Four vertical green bars of varying heights are located on the left side of the slide.

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/>

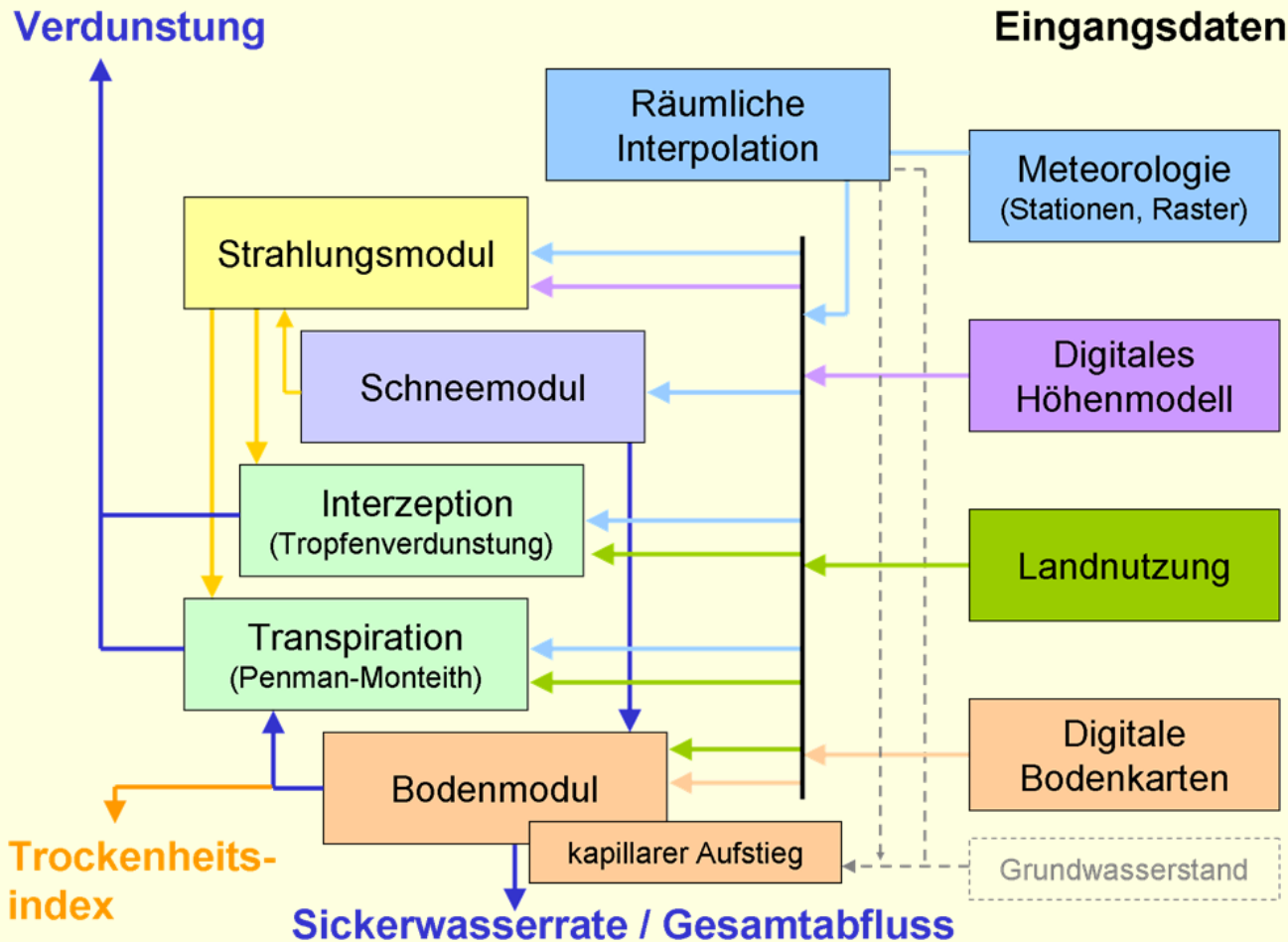
Kooperationsvorhaben KLIWA

- 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

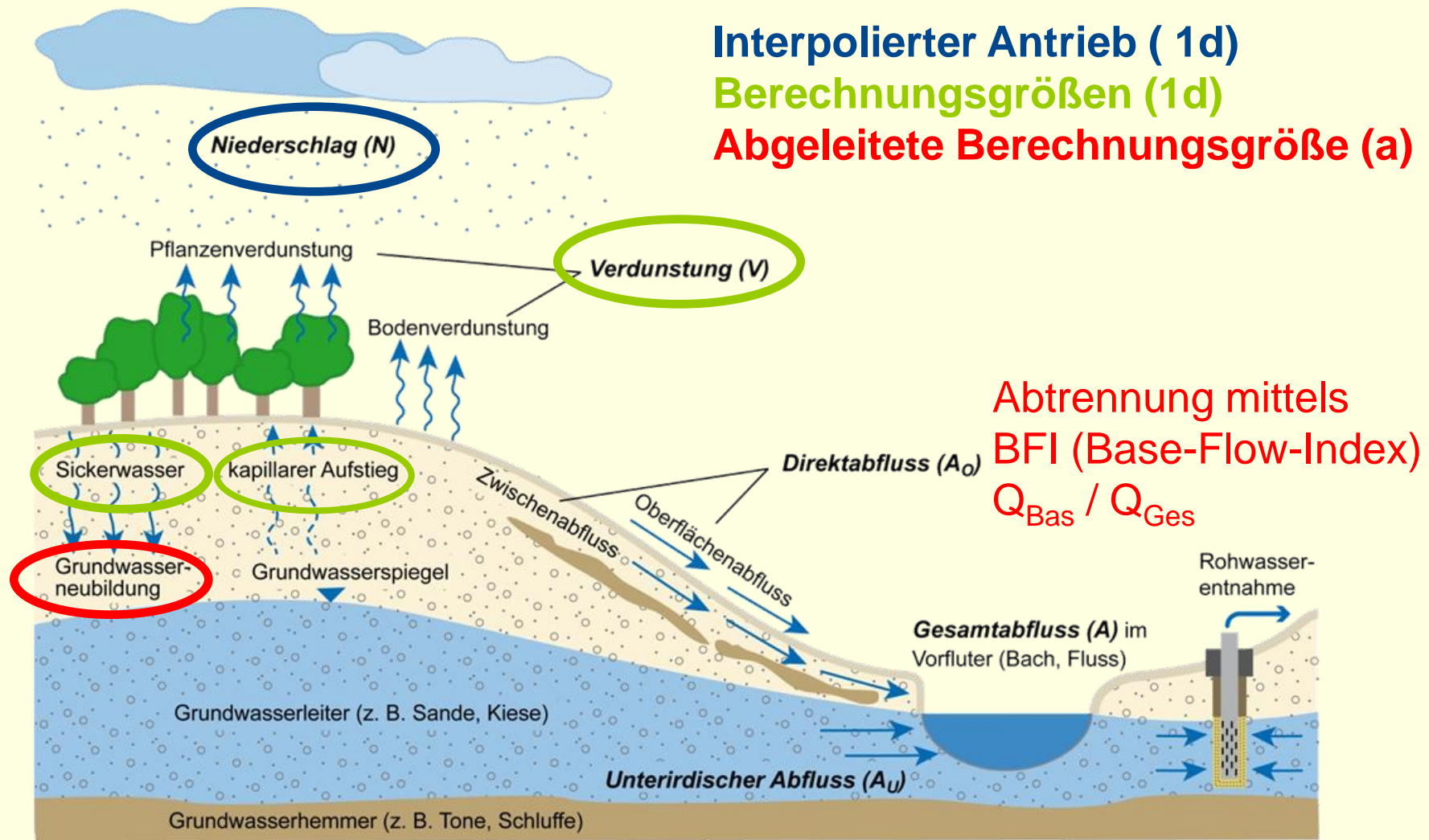
Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW



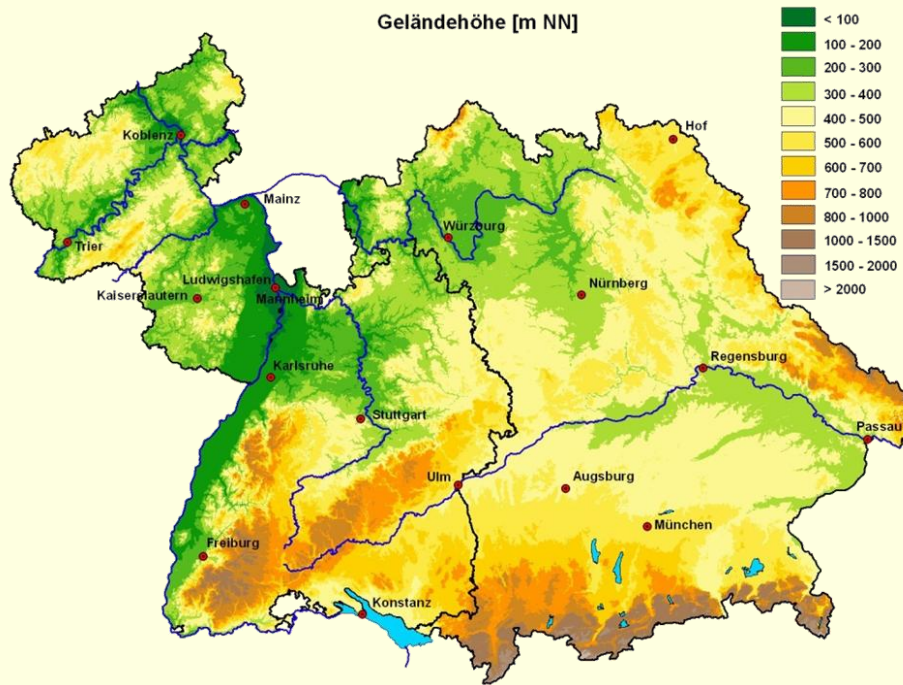
Modularer Aufbau und schematische Darstellung der benötigten Eingangsdaten

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

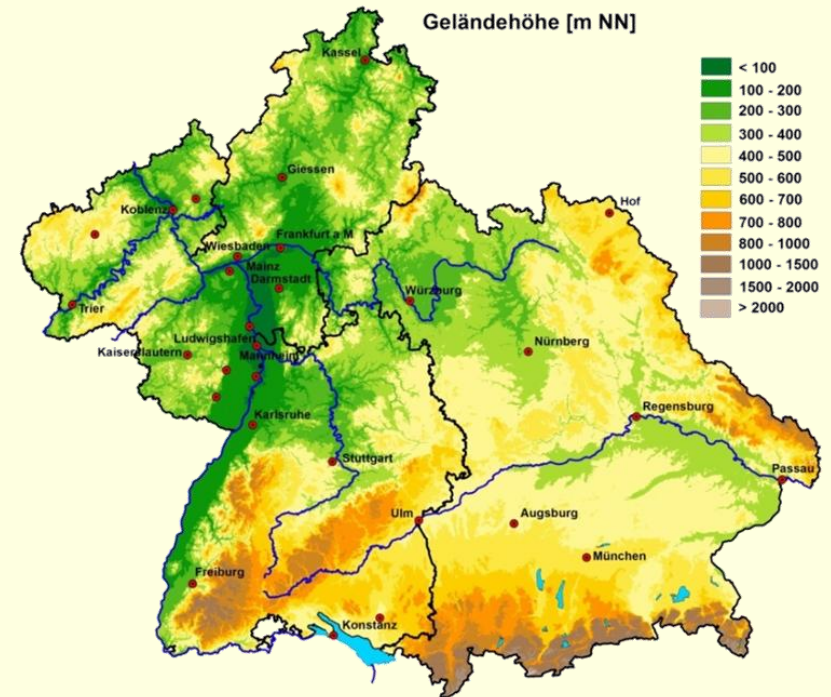
Wasserkreislauf / Bilanzkomponenten



Untersuchungsgebiet KLIWA



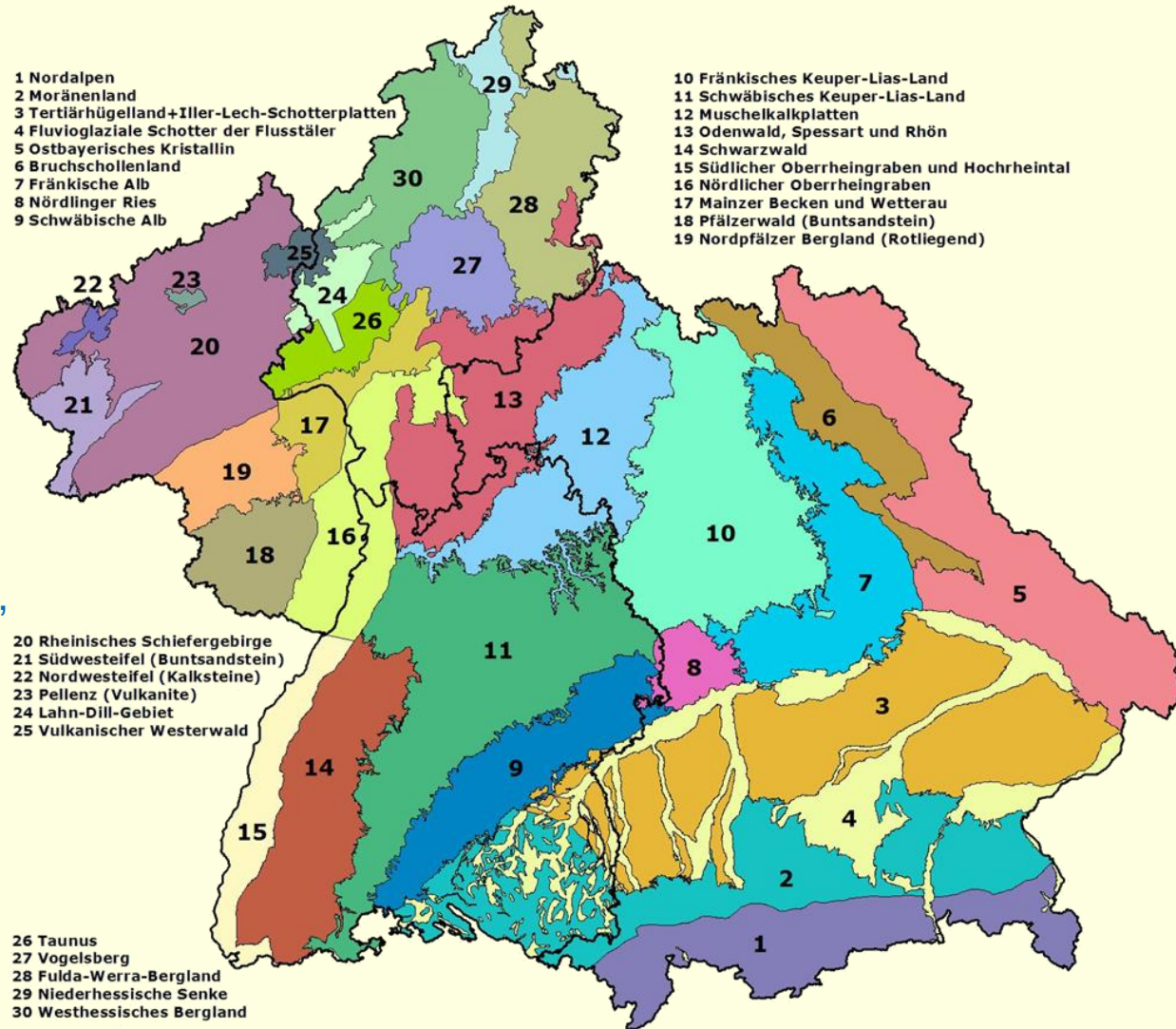
- 126 170 km²
- 205 376 Grundflächen
- 50 bis 2 638 m NN



- 147 286 km²
- 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)



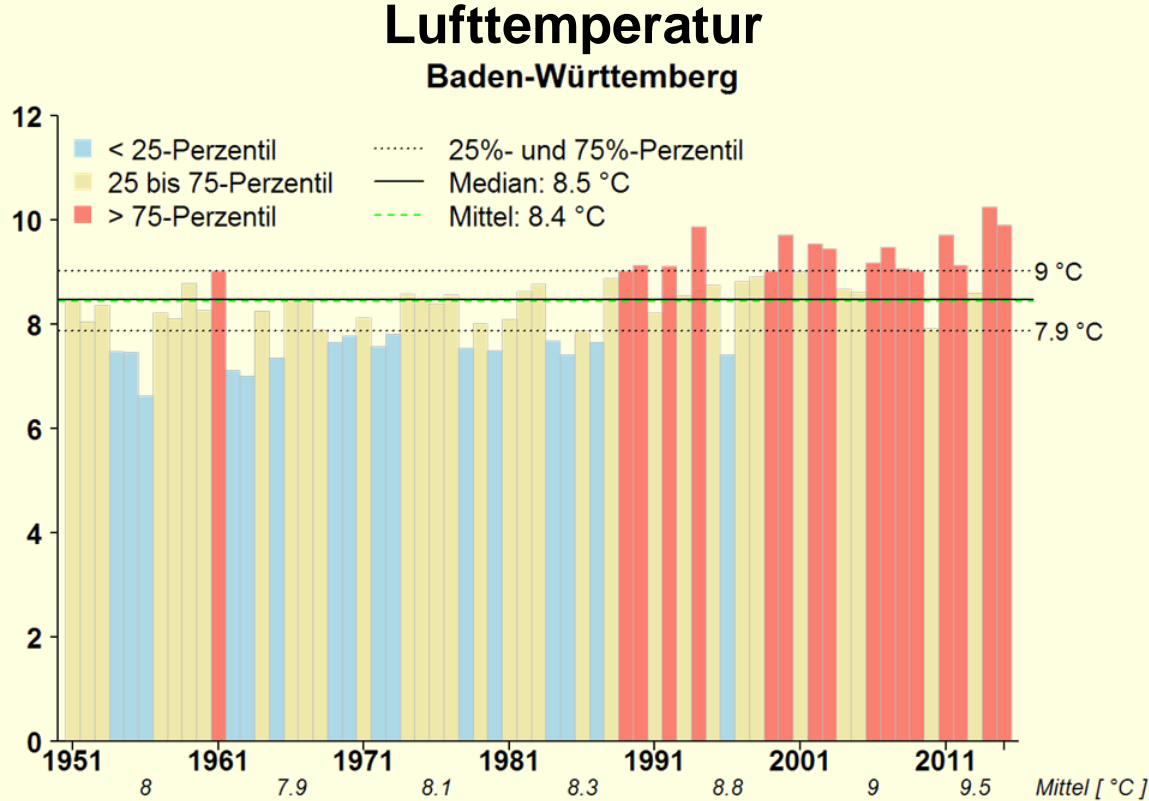
Langzeitsimulation 1951-2015

- 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

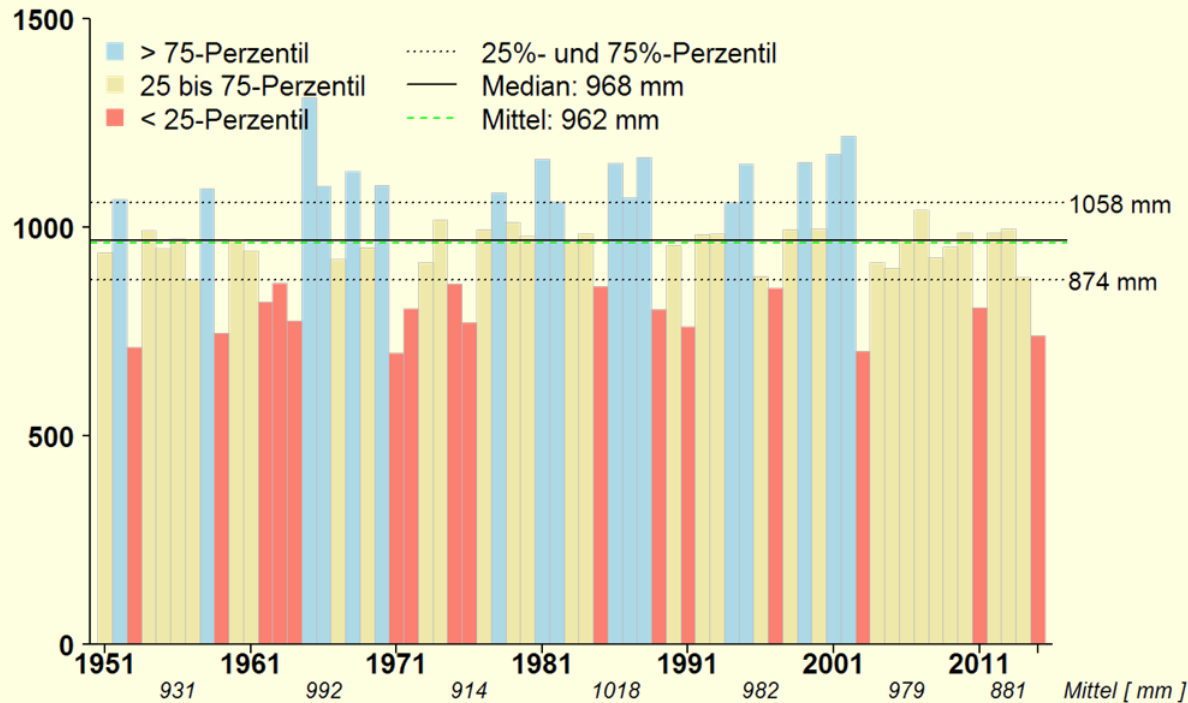


- Im vieljährigen Mittel ~ 8.5 °C
- Erwärmung ab 1988
- Außer 1991, 1996 und 2010 immer Werte > Median (1988-2015)
- Außer 1961 immer Werte < 75-Perzentil (1951-1987)

Langzeitsimulation 1951-2015

Niederschlagshöhe

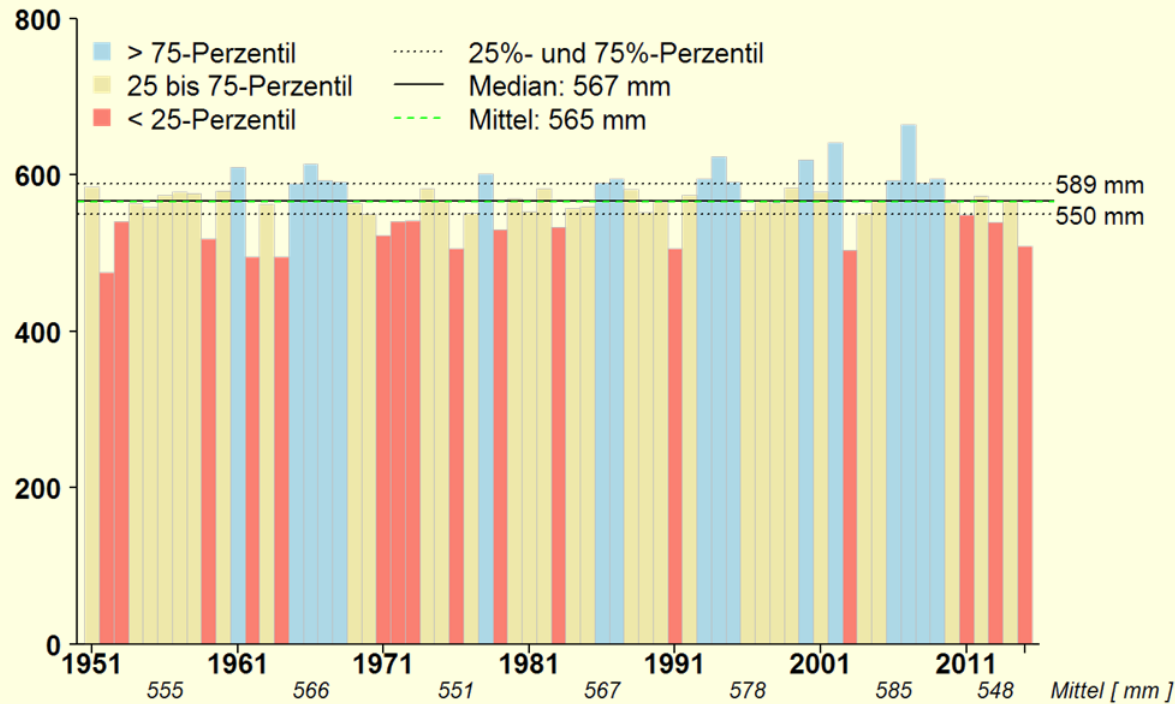
Baden-Württemberg



- 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

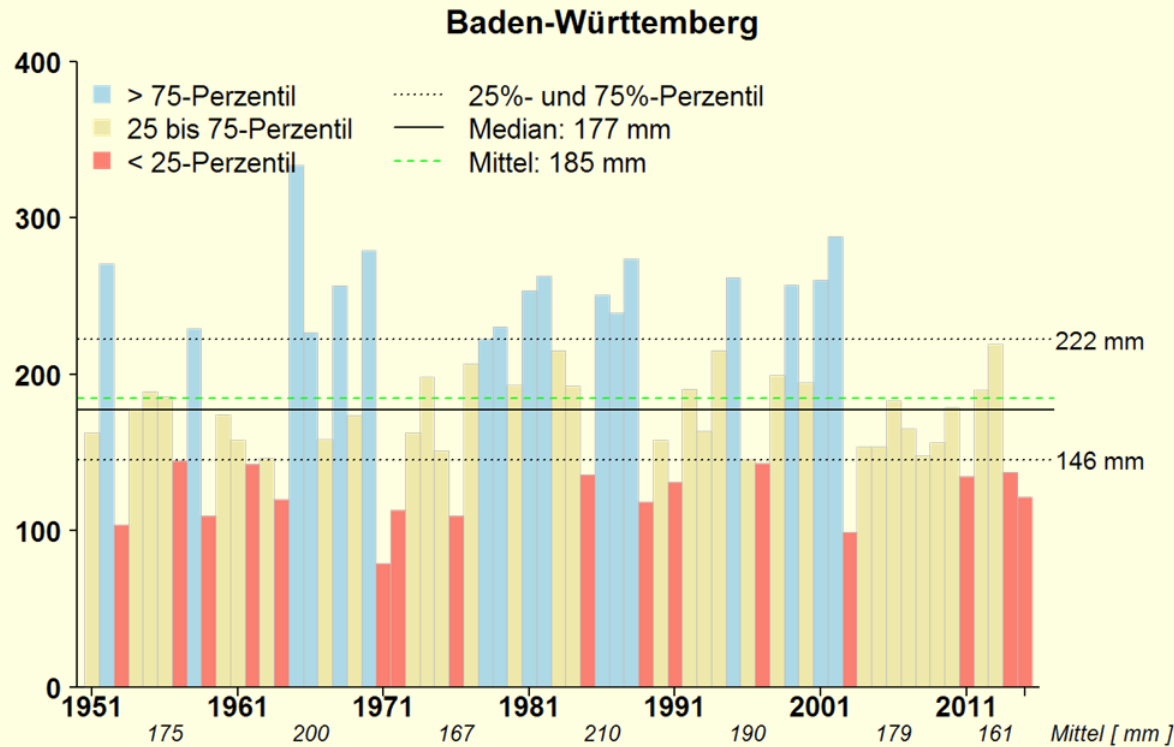
Verdunstung Baden-Württemberg



- 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

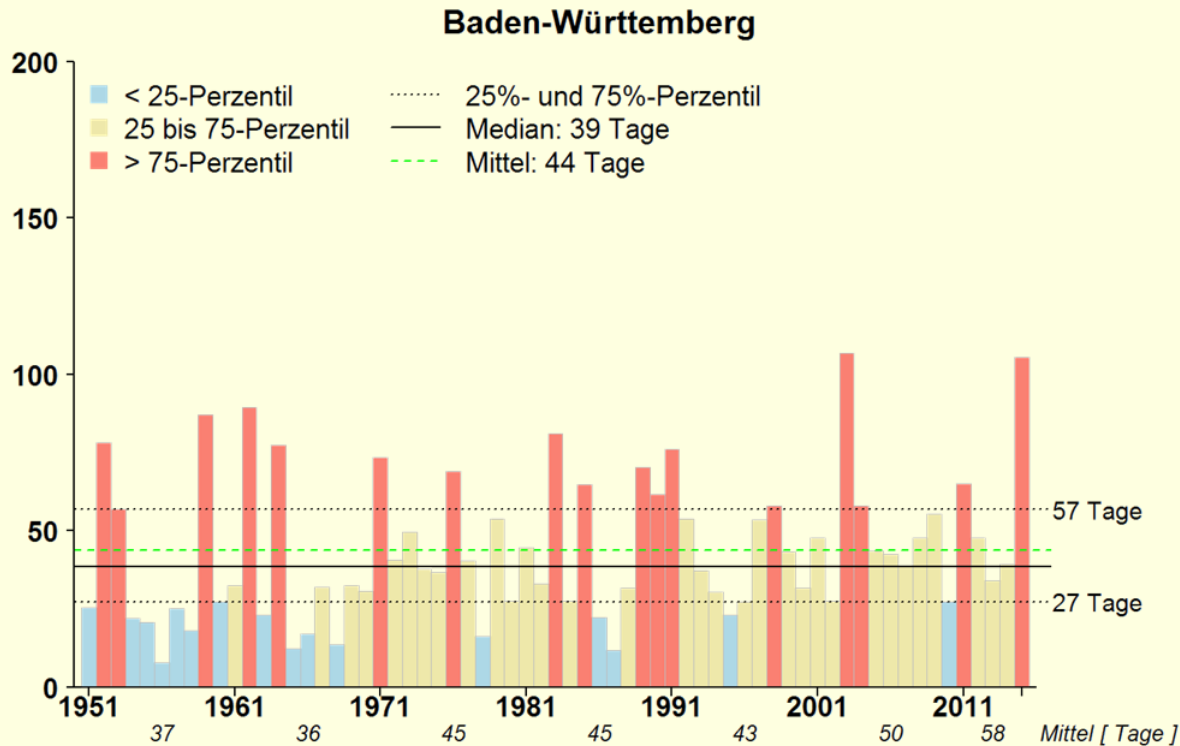
Grundwasserneubildung



- 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)

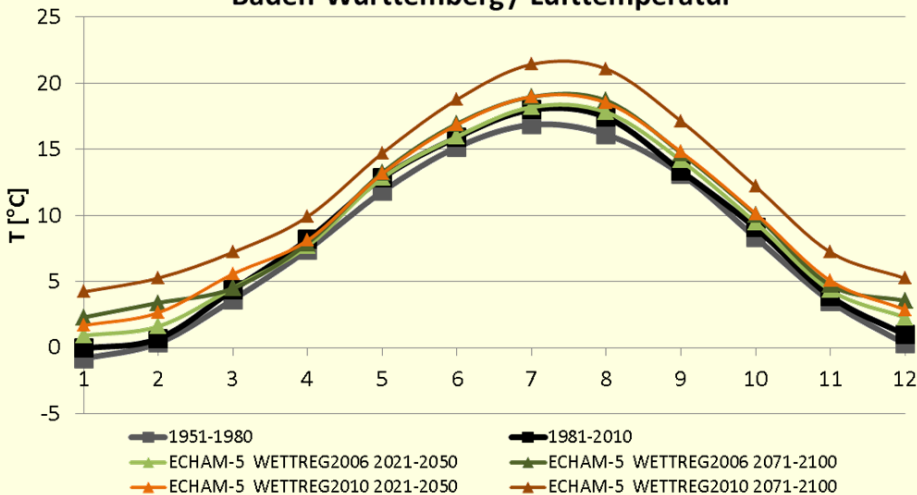


- Im vieljährigen Mittel ~ 40 Tage
- Hohe Variabilität von Jahr zu Jahr
- Differenz zwischen 2002 (28 d) und 2003 (107 d) ~ 80 mm rd. 74%

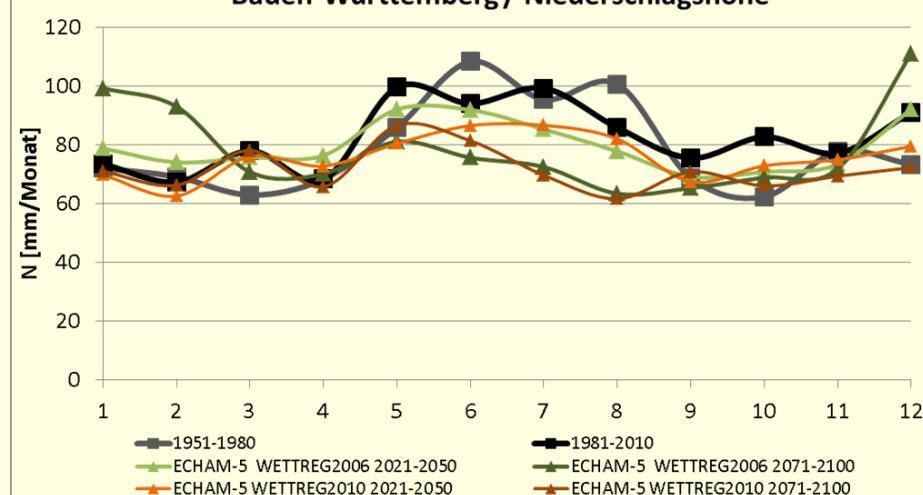
Regionale Klimaprojektionen 2021-2100

- 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

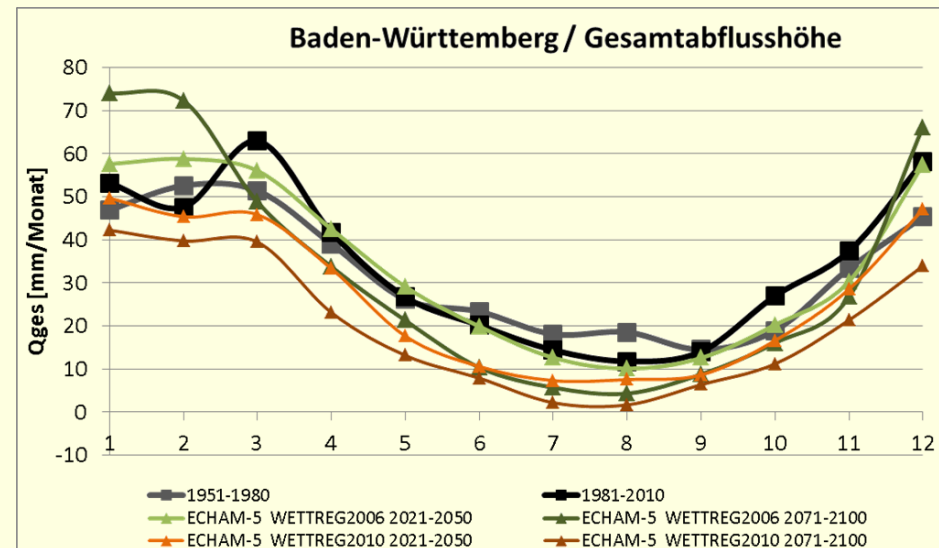
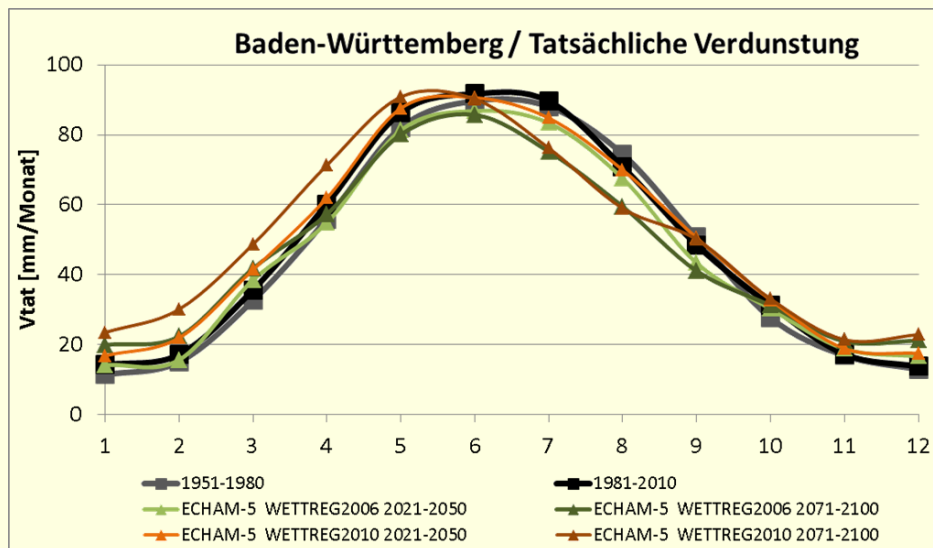


Baden-Württemberg / Niederschlagshöhe



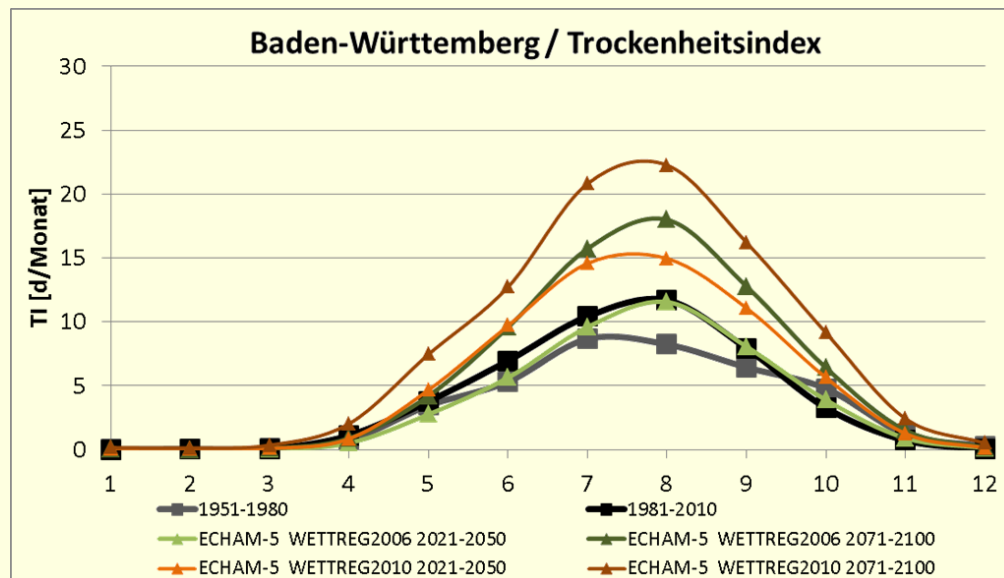
Regionale Klimaprojektionen 2021-2100

- 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

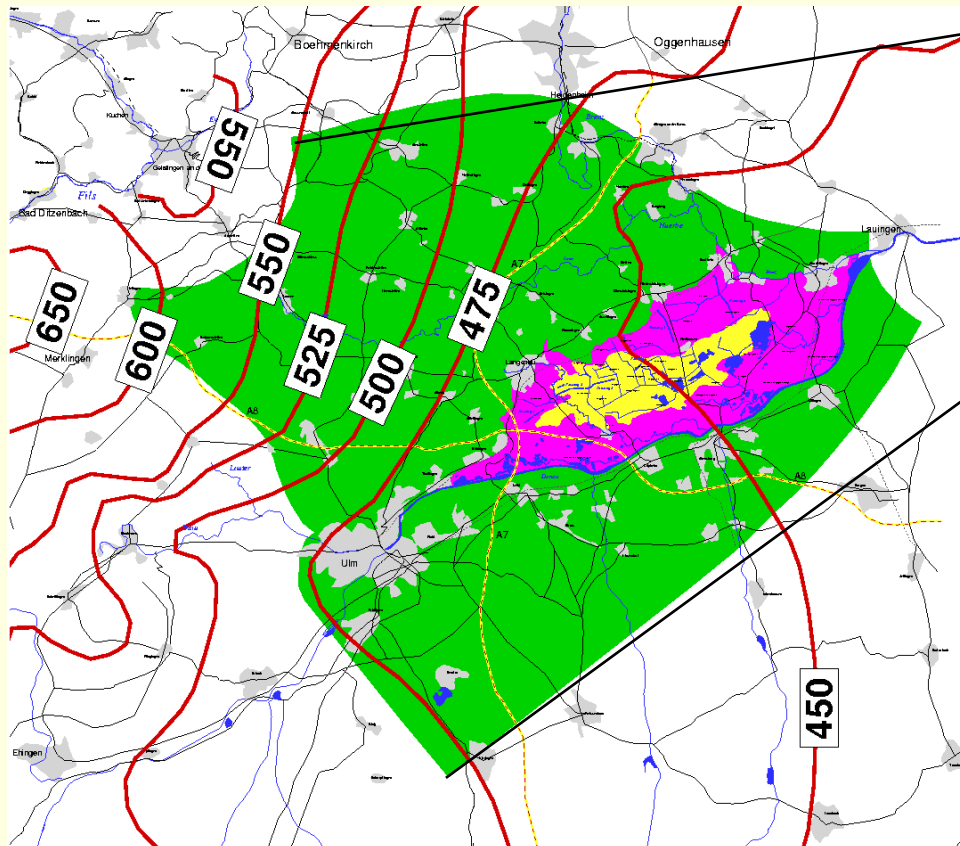
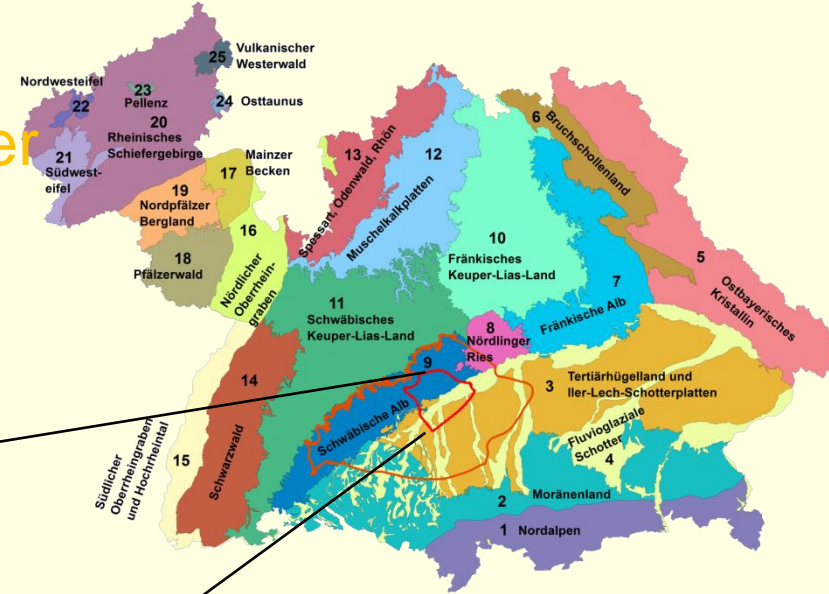
Vorgehensweise

- 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. m³

Modellsystem / Modellkette

Bodenwasserhaushaltsmodell (GWN-BW)

- Regionalisierung der Meteorologie
- Sickerwasserrate täglich

Agrarökosystemmodell Expert-N

- Deterministisch
- Witterungsverlauf
- Pflanzenwachstum

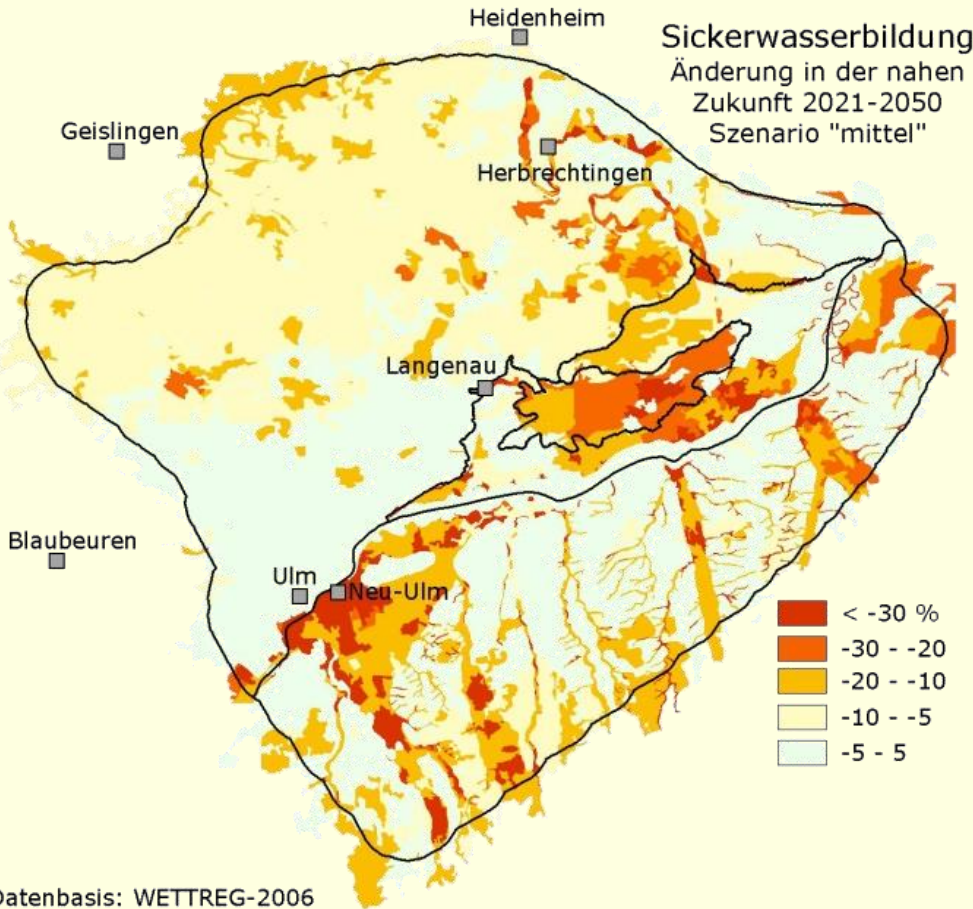
N-Saldenansatz

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

Kalibriertes Grundwassermodell (MODFLOW)

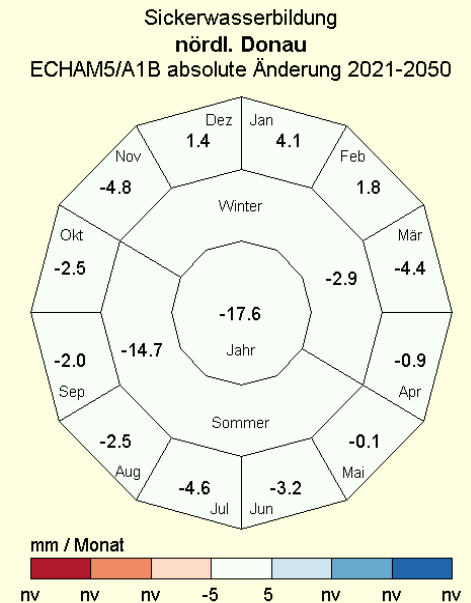
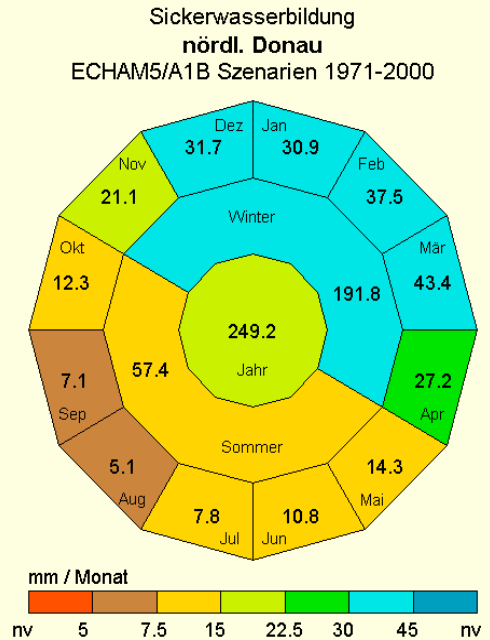
- Dreidimensional
- Instationär
- Validiert mit Transportdaten (Tritium)

Grundwasserneubildung

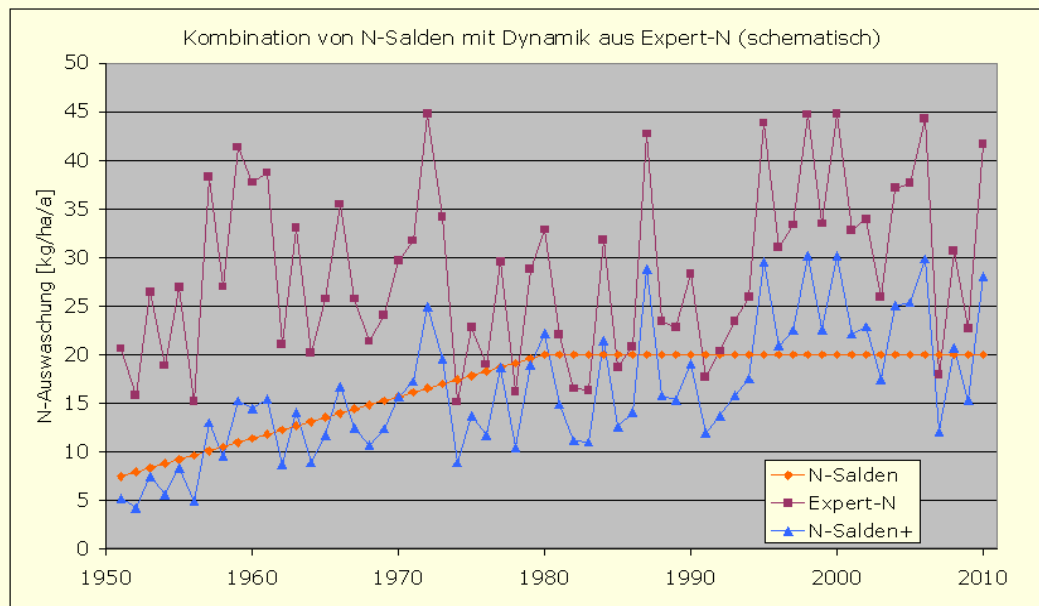
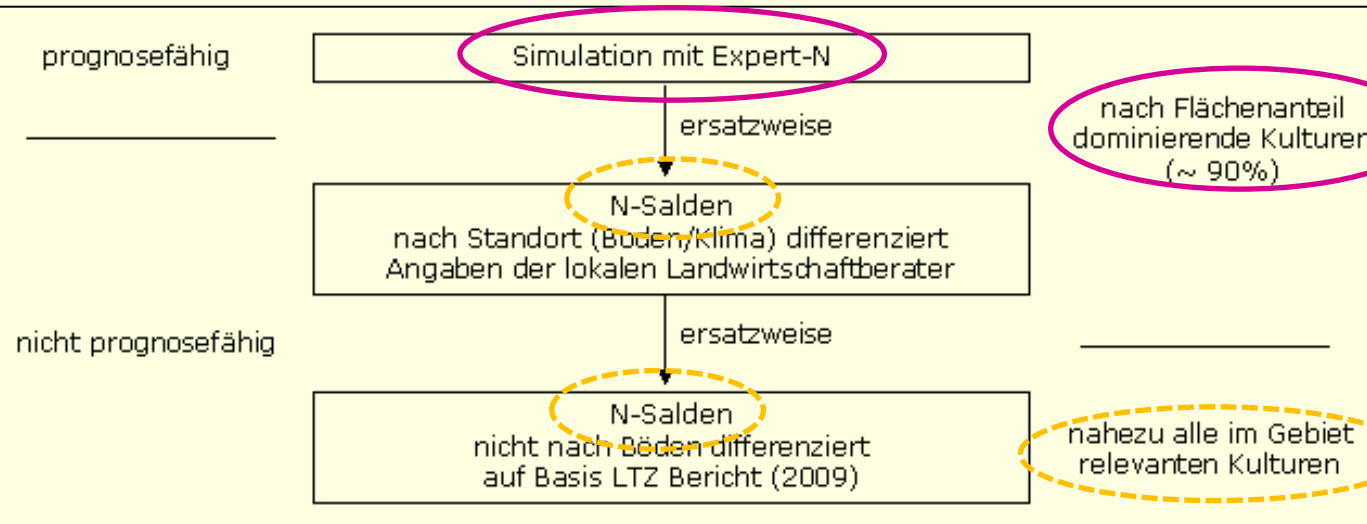


Änderung

- 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

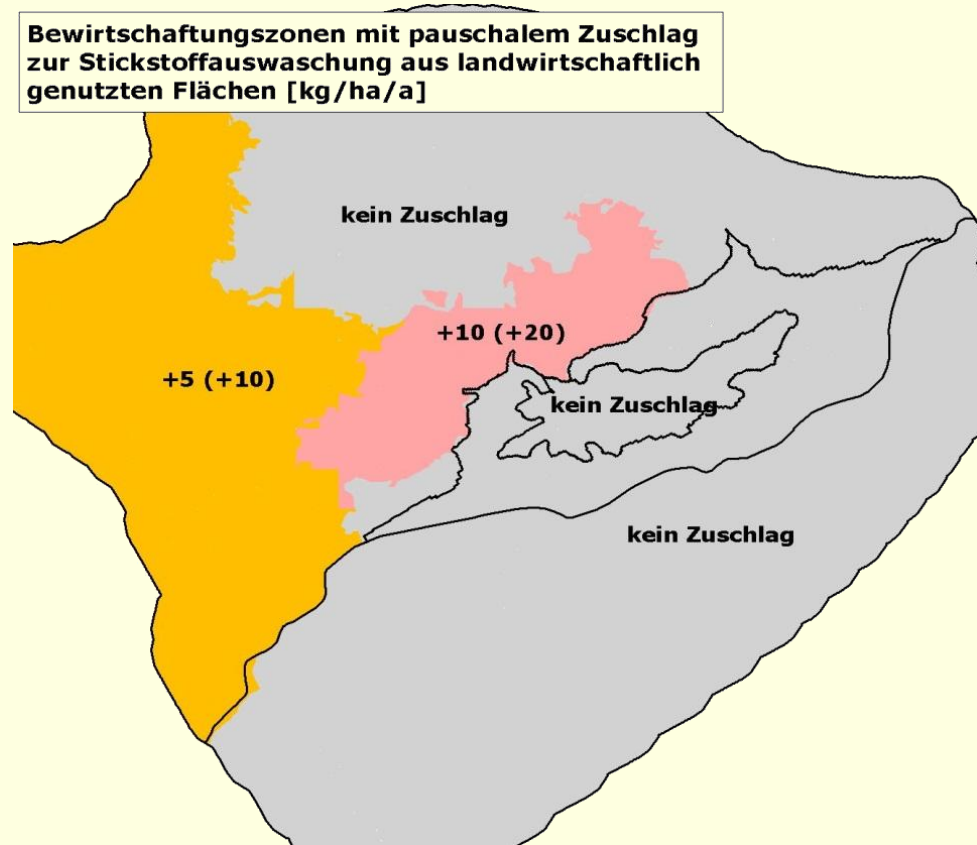
Nitrataustrag nicht erreicht

- Westliches Einzugsgebiet

=> Organischer Dünger aus Großviehhaltung

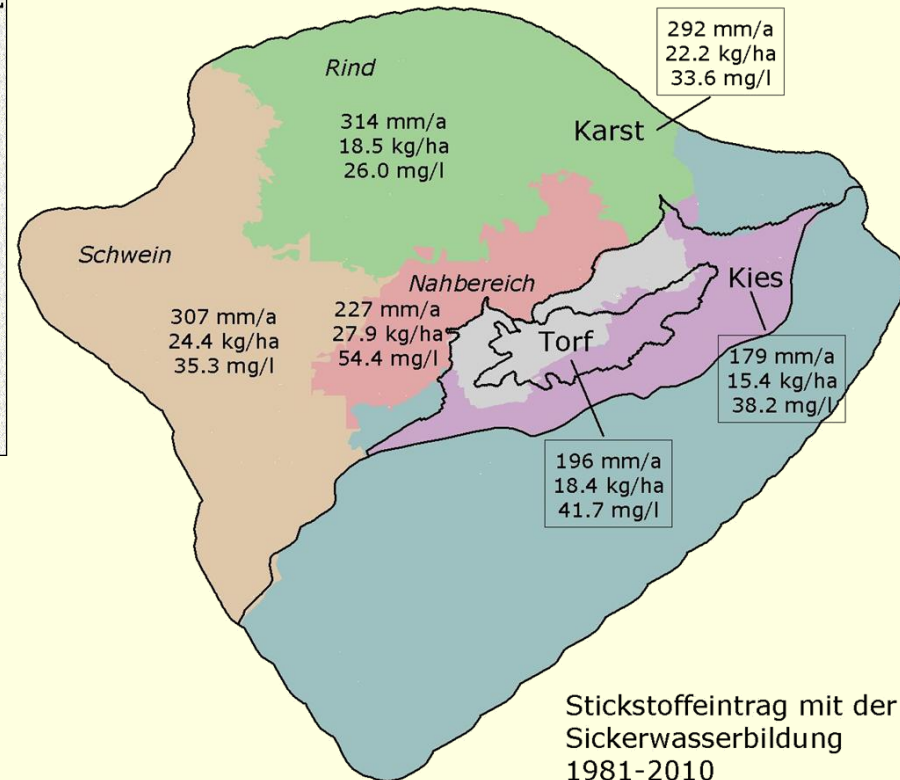
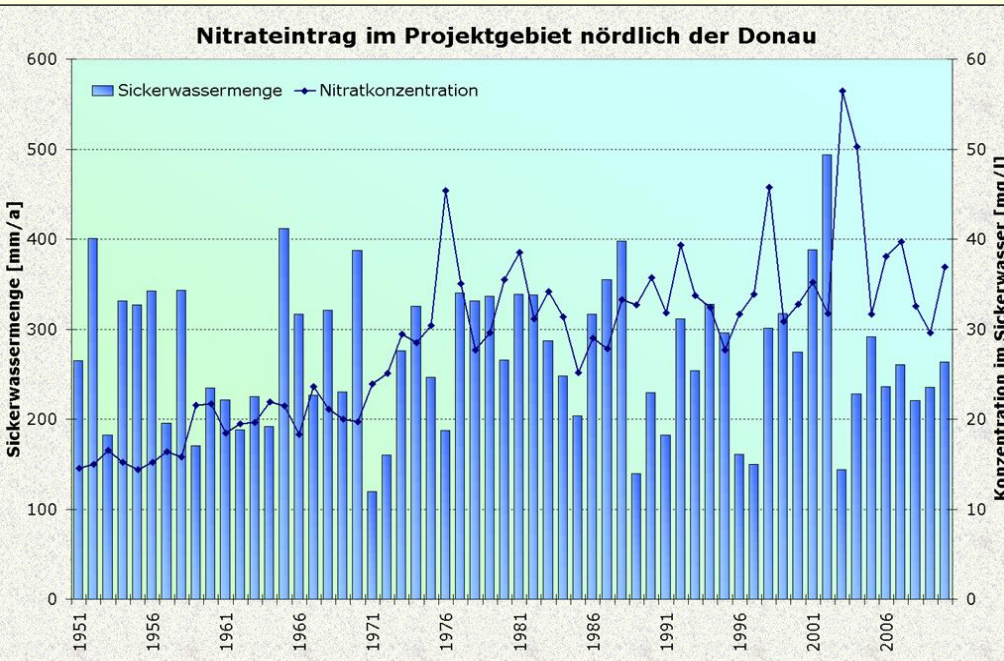
- Nördliches Einzugsgebiet Karst bis Lone

=> Keine Gülleausbringung im Donauried



Angepasster Nitrateintrag in GW

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



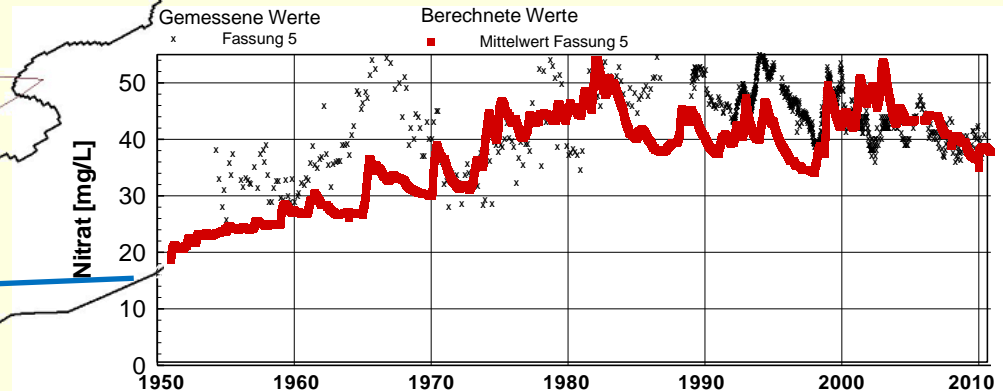
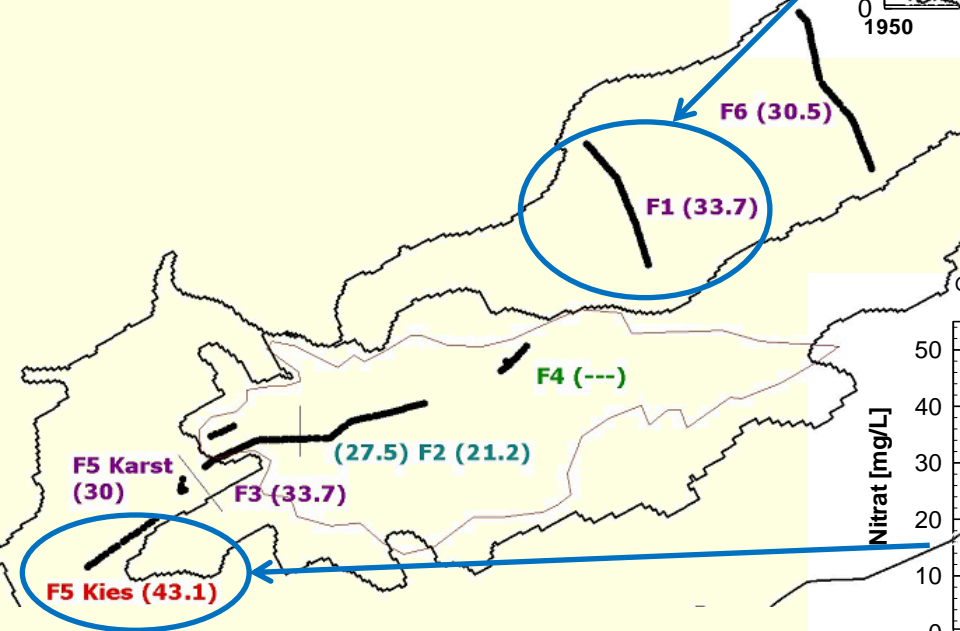
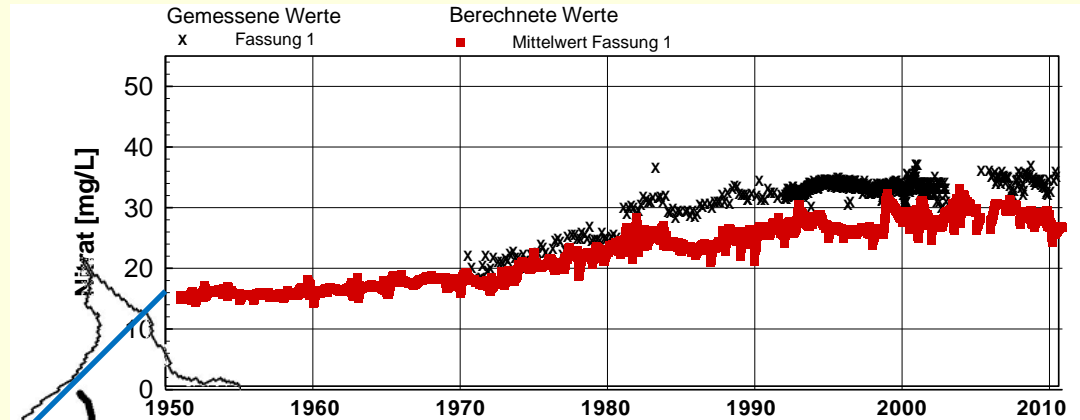
Stickstoffeintrag mit der
Sickerwasserbildung
1981-2010

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

Nitratkonzentrationsentwicklung 1951-2010

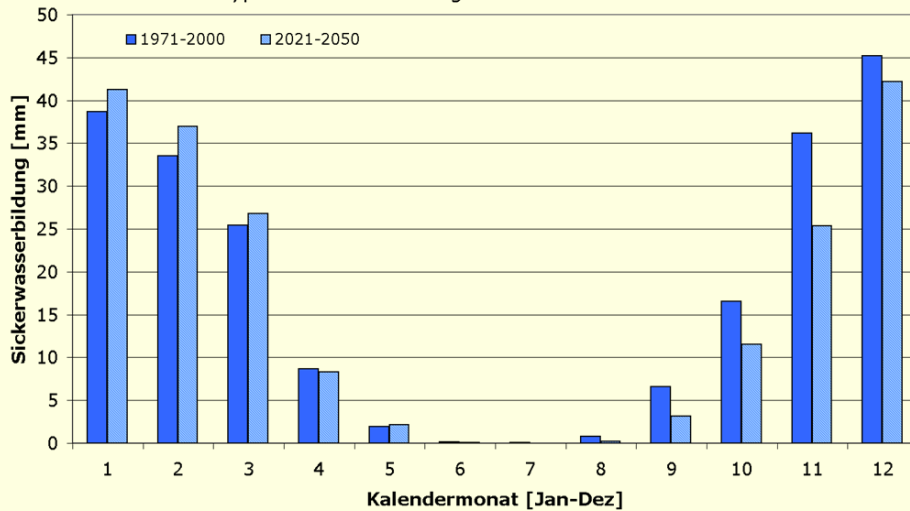
Mittlere Nitratkonzentration [mg/l]
an den Fassungen der
Landeswasserversorgung
2000-2010

Burgberg
(25.1)

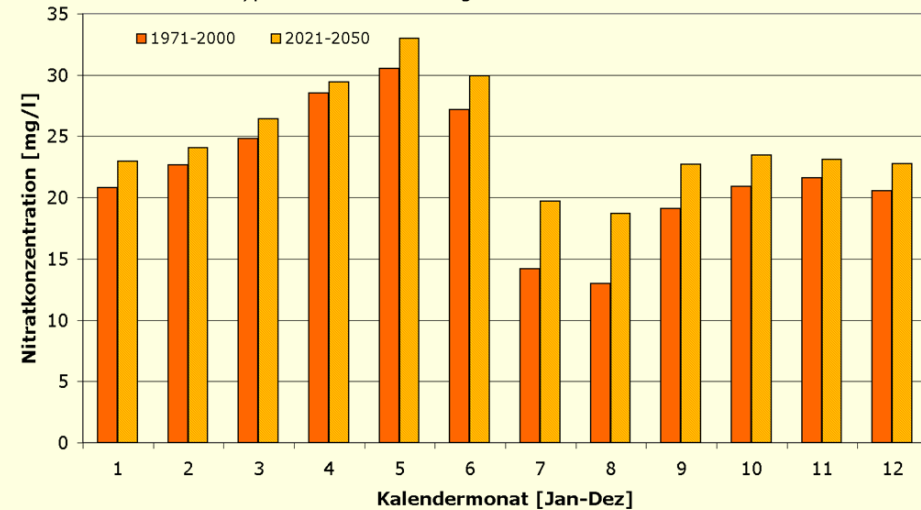


Nitrateintrag – nahe Zukunft

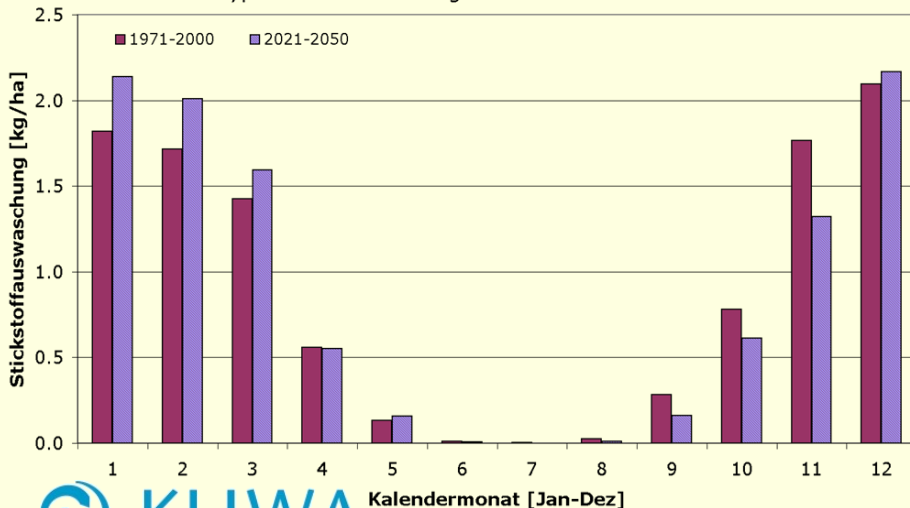
Mittlerer Jahrgang der Sickerwasserbildung
Typstandort "Sommergerste auf Tschernosem"



Mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser
Typstandort "Sommergerste auf Tschernosem"

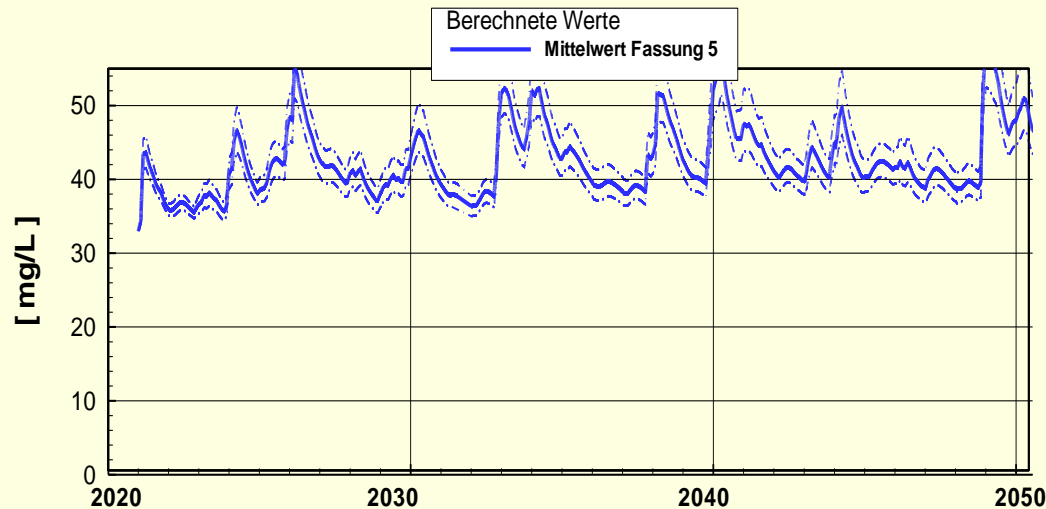
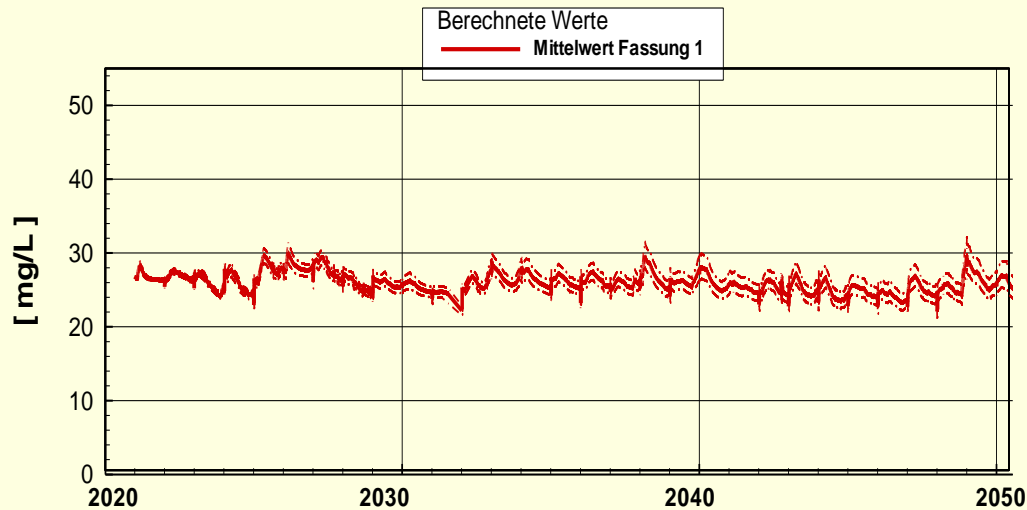


Mittlerer Jahrgang der Stickstoffauswaschung
Typstandort "Sommergerste auf Tschernosem"



Geringfügig höhere
Nitratkonzentration im
Sickerwasser für einzelne
Kulturarten

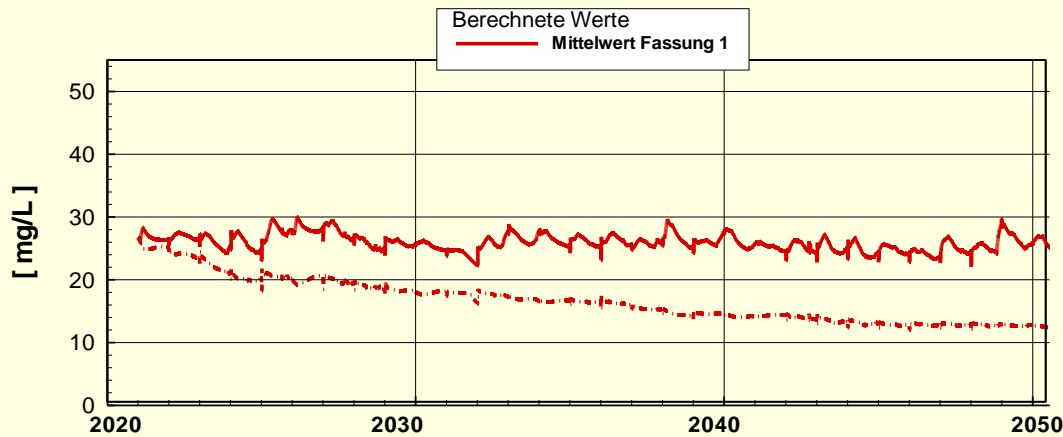
Nitratkonzentration – nahe Zukunft



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

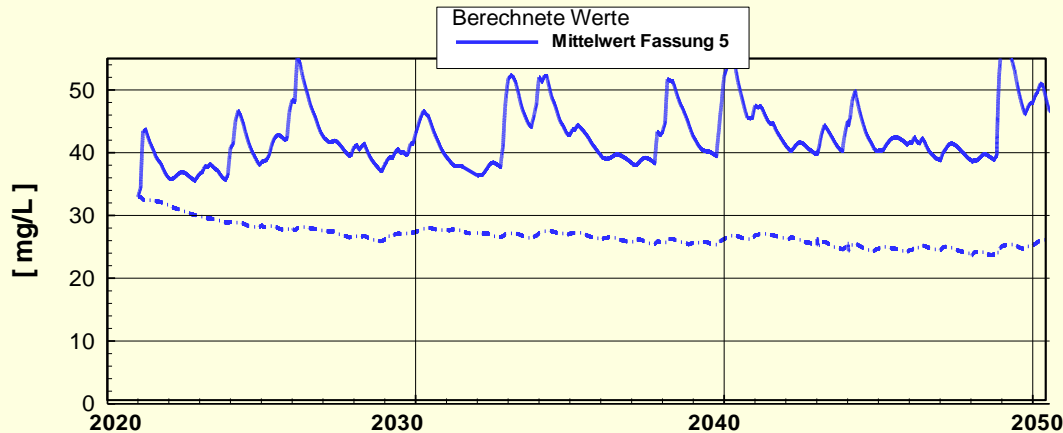
- Max. 4 mg/l
- Im Bereich Fassung 1 Rückgang um 2-3 mg/l

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 white buildings is visible. The overall scene is peaceful and scenic.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit