

# BEDEUTUNG INTAKTER WÄLDER FÜR DEN GEWÄSSERSCHUTZ:

## WASSERBEZOGENE ÖKOSYSTEMDIENSTLEISTUNGEN DES WALDES

von Dr. EVA V. MÜLLER



- Einführung in Wald & Wasser

- Wasserbezogene Ökosystemdienstleistungen (ÖSDL)



- Einflussfaktoren der ÖSDL

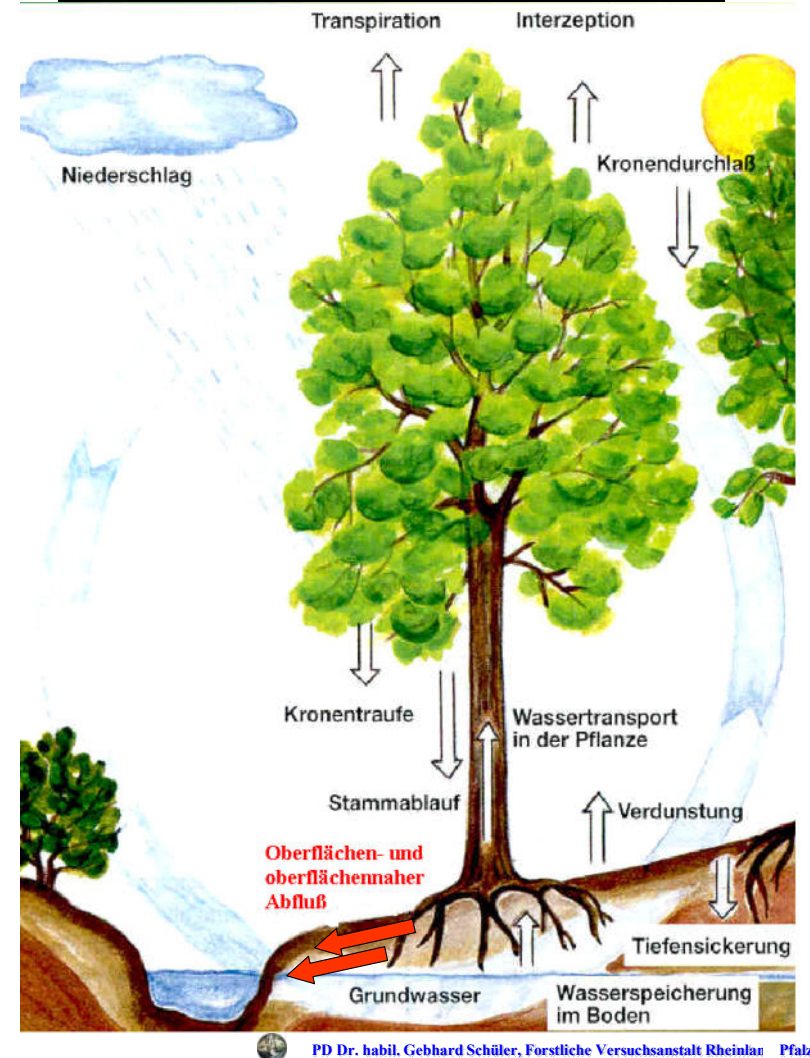


- Praktische Maßnahme zur Verbesserung der ÖSDL



- **Kronendach:** Niederschlag wird in Zeit, Menge und Aufprallenergie zurückgehalten (Abfluss, Interzeption, Evaporation)
- **Boden:** Verzögertes Eintragswasser trifft auf günstige Bedingungen für Infiltration, Versickerung, Wasserspeicherung (Humus)
- **Oberflächenabfluss wird reduziert**
- **Grundwasserneubildung wird gefördert**

## Wasserkreislauf im Wald



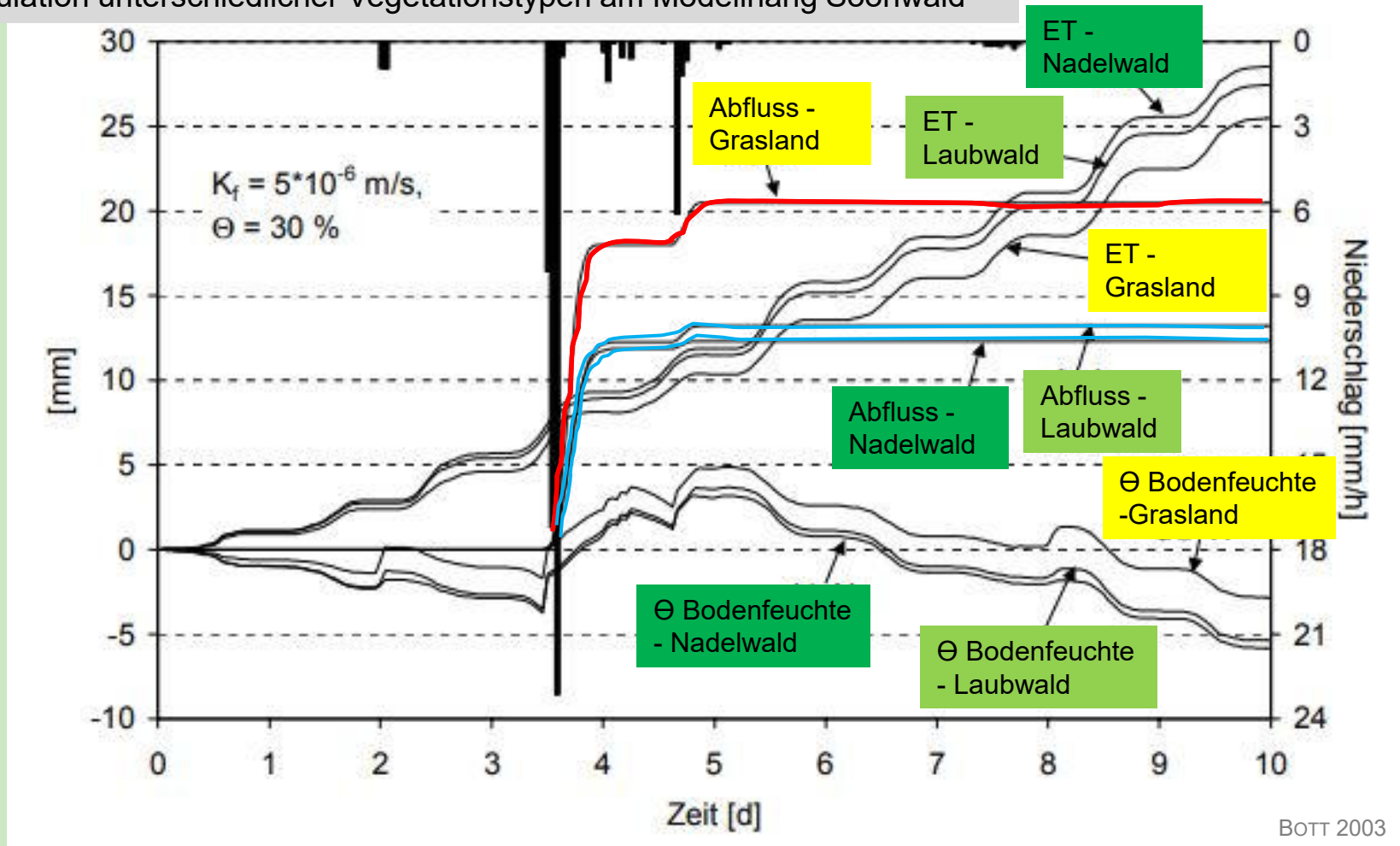
PD Dr. habil. Gebhard Schüler, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz



# EINFÜHRUNG: WALD UND WASSER



Simulation unterschiedlicher Vegetationstypen am Modellhang Soonwald





# WASSERBEZOGENE ÖSDL DES WALDES



## Interessensgruppe

Lokale Bevölkerung

Touristen

Politiker

Wasserversorger

Holzproduktion

Forschung

## Nutzen

Sauberes Trinkwasser

Biodiversität/  
genetischer Pool

Saubere Luft

Gesundheit/  
Sicherheit

Nahrungsmittel

Landschaft

Monetäre Werte

### V E R S O R G E N D

## ÖSDL

Grundwasserneubildung

Hochwasserschutz

Eutrophierungsschutz

Luftqualität/Klimaregulierung

Holz-Produktion und Nutzung

### R E G U L I E R E N D

## Zwischenkomponenten

Wasserreinigung

Regulierung  
Wasserkreislauf

Regulierung  
Nährstoffkreislauf

Lebensraum

CO<sub>2</sub>-  
Bindung

Primär-  
produktion

Kühlungs-  
wirkung

## Indikatoren

Wasserspeicherung und  
Wasserrückhalt

Nährstoffgehalte

Bodenfunktionen

Biodiversität

Bestandesstruktur

(MÜLLER 2023, modifiziert nach SCHRÖDER et al. 2012)



- **Wasserrückhalt**

- ↳ Verzögerte  
Abflussprozesse

- **Wasserreinigung**

- ↳ Filter-Puffer-  
Transformator-  
Funktionen des Bodens

- **Grundwasserneubildung**

- ↳ Tiefenversickerung

**Klimawandel**

**Bestandesstruktur:**

- Baumartenzusammensetzung
- Waldbau

**Bodenverdichtung:**

- Ernteverfahren

**Hydrogeologie**

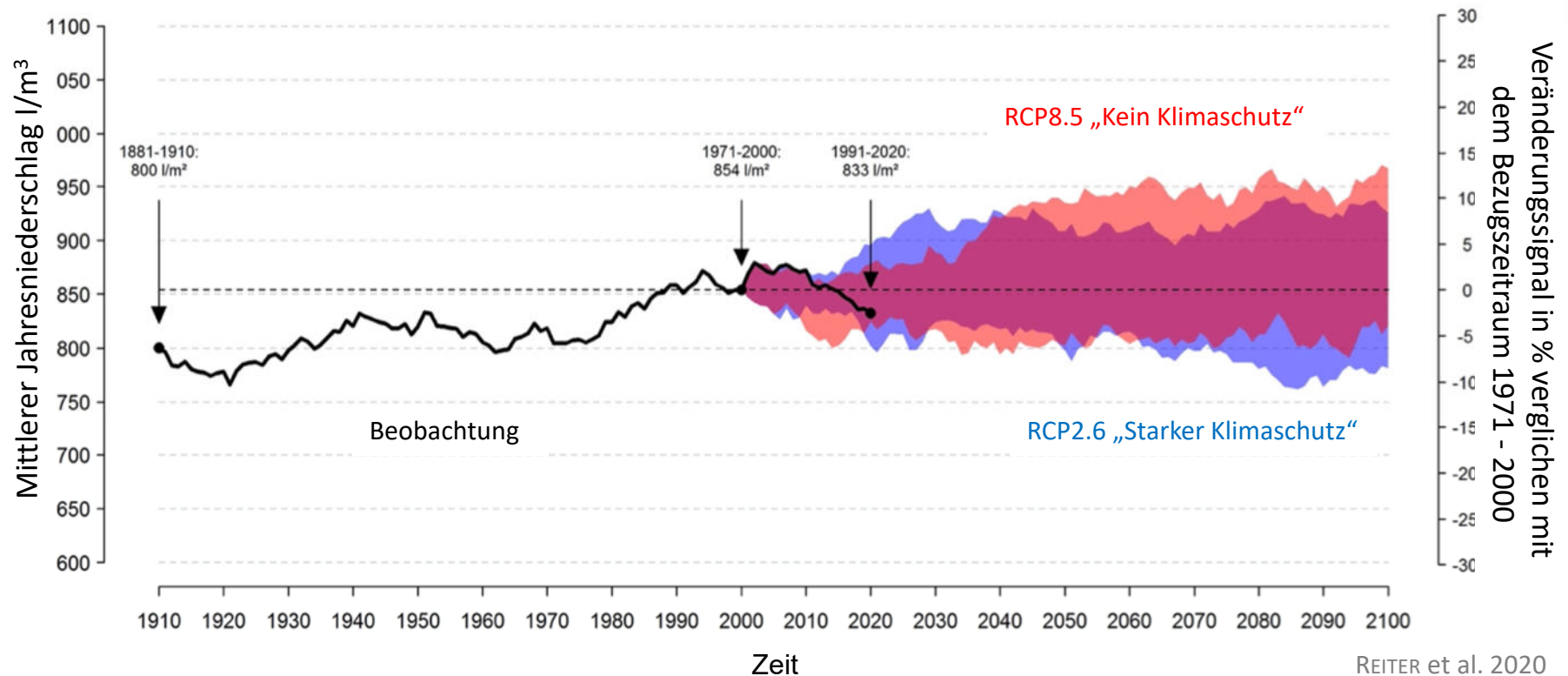




# EINFLUSSFAKTOR KLIMA



Zukünftige Entwicklung des durchschnittlichen jährlichen Niederschlags  
Im Naturraum Haardt bis Ende des Jahrhunderts

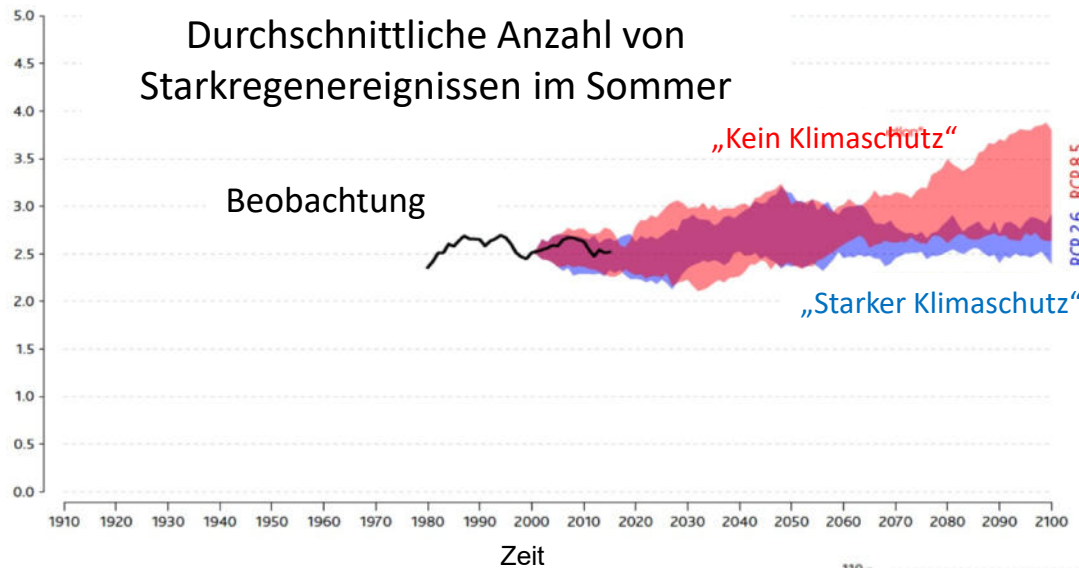




# EINFLUSSFAKTOR KLIMA: PROJEKTIONEN



Rheinland-Pfalz



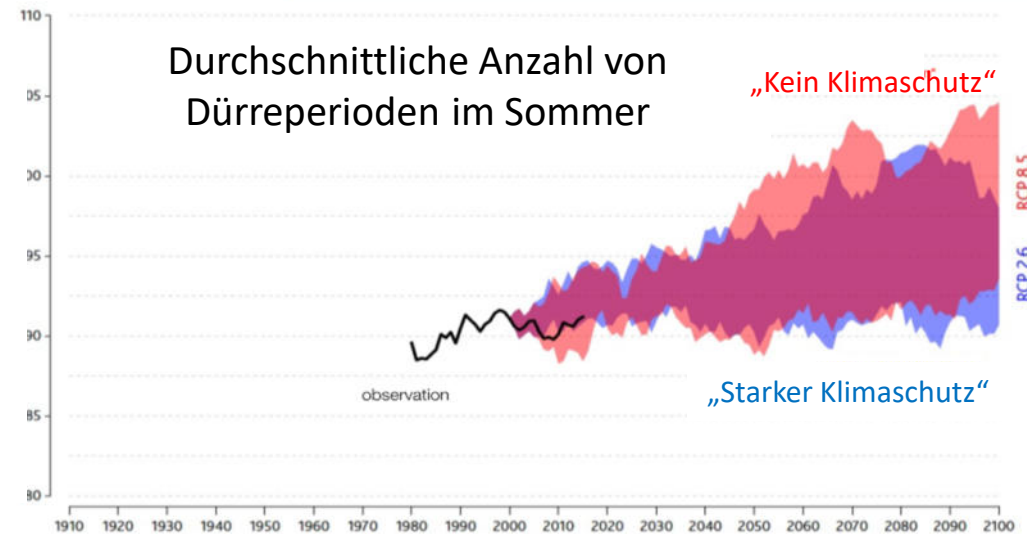
Starkregen-Ereignisse:

- Erhöhtes Risiko für Sturzfluten und Überschwemmungen

REITER et al. 2020

Trockenperioden:

- stark ausgetrocknete, hydrophobe Böden
- schlechtere Infiltration
- Erhöhung Oberflächenabfluss und Erosionsrisiko und die
- Erhöhte Gefahr von Sturzfluten



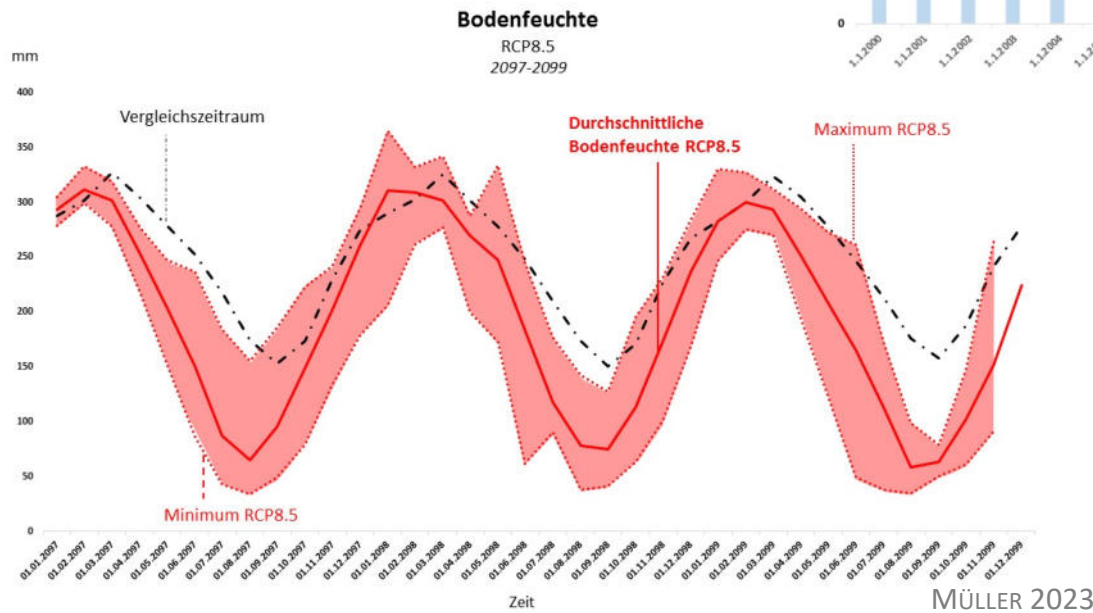
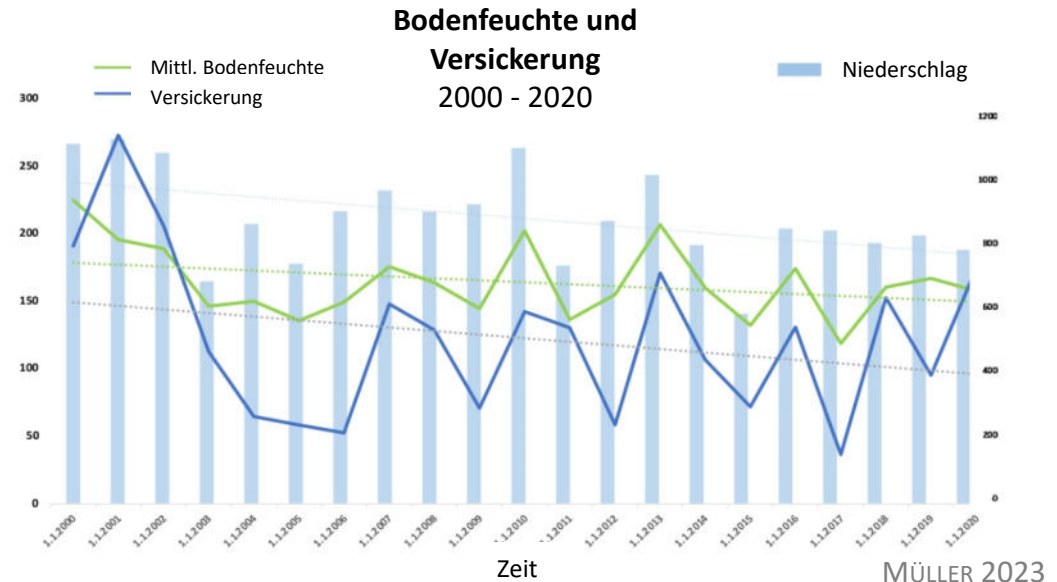




# EINFLUSSFAKTOR KLIMA: PROJEKTIONEN



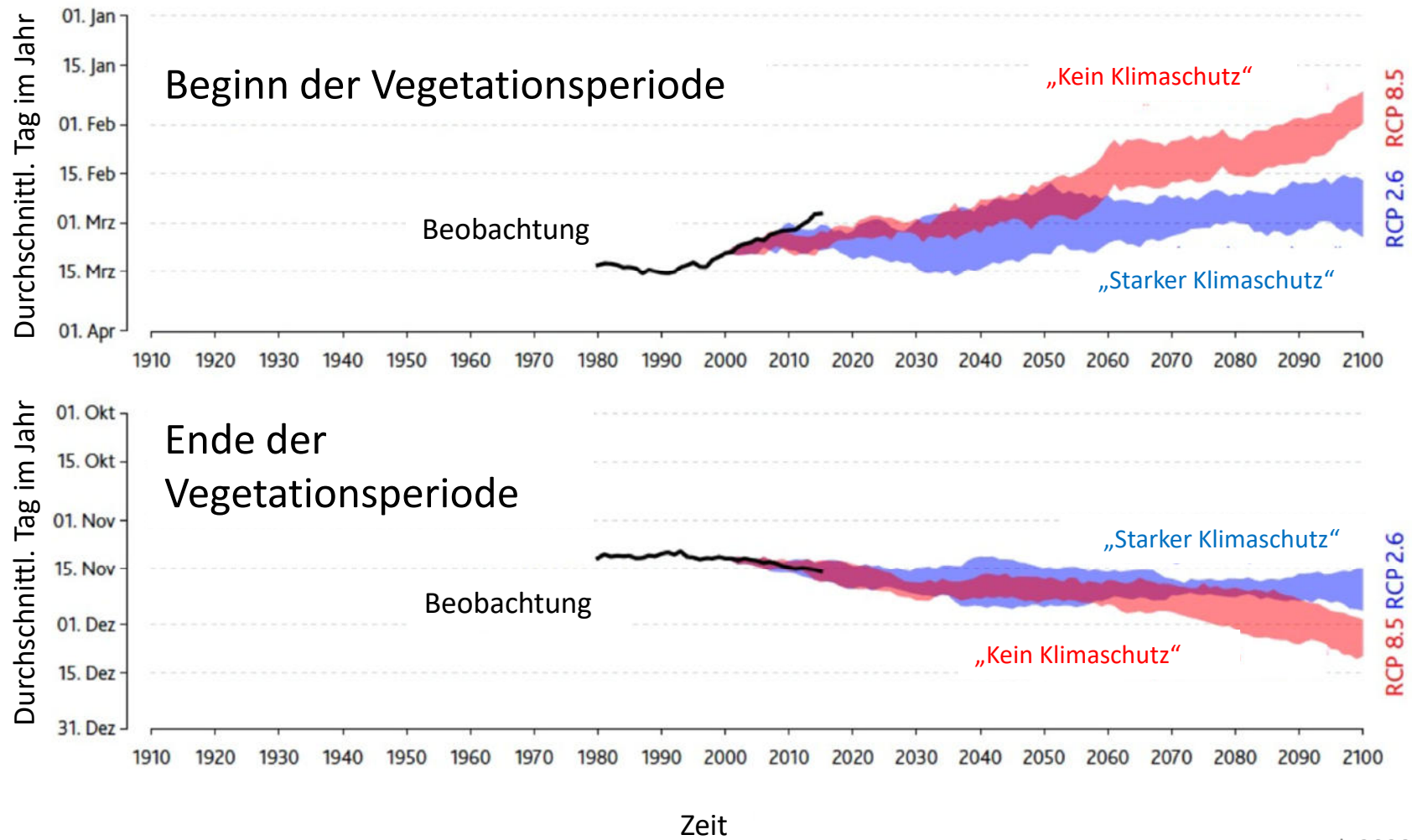
Schon seit 2000  
kontinuierlicher  
Rückgang Bodenfeuchte  
und Versickerung



Trend verschärft sich  
gemäß Klimaprojektionen  
zum Ende des  
Jahrhunderts: Zeitlich und  
mengenmäßig



# EINFLUSSFAKTOR KLIMA: PROJEKTIONEN



REITER et al. 2020

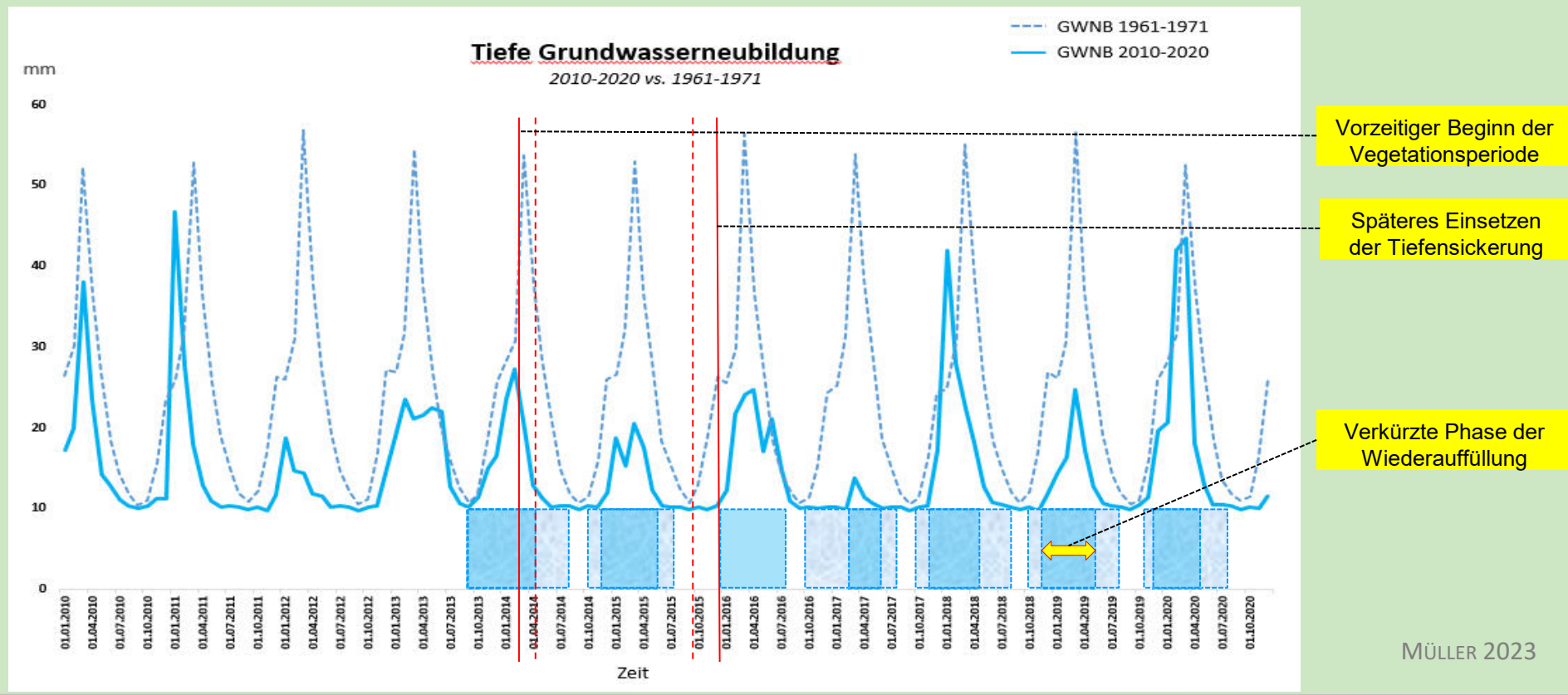


# EINFLUSSFAKTOR KLIMA: PROJEKTIONEN



Rheinland-Pfalz

	Vergleichperiode	Kalibrierungsphase	RCP 2.6 / RCP 8.5		RCP 2.6 / RCP 8.5	
	1961-1990	2011-2020	2031-2050		2071-2099	
Jahr			MIN	MAX	MIN	MAX
<b>GW Neubildung [mm/a]</b>	<b>286</b>	<b>178</b>	<b>173</b>	259	<b>168</b>	<b>292</b>



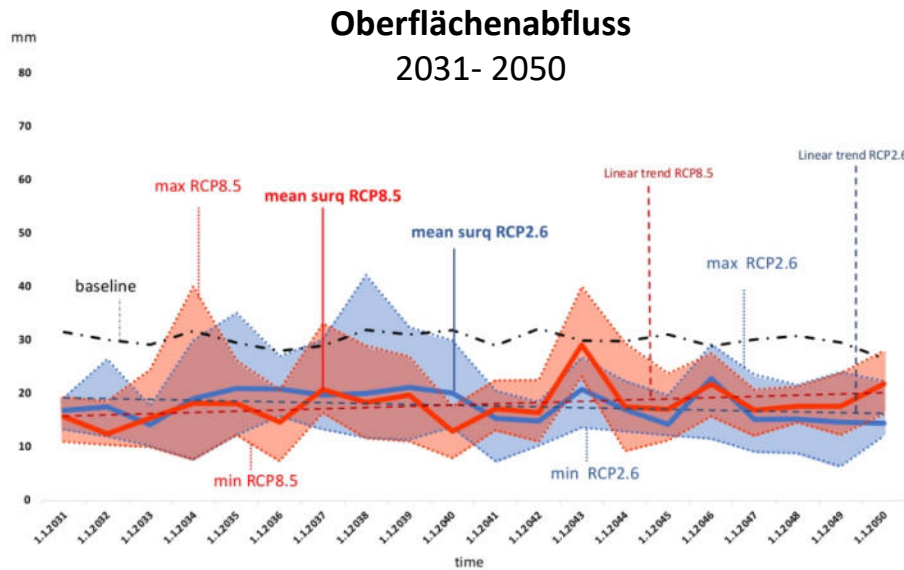
MÜLLER 2023



# EINFLUSSFAKTOR KLIMA: PROJEKTIONEN



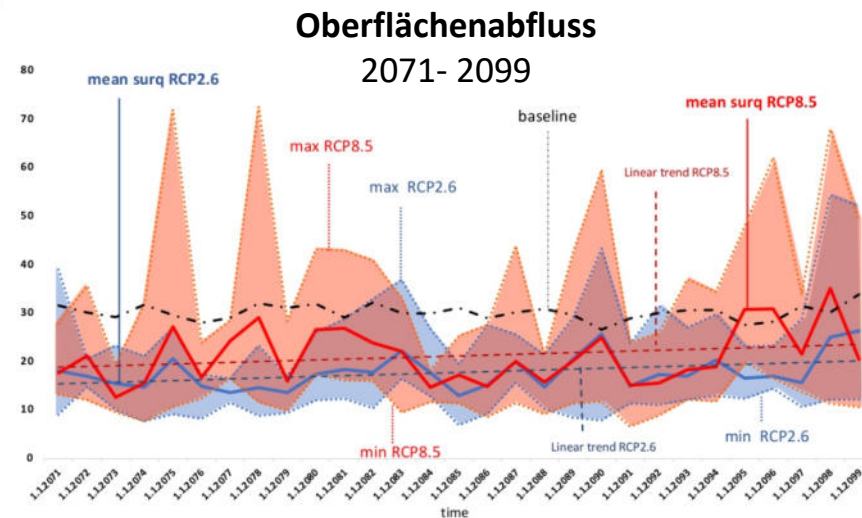
Rheinland-Pfalz



Insgesamt geringerer OB  
Abfluss als im  
Bezugszeitraum durch  
weniger Niederschlag

MÜLLER 2023

Zunehmende  
Intensivierung von  
Abflussspitzen durch  
Starkregen und/oder  
Sättigungsabfluss







# EINFLUSSFAKTOR BESTANDESSTRUKTUR



Rheinland-Pfalz

## Laubbäume



- Günstige Streu
- Laubabwurf
- Natürliche Vorkommen

## Mischwald



- Ökologisch stabil
- Ökonomisch tragfähig
- Hohe Plastizität und Anpassungsfähigkeit

## Nadelbäume



- Saure Streu
- Winterl. Transpiration
- Selten natürl. Vorkommen
- Ökonomisch



© G. SCHÜLER

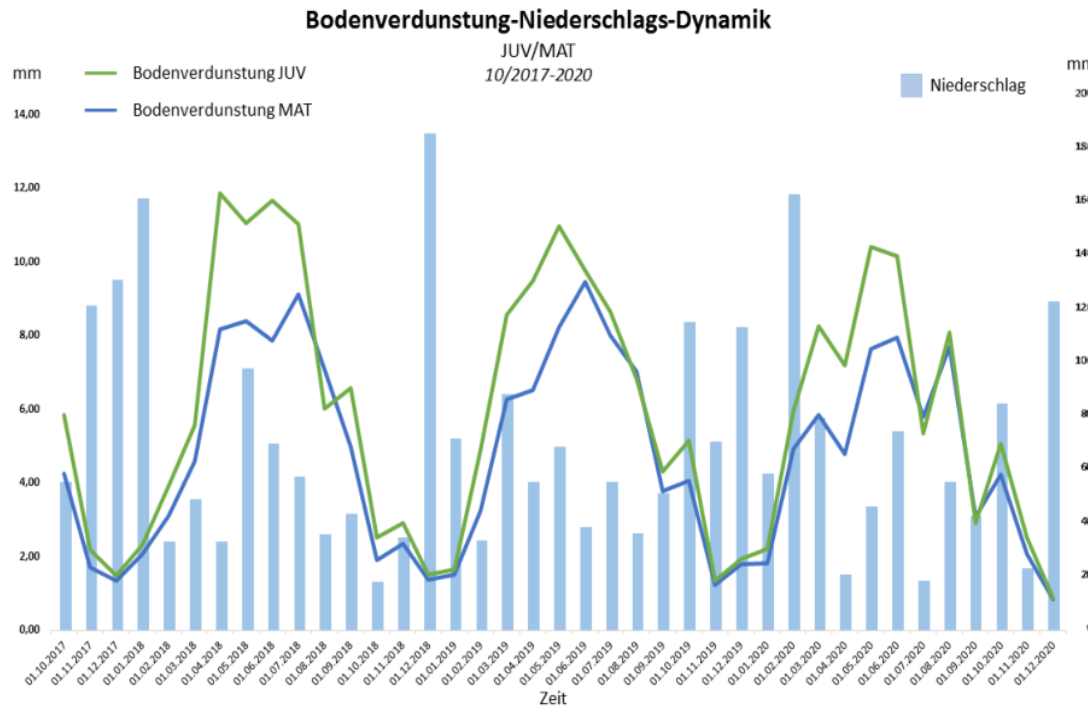
Gut strukturierte,  
**ökologisch stabile**  
naturnahe  
**Mischbestände** und  
Vorausverjüngung  
können den  
Oberflächenabfluss  
vermindern und  
verzögern



# EINFLUSSFAKTOR BESTANDESSTRUKTUR



Rheinland-Pfalz

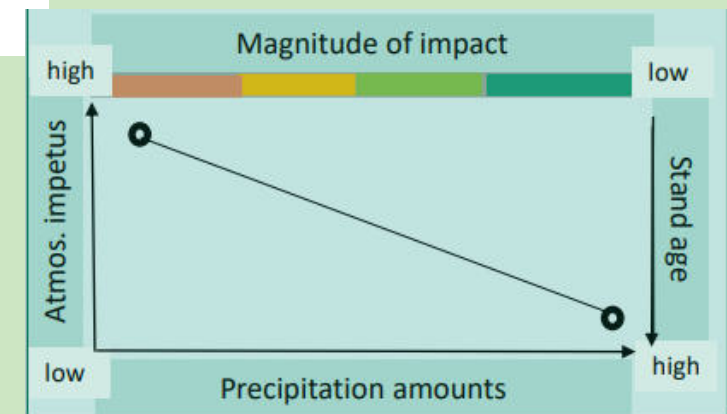


Geringe

Kronenüberschirmung:

- Höhere Aufprallenergie Regentropfen (Erosion)
- Höhere Bodenverdunstung
- Höherer OB-Abfluss
- Höhere **quantitative** GW Neubildung

MÜLLER 2023



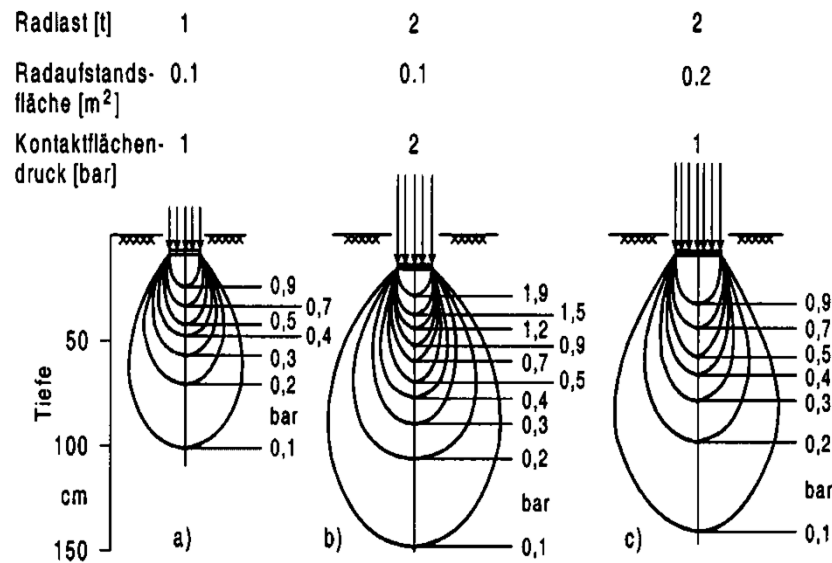




# EINFLUSSFAKTOR BODENVERDICHTUNG



Rheinland-Pfalz



- **Negative Veränderungen der Bodenfunktionen: Lagerungsdichte, Porenvolumen, Wasser- und Luftleitfähigkeit, Infiltrationsrate, Eindringwiderstand**

(HORN et al. 1995; DEHNER et al. 2015; FRÜND & AVERDIEK 2016)

- **Negative Folgen für biologische Aktivität, Wasser- und Nährstoffhaushalt**

(BOTTINELLI et al. 2014; SCHÖNAUER et al. 2021; ZENNER et al. 2007; SCHJØNNING et al. 2016)

- **Einbußen in der Wachstumsleistung**

(SCHÖNAUER et al. 2021; ZENNER et al. 2007; NAWAZ et al. 2012; HARTGE 1976, EHLERS 1982, HILDEBRAND 1983 in REICHARDT 2002)

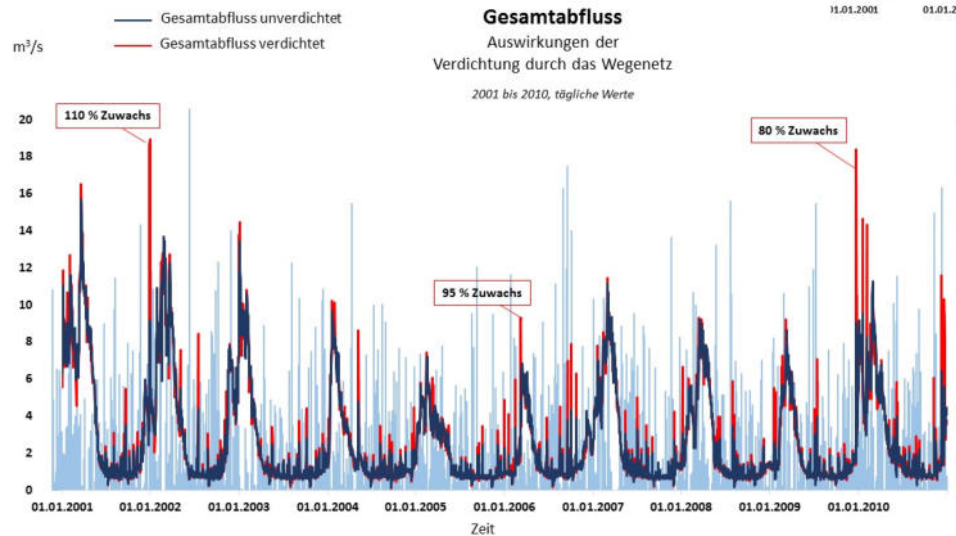
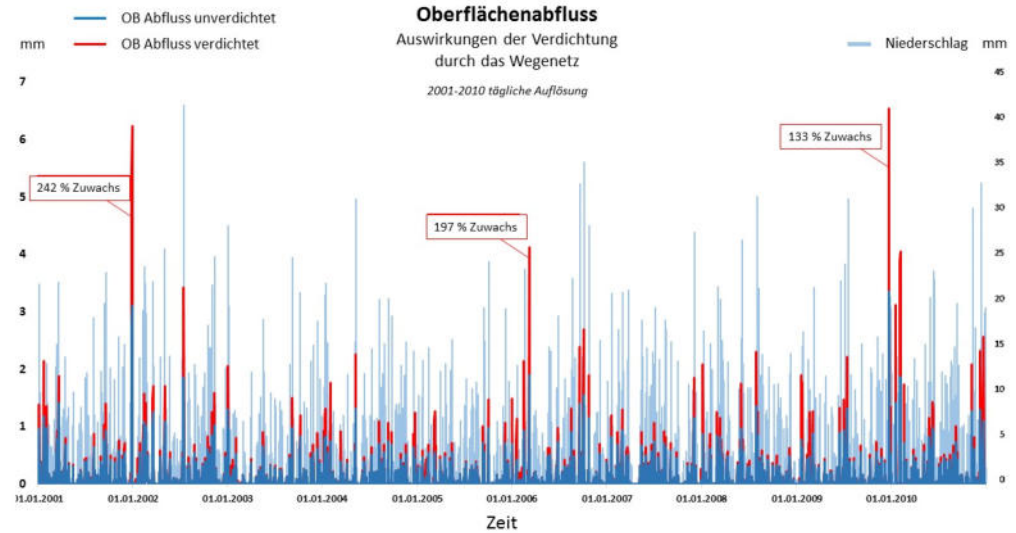


# EINFLUSSFAKTOR BODENVERDICHTUNG



## Das Waldwegenetz (hier: im Biosphärenreservat Pfälzerwald versiegelt 10,87 % der Gesamtfläche)

Wasserhaushaltsparameter	Änderung in % in Bezug zur Waldfläche
Oberflächenabfluss	+36,2 %
Beitrag in die Vorfluter	+12,3 %
Grundwasserneubildung oberes Grundwasserstockwerk	-2,0 %
Grundwasserneubildung tieferes Grundwasserstockwerk	-1,7 %

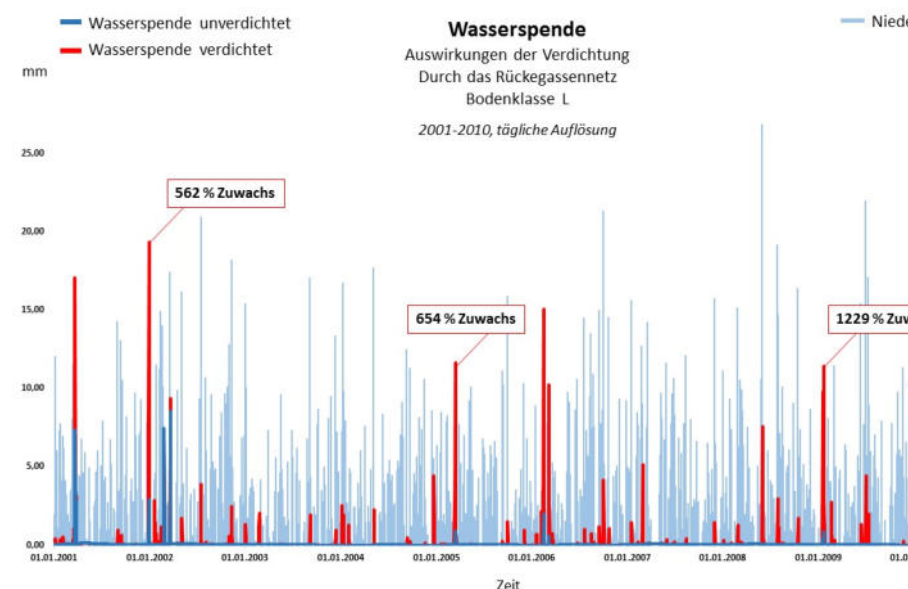
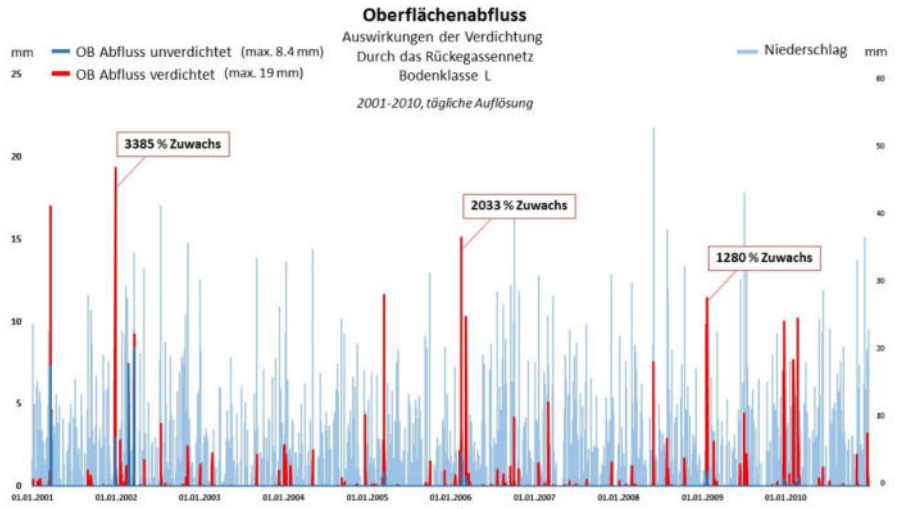


MÜLLER 2023

## Risikobewertung



# EINFLUSSFAKTOR BODENVERDICHTUNG



	Bodenverdichtung von ... auf ...	
	<1,45 g/cm <sup>3</sup> -> >1,65 g/cm <sup>3</sup>	<1,45 g/cm <sup>3</sup> -> >1,65 g/cm <sup>3</sup>
Bodenart	Wasserleitende Makro- und Mesoporen >50 µm bis >0,2 µm (pF 0,8 bis 4,2)	Mikroporen < 0,2 µm (pF >4,2)
S	38 % -> 28 %	7 % -> 5 %
IS	37 % -> 26 %	9 % -> 7 %
sU	32 % -> 24 %	15 % -> 12 %
L	21 % -> 12 %	28 % -> 23 %

- Abhängig von der Bodenart
- Lehmige Standort sind besonders anfällig für Bodenverdichtung

MÜLLER 2023



# MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER ÖSDL



Rheinland-Pfalz



© G. SCHÜLER

**Wegeprofil:** statt Trapezform besser Rundprofile mit breitflächiger Entwässerung in angrenzende Bestände



© G. SCHÜLER

**Wasserableitung:** statt Rohrdurchlässe besser Rigolen, die das Wasserhangabwärts breitflächig in angrenzende Bestände verteilen





# MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER ÖSDL



Rheinland-Pfalz



© G. SCHÜLER

**Keyline Design oder „Kaiser-Wannen“:**  
Entlang der wasserführenden  
Vertiefungen wird je nach  
Geländemorphologie Oberflächenabfluss  
entlang der Höhenschichtlinien in  
Versickerungsgräben geleitet und von  
dort in den Bestand verteilt



© G. SCHÜLER

**Renaturierung von Waldmooren:** Die  
Wiedervernässung speichert Wasser in  
der Landschaft und mildert  
Abflussspitzen





# MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER ÖSDL



Rheinland-Pfalz



© G. SCHÜLER

**Bachauen:** Natürliche  
Überflutungsareale = Retentionsräume



© G. SCHÜLER





# MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER ÖSDL



Rheinland-Pfalz



© G. SCHÜLER

Stammbarrerien vor dem Durchlass mit Raum für den Grundabfluss reduziert den Durchfluss und bricht so Hochwasserspitzen

**“Schwamm-Wälder”:**  
Bach- und Talauen nützen als künstlich angelegte, ungesteuerte Retentionsräume



© G. SCHÜLER

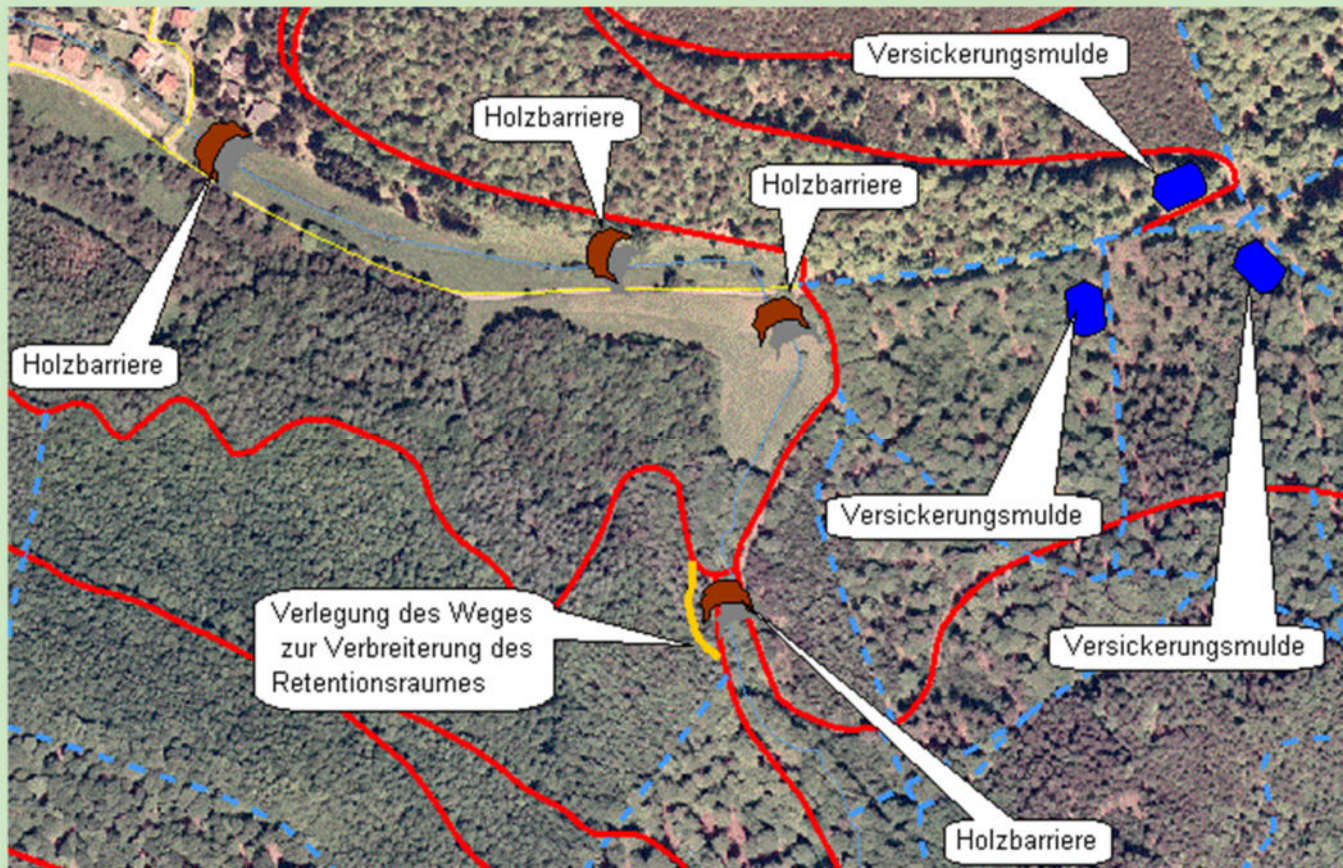




# MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER ÖSDL



Rheinland-Pfalz



Die größte Wirkung haben **viele verschiedene Einzelmaßnahmen**, beginnend nahe am Ort des Abflussgeschehens

(SCHÜLER 2006)





**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit**

*G. H. G.*

© G. SCHÜLER

## Verbesserung des Wasserhaushalts in Waldbeständen

### Waldbau

Regentropfenenergie brechen

- Anpassung Baumarten-zusammensetzung: klimaresistente Arten, hoher Laubbaumanteil
- Verbesserung Waldinnenklima: Vermeidung von Bestandeslücken
- Verjüngung auf Kahlfächen: vielschichtige zeitlich-räumliche Strukturen verbessern, Vorausverjüngung von Mischbaumarten zur Risikovorsorge

### Bodenschutz

Versickerung begünstigen

- Verbesserung des Bodenwasservorrats: Humusförderung (günstige Streu, Totholzverbleib im Bestand)
- Identifizierung von kritischen Bereichen für die Abflussbildung (CSA)
- Erhöhung der Wasserrückhaltung: Rückführung von Wasser in Bestände (Rigolen, Mulden, Flutbecken)
- Bodeschutzkalkung: Chem. Pufferkapazitäten erhöhen, strukturbildende Bodenfauna stabilisieren

### Walderschließung

Abflusswasser in der Fläche verteilen

- Erhöhung der Wasserrückhaltung: Rückführung von Oberflächenabfluss in Bestände
- Minimierung der Befahrungsintensitäten
- Befahrung nach Gefährdungskarten (Bodensubstrat, Vorbelastung, Hangneigung, Wassergehalt)

### Retentionsflächen

Naturräume wiederherstellen

- Auenrenaturierung
- Wiederauffüllung von Draingräben
- Wiedervernässung natürlicher Feuchtgebiete





# LITERATUR



Rheinland-Pfalz

- BOTT, W. (2003):** *Prozessorientierte Modellierung des Wassertransports zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in bewaldeten Entstehungsgebieten.* Dissertation Universität Mainz, 124 S.
- GALLUS, M., LEY, M., SCHUBERT D., SEGATZ, E. & SCHÜLER G. (2007):** *Renaturierung von Hangbrüchern im Hunsrück zur Glättung von Abflussspitzen.* In Schüler et al. 2007, s.u. (S. 21-30)
- KLAES, B., STRUCK, J., SCHNEIDER, R. & SCHUELER, G. (2016):** *Middle-term effects after timber harvesting with heavy machinery on a fine-textured forest soil.* Eur J Forest Res. DOI 10.1007/s10342-016-0995-2
- LANDESFORSTEN RLP (2018):** *Handbuch Walderschließung*
- MA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2003):** *Ecosystems and their services.* A framework for assessment. Island Press.
- MA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005):** *Ecosystems & Human Well-being.* Synthesis Reports. Island Press.
- MÜLLER, E.V. (2023):** *Analysis of forest-specific ecosystem services with regard to water balance components: Runoff and groundwater in the forest.* Dissertation Universität Trier. Verfügbar: [Analysis of forest-specific Ecosystem Services with regard to water balance components: runoff and groundwater recharge in the forest \(rlp.de\)](#)
- REITER, P., SAUER, T., VOIGT, M., ZIMMER, M. (2020):** *Klimawandel in Rheinland-Pfalz. Themenheft Klimawandel – Entwicklungen in der Zukunft.*
- RYAN, J. G., MCALPINE, C. A. UND LUDWIG, J. A. (2010):** *Integrated vegetation designs for enhancing water retention and recycling in agroecosystems.* Landscape Ecology. 25, 2010, S. 1277–1288
- SARTOR, J. & KREITER, T. (2007):** *Hochwasserrückhalt durch naturnahe Waldwirtschaft und Kleinrückhalte.* In: Schueler et al. (2007) s.u. (S. 61-72).
- SCHRÖDER, C.; LUTHARDT, V.; JELTSCH, F. (2012):** *Development of a holistic evaluation method for ecosystem services of peatlands.* Contribution to the 14<sup>th</sup> International Peat Congress: Peatlands in Balance, June 3-8 2012, Stockholm, Sweden. Online available Theme I.5 Special session - Peatland ecosystem services N<sup>o</sup> 196.
- SCHÜLER, G. (2006):** *Identification of flood-generating forest areas and forestry measures for water retention.* For.Snow Landsc. Res., 80, 1: 99-114.
- SCHÜLER, G., GELLWEILER, I. & SEELING, S. – EDS. (2007):** *Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen.* Mitt. A. d. Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 64, pp 337.
- SCHÜLER, G. (1999):** *Schwemmfächer im nördlichen Oberrheingraben als Waldstandorte – Die Bedeutung der Standortsfaktoren für Stabilität und Elastizität der Waldökosysteme unter besonderer Berücksichtigung des grundwassergeprägten Wasserhaushaltes am Beispiel des Speyerbach-Schwemmfächers.* Mitteilungen der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz, Nr. 16, pp186.