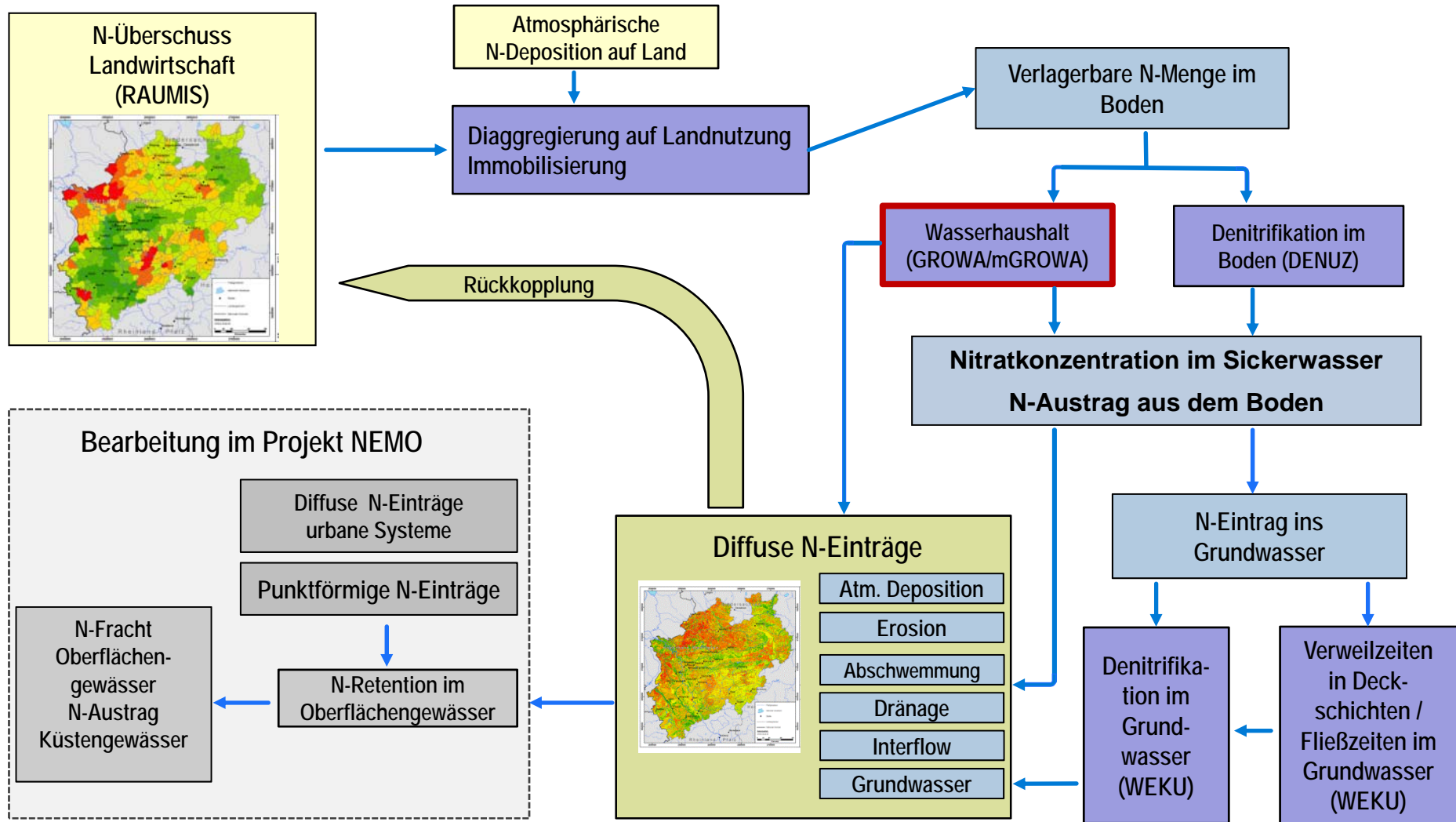


Flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts mit den Modellen **GROWA** und **mGROWA**

9. September 2016 | Dr. Frank Herrmann, Prof. Dr. Frank Wendland



Modellkette RAUMIS – mGROWA – DENUZ – WEKU im Projekt GROWA+NRW2021



Zeitachse

2003

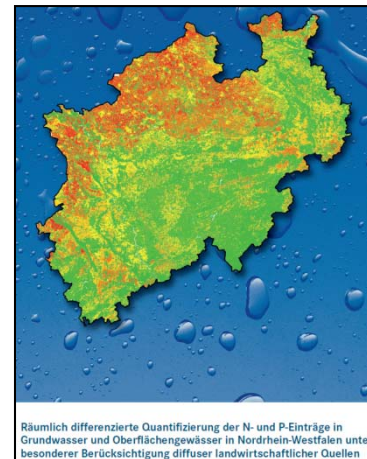
2010

2014

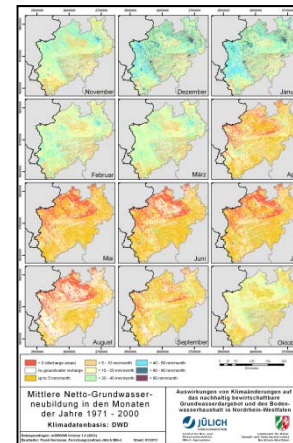
2021



- Erste GROWA Modell-anwendung in NRW
- U.a. Ermittlung lang-jährige mittlere Grundwasserneubildung
- Datenbasis in der wasserwirtschaftlichen Planung, z.B. für die Vergabe von Wasser-rechten auf Landes-ebene



- Aktualisierung der GROWA-Modellierung
- Ermittlung der langjährigen mittleren N- und P- Einträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer in NRW
- Aufbau der Modellkette RAUMIS-GROWA-DENUZ-WEKU-MePhOs in NRW

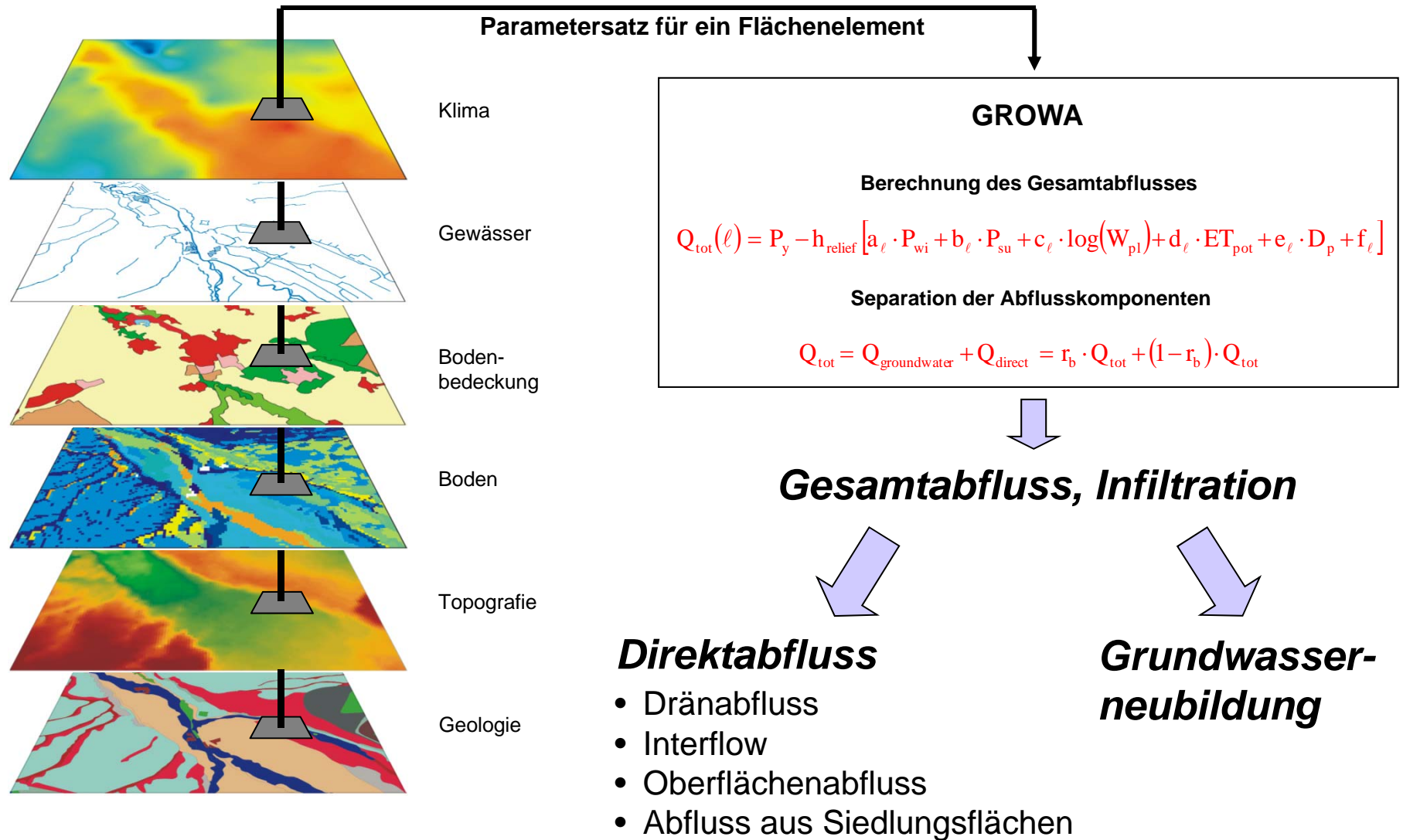


- Erste mGROWA Modellanwendung in NRW
- Aktualisierung der Datengrundlagen
- höhere Zeitauflösung
- Berechnung des Jahresgangs des Abflusses inkl. Grundwasserneubildung
- Klima-Impakt-Studien



- Aufbau der Modellkette RAUMIS-mGROWA-DENUZ-WEKU
- Methodische Erweiterung / Verbesserung mGROWA
- Aktualisierung der Datengrundlagen
- Quasi-operationeller Betrieb mit aktuellen DWD-Daten

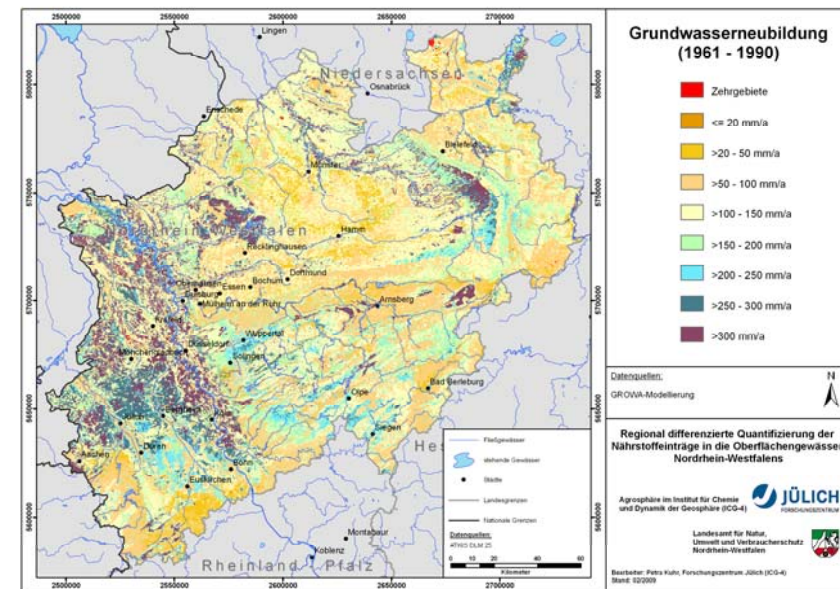
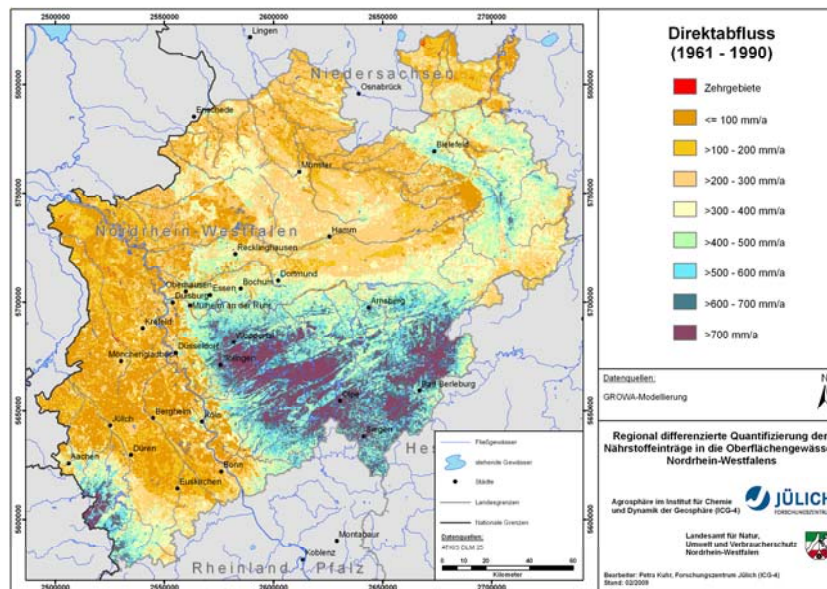
Flächendifferenzierte Modellierung von Wasserhaushalt und Abflusskomponenten mit GROWA



GROWA - Ergebnisse zum Wasserhaushalt für die mittlere langjährige hydrologische Situation

Zielstellung GROWA-Modellierungen :

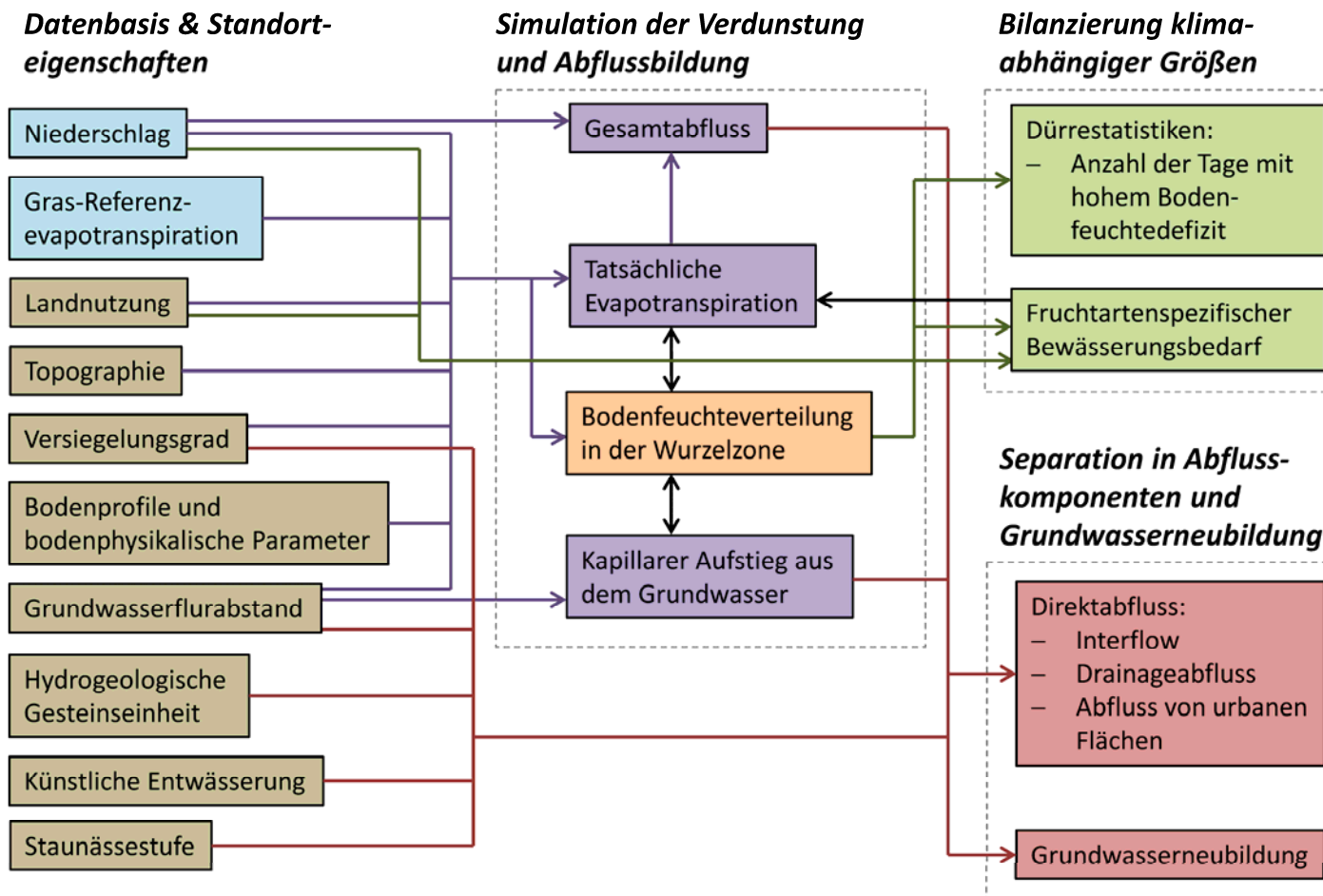
- Wasserhaushaltsmodellierung für meso- und makroskalige Flussgebiete / Bundesländer
- Betrachtung langjähriger Mittel (Zeitauflösung 1 Jahr)
- Grundlage für eine nach Eintragspfaden (Abflusskomponenten) differenzierende Ermittlung der Nährstoffeinträge ins Grundwasser und in die Vorfluter



- Hohe räumliche Variabilität der hydrologischen Verhältnisse bzw. Relevanz der einzelnen Abflusskomponenten für den Nährstoffaustrag

mGROWA – Modellkonzept

- Rasterbasiertes flächendifferenziertes Wasserhaushaltsmodell.
- Entwickelt am FZ Jülich für **räumlich und zeitlich hochaufgelöste Simulationen** (100 m Raster, Tagesschritte) über lange Perioden (> 30 Jahre) in großen Flussgebieten oder ganzen Ländern.

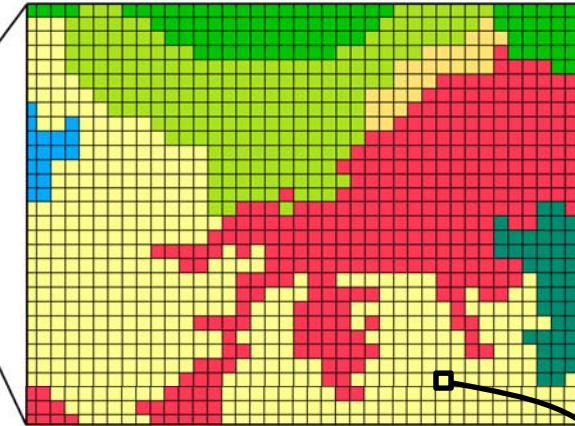
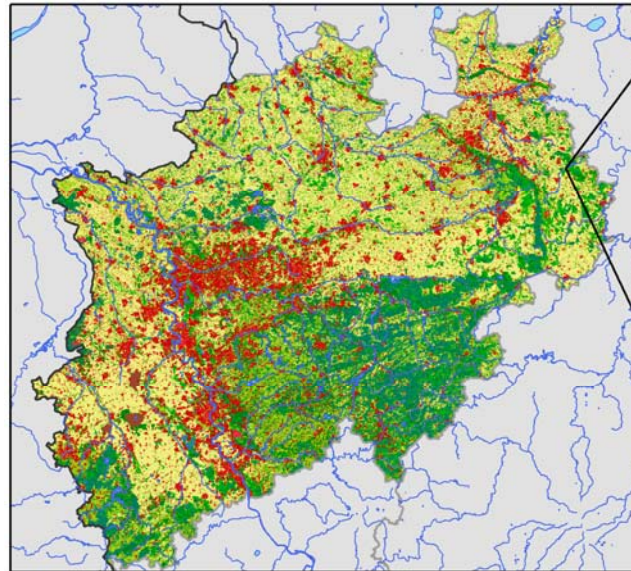


mGROWA – Modellkonzept

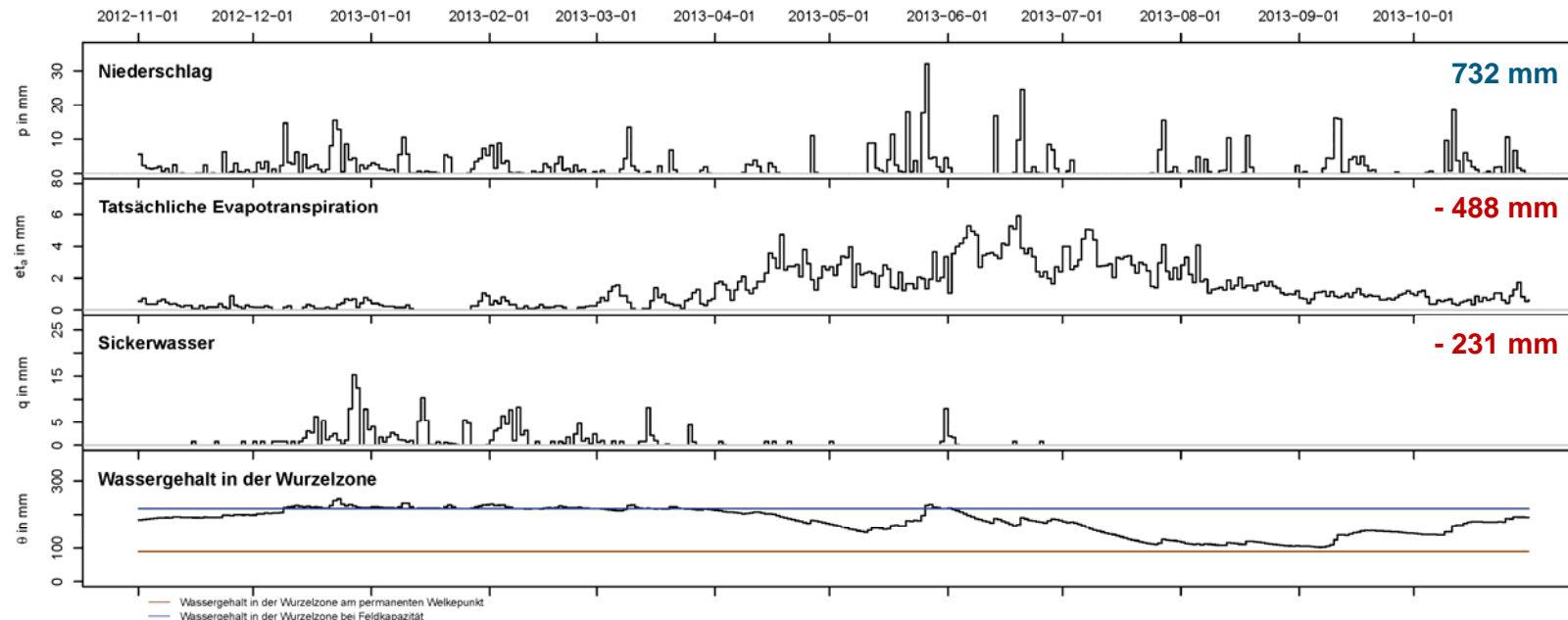
Größe des Modellgebietes:

3,4 Millionen Einzelzellen,
je 100 * 100 m groß (1 ha)

**Ermittlung von
Wasserhaushaltsgrößen
In Tagesschritten**



- nicht durchgängig städtische Prägung
- nicht bewässertes Ackerland
- Wiesen und Weiden
- Laubwälder
- Nadelwälder
- Gewässer





Bilanzierung der Wassermengen für jede Zelle auf Basis der Wasserhaushaltsgleichung:

$$p + q_{in} = et_a + q_t + (s_2 - s_1)$$

Berechnung der tatsächlichen Verdunstung auf Basis der Penman-Monteith-Gleichung, **standortspezifischer Parameter und standortspezifischer Funktionen:**

$$et_a = et_0 \cdot k_{LN} \cdot f(\beta, \gamma) \cdot f(s)$$

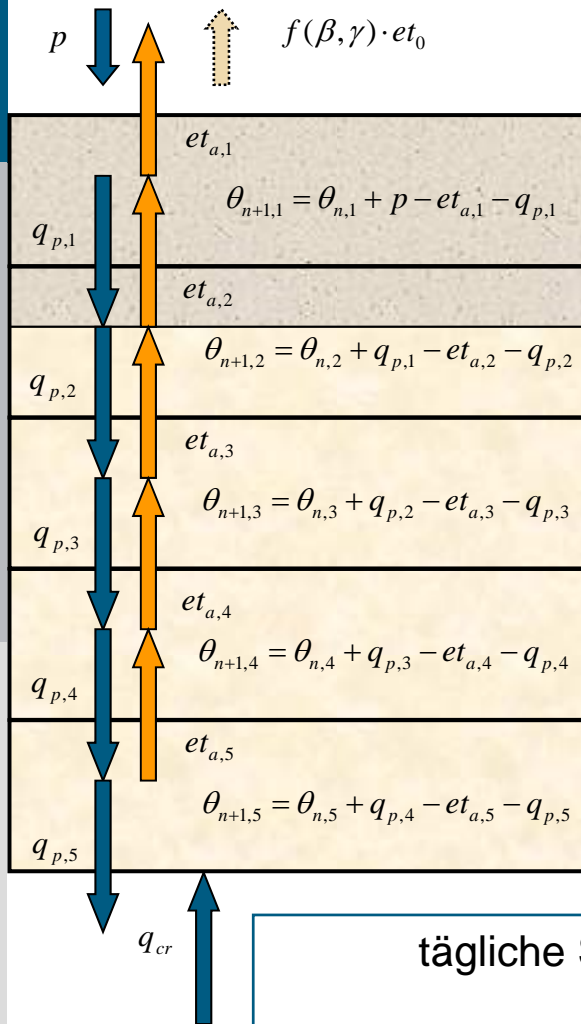
BOWAB
auf Standorten
mit Vegetation

versiegelt
Standorte

...
*beliebig
erweiterbar*

Die Funktion $f(s)$ ist für verschiedene Standorttypen unterschiedlich definiert.

Simulation des Bodenwasserhaushalts mit dem BOWAB-Modul



$$et_{a,1} = (p - (p - et_{\max}) \cdot S_1(\theta)) \cdot A_1$$

$$q_{p,1} = \begin{cases} 0 & \text{für } \theta_1 \leq FK_1 \\ \theta_1 - FK_1 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$et_{a,2} = et_{\max} \cdot S_2(\theta) \cdot A_2$$

$$q_{p,2} = \begin{cases} 0 & \text{für } \theta_2 \leq FK_2 \\ \theta_2 - FK_2 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$et_{a,3} = et_{\max} \cdot S_3(\theta) \cdot A_3$$

$$q_{p,3} = \begin{cases} 0 & \text{für } \theta_3 \leq FK_3 \\ \theta_3 - FK_3 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$et_{a,4} = et_{\max} \cdot S_4(\theta) \cdot A_4$$

$$q_{p,4} = \begin{cases} 0 & \text{für } \theta_4 \leq FK_4 \\ \theta_4 - FK_4 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$et_{a,5} = et_{\max} \cdot S_5(\theta) \cdot A_5$$

$$q_{p,5} = \begin{cases} 0 & \text{für } \theta_5 \leq FK_5 \\ \theta_5 - FK_5 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$\theta_{n+1,1} = \theta_{n,1} + p - et_{a,1} - q_{p,1}$$

$$\theta_{n+1,2} = \theta_{n,2} + q_{p,1} - et_{a,2} - q_{p,2}$$

$$\theta_{n+1,3} = \theta_{n,3} + q_{p,2} - et_{a,3} - q_{p,3}$$

$$\theta_{n+1,4} = \theta_{n,4} + q_{p,3} - et_{a,4} - q_{p,4}$$

$$\theta_{n+1,5} = \theta_{n,5} + q_{p,4} - et_{a,5} - q_{p,5}$$

tägliche Sickerwasserrate
=
Gesamtabfluss von dieser Zelle

- Automatisierte Gliederung aller Rasterzellen mit Vegetation in beliebig viele Schichten (derzeit 5 Schichten je 3 dm mächtig).
 - Automatisierte Parametrisierung der Modellschichten auf Basis kartierter Bodenprofile (Berechnung nFK, FK, LD, ...)
1. Bestimmung von p und et_0
 2. Bestimmung der kapillaren Aufstiegsrate in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt
 3. Berechnung der tatsächlichen Verdunstung in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und Ausschöpfungstiefe.
 4. Berechnung der Sickerwasserraten zwischen den Schichten und aus der Wurzelzone (einfaches Überlaufmodell)
 5. Neuberechnung des Wassergehaltes pro Schicht

Zeitlicher Verlauf des Bodenfeuchtedefizits in Nordrhein-Westfalen vom 01.11.2002 bis 31.10.2003

Das **Bodenfeuchtedefizit** ist die Wassermenge die benötigt wird, um den Wassergehalt in der Wurzelzone auf Feldkapazität zu bringen.

$$d_{sm} = 100 - \left(\frac{\theta - \theta_{pwp}}{\theta_{fk} - \theta_{pwp}} \cdot 100 \right)$$

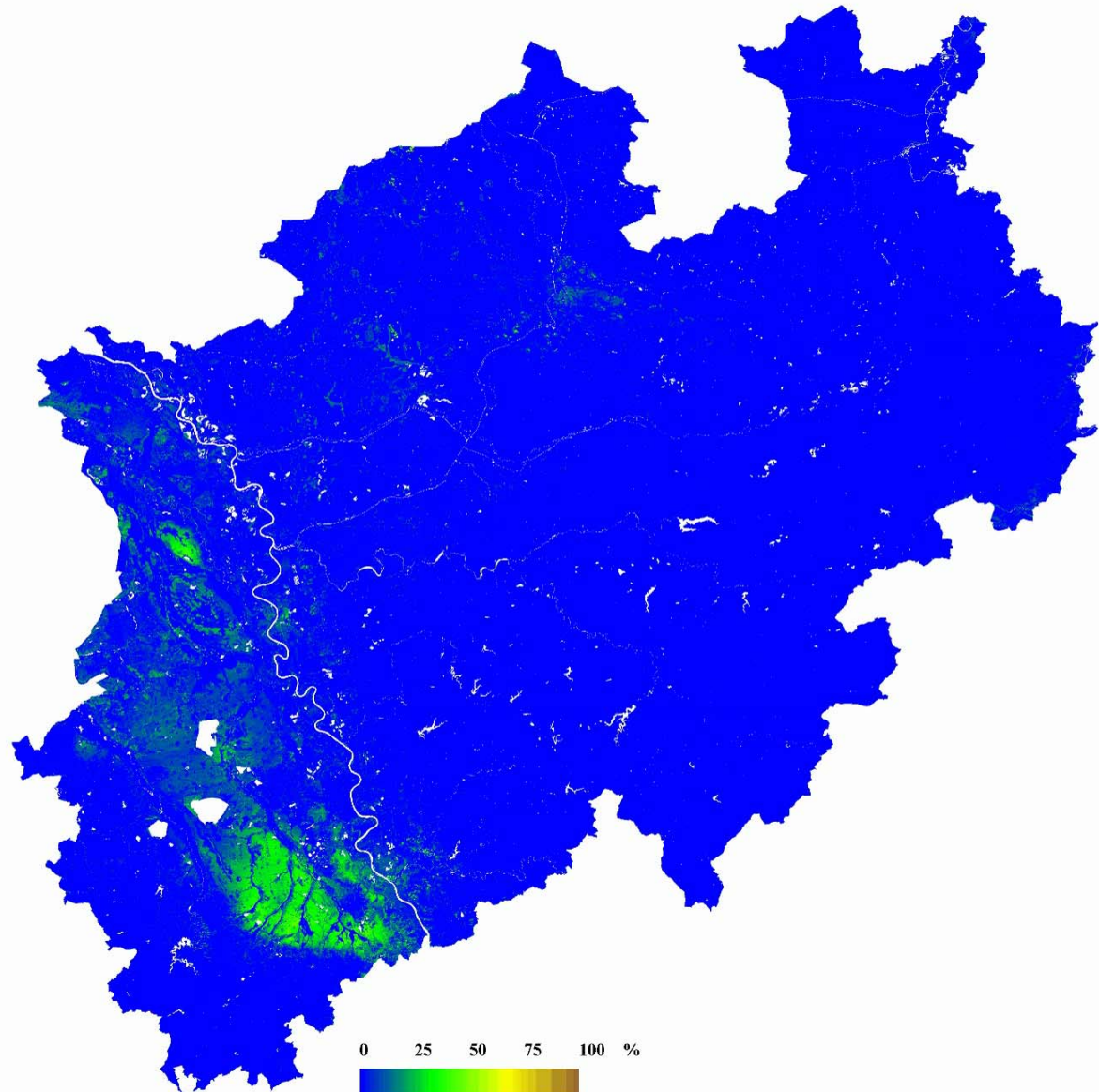
Bedeutung:

Bei hohem Defizit sinkt die Wasser und Nährstoffaufnahme der Vegetation, es besteht ab 60 % Defizit **Beregnungsbedarf!** (entspricht 40 % nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum)

Eine signifikante **Sickerwasserbewegung Richtung Grundwasser** findet nur bei geringem oder keinem Defizit statt!

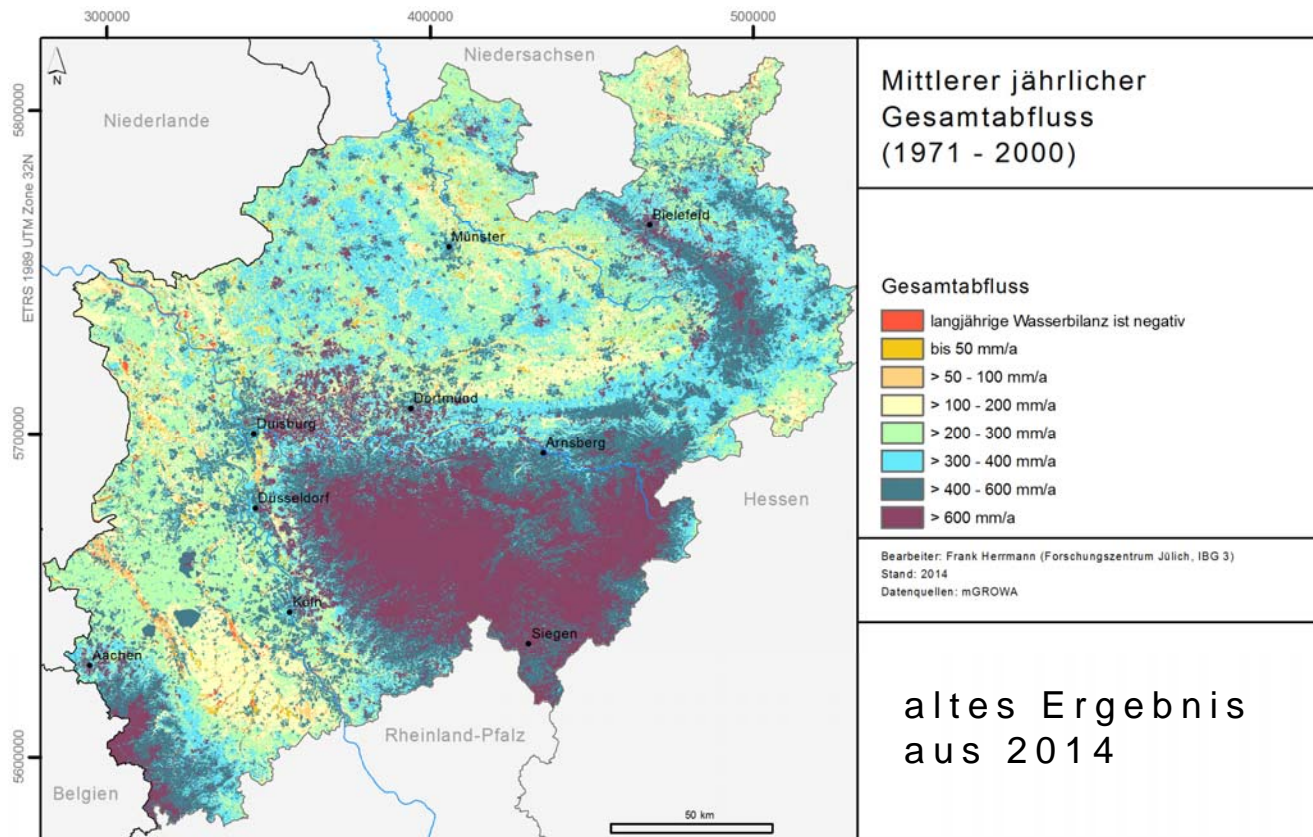
Soil water deficit in the root zone

01.11.2002

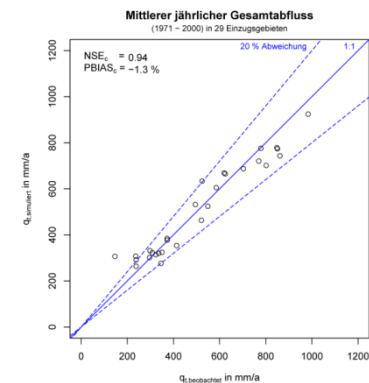


In Tagesschritten simulierter Gesamtabfluss wird zeitlich aggregiert und weiterverarbeitet

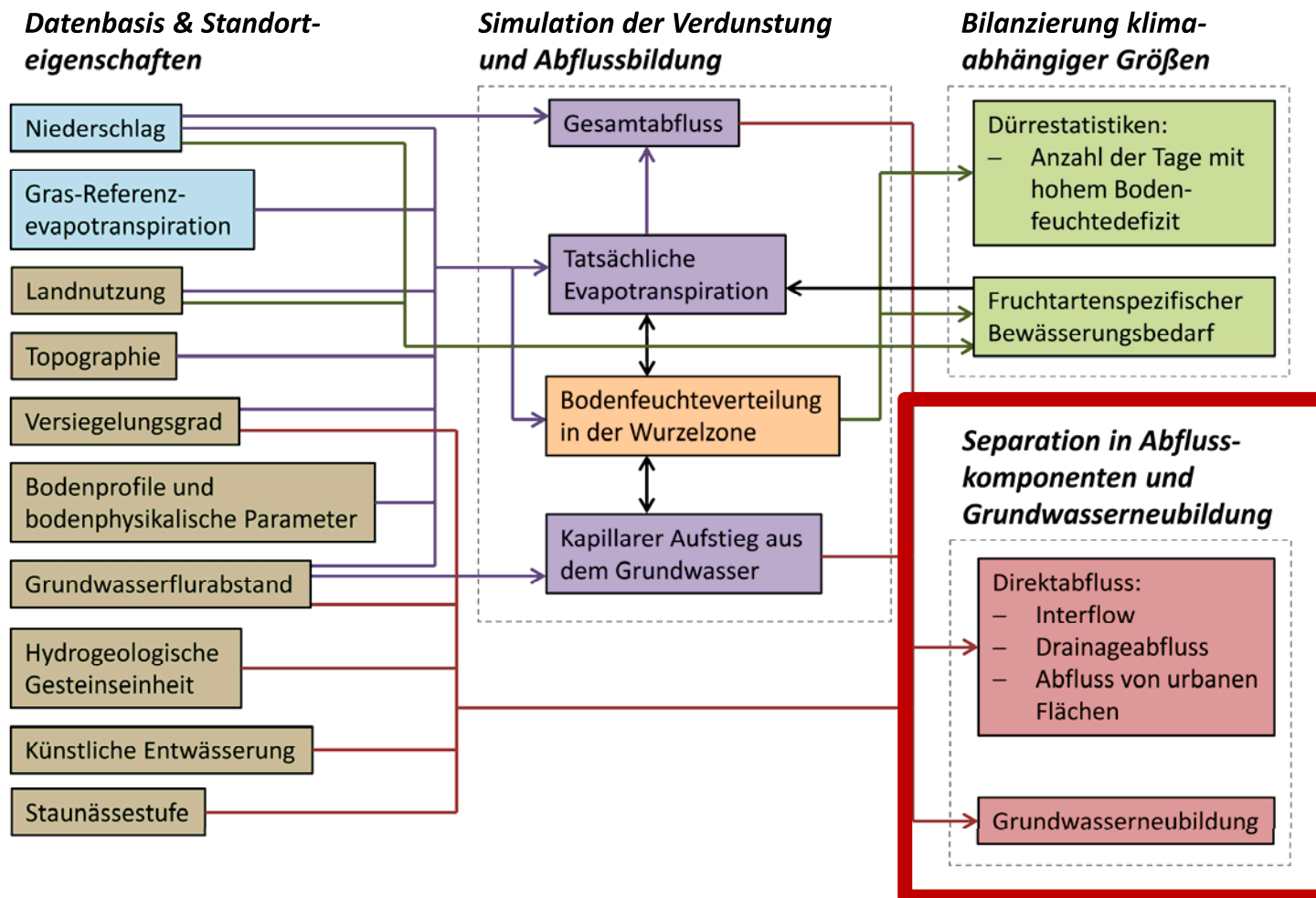
Zum Beispiel zu langjährigen Mittelwerten:



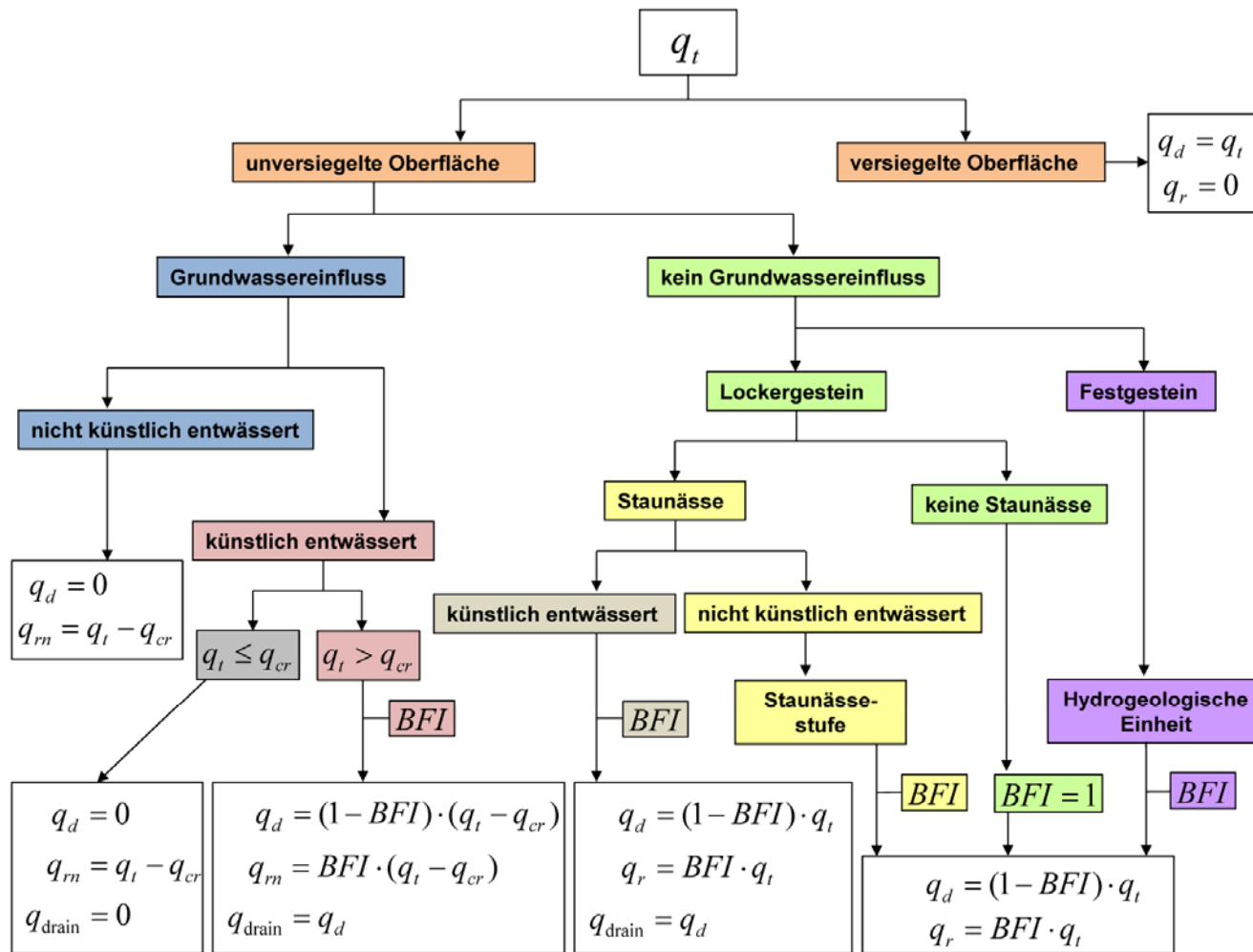
Validierung an beobachteten Abflüssen



Separation des Gesamtabflusses in Grundwasserneubildung und Direktabflusskomponenten



Standortspezifische Separation des Gesamtabflusses in Grundwasserneubildung und Direktabflusskomponenten



q_t	Gesamtabfluss	q_{rn}	Netto-Grundwasserneubildung	BFI	Base-Flow-Index
q_d	Direktabfluss	q_{drain}	Drainageabfluss		
q_r	Grundwasserneubildung	q_{cr}	kapillarer Aufstieg		

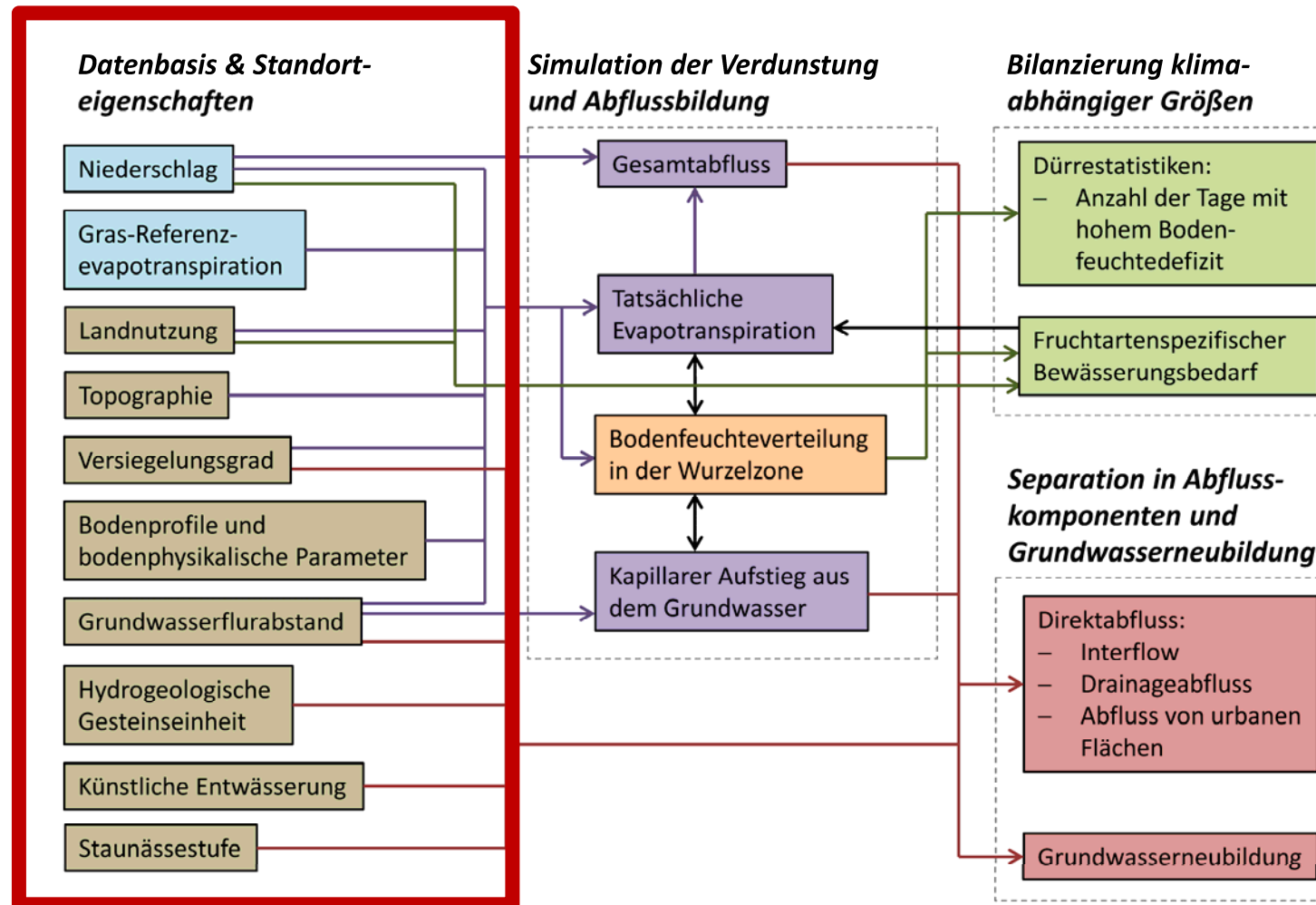
Verfügbare Publikationen

- **Internetpublikation** des LANUV, FB 37 „Klimaanpassung online“
<https://www.lanuv.nrw.de/klima/anpassung/klimaanpassung/wasserwirtschaft-und-hochwasserschutz/parameter/#c7314>
- **Bericht:** Herrmann, F., Chen, S., Kunkel, R., Wendland, F., 2014. Auswirkungen von Klimaänderungen auf das nachhaltig bewirtschaftbare Grundwasserdargebot und den Bodenwasserhaushalt in Nordrhein-Westfalen.
https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klimaanpassung/dokumente/bericht_grundwasser_klimawandel.pdf
- **Artikel:** Herrmann, F., Keller, L., Kunkel, R., Vereecken, H., & Wendland, F. (2015): Determination of spatially differentiated water balance components including groundwater recharge on the Federal State level – A case study using the mGROWA model in North Rhine-Westphalia (Germany).- Journal of Hydrology: Regional Studies 294-312.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581815000804>

Arbeitsschwerpunkte Wasserhaushaltsmodellierung im Projekt **GROWA+ NRW 2021**

- Anpassung an methodische Weiterwicklung des Modells mGROWA seit 2011
- Verwendung aktueller Datengrundlagen, z.B. Klima, Boden, etc. unter Berücksichtigung eines verfeinerten Modells der Grundwasseroberfläche aus TP 3
- Ableitung / Validierung einer Karte der potenziell gedrännten Flächen
- mGROWA – Modellierung (1981-2010): Abflusskomponenten inkl. Validierung
- GROWA-Modellierung (1981-2010) als Vergleichsrechnung inkl. Validierung
- Berechnung hydrologischer Kenngrößen für wasserwirtschaftliche Fragestellungen
- Vergleich Modellergebnisse aller Abflusskomponenten mGROWA - GROWA für mindestens drei verschiedene, Perioden 1961-1990, 1971-2000, und 1981-2010
- Aufbau der Modellkette **RAUMIS-mGROWA-DENUZ-WEKU** für N-Modellierung

Aktualisierung und Verbesserung der Datengrundlagen im Rahmen des Projektes GROWA+ NRW 2021



Aktualisierung und Verbesserung der Datengrundlagen im Rahmen des Projektes **GROWA+ NRW 2021**

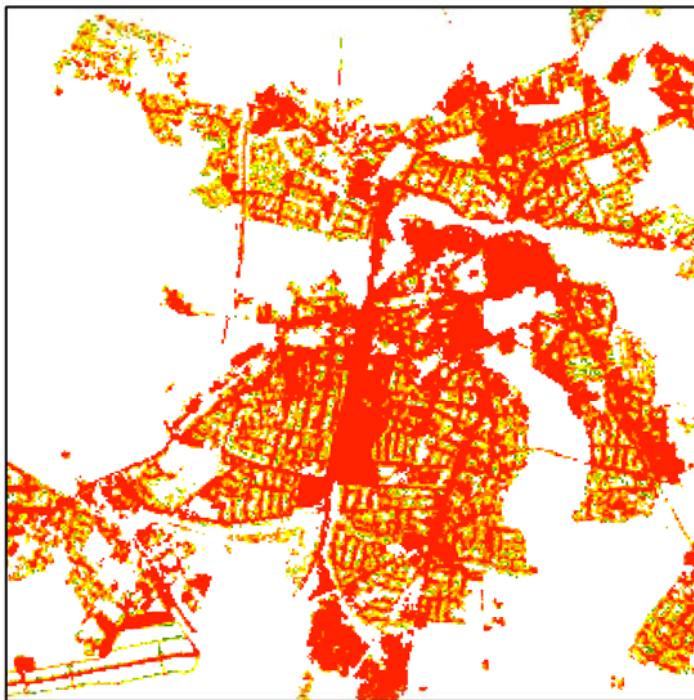
- Fortlaufend aktualisierte Klimadaten aus dem **Climate Data Center (CDC)** des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sind für fortlaufende mGROWA Simulationen nutzbar gemacht worden.
- Eine aktualisierte Fassung des **ATKIS® Basis-DLM** wurde für die Wasserhaushaltsmodellierung aufbereitet und parametrisiert. Insgesamt werden 63 Landnutzungstypen (entsprechend Nutzung, Vegetationsmerkmalen etc.) räumlich differenziert abgebildet, die wichtigsten sind:
 - Ackerland, Grünland, Nadel-, Laub-, Mischwald, Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen
und viele kleinflächige Typen wie:
 - Obstplantage, Heide, Sumpf, vegetationslose Fläche
- Die INVEKOS-Daten werden für eine zeitnahe Aktualisierung der räumlichen Differenzierung in Ackerland und Grünland herangezogen.
- Rasterbasierte Versiegelungsgrade der European Environment Agency (EEA) im 20 m Raster bilden die Datengrundlage zur Abbildung der Versiegelung urbaner und ruraler Flächen.

Weiterentwicklung am Modell mGROWA

NEU

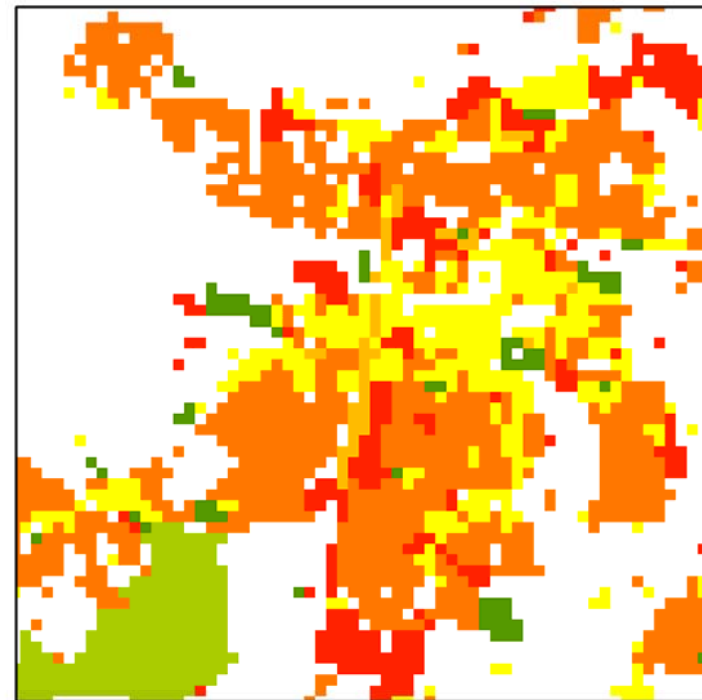
Nutzung rasterbasierter
Versiegelungsgrade in
mGROWA:

EEA FTSP degree of soil sealing



In der Vergangenheit mit
GROWA/mGROWA verwendet:

DLM mit fest zugewiesenem
Versiegelungsgrad

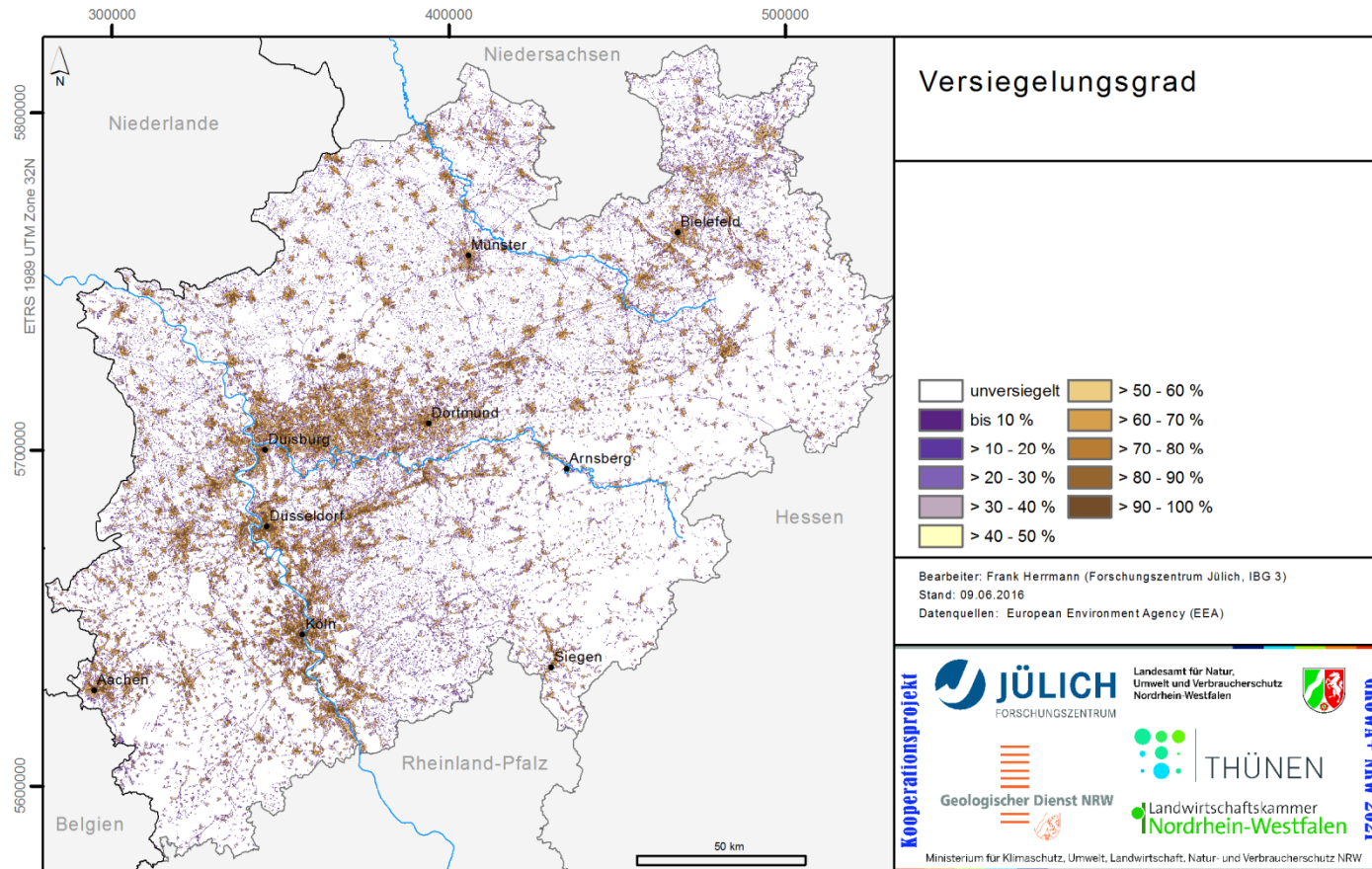


Versiegelungsgrad



Rasterbasierte Versiegelungsgrade

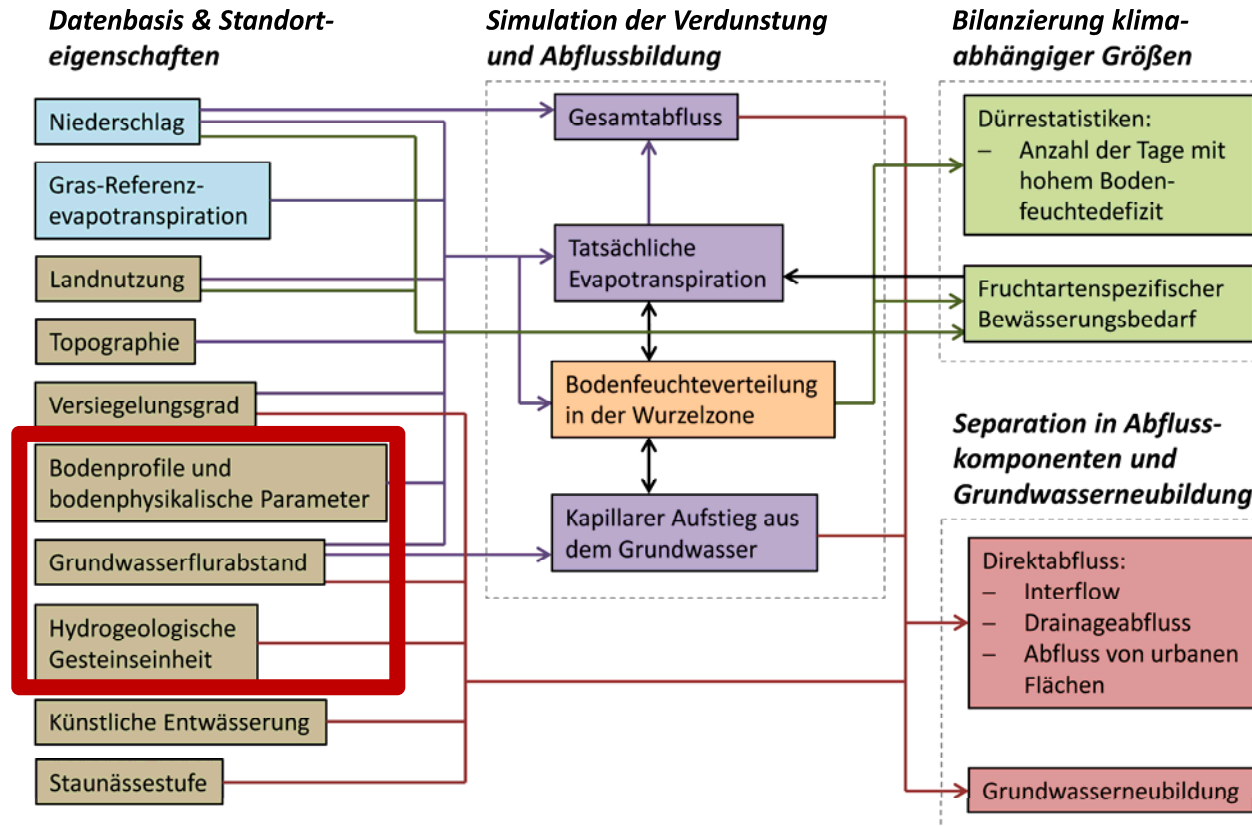
Pan-European High Resolution Layer (HRL) der European Environment Agency (EEA)



Resultat ist eine räumliche besser differenzierte Abbildung der Abflusskomponenten:

- Direktabfluss von versiegelten Flächen
- Grundwasserneubildung

Aktualisierung und Verbesserung der Datengrundlagen im Rahmen des Projektes GROWA+ NRW 2021



→ Datengrundlagen für die Wasserhaushaltssimulation werden auch in weiteren Teilen der Modelkette verwendet.

Aktualisierung und Verbesserung von Datengrundlagen im Rahmen des Projektes GROWA+ NRW 2021

- flächendeckende **Bodenkarte** (BK 50) wurde vom GD NRW für die Wasserhaushaltsmodellierung parametrisiert (Details hierzu im Vortrag des GD NRW):
 - Charakterisierung des Wasserspeichervermögens der Böden (Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum),
 - Grund- und Staunässestufen, etc.
 - Bodenparameter werden auch in anderen Komponenten der Modellkette verwendet, z.B. in DENUZ (N-Austragsmodellierung Boden) und im WEKU-Modell zur Modellierung der Verweilzeiten im Grundwasser (Details hierzu im Vortrag von Prof. Dr. Wendland)

- **hydrogeologische Karte** des oberen Grundwasserleiters wurde vom Geologischen Dienst NRW aus HK100, HK50 und bereichsweise aus HK25 aufbereitet und bereitgestellt. (Details hierzu im Vortrag des GD NRW):
 - Attribute für die Bestimmung aktualisierter BFI-Werte sind Stratigraphie, Petrographie und hydraulische Durchlässigkeit.
 - hydrogeologische Parameter werden auch in anderen Komponenten der Modellkette verwendet, konkret im WEKU-Modell zur Modellierung der Verweilzeiten im Grundwasser (Details hierzu im Vortrag von Prof. Dr. Wendland)

Aktualisierung und Verbesserung von Datengrundlagen im Rahmen des Projektes GROWA+ NRW 2021

- Ein landesweites Rastermodell der Grundwasseroberfläche wird aus verschiedenen Datenquellen und regional angepassten Methoden erstellt:
 - Bestehende Grundwassergleichenpläne verschiedener Institutionen (z.B. Erftverband),
 - Grundnässestufen aus der Bodenkarte,
 - Interpolation auf Basis gemessener Grundwasserstände im Lockergesteinsbereich,
 - Interpolation auf Basis mittlerer hydraulischer Gradienten im Festgesteinsbereich.
- Bei der Simulation des Wasserhaushalts mit mGROWA wird im Bereich geringer Grundwasserflurabstände der kapillare Aufstieg vom Grundwasserniveau in die Wurzelzone berechnet.
- Im Rahmen der **Modellierung der Verweilzeiten im Grundwasser mit dem WEKU-Modell** bildet die Grundwasseroberfläche eine sehr wichtige 3-dimensionale geometrische Randbedingung.
- **Es wird sichergestellt, dass Verweilzeitenmodellierung und Wasserhaushaltssimulation auf räumlich harmonisierten und konsistenten Datengrundlagen aufbauen.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !