

*Janine Köhn<sup>1)</sup>, Ralph Meißner<sup>2)3)</sup>, Holger Rupp<sup>2)</sup>, Frido Reinstorf<sup>1)</sup>*

---

# Effekte des Klimawandels auf die Sickerwasserrate

---

Ein Vergleich von Ergebnissen aus Klimamodellrechnungen mit  
langjährigen Messungen an Grünlandlysimetern

HESSSEN



Kompetenz für Landwirtschaft  
und Gartenbau



# Gliederung

---

1. Lysimeterstation und Versuchslysimeter
2. Folgen des Klimawandels in Deutschland
3. Meteorologische Trends am Untersuchungsstandort
4. Trend der Sickerwasserausträge
5. Trend der Trockensubstanz-Erträge
6. Schlussfolgerung
7. Quellen

# Lysimeterstation Falkenberg

Norden von Sachsen-Anhalt, nahe  
Seehausen (Altmark, Landkreis  
Stendal)

Betreiber: Helmholtz-Zentrum für  
Umweltforschung – UFZ

Bau der Anlage 1981,  
Inbetriebnahme 1983

*Meteorologische Daten von der  
DWD-Wetterstation in Seehausen*

- *1977 bis 2021 (täglich)*

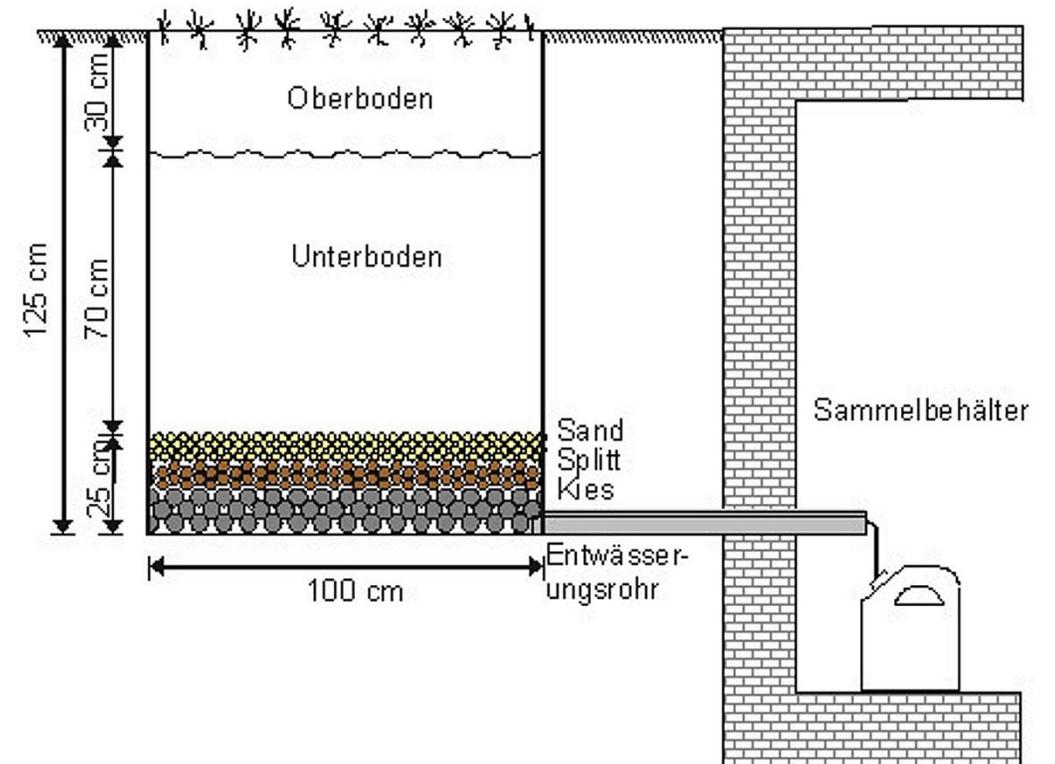


**Abb. 1: Lage der Lysimeterstation Falkenberg; Foto: Köhn [03.11.2014]**  
Location of the lysimeter station Falkenberg; Photo: Köhn [03.11.2014]

# Versuchslysimeter

2 nicht wägbare Vollmantellysimeter  
(Oberfläche = 1 m<sup>2</sup>; Tiefe = 1,25 m)

- Nach Ober- und Unterboden getrennt, zweischichtig befüllt; Lehmiger Sandboden
- Bewirtschaftung mit Dauergrünland
- Echte Wiederholung
- Ernte erfolgt zwei Mal im Jahr (2-schnittig), der I. Schnitt gewöhnlich im Juni, der II. Schnitt im Oktober
- Beregnung nur zur Sicherung der Bestände
- Monatliche Beprobung der Sickerwassermenge und -beschaffenheit
  - Lysimeterjahre (Mai eines Jahres bis April des Folgejahres)
  - 1984 bis 2020 (37 Jahre)



**Abb. 2: Schema der verwendeten Lysimeters (Godlinski, 2005)**  
Schema mapping of the used grassland lysimeters (Godlinski 2005)

# Methoden

---

## Niederschlagskorrektur

- Nach Richter

## Verdunstungsberechnung

- FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET<sub>0</sub>)
  - Nach ATV-DVWK-M 504

## Änderungssignal

- Vergleich zwischen zwei Zeiträumen
- Meteorologische Parameter der Wetterstation Seehausen (Altmark)
  - Vergangenheit (1977 – 2000)
  - Gegenwart (2001 – 2020)
- Klimamodellensemble
  - Bezugszeitraum (1971 – 2000)
  - Nahe Zukunft (2031-2060)
  - Ferne Zukunft (2070-2100)

## ◦ Lysimeterstation

- Vergangenheit (1984 – 2000)
- Gegenwart (2001 – 2020)

## Mann-Kendall-Trendtest

- Zweiseitig; Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha=0,05$
- Schwellenwerte (KROPP & ROITHMEIER et al. 2009):
  - Für  $p \geq 0,05$  gilt „**nicht signifikant**“
  - $0,05 > p \geq 0,01$  „**signifikant**“
  - $0,01 > p \geq 0,001$  „**hoch signifikant**“
  - $p < 0,001$  mit „**höchst signifikant**“

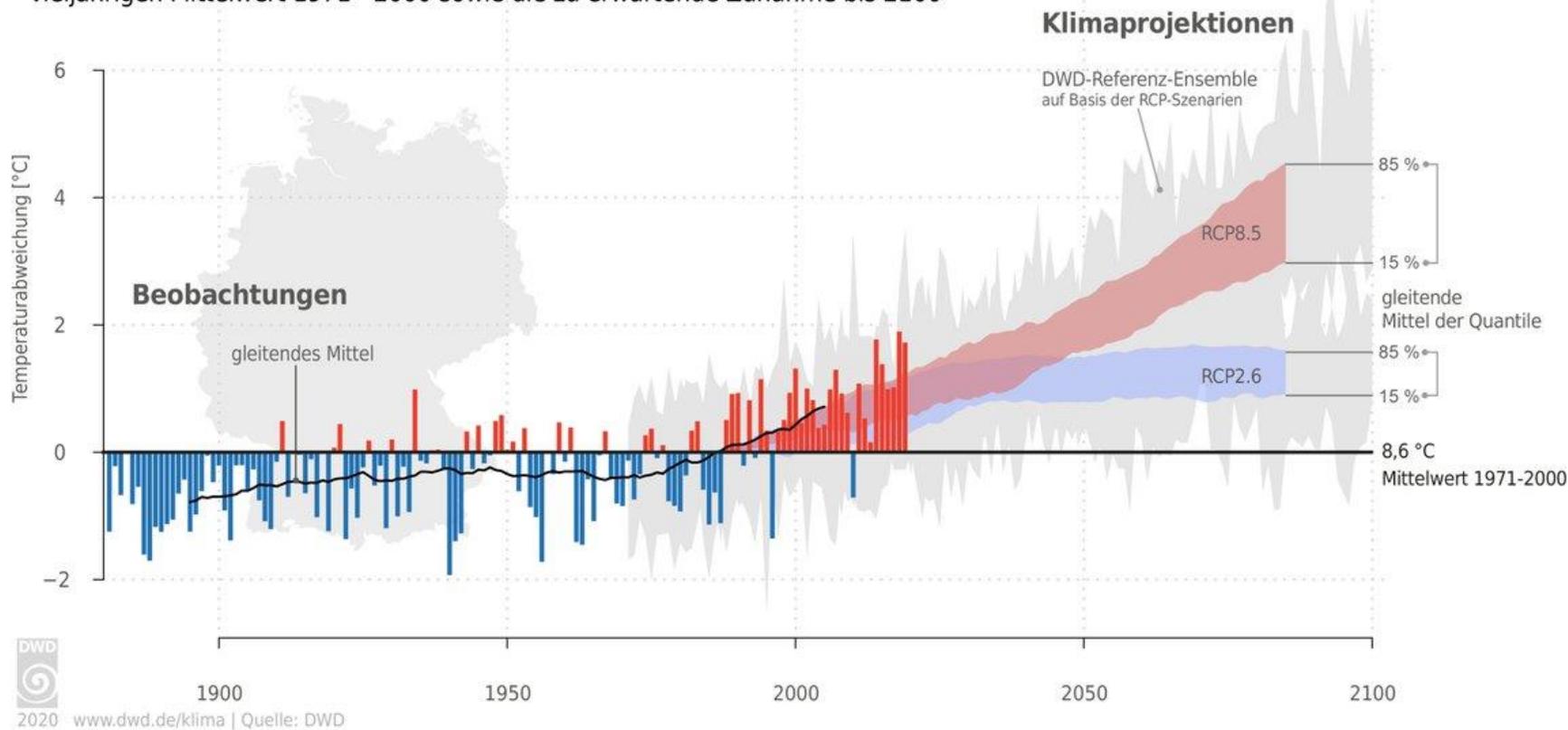
## Unterschiede zwischen Grünlandlysimetern

- zweiseitige Student-Test (t-Test) mit Überschreitungswahrscheinlichkeit  $p \geq 0,05$

# Folgen des Klimawandels in Deutschland

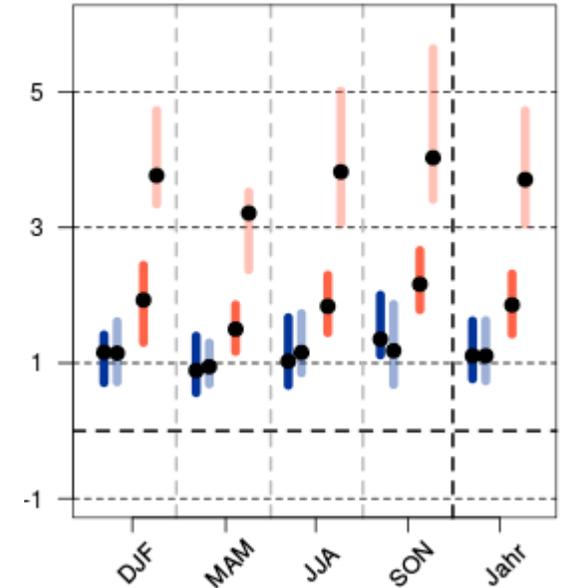
## Deutschland im Klimawandel

Abgebildet sind die **positiven** und **negativen** Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1971 - 2000 sowie die zu erwartende Zunahme bis 2100



**Abb. 3: Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittelwert 1971-2000 und erwartet Zunahme bis 2100**  
 Deviations of air temperature from the multi-year mean 1971-2000 and expected increase until 2100

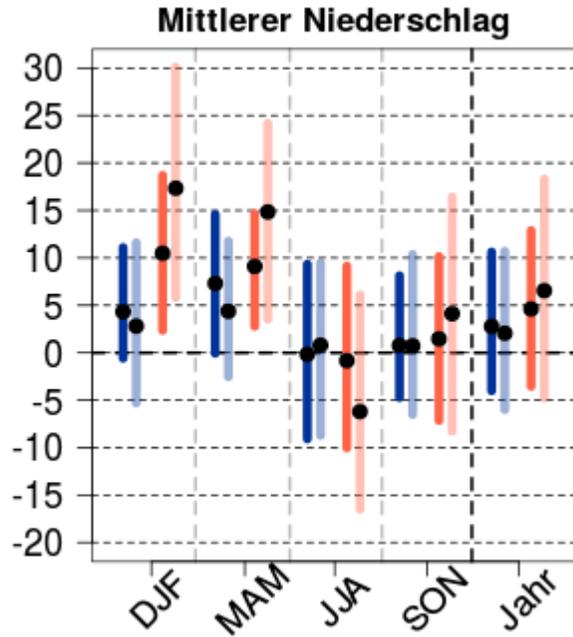
## Tagesmitteltemperatur



**Abb. 4: Projizierte Klimaänderung der Tagesmitteltemperatur, in °C**  
 Projected climate change of daily mean temperature, in °C

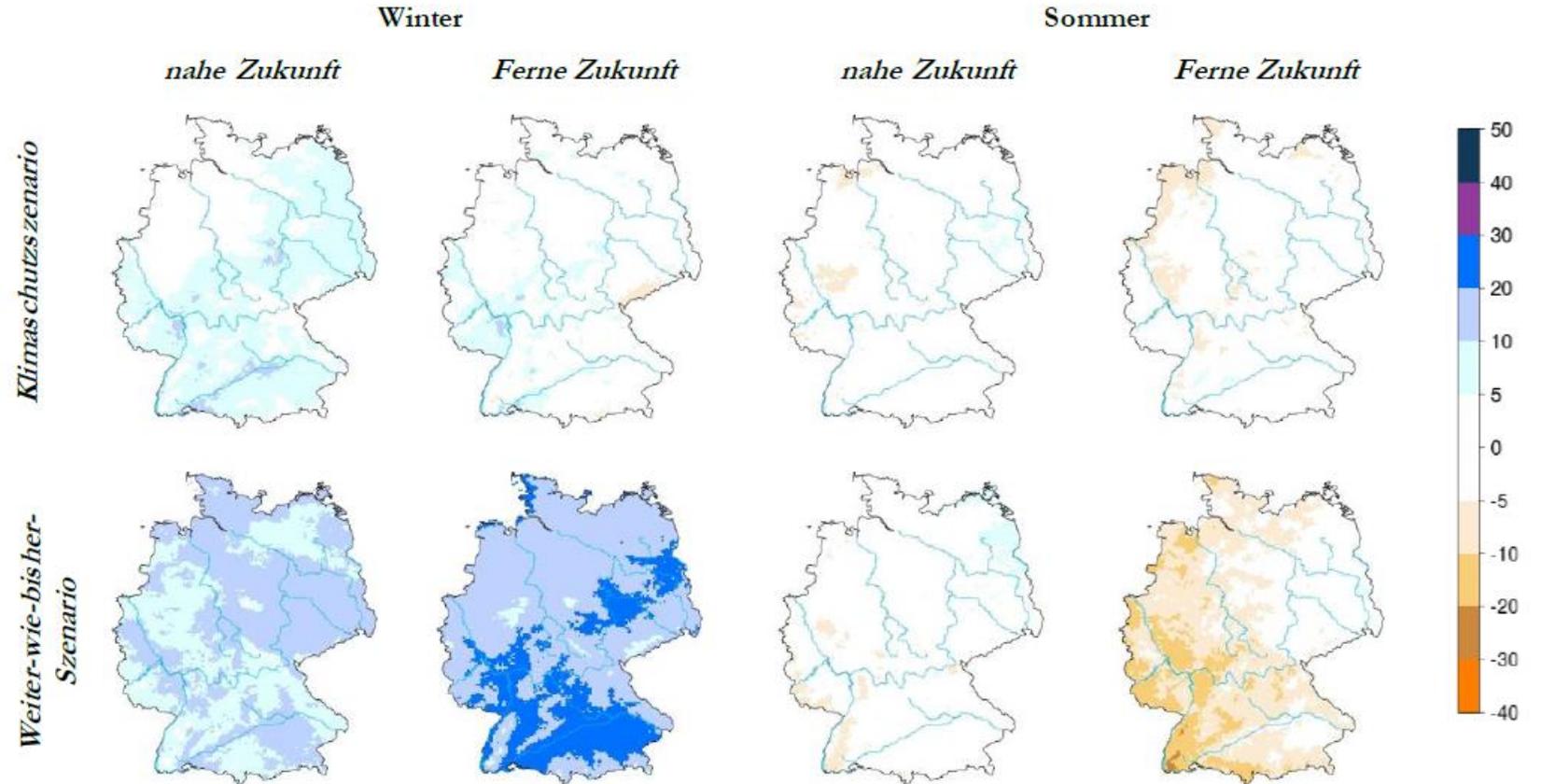
- Blau – RCP2.6
- Rot – RCP8.5
- Dunkel – Nahe Zukunft
- Hell – Ferne Zukunft
- Punkt – Ensemblemedian

# Folgen des Klimawandels in Deutschland



**Abb. 5: Projizierte Klimaänderung des mittleren Niederschlags, in %**  
Projected climate change of mean precipitation, in %

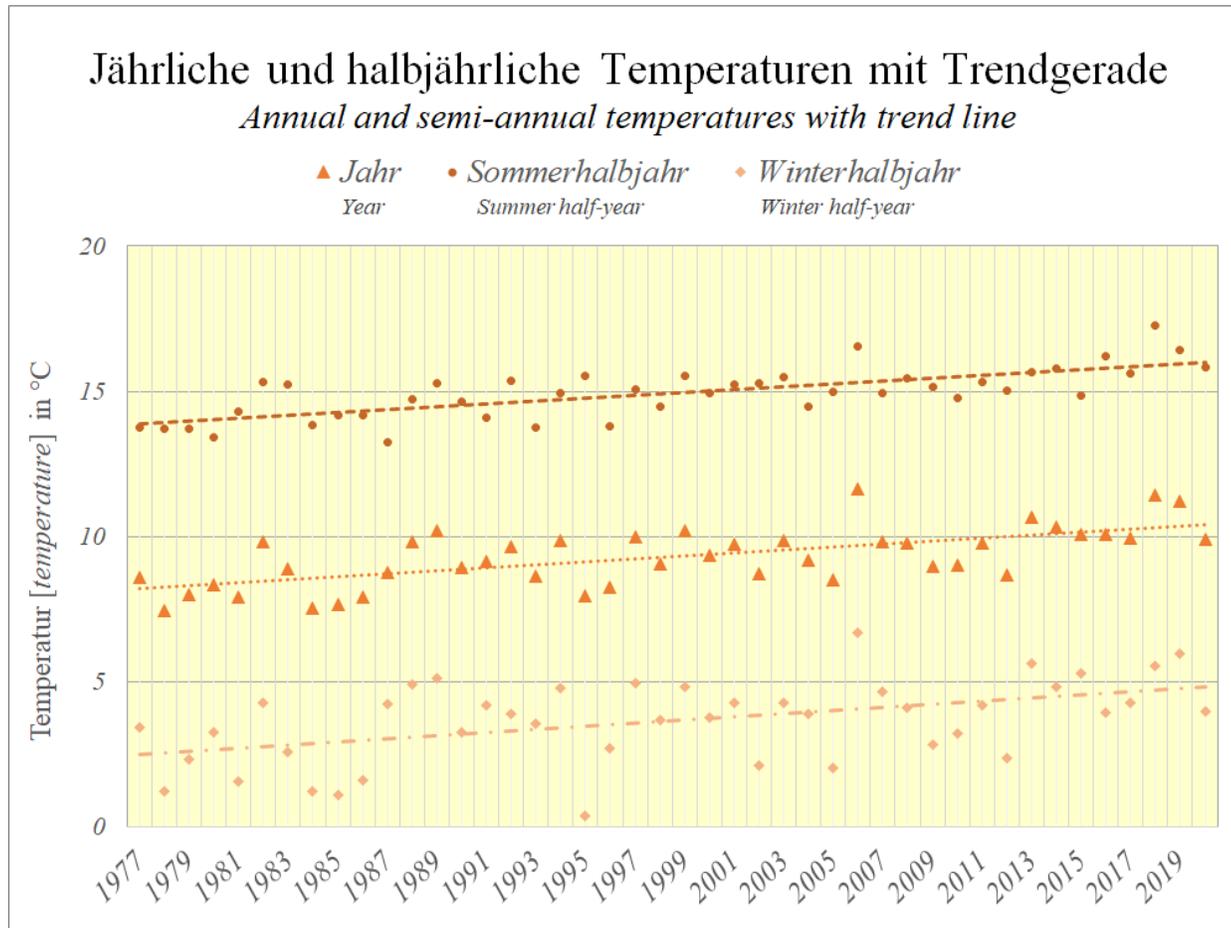
- Blau – RCP2.6
- Rot – RCP8.5
- Dunkel – Nahe Zukunft
- Hell – Ferne Zukunft
- Punkt – Ensemblemedian



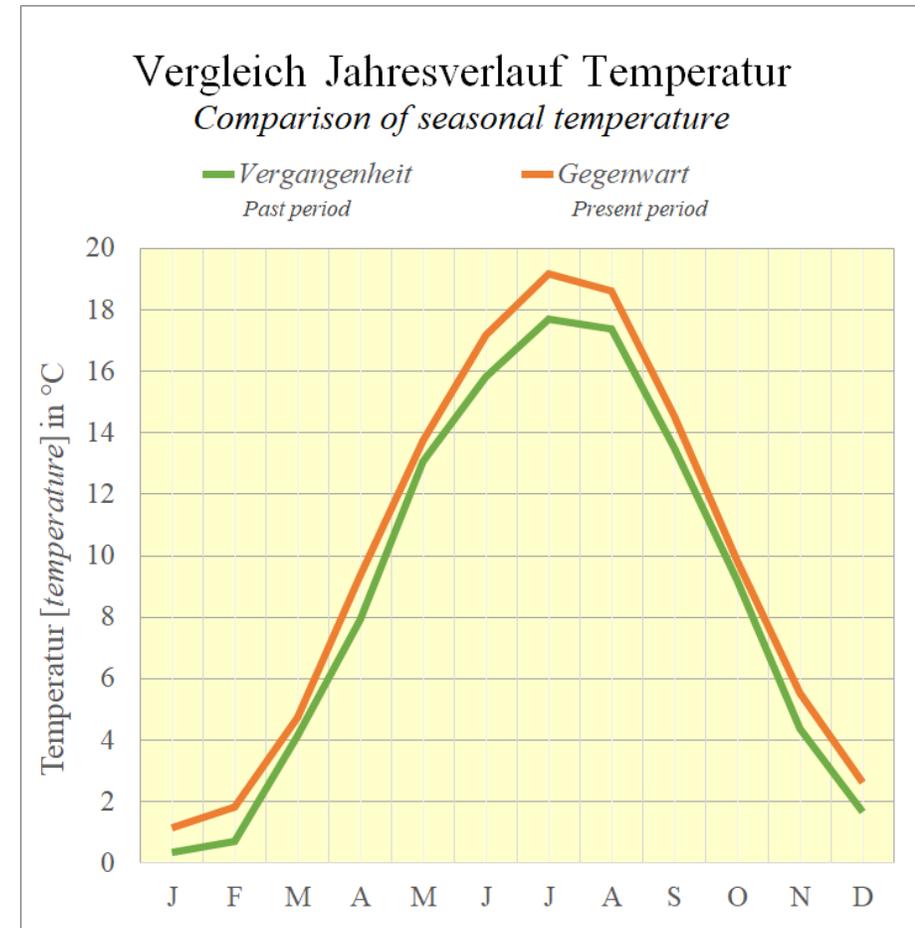
**Abb. 6: Relative Änderungen in Prozent des mittleren Niederschlags für das 50. Perzentil des Klimamodellensembles in Bezug auf den Bezugszeitraum**

Relative changes in percent of mean precipitation for the 50th percentile of the climate model ensemble with respect to the reference period

# Meteorologische Trends am Untersuchungsstandort

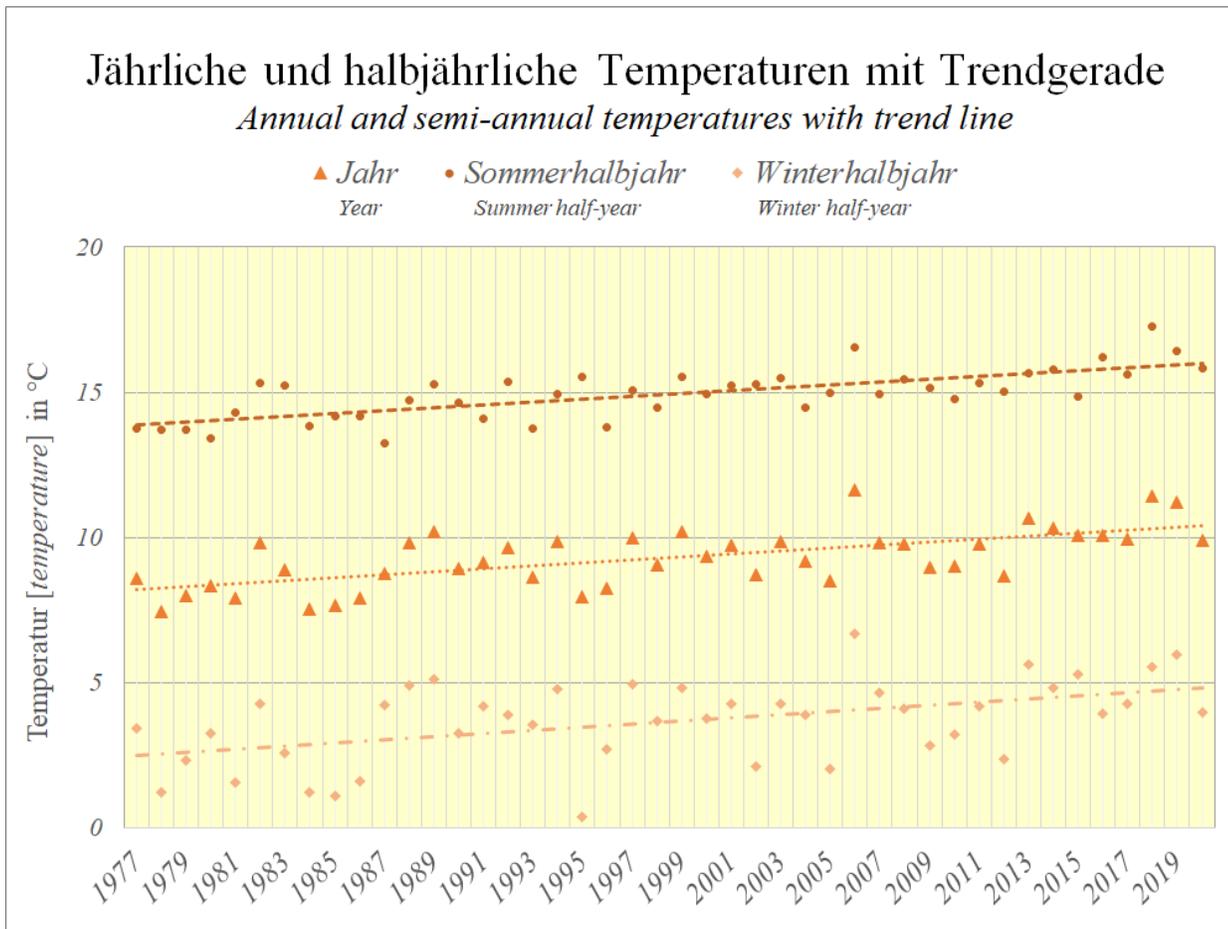


**Abb. 7: Trend der Jahres- und Halbjahrestemperaturen an der DWD Wetterstation Seehausen**  
 Trend of annual and semi-annual temperatures at the DWD weather station Seehausen



**Abb. 8: Vergleich der mittleren monatlichen Temperaturen zwischen Vergangenheit (1977-2000) und Gegenwart (2001-2017)**  
 Average monthly temperatures compared between past (1977-2000) and present period (2001-2017)

# Meteorologische Trends am Untersuchungsstandort



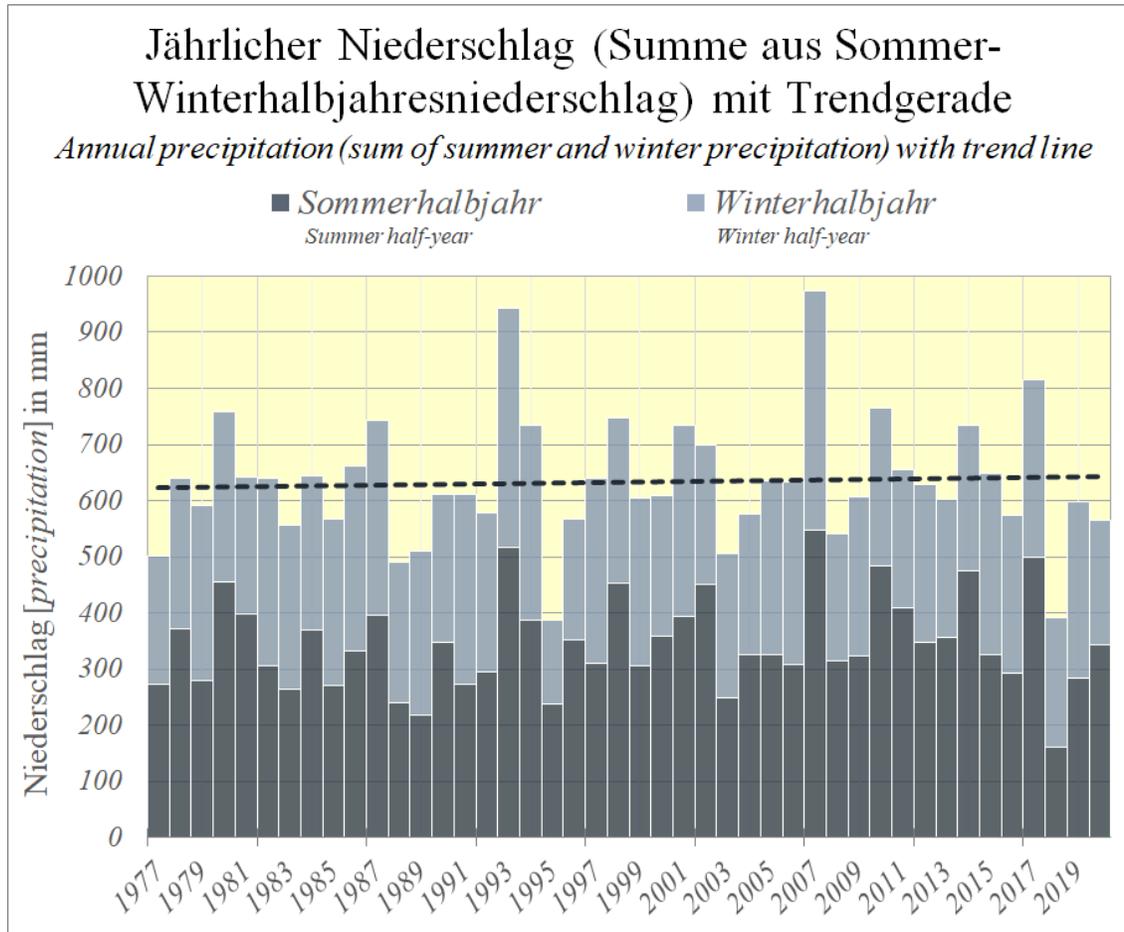
**Abb. 7: Trend der Jahres- und Halbjahrestemperaturen an der DWD Wetterstation Seehausen**  
 Trend of annual and semi-annual temperatures at the DWD weather station Seehausen

**Tab. 1: Trend der Lufttemperaturen**  
 Trend of air temperatures

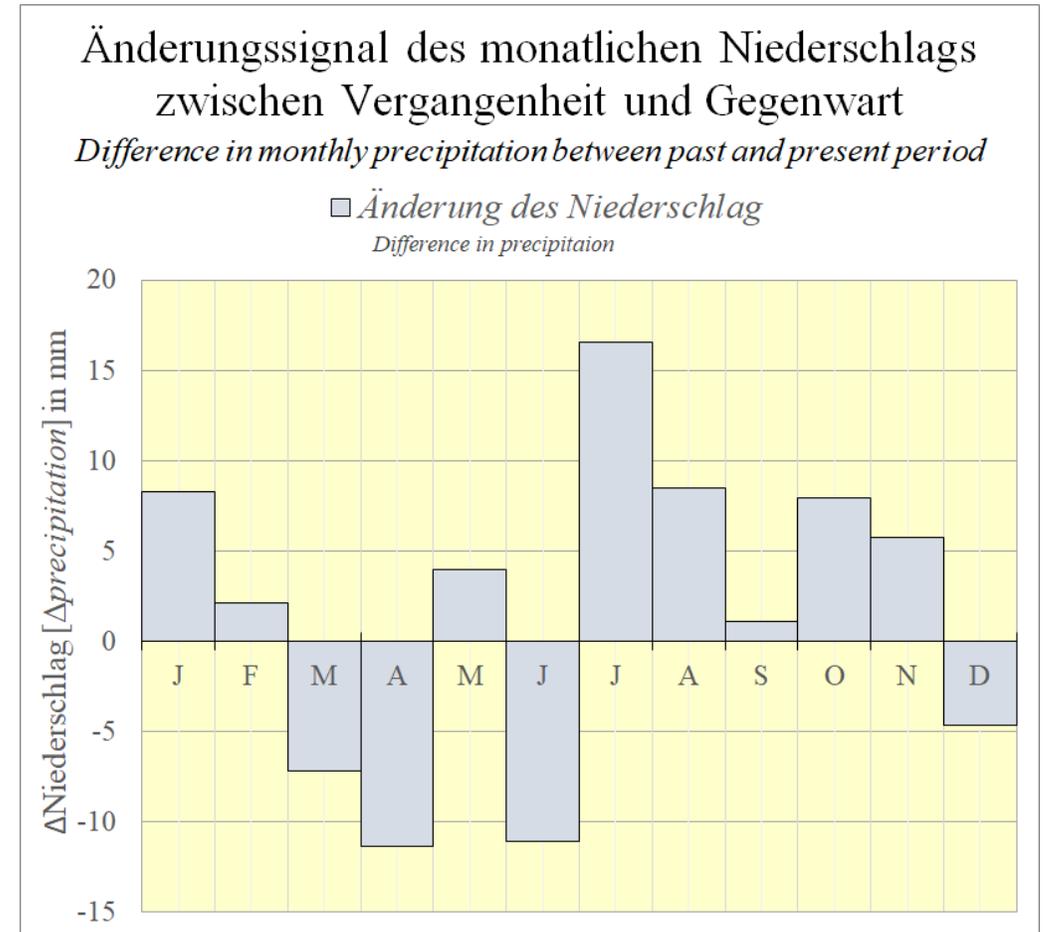
Zeitreihe	Trend	
Jahr	+++	Höchst signifikant steigend
SommerHJ	+++	Höchst signifikant steigend
WinterHJ	++	Hoch signifikant steigend
Frühling (MAM)	++	Hoch signifikant steigend
Sommer (JJA)	+++	Höchst signifikant steigend
Herbst (SON)	+++	Höchst signifikant steigend
Winter (DJF)	+	Signifikant steigend

→ Zunahme um ca. 1°C

# Meteorologische Trends am Untersuchungsstandort

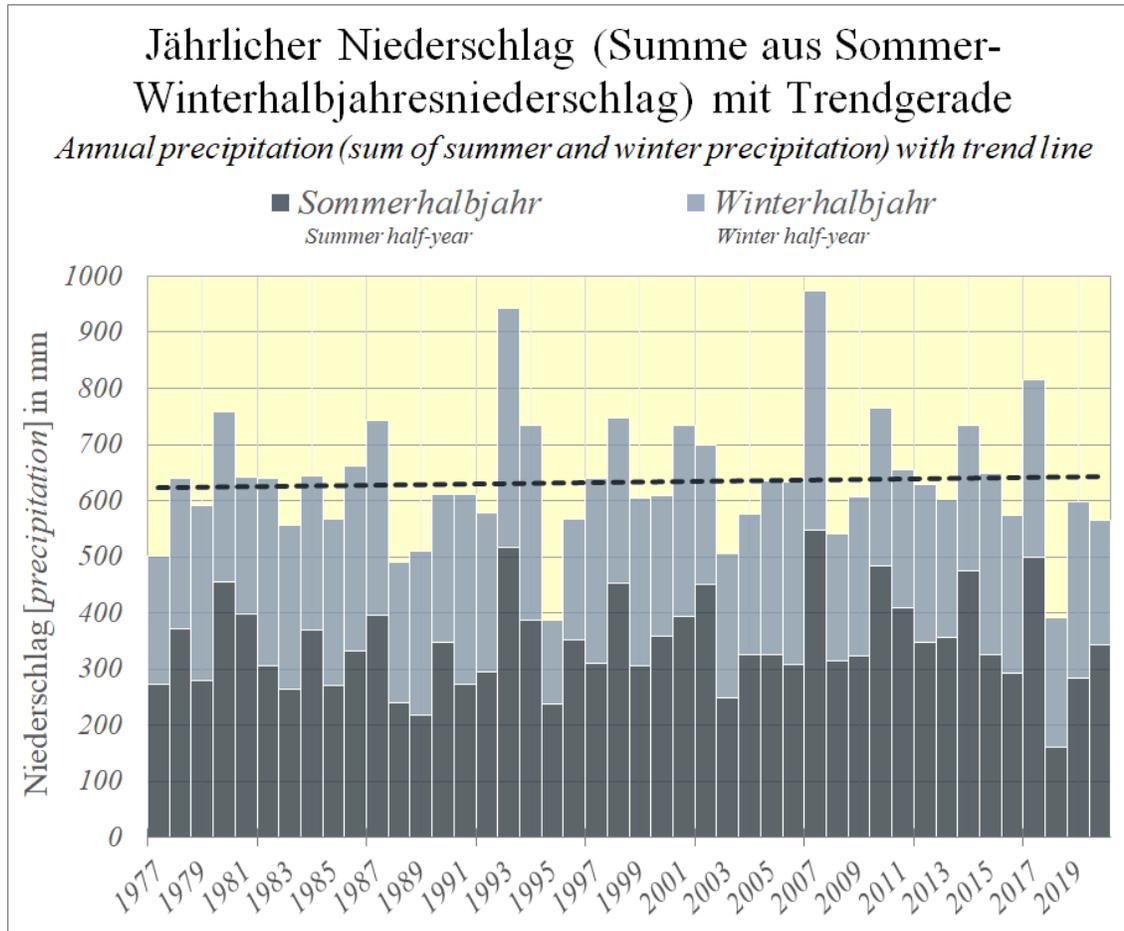


**Abb. 9: Trend des Jahresniederschlags an der DWD Wetterstation Seehausen**  
 Trend of annual precipitation at the DWD weather station Seehausen



**Abb. 10: Änderungssignal des mittleren monatlichen Niederschlags zwischen Vergangenheit (1977-2000) und Gegenwart (2001-2020)**  
 Change factor of mean monthly precipitation between past (1977-2000) and present period (2001-2020)

# Meteorologische Trends am Untersuchungsstandort



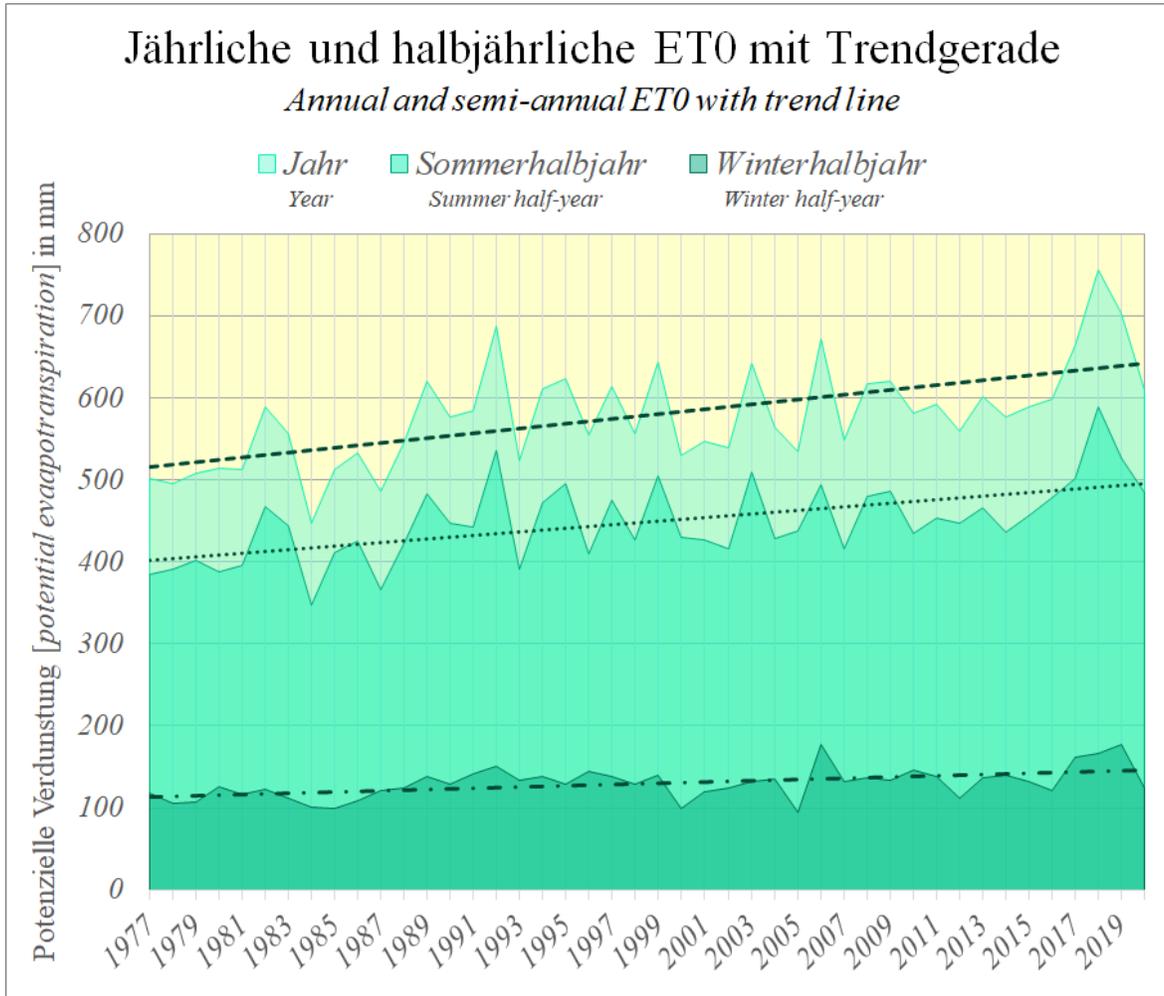
**Abb. 9: Trend des Jahresniederschlags an der DWD Wetterstation Seehausen**  
 Trend of annual precipitation at the DWD weather station Seehausen

**Tab. 2: Trend des Niederschlags**  
 Trend of precipitation

Zeitreihe	Trend
Jahr	Kein Trend
SommerHJ	Kein Trend (steigend)
WinterHJ	Kein Trend (sinkend)
Frühling (MAM)	Kein Trend (sinkend)
Sommer (JJA)	Kein Trend (steigend)
Herbst (SON)	Kein Trend (steigend)
Winter (DJF)	Kein Trend (-)

- Zunahme um ca. 27 mm (8%) im Sommer und Abnahme um ca. 7 mm (2,5%) im Winter
- ca. +20 mm bzw. +3% im Jahr

# Meteorologische Trends am Untersuchungsstandort



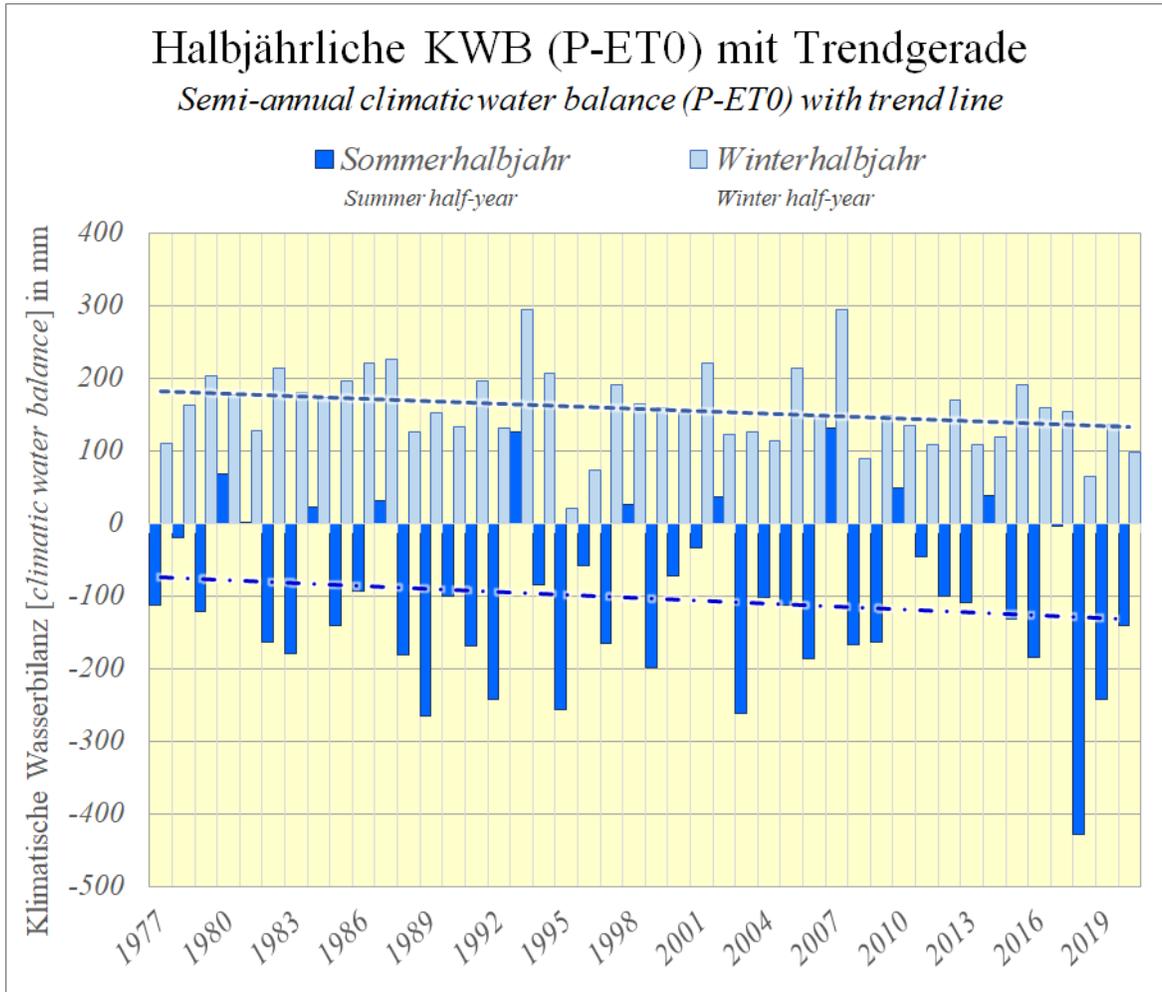
**Abb. 11: Trend der potenziellen Verdunstung ET0 an der DWD Wetterstation Seehausen**  
Trend of potential evapotranspiration ET0 at the DWD weather station Seehausen

**Tab. 3: Trend der potenziellen Verdunstung (ET0)**  
Trend of potential evapotranspiration

Zeitreihe	Trend	
Jahr	+++	Höchst signifikant steigend
SommerHJ	+++	Höchst signifikant steigend
WinterHJ	+++	Höchst signifikant steigend
Frühling (MAM)	+++	Höchst signifikant steigend
Sommer (JJA)	+++	Höchst signifikant steigend
Herbst (SON)		Kein Trend (steigend)
Winter (DJF)		Kein Trend (-)

- Zunahme um ca. 37 mm (9%) im Sommer und um ca. 13 mm (11%) im Winter
- ca. +50 mm bzw. +9% im Jahr

# Meteorologische Trends am Untersuchungsstandort



**Abb. 12: Trend der Klimatischen Wasserbilanz KWB an der DWD Wetterstation Seehausen**  
 Trend of climatic water balance at the DWD weather station Seehausen

**Tab. 4: Trend der Klimatischen Wasserbilanz (KWB)**  
 Trend of climatic water balance

Zeitreihe	Trend
Jahr	Kein Trend (sinkend)
SommerHJ	Kein Trend (sinkend)
WinterHJ	- Signifikant sinkend
Frühling (MAM)	- Signifikant sinkend
Sommer (JJA)	Kein Trend (sinkend)
Herbst (SON)	Kein Trend (-)
Winter (DJF)	Kein Trend (-)

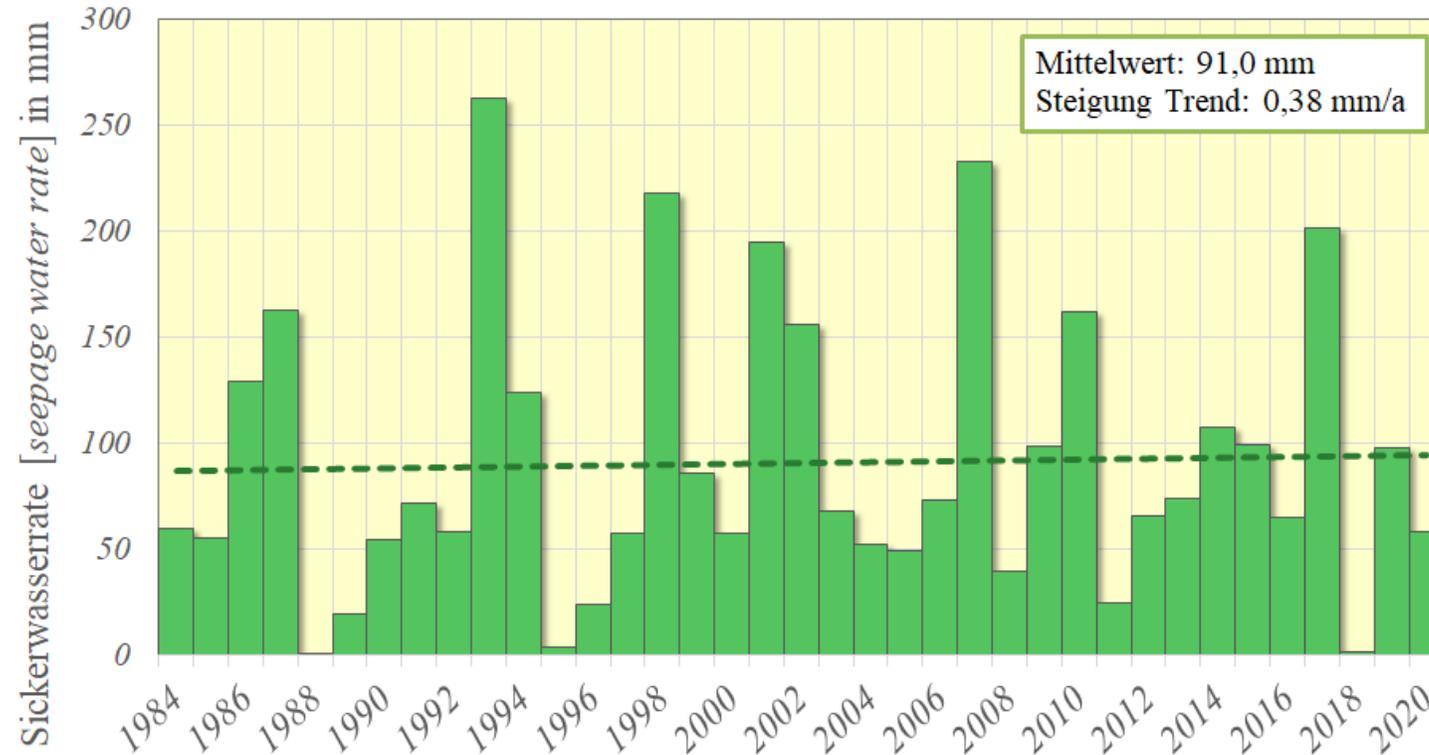
- Abnahme um ca. 10 mm (10%) im Sommer und um ca. 20 mm (12%) im Winter
- ca. -30 mm bzw. -44% im Jahr
- Hoch signifikant abnehmend im April und Juni

# Sickerwasserrate Trend

Kein signifikanter Trend

## Jährliche Sickerwasserrate mit Trendgerade

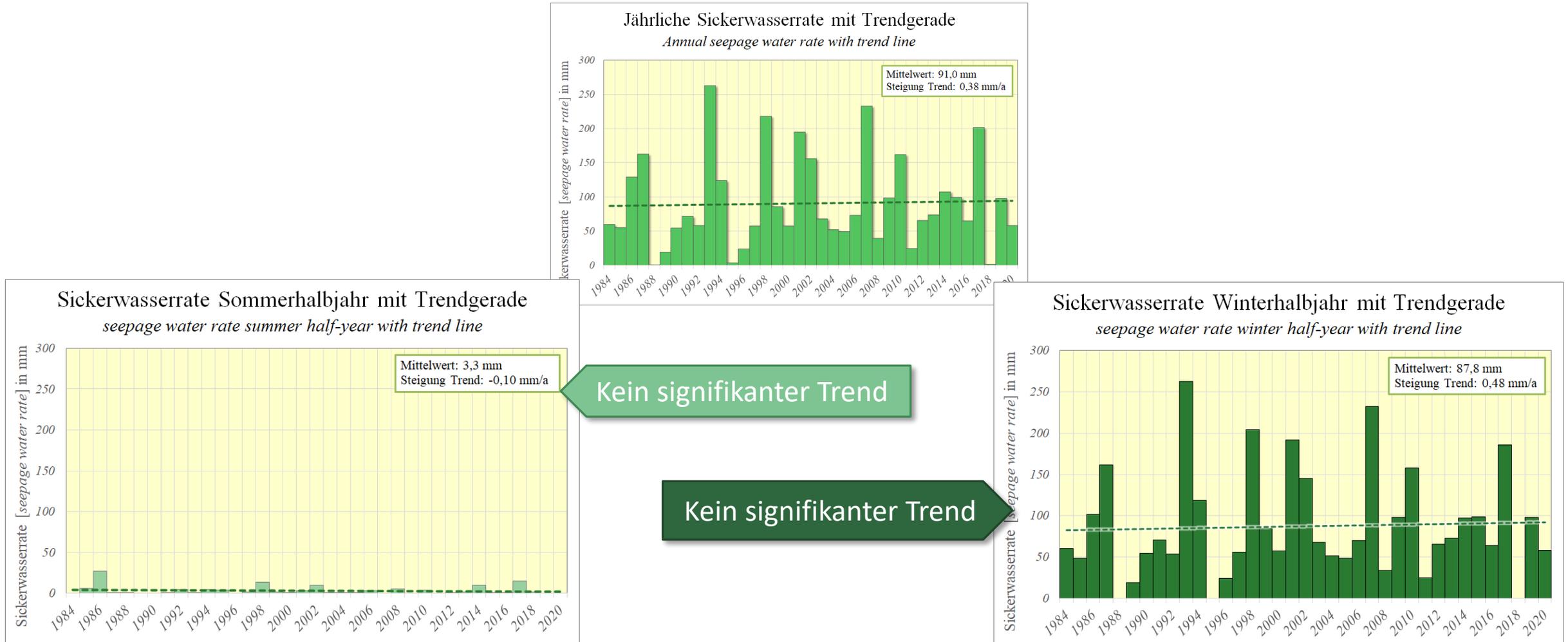
*Annual seepage water rate with trend line*



**Abb. 13: Jährliche und halbjährliche Sickerwasserrate im Untersuchungszeitraum (1984 bis 2020)**

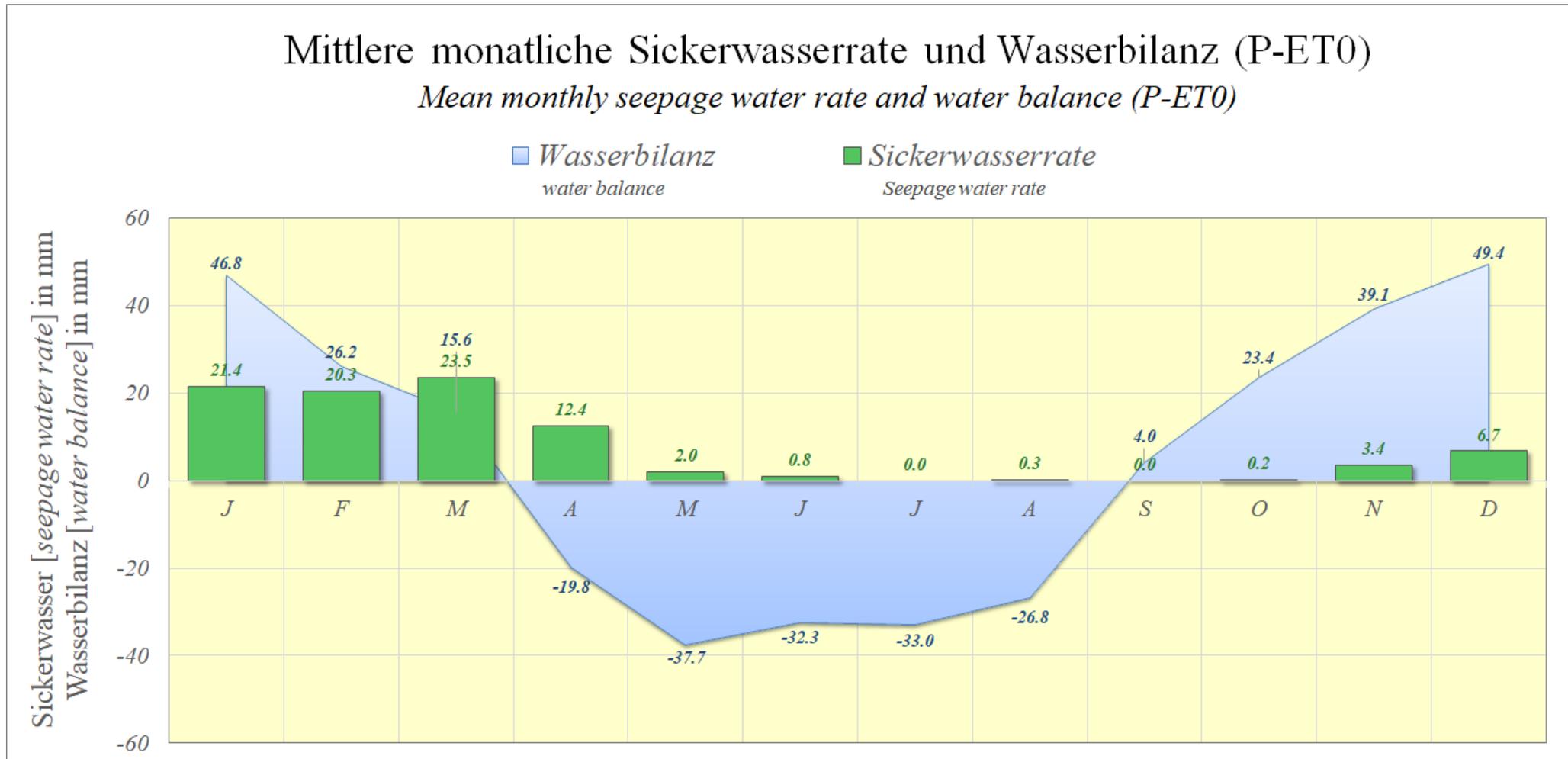
Annual and semi-annual seepage water in the period (1984 to 2020)

# Sickerwasserrate Trend



**Abb. 13: Jährliche und halbjährliche Sickerwasserrate im Untersuchungszeitraum (1984 bis 2020)**  
 Annual and semi-annual seepage water in the period (1984 to 2020)

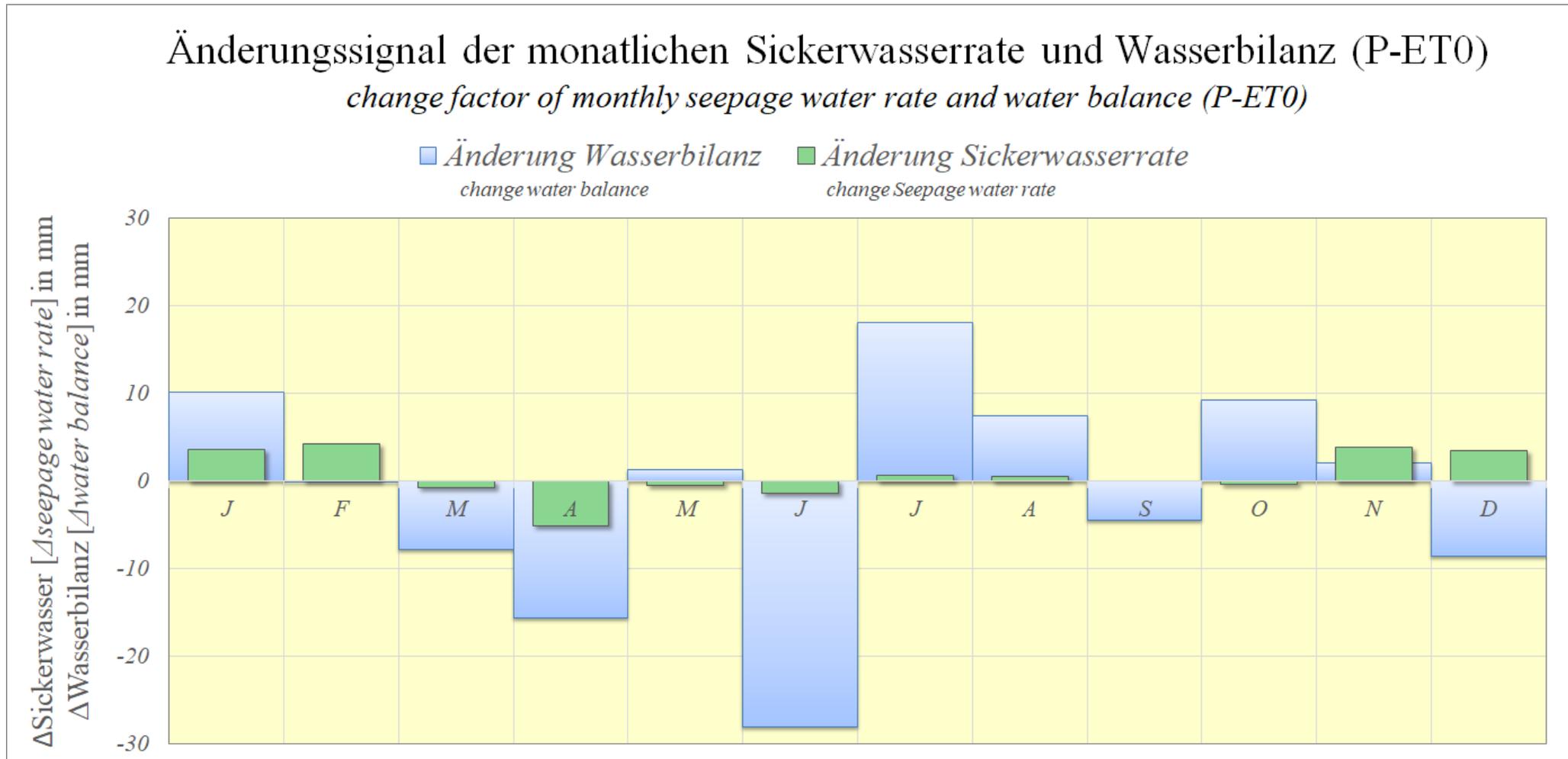
# Sickerwasserrate Trend



**Abb. 14: Mittlere monatliche Sickerwasserrate und monatliche Wasserbilanz im Untersuchungszeitraum (1984 bis 2020)**

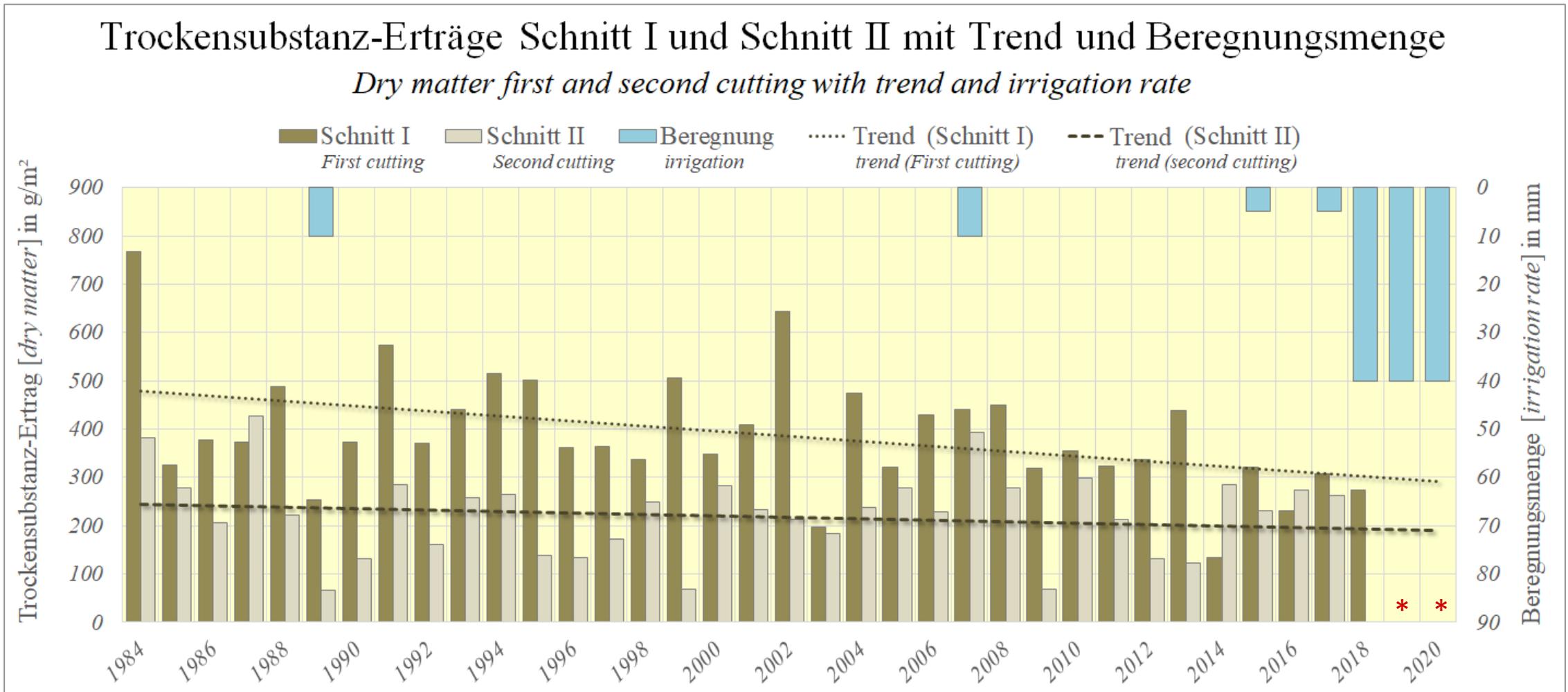
Mean monthly seepage rate and monthly water balance during the study period (1984 to 2020)

# Sickerwasserrate Trend



**Abb. 15: Änderungssignal der monatlichen Sickerwasserrate und der monatlichen Wasserbilanz zwischen Vergangenheit (1984-2000) und Gegenwart (2001-2020)**  
Change signal of the monthly seepage rate and the monthly water balance between past (1984-2000) and present (2001-2020)

# Trockensubstanz-Ertrag Trend



**Abb. 16: Trockensubstanz-Ertrag des I. und II. Schnittes von 1984 bis 2017, lineare Trendgerade des I. und II. Schnittes sowie Menge der Notberegnung; \* keine Daten**  
 Dry matter of first and second cutting from 1984 to 2017, linear trend of first and second cutting and amount of irrigation; \* no data

# Schlussfolgerung

---

## *Meteorologische Trends* am Untersuchungsstandort

- Signifikant ansteigende Temperaturen in allen Untersuchungszeiträumen (insb. im Sommer und Herbst) (+1°C)
- Keine signifikanten Änderungen des Niederschlags (tendenziell sinkend im Frühling (-10%), steigend im Sommer und Herbst) (+3% im Jahr)
- Zum Teil signifikant steigende Verdunstung (insb. im Frühling und Sommer)
- Signifikant sinkende Wasserbilanz im Frühling

## *Projizierter Klimawandel* in Deutschland

- Steigende Temperaturen; Zunahme um 1-2°C in der Nahen Zukunft, um 1-4°C in der Fernen Zukunft
- Niederschlag nur geringfügige Änderung, leichte Zunahme im Frühling, Herbst und Winter (ca. 20% in der FZ), Abnahme im Sommer

Die Änderungen im Frühling (höhere Temperaturen und sinkende Niederschläge, welche sind in einer fallenden Wasserbilanz auswirken) werden durch die Klimamodelle nur unzureichend wiedergegeben

# Schlussfolgerung

---

## *Sickerwasser Trend* an der Lysimeterstation Falkenberg

- Keine signifikanten Änderungen des Sickerwasseraustrags
- Tendenziell sinkende Raten im Frühling, insbesondere im April (-5 mm/Monat bzw. -34%)
  - Zurückzuführen auf eine verringerte Wasserbilanz
- Tendenziell steigende Raten in den Wintermonaten (Februar: +4 mm/Monat bzw. +23%)

## *Trockensubstanz-Ertrag Trend* an der Lysimeterstation Falkenberg

- Hoch signifikant sinkende Erträge für den Schnitt I
  - Sehr wahrscheinlich zurückzuführen auf die verringerte Wasserversorgung im Frühling
- Extreme Trockenjahre führten zu einem Ausfall des Schnitt II und zu einer erhöhten Notwendigkeit von Beregnung

## **Zusammenfassung**

- Entwicklung der Sickerwasserrate ist unklar, die Tendenzen zu sinkenden Raten im Frühling könnten jedoch zu Ertragsverminderung führen
- Extrem trockene Jahre führten zu Ertragsausfällen und erfordern eine erhöhte Beregnung allein zur Bestandssicherung

# Autoren

---

**1** *Janine Köhn (M.Eng.)*  
*Prof. Dr. Frido Reinstorf*  
*Hochschule Magdeburg Stendal*  
*Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit*  
*Lehrgebiet Hydrologie und Geographische Informationssysteme*  
*Breitscheidstraße 2*  
*D-39114 Magdeburg*

**2** *Prof. Dr. Ralph Meißner*  
*Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg*  
*Naturwissenschaftliche Fakultät III*  
*Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften*  
*Julius-Kühn-Straße 23, D-06112 Halle (Saale)*

**3** *Prof. Dr. Ralph Meißner*  
*Dr. Holger Rupp*  
*Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ*  
*Lysimeterstation*  
*Falkenberg 55*  
*D-39615 Altmärkische Wische*

# Quellen

---

**Arbeitsblatt ATV-DVWK-M 504** (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden, S. 45.

**Brienen, S.; Walter, A.; Brendel, C.; Fleischer, C.; Ganske, A.; Haller, M.; Helms, M.; Höpp, S.; Jensen, C.; Jochumsen, K.; Möller, J.; Krähenmann, S.; Nilson, E.; Rauthe, M.; Razafimaharo, C.; Rudolph, E.; Rybka, H.; Schade, N.; Stanley, K.** (2020): Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. 157 Seiten. DOI: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02

**DWD (2020)**: Klimawandel in Deutschland von 1881 bis 2100: Die Grafik zeigt den gemessenen und von der Klimaforschung erwarteten Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Deutschland. DWD-Bilanz Wetter und Klima 2019: <https://bit.ly/2QoXoNb/kis>; URL: [https://twitter.com/DWD\\_presse/status/1239862305053171713/photo/1](https://twitter.com/DWD_presse/status/1239862305053171713/photo/1)

**Godlinski F.** (2005): „Abschätzung der Phosphorausträge aus der ungesättigten Bodenzone anhand numerischer Interpretationen von Lysimeterversuchen“. Dissertation. Universität Rostock.

**Meißner R., Rupp H., Seeger J., Ollesch G. & Gee G. W. (2010)**: „A comparison of water flux measurements: passive wicksamplers versus drainage lysimeters“. European Journal of Soil Science 61.4

**Richter, D.** (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zu Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit