Methodik und Ergebnisse der Modellierung von Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung mit mGROWA (1981-2010)

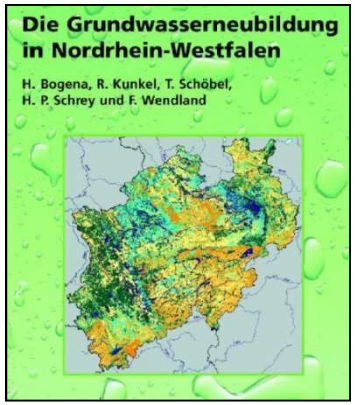
25. Juli 2018

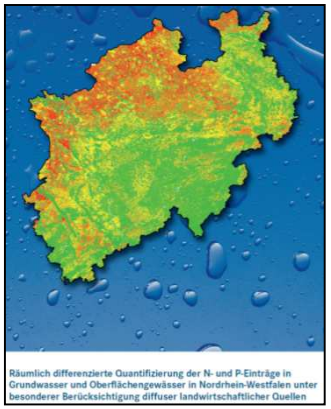
Frank Herrmann, Frank Wendland
Institut für Bio- und Geowissenschaften IBG-3: Agrosphäre

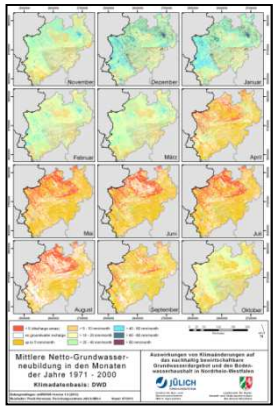
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

GROWA/mGROWA – Zeitachse

2003 | 2010 | 2014 | 2021







1979-1999	1961-1990	1971-2000	1981-2010

Betrachtete hydrologische Perioden

Simulation von 1971 bis zur Gegenwart

- Erste GROWA Modell-anwendung in NRW
- U.a. Ermittlung lang-jährige mittlere Grund-wasserneubildung
- 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. Grund-wasserneubildung
- Klima-Impakt-Studien

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

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

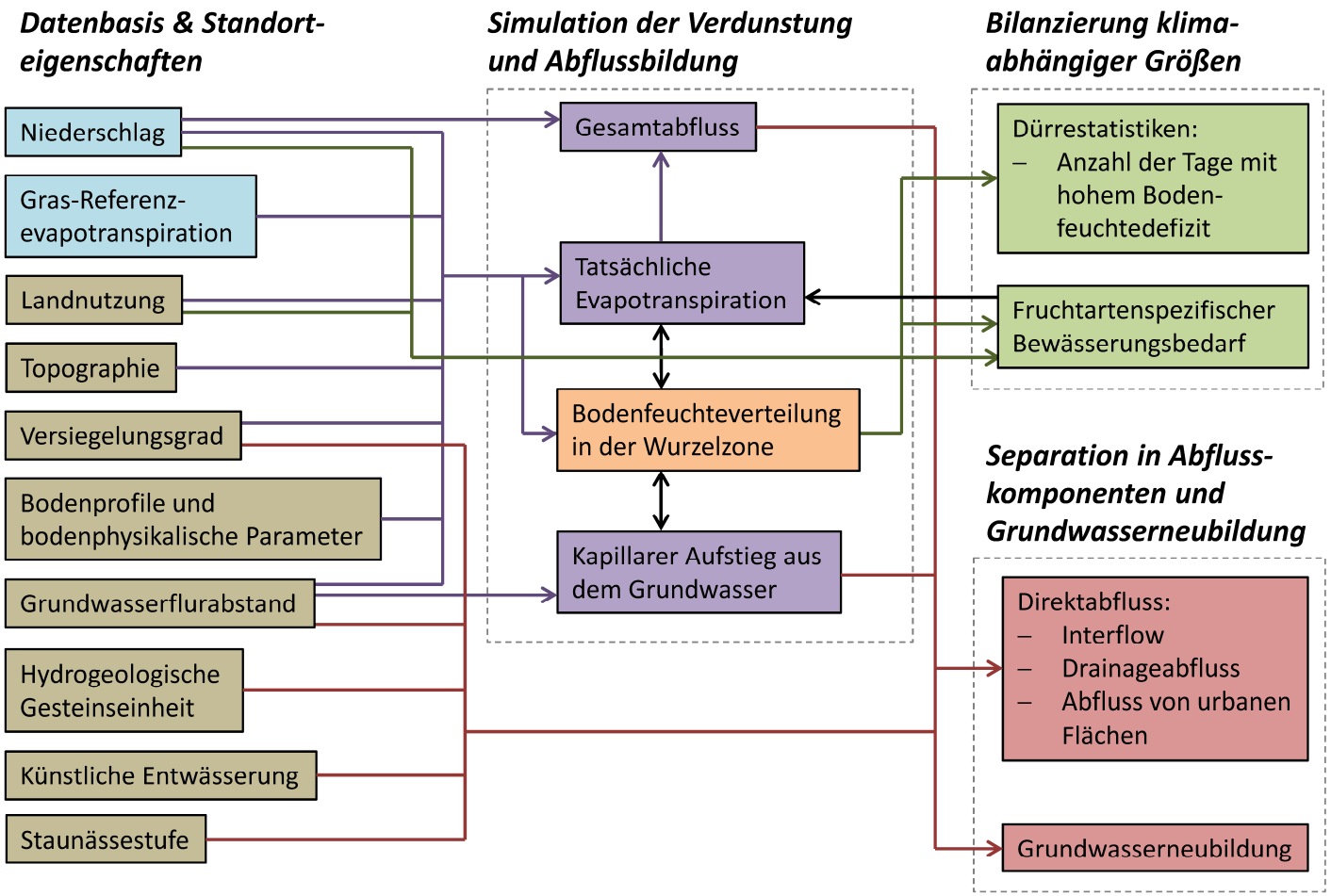
Themen & Gliederung

- **mGROWA Modellkonzept**
- **Datengrundlagen im Projekt *GROWA+ NRW 2021***
  - Klimatischer Modellantrieb
  - Landnutzung, Vegetation, Versiegelung, Topographie
  - Bodenparameter, hydrogeologische Parameter
- **mGROWA-Simulationsergebnisse**
  - Zeitlich hoch aufgelöste Abflussbildung
  - Sickerwasserrate, mittlere jährliche Grundwasserneubildung und Direktabflusskomponenten
- **Evaluierung der mGROWA-Simulationsergebnisse**
  - Objektive Kennzahlen
  - Abflussdatenbank und Einzugsgebiete
  - Evaluierungsergebnisse

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – Modellkonzept

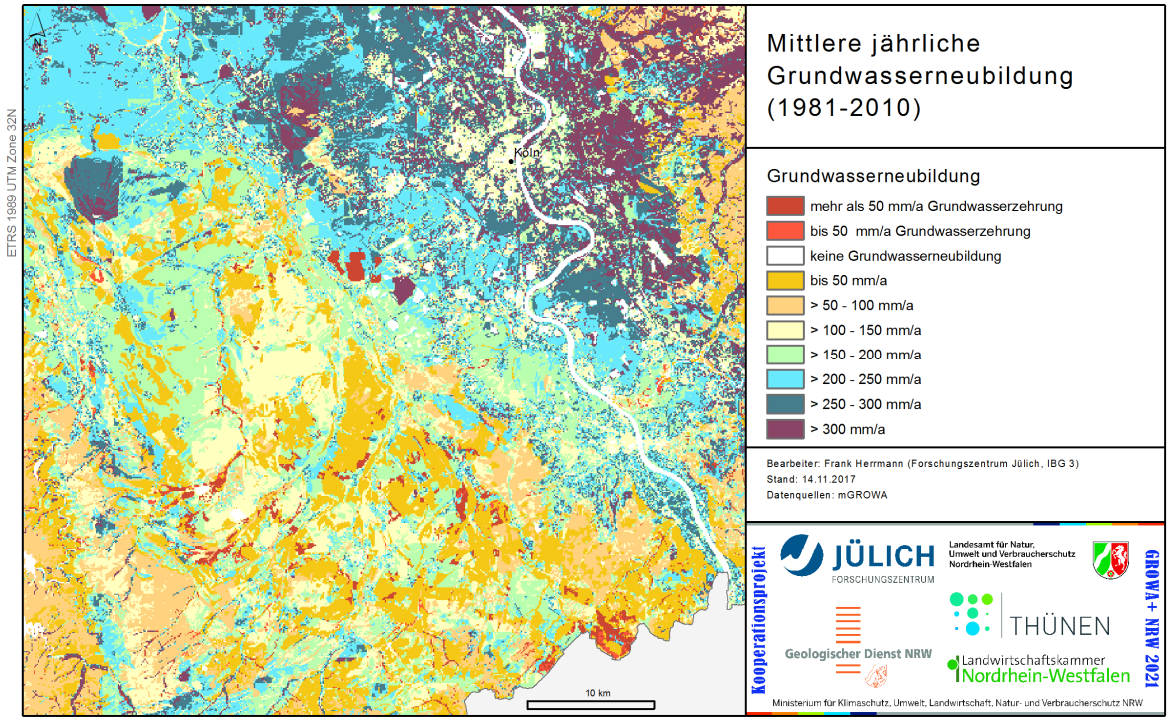
- Rasterbasiertes flächendifferenziertes Wasserhaushaltsmodell.
- Entwickelt am FZ Jülich für **räumlich und zeitlich hochaufgelöste Simulationen** (100 m Raster, Tagesschritte) über lange Perioden (> 30 Jahre) in großen Flussgebieten oder ganzen Ländern.



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – neues Modellsetup für NRW

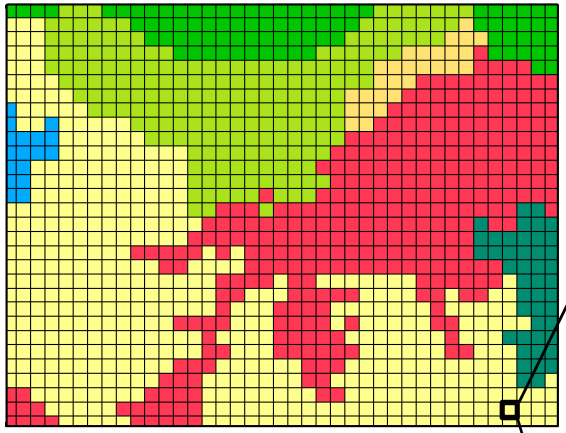
- **Abdeckung**: gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalen
- **Rasterauflösung:** 100 m → 3.409.661 Zellen je 1 ha groß
- **Geodätisches Referenzsystem**: ETRS89/UTM
- **Zeitliche Auflösung:** Tagesschritte aggregiert auf Monatsschritte
- **Simulationszeitraum**: 01.11.1970 bis 31.03.2016
- **Hydrologische 30-Jahres-Periode für wasserwirtschaftliche Planung:** 1981-2010



Beispielausschnitt des Endergebnisses:

Südliche Niederrheinische Bucht

mGROWA – Grundlegende Gleichungen



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**:

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

BOWAB auf Standorten mit Vegetation	versiegelt Standorte	… *beliebig erweiterbar*

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

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – Übersicht Datengrundlagen

Datengrundlagen	Datenquellen
Klimadaten – Niederschlag – Potentielle Verdunstung über Gras	– Climate Data Center (CDC) Deutscher Wetterdienst (DWD) ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/
Landnutzung – Landnutzungstypen – Vegetationstypen	– ATKIS Basis-DLM Landesvermessung Nordrhein-Westfalen – InVeKoS Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2014/2016)
Topographie – Geländeneigung, Geländeexposition	– Digitales Höhenmodell DHM 10 Landesvermessung Nordrhein-Westfalen
Oberflächenversiegelung – Rasterbasierte Versiegelungsgrade	– High Resolution Layer: Imperviousness Degree (IMD),2012 reference year, 20m x 20m European Environment Agency
Bodenparameter – Bodentypen, Bodenarten, etc. – Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität, etc. – Grundwasserflurabstand, Staunässestufen	– Bodenkarte 1:50.000 (BK 50) Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen
Hydrogeologische Gesteinseinheiten	– HK100, HK50, HK25 Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen
Karte der künstlich entwässerten landwirtschaftlichen Flächen	– Forschungszentrum Jülich GmbH, B. Tetzlaff

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Klimadatenraster des DWD

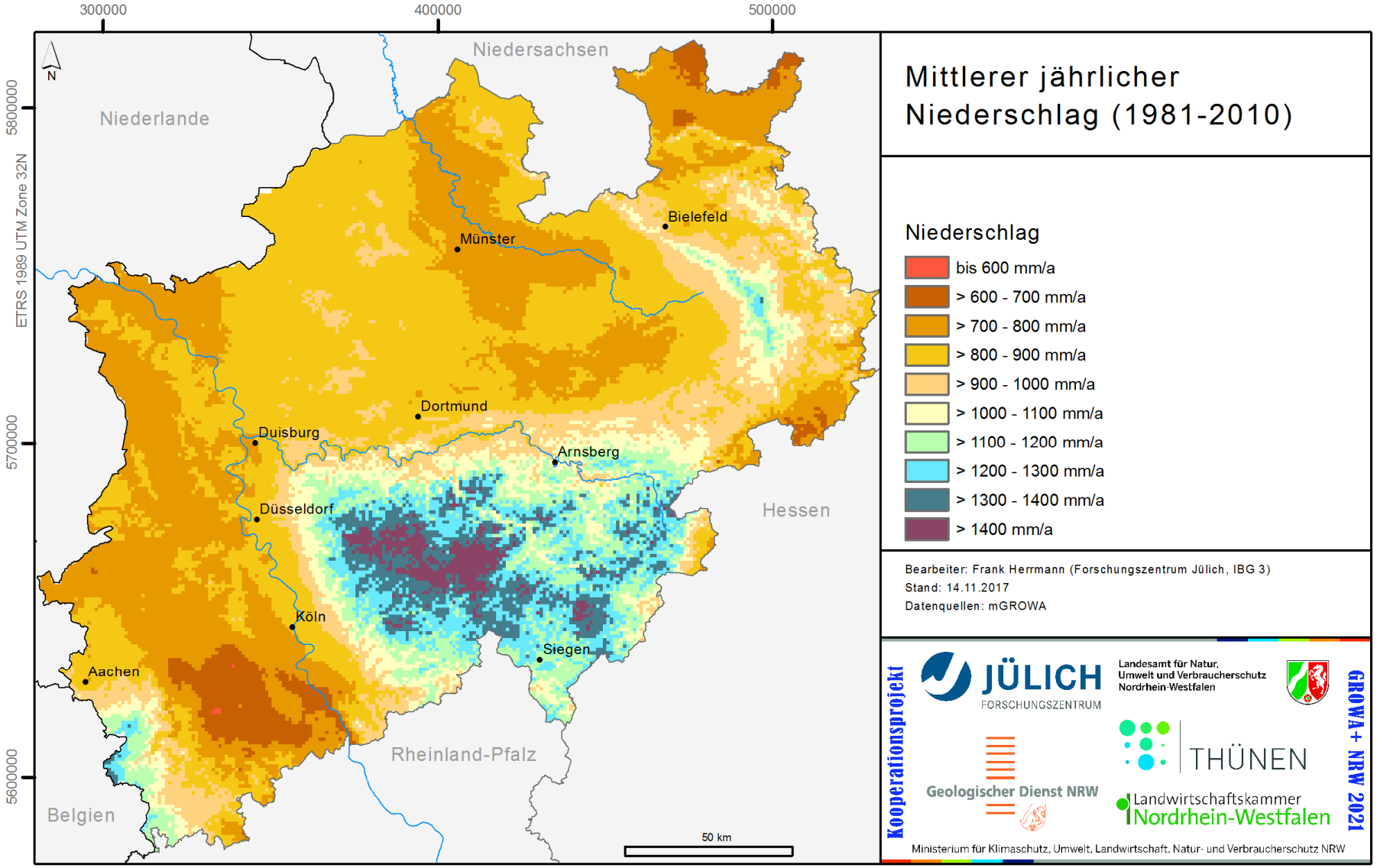
- **Quelle**: Climate Data Center (CDC) des DWD ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/
- **Rasterauflösung:** 1000 m Raster des DWD wurde direkt übertragen auf das 100 m Modellraster
- **Zeitliche Auflösung:** Monatsschritte
- **Verfügbarkeit**:
  - 1881 bis **Gegenwart** – Monatliche Raster der Summe des **Niederschlags**
  - 1991 bis **Gegenwart** – Monatliche Raster der Summe der **potentiellen Evapotranspiration über Gras** berechnet mit dem Modell AMBAV (Kernpunkt ist die Penman-Monteith-Gleichung)
  - 1991 bis **Gegenwart** – Tägliche Raster der Summe der **potentiellen Evapotranspiration über Gras** berechnet mit dem Modell AMBAV (Kernpunkt ist die Penman-Monteith-Gleichung)

- **Quelle**: 2010 durch DWD bereitgestellt
- **Rasterauflösung:** 1000 m Raster des DWD wurde auf das 100 m Modellraster interpoliert
- **Zeitliche Auflösung:** Monatsschritte
- **Verfügbarkeit**:
  - 1961 bis 2005 – Monatliche Raster der Summe der **potentiellen Evapotranspiration über Gras** berechnet mit der FAO-Penman-Monteith-Gleichung

→ Zusammensetzen der Periode 1981-2010 aus monatlichen Raster der Summe der **potentiellen Evapotranspiration über Gras**, die mit 2 leicht unterschiedlichen Methoden berechnet wurden.

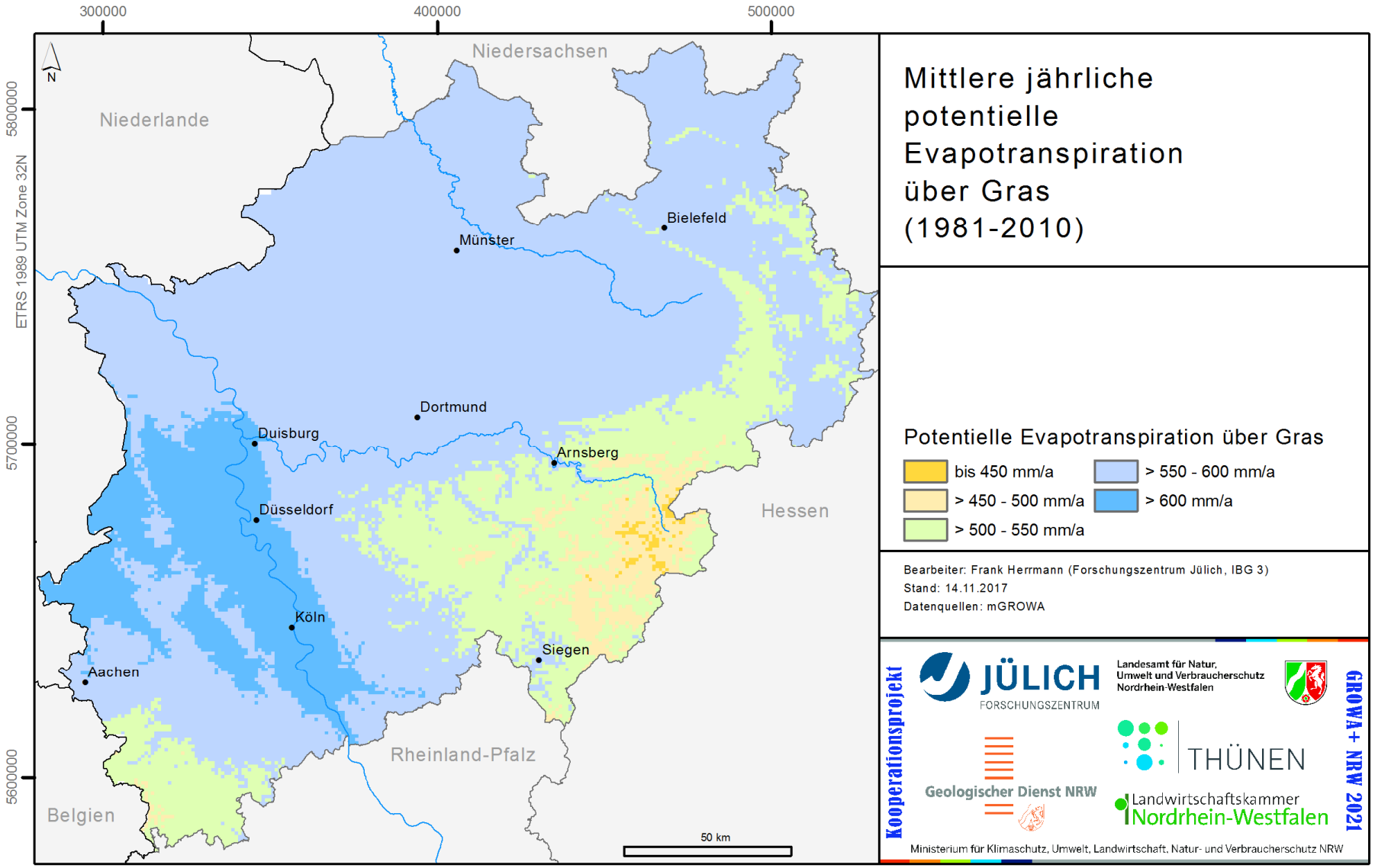
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Mittlerer jährlicher Niederschlag (1981-2010)



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

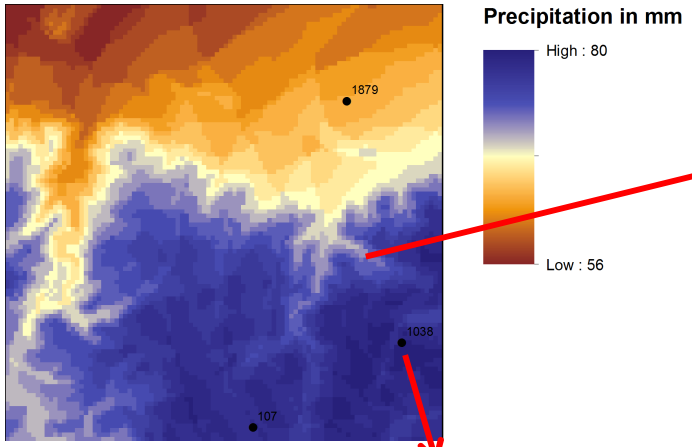
Mittlere jährliche potentielle Evapotranspiration über Gras (1981-2010)



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA-Prozedur für täglichen Klimainput

- Die Berechnung der Tagessummen des Niederschlags und der potentiellen Evapotranspiration über Gras wird im mGROWA-Programm intern für alle Rasterzellen des Modellgebietes durchgeführt.
- Die zeitlichen Muster stammen aus den Zeitreihen der Niederschlagsstationen des DWD (in NRW 200 … 400 Niederschlagsstationen) und aus Rastern des DWD mit Tagessummen der potentiellen Verdunstung über Gras.
- Die Monatssummen aus den Klimarastern bleiben erhalten.

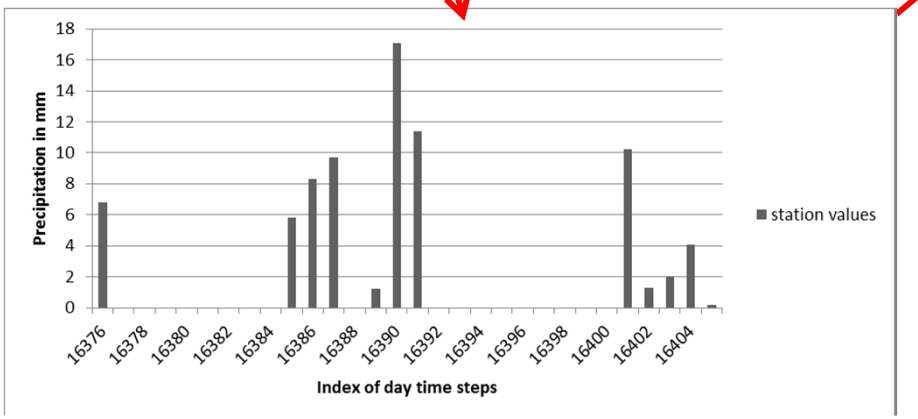


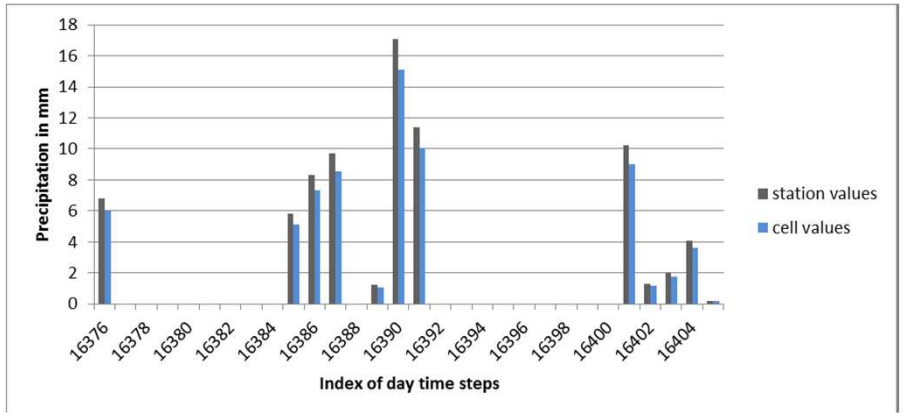
69 mm

$$p_i = p_g \cdot \frac{p_{st,i}}{\sum_{i=1}^{t} p_{st,i}}$$

i - index of the days in a month
g - grid-based monthly value
t - number of days in that month
st - merged station-based daily value

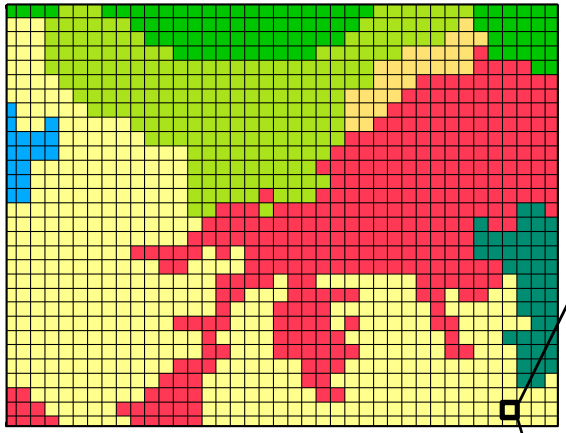
Σ 78 mm





Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – Grundlegende Gleichungen



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**:

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

BOWAB auf Standorten mit Vegetation	versiegelt Standorte	… *beliebig erweiterbar*

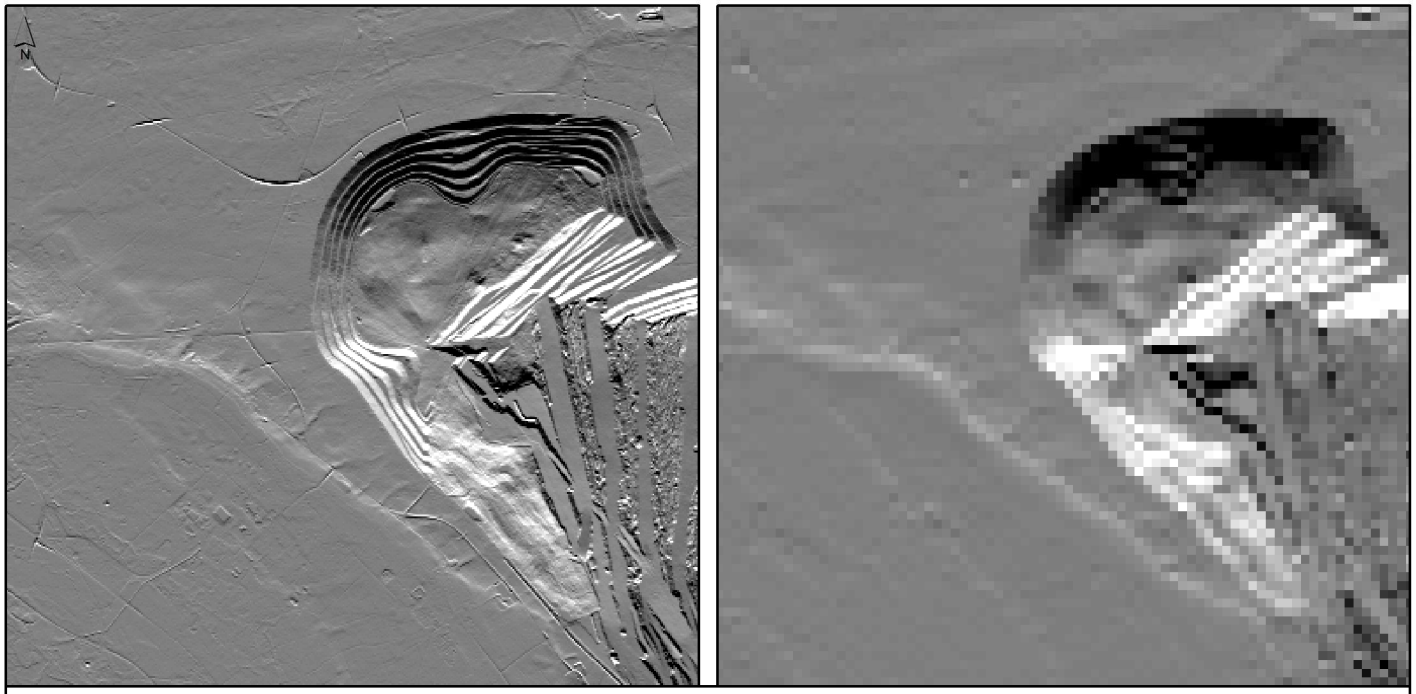
Die Funktion $f(s)$ ist für verschiedene Standorttypen unterschiedlich definiert.

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Aus DHM 10 abgeleitete Topographiefaktoren

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

ETRS 1989 UTM Zone 32N



10 m Raster

100 m Raster

α Hangexposition

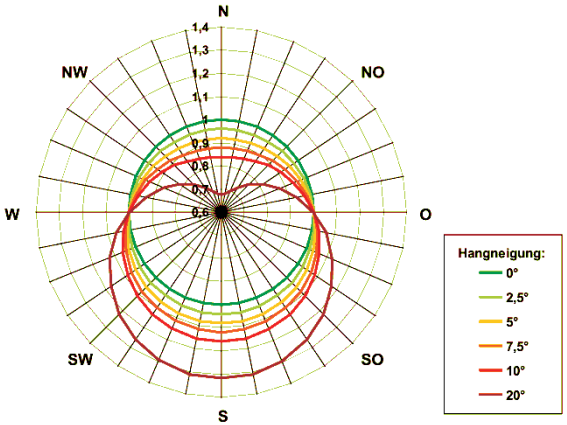
φ Hangneigung

Topographiefaktor

1.7

0.4

$$f_t = \left(1{,}605 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(\alpha - 90) - 2{,}5 \cdot 10^{-4}\right) \cdot \varphi + 1$$



Kooperationsprojekt

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

THÜNEN

Geologischer Dienst NRW

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW

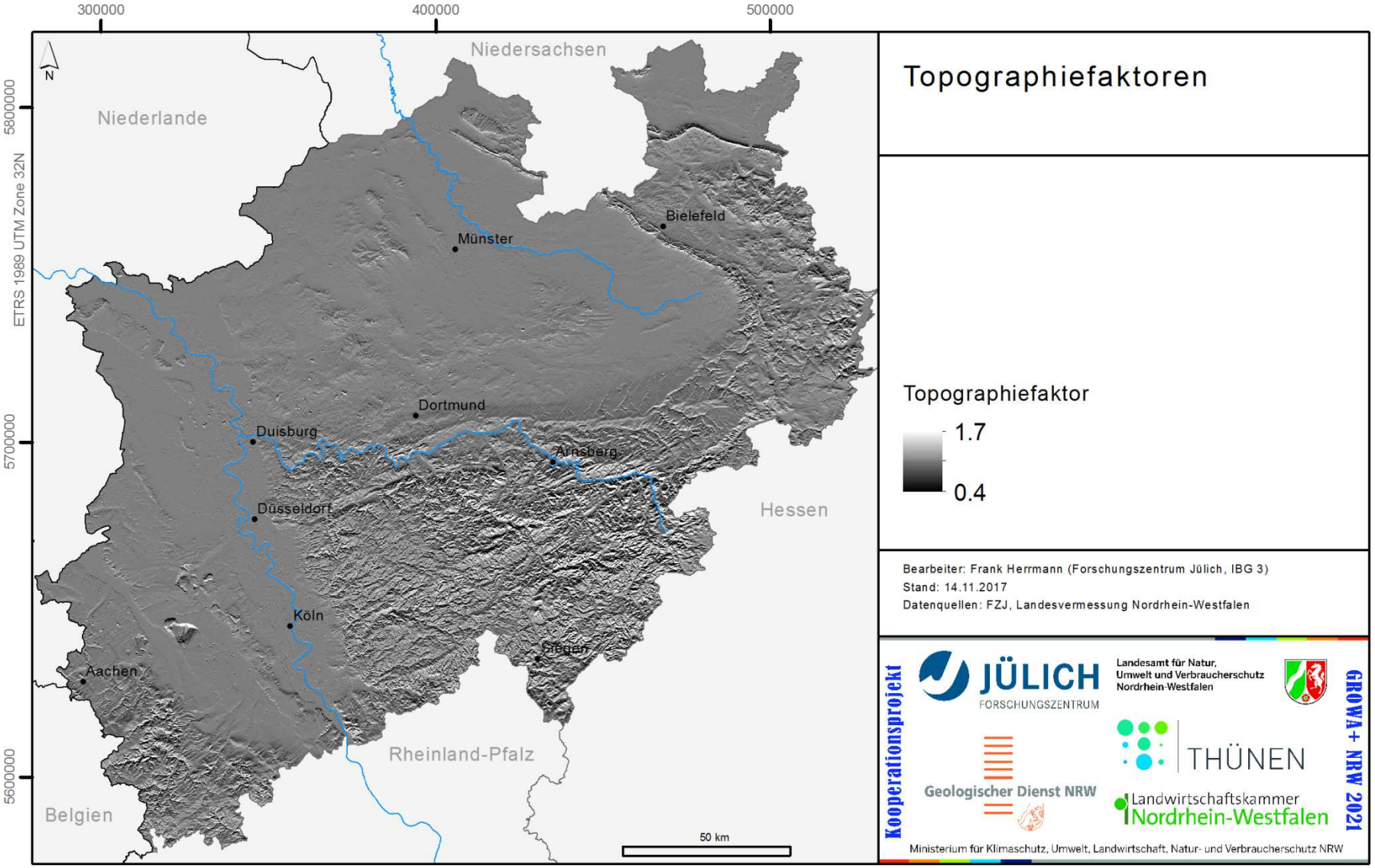
GROWA+ NRW 2021

Topographiefaktor

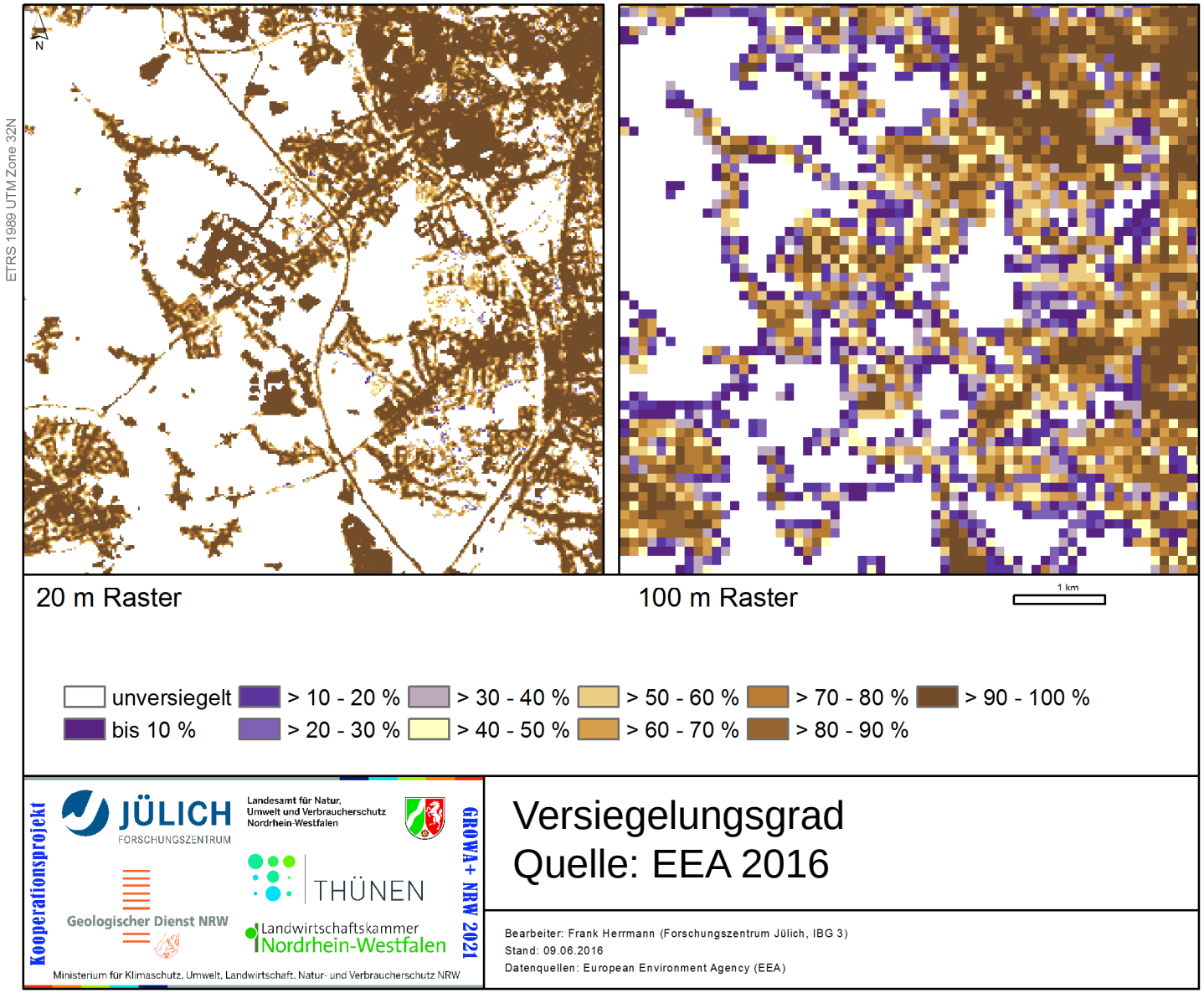
Bearbeiter: Frank Herrmann (Forschungszentrum Jülich, IBG 3)
Stand: 04.04.2016
Datenquellen: FZJ, Landesvermessung Nordrhein-Westfalen

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Topographiefaktoren in NRW

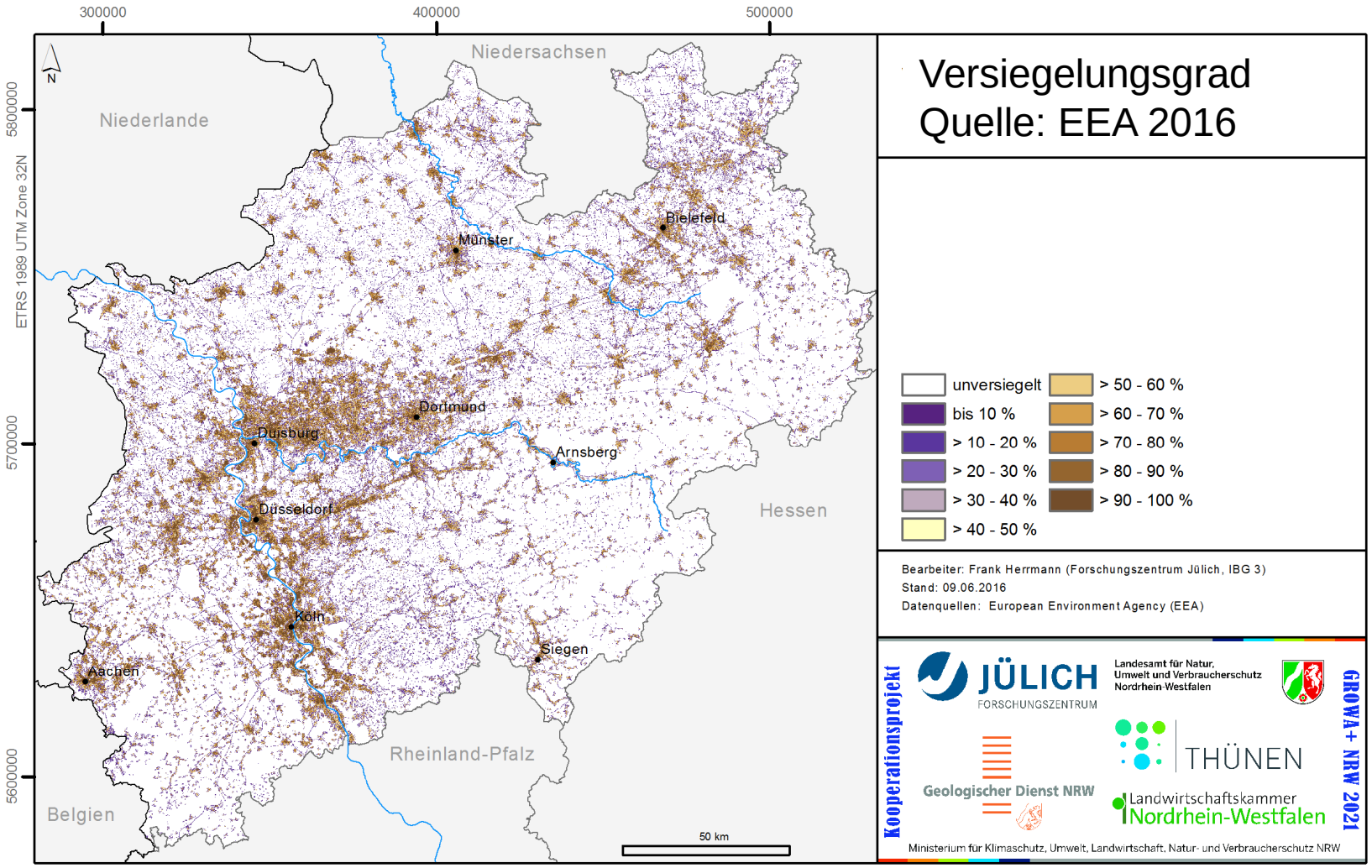


Bilanztreue Übertragung der Versiegelungs-grade auf das 100 m Modellraster

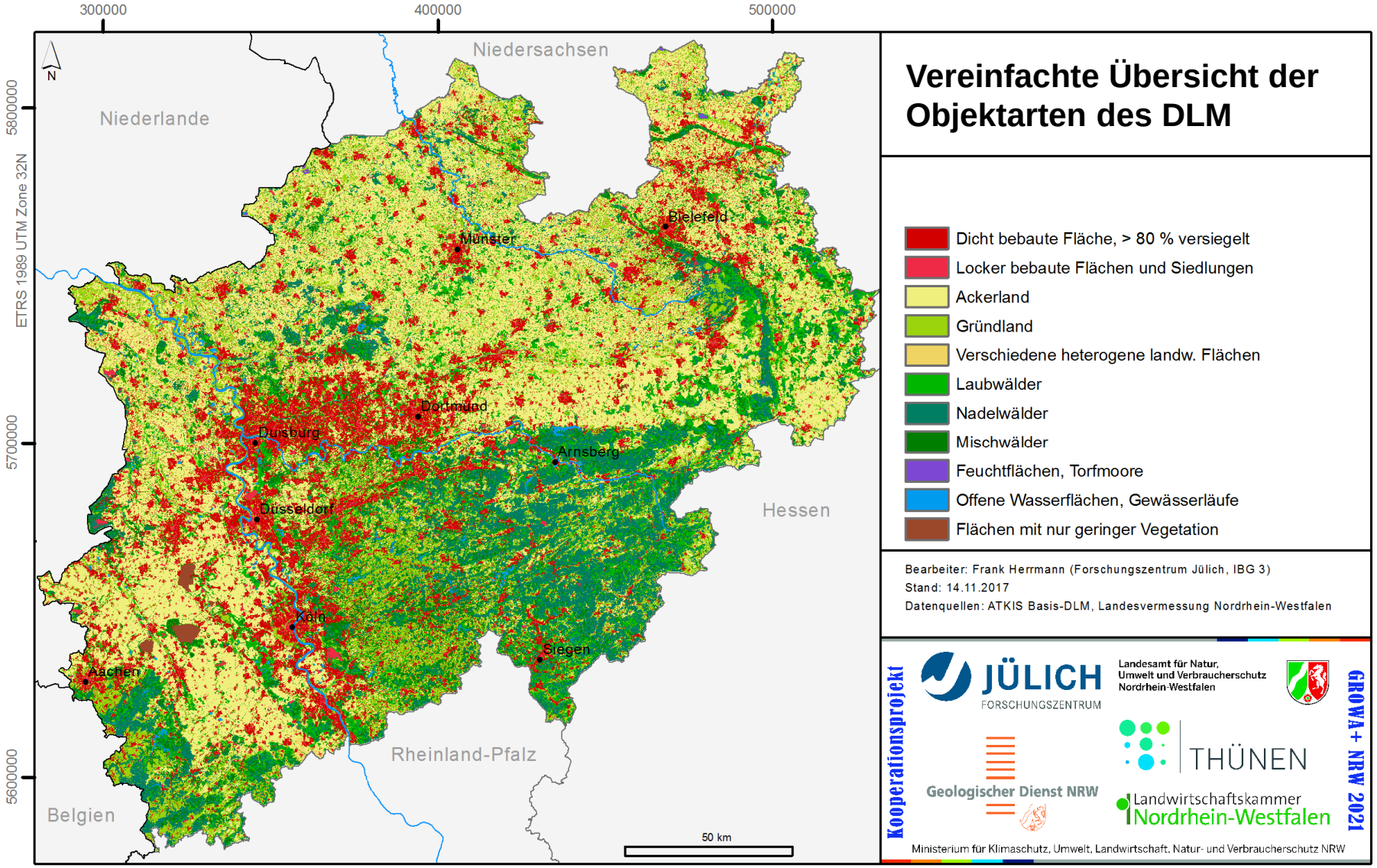


Rasterbasierte Versiegelungsgrade

- Versiegelte Oberflächen können maximal 1 mm Niederschlagswasser pro Tag speichern und verdunsten. Überschüssiges Wasser fließt ab.



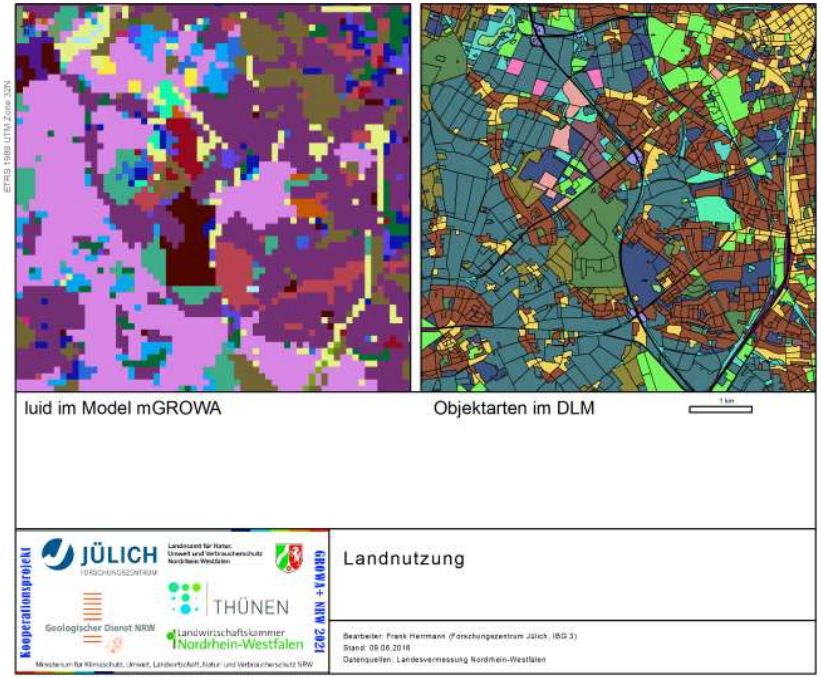
Landnutzung in NRW



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

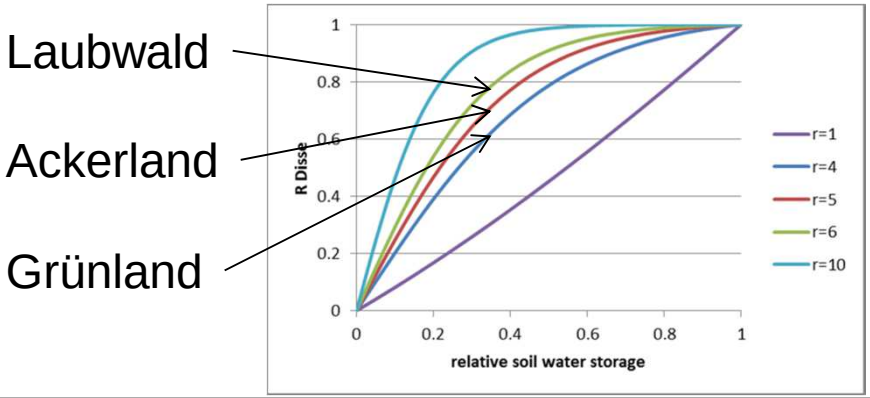
Parametrisierung des DLM für mGROWA-Simulationen

- Aus den Objektarten sowie Vegetations- und Oberflächenmerkmalen des DLM wurden insgesamt 66 Landnutzungs-ID (luid) für die mGROWA-Simulationen zusammengestellt.
- Aus der InVeKoS Datenbank wurde die Verteilung von Acker- und Grünland aktualisiert.



- **Von den Vegetations- und Oberflächenmerkmalen abhängige Parameter zur Charakterisierung des Wasserspeichers und der Evapotranspirationsdynamik**:
  - Jahresgang der Wurzeltiefe
  - Verdunstungsfaktoren (k_{LN})
  - **Parameter r der Disse-Funktion**

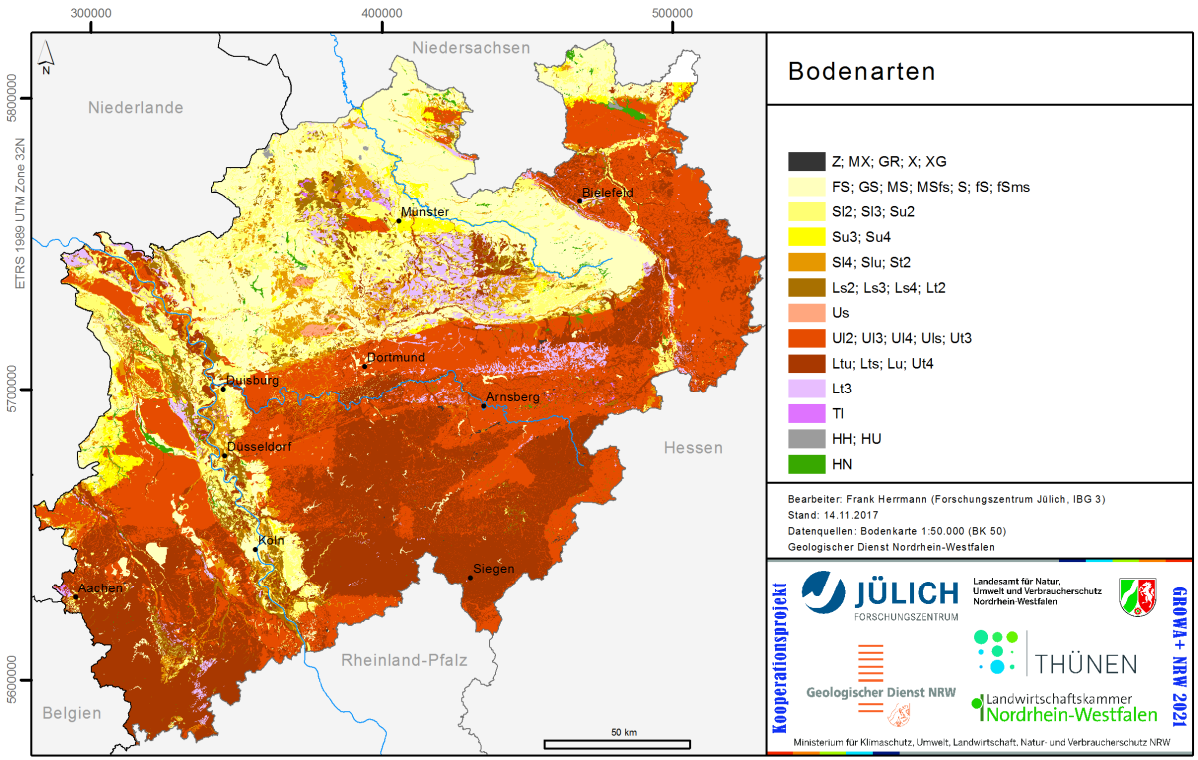
Charakterisierung des Verdunstungsverhaltens verschiedener Vegetationsarten in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

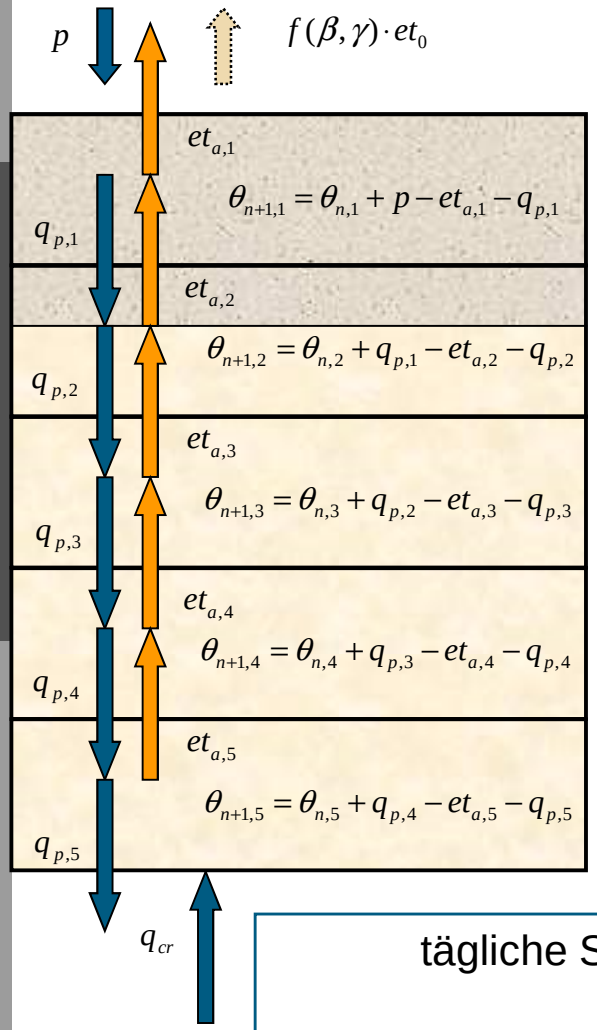
Bodenkarte BK 50 – Bodenarten

- **Von den Bodenarten abhängige Parameter zur Charakterisierung des Bodenwasserspeichers und der Bodenfeuchtedynamik**:
  - Feldkapazität, pflanzennutzbare Feldkapazität, Lagerungsdichte
  - Tabellierte kapillare Aufstiegshöhen und -raten
  - van-Genuchten-Parameter
  - Zulässige Sickerwasserbewegung auf präferenziellen Fließwegen vor Erreichen der Feldkapazität



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – Simulation des Bodenwasser-haushalts mit dem BOWAB-Modul



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

tägliche Sickerwasserrate
=
Gesamtabfluss von dieser Zelle

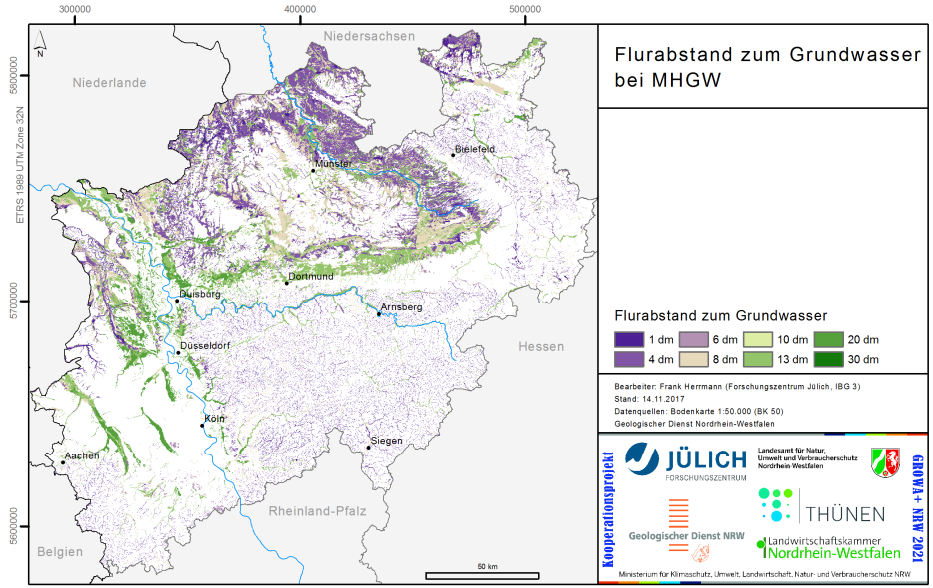
- Automatisierte Gliederung aller Rasterzellen mit Vegetation in beliebig viele Schichten (derzeit 5 Schichten je 3 dm mächtig).
- Automatisierte Parametrisierung der Modellschichten auf Basis kartierter Bodenprofile (Berechnung nFK, FK, LD, …)

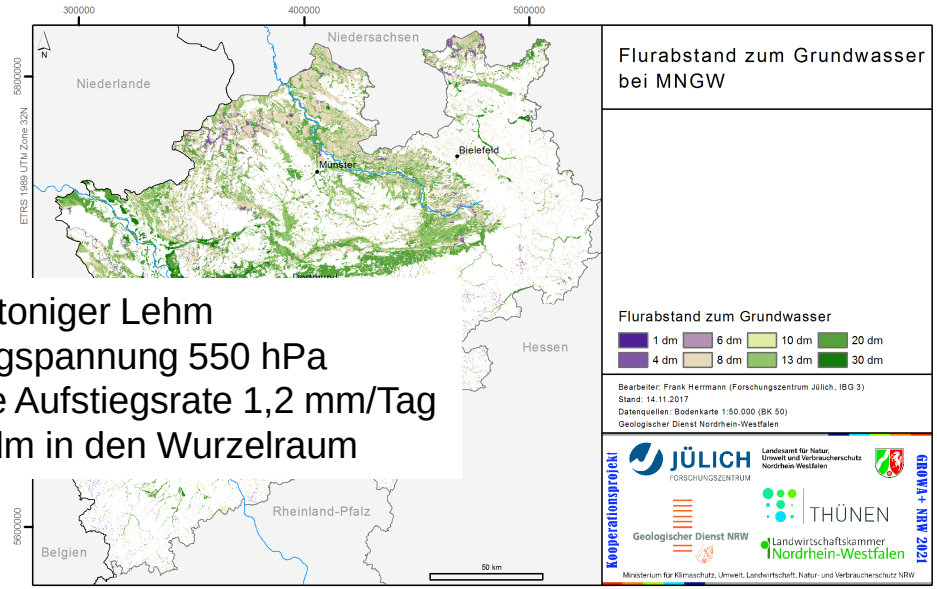
1. Bestimmung von p und et_0
2. Bestimmung der kapillaren Aufstiegsrate in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt
3. Berechnung der tatsächlichen Verdunstung in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und Ausschöpfungstiefe.
4. Berechnung der Sickerwasserraten zwischen den Schichten und aus der Wurzelzone (einfaches Überlaufmodell)
5. Neuberechnung des Wassergehaltes pro Schicht

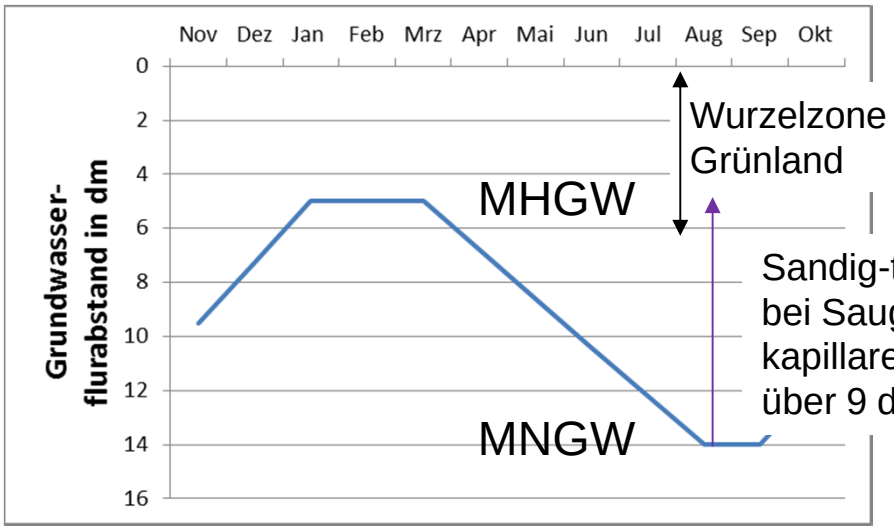
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Grundwasserflurabstand im Jahresgang

- **Datengrundlage**:
  - Grundnässestufen der Bodenkarte 1:50.000 (BK 50)
  - In Zonen mit Sümpfungseinfluss aus Grundwassergleichenplänen
- Interpolation des Jahresganges zwischen dem mittleren Hochstand (MHGW) und dem mittleren Niedrigstand (MNGW) des Grundwassers

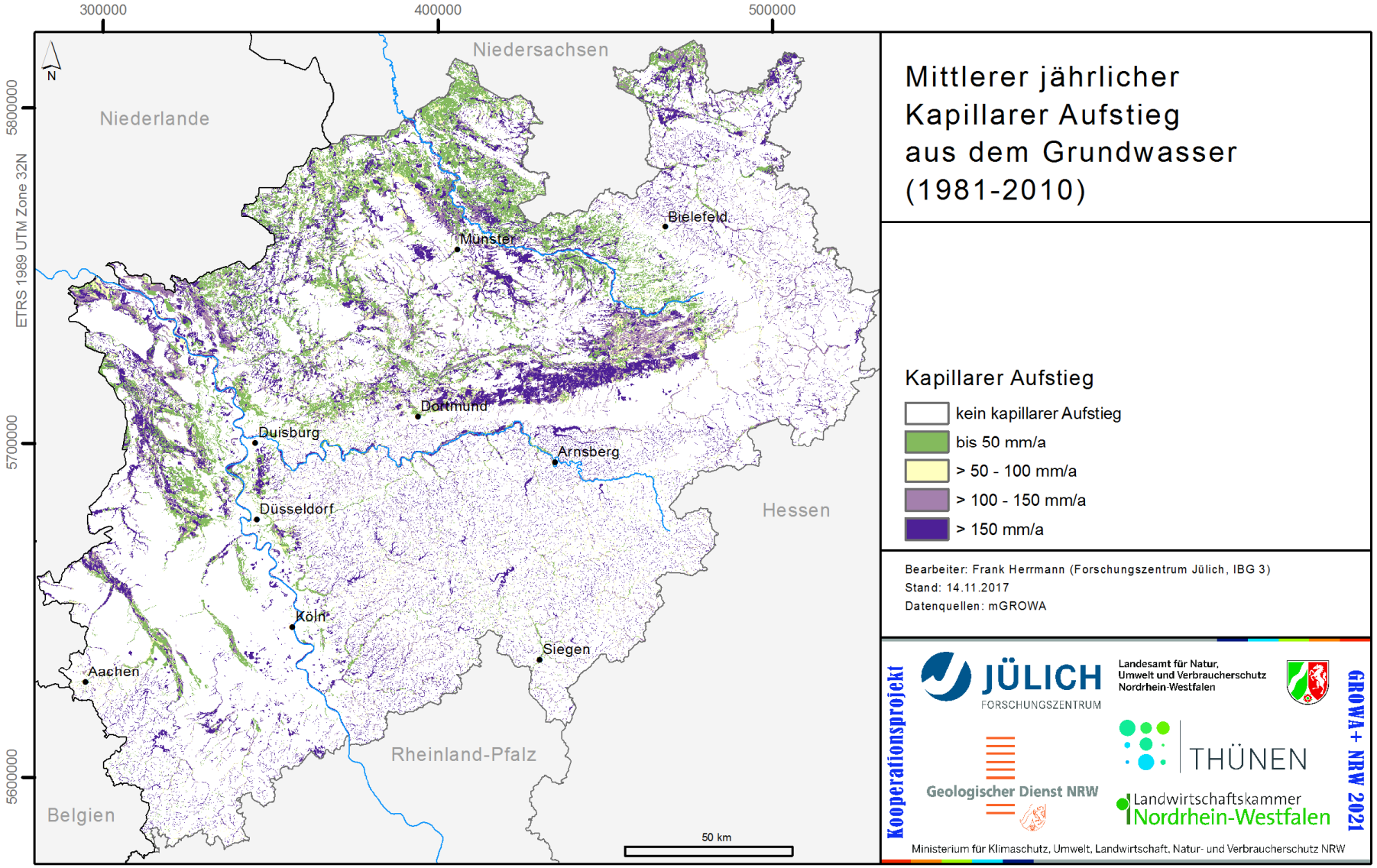






Sandig-toniger Lehm
bei Saugspannung 550 hPa
kapillare Aufstiegsrate 1,2 mm/Tag
über 9 dm in den Wurzelraum

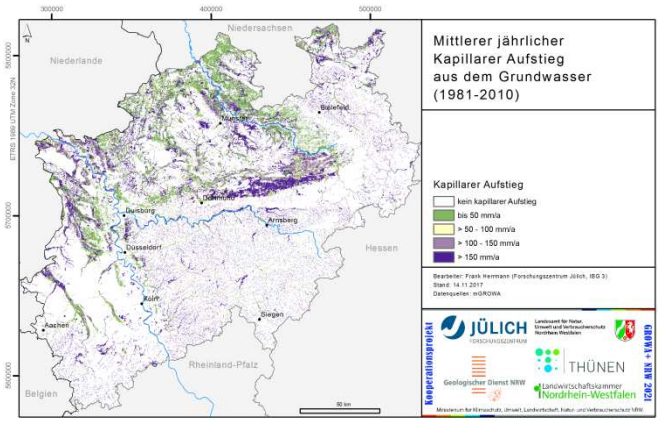
Simulationsergebnis: Kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser

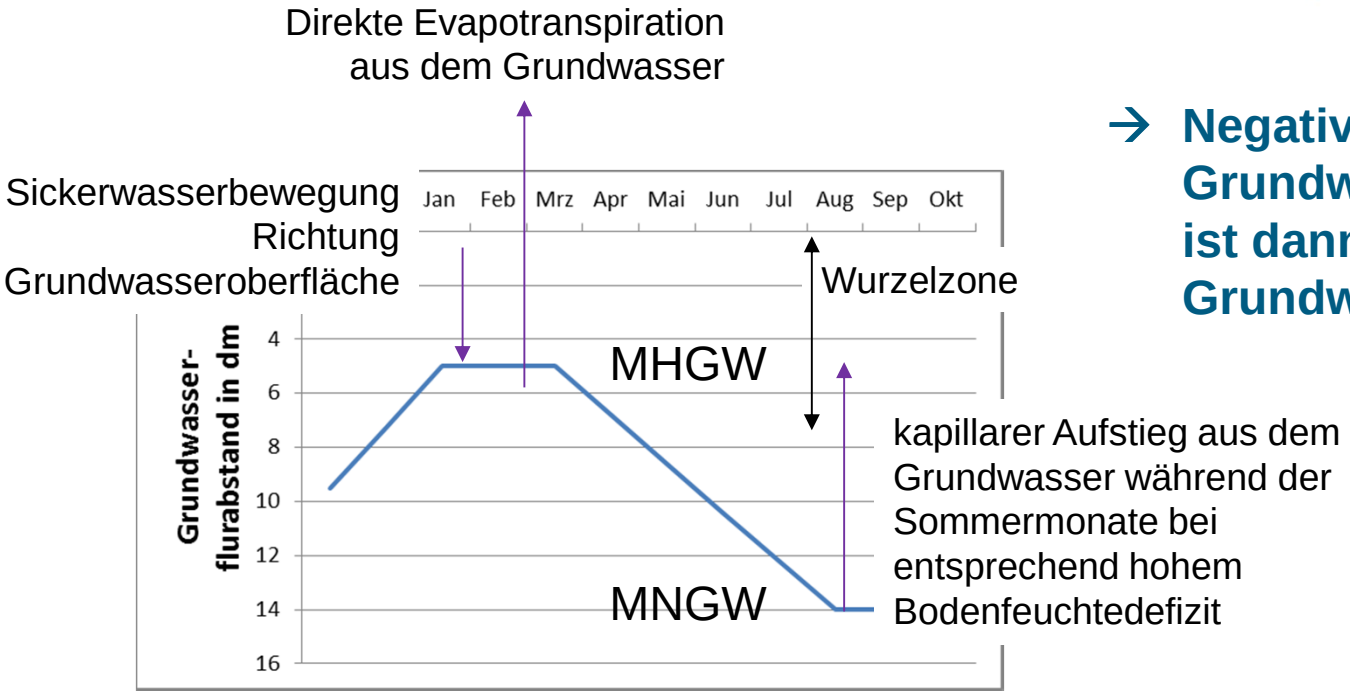


Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Berechnung einer Netto-Grundwasser-neubildung auf grundwasserbeeinflussten Böden, d.h. Feuchtgebieten

- Bilanzierung der **Netto-Grundwasserneubildung** für einzelne Monate aus Sickerwassermenge, direkter Evapotranspiration aus dem Grundwasser und kapillarem Aufstieg, je nachdem, welcher Prozess stattfindet.

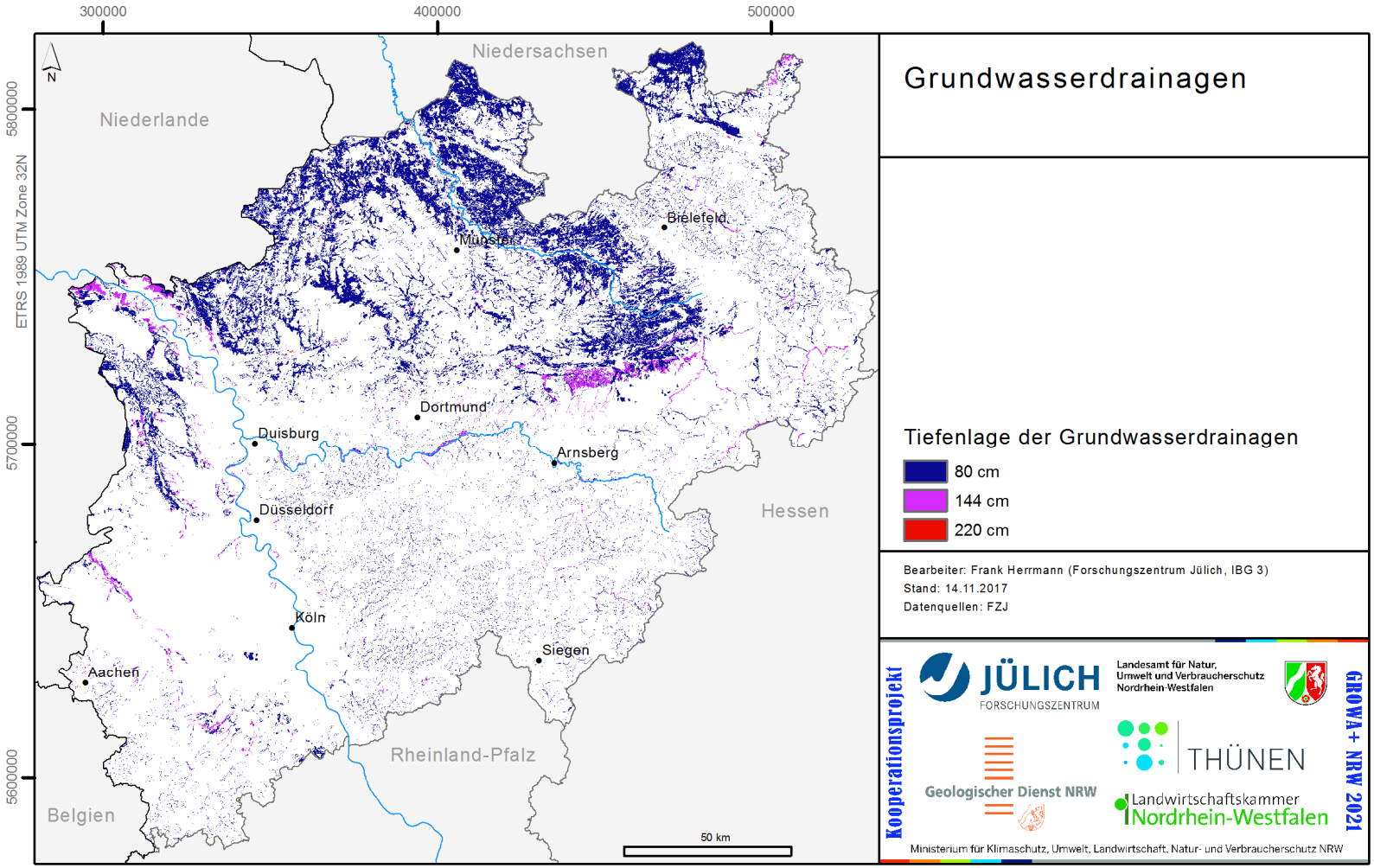




→ **Negative Netto-Grundwasserneubildung ist dann quasi eine Grundwasserzehrung**

Tiefenlage der Grundwasserdrainagen

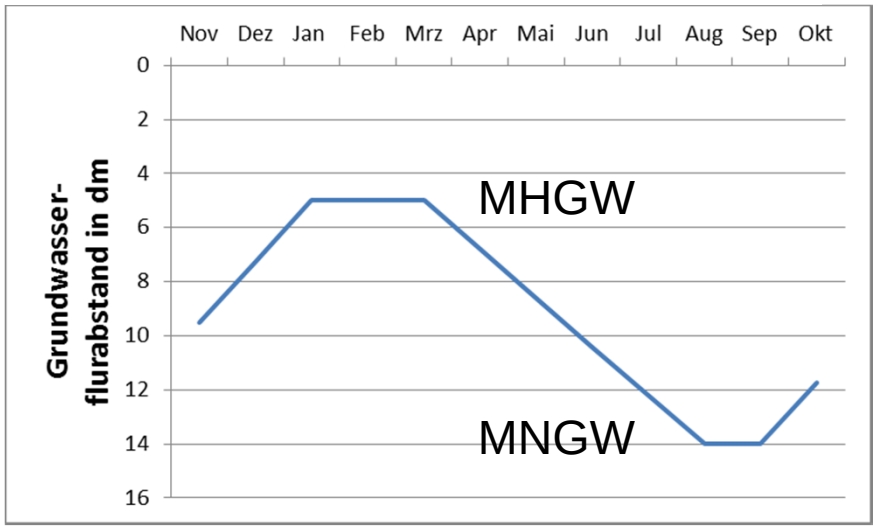
- Die neue Drainagekarte wurde im Rahmen des Kooperationsprojekts GROWA+ NRW 2021 am FZJ erstellt und bereits auf dem Experten-AK zur Dränagepotenzialkarte im Juni 2017 vorgestellt.



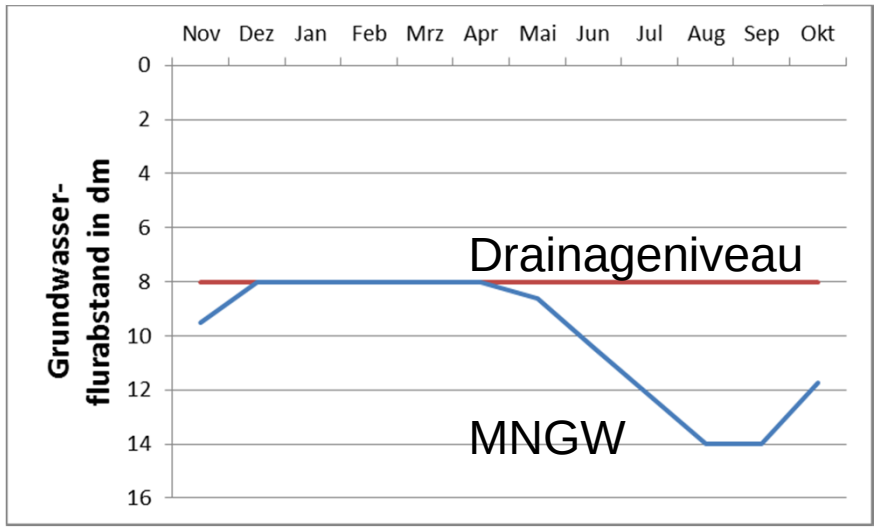
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Variabler Grundwasserflurabstand in Verbindung mit Drainagen

„Natürlicher“ Jahresgang der Grundwasseroberfläche aus BK50



„Beeinflusster“ Jahresgang der Grundwasser-oberfläche aus BK50 und Drainagekarte



- Bilanzierung der **Netto-Grundwasserneubildung** für einzelne Monate aus Sickerwassermenge, direkter Evapotranspiration aus dem Grundwasser und kapillarem Aufstieg, je nachdem, welcher Prozess stattfindet.

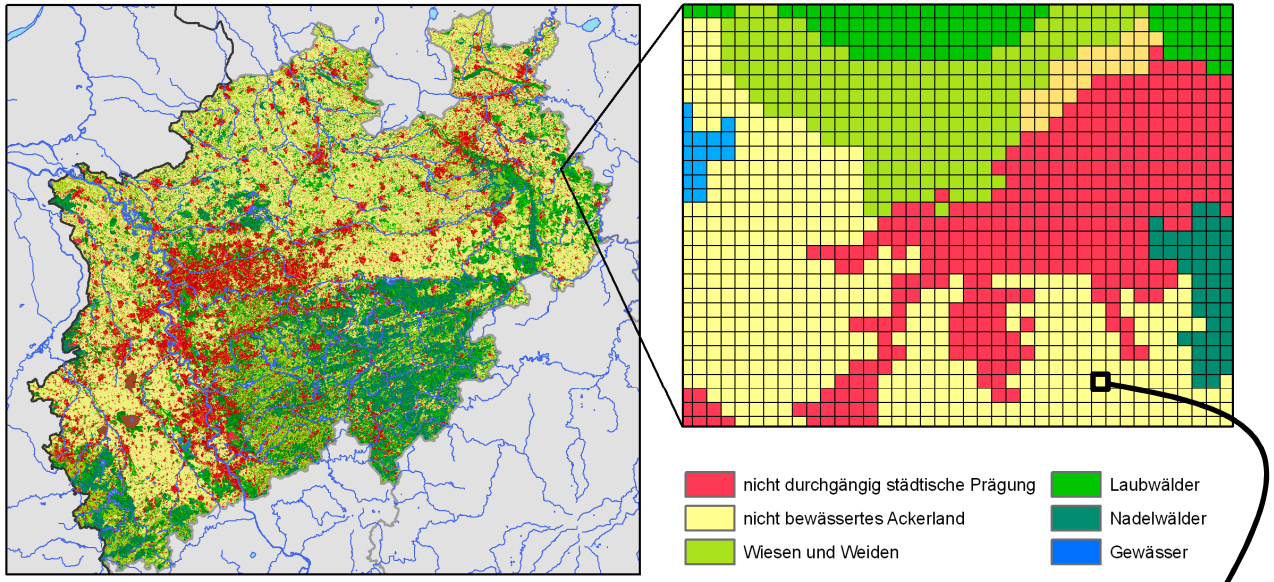
- Bilanzierung des **Drainageabflusses** und der **Netto-Grundwasser-neubildung** für einzelne Monate aus Sickerwassermenge, direkter Evapotranspiration aus dem Grundwasser und kapillarem Aufstieg, je nachdem, welcher Prozess stattfindet.

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

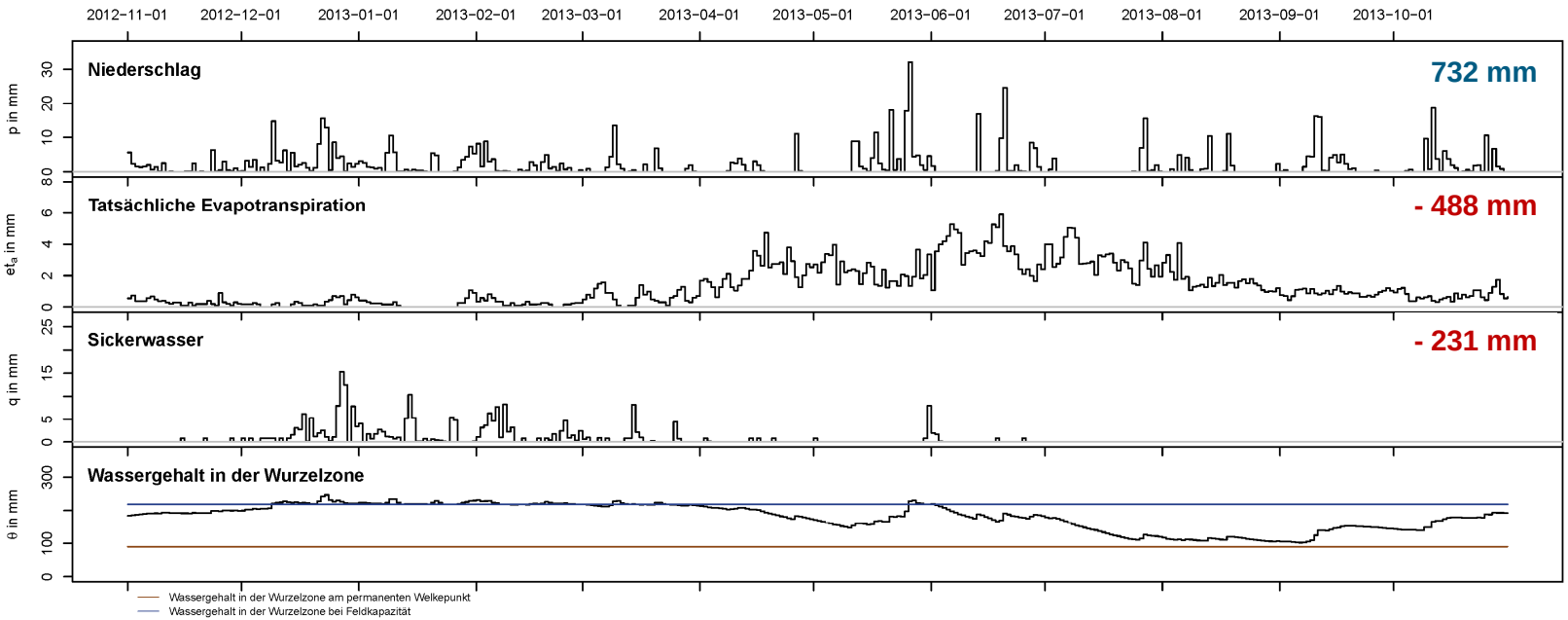
mGROWA – Ergebnis für Beispielrasterzelle

Größe des Modellgebietes:

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



Ermittlung von Wasserhaushaltsgrößen In Tagesschritten



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – Bodenfeuchtedefizit

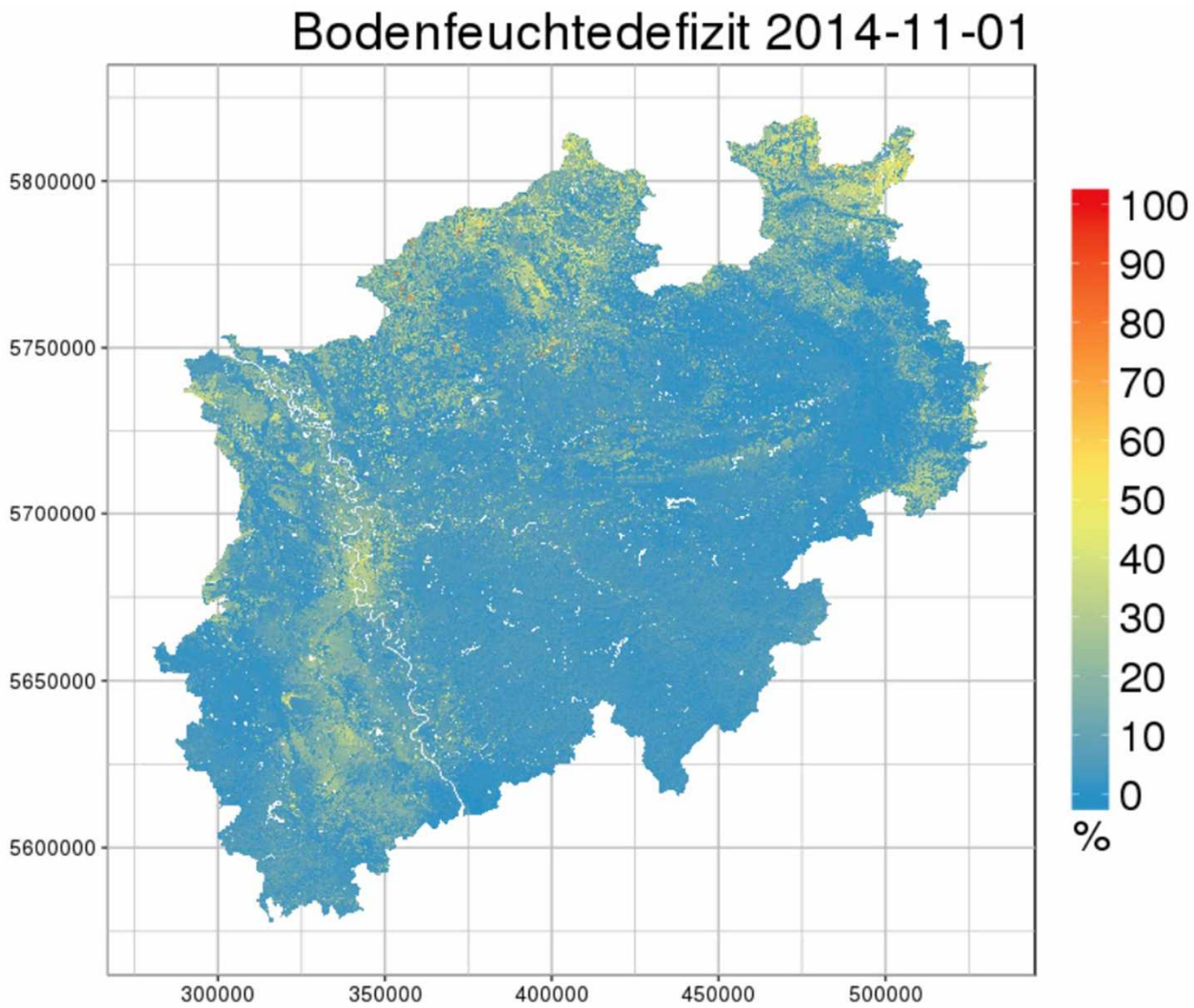
Das **Bodenfeuchtedefizit** ist die Wassermenge die benötigt wird, um den Wassergehalt in der Wurzelzone auf Feldkapazität zu bringen.

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

Bedeutung:

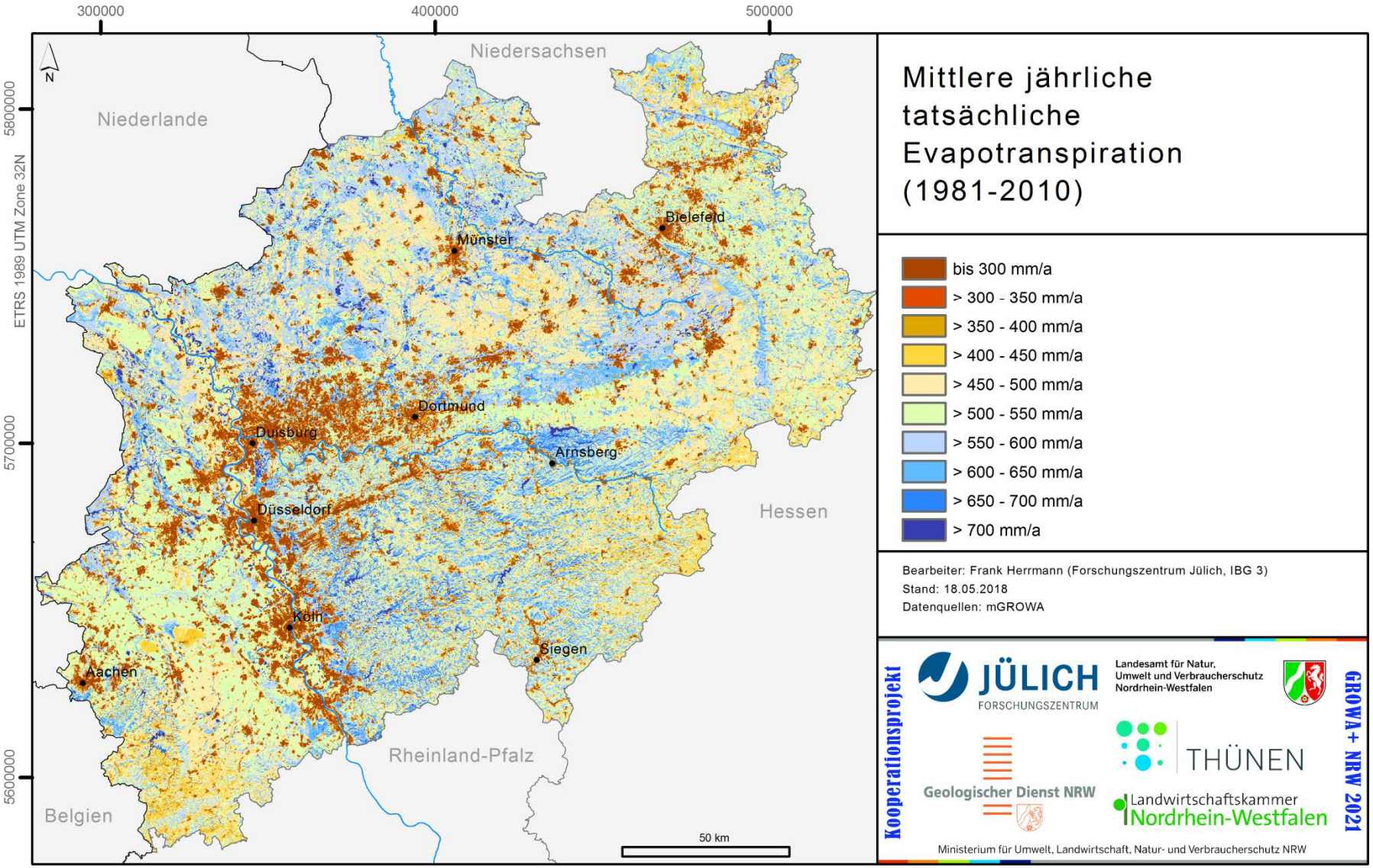
Bei hohem Defizit sinkt die Wasser und Nährstoff-aufnahme der Vegetation, es besteht ab 60 % Defizit ***Beregnungsbedarf!*** (entspricht 40 % nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum)

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

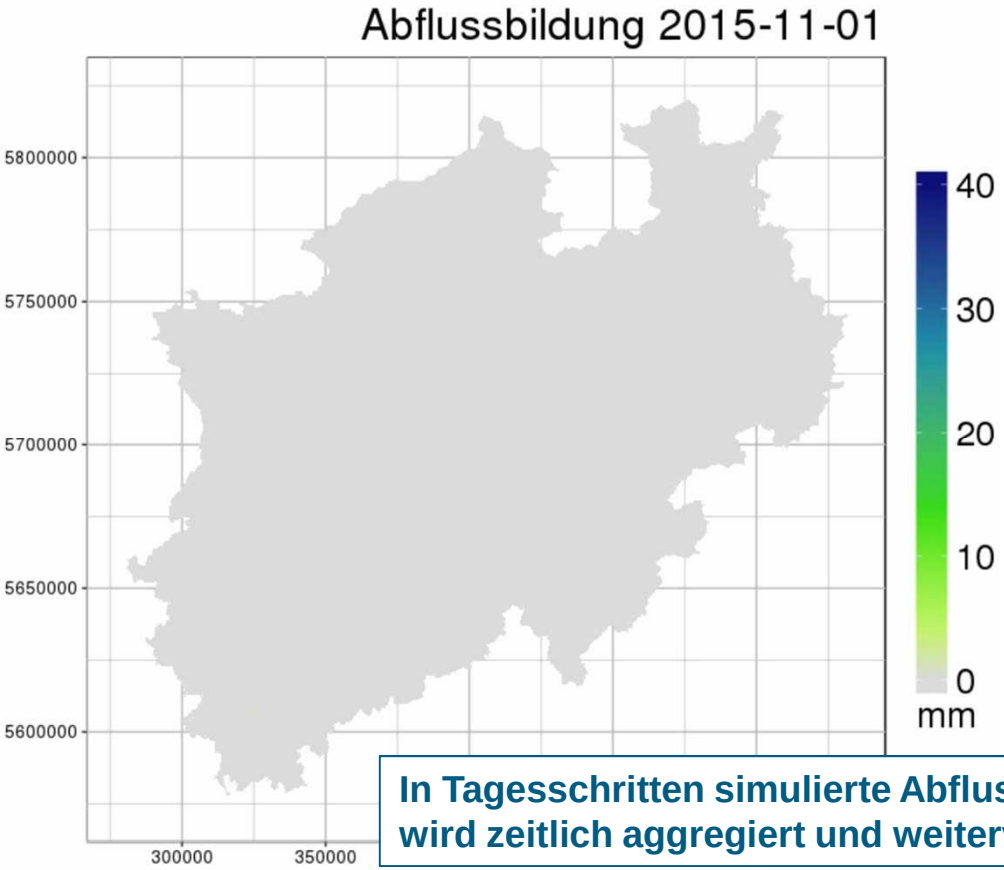


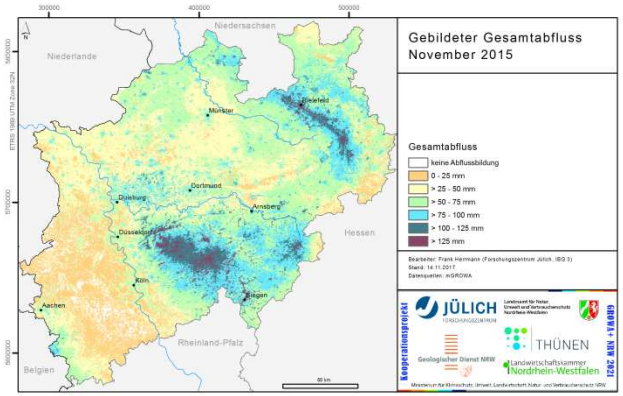
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

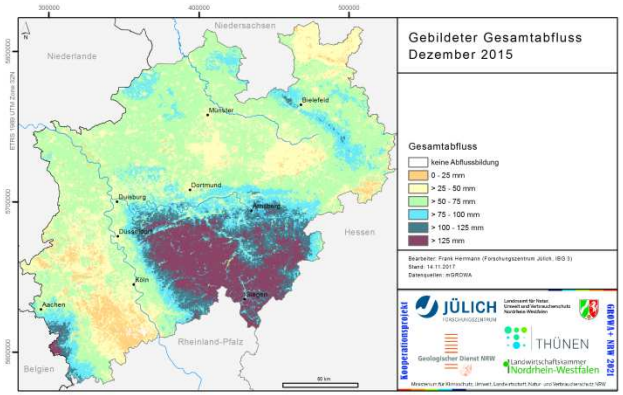
Mittlere jährliche tatsächliche Evapotranspiration (1981-2010) in mm/a



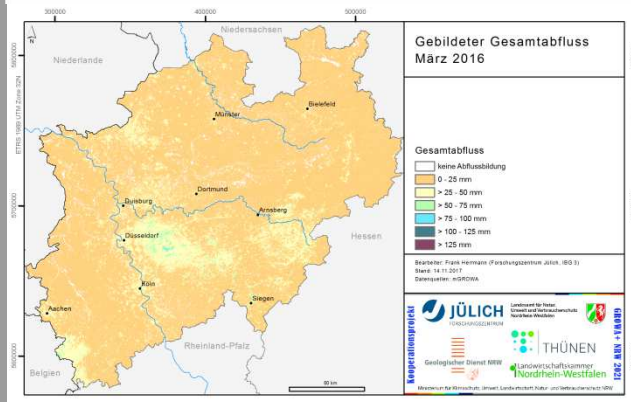
mGROWA – Abflussbildung

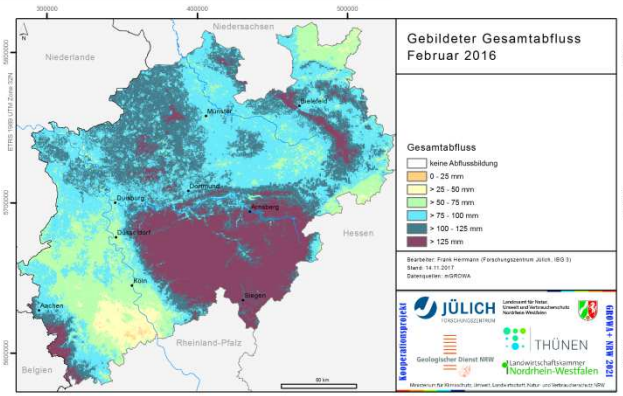


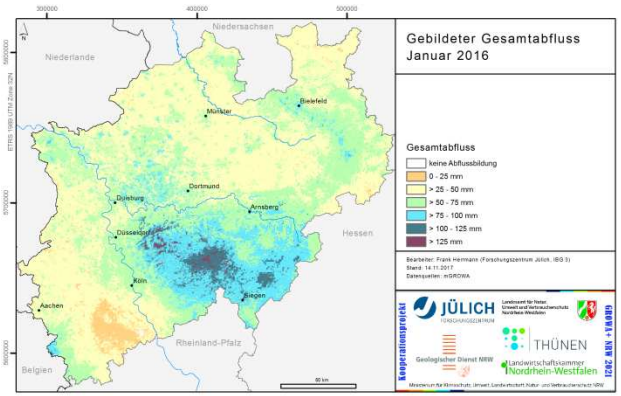




In Tagesschritten simulierte Abflussbildung wird zeitlich aggregiert und weiterverarbeitet

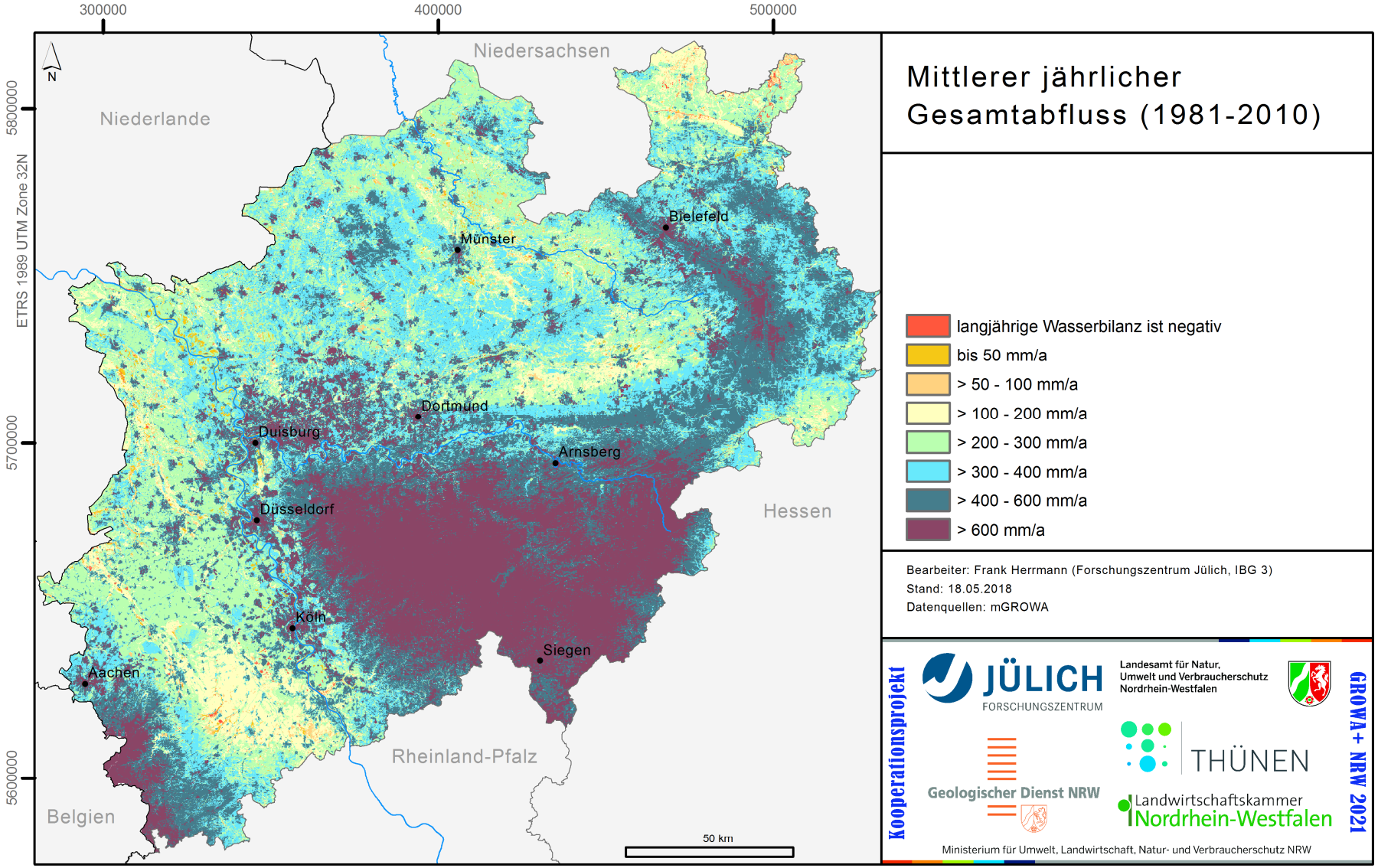






Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

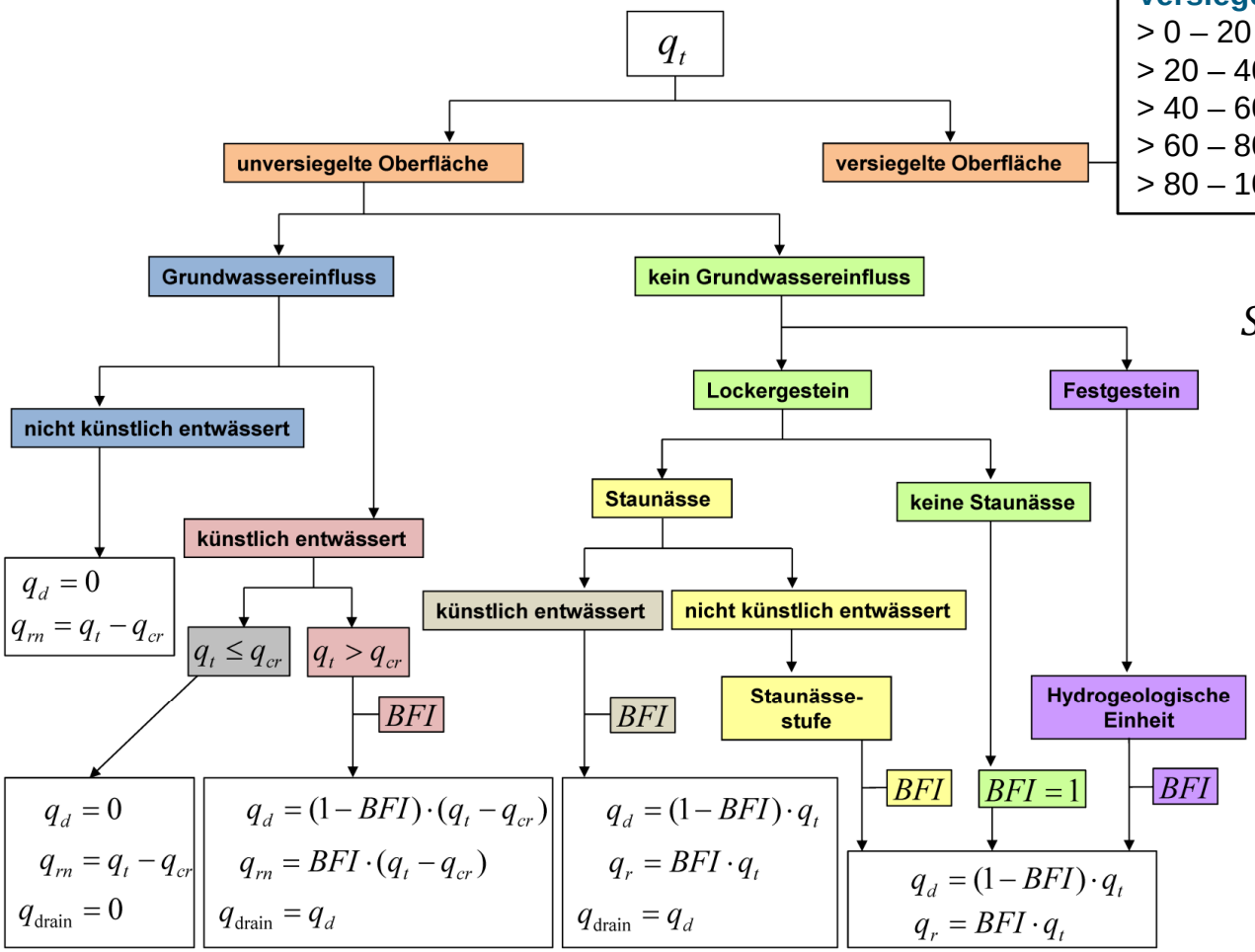
Mittlerer jährlicher Gesamtabfluss (1981-2010) in mm/a



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – Separation des Gesamtabflusses in Grundwasserneubildung und Direktabflusskomponenten

Grundwasserneubildung und Direktabfluss von urbanen Flächen



Versiegelungsgrad	SSPI
> 0 – 20 %	0.5
> 20 – 40 %	0.4
> 40 – 60 %	0.3
> 60 – 80 %	0.2
> 80 – 100 %	0.1

$$SSPI = \frac{Versickerung}{Abfluss\ von\ versiegelten\ Flächen}$$

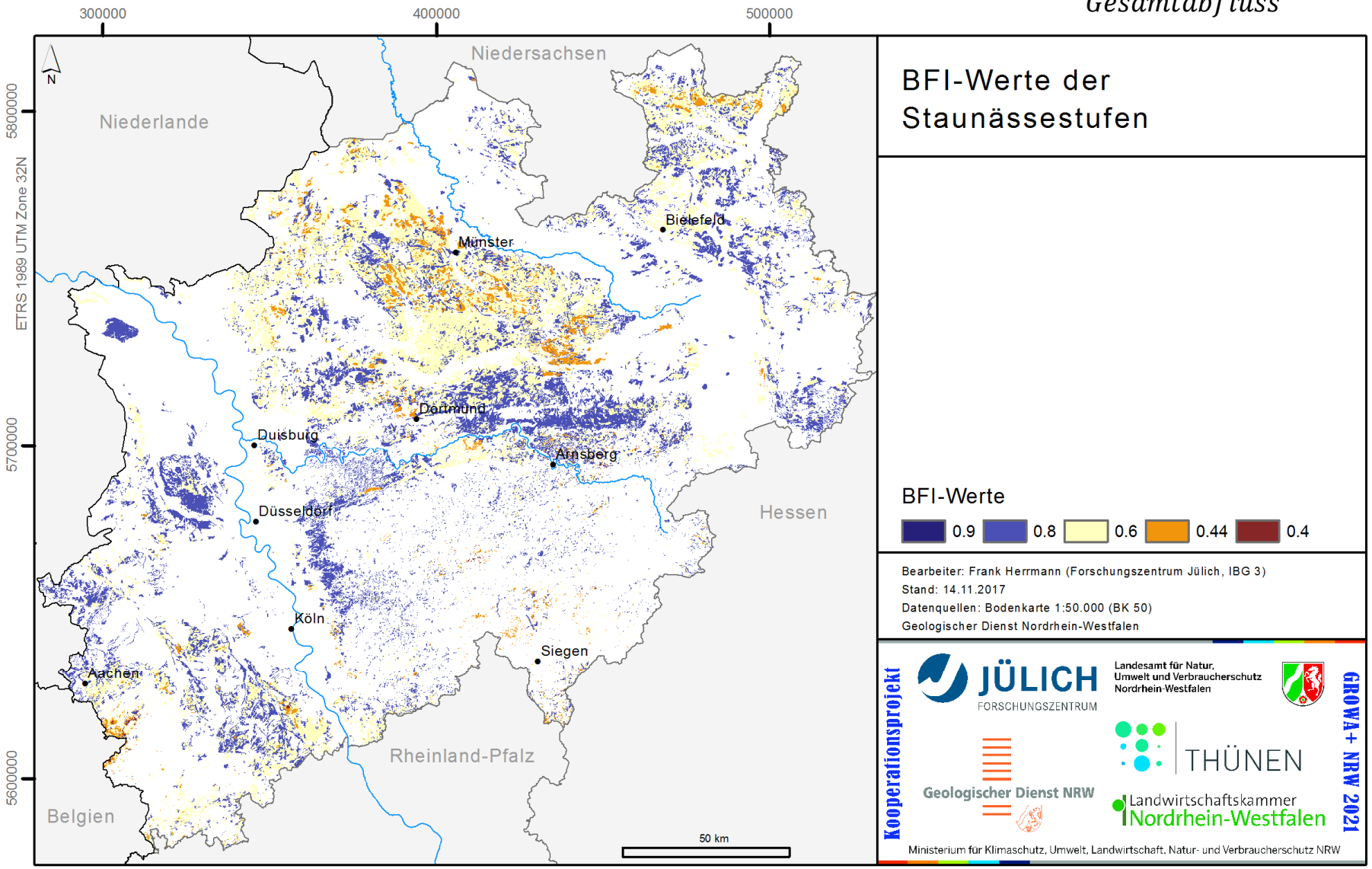
$$BFI = \frac{Grundwasser - neubildung}{Gesamtabfluss}$$

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

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

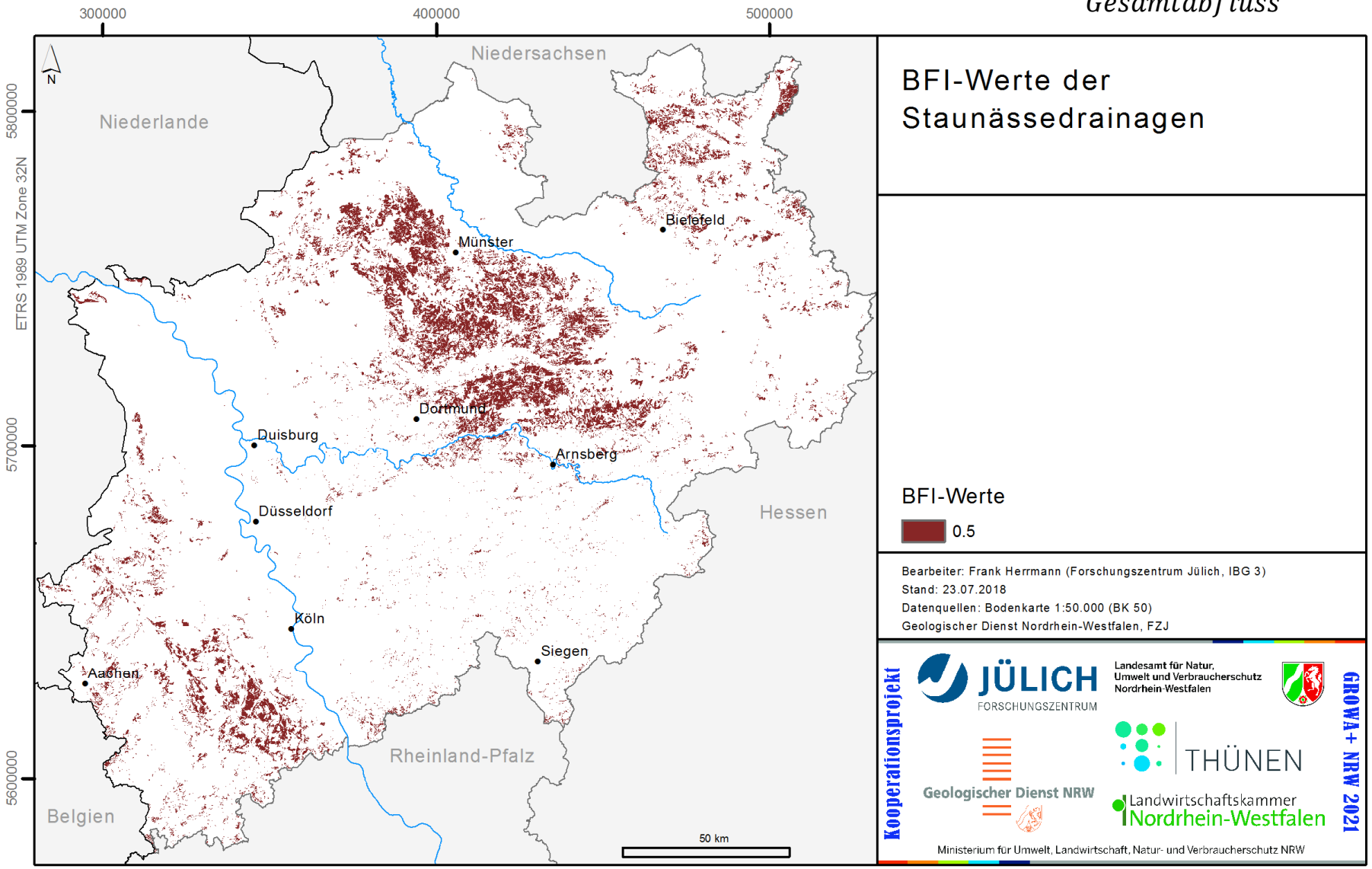
BFI-Werte der Staunässestufen der BK50

$$BFI = \frac{Grundwasserneubildung}{Gesamtabfluss}$$

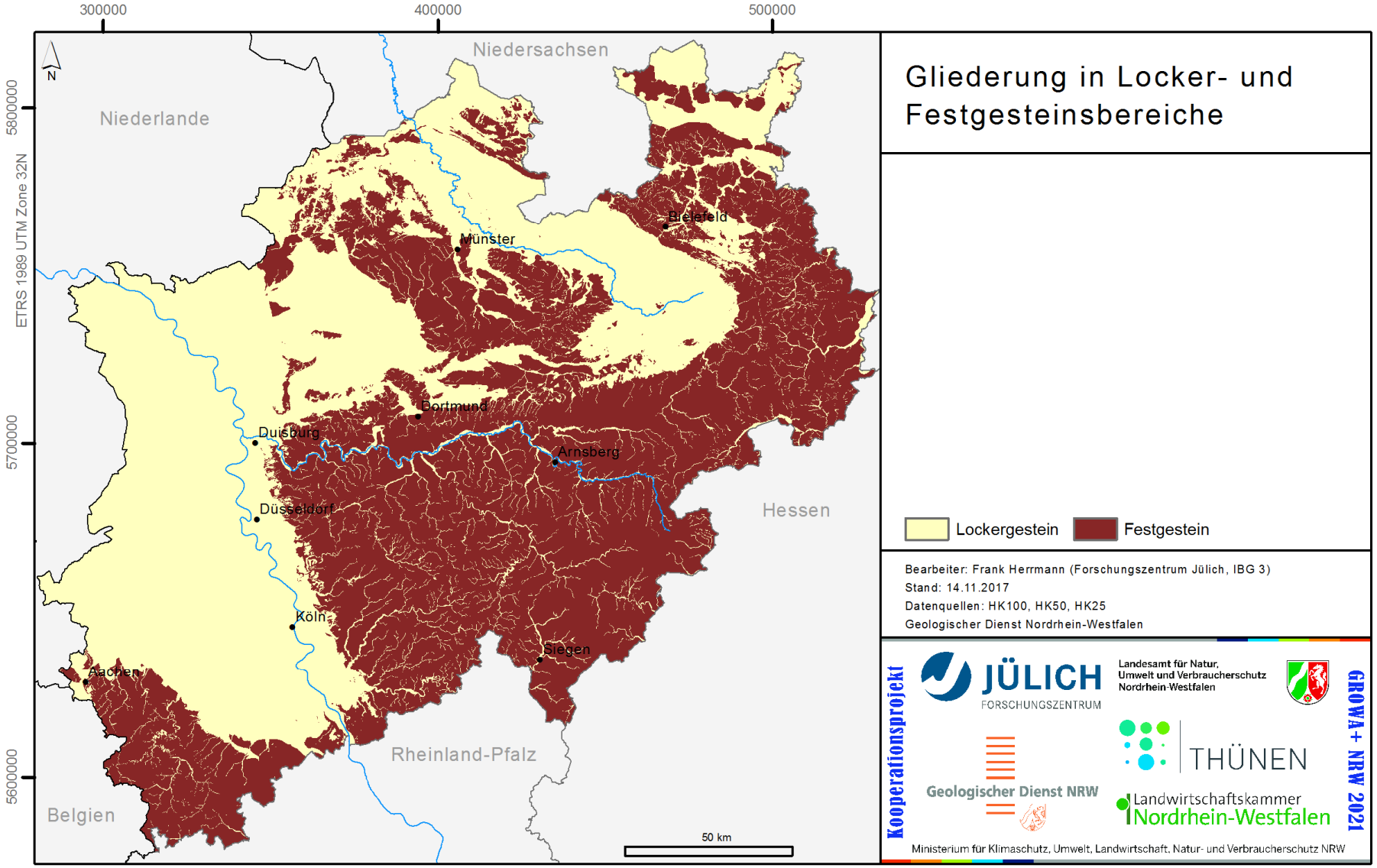


BFI-Werte der Staunässedrainagen

$$BFI = \frac{Grundwasserneubildung}{Gesamtabfluss}$$

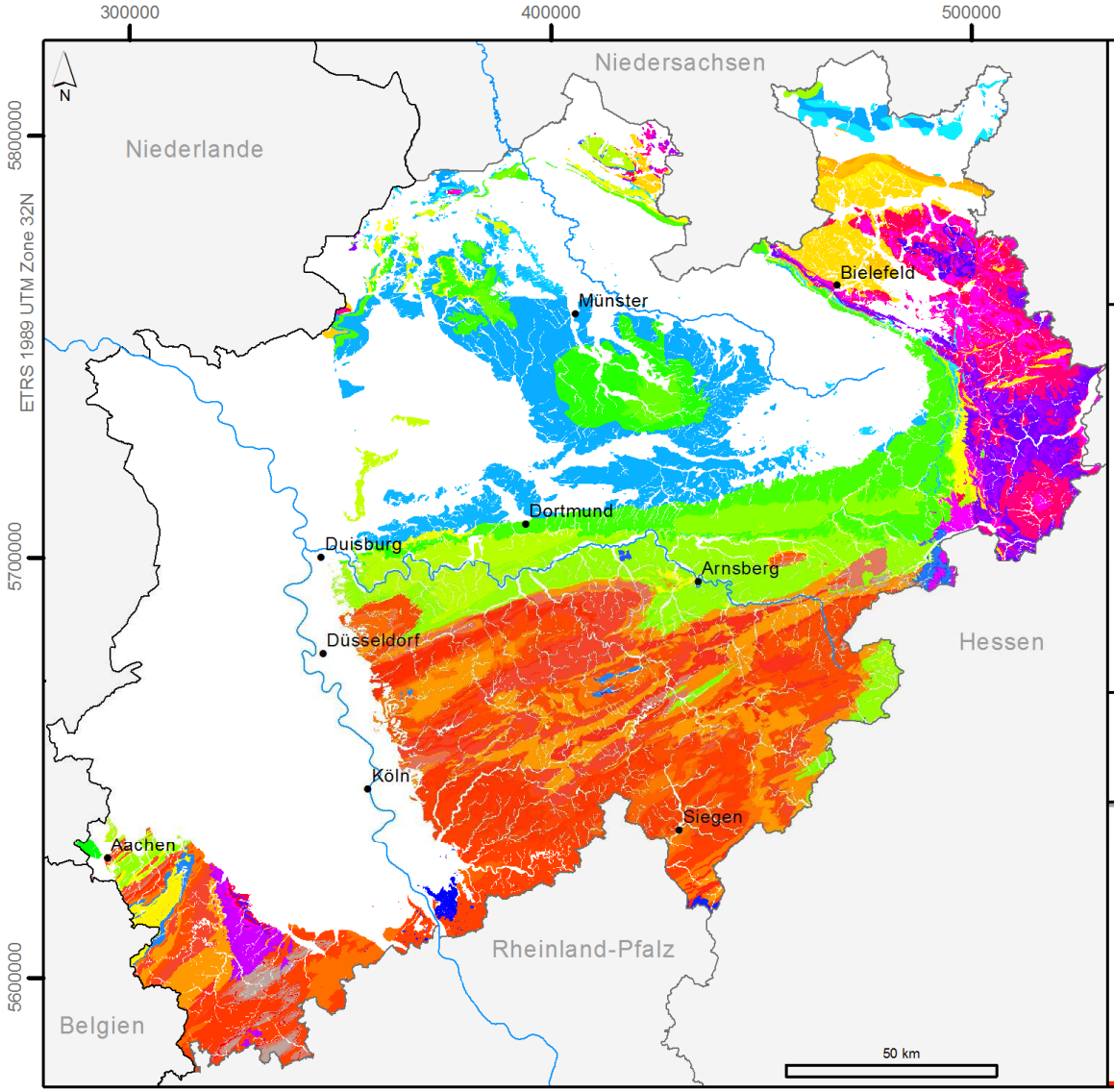


Gliederung in Locker- und Festgesteinsbereiche



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Hydrogeologische Einheiten im Festgesteinsbereich



196 hydrogeologische Einheiten des obersten Grundwasserleiters im Festgestein

→ Jeder dieser Einheiten kann in mGROWA ein individueller BFI-Wert zugewiesen werden

Bearbeiter: Frank Herrmann (Forschungszentrum Jülich, IBG 3)
Stand: 14.11.2017
Datenquellen: HK100, HK50, HK25
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen

Kooperationsprojekt
JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Geologischer Dienst NRW
THÜNEN
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
GROWA+ NRW 2021
Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW

BFI-Werte für hydraulische Durchlässigkeit im Festgestein

$$BFI = \frac{Grundwasserneubildung}{Gesamtabfluss}$$

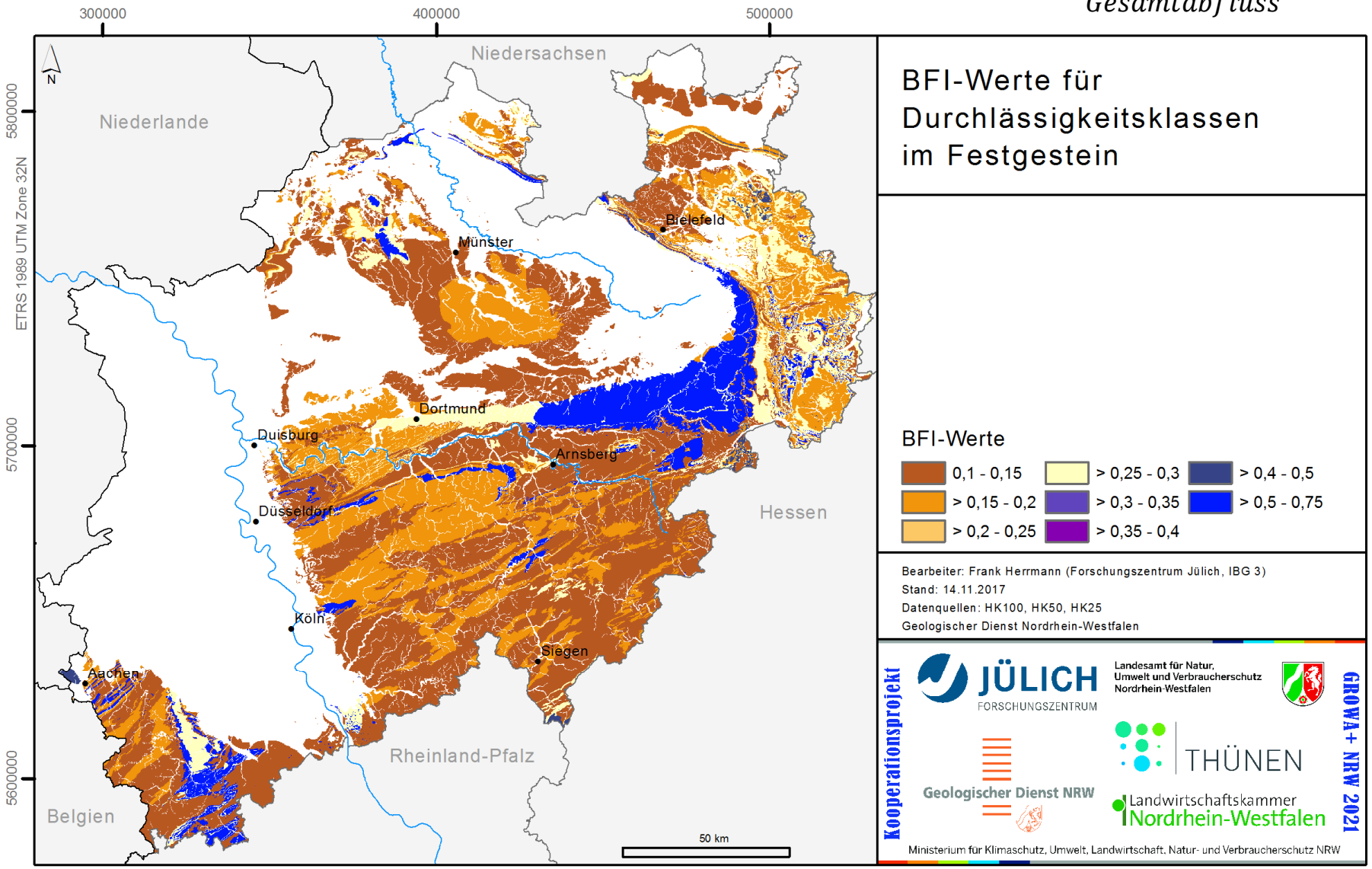
kf-ID	Bezeichnung	Durchlässigkeit	BFI
II	hoch	$>10^{-3}$ - 10^{-2} m/s	0.6
III	mittel	$>10^{-4}$ - 10^{-3} m/s	0.5714
III-IV	mittel bis mäßig	$>10^{-5}$ - 10^{-3} m/s	0.43
IV	mäßig	$>10^{-5}$ - 10^{-4} m/s	0.2872
IV-V	mäßig bis gering	$>10^{-6}$ - 10^{-4} m/s	0.2
V	gering	$>10^{-7}$ - 10^{-5} m/s	0.1804
V-VII	gering bis äußerst gering	$<10^{-5}$ m/s	0.15
VI	sehr gering	$>10^{-9}$ - 10^{-7} m/s	0.1186

- Einteilungen für HK100, HK50, HK25 des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen
- BFI-Werte für Durchlässigkeit aus älteren GROWA/mGROWA Modellierungen

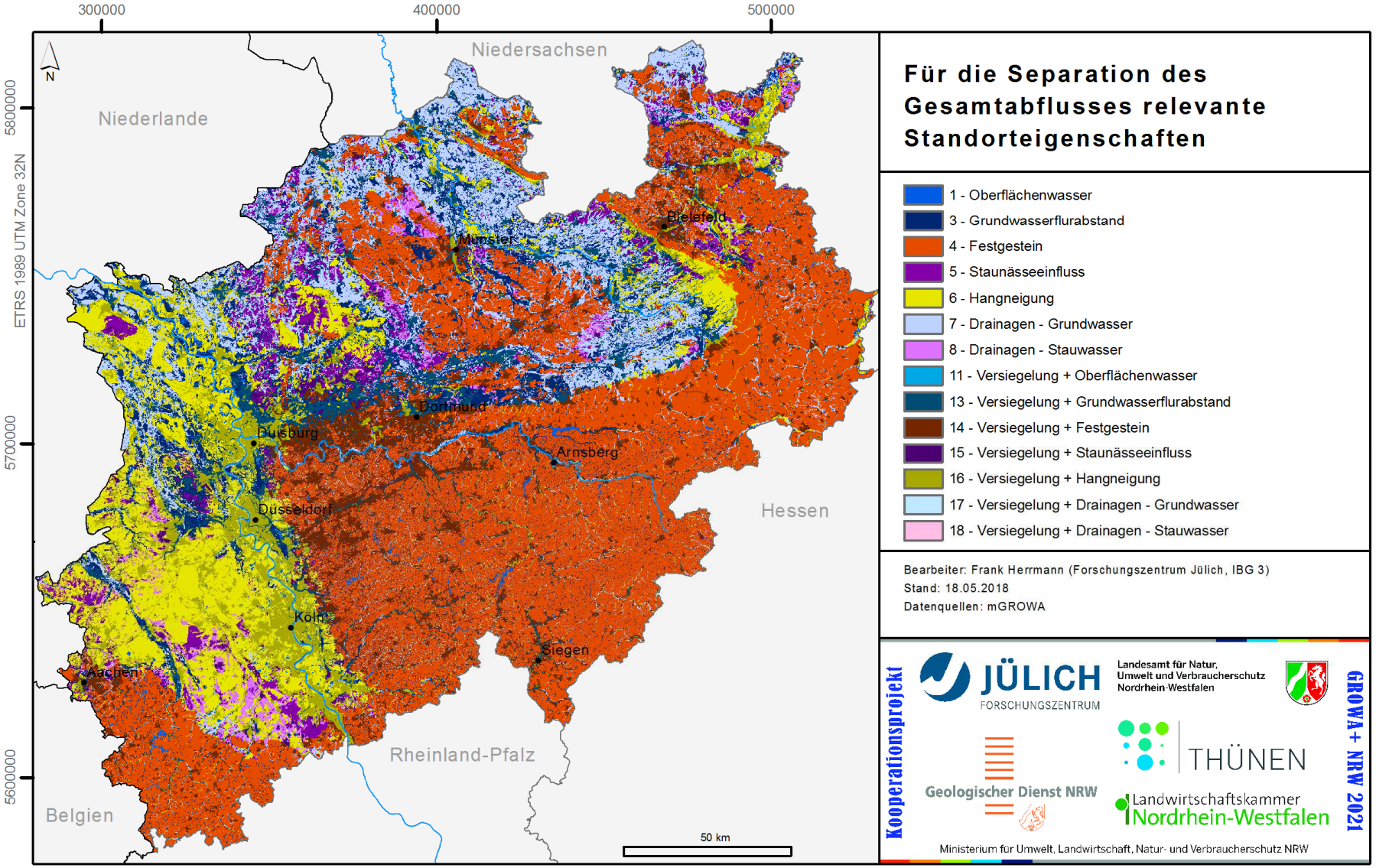
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

BFI-Werte der Durchlässigkeitsklassen im Festgestein

$$BFI = \frac{Grundwasserneubildung}{Gesamtabfluss}$$



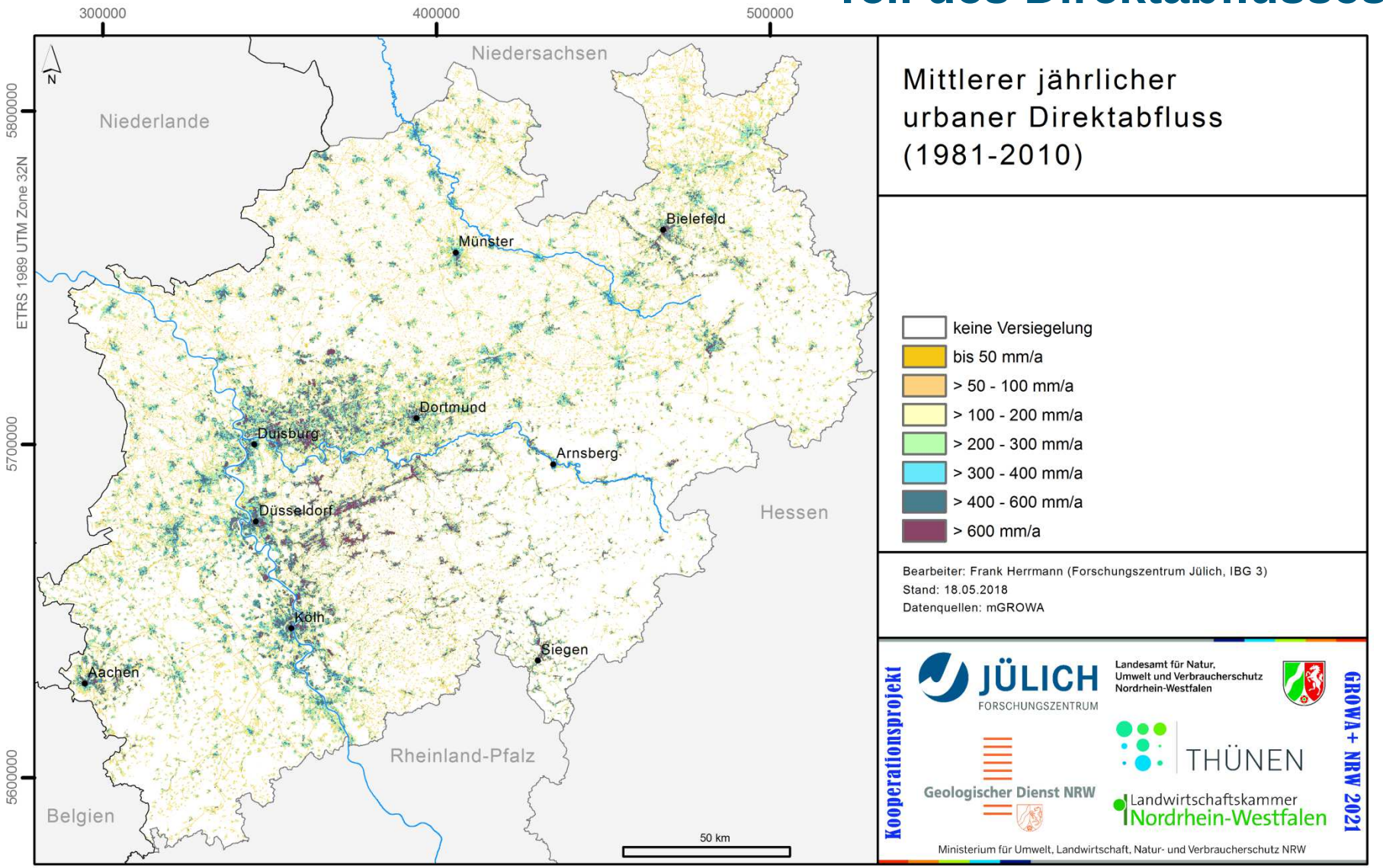
Für die Separation des Gesamtabflusses relevante Standorteigenschaften



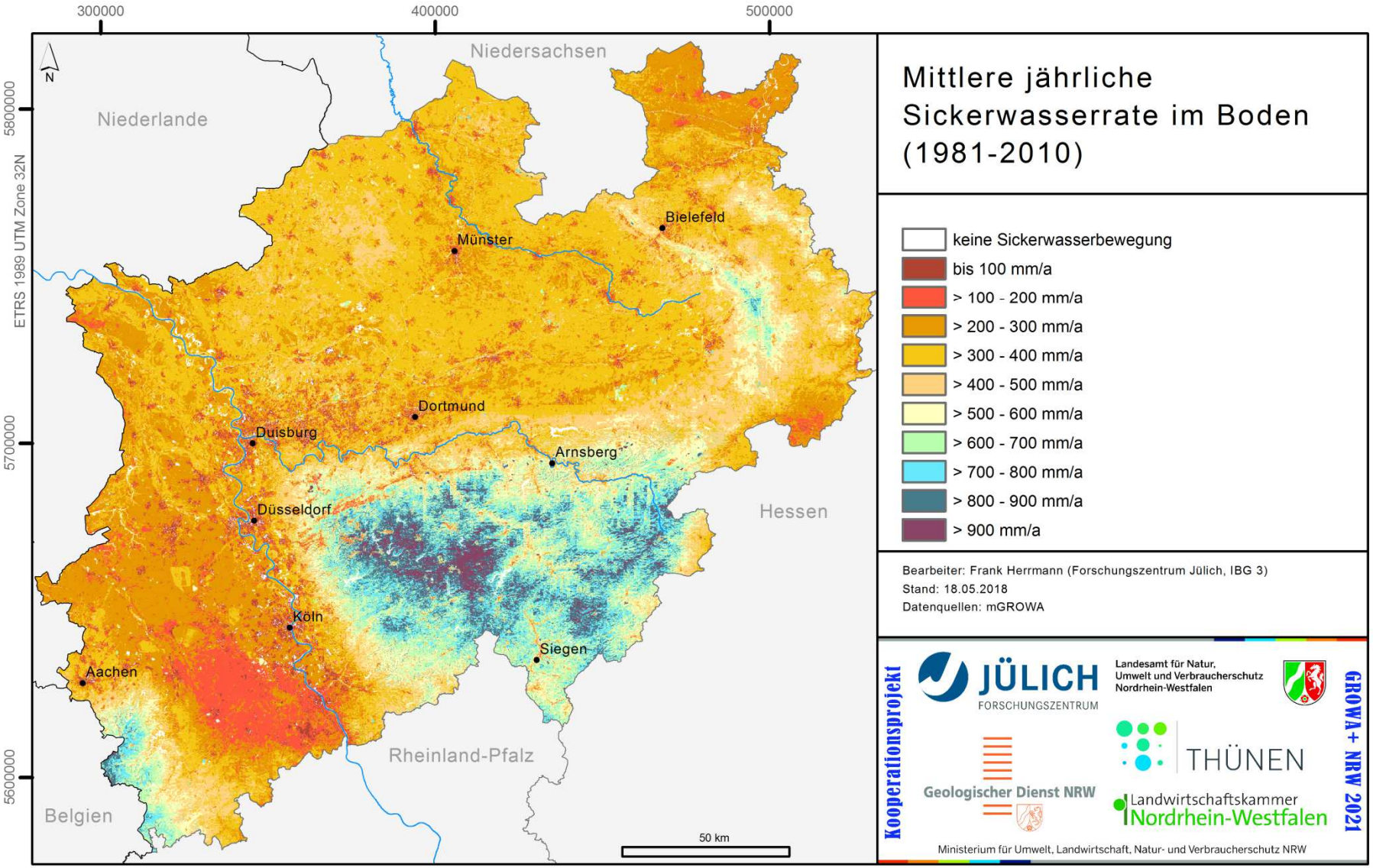
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Mittlerer jährlicher urbaner Direktabfluss (1981-2010) in mm/a

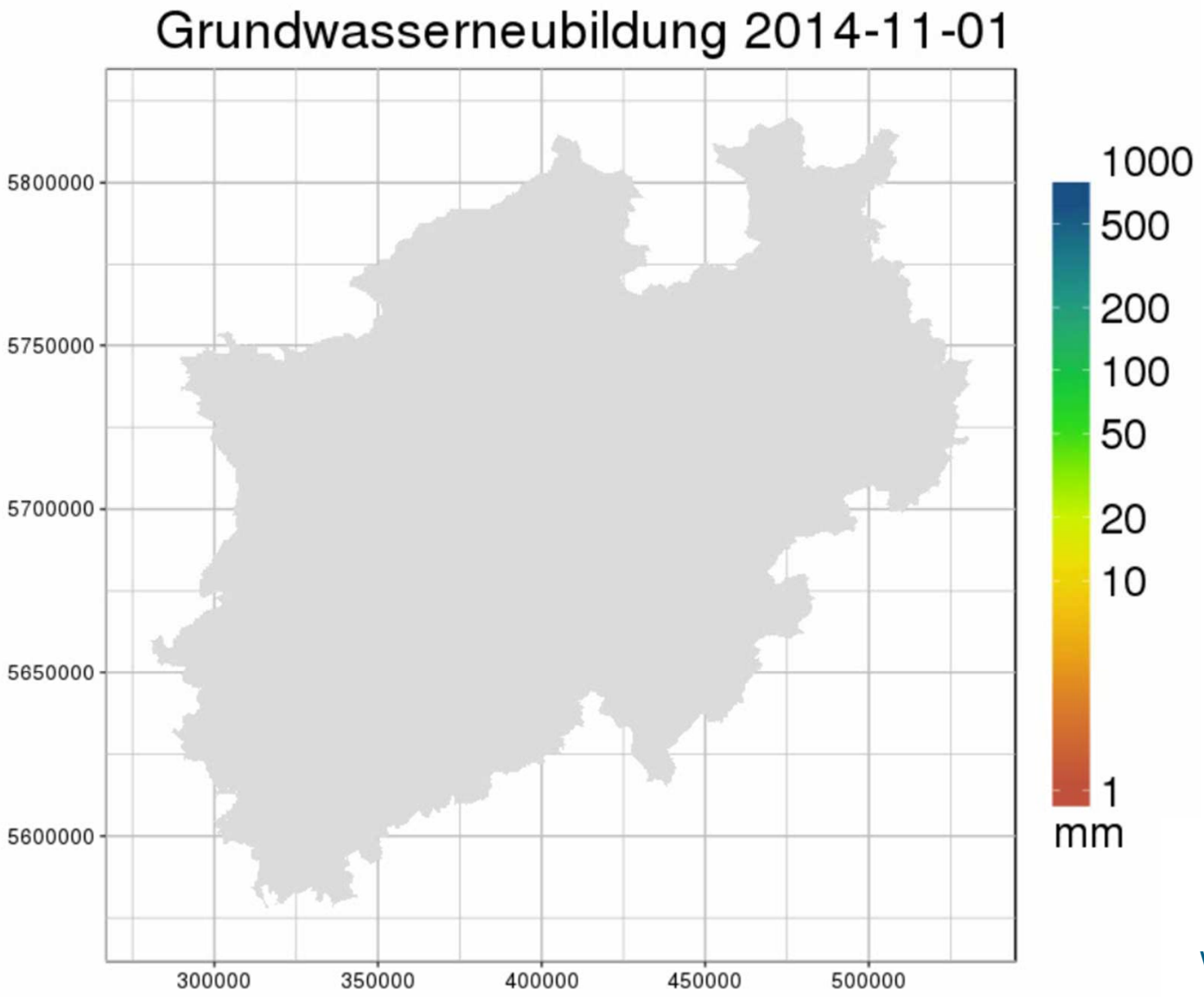
Teil des Direktabflusses



Mittlere jährliche Sickerwasserrate im Boden (1981-2010) in mm/a



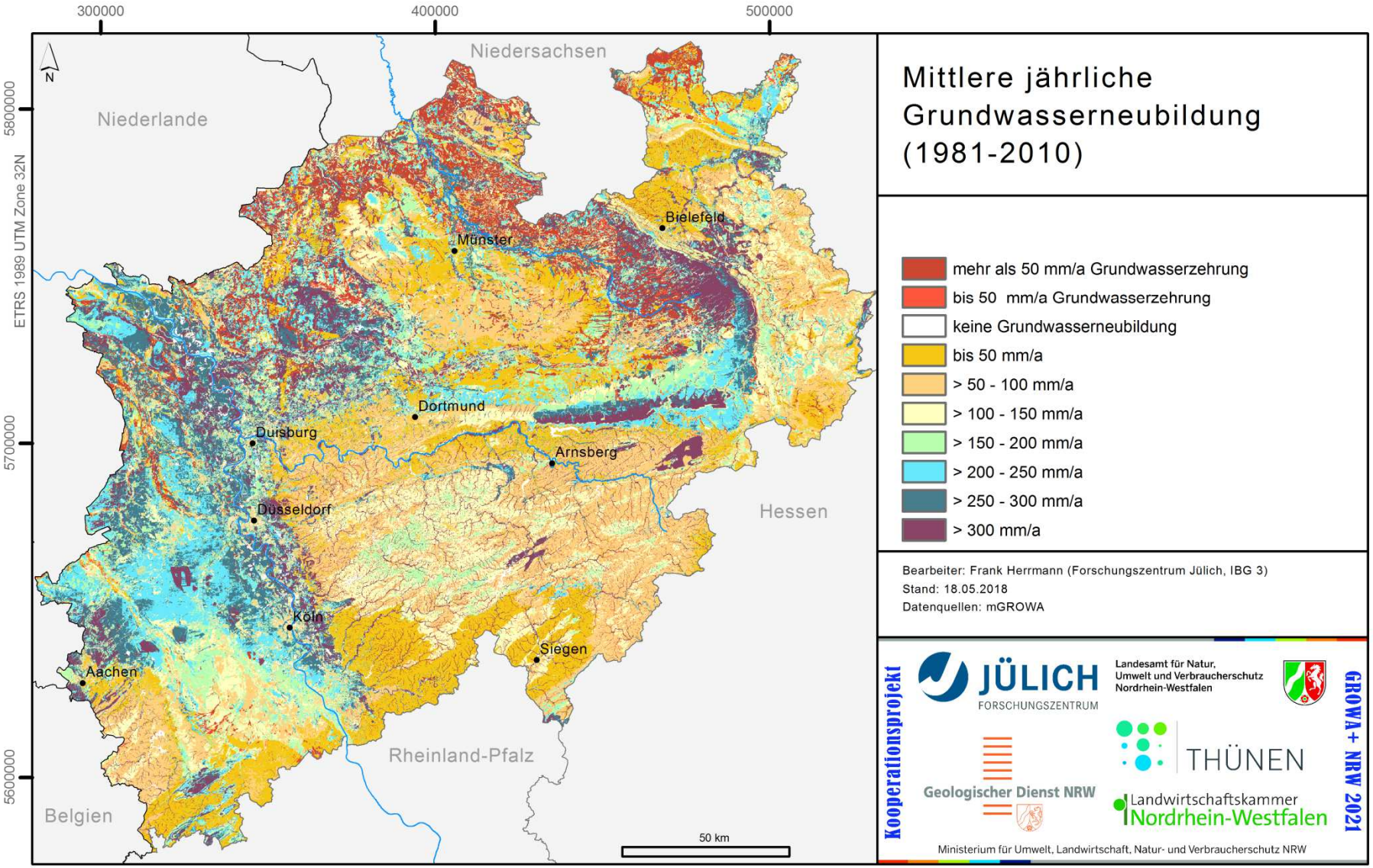
mGROWA – Grundwasserneubildung



Gezeigt werden hier die kumulierten Werte im Verlauf des Wasserwirtschaftsjahres auf Standorten ohne Grundwasserdrainage

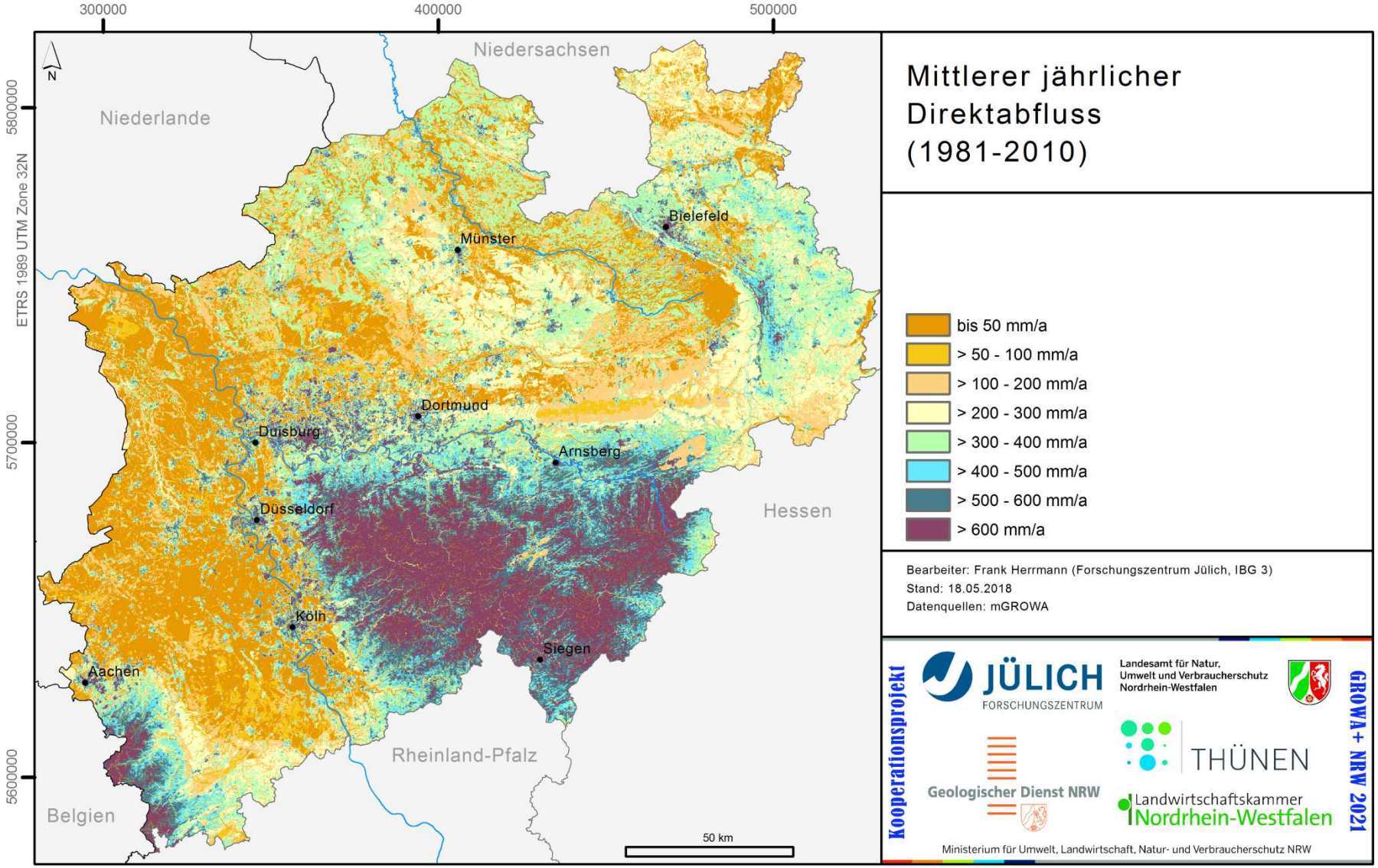
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Mittlere jährliche Grundwasserneubildung (1981-2010) in mm/a



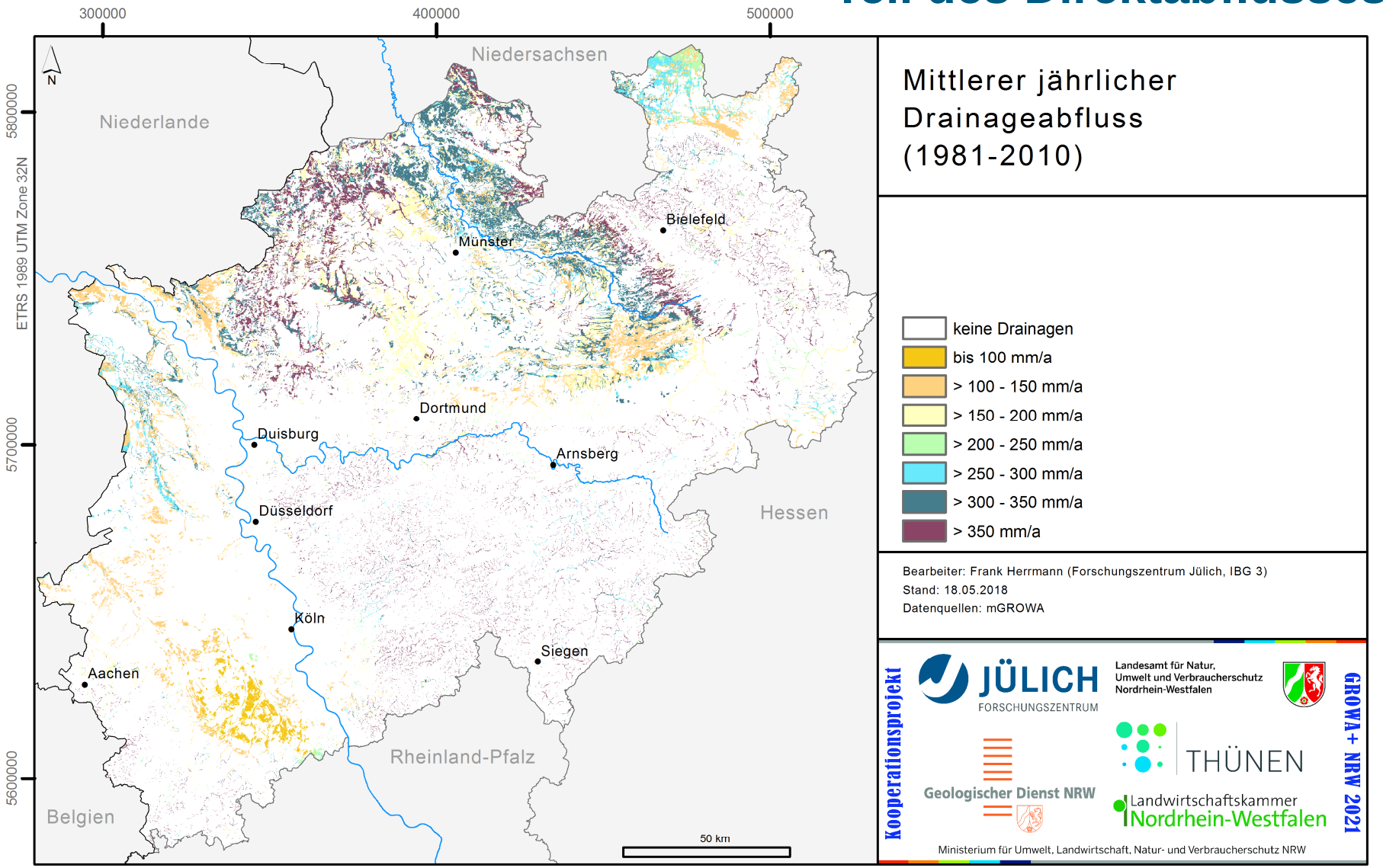
Mittlerer jährlicher Direktabfluss (1981-2010) in mm/a

Summe aus Oberflächenabfluss, urbaner Direktabfluss, Zwischenabfluss, Dränabfluss



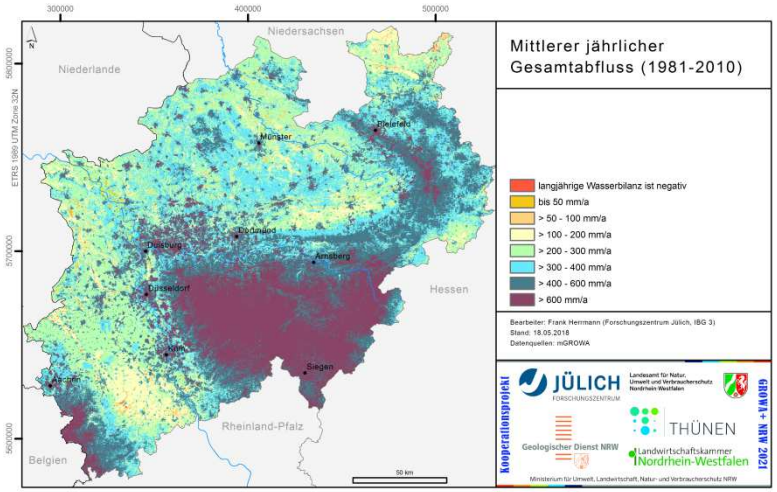
Mittlerer jährlicher Drainageabfluss (1981-2010) in mm/a

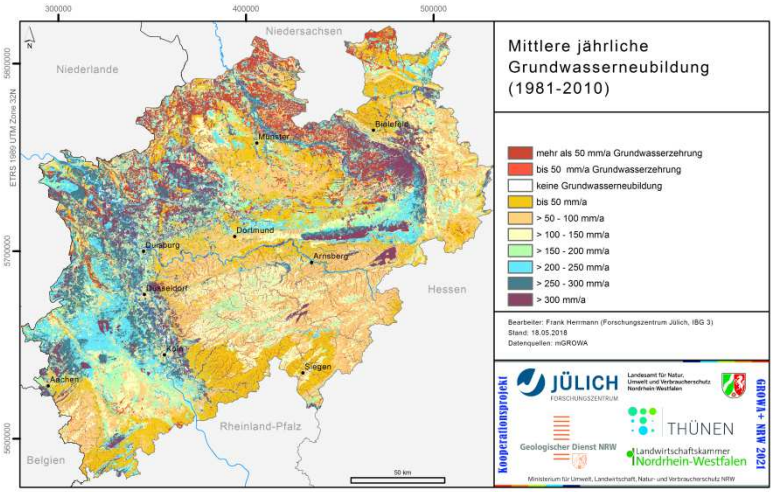
Teil des Direktabflusses



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Evaluierung des mittleren jährlichen Gesamtabflusses und der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung der Periode 1981-2010





Wie gut passen die aus den Abflusszeitreihen für die Gewässerpegeln in NRW berechneten MQ und MoMNQ-Werte mit den für diese Einzugsgebiete (EZG) von mGROWA berechneten mittlere Gesamtabfluss- und Grundwasserneubildungswerten zusammen?

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

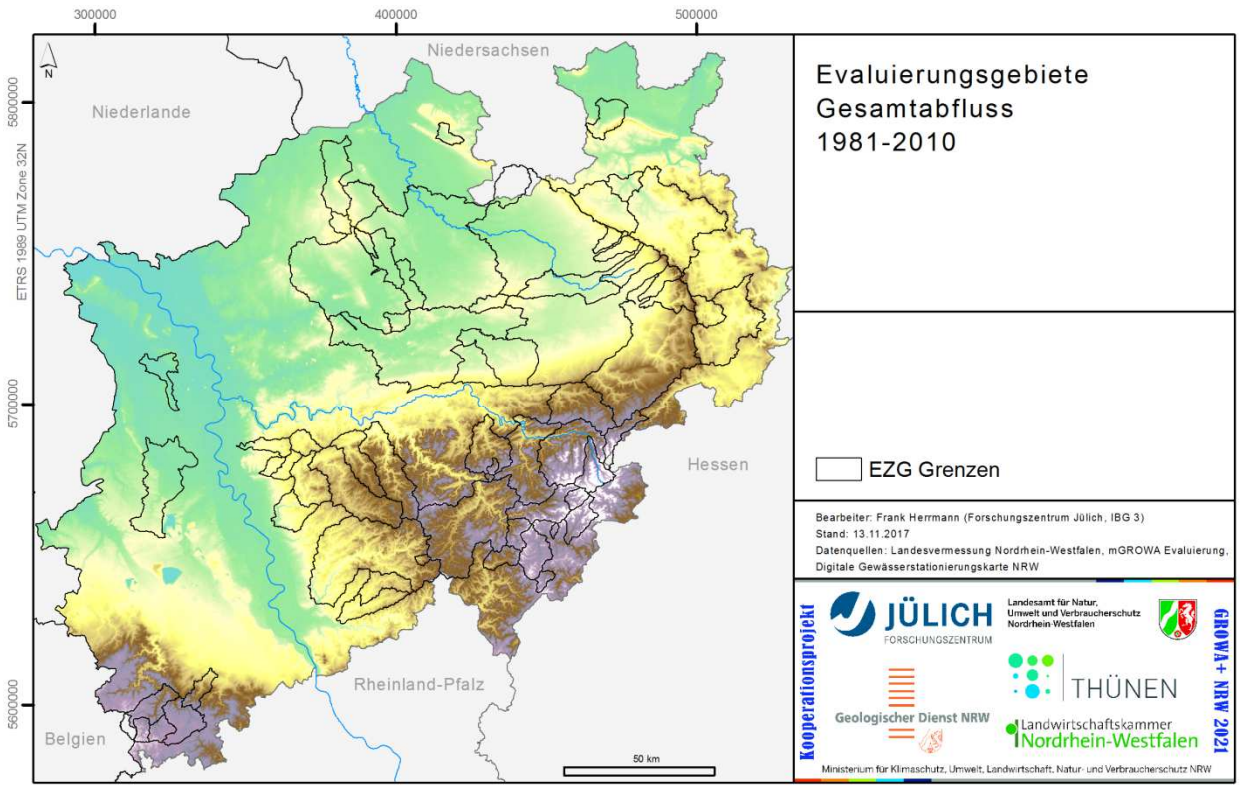
Datenbasis für die Evaluierung der mGROWA-Ergebnisse

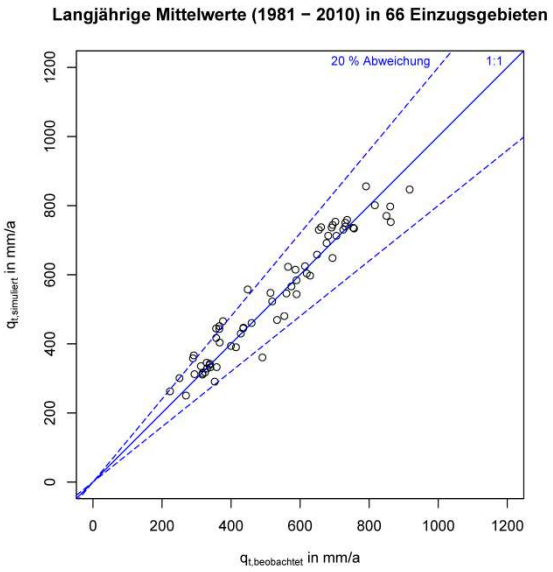
- Datenbank mit Abflusszeitreihen für 233 Pegel in NRW und dazugehörige Einzugsgebietsgrenzen.
- Insgesamt liegen Abflusszeitreihen für die Zeitspanne 01.11.1979 bis 31.01.2014 vor.
- Die Abflusszeitreihen einzelner Pegel sind jedoch teilweise deutlich kürzer und weisen auch Lücken auf, d.h. sie decken die Evaluierungsperiode 1981-2010 nicht ausreichend ab.
- **Vielfältige wasserwirtschaftliche Maßnahmen und wasserbauliche Einrichtungen beeinflussen das natürlichen Abflussgeschehen und die Abflussstatistik .**

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Für die Evaluierung des Gesamtabflusses verwendete EZG

- Insgesamt wurden 66 EZG für die Evaluierung des Gesamtabflusses anhand eines Kriterienkataloges selektiert.
- In der Evaluierung unberücksichtigt blieben außerdem EZG, für die eine Eignung anhand der Datenlage nicht abschließend geklärt werden konnte, jedoch große Differenzen zwischen simuliertem Gesamtabfluss und berechnetem MQ bestanden.





Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Statistische Kennzahlen zum Vergleich von beobachteten mit simulierten Abflusswerten

- **Nash-Sutcliffe Modelleffizienz (NSE)** gibt an, wie gut beobachteter und simulierter Abfluss übereinstimmen (Nash & Sutcliffe, 1970).

$$\mathrm{NSE_C} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{m}(A_{C,j} \cdot (q_{obs,j} - q_{sim,j})^2)}{\sum_{j=1}^{m}(A_{C,j} \cdot (q_{obs,j} - q_{obs,A_{CV}})^2)}$$

Hoher Wert zwischen 0 und 1 kennzeichnet gute Modellperformance

- **Prozentuale Verzerrung (PBIAS)** misst die durchschnittliche Tendenz, dass durch die Simulation die beobachteten Abflüsse über-/unterschätzt werden (Gupta et al., 1999).

$$\mathrm{PBIAS_C} = \frac{\sum_{j=1}^{m}(A_{C,j} \cdot (q_{obs,j} - q_{sim,j}) \cdot 100)}{\sum_{j=1}^{m}(A_{C,j} \cdot q_{obs,j})}$$

Wert nahe 0 zeigt keine generelle Tendenz zum Über- oder Unterschätzen
Negative Werte bedeuten Überschätzung, positive Werte bedeuten Unterschätzung

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

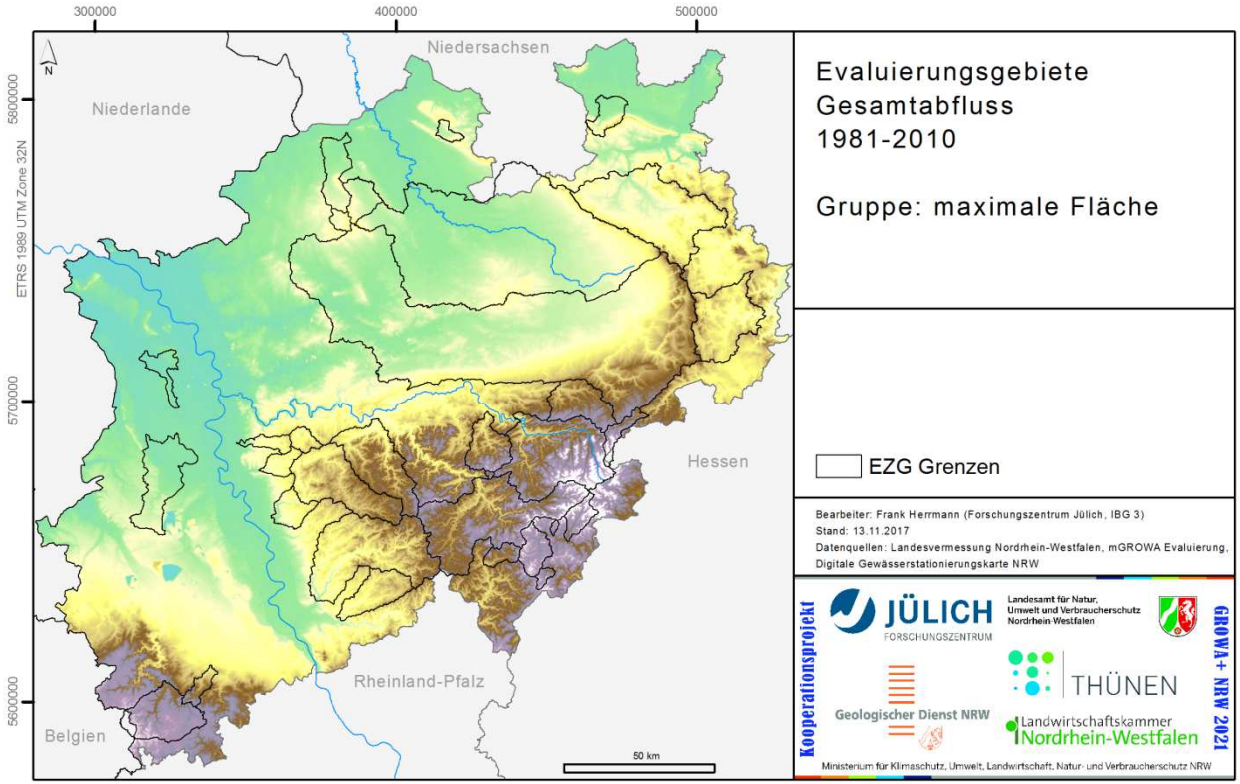
Evaluierung des Gesamtabflusses
Gruppe: Maximale Fläche

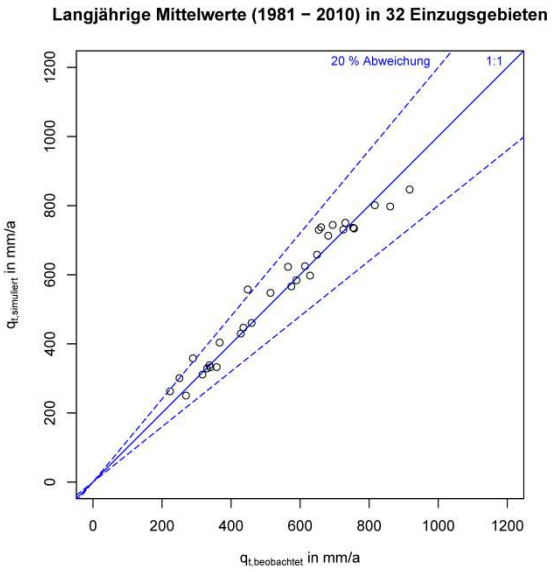
32 Einzugsgebiete

NSE_C = 0,94

$PBIAS_C$ = -5,2 %

- Sehr gute Modellperformance
- Leichte Tendenz zum Überschätzen des Gesamtabflusses





Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Evaluierung des Gesamtabflusses Gruppe: kleine EZG im Oberlauf

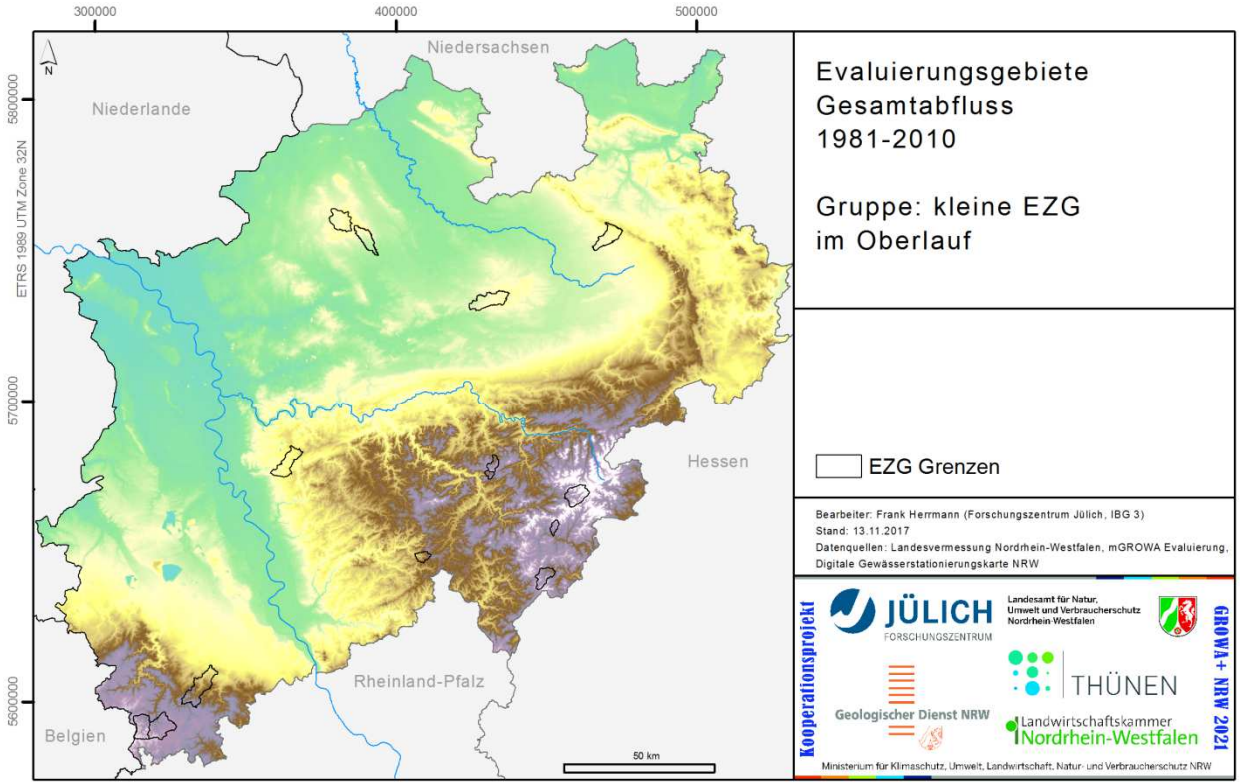
Der Abfluss aus kleinen EZG im Oberlauf ist häufig nur gering anthropogen beeinflusst

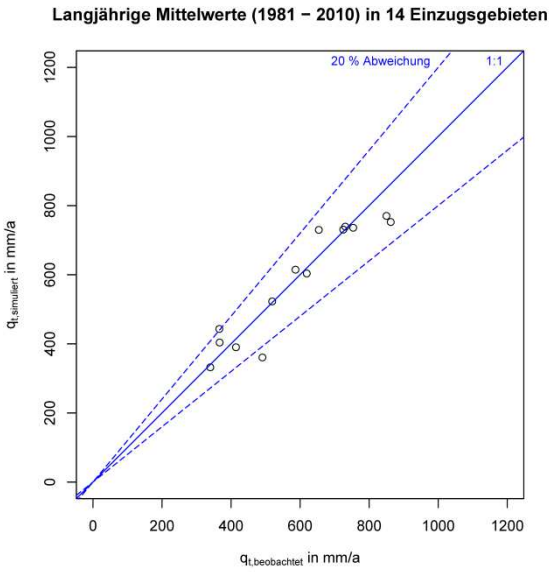
14 Einzugsgebiete

NSE_C = 0,88

$PBIAS_C$ = 1,9 %

- Sehr gute Modellperformance
- Leichte Tendenz zum Unterschätzen des Gesamtabflusses





Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

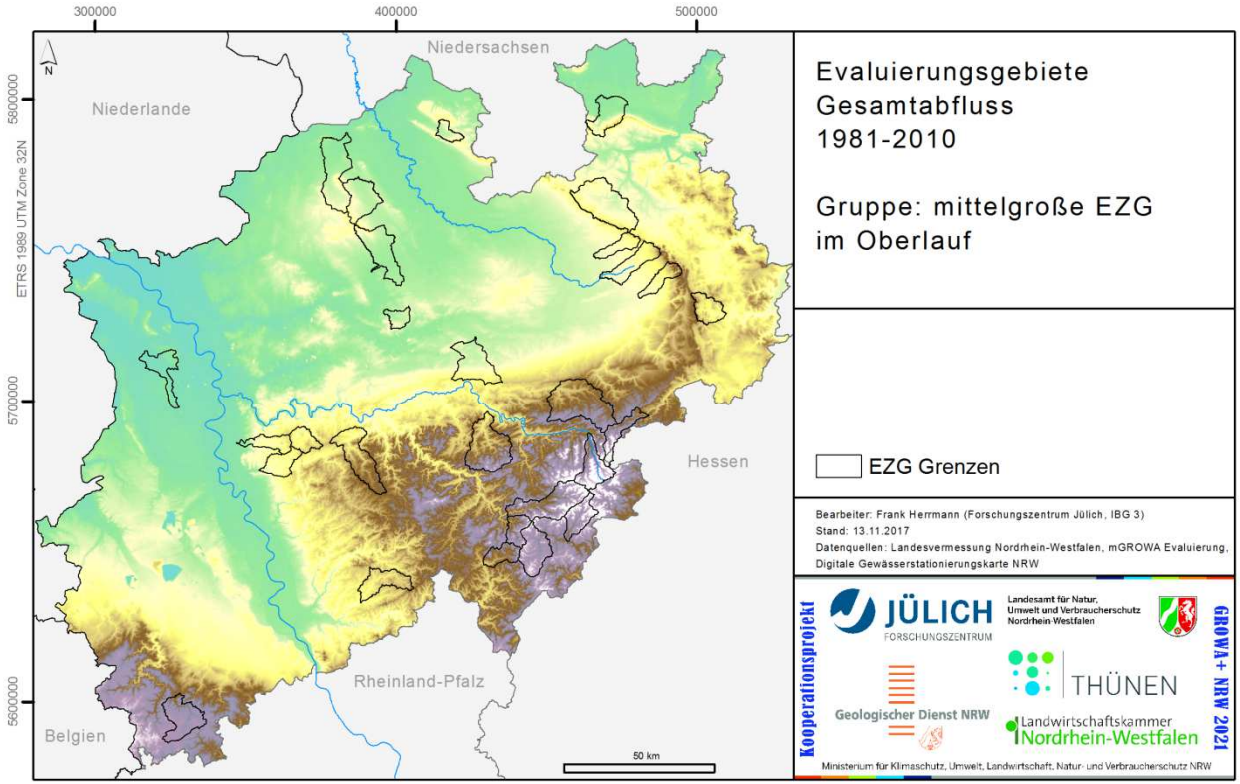
Evaluierung des Gesamtabflusses
Gruppe: mittelgroße EZG im Oberlauf

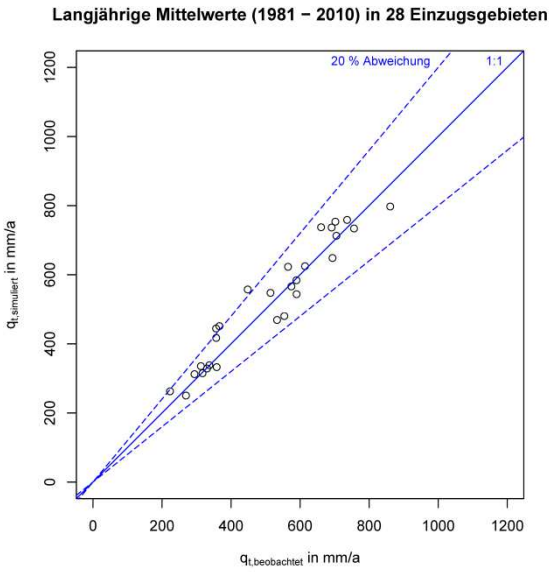
Der Abfluss aus mittleren EZG im Oberlauf kann z.B. durch Talsperren beeinflusst sein

28 Einzugsgebiete

NSE_C = 0,9 — Sehr gute Modellperformance

$PBIAS_C$ = -3,3 % — Leichte Tendenz zum Überschätzen des Gesamtabflusses





Evaluierung des Gesamtabflusses Gruppe: große EZG im Oberlauf

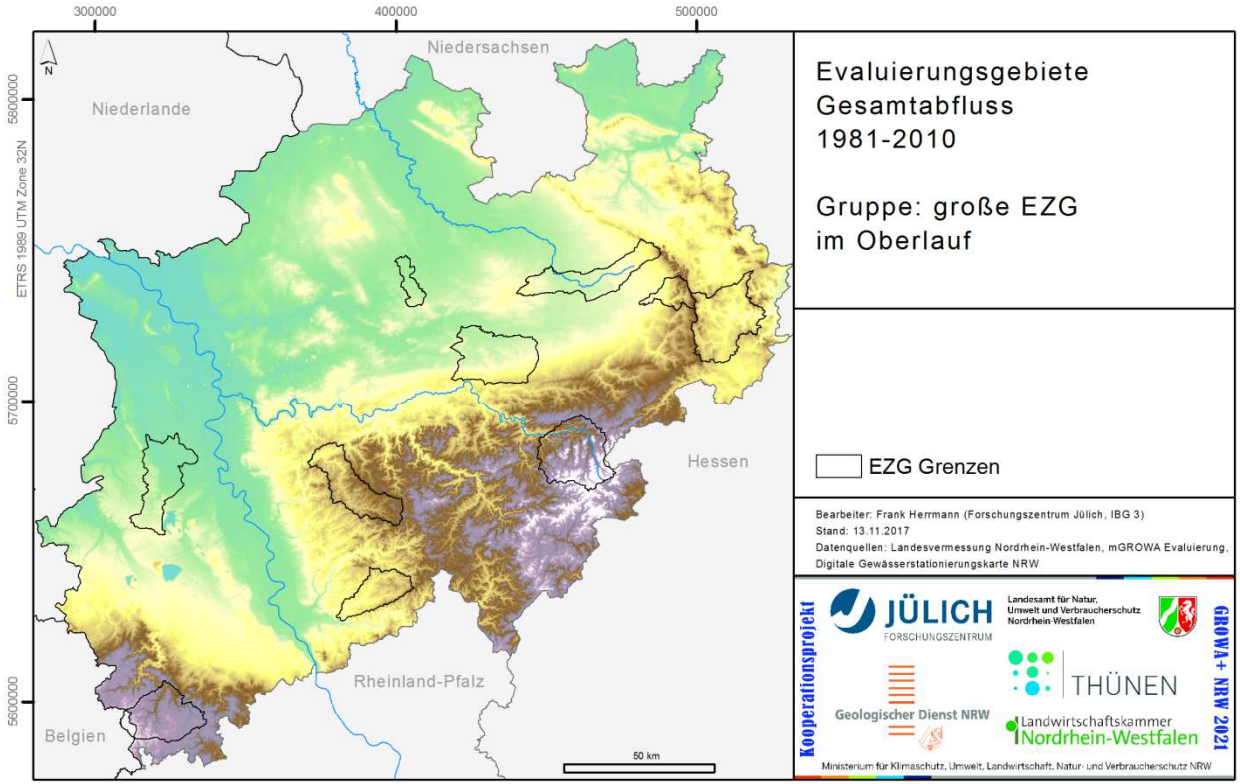
Der Abfluss aus großen EZG im Oberlauf kann z.B. durch Talsperren beeinflusst sein

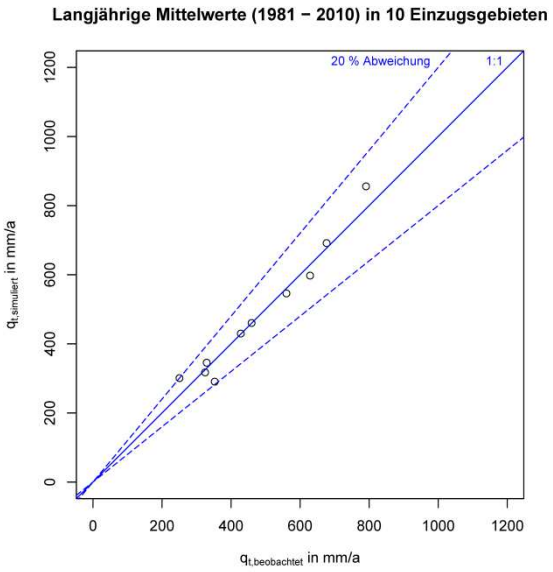
10 Einzugsgebiete

NSE_C = 0,96

$PBIAS_C$ = -1,2 %

- Sehr gute Modellperformance
- Leichte Tendenz zum Überschätzen des Gesamtabflusses





Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Evaluierung des Gesamtabflusses Gruppe: EZG im Mittellauf

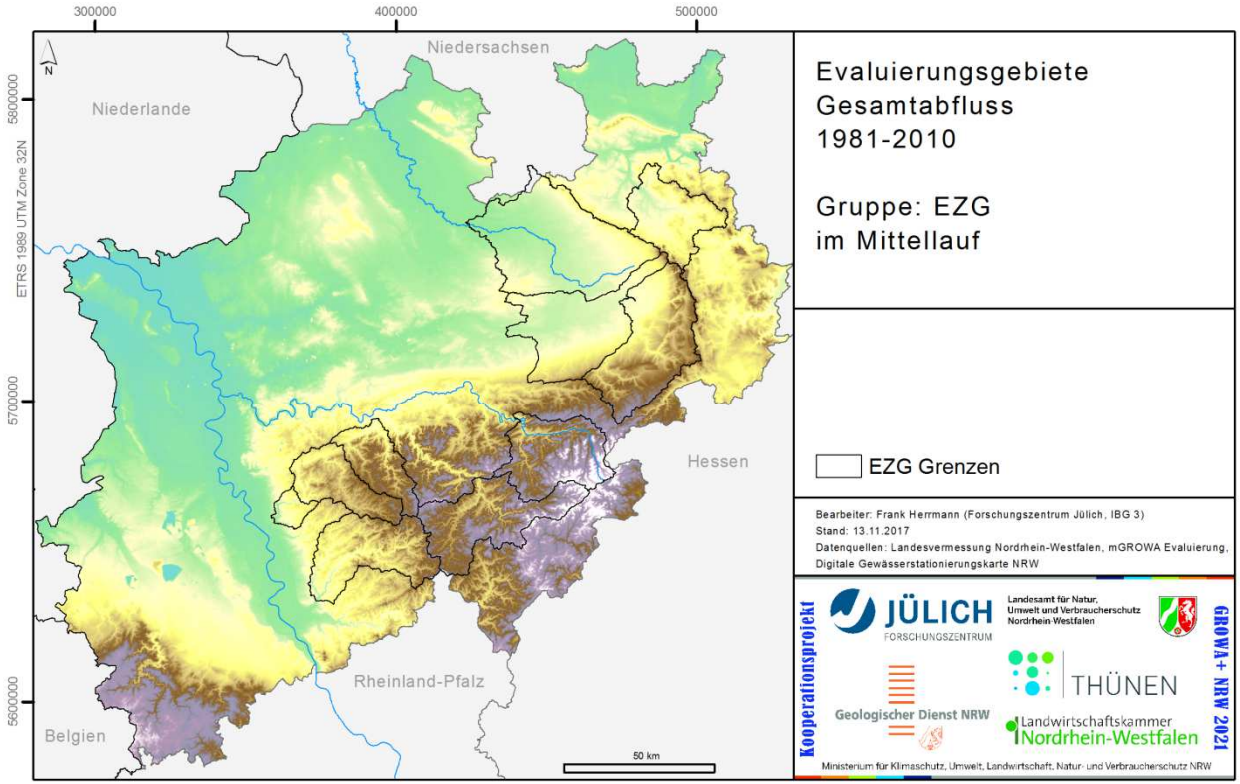
Der Abfluss aus EZG im Mittellauf kann z.B. durch mehrere Talsperren beeinflusst sein

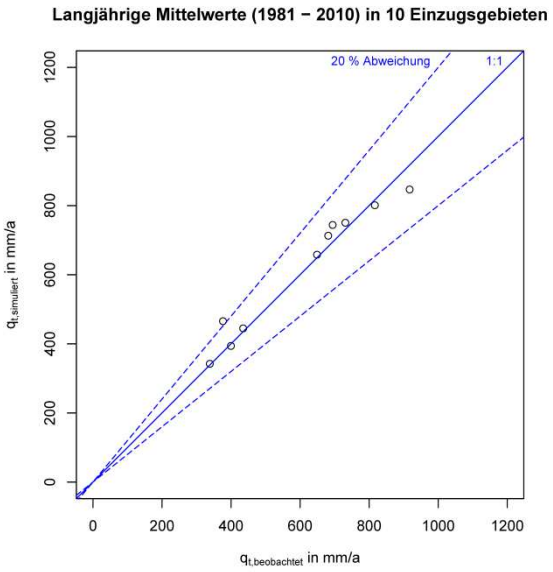
10 Einzugsgebiete

NSE_C = 0,95

$PBIAS_C$ = -2,5 %

- Sehr gute Modellperformance
- Leichte Tendenz zum Überschätzen des Gesamtabflusses





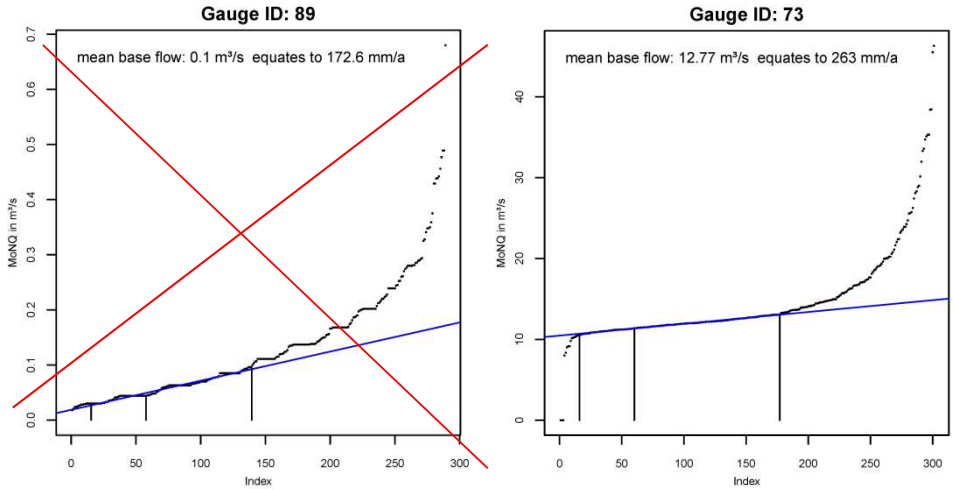
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Methodik zur Evaluierung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung

Gegenüberstellung der simulierten mittleren jährlichen Grundwasserneubildung und dem aus Abflusszeitreihen für die EZG gewonnenen mittleren jährlichen Basisabfluss:

- Im Lockergesteinsbereich mit Ergebnissen der Methode von Wundt (1958), d.h. Mittelwert der MoNQ-Wert.
- Im Festgesteinsbereich mit Ergebnissen der Methode von Demuth (1993), wenn diese anwendbar ist.

Anwendung der Demuth-Methode nicht empholen



Demuth-Methode anwendbar

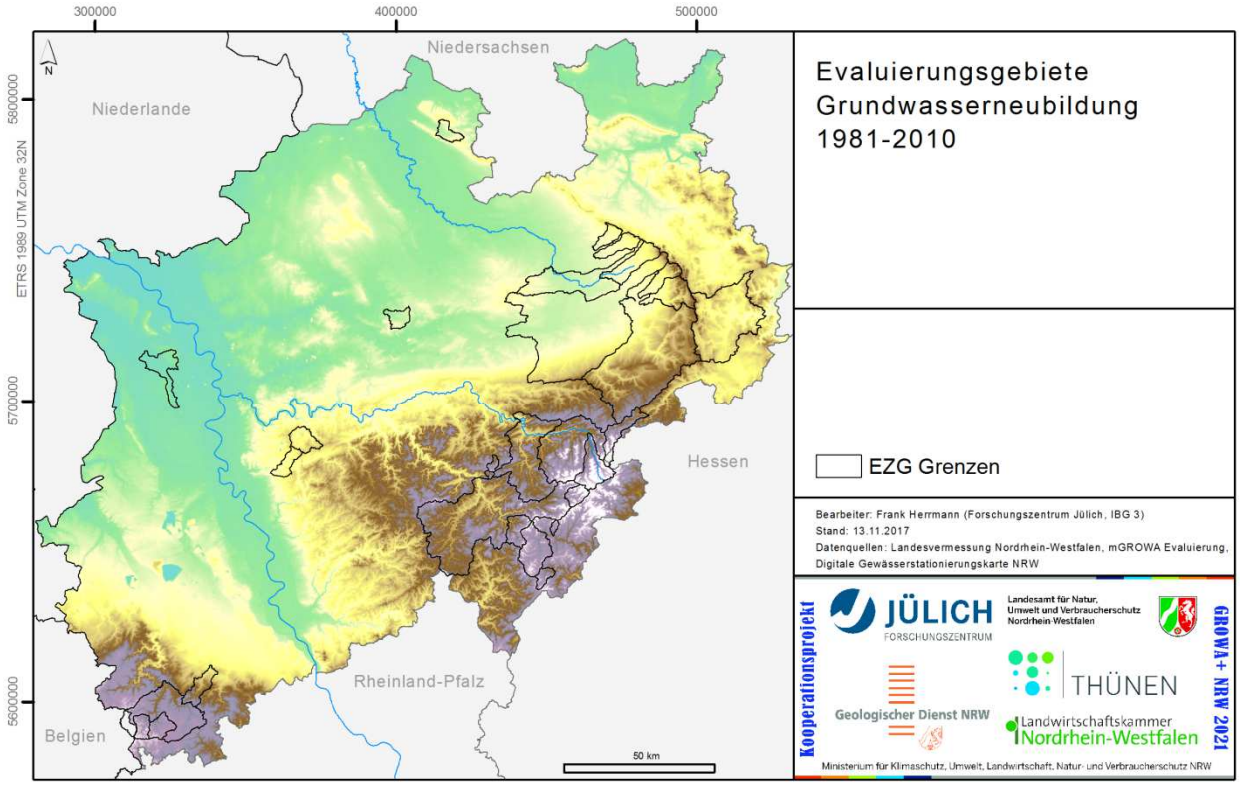
→ Zusätzliche Auswahlkriterien:

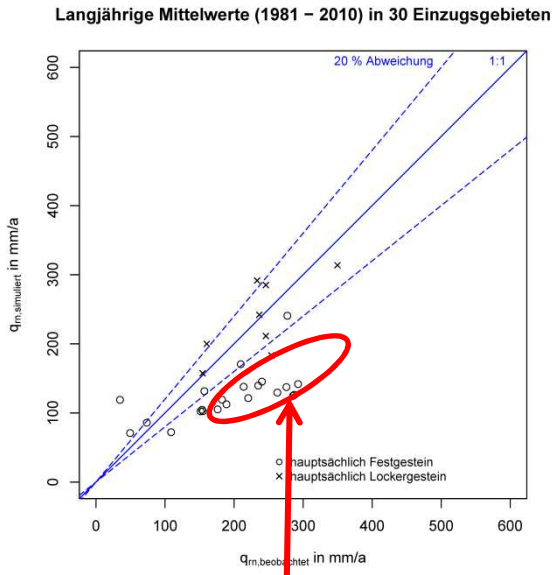
- *Abwasseranteil am MNQ kleiner 30 %*
- *Einflüsse auf den Niedrigwasserabfluss (Talsperren, etc.)*

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Evaluierung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung (1981-2010)

- Eine Evaluierung ist nur für 30 Einzugsgebiete möglich (Abwasseranteil < 30 %).
- Aufgrund anthropogener Einflüsse auf den Niedrigwasserabfluss, d.h. Mindestabfluss aus Talsperren, Einleitung von Abwasser, etc. gibt es in mehreren Evaluierungsgebieten eine Unterschätzung der Grundwasserneubildung durch das Modell → **Die BFI-Werte im Modell sollen jedoch die aus dem GWL nachhaltig gewinnbaren Grundwassermengen reflektieren.**



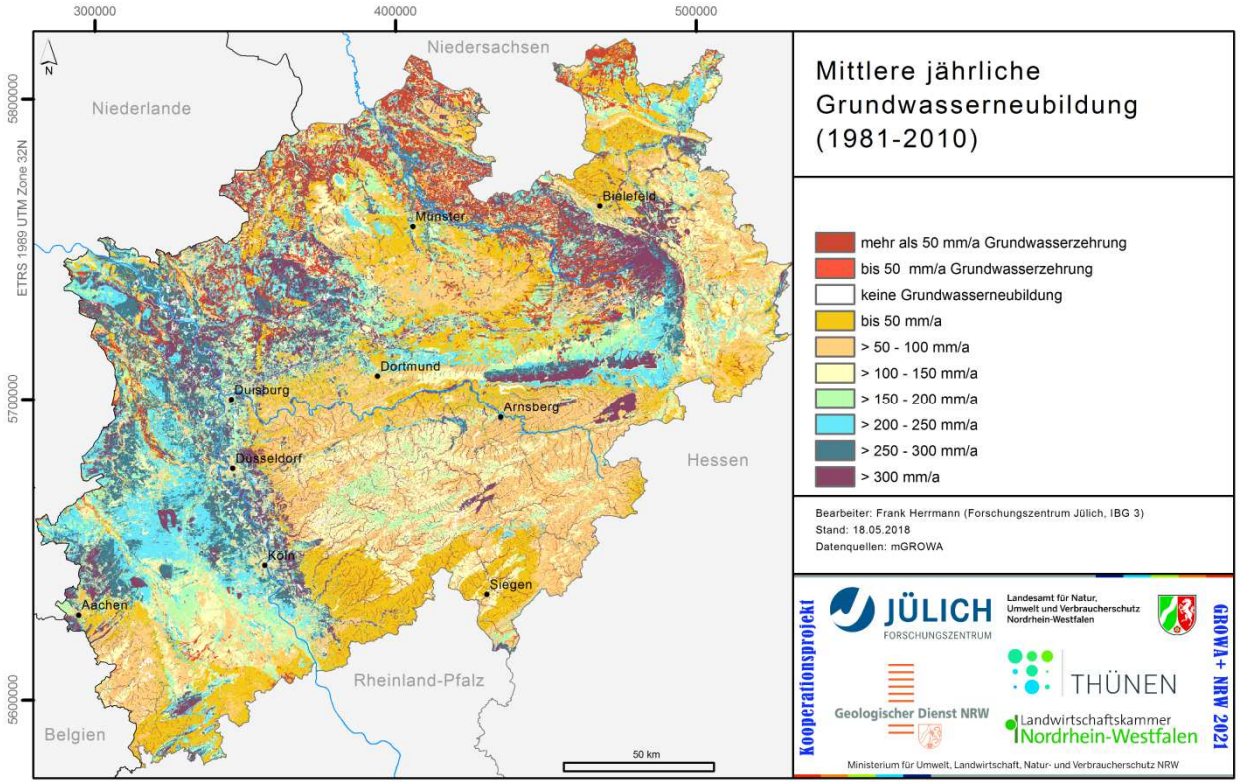


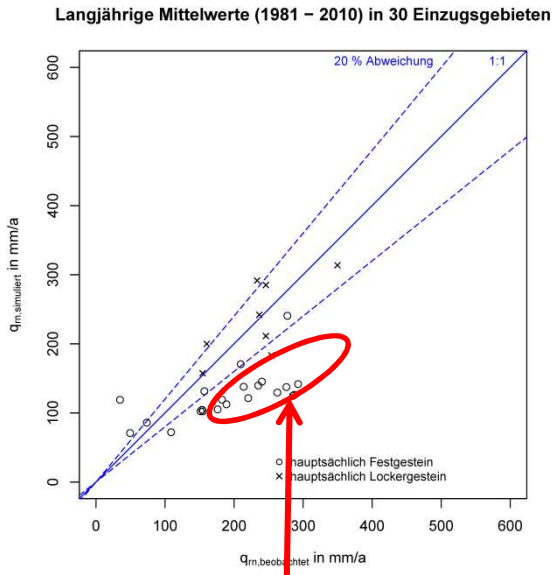
Einfluss von Talsperren auf den Niedrigwasserabfluss

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Evaluierung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung (1981-2010)

- Eine Evaluierung ist nur für 30 Einzugsgebiete möglich (Abwasseranteil < 30 %).
- Aufgrund anthropogener Einflüsse auf den Niedrigwasserabfluss, d.h. Mindestabfluss aus Talsperren, Einleitung von Abwasser, etc. gibt es in mehreren Evaluierungsgebieten eine Unterschätzung der Grundwasserneubildung durch das Modell → **Die BFI-Werte im Modell sollen jedoch die aus dem GWL nachhaltig gewinnbaren Grundwassermengen reflektieren.**



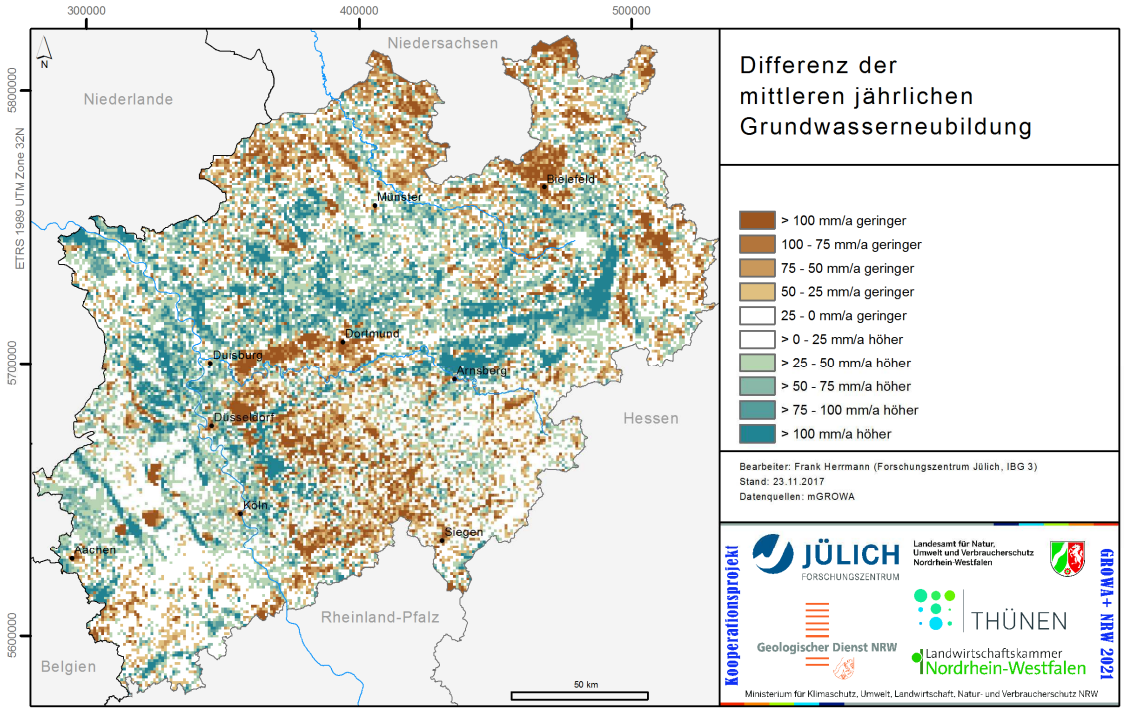


Einfluss von Talsperren auf den Niedrigwasserabfluss

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Differenzen verschiedener Grundwasserneubildungskarten

mGROWA-2018 (1981-2010) MINUS mGROWA-2013 (1971-2000)



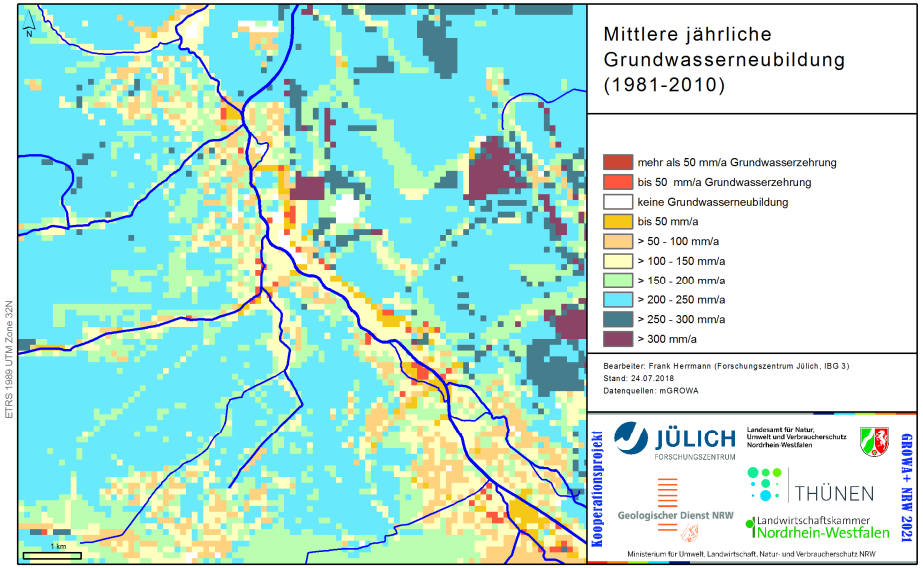
Ursachen:

- Unterschiedliche hydrologische Perioden und unterschiedliche Klimadatenbasis.
- Alle Datengrundlagen wurden aktualisiert und verfeinert.
- Berechnungsmethodik hat sich für mehrere Standorttypen verändert.
- Grundwasserflurabstand ist nun als Jahresgang abgebildet und dadurch wesentlich verfeinert.
- Versiegelungsgrade sind nun als deutlich feinere Rasterdaten implementiert.
- …

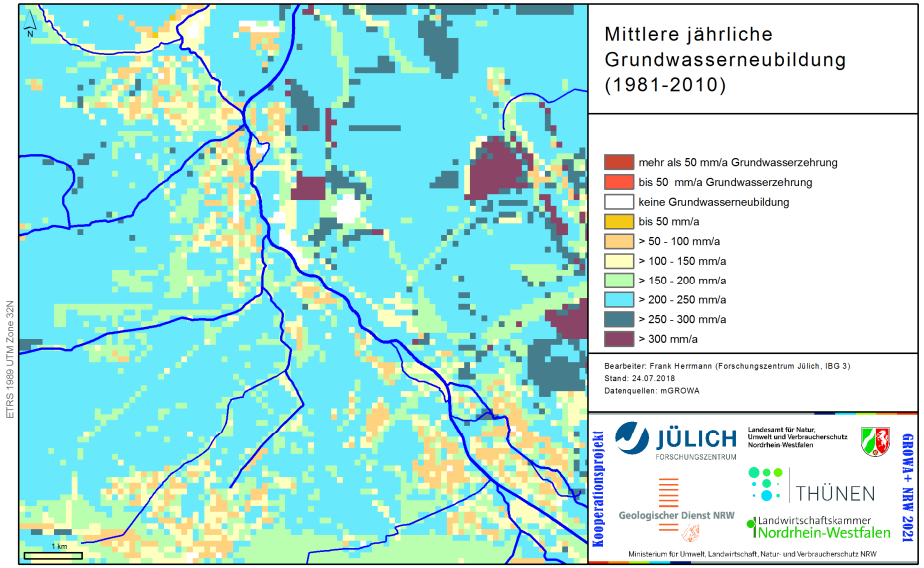
Grundwasserneubildung im Braunkohlenrevier

Die Erftaue 1955 und in der Gegenwart

Grundwassergleichen aus 1955



Grundwassergleichen der Gegenwart



Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

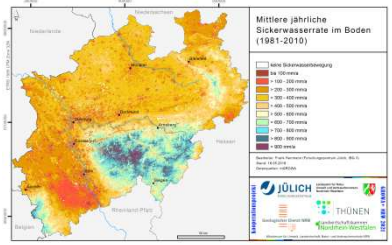
- Das **mGROWA-NRW-Modell** wurde im Rahmen des Kooperationsprojekts GROWA+ NRW 2021 in den letzten 2 Jahren methodisch weiterentwickelt und es wurden verfügbare aktualisierte Datengrundlagen eingepflegt.
- Zeitlich und räumlich hochaufgelöste Wasserhaushaltsgrößen (Grundwasserneubildung, Sickerwasserrate, etc.) liegen nun vor für:
  - Den gesamten Simulationszeitraum 01.11.1970 bis 31.03.2016
  - Aggregiert für wasserwirtschaftliche Planungszwecke als langjährige Mittelwerte der Periode 1981-2000
- Die Evaluierung der Modellergebnisse anhand beobachteter Abflusszeitreihen (insg. 66 EZG) hat ergeben, dass das **mGROWA-NRW-Modell** keine relevante Tendenz zum Über- oder Unterschätzen des Gesamtabflusses aufweist.
- Ein Vergleich der simulierten Grundwasserneubildung mit dem langjährigen Basisabfluss aus beobachteten Abflusszeitreihen (Wundt & Demuth) ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden, weil der Niedrigwasserabfluss fast im gesamten Land NRW anthropogen beeinflusst ist.

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

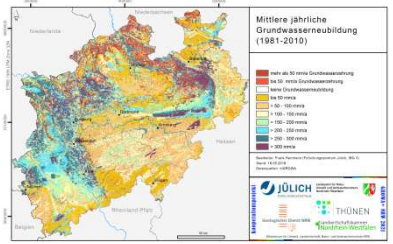
Nutzung der mGROWA-Ergebnisse

- Die mGROWA-Ergebnisse dienen im Kooperationsprojekt ***GROWA+ NRW 2021*** als Datengrundlage/Modellinput für:
  - die Modellierung der Verweilzeiten in der ungesättigten Zone und im Grundwasser (VORTRAG R. KUNKEL)
  - die landesweite Modellierung der N- und P-Einträge als langjährige Mittelwerte:
    - *ins Grundwasser mit der Grundwasserneubildung*
    - *ins Oberflächengewässer über Zwischenabfluss*
    - *ins Oberflächengewässer über Dränabfluss*
    - *ins Oberflächengewässer über Grundwasserabfluss*
    - *ins Oberflächengewässer über Abschwemmung*
    - *ins Oberflächengewässer über Erosion*
- Im Rahmen wasserwirtschaftlicher Untersuchungen können mit mGROWA berechneten Wasserhaushaltsgrößen für beliebige Flächen im Land NRW sowie unterschiedliche Zeitabschnitte (1970 bis Gegenwart) weiter ausgewertet werden.
- Das aktuelle mGROWA-Setup wird im Rahmen einer Klima-Impact-Studie zur Abschätzung einer zukünftig veränderten räumlichen und zeitlichen Verteilung der Grundwasserneubildung eingesetzt (ReKliEs-De+mGROWA Ensemble)
- …

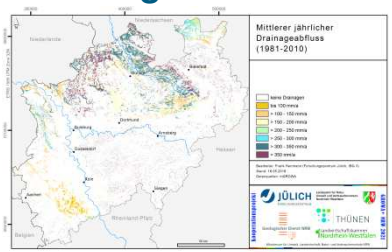
Sickerwasserrate



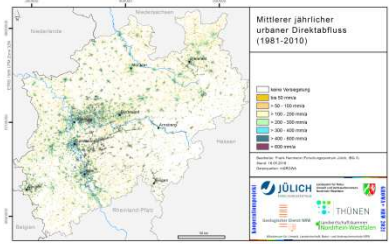
Grundwasserneubildung



Drainageabfluss



Urbaner Direktabfluss



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

mGROWA – Quellen für Parameter

- **Parameter mit Bezug zu Bodenwasserspeicher und Bodenfeuchtedynamik stammen, wenn nicht direkt in der BK 50 verfügbar, aus:**
  - Renger, M., Bohne, K., Facklam, M., Harrach, T., Riek, W., Schäfer, W., Wessolek, G., Zacharias, S., 2009. ***Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis***. In: Wessolek, G., Kaupenjohann, M., Renger, M. (Eds.). Bodenökologie und Bodengenese. Technische Universität Berlin - Fachgebiet Bodenkunde/Standortkunde und Bodenschutz - Institut für Ökologie.
  - Müller, U., Waldeck, A., 2011***. Auswertungsmethoden im Bodenschutz***. GeoBerichte, 19. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen.
  - Schwärzel, K., Šimůnek, J., Stoffregen, H., Wessolek, G., van Genuchten, M.T., 2006. ***Estimation of the Unsaturated Hydraulic Conductivity of Peat Soils.*** Vadose Zone Journal, 5(2): 628. DOI: 10.2136/vzj2005.0061
- **Parameter mit Bezug zur Vegetations- und Landnutzungs-spezifischen Berechnung der tatsächlichen Evapotranspiration stammen aus:**
  - ATV-DVWK, 2002. ***Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden***. Merkblatt ATV-DVWK-M, 504. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Kriterien zur Bewertung der Eignung von Einzugsgebieten für die Evaluierung der mGROWA-Ergebnisse

- Teile des EZG außerhalb der Modellgebietes
- Datenlücken und fehlende Jahre
- Oberirdische und unterirdische EZG-Grenzen potentiell oder offensichtlich nicht deckungsgleich → Möglicher Einfluss von Karst-GWL auf die EZG-Grenzen
- Potentieller Einfluss von Wassertransfers aus dem EZG auf den Gesamtabfluss
- Potentieller Einfluss von Talsperren auf den Niedrigwasserabfluss
- Potentieller Einfluss von Einleitungen auf den Niedrigwasserabfluss
- Potentieller Einfluss von Bergbau im EZG
- Abwasseranteile am MQ und MNQ
- Geringe Entfernung zu anderen Pegeln
- Geringe EZG-Größe und deshalb hohe Wahrscheinlichkeit für ungenaue Bestimmung der tatsächlichen EZG-Grenzen
- Einfluss von Kanälen und Umflutern
- Anteil urbaner Fläche im EZG

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft