

# Klimaveränderung und mögliche Auswirkungen auf die quantitativen und qualitativen Grundwasserverhältnisse

3. Wiesbadener Grundwassertag  
Roncallihaus, 20. September 2016

Thomas Gudera

Referat Grundwasser



Baden-Württemberg

# Inhalte

- Kooperationsvorhaben KLIWA
- Bodenwasserhaushalt und GwN in der Vergangenheit und mögliche Veränderungen in der Zukunft
- Fallstudie Einzugsgebiet Donauried
  - Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Nitratkonzentrationsentwicklung im Grundwasser

# Inhalte

- **Kooperationsvorhaben KLIWA**
- Bodenwasserhaushalt und GwN in der Vergangenheit und mögliche Veränderungen in der Zukunft
- Fallstudie Einzugsgebiet Donauried
  - Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Nitratkonzentrationsentwicklung im Grundwasser

# Kooperationsvorhaben KLIWA

- Start im Jahr 1999
- Länder Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz (ab 2007) und Deutscher Wetterdienst
- Symposien in den Jahren 2000 – 2004 – 2006 – 2009 – 2012 – 2017
- Grundwasser seit 2006
- Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen in KLIWA-Heften 16 und 17 sowie in KLIWA-Heften 10, 15, 19 (Symposien) und demnächst in KLIWA-Heft 21
- <http://www.kliwa.de/>

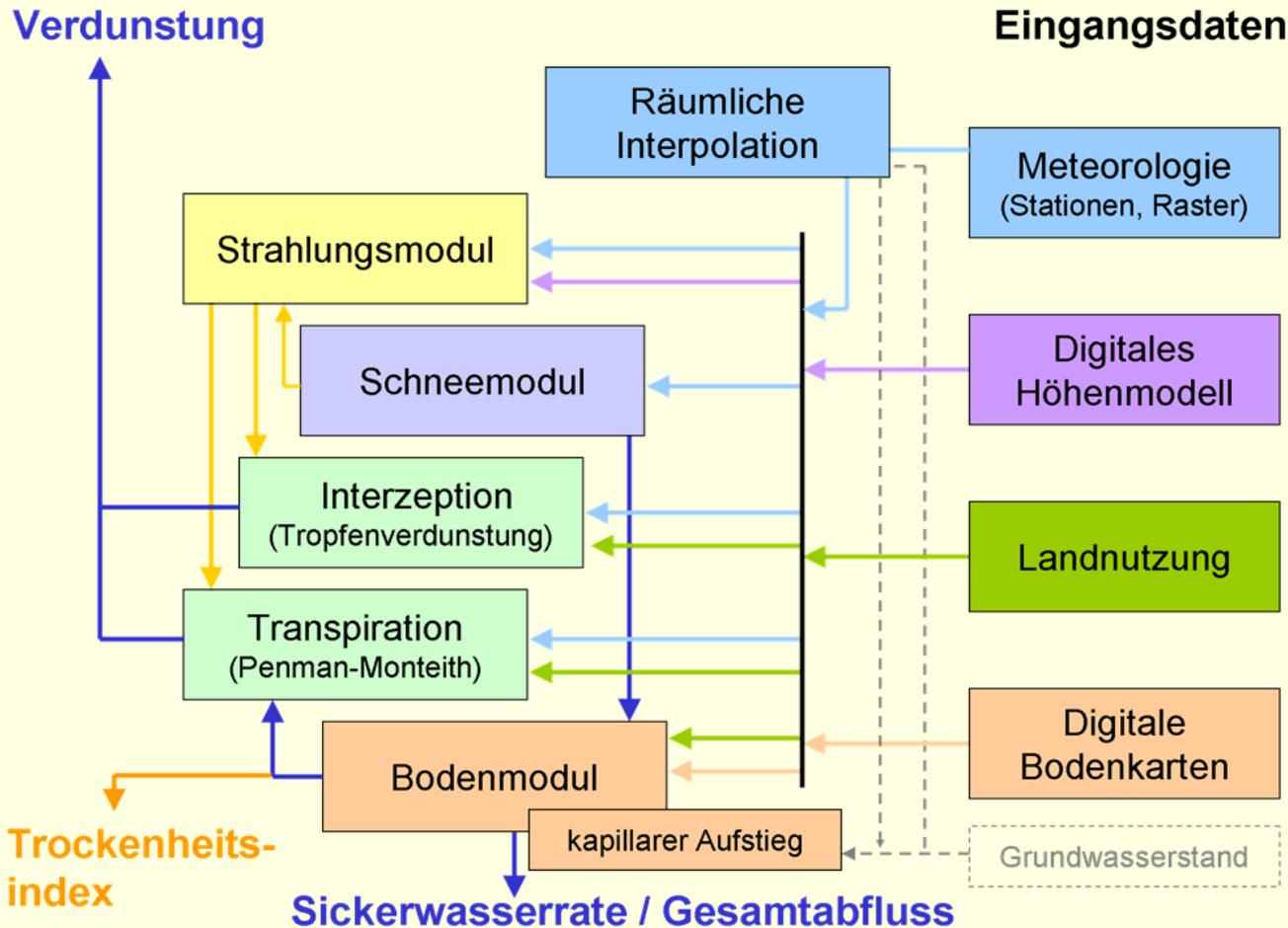
# Kooperationsvorhaben KLIWA

- KLIWA-Heft 16 (2011) *Langzeitverhalten von Grundwasserständen, Quellschüttungen und grundwasserbürtigen Abflüssen in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz* [**Statistik auf gemessenen ZR**]
- KLIWA-Heft 17 (2012) *Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz – Untersuchungen auf Grundlage von WETTREG2003- und WETTREG2006-Klimaszenarien* [**Simulationen mit BWH-Modell GWN-BW, Projektion für nahe und ferne Zukunft**]
- KLIWA-Hefte 10, 15, 19 (Symposien) [**Simulationen mit BWH-Modell GWN-BW; Fallstudien**]
- KLIWA-Heft 21 *Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015)* [**Simulationen mit BWH-Modell GWN-BW**]

# Inhalte

- Kooperationsvorhaben KLIWA
- **Bodenwasserhaushalt und GwN in der Vergangenheit und mögliche Veränderungen in der Zukunft**
- Fallstudie Einzugsgebiet Donauried
  - Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Nitratkonzentrationsentwicklung im Grundwasser

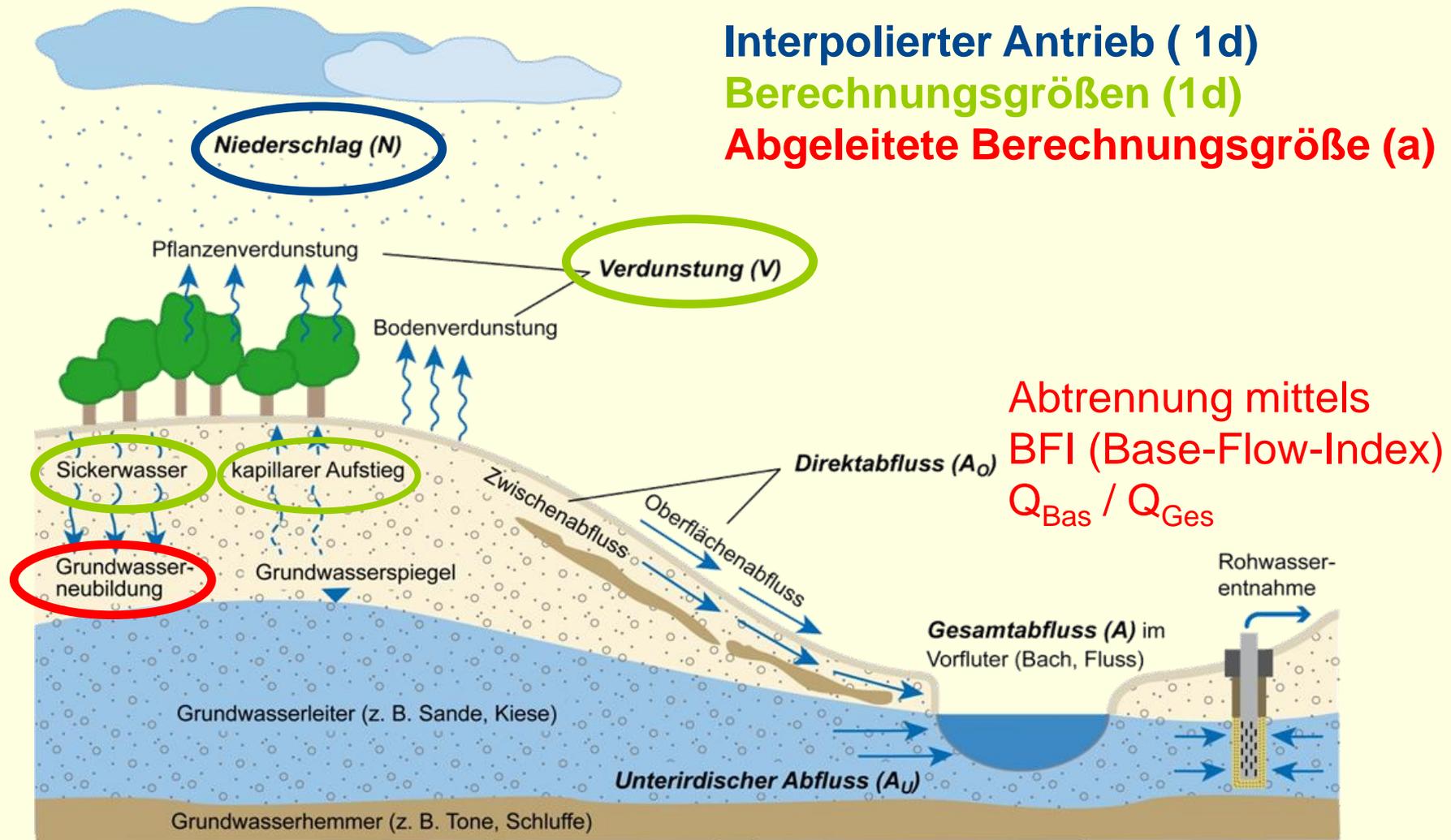
# Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW



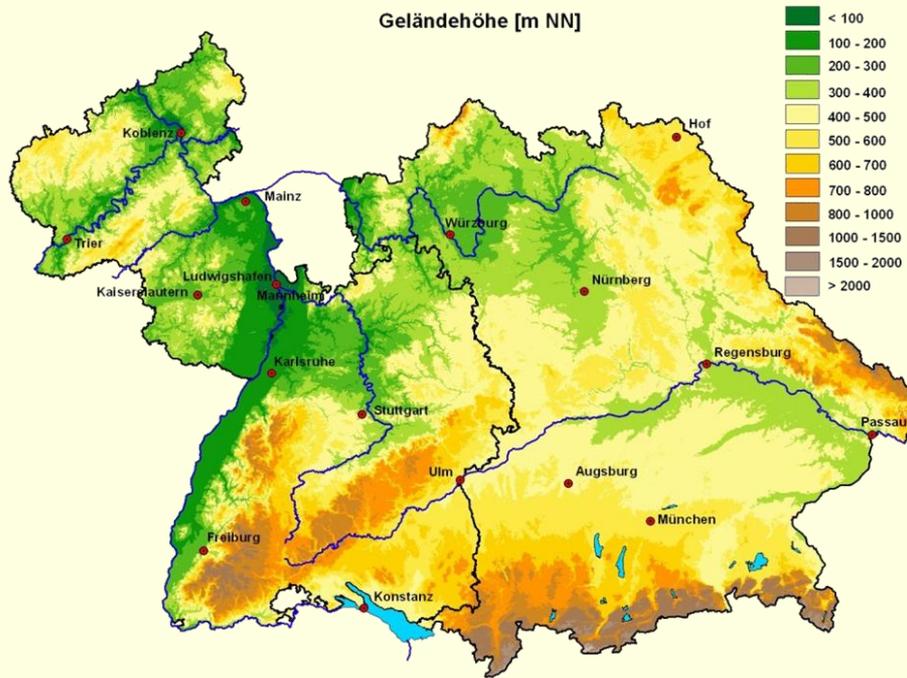
**Modularer Aufbau und schematische Darstellung der benötigten Eingangsdaten**

- Deterministisch & flächendifferenziert
- Teilmodule mit physikalisch basierten / konzeptionellen Ansätzen

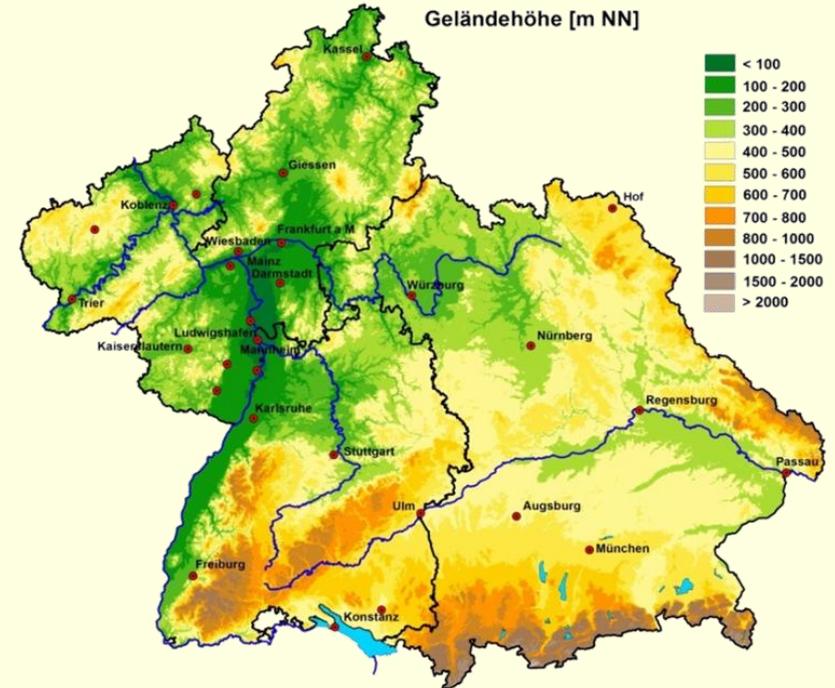
# Wasserkreislauf / Bilanzkomponenten



# Untersuchungsgebiet KLIWA



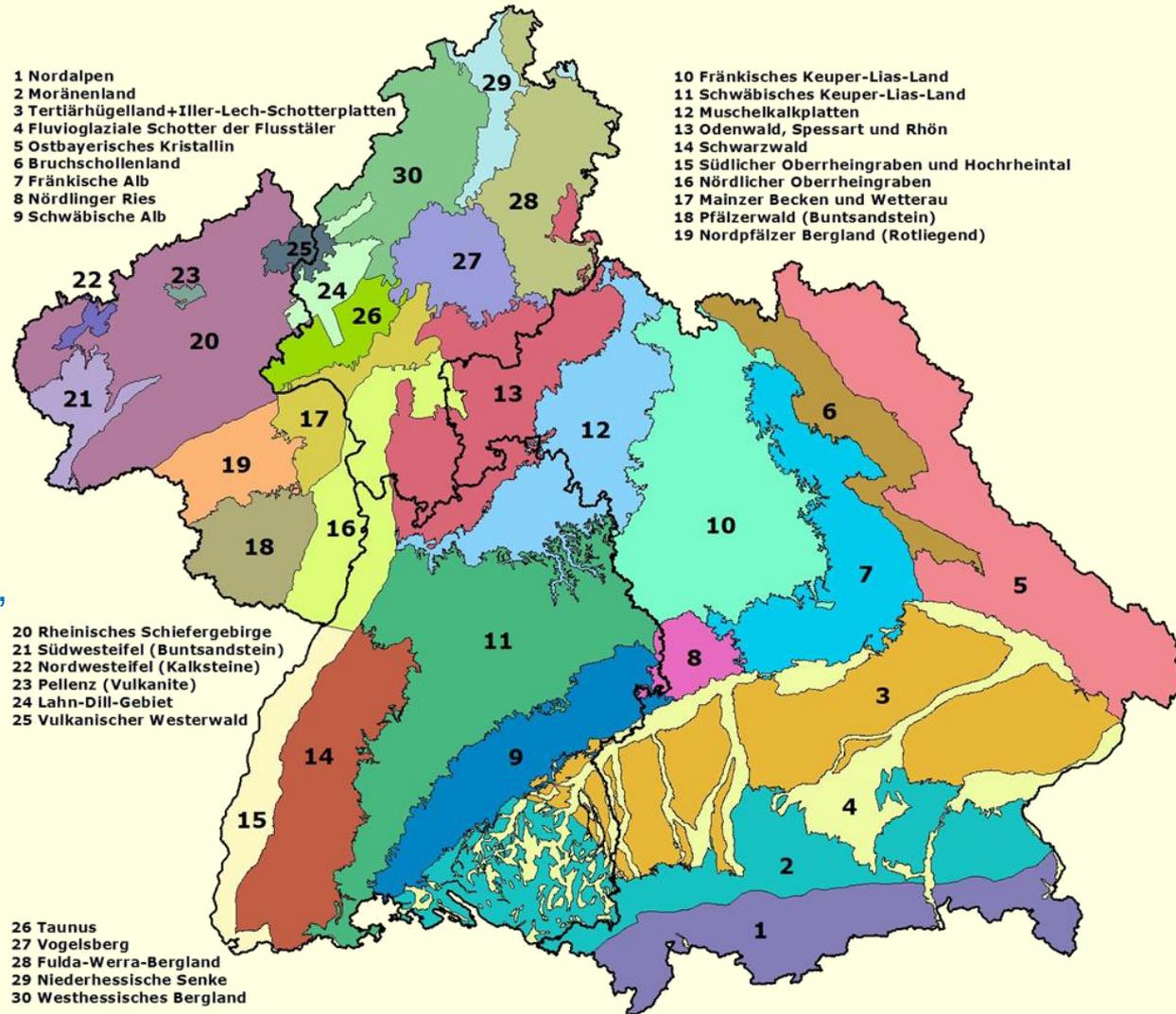
- 126 170 km<sup>2</sup>
- 205 376 Grundflächen
- 50 bis 2 638 m NN



- 147 286 km<sup>2</sup>
- 401 728 Grundflächen
- 50 bis 2 638 m NN

# U-Gebiet / Berechnungsgrößen

- 4 Bundesländer
- 30 Naturräume (naturräumlich-hydrogeologische Einheiten)
- 9 Wasserbilanz- und Zustandsgrößen (Lufttemperatur, Niederschlag, Tatsächliche Verdunstung, Gesamtabfluss, Direktabfluss, **Sickerwasserrate**, **Grundwasserneubildung**, **Trockenheitsindex**, Schneedecke)



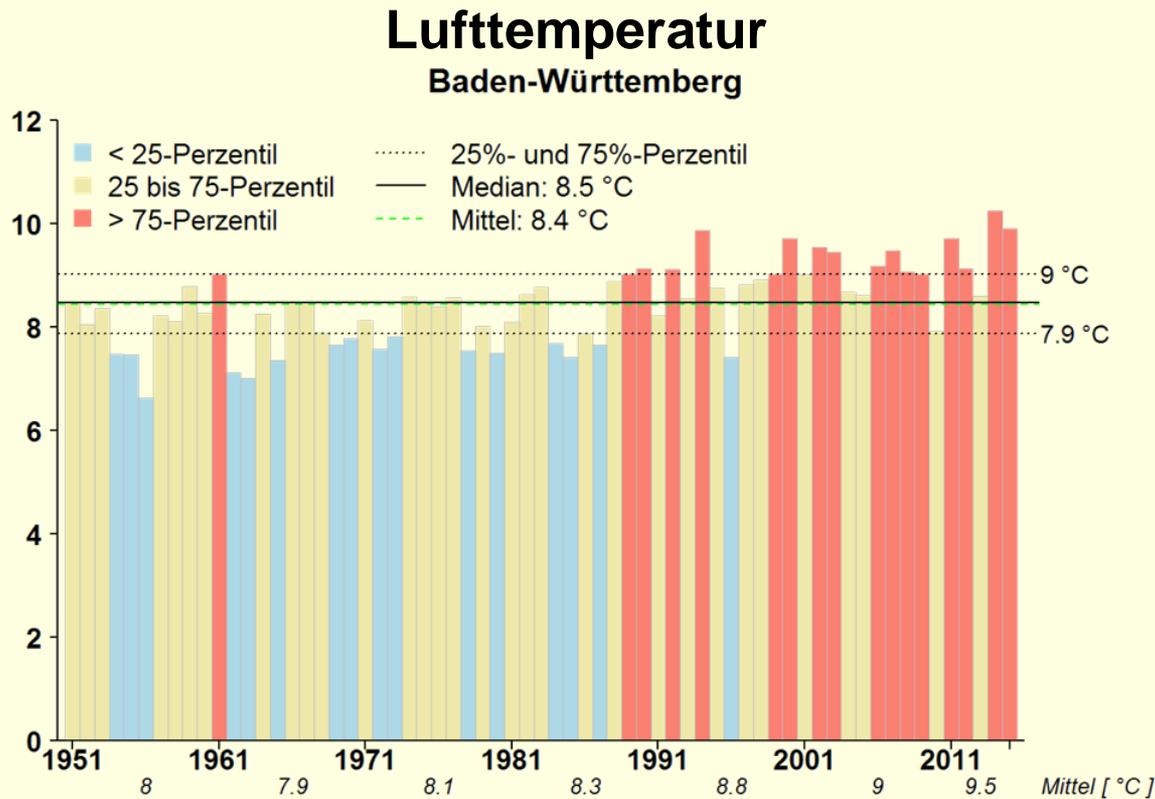
# Langzeitsimulation 1951-2015

- Einheitliche Ermittlung von grundwasserrelevanten Wasserhaushaltskomponenten in vier Ländern (BW, BY, RP, HE)
- Entwicklung in den vergangenen 6 ½ Dekaden (Klimatrend ?)
- Grundlage für die Interpretation von regionalen Klimaprojektionen

## Regionale Klimaprojektionen 2021-2100

- Wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode  
Entwicklungsstand 2003 / 2006 / 2010 (WETTREG)
  - Generiert stationsbezogene Tageswertreihen für die Zukunft
- Mögliche Entwicklung in den kommenden 8 Dekaden (nahe Zukunft = 2021-2050 / ferne Zukunft = 2071-2100)
- Bandbreite bzw. wo liegt man mit den ausgewählten Projektionen ?

# Langzeitsimulation 1951-2015

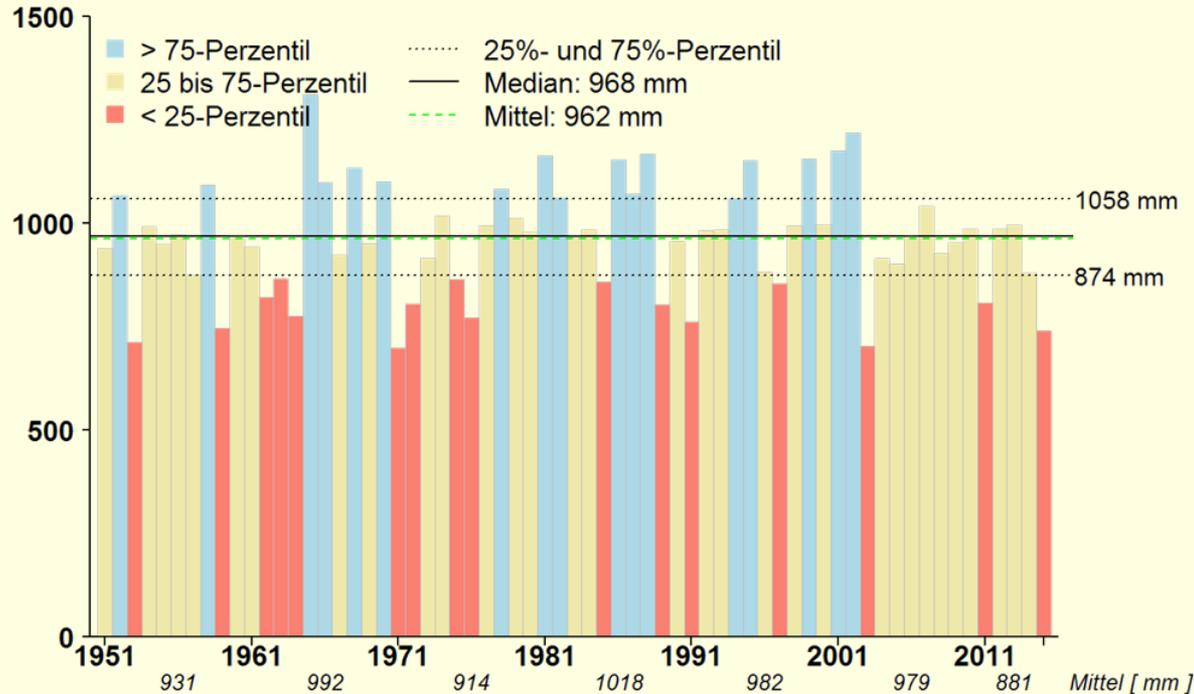


- Im vieljährigen Mittel ~ 8.5 °C
- Erwärmung ab 1988
- Außer 1991, 1996 und 2010 immer Werte > Median (1988-2015)
- Außer 1961 immer Werte < 75-Perzentil (1951-1987)

# Langzeitsimulation 1951-2015

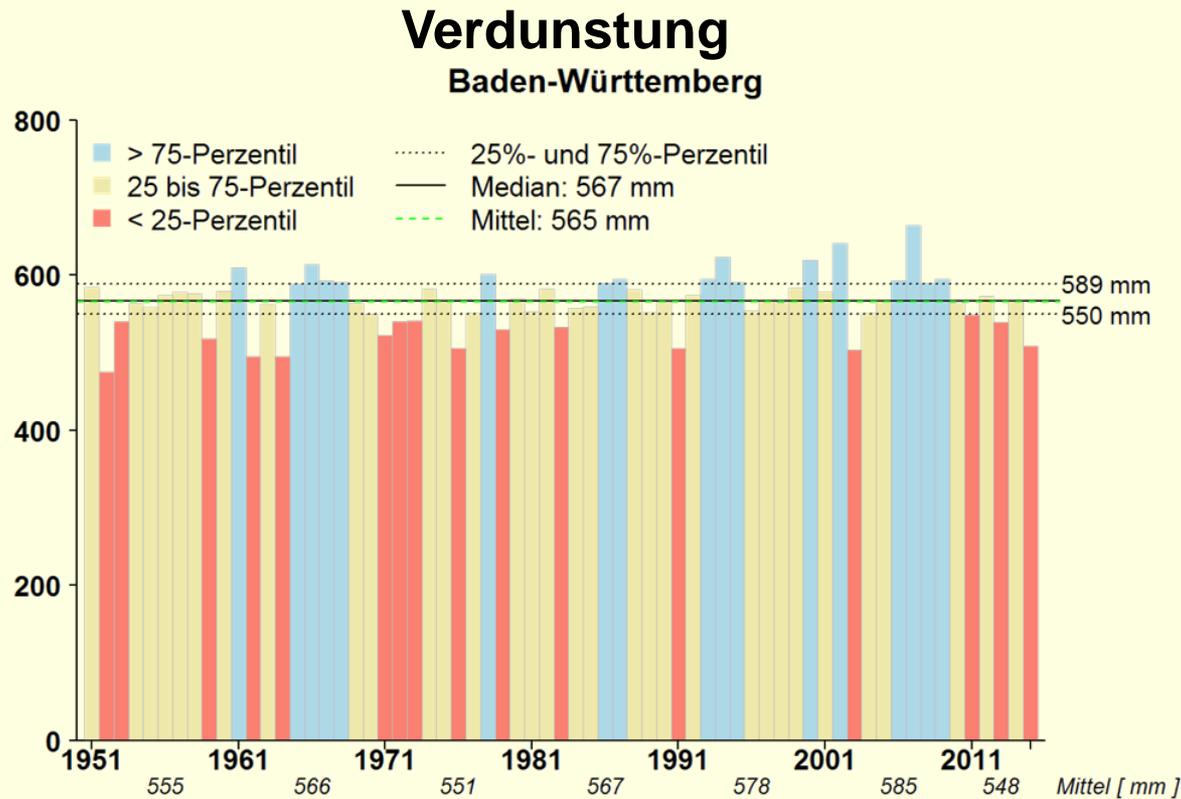
## Niederschlagshöhe

### Baden-Württemberg



- Im vieljährigen Mittel ~ 970 mm
- Erhebliche Variabilität von Jahr zu Jahr (Unabhängigkeit)
- Differenz zwischen 2002 (1218 mm) und 2003 (703 mm) > 500 mm rd. 42%
- Keine nassen Jahre seit 2003

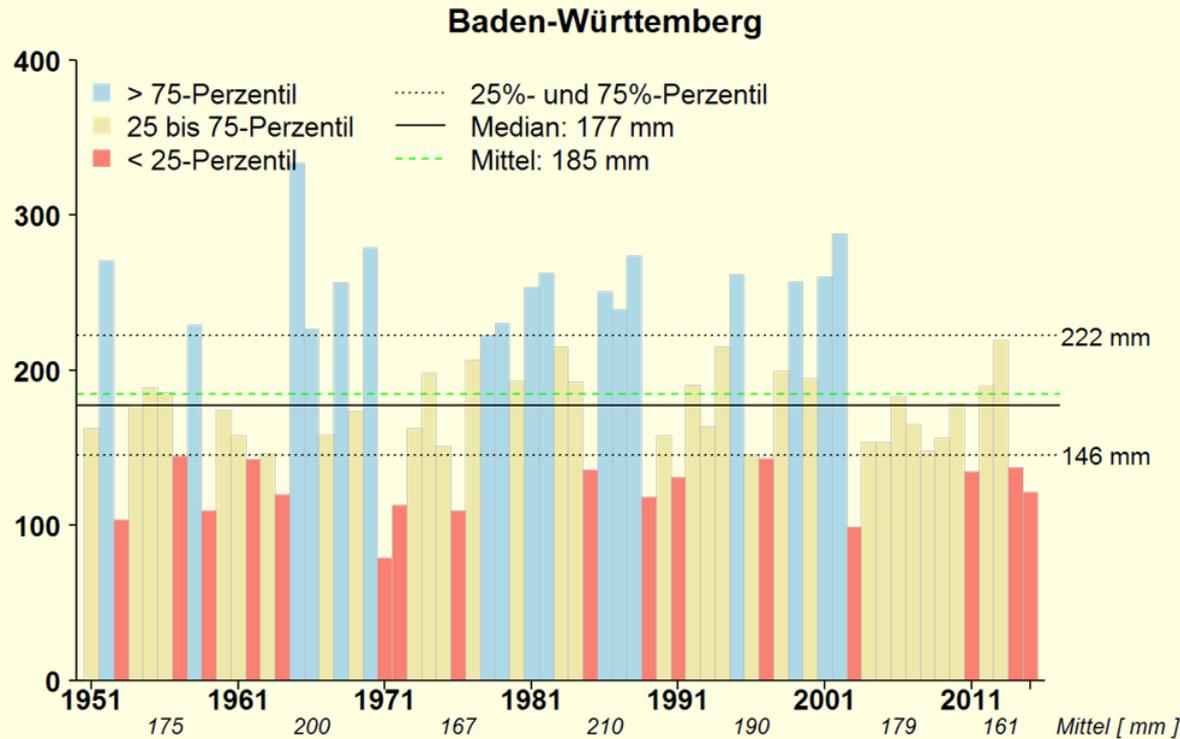
# Langzeitsimulation 1951-2010



- Im vieljährigen Mittel ~ 570 mm
- Relativ geringe Variabilität von Jahr zu Jahr
- Differenz zwischen 2002 (641 mm) und 2003 (504 mm) ~ 140 mm rd. 22%

# Langzeitsimulation 1951-2010

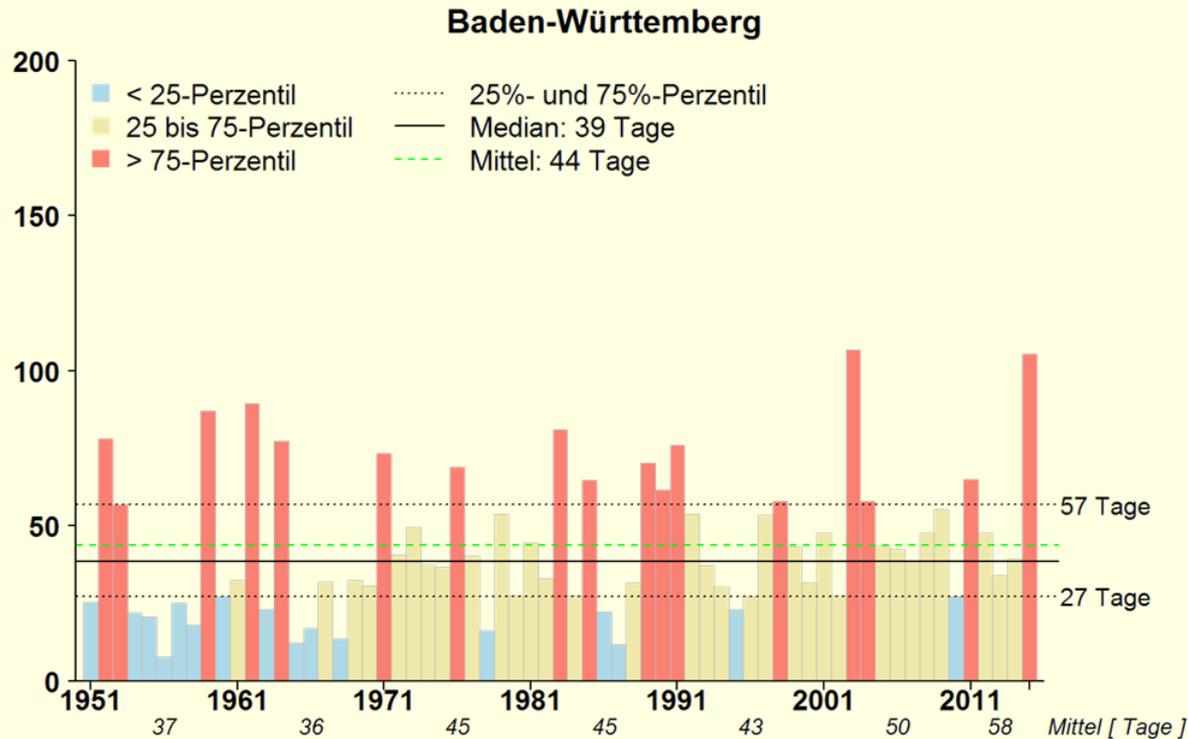
## Grundwasserneubildung



- Im vieljährigen Mittel ~ 180 mm
- Hohe Sensibilität gegenüber Änderungen anderer WH-Größen
- Differenz zwischen 2002 (288 mm) und 2003 (99 mm) ~ 190 mm rd. 66%
- Kein Neubildungsreiches Jahr seit 2003

# Langzeitsimulation 1951-2010

**Trockenheitsindex** = Anzahl von Tagen mit geringer Füllung des Bodenwasserspeichers (< 30% der nutzbaren Feldkapazität)

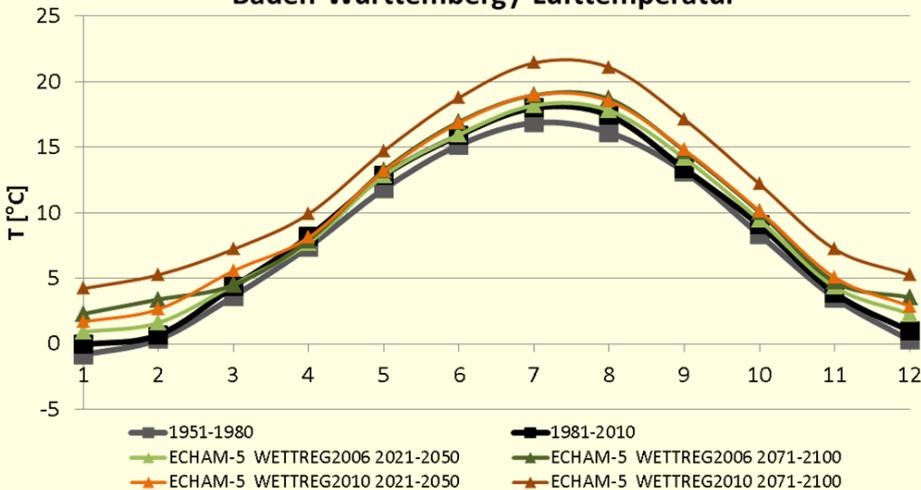


- Im vieljährigen Mittel ~ 40 Tage
- Hohe Variabilität von Jahr zu Jahr
- Differenz zwischen 2002 (28 d) und 2003 (107 d) ~ 80 mm rd. 74%

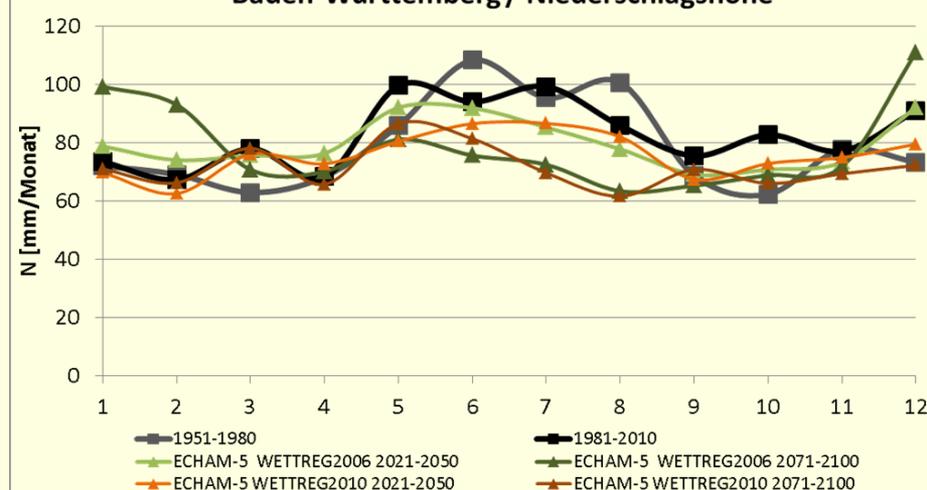
# Regionale Klimaprojektionen 2021-2100

- Hier nur Ergebnisse auf Basis WETTREG2006 und WETTREG2010
- Weitere Zunahme der Lufttemperatur insbes. in Wintermonaten  
Dezember bis Februar
- Zunahme von Herbst- und Winterniederschlag
- Bei WETTREG2010 Tendenz zu Abnahme der N-Höhe im gesamten Jahresverlauf

Baden-Württemberg / Lufttemperatur

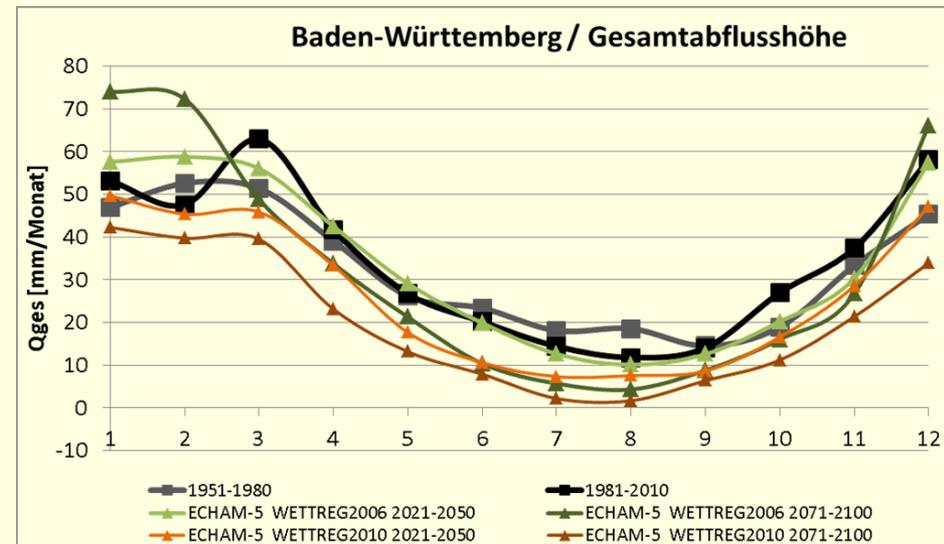
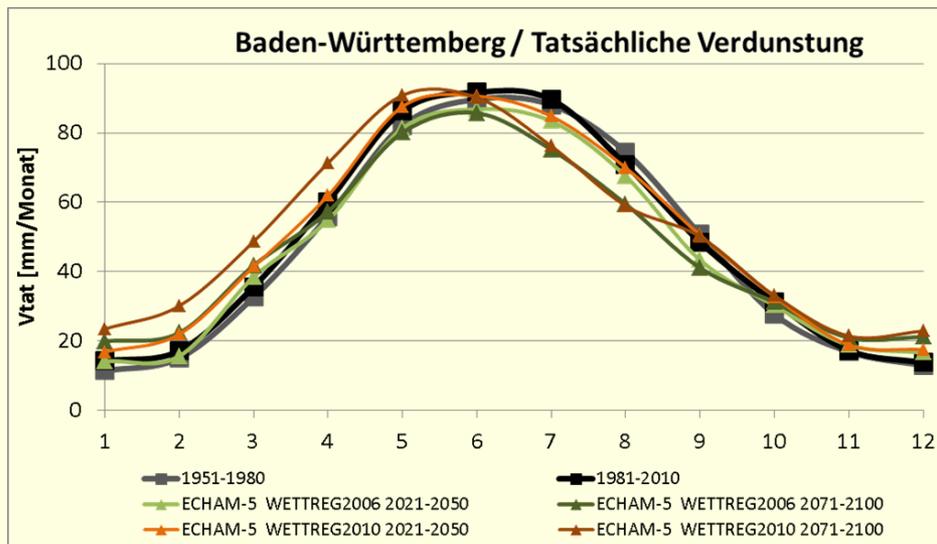


Baden-Württemberg / Niederschlagshöhe



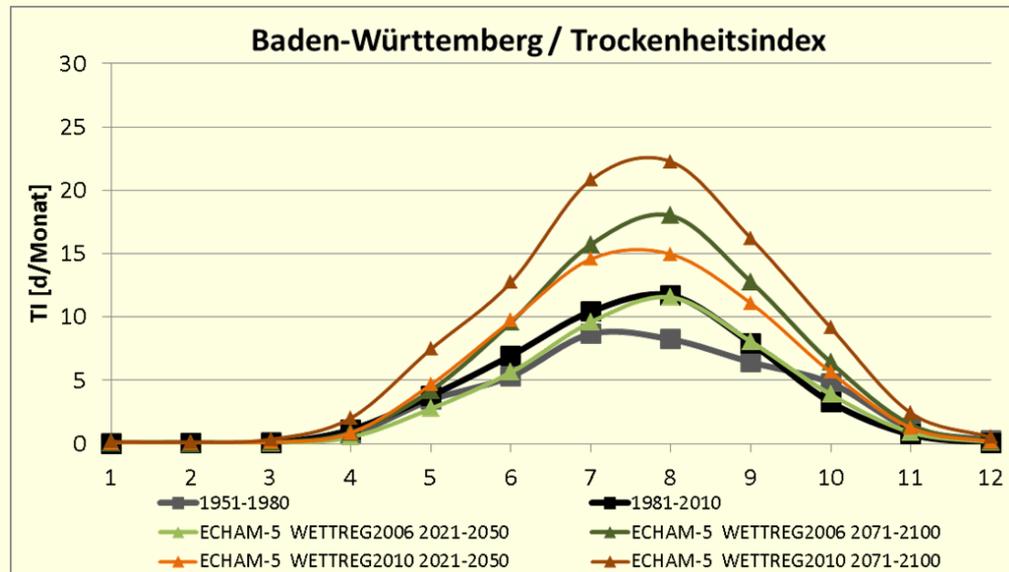
# Regionale Klimaprojektionen 2021-2100

- Temperaturbedingte Zunahme der Verdunstung für das Winterhalbjahr - wassermangelbedingte Abnahme im Sommerhalbjahr
- Dadurch geringe jährliche Änderungssignale (innerjährlicher Ausgleich)
- Innerjährliche Umverteilung bei  $Q_{ges}$  und daraus resultierender  $G_{wN}$  bereits in Vergangenheit
- Für Zukunft tendenziell weitere Umverteilung zu erwarten bzw. ganzjährige Abnahme (WETTREG2010)



# Regionale Klimaprojektionen 2021-2100

- Temperatur- und verdunstungsbedingte Zunahmen insbesondere im Sommerhalbjahr auch bereits in der Vergangenheit
- Für die nahe und insbesondere die ferne Zukunft deutliche Zunahme in den Sommermonaten



# Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

- Temperaturzunahme bereits in den vergangenen 25 Jahren deutlich sichtbar
- Durchschnittliche jährliche GWN in naher Zukunft (2021-2050) ähnlich wie bisher (1981-2000) – worst case WETTREG2010
- Jedoch innerjährliche Umverteilung, im Sommer noch weniger GWN
- Jahresamplituden der GW-Schwankungen nehmen zu (?)
- Mehr Trockenheit im Sommer
- Betroffen: Wenig ergiebige Aquifere die über Quellen entwässert werden ↔ ergiebige Aquifere im Lockergesteinsbereich (z. B. Oberrheingraben)
- Betroffen: Entwicklung der NW-Verhältnisse während sommerlicher Trockenperioden, da Gewässer wesentlich aus GW gespeist werden
- Betroffen: Landwirtschaft durch zunehmenden Beregnungsbedarf, ggf. Nutzungskonflikte falls Deckung aus Grundwasser

# Inhalte

- Kooperationsvorhaben KLIWA
- Bodenwasserhaushalt und GwN in der Vergangenheit und mögliche Veränderungen in der Zukunft
- **Fallstudie Einzugsgebiet Donauried**
  - **Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Nitratkonzentrationsentwicklung im Grundwasser**

# Fallstudie Gesamt-EZG der GW-Entnahme im Langenauer Donauried

Identifizierung von Auswirkungen durch den Klimawandel auf

- Quantitativen Grundwasserverhältnisse
- Nitratkonzentrationsentwicklung im Grundwasser
- Grundwassernutzung für ÖWV

Entwicklung von Handlungsempfehlungen für

- ✓ Grundwasserschutz
- ✓ Wasserversorgung
- ✓ Landwirtschaft

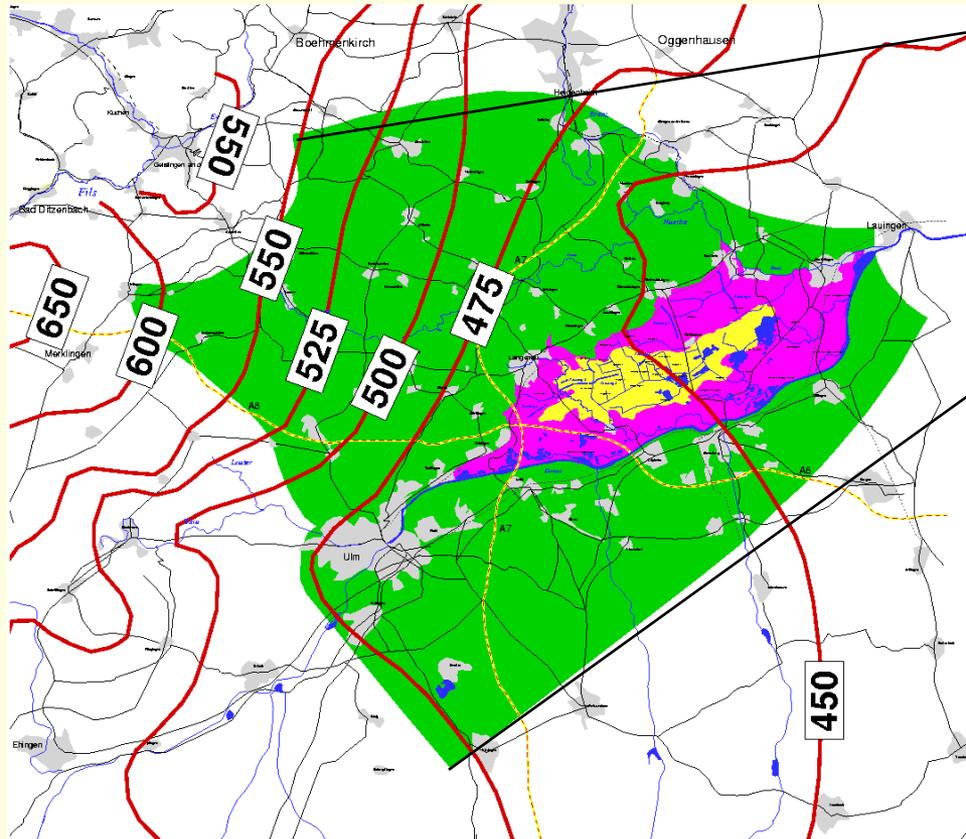
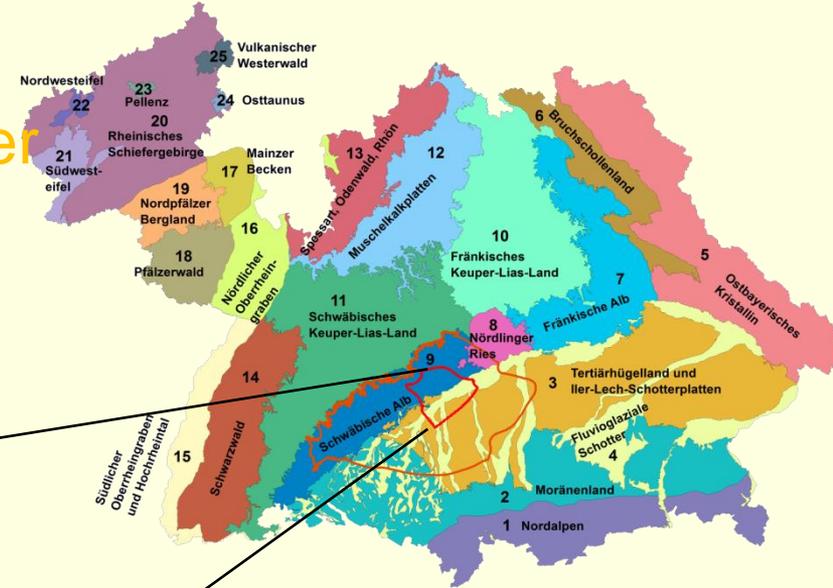
# Vorgehensweise

- Auswahl von regionalen Klimaszenarien für die nahe Zukunft (2021 – 2050): WETTREG2006-A1B *trocken, mittel, nass*
- Grundwasserneubildungsberechnung (1951-2010 & 2021 – 2050)
- Grundwasserströmung und Bilanzierung (1951-2010 & 2021 – 2050)
- Bestimmung des Nitrataustrags (1951 – 2010)
- Nitrataustragsszenarien (2021 – 2050)
- Simulation des Nitrattransports im Grundwasser (1951 – 2010)
- Szenarienbetrachtung zur Nitratentwicklung im Grundwasser (2021 – 2050)

# Untersuchungsgebiet

## Hydrogeologische Situation

- **Ökologisch bedeutender Torfaquifer**
- **Regionaler Kiesgrundwasserleiter**
- **Überregionaler Karstgrundwasserleiter (Oberjura)**



## ZV Landeswasserversorgung

- 6 Fassungen mit rd. 200 Brunnen im Kies- und Karstgrundwasserleiter
- Mittlere Jahresentnahme ca. 30 Mio. m<sup>3</sup>

# Modellsystem / Modellkette

## **Bodenwasserhaushaltsmodell (GWN-BW)**

- Regionalisierung der Meteorologie
- Sickerwasserrate täglich

## **Agrarökosystemmodell Expert-N**

- Deterministisch
- Witterungsverlauf
- Pflanzenwachstum

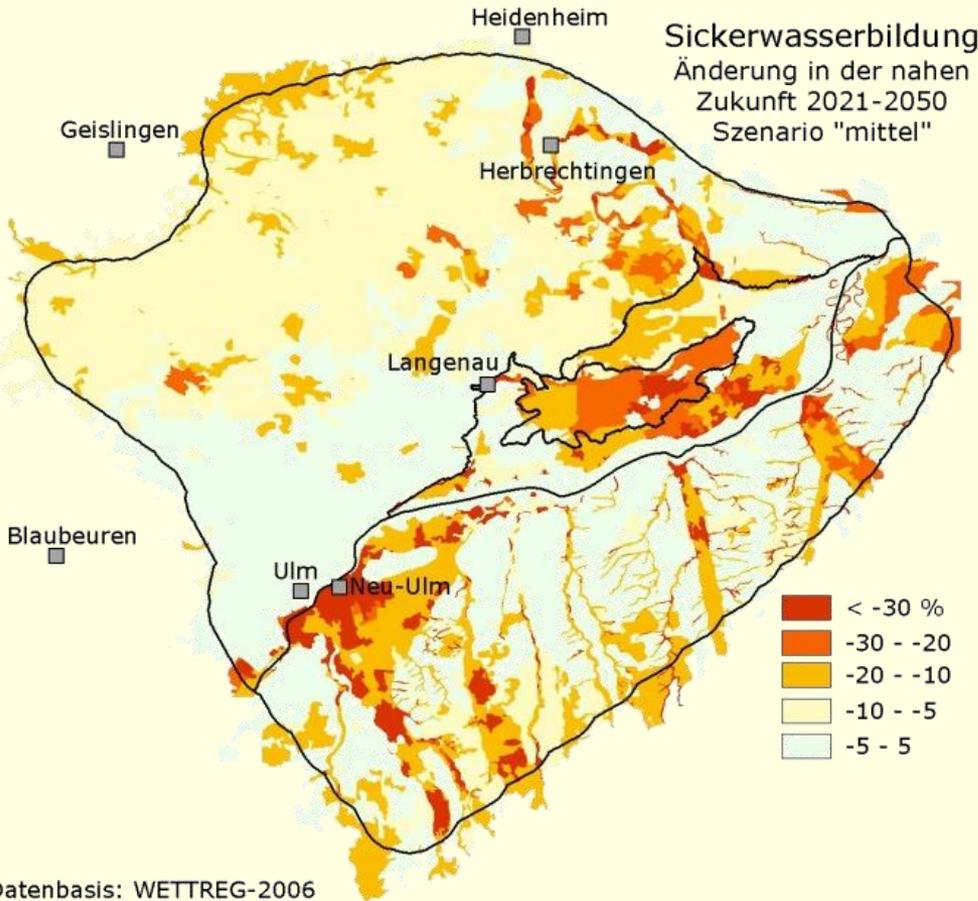
## **N-Saldenansatz**

- Überschüsse aus Düngung, Nachlieferung aus dem Humusvorrat
- Denitrifikation
- Abfuhr mit dem Erntegut

## **Kalibriertes Grundwassermodell (MODFLOW)**

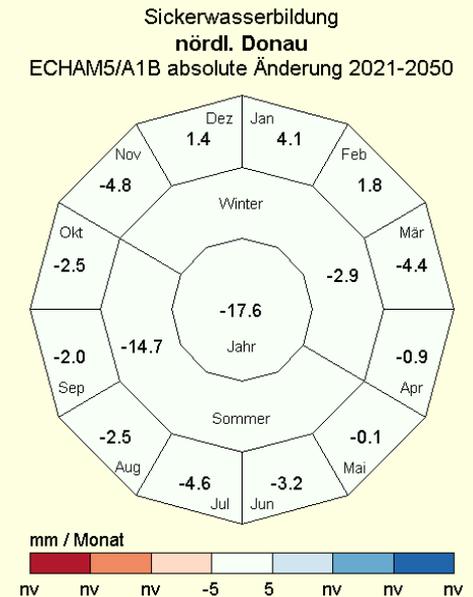
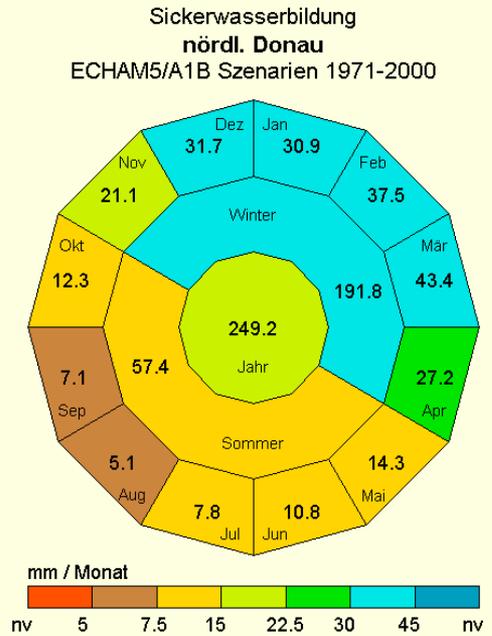
- Dreidimensional
- Instationär
- Validiert mit Transportdaten (Tritium)

# Grundwasserneubildung

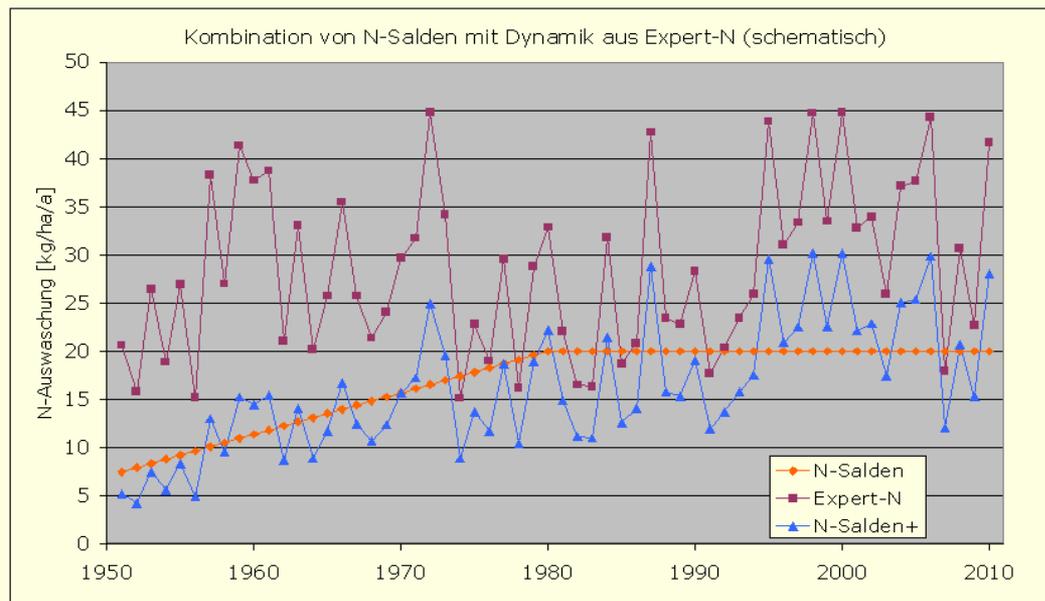
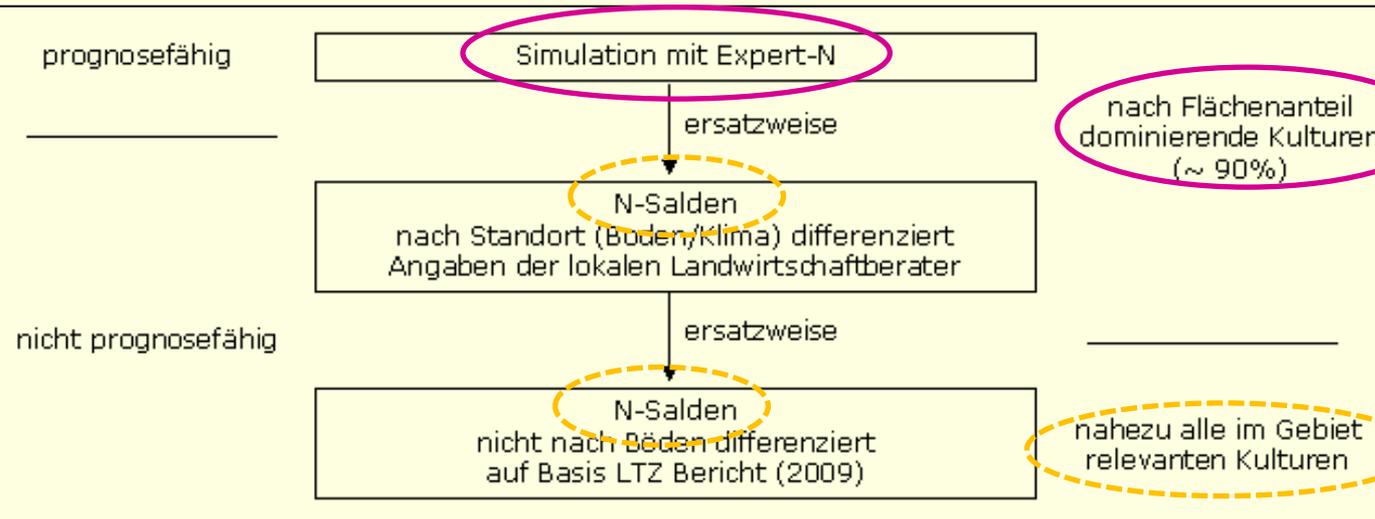


## Änderung

- Im Mittel 7%
- Hauptsächlich im SHJ



# Nitrataustragsermittlung



Kombination EXPERT-N und N-Salden für die Bestimmung des historischen N-Austrags erforderlich (mangels Bewirtschaftungsdaten & Wachstumsmodellen)

# Angepasster Nitrataustrag

**Gemessene Nitratgehalte im GW werden bereichsweise mit dem ermittelten**

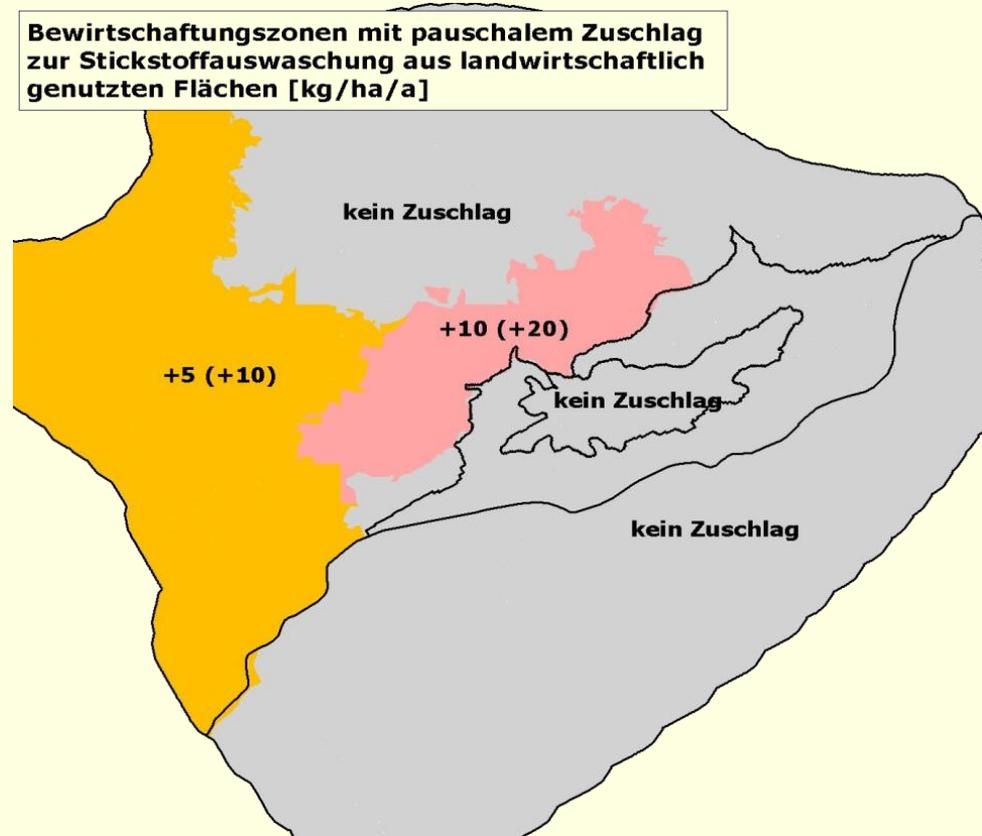
**Nitrataustrag nicht erreicht**

- Westliches Einzugsgebiet

=> Organischer Dünger aus Großviehhaltung

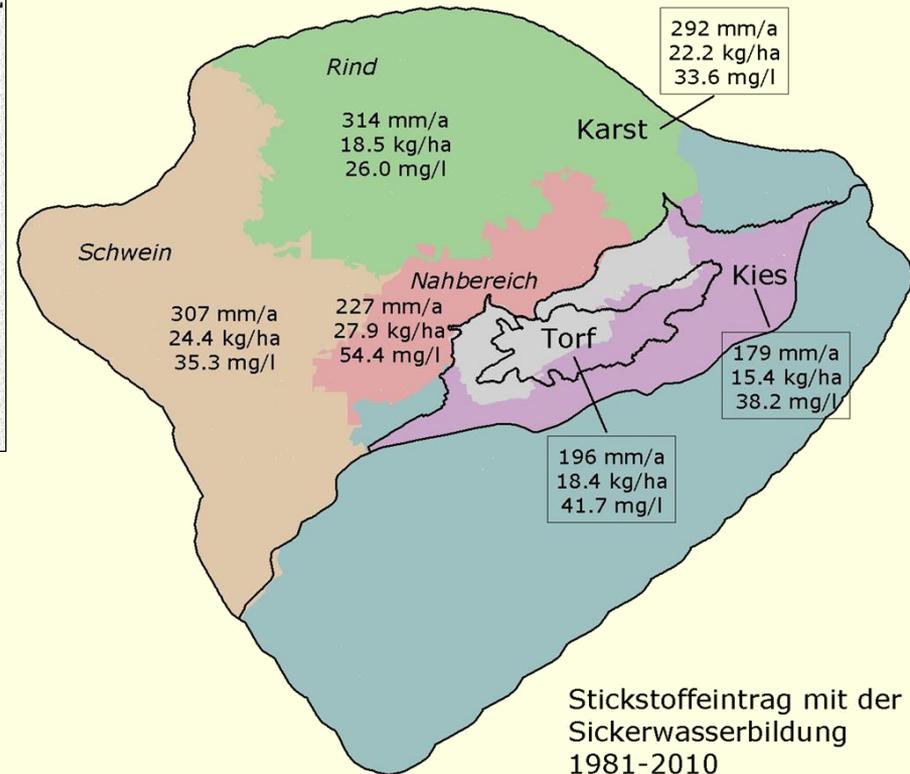
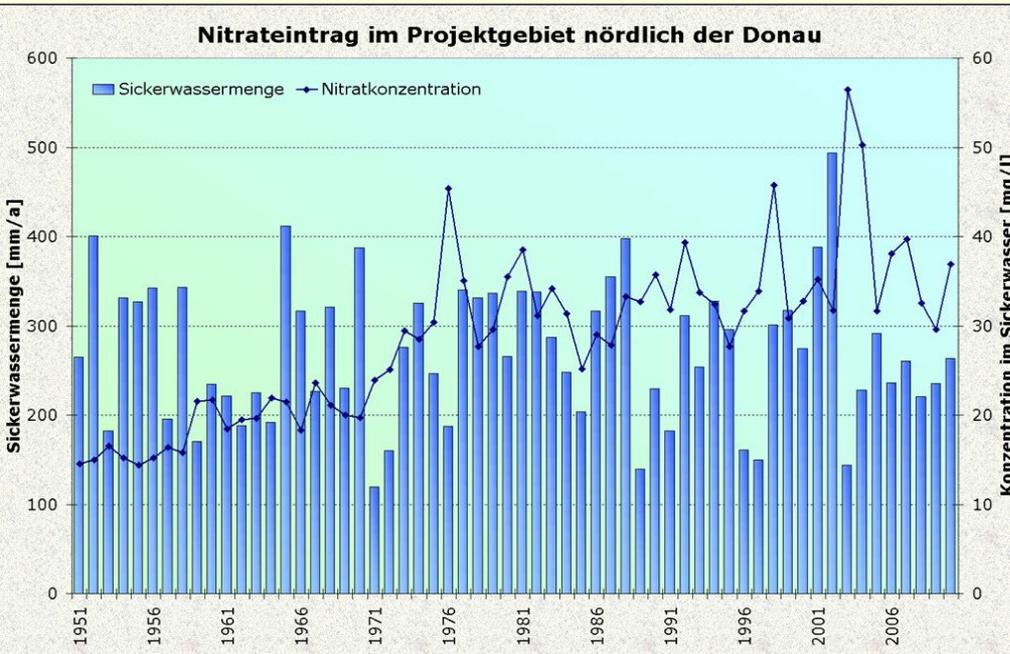
- Nördliches Einzugsgebiet Karst bis Lone

=> Keine Gülleausbringung im Donauried



# Angepasster Nitrateintrag in GW

## Mittelwerte 1981-2010 Sickerwasserrate, N-Austrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser

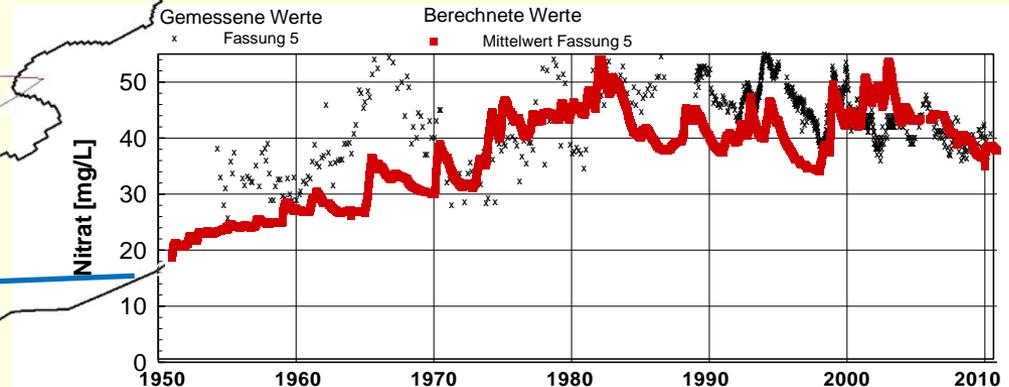
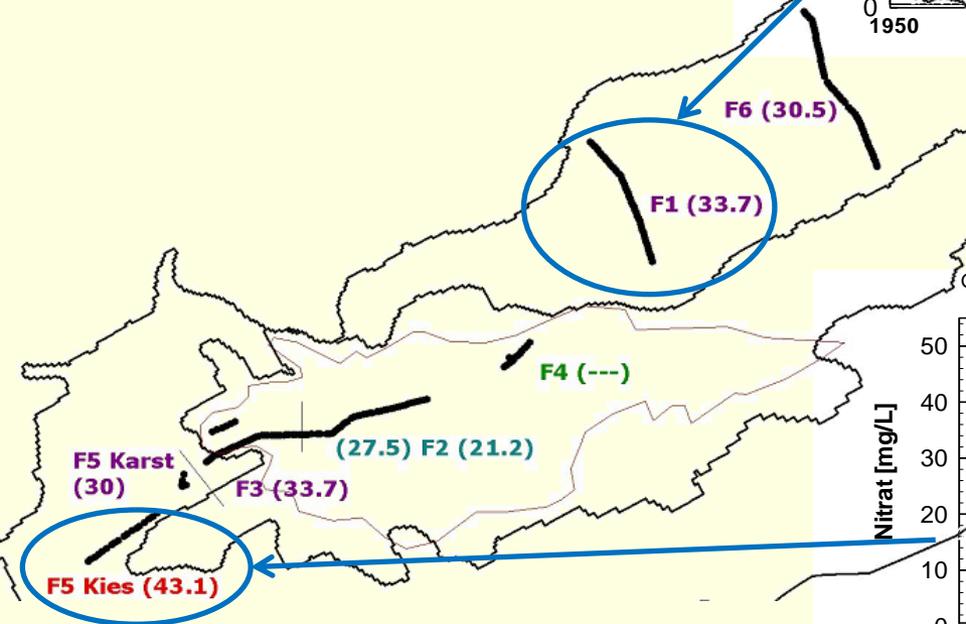
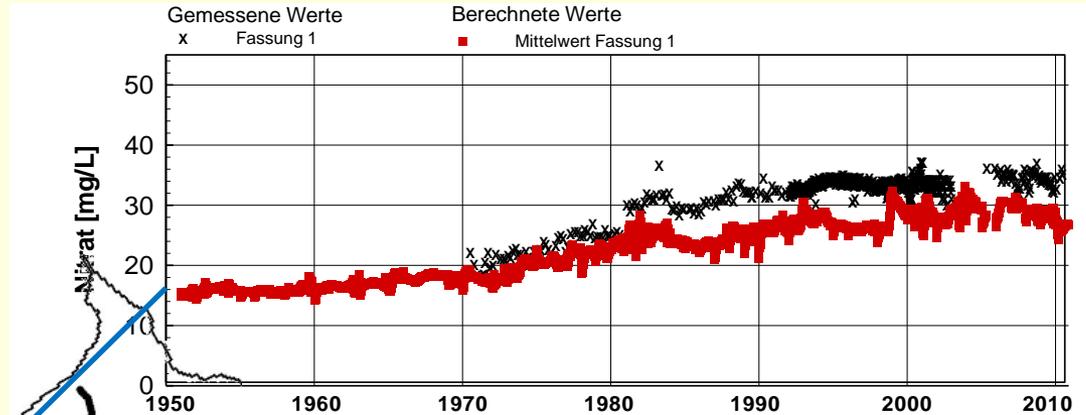


## Sickerwasserrate und Nitratkonzentration im Sickerwasser von 1951-2010 nördlich der Donau

# Nitratkonzentrationsentwicklung 1951-2010

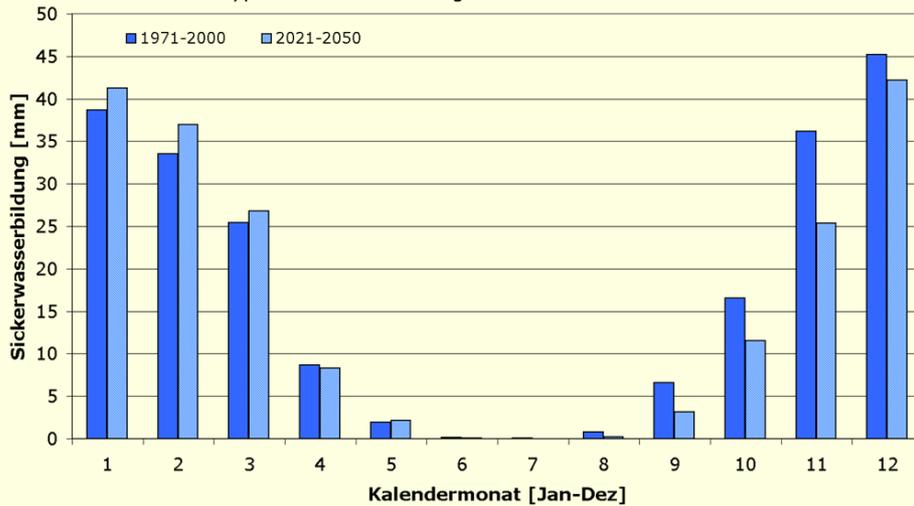
Mittlere Nitratkonzentration [mg/l]  
an den Fassungen der  
Landeswasserversorgung  
2000-2010

**Burgberg**  
(25.1)

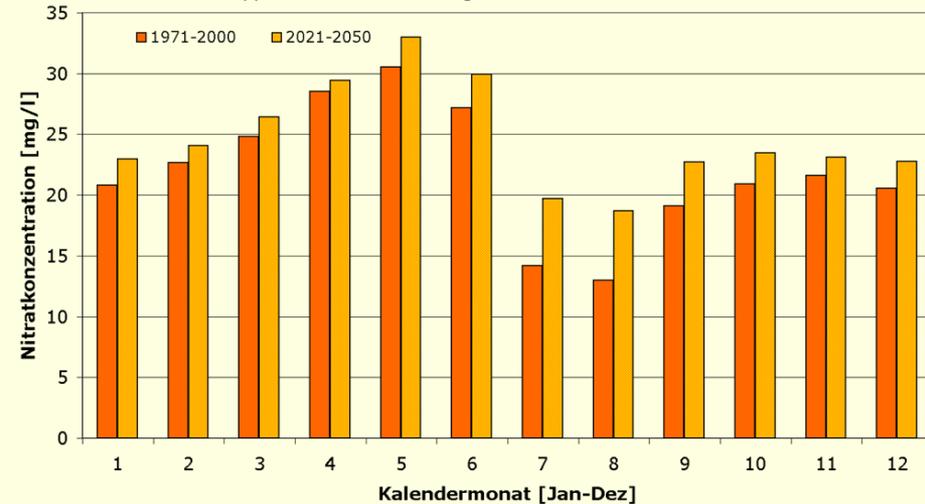


# Nitrateintrag – nahe Zukunft

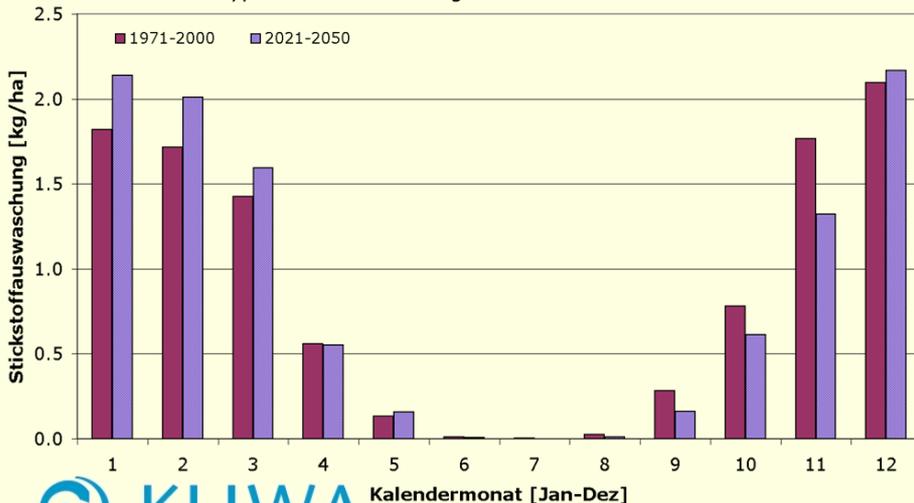
**Mittlerer Jahrgang der Sickerwasserbildung**  
Typstandort "Sommergerste auf Tschernosem"



**Mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser**  
Typstandort "Sommergerste auf Tschernosem"

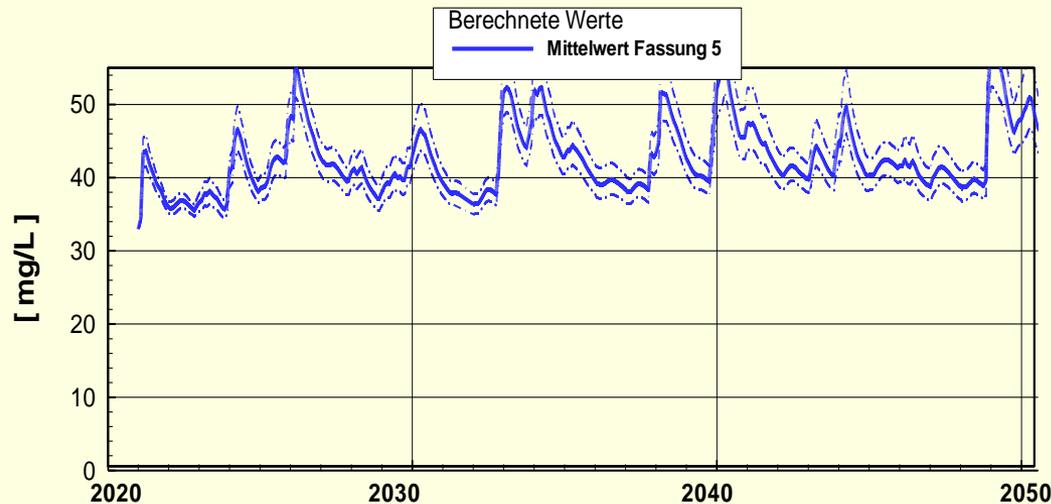
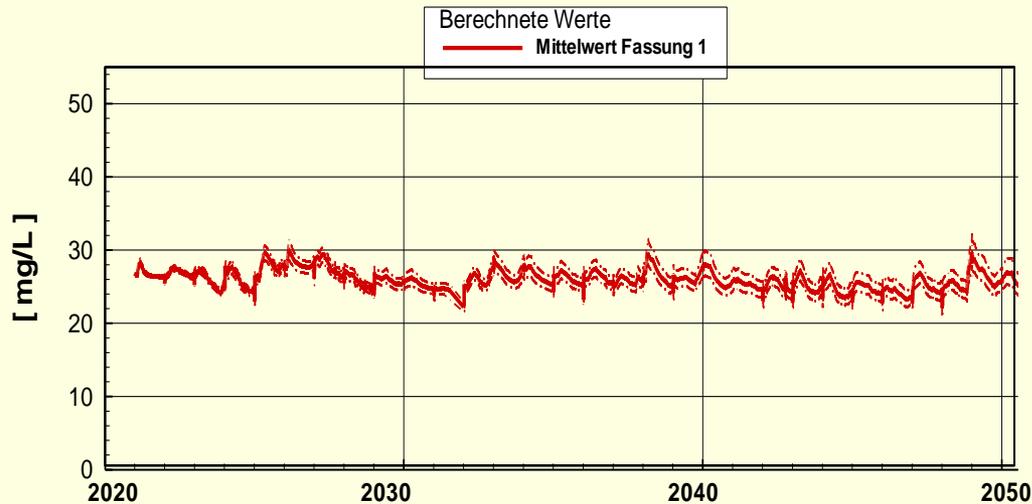


**Mittlerer Jahrgang der Stickstoffauswaschung**  
Typstandort "Sommergerste auf Tschernosem"



Geringfügig höhere  
Nitratkonzentration im  
Sickerwasser für einzelne  
Kulturarten

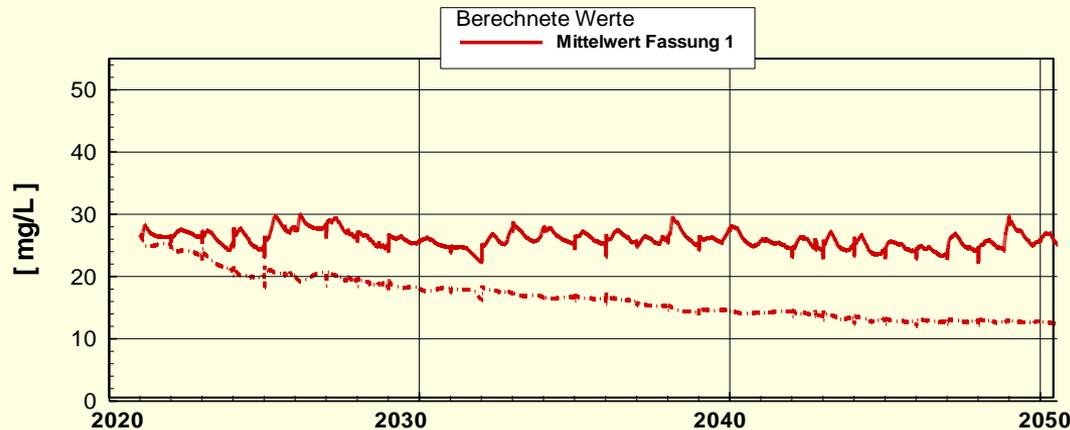
# Nitratkonzentration – nahe Zukunft



Geringfügig veränderte klimawandelbedingte Nitratkonzentration im Grundwasser gegenüber dem Niveau des Jahres 2020

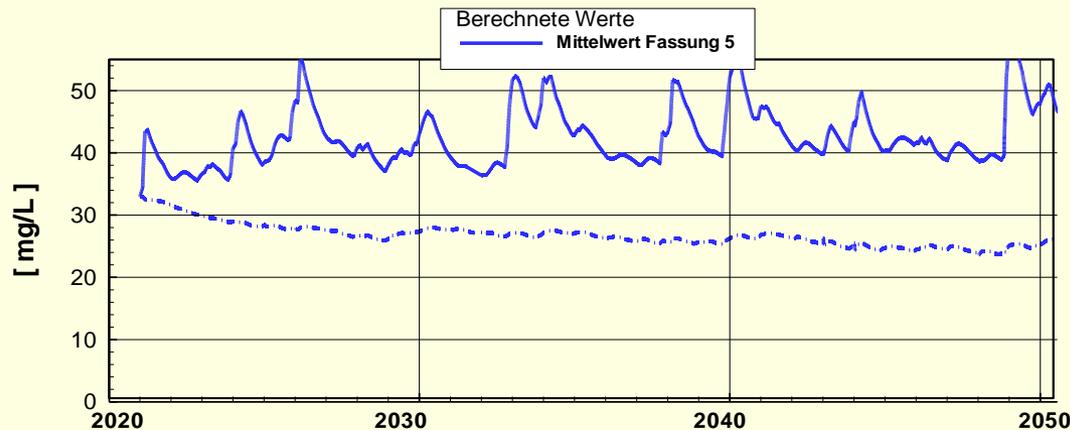
- Max. 4 mg/l
- Im Bereich Fassung 1 Rückgang um 2-3 mg/l

# Nitratkonzentration – nahe Zukunft



Hypothese minimaler Eintrag

- 15 mg/l
- Nahbereich um Fassung 5  
30 mg/l
- Keine sofortige Abnahme
- In erster Dekade schneller, danach langsamer
- ~ 8 mg/l nach 10 Jahren



# Zusammenfassung

- Ermittlung der Sickerwasserraten für die nahe Zukunft (2021 – 2050) anhand von WETTREG2006-Szenarien
  - Leichte Veränderungen im Mittel und innerjährlich
  - *Sinkende Grundwasserstände im Karst auf der Albhochfläche und im Torf (Kompensation durch Torfsackung)*
- Im westlichen Einzugsgebiet werden zu niedrige Nitrateintragskonzentrationen ermittelt
  - erhöhte organische Düngung angenommen
- Gute Nachbildung der Nitratkonzentrationsentwicklung bis 2010 im Grundwasser
- Projektion von gleichbleibenden Verhältnissen ab 2020 bei gleicher landwirtschaftlichen Bewirtschaftung
- Nachhaltiger Rückgang der Nitratkonzentration möglich bei reduziertem Eintrag

An aerial photograph of a rural landscape. A winding river flows through the center of the image, surrounded by lush green fields. In the background, a small village with several white buildings is visible. The overall scene is peaceful and scenic.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**