

# Grundwasser im Klimawandel

## Kolloquium zu Naturschutz, Umwelt und Geologie in Hessen

Wiesbaden, 18.06.2024

**Mario Hergesell**

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie  
Dezernat W4: Hydrogeologie, Grundwasser

# Kooperation KLIWA – Klimaveränderung und Wasserwirtschaft



- Gründung der Kooperation im Jahr 1999 (BW, BY, DWD)
- Fachliche Kooperation zwischen KLIWA und HLNUG seit 2005
- Beitritt Hessens als offizieller Kooperationspartner Anfang 2024

# Inhalt


1. Aktuelle Grundwassersituation in Hessen
2. Entwicklung der Trockenperiode 2018-2022
3. Historische Einordnung
4. Mögliche Veränderungen in der Zukunft
5. Anpassungsmaßnahmen und Lösungsansätze

# Trockenperiode 2018-2022



Bericht über negativen Trend  
Deutschland trocknet aus - Grundwasser  
sinkt

26.10.2022 11:16 Uhr



Dürre in Deutschland  
Der große Kampf ums Wasser hat auch bei  
uns längst begonnen

Freitag, 19.08.2022, 12:50



**Bild** **Trinkwasser-Notstand im  
Taunus** **KÖNIGSTEIN SCHLÄGT ALARM**  
Von: SÖNKE SCHULENBURG  
20.07.2022 - 19:50 Uhr

Wegen Niedrigwasser  
Frankfurt und Main-Taunus-Kreis verbieten  
Wasserentnahme aus Bächen

Veröffentlicht am 11.07.22 um 16:43 Uhr



**Trinkwassermangel in Kelkheim**  
„Versorgung der Stadt gefährdet“

VON ANDREA DIENER - AKTUALISIERT AM 25.08.2022 - 17:33



WASSERKNAPPHEIT  
Verschwendung von Trinkwasser kostet in  
Offenbach bis zu 5000 Euro

VON JOCHEN REMMERT - AKTUALISIERT AM 25.10.2022 - 21:33



Wassernotstand in Grävenwiesbach

1. Juli 2022



Dietzenbach  
Stadt plant Gefahrenabwehrverordnung für  
Wassernotstand

Erstellt: 09.07.2022, 04:37 Uhr  
Von: Anna Scholze



Erst Rekorddürre, jetzt Rekordnässe und Schnee  
»Wir geraten von einem Extrem ins andere«

20.01.2024, 18:26 Uhr

**SPIEGEL**

Selten nasses Jahr: Grundwasserpegel  
steigen plötzlich sprunghaft an

31.01.2024, 06:11 Uhr

 Merkur.de

Neuansaat wegen Nässe: Agrarexperte warnt vor  
Problemen mit Herbiziden

19.02.2024 - 10:15



Es hört einfach nicht auf zu regnen  
Februar so nass wie seit 12  
Jahren nicht mehr!

**Bild**

19.02.2024 - 13:41 Uhr

Dauerregen: Hausbesitzer kämpfen mit  
hohem Grundwasserstand

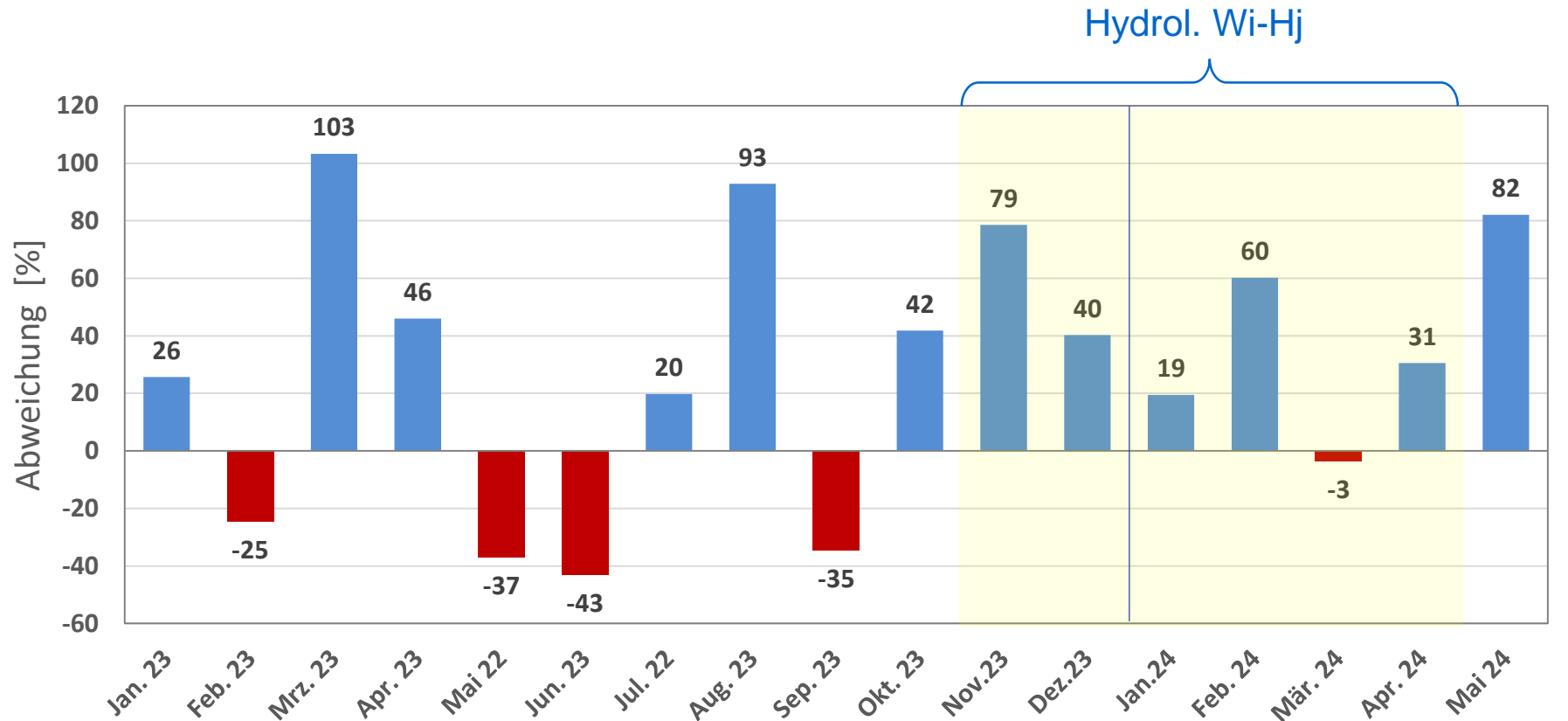
20.02.2024, 12:30 Uhr

**wa.de**

Klatschnasse Ackerflächen stellen Landwirte vor  
Probleme

Dienstag, 20.02.2024, 09:00 Uhr **MZ+**

# Niederschlagsentwicklung seit Januar 2023



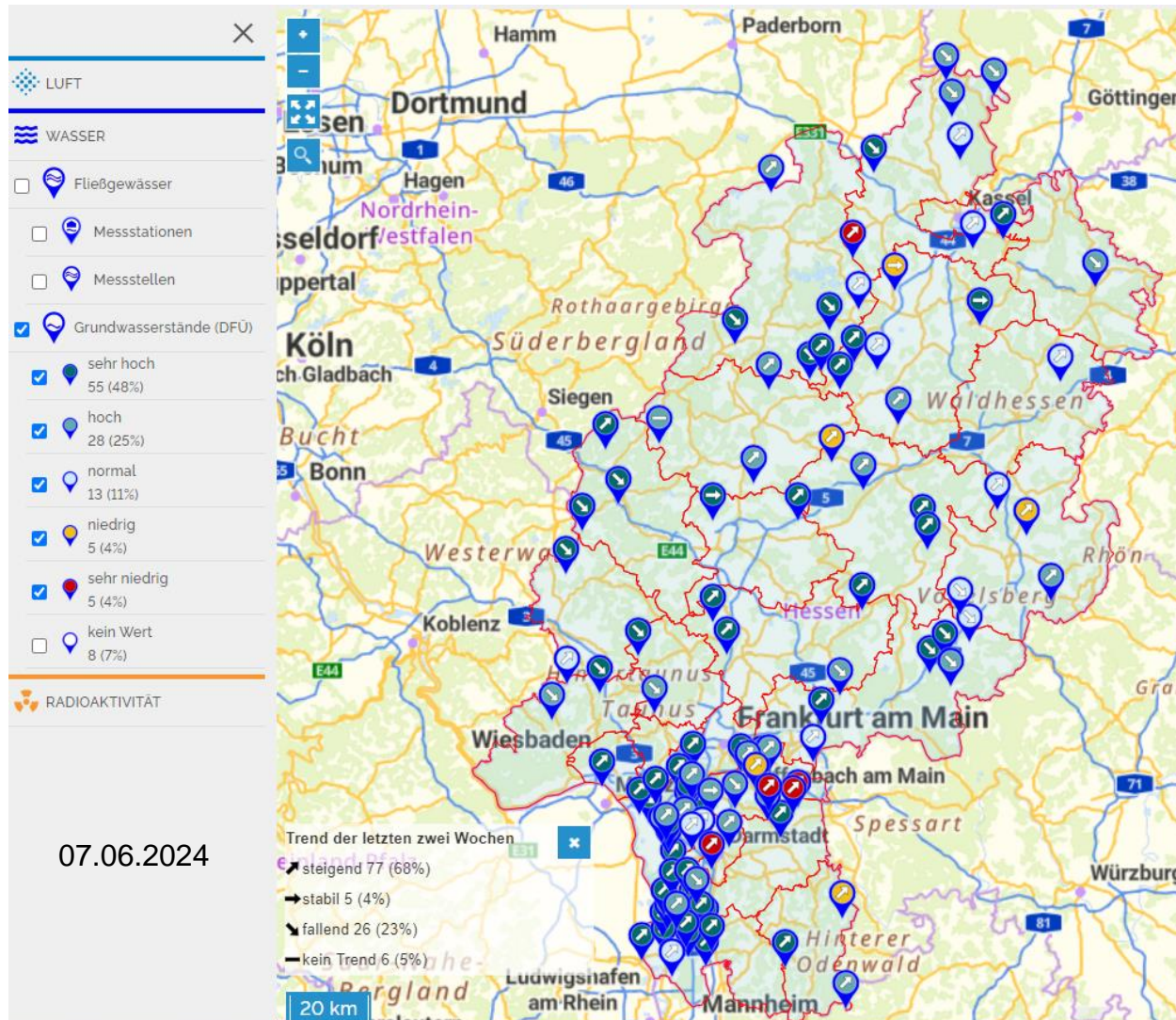
## Niederschlagsdefizit (bezogen auf Referenzperiode 1991-2020)

- Jahr 2023 (Jan. – Dez.): + 192 mm / + 25%
- Hydrolog. Winterhalbjahr (1.Nov. – 30. Apr.): + 137 mm / + 38%

## Grundwasserstandsentwicklung

- Seit Ende Okt. / Anfang Nov. deutliche Anstiege im Grundwasser
- Deutliche Entspannung der Grundwassersituation

# 1. Aktuelle Grundwassersituation in Hessen



Grundwasserstand	Anteil [%]
sehr hoch	48
hoch	25
normal	11
niedrig	4
sehr niedrig	4

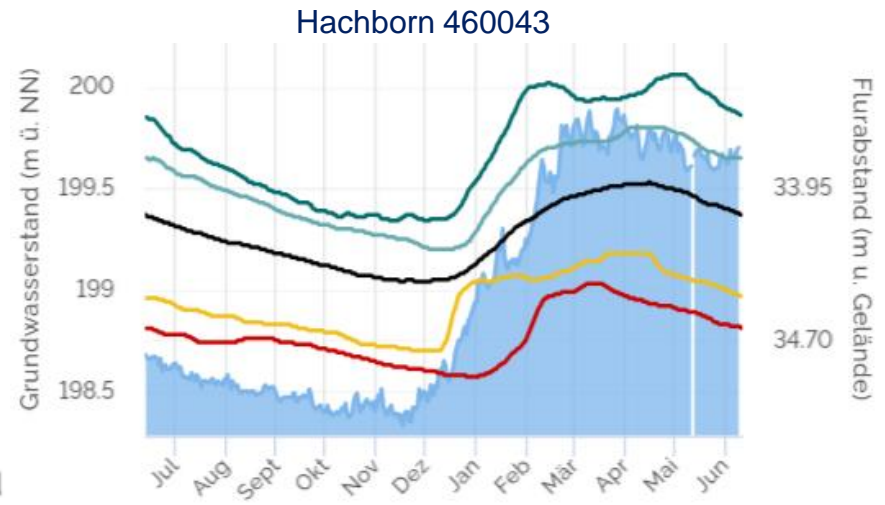
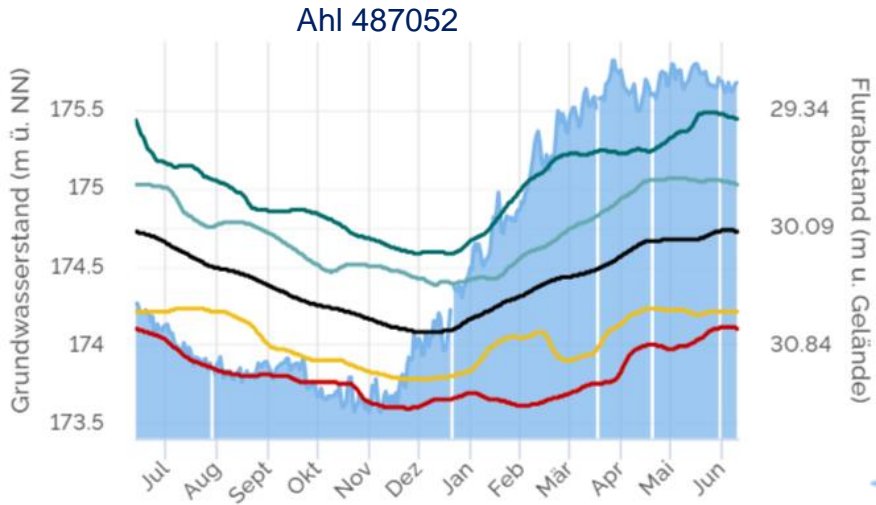
(an 7 % der Messstellen lagen keine Daten vor)

höher als Vorjahr	95
niedriger als Vorjahr	5

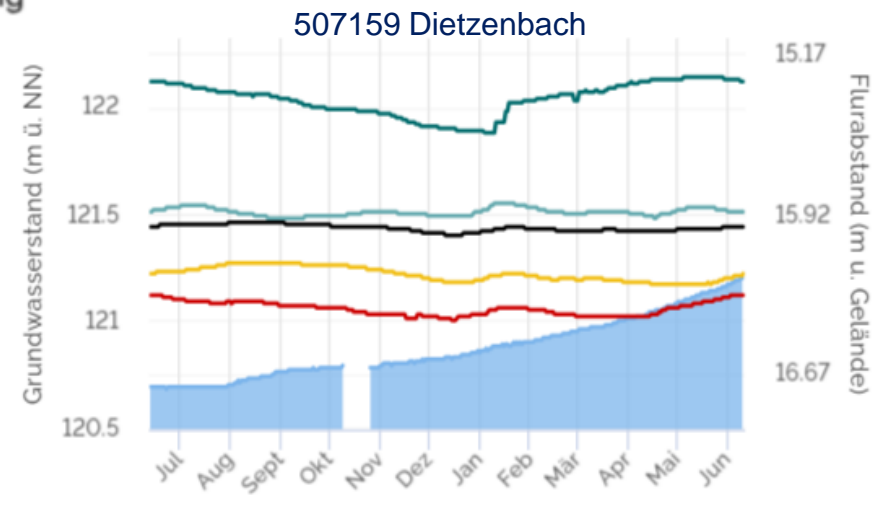
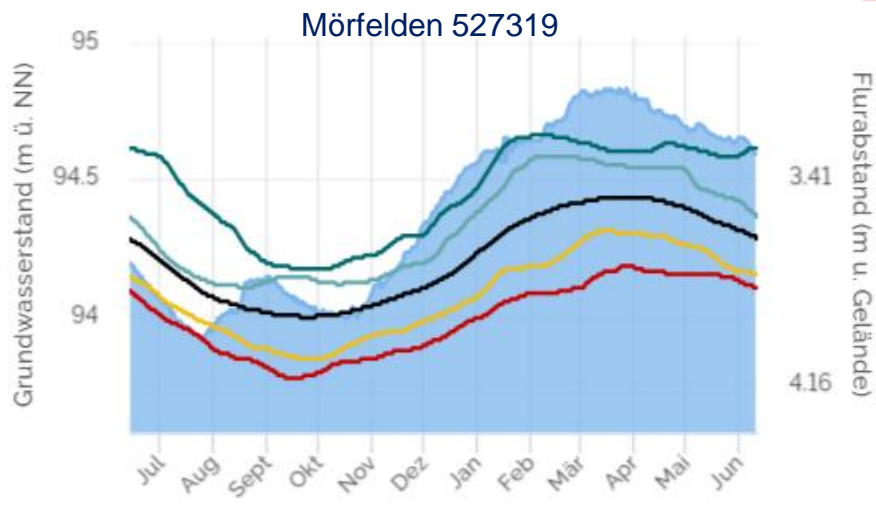
## Trend der letzten zwei Wochen

- ↗ steigend 77 (68%)
- stabil 5 (4%)
- ↘ fallend 26 (23%)
- kein Trend 6 (5%)

# Grundwasserstandsentwicklung in den letzten 12 Monaten (Beispiele)



- GW-Stand
- ▲ sehr hoch
- ▲ hoch
- mittel
- ▲ niedrig
- ▲ sehr niedrig

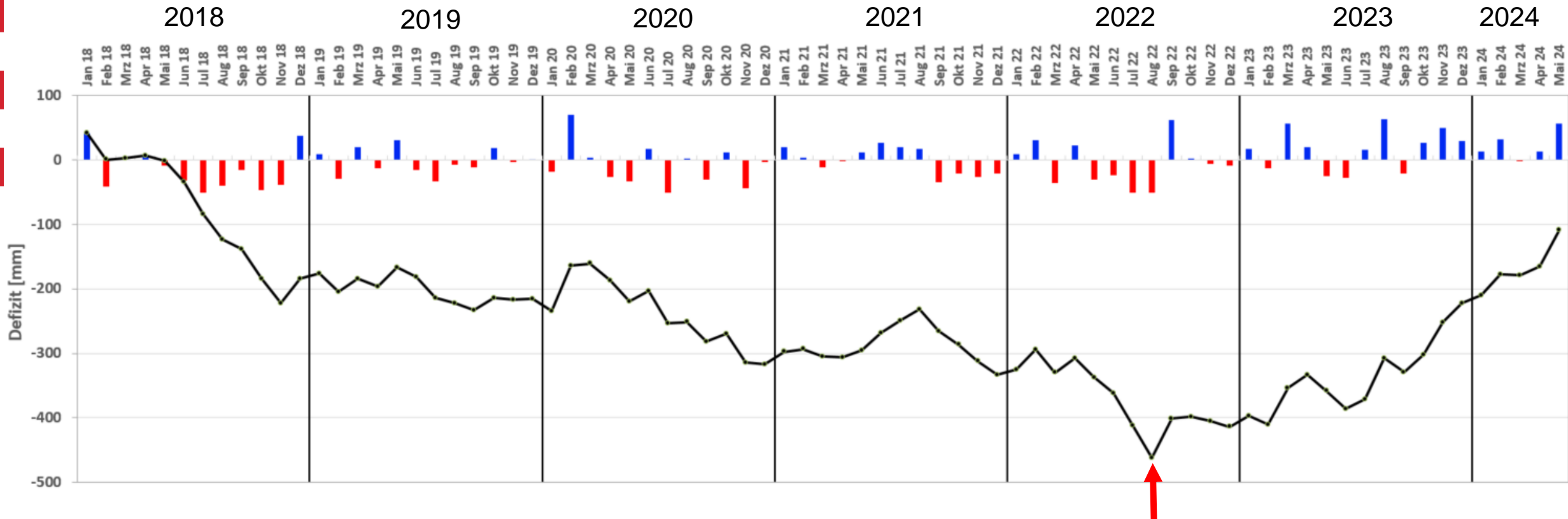




## 2. Entwicklung der Trockenperiode 2018-2022



### Entwicklung des Niederschlagsdefizits seit 2018

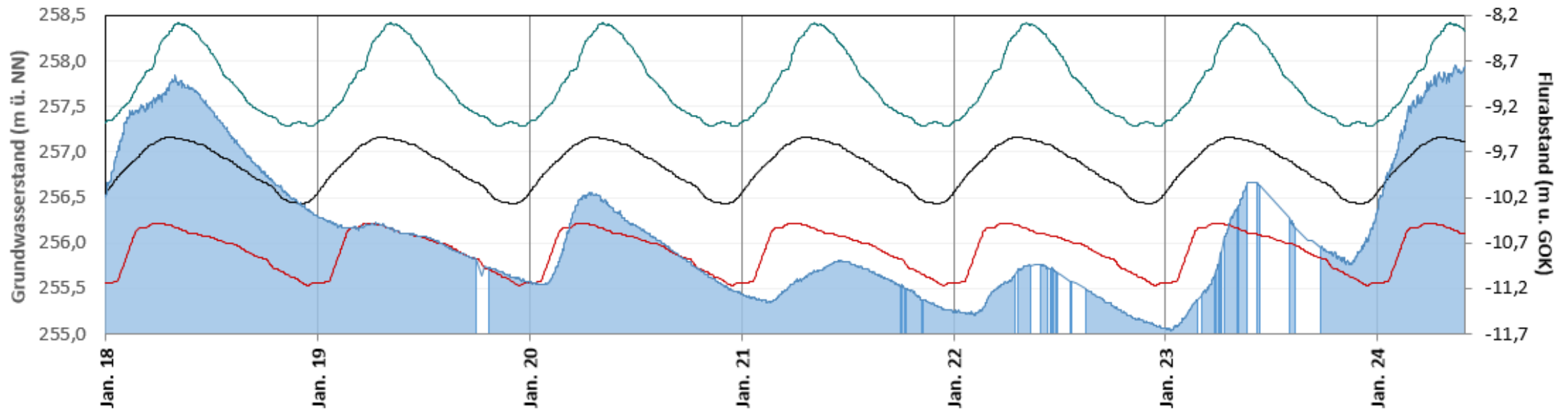


Der **Höhepunkt** der seit 2018 andauernden **Trockenperiode** war **Ende August 2022**

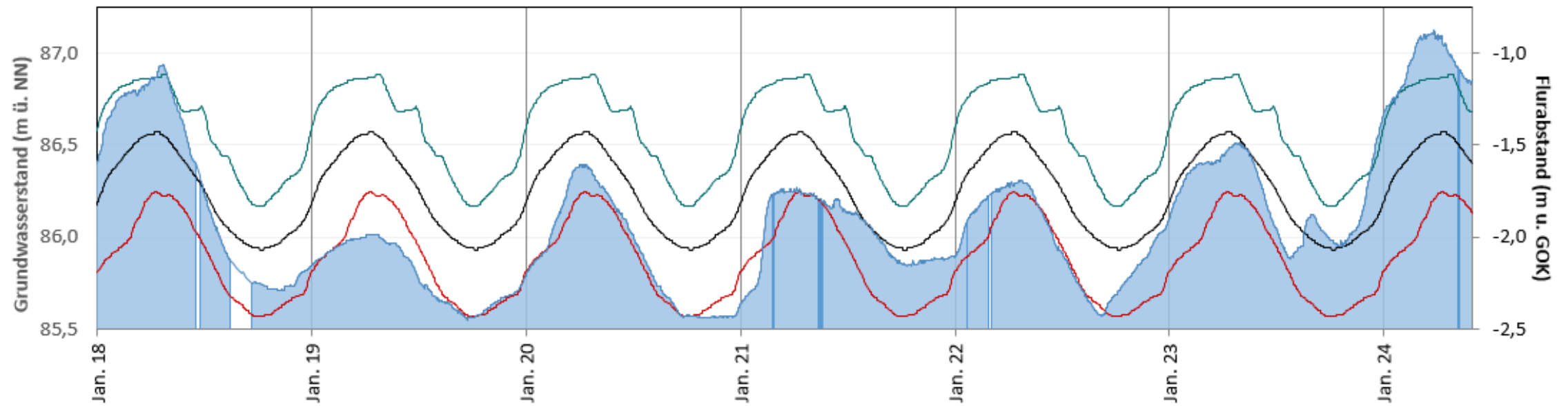
Akkumuliertes Niederschlagsdefizit im August 2022: -463 mm

In den **letzten 21 Monaten** hatten wir einen deutlichen **N-Überschuss**: 354 mm.

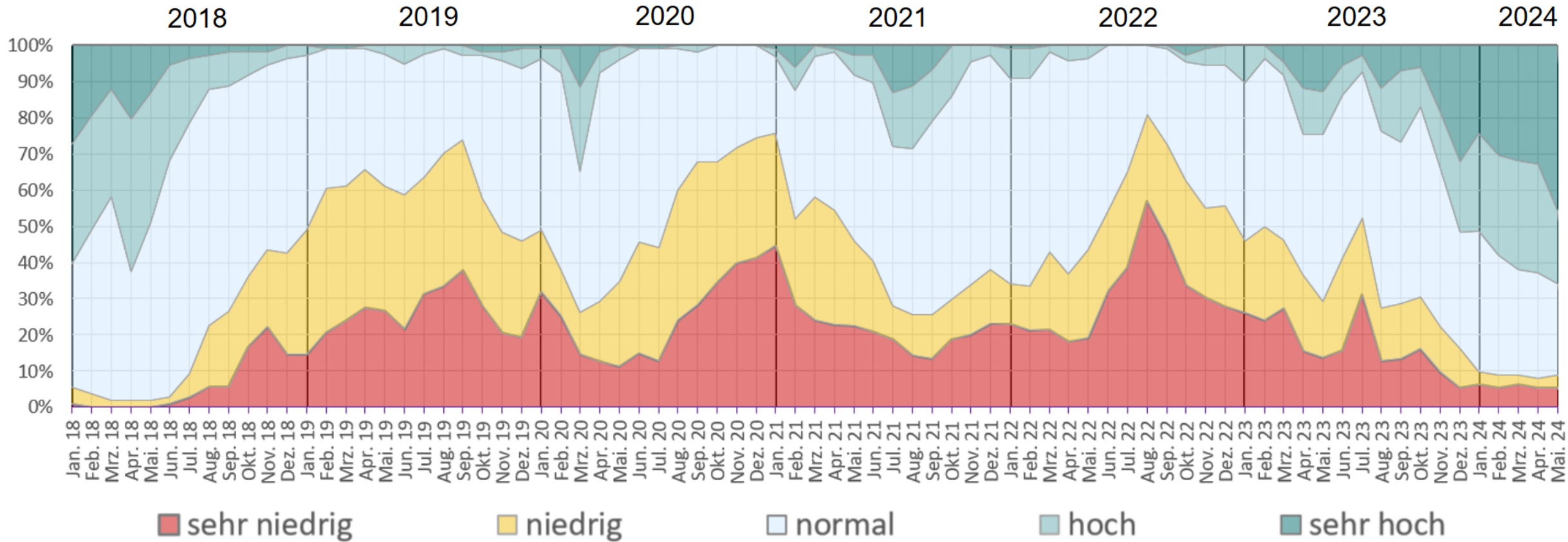
### Grundwassermessstelle Bracht 434028



### Grundwassermessstelle Bauschheim 527055



# Entwicklung der Grundwassersituation seit 2018

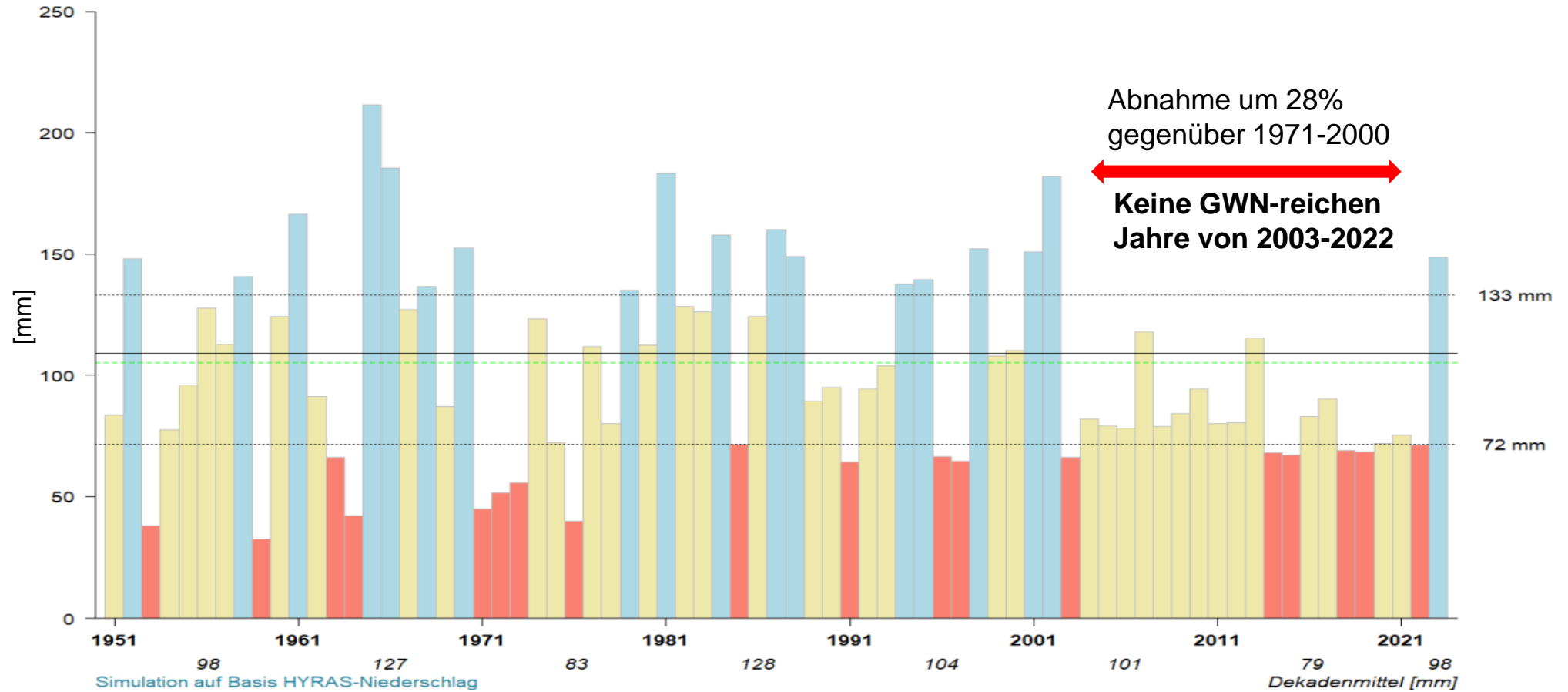


- Anfang 2018 vielerorts hohe und sehr hohe Grundwasserstände (60 %)
- **Höhepunkt der Niedrigwassersituation** und Dürre war **Ende Aug. 2022** (an 80 % der GWM niedrige und sehr niedrige Grundwasserstände)
- Seitdem deutliche Entspannung
- Im Frühjahr 2024 ähnlich viele Messstellen mit hohen und sehr hohen GW-Ständen wie Anfang 2018  
-> **Die Grundwassersituation zu Beginn des Jahres 2024 ist so entspannt wie das letzte Mal vor sechs Jahren**

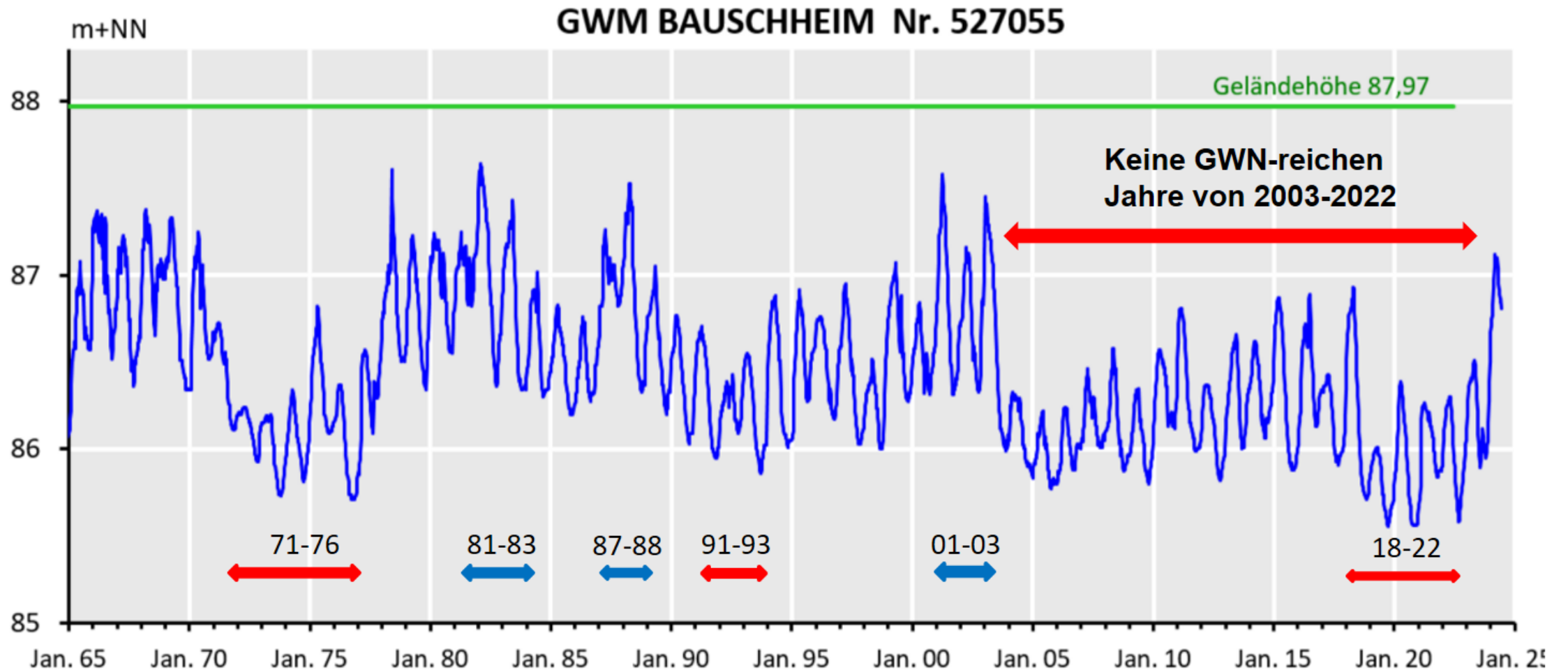
# 3. Historische Einordnung



## Entwicklung der Grundwassererneubildung Hessen 1951-2022



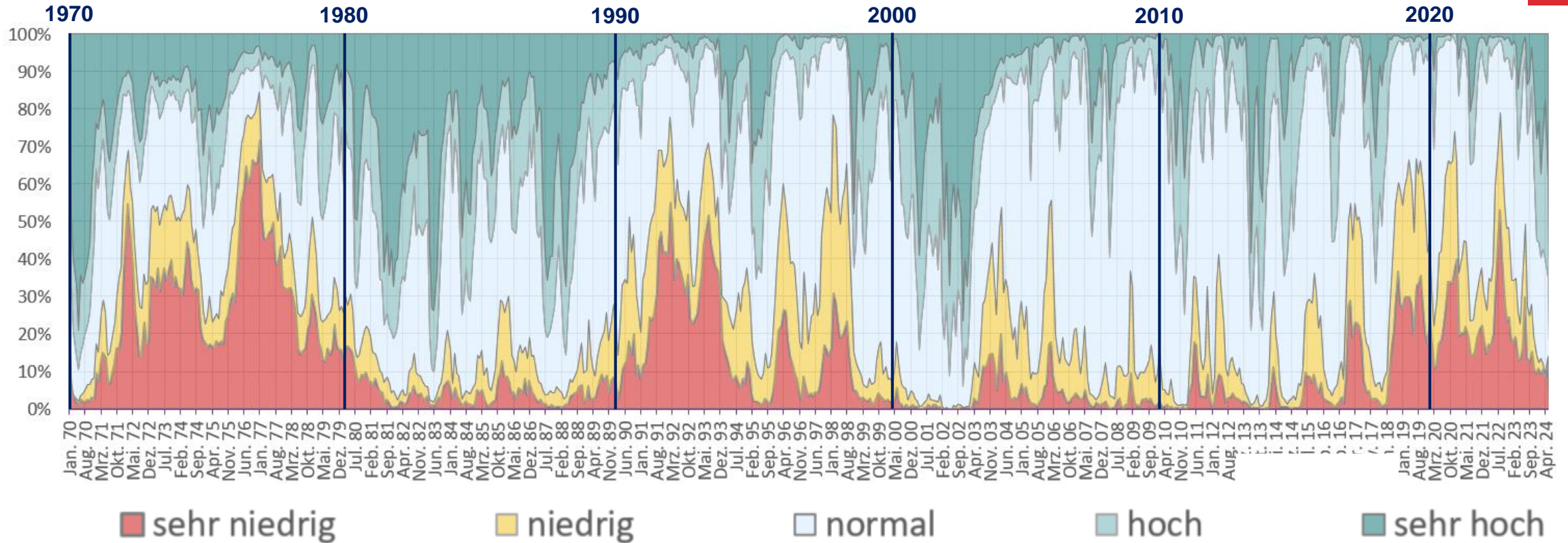
Nach einer 20-jährigen andauernden GWN-armen Periode stellt das 2023 erstmals wieder ein GWN-reiches Nassjahr dar!



- Deutlich erkennbar ist die abrupte Niveau-Verschiebung seit dem Jahr 2003
- Deutlicher Anstieg im letzten hydrologischen Winterhalbjahr
- Im Frühjahr dieses Jahres höchster Stand seit fast 21 Jahren

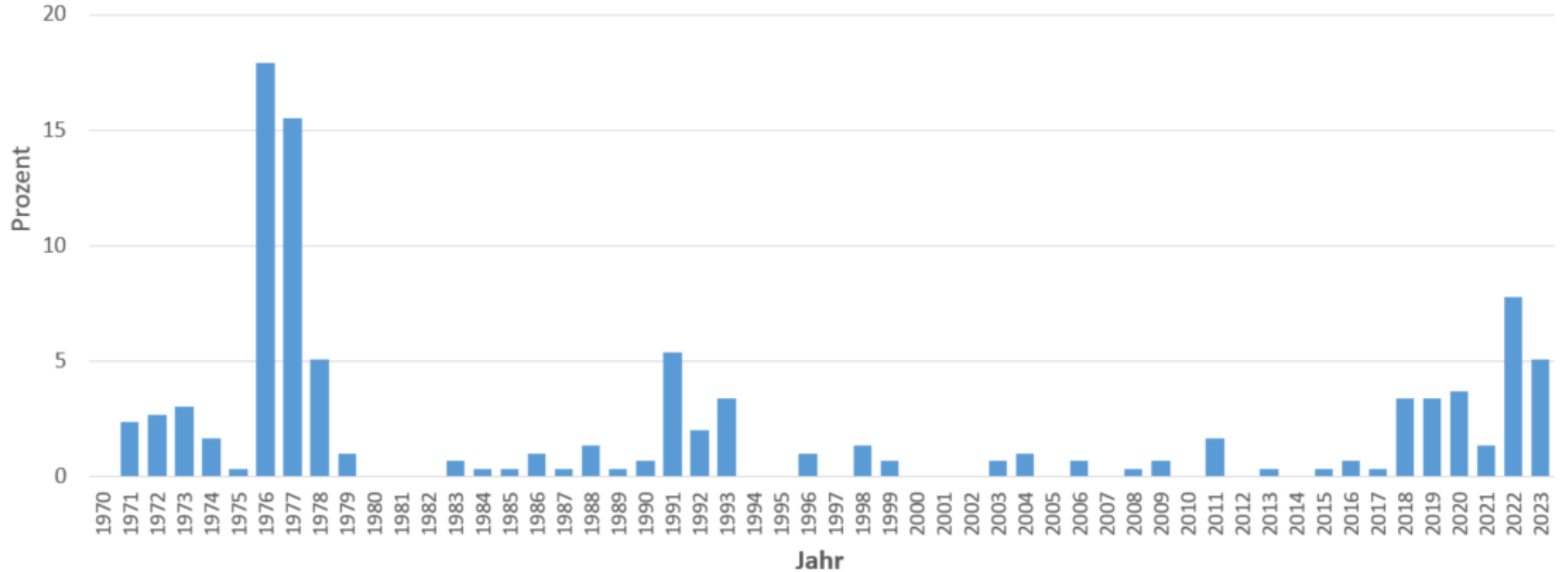
# Entwicklung der Grundwassersituation seit 1970

296 Messstellen mit Messwerten ab 1970



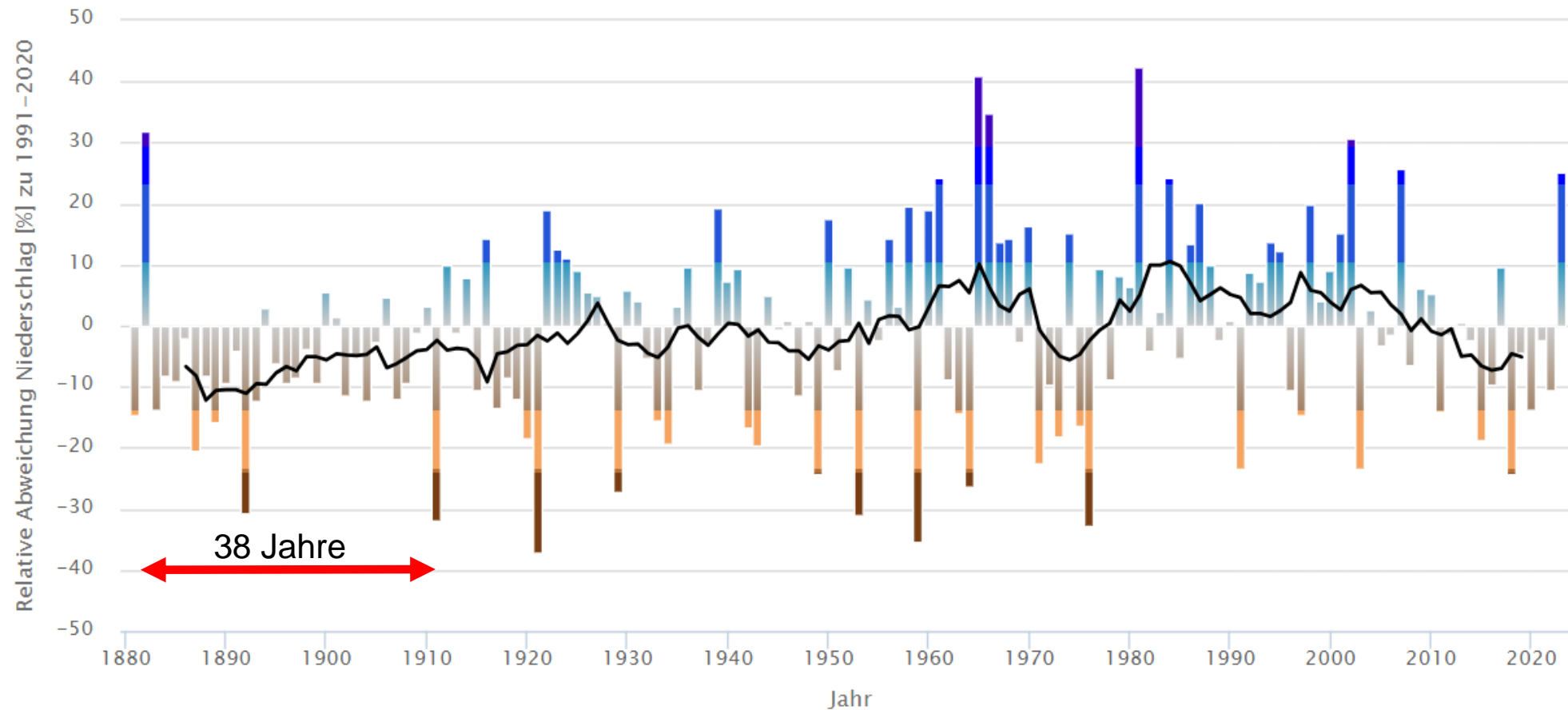
- Die jüngste Niedrigwassersituation 2018-2022 ist vom Ausmaß vergleichbar mit der in den 1990-er Jahren.
- Die Niedrigwassersituation der 1970-er Jahre hatte dagegen ein größeres Ausmaß als die jüngste Niedrigwassersituation.
- Längere zusammenhängende Phasen, in denen an vielen Messstellen hohe und sehr hohe Grundwasserstände vorherrschen, kommen seit dem Jahr 2003 nicht mehr vor.

## Niedrigstgrundwasserstände seit dem Jahr 1970



In den letzten Jahren wurden mehr Niedrigstgrundwasserstände als zu Beginn der 1990-er Jahre, aber weniger als in den 1970-er Jahren beobachtet.

## Entwicklung des Jahres-Niederschlags seit 1881 in Hessen



Die langfristige Entwicklung zeigt eine tendenzielle Zunahme.

Erst in den letzten 20 Jahren ist eine abnehmende Entwicklung zu beobachten.

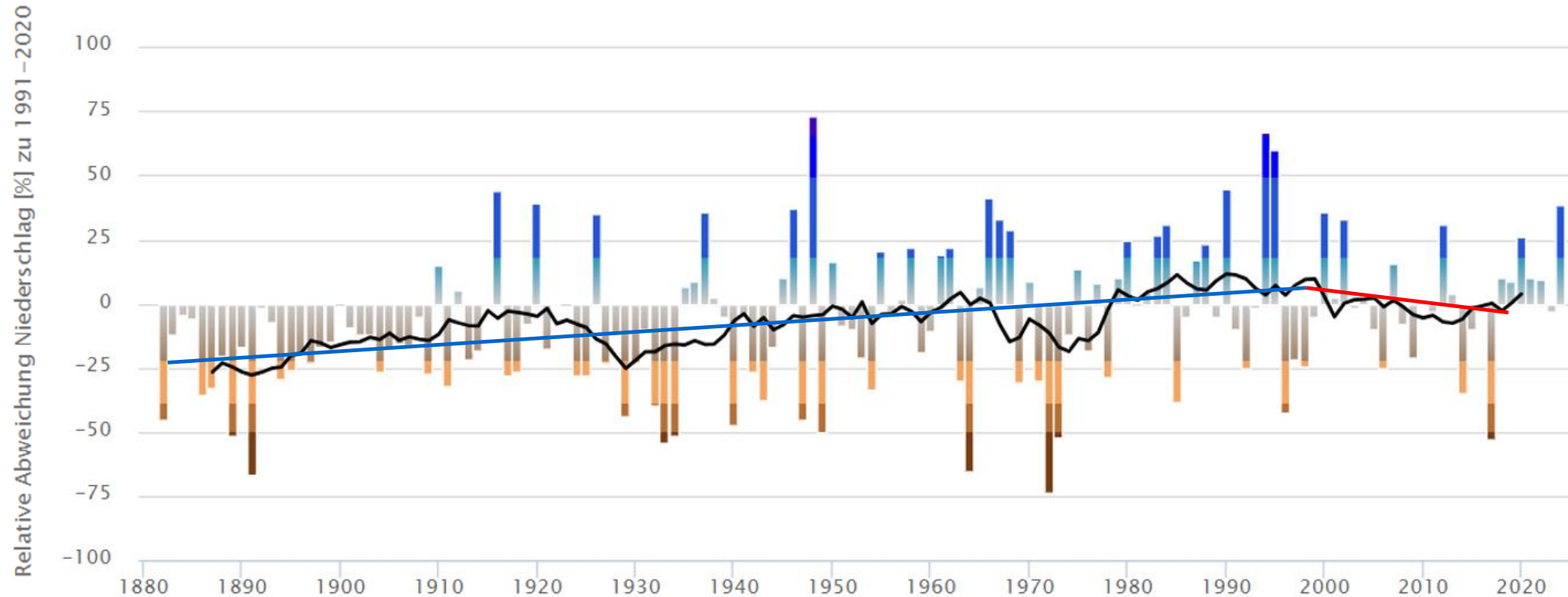
1883 -1921: bisher extremste und längste Trockenperiode

1921: - 37% bisher trockenstes Jahr

2018: - 24%



## Entwicklung des Winter-Niederschlags seit 1881 in Hessen

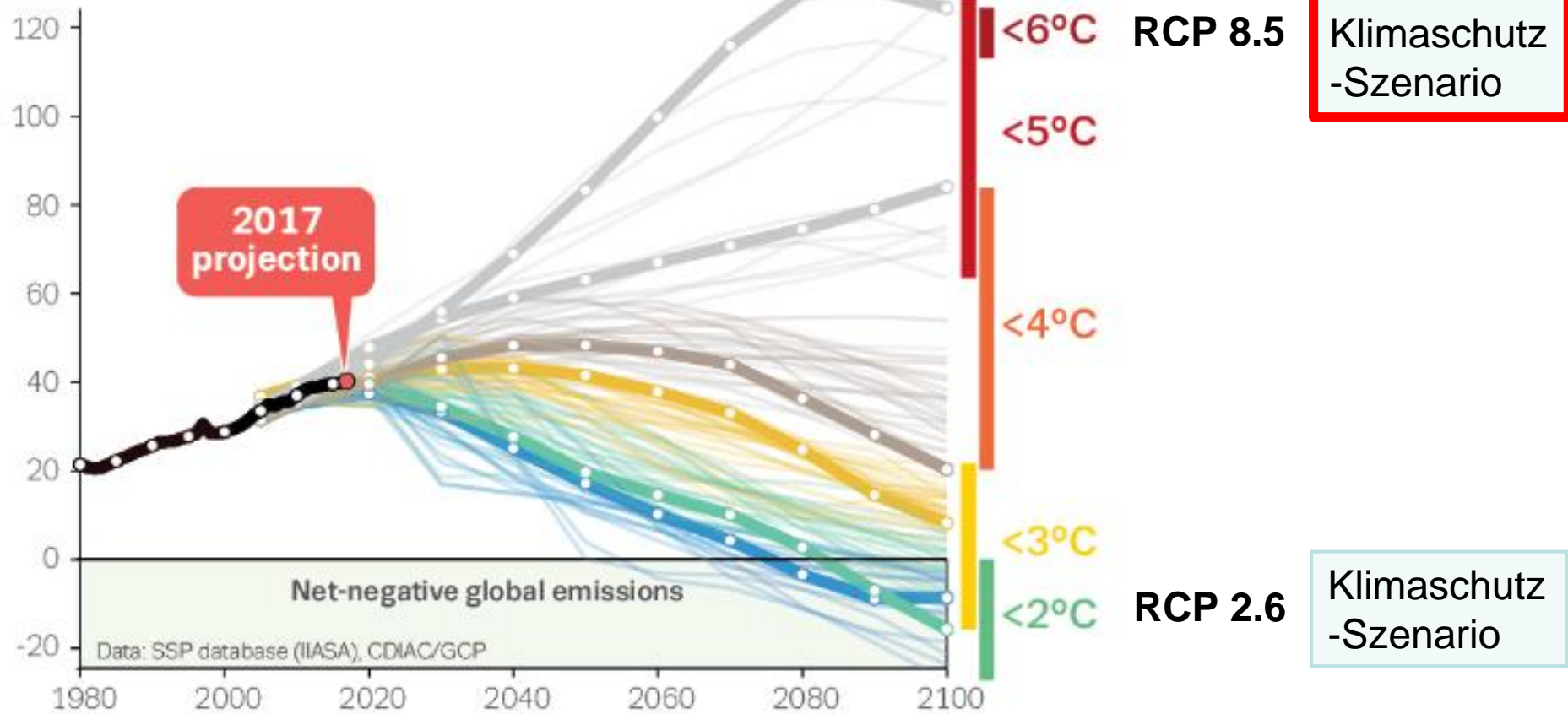


- In den Projektionen für die Zukunft setzt sich die langfristig beobachtete Zunahme fort.
- Stellen die letzten 20 Jahre nur eine temporäre Anomalie dar, die auf die multidekadische Variabilität des Niederschlags zurückzuführen ist? Oder setzt sich der Trend fort?

# 4. Mögliche Veränderungen in der Zukunft



## CO<sub>2</sub>-Emissionen – Beobachtung und Szenarios

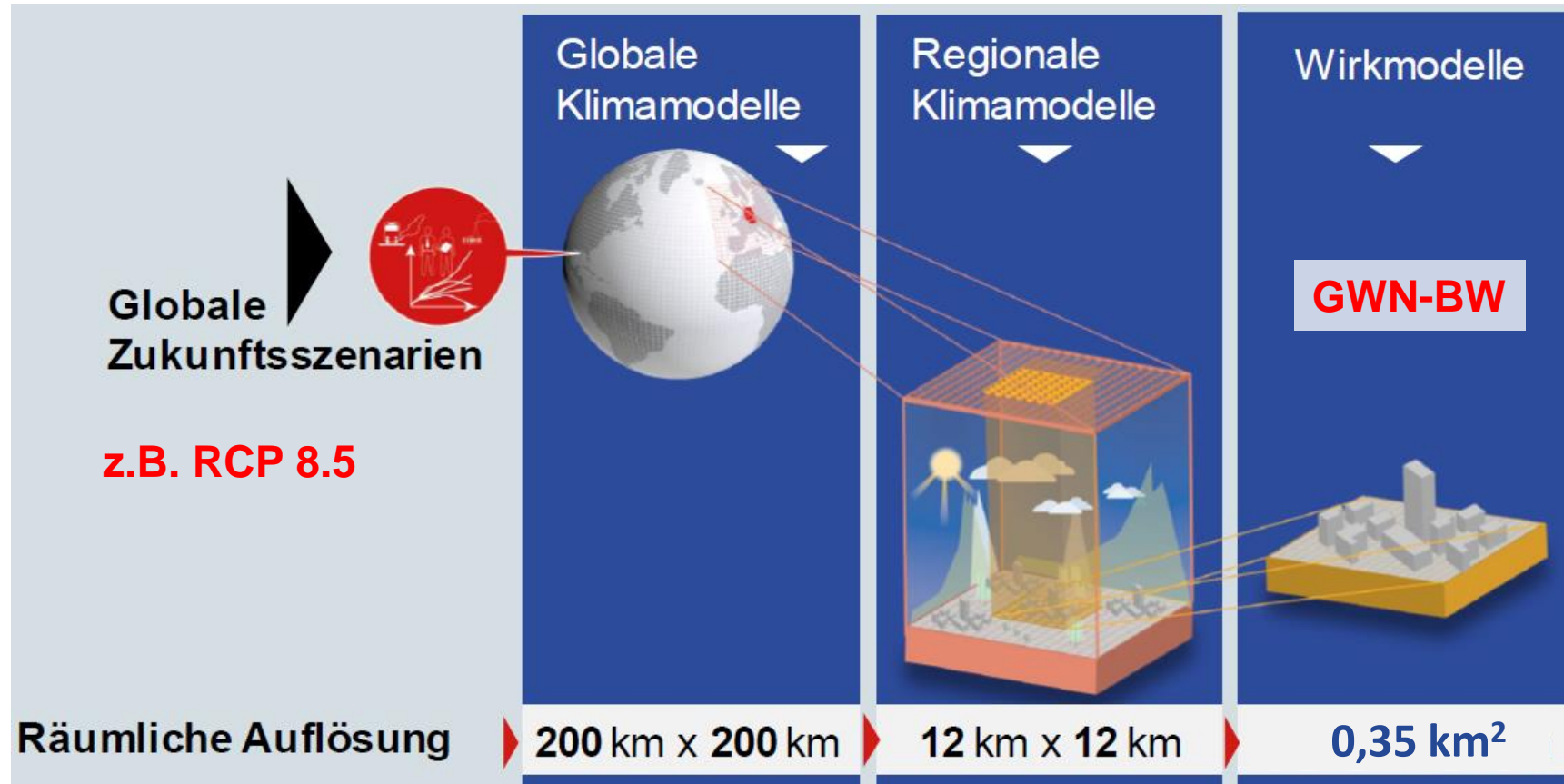


Globale CO<sub>2</sub>-Emissionen von fossilen Brennstoffen und Zementproduktion:  
Beobachtung und IPCC-Szenarios.

Quelle: <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>

# Klimaprojektionen

Gekoppelte Modelle auf unterschiedlichen Skalen -> Downscaling

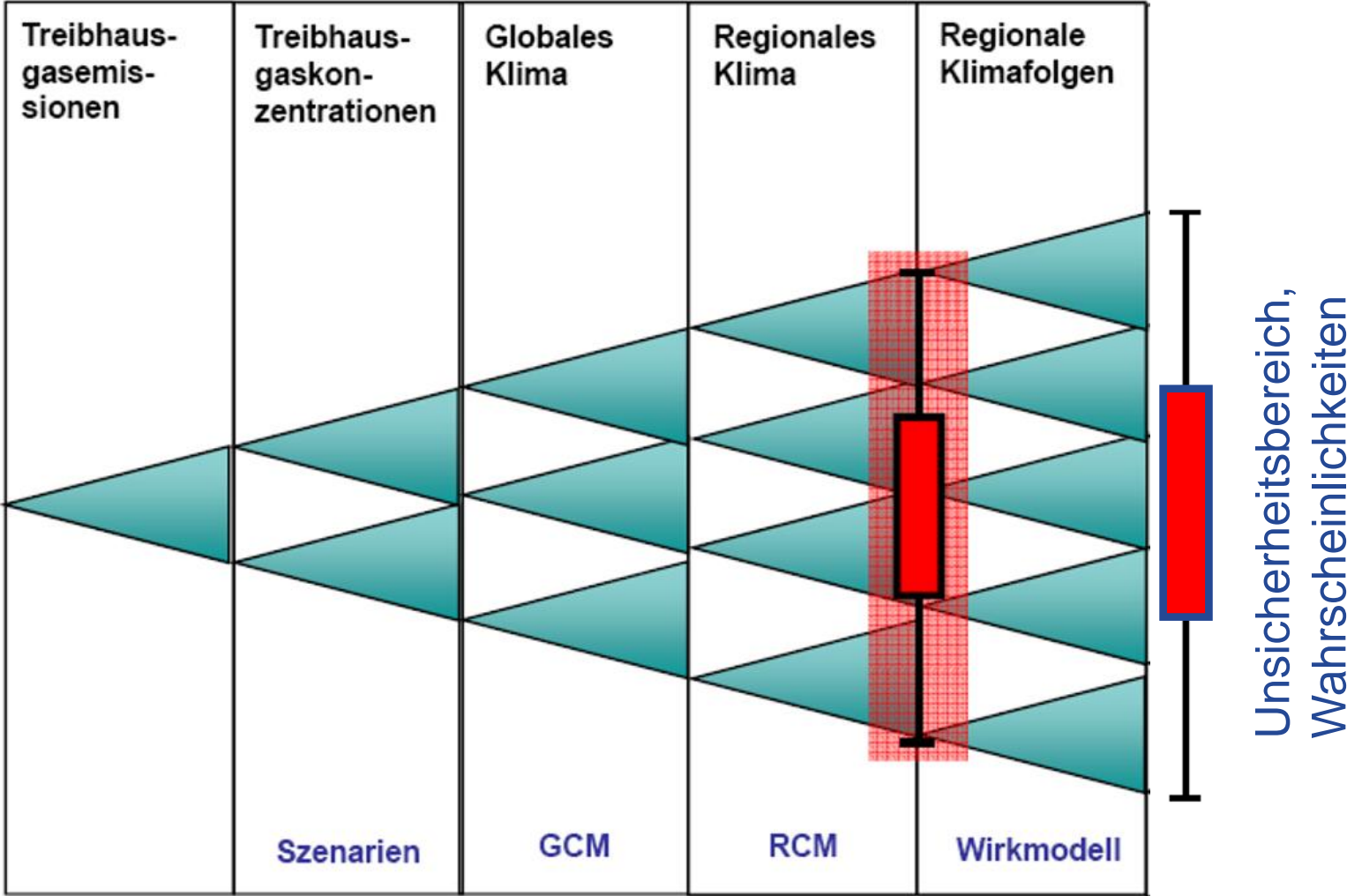


Quelle: Walter, DWD KU11 (abgeändert)

# Multimodell-Ensemble

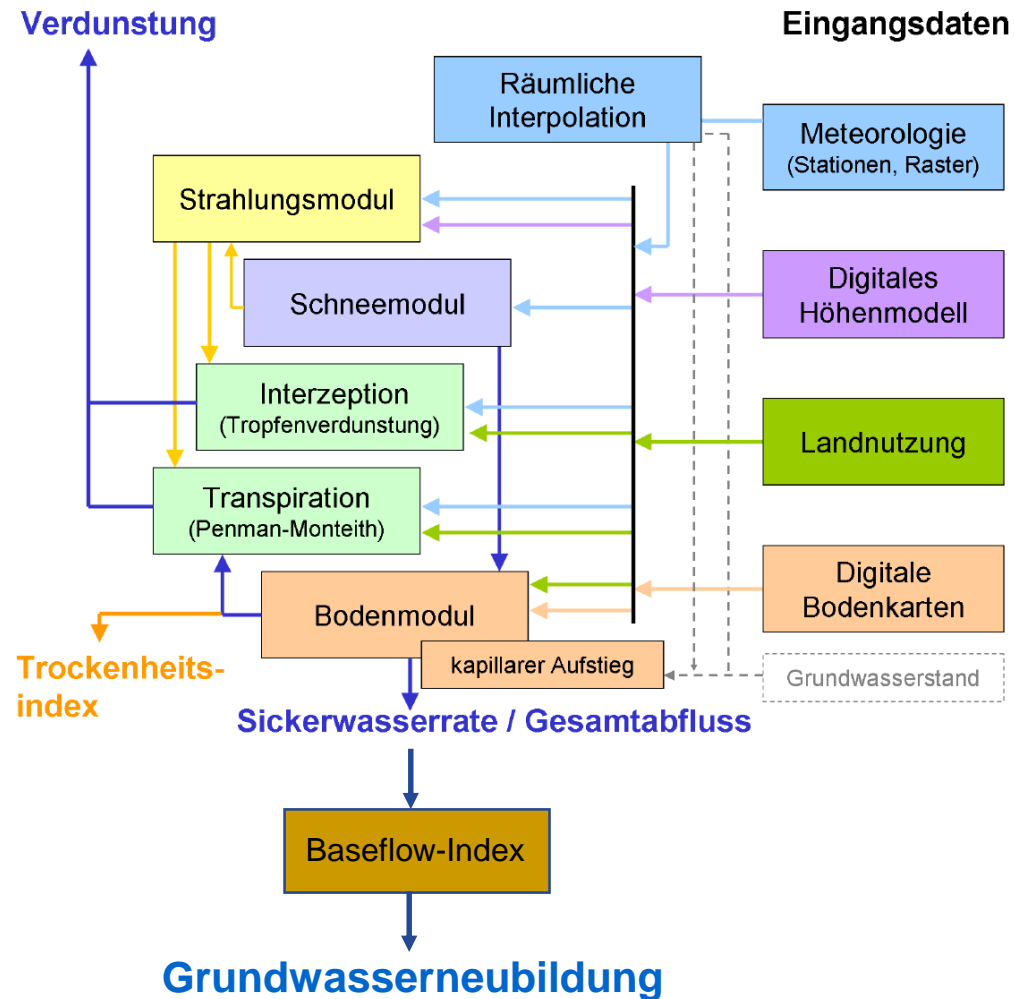


## Abschätzung von Unsicherheiten



Quelle: Imbery, DWD KU1 (abgeändert)

# Simulation der Grundwasserneubildung mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW (KLIWA)



- Einheitliches Verfahren in den KLIWA-Partnerländern (Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz, Hessen und Saarland)
- modular aufgebaut
- physikalisch basierte und konzeptionelle Prozessbeschreibung
- hohe zeitliche Auflösung -> Tageswerte
- räumliche Auflösung ist flexibel (Rasterdaten oder Grundflächen)

# KLIWA-Ensemble



Emissions-szenario	Globales Klimamodell	Modellrun	Regional-modell	Regional-modell - Typ
RCP 8.5	EC-EARTH	r12i1p1	CCLM4-8-17	Dynamisch
RCP 8.5	EC-EARTH	r12i1p1	KNMI-RACMO2	Dynamisch
RCP 8.5	EC-EARTH	r12i1p1	SMHI-RCA4	Dynamisch
RCP 8.5	EC-EARTH	r1i1p1	KNMI-RACMO2	Dynamisch
RCP 8.5	MIROC5	r1i1p1	CCLM4-8-17	Dynamisch
RCP 8.5	HadGEM2	r1i1p1	WRF361H	Dynamisch
RCP 8.5	MPI-ESM	r1i1p1	CCLM4-8-17	Dynamisch
RCP 8.5	MPI-ESM	r1i1p1	SMHI-RCA4	Dynamisch
RCP 8.5	MPI-ESM	r1i1p1	WRF361H	Dynamisch
RCP 8.5	CanESM2	r1i1p1	Episodes2018	Statistisch
RCP 8.5	EC-EARTH	r12i1p1	Episodes2018	Statistisch
RCP 8.5	HadGEM2	r1i1p1	WETTREG2018	Statistisch
RCP 8.5	MPI-ESM	r1i1p1	WETTREG2018	Statistisch

13 Projektionen (mögliche Entwicklungspfade)

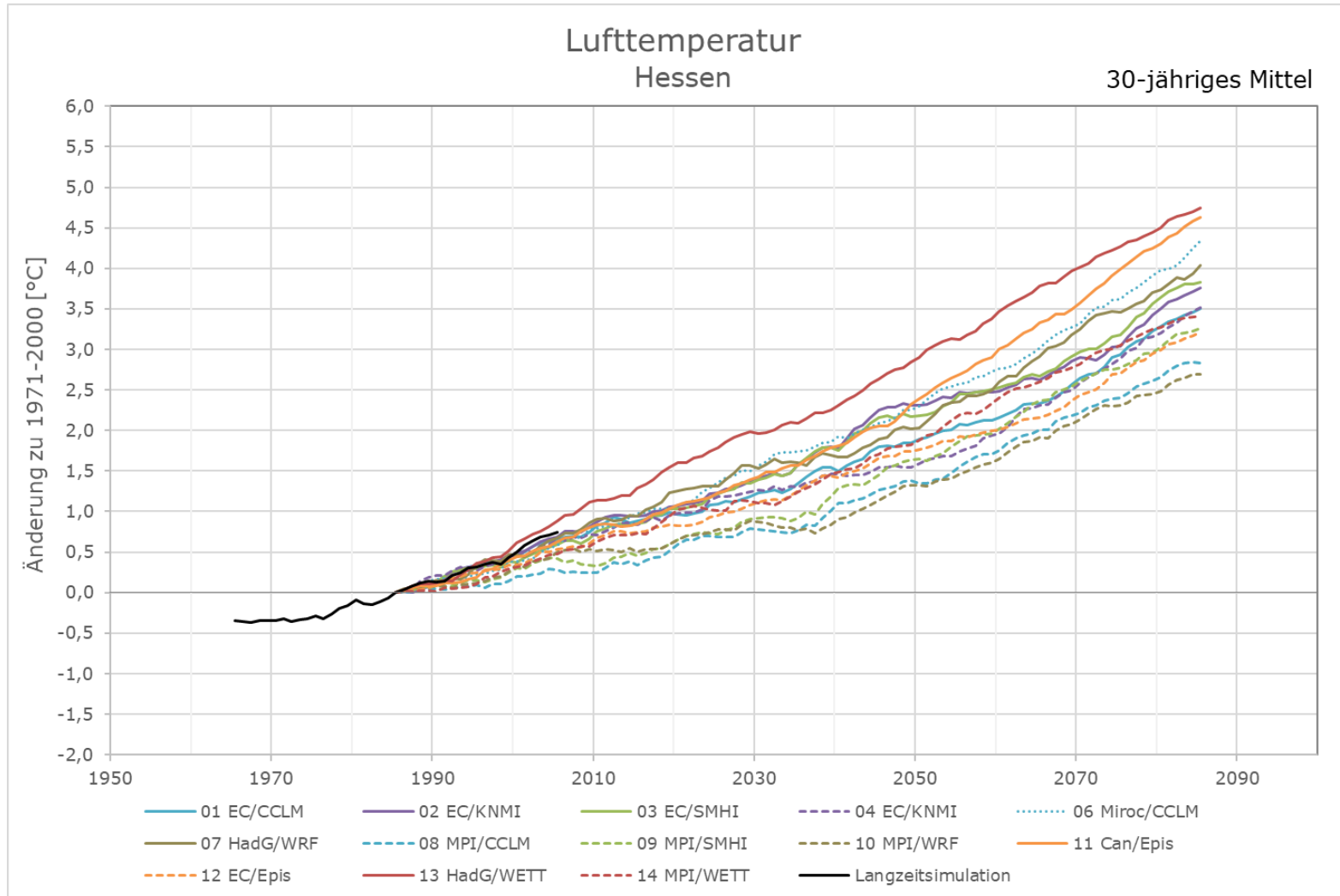
1 Emissionsszenario (Kein Klimaschutz-Szenario)

5 Globalmodelle

6 Regionalmodelle (4 dynamische und 2 statistische)

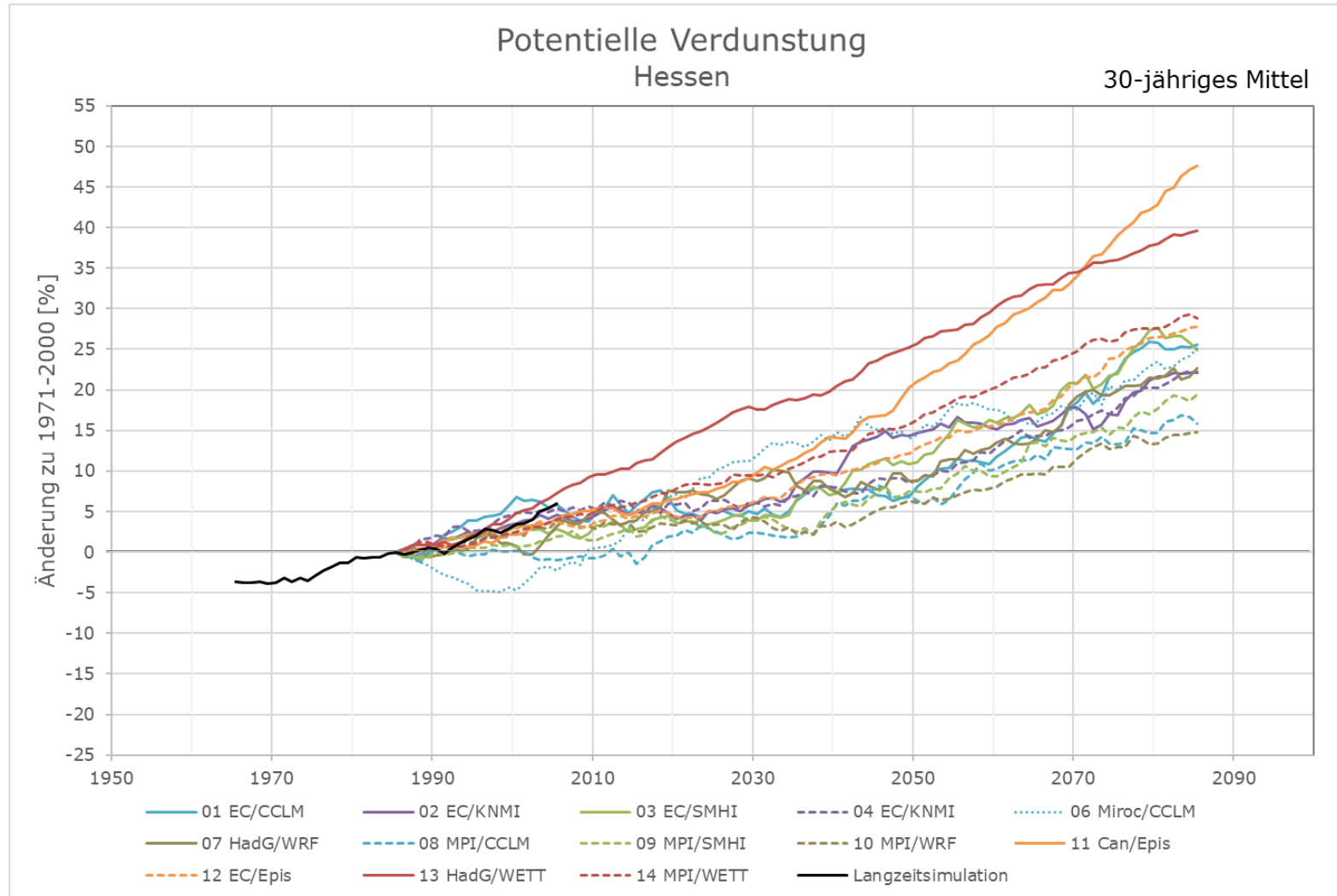
**Alle Projektionen sind als gleichwertig anzusehen und haben die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit!**

# Temperaturentwicklung (Projektionen bis 2100)



- Die beobachtete Temperaturzunahme setzt sich fort
- Klimasignal ist eindeutig und richtungsstabil

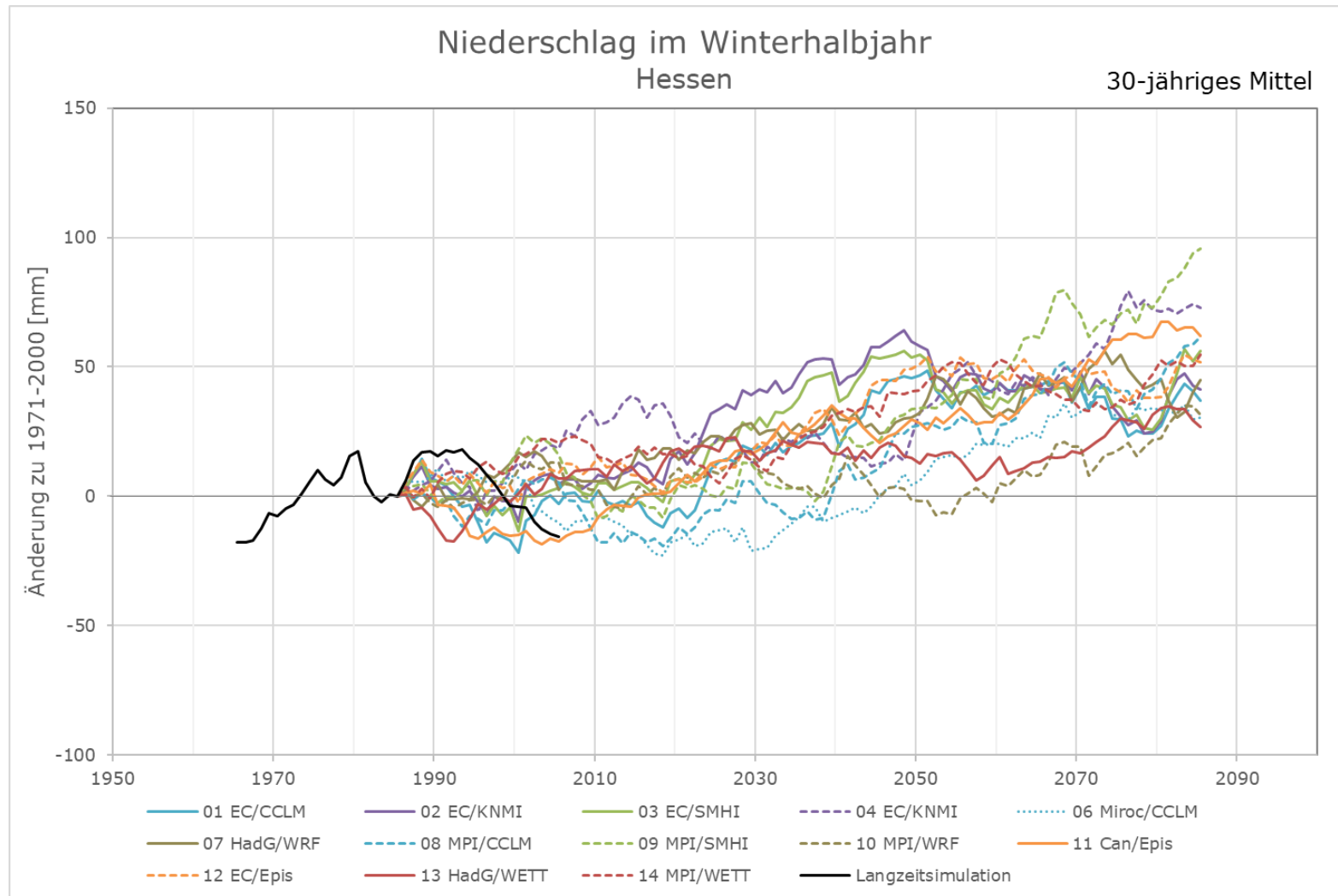
# Entwicklung der potentiellen Verdunstung (Projektionen bis 2100)



- Alle Projektionen zeigen einen zunehmenden Trend.
- Eine Zunahme der Verdunstung wirkt sich reduzierend auf die GWN aus.

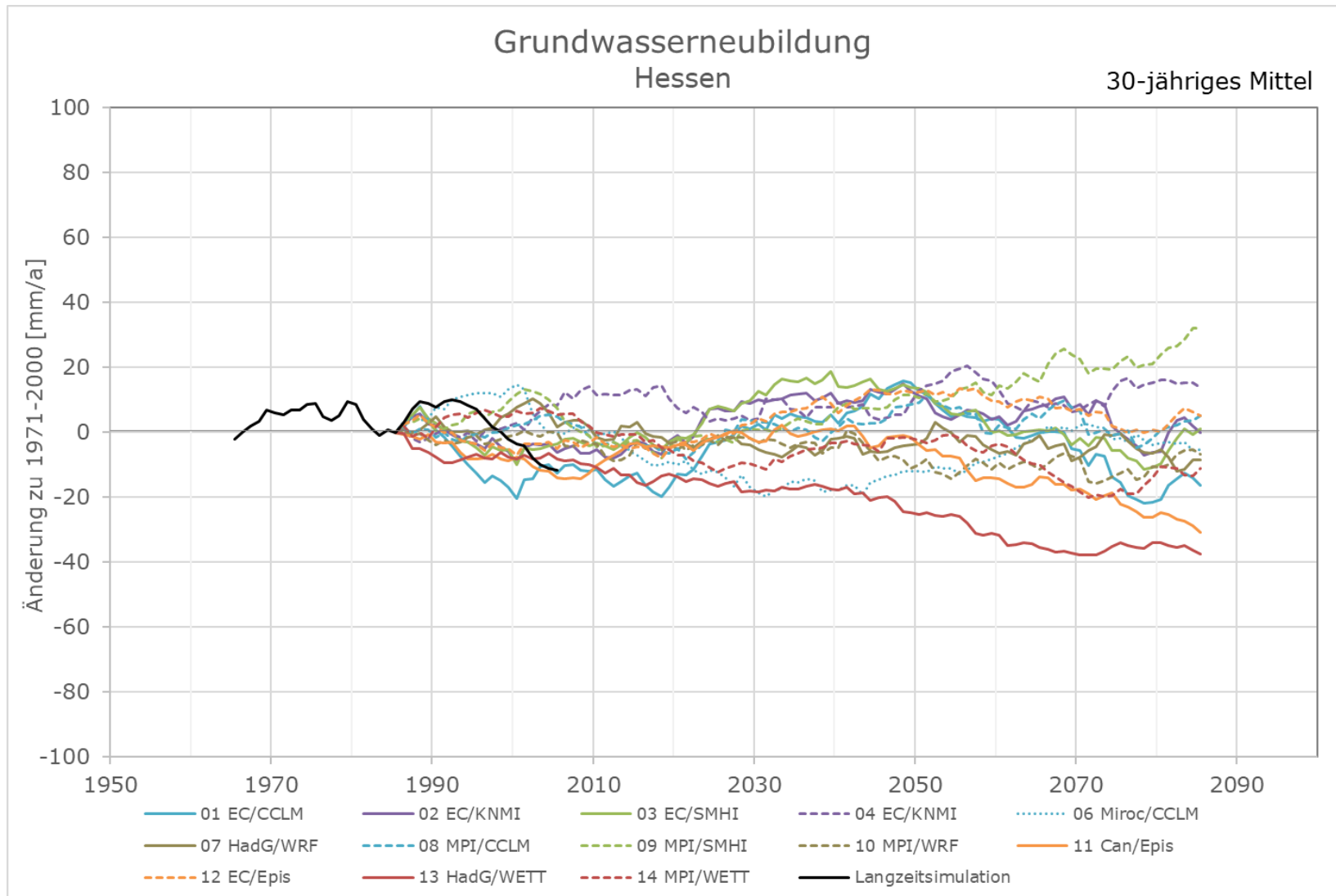


# Entwicklung des Winter-Niederschlags (Projektionen bis 2100)



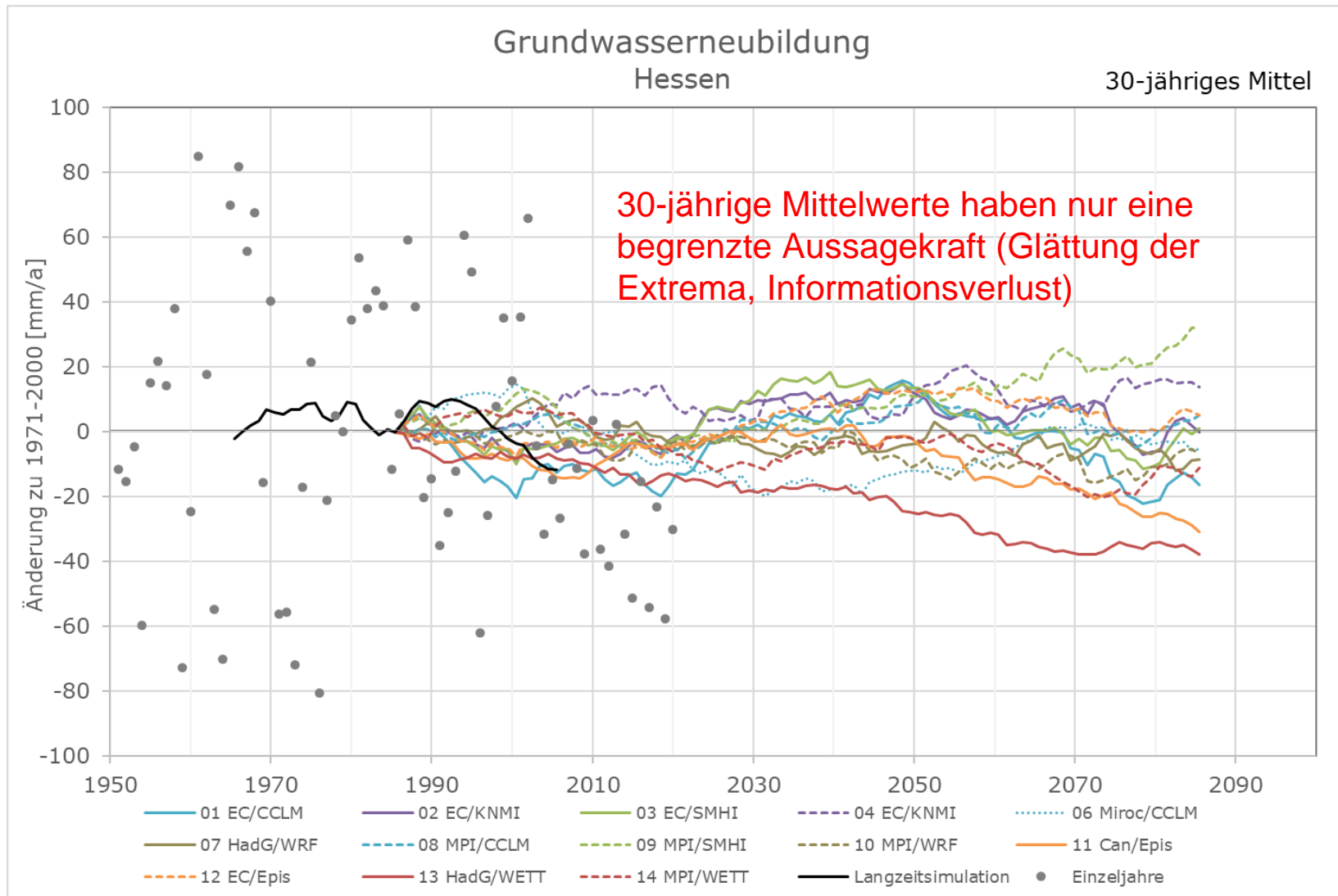
- Die meisten Projektionen zeigen einen zunehmenden Trend.
- Die Entwicklung der letzten 20 Jahre scheint im Widerspruch zu den Projektionen zu stehen.
- Eine Zunahme der Winterniederschläge würde sich positiv auf die GWN auswirken.

# Entwicklung der Grundwasserneubildung (Projektionen bis 2100)



- Klimasignal nicht eindeutig
- Es gibt sowohl Zu- wie auch Abnahmen
- Sehr große Bandbreite/Unsicherheit am Ende des Jahrhunderts
- Beobachtete Entwicklung der letzten Jahre am „unteren Rand“ des Ensembles

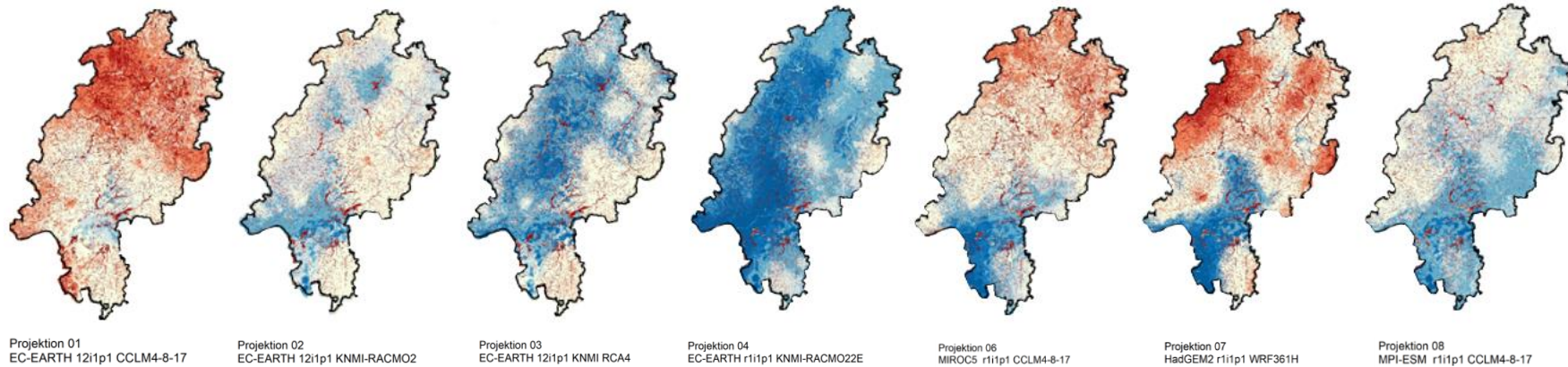
# Entwicklung der Grundwasserneubildung (Projektionen bis 2100)



- Aktuelle Entwicklung am „unteren Rand“ des Ensembles
- Klimasignal nicht eindeutig
- Es gibt sowohl Zu- wie auch Abnahmen
- Sehr große Bandbreite/Unsicherheit am Ende des Jahrhunderts

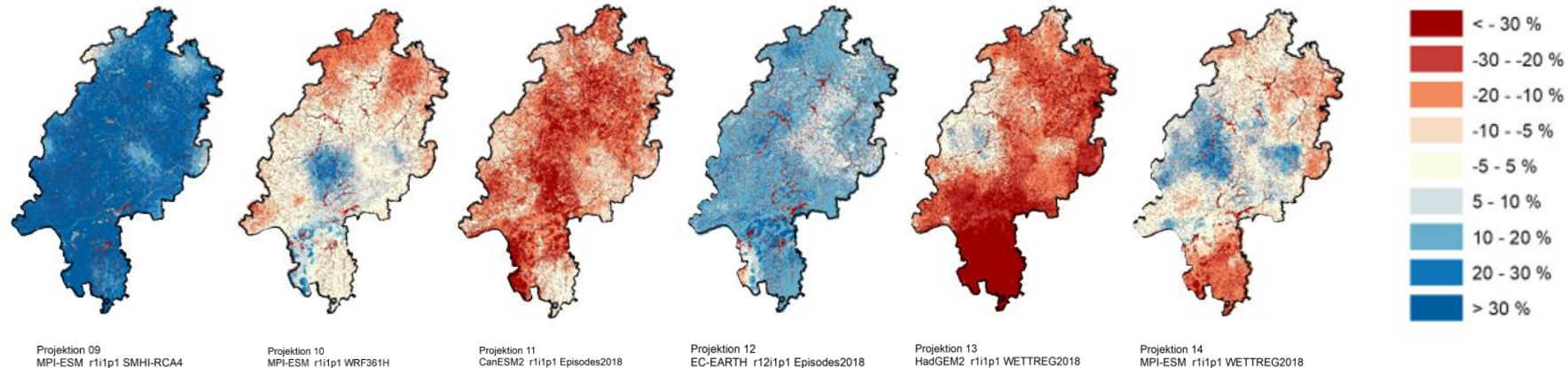
# Grundwasserneubildung – Änderungssignale (RCP 8.5)

Relative Änderung 2071-2100 (ferne Zukunft) gegenüber 1971-2000



Max: +32,1 %

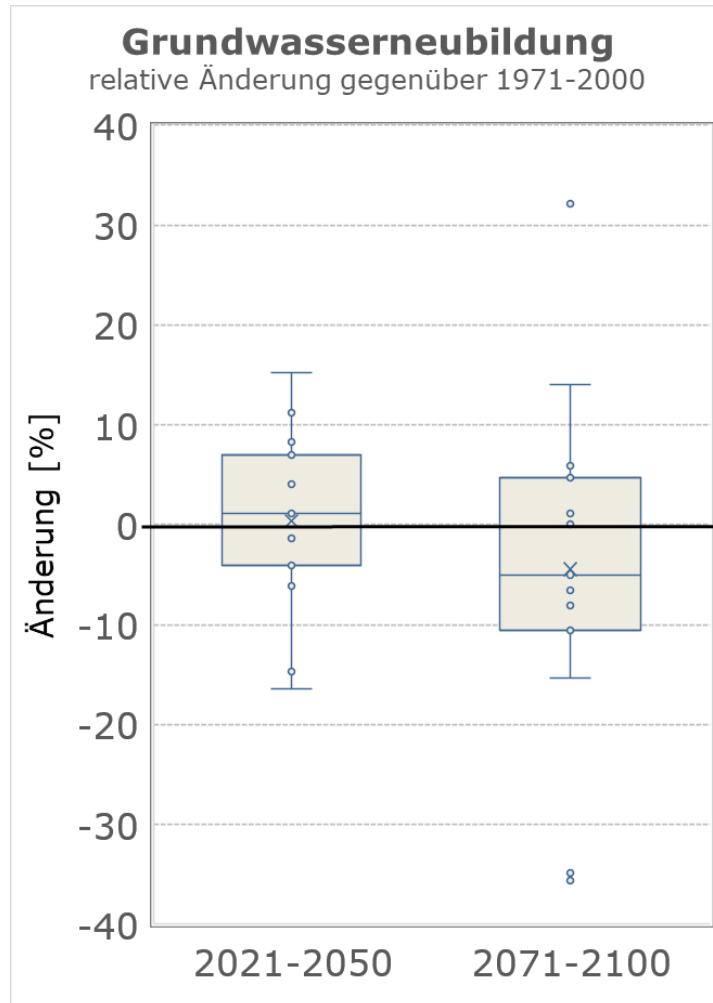
Min: -35,6 %



- Zum Teil deutliche regionale Unterschiede
- Maximale Bandbreite: -35,6 % bis +32,1 %
- Mittelwert: -4,5%

# Grundwasserneubildung – Änderungssignale (RCP 8.5)

Relative Änderung 2021-2050 (nahe Zukunft) und 2071-2100 (ferne Zukunft) gegenüber 1971-2000 (KLIWA Ist-Zustand)



	$d\text{Rel} [\%]$ 2021-2050	$d\text{Rel} [\%]$ 2071-2100
Min	-16,5	-35,6
Max	15,2	32,1
Mittel	0,4	-4,5
Median	1,1	-5,0

**Große Bandbreite / große Unsicherheiten**

**Kein** eindeutiger Trend

Mittelwert / Median des Ensembles weichen nur wenig vom Ist-Zustand ab

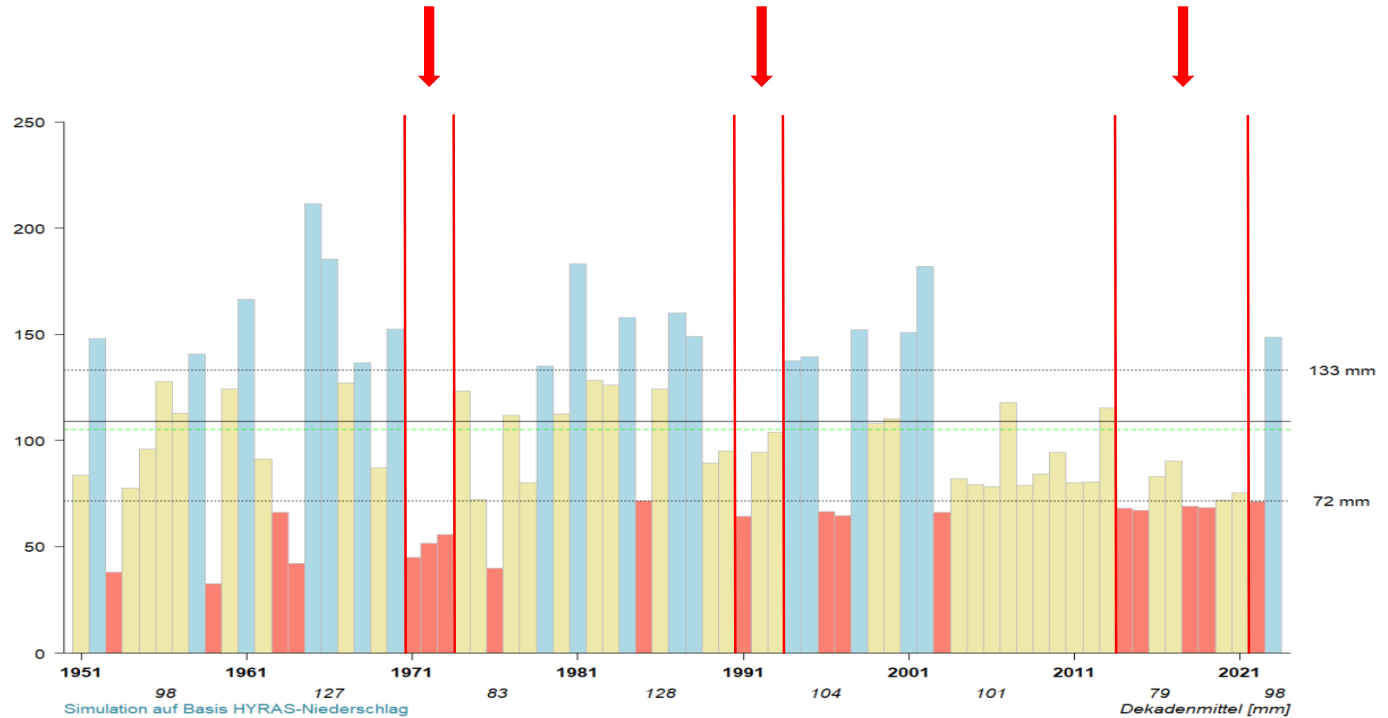
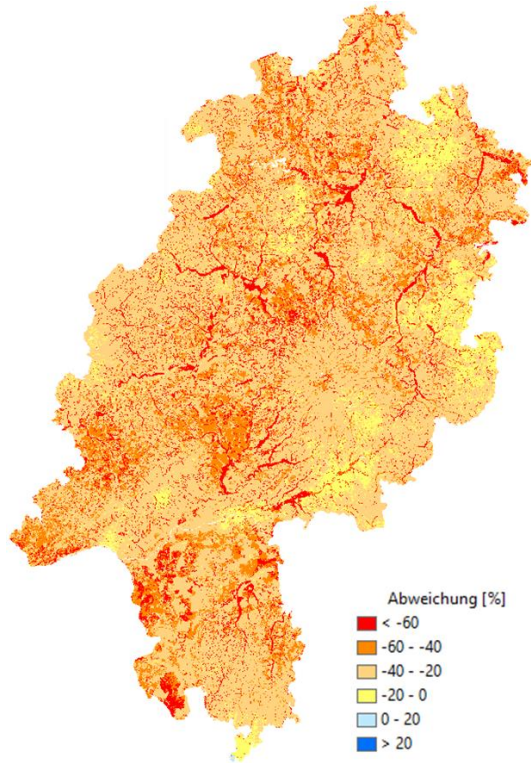
-> **Kein Grund zur Entwarnung!**

## Interpretation und Verwendung von Klimaprojektionen

- Es ist fachlich nicht vertretbar, auf der Grundlage des **Mittelwertes / Medians eines Ensembles** Entwarnung für die zukünftige Entwicklung der Grundwasserneubildung zu geben. Projektionen mit gegensätzlichen Änderungssignalen gleichen sich aus.
- Da die **Eintrittswahrscheinlichkeit** aller Projektionen gleich groß ist, sind die extremen Projektionen als realistische Entwicklungspfade anzusehen.
- Unter Berücksichtigung der letzten 20 Jahre (Reduktion der GWN um 28%) erscheint das **Worst Case Szenario** (Reduktion der GWN um 36 %) bei fortschreitendem Klimawandel durchaus realistisch.
- In Bezug auf die Trinkwasserversorgungssicherheit und das **Vorsorgeprinzip** spielt der „trockene Rand“ (= Worst Case Szenario) des Ensembles die entscheidende Rolle.

[https://www.kliwa.de/\\_download/Kopp%20et%20al.%20HyWa2-2018.pdf](https://www.kliwa.de/_download/Kopp%20et%20al.%20HyWa2-2018.pdf)

Worst Case - Szenario des KLIWA-Ensembles	GWN [mm/a]	Defizit [%]
Projektion 13: HadGEM2/WETTREG2018	65	-36
<b>Stresstest-Szenario</b>		
GWN 1971-1976		
GWN 1991-1993 Kombination aus Beobachtungsdaten	65	-36
GWN 2014-2021		



Das Änderungssignal der Kombination aus den Perioden 1971 – 1976, 1991 – 1993 und 2014 – 2021 entspricht genau dem des Worst Case – Szenarios des KLIWA-Ensembles

# Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser und die Wasserwirtschaft



- Größere **saisonale Schwankungen** der Grundwasserstände in Folge wärmerer und trockenerer Sommer und feuchterer Winter
- Anstieg des **Spitzenwasserbedarfs** in Folge wärmerer und trockenerer Sommer
- Gefährdung der **dezentralen Wasserversorgung** in Mittelgebirgsregionen, wenn diese auf Insel-Lösungen beruht
- Beeinträchtigung der **Rohwasserqualität** -> Temperaturzunahme, Trübung durch Starkniederschläge
- Weiter deutlich steigender **Bewässerungsbedarf** in der Landwirtschaft in Folge trockenerer und wärmerer Sommer sowie verlängerter Vegetationsperioden
- Ein erheblicher Mehrbedarf an Beregnungswasser kann zu einer direkten **Konkurrenzsituation** zwischen der Trinkwasserversorgung und landwirtschaftlicher Beregnung führen (-> **Nutzungskonflikte**)



# 5. Anpassungsmaßnahmen und Lösungsansätze



Im **Zukunftsplan Wasser** sind Anforderungen und Maßgaben formuliert, welche den vorsorgenden Schutz der Wasserressourcen, die langfristige Sicherung der Wasserversorgung sowie eine effiziente Wassernutzung zum Ziel haben:

- Förderung der Grundwasserneubildung durch Retention und Versickerung
- Speicherung und Nutzung von Niederschlagswasser
- Ausbau von blauer und grüner Infrastruktur
- Gewässer- und Auenrenaturierung,
- Grundwasseranreicherungen durch Infiltration
- Ausbau regionaler Verbundsysteme
- Substitution von Trinkwasser (z.B. Nutzung von Betriebswasser)
- Schutz des Grundwassers vor Schadstoffeinträgen

Weitere Infos: [https://hessen.de/sites/hessen.hessen.de/files/2022-10/zukunftsplan\\_wasser.pdf](https://hessen.de/sites/hessen.hessen.de/files/2022-10/zukunftsplan_wasser.pdf)

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

