# Wasserhaushalt: aktuell und Trends in der Zukunft

**Heike Puhlmann**
FVA, Abteilung Boden und Umwelt

**Gerald Kändler, Arno Röder, Thilo Wolf**
FVA, Abteilung Biometrie und Information

**Paul Schmidt-Walter**
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

# Gliederung



- Einführung: Standortsfaktor Wasserhaushalt
- Klimawandel: erwartbare Auswirkungen auf den Wasserhaushalt
- Wasserhaushaltsmodelle: Verallgemeinerung von Beobachtungen
- Modellanwendungen:
  - Trends in der Vergangenheit
  - Projektionen in die Zukunft
- Zusammenfassung & Ausblick

# Standortsfaktor Wasserhaushalt

Baumarten-
eignung

Nährstoff-
verfügbarkeit

Wachstum & Holzqualität

Wasserhaus-
haltsstufen

Mittlerer
Standortswasserhaushalt
und Extremereignisse

Sickerwasser, Grund-
wasserneubildung

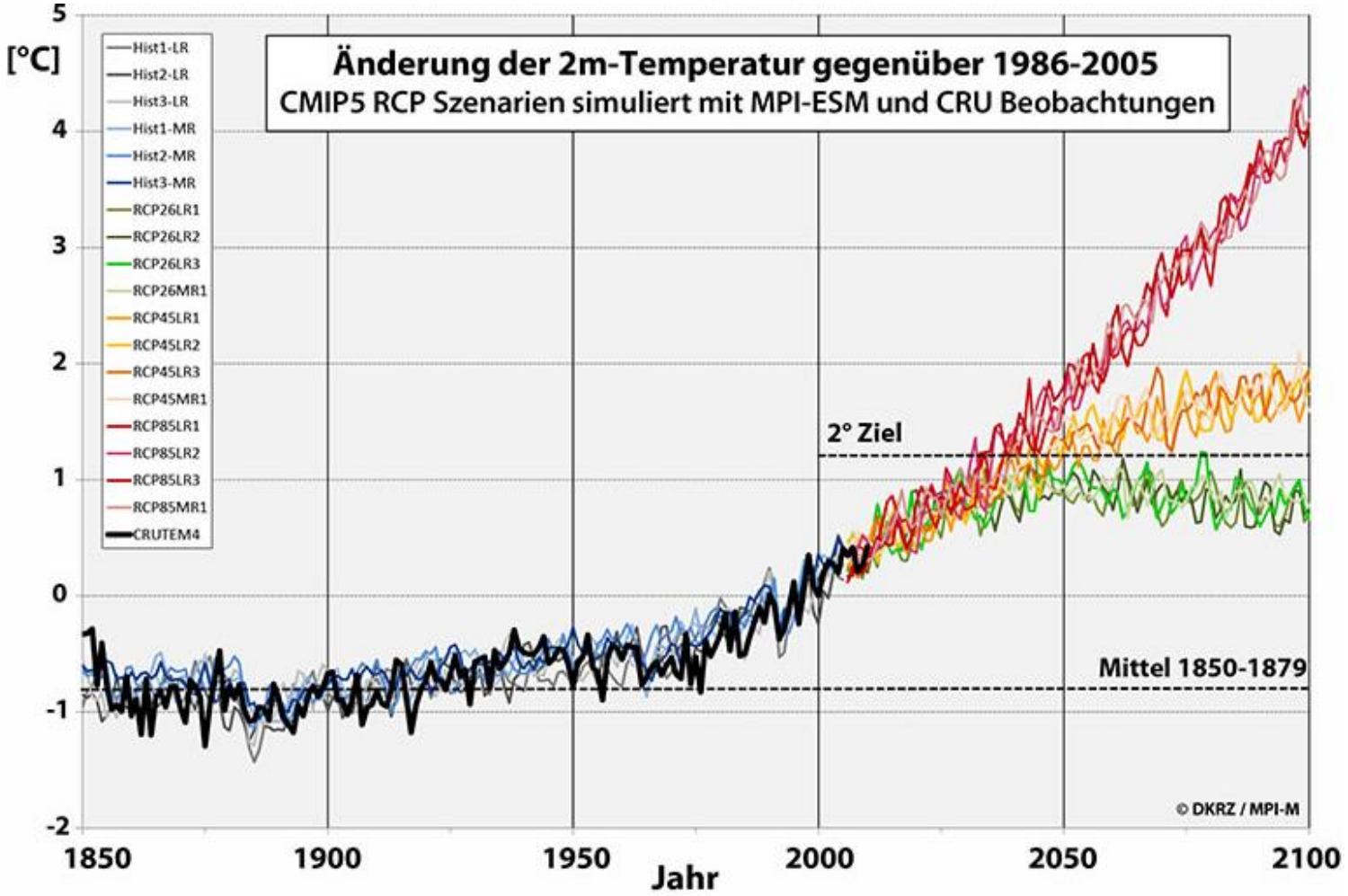
Schutzgebiete

Prädisposition für biotische (z.B. Borkenkäfer)
und abiotische (z.B. Sturmwurf) Schäden

# Wasserhaushalt im Stress: steigende Temperaturen



Abb.: Trend der globalen Jahresmitteltemperatur



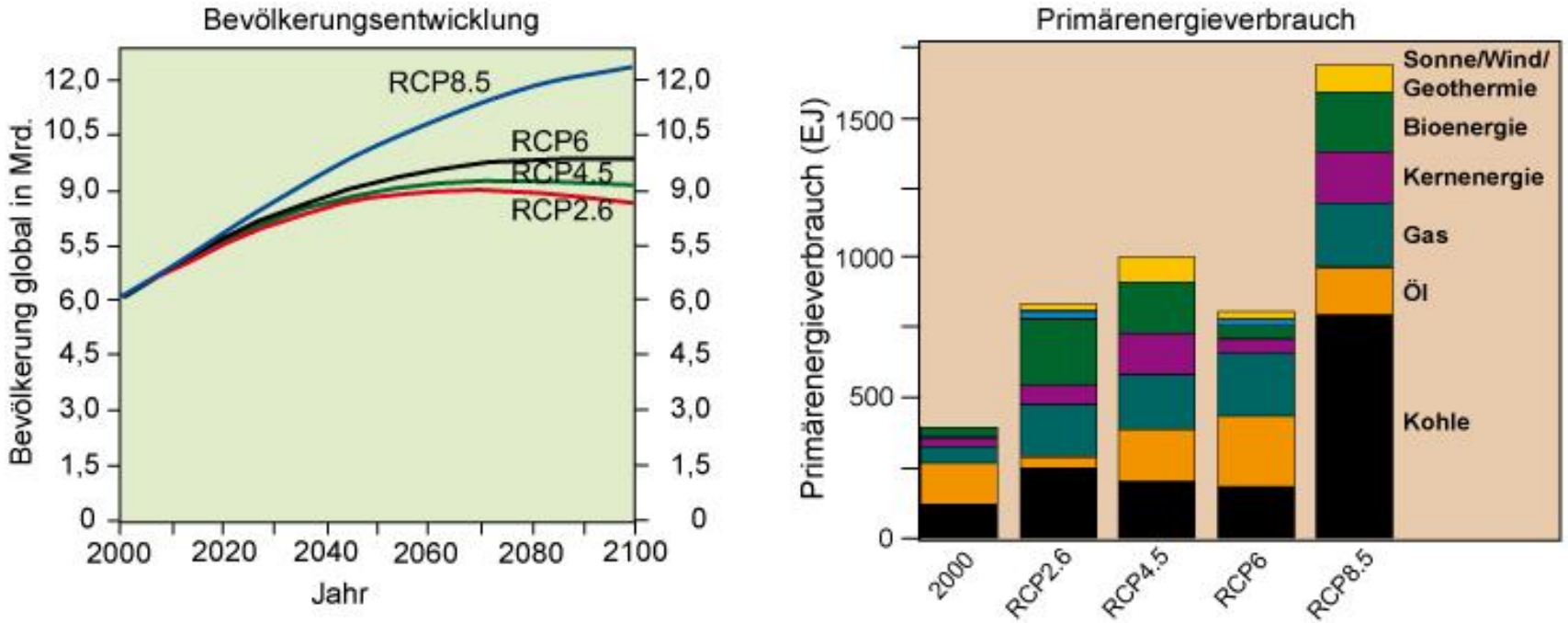

Quelle: http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien

# Klimaänderungsszenarien („RCP-Szenarien“)



- RCP = Representative Concentration Pathways: sollen denkbare Entwicklungen in der CO2-Konzentration der Atmosphäre abbilden
- Annahmen zur Entwicklung der Weltbevölkerung (und damit Energiebedarf), zum Energiemix und zum Lebenswandel (Nahrung, Verkehr,…)

Abb.: Bevölkerungsentwicklung und Energieverbrauch in den RCP-Szenarien




Quelle: http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien

# Erwartete Klimaänderungen in Baden-Württemberg



- Berechnung hochaufgelöster Klimazeitreihen für Baden-Württemberg auf der Basis vorhandener Globalmodelle (Kooperation mit Uni Hamburg, Prof. J. Böhner)
- Parameter: Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit
- Retrospektiv: 1961-2010
- Klimaprojektionen: 2011-2100, RCP 2.6, 4.5, 8.5
- 250m-Raster, Tageswerte

➡ Starke und eindeutige Temperaturzunahme, geringe und unsichere Änderung im Niederschlag

**1971 - 2000**

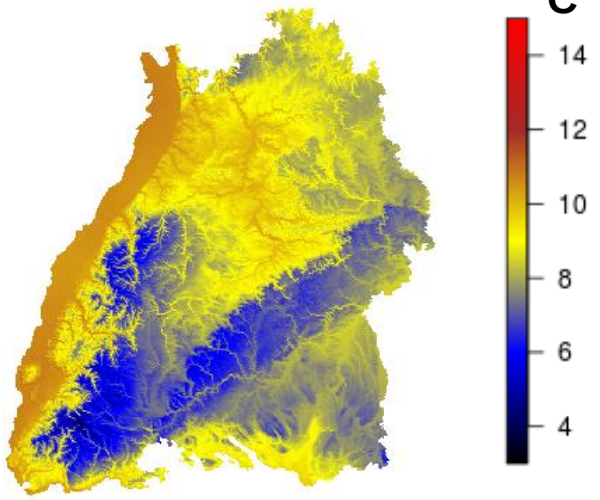
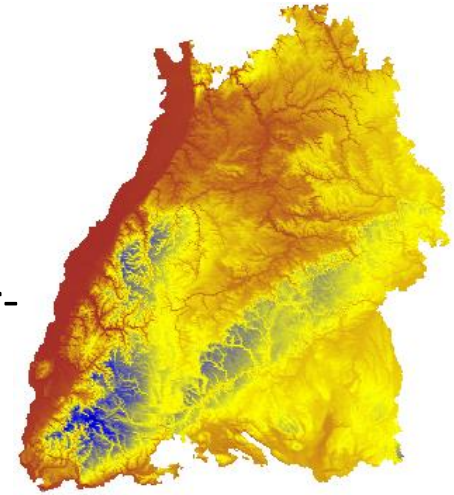
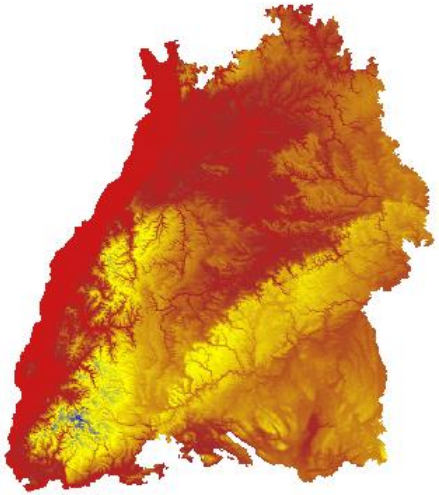



Abb.: 30jährige Jahresmitteltemperatur

**2071 - 2100 | RCP 4.5**



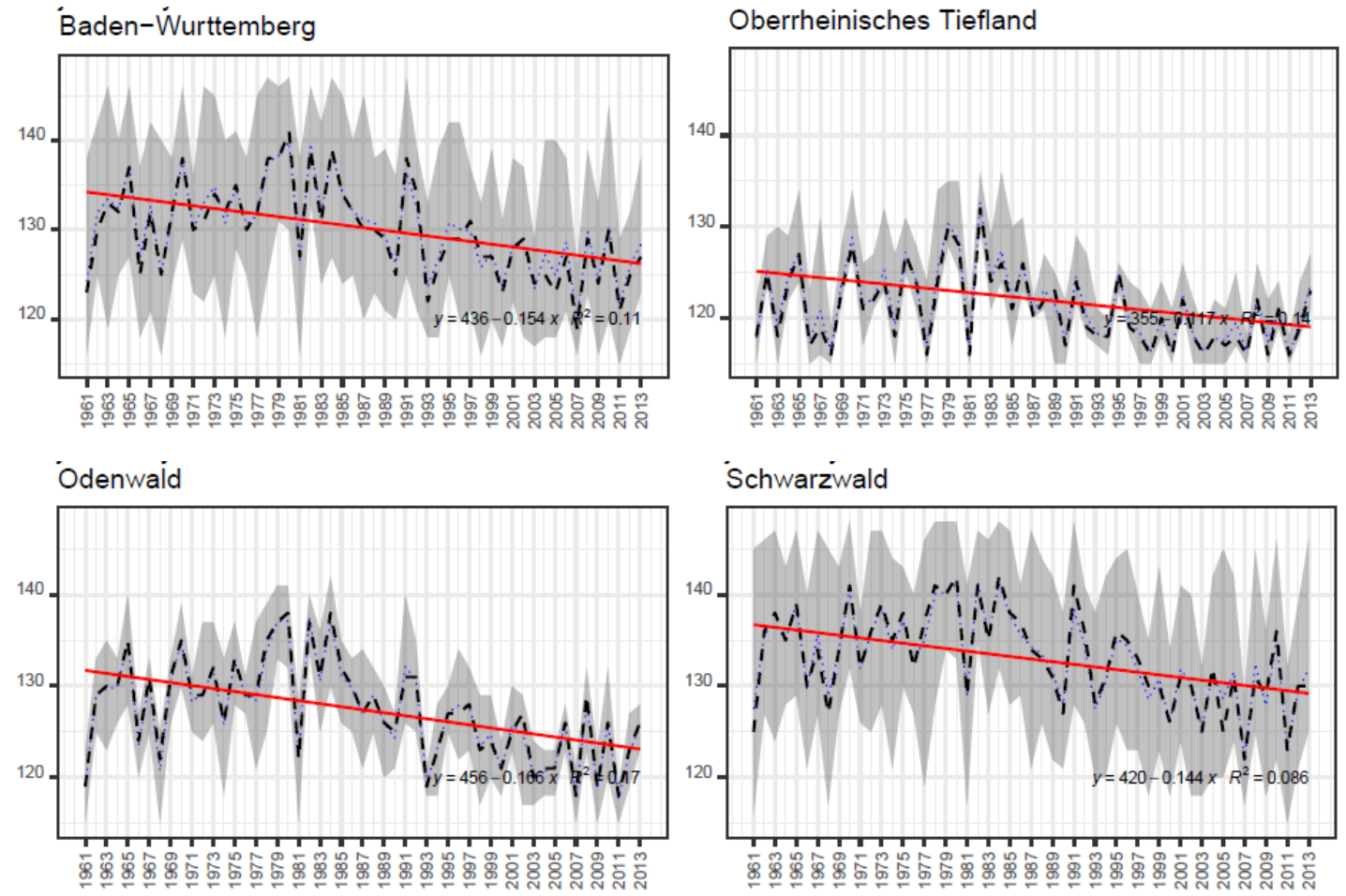
**2071 – 2100 | RCP 8.5**



# Wasserhaushalt im Stress: längere Vegetationsperioden



Abb.: Zeitpunkt (Kalendertag) des Blattaustriebs bei Buche in BaWü (250m-Raster)



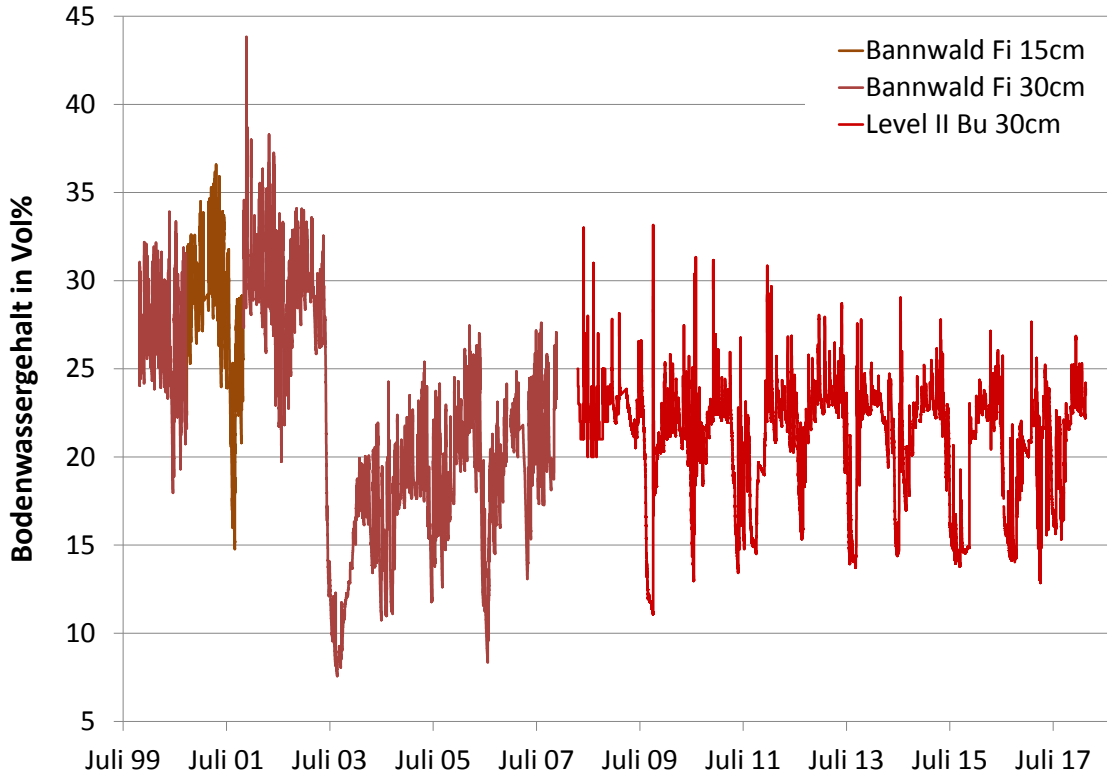

- Längere Vegetationsperiode
- Erhöhte Transpiration
- Früherer Beginn + späteres Ende der Wasseraufnahme
- Kürzere Wiederaufsättigungsphase (Vegetationsruhe)

# Trends im Wasserhaushalt messen?



- Wasserhaushaltsgrößen nur punktuell messbar.
- Im Vergleich zu Klimadaten nur kurze und wenige Zeitreihen vorhanden

Abb.: Bodenfeuchtemessungen im Conventwald




- *Aussagen für ganze Waldflächen?*
- *Projektionen in die Zukunft?*
- *Szenariorechnungen (z.B. Baumartenwahl)?*

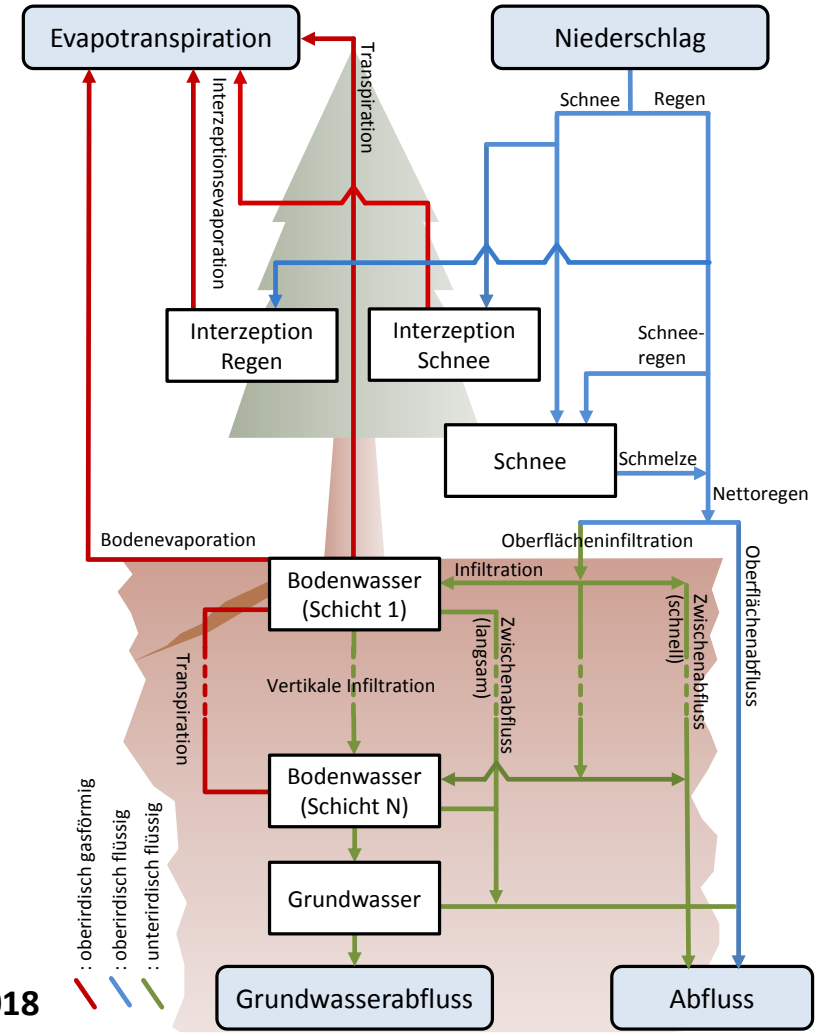
Nur über Wasserhaushaltsmodelle möglich.

# Verwendung von Wasserhaushaltsmodellen



- Beschreibung des Wasserhaushalts über Wechselwirkungen zwischen Standort/Boden, Waldbestand und Klima
- Im Forstbereich weit verbreitetes Modell: LWF-Brook90 (Hammel & Kennel 2001)
- Modellierung von Tageswerten aller Wasserhaushaltskomponenten:
  - Verdunstung/Transpiration
  - Bodenwasergehalte, -spannungen, -flüsse in verschiedenen Boden-tiefen
  - Tiefensickerung/Grundwasserneu-bildung

Abb.: Fließschema LWF-Brook90




**Quelle: Hallas 2018**

# Trockenheitsindikatoren



Abgeleitet aus den modellierten Tageswerten der Wasserhaushaltskomponenten, u.a.:

- $Transpirationsdifferenz\ (TDiff) = aktuelle\ Transp.\ [mm] -\ potentielle\ Transp.\ [mm]$

- $relativer\ Wassergehalt\ (REW) = \frac{aktueller\ Wassergehalt\ [mm]}{nutzbare\ Feldkapazität\ (nFK)\ [mm]}$

- $Anzahl\ an\ Tagen, an\ denen\ ein\ kritischer\ Wassergehalt\ oder\ eine\ kritische\ Wasserspannung\ im\ Wurzelraum\ unterschritten\ wird$

# Beispielanwendungen von LWF-Brook90



1. Intensivmonitoring-Plots ICPForest (Level II)
2. Raster der Bodenzustands-erhebung (8 x 8 km)
3. Raster der Bundeswald-inventur (4 x 4 km)
4. 250m-Punktgitter für gesamte Waldfläche BaWü

Datenverfügbarkeit

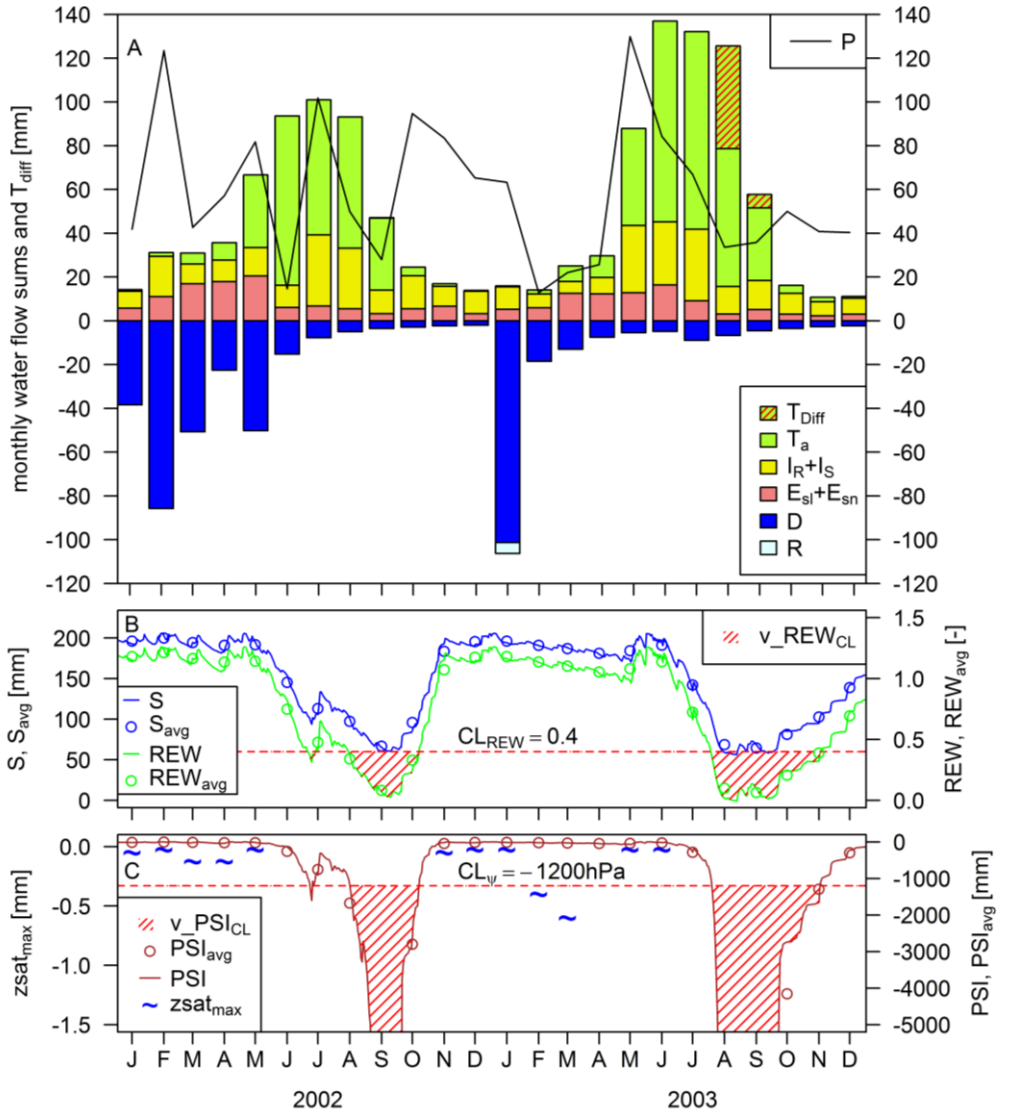
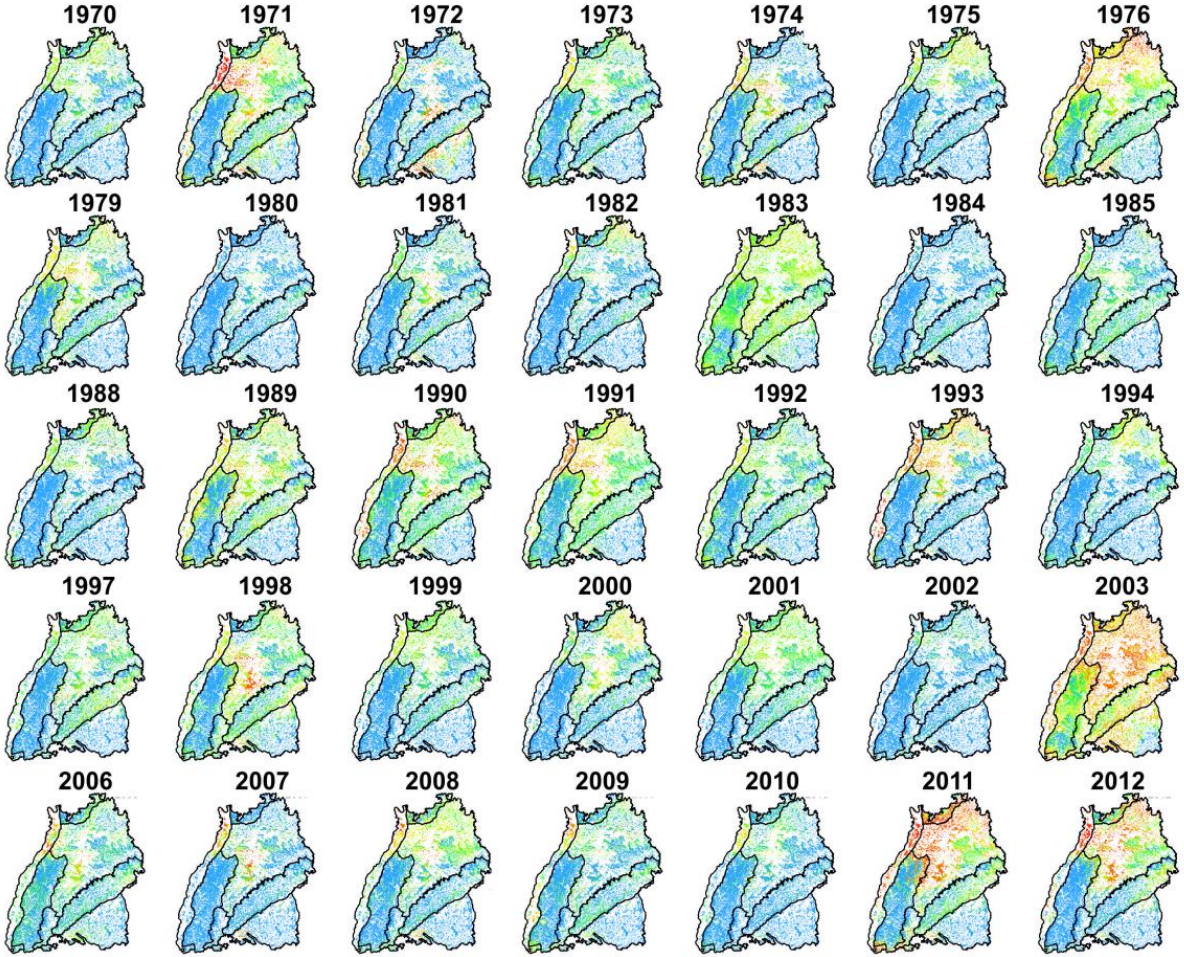



Abb.: Modellergebnisse für BWI-Trakt 18394/3 (Buchenbestockung)

# Raum-Zeit-Muster von Wassermangel in Ba-Wü



Abb.: Anzahl Tage in der Vegetationsperiode, an denen kritische Wasserspannung (-1200 hPa) im Wurzelraum unterschritten wird




*extreme Trockenjahre:*

teilweise sehr starkes und lang andauerndes Unterschreiten der kritischen Bodenwasser-spannung an nahezu allen Waldorten

*mittlere Jahre:*

intensiver Wassermangel in Tieflagen und im Regenschatten von Schwarzwald und Schwäbischer Alb

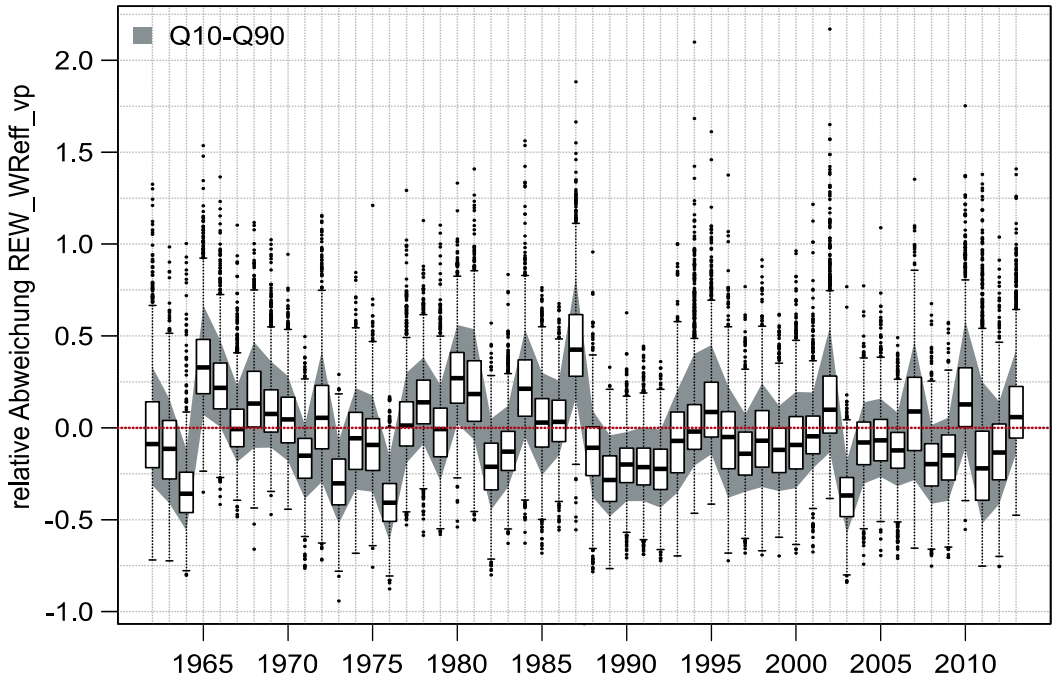
kleinräumige Differenzierung durch nFK des Bodens (Steingehalt, Bodenart)

# Häufigere Trockenjahre seit Ende der 1980er Jahre



- Zunahme der Vegetationszeiten mit unterdurchschnittlicher Wasserversorgung seit dem Ende der 1980er Jahre
- Median in den meisten Jahren seit 1989 im negativen Bereich → Mehrzahl der BZE-Plots im Vergleich zu 1961-1990 mit unterdurchschnittlicher Speicherfüllung

Abb.: Bodenwasserfüllung in der Vegetationszeit (relative Abweichung vom Mittel 1961-1990) an BZE-Profilen

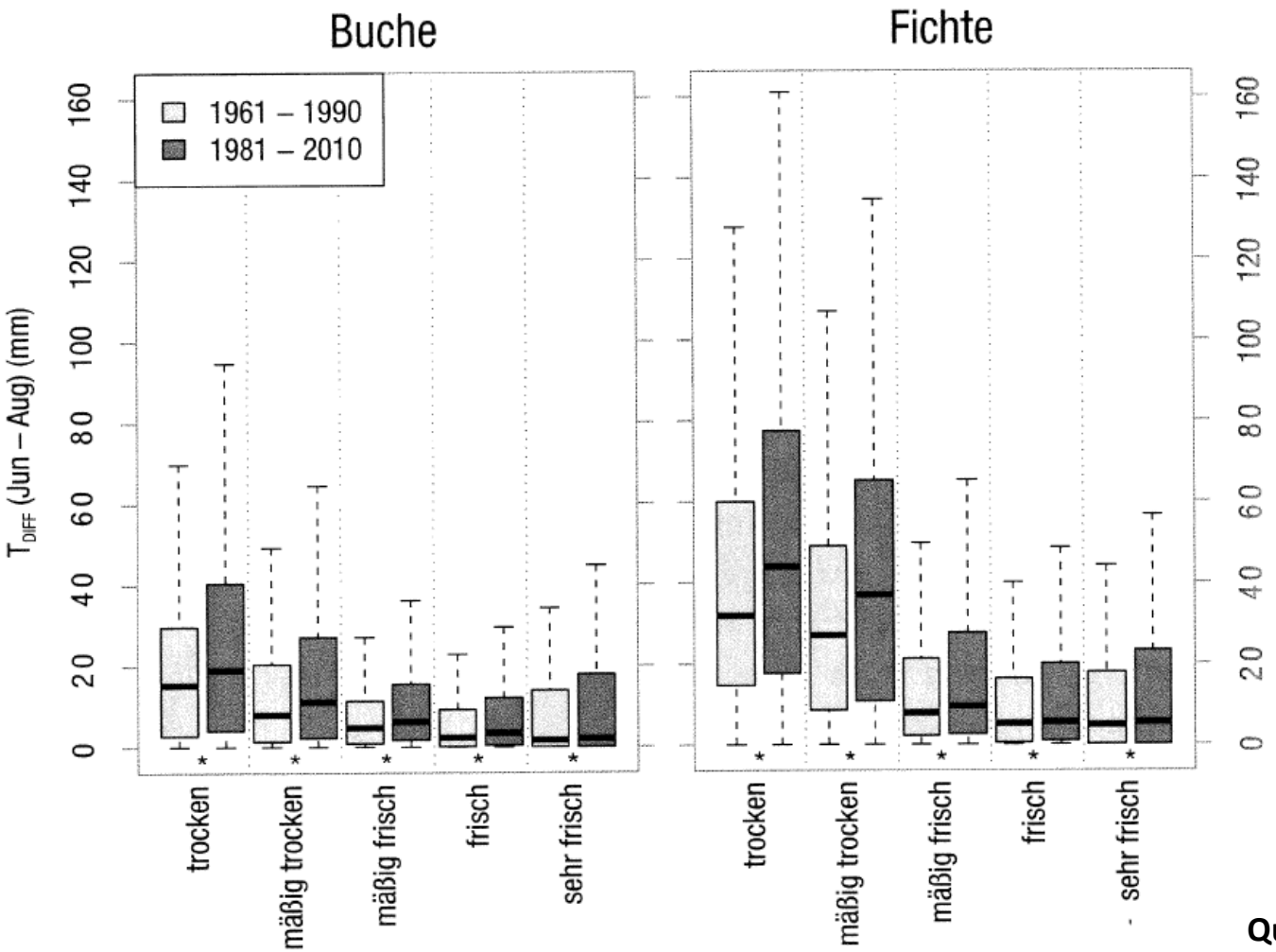



- Von 1989 bis 1992 ist sogar das 90 %-Quantil negativ: in vier aufeinanderfolgenden Vegetationsperioden waren 90 % der BZE-Plots unterdurchschnittlich wasserversorgt.
- Seit 1988: Mediane nur noch für fünf Jahre über dem Referenzwert der Periode 1961-1990, in 20 Jahren lagen sie darunter.

# Wasserhaushaltsstufen sind dynamisch



Abb.: Transpirationsdifferenz an bundesweiten BWI-Traktecken

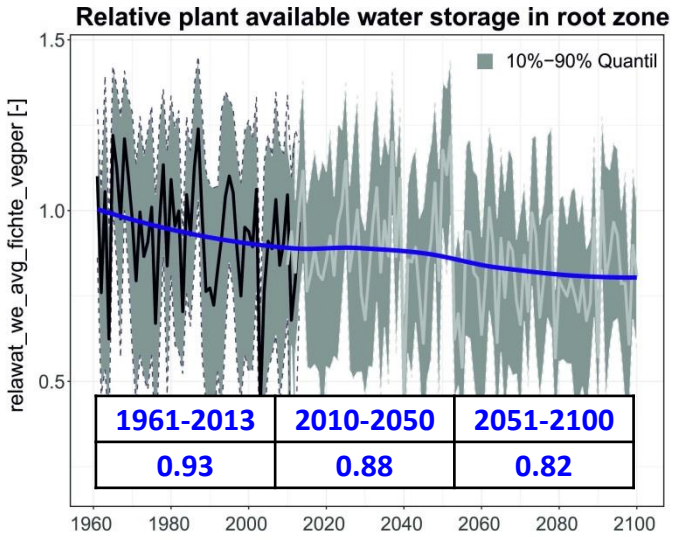


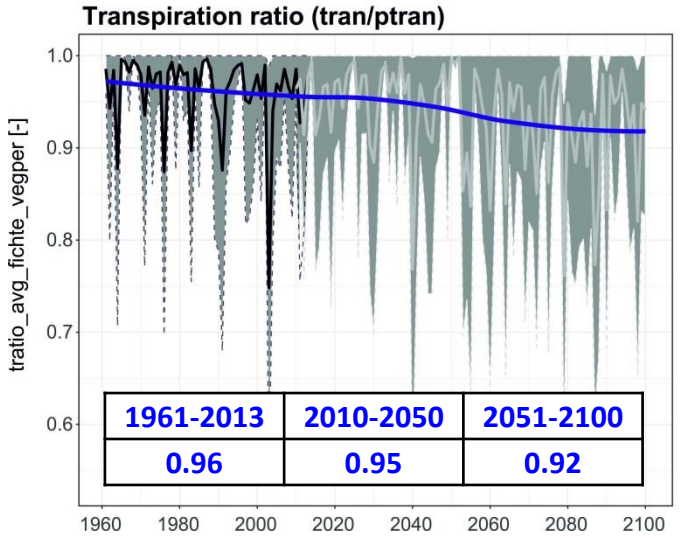

- Wassermangel nimmt für alle Feuchtestufen der Standortskartierung zu
- Standortsfaktor „Wasserhauhalt“ ist nicht statisch
- Dynamisierung der Wasserhaushaltsstufen und der ökologischen Feuchtestufen in der Standortskartierung notwendig

**Quelle: Schmidt-Walter et al. 2017**

# Wohin geht die Reise?






- RCP8.5 und RCP4.5: weitere Verschärfung von Wassermangel
- Abnehmende Wasserverfügbarkeit in „mittleren“ Jahren: weniger Wasser für Transpiration → weniger Photosynthese
- Häufigere „extreme“ Jahre, in denen auf (fast) allen Waldstandorten Wassermangel auftritt

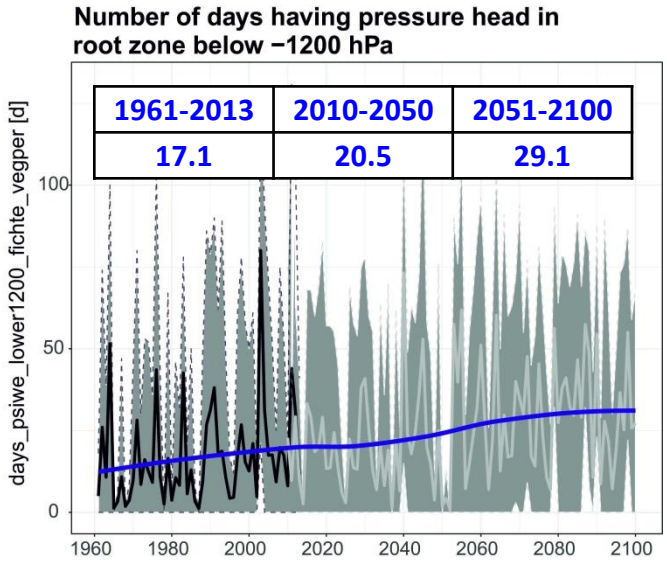



Abb.: Entwicklung von Wassermangelkenngrößen im Szenario RCP8.5

# Unterschiedliche Trends in den Wuchsgebieten



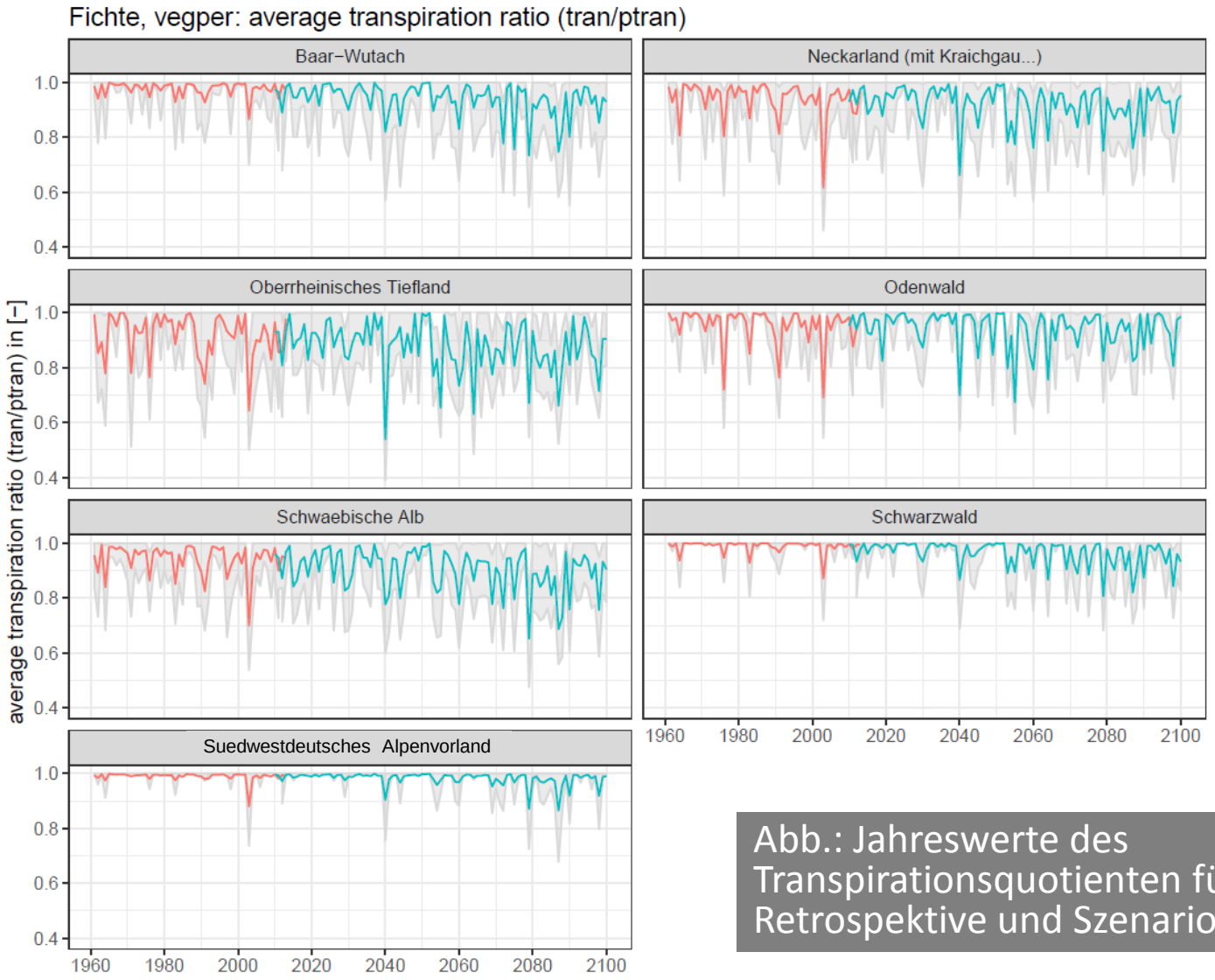



Abb.: Jahreswerte des Transpirationsquotienten für Retrospektive und Szenario RCP8.5

# Unterschiedliche Trends in den Wuchsgebieten



- Kenngrößen, die extreme Trockenphasen charakterisieren, haben stärkeren Trend als die mittlere Wasserverfügbarkeit
- RCP4.5: Änderungen besonders groß in Gebieten, in denen der Wasserhaushalt schon jetzt angespannt ist (Oberrhein, Neckarland)
- RCP8.5: Änderungen besonders groß in Gebieten mit aktuell guter Wasserversorgung (Alpenvorland, Schwarzwald)

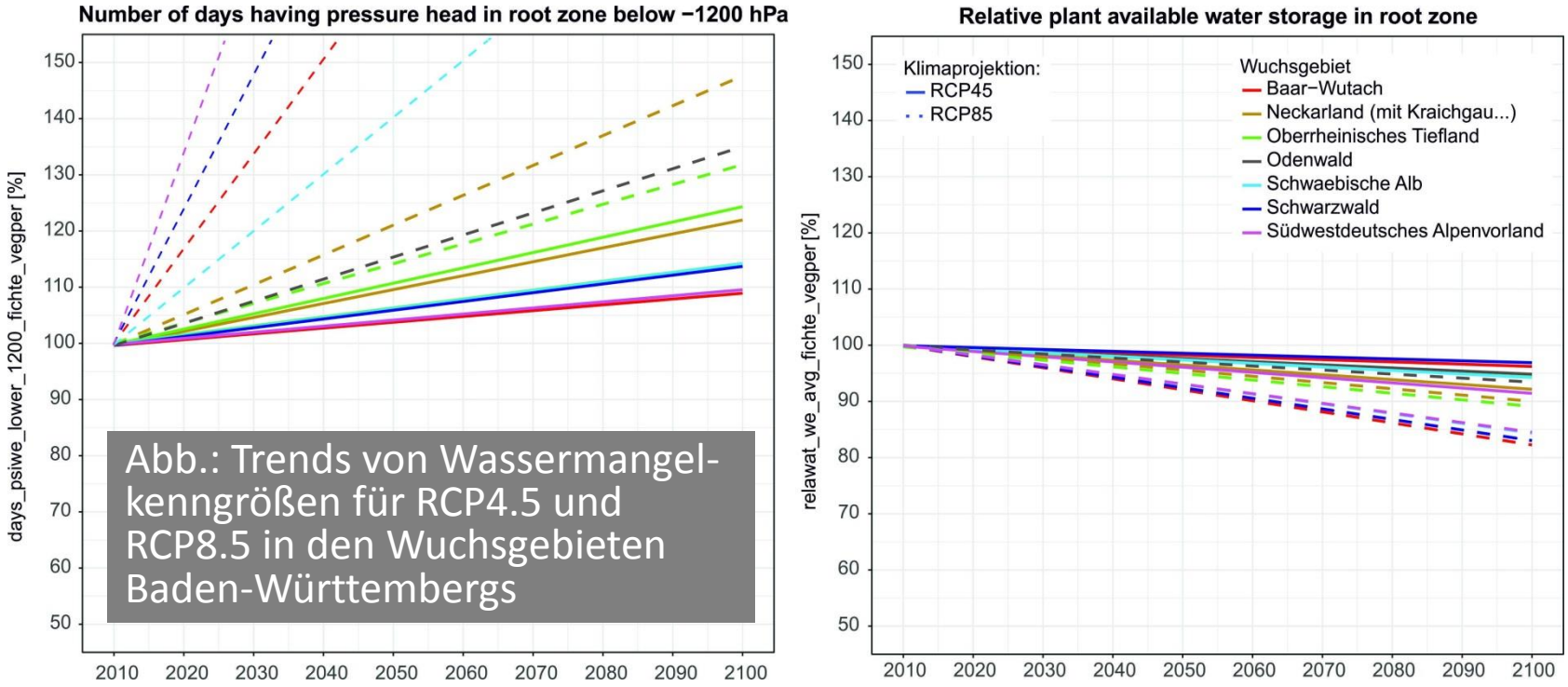



Abb.: Trends von Wassermangel-kenngrößen für RCP4.5 und RCP8.5 in den Wuchsgebieten Baden-Württembergs

# Zusammenfassung



- Klimaänderungen haben Auswirkungen auf den Wasserhaushalt
  - Längere Vegetationsperioden → höhere Transpiration
  - Geringere Vorfeuchte im Frühjahr
  - Häufigere und intensivere Austrocknung in Vegetationsperiode
- Wasserhaushalt ist kein konstanter Standortsfaktor → Bewertung der Standortseignung (z.B. für Baumartenempfehlung) muss „klimasensitiv“ sein
- Extremereignisse ändern sich stärker als die mittleren Verhältnisse
- Wuchsregionen unterschiedlich stark von Änderungen im Wasserhaushalt betroffen:
  - „Mildes“ Szenario (RCP4.5): v.a. Gebiete mit jetzt schon angespanntem Wasserhaushalt betroffen
  - „Starkes“ Szenario (RCP8.5): Gebiete mit aktuell guter Wasserversorgung betroffen

# Ausblick – Waldbewirtschaftung bei Wasserknappheit



- Daten werden in FVA-Infrastruktur bereitgestellt (Datenbank, GIS-Layer).
- Verknüpfung der modellierten Entwicklungen im Wasserhaushalt mit angewandten Fragestellungen möglich
  - Baumarteneignungskarten
  - Vulnerabilitätskarten
  - Risiko für Borkenkäferbefall: Unterschreitung kritischer Bodenwassergehalte/Bodenwasserpotentiale
  - Sturmwurfrisiko: Häufigkeit von Staunässe
  - Nährstoffverluste: Sickerwasserraten aus Wurzelraum
  - …

# Danke
# für Ihre Aufmerksamkeit!