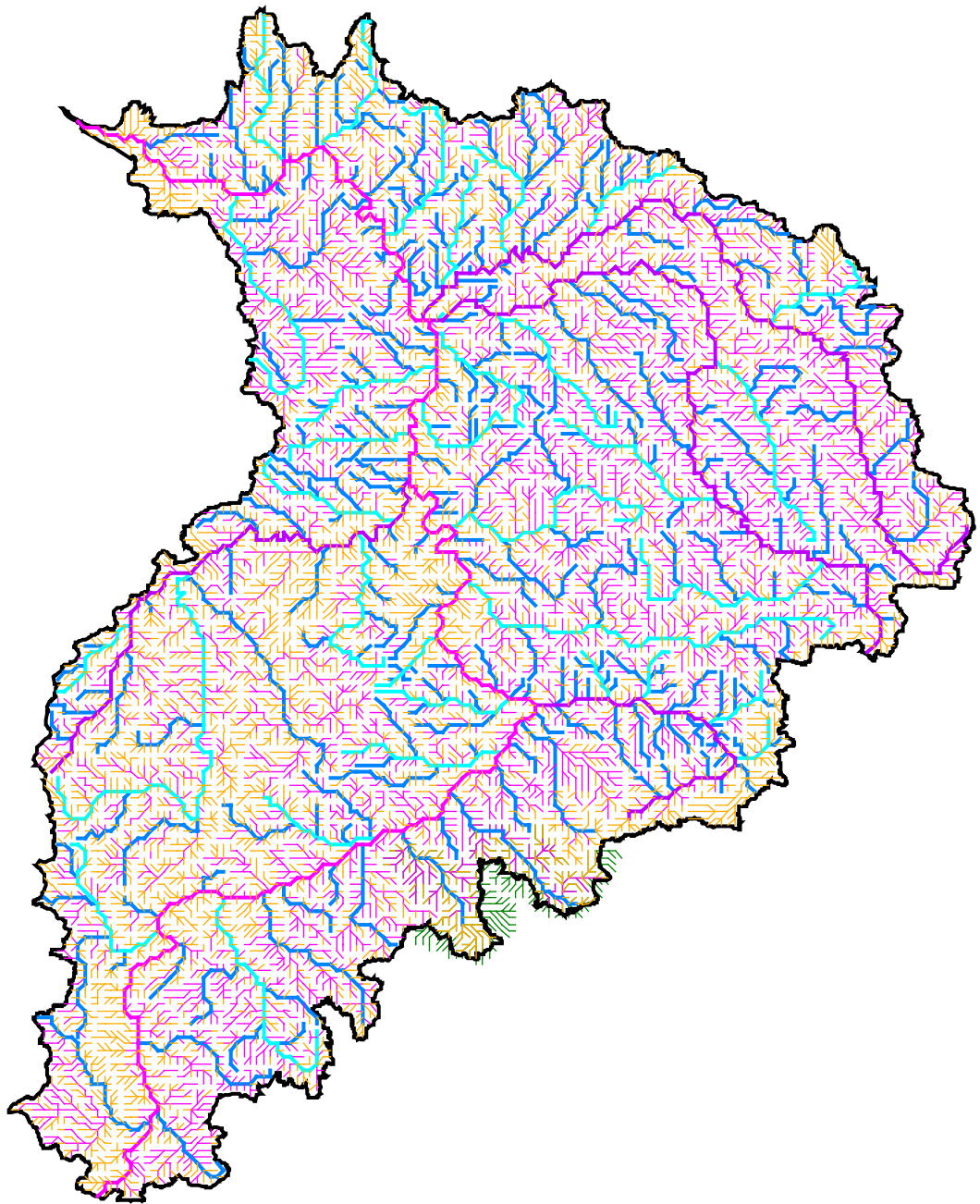


Abb.7: Vernetzung der Rasterflächen

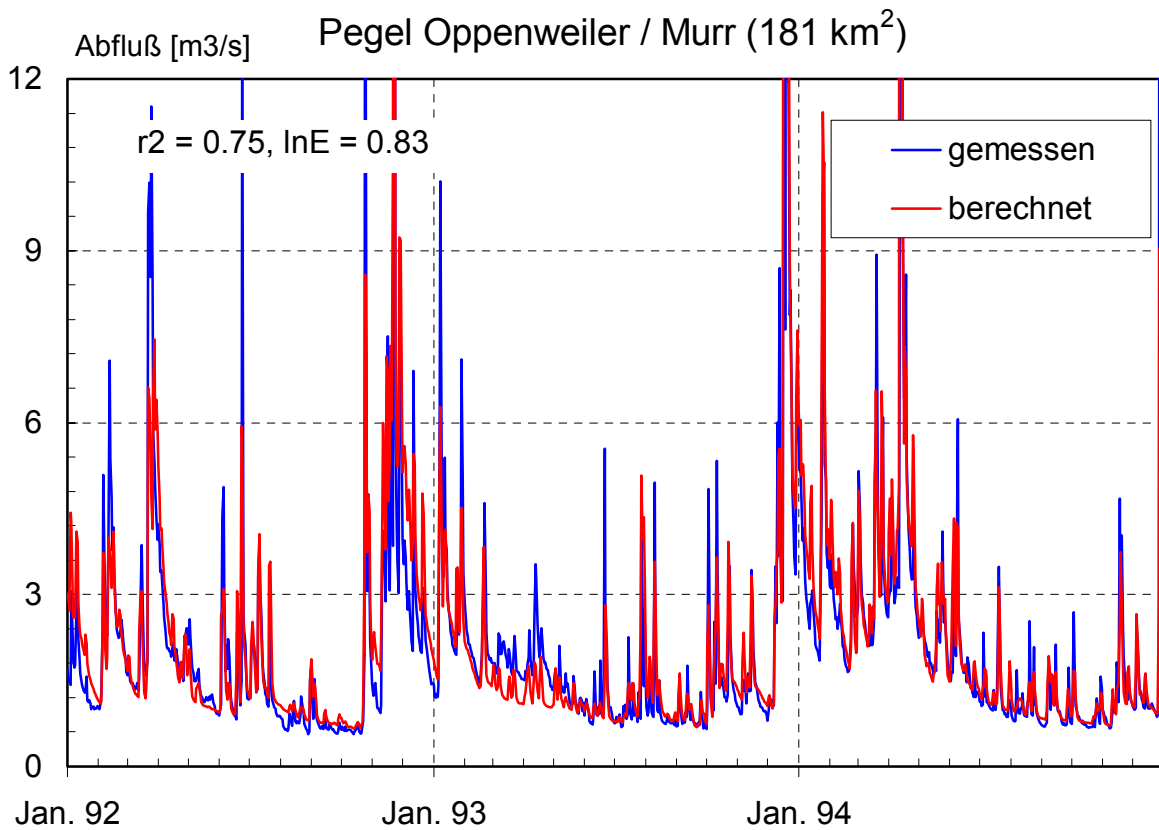


Abb.8: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Abflüsse für ein kleines Einzugsgebiet

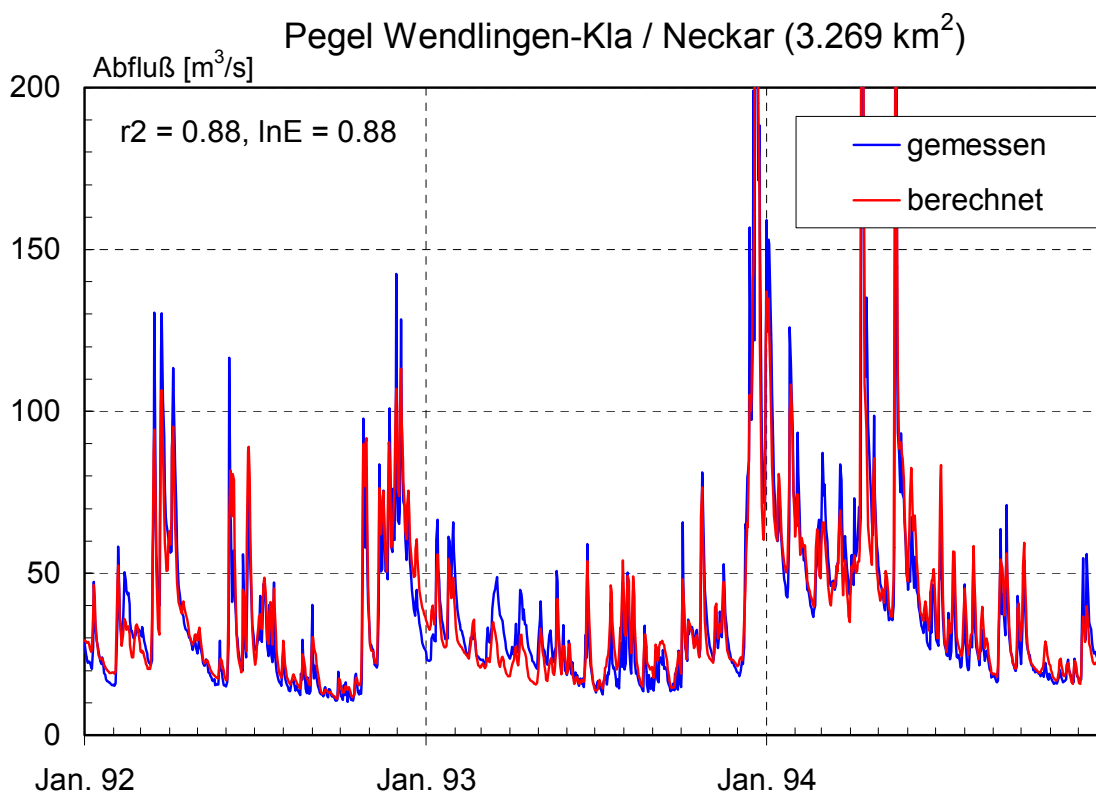


Abb.9: Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Abflüsse für ein großes Einzugsgebiet

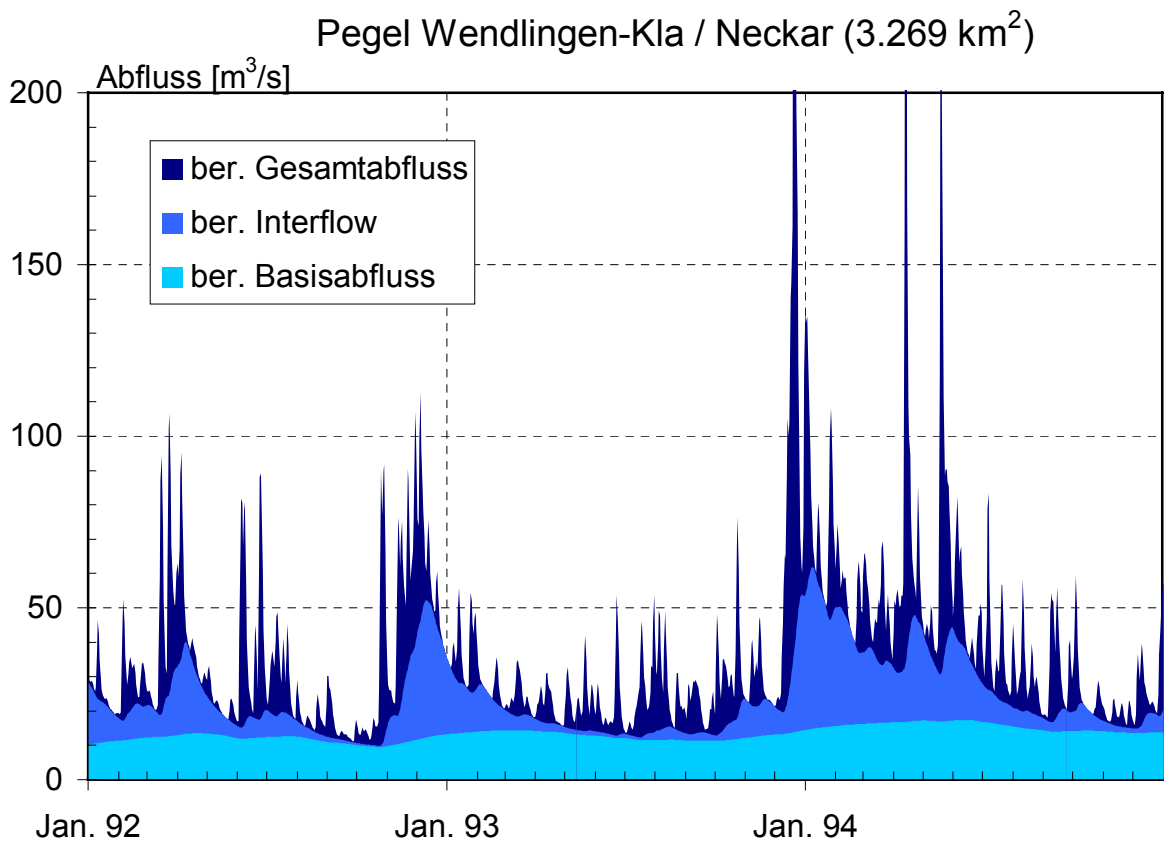
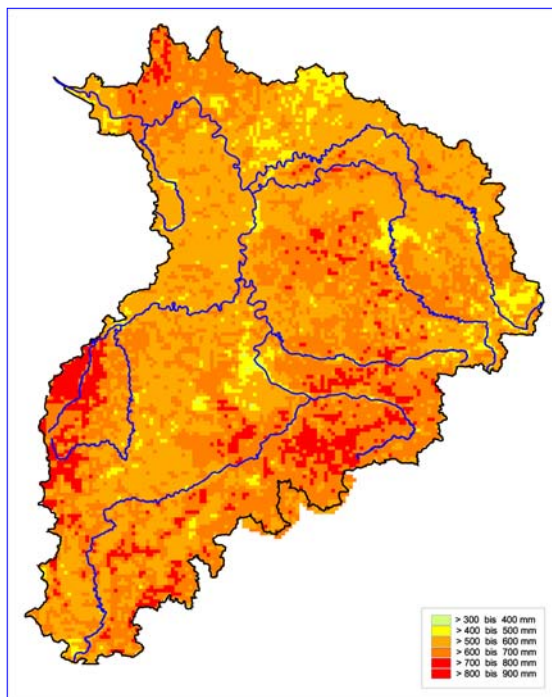
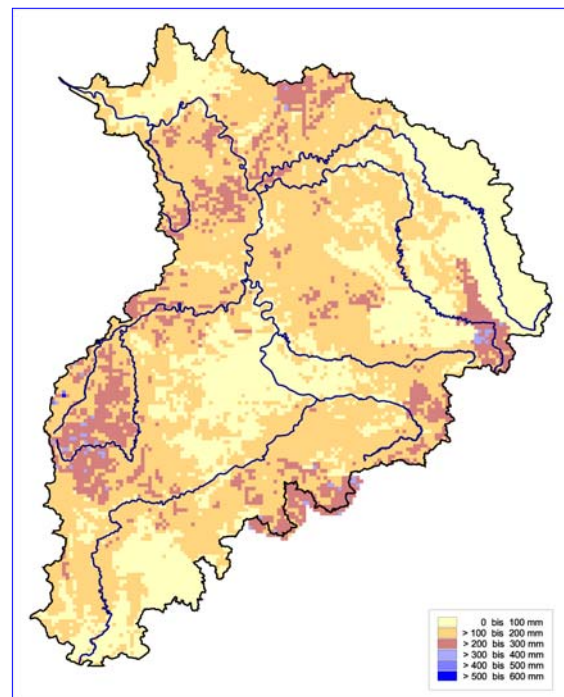


Abb.10: Berechneter Gesamtabfluss und Abflussanteile am Pegel Wendlingen-Kläranlage/Neckar



Verdunstung



Sickerwasser QB

Abb.11: Berechnete Jahresmittelwerte für 1987 - 1996