TOP 6:

Flächendeckende Simulation des Landschaftswasserhaushalts mit dem Modell mGROWA (Frank Herrmann, FZ Jülich)

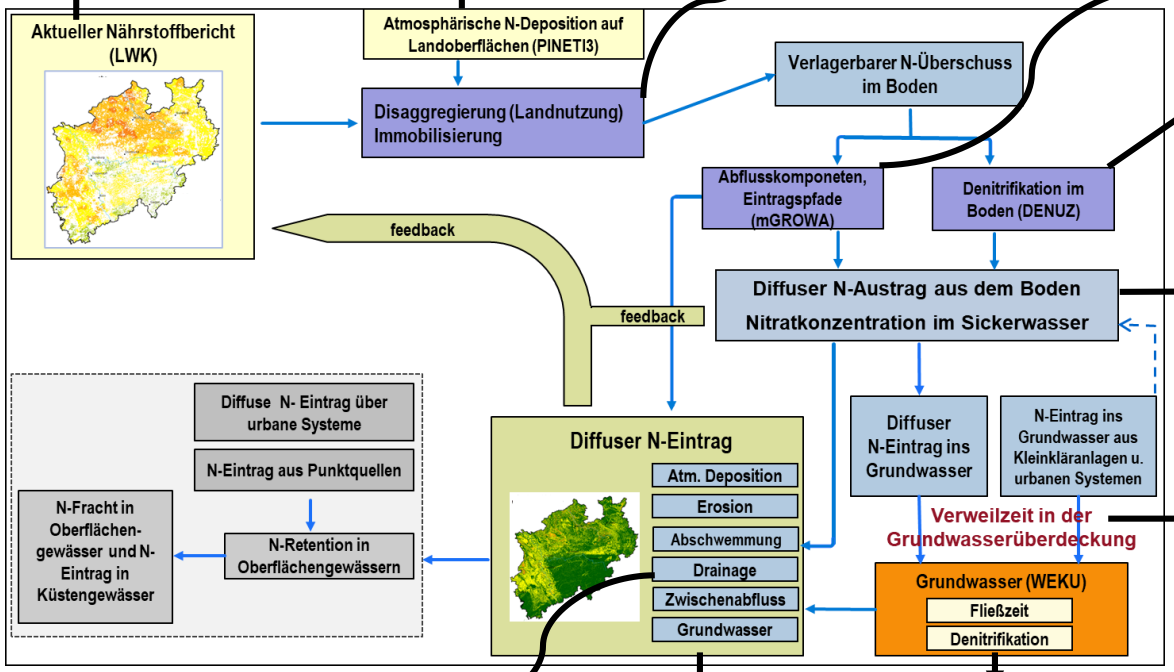
Modellsystem Stickstoff GROWA+ NRW 2027:
Aktualisierungen und gezielte Weiterentwicklung

TB I: Landwirtschaftskammer (LWK):
- N-Bilanzüberschüsse 2020-2022
- Historische N-Bilanzsalden seit 2003

TB IIb: Aktualisierung Landnutzung:
- Landnutzung 2020-2022
- Historische Landnutzung seit 2003

TB IIa: Aktualisierung mGROWA-Modell:
- Zeitliche Fortführung bis zur Gegenwart
- Bodenparametrisierung aus Hybrid-Bodenkarte 1:5.000 / 1:50.000
- Verwendung aktualisierte Grundwasseroberfläche
- Verwendung aktualisierte Dränkarte
- Verwendung Landnutzung 2020-2022
- Räumliche Modellerweiterung in die Niederlande bis zur Maas

TB V + VII: Aktualisierung N-Eintrag:
- N-Deposition 2020-2022
- Historische N-Deposition seit 2003



TB IV: Verfeinerung Denitrifikation Boden DENUZ-Modell:
- Neuableitung Nitratabbaubedingungen aus Hybrid-Bodenkarte 1:5.000 / 1:50.000
- Verwendung aktualisierte Verweilzeiten
- Verwendung aktualisierte Sickerwasserraten
- Überprüfung Abbaupotentiale Deckschichten

Aktualisierung Nitratkonzentration im Sickerwasser
- Basierend auf N-Bilanzüberschüssen 2020-2022
- Basierend auf N-Deposition 2020-2023
- Basierend auf Sickerwasserraten 1991-2020
- Basierend auf verfeinertem Nitratabbau im Boden
- Verfeinerte Plausibilitätsüberprüfung:
  - nach Wolters et al. 2021
  - Aktualisierte NO3-Messwerten im Grundwasser
  - historische N-Bilanzsalden seit 2003

TB III: Verfeinerung Verweilzeitenberechnung UZ:
- Sickerwasser Periode 1991 - 2020
- Hybrid-Bodenkarte 1:5.000 / 1:50.000
- Aktualisierte Grundwasseroberfläche
- Aktualisierte Dränkarte
- Landnutzung 2020-2022

TB IIb: Verfeinerung Dränpotenzialkarte:
- Verwendung Landnutzung 2020-2023
- Erstellung / Verwendung Hybrid-Bodenkarte 1:5.000 / 1:50.000
- Angaben der LWK zu konkreten Dränflächen

TB V + VII: Aktualisierung N-Eintrag:
- N-Bilanzüberschüsse 2020 – 2022
- N-Deposition 2020 - 2022
- Ergebnis TB IIa und IIb
- Ergebnis TB III
- Ergebnis TB IV

TB IV: Verfeinerung Fließzeiten / Denitrifikation Grundwasser WEKU-Modell:
- aktualisierte Grundwasseroberfläche
- Einbeziehung hydrogeologischer Parameter aus Bohrdatenbank
- aktualisierte Grundwassergütedaten
- Einbeziehung erweiterter Datensatz N2-/Ar
- Plausibilitätsüberprüfung nach Wolters et al. 2022

GROWA/mGROWA Historie in NRW

Bogena, H., Kunkel, R., Schöbel, T., Schrey, H.P., Wendland, F.: *Die Grundwasserneubildung in Nordrhein-Westfalen*, http://hdl.handle.net/2128/344 (**2003**)

Bogena, H., Kunkel, R., Schöbel, T., Schrey, H.P., Wendland, F.: *Distributed modeling of groundwater recharge at the macroscale*. Ecological Modelling 187, 15-26 (**2005**)

Autorenkollektiv, **2012**. *Flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung im Rheinischen Braunkohlenrevier - Abschlussbericht der AG Grundwasserneubildung*. Erftverband, http://www.erftverband.de/grundwasserneubildung/bericht_anlagen_ag_gwn_2012.pdf

GROWA
Langjährige Mittelwerte zum Landschafts-wasserhaushalt (1971-2000)

Herrmann, F., Chen, S., Kunkel, R., Wendland, F., **2014**. *Auswirkungen von Klimaänderungen auf das nachhaltig bewirtschaftbare Grundwasserdargebot und den Bodenwasserhaushalt in Nordrhein-Westfalen*. Forschungszentrum Jülich GmbH, https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/auswirkungen_klimaaenderungen_auf_grundwasserdargebot_und_bodenwasserhaushalt_nrw.pdf.

Herrmann, F., Keller, L., Kunkel, R., Vereecken, H., Wendland, F.: *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 4, 294-312 (**2015**)

Herrmann, F., Wendland, F., Wolters, T., Bergmann, S., Eisele, M.: *Projektionen der Grundwasserneubildung unter dem Einfluss des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen*. Gewässerschutz - Wasser - Abwasser 251, 13 (**2020**)

Herrmann, F., Wendland, F., **2021**. *Modellierung des Wasserhaushalts in Nordrhein-Westfalen mit mGROWA*. LANUV NRW. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30110b.pdf.

Herrmann, F., Keuler, K., Wolters, T., Bergmann, S., Eisele, M., Wendland, F.: *Mit der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA projizierte Grundwasserneubildung als Datenbasis für zukünftiges Grundwassermanagement in Nordrhein-Westfalen*. Grundwasser 26, 17-31 (**2021**)

Herrmann, F., et al. **2022**. *Projektionen der Grundwasserneubildung unter dem Einfluss des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA und dem Regionalen Klimaprojektionen Ensemble (ReKliEs) für Deutschland*. LANUV NRW. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30110j.pdf

mGROWA
Landschaftswasser-haushalt in täglicher/monatlicher Auflösung

- Klimatologische Simulationen von 1961 bis zur Gegenwart
- Projektionen bis 2100

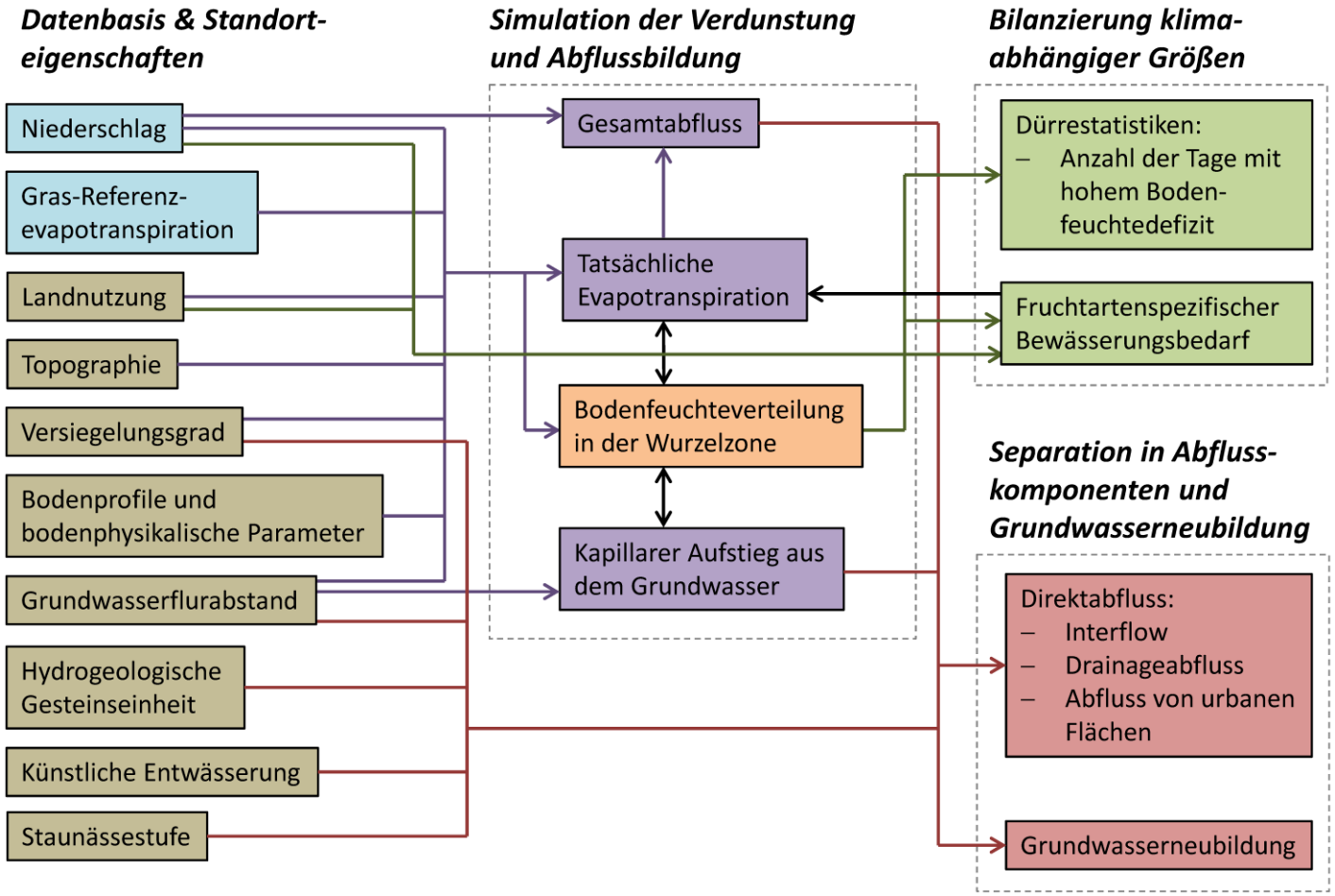
Zielstellung für 2022/2023:

Parameter-Update und operativer Betrieb

Modellkonzept mGROWA

mGROWA – Modellkonzept

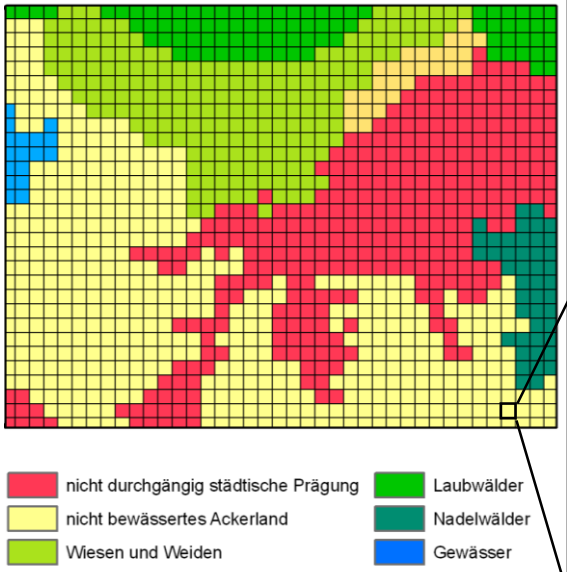
- Rasterbasiertes flächendifferenziertes Wasserhaushaltsmodell.
- Entwickelt am FZ Jülich für **räumlich und zeitlich hochaufgelöste Simulationen** (100 m Raster, Tagesschritte) über lange Perioden (> 30 Jahre) in großen Flussgebieten oder ganzen Ländern.



mGROWA – 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
Topographie – Geländeneigung, Geländeexposition	– Digitales Höhenmodell DHM 10 Landesvermessung Nordrhein-Westfalen
Oberflächenversiegelung – Rasterbasierte Versiegelungsgrade	– High Resolution Layer: Imperviousness Degree (IMD), 20m x 20m European Environment Agency
Bodenparameter – Bodentypen, Bodenarten, etc. – Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität, etc. – Grundwasserflurabstand, Staunässestufen	– Bodenkarte 1:5.000 (BK 5) und 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, B. Tetzlaff

mGROWA – Grundlegende Gleichungen



Bilanzierung der Wassermengen für jede Zelle auf Basis der Wasserhaushaltsgleichung:

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

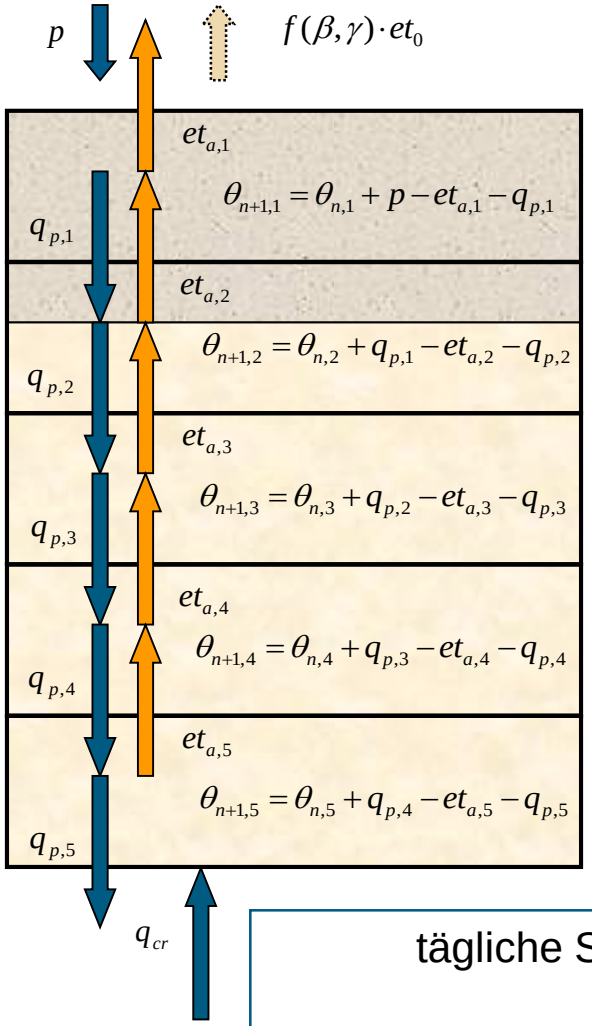
Berechnung der tatsächlichen Verdunstung auf Basis der Penman-Monteith-Gleichung, **standortspezifischer Parameter und standortspezifischer Funktionen**:

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

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

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

Bilanzierung der Bodenfeuchte, der tatsächlichen Evapotranspiration und der Abflussbildung im Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodul



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

tägliche Sickerwasserrate
=
Gesamtabfluss von dieser Zelle

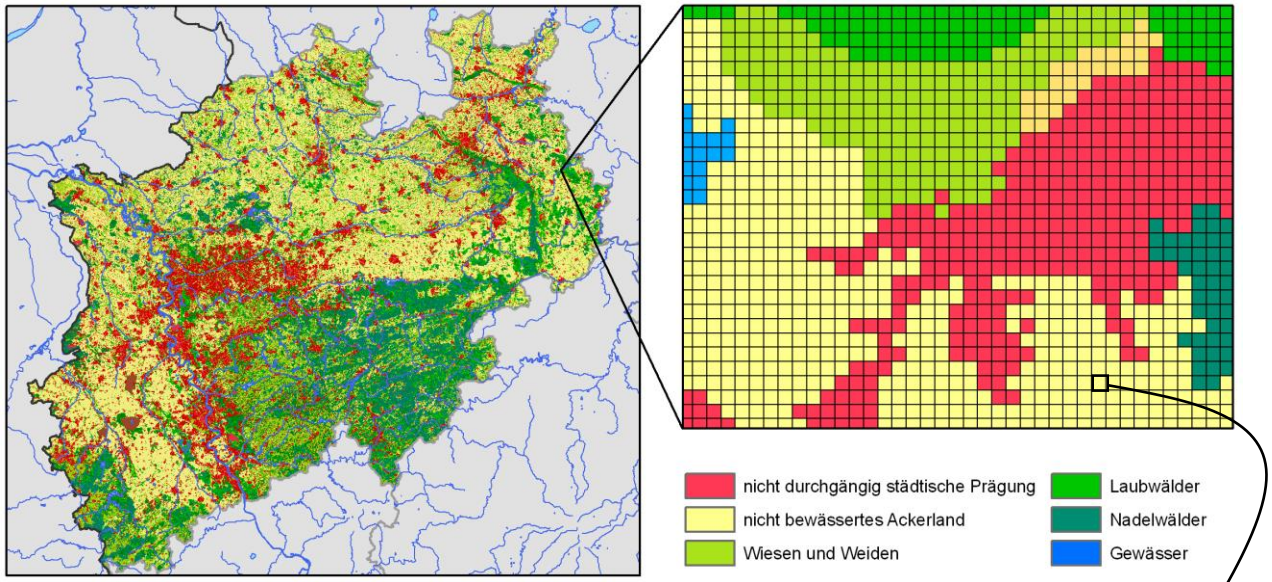
- Automatisierte Gliederung aller Rasterzellen mit Vegetation in beliebig viele Schichten (derzeit 5 Schichten je 3 dm mächtig).
- Automatisierte Parametrisierung der Modellschichten auf Basis kartierter Bodenprofile (Berechnung nFK, FK, LD, …)

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

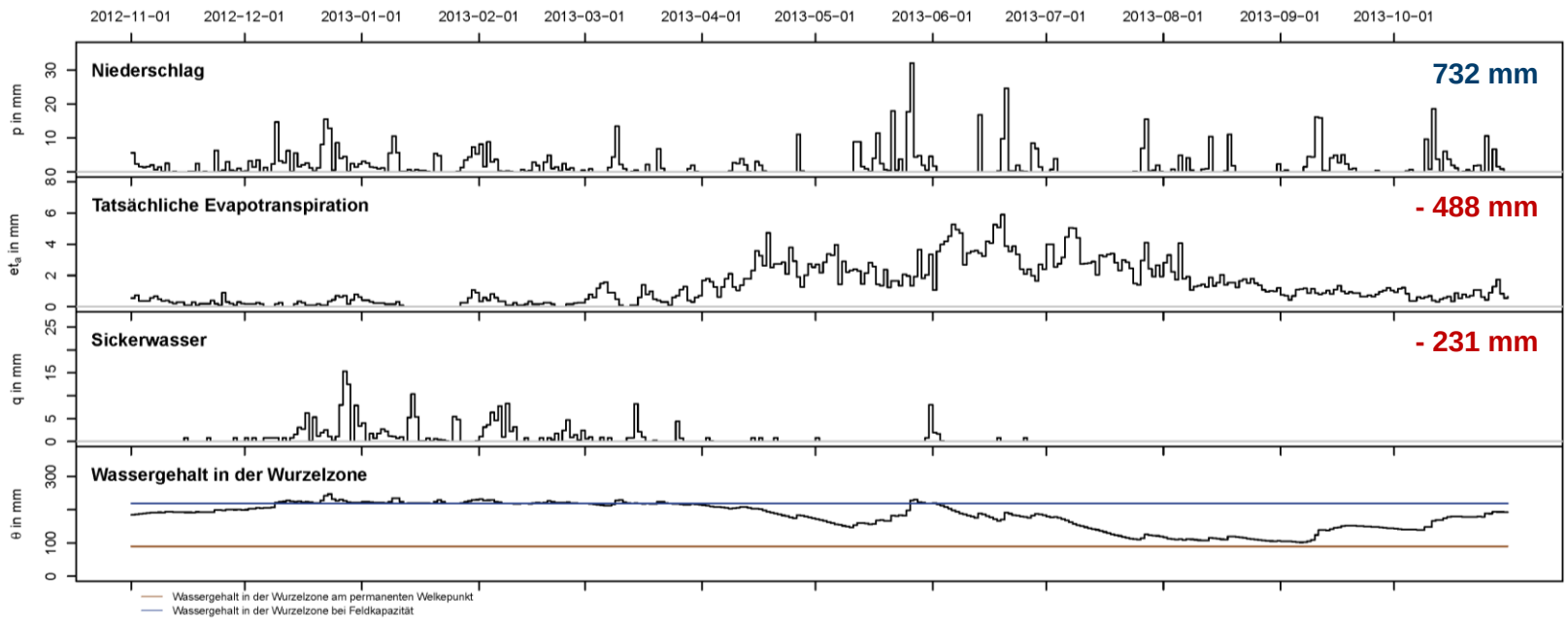
mGROWA – Ergebnis für Beispielrasterzelle

Größe des Modellgebietes:

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



Ermittlung von Wasserhaushaltsgrößen In Tagesschritten



Bodenfeuchtedefizit in NRW 2022

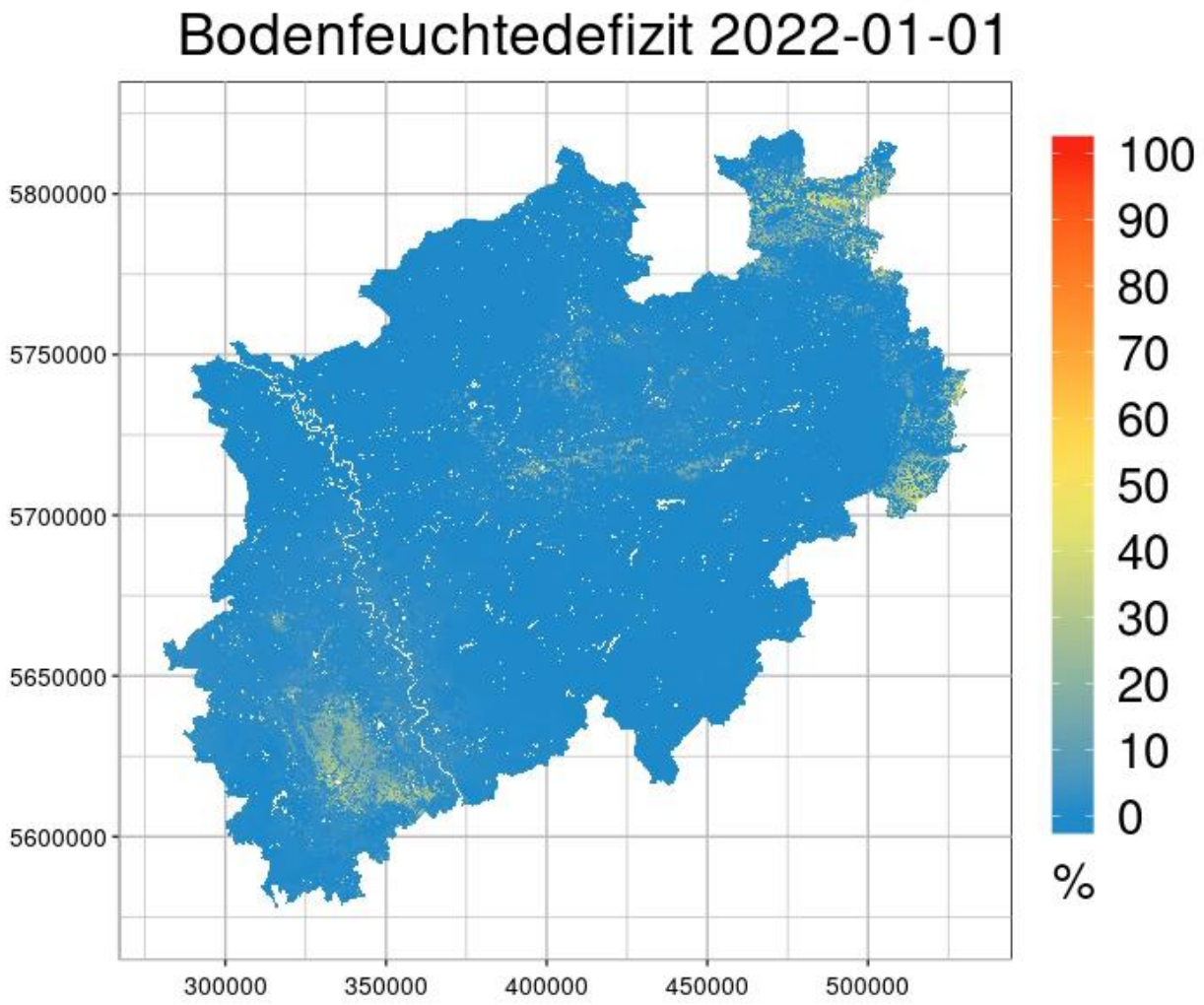
Das **Bodenfeuchtedefizit** ist die Wassermenge die benötigt wird, um den Wassergehalt in der Wurzelzone auf Feldkapazität zu bringen.

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

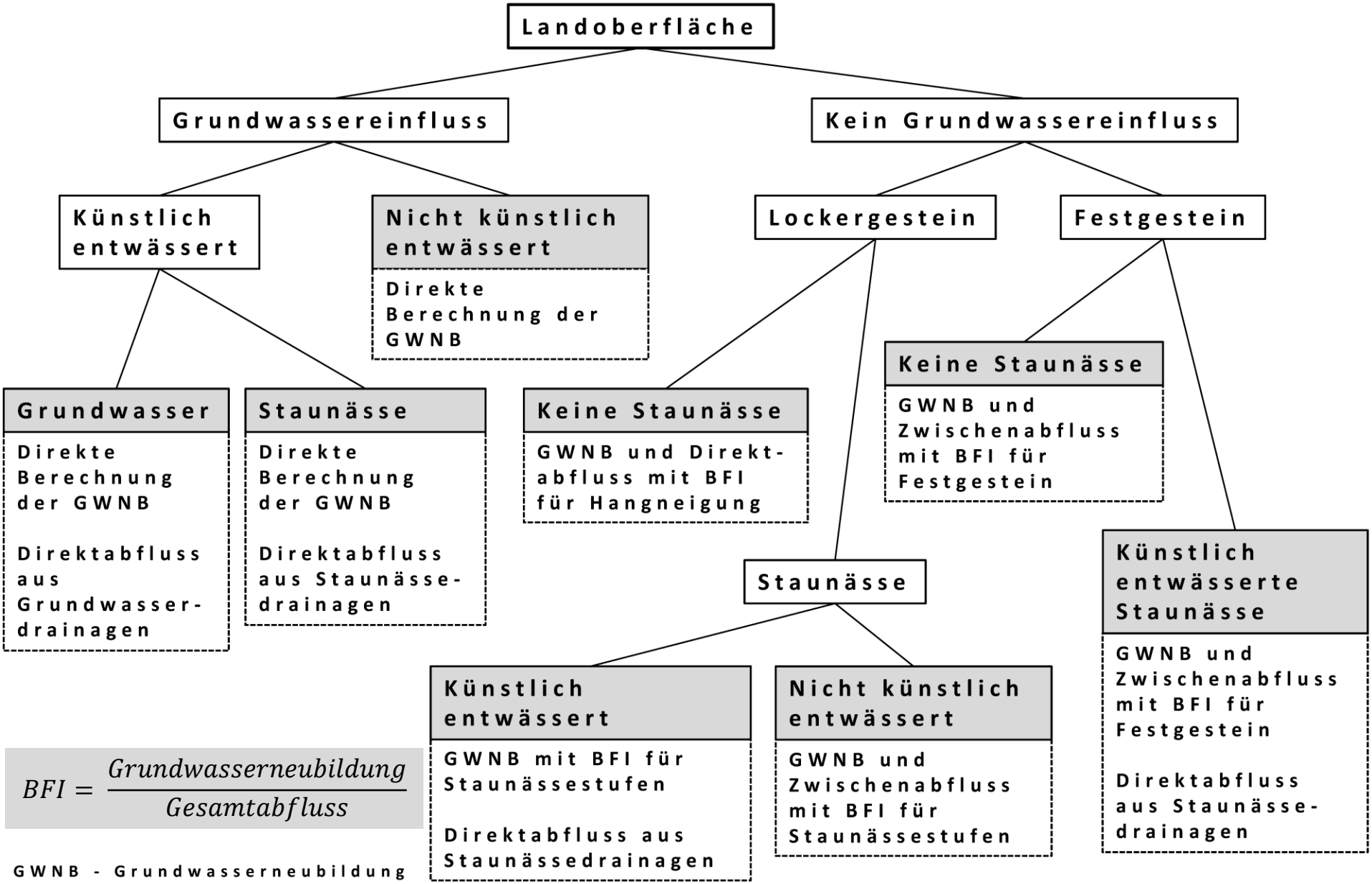
Bedeutung:

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!



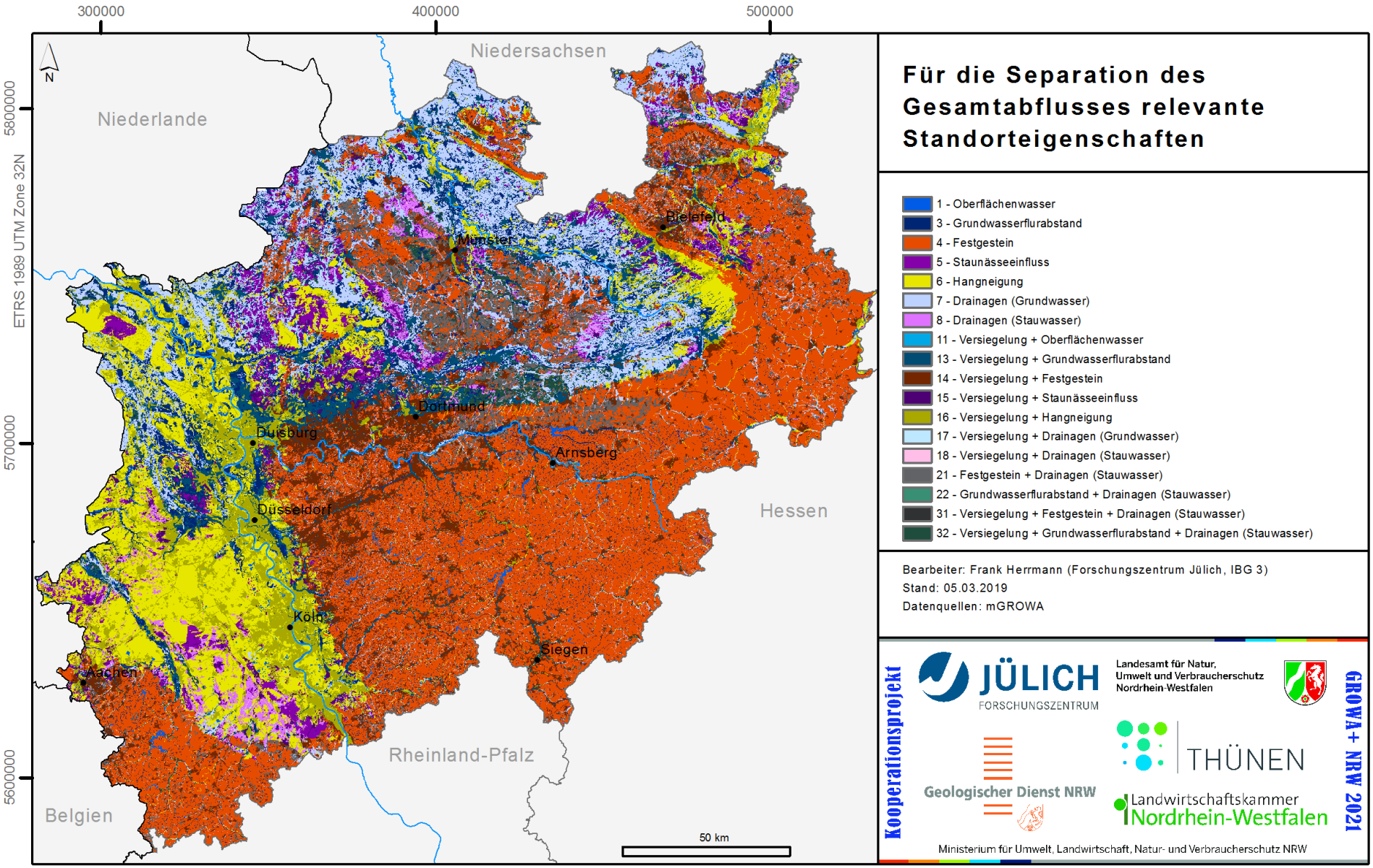
mGROWA – Separation des Gesamtabflusses in Grundwasserneubildung und Direktabflusskomponenten



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

GWNB - Grundwasserneubildung

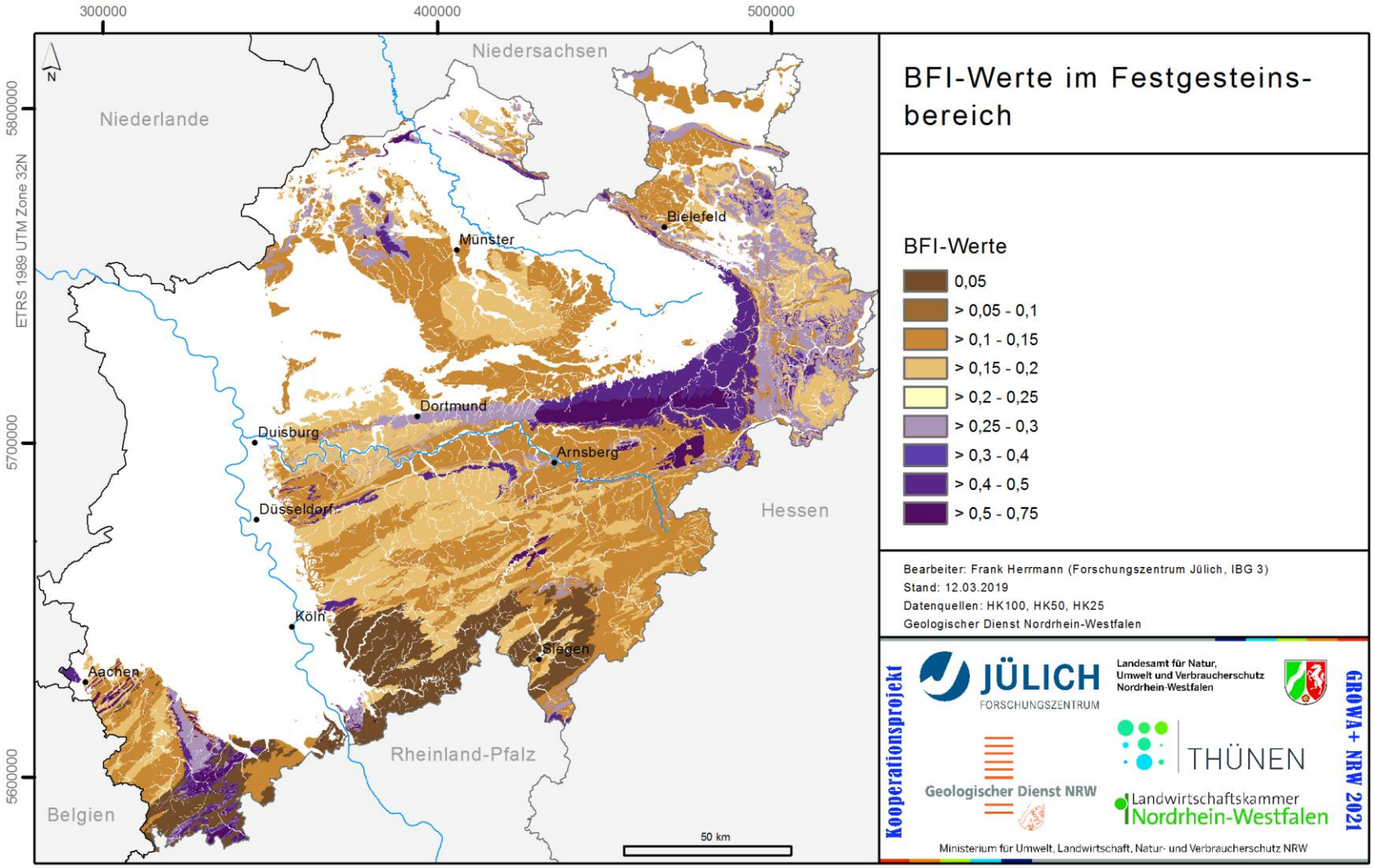
Für die Separation des Gesamtabflusses relevante Standorteigenschaften



BFI-Werte im Festgestein

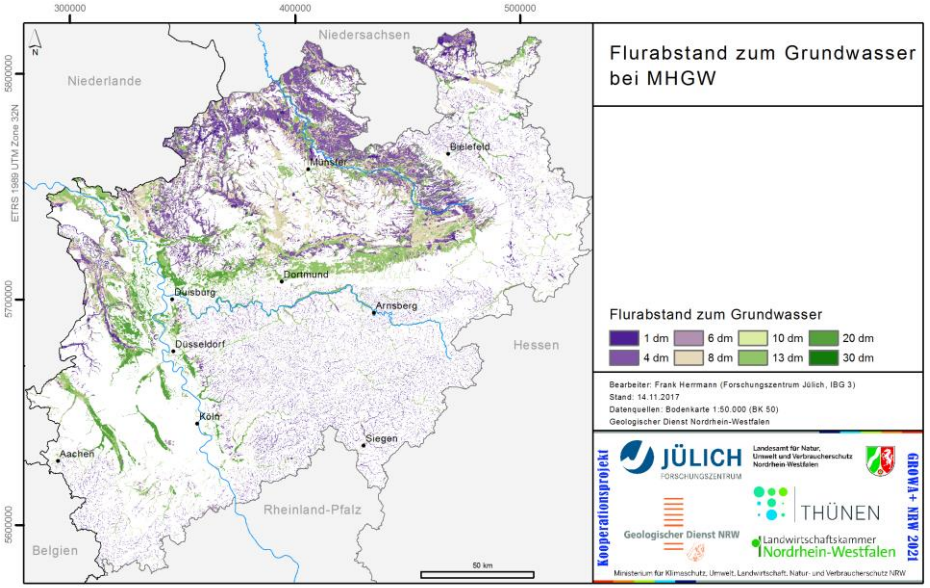
196 relevante hydrogeologische Festgesteinseinheiten wurden individuell parametrisiert

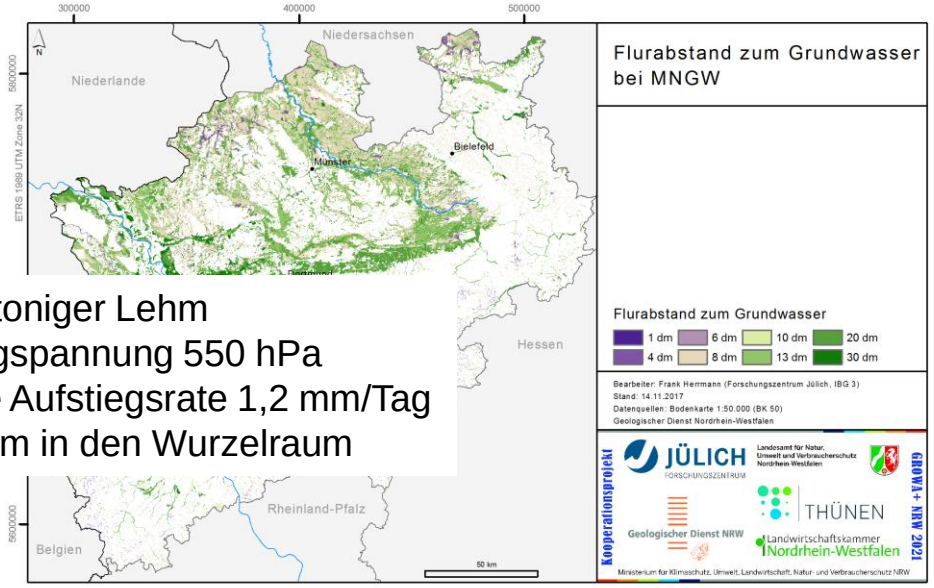
$$BFI = \frac{Grundwasserneubildung}{Gesamtabfluss}$$

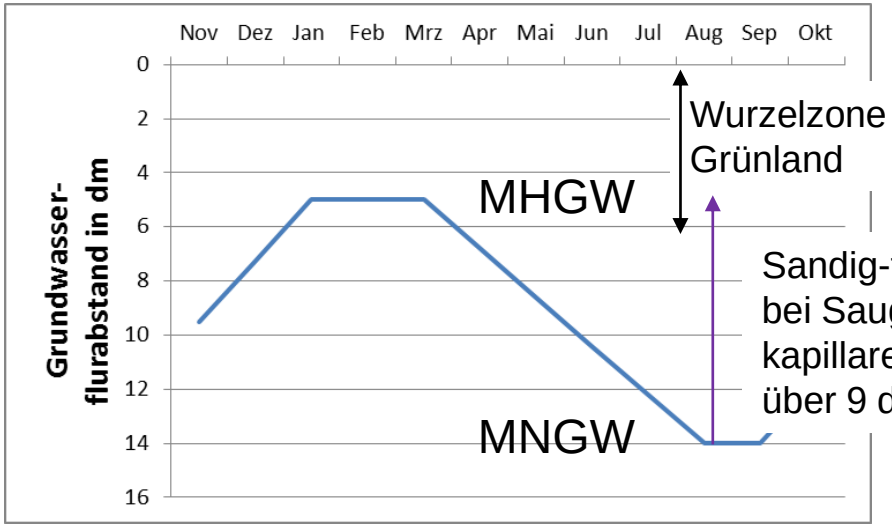


Grundwasserflurabstand im Jahresgang

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



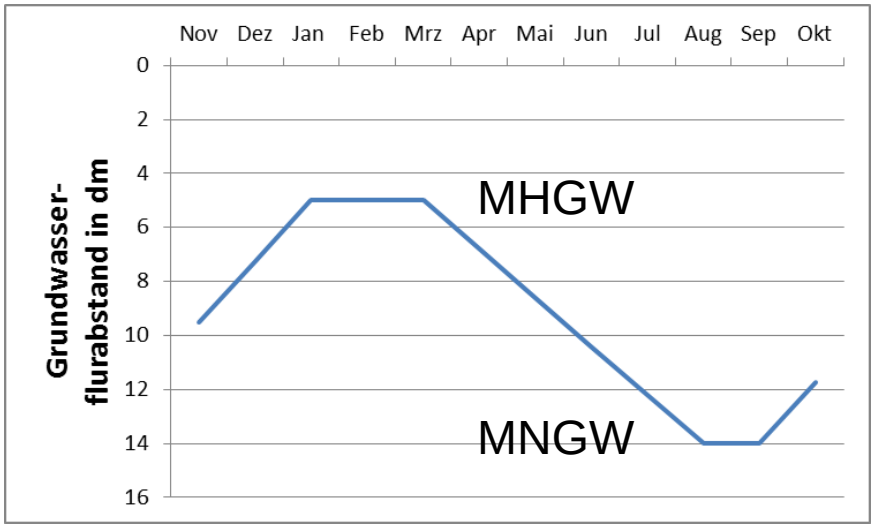




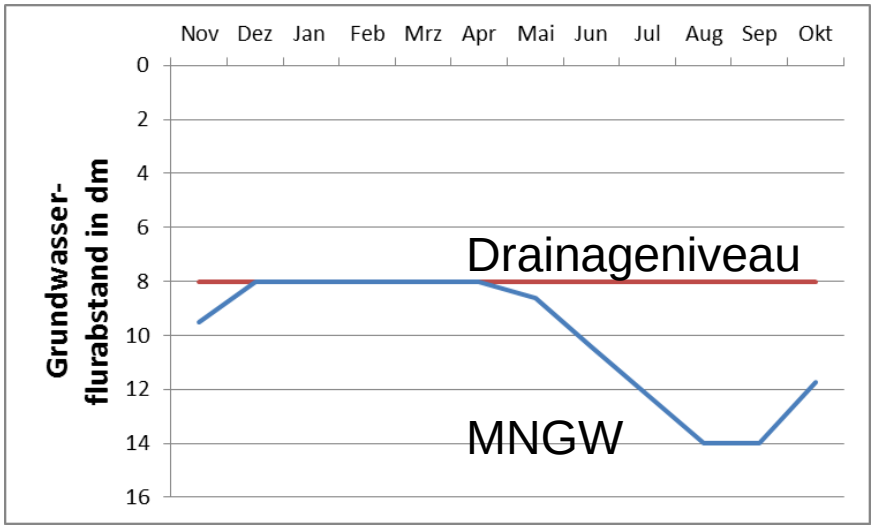
Sandig-toniger Lehm
bei Saugspannung 550 hPa
kapillare Aufstiegsrate 1,2 mm/Tag
über 9 dm in den Wurzelraum

Variabler Grundwasserflurabstand in Verbindung mit Drainagen

„Natürlicher“ Jahresgang der Grundwasseroberfläche aus BK50



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

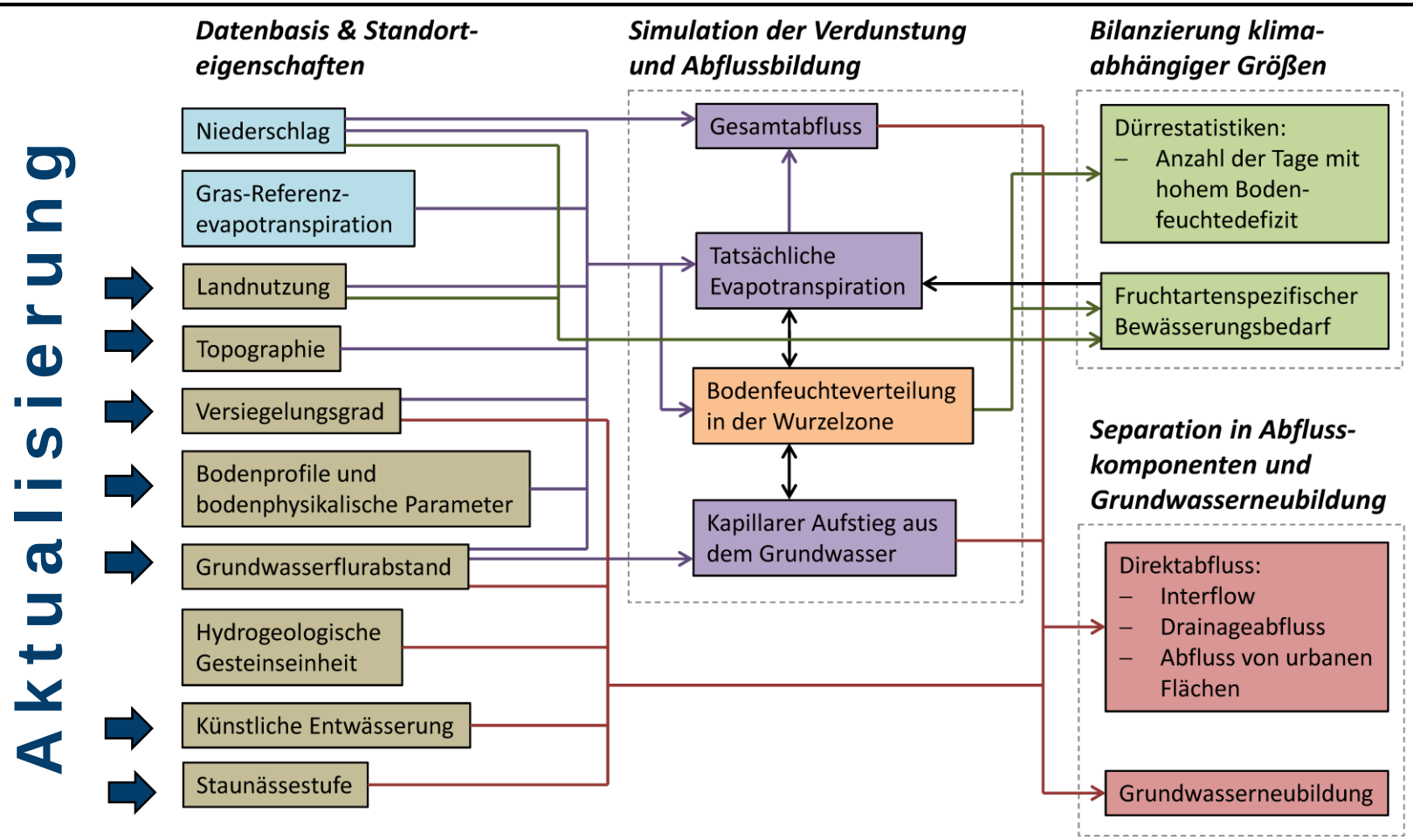


- Bilanzierung der **Netto-Grundwasserneubildung** für einzelne Monate aus Sickerwassermenge, direkter Evapotranspiration aus dem Grundwasser und kapillarem Aufstieg, je nachdem, welcher Prozess stattfindet.

- 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.

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.



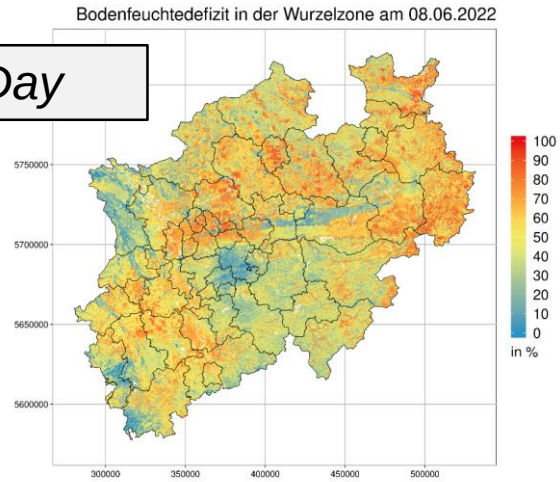
WHM – Wasserhaushaltsmonitor für NRW

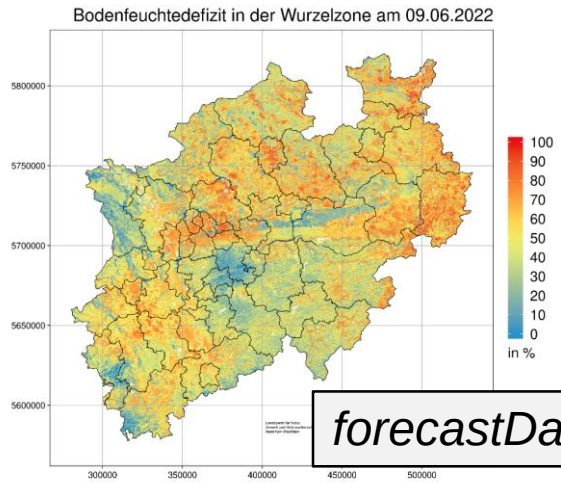
- Entwicklung im Rahmen des Kooperationsvertrages mit Laufzeit 2020 bis 2023.
- Zielstellung: Überführung der mGROWA-Simulationen in einen automatischen Betrieb.
- Es wird mGROWA-Simulationen im mehreren Modi geben:
  - ***retroMonth*** läuft monatlich und ersetzt die jährliche Fortführung der klimatologischen mGROWA-Simulationen 1961 bis zur Gegenwart.
  - ***retroDay*** läuft täglich und dient insbesondere dazu, den aktuellen Status von Bodenfeuchte, Sickerwasserbewegung, Verdunstung und urbanem Direktabfluss darzustellen. Basiert auf den tagesaktuellen DWD-Produkten HYRAS-DE-PRE (Niederschlag) und AMBAV/FAO-PM (potentielle Evapotranspiration ET0)
  - ***forecastDays*** läuft täglich auf Basis der DWD-Vorhersagen ICON-D2 und ICON-EU und dient insbesondere dazu, die Veränderungen von Bodenfeuchte, Sickerwasserbewegung, Verdunstung und urbanem Direktabfluss bis zu 5 Tage in die Zukunft vorherzusagen.
  - Alle Modi laufen auch mit mGROWA‘s neuem Schnee-Modul.
- **Derzeit noch keine Publikation der Ergebnisse.**

Forecast – forecastDays4 & forecastDays5

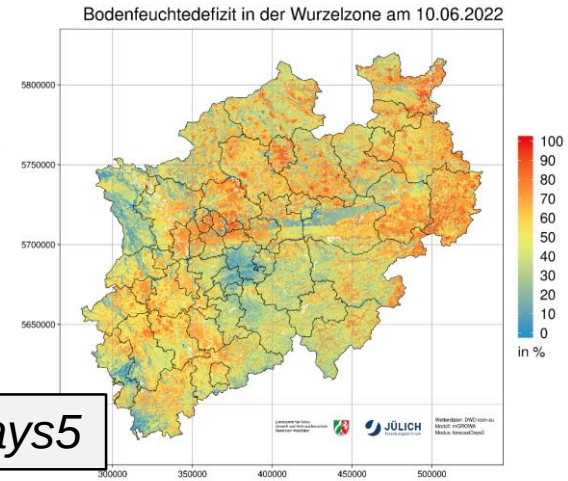
- mGROWA + DWD ICON-EU als *forecastDays4* & *forecastDays5* laufen analog ohne/mit Assimilation der Bodenfeuchte aus *retroDay*. Täglich seit **02.06.2022** jeweils **5** Tage in die Zukunft und liefern Daten ca. **07:15** und **11:30**.

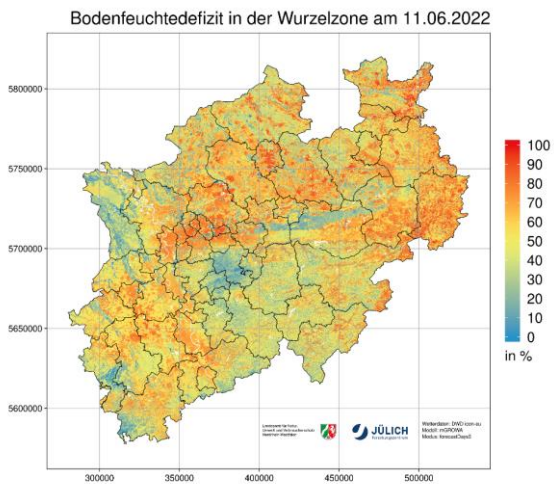
retroDay

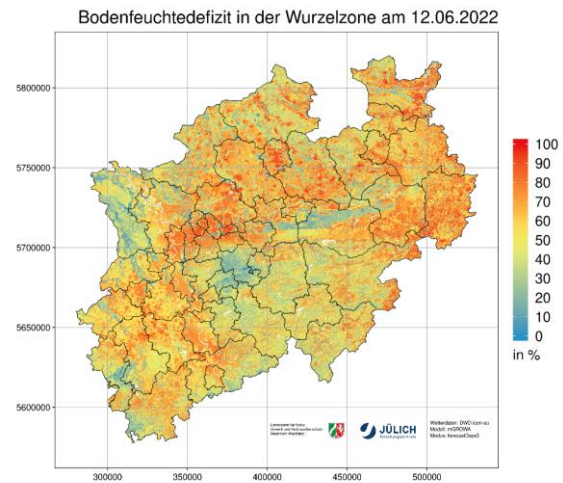


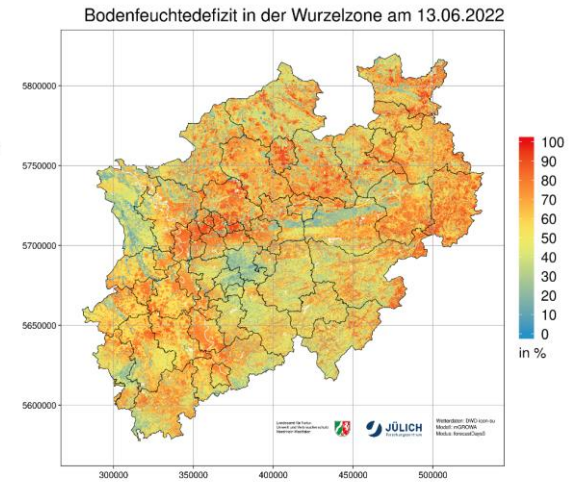


forecastDays5

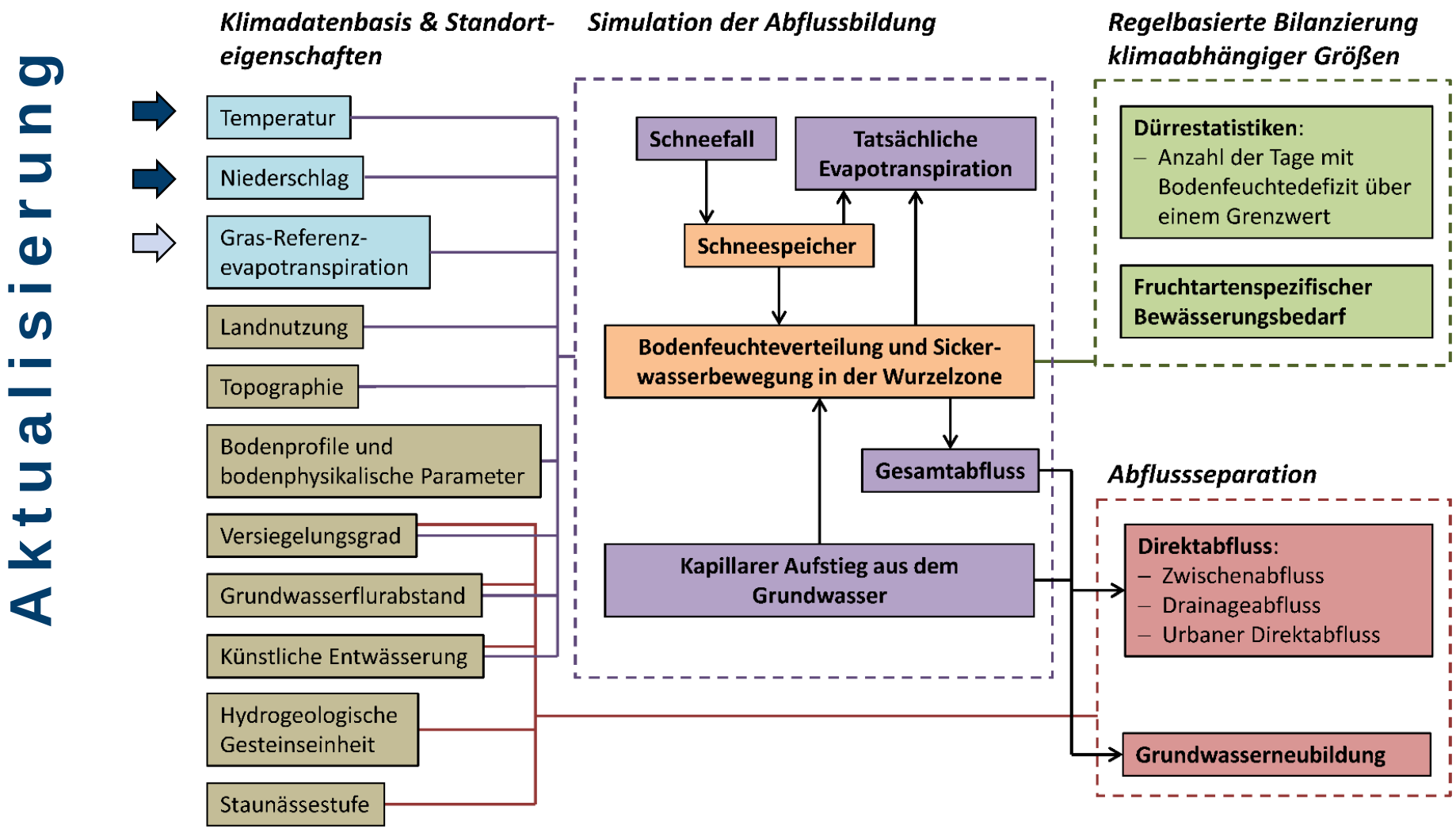




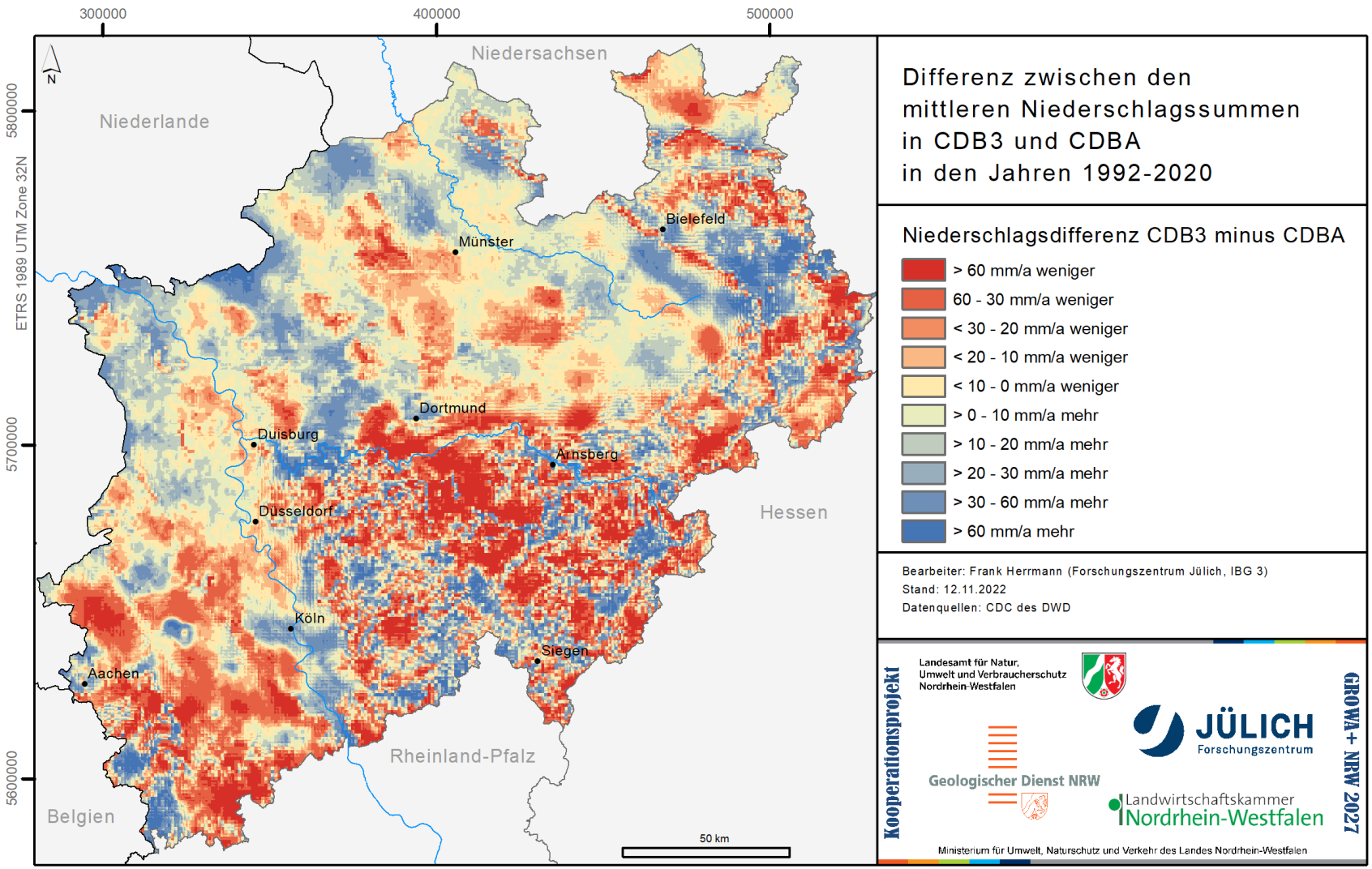




Neues mGROWA Modellkonzept inkl. Schneemodul



Vergleich Niederschlag KDB3 und KDB2



Im landesweiten Mittel ca. 6 mm/a weniger Niederschlag in den HYRAS-PRE-DE Daten und stärkere kleinregionale Kontraste im Differenzenraster.

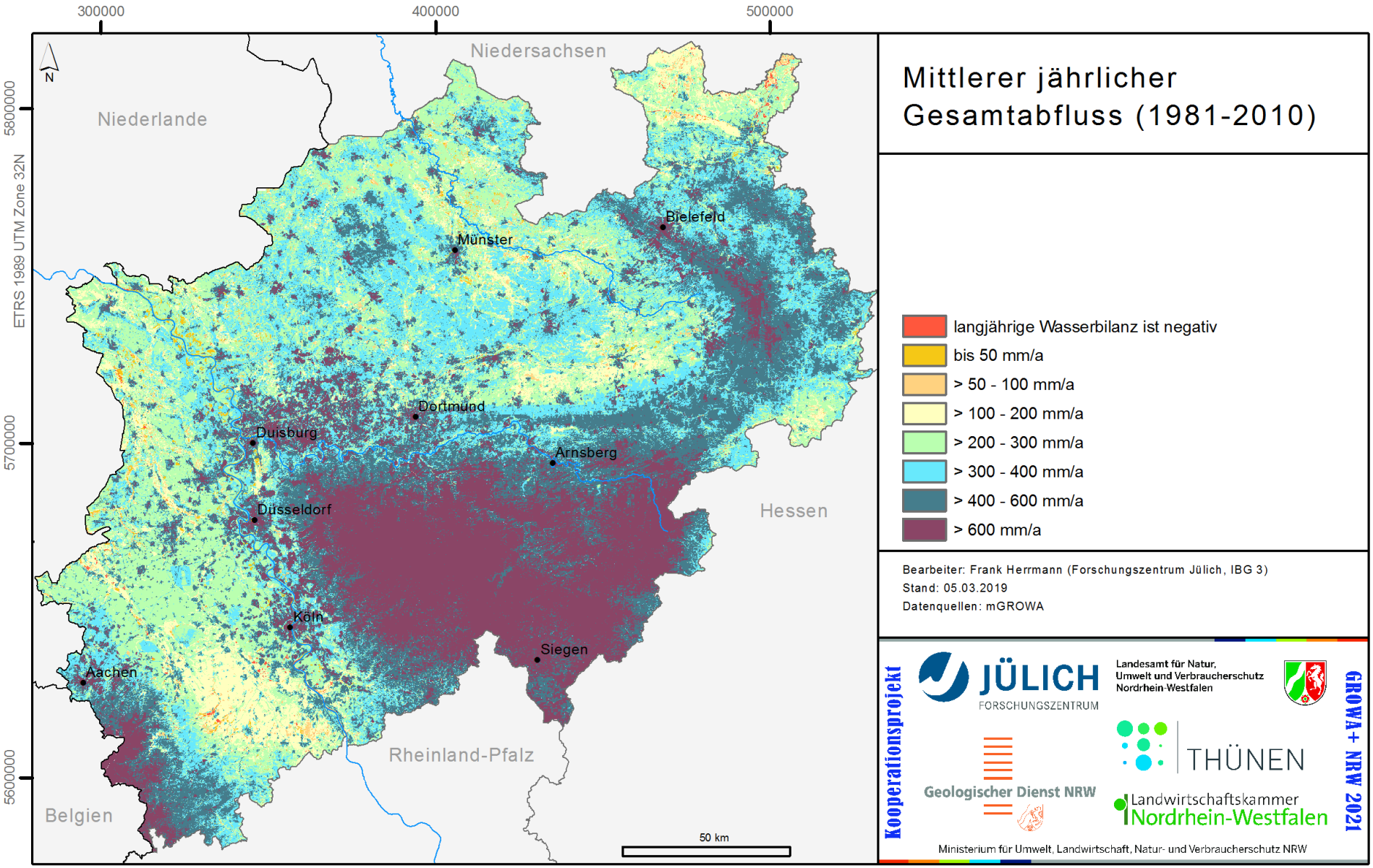
Zwischenfazit

- Aufgrund der vielfältigen Änderungen in der räumlichen Parametrisierung des Modells mGROWA und den Veränderungen in den DWD-Produkten (Regionalisierung von P und ET0) muss in den aktualisierten mGROWA Simulationen von kleinregional und lokal veränderten Werten für Grundwasserneubildung und Sickerwasserbewegung ausgegangen werden. Vermutet wird derzeit eine mögliche Spanne von bis zu ± 30 mm/a.
- Die großräumigen Muster der Grundwasserneubildung und Sickerwasserbewegung werden durch das Update nicht relevant verändert.

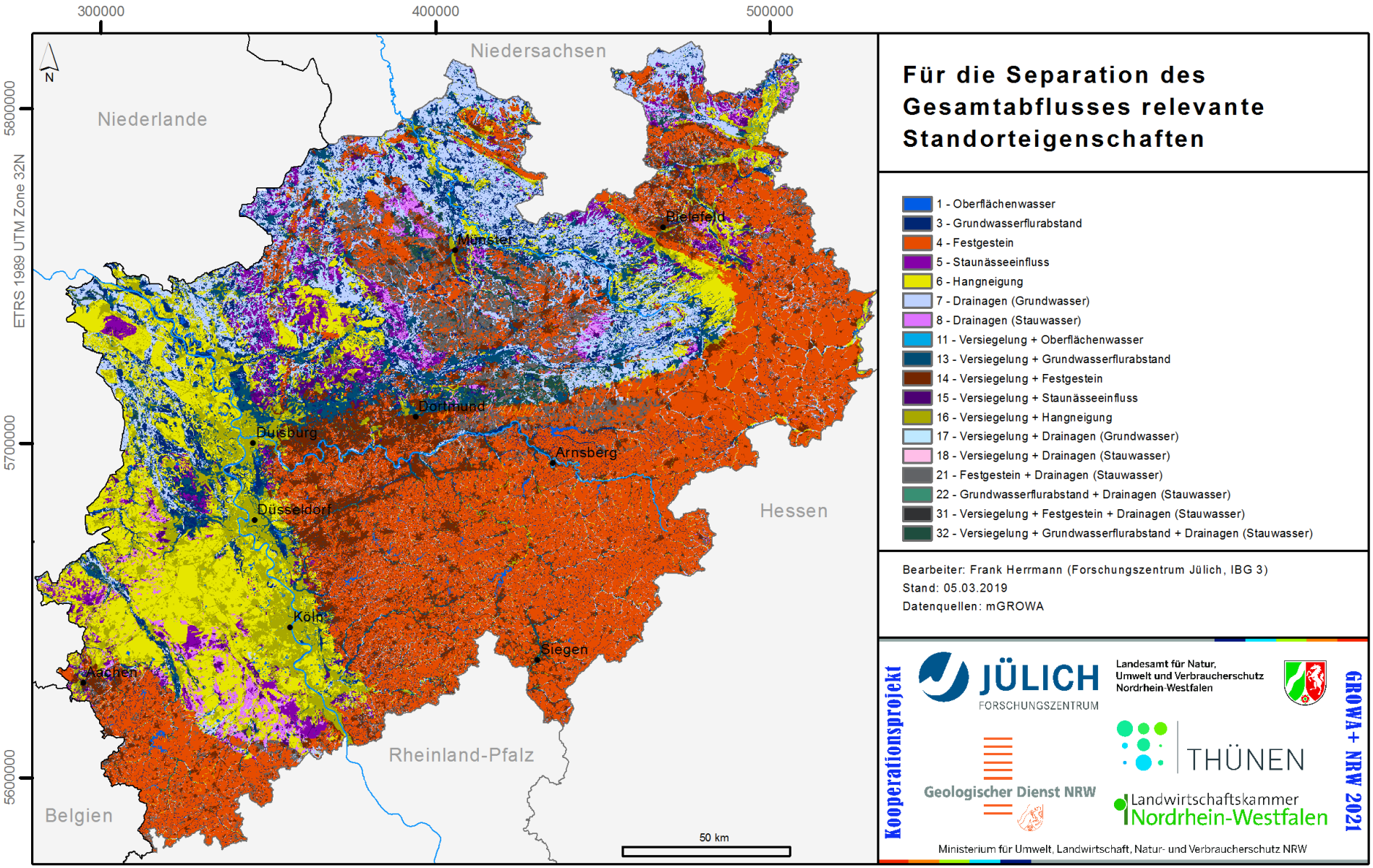
mGROWA Ergebnisse aus GROWA+ NRW2021 (1981-2010)

Die folgenden Karten werden im Rahmen von GROWA+ NRW2027 aktualisiert

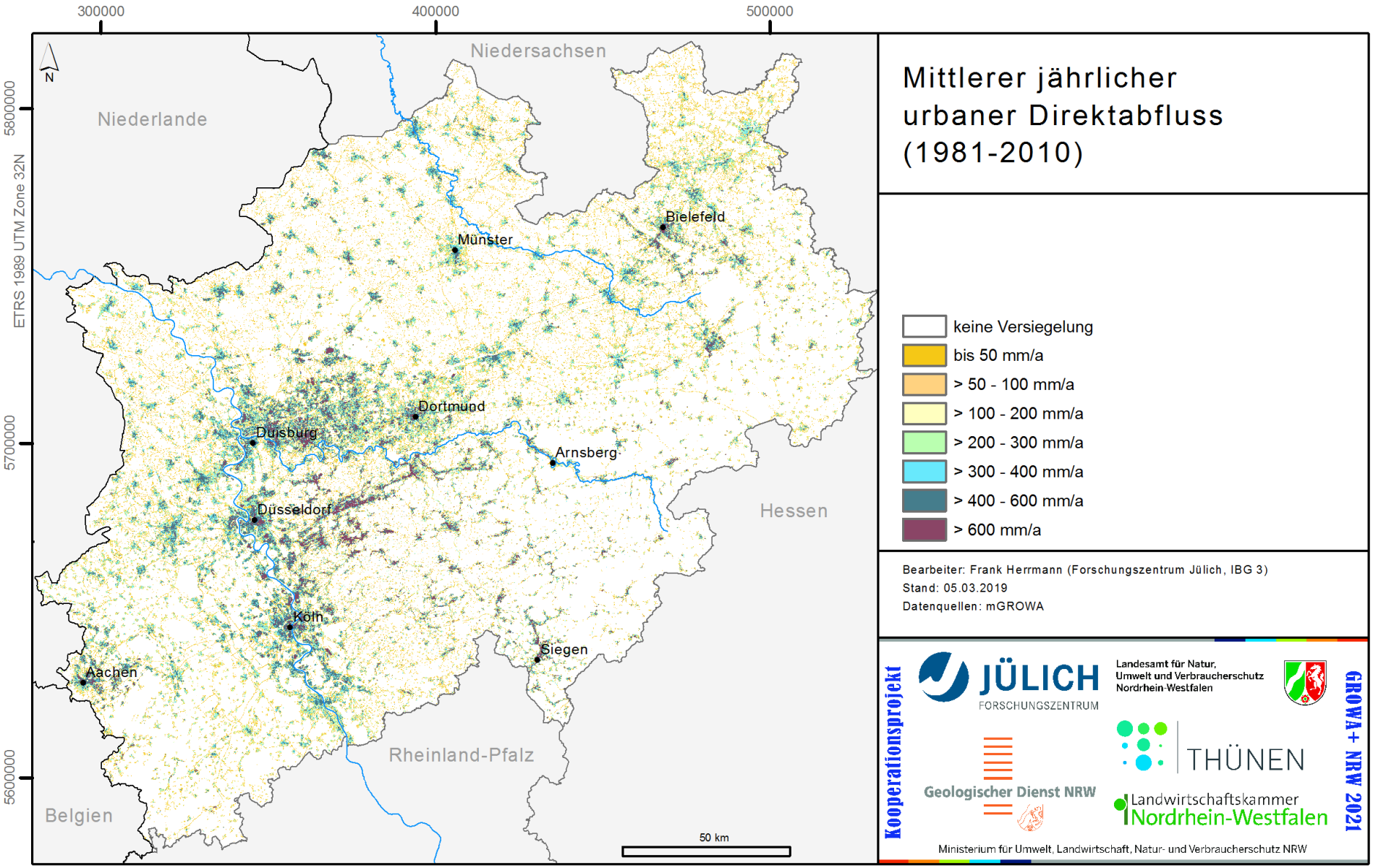
Mittlerer jährlicher Gesamtabfluss (1981-2010) in mm/a



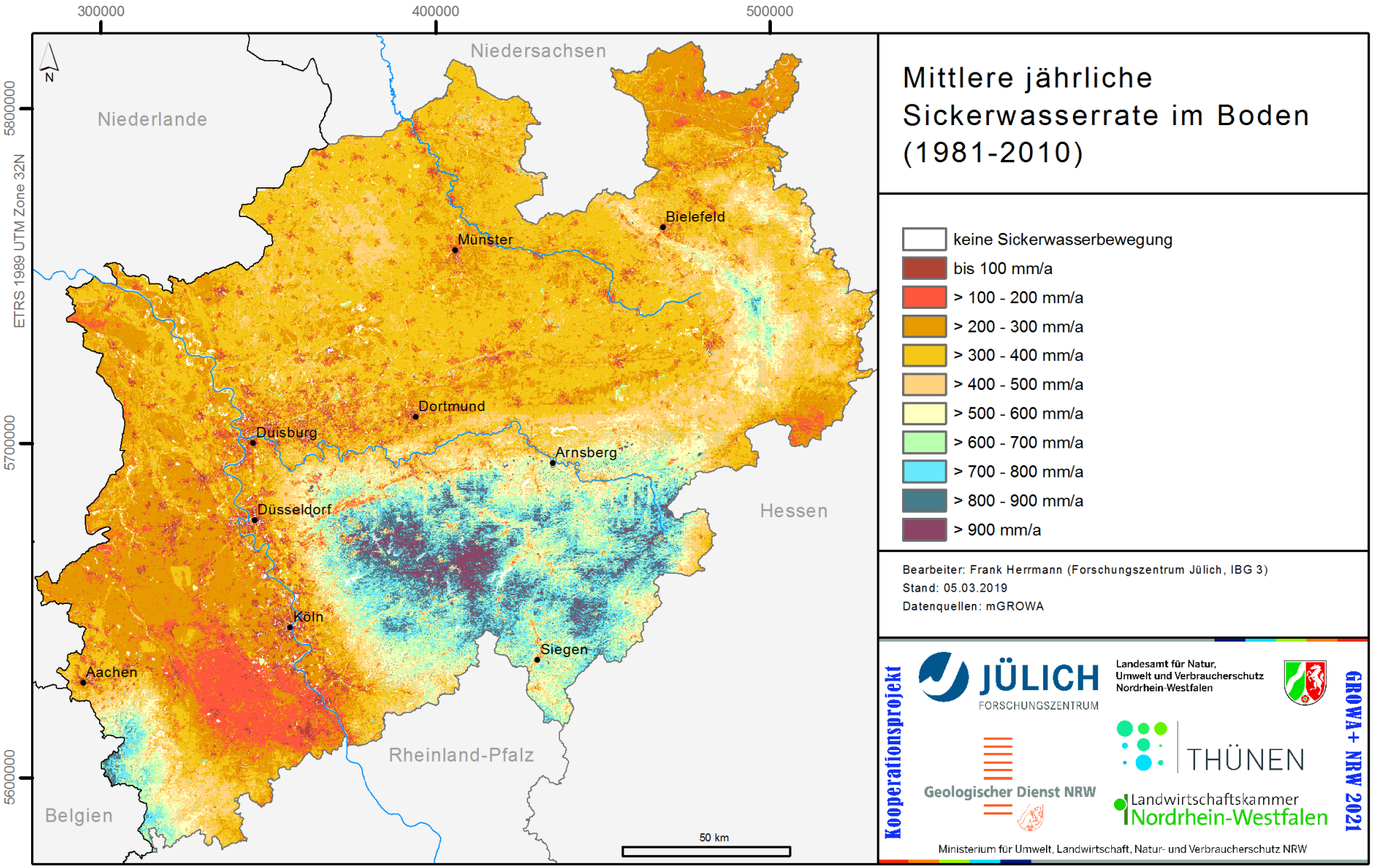
Für die Separation des Gesamtabflusses relevante Standorteigenschaften



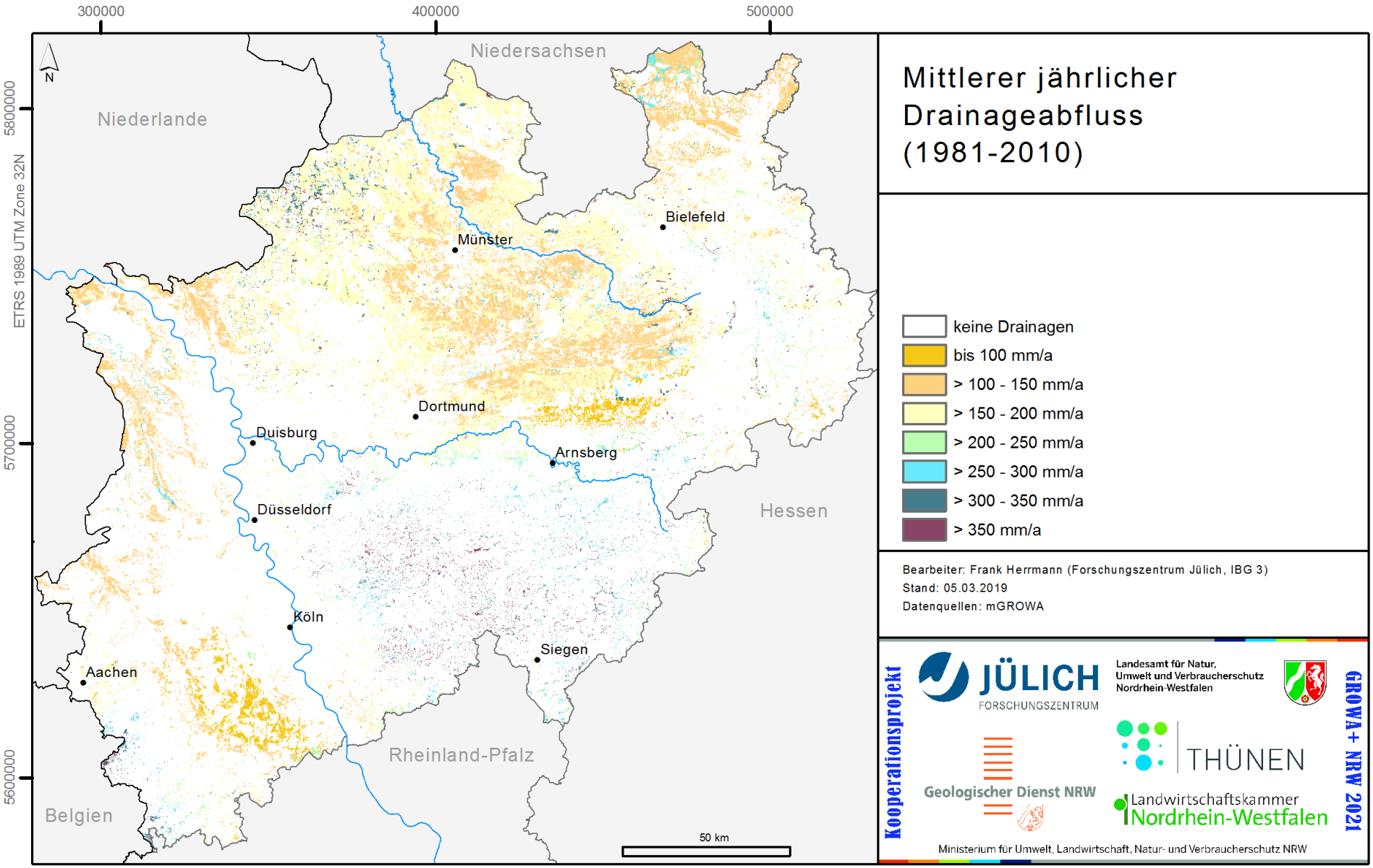
Mittlerer jährlicher urbaner Direktabfluss (1981-2010) in mm/a



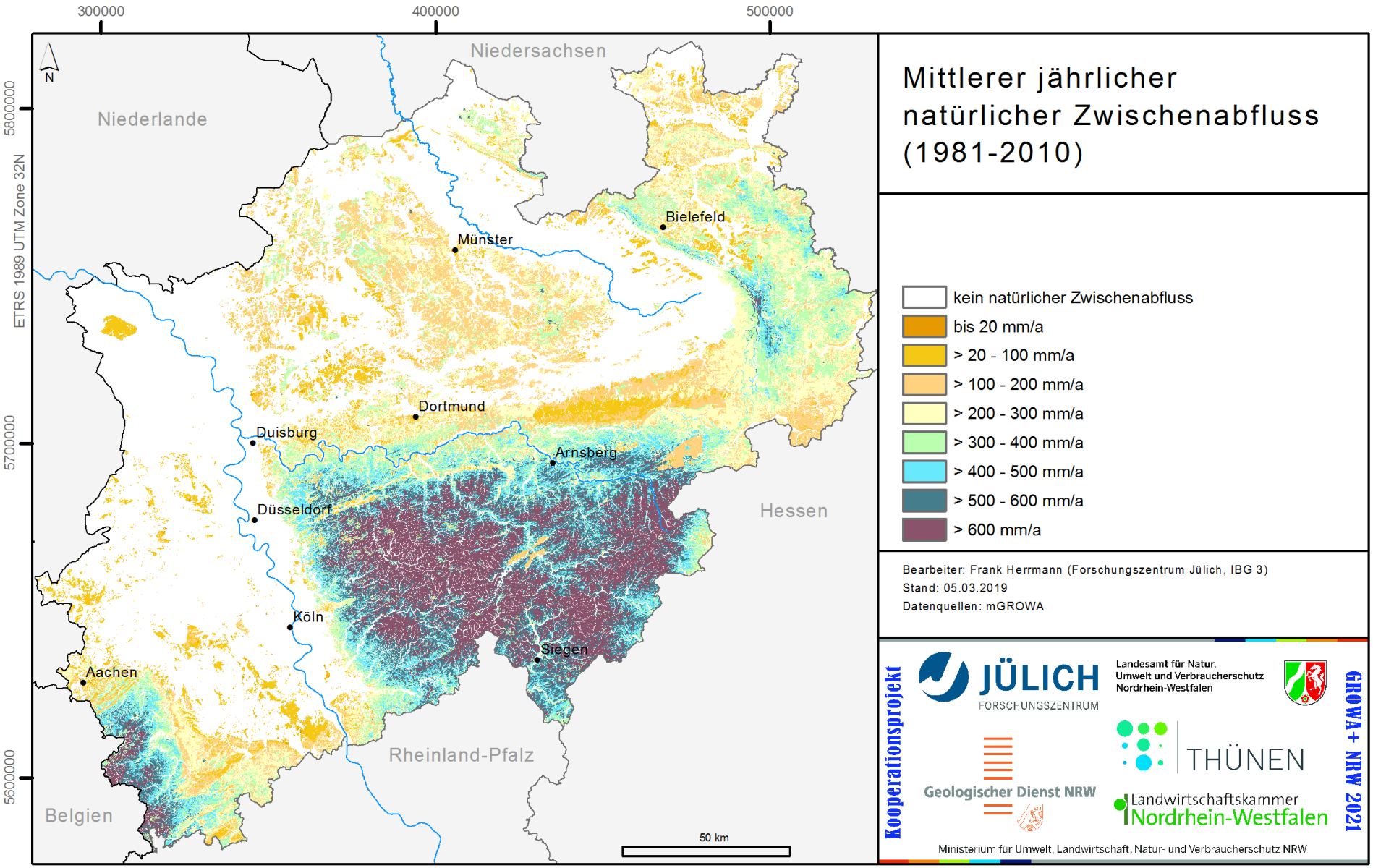
Mittlere jährliche Sickerwasserrate im Boden (1981-2010) in mm/a



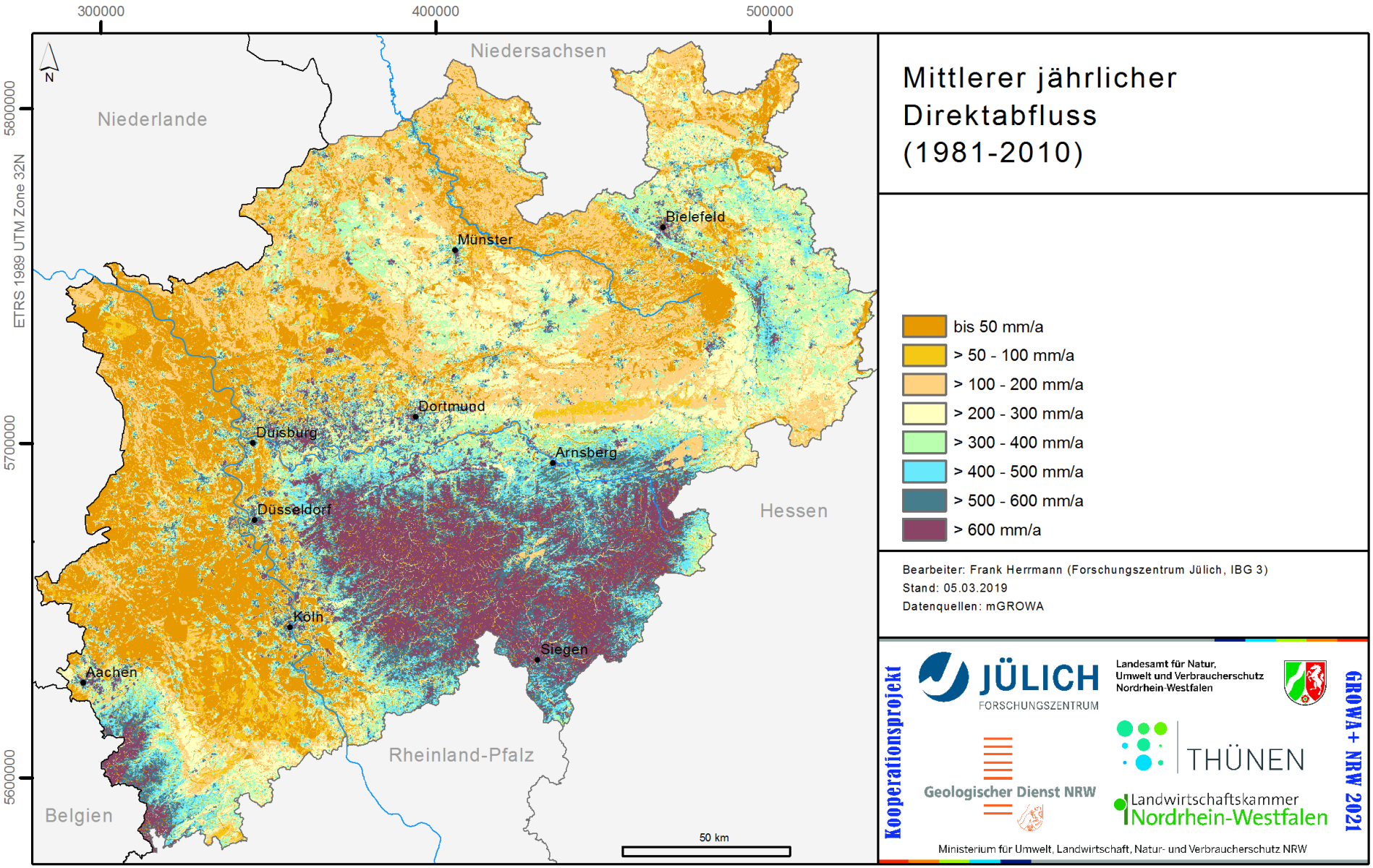
Mittlerer jährlicher Drainageabfluss (1981-2010) in mm/a



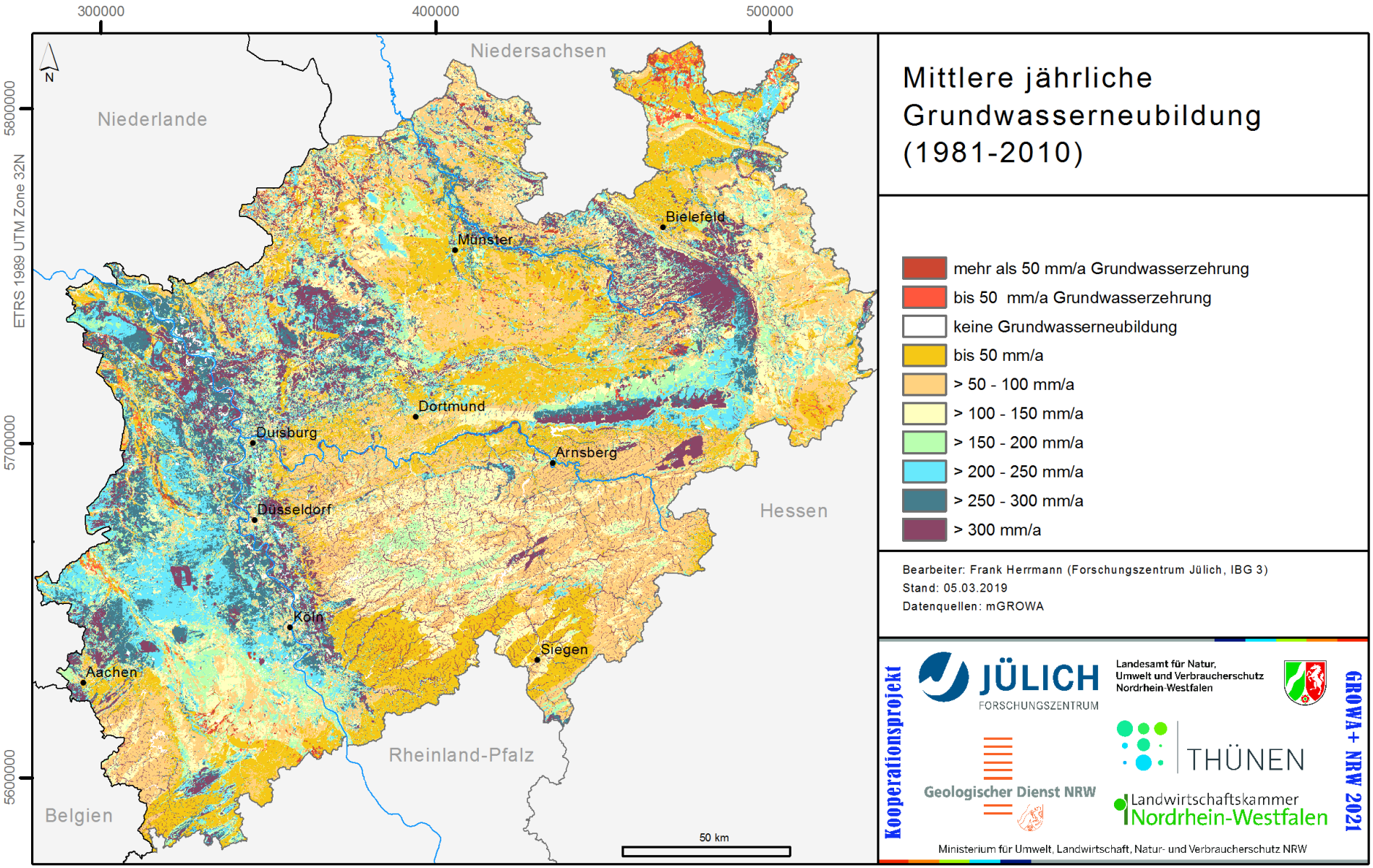
Mittlerer jährlicher natürlicher Zwischenabfluss (1981-2010) in mm/a



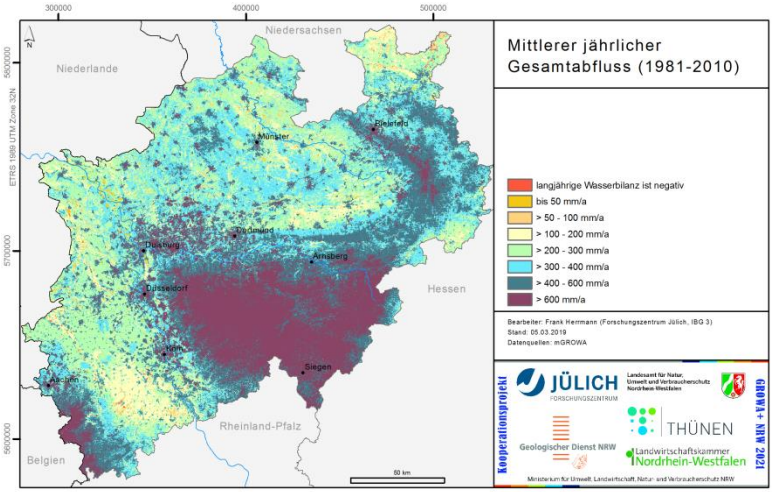
Mittlerer jährlicher Direktabfluss (1981-2010) in mm/a

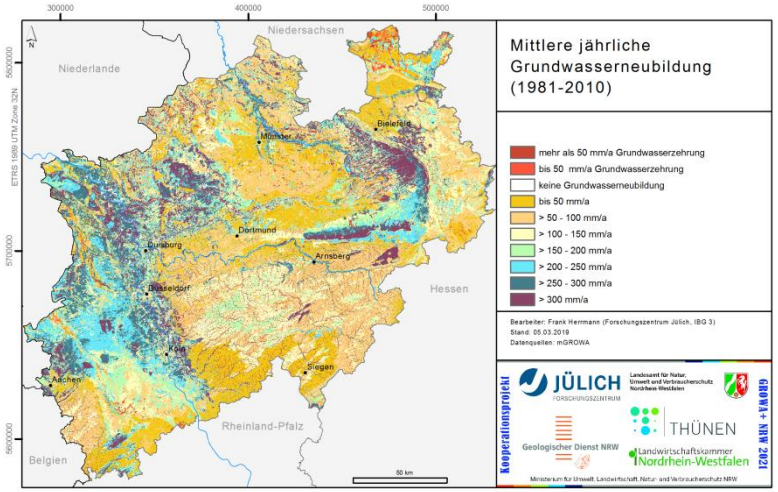


Mittlere jährliche Grundwasserneubildung (1981-2010) in mm/a



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



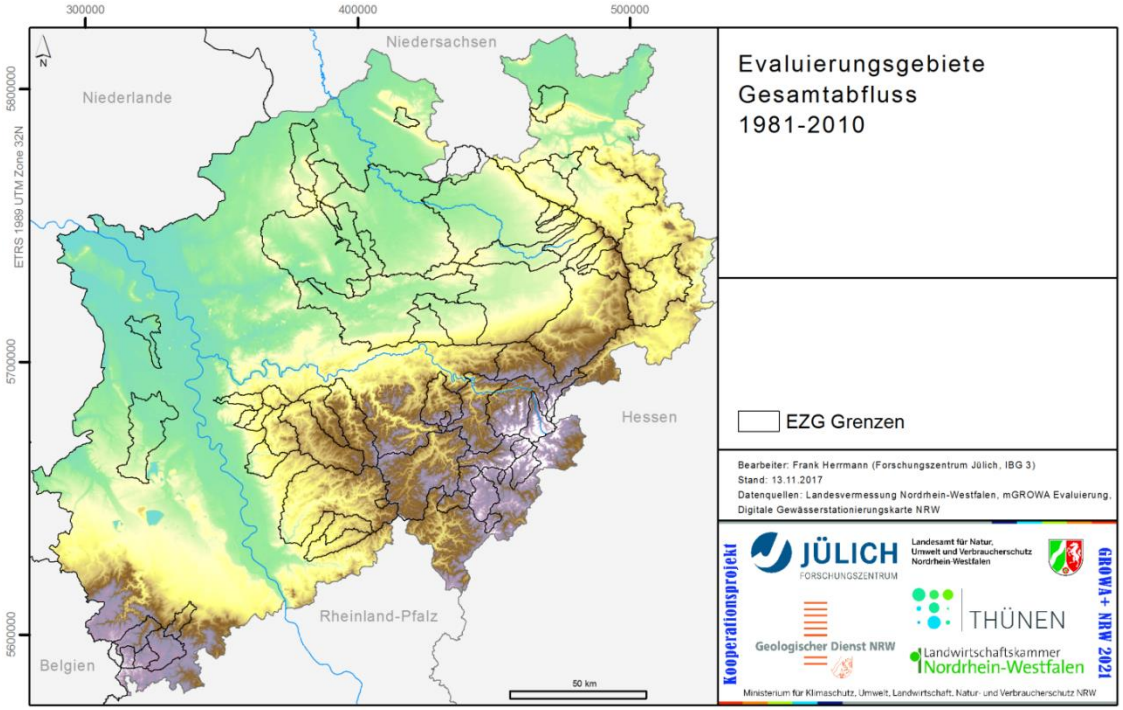


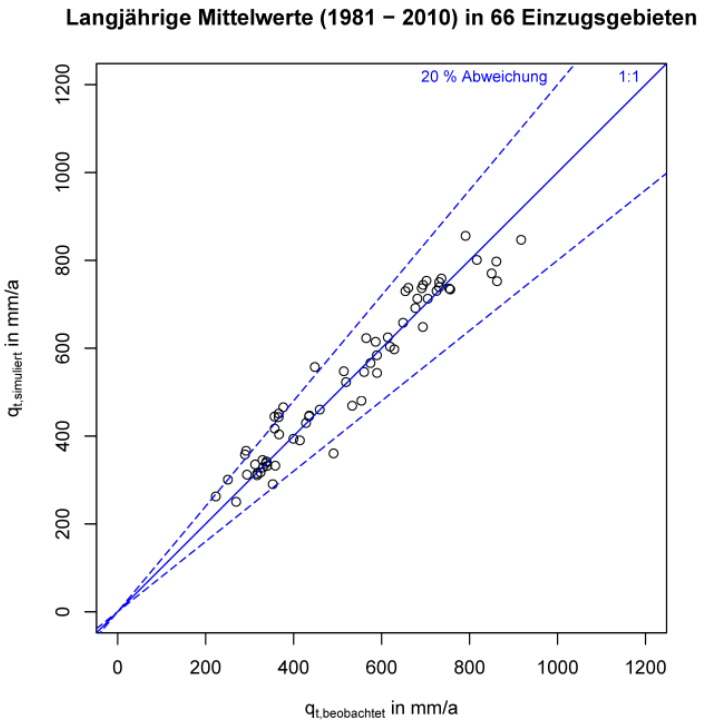
Wie gut passen die aus den Abflusszeitreihen für die Gewässerpegeln in NRW berechneten MQ und MoMNQ-Werte mit den für diese Einzugsgebiete (EZG) von mGROWA berechneten mittlere Gesamtabfluss- und Grundwasserneubildungswerten zusammen?

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.

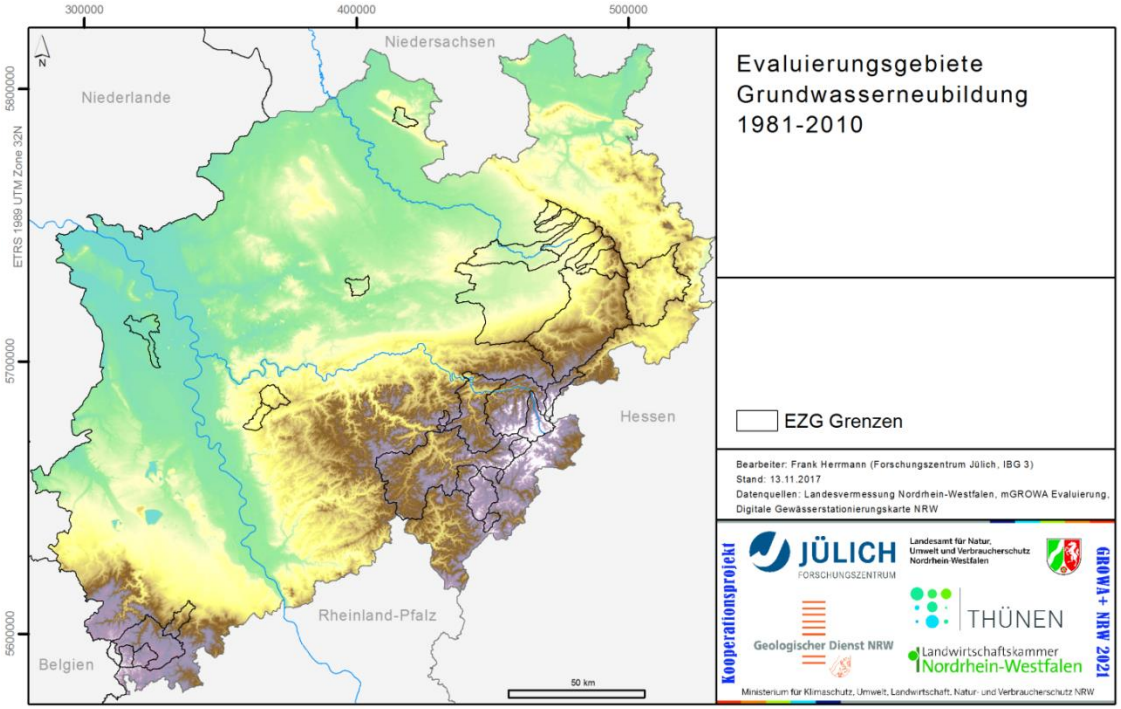
Sehr gute Übereinstimmung zwischen beobachtetem und simuliertem Gesamtabfluss

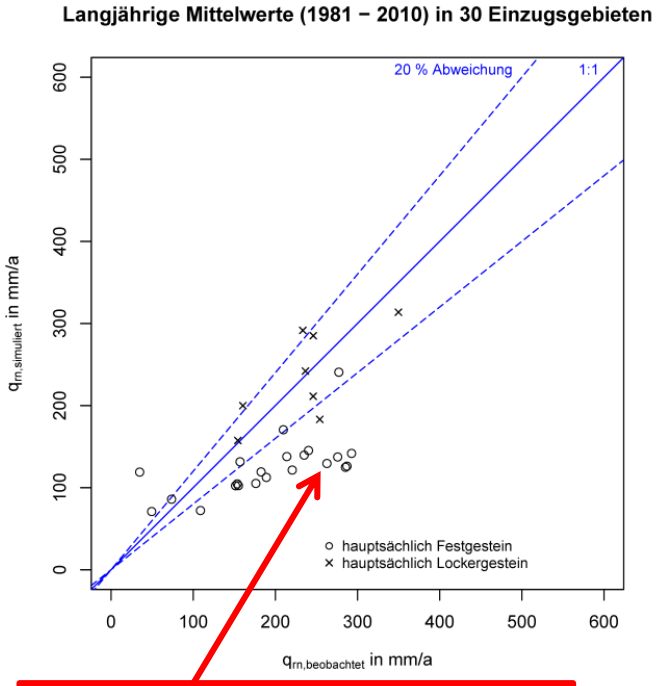




Evaluierung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung (1981-2010)

- 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.**

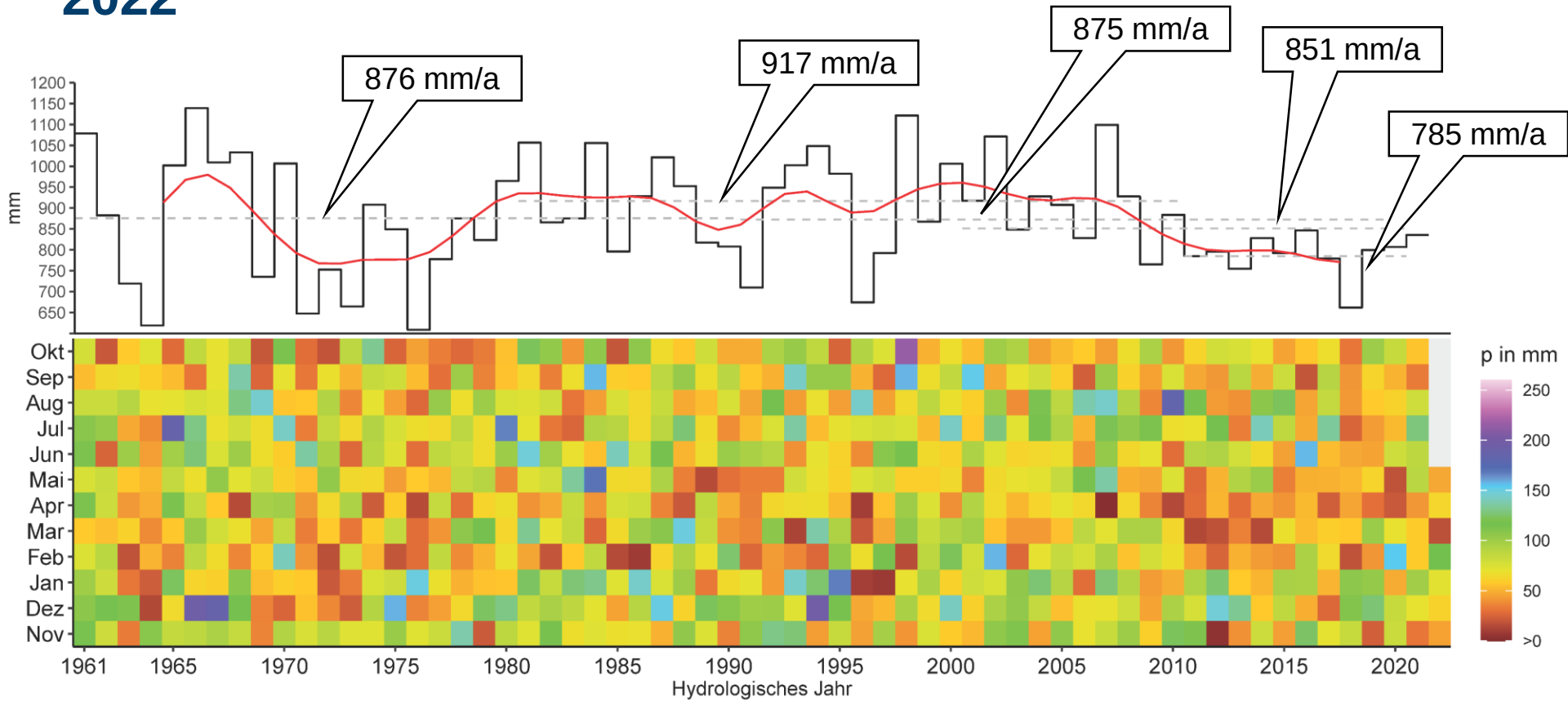




Einfluss von Talsperren auf den Niedrigwasserabfluss

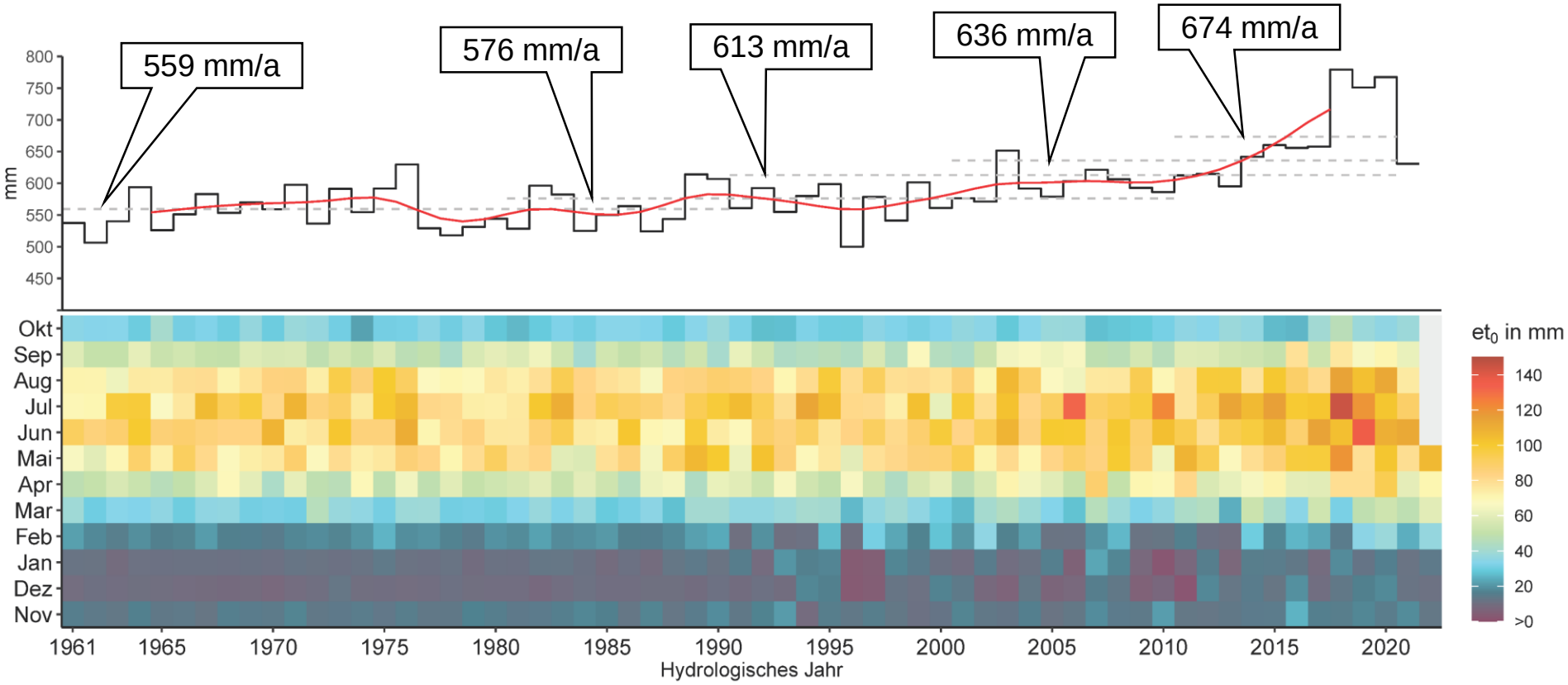
Grundwasserneubildung in NRW in der beobachteten Vergangenheit von 1961 bis 2022

Zeitreihe des Niederschlags in NRW 1961 bis 2022



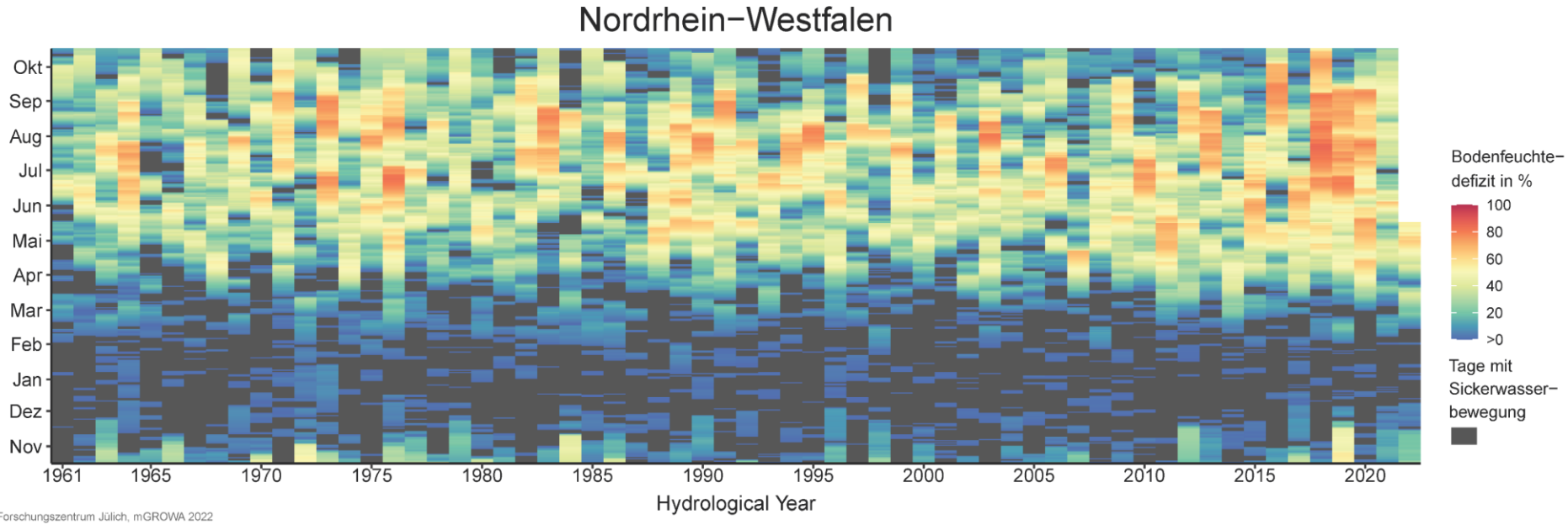
Der obere Teil zeigt die Summe in den hydrologischen Jahren (November bis Oktober) in Form eines Stufendiagrammes. Zusätzlich ist in Rot die Tiefpass-gefilterte Zeitreihe dargestellt (hervorheben der mittelfristigen Schwankungen und längerfristigen Trends). In Grau gestrichelt sind außerdem die langjährigen Mittelwerte für 1961-1990, 1981-2010, 1991-2020, 2001-2020 und 2011-2020 dargestellt. In der zweiten (unteren) Komponente der Zeitreihendarstellung sind für die einzelnen hydrologischen Jahre die Monatssummen farblich kodiert dargestellt.

Zeitreihe der potentiellen Evapotranspiration über Gras in NRW 1961 bis 2022

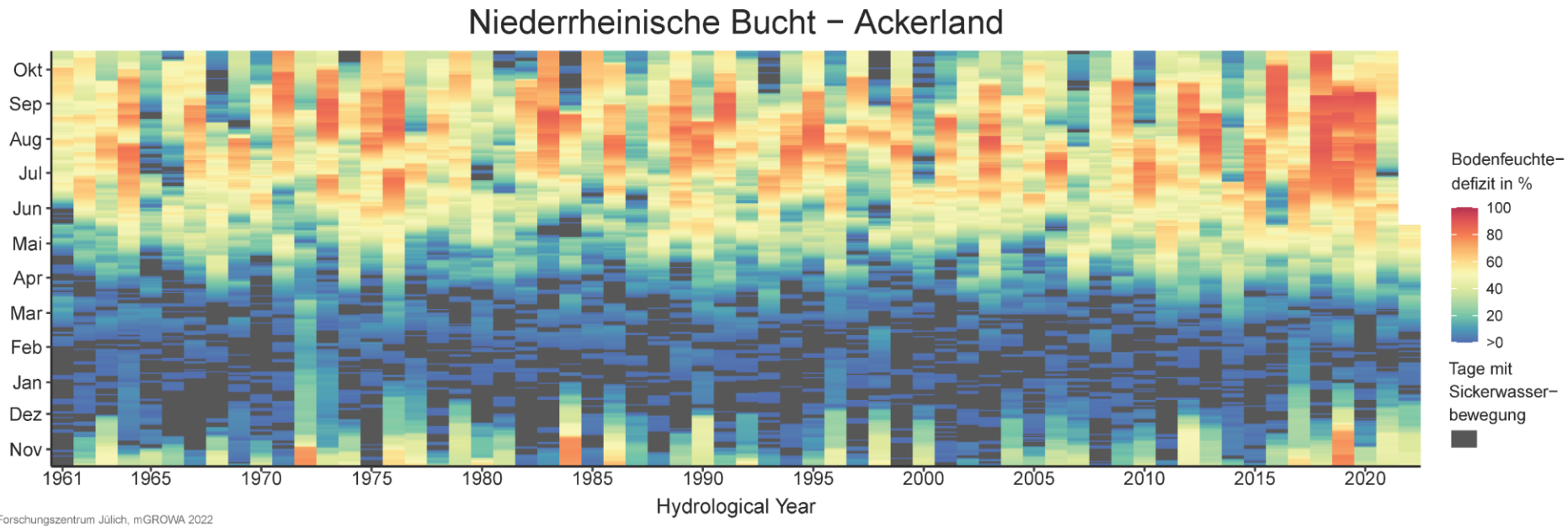


Der obere Teil zeigt die Summe in den hydrologischen Jahren (November bis Oktober) in Form eines Stufendiagrammes. Zusätzlich ist in Rot die Tiefpass-gefilterte Zeitreihe dargestellt (hervorheben der mittelfristigen Schwankungen und längerfristigen Trends). In Grau gestrichelt sind außerdem die langjährigen Mittelwerte für 1961-1990, 1981-2010, 1991-2020, 2001-2020 und 2011-2020 dargestellt. In der zweiten (unteren) Komponente der Zeitreihendarstellung sind für die einzelnen hydrologischen Jahre die Monatssummen farblich kodiert dargestellt.

Bodenfeuchtedefizit in NRW 1961-2022

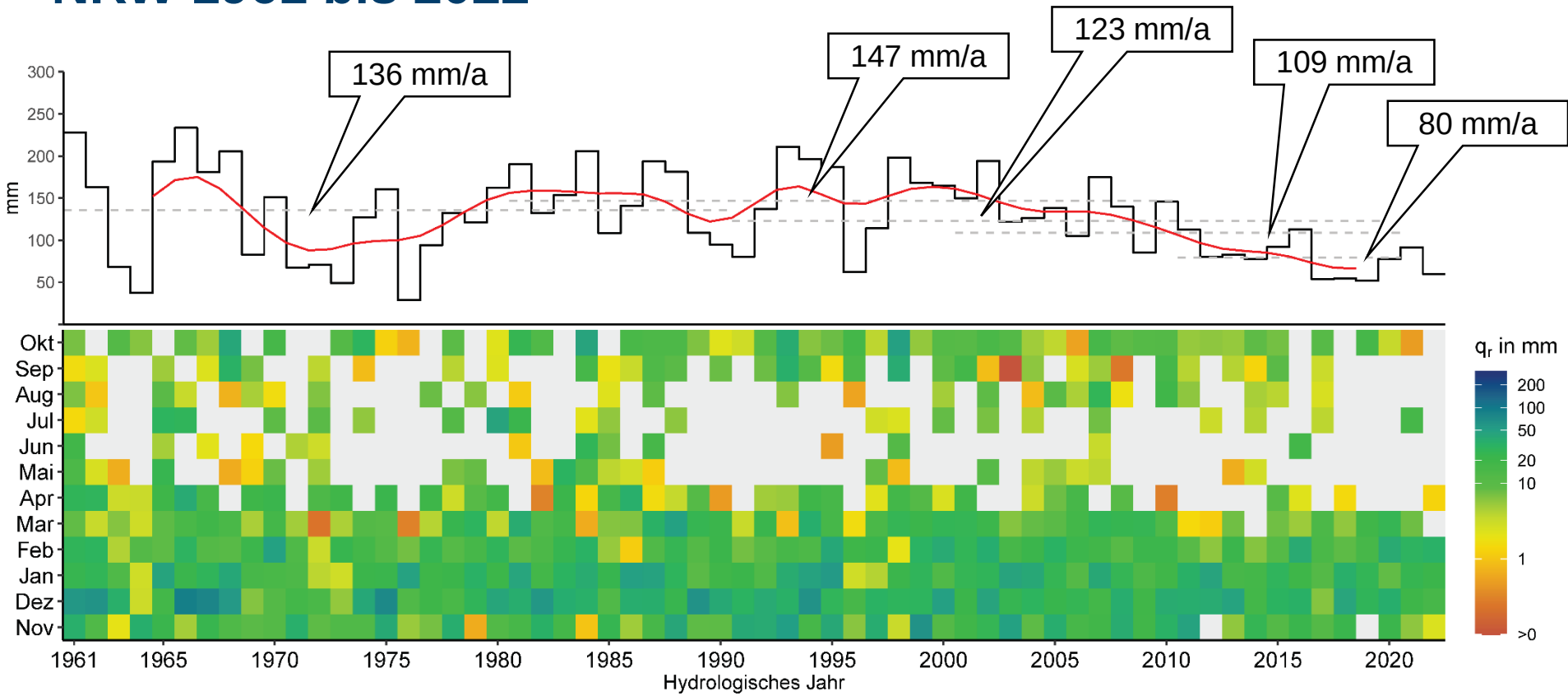


© Forschungszentrum Jülich, mGROWA 2022



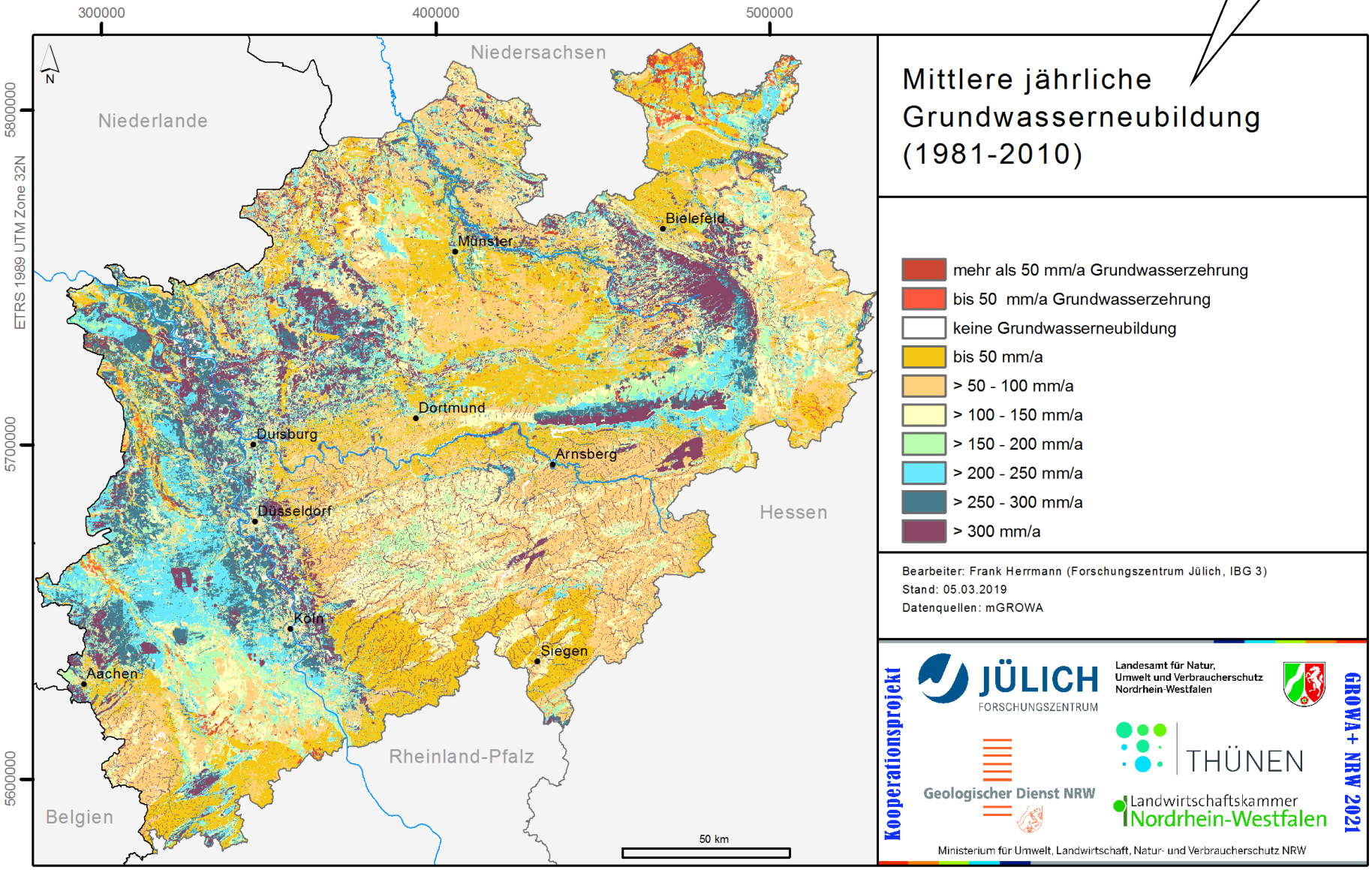
© Forschungszentrum Jülich, mGROWA 2022

Zeitreihe der Grundwasserneubildung in NRW 1961 bis 2022

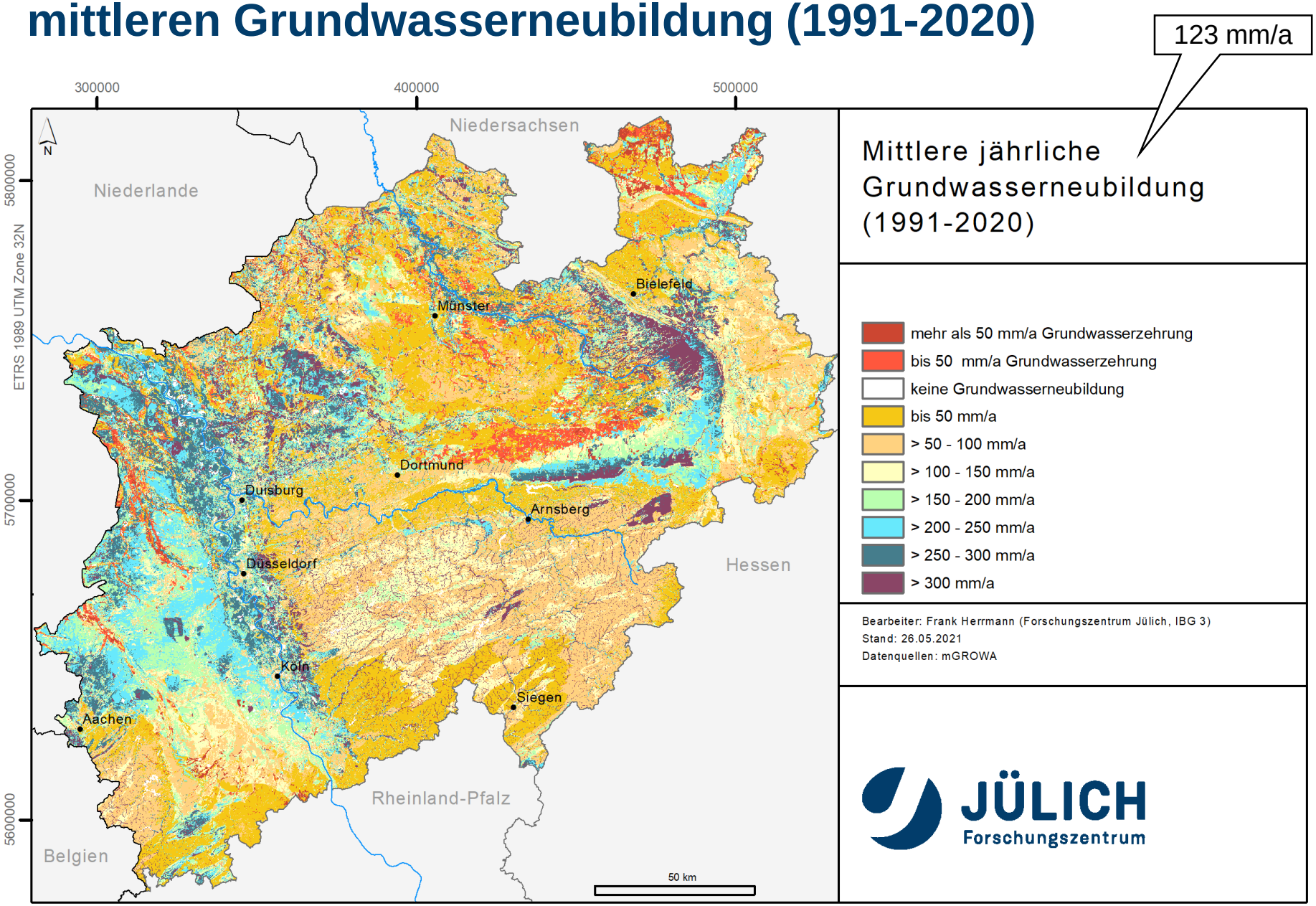


Der obere Teil zeigt die Summe in den hydrologischen Jahren (November bis Oktober) in Form eines Stufendiagrammes. Zusätzlich ist in Rot die Tiefpass-gefilterte Zeitreihe dargestellt (hervorheben der mittelfristigen Schwankungen und längerfristigen Trends). In Grau gestrichelt sind außerdem die langjährigen Mittelwerte für 1961-1990, 1981-2010, 1991-2020, 2001-2020 und 2011-2020 dargestellt. In der zweiten (unteren) Komponente der Zeitreihendarstellung sind für die einzelnen hydrologischen Jahre die Monatssummen farblich kodiert dargestellt.

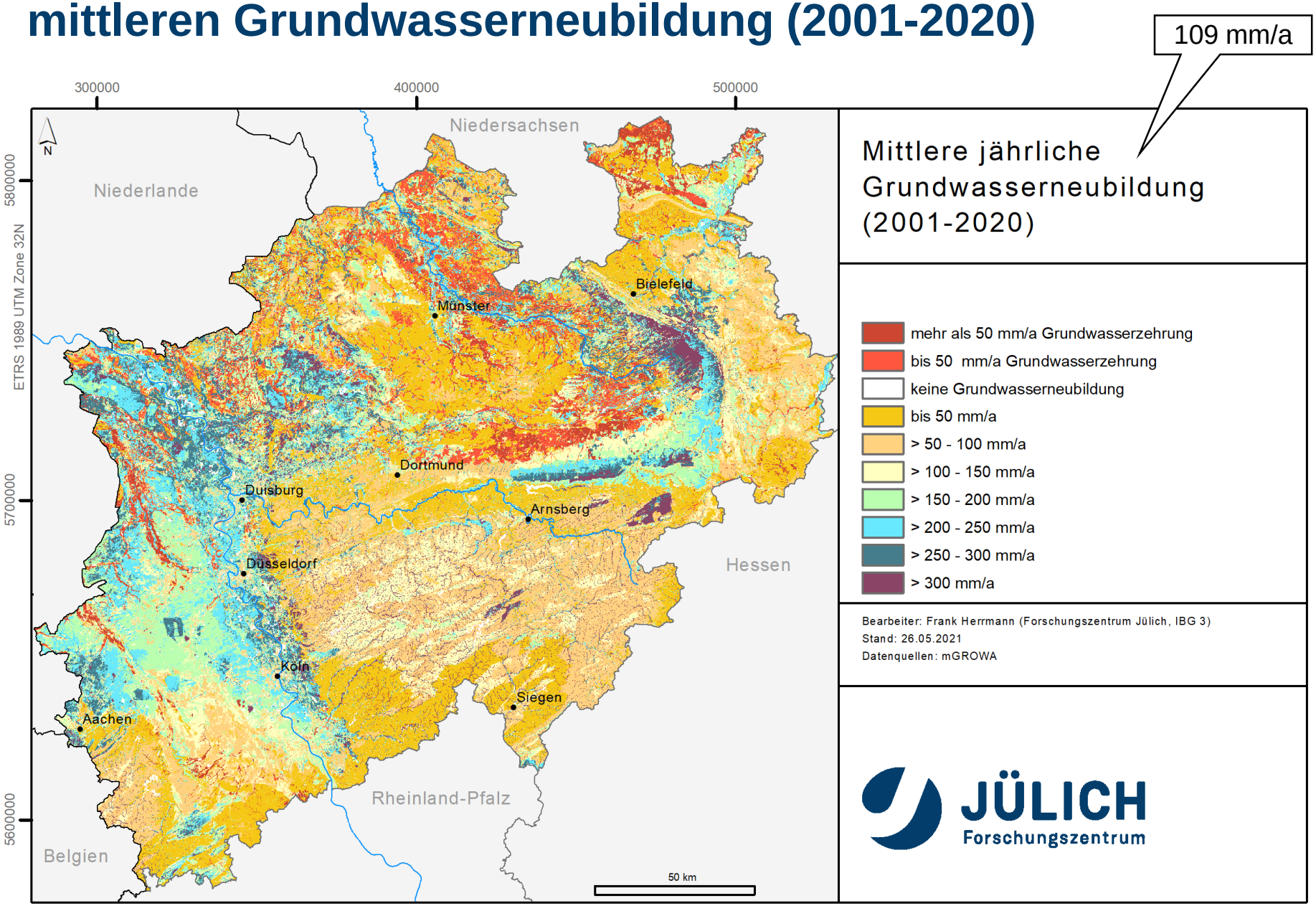
Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung (1981-2010)



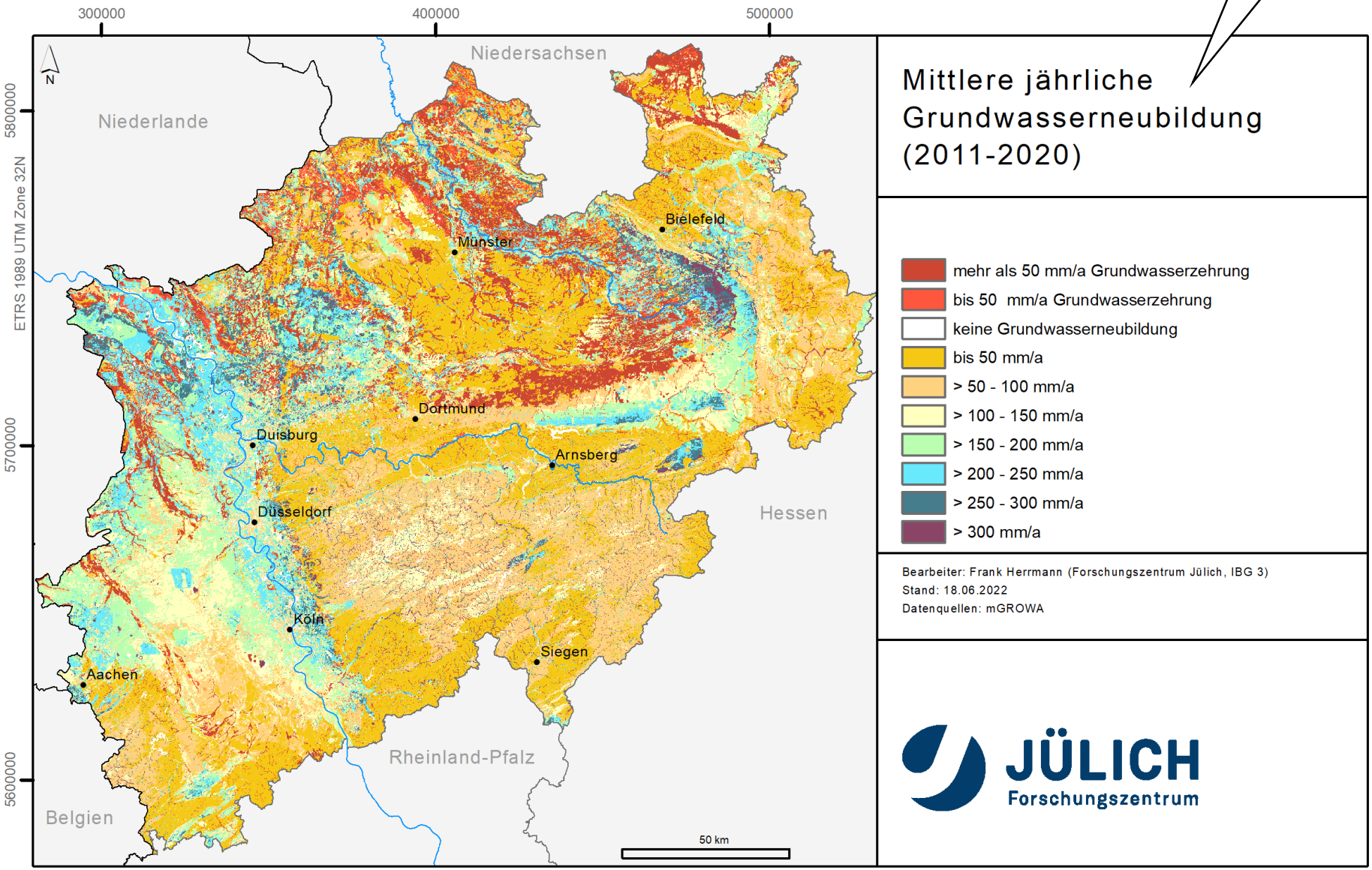
Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung (1991-2020)



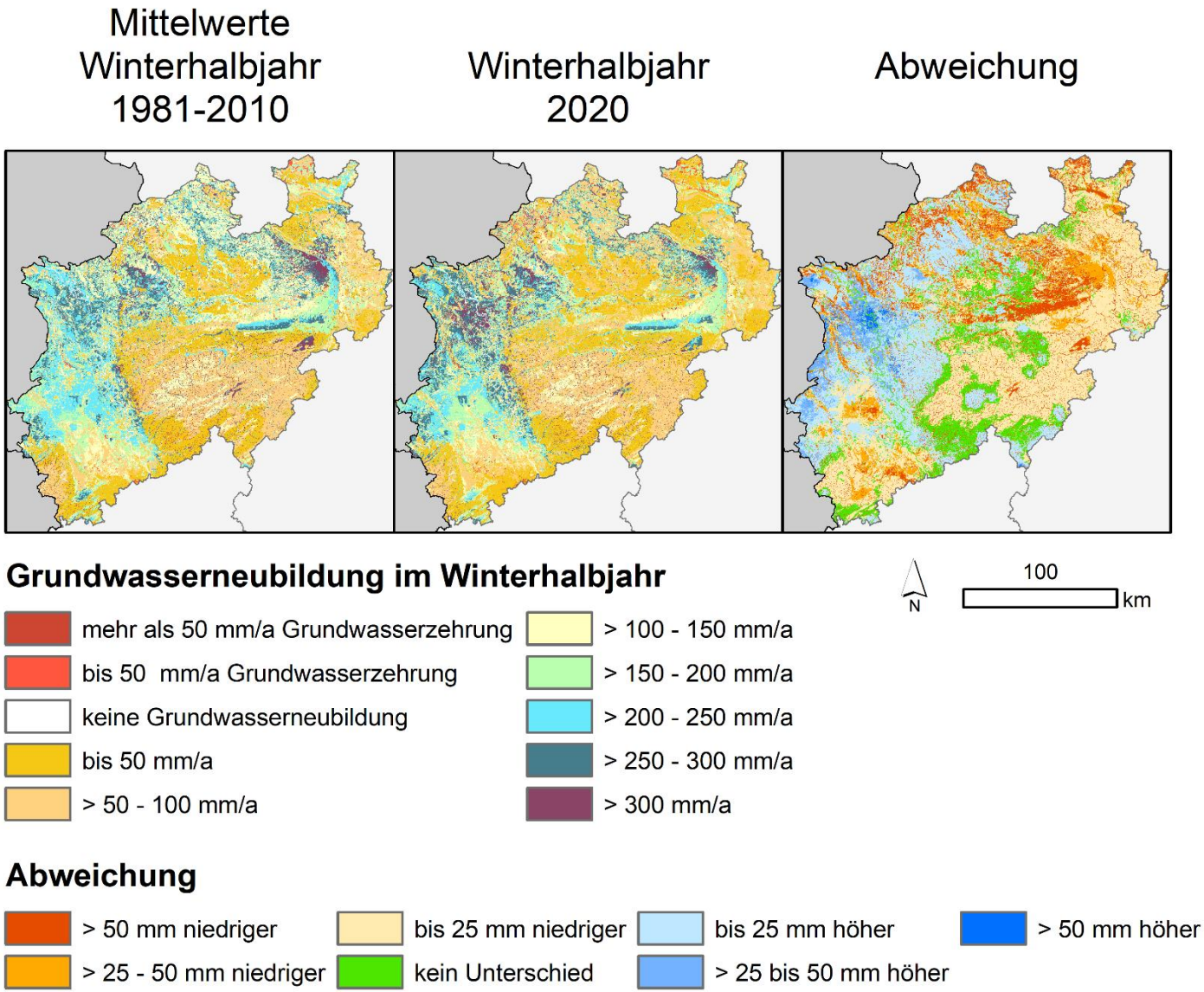
Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung (2001-2020)



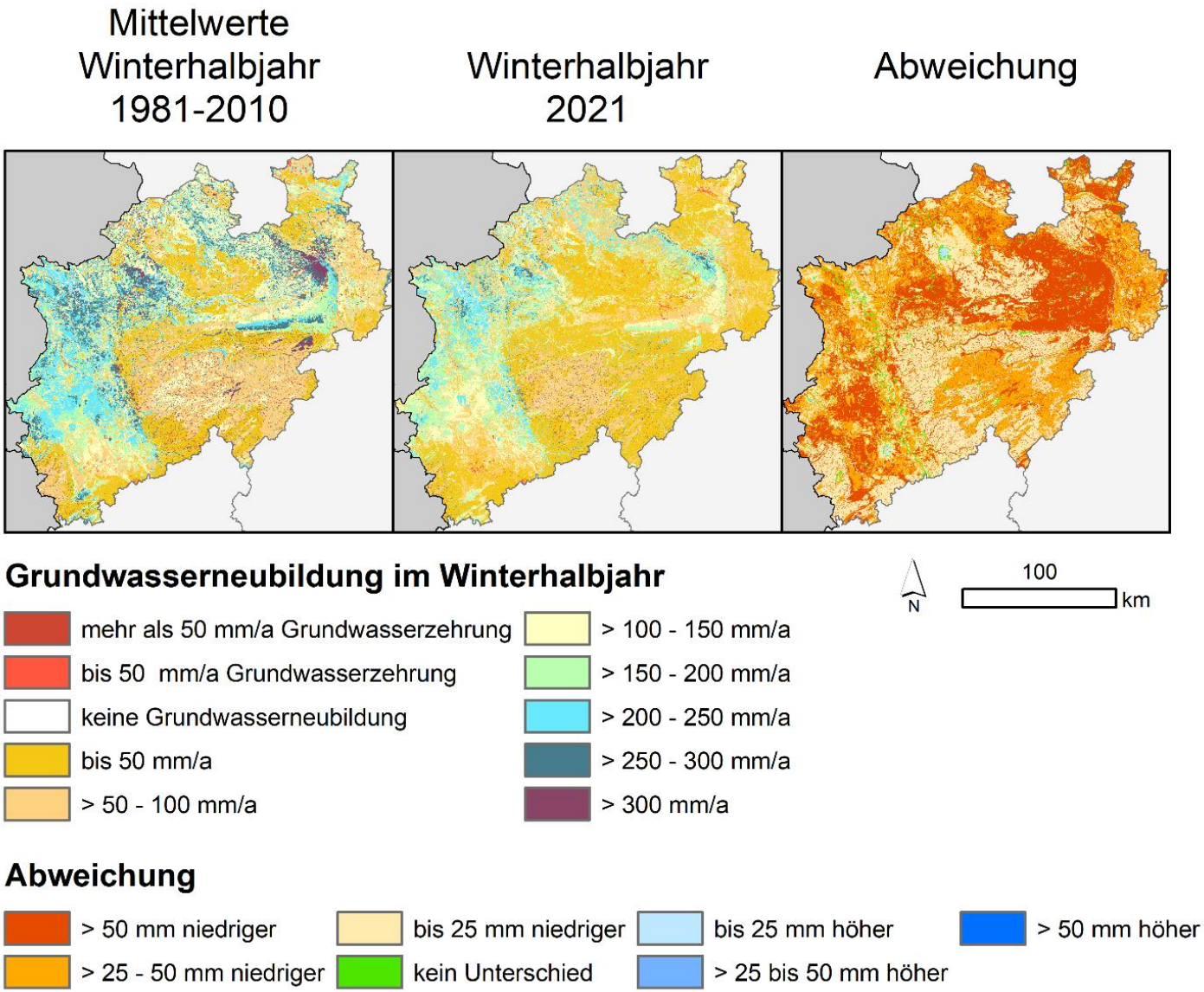
Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung (2011-2020)



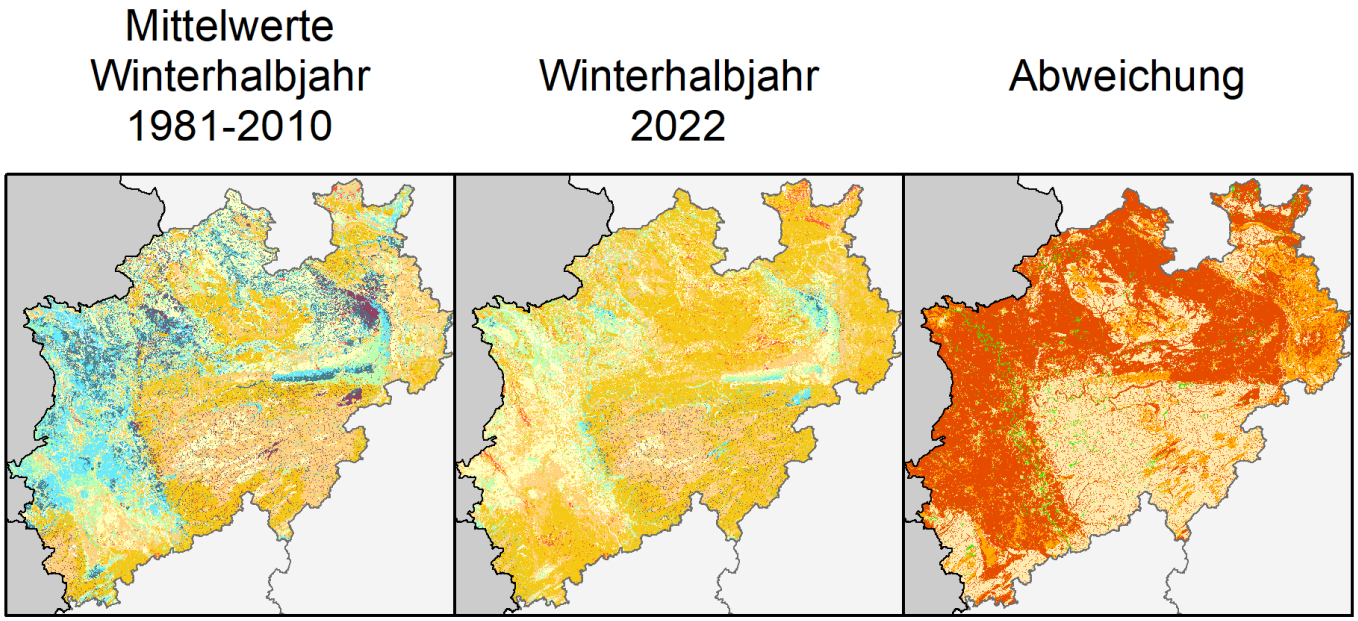
Grundwasserneubildung (GWNB) im Winterhalbjahr 2020



Grundwasserneubildung (GWNB) im Winterhalbjahr 2021



Grundwasserneubildung (GWNB) im Winterhalbjahr 2022



Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr

- mehr als 50 mm/a Grundwasserzehrung
- bis 50 mm/a Grundwasserzehrung
- keine Grundwasserneubildung
- bis 50 mm/a
- > 50 - 100 mm/a
- > 100 - 150 mm/a
- > 150 - 200 mm/a
- > 200 - 250 mm/a
- > 250 - 300 mm/a
- > 300 mm/a

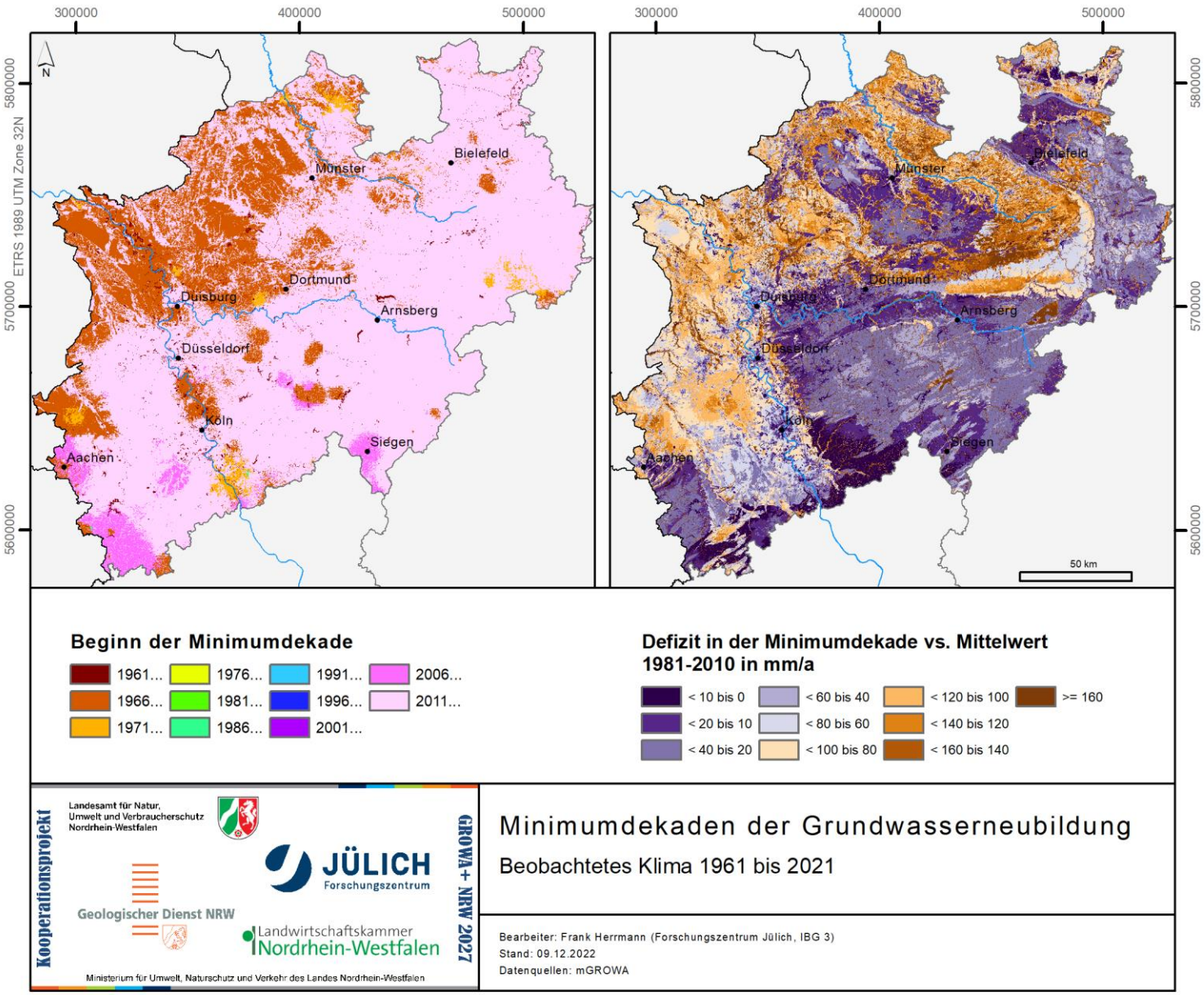
N

100 km

Abweichung

- > 50 mm niedriger
- > 25 - 50 mm niedriger
- bis 25 mm niedriger
- kein Unterschied
- bis 25 mm höher
- > 25 bis 50 mm höher
- > 50 mm höher

Minimumdekaden Grundwasserneubildung



Im Sinne des Vorsorgegedankens empfehlen Fliß et al. (2021), auch definierte Trockenzeiträume von 10 Jahren in wasserwirtschaftlichen Planungen zu berücksichtigen.

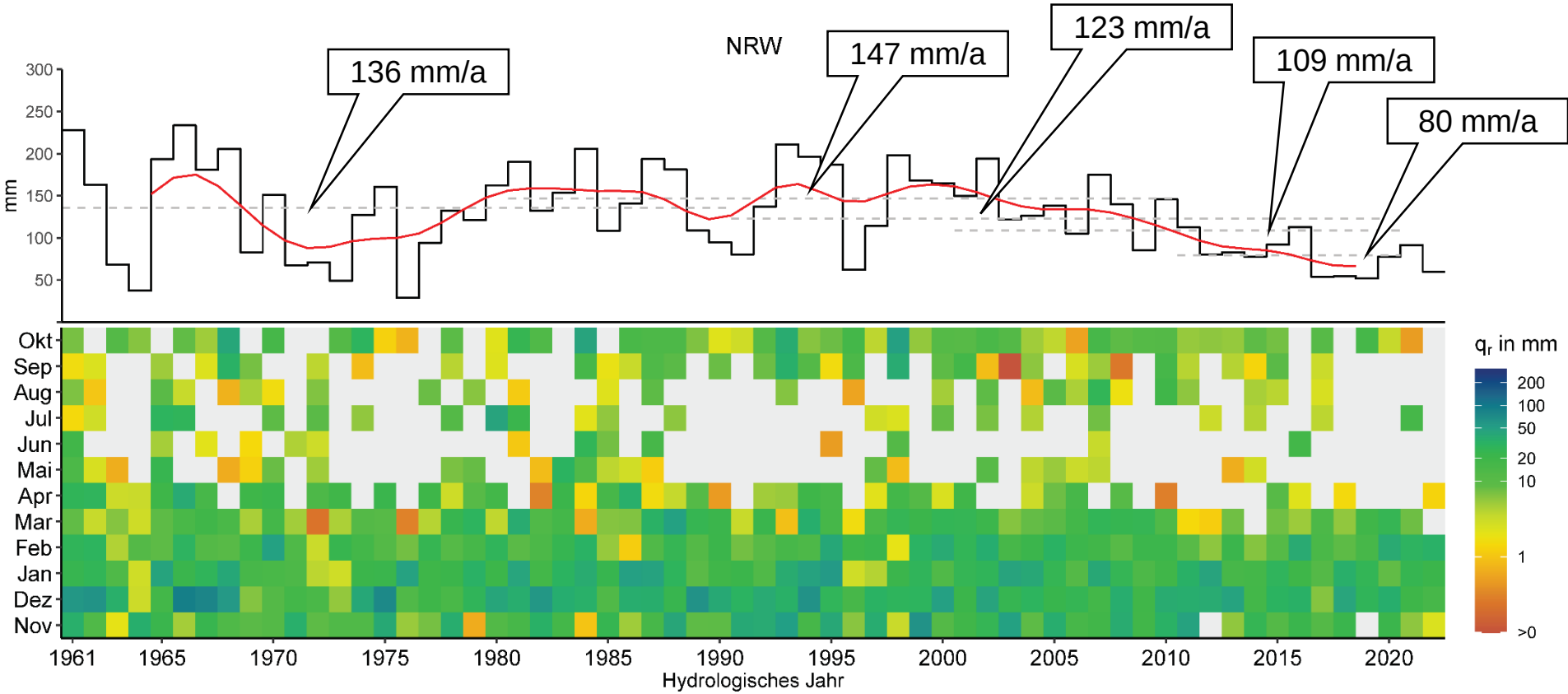
Fliß R, Baumeister C, Gudera T, Hergesell M, Kopp B, Neumann J, Posselt M. Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser und die Wasserversorgung in Süddeutschland. Grundwasser 2021; 26: 33-45. DOI: 10.1007/s00767-021-00477-z

Zwischenfazit

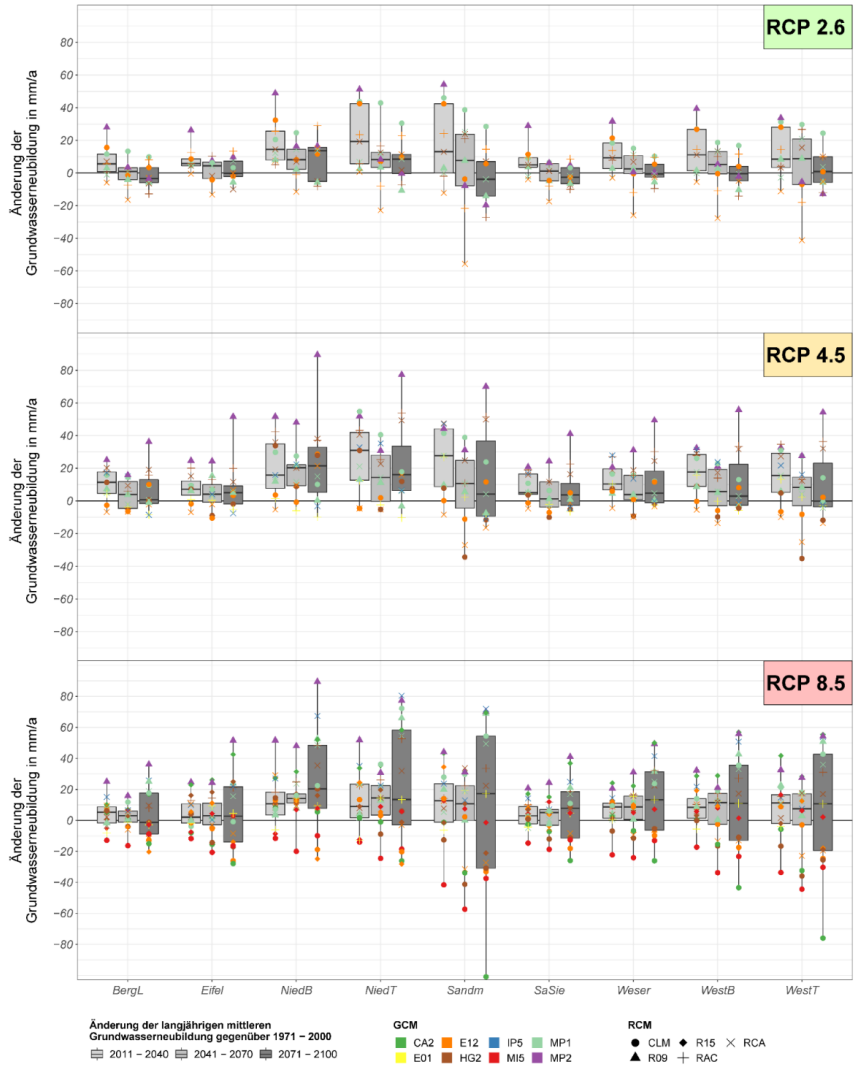
- In der Dekade 2011-2020 waren die Niederschläge in NRW unterdurchschnittlich und zeitgleich hat der Klimawandel eine höhere potentiellen Evapotranspiration bewirkt.
- Das zeitliche Zusammenwirken dieser Entwicklungen und der damit verbundenen Prozesse führte zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung, die im NRW-Durchschnitt gegenwärtig deutlich unterhalb des für die Wasserwirtschaft derzeit noch als Planungsgrundlage verwendeten langjährigen Mittelwertes 1981-2010 liegt.
- Durch statistische Trend-Tests konnte mittlerweile auch eine signifikante Veränderung der zeitlichen Muster der Grundwasserneubildung in den vergangenen 2 Dekaden nachgewiesen werden.
- Die größten Veränderungen in den zeitlichen Mustern der Sickerwasserbewegung und der Grundwasserneubildung sind durch veränderte Muster in den klimatischen Datengrundlagen begründet.

Projektionen der Grundwasserneubildung bis 2100 (Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA)

Wie könnte sich diese Zeitreihe bis 2100 fortsetzen?

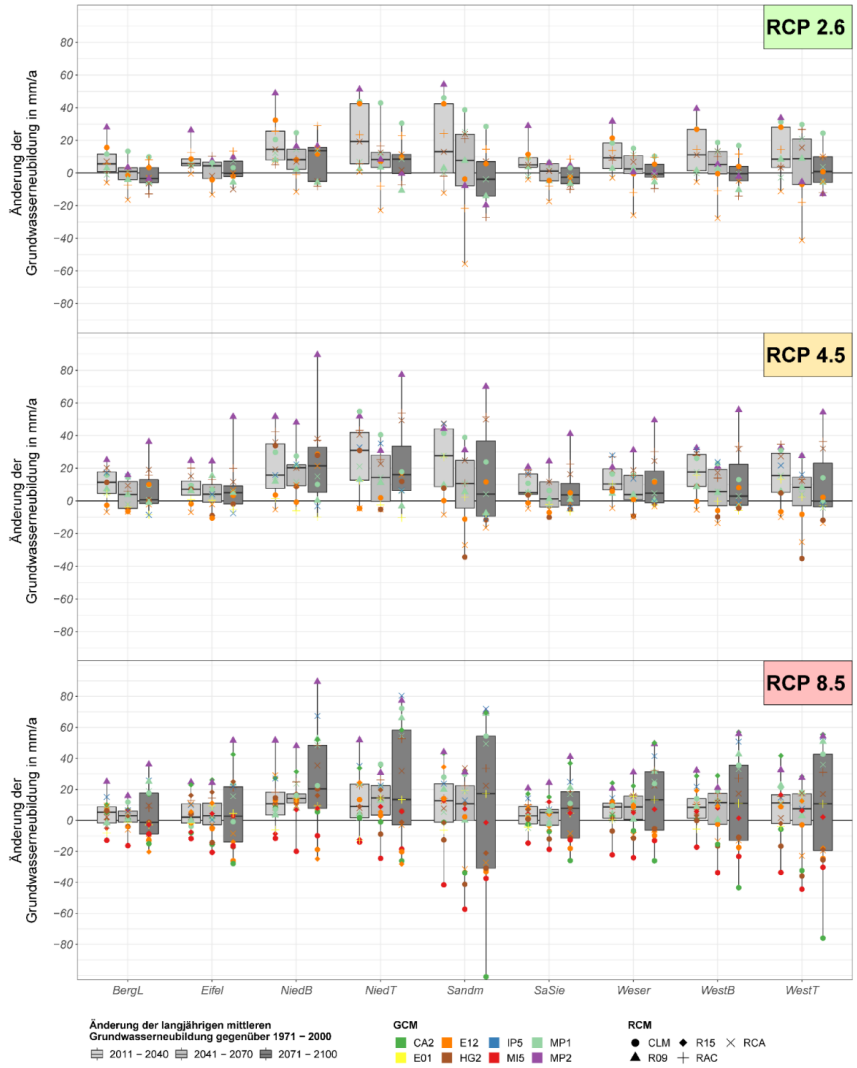


Projektionen der zukünftigen Grundwasserneubildung mit dem Ensemble ReKliEs-De+mGROWA



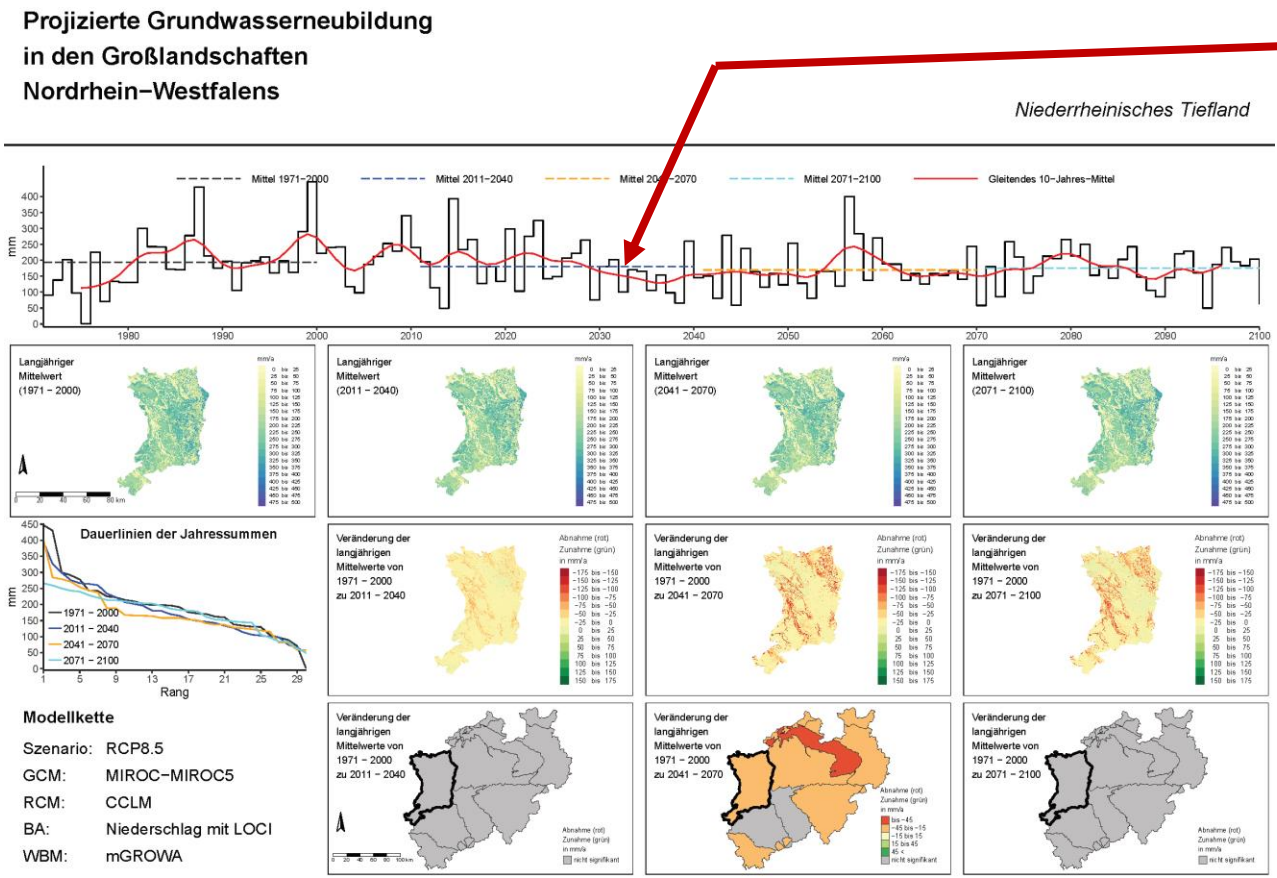
- **Publiziert unter:** Herrmann, F., et al. 2022. Projektionen der Grundwasserneubildung unter dem Einfluss des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen … LANUV NRW. Fachbericht 110 Teil IX https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30110j.pdf
- **Teilergebnisse verfügbar:**
  - in Steckbriefen unter https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30110j_begleitdokument.pdf
  - Im Fachinformationssystem unter https://www.klimaatlas.nrw.de/klima-nrw-pluskarte (Wasserwirtschaft)

Projektionen der zukünftigen Grundwasserneubildung mit dem Ensemble ReKliEs-De+mGROWA



1. wichtige Schlussfolgerung: Für die zukünftigen Perioden 2011-2040, 2041-2070 u. 2071-2100 wird durch das Ensemble keine robuste Veränderung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung projiziert. Dies bedeutet, dass die Analysen im Mittel auf ein Niveau der Grundwasserneubildung am Ende des 21. Jahrhunderts hindeuten, welches ungefähr dem derzeitigen Referenzniveau entspricht.

Projektionen der zukünftigen Grundwasserneubildung mit dem Ensemble ReKliEs-De+mGROWA

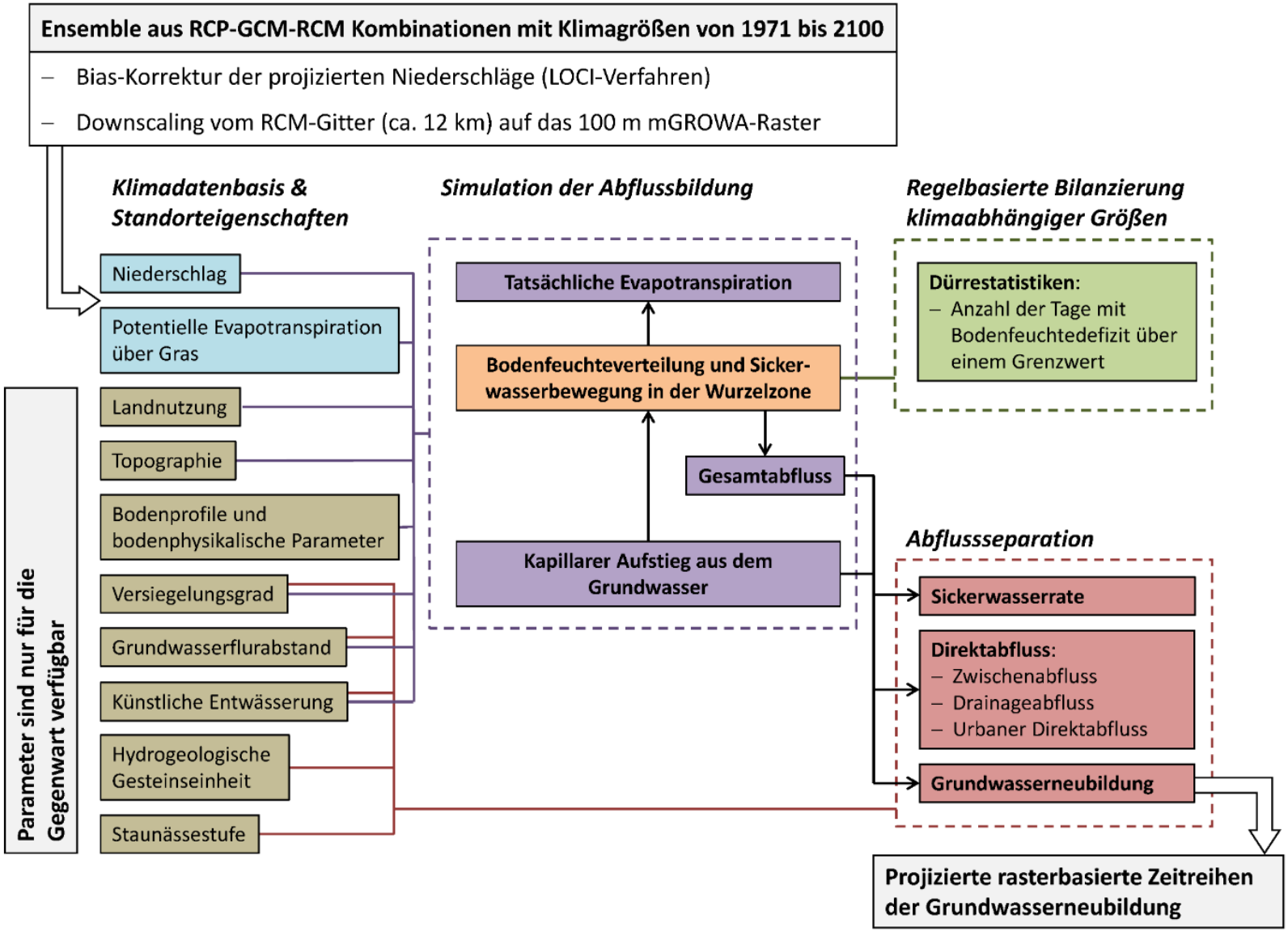


Über mehrere Dekaden anhaltender Trend hin zu einer unterdurchschnittlichen Grundwasserneubildung

2. wichtige Schlussfolgerung: Auch zukünftig muss in NRW mit sogenannten Minimumdekaden gerechnet werden, d.h. in diesen Dekaden findet eine Grundwasserneubildung deutlich unterhalb des Referenzniveaus statt. Die Grundwasserbewirtschaftung muss zukünftig auf wiederholte Minimumdekaden vorbereitet sein.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

mGROWA in der Modellkette
RCP-GCM-RCM-mGROWA



Szenario	Globalmodell	Lauf	Regionalmodell	Abkürzung
RCP2.6	ICHEC-EC-EARTH	12	CCLM 4-8-17	R26-E12-CLM
RCP2.6	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	CCLM 4-8-17	R26-MP1-CLM
RCP2.6	ICHEC-EC-EARTH	12	KNMI-RACMO22E	R26-E12-RAC
RCP2.6	MOHC-HadGEM2-ES	1	KNMI-RACMO22E	R26-HG2-RAC
RCP2.6	ICHEC-EC-EARTH	12	SMHI-RCA4	R26-E12-RCA
RCP2.6	MOHC-HadGEM2-ES	1	SMHI-RCA4	R26-HG2-RCA
RCP2.6	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	SMHI-RCA4	R26-MP1-RCA
RCP2.6	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	REMO2009	R26-MP1-R09
RCP2.6	MPI-M-MPI-ESM-LR	2	REMO2009	R26-MP2-R09
RCP4.5	ICHEC-EC-EARTH	12	CCLM 4-8-17	R45-E12-CLM
RCP4.5	MOHC-HadGEM2-ES	1	CCLM 4-8-17	R45-HG2-CLM
RCP4.5	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	CCLM 4-8-17	R45-MP1-CLM
RCP4.5	ICHEC-EC-EARTH	1	KNMI-RACMO22E	R45-E01-RAC
RCP4.5	MOHC-HadGEM2-ES	1	KNMI-RACMO22E	R45-HG2-RAC
RCP4.5	IPSL-IPSL-CM5A-MR	1	SMHI-RCA4	R45-IP5-RCA
RCP4.5	ICHEC-EC-EARTH	12	SMHI-RCA4	R45-E12-RCA
RCP4.5	MOHC-HadGEM2-ES	1	SMHI-RCA4	R45-HG2-RCA
RCP4.5	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	SMHI-RCA4	R45-MP1-RCA
RCP4.5	MPI-M-MPI-ESM-LR	2	REMO2009	R45-MP2-R09
RCP8.5	CCCMa-CanESM2	1	CCLM 4-8-17	R85-CA2-CLM
RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH	12	CCLM 4-8-17	R85-E12-CLM
RCP8.5	MOHC-HadGEM2-ES	1	CCLM 4-8-17	R85-HG2-CLM
RCP8.5	MIROC-MIROC5	1	CCLM 4-8-17	R85-MI5-CLM
RCP8.5	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	CCLM 4-8-17	R85-MP1-CLM
RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH	1	KNMI-RACMO22E	R85-E01-RAC
RCP8.5	MOHC-HadGEM2-ES	1	KNMI-RACMO22E	R85-HG2-RAC
RCP8.5	IPSL-IPSL-CM5A-MR	1	SMHI-RCA4	R85-IP5-RCA
RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH	12	SMHI-RCA4	R85-E12-RCA
RCP8.5	MOHC-HadGEM2-ES	1	SMHI-RCA4	R85-HG2-RCA
RCP8.5	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	SMHI-RCA4	R85-MP1-RCA
RCP8.5	MPI-M-MPI-ESM-LR	1	REMO2009	R85-MP1-R09
RCP8.5	MPI-M-MPI-ESM-LR	2	REMO2009	R85-MP2-R09
RCP8.5	CCCMa-CanESM2	1	REMO2015	R85-CA2-R15
RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH	12	REMO2015	R85-E12-R15
RCP8.5	MOHC-HadGEM2-ES	1	REMO2015	R85-HG2-R15
RCP8.5	MIROC-MIROC5	1	REMO2015	R85-MI5-R15

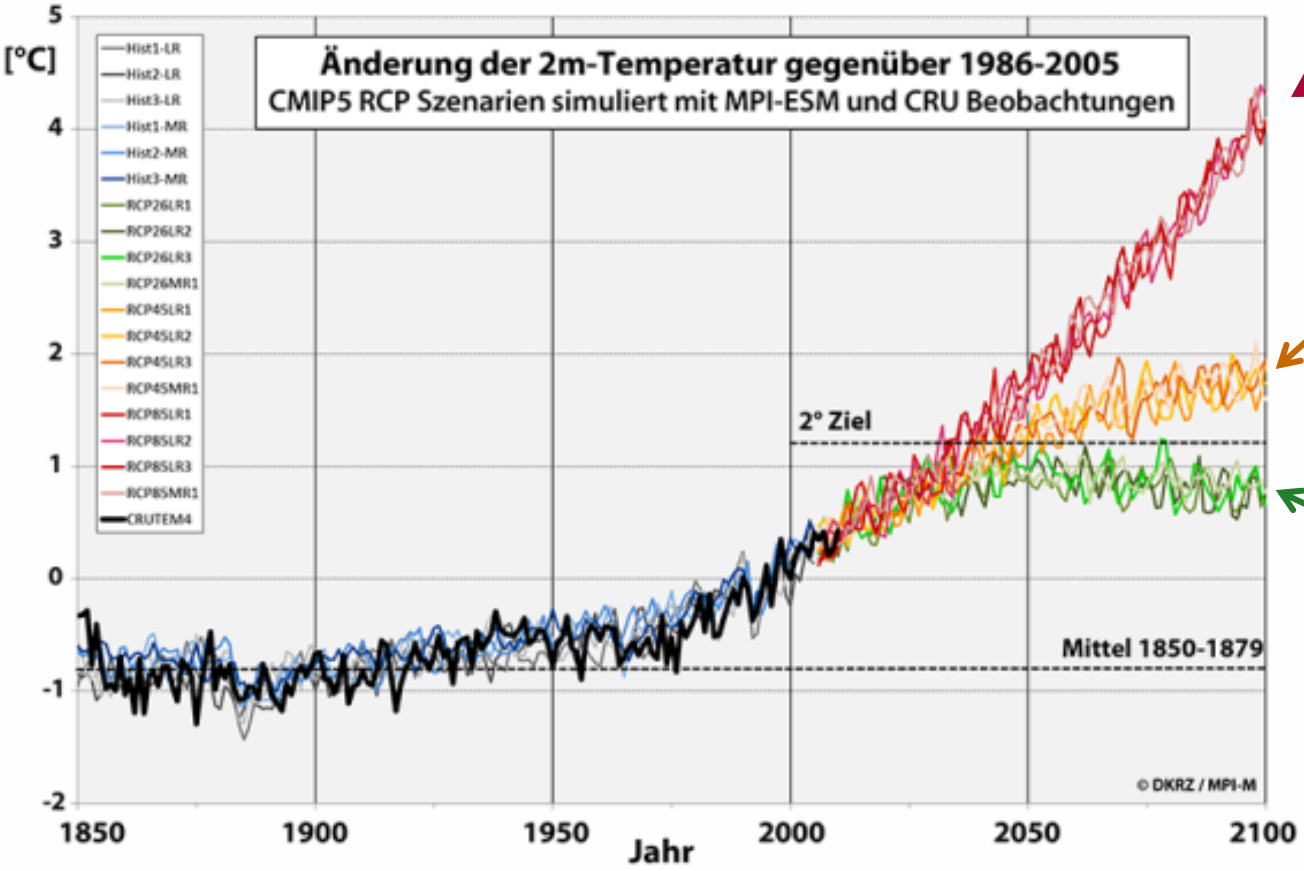
JÜLICH Forschungszentrum

Ensemblemitglieder in der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA

- 36 Projektionen mit dynamischen RCMs von 2006 bis 2100
- 18 zugehörige historische Projektionen 1971 bis 2005
- Entstammen ReKliEs-De aber reduziert aufgrund der Empfehlungen des DWD (statistische RCMs waren zum Zeitpunkt der Studie alle „zurückgezogen“)

Temperaturanstieg in den RCP-Szenarien

RCP: Strahlungsantrieb (Erwärmungsszenario)



Weiter-wie-bisher-Szenario RCP8.5

Stabilisierungs-Szenario RCP4.5

Klimaschutz-Szenario RCP2.6

Quelle: DKRZ

Projizierte Perioden

Die Klimaprojektionen des Ensembles liegen für den Zeitraum 1971-2100 vor.

Für die Zeit von 1971-2005 sind die historischen Treibhausgaskonzentrationen eingeflossen.

Ab 2005 sind die RCP-Szenarien als Randbedingung wirksam geworden.

Daraus ergeben sich die folgenden betrachteten 30-Jahres-Perioden:

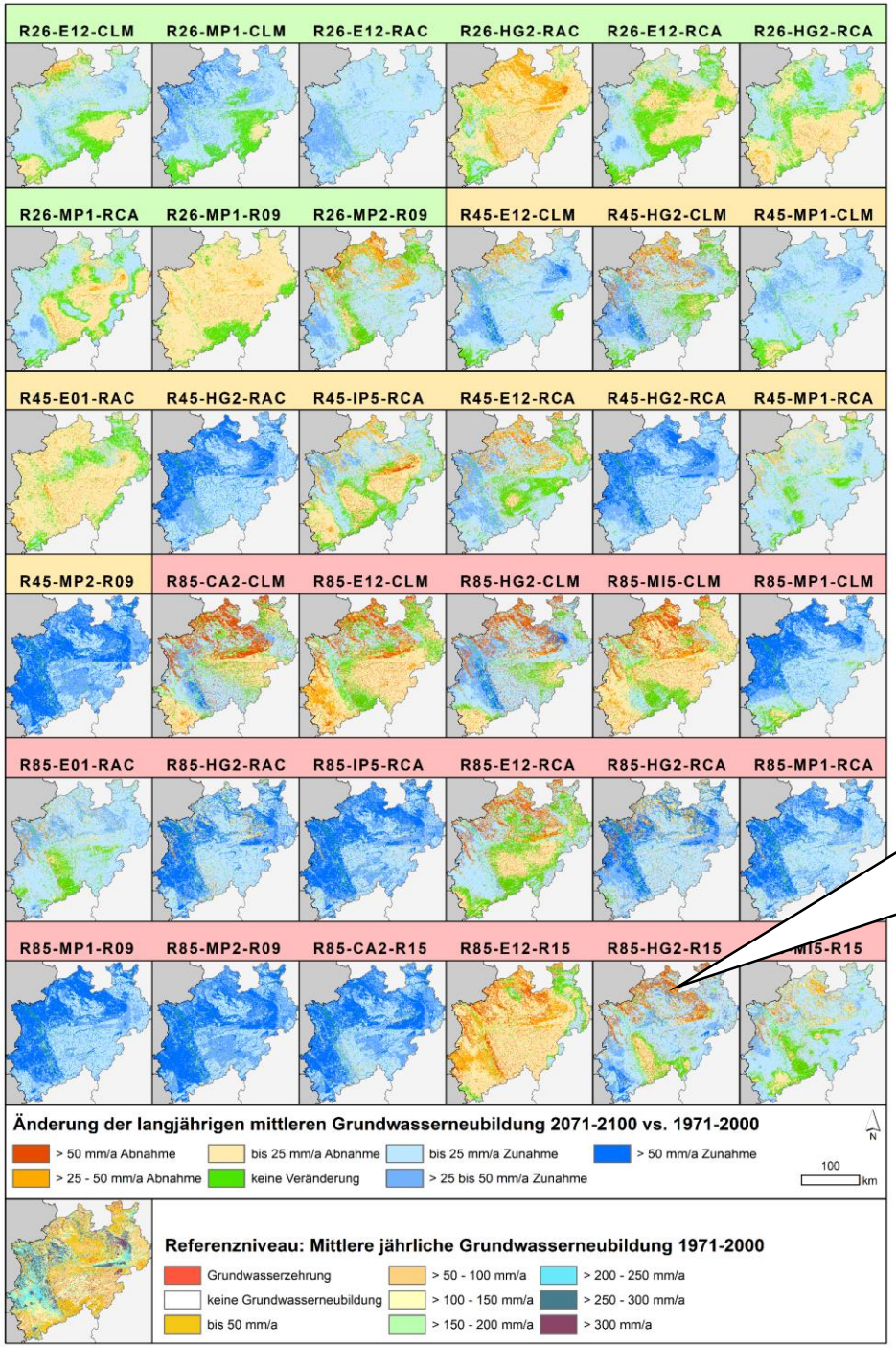
- **Historische Periode** 1971-2000

- **1. Zukunftsperiode** 2011-2040 (nahe Zukunft)
- **2. Zukunftsperiode** 2041-2070 (mittlere Zukunft)
- **3. Zukunftsperiode** 2071-2100 (ferne Zukunft)

→ **Berechnung von Änderungssignalen für diese Perioden**

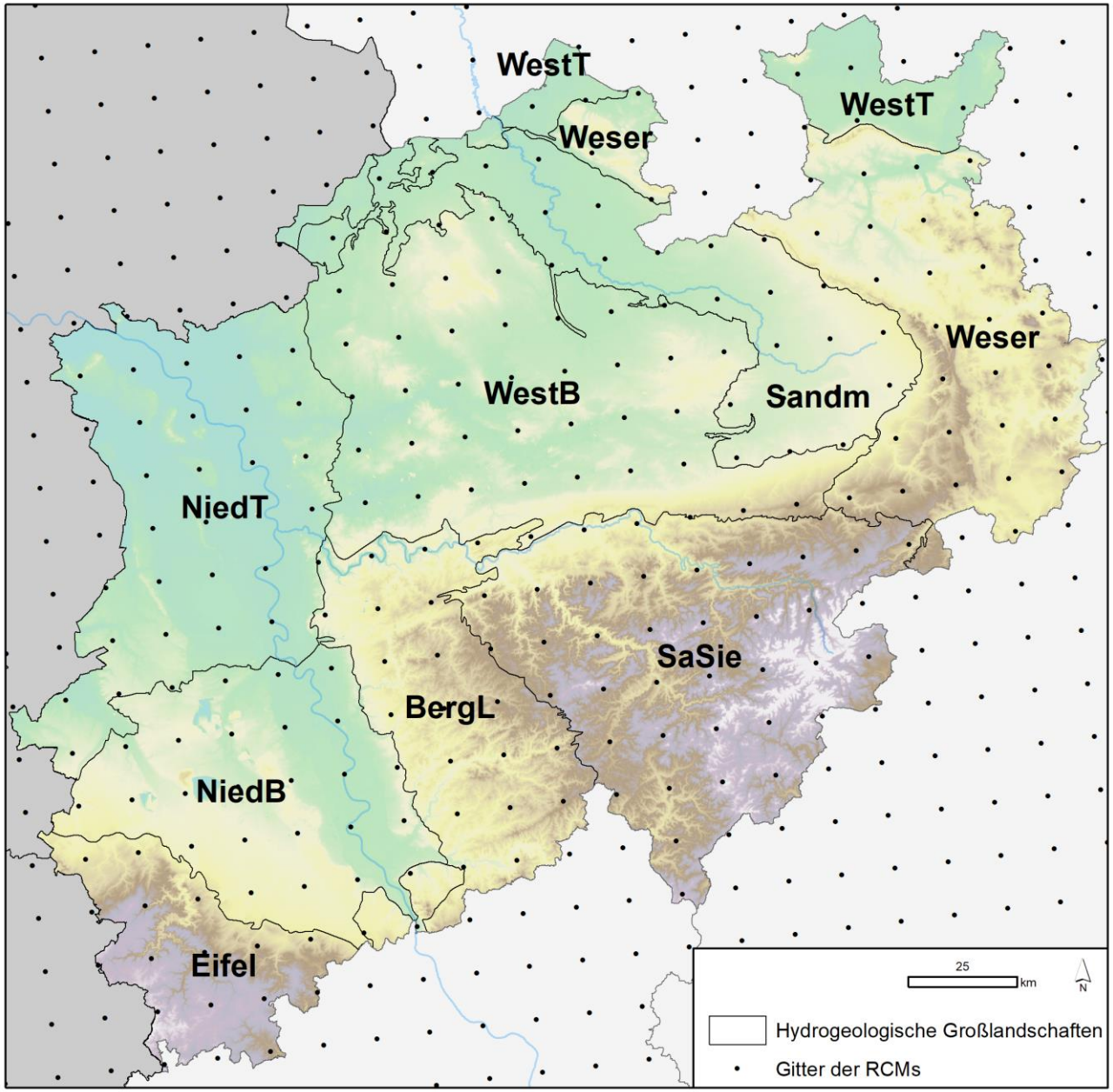
→ **Sind die Änderungssignale des Ensembles robust?**

Räumlich verteilte Änderungssignale der mit mGROWA projizierten Grundwasserneubildung (2071 – 2100 vs. 1971 – 2000)



Sehr starker Temperaturanstieg führt zu sehr starker Grundwasserzehrung auf grundwasserbeeinflussten Standorten im Sommerhalbjahr, die durch höhere Winterniederschläge nicht ausgeglichen werden kann.

Hydrogeologische Raumgliederung für eine regions-spezifische Analyse der Ensemble-ergebnisse



BergL	Bergisches Land	SaSie	Sauer- und Siegerland
Eifel	Eifel (mit Siebengebirge)	Weser	Weserbergland
NiedB	Niederrheinische Bucht	WestB	Westfälische Bucht
NiedT	Niederrheinisches Tiefland	WestT	Westfälisches Tiefland
Sandm	Sandmünsterland in Westfälischer Bucht		

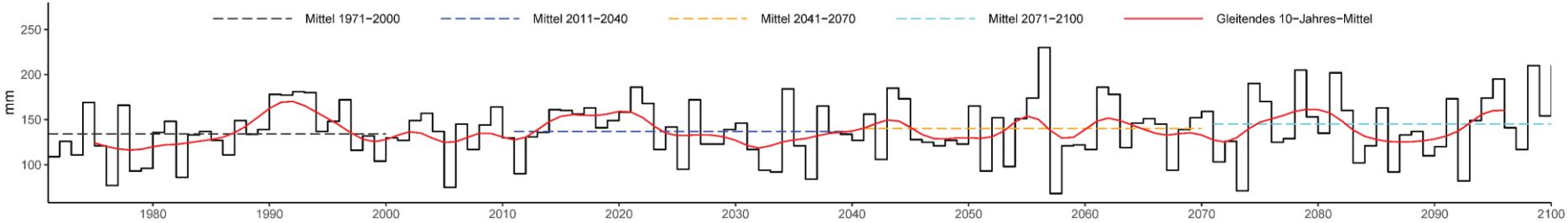
Geländehöhe in m ü. NN

High : 842

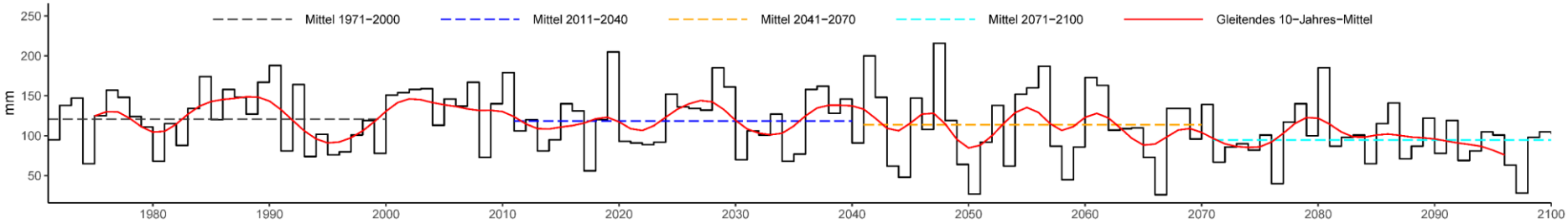
Low : -267

Mit mGROWA projizierte Zeitreihen der jährlichen Grundwasserneubildung im Sauer− und Siegerland

R85-MP1-CLM nach HIS-MP1-CLM



R85-CA2-CLM nach HIS-CA2-CLM



Robustheit des gesamten Ensembles

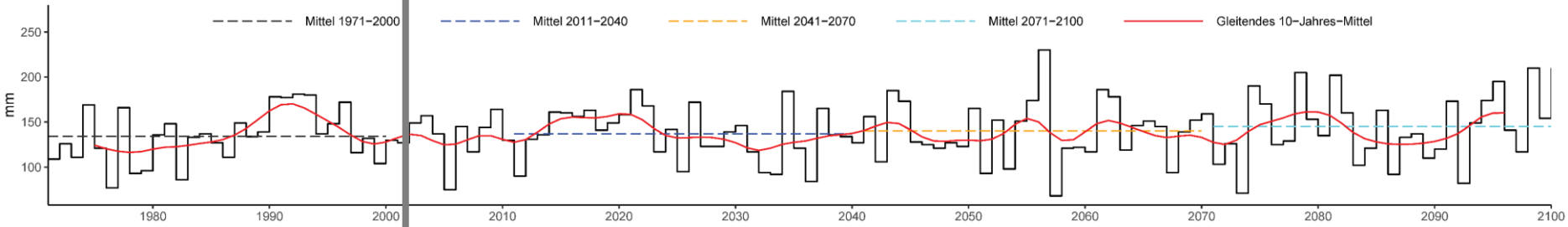
Ganzheitliche, zusammenfassende Betrachtung des Ensembles unter Berücksichtigung zweier Tests → statistisch abgesicherte Aussagen, ob das gesamte Ensemble in Richtung Zu- oder Abnahme tendiert.

	Test	Kriterium
1.	**Signifikanz**	Mind. 66 % der Ensemble-Mitglieder müssen signifikante Veränderungen aufweisen (U-Test → Signifikanzniveau 0,15)
2.	**Übereinstimmung**	Mind. 66 % der Ensemble-Mitglieder müssen gleiche Tendenz aufweisen (Abnahme/Zunahme der mittleren GWN)
Für robustes Änderungssignal müssen **beide** Tests erfüllt sein!		

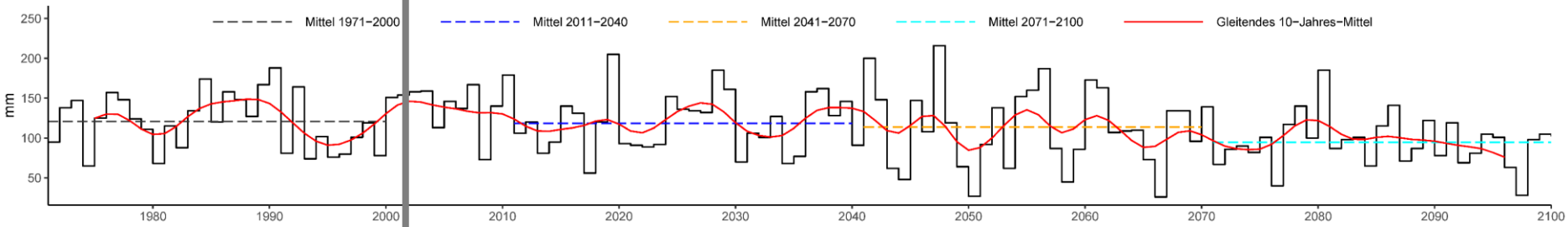
Gleiche Tests und Kriterien wie in ***Pfeifer et al. (2015)*** zur deutschlandweiten Ermittlung der Robustheit projizierter Niederschläge

Mit mGROWA projizierte Zeitreihen der jährlichen Grundwasserneubildung im Sauer− und Siegerland

R85-MP1-CLM nach HIS-MP1-CLM



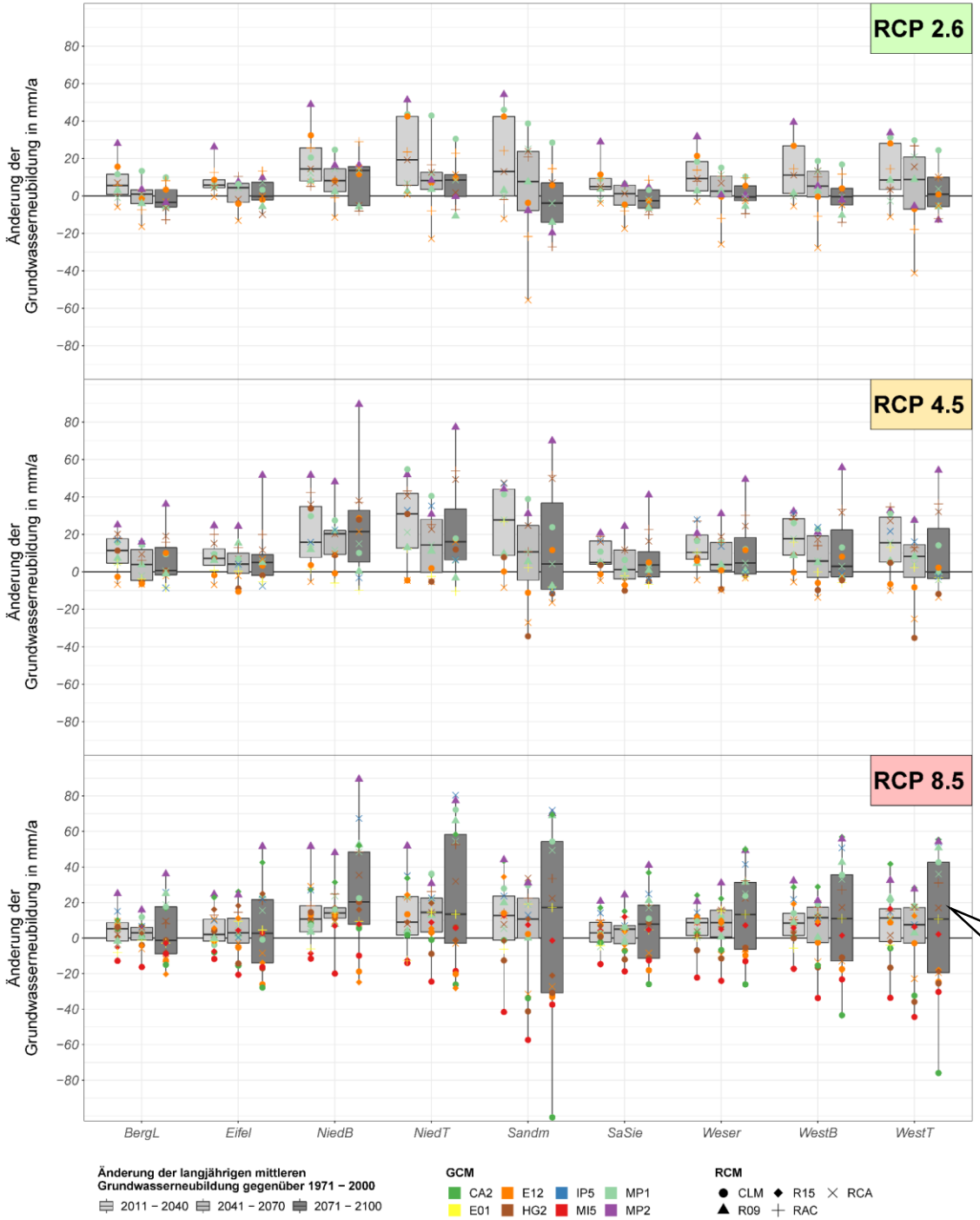
R85-CA2-CLM nach HIS-CA2-CLM



⇨ Bewertung der Änderungssignale mit Hilfe eines U-Tests

H_0: Die Verteilung der zukünftigen jährlichen Grundwasserneubildungshöhen (2011-2040, 2041-2070 oder 2071-2100) unterscheidet sich nicht signifikant von der Verteilung der jährlichen Grundwasserneubildungshöhen der Referenzperiode 1971-2000

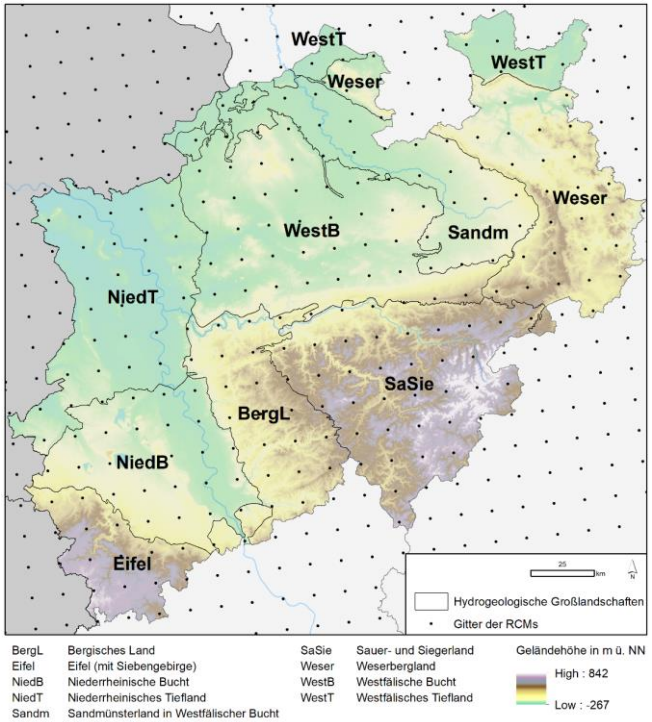
H_1: Die Verteilung der zukünftigen jährlichen Grundwasserneubildungshöhen (2011-2040, 2041-2070 oder 2071-2100) unterscheidet sich signifikant von der Verteilung der jährlichen Grundwasserneubildungshöhen der Referenzperiode 1971-2000



Boxplots der Änderungssignale der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung in den drei RCP-Teilensembles und den drei zukünftigen 30-Jahre-Perioden in den exemplarischen hydrogeologischen Großlandschaften

20 mm/a wäre für NRW ein Erfahrungswert, der in Richtung signifikante Änderung der Grundwasserneubildung deutet.

Ergebnisse des Robustheitstests mit zwei Kriterien in den hydrogeologischen Großlandschaften



Ist das Kriterium erfüllt, sind die Zellen grün gefärbt, bei Nichterfüllung sind sie rot. Die ersten beiden Zellen enthalten jeweils die Prozentzahlen der Ensemblemitglieder mit Zu- bzw. Abnahme der Grundwasserneubildung. Die dritte Zelle enthält die Prozentzahl der signifikanten Änderungen. Drei grüne Zellen bedeuten ein robustes Änderungssignal.

Periode	RCP	BergL			Eifel			NiedB			NiedT			Sandm			SaSie			Weser			WestB			WestT		
2011-2040	RCP26	78	22	22	89	11	22	100	0	22	100	0	33	67	33	22	78	22	11	78	22	22	78	22	33	78	22	22
	RCP45	82	18	36	82	18	27	91	9	36	82	18	55	91	9	36	82	18	36	91	9	36	82	18	36	82	18	27
	RCP85	71	29	12	53	47	18	82	18	18	82	18	18	71	29	12	71	29	18	88	12	12	82	18	18	71	29	12
2041-2070	RCP26	56	44	22	56	44	11	78	22	11	78	22	11	56	44	33	56	44	11	67	33	11	67	33	11	56	44	44
	RCP45	55	45	27	73	27	18	82	18	27	73	27	36	73	27	9	55	45	9	82	18	18	64	36	27	73	27	36
	RCP85	71	29	6	71	29	35	94	6	18	82	18	29	71	29	12	65	35	18	76	24	24	71	29	29	71	29	29
2071-2100	RCP26	33	67	0	44	56	0	67	33	11	67	33	0	44	56	0	33	67	0	44	56	0	44	56	0	56	44	11
	RCP45	64	36	9	64	36	9	82	18	9	82	18	18	55	45	18	64	36	18	64	36	27	55	45	9	45	55	9
	RCP85	47	53	47	59	41	65	82	18	47	65	35	47	53	47	47	65	35	47	65	35	53	65	35	47	59	41	47

⇨ Kein robustes Änderungssignal für Grundwasserneubildung

Schlussfolgerungen bzgl. Robustheit

- Für die Mitglieder des Ensembles wurden in den Großlandschaften und NRW-weit für die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP 8.5 **eine geringe Anzahl signifikanter** Änderungssignale der Grundwasserneubildung ermittelt, wobei die Zunahme der GWN gegenüber der Abnahme leicht überwiegt.
- **Kein robustes Änderungssignal** bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Analysen im Mittel auf ein Niveau der Grundwasserneubildung am Ende des 21. Jahrhunderts hindeuten, welches ungefähr dem derzeitigen Referenzniveau entspricht.
- Es sollten in weiterführenden Analysen jedoch immer auch die extremen Entwicklungspfade untersucht werden, die die Bandbreite oder definierte Perzentile des Ensembles abbilden.

Ausblick

- Eine Selektion von GCM-RCM-mGROWA Kombinationen für weiterführende Betrachtungen ist möglich, z.B. für:
  - Stresstests
  - Nachhaltigkeitsuntersuchungen
  - Dargebotsbetrachtungen
  - Sektorstudien in denen Grundwassernutzung berücksichtigt wird (z.B. Grundwasserdargebot und Bewässerungslandwirtschaft)
  - …