



## Fortbildung im Umweltsektor

# 3. Wiesbadener Grundwassertag

## Klimawandel und Wasserhaushalt in Hessen – Beobachtungen und mögliche Veränderungen

20. September 2016

Wiesbaden

Mario Hergesell

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



# Inhalte

1. Einführung

2. Beobachteter Klimawandel

2.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

2.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

2.3 Temperatur von Grund- und Quellwässern

3. Mögliche Veränderungen in der Zukunft

4. Fazit



# Inhalte

## **1. Einführung**

## 2. Beobachteter Klimawandel

2.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

2.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

2.3 Temperatur von Grund- und Quellwässern

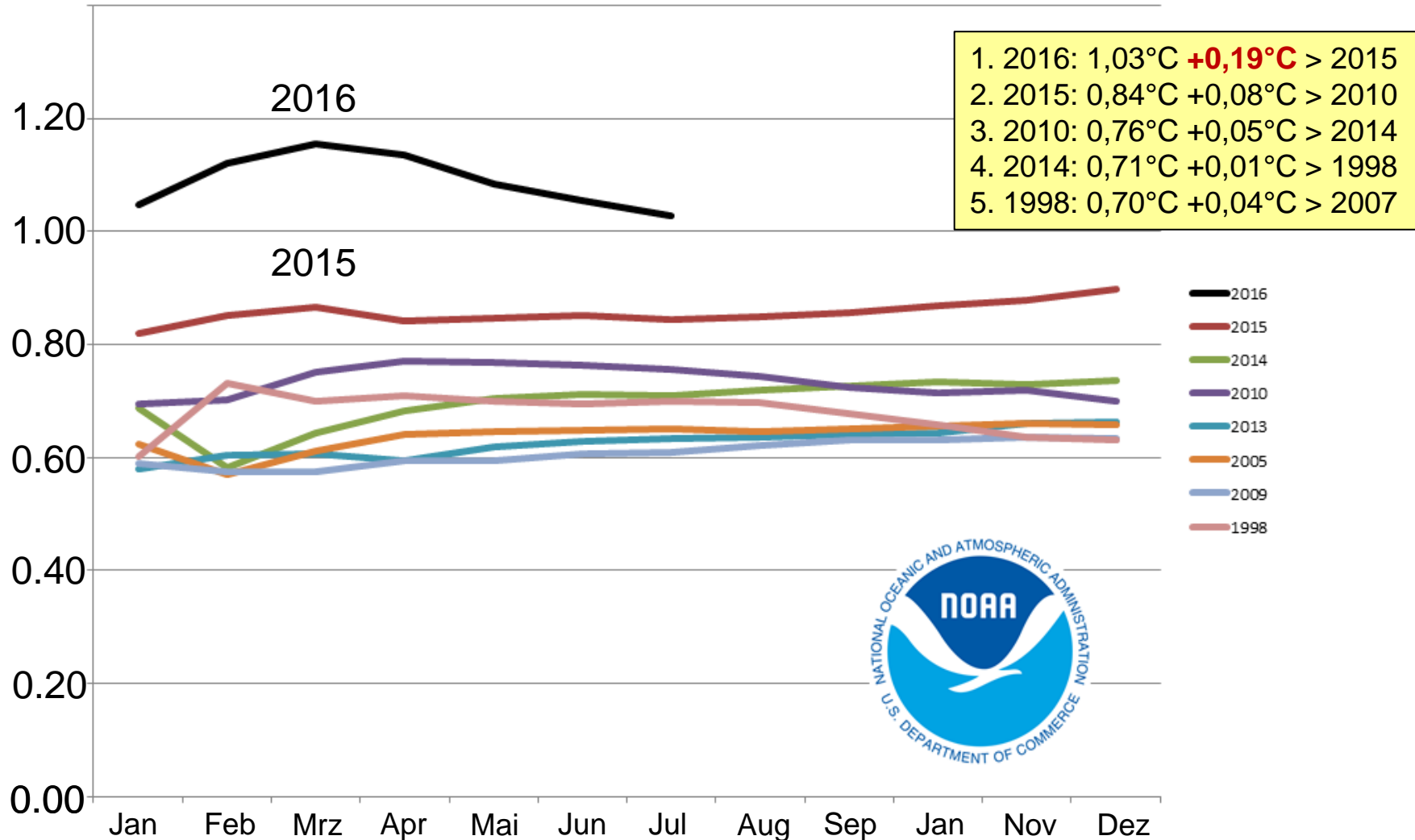
## 3. Mögliche Veränderungen in der Zukunft

## 4. Fazit

# Bisheriger globaler Temperaturverlauf im Jahr 2016

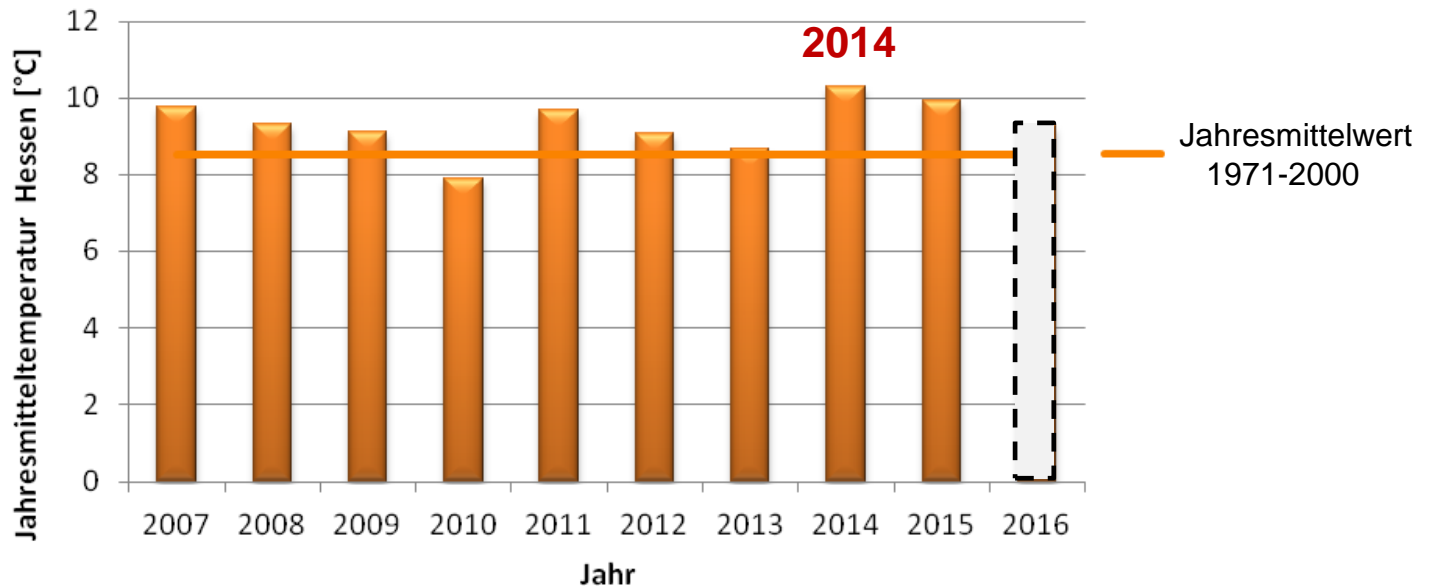
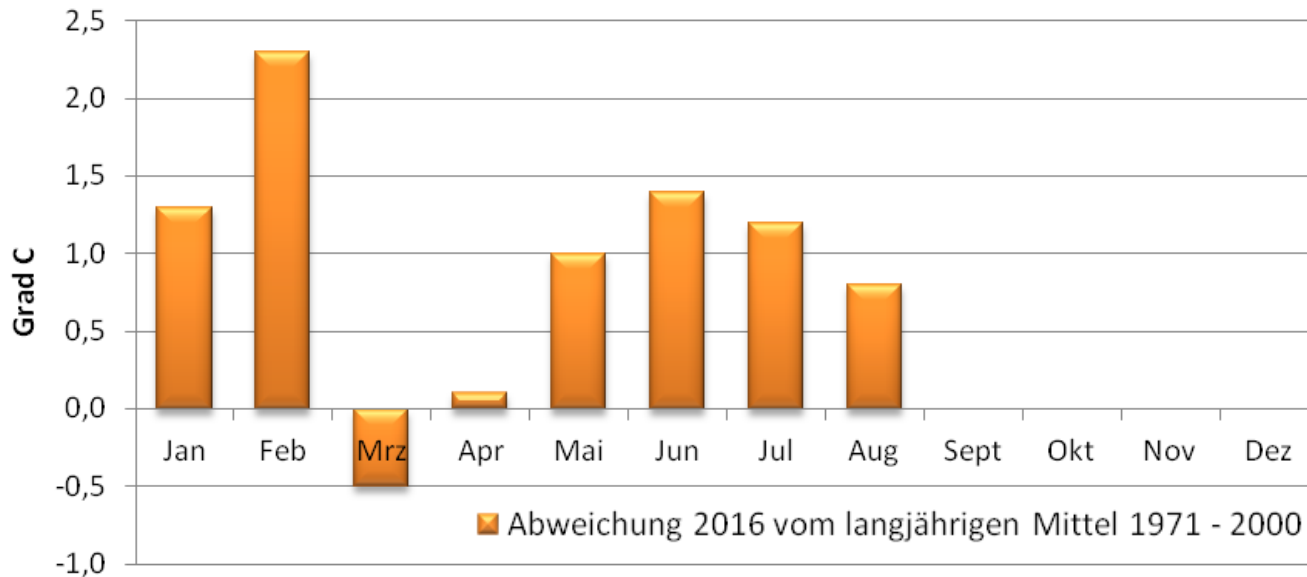
im Vergleich zu den bisher 7 wärmsten Jahren

Abweichung (°C) vom Durchschnitt 1901-2000



**2015 galt bisher global betrachtet als wärmstes Jahr seit Beginn der Klima-  
aufzeichnungen. 2016 scheint noch deutlich wärmer zu werden.**

# Bisheriger Temperaturverlauf in Hessen im Jahr 2016 im Vergleich zu 1971-2000 und den letzten 9 Jahren



1,8 °Grad mehr  
als langjährige  
Mitteltemperatur

etwa  
normaler  
Niederschlag

99 %  
des  
Mittels

97 % des  
mittleren  
Niederschlags

Witterung  
**2014**

mittlere  
Temperatur  
10,3 °C

1459  
Sonnen  
stunden

wärmstes  
Jahr seit  
1881

754 l/m<sup>2</sup>  
Niederschlag

1,4 °Grad mehr  
als langjährige  
Mitteltemperatur

zu trocken !

112 %  
des  
Mittels

79 % des  
mittleren  
Niederschlags

Witterung  
**2015**

mittlere  
Temperatur  
9,9 °C

1652  
Sonnen  
stunden

zweit-  
wärmstes !  
Jahr seit 1881

612 l/m<sup>2</sup>  
Niederschlag



# Inhalte

1. Einführung

## **2. Beobachteter Klimawandel**

### **2.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung**

2.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

2.3 Temperatur von Grund- und Quellwässern

3. Mögliche Veränderungen in der Zukunft

4. Fazit



# Wie wirkt sich der Klimawandel auf den Wasserhaushalt und das Grundwasser in Hessen aus?

In Hessen stammen 95% des Trinkwasser aus dem Grundwasser

Zentrale hydrogeologische Kenngröße: **Grundwasserneubildung (GWN)**

$$\text{GWN} = N - V - Q_D$$

mit

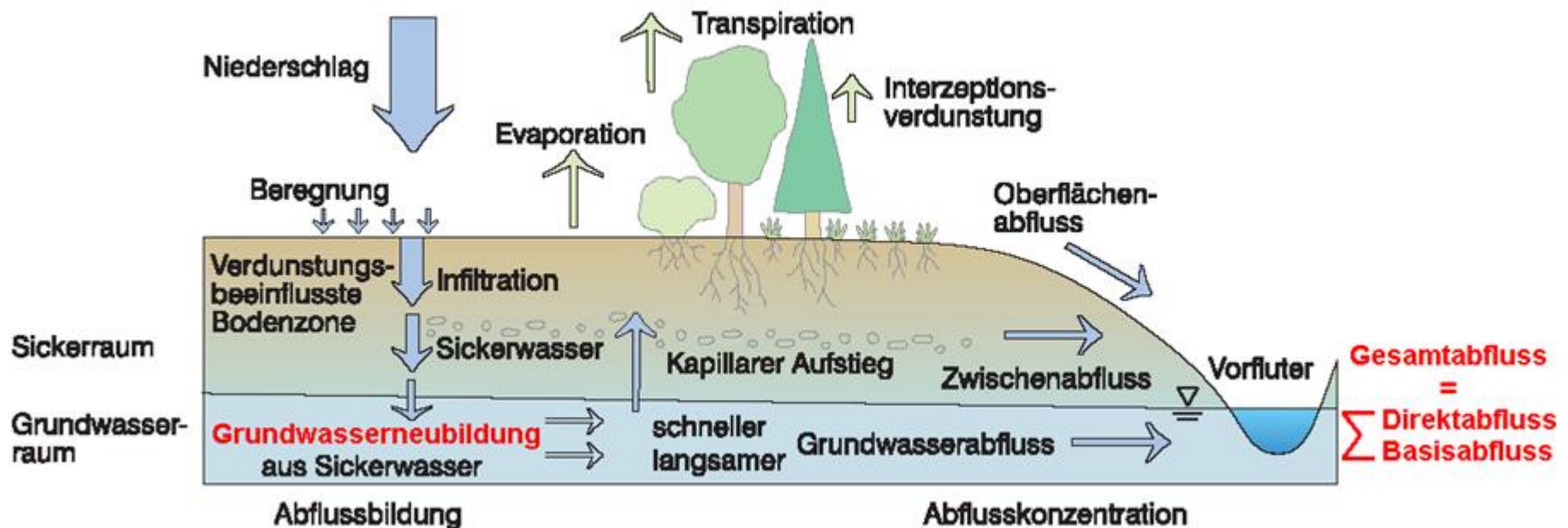
N = Niederschlag

V = Verdunstung

$Q_D$  = Direktabfluss

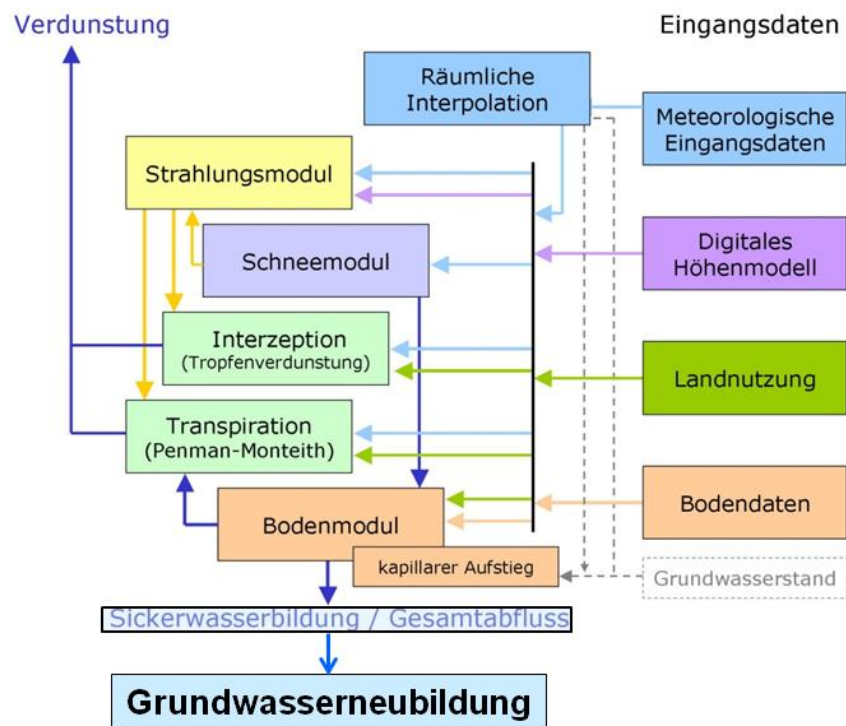
- *klimasensitiv*

- *räumlich* und *zeitlich variabel*



# Wasserhaushaltsmodellierung 1951-2015 mit **GWN-BW** (KLIWA)

## Ermittlung der aktuellen Verdunstung, Sickerwasserbildung bzw. Gesamtabfluss und der **Grundwasserneubildung**

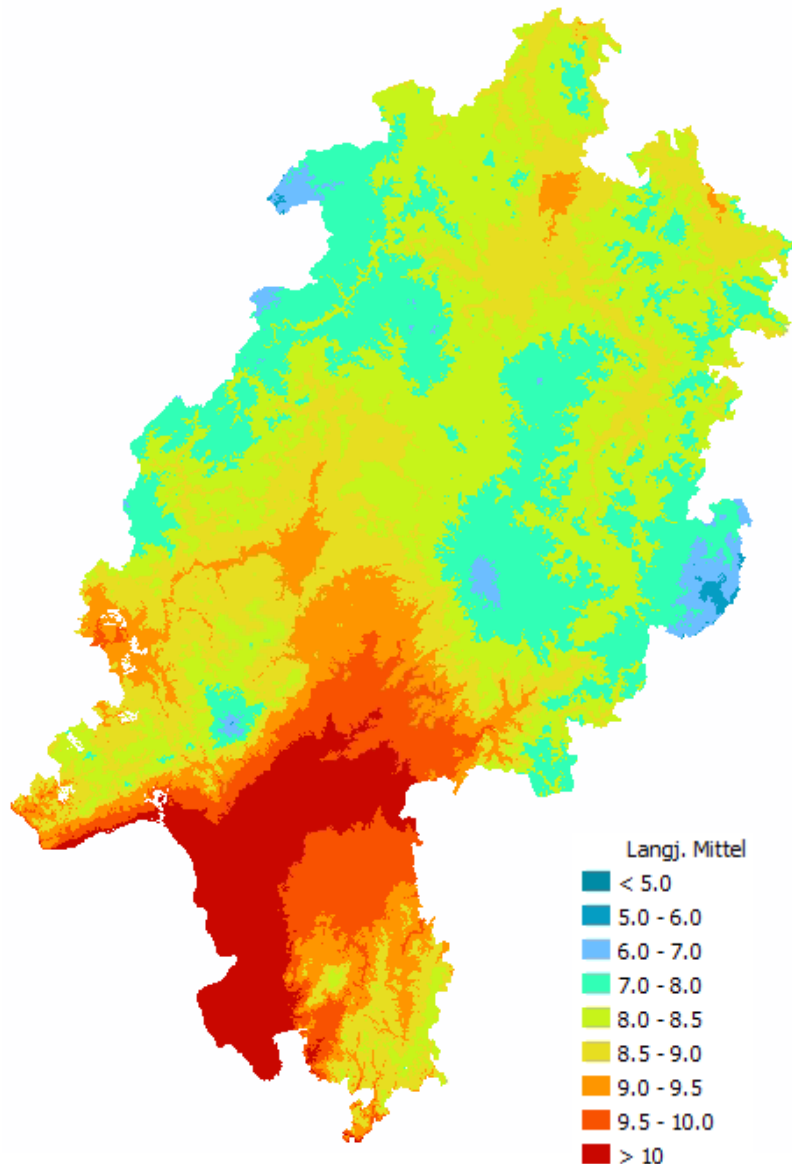


- Einheitliches Verfahren in den angrenzenden Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen)
- modular aufgebaut
- physikalisch basierte und konzeptionelle Prozessbeschreibung
- hohe zeitliche Auflösung -> Tageswerte
- räumliche Auflösung ist flexibel

### Ausgewählte Ergebnisse für Temp., Nied., Verd. und Gwneu.:

- langjähriges Mittel 1950-2010
- Langzeitrendverhalten
- jährliche und dekadische Variabilität
- jüngste Vergangenheit 2011-2015 und die Extremjahre 2014 und 2015

# Lufttemperatur



**Langjähriges Mittel 1951-2015: 8,5 °C**

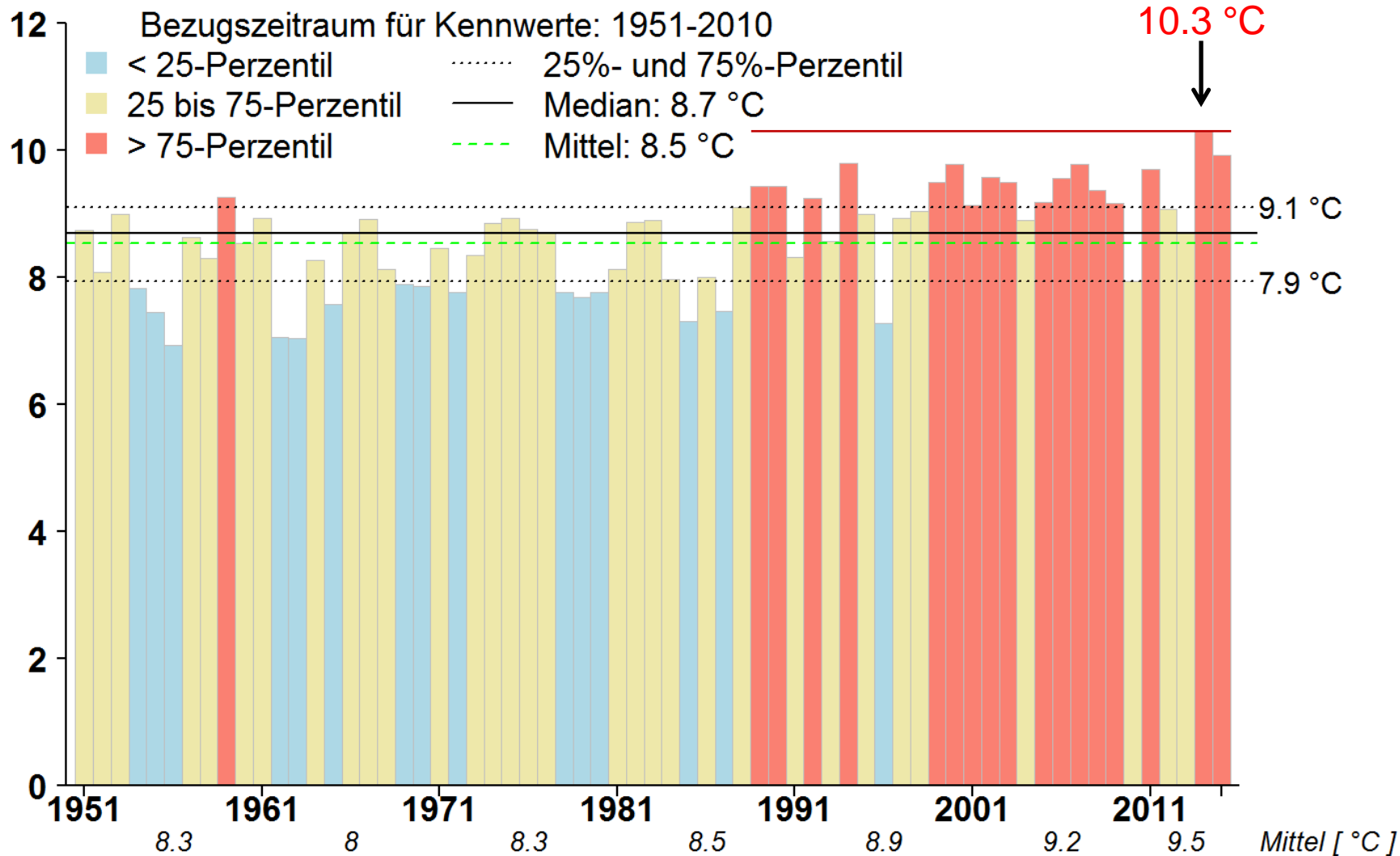
Beeinflusst maßgeblich die Verdunstung und damit auch das Niederschlagsgeschehen

Mit dem Anstieg der mittleren Lufttemperatur nimmt im Allgemeinen auch die Verdunstungsrate zu und weniger Wasser verbleibt für oberflächennahen Abfluss und Grundwasserneubildung.

Deutlicher Zusammenhang mit der Höhe

# Entwicklung der jährlichen Lufttemperatur in Hessen 1951-2015

Signifikante Erwärmung ab dem Jahr 1988 (Temperatursprung)



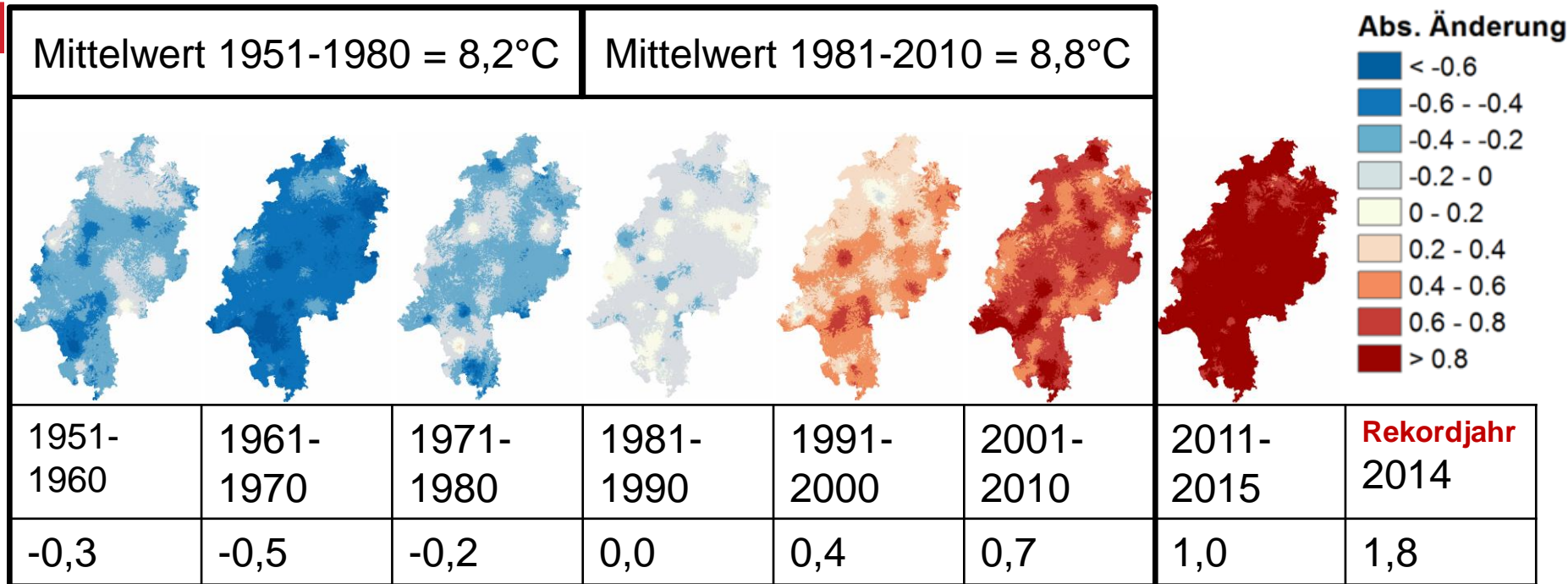
# Lufttemperatur

## Absolute Änderung gegenüber der Periode 1951-2010 [°C]

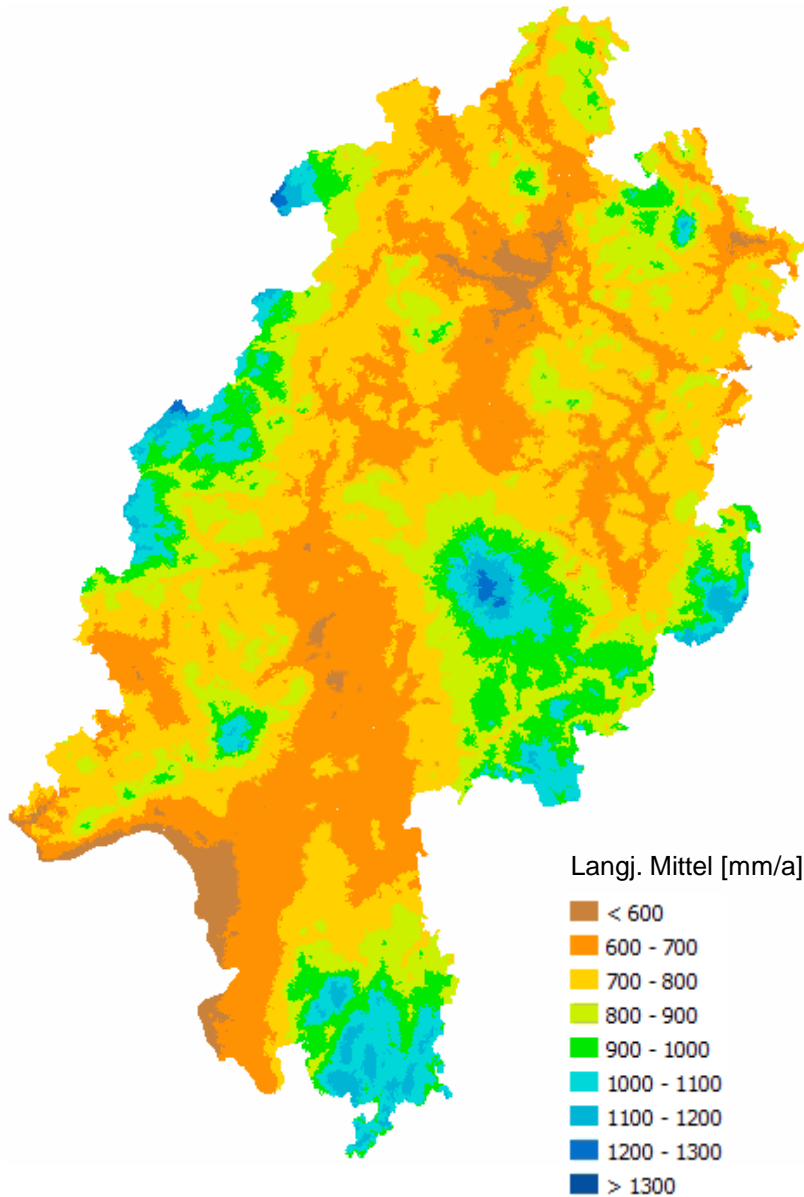
Geringe dekadische Variabilität, klarer Trend erkennbar

Weitestgehend gleichförmiges Verhalten mit geringen regionalen Unterschieden

Änderung 1981-2010 gegenüber 1951-1980: + 0,8



# Niederschlag



**Langjähriges Mittel 1951-2015: 779 mm/a**  
(unkorrigierter Niederschlag)

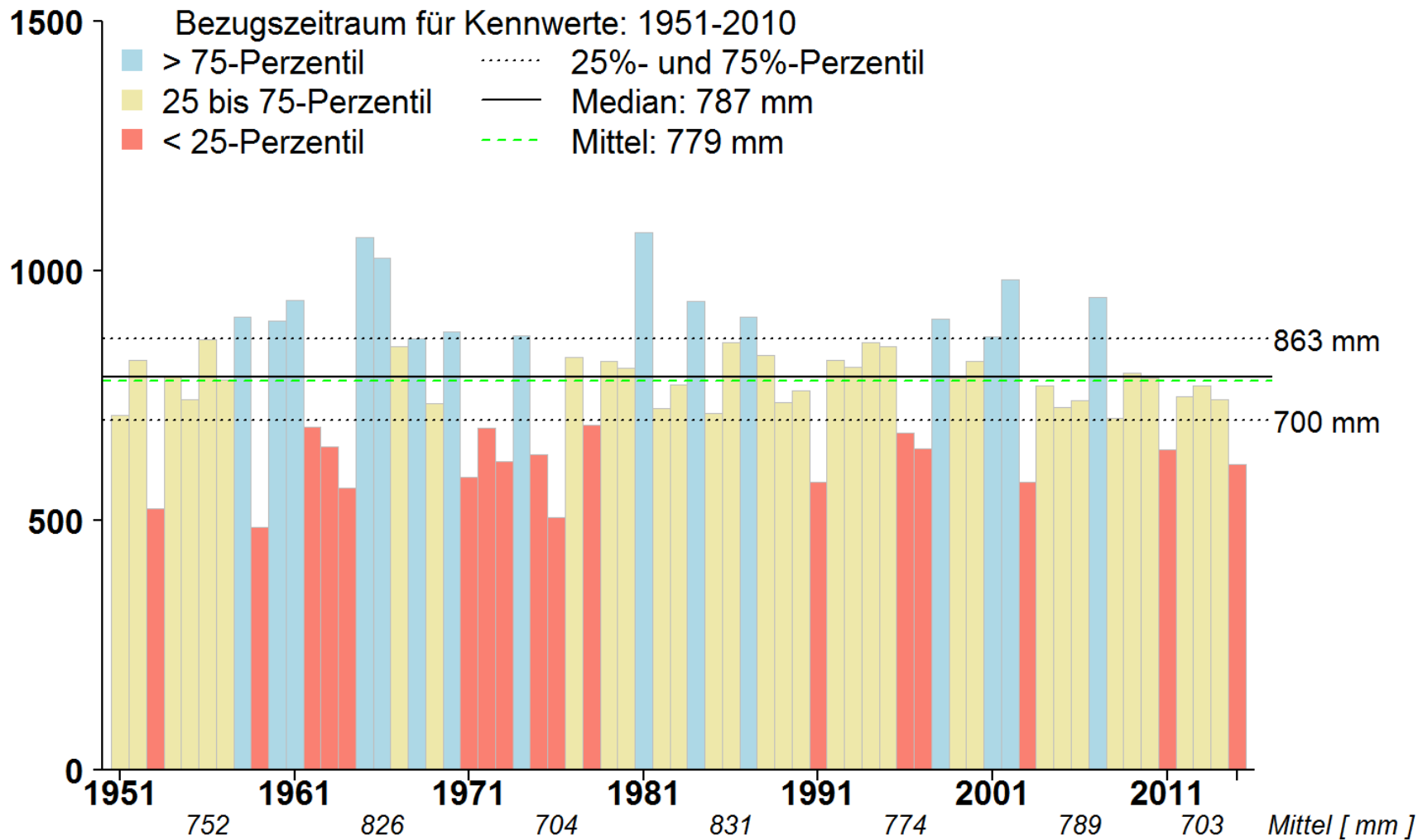
Zentrale Wasserhaushaltsgröße für zahlreiche natürliche Prozesse (z.B. Verdunstung, Abfluss, Grundwasserneubildung)

Mit Abstand wichtigste Einflussgröße für die Grundwasserneubildung (Winterniederschlag)

Niederschlag kann räumlich sehr stark variieren ( z.B. Sommerliche Gewitter)

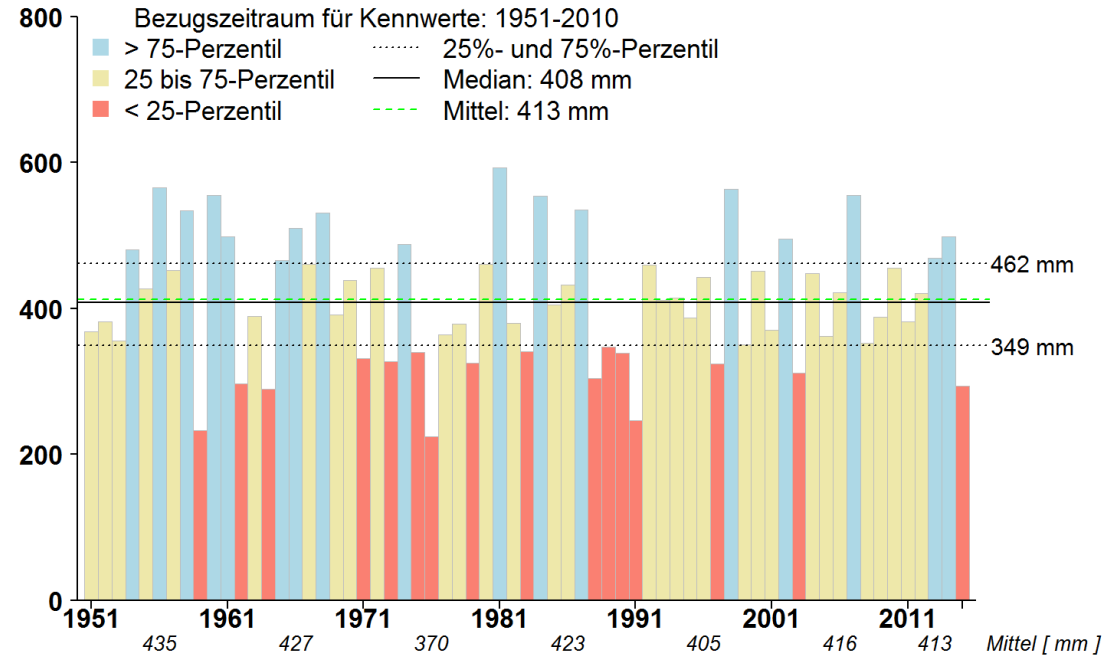
Nicht ganz so deutlicher Zusammenhang mit der Höhe wie bei Temperatur (wegen Luv- und Lee-Effekten, Konvektion)

# Entwicklung des jährlichen Niederschlags in Hessen 1951-2015

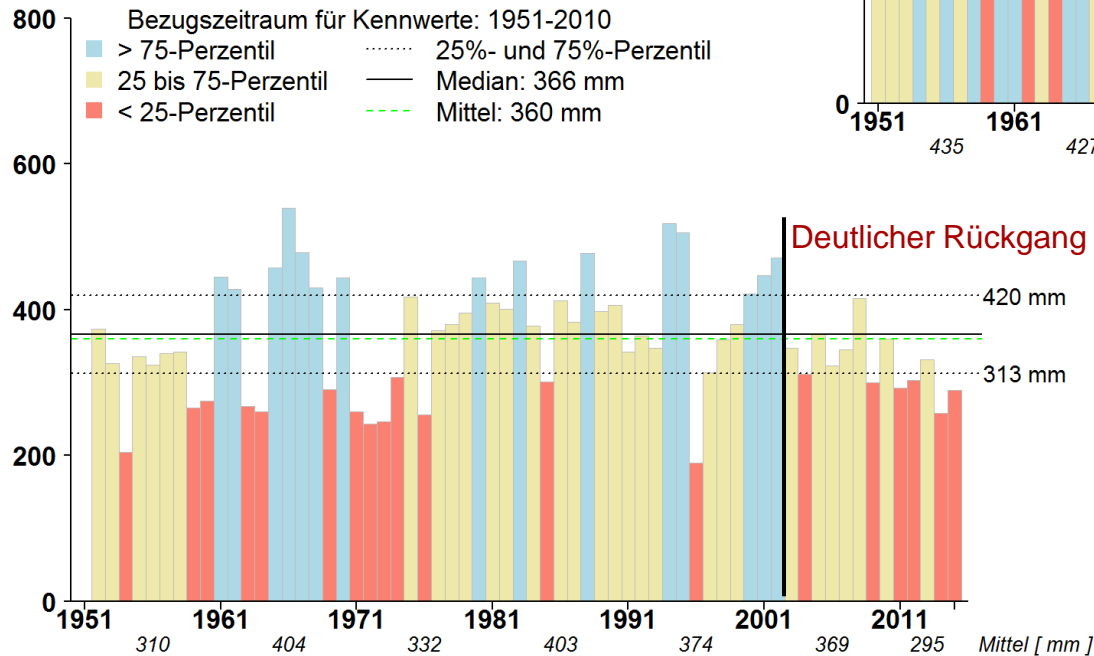


# Entwicklung des Sommer- und Winterniederschlags 1951-2015

## Hydrologisches Sommerhalbjahr



## Hydrologisches Winterhalbjahr





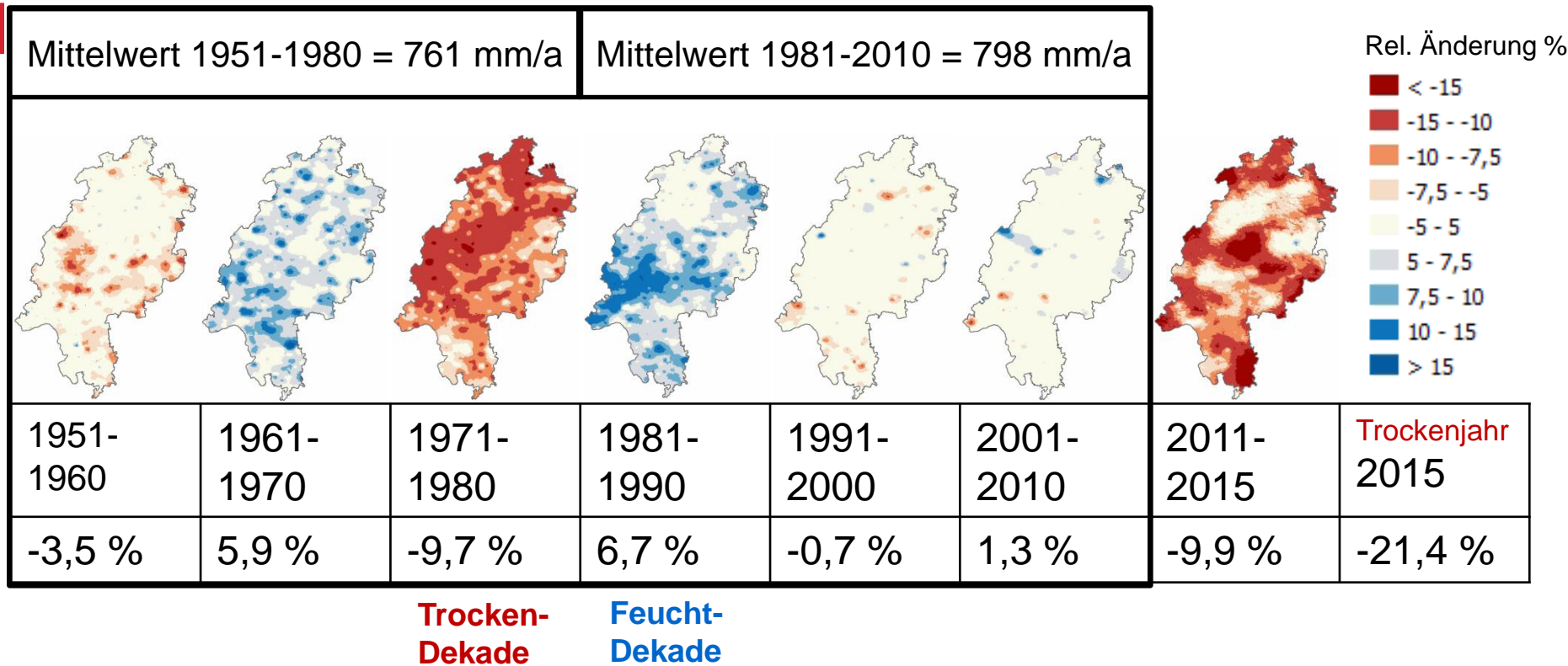
# Jahresniederschlag

## Relative Änderung gegenüber der Periode 1951-2010

Dekadische Variabilität: Unterschied zwischen Trocken und Nassdekade 16%

Jährliche Variabilität: Unterschied zwischen Nassjahr 2002 und Trockenjahr 2003: 42%

Änderung 1981-2010 gegenüber 1951-1980: + 4,9 %



# Tatsächliche Verdunstung

**Langjähriges Mittel 1951-2015: 521 mm/a**

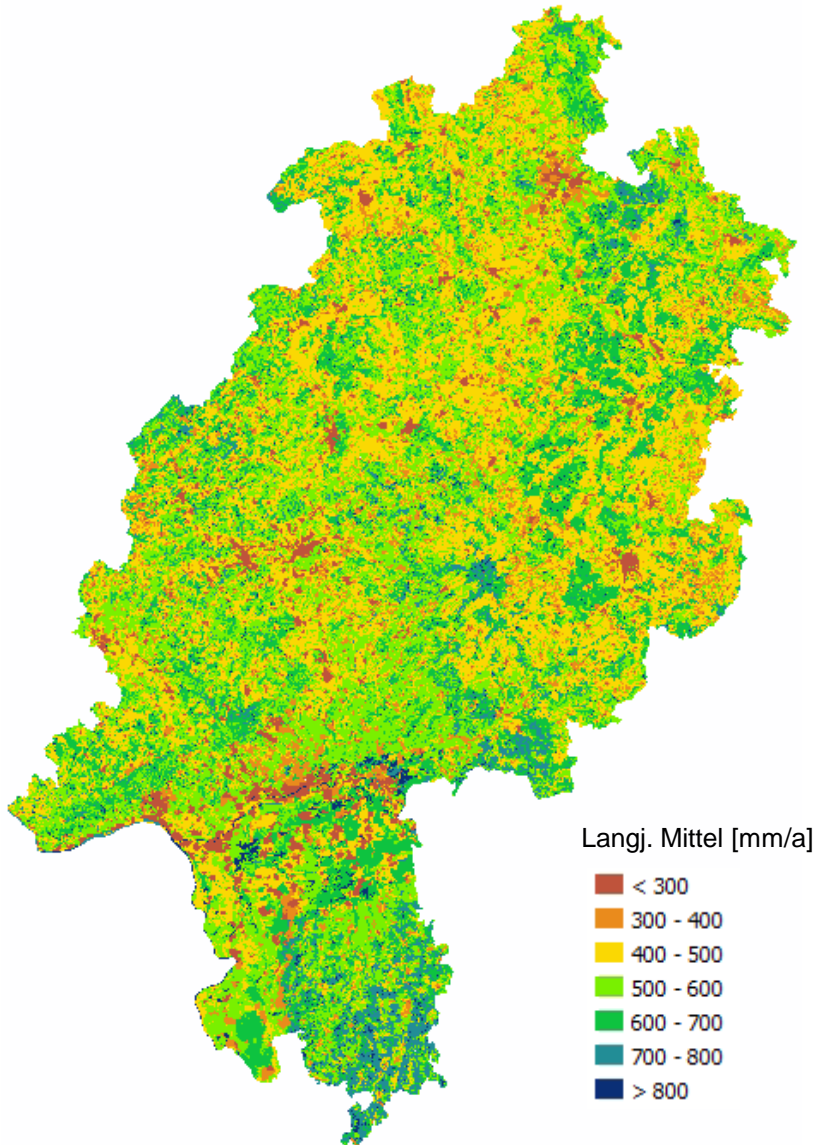
Wichtigste Verlustgröße der Wasserbilanz

In Hessen verdunsten rd. 1/3 des Niederschlags, so dass nur noch 1/3 für die oberirdischen (Direktabfluss) und unterirdischen (Grundwasser Neubildung) Abflusskomponenten verbleiben

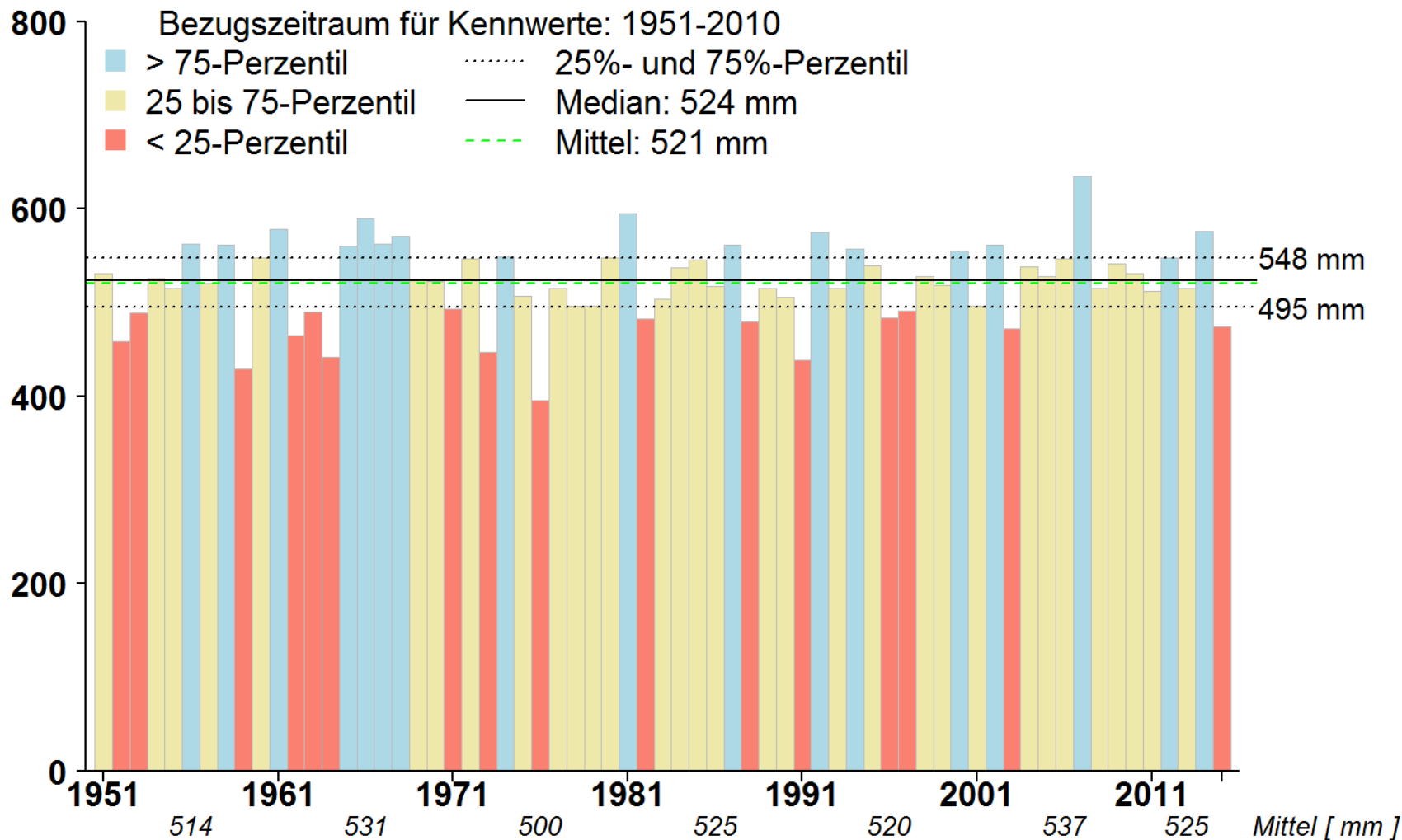
Abhängig von Temperatur, Niederschlag, Landnutzung und Bodeneigenschaften

Wasserverfügbarkeit (Niederschlag, Bodenwassergehalt) stellt limitierenden Faktor für die tatsächliche Verdunstung dar

Temperaturbedingt im Sommer sehr viel höher als im Winter

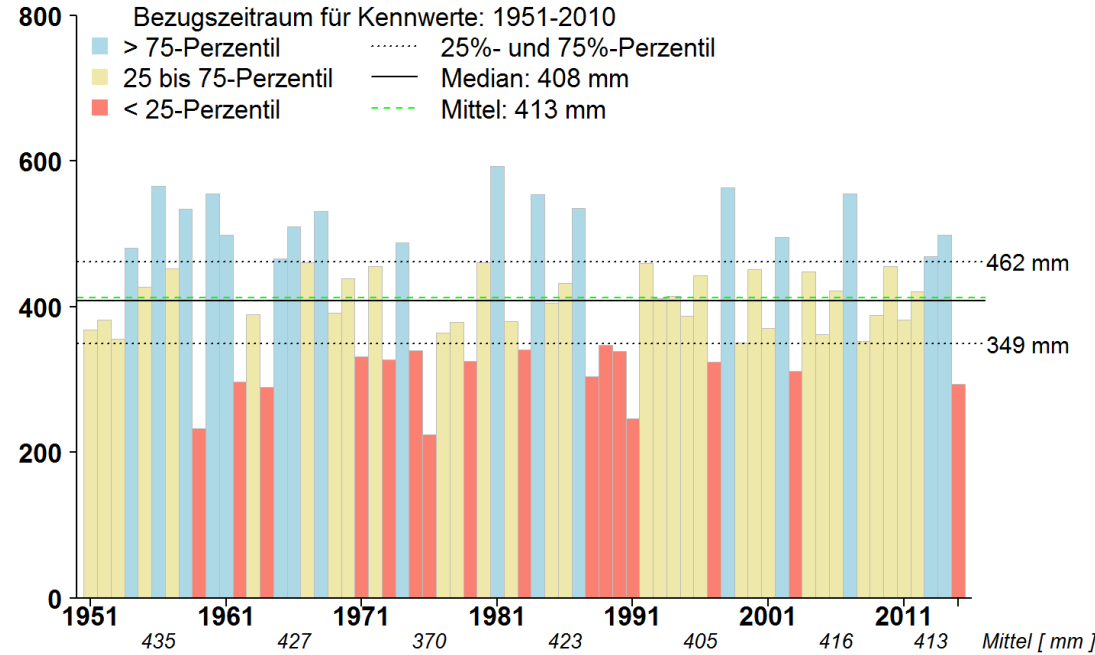


# Entwicklung der tatsächlichen Verdunstung in Hessen 1951-2015

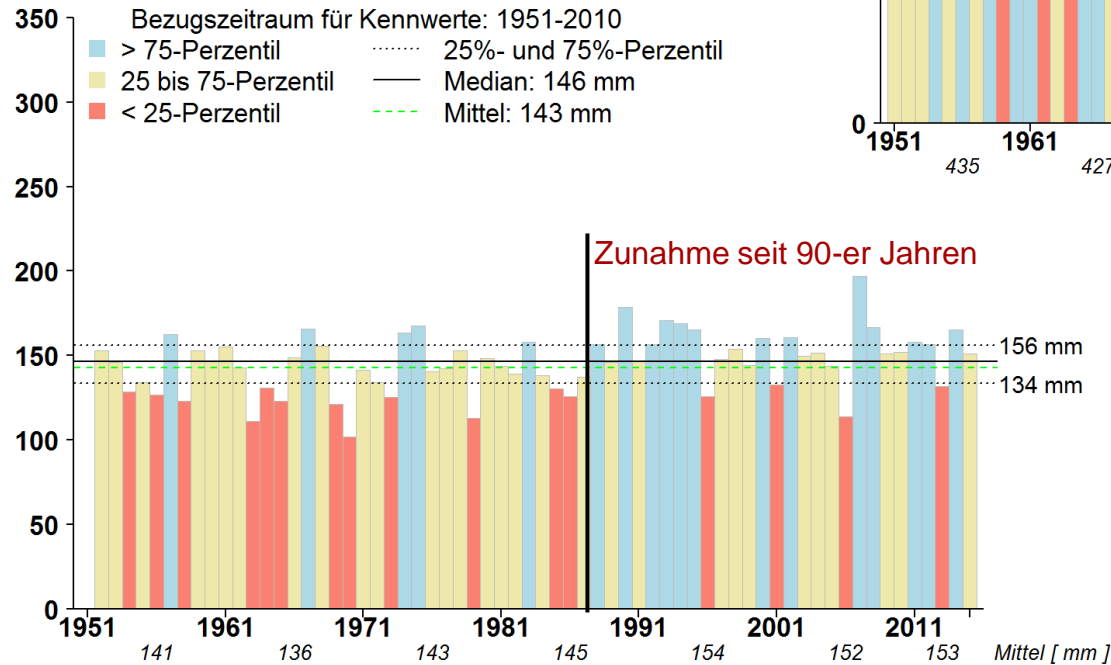


# Entwicklung der Verdunstung im Winter- und Sommer 1951-2015

## Hydrologisches Sommerhalbjahr



## Hydrologisches Winterhalbjahr

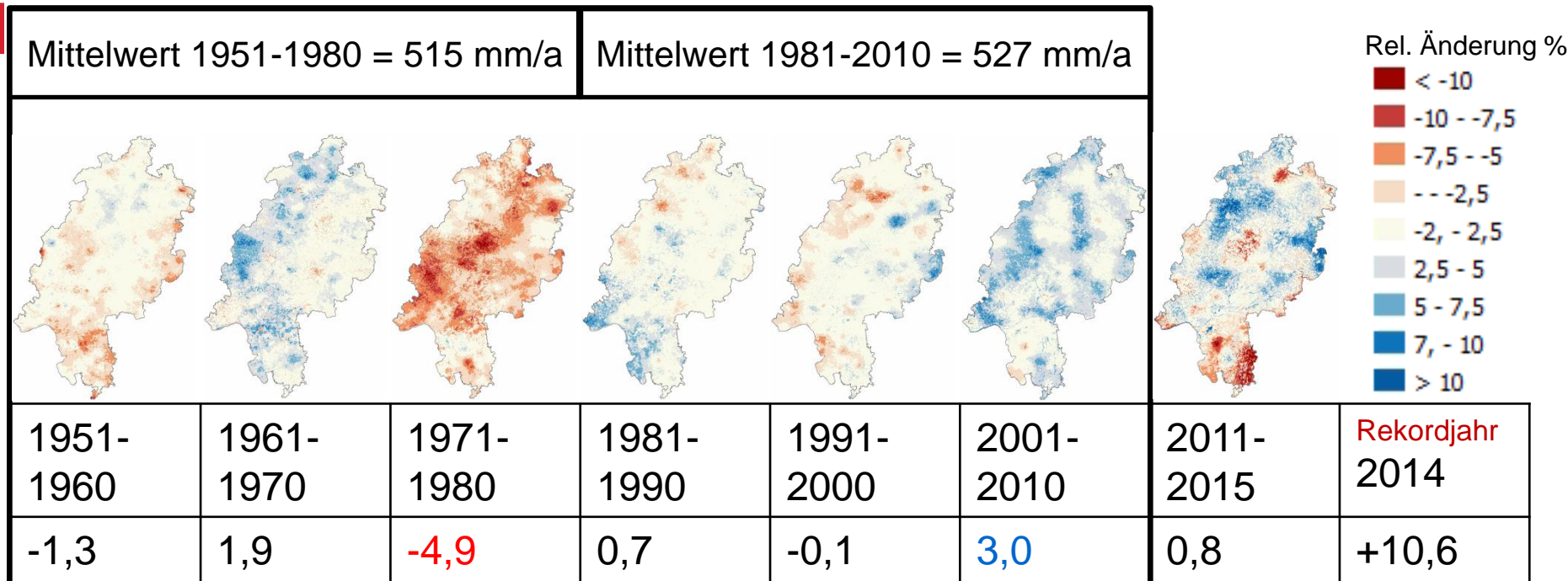


# Tatsächliche Verdunstung

## Relative Änderung gegenüber der Periode 1951-2010

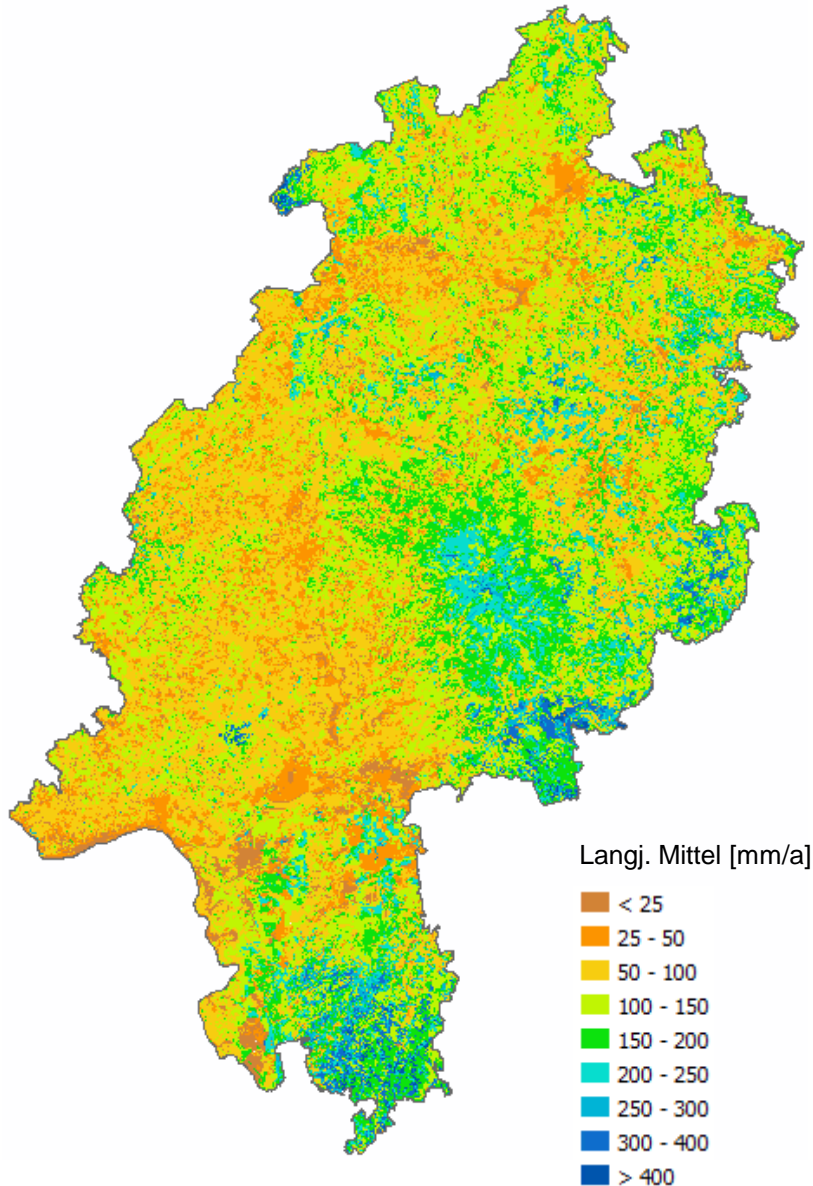
Relativ geringe Variabilität zwischen den einzelnen Dekaden  
Regionale Unterschiede (unterschiedliches Vorzeichen)

Änderung 1981-2010 gegenüber 1951-1980: + 2,3 %





# Grundwasserneubildung



**Langjähriges Mittel 1951-2015: 109 mm/a**

Nach unten gerichteter abflusswirksamer Niederschlagsanteil (Restglied der Wasserbilanz)

Findet i.d.R. überwiegend im Winterhalbjahr statt

Maßgebliche Größe für die natürliche Regenerationsfähigkeit des Grundwasserdargebots

Wasserwirtschaftlich bedeutsame Größe (Wasserrechtsverfahren, WSG-Verfahren, nachhaltige Nutzung)

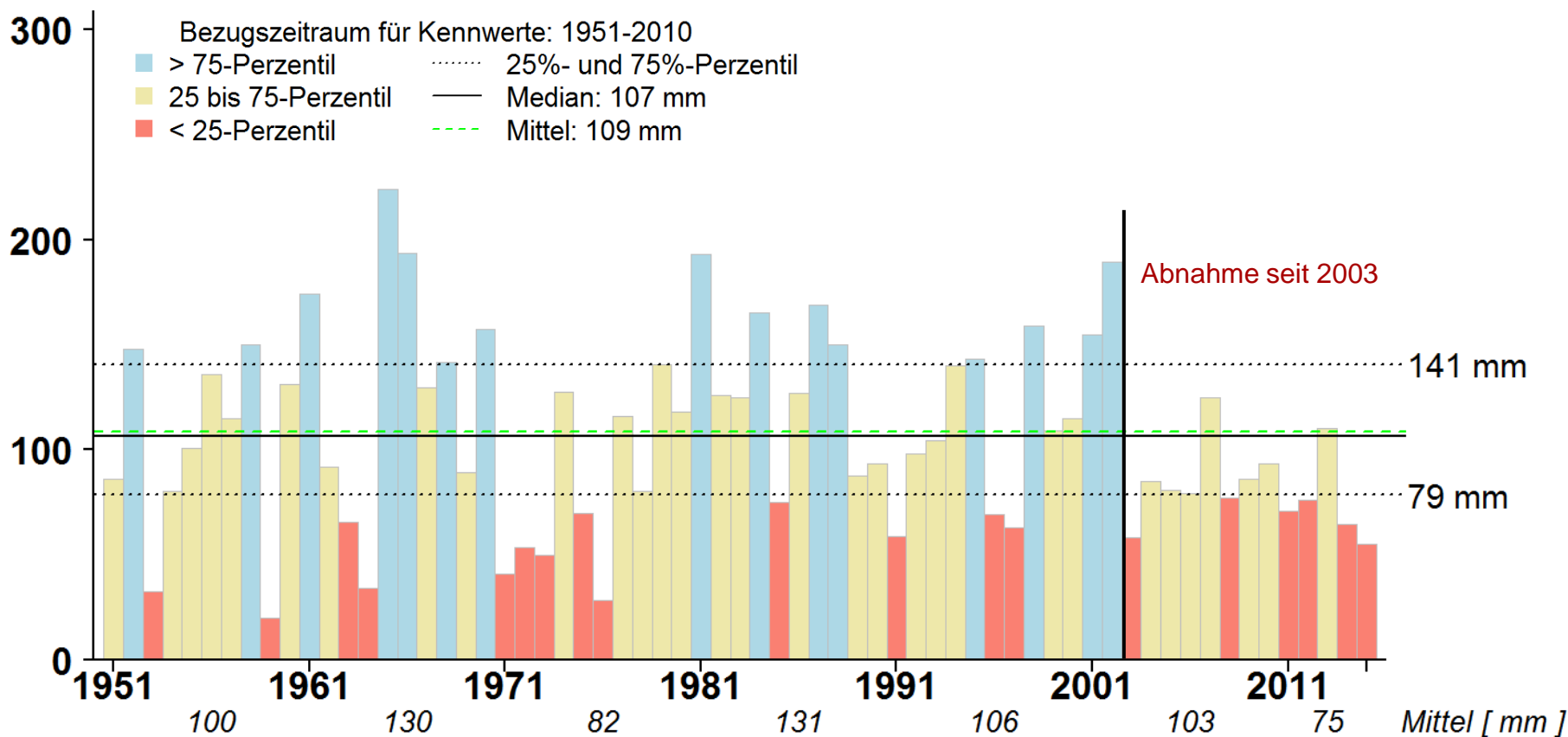
Derzeit wird hessenweit jährlich rd. 5-fach mehr Grundwasser neu gebildet als gefördert!

Große räumliche Variabilität (resultiert aus Überlagerung der Verteilung aller anderen Einflussgrößen)

Niederschlag ist die mit Abstand sensitivste Einflussgröße

Entscheidend für Grundwasserstandsentwicklung

# Entwicklung der Grundwasserneubildung in Hessen 1951-2015



Bis 2003 extreme Jahr zu Jahr Variabilität (Differenz von 180 % zwischen 1959 und 1965)

Seit 2003 meist unterhalb des Mittelwertes

Seit 2003 deutlich geringere Jahr-zu-Jahr Variabilität, keine Nassjahre mehr, Abnahme der Extreme

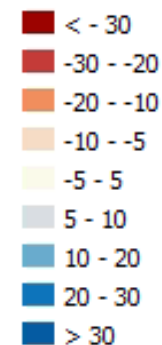
Seit 2010 signifikante Tendenz zu sinkender GWN-Raten

# Grundwasserneubildung

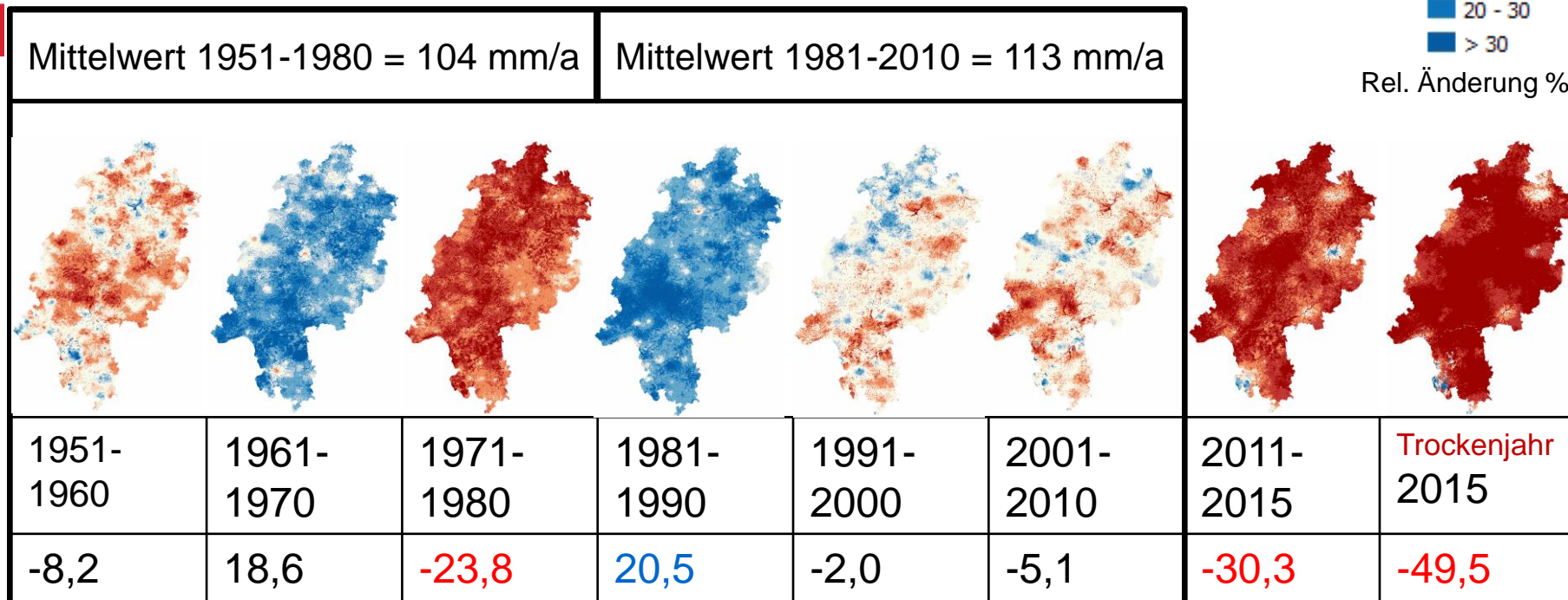
## Relative Änderung gegenüber der Periode 1951-2010

Sehr große Variabilität zwischen den einzelnen Dekaden  
rd. 44 % Differenz zwischen 1971-1980 und 1981-1990

Änderung 1981-2010 gegenüber 1951-1980: + 8,7 %



Rel. Änderung %



**Trocken-**  
**Dekade**

**Feucht-**  
**Dekade**





# Inhalte

1. Einführung

2. Beobachteter Klimawandel

2.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

**2.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen**

2.3 Temperatur von Grund- und Quellwässern

3. Mögliche Veränderungen in der Zukunft

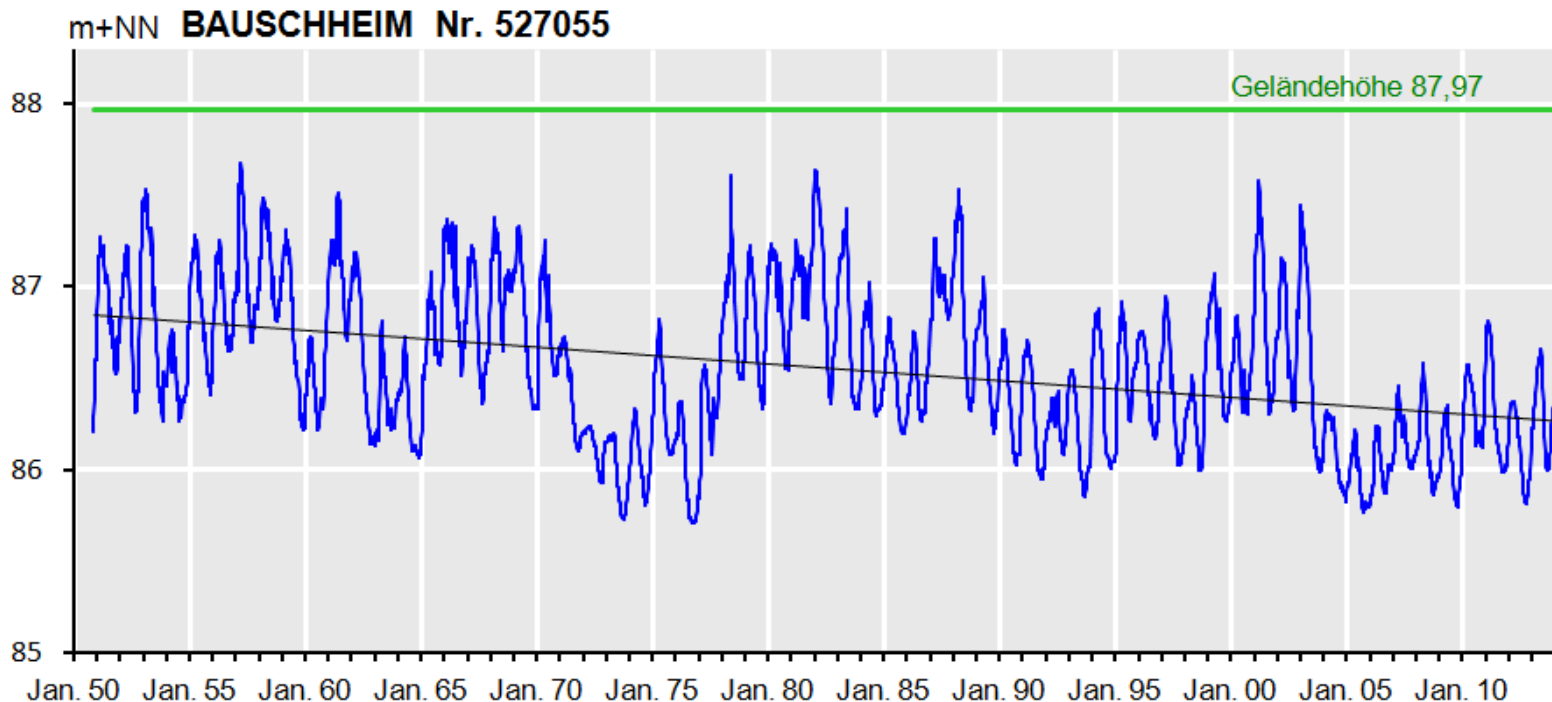
4. Fazit

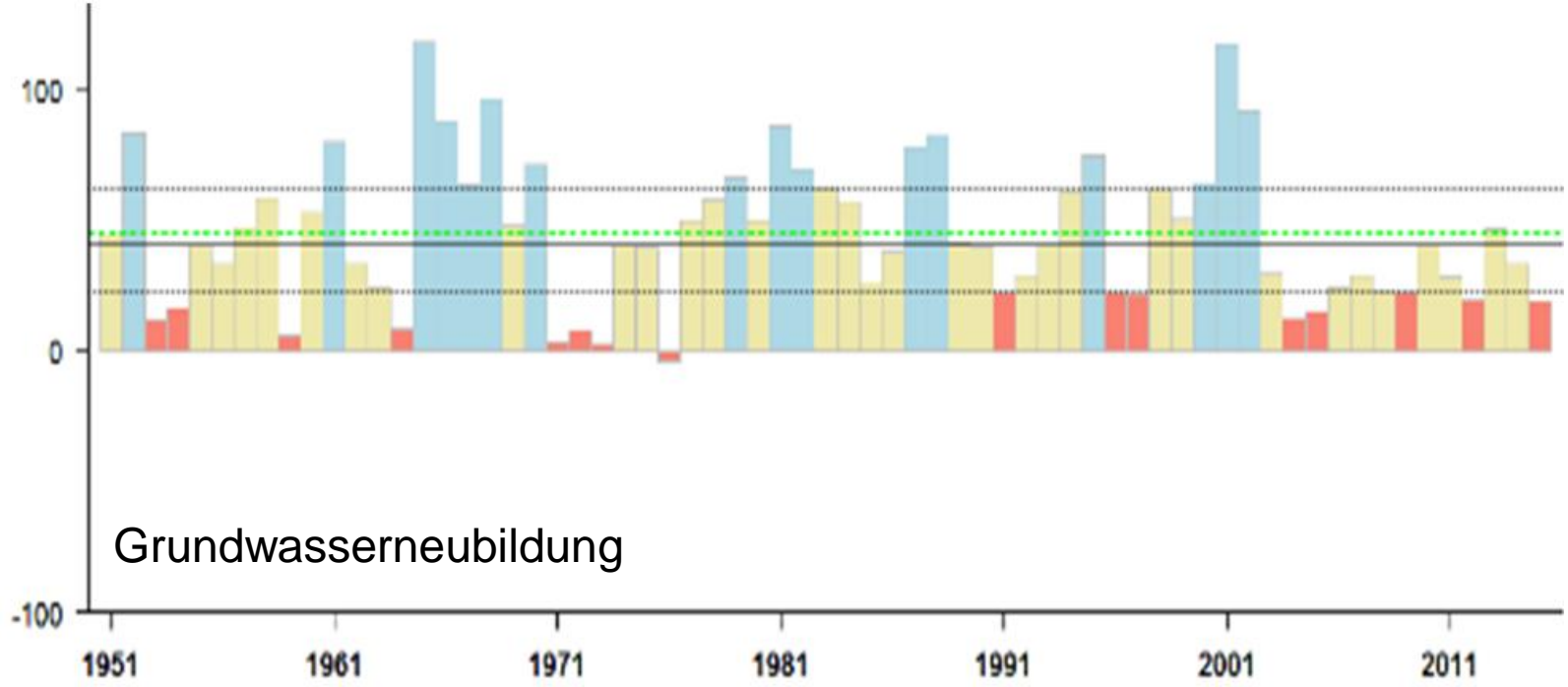
# 1.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

Die **Schwankungen des Grundwasserstandes und der Quellschüttungen** sind ein sichtbarer Ausdruck für die Vorratsänderung im Grundwasserleiter. Die Schwankungen sind geprägt durch die Höhe der **Grundwasserneubildung**.

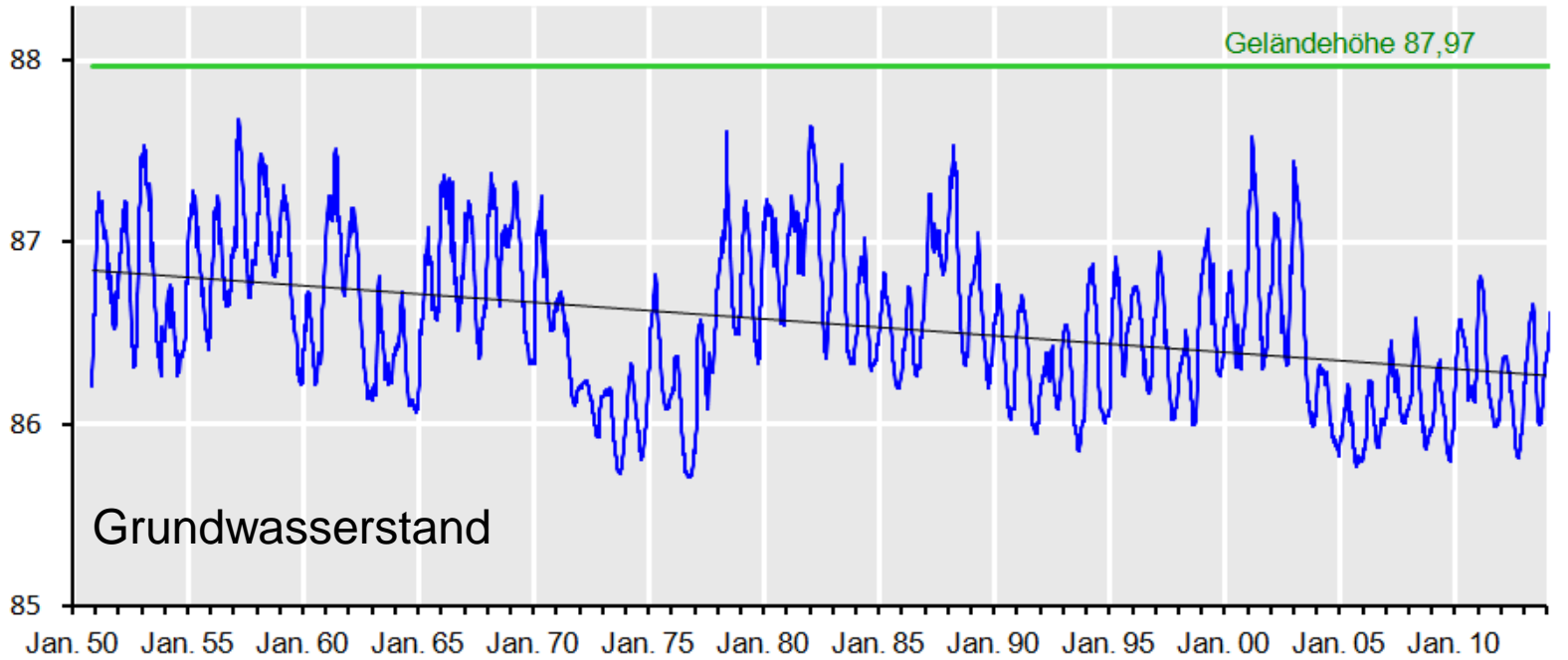
Die Entwicklung der Grundwasserstände und Quellschüttungen resultiert aus der **Überlagerung** von:

- Jahreszeitlichen Schwankungen**
- Periodischen Schwankungen**
- Langfristigen Trends**





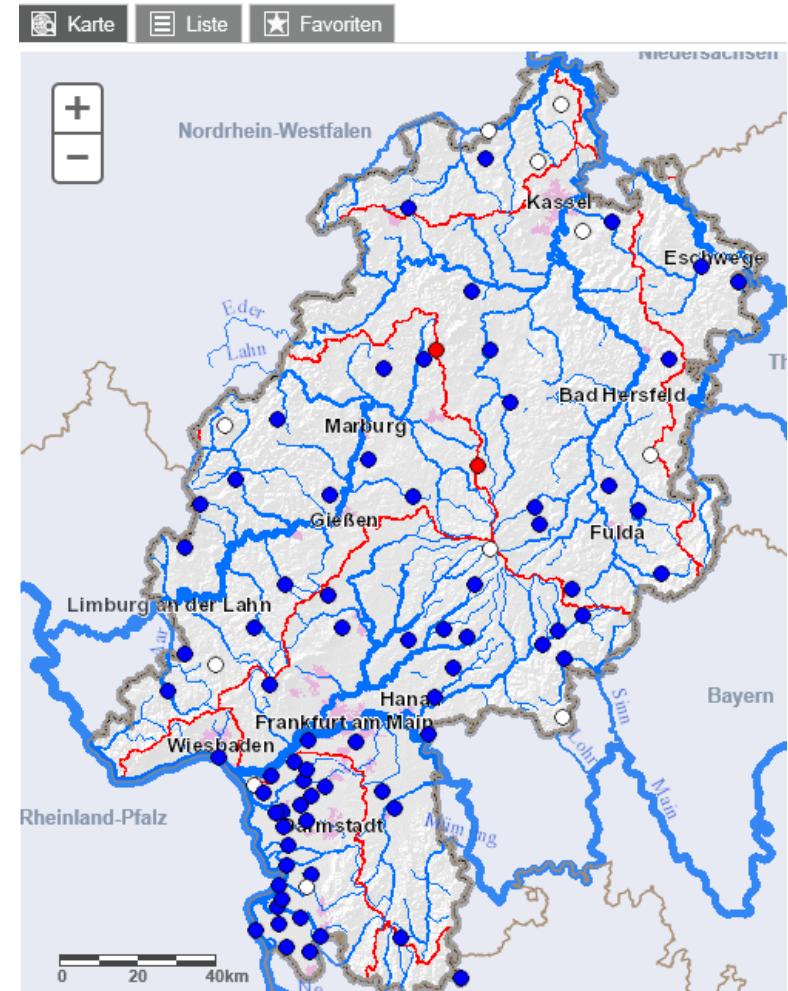
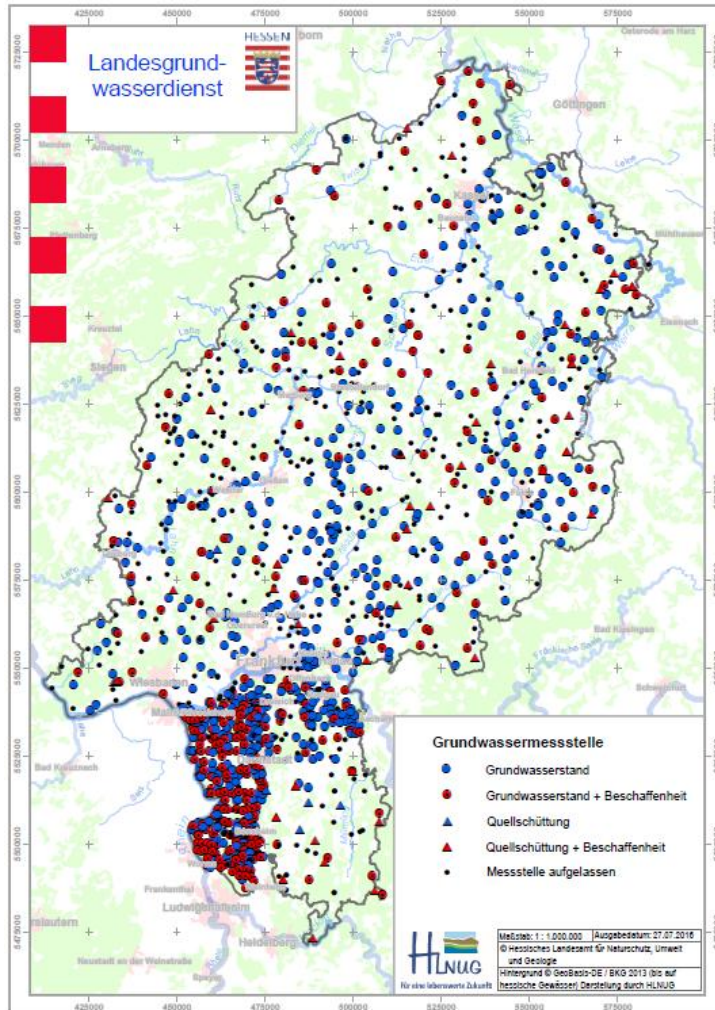
m+NN **BAUSCHHEIM Nr. 527055**



# Messnetz des Landesgrundwasserdienstes

920 Messstellen (873 GWM 47 Q)  
Messdaten z.T. seit mehr als 100 Jahren  
-> Langzeitbeobachtungen

87 Messstellen mit DFÜ  
mit täglichen Messungen  
-> Aktuelle Werte im Internet





# Enorme Niederschlagsmengen im Juni 2016

Matschkrise statt Rekordernte

## Regen lässt Erdbeeren verfaulen

Aktualisiert am 10.06.16 um 17:22 Uhr

REGEN IN FRANKFURT

15. JUNI 2016

## Kleingärten unter Wasser

Von BORIS SCHLEPPER



Nur mit Gummistiefeln kommt Renate Erb in die Anlage. Foto: peter-juelich.com



Erdbeerernte Bild © picture-alliance/dpa

25.06.2016

Landwirte klagen über schlechtes Wetter

## Bis zu 30 Prozent Verlust

Am gestrigen Freitag endeten die Spargeltage Gerauer Land und somit auch die Saison für das königliche Gemüse. Landwirte aus dem Kreis sprechen von erheblichen Verlusten bei der diesjährigen Ernte.

KREIS GROß-GERAU

20. JUNI 2016

## „Unsere Flächen bleiben nass“



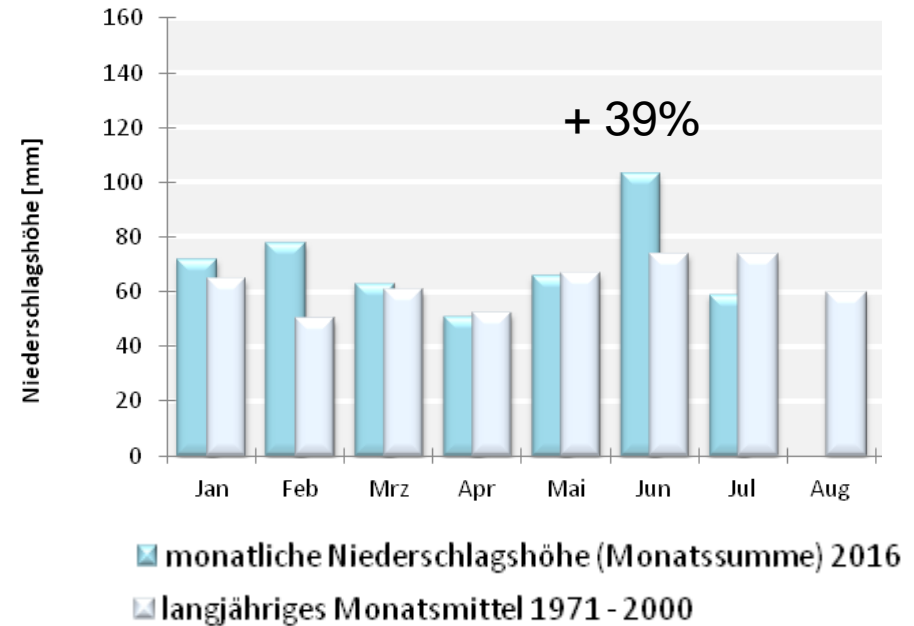
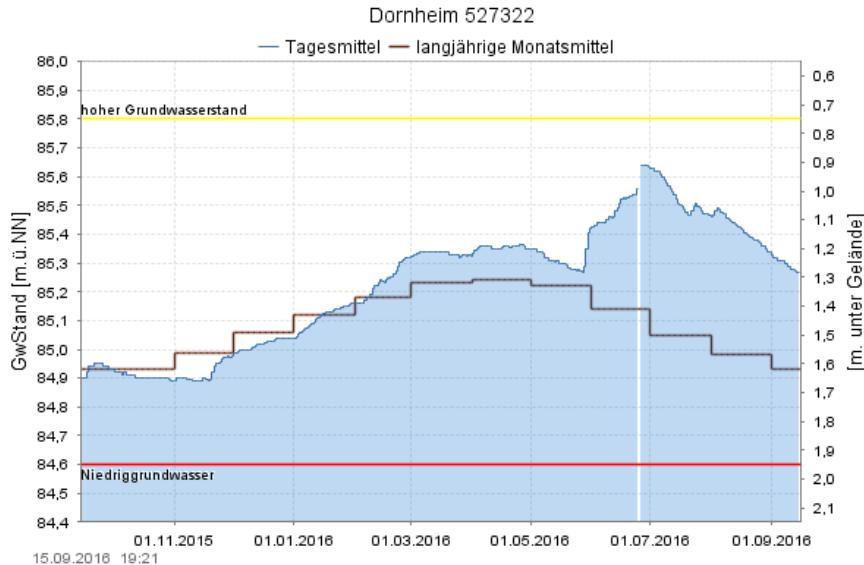
Viel Niederschlag in den vergangenen Wochen hat die Äcker im Gerauer Land geflutet und zu Ernteaussfällen geführt. Foto: Alexander Heimann



Foto: Heike Lyding

Abgesoffen: Nur mit Gummistiefeln kann der Erntehelfer auf diesem Spargelfeld bei Frankfurt arbeiten. Das schlechte Wetter setzte auch den Höfen im Landkreis zu.

# Ausnahmefall: Grundwasseranstieg im Sommer 2016



Die hohen Niederschläge in den letzten Maitagen und im Juni haben in Südhessen zu einem für diese Jahreszeit ungewöhnlichen Grundwasseranstieg geführt.

- > verbreitet überflutete Ackerflächen
- > Ernteeinbußen
- > Kellervernässung (Anrufe aus Büttelborn und Offenbach)





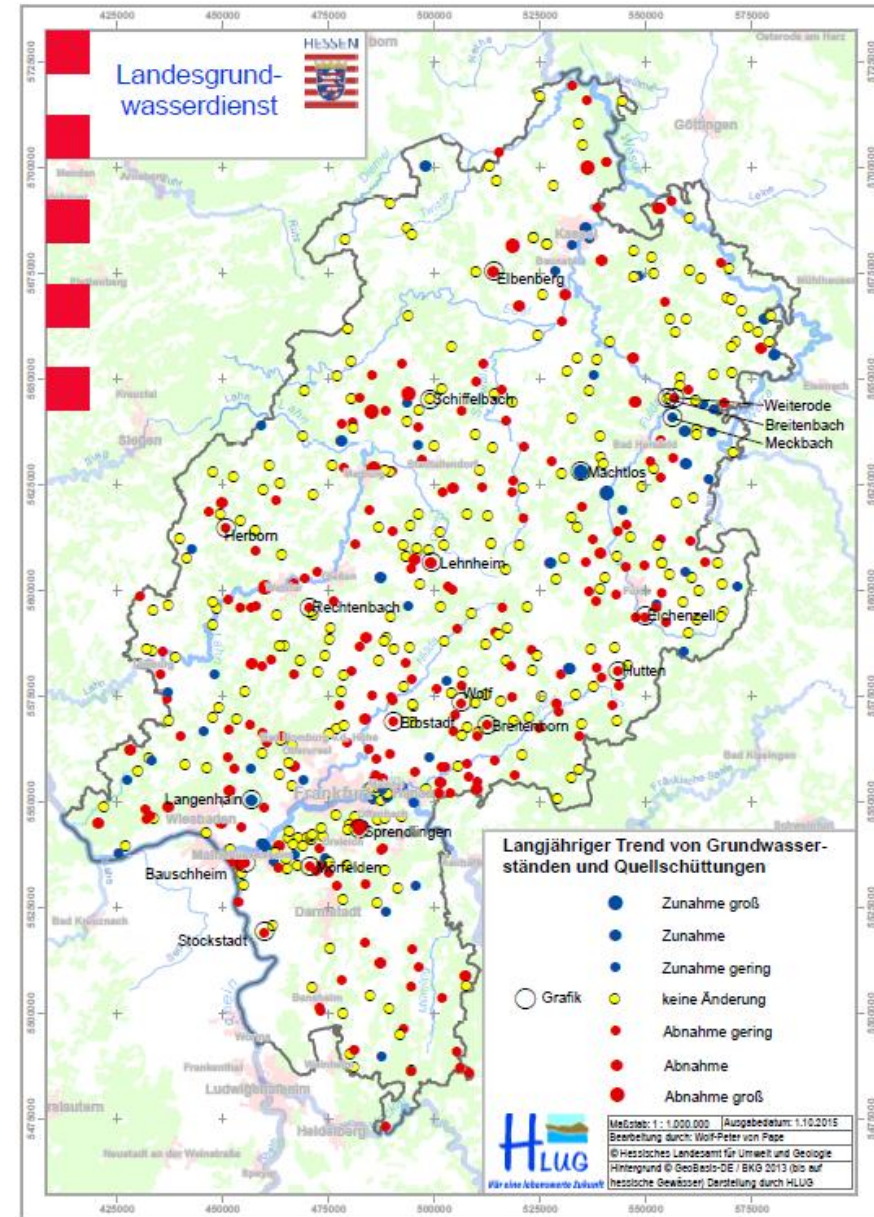
# Langzeitverhalten von Grundwasserständen und Quellschüttungen

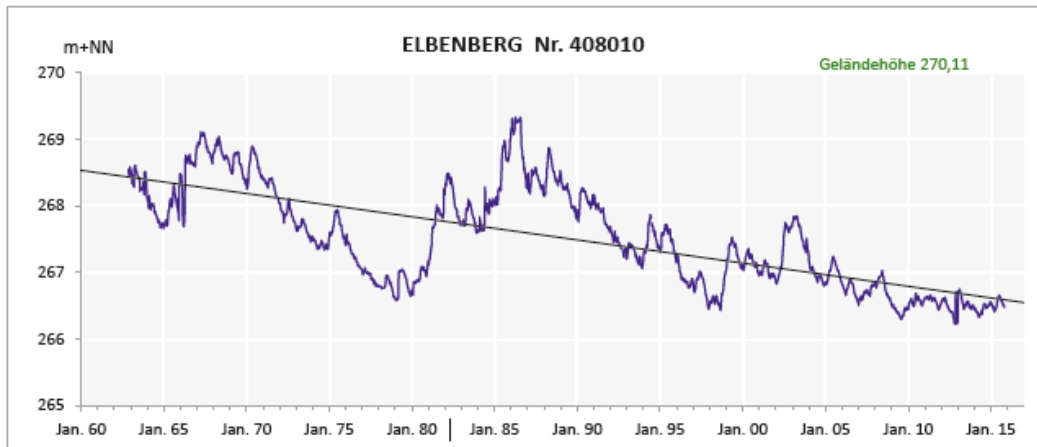
Landesweite Trend-Untersuchung an 538 Messstellen (von Pape 2015)

## Mittleres Verhalten:

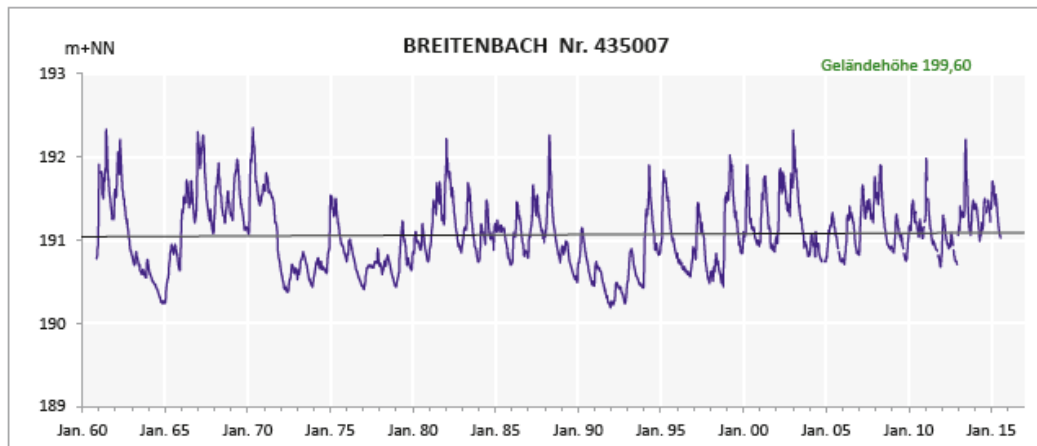
41 % aller Messstellen zeigen abnehmenden Trend

- 11 % der Messstellen zeigen zunehmenden Trend
- Fast die Hälfte aller Messstellen zeigt keinen Trend

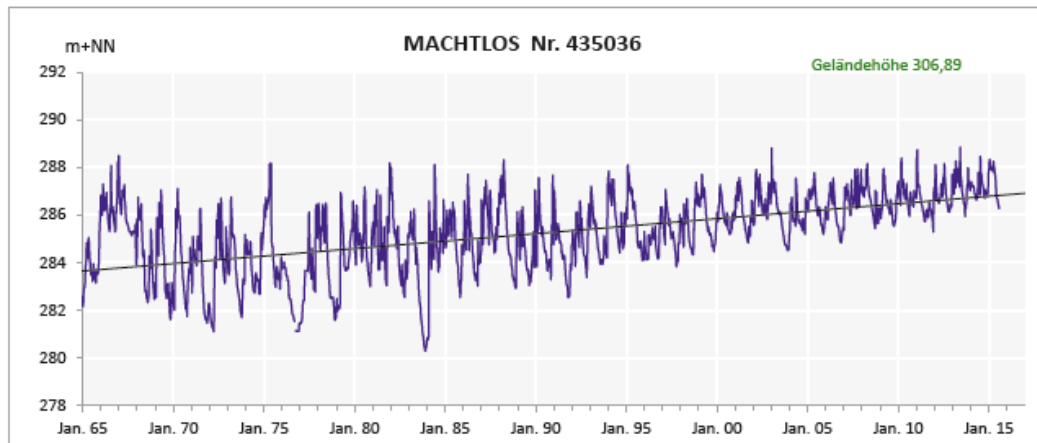




Abnehmender Trend



kein Trend



Zunehmender Trend  
Abnehmende Amplitude

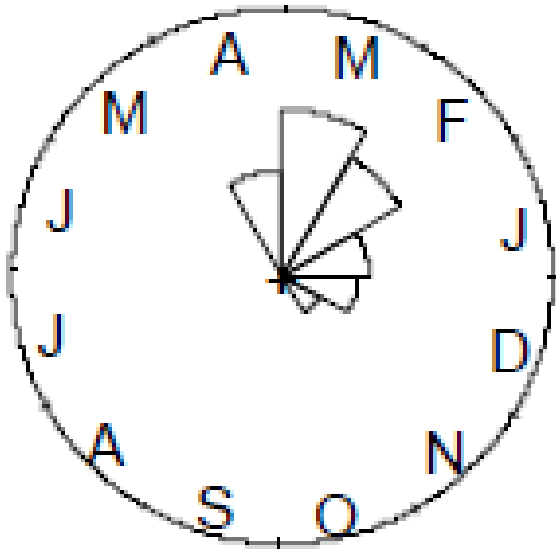


# Langzeitverhalten von Grundwasserständen und Quellschüttungen

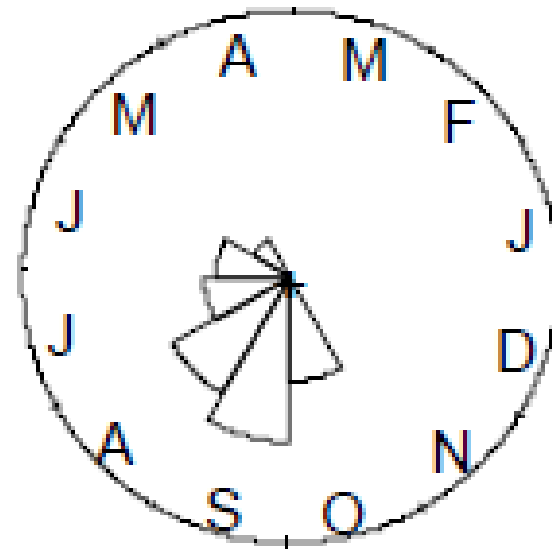
Statistische Untersuchungen an 39 Messstellen in Hessen im Rahmen von KLIWA (IAWG Ottobrunn, 2016)

Ausgewählte Ergebnisse: Änderung in der **Saisonalität**

**Maxima des Jahresgangs**



**Minima des Jahresgangs**



Eintrittszeitpunkt der **Maxima des Jahresgangs** sowie des **Minimums des Jahresgangs** an 39 Grundwasserstands- und Quellschüttungsmessstellen

# Veränderungen des **Eintrittszeitpunktes der Maximalwerte** des Jahresgangs

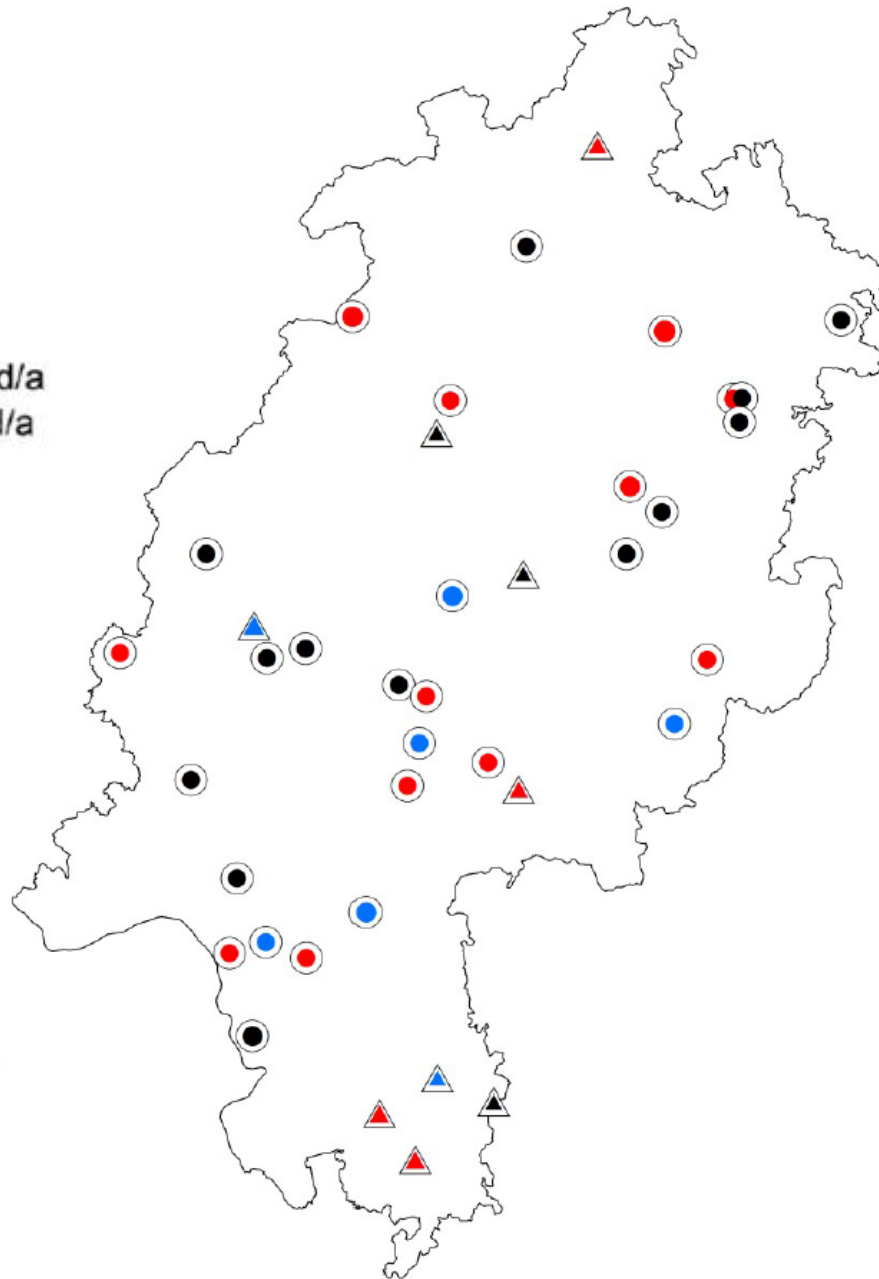
## Zeitpunkt Maximum

- kein Trend (16)
- später (7)
- früher (16)

Max. abs. Änderung: 1.5 d/a

Mitt. abs. Änderung: 0.4 d/a

● GW ▲ QS



# Veränderungen des **Eintrittszeitpunktes der Minimalwerte** des Jahresgangs

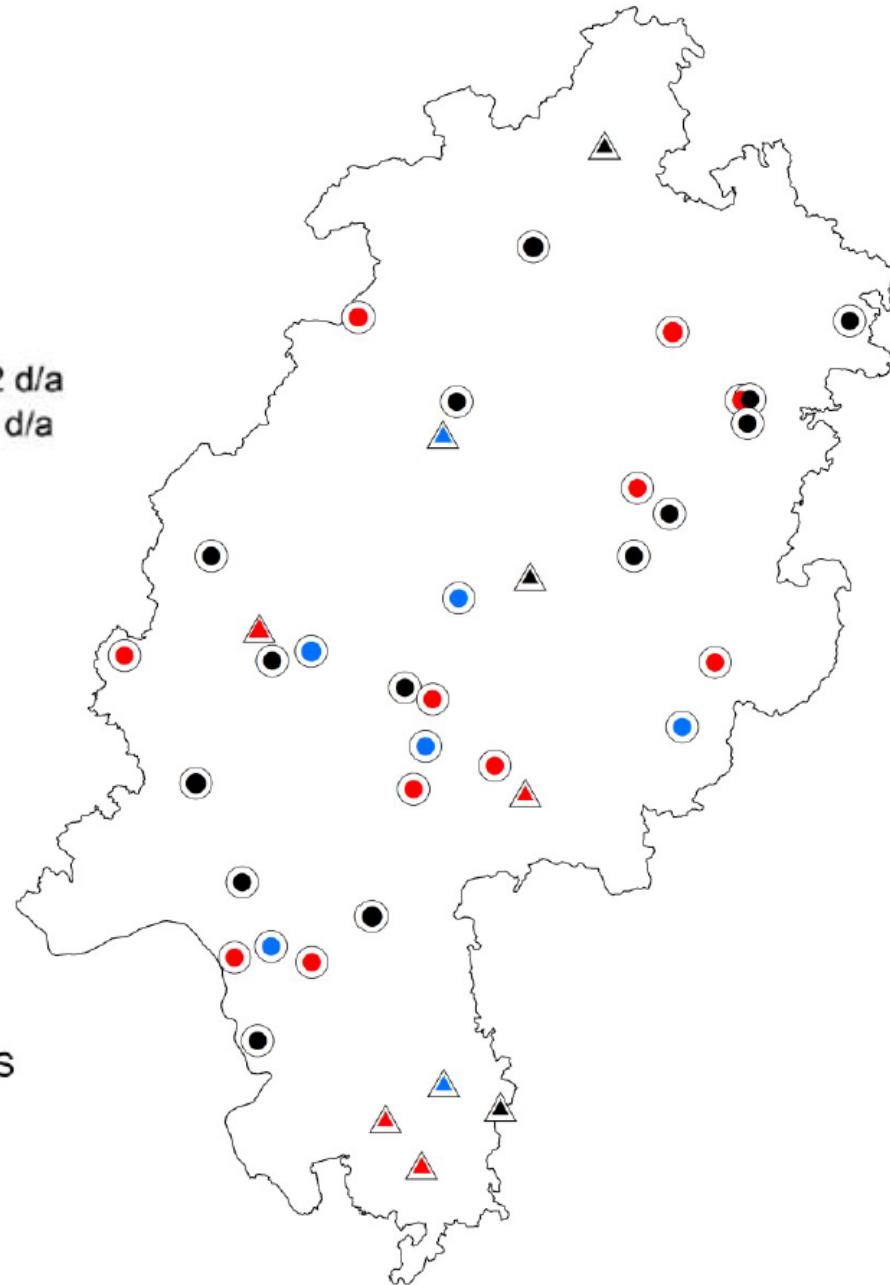
Zeitpunkt Minimum

- kein Trend (17)
- später (7)
- früher (15)

Max. abs. Änderung: 2.2 d/a

Mitt. abs. Änderung: 0.5 d/a

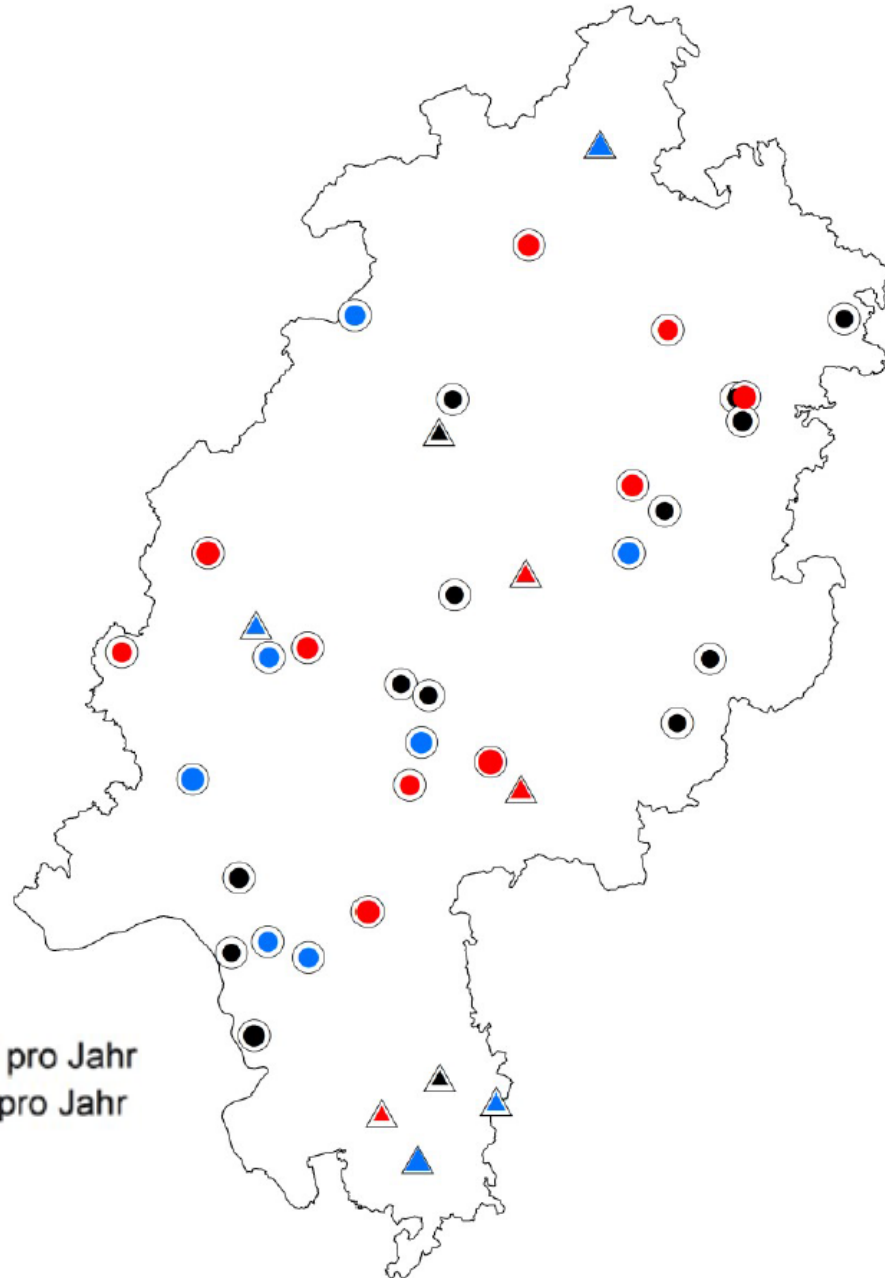
● GW ▲ QS



# Veränderungen der **Amplitude** des Jahresgangs

## Amplitude

- kein Trend (15)
- zunehmend (11)
- abnehmend (13)





# Inhalte

1. Einführung

2. Beobachteter Klimawandel

2.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

2.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

**2.3 Temperatur von Grund- und Quellwässern**

3. Mögliche Veränderungen in der Zukunft

4. Fazit

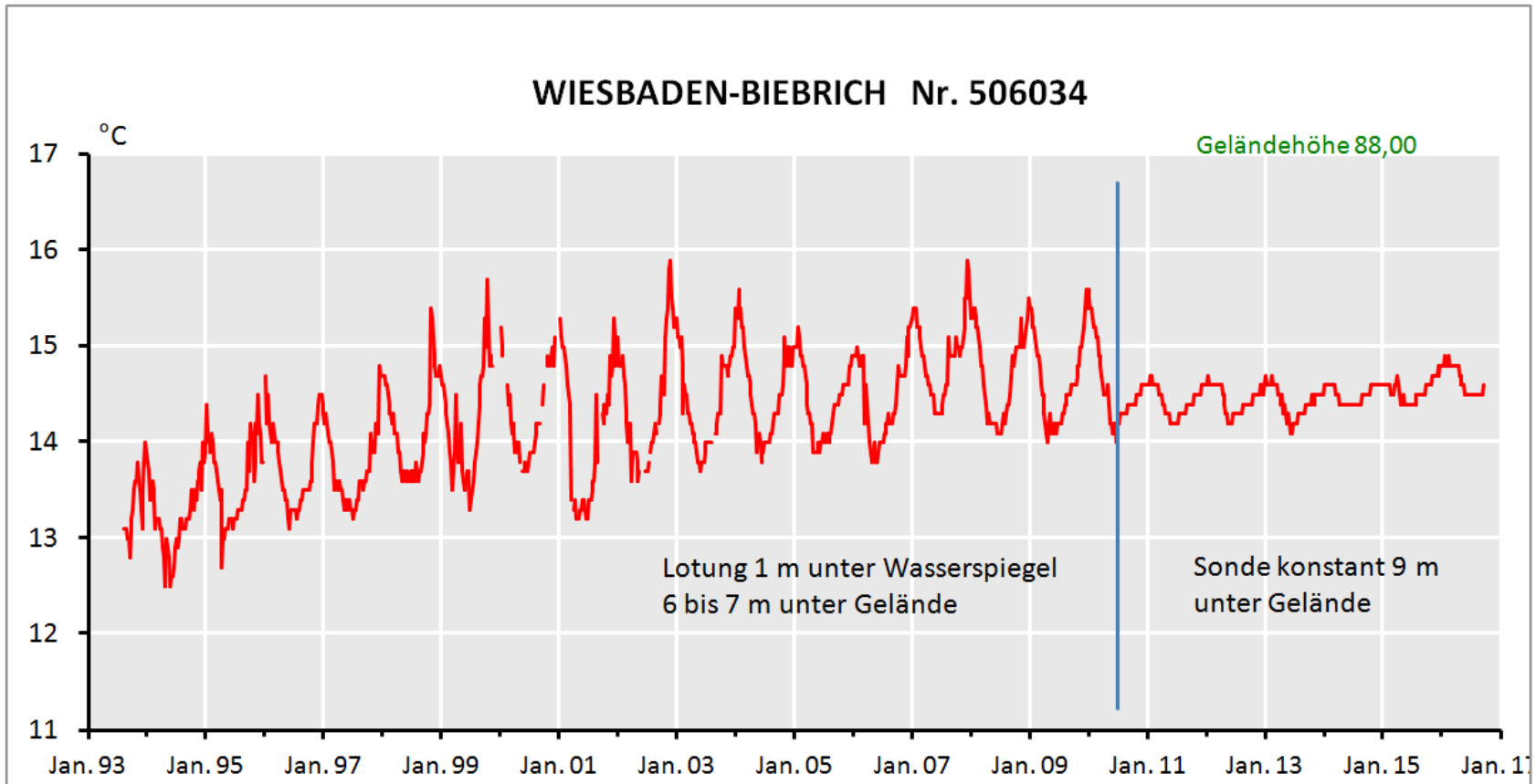
## Temperaturmessungen in der Grundwassermessstelle Biebrich



Die Grundwassertemperatur ist nahe der Oberfläche von der Umgebungs- und Lufttemperatur und der Sonneneinstrahlung beeinflusst.

Temperaturschwankungen sind nahe der Oberfläche am größten und nehmen mit zunehmender Tiefe abnehmen.

In etwa 20 m Tiefe ist ein Jahrestemperaturgang in der Regel nicht mehr festzustellen, die dort zu messende Temperatur entspricht der mittleren Jahrestemperatur.



Deutlicher Temperaturanstieg in den letzten 23 Jahren um über 1 °C

Mit zunehmender tiefe nimmt die jahreszeitliche Temperaturamplitude ab



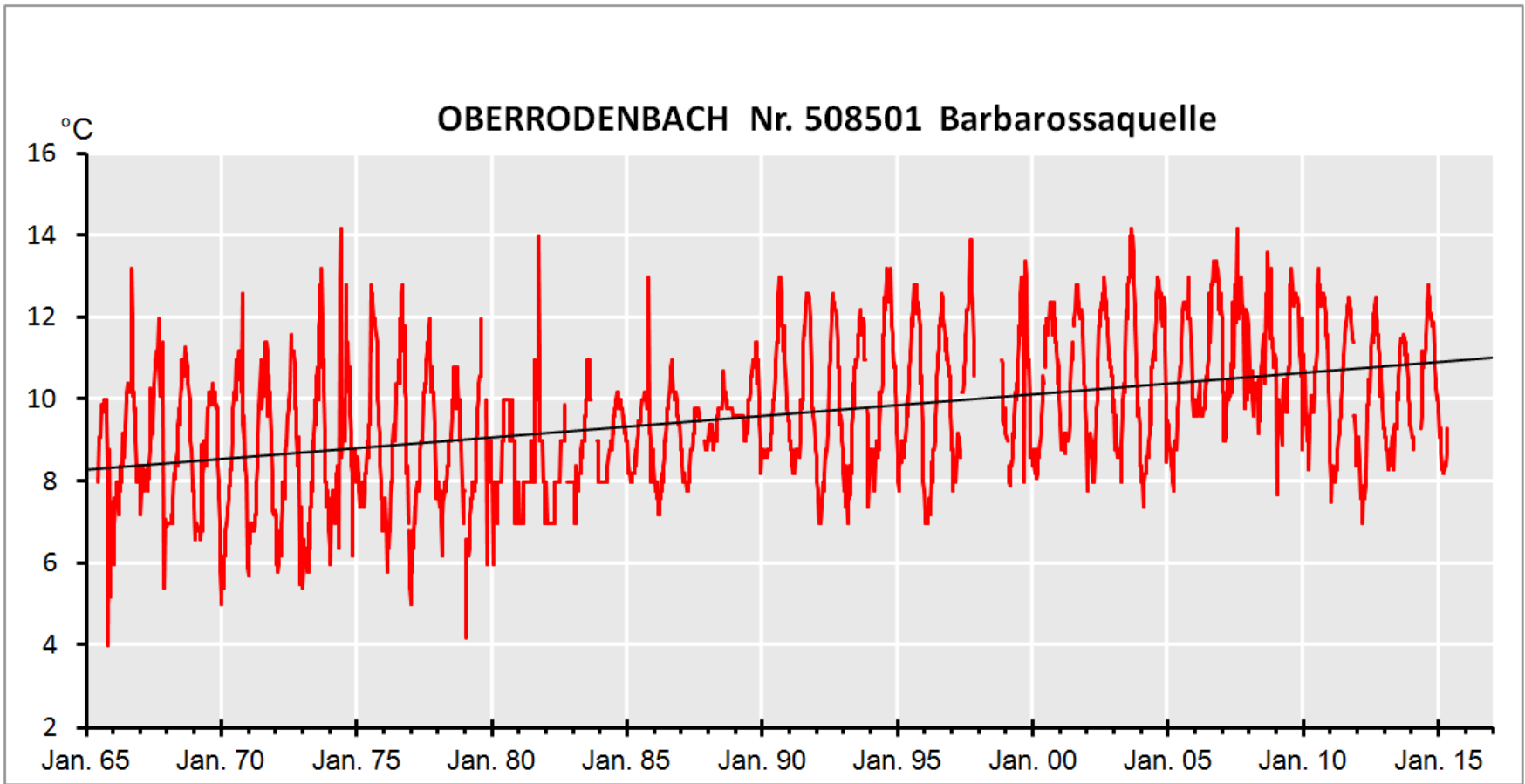
# Temperatur von Quellwässern - langjährige Temperaturtrends



Im Rahmen des Landesgrundwasserdienstes wird an 47 Quellen regelmäßig - meistens einmal pro Woche - die Wassertemperatur gemessen.

Es liegen wenige Messreihen seit 1952 mit Unterbrechungen in den 1960er und 1970er Jahren vor. Die meisten Messreihen beginnen Ende der 1970er Jahre.





Höhenlage: 168 m+NN

Mittlere Temperatur: 9,6°C

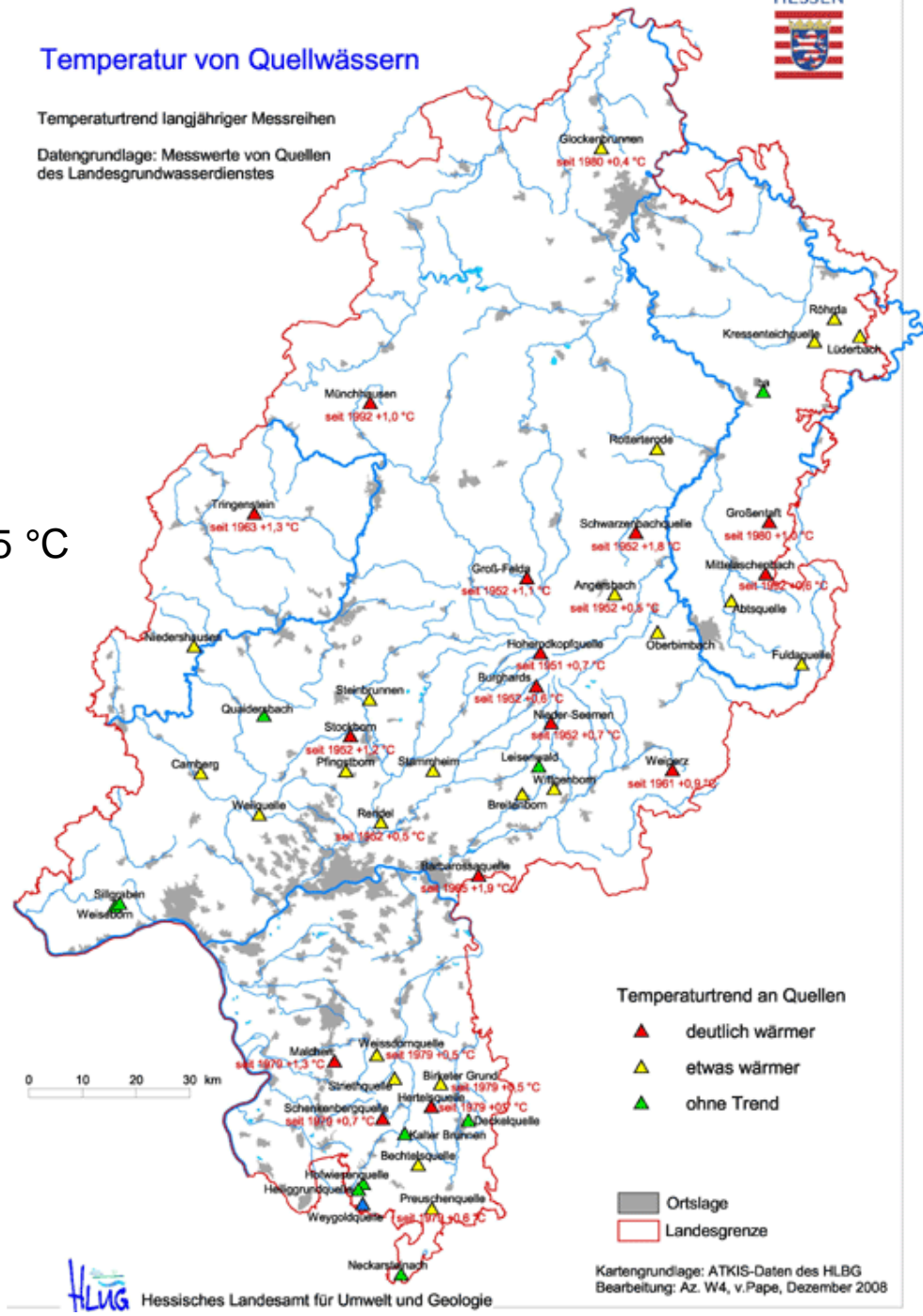
## Temperatur von Quellwässern

Temperaturtrend langjähriger Messreihen

Datengrundlage: Messwerte von Quellen des Landesgrundwasserdienstes

### Ergebnis der Untersuchung

- 10 Quellwässer sind ohne erkennbaren Temperaturtrend
- 22 Quellen haben einen schwachen Temperaturanstieg des Wassers bis zu 0,5 °C
- 15 Quellwässer sind mit über 0,5 °C deutlich wärmer geworden





# Inhalte

1. Einführung

2. Beobachteter Klimawandel

2.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

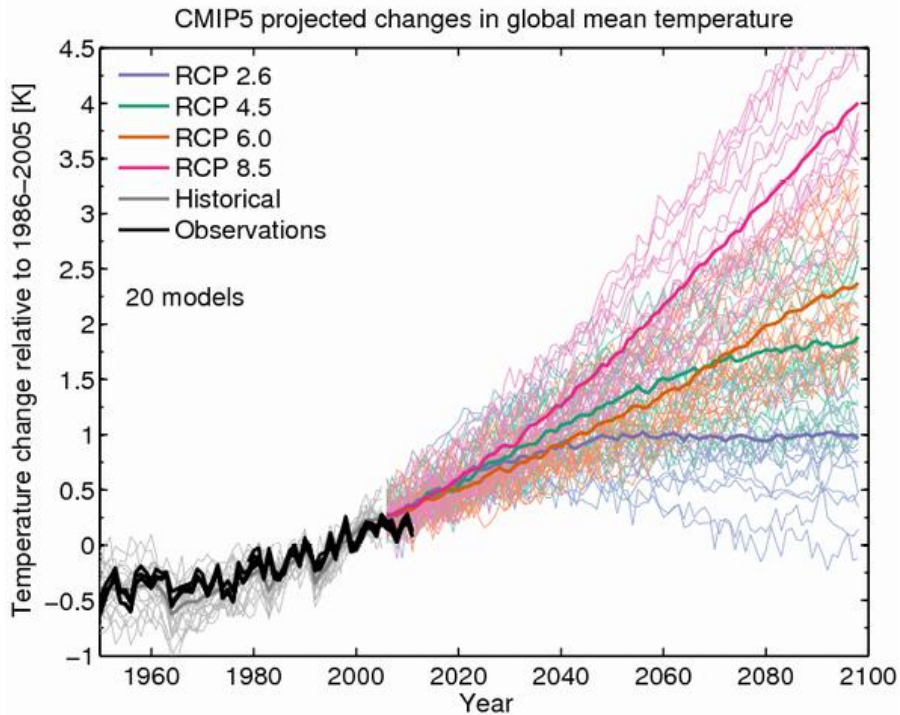
2.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

2.3 Temperatur von Grund- und Quellwässern

**3. Mögliche Veränderungen in der Zukunft**

4. Fazit

# Herausforderungen bei der Impact-Modellierung



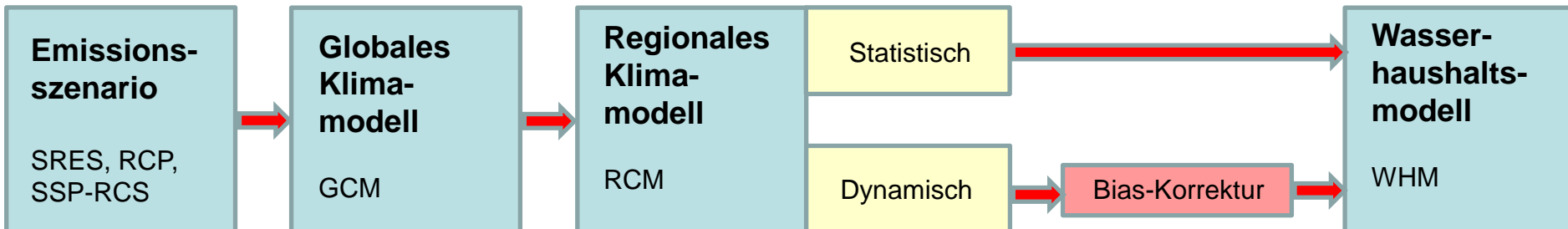
## Ensemble Ansatz

Große Datenmengen

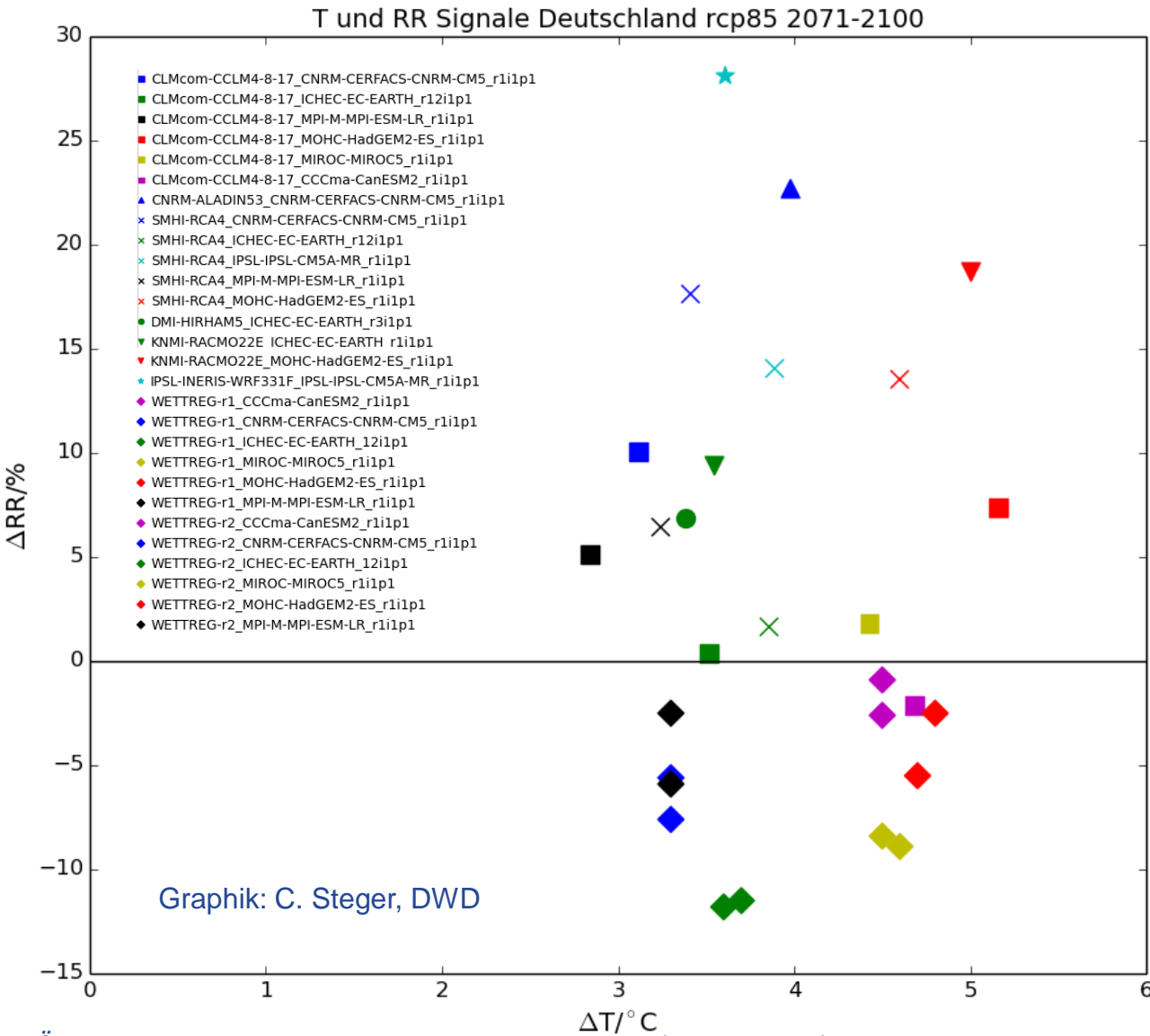
Ergebnisbandbreiten

Unsicherheiten (Modelle, Annahmen)

Konkrete Anpassungsmaßnahmen



# Unterschiede zwischen Ergebnissen dynamischer und statistischer Modelle:

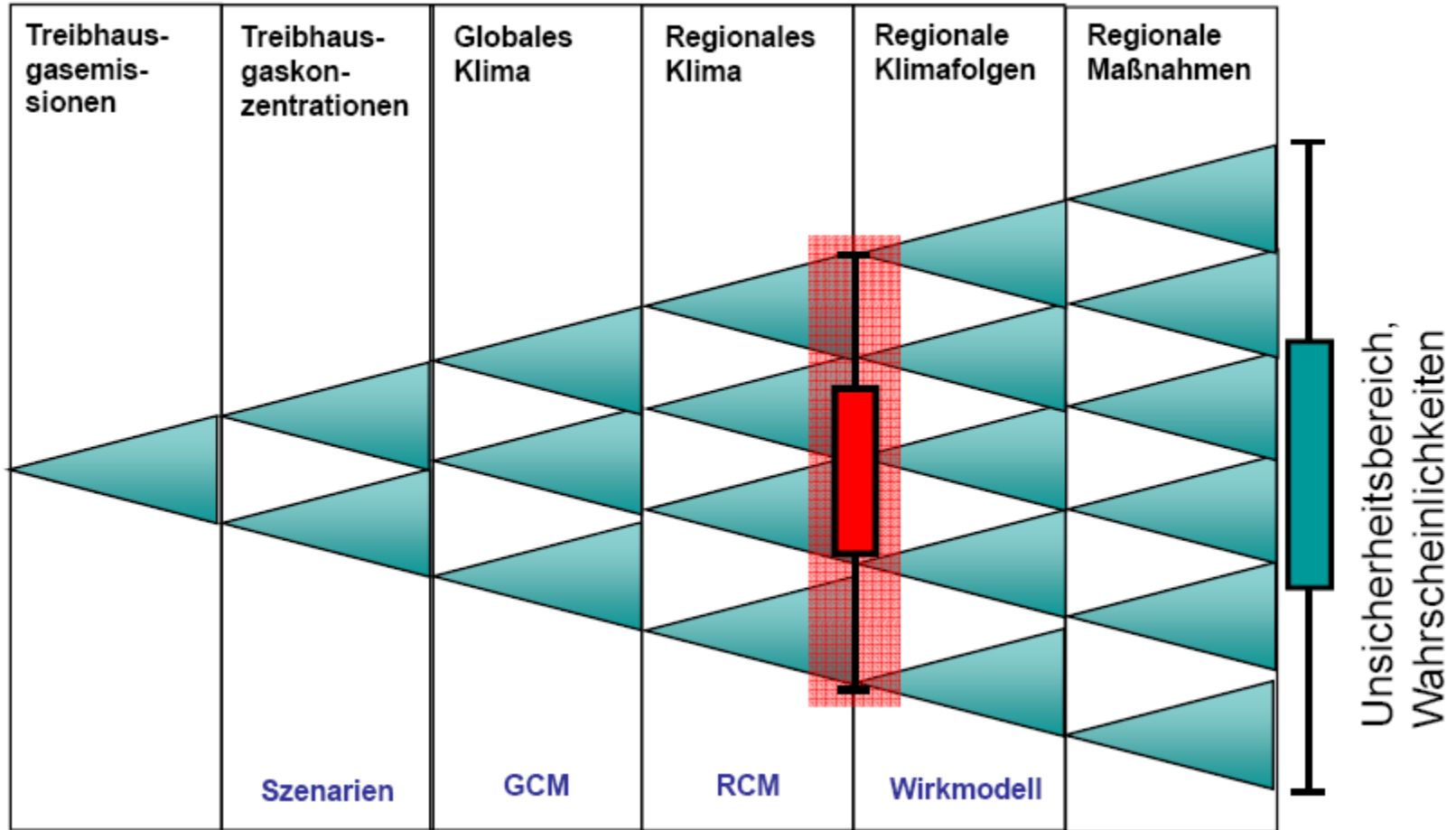


Temperatur: WETTREG-  
Ergebnisse decken  
Bandbreite der dynamischen  
Ergebnisse ab.

Niederschlag: dynamische  
Modelle zeigen fast alle  
Niederschlagszunahme,  
statistische Modelle  
Niederschlagsabnahme.

Änderung der Jahresmittelwerte von Temperatur ( $\Delta T$ , x-Achse) und Regenrate ( $\Delta RR$ , y-Achse) für 2071-2100 im Vergleich zu 1971-2000 für Deutschland. Gleiche Symbole = gleiches Regionalmodell, gleiche Farben = gleiches antreibende GCM.  
Szenario: **RCP8.5**

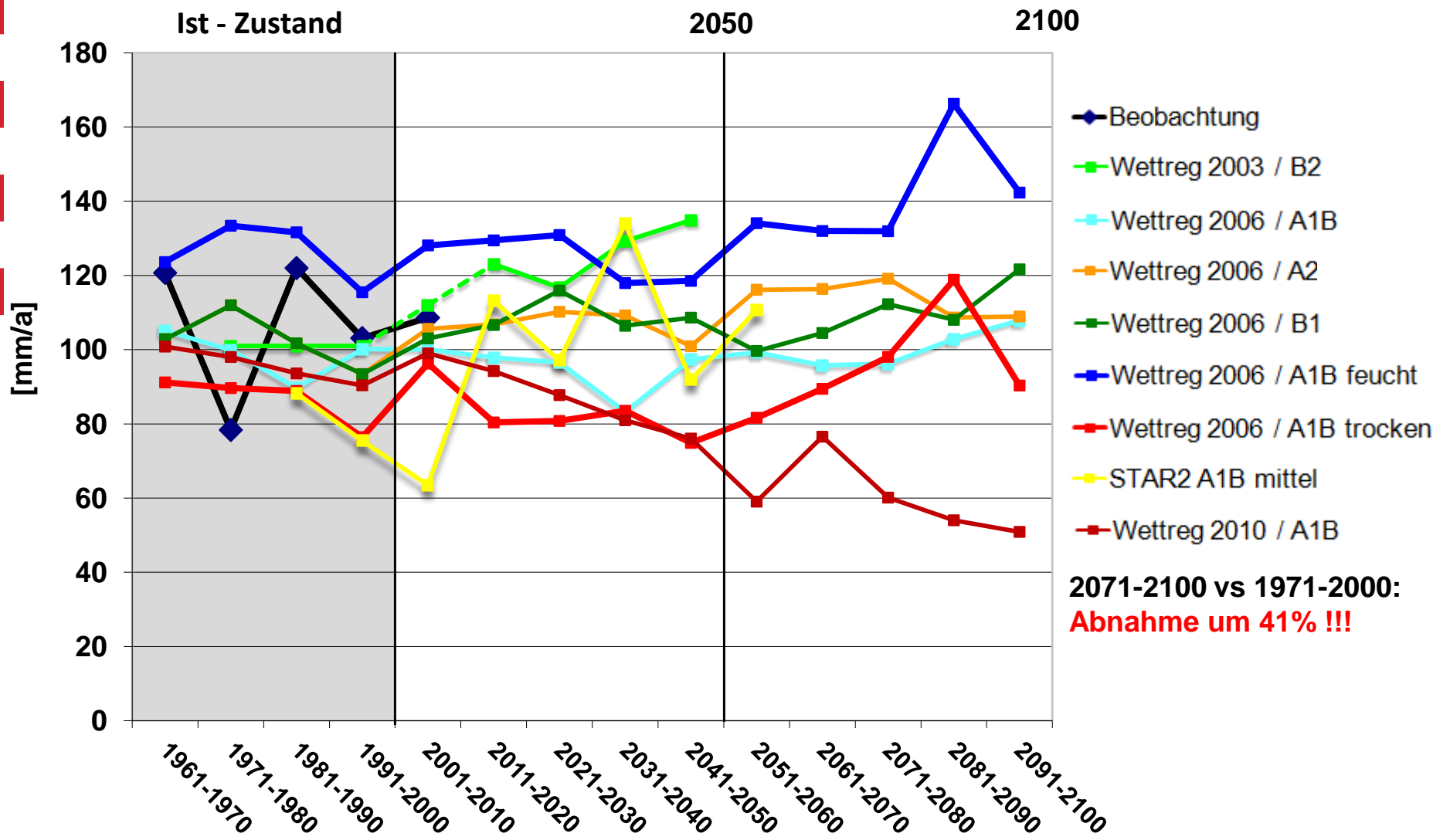
# Ensemble-Modellierung



Quelle: Imbery, DWD KU1



# Mögliche zukünftige Änderungen der Grundwassererneubildung in Hessen



**2071-2100 vs 1971-2000:  
Abnahme um 41% !!!**



# Inhalte

1. Einführung

2. Beobachteter Klimawandel

2.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

2.2 Grundwasserstände und Quellschüttungen

2.3 Temperatur von Grund- und Quellwässern

3. Mögliche Veränderungen in der Zukunft

**4. Fazit**

## 4.Fazit

- **Temperatur:** deutliche Jahr zu Jahr Schwankungen, klarer Trend der Erwärmung erkennbar; signifikante Erwärmung ab dem Jahr 1988 („Temperatursprung“); 2014 war wärmstes Jahr seit 1881 in Hessen.
- **Niederschlag:** mit Abstand wichtigste Einflussgröße für die Grundwasserneubildung (Winterniederschlag); kein statistisch signifikanter Trend für Jahres- und Sommerniederschlag erkennbar; deutliche Schwankungen auf Dekaden- und Jahresbasis; seit den 80-Jahren deutlicher Rückgang der Winterniederschläge.
- **Tatsächliche Verdunstung:** kein einheitlicher Trend über den Gesamtzeitraum erkennbar; seit Beginn der 1990er Jahre Zunahme im hydrol. Winterhalbjahr (-> Grundwasserneubildung), vergleichsweise geringe Jahr zu Jahr Variabilität im Vergleich zu anderen Wasserhaushaltsgrößen.
- **Grundwasserneubildung:** kein einheitlicher Trend über den Gesamtzeitraum erkennbar; seit 2003 meist unterhalb des Mittelwertes und deutlich geringere Jahr zu Jahr Variabilität und Abnahme überdurchschnittlich nasser Jahre
- **Grundwasserstände und Quellschüttungen:** 1) Mittleres Verhalten: 41 % aller Messstellen zeigen abnehmenden Trend; 11 % zunehmenden Trend und fast die Hälfte aller Messstellen zeigt keinen Trend; 2) Saisonalität: Tendenz zu früherem Auftreten des Maximums und Minimums; 3) Amplituden: kein einheitliches Bild
- **Temperatur von Grund- und Quellwässern:** die auf den Klimawandel zurück zu führende Zunahme der Lufttemperatur spiegelt sich deutlich in den Temperaturen von Grund- und Quellwässern wider.
- **Modellergebnisse für die Zukunft:** die Formulierung konkreter bzw. quantifizierbarer Anpassungsmaßnahmen erscheint auf der Grundlage der verfügbaren regionalen Klimaszenarien und der damit verbundenen großen Unsicherheiten und Bandbreiten zum gegenwärtigen Zeitpunkt schwierig.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



Fuldaquelle, Wasserkuppe Rhön