

# **Zukünftige Entwicklung des Bedarfs und der Verfügbarkeit von Grundwasser für die Bewässerung im Thurtal**



Christian Gmünder, Simultec AG, Hardturmstr. 261, 8005 Zürich, [www.simultec.ch](http://www.simultec.ch)

# Aufgabenstellung und Projektgebiet

- Anhand von Klimamodellen soll die Entwicklung der Grundwasserverhältnisse bei heutigem und zukünftigem Wasserbedarf prognostiziert werden
- Daraus soll das Potential für die Brauchwassernutzung, insbesondere für Bewässerung aus dem Grundwasserleiter des Thurtals abgeleitet werden

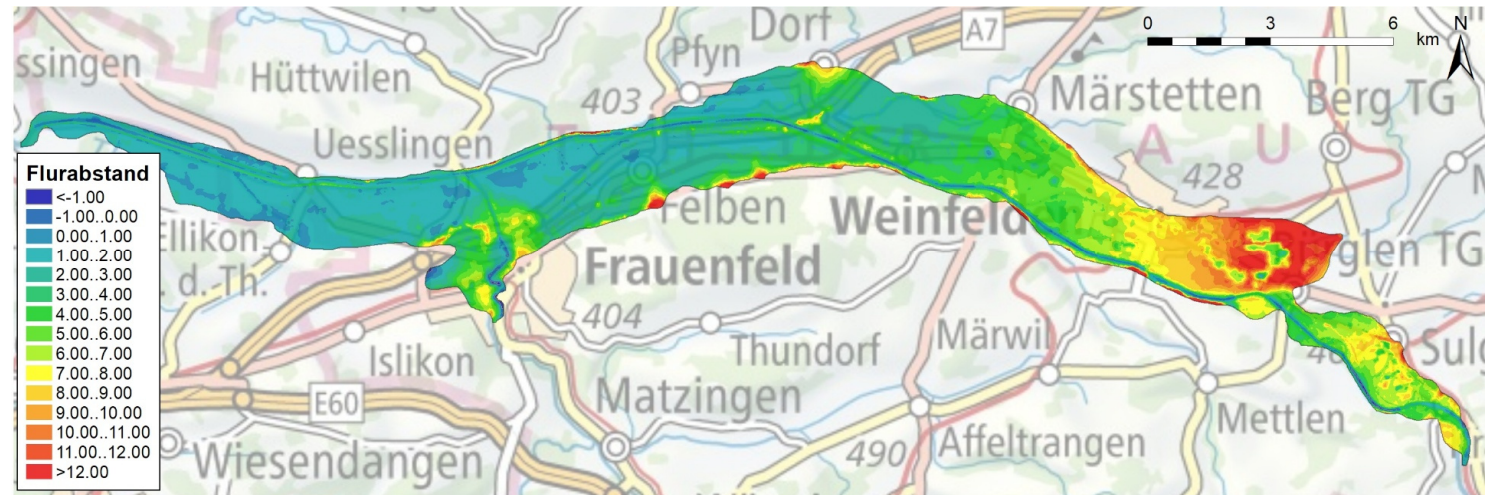




# Grundwassersituation

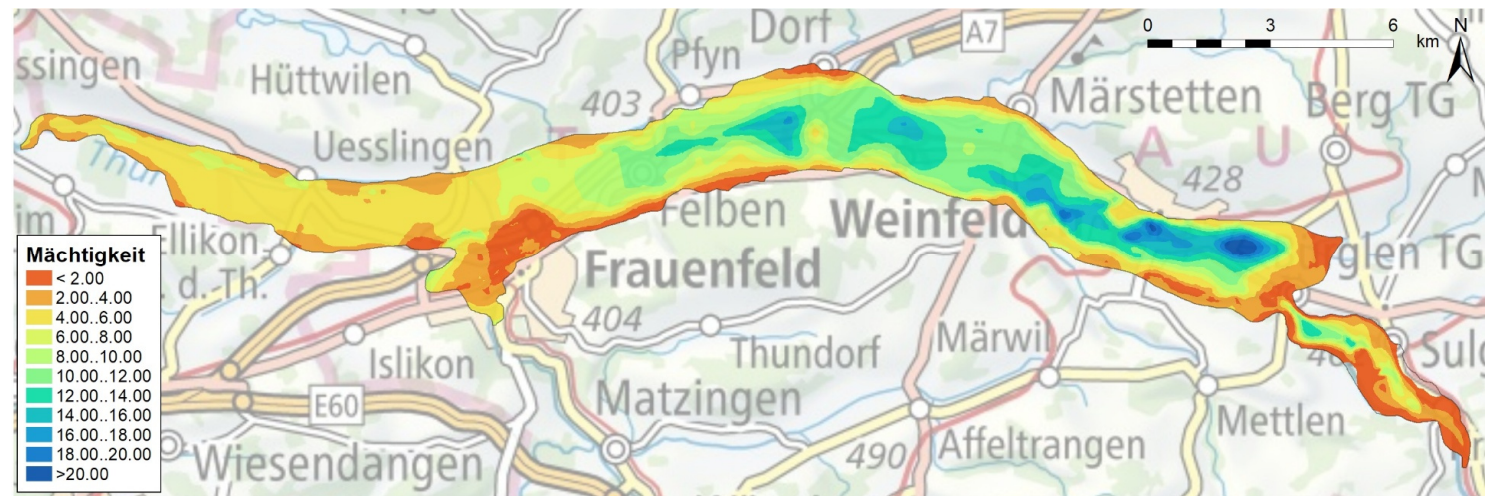
## Flurabstand

- Westen: klein
- Osten: gross



## GW-Mächtigkeit

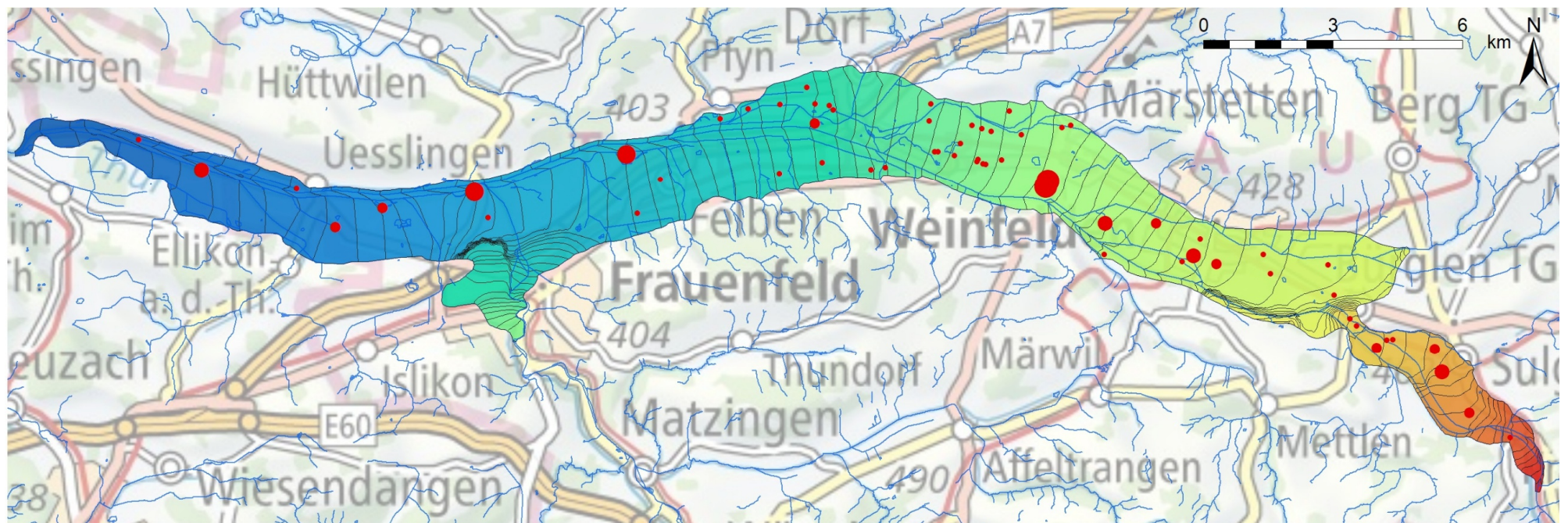
- Westen: klein
- Osten: gross





# Grundwassergewinnung im Thurtal

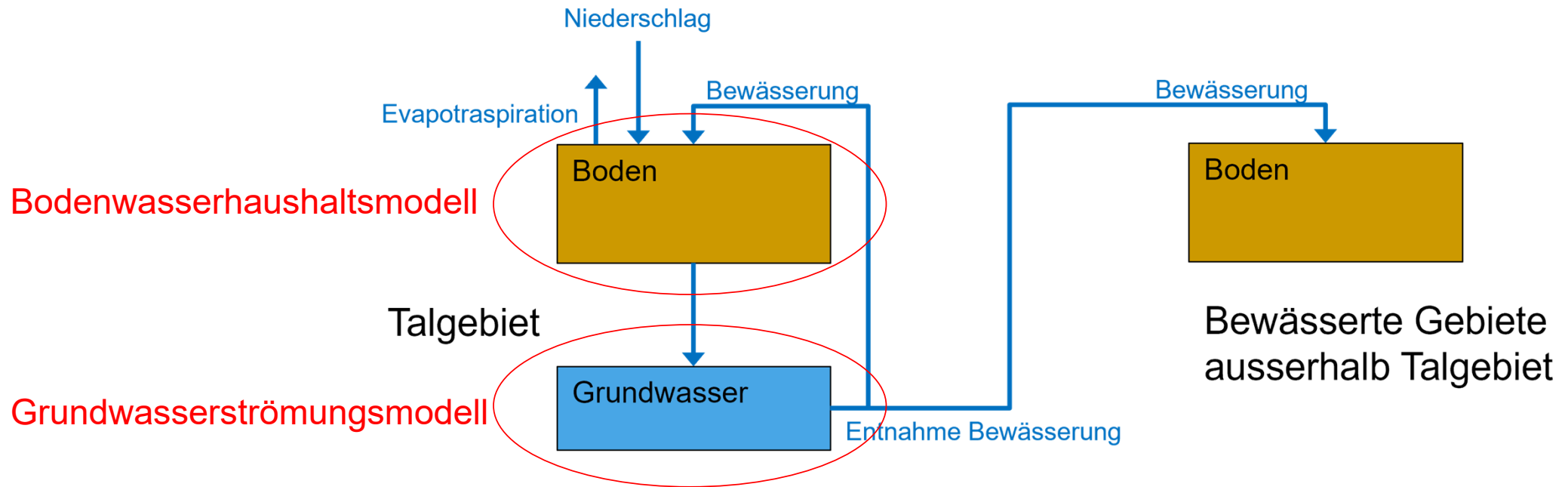
Zweck	Konzession [m³/Jahr]	Bezug (2011-2021) [m³/Jahr]
Trinkwasser	17.3 Mio.	9.7 Mio.
Brauchwasser Industrie und Gewerbe	3.0 Mio.	1.5 Mio.
Brauchwasser Landwirtschaft	1.3 Mio.	0.8 Mio.





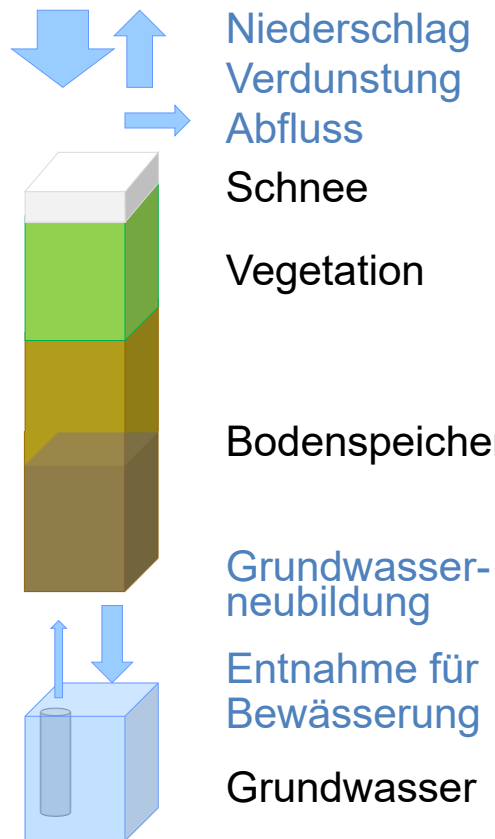
# Modellsystem

- Grundwassermodell: Berechnet die Grundwasserströmung im Thurtal
- Bodenwasserhaushaltsmodell: Berechnet den Bewässerungsbedarf und die Grundwasserneubildung als Randbedingung für das Grundwassermodell
- Einseitige Kopplung (Bodenwasserhaushalt unabhängig von Grundwasserstand)



# Bodenwasserhaushaltsmodell

## Klimatische Wasserbilanz



Bilanz:

$$P = ET + Q + GWN - B$$

P: Niederschlag

- Messung

ET: Evapotranspiration

- Berechnung aus Klimadaten nach FAO 56 (Allen et al.)

Q: Oberflächenabfluss

- Berechnung nach der curve number method (Mockus)

B: Bewässerung

- Berechnung aus Füllgrad des Bodenspeichers



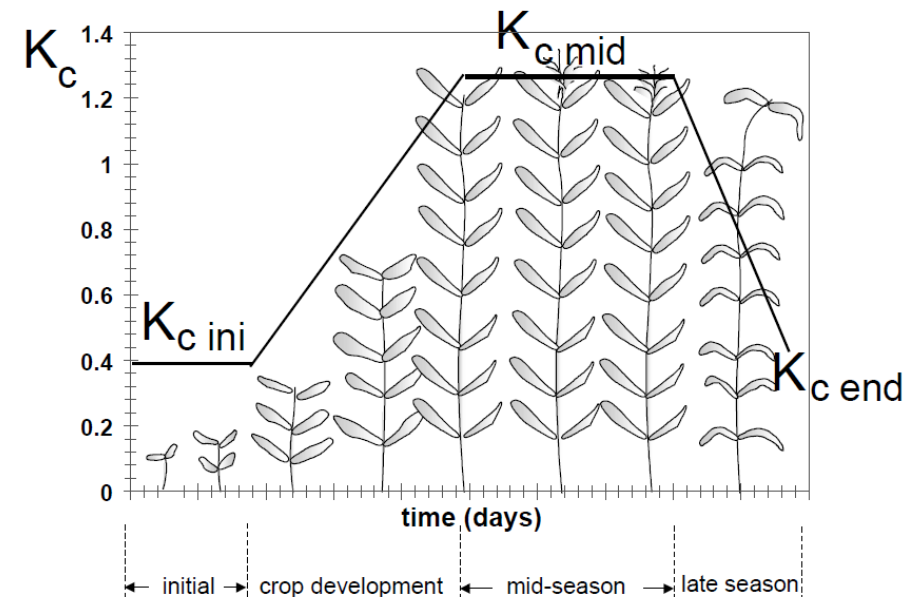
# Ermittlung des Bewässerungsbedarfs: Evapotranspiration

## 1. Grasreferenzverdunstung nach Penman-Monteith (Allen 2006):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

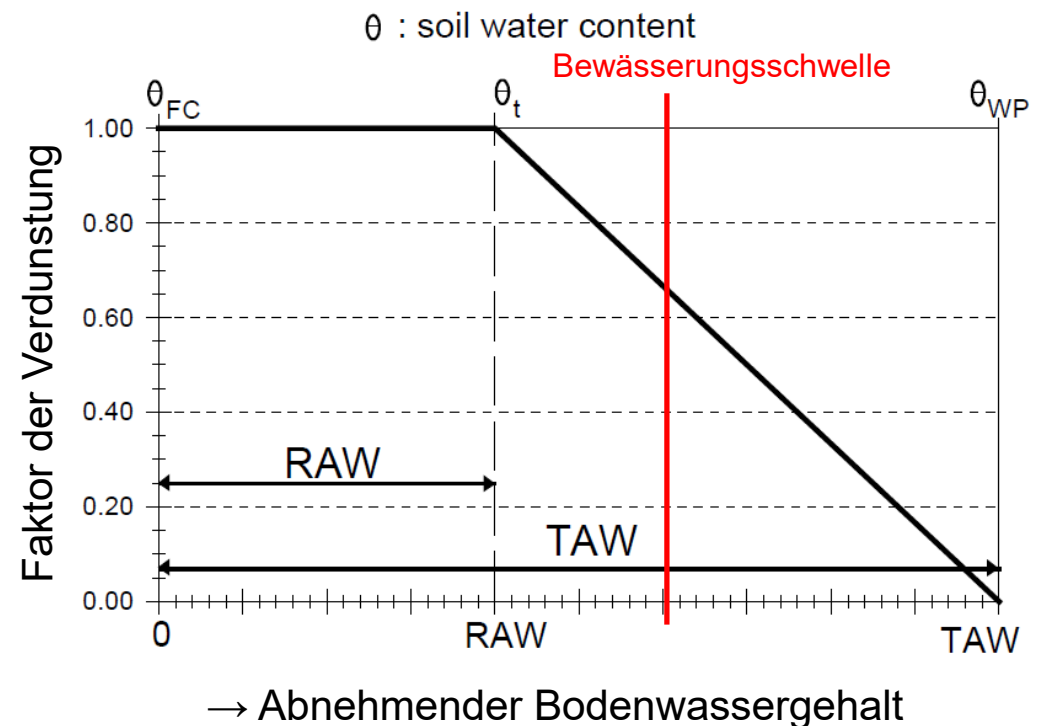
- $ET_0$ : Referenz-Grasverdunstung [mm Tag<sup>-1</sup>]  
 $R_n$ : **Nettostrahlung** an der Pflanzenoberfläche [MJ m<sup>-2</sup> Tag<sup>-1</sup>]  
 $G$ : Bodenwärmeflussdichte [MJ m<sup>-2</sup> Tag<sup>-1</sup>]  
 $T$ : **Lufttemperatur** auf 2 m Höhe [°C]  
 $u_2$ : **Windgeschwindigkeit** auf 2 m Höhe [m s<sup>-1</sup>]  
 $e_s - e_a$ : Sättigungsdampfdruckdefizit [kPa]  
 $\Delta$ : Steigung der Dampfdruckkurve [kPa °C<sup>-1</sup>]  
 $\Gamma$ : Psychrometerkonstante [kPa °C<sup>-1</sup>]

- ## 2. Berücksichtigung der Kultur und der Wachstumsphasen
- ## 3. Berücksichtigung des Kulturmix



# Ermittlung des Bewässerungsbedarfs: Trockenstress

- Bei abnehmendem Bodenwassergehalt gerät die Pflanze in Trockenstress und wächst nicht mehr so gut. Die Pflanzenverdunstung wird reduziert und sinkt, bis die Pflanze verdorrt
- Mit der Bewässerung wird der Bodenspeicher wieder aufgefüllt und die Pflanze wächst besser, Bewässerte Kulturen verdunsten also mehr Wasser
- Überschüssiges Wasser führt zu Grundwasserneubildung
- Wird Grundwasser für die Bewässerung verwendet, so ist der einzige Effekt auf den Wasserhaushalt die höhere Verdunstung!

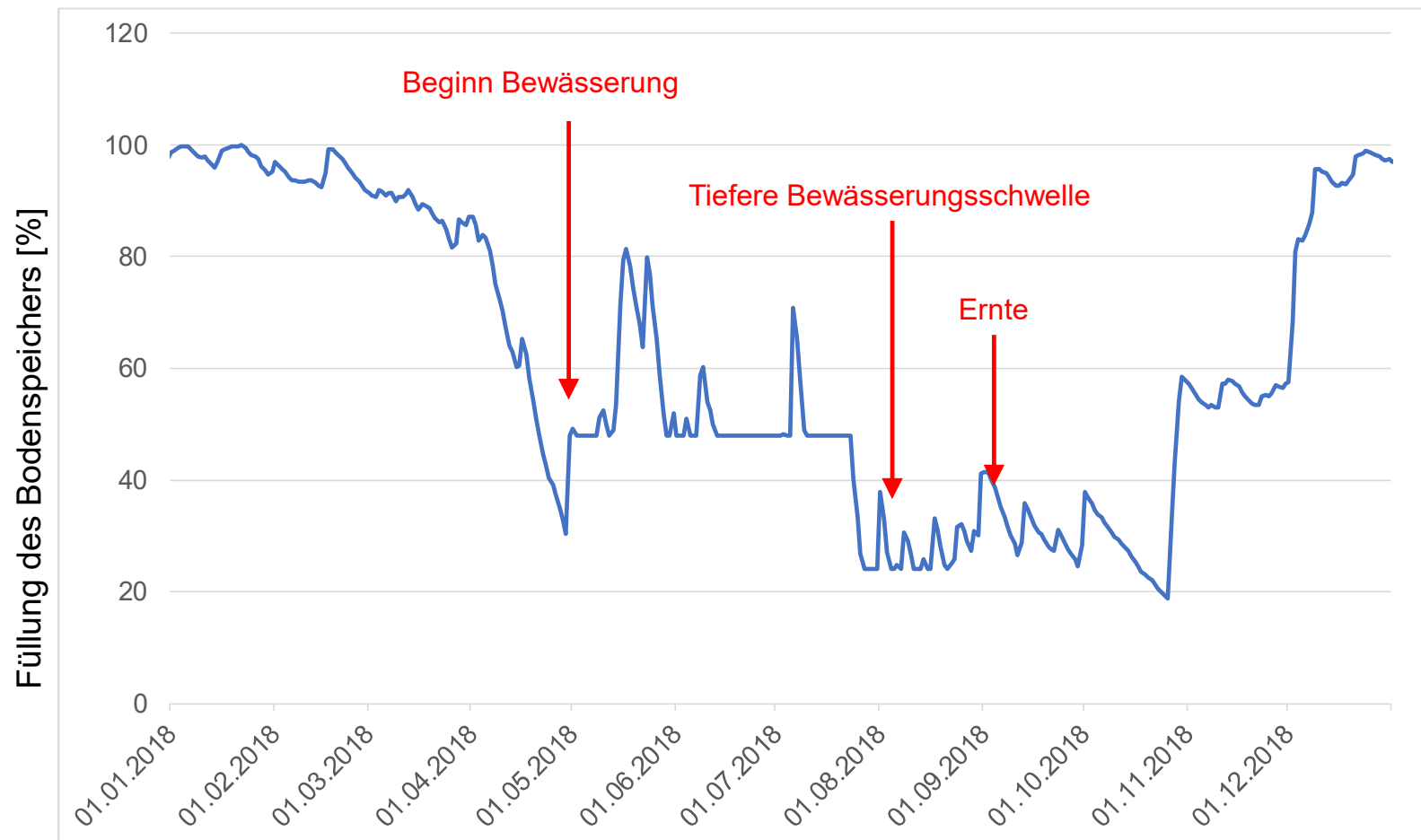




# Ermittlung des Bewässerungsbedarfs: Wann und wieviel?

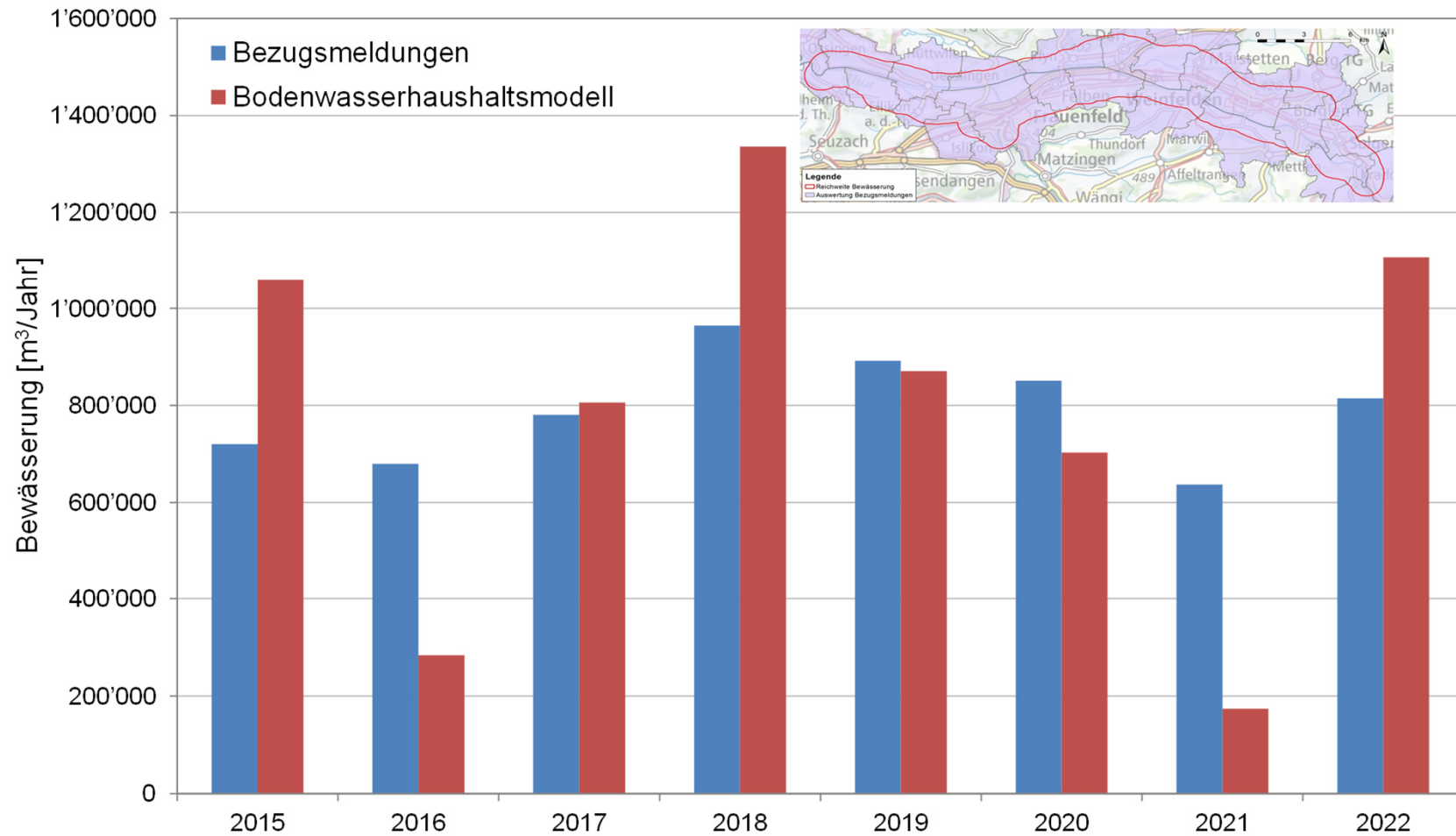
- **Ansatz 1:** Wenn der Bodenwasserspeicher unter einen vorgegebenen Schwellwert absinkt, wird dem Boden so viel Wasser zugegeben, dass gerade der Schwellwert erreicht wird.
  - Dieser Ansatz wurde in den Bewässerungsstudien der Agroscope verwendet
  - Eher theoretischer Ansatz, ergibt den minimal nötigen Bewässerungsbedarf
- **Ansatz 2:** Alle 7 Tage wird ein Bewässerungsentscheid gefällt. Wenn die Pflanzen im Trockenstress sind, wird der Bodenspeicher zu 90% gefüllt
  - Dieser Ansatz entspricht der Geisenheimer Bewässerungssteuerung
  - Realistisch für Landwirte, welche die Bodenfeuchtigkeit messen
  - Wurde für die Szenarienrechnung verwendet
- **Ansatz 3:** Alle 7 Tage wird der Bodenspeicher zu 90% gefüllt. Keine Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen
  - Dieser Ansatz kommt ohne Messung der aktuellen Bodenfeuchte aus
  - Für den Einsatz in Kombination mit Klimamodellen nicht geeignet, da wenig abhängig vom Klima

# Zeitlicher Verlauf des Bodenwasserspeichers (Ansatz 1)

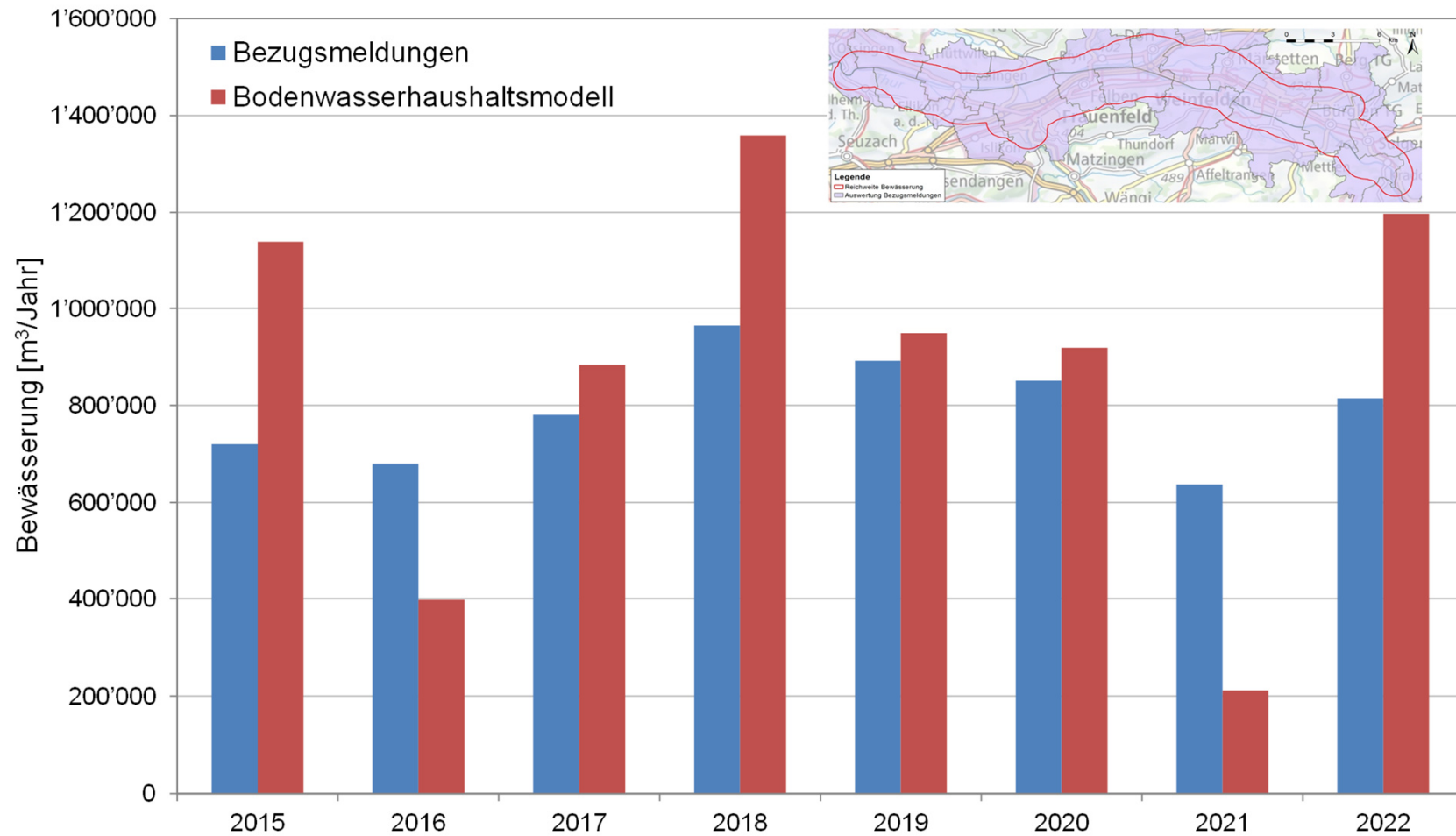




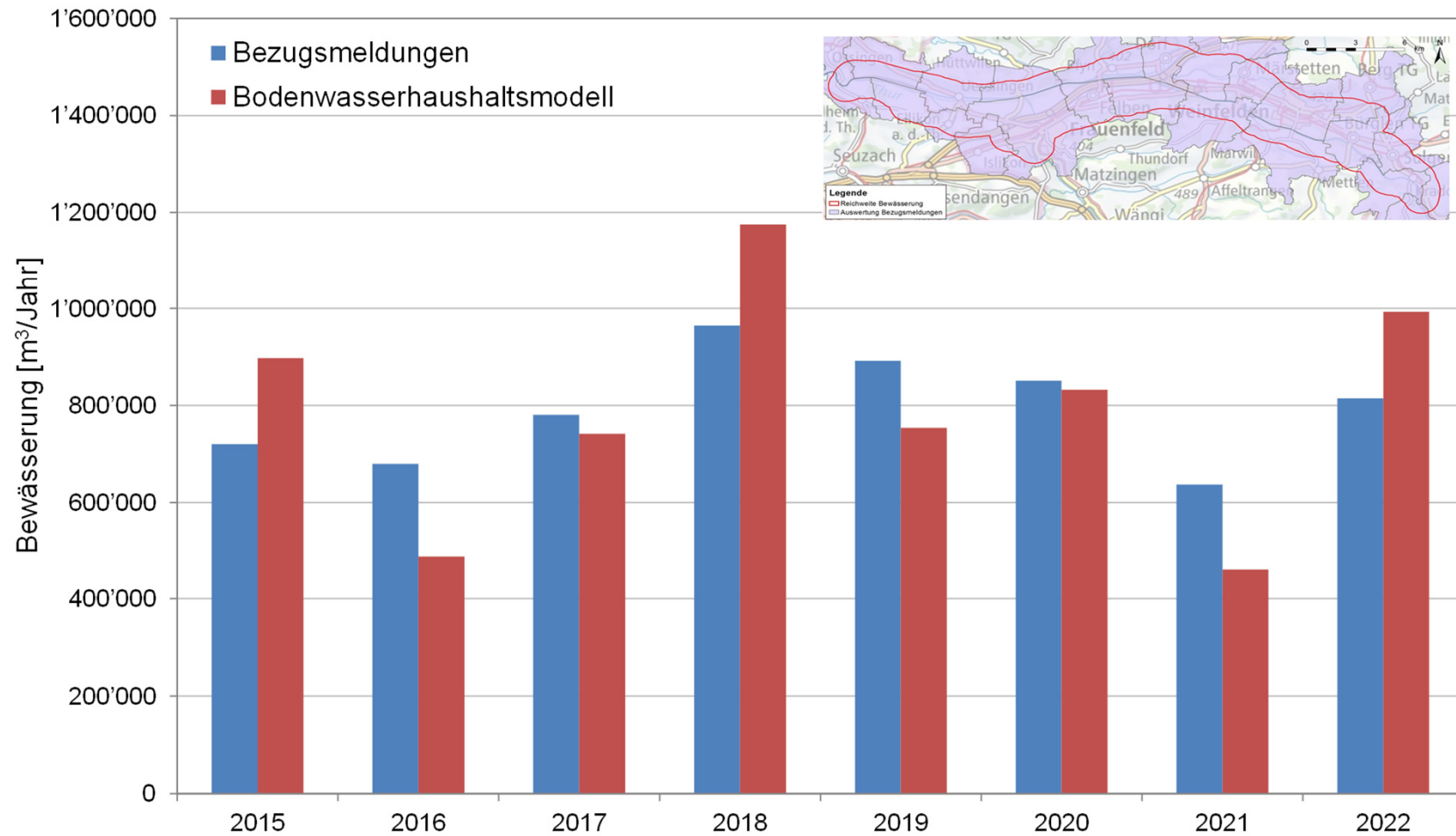
# Ansatz 1: Schwellwert Bodenfeuchte als Kriterium (Agroscope)



## Ansatz 2: Geisenheimer Bewässerungssteuerung



## Ansatz 3: ohne Einbezug der Bodenfeuchte



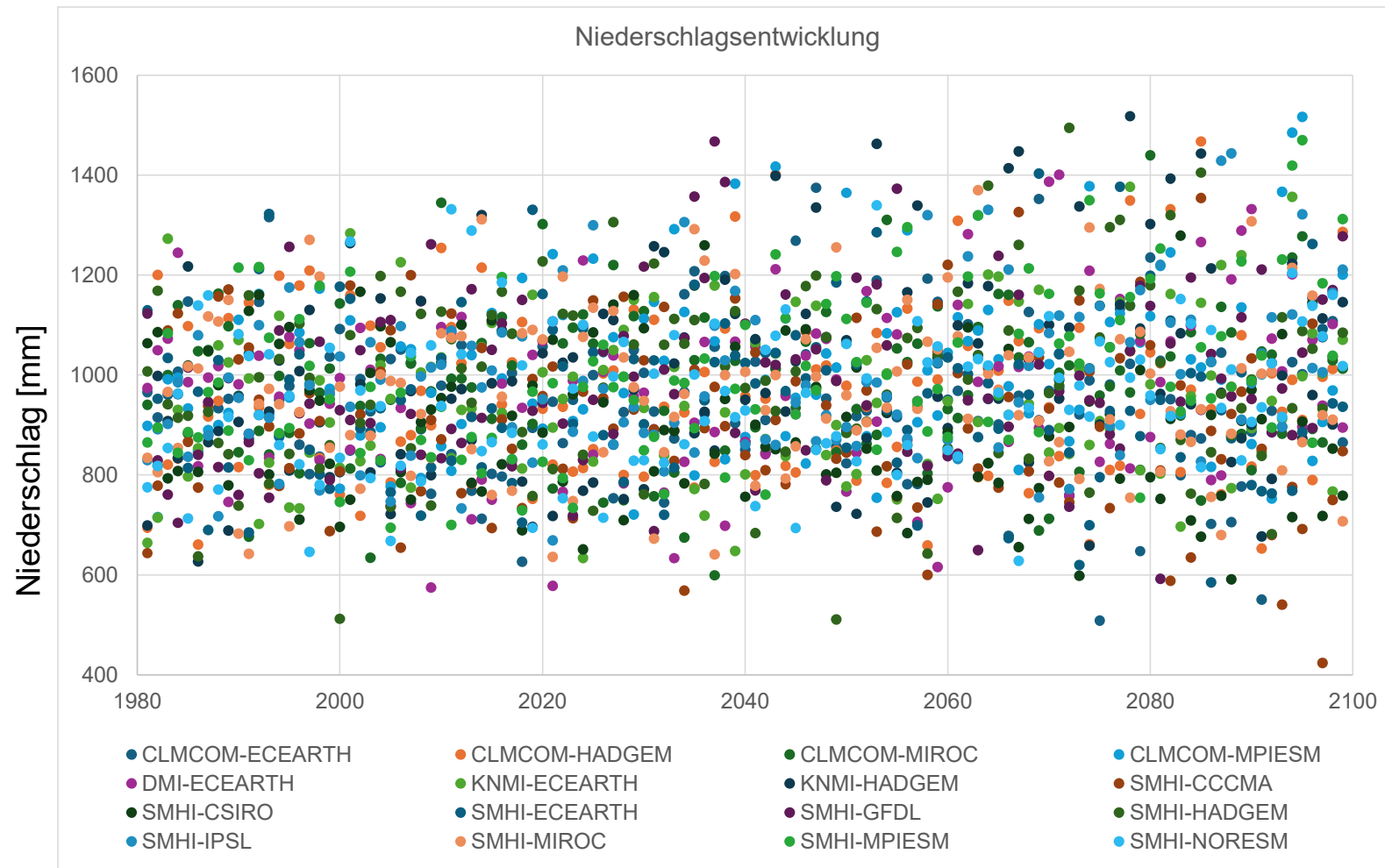
# Klimamodelle des NCCS

- Bei den Klimamodellen des NCCS handelt es sich um statistische Wettermodelle, welche für jeden Tag zwischen 1981 und 2099 die Klimaparameter prognostizieren.
- Messtation Täniken: Klimadaten, Andelfingen und Bischofszell: Niederschläge
- In Hydro-CH2018 sind für 23 Modellketten auch die Thurabflüsse prognostiziert
- Projektannahmen:
  - Szenario RCP 8.5 (kein Klimaschutz)
  - Entspricht (realistischem) worst-case
  - 16 Modellketten verfügbar

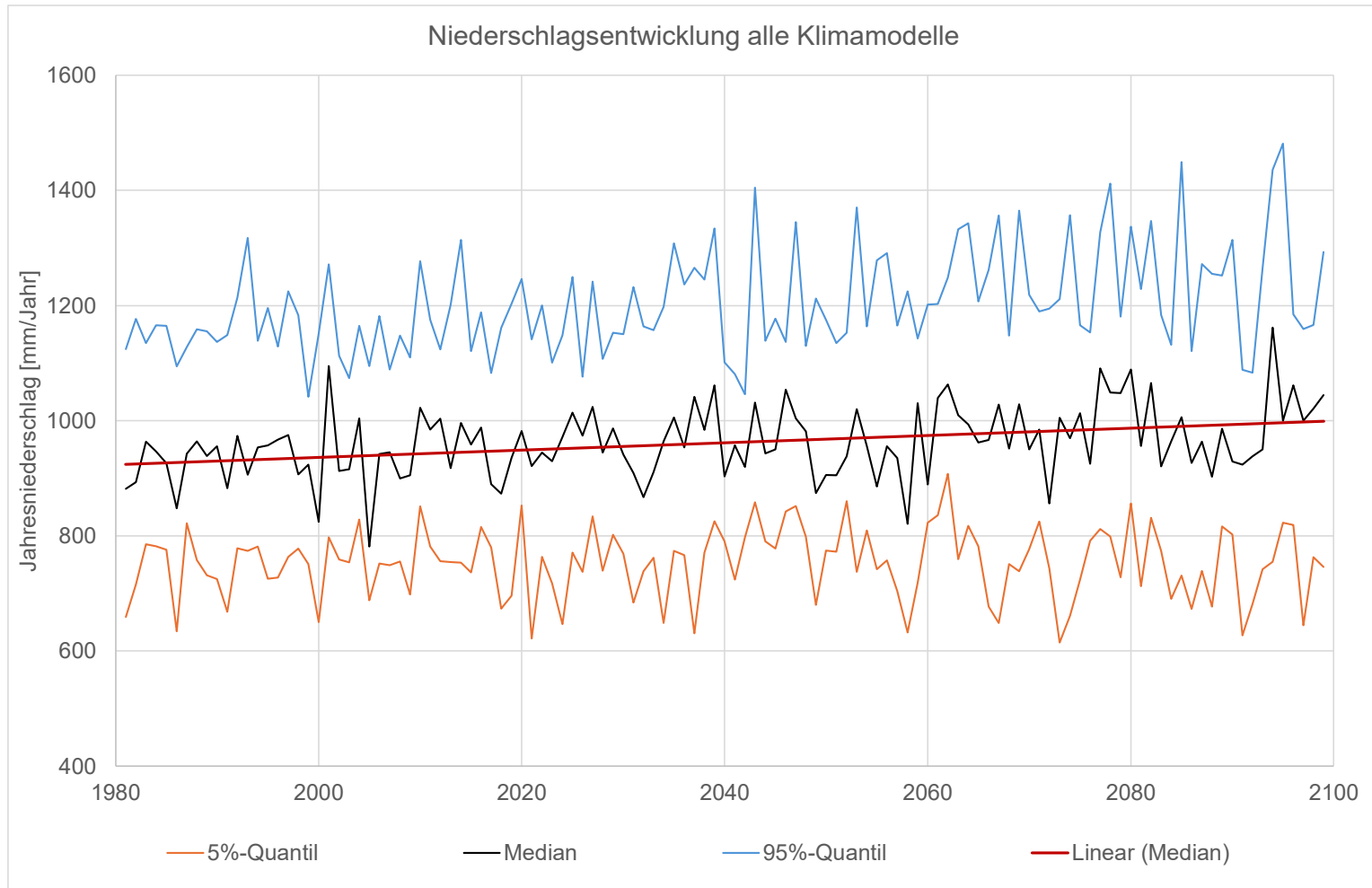
Kurzbezeichnung	Globales Modell	Regionales Modell	Szenario	Auflösung
CLMCOM-ECEARTH	ICHEC-EC_EARTH	CLMcom-CCLM5-0-6	RCP8.5	0.44 °
CLMCOM-HADGEM	MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM5-0-7	RCP8.5	0.44 °
CLMCOM-MIROC	MIROC-MIROC5	CLMcom-CCLM5-0-8	RCP8.5	0.44 °
CLMCOM-MPIESM	MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM5-0-9	RCP8.5	0.44 °
DMI-ECEARTH	ICHEC-EC_EARTH	DMI-HIRHAM5	RCP8.5	0.11 °
KNMI-ECEARTH	ICHEC-EC_EARTH	KNMI-RACMO22E	RCP8.5	0.44 °
KNMI-HADGEM	MOHC-HadGEM2-ES	KNMI-RACMO22E	RCP8.5	0.44 °
SMHI-CCCMA	CCCma-CanESM2	SMHI-RCA4	RCP8.5	0.44 °
SMHI-CSIRO	CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	SMHI-RCA5	RCP8.5	0.44 °
SMHI-ECEARTH	ICHEC-EC_EARTH	SMHI-RCA6	RCP8.5	0.11 °
SMHI-GFDL	NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	SMHI-RCA7	RCP8.5	0.44 °
SMHI-HADGEM	MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA8	RCP8.5	0.11 °
SMHI-IPSL	IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA9	RCP8.5	0.11 °
SMHI-MIROC	MIROC-MIROC5	SMHI-RCA10	RCP8.5	0.44 °
SMHI-MPIESM	MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA11	RCP8.5	0.11 °
SMHI-NORESM	NCC-NorESM1-M	SMHI-RCA12	RCP8.5	0.44 °



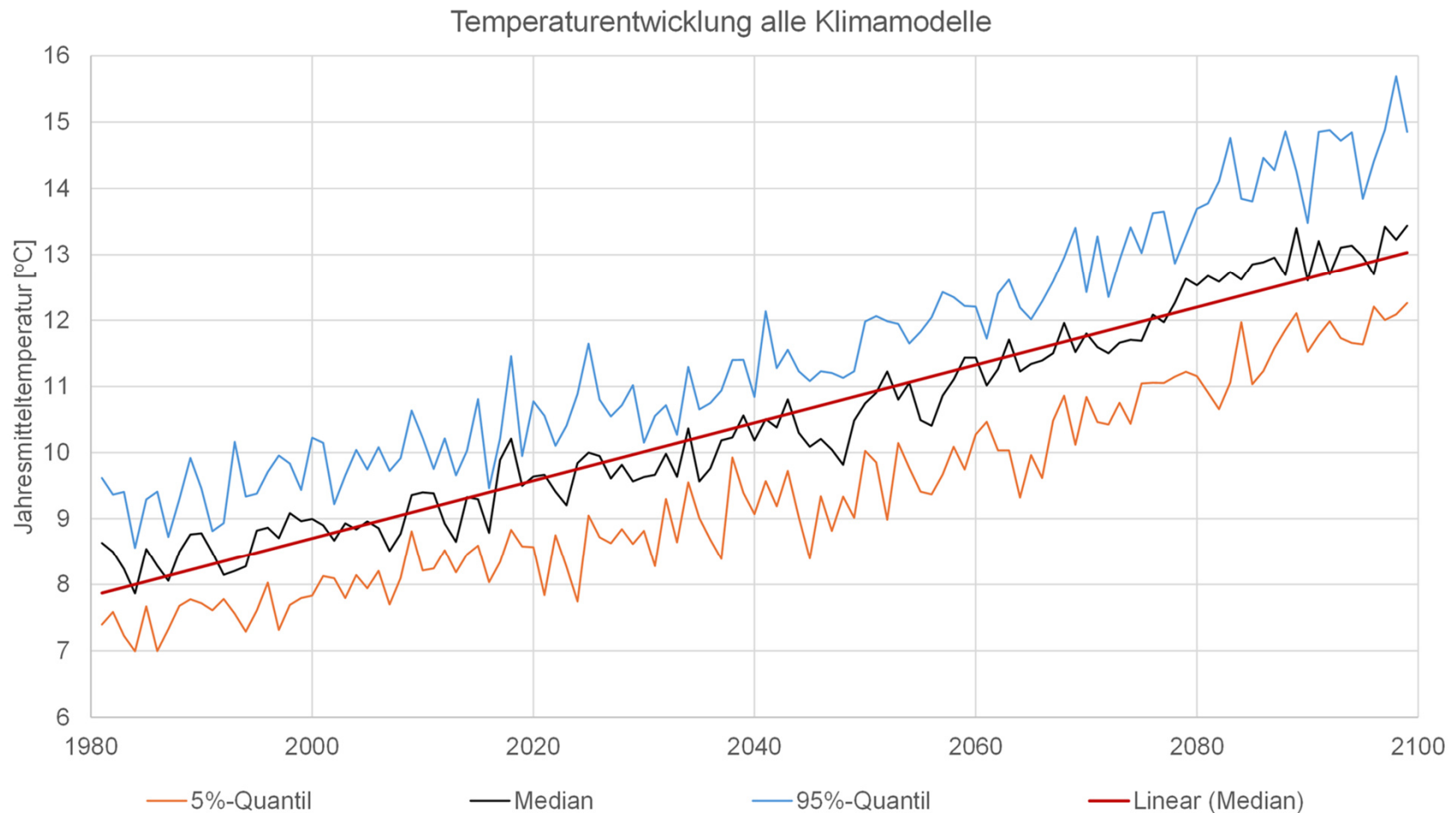
# Prognosen der Niederschlagsentwicklung



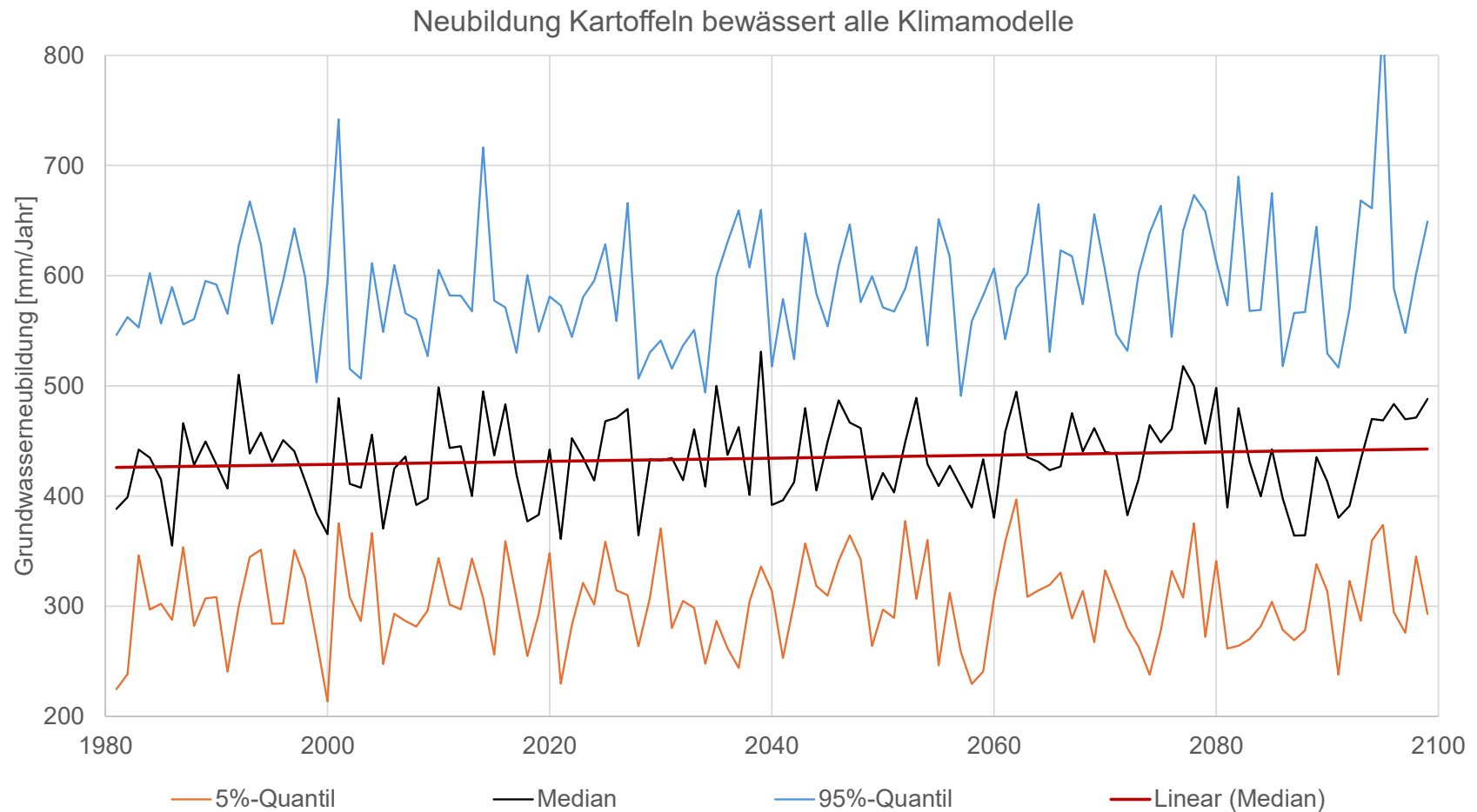
# Statistische Auswertung der Niederschlagsentwicklung



# Statistische Auswertung der Temperaturentwicklung

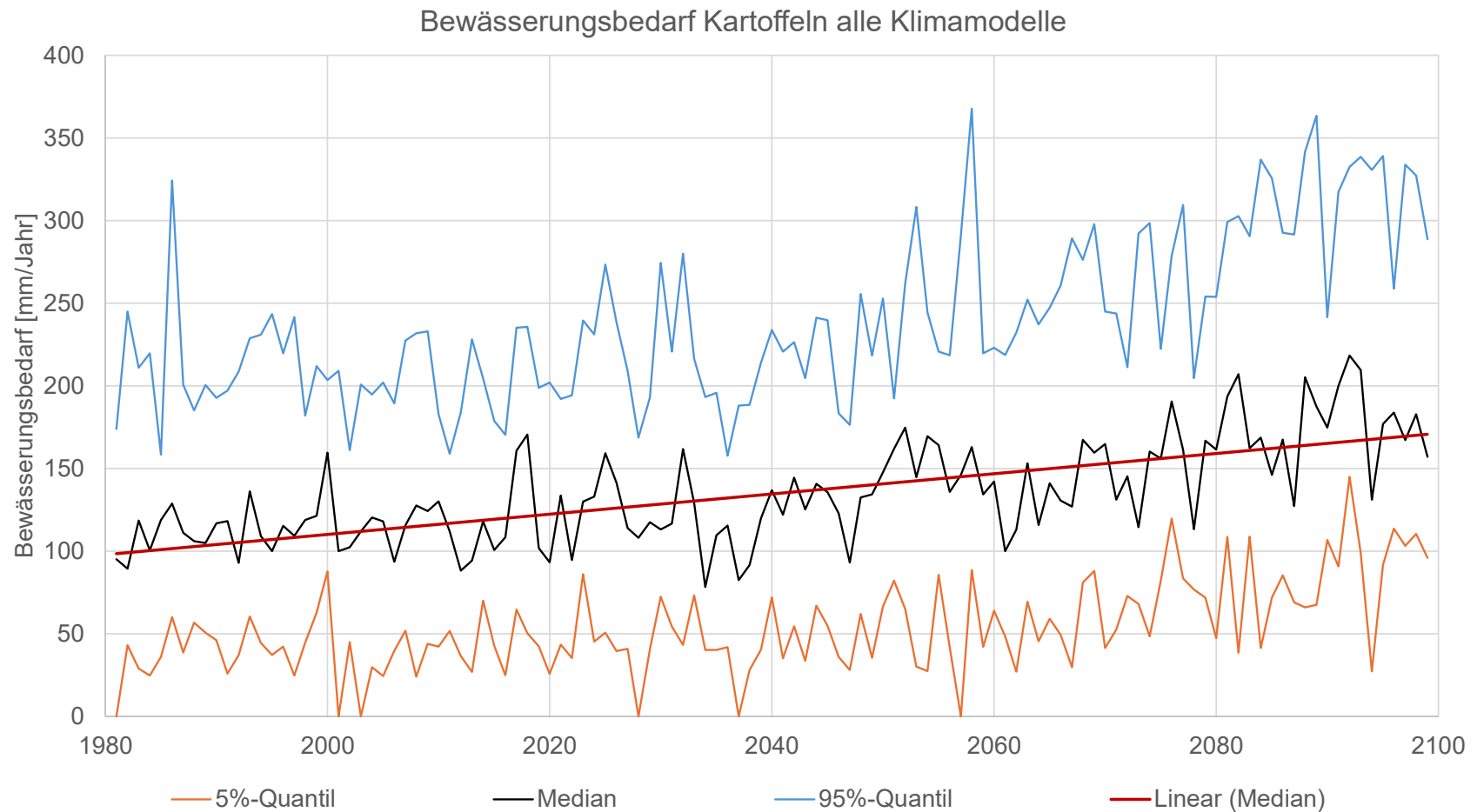


# Entwicklung der Grundwasserneubildung

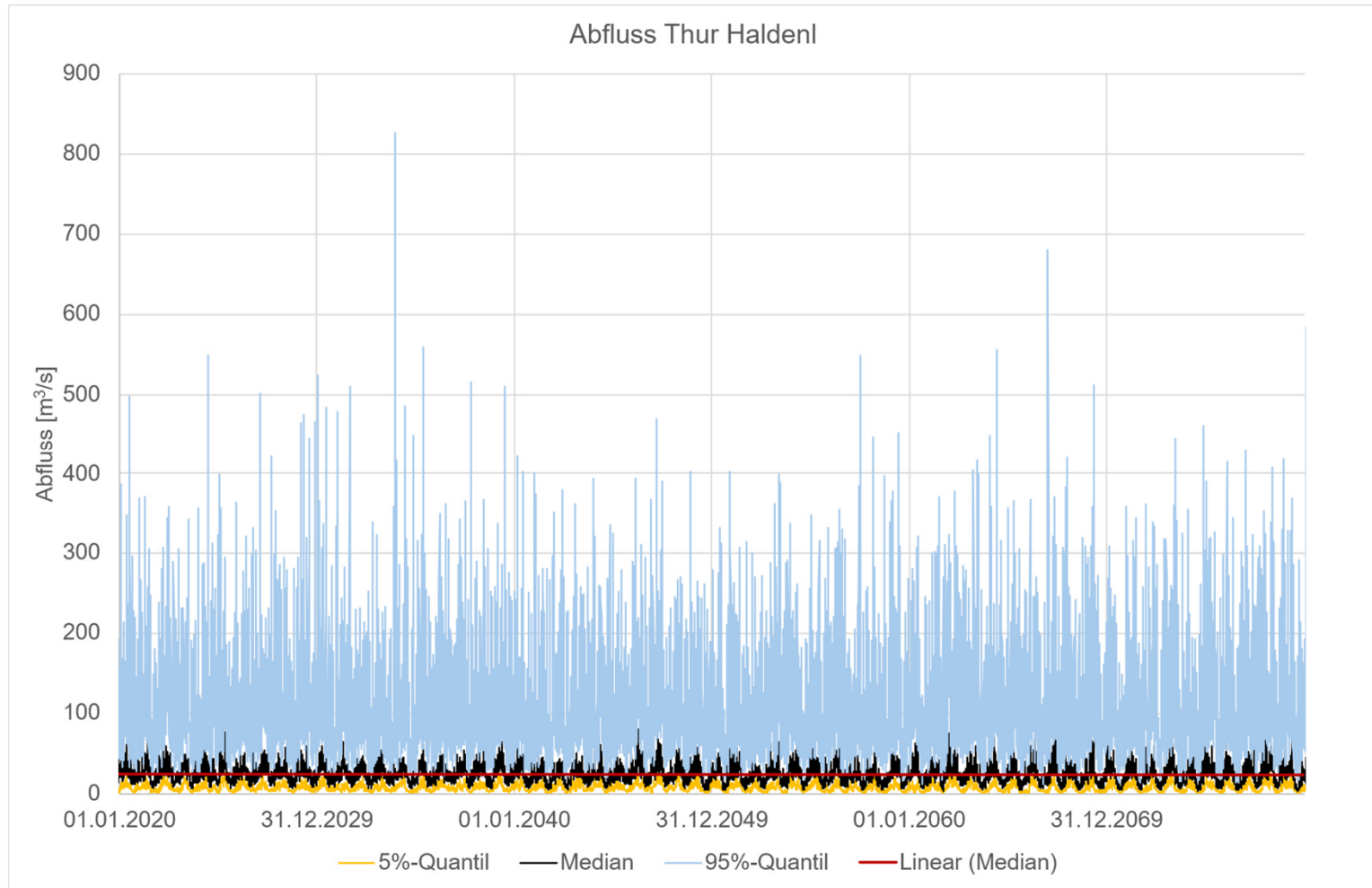




# Entwicklung minimaler Bewässerungsbedarf



# Entwicklung Thurabfluss



# Bewässerungsszenarien

- Neben der Bodenfeuchte spielen auch wirtschaftliche Randbedingungen eine Rolle, ob eine Kultur bewässert wird oder nicht. Dabei spielen der mögliche Ertragsausfall und die Bewässerungskosten eine Rolle
- Mit den in den Klimamodellen prognostizierten längeren Trockenphasen und den höheren Temperaturen wird der mögliche Ertragsausfall grösser und damit eine Bewässerung wahrscheinlicher
- Da der Aufwand für eine Bewässerung gross ist, wird eine Verschiebung zu ertragsreicheren Kulturen erwartet
- Untersuchte Bewässerungsszenarien:
  - IST: heutiger Kulturmix und heutiger Anteil bewässerter Flächen
  - INTENSIV: Kulturmix mit mehr Bewässerungsbedarf, heutiger Anteil bewässerter Flächen
  - ADAPTIERT: Kulturmix mit mehr Bewässerungsbedarf, höherer Anteil bewässerter Flächen
  - DOPPELT: Aus dem Thurtal bewässerte Fläche wird verdoppelt (2 × ADAPTIERT)
  - (ADAPTIERT und DOPPELT wurden auf für eine renaturierte Thur untersucht (Konzept Thur 3))

## Gesamter Bewässerungsbedarf im Projektgebiet [Mio. m<sup>3</sup>/Jahr]

- Sehr grosse Unterschiede zwischen Nass- und Trockenjahr
- Median des Bedarfs auch bei Szenario Adaptiert klein gegenüber Trinkwasserkonzessionen (17 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr)

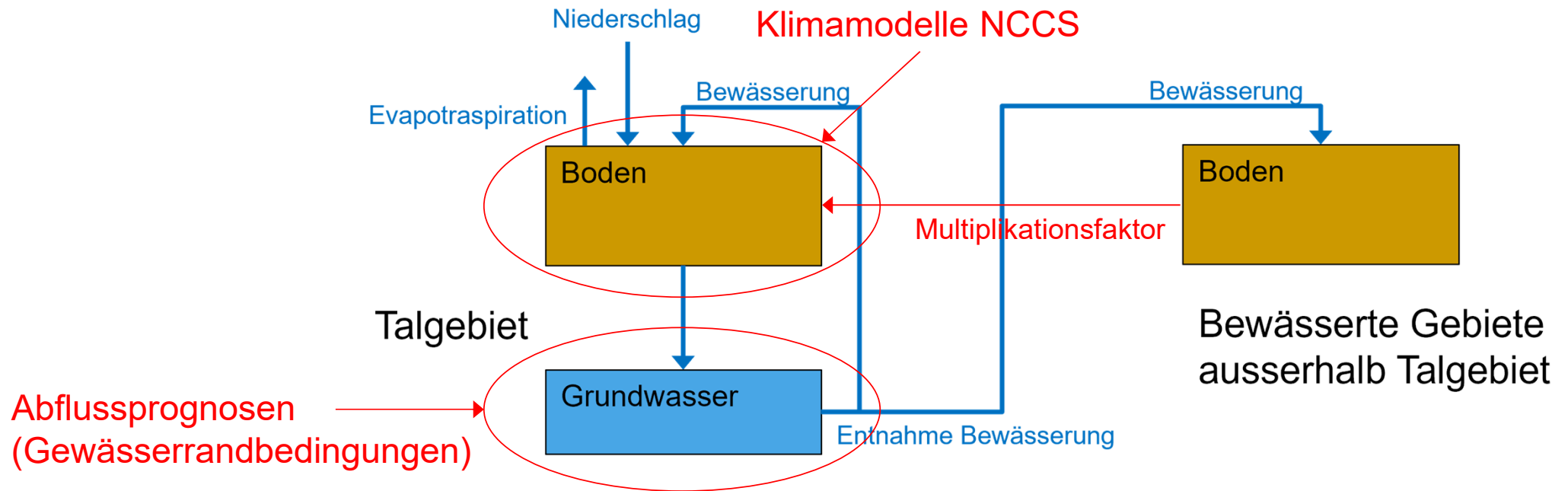
2035	5%-Perzentil	20%-Perzentil	Median	80%-Perzentil	95%-Perzentil
Heute	0.5	0.8	1.1	1.5	1.8
Intensiv	0.9	1.3	1.8	2.4	2.9
Adaptiert	1.1	1.8	2.7	3.8	4.8
Doppelt	2.1	3.5	5.5	7.6	9.7

2060	5%-Perzentil	20%-Perzentil	Median	80%-Perzentil	95%-Perzentil
Heute	0.6	0.9	1.2	1.6	2.0
Intensiv	1.0	1.5	2.0	2.7	3.2
Adaptiert	1.3	2.2	3.2	4.4	5.5
Doppelt	2.7	4.5	6.4	8.8	11.0



# Integration der Klimamodelle ins Grundwassersmodell

- Modellrechnung über 60 Jahre (2020 – 2079), Tagesschritte
- Kombination von Klimamodellen mit Bewässerungsszenarien
- Betrachtung mit und ohne Revitalisierung der Thur
- Sensitivitätsanalyse für ausgewähltes Klimamodell



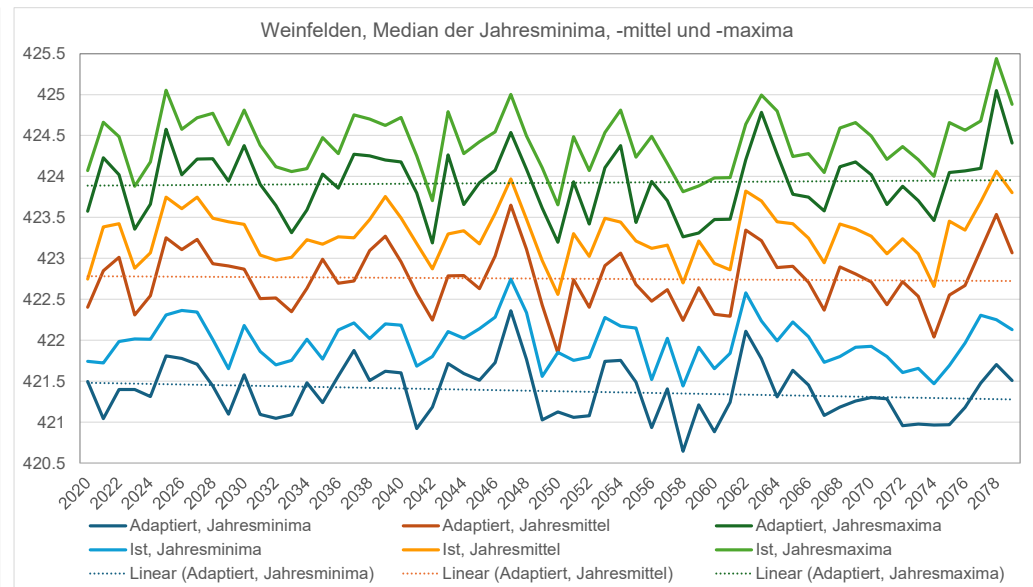
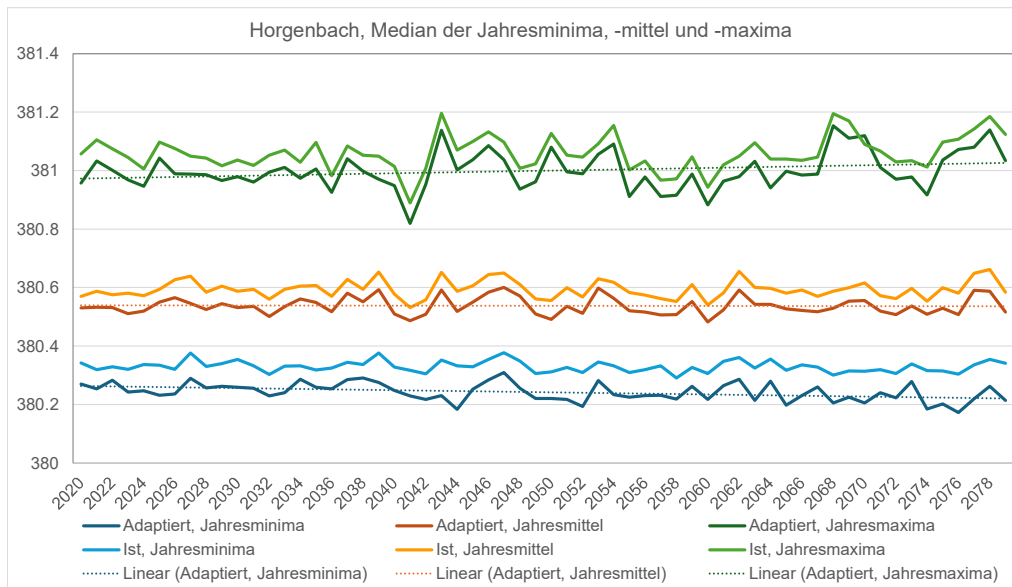
# Bestimmung des Potentials

- Idee:
  - Bewässerung so lange steigern bis die Auswirkungen nicht mehr tolerierbar sind
- Kriterien:
  - Grundwasserstand sollte nicht zu stark abgesenkt werden
  - Trinkwasserförderung sollte im bisherigen Umfang möglich sein
  - Restwassermenge in der Thur und in den Binnenkanälen sollte erhalten bleiben
- Problematik
  - Keine scharfen Grenzwerte formulierbar, da diese Bedingungen auch ohne Bewässerung in Trockenjahren nicht erfüllt sind
  - Die Unterschiede zwischen den Klimamodellen und zwischen den einzelnen Jahren sind sehr gross, ein Vergleich der Resultate mit einem bestimmten Grenzwert kann nur statistisch erfolgen

# Kriterium Grundwasserstände

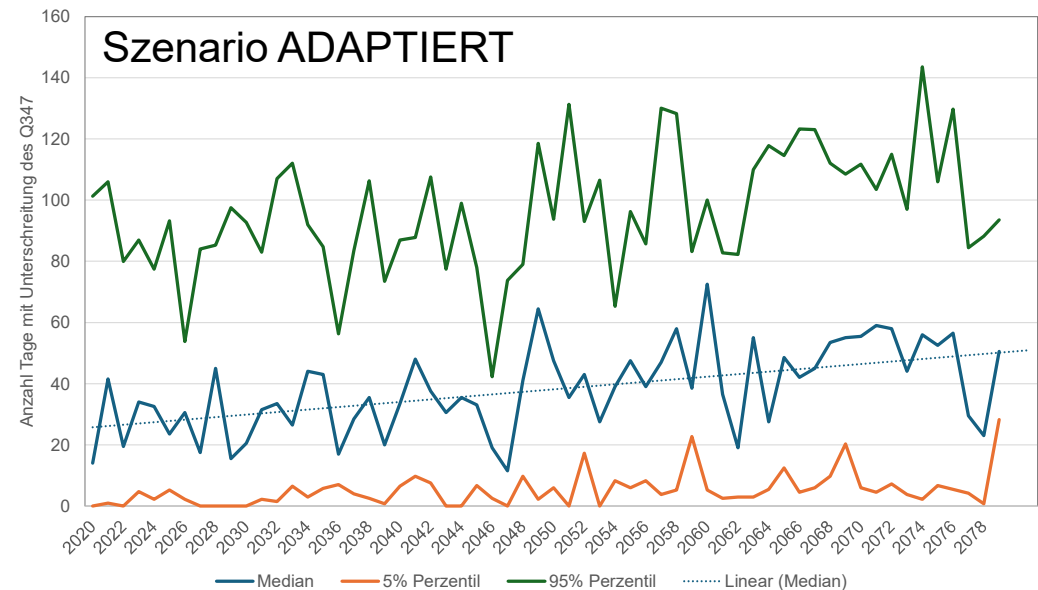
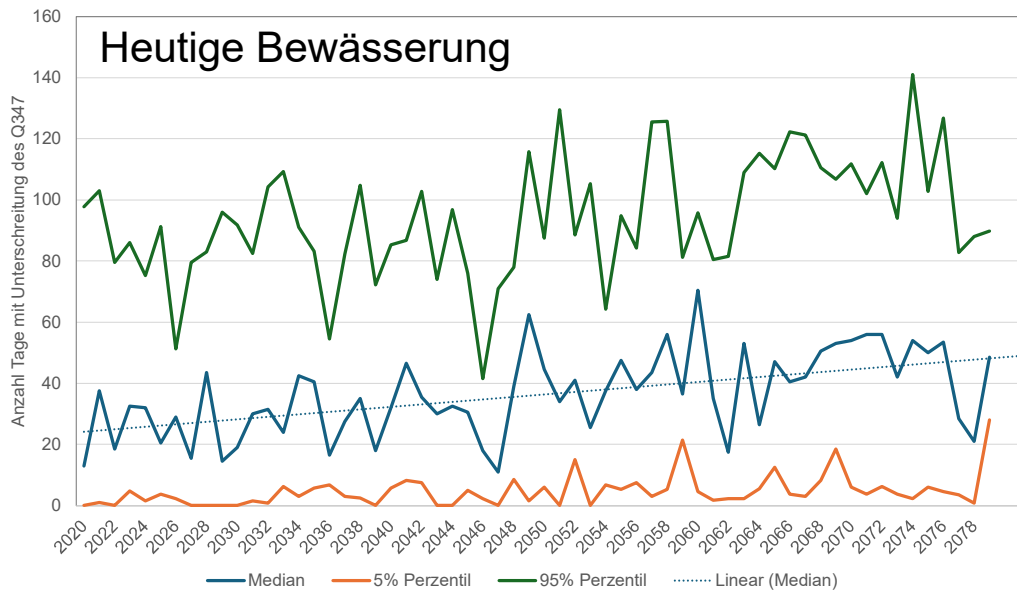


- Westen:
  - Relevanz gross, da kleiner Flusabstand
  - Auswirkungen klein
- Osten:
  - Auswirkungen gross, nicht relevant



# Kriterium Restwasser Thur

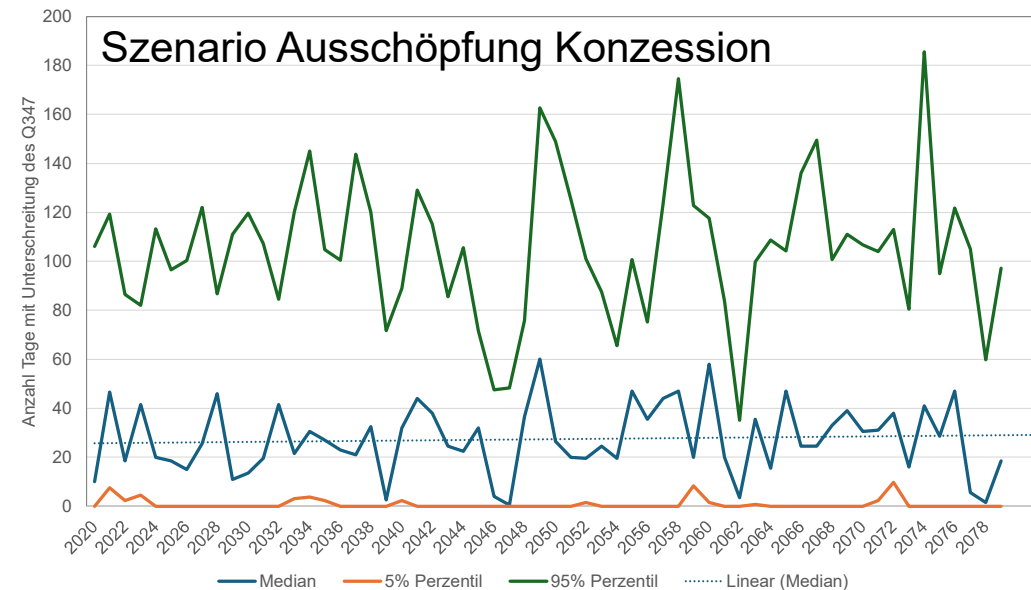
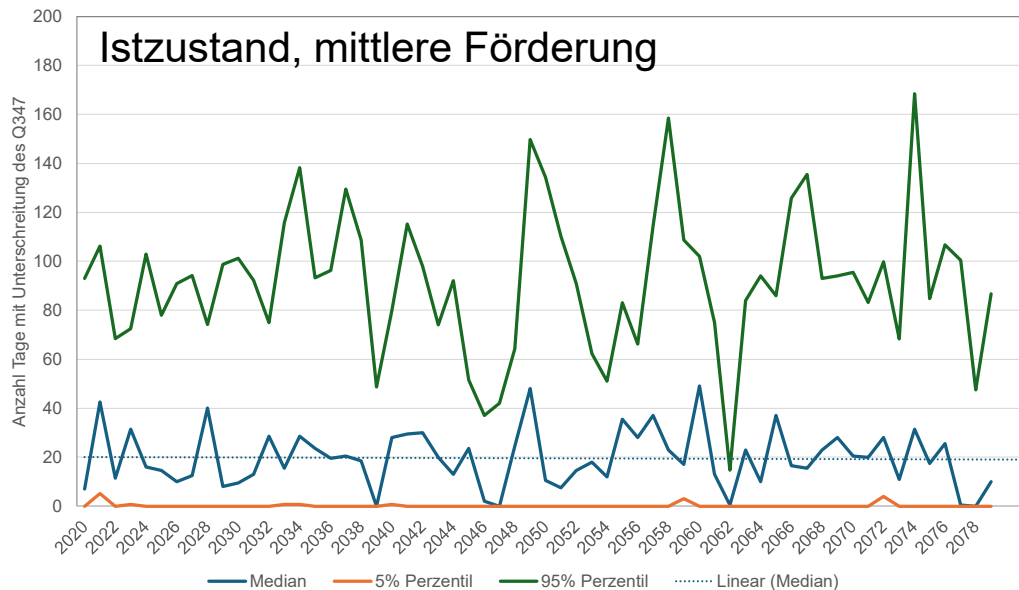
- Der Abfluss der Thur bei Niederneunforn wird im Modell berechnet
- Es werden für alle Klimamodelle die Anzahl Tage gezählt, an denen der heutige Restwasserabfluss unterschritten ist
  - Einfluss einer erhöhten Bewässerung (Szenario adaptiert) nicht erkennbar
  - Einfluss des Klimawandels deutlich: Verdoppelung





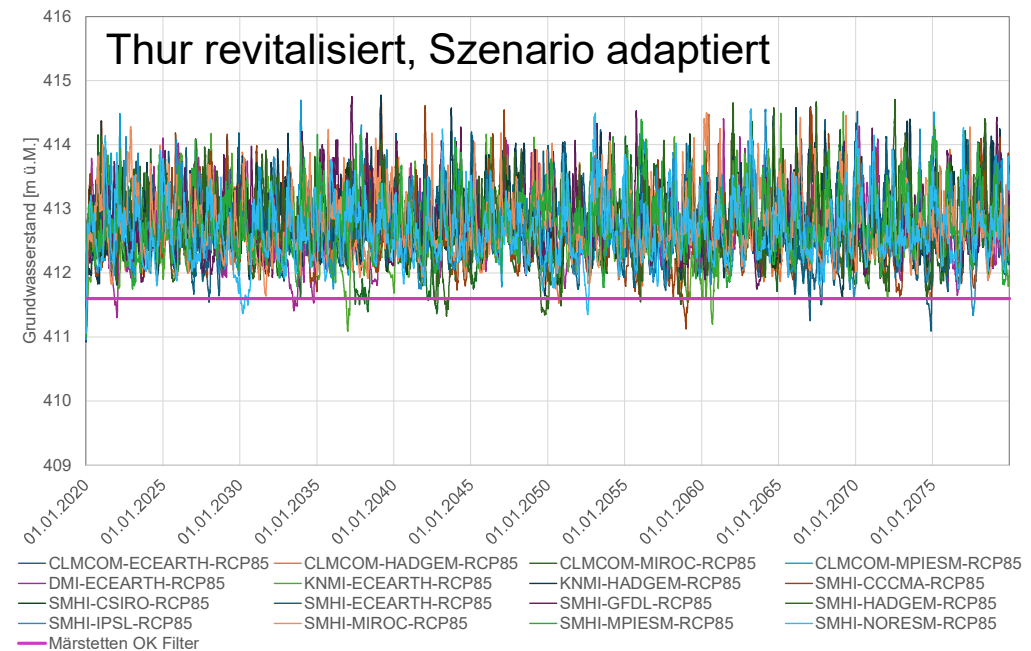
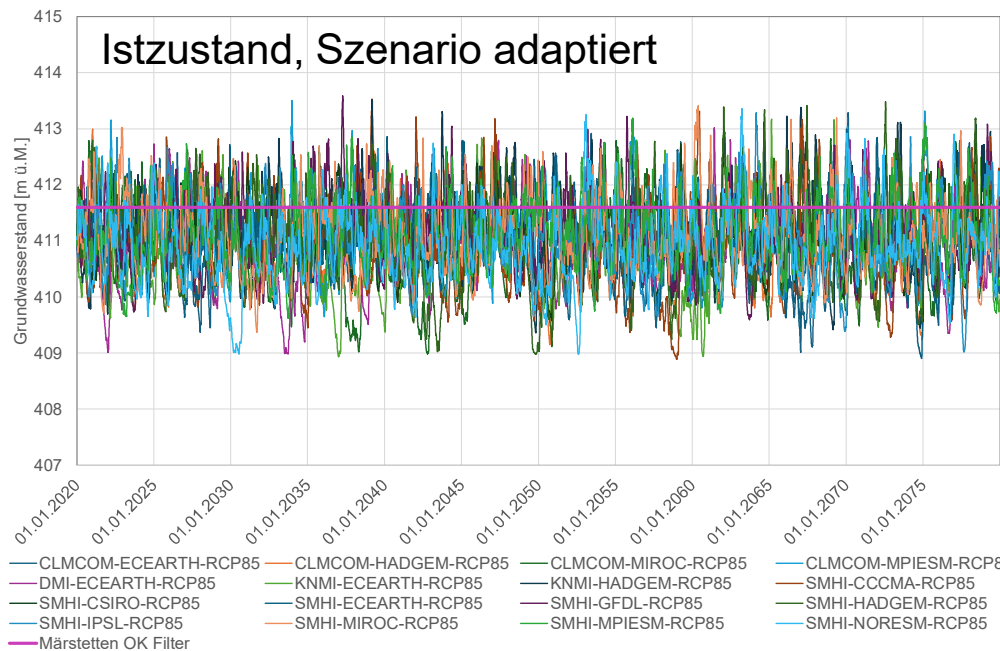
# Kriterium Restwasser Binnenkanäle

- Die Exfiltration in die Binnenkanäle wird im Modell berechnet
- Anzahl Tage, an denen der heutige Restwasserabfluss unterschritten ist
  - Ausschöpfung der Trinkwasserkonzession wirkt sich auf Restwasserabfluss aus
  - Einfluss einer erhöhten Bewässerung (Szenario adaptiert) nicht erkennbar
  - Kein Einfluss des Klimawandels



# Kriterium Fördermengen, Beispiel Märstetten

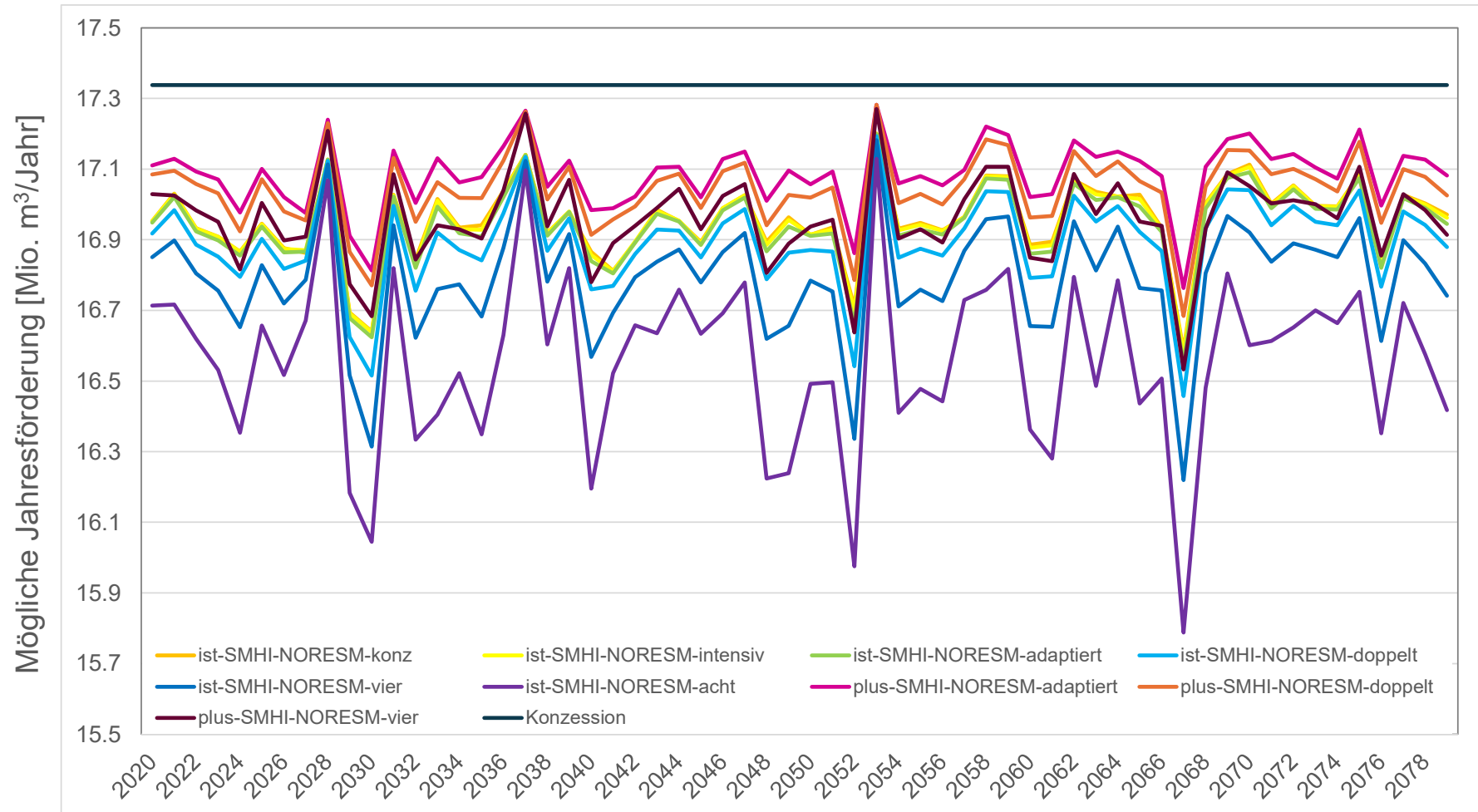
- Grundwasserstand in der Fassung – Reduktion der Fördermenge
  - Ausschöpfung der Trinkwasserkonzession nur selten möglich
  - Einfluss einer erhöhten Bewässerung nicht erkennbar
  - Kein Einfluss des Klimawandels
  - Revitalisierung der Thur verbessert die Situation deutlich



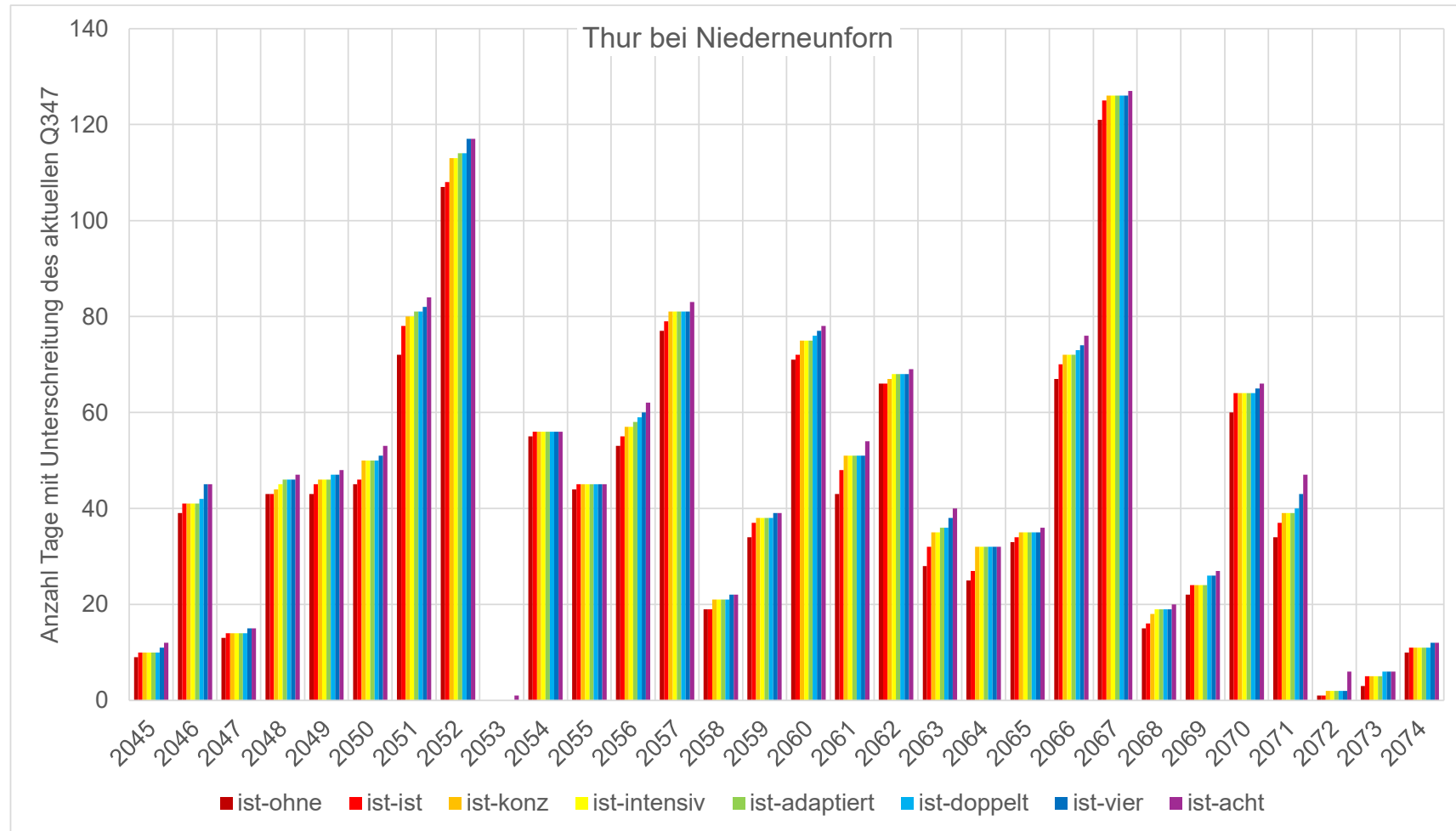
## Sensitivitätsanalyse

- Die Szenarienrechnungen zeigen, dass auch eine Umstellung der Landwirtschaft auf Kulturen mit höherem Bewässerungsbedarf und ein grösserer Anteil der bewässerten Flächen insbesondere im Fall einer renaturierten Thur nicht zu einer wesentlichen Einschränkung der übrigen Grundwassernutzungen führt
- Die Berechnung weiterer Szenarien mit noch grösseren Entnahmen zur Bewässerung wäre zu zeit- und rechenintensiv gewesen
- Es wurde deshalb eine Modellkette der Klimaszenarien ausgewählt und die Bewässerung nochmals gesteigert bis zur acht-fachen Menge
- Es wurden Berechnungen mit und ohne eine Revitalisierung der Thur durchgeführt

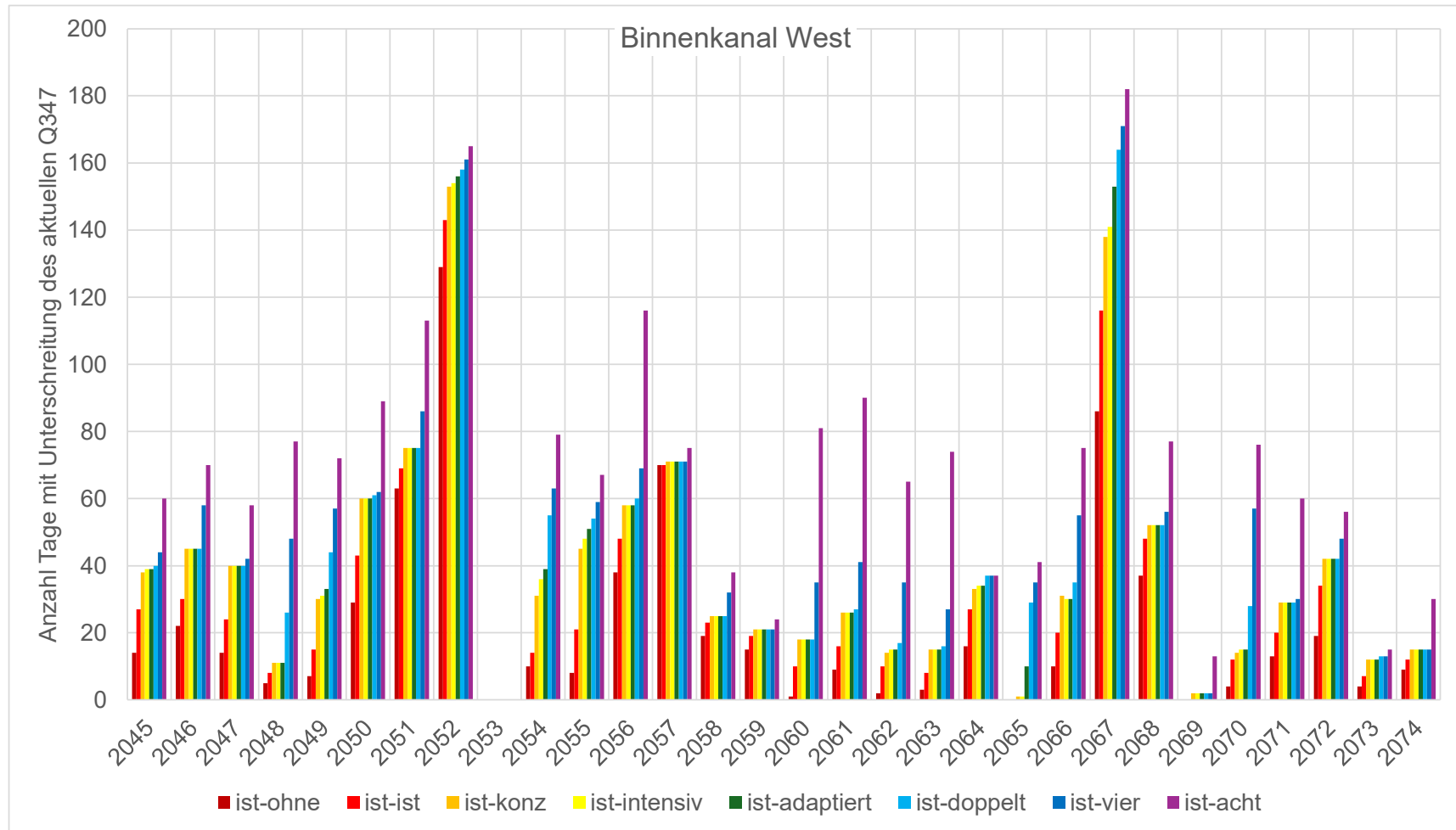
# Auswertung der Sensitivitäten: Fördermenge



# Sensitivitäten: Restwasserabfluss Thur



# Sensitivitäten: Restwasserabfluss Binnenkanal





# Grundwasserstände (rot: Absenkung, blau: Anstieg)



Istzustand, Ausschöpfung Konzession



Thur renaturiert, Ausschöpfung Konzession



Istzustand, Szenario adaptiert



Thur renaturiert, Szenario adaptiert



Istzustand, Szenario doppelt



Thur renaturiert, Szenario doppelt

## Fazit

- Mit einem gekoppelten Modell des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserströmung können die Auswirkungen einer Zunahme der Bewässerung unter den zukünftigen Klimatischen Bedingungen prognostiziert werden.
- Der Einbezug vieler Modellketten der Klimamodelle ist zwar möglich aber:
  - Die Rechenzeit und der Implementierungsaufwand ist gross
  - Die Resultate können nur statistisch ausgewertet werden
- Im Thurtal ist eine Zunahme der Bewässerung möglich, ohne grosse Auswirkungen auf das Trinkwasserpotential und die Ökologie
  - Im Osten wird der Grundwasserspiegel zwar abgesenkt, dies wirkt sich jedoch nicht negativ aus, da der Flurabstand gross ist
  - Im Westen ist die Absenkung des Grundwasserspiegels gering, die Entnahme zur Bewässerung wird durch eine Abnahme der Exfiltration in den Binnenkanälen kompensiert. Der Abfluss der Binnenkanäle wird jedoch primär durch die Infiltration aus der Thur bestimmt.
- Grössere Auswirkungen können etwa ab einer Entnahme von 3 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr erwartet werden (heute 1 Mio m<sup>3</sup>)