



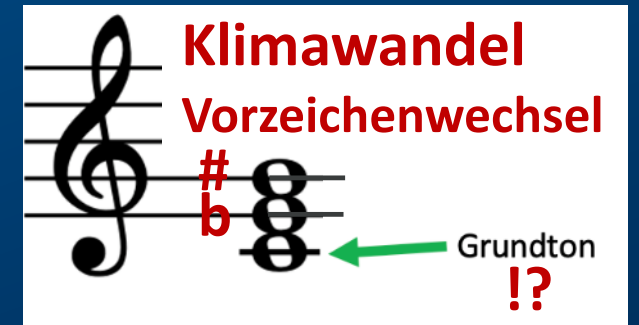
Der landschaftliche Dreiklang »Boden – Wald – Wasser«

Warum es auf den Boden dabei so stark ankommt

Karl-Heinz Feger

TU Dresden

Institut für Bodenkunde und Standortlehre
Fachrichtung Forstwissenschaften (Tharandt)



Waldgesetz für den Freistaat Sachsen (SächsWaldG, 1992)

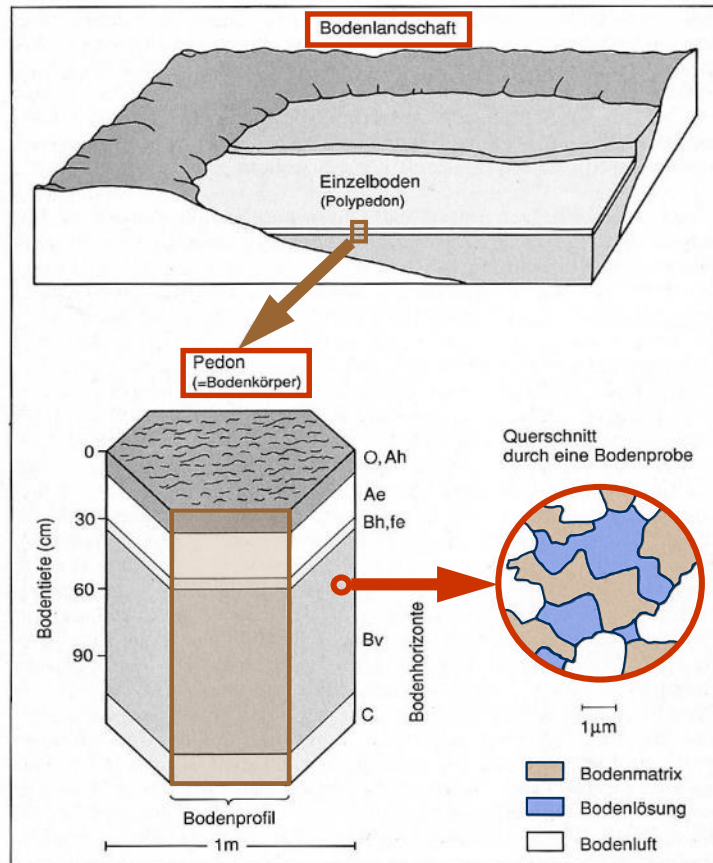


§ 17 Der Wald ist so zu bewirtschaften, dass seine Funktionen gemäß §1 (1) stetig und auf Dauer erfüllt werden (**Nachhaltigkeit**).

... sind direkt oder indirekt mit dem Boden als Umweltmedium und Naturkörper verknüpft



Böden: Schnittstellen im Wasser- und Stoffkreislauf von Ökosystemen



Gisi et al. (1997)

- Speicher (Wasser & Nähr-/Schadstoffe)
- Ausgleichskörper
- Filter
- Puffer
- Transformator

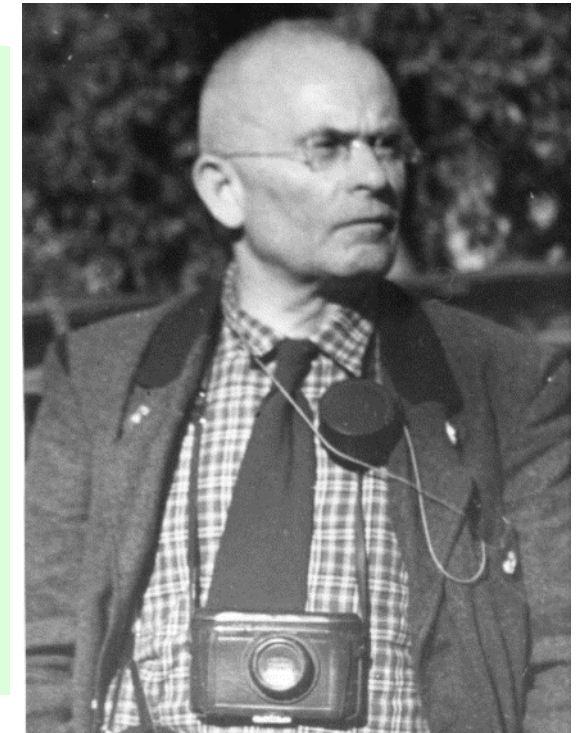


© BGR

*„... aber bei der praktischen Anwendung (der Standortkunde)
... können **Klima und Boden** nur im Zusammenhang
behandelt werden;*

*denken wir z.B. nur an die wichtigste Frage im Walde,
den **Wasserhaushalt***

Tagung Dtsch. Forstverein 1936 in Stettin

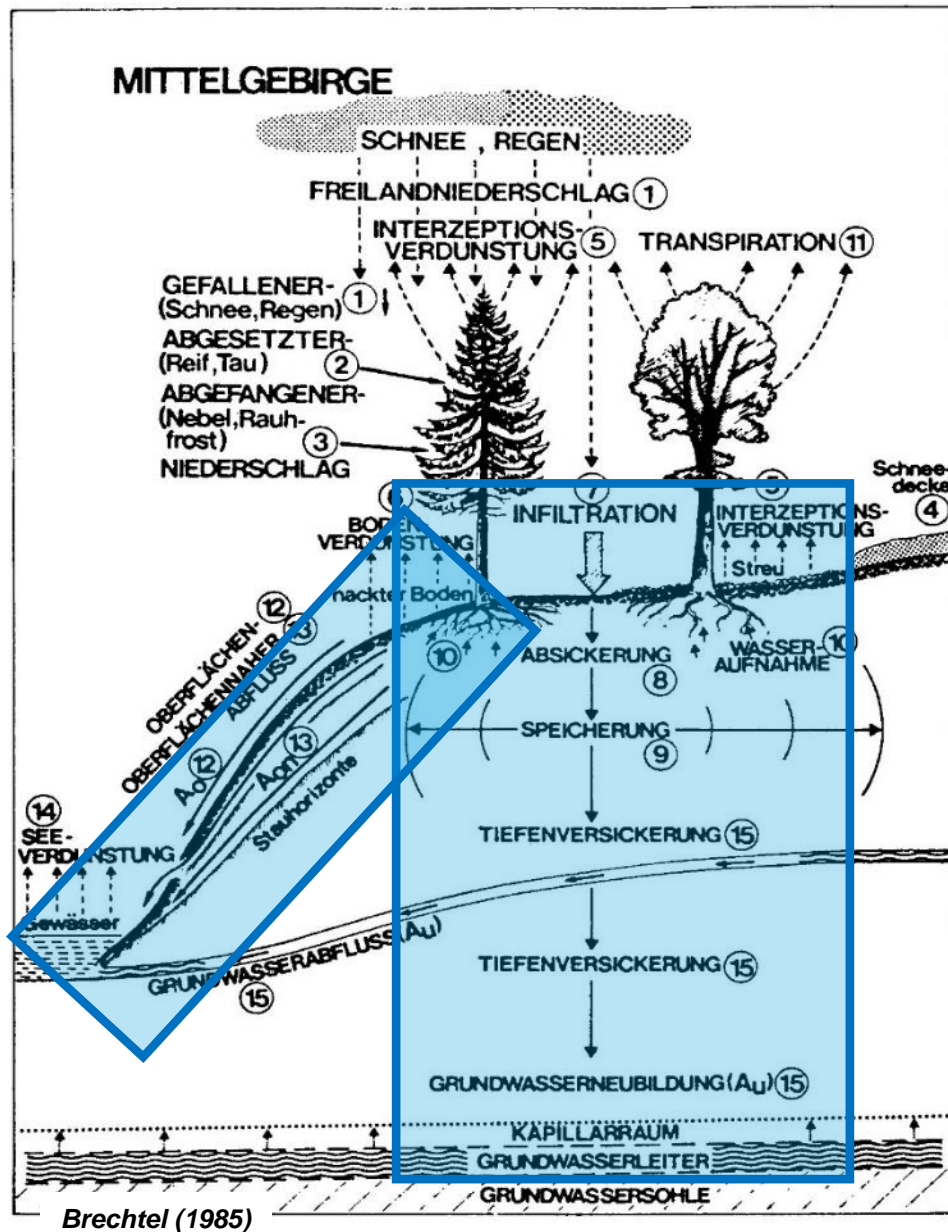


G.A. Krauss
(1888 - 1968)

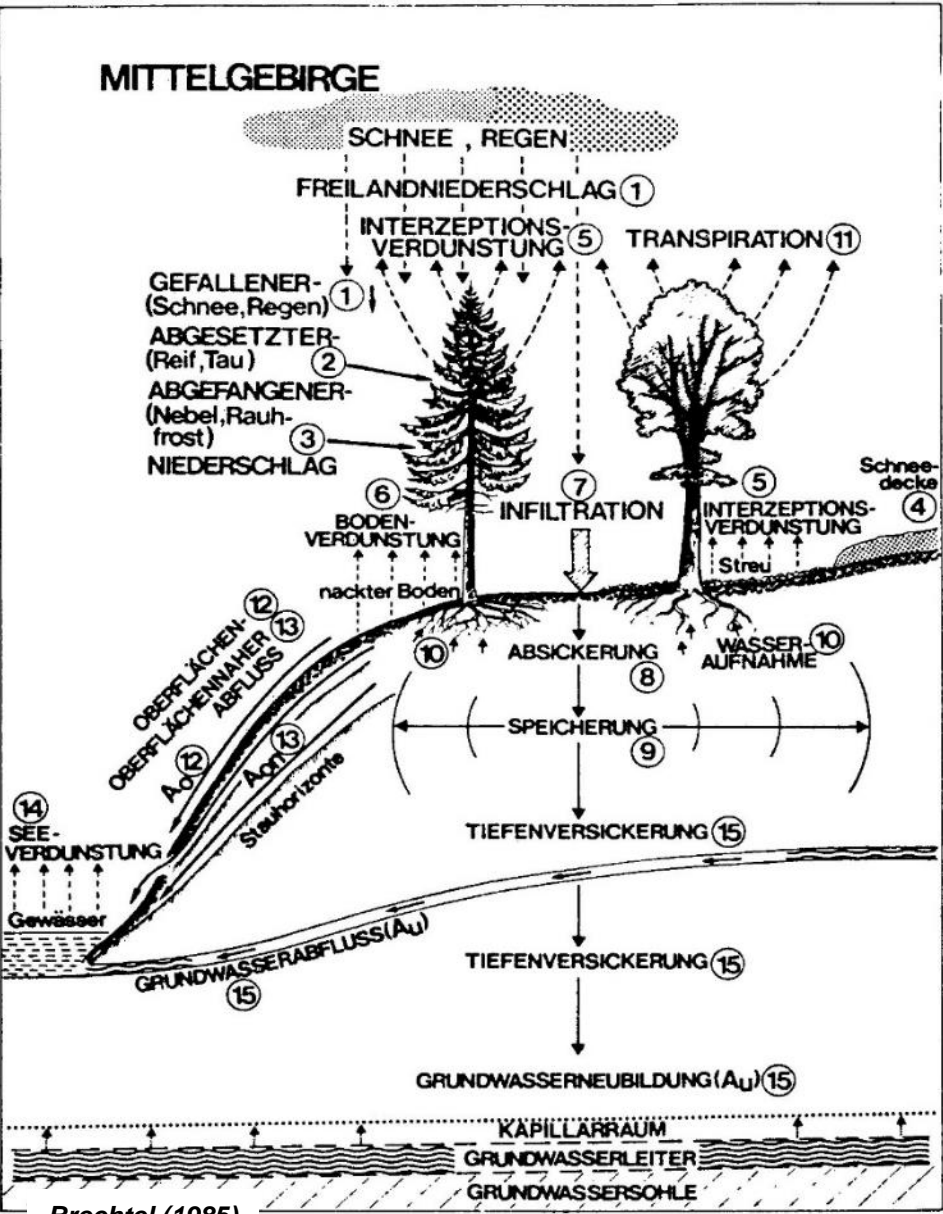
Wasserhaushalt von Waldstandorten

→ zentrale Größe für die forstliche Planung und Umweltvorsorge

- Bestandeswachstum und -stabilität
- Gliederungsmerkmal und Bewertungsgröße bei der Standortkartierung
- **Wasserbezogene ÖSL des Waldes**
 - **Wasserspende + Grundwasserneubildung (Menge + Qualität)**
 - **Retention + (dezentraler) Hochwasserschutz**



Wasserhaushalt von Waldstandorten

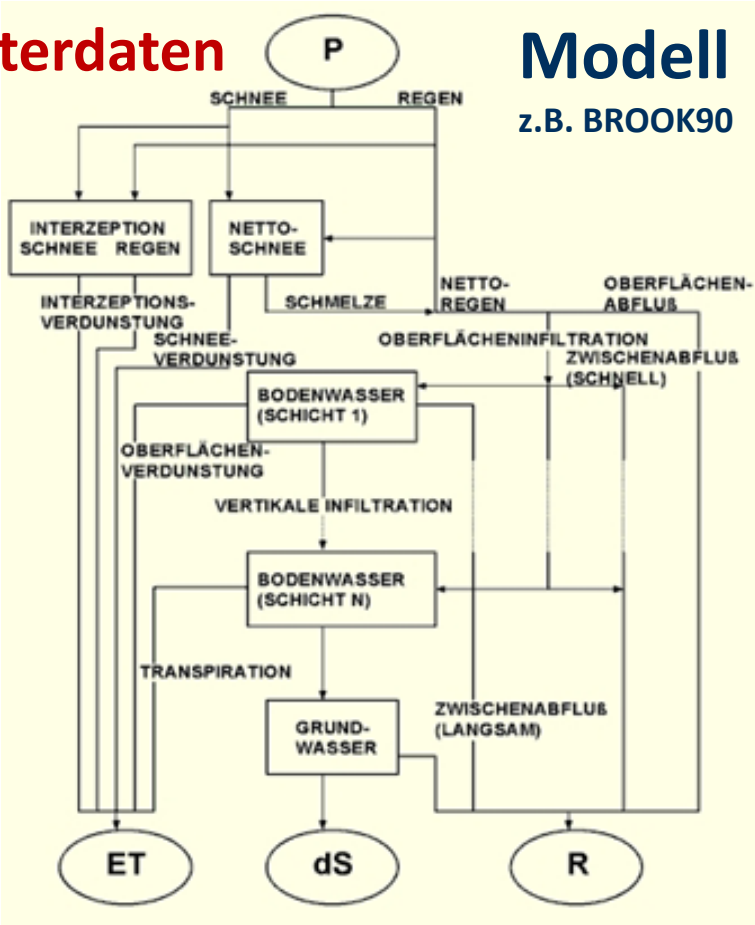


Input: **Wetterdaten**

Bestand
(LAI, Wurzel)

Boden

Output: **Verdunstung** **Bodenfeuchte** **Versickerung & Abfluss**



Der bodenphysikalische Rahmen

Ranker/Rendzina ... Lösslehm-Braunerde ... Hochmoor



Grundlage:
AK Standortskartierung 2016
Leitgeb et al. 2013
Teepe et al. 2003

	Vol.%	Wasserspeicher- potenzial (mm Regenhöhe) 100 cm Mächtigkeit, steinfrei
Feldkapazität	20 ... 50	200 ... 500
Luftkapazität (weite Grobporen)	2 ... 35	↓ Verdichtung + Staunässe
Nutzbare Feldkapazität	10 ... 35	100 ... 350

stark abhängig von

- Bodenart (Textur)
- Lagerungsdichte
- Humusgehalt



Mächtigkeit + Steingehalt

Durchwurzelbarkeit / Durchwurzelung

Wechselfeuchte bis staunasse Standorte

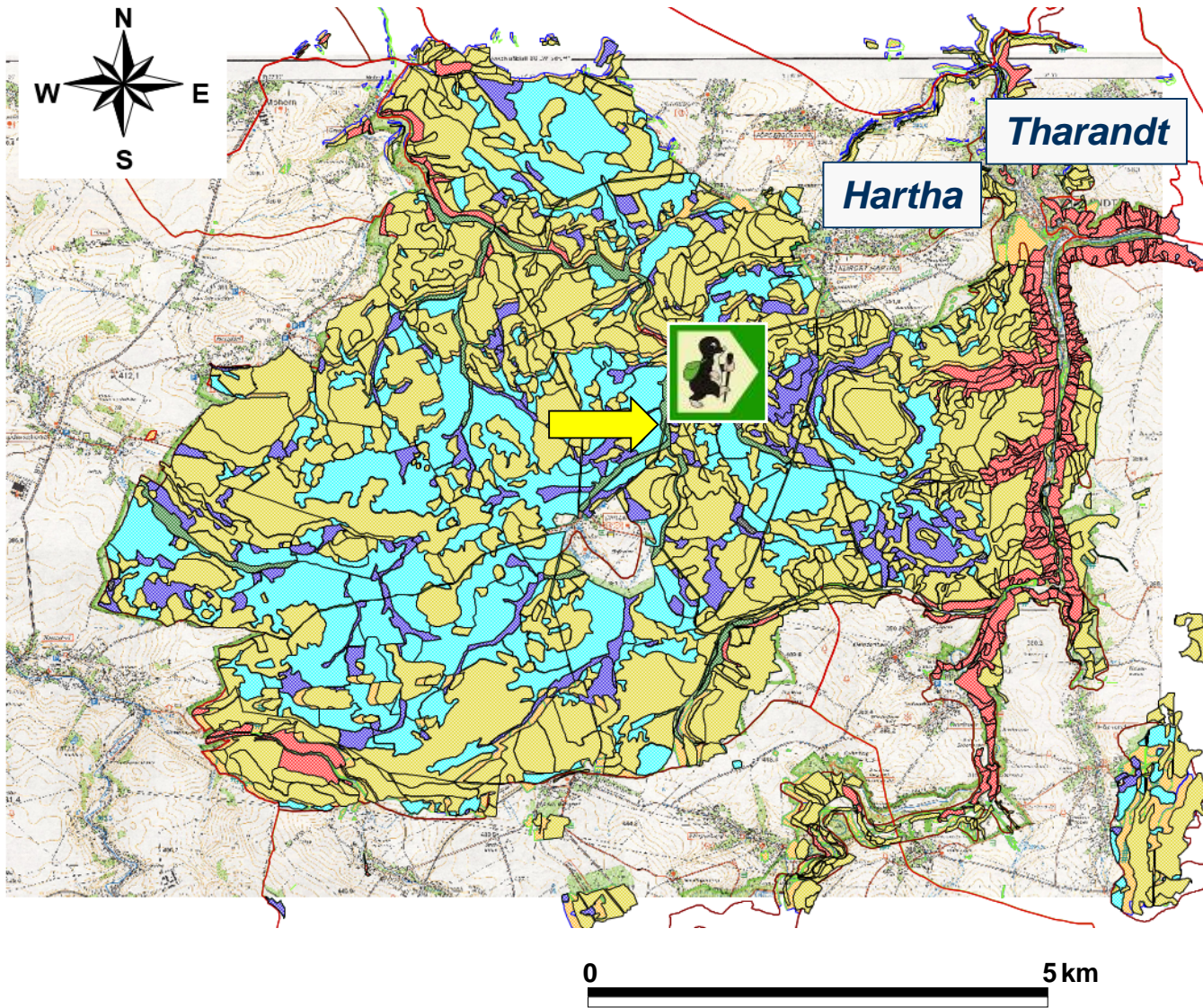
Einfluss von Kleinrelief und bodengeologischem Aufbau

Geländeform	Mulde	Kuppe	Plateau	Flachhang	Hang				
Häufige Bodentypen	Stagnogley	Pseudogley	(Para-)Braunerde Pseudogley	Pseudogley (Para-)Braunerde	Hang- pseudogley				
	Flachmoor Stauzone	Staukörper	Konkretionen	stauwasserfrei	Stauzone				
	Grundgestein								
Wasserhaushaltsstufe	sehr stark staunass	staunass	wechsel- feucht	mäßig wechsel- trocken	wechsel- trocken	wechsel- feucht	mäßig wechsel- feucht	schwach (grund-) wechselfeucht staufrisch	hangwechsel- feucht
Dauer der Vermässung in der Vegetationszeit	fast ständig vermäss	lange Nass-, kurze Trocken- phasen	Nassphasen etwas überwie- gend	kurze Nassphasen sehr lange Austrocknung Phasenwechsel schwächer	Nassphasen etwas überwie- gend	kurze Nass-, längere Trocken- phasen	kurze Nassphase im Unterboden	lange Feuchtphasen, nur kurzfristig austrocknend	
Obergrenze der Vermässung (cm unter GOF)	± 0	< 20	< 30	< 30	< 30	30 - 60	> 60	< 40	

Wasserhaushalt der Staunässeböden (schematische Darstellung, stark überhöht)

GOF = Geländeoberfläche

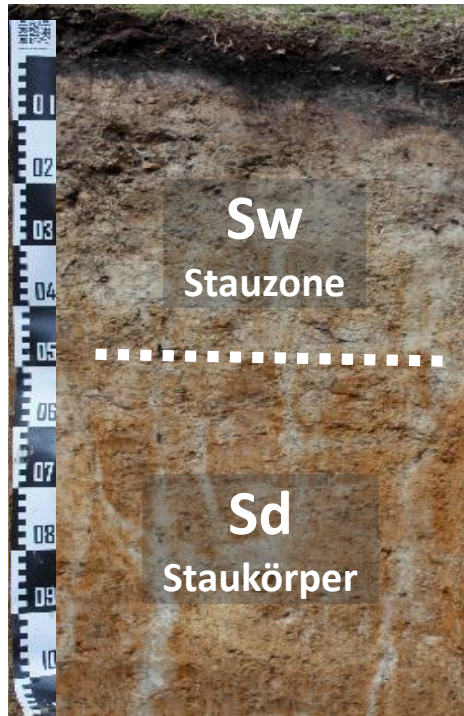
verändert aus AK Standortkartierung (2016)



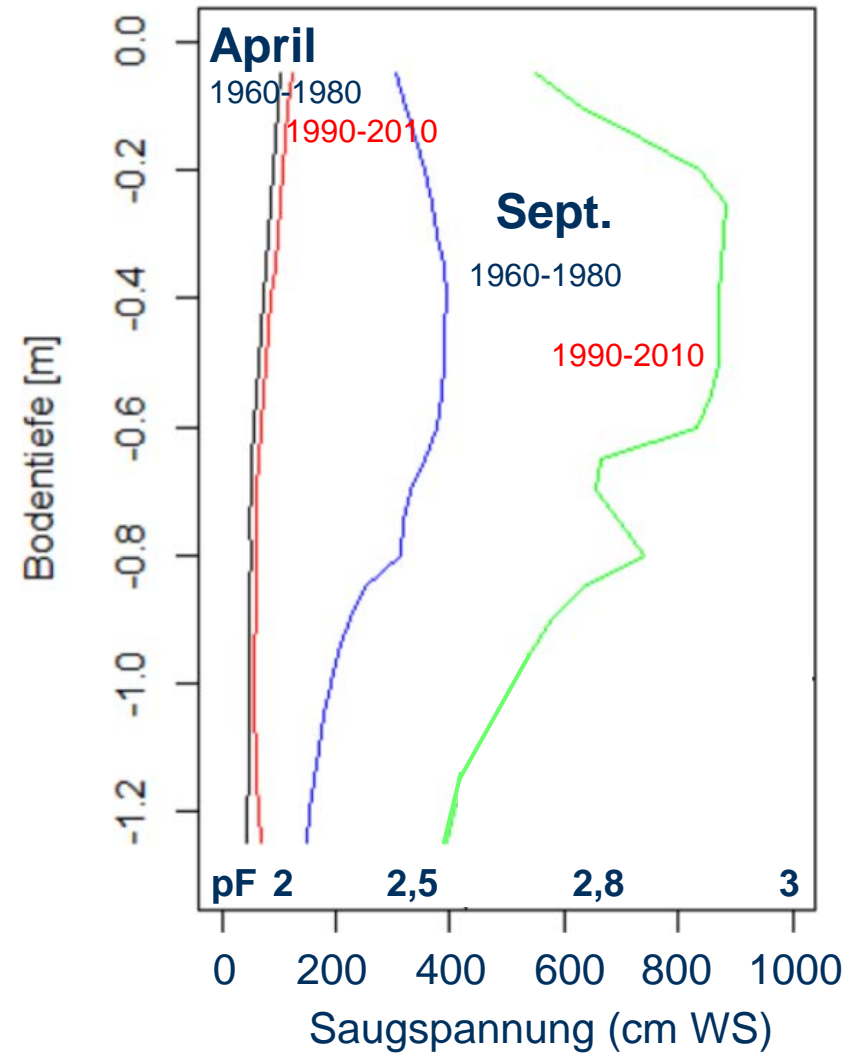
FSK-Lokalbodenform
 „Grillenburger-Löss-Staugley Gb.LU“
 = Pseudogley

- T-Standorte** (v.a. Braunerden, Podsole)
- W-Standorte** (Pseudo- u. Stagnogleye)
- N-Standorte** (Gleye)
- O-Standorte** (Moorbildungen)
- B-Standorte** (Bachauen)
- X-Standorte** (v.a. Ranker)

Simulierter Tiefenverlauf der mittleren Saugspannungen im Boden zu Beginn und am Ende der Vegetationsperiode während zweier Klimamessreihen



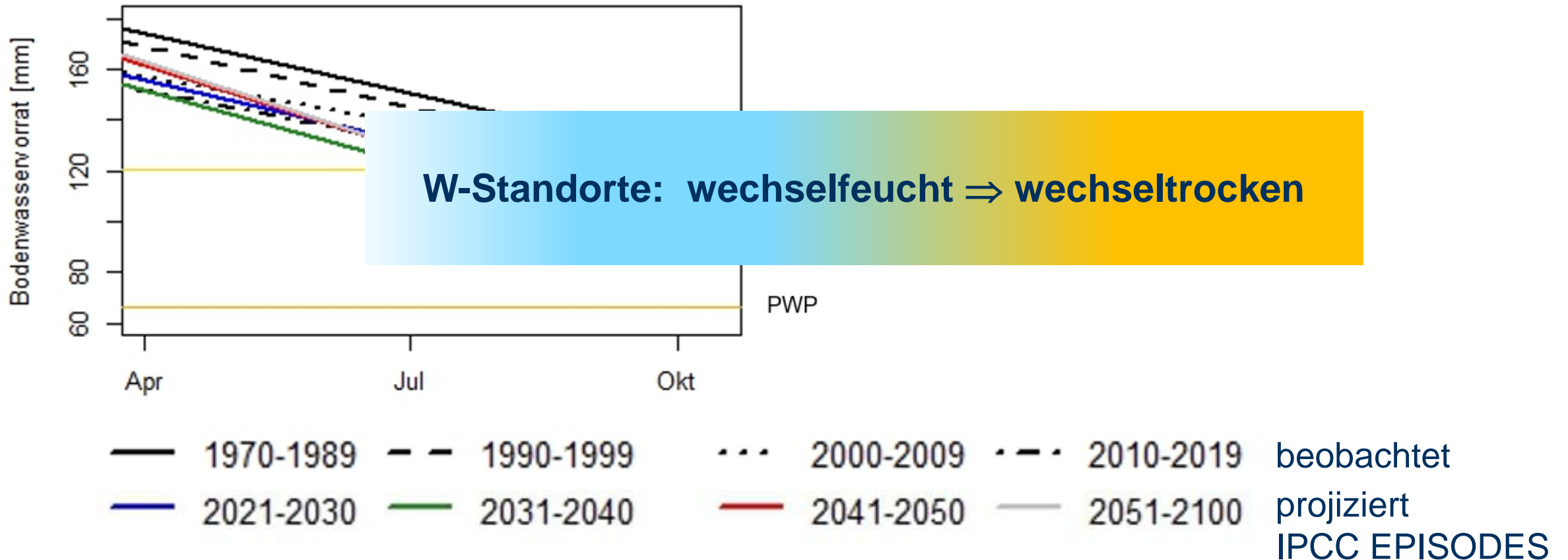
FSK-Lokalbodenform
„Grillenburger-Löss-Staugley Gb.LU“
= Pseudogley



FNR-Projekt BoWAM
(Julich et al. 2018)

Modellierung des mittleren verfügbaren Wasservorrats im Wurzelraum (Gb.LU, Fi, 75 J.) in Klimazeitscheiben für die Vegetationsperiode (Durchwurzelung bis 40 cm)

EPISODES r45 (moderat)



Modell BROOK90 (Projekt ClimXtreme: Pusch, Diss, in Vorbereitung)



Die Fichte hat auf diesen labilen Böden die jahrhundertlange Wurzelarbeit des Laubwaldes in einem Umtrieb verfallen lassen und damit auch die hier besonders notwendige Vertikaldränung zerstört. Diese bot in den gleichmäßig feinkörnigen Böden die einzige Möglichkeit, in Zeiten des Wasserüberschusses längs der Bahnen verrottender Wurzeln das Wasser einsickern zu lassen.

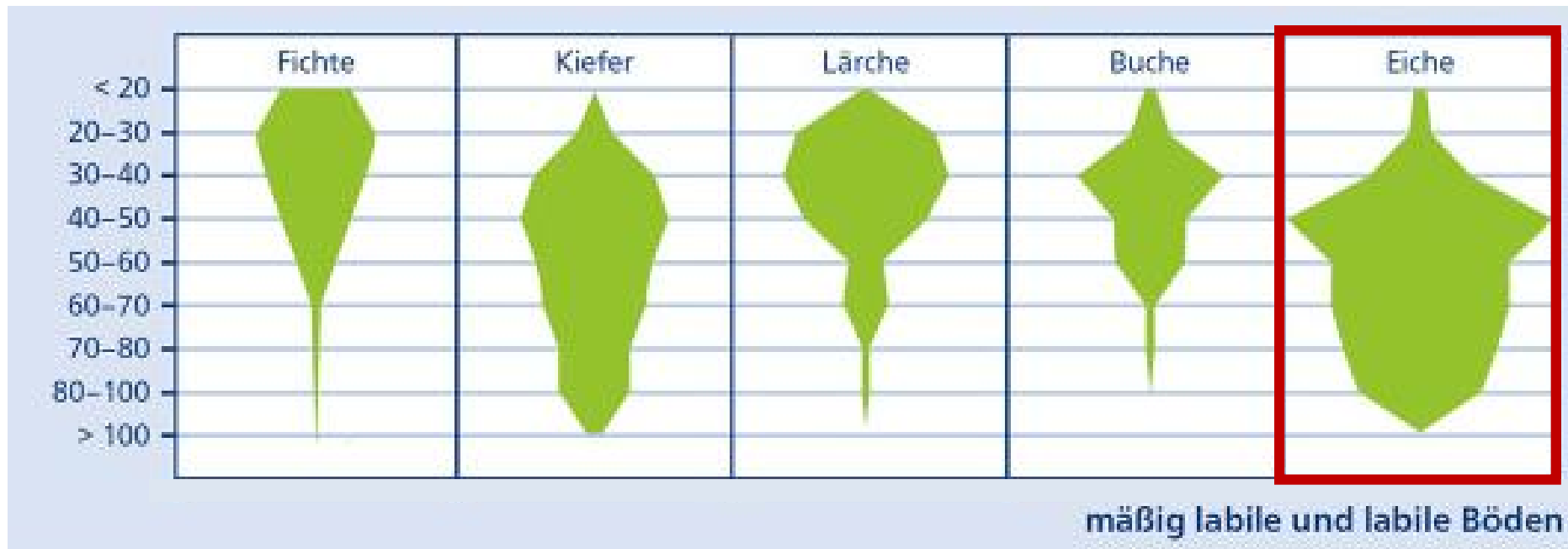
Einen einigermaßen gesunden Bodenwasserhaushalt vermag auf diesen, zur Dichtlagerung neigenden Schluffböden nur der ungestörte ursprüngliche Laubwald zu gewährleisten.

Abb. 46. Sehr mangelhafte seitliche Durchwurzelung des Bodenraumes auf Geschiebelehm mit Staublehmdecke im nordwestsächs. Niederland. Hubertusburg, Abt. 46, eben, mäßig frisch, 200 m, ca. 650 mm; 70jähr. Fichte, 3. Bonität. Höhne 1927.

Krauss *et al.* 1934
Tharandter Forstl. Jahrb. 85,
290-370

Wurzelarchitektur: Physikalische Erschließung des Unterbodens

Pfleglichkeit: Streuzersetzung → Oberbodenzustand (Humusform)



Tanne

Köstler et al. (1968)

Vermeidung zusätzlicher Bodenverdichtung

Gulder (LWF) (2017)

Abflussbildung und Wasserrückhalt

Interzeption

1. Infiltration

2. Speicherung

wiederauffüllbarer Porenraum

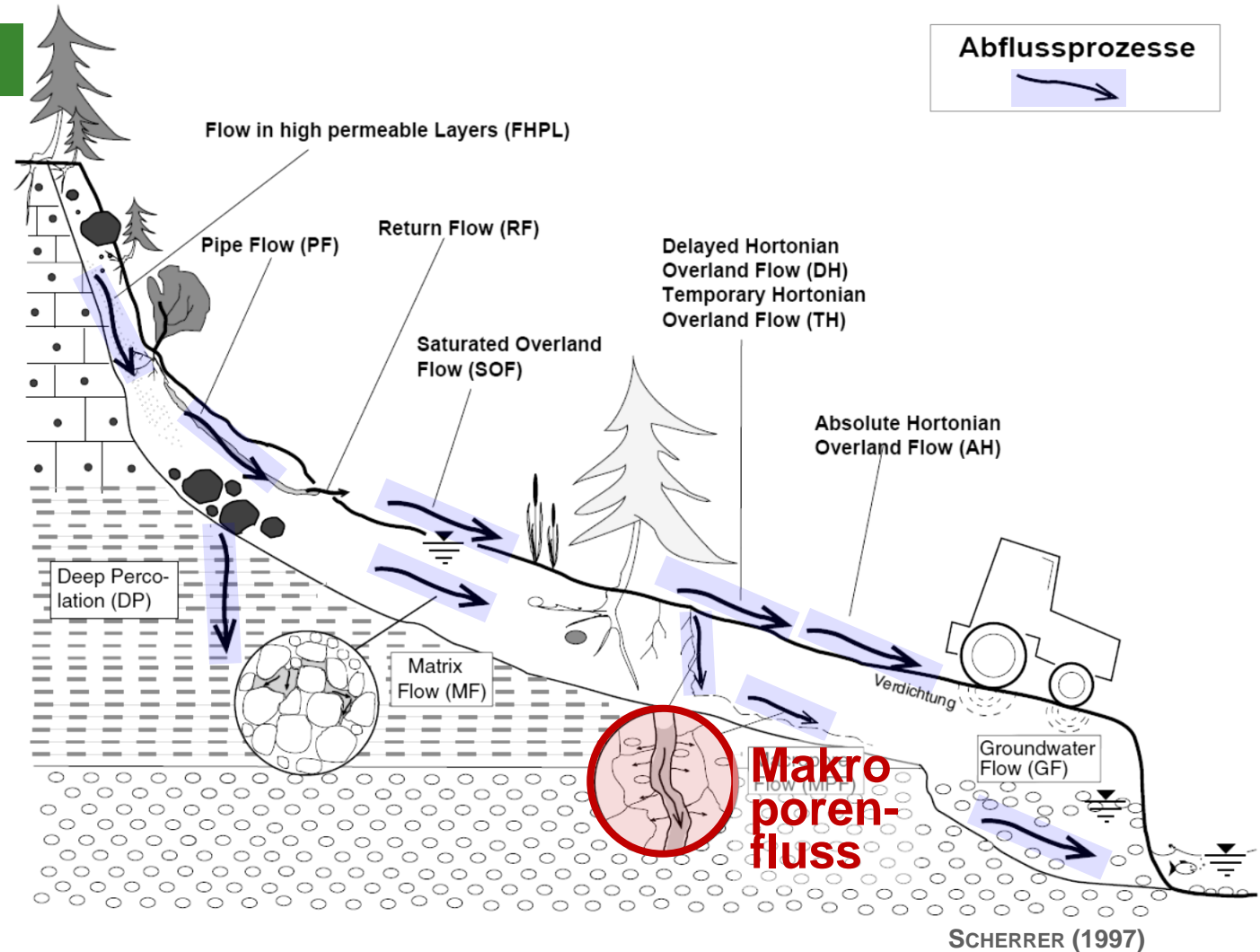
→ **Vorfeuchte**

aber auch Mulden, Auen ...

3. Verzögerung des Abflusses

**Umleitung in tiefere (langsamere)
Fließwege**

mehr Tiefensickerung und GW-Neubildung
vs. Ober- und Zwischenabfluss

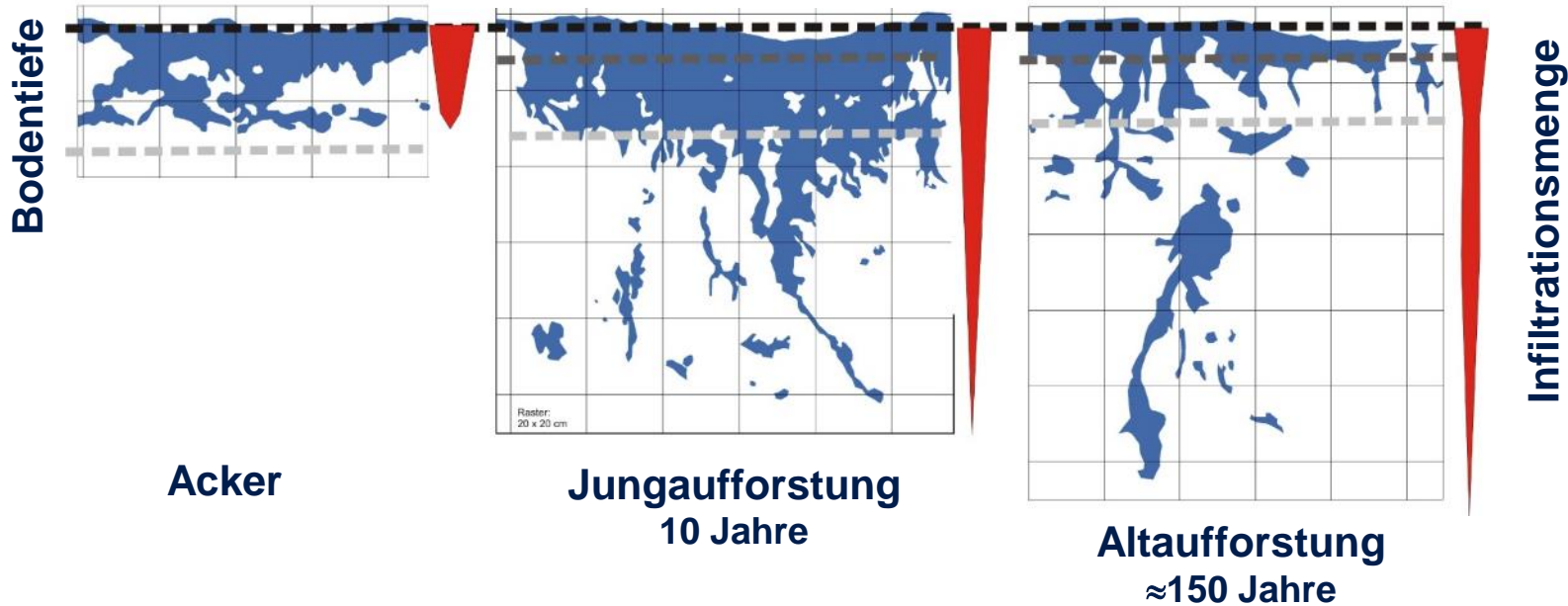


Unechte Zeitreihe: Zellwald – Sächsisches Hügelland Acker – Jungaufforstung – Altaufforstung

Lösslehm-Pseudogley-Parabraunerde, Mischbestände

Ergebnisse: Infiltrationsversuche, Farbtracer

k_f (cm/Tag)	360 ± 180	710 ± 300	1100 ± 450	Oberboden 30 cm
FK (mm)	106 ± 9	149 ± 3	179 ± 2	



Wahren et al.: Land-use effects on flood generation – considering soil hydraulic measurements in modelling. Adv. Geosci. 21 (2009), 99–107.

Infiltration und Wassertransport im Boden



(a)



(b)



(c)



(d)

Fichte vs. Buche
Stamm-abfluss

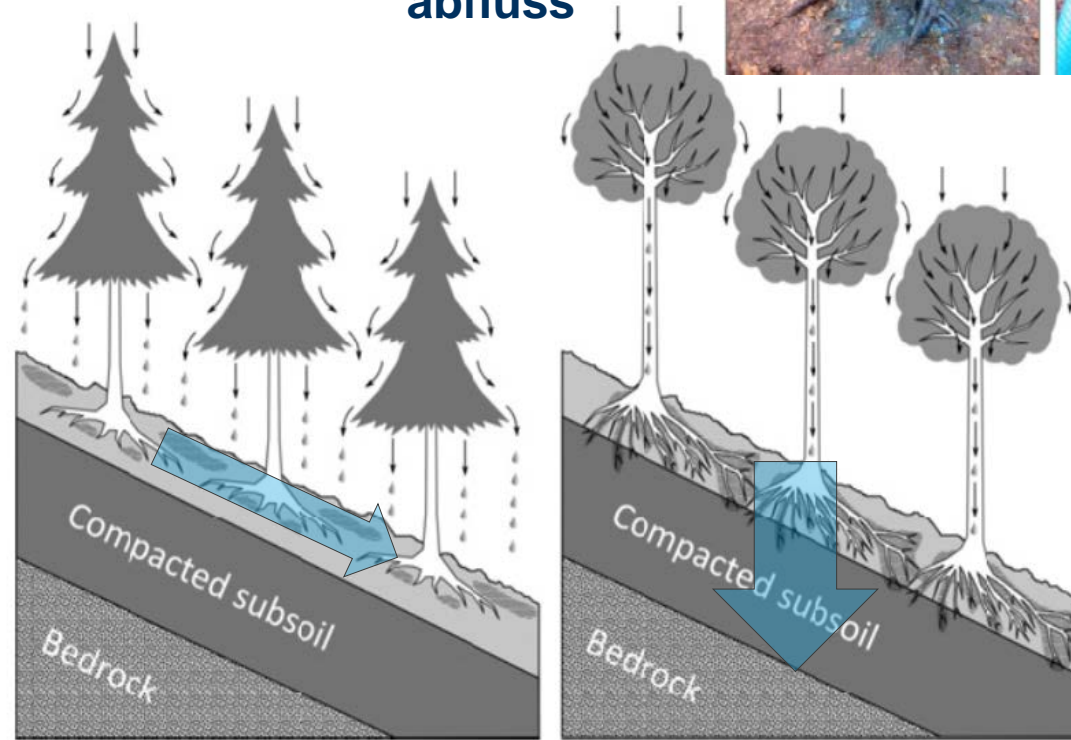
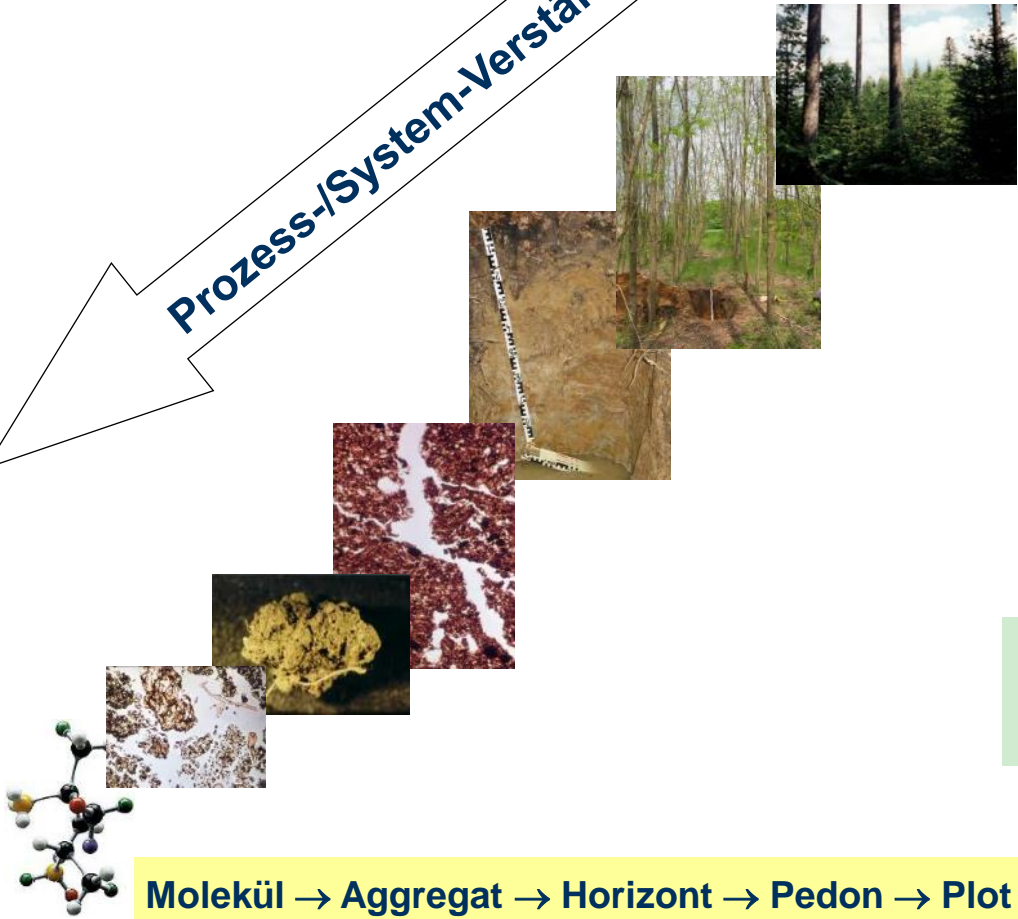


Fig. 9. Effect of crown and root architecture of spruce (left side) and beech (right side) on spatial distribution of precipitation within the stand and on transport of infiltrating precipitation through the soil.

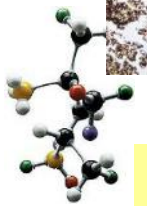
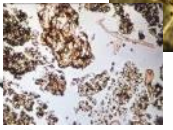
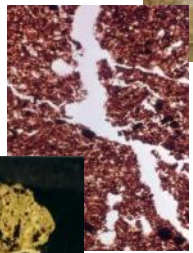
Schwärzel *et al.* (J. Hydrol. 2012)

Die Skalen-Kluft

Prozess-/System-Verständnis



Molekül → Aggregat → Horizont → Pedon → Plot → Bestand → Einzugsgebiet –



Einzugsgebietsmanagement

Wasser-ÖSL
Landschaftsfunktionen

Land-/Forstwirtschaft

Lan

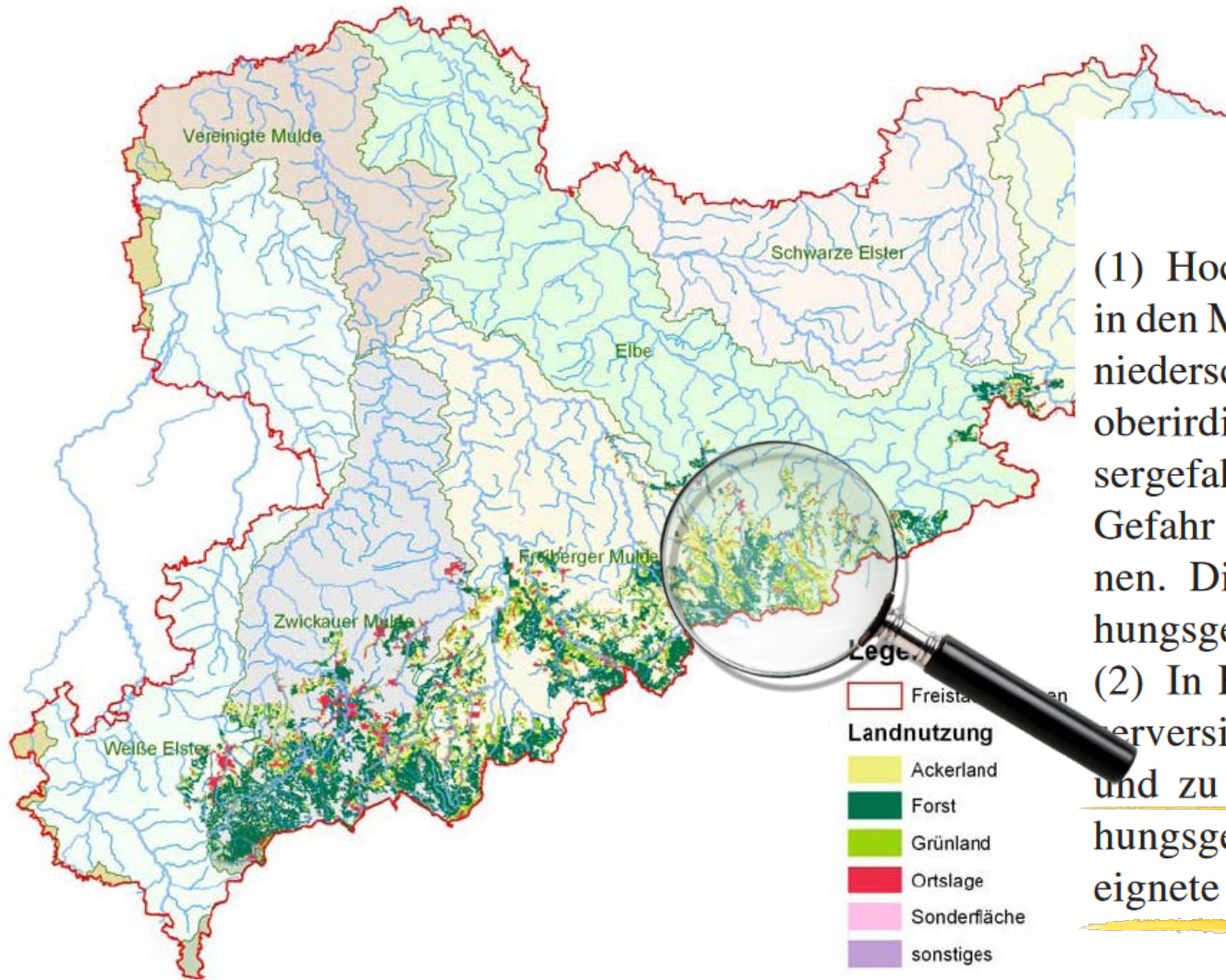


GIS-gestützte Prozessmodellierung



© C. Kersebaum

Wassereinzugsgebiete: Mosaik verschiedener Landnutzungen



Neufassung SächsWG 2004

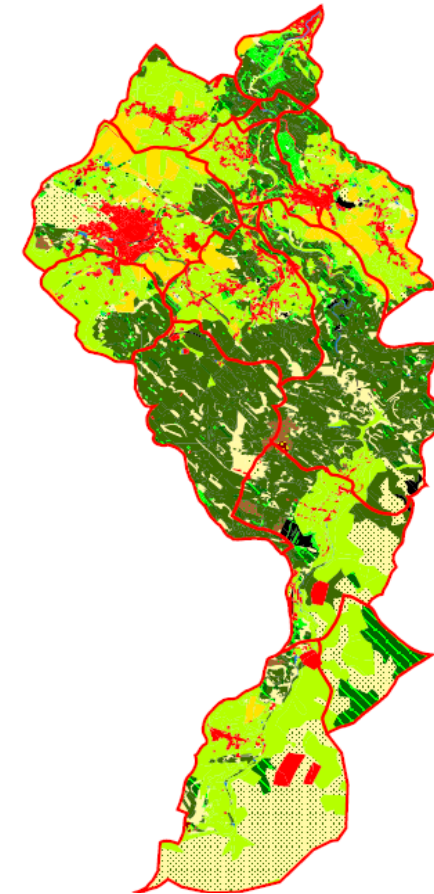
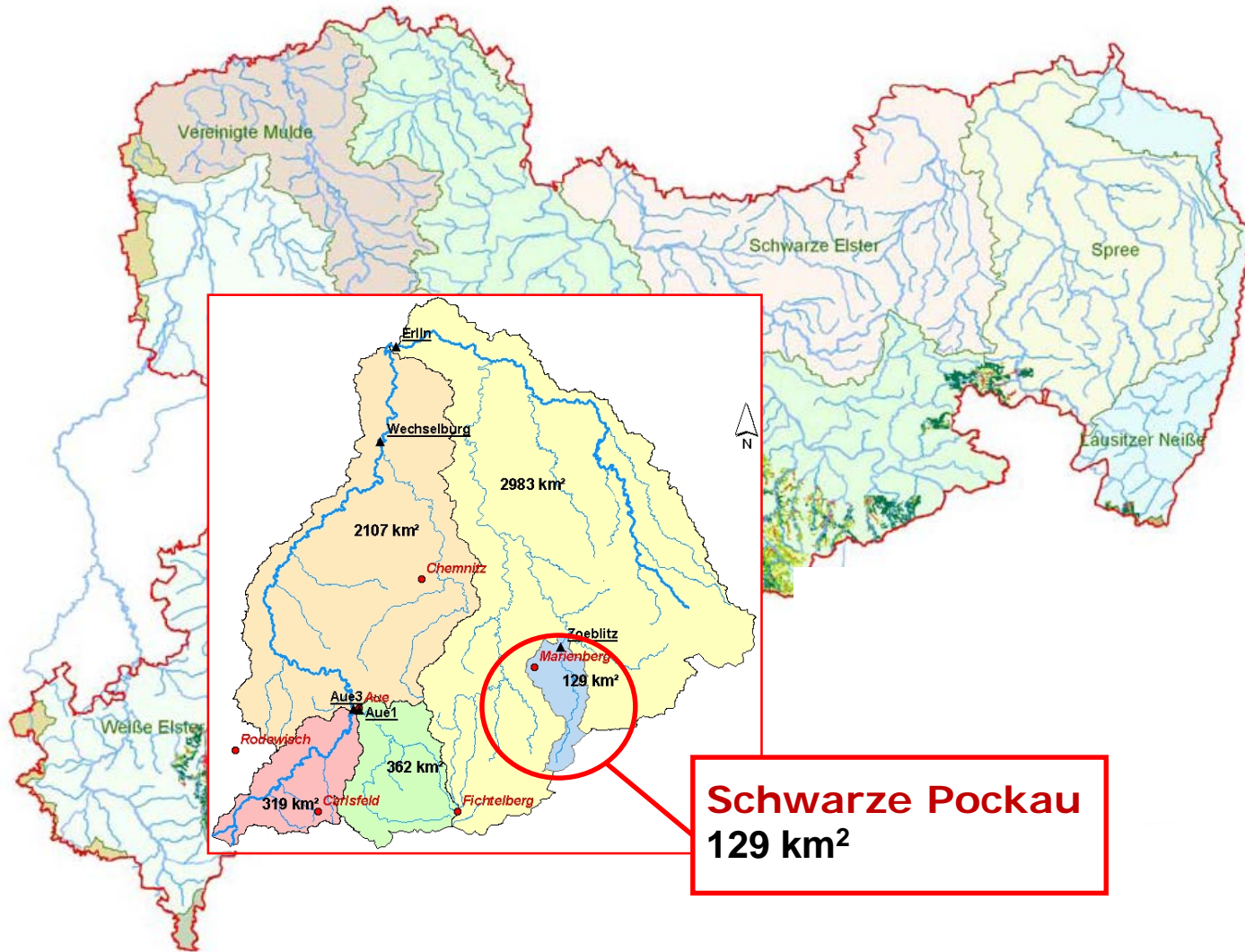
§ 100b

Hochwasserentstehungsgebiete

(1) Hochwasserentstehungsgebiete sind Gebiete, insbesondere in den Mittelgebirgs- und Hügellandschaften, in denen bei Starkniederschlägen oder bei Schneeschmelze in kurzer Zeit starke oberirdische Abflüsse eintreten können, die zu einer Hochwassergefahr in den Fließgewässern und damit zu einer erheblichen Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung führen können. Die höhere Wasserbehörde setzt die Hochwasserentstehungsgebiete durch Rechtsverordnung fest.

(2) In Hochwasserentstehungsgebieten ist das natürliche Wasser- und Bodenerversickerungs- und Wasserrückhaltevermögen zu erhalten und zu verbessern. Insbesondere sollen in Hochwasserentstehungsgebieten die Böden so weit wie möglich entsiegelt und geeignete Gebiete aufgeforstet werden.

Wassereinzugsgebiete: Mosaik verschiedener Landnutzungen

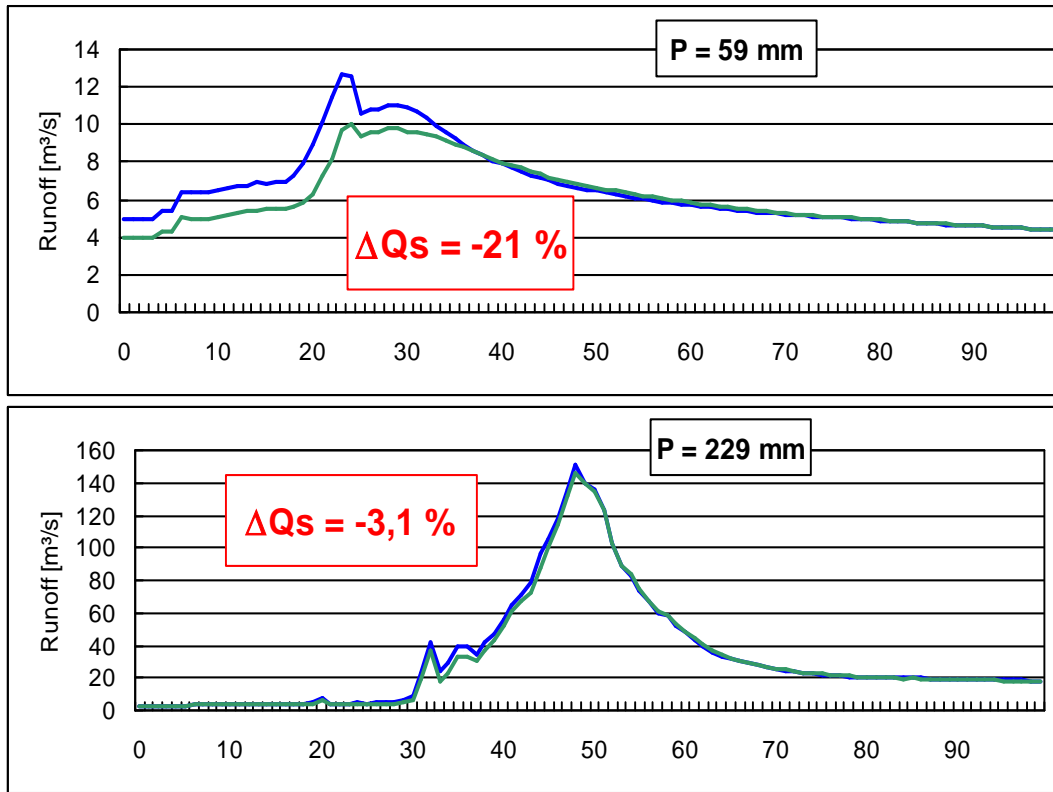


Siedlungen	3%
Acker	8%
Gras/Sukz.	47%
Wald	41%

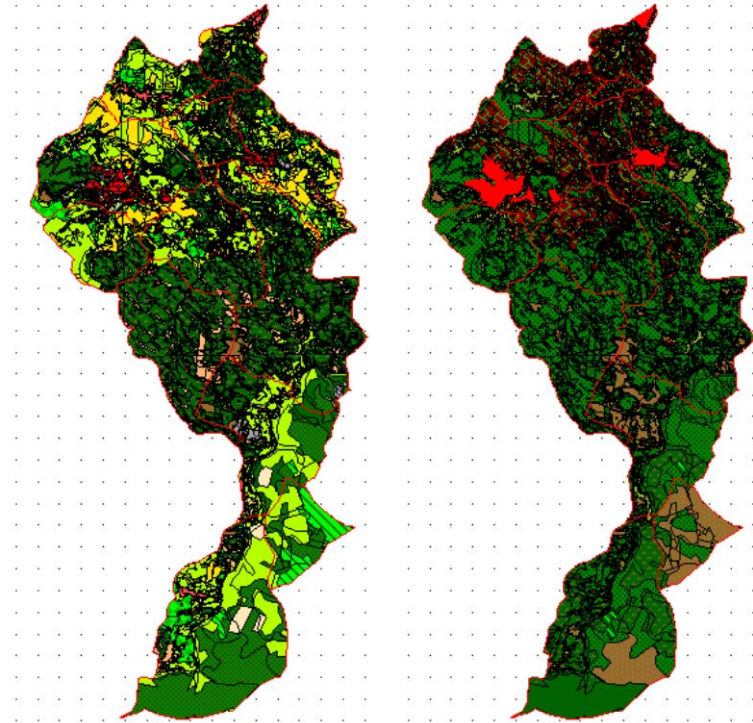
Integrated Flood Risk Analysis
and Management Methodologies



Höherer Waldanteil – Retention von Hochwasser



Modellierung: AKWA-M[®]



IST

Wald

Einzugsgebiet Schwarze Pockau (Mittleres Erzgebirge)

Aktuelle Landnutzung vs. Komplettbewaldung

häufiges Ereignis (60 mm/d → T = 5 – 10 a)

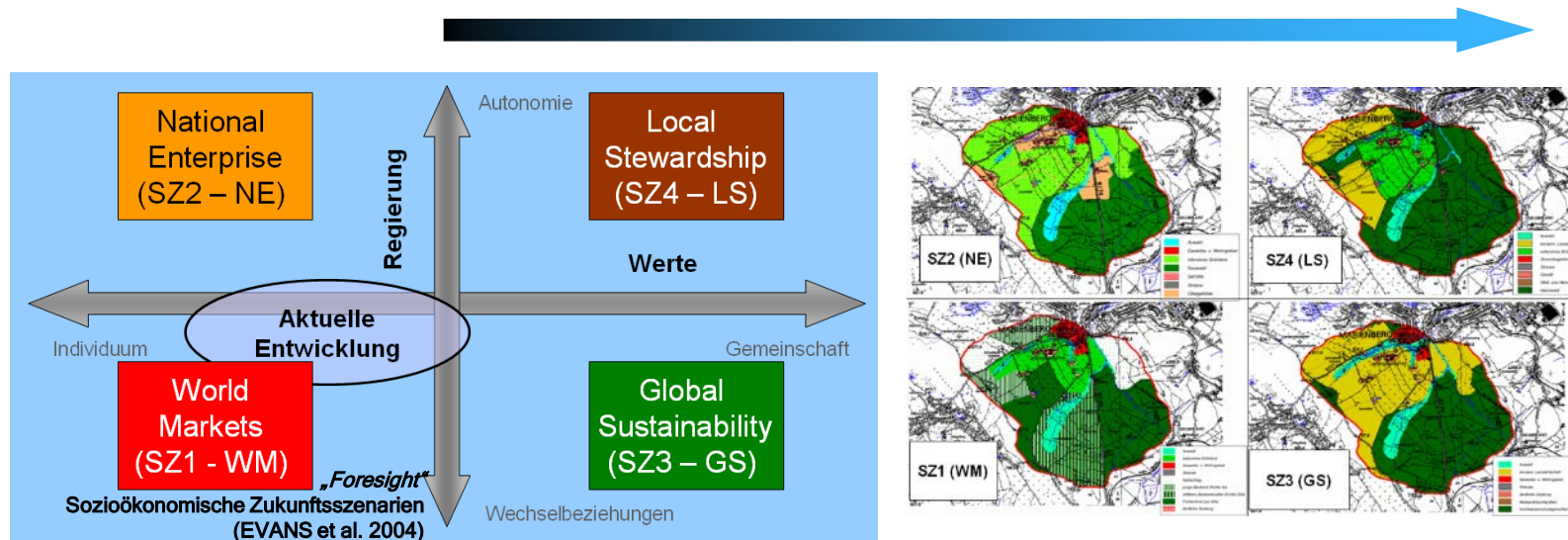
seltenes Ereignis (Aug. 2002 230 mm/2d → T > 200 a)

Wahren et al.: Identification and model based assessment of the potential water retention caused by land-use changes. Adv. Geosci. 11 (2007), 49–56.

Sozioökonomie und Ordnungsrahmen bestimmen die Landnutzungsverteilung

WHH 1985 - 2001	IST	SZ 1	SZ 2	SZ 3	SZ 4	Wald
Niederschlag	972	972	972	972	972	972
reale Verdunstung	472	480	505	509	534	593
Transpiration	193	178	212	212	222	244
Interzeption	190	238	227	221	252	296
Abfluss	507	501	476	473	448	386
Differenz	-	-1%	-6%	-7%	-12%	-24%

Szenario für eine stärker naturbasierte Hochwasserretention?



Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung

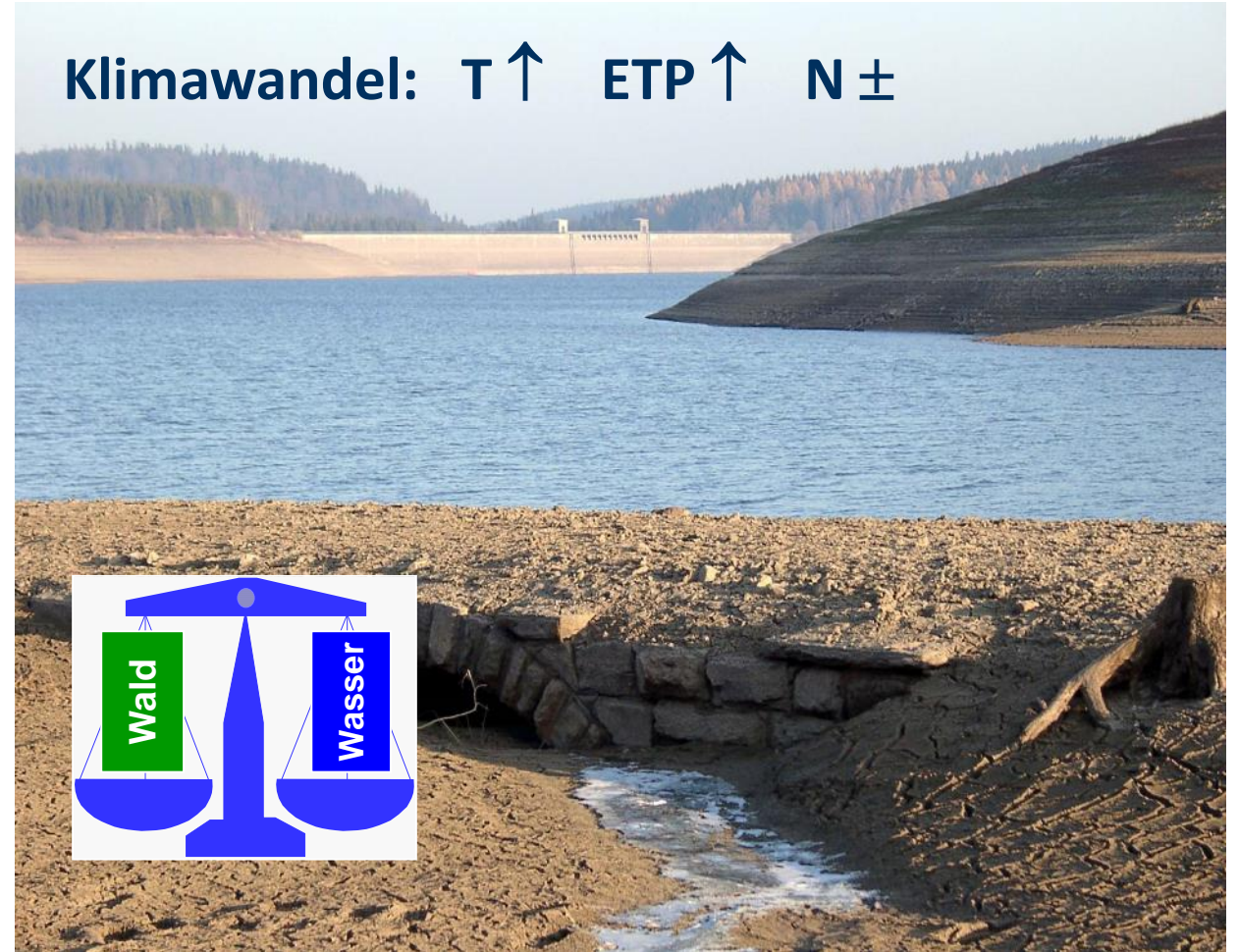
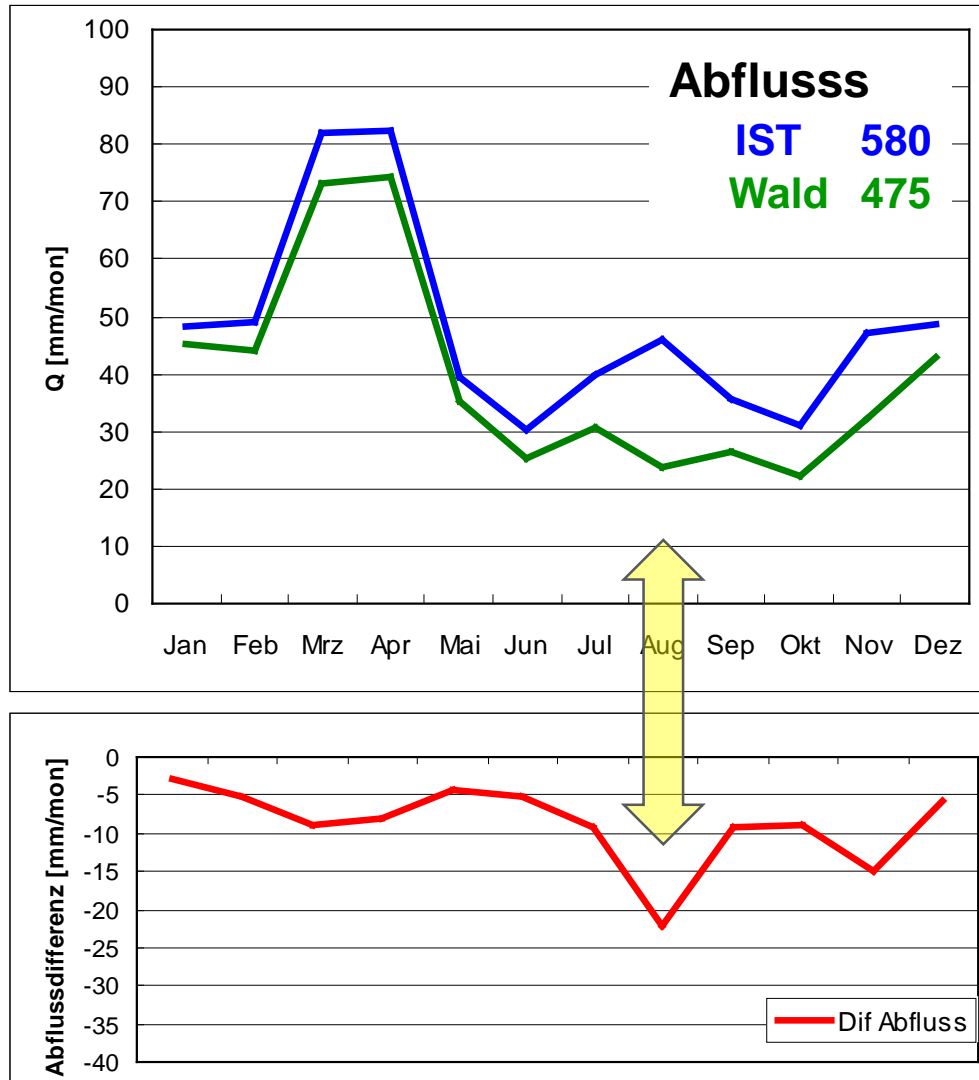
Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies

FLOODsite

SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME

Höherer Waldanteil – geringere Gebietswasserspende

$N = 1050 \text{ mm a}^{-1}$



Wasserbezogene ÖSL + Klimawandel: „Störungen“

- **Großflächiges Absterben von Beständen**
- **Windwurf**
- **Waldbrand**

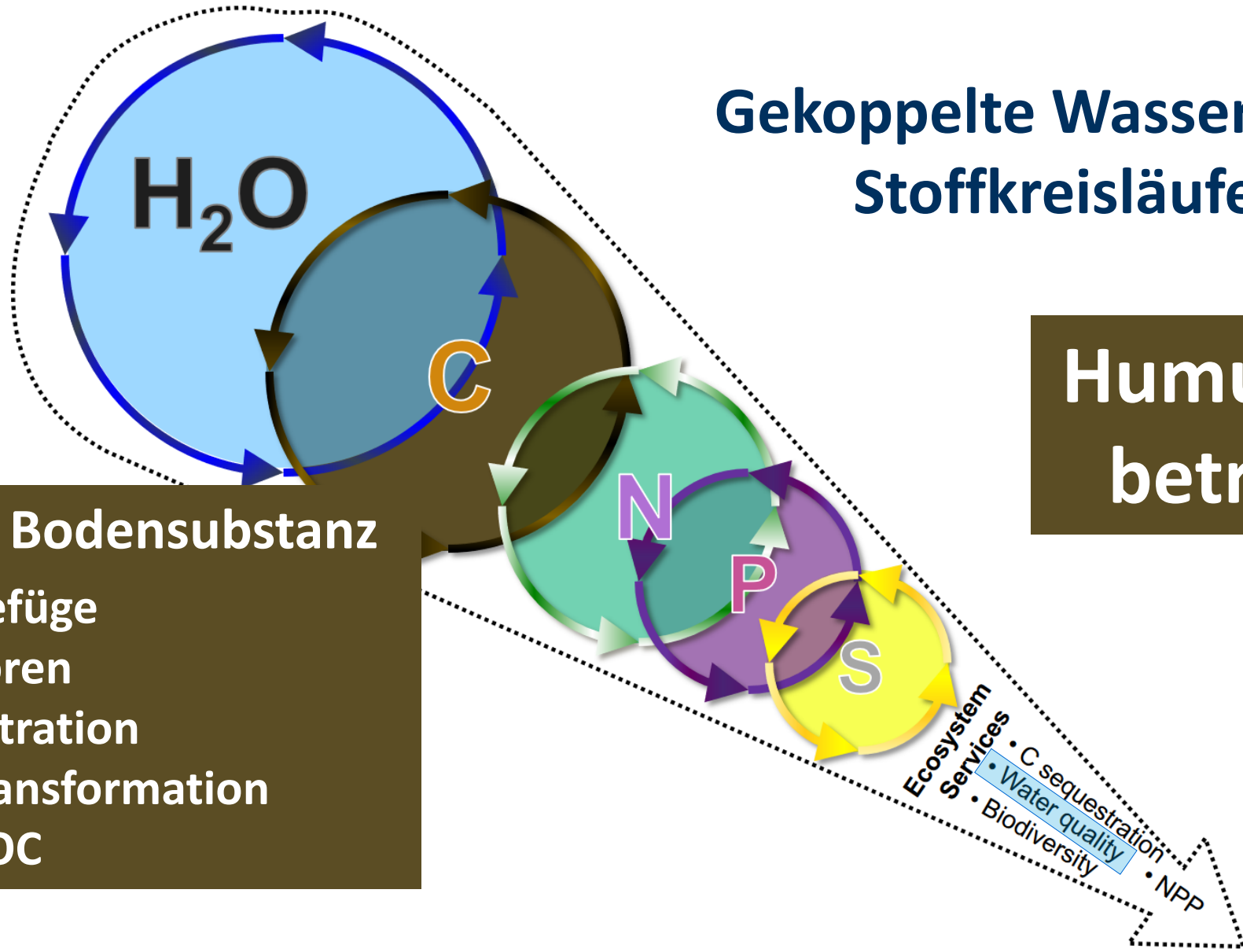
- ⇒ **Überschuss-Mineralisation und Stoffauswaschung (z.B. Nitrat)**
- ⇒ **DOC („Huminstoffe“)**
- ⇒ **Erosion?**



3/2020 www.forstpraxis.de

Gekoppelte Wasser- und Stoffkreisläufe

Humuspflege betreiben!



Org. Bodensubstanz


- Gefüge
- Poren
- Filtration
- Transformation
- DOC

Lal (2010) verändert

Langfristige Veränderungen der Quellwasserqualität

Rotherdbach bei Altenberg, Osterzgebirge (Fichte, Granitporphyr, Podsole)

Zeitraum	1994-99	2000-05	2006-11	2010-19	2020-24
pH-Wert	4,3	4,3	4,6	4,7	4,7
Elektr. Leitfähigkeit ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	148	121	103	86	92
NO_3^- ($\mu\text{mol}_c \text{L}^{-1}$)	132	73	51	37	73
SO_4^{2-} ($\mu\text{mol}_c \text{L}^{-1}$)	715	431	338	305	253
Al^{3+} ($\mu\text{mol}_c \text{L}^{-1}$)	279	121	96	69	64
Σ Basenkationen (ohne Na^+)	609	498	407	387	380



Datengrundlage: Armbruster, Abiy & Feger (Biogeochemistry, 2003)
EU Level-II Monitoring (F. Jacob, Sachsenforst)

Wald(-landschaft): Wasser- und bodenbezogene ÖSL:

**Jede Menge Synergien,
aber auch Herausforderungen**

**Vielfältige mögliche Einzelmaßnahmen auf betrieblicher,
aber auch übergeordneter landschaftlicher Ebene**



Nationale Wasserstrategie

Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023

Waldökosysteme sind hinsichtlich ihrer Ökosystemleistungen von immenser Bedeutung, zum Beispiel als Wasserspeicher, Wasserfilter,

Wälder werden so bewirtschaftet, dass die Wasserspeicherfunktion und die Wasserhaltekapazität des **Waldbodens** erhalten und nach Möglichkeit verbessert werden.

Die **Waldbewirtschaftung** soll im Rahmen ihrer Möglichkeiten dazu beitragen, den Oberflächenabfluss von Niederschlägen zu mindern und den Bodenwasserspeicher, das Grundwasser, aufzufüllen.

Diese Ziele sollten **durch entsprechende Anreize für zusätzliche wasserwirtschaftliche Ökosystemleistungen** der Wälder unterstützt werden.



Nationale Wasserstrategie

Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023

Aktion 12: Verbesserung des Bodenschutzes, des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung

→ Beginn
kurzfristig

Das Bodenschutzgesetz wird evaluiert und an die Herausforderungen des Klimaschutzes, der Klimaanpassung und den Erhalt der Biodiversität angepasst. Dabei werden die unterschiedlichen Nutzungen berücksichtigt. Dies beinhaltet auch die Betrachtung der natürlichen Bodenfunktion im Hinblick auf den Bodenwasserhaushalt, den Wasserrückhalt in der Fläche und die Grundwasserneubildung.

Aktion 18: Bundeswaldgesetz um Wasser Aspekte ergänzen

→ Beginn
kurzfristig

Im Rahmen der vorgesehenen Novellierung des Bundeswaldgesetzes wird geprüft, inwieweit dort Wasser Aspekte in Bezug auf den Wald und die Waldbewirtschaftung aufgegriffen werden können. Ziel ist es, den Beitrag des Waldes und der Waldbewirtschaftung zum Erhalt und zur Verbesserung der Wasserspeicherfunktion und der Wasserhaltekapazität der Waldböden, zur Minderung des Oberflächenabflusses von Niederschlägen und zur Speisung des Bodenwasserspeichers/des Grundwassers zu stärken. In diesem Kontext ist auch zu prüfen, inwieweit diese Ziele durch (öffentliche und private) Anreize für wasserwirtschaftliche Ökosystemleistungen

Deutliches Defizit: Integriertes Einzugsgebietsmanagement

- Bewirtschaftungspläne (EU-WRRL) PES?
- Landnutzung, Hochwasserschutz (Nature-based solutions ...)
- Gehölze in der Landschaft, Gehölzstreifen, Agroforst, Stadtbäume/Parks

BODEN DES
JAHRES

Waldboden

Boden
bewusst
sein

2024

»Tue Gutes und sprich darüber«

Wald ist viel mehr als Bäume!

→ stärkere Einbeziehung von »Boden«
in die Umweltkommunikation
und Wald-/Naturpädagogik

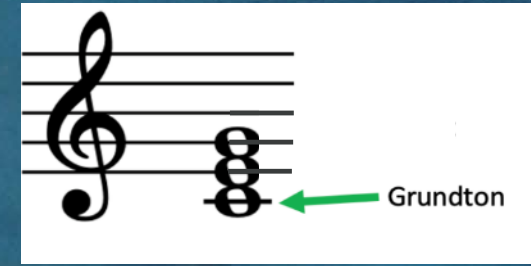


Tag des
Bodens

5. Dezember



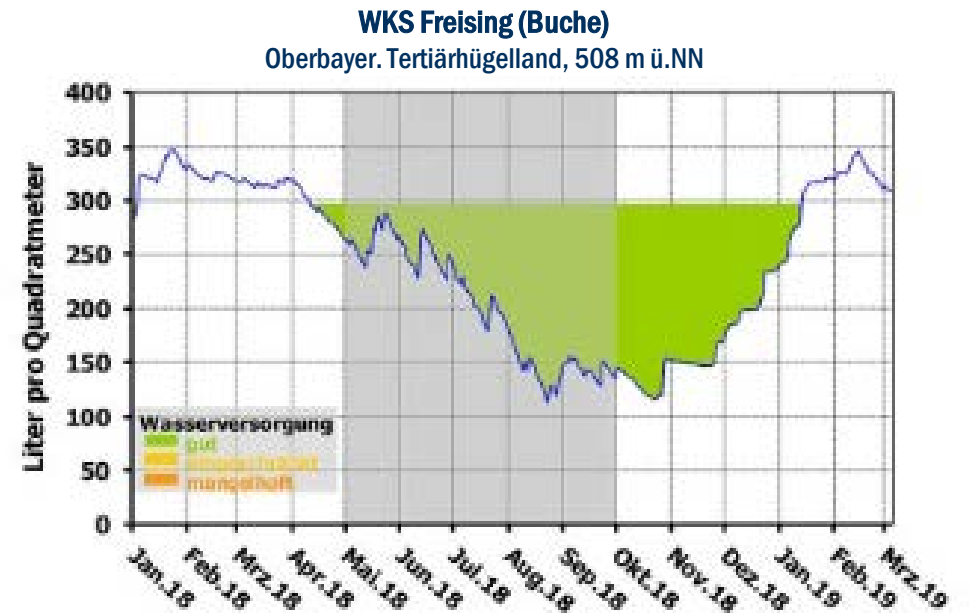
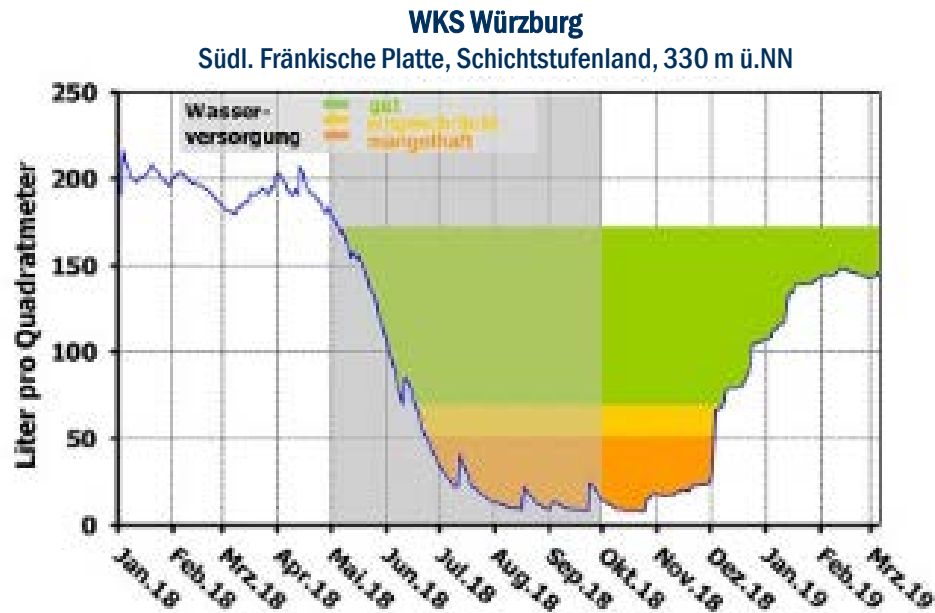
« Die Zukunft soll
man nicht voraussehen,
sondern möglich
machen. »



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Modellierung des Standortwasserhaushalts mit BROOK90 für zwei bayerische Waldklimastationen (WKS)

LWF (2019)



Boden

Braunerde-Pseudogley; hoher Vorrat an pflanzen-verfügbaren Nährstoffen; **stellenweise geringe Durchwurzelung auf Grund dichtlagernder Tone; geringe bis mittlere nutzbare Wasser-speicherkapazität im Hauptwurzelraum**

Bestand

ca. 103-jähriger Eichenwald mit Hain- und Rotbuche; Holzvorrat etwa 440 m³ pro Hektar (Stand 2009); Holzzuwachs ca. 11,3 m³ pro Hektar und Jahr (1995–2009)

Boden

Parabraunerde-Braunerde aus Lösslehm; gute Nährstoffausstattung und **gute Wasserspeicherkapazität (um 200 mm im durchwurzel-ten Boden)**

Bestand

ca. 150-jähriger Buchen-Eichen-Mischbestand; Holzvorrat etwa 704 m³ pro Hektar, davon 66% Buche und 34% Stieleiche (Stand 2009); durchschnittlicher Holzzuwachs etwa 16 m³ pro Hektar und Jahr (1995–2009)

Ursache



Indikator

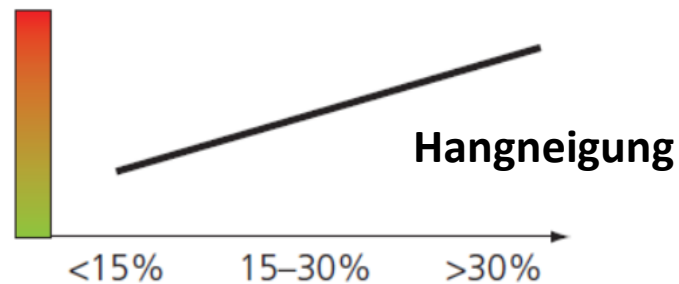
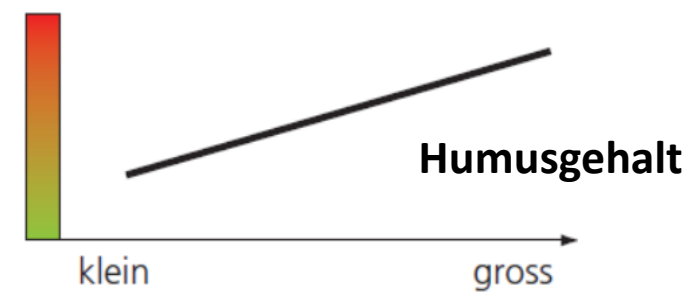
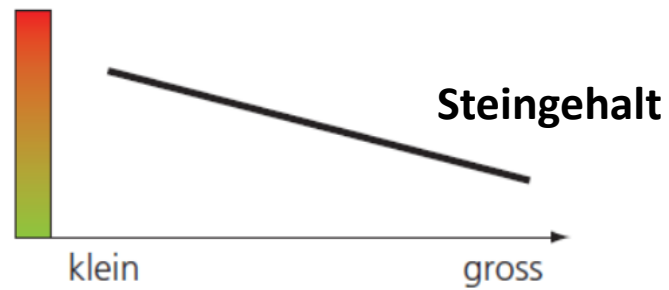
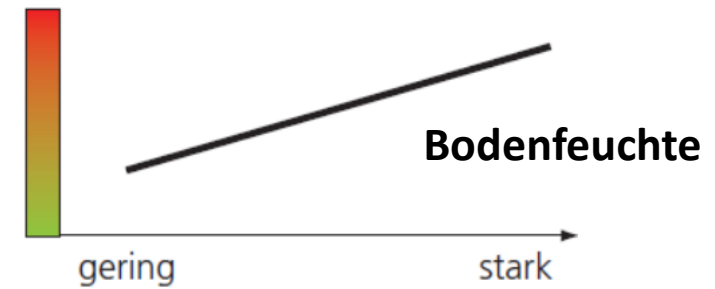
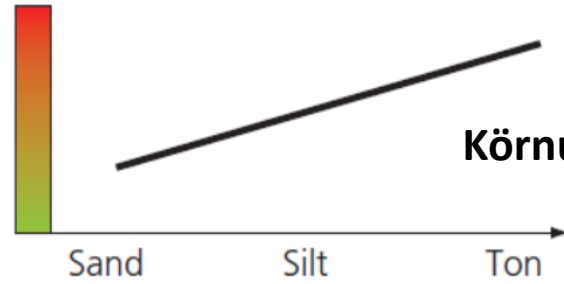


Wirkung



Risiken bei der Bewirtschaftung

→ Befahrung mit schweren Forstmaschinen



Empfindlichkeit gegenüber Befahrung

gering

hoch

Nitrat-Konzentration im Sickerwasser

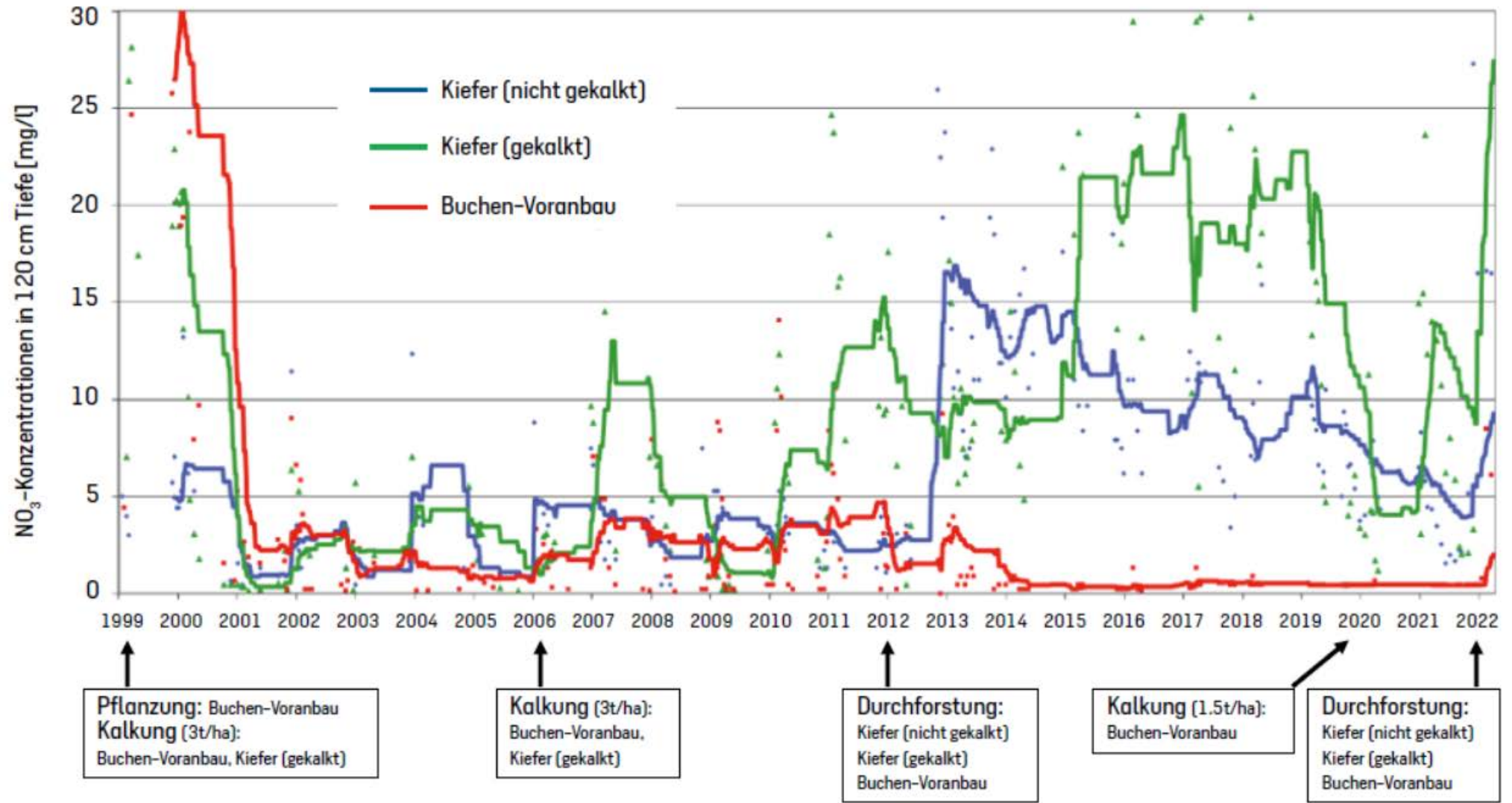


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser in 1,2 m Tiefe in Sandkrug zwischen 1999 und 2022. Im Jahr 1999 wurden die 3-jährigen Buchen gepflanzt. Die Nitrat-Konzentrationen der einzelnen Sickerwasserproben (2-wöchige Sammelproben) sind als Punkte und das gleitende Mittel der Einzelwerte über 20 Wochen ist als durchgezogene Linie dargestellt.