

Seminar 2.4.9

# Klimawandel in Rheinland-Pfalz - Chancen und Risiken für unsere Wälder

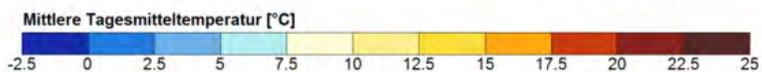
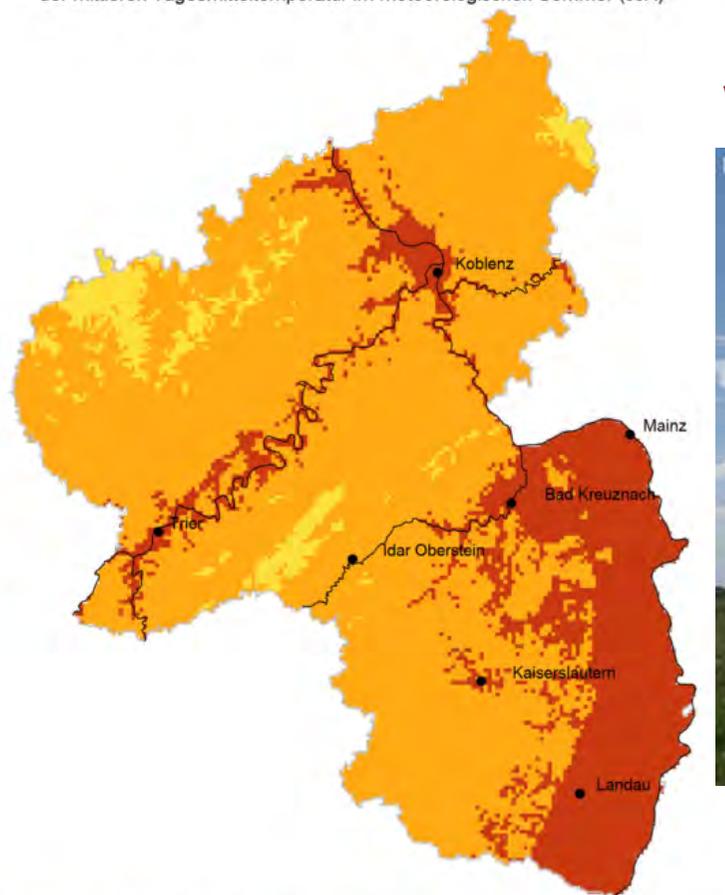
11.09.2012

Dr. Ulrich Matthes



# Klima ist nicht Wetter ....

Langjähriges Mittel (1971-2000)  
der mittleren Tagesmitteltemperatur im meteorologischen Sommer (JJA)



Datenquelle:  
Deutscher Wetterdienst (DWD)

Folie 2

[www.wetter.rlp.de](http://www.wetter.rlp.de)

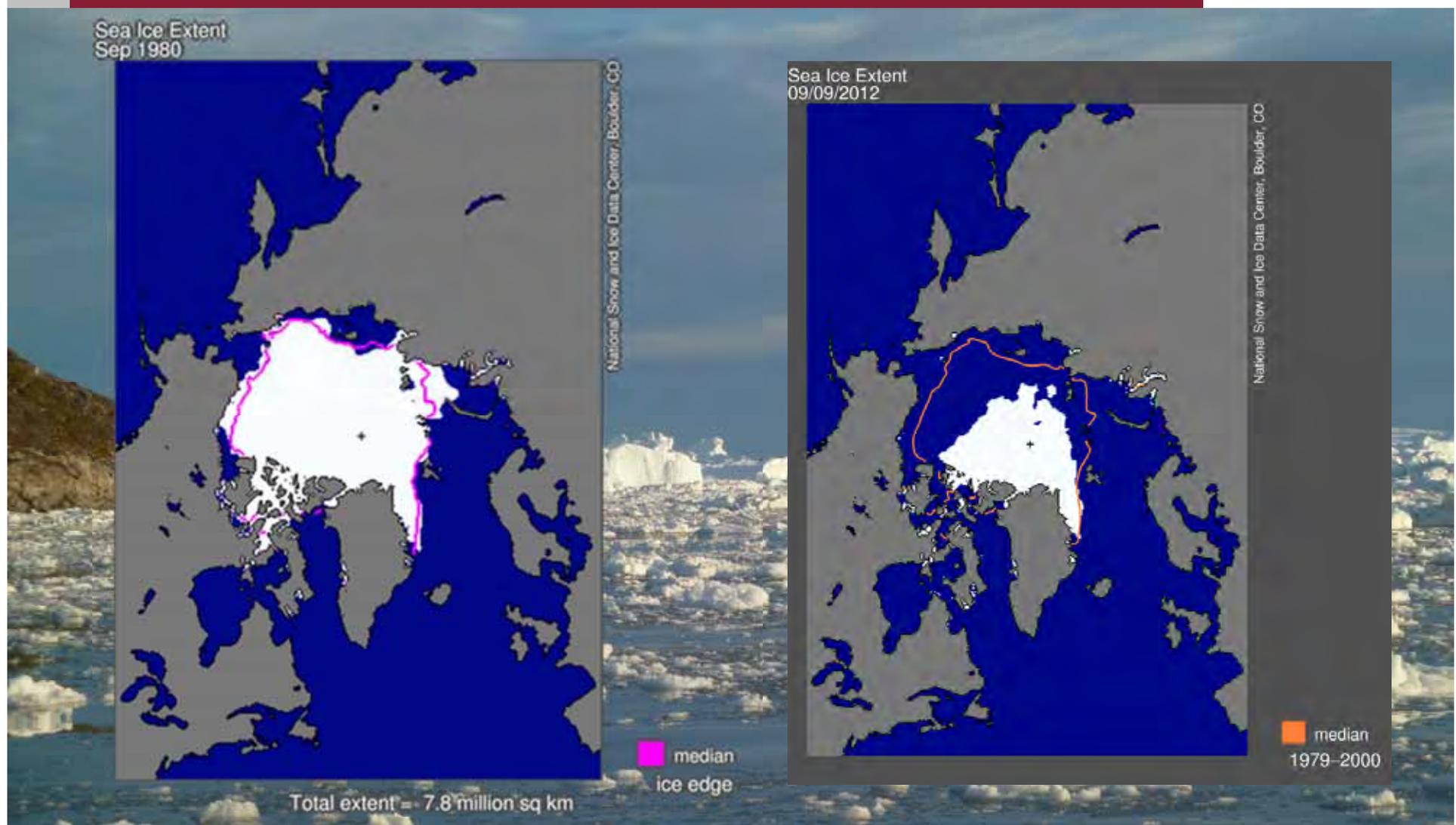


# Rückgang des arktischen Meereises



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,  
ENERGIE UND  
LANDESPLANUNG



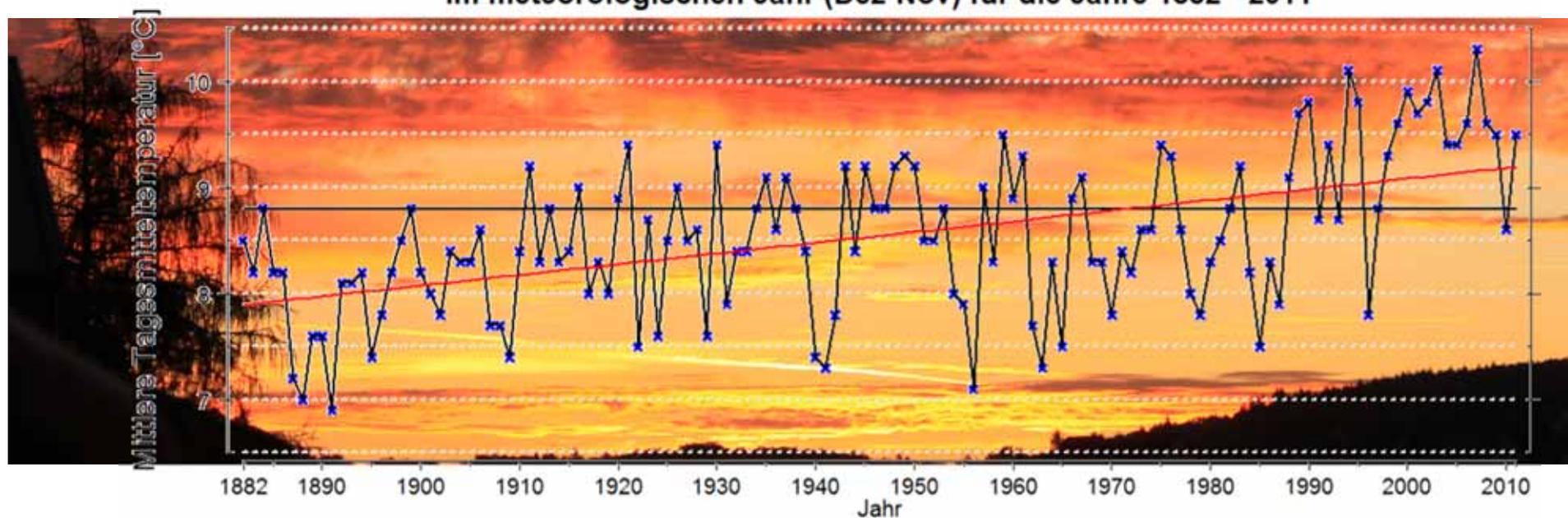
# Klimawandel in Rheinland-Pfalz



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,  
ENERGIE UND  
LANDESPLANUNG

Tagesmitteltemperaturen in Rheinland-Pfalz  
im meteorologischen Jahr (Dez-Nov) für die Jahre 1882 - 2011



Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum  
für Klimawandelfolgen

in Zusammenarbeit mit  
Forschungsanstalt für  
Waldökologie und Forstwirtschaft

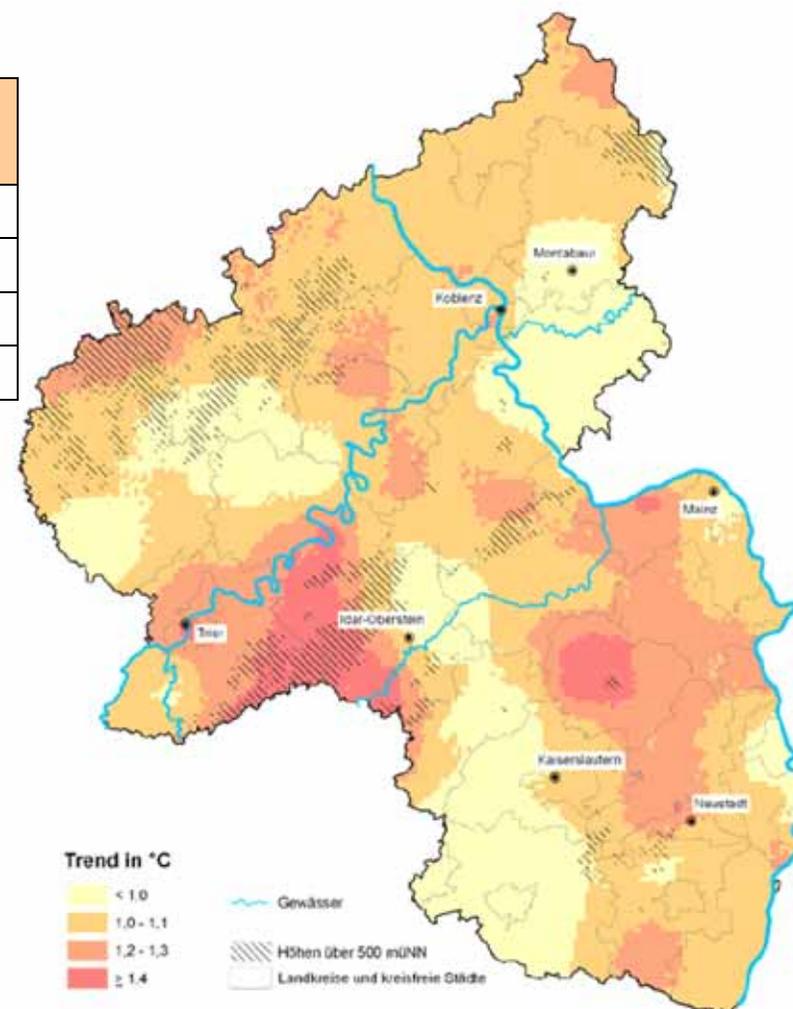
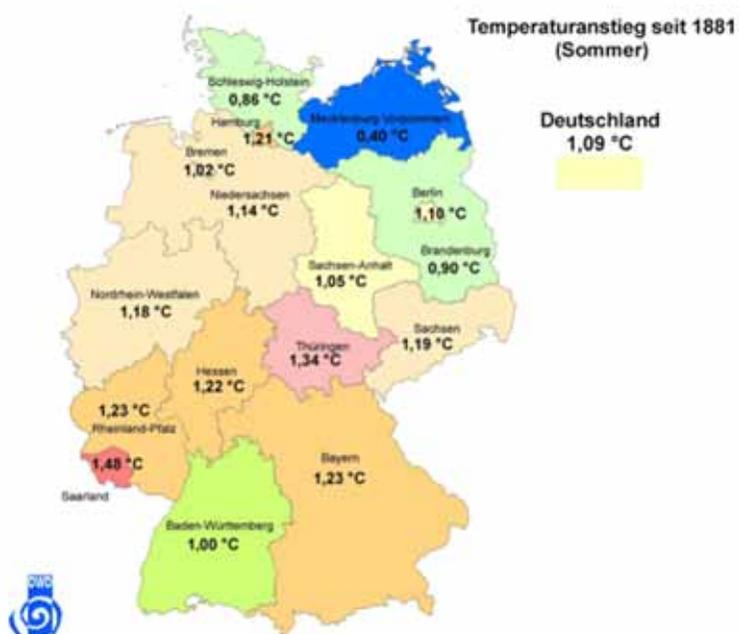




# Klimawandel in Rheinland-Pfalz

Erwärmung um 1,28 ° C von 1881-2010

Jahreszeit	Temperaturtrend Rheinland-Pfalz	Temperaturtrend Deutschland
Frühling	1,28 °C	1,15 °C
Sommer	1,23 °C	1,09 °C
Herbst	1,27 °C	1,15 °C
Winter	1,18 °C	0,97 °C



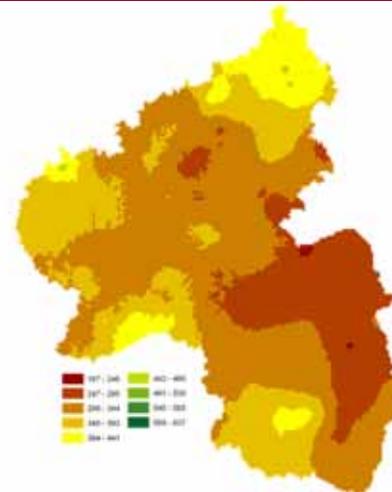


# Aufgaben / Themenfelder

## KlimLandRP



## Klimawandelinformationssystem kwis-rlp



## Erweiterung der Folgenforschung (über KlimLandRP hinaus)

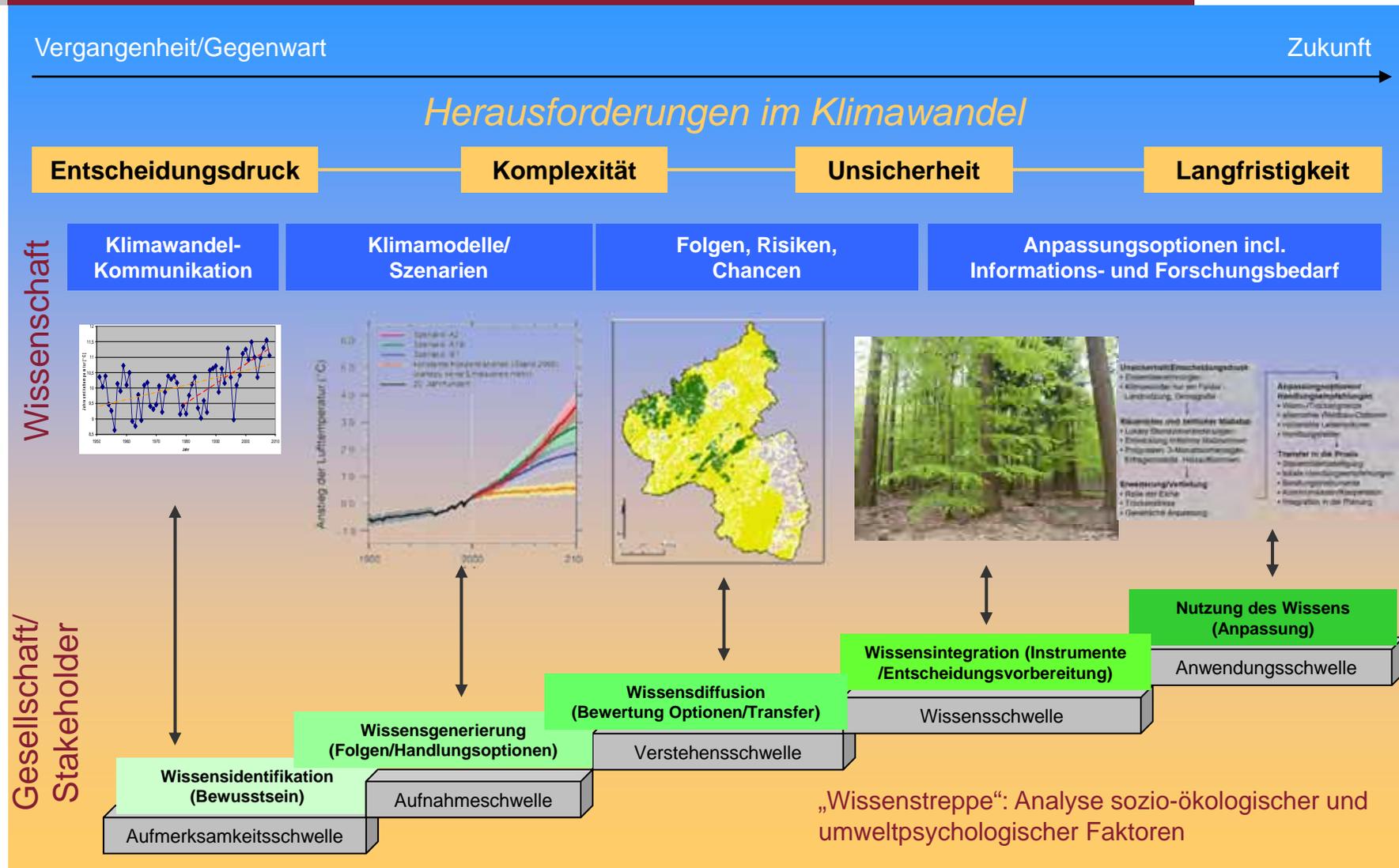
- Gesundheit und Klimawandel
- Ökonomische Effekte
- Tourismus und Klimawandel
- ...



## Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)



# Klimawandel – Verbindung der naturwissenschaftlichen mit der soziologischen Perspektive





# Wahrnehmung und Betroffenheit

Auswirkung von Klimaveränderungen auf Wälder (Quelle: FAO-Studie, 2012)

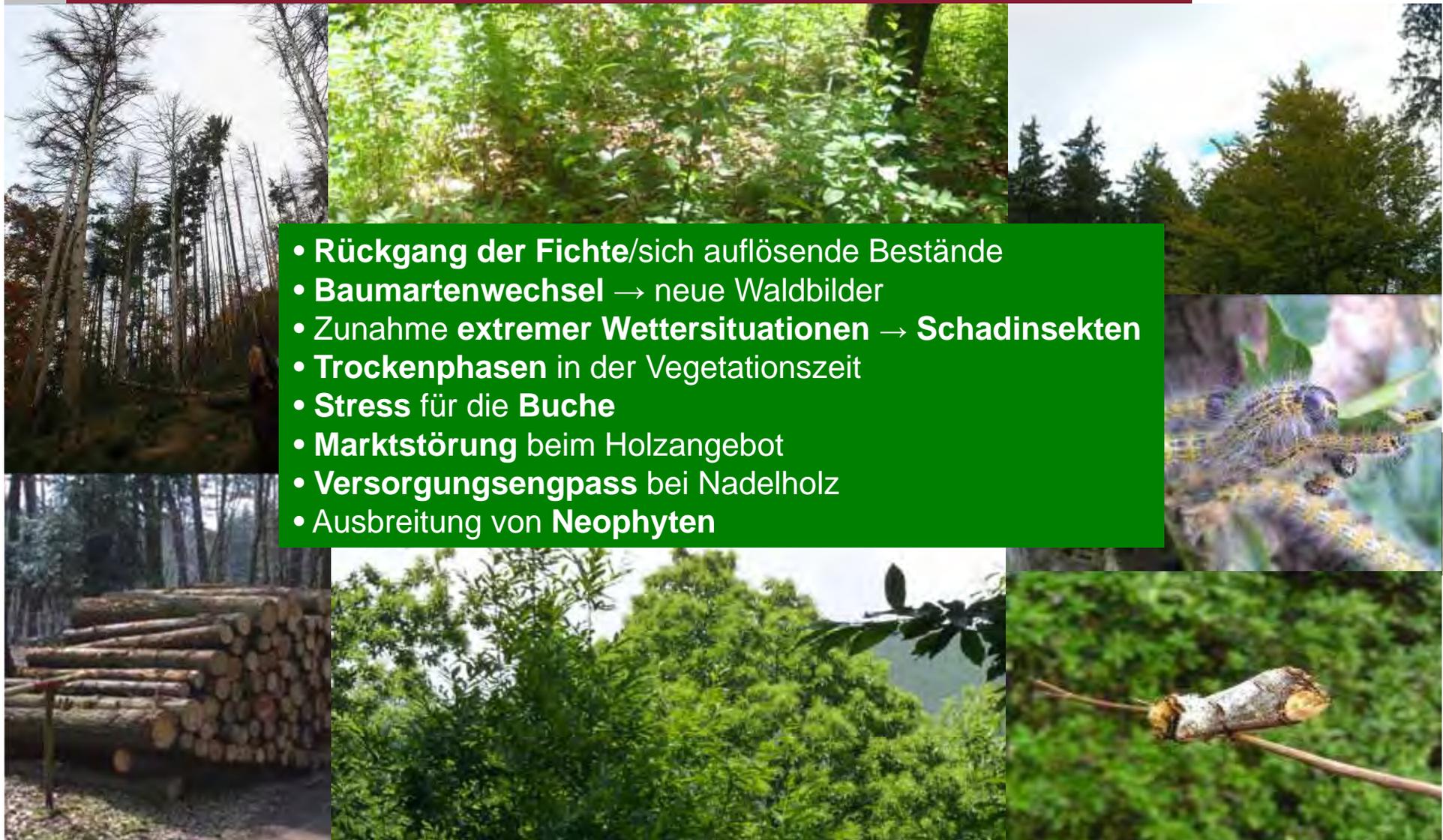
	Schaderreger	Produktivität	Wasser- verfügbarkeit	Extremwetter	Waldbrand	Neophyten	Naturkatastrophen
Afrika							
Asien und Pazifik							
Europa							
Lateinamerika/ Karibik							
Nordamerika							

# Wahrnehmung und Betroffenheit (KlimLandRP)



Rheinland-Pfalz

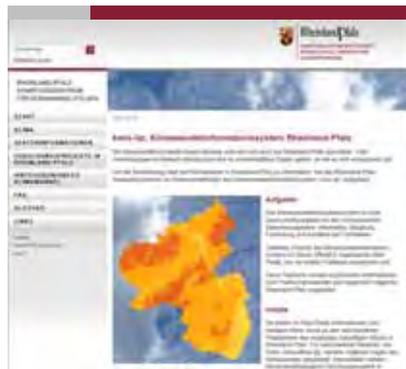
MINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,  
ENERGIE UND  
LANDESPLANUNG



- Rückgang der Fichte/sich auflösende Bestände
- Baumartenwechsel → neue Waldbilder
- Zunahme extremer Wettersituationen → **Schadinsekten**
- **Trockenphasen** in der Vegetationszeit
- **Stress** für die Buche
- **Marktstörung** beim Holzangebot
- **Versorgungsengpass** bei Nadelholz
- Ausbreitung von **Neophyten**



# Inhalte des Seminars



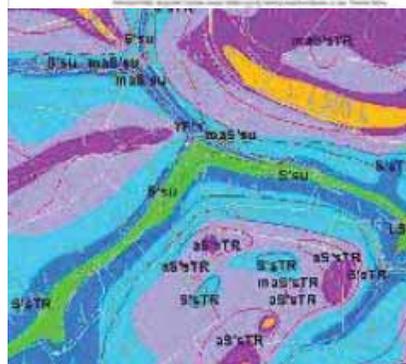
9:15-10:00 Uhr  
Klimawandelinformationssystem  
„kwis-rlp“  
Philipp Reiter  
Dr. Tilmann Sauer

---



11:30-12:00 Uhr  
Baumarteneignung und  
Waldwachstumstrends  
Ana Vasconcelos  
Dr. Ulrich Matthes

---



10:00-10:30 Uhr  
Dynamische Standortkartierung  
Dr. Jürgen Gauer

---



12:00-12:30 Uhr  
Waldschutzrisiken in  
Zeiten des Klimawandels  
Dr. Horst Delb/Dr. Joachim Block

---



11:00-11:30 Uhr  
Bodenwasser- und Stoffhaushalt  
unter dem Einfluss klimatischer  
Veränderungen  
Dr. Joachim Block

---



14:00-16:00 Uhr  
Fakultatives Angebot  
Exkursion zu den ForeStClim-Flächen  
Dr. Joachim Block  
Hans-Werner Schröck

---

# Anpassung der Standortskartierung und Waldstandorte im Klimawandel

Jürgen Gauer

Referent für forstl. StOK



**Landesforsten**  
Rheinland-Pfalz

## ForeStClim: T.projekt D: u.a. Dynamisierung von Standortinformationen

**These:**

**Der Klimawandel wird große Veränderungen der Standortseigenschaften und des Waldwachstums bewirken**

**→ hauptsächlich wird das Wärmeklima und das Wasserregime betroffen sein**

**Bis heute wurden Standortkartierungswerke meist nur einmal aufgestellt, Standortfaktoren galten bisher als mehr oder weniger stabil**

**→ Deshalb besteht die Notwendigkeit, die vorhandene Standortkartierverfahren weiter zu entwickeln mit dem Ziel, mehr dynamische und stärker quantitative Komponenten - unter Einbeziehung von GIS - einzubauen.**

**→ Problem 1: Entwicklung einer dynamischen Höhenstufenklassifikation**

**→ Problem 2: Schließen von Lücken ohne oder mit veralteten Standortdaten**

**→ Problem 3: Entwicklung einer dynamischen Klassifikation des Wasserhaushaltes**

**→ Problem 4: Umsetzung der dynamischen Komponenten in die Fläche**

# Indikatoren zur Standortsbeurteilung

Lage

Klima

Wärme

Strahlung

Boden

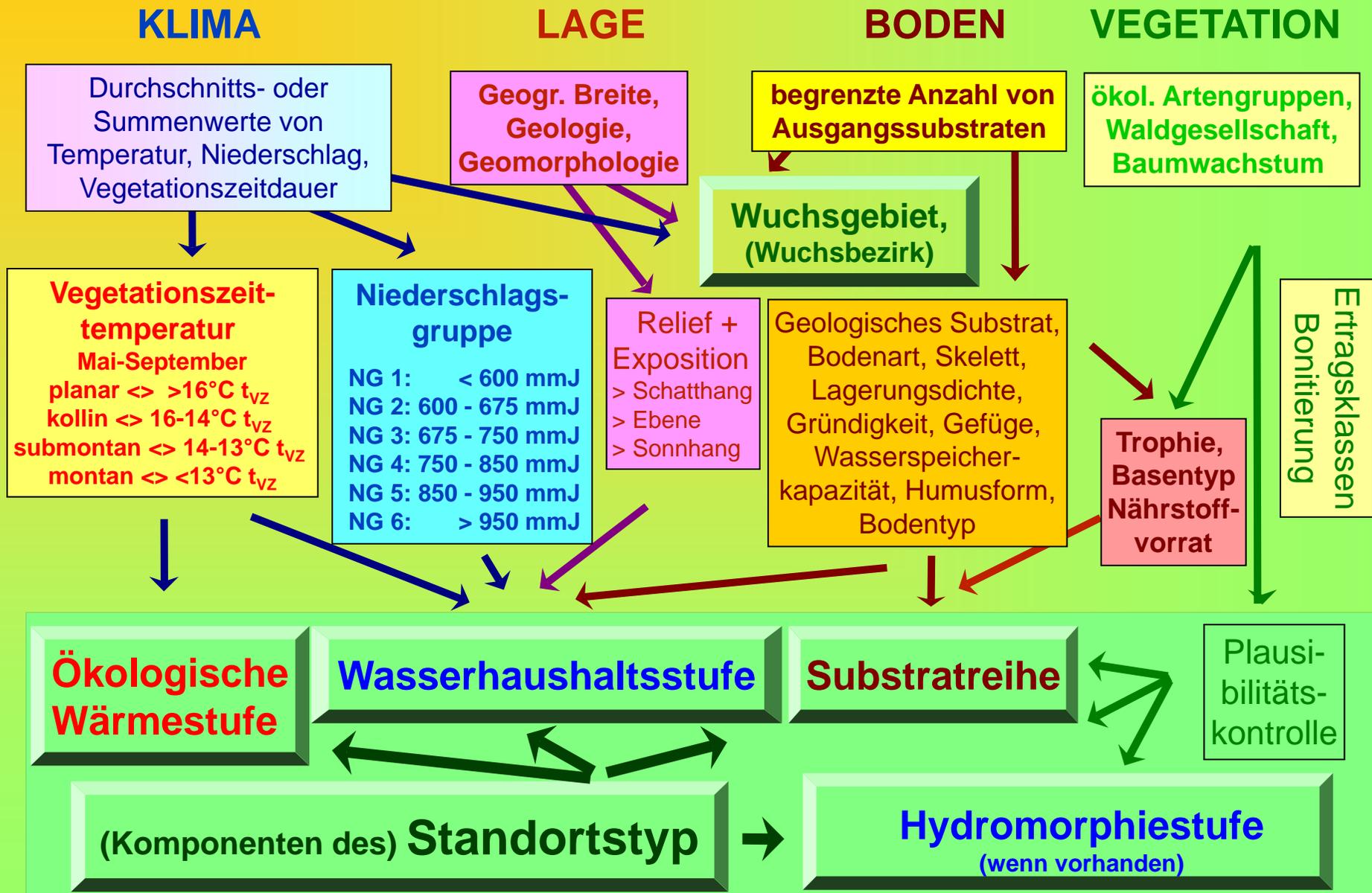
Bodenwasser

Bodenluft

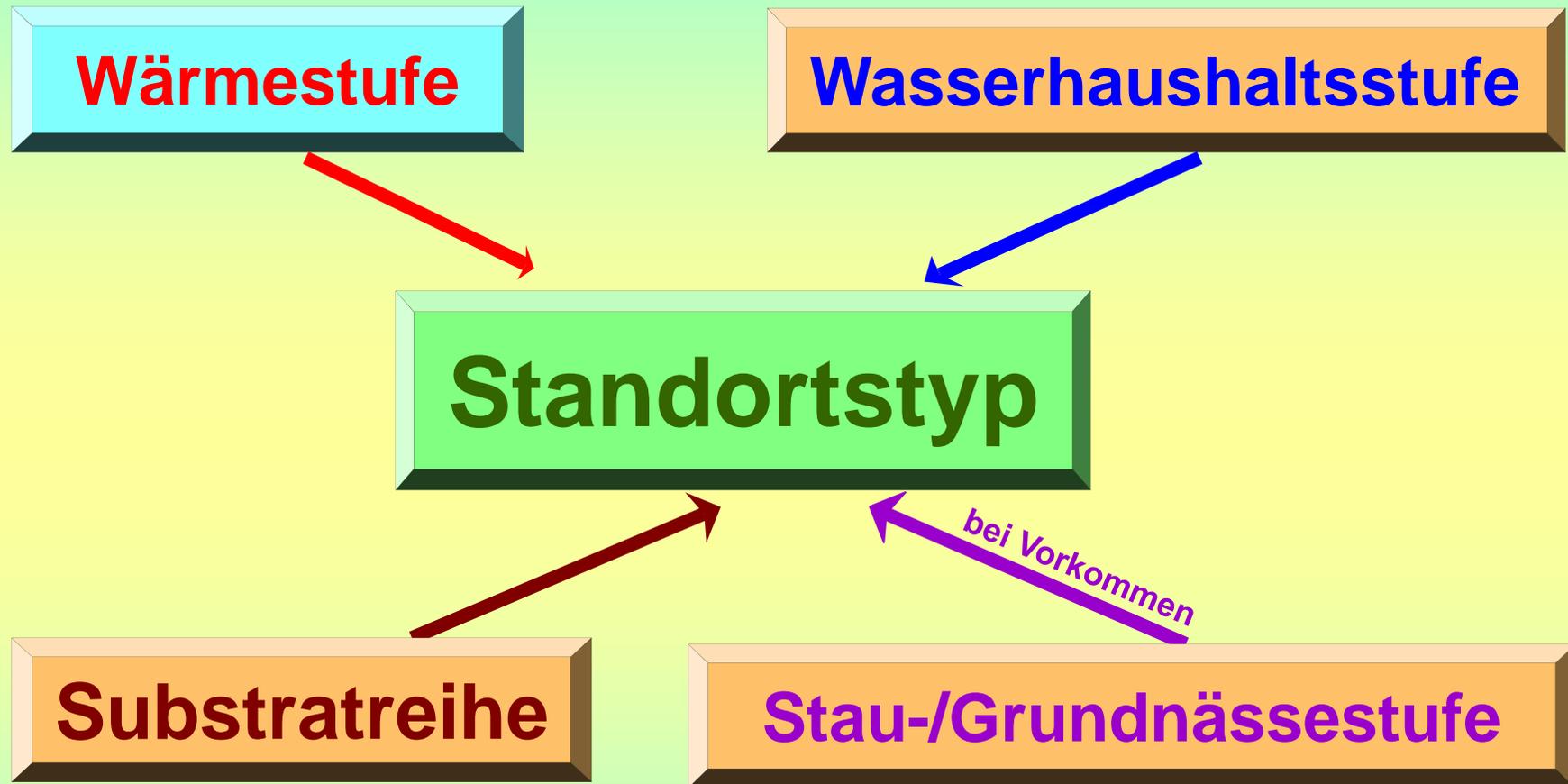
Nährstoffe

Bodenfestphase

# Standortskartierverfahren in Rheinland-Pfalz nach AStA 96



# Standortsgliederung in Rheinland-Pfalz



**M fr s4 wD/\*QJ'd** = montaner, frischer, stark staunasser  
Hydromorpher Decklehm über saprolitischem Quarzit des Devon

# Standortskartierverfahren in Rheinland-Pfalz nach AStA 96

## KLIMA

## LAGE

## BODEN

## VEGETATION

### Ansatzpunkte des Klimawandels

Durchschnitts- oder  
Summenwerte von  
Temperatur, Niederschlag,  
Vegetationszeitdauer

Geologie,  
Geomorphologie

Ausgangssubstraten

ökol. Artengruppen,  
Waldgesellschaft,  
Baumwachstum

Wuchsgebiet,  
(Wuchsbezirk)

**Vegetationszeit-  
temperatur**  
Mai-September  
planar <> >16°C t<sub>vz</sub>  
kollin <> 16-14°C t<sub>vz</sub>  
submontan <> 14-13°C t<sub>vz</sub>  
montan <> <13°C t<sub>vz</sub>

**Niederschlags-  
gruppe**  
NG 1: < 600 mm  
NG 2: 600 - 675 mm  
NG 3: 675 - 750 mm  
NG 4: 750 - 850 mm  
NG 5: 850 - 950 mm  
NG 6: > 950 mm

Relief +  
Exposition  
> Schatthang  
> Ebene  
> Sonnhang

Geologisches Substrat,  
Bodenart, Skelett,  
Lagerungsdichte,  
Gründigkeit, Gefüge,  
Wasserspeicher-  
kapazität, Humusform,  
Bodentyp

Trophie,  
Basentyp  
Nährstoff-  
vorrat

Ertragsklassen  
Bonitierung

Ökologische  
Wärmestufe

Wasserhaushaltsstufe

Substratkategorie

Plausi-  
bilitäts-  
kontrolle

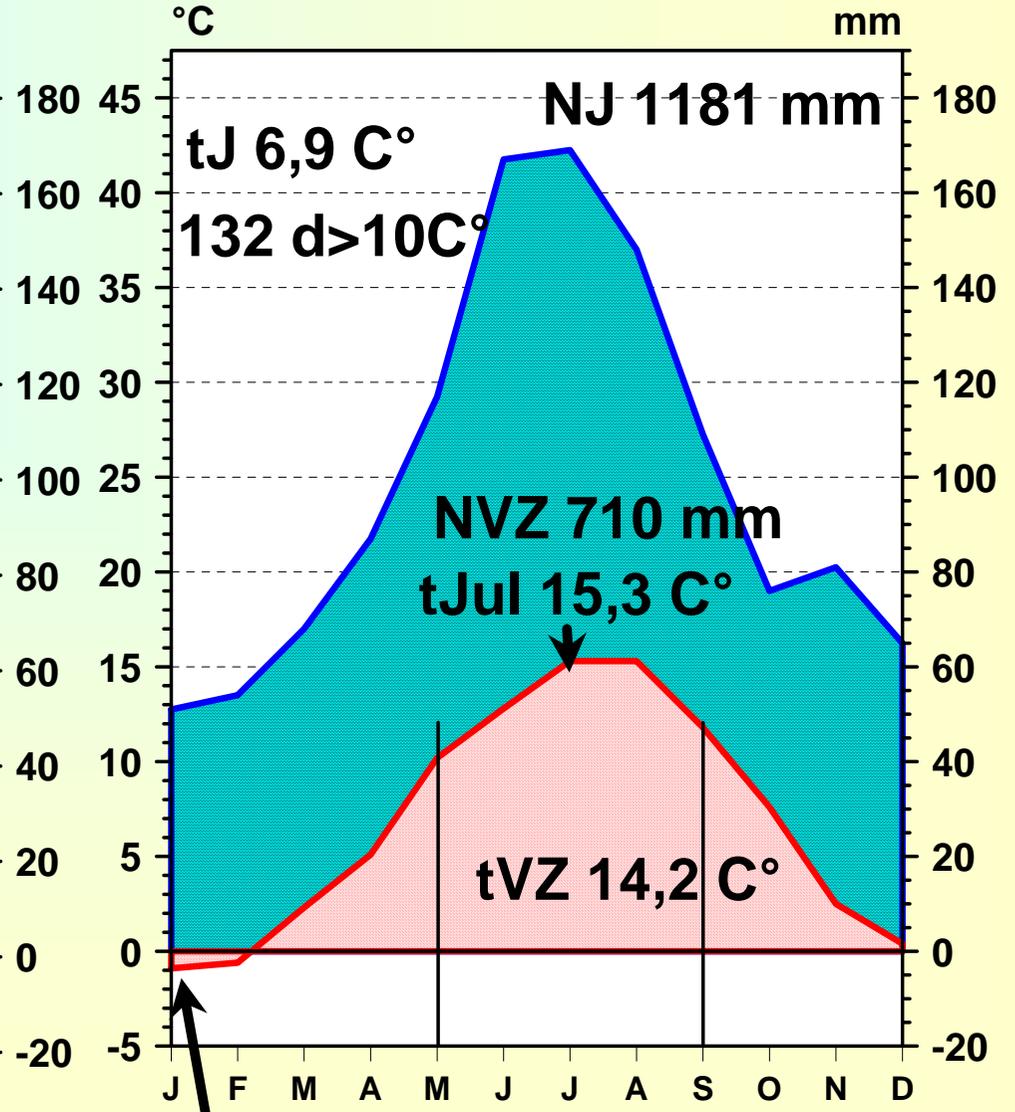
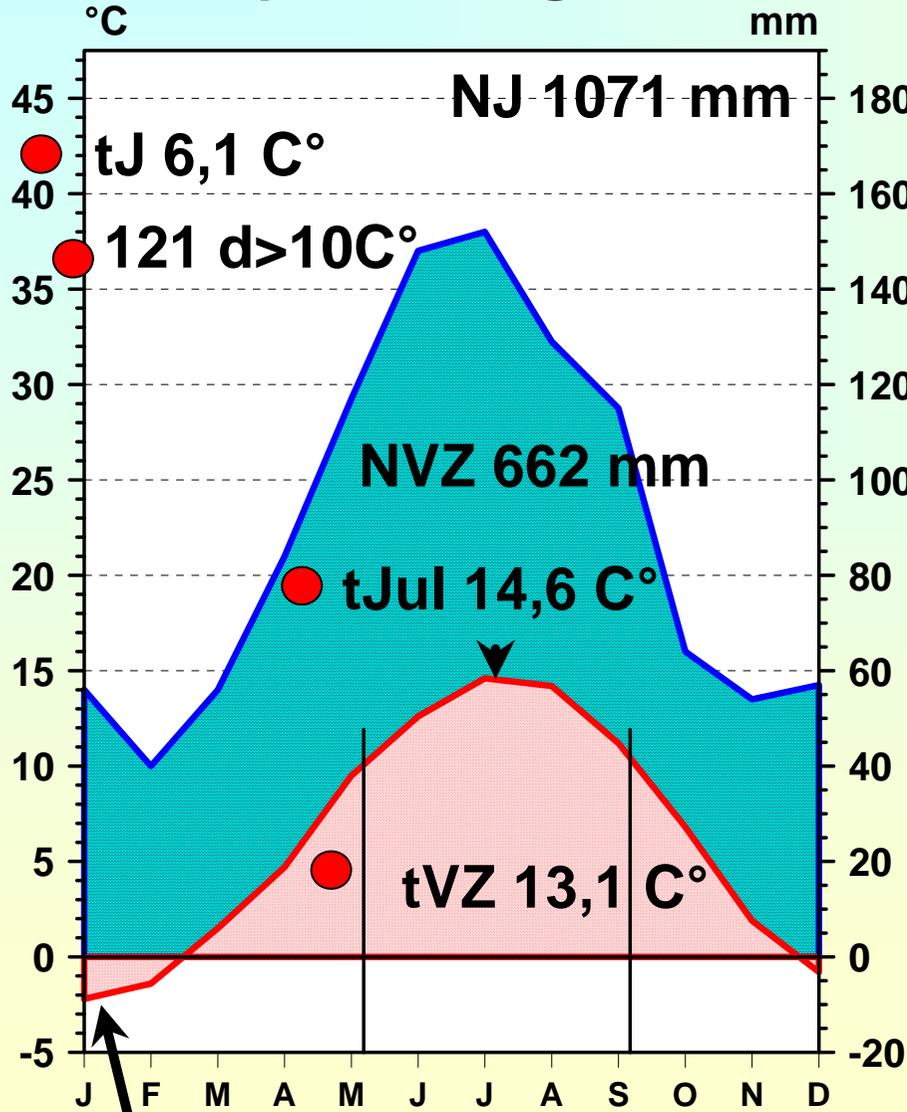
(Komponenten des) Standortstyp

Hydromorphiestufe  
(wenn vorhanden)

# Indikatoren für den Wärmehaushalt

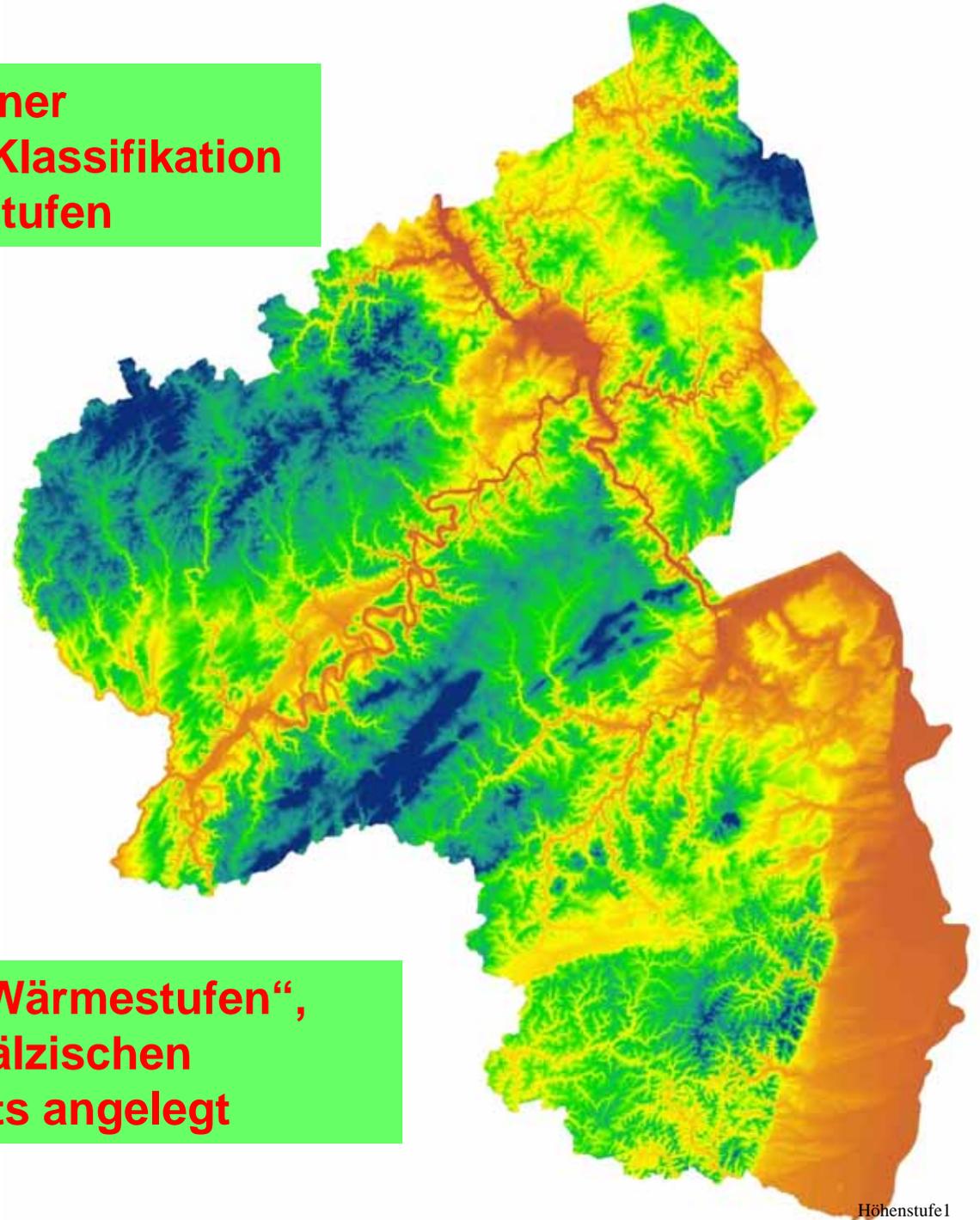
## Hohenpeißenberg 1891-1930

## Hohenpeißenberg 1970-2000



977 müNN

**→ Problem 1: Entwicklung einer dynamischen Klassifikation für die Höhenstufen**

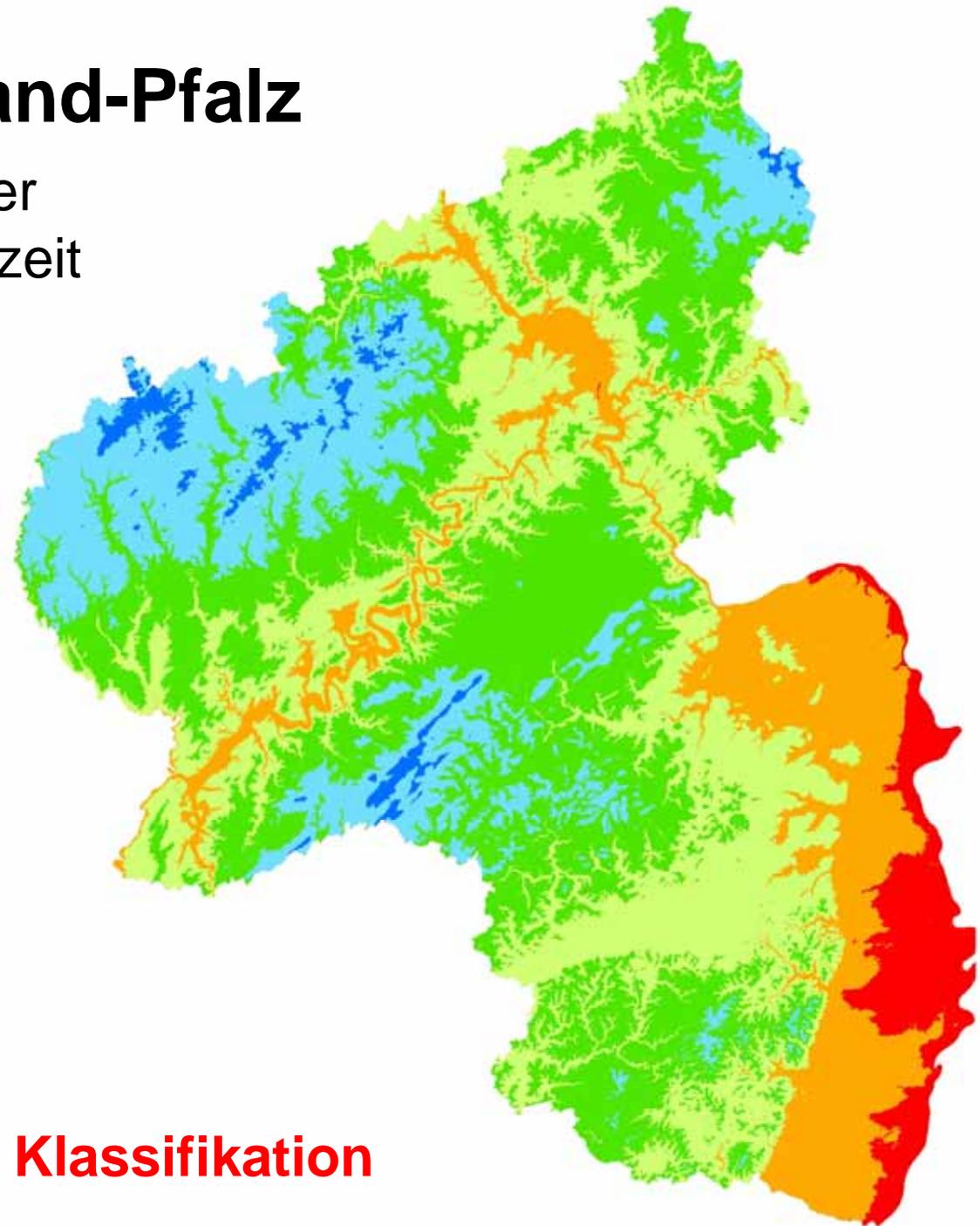
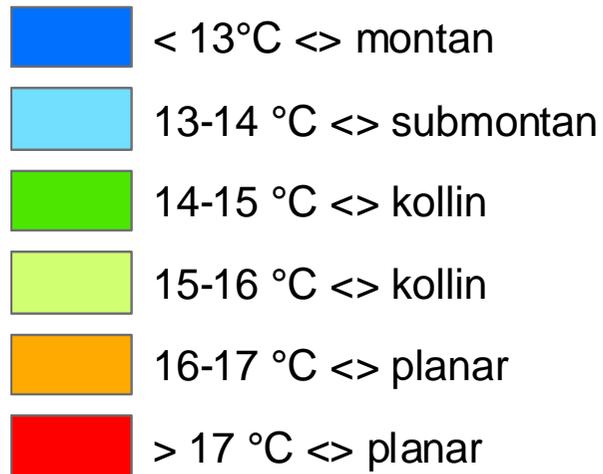


**→ Lösung: Als definierte „Wärmestufen“, im rheinland-pfälzischen Verfahren bereits angelegt**

# Klima in Rheinland-Pfalz

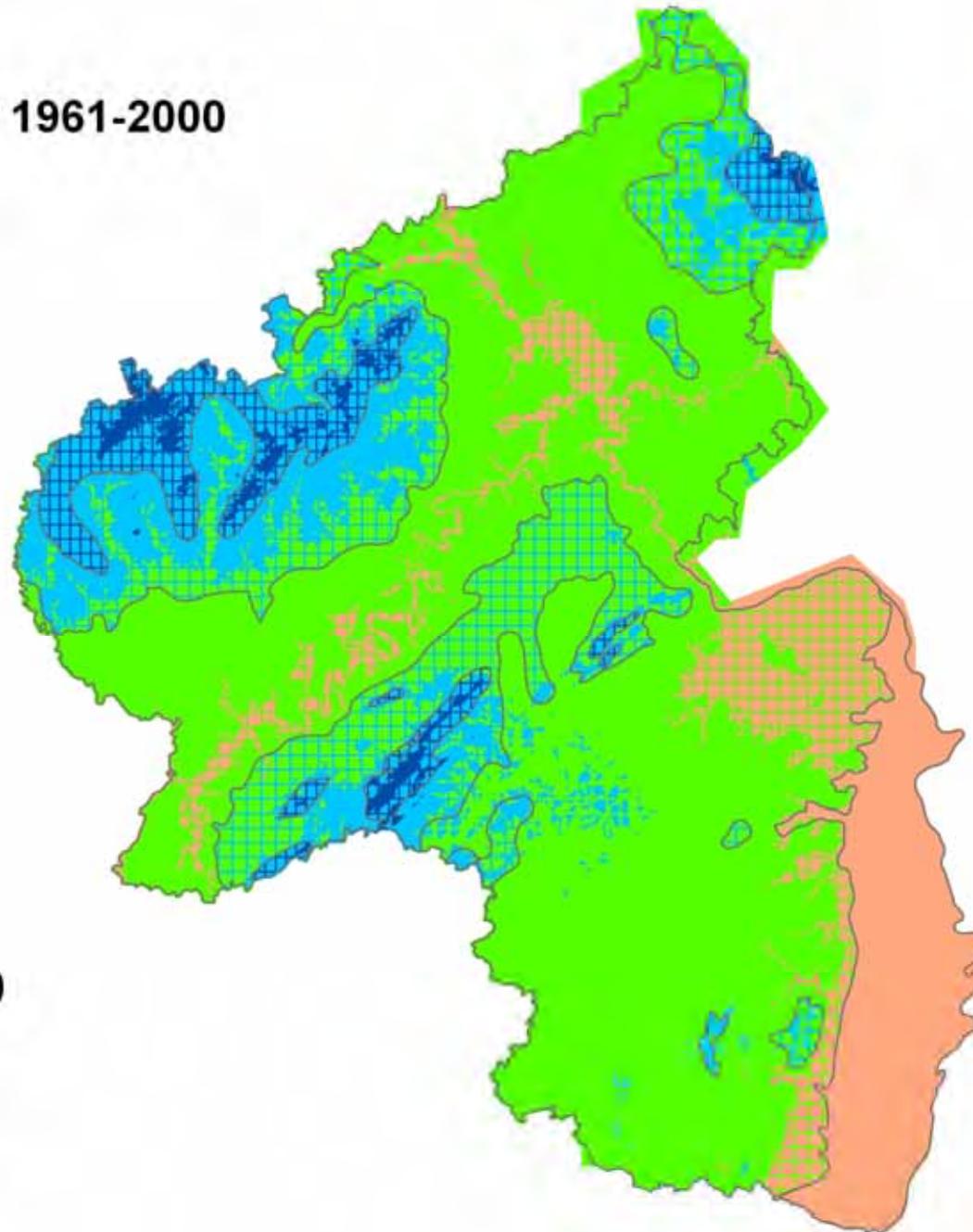
Mitteltemperatur in der  
forstlichen Vegetationszeit  
1961-2000

## Wärmestufen (Höhenstufen) [tVZ °C]

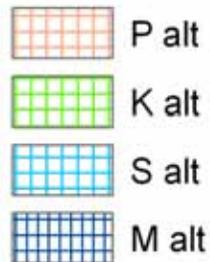


**dynamische Klassifikation**

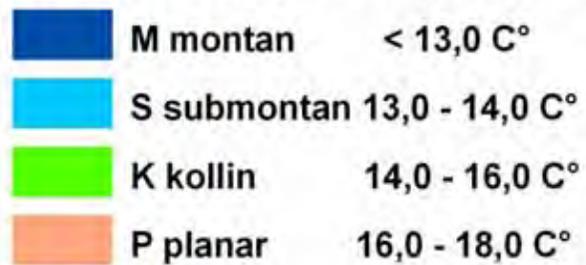
# Vergleich Wärmestufen alte WGB-Karte <> KlimaP 1961-2000



## Höhenstufen tVZ 1881-1930

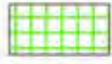


## Wärmestufen tVZ 1961-2000



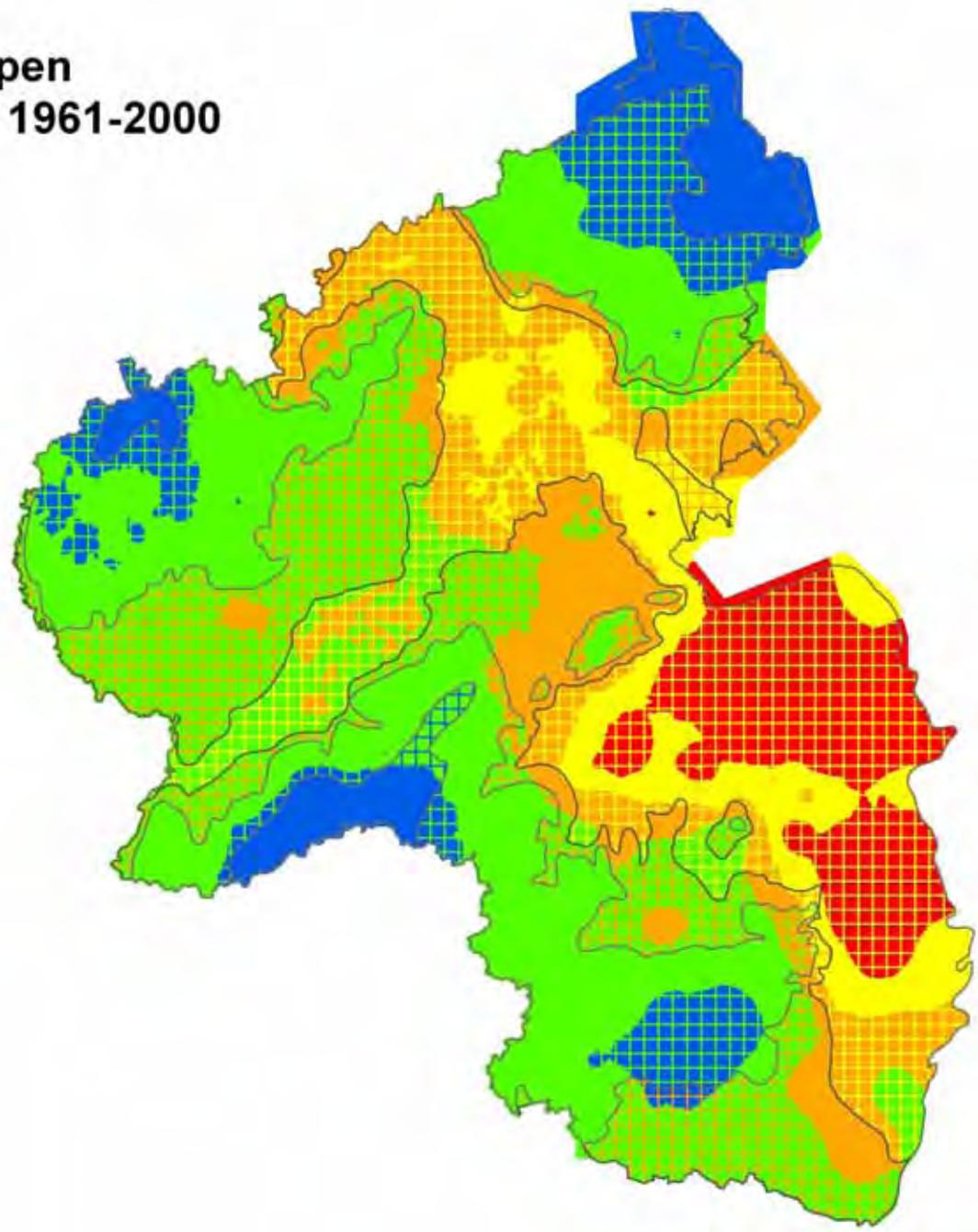
# Vergleich Niederschlagsgruppen alte WGB-Karte <> KlimaP 1961-2000

## nJ-Grp 1881-1930

-  NG 1
-  NG 2
-  NG 3
-  NG 4

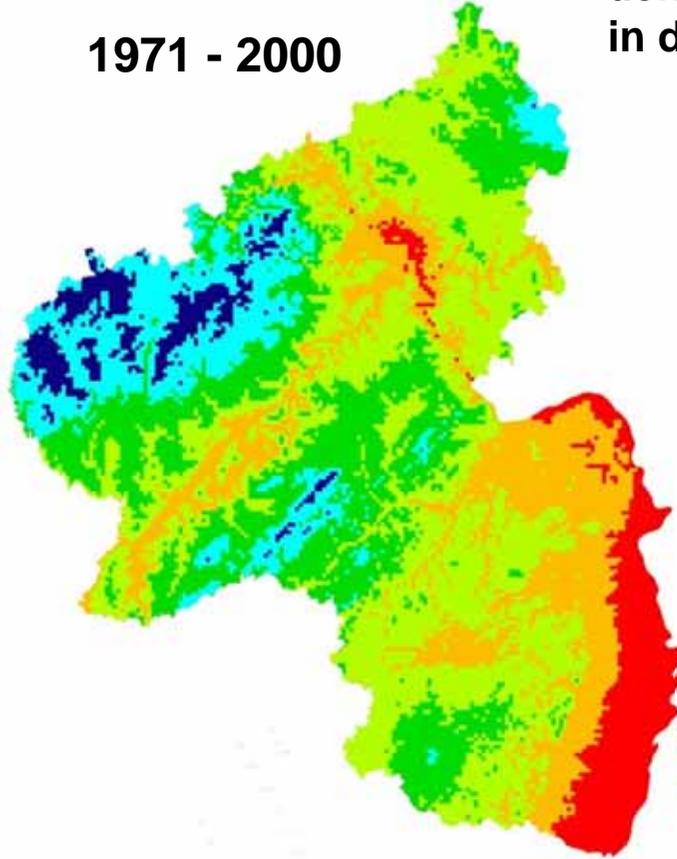
## nJ-GRp 1961-2000

-  NG0 515 - 550
-  NG0 550 - 600
-  NG1 600 - 675
-  NG2 675 - 750
-  NG3 750 - 850
-  NG3 850 - 950
-  NG4 950 - 1.050
-  NG4 1.050 - 1.150
-  NG4 1.150 - 1.250
-  NG4 1.250 - 1.276



# Höhenstufen

1971 - 2000

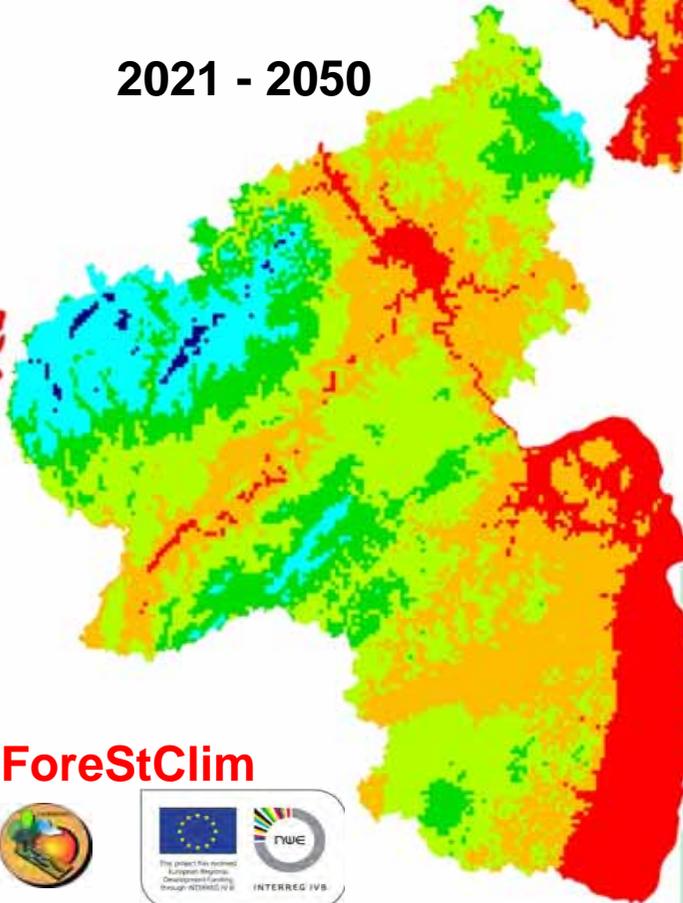


Höhenstufen  
definiert durch die mittlere Temperatur  
in der forstlichen Vegetationszeit (tVS)

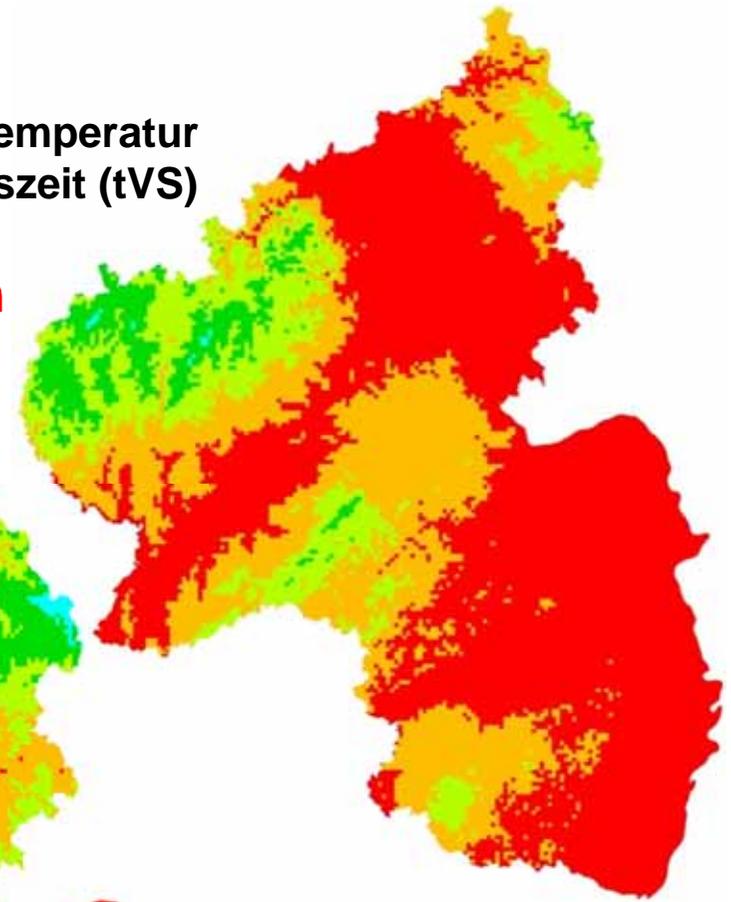
→ **Wärmestufen**

Climate Change  
Scenario a1b

2021 - 2050



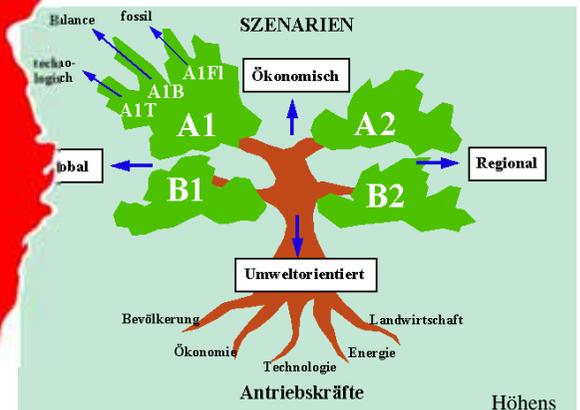
2071-2100



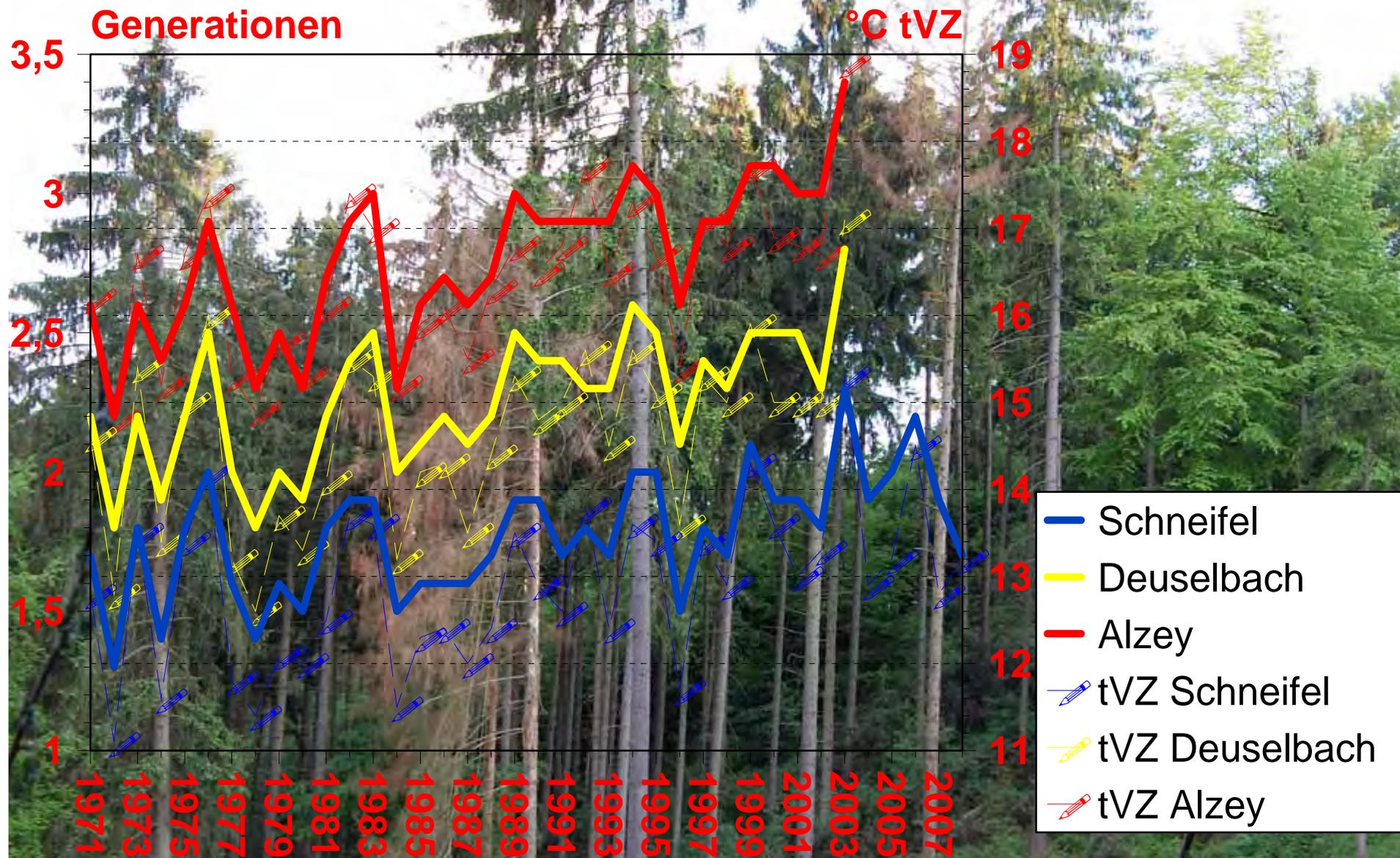
Höhenstufen <> tVS [° C

- M montan < 13,0 C°
- S submontan 13,0 - 14,0 C°
- K kollin 14,0 - 15,0 C°
- K kollin 15,0 - 16,0 C°
- P planar 16,0 - 17,0 C°
- P planar > 17,0 C°

**ForeStClim**



# theoretisch mögl. Borkenkäfergenerationen

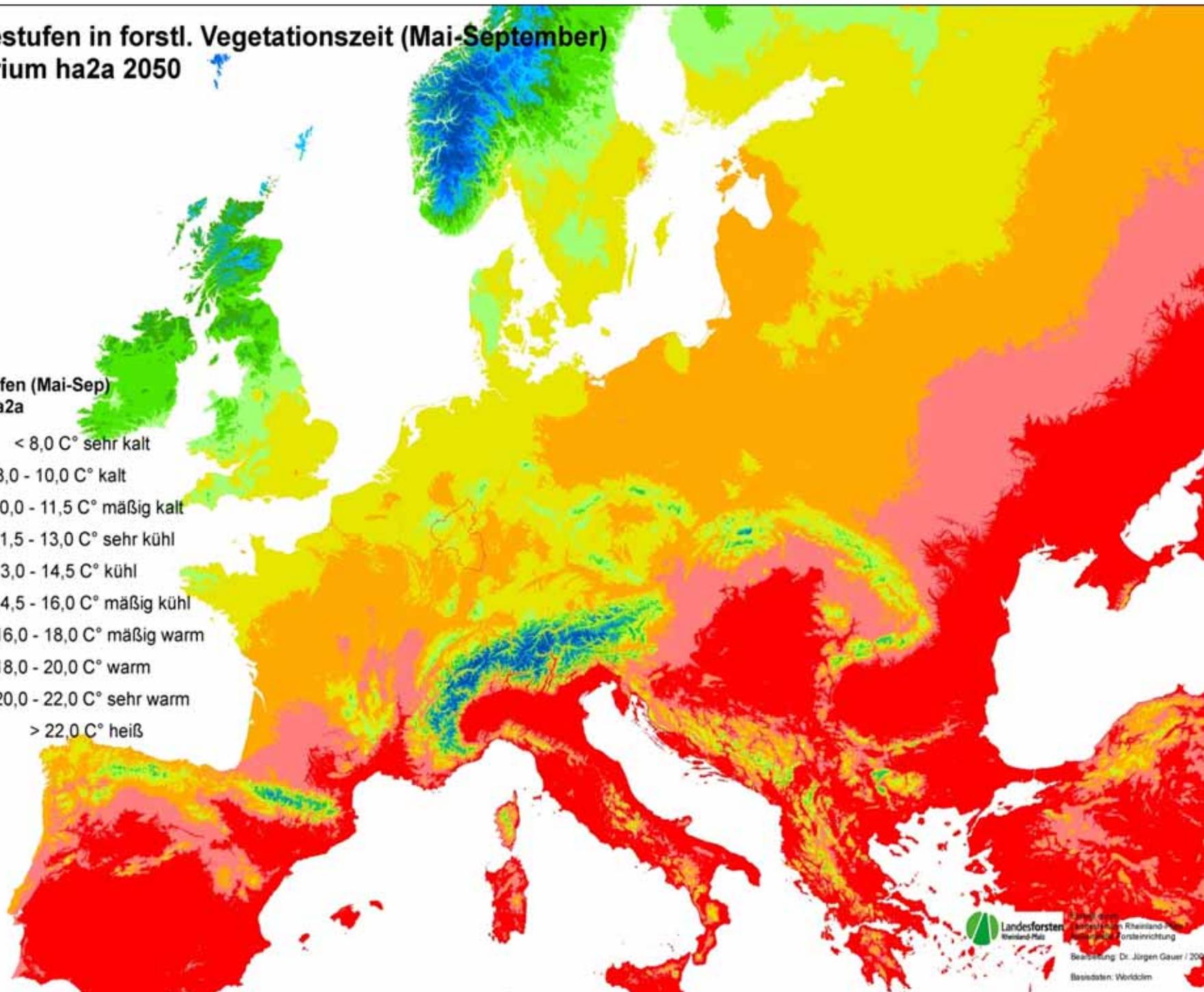




# Wärmestufen in forstl. Vegetationszeit (Mai-September) Szenarium ha2a 2050

## Wärmestufen (Mai-Sep) 2050 Sz.ha2a

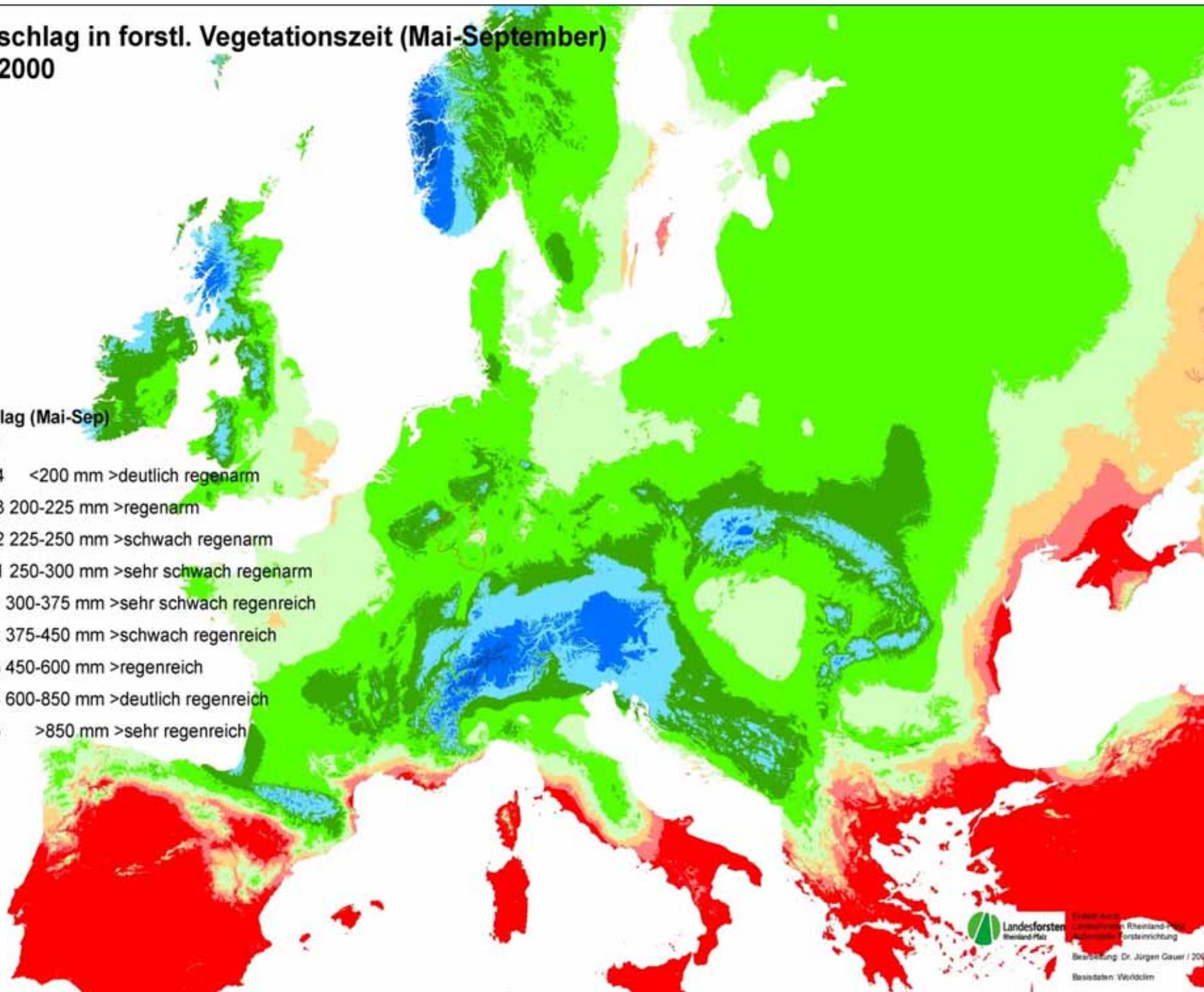
- k4 < 8,0 C° sehr kalt
- k3 8,0 - 10,0 C° kalt
- k2 10,0 - 11,5 C° mäßig kalt
- ü4 11,5 - 13,0 C° sehr kühl
- ü3 13,0 - 14,5 C° kühl
- ü2 14,5 - 16,0 C° mäßig kühl
- w2 16,0 - 18,0 C° mäßig warm
- w3 18,0 - 20,0 C° warm
- w4 20,0 - 22,0 C° sehr warm
- h > 22,0 C° heiß



# Niederschlag in forstl. Vegetationszeit (Mai-September) 1950 - 2000

## Niederschlag (Mai-Sep) 1950-2000

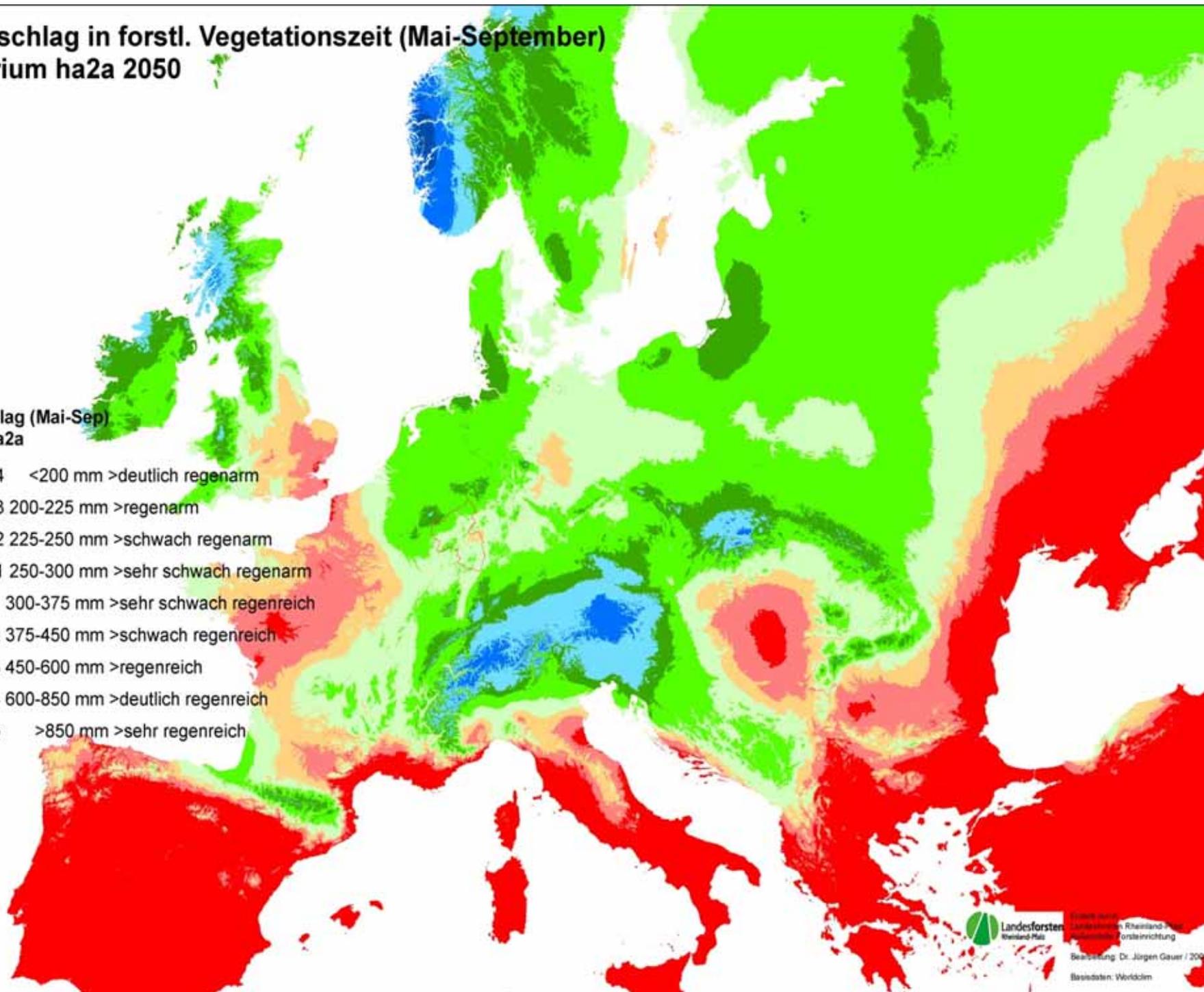
-  sna4 <200 mm >deutlich regenarm
-  sna3 200-225 mm >regenarm
-  sna2 225-250 mm >schwach regenarm
-  sna1 250-300 mm >sehr schwach regenarm
-  snr1 300-375 mm >sehr schwach regenreich
-  snr2 375-450 mm >schwach regenreich
-  snr3 450-600 mm >regenreich
-  snr4 600-850 mm >deutlich regenreich
-  snr5 >850 mm >sehr regenreich



# Niederschlag in forstl. Vegetationszeit (Mai-September) Szenarium ha2a 2050

Niederschlag (Mai-Sep)  
2050 Sz.ha2a

- sna4 <200 mm >deutlich regenarm
- sna3 200-225 mm >regenarm
- sna2 225-250 mm >schwach regenarm
- sna1 250-300 mm >sehr schwach regenarm
- snr1 300-375 mm >sehr schwach regenreich
- snr2 375-450 mm >schwach regenreich
- snr3 450-600 mm >regenreich
- snr4 600-850 mm >deutlich regenreich
- snr5 >850 mm >sehr regenreich



## 2. Problem: Schließen von Lücken ohne oder mit methodisch veralteten Standortskarten (Standortsschätzung)

Lösung: Prognoseverfahren der Digitalen Standortkartierung



Hydromorpher  
Lößdecklehm



Quarzit-Schuttlehm

Schiefer-Schuttlehm



Untersuchungsgebiet: Östlicher Hunsrück und Taunus

ForeStClim

Forest with +/- old Site Map  
Forest



Landschaft Pfälzerwald



## Boden → Substratreihen



## Substratreihen

Zusammenfassung von Böden

→ die für die Vegetation

→ ähnliche Substrate bilden,  
und bei dehnen

> Bodenart, Gefüge und  
Bodenartenschichtung

> Geologisches

Ausgangsmaterial

sich nahe stehen und als Wurzel-  
räume gemeinsame Züge haben.

SR-Titel

Landschaft Soonwald



# Digital Site Mapping <> Partner: Soilution (Behrens, Steinrücken)

Ziel:

effiziente Beschaffung von angemessen detaillierten Standortsinformationen

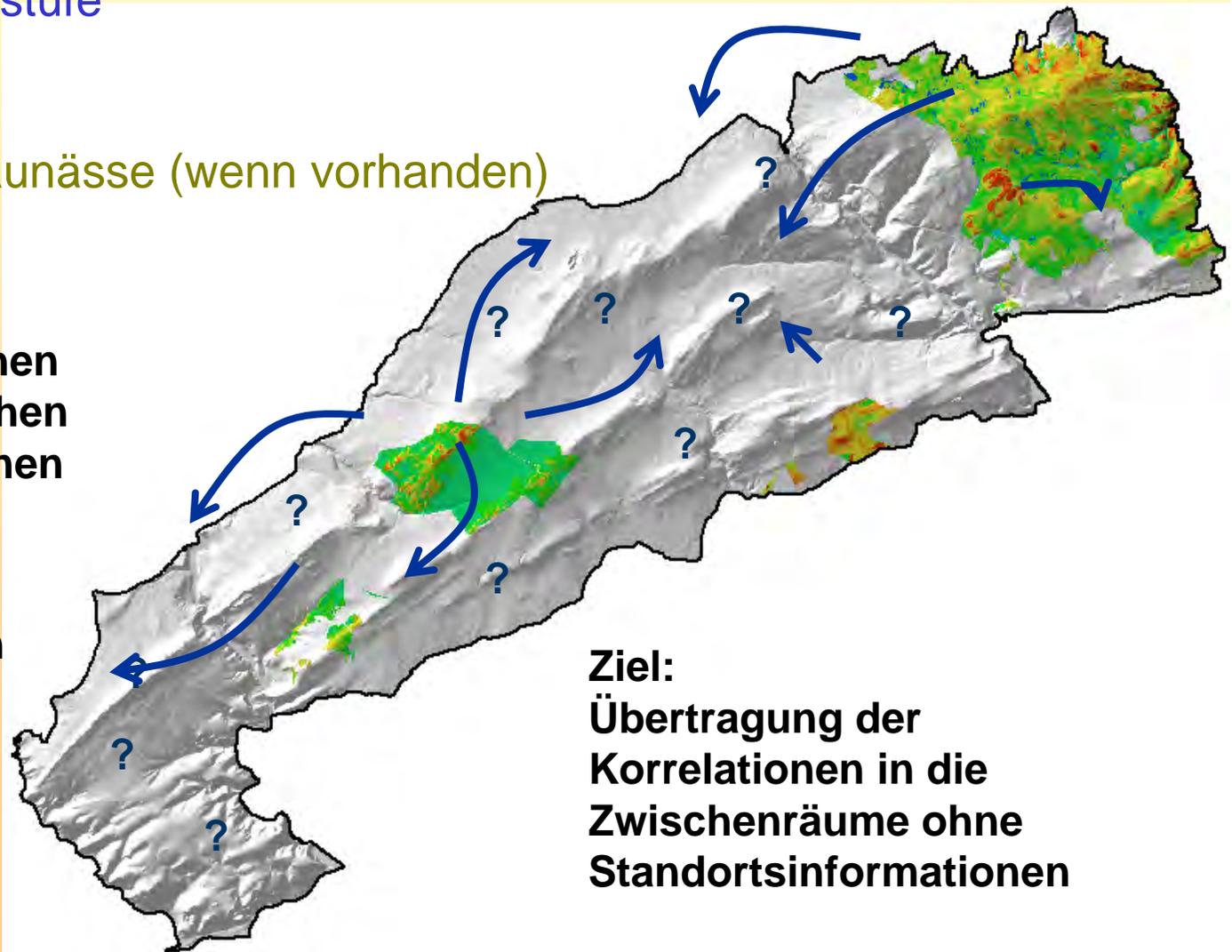
- Wasserhaushaltsstufe
- Substratreihe
- Intensität von Staunässe (wenn vorhanden)

Basis:

Korrelationen zwischen  
Gebieten mit forstlichen  
Standortsinformationen

und

anderen verfügbaren  
kontinuierlichen  
Umweltdaten



Ziel:  
Übertragung der  
Korrelationen in die  
Zwischenräume ohne  
Standortsinformationen

ForeStClim

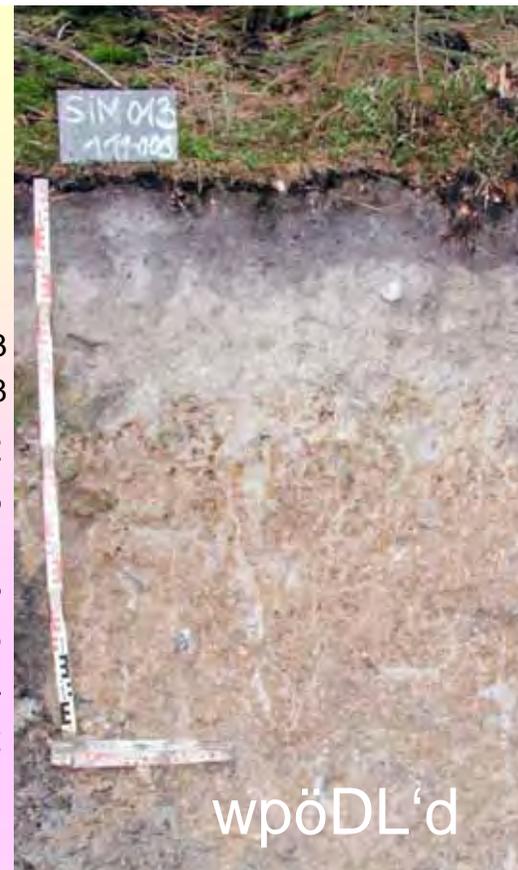


And other



# Substratreihen

## bodenphysik. Merkmale



Fest-  
volumen

Luft-  
volumen

Wasser-  
speicher-  
kapazität  
<>  
Feld-  
kapazität

nutzbar  
nWSK  
<>  
NFK

Totwasser

große Grobporen  
schnelles  
Sickerwasser

kleine Grobporen  
langsames  
Sickerwasser

Mittelporen  
Kapillarwasser

Feinporen  
Adsorptions-  
wasser

FVol

GV%-pF0,8

pF0,8-pF1,3

pF1,3-pF1,8

pF1,8-pF2

pF2-pF2,5

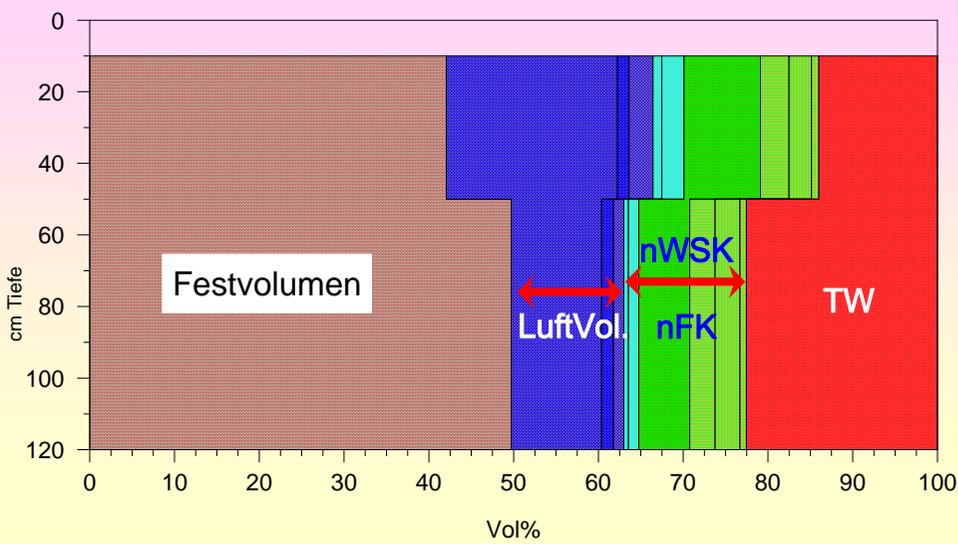
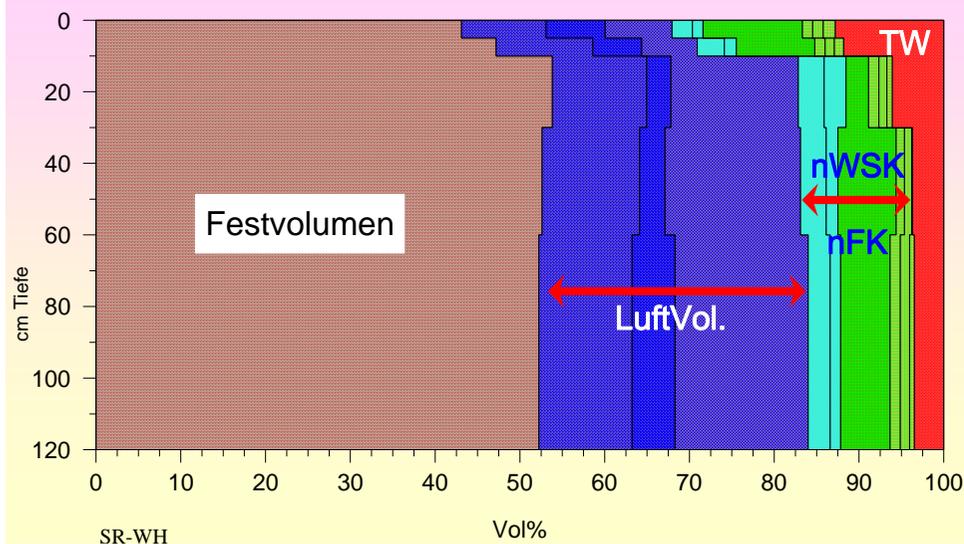
pF2,5-pF3

pF3-pF3,5

pF3,5-pF4

pF4-pF4,2

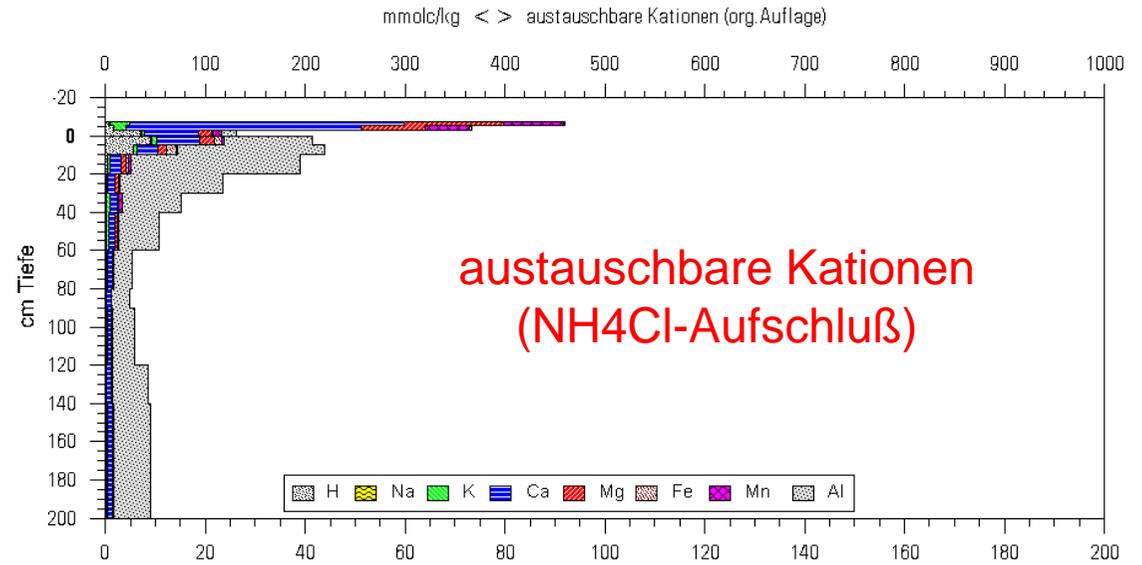
> pF4,2





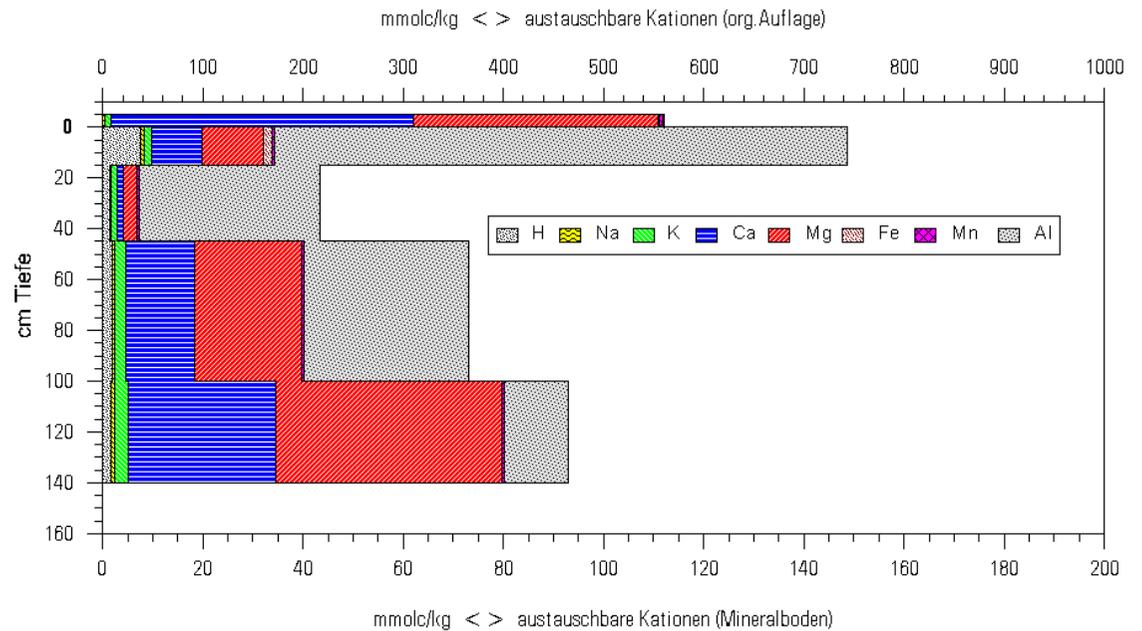
Substrat-  
reihen  
boden-  
chemische  
Merkmale

1069 <> 337-E1069-083



1069 > S^s'sK;sfr <> s-sRS sK3 <> BSK^d3tJ1990\*

111-006 <> Entenpfuhl <> Staat 628a1 <> Fi : 58 <> SIM064

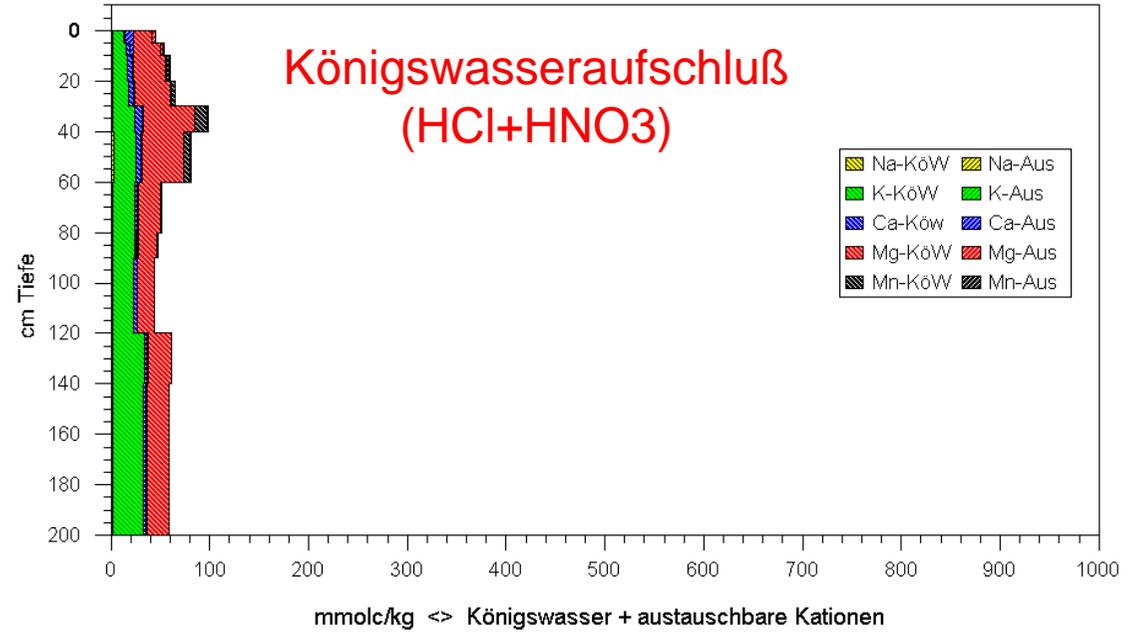


wpöDL'd;sfr <> Hydromorphe Kryo-Lößdecklehme des Devon

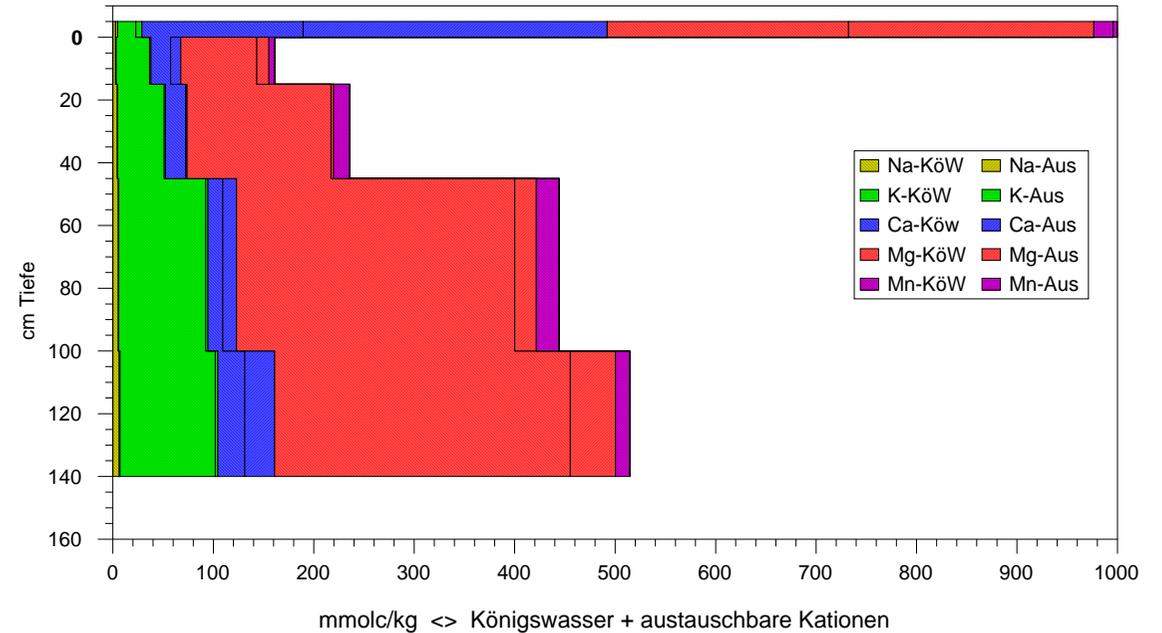


Substrat-  
reihen  
  
boden-  
chemische  
Merkmale

1069 <> 337-E1069-083



1069 > S^s'sK; sfr <> s-sRS ;sK3 <> BSK^d3tJ1990\*

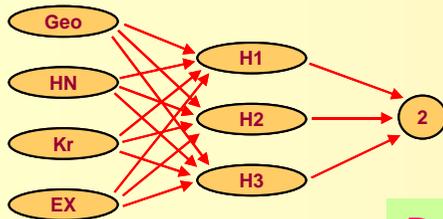


# Digital Site Mapping

Konzept dahinter



Data Mining  
Artificial Neuronal Nets



Beispiele für  
Prognose-  
methoden

Zeit

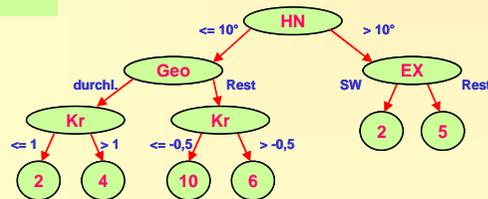
Basis der neue Ansatz bei der Reliefanalyse

**Contextual hyperscale Mapping** (EJSS 2010)

Rasterzelle 10\*10 m im Zentrum vergleicht sich relativ mit anderen Rasterzellen auf einer Distanz bis zu 30 km auf den Strahlenachsen

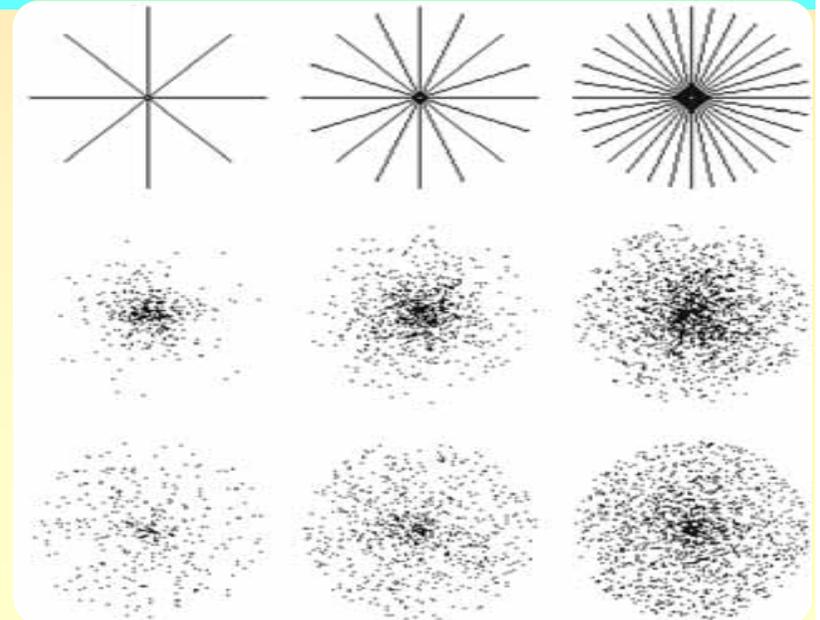
Data Mining  
Decision Trees

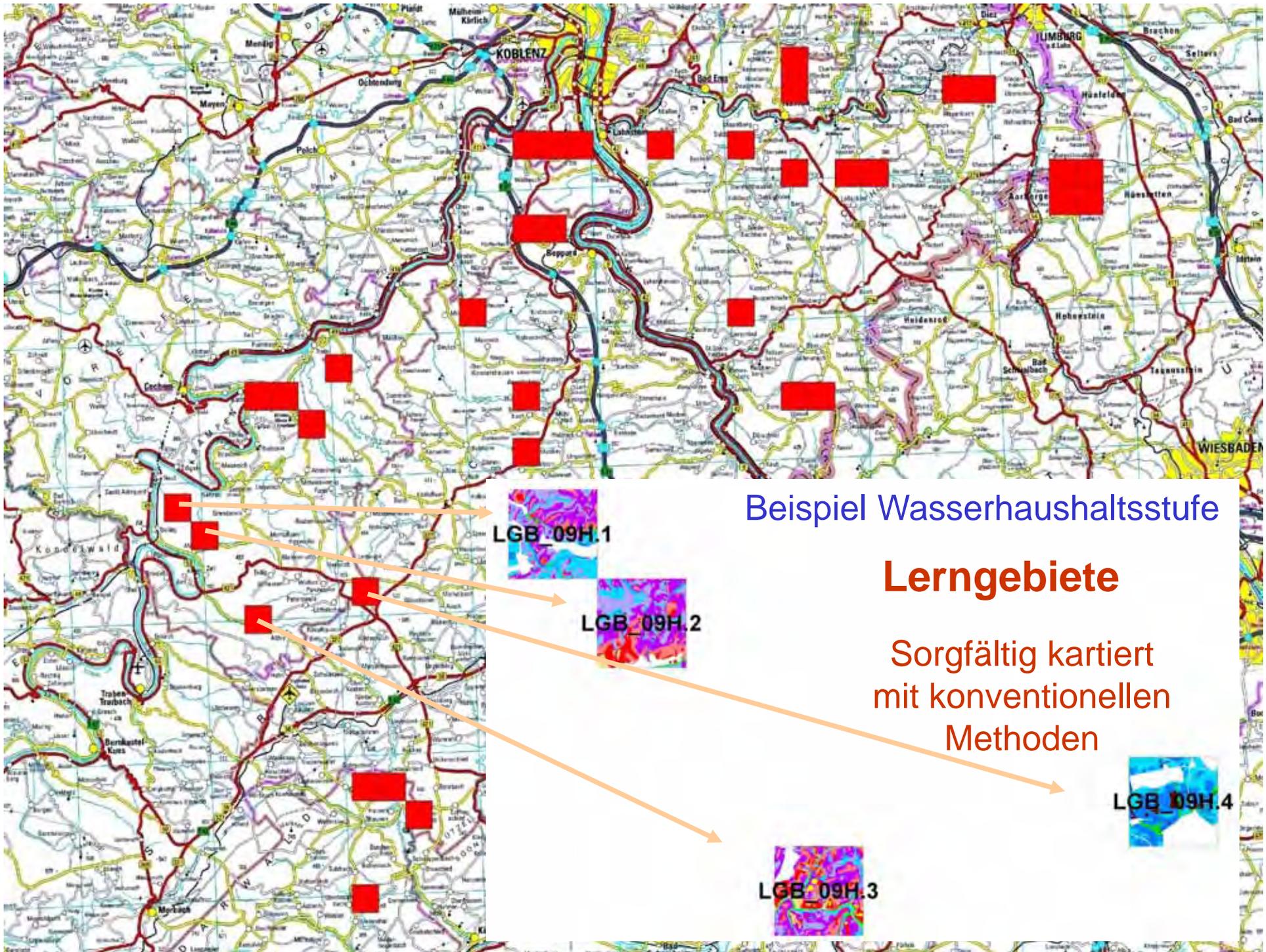
Data Mining  
Random Forests



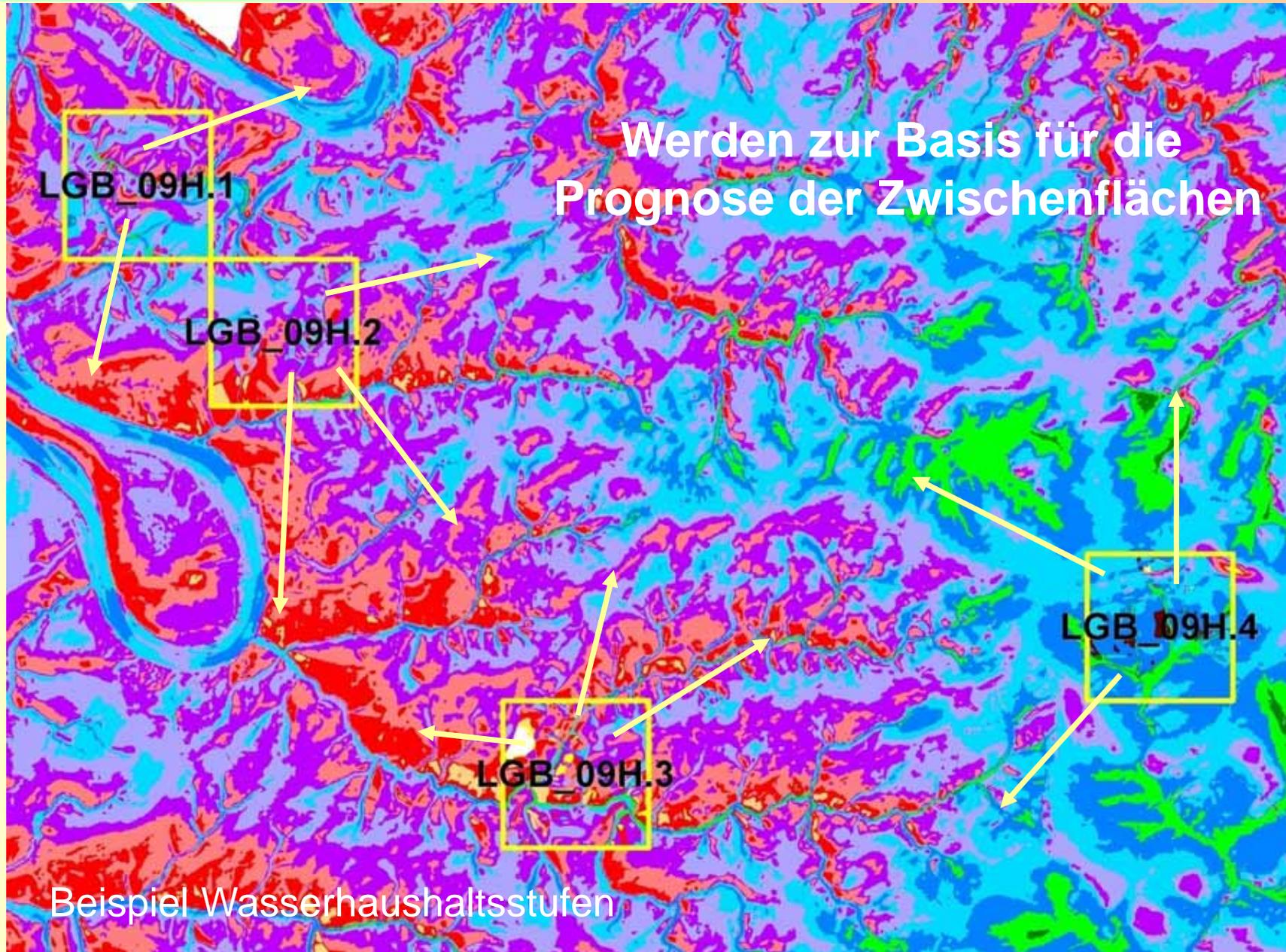
Eingangsvariablen

- **digitales Höhenmodell**
  - **detaillierte Reliefanalyse**
- **geologische Karten 1:25.000–1:200.000**
- **Bodenübersichtskarte 1:50.000-**





# Digital Site Mapping



# Digital Site Mapping

Vergleich zwischen den Wasserhaushaltsstufen der kartierten Flächen und den Wasserhaushaltstufen der Prognose an dieser Stelle

Lgb kartiert	Wiederfindungsrate (prognostizierte WHS bezogen auf kartierte WHS) [%]									% GFI
	feu/äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str/ätr	LGB $\Sigma$ ha	
feu/äfr	76,9	17,3	4,0	1,1	0,3	0,1	0,1	0,1	335	0,1
sfr	13,3	53,2	26,1	5,4	1,4	0,4	0,1	0,0	1466	0,6
fr	4,8	8,9	61,0	21,2	3,5	0,5	0,1	0,0	2761	1,2
zfr	1,9	1,3	14,7	58,3	19,8	3,4	0,6	0,0	2370	1,0
mfr	1,7	0,4	2,5	23,0	56,4	14,1	1,8	0,1	1776	0,8
mtr	1,5	0,2	0,7	5,7	30,2	49,9	11,5	0,3	934	0,4
tr	1,6	0,2	0,5	2,4	9,9	28,6	55,1	1,8	422	0,2
str/ätr	1,0	0,0	0,2	0,9	3,6	13,5	44,6	36,3	214	0,1

Lgb kartiert	Reproduktionsrate (kartierte WHS bezogen auf prognostizierte WHS) [%]									% GFI
	feu/äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str/ätr	LGB $\Sigma$ ha	
feu/äfr	37,6	5,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,5	335	0,1
sfr	28,5	69,3	15,4	3,1	1,1	0,7	0,3	0,1	1466	0,6
fr	19,5	21,9	67,8	23,2	5,0	1,5	0,5	0,0	2761	1,2
zfr	6,6	2,8	14,0	54,8	24,5	8,2	3,0	0,3	2370	1,0
mfr	4,4	0,6	1,8	16,2	52,1	25,9	6,6	1,3	1776	0,8
mtr	2,1	0,2	0,3	2,1	14,7	48,2	22,0	3,4	934	0,4
tr	1,0	0,1	0,1	0,4	2,2	12,5	47,8	8,2	422	0,2
str/ätr	0,3	0,0	0,0	0,1	0,4	3,0	19,7	86,2	214	0,1
Prg ha	685	1126	2481	2522	1920	967	486	90	10.280	236.540



**→ Problem 3: Entwicklung einer dynamischen Klassifikation des Wasserhaushaltes**

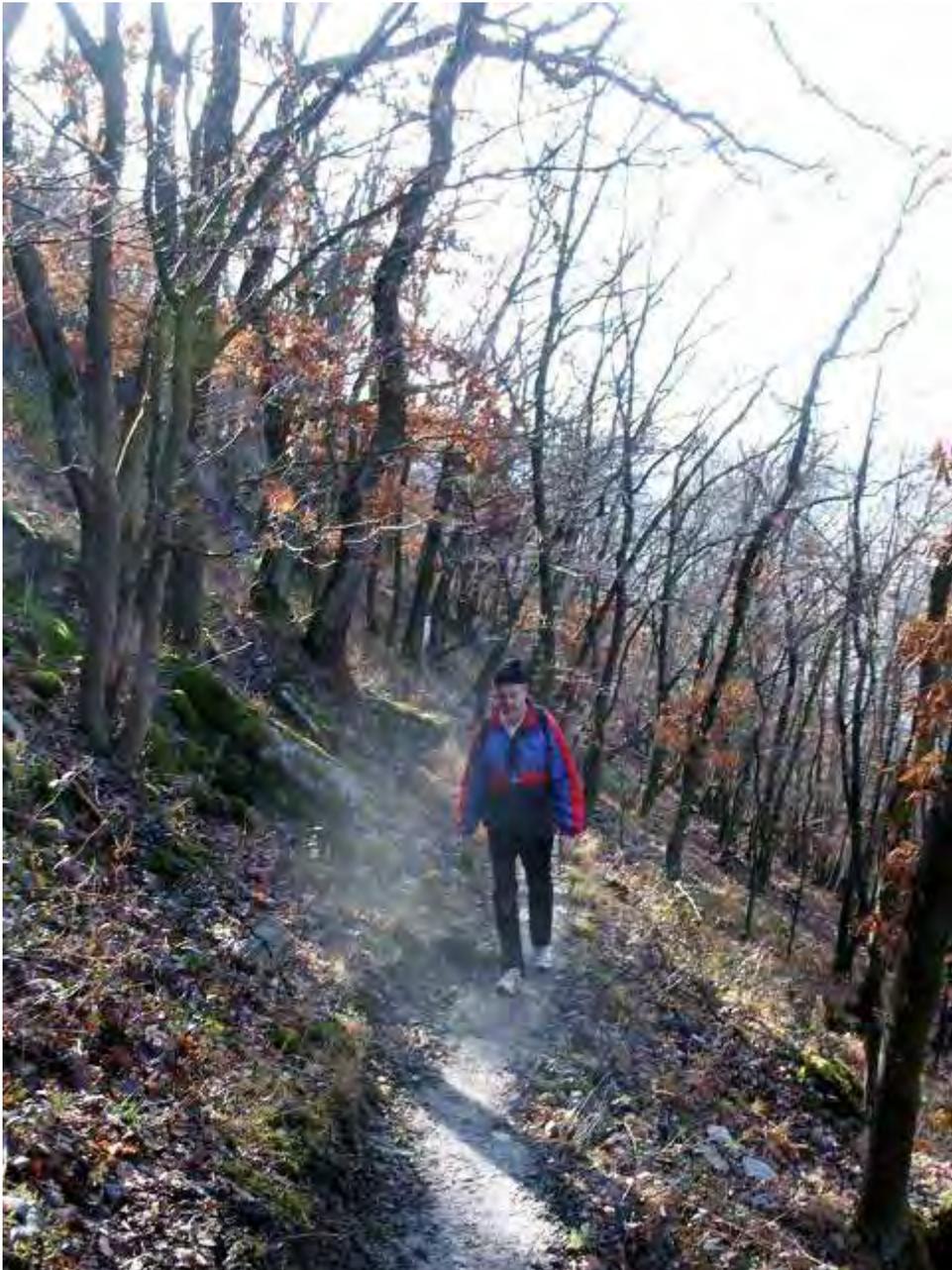
**Klimawandel → zwei Aspekte der Beurteilung des Wasserhaushaltes**

**Neue Frage → kommt es bei - bisher standortgerechten - Baumarten zu letalen Trockenphasen?**

**→ klimatische Aspekt → sollte in die Definition von waldökologischen Naturräumen aufgenommen werden**

**Trad. StOK → Integral einer längeren Wuchsphase (mindesten 30 Jahre)**

**→ Kennzeichnung der mittlere Wuchsdynamik einer Leitbaumart (z.B. Buche) bezogen auf den Faktor Bodenwasser.**



**Hauptbaumarten ± bodenvag → Wasserhaushalt stärkster differenzierende Bodenindikator**

# Wasserhaushaltsstufen <> syn. <> Frischestufen



Fichtenertragsklasse (Fi 100j)

II II,5 III

Buchenertragsklasse (Bu 100j)

II,5 III III,5



mm nWSK <> Niederschlagsgruppe I = 675 - 750 mm <> ebene Lage (Grundform III)

> 140

140 - 120

120 - 100

100 - 80

80 - 65

65 - 50

< 50

sfr

fr

zfr

mfr

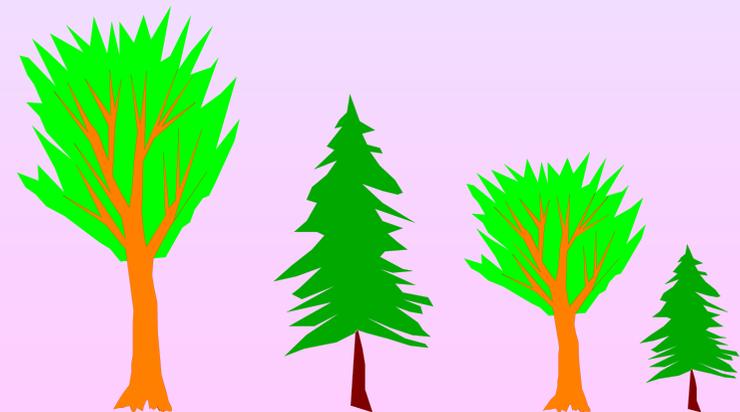
mtr

tr

str



Wuchs- bezirks- gruppe	tvS	mmV	mmJ
A	bis 14°C	< 325 mm	< 675 mm
B	(unt. 14°C)	> 325 mm	< 750 mm
C	-	325 - 400 mm	750 - 950 mm
D	-	> 400 mm	> 950 mm



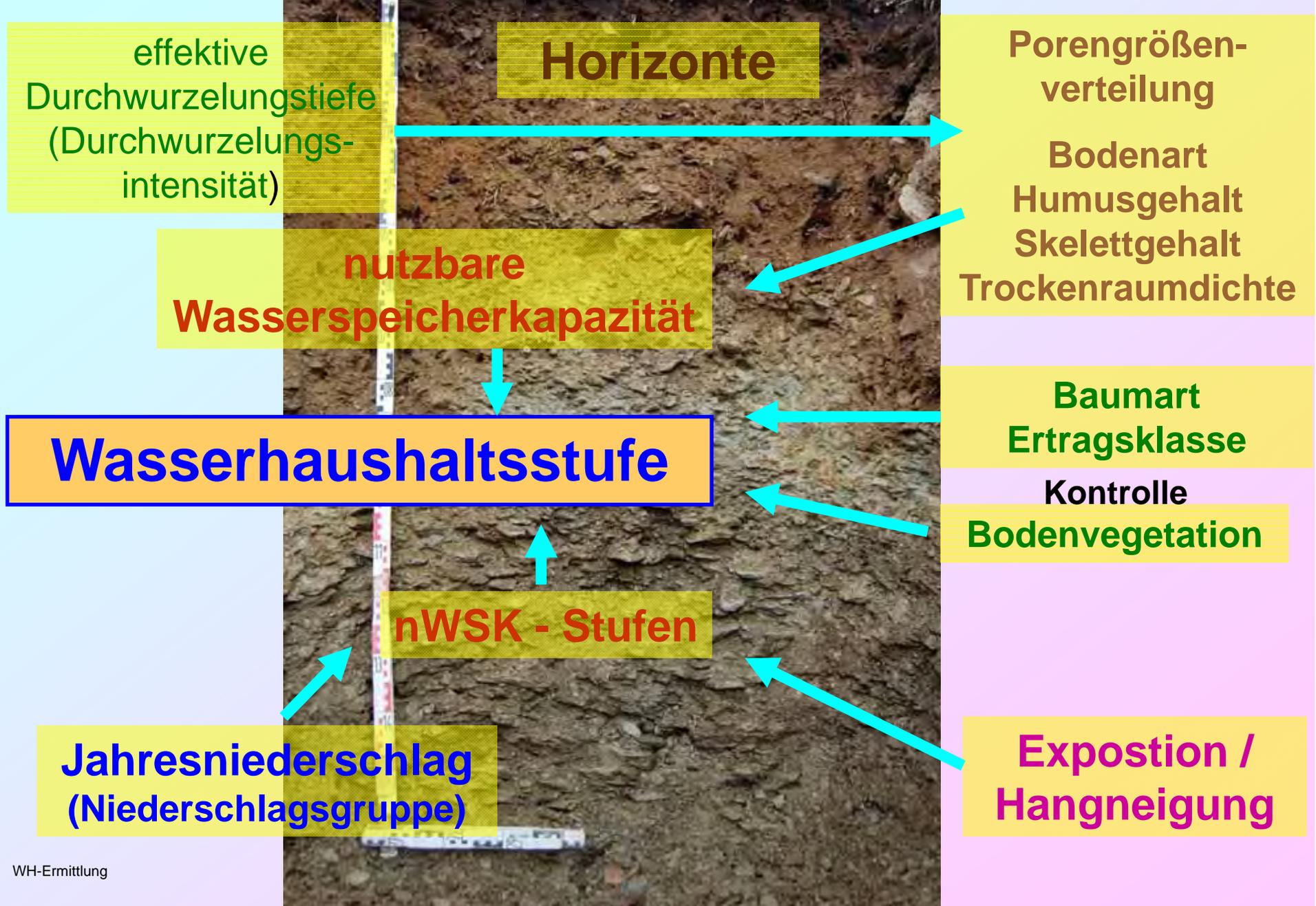
# Wasserhaushaltsstufen <> syn. <> Frischestufen

## Korrelationstabelle zur Schätzung des Wasserhaushalt

Buchenertragsklasse (Bu 100i)

Wuchsbezirksgruppe	Niederschlagsgruppe	Relief	Gruppen verfügbarer nFK (mm)							m III)	
			200	140	120	100	80	65	50		
			äfr	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)		mtr
I,5 > 140 sfr	6 (alt 4) >950 mm	Schatthang	äfr	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	IV,5 < 50 str
		eben<10°	äfr	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	
		Sonnhang	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	
	4;5 (alt 3) 750-950	Schatthang	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	
		eben<10°	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	
		Sonnhang	äfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	str	
	3 (alt 2) 675-750	Schatthang	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	
		eben<10°	äfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	str	
		Sonnhang	sfr	fr	z	mfr (n)	mtr	tr	str	str	
2 (alt 1) 600-675	Schatthang	äfr	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	str		
	eben<10°	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	str	ätr		
	Sonnhang	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	str	str	ätr		
A B C D	1 (alt 0) < 600	Schatthang	sfr	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	str	ätr	
		eben<10°	fr	zfr	mfr (n)	mtr	tr	str	str	ätr	
		Sonnhang	zfr	mfr (n)	mtr	tr	tr	str	ätr	ätr	

# Schätzung der Wasserhaushaltsstufe



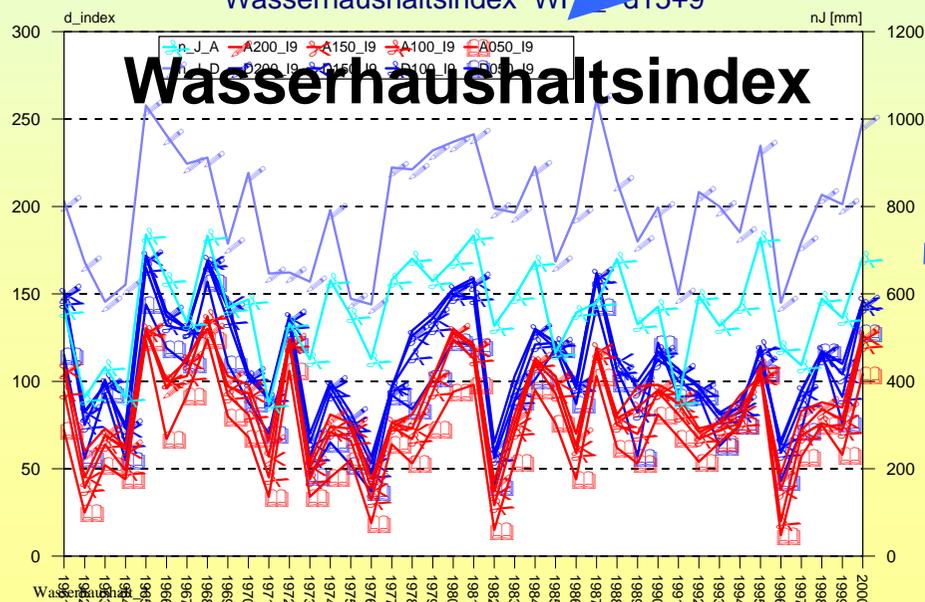
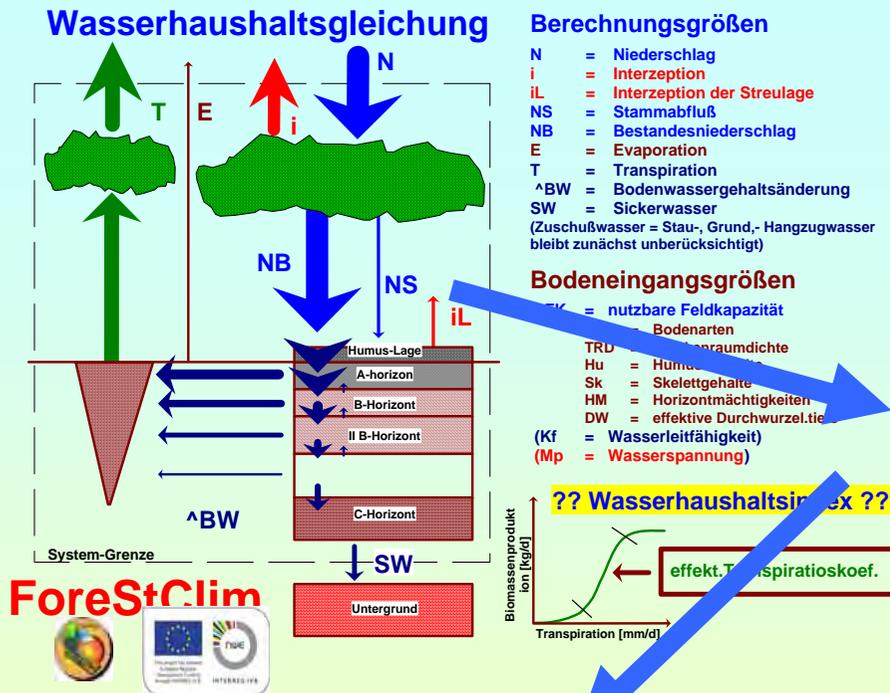
# Überarbeiten

## Methode: Wasserhaushalts- simulation mit WASIM

Suche nach einem Wasserhaushaltsindex, der gut mit dem Baumwachstum korreliert

Ph Thesis G. Grigoryan

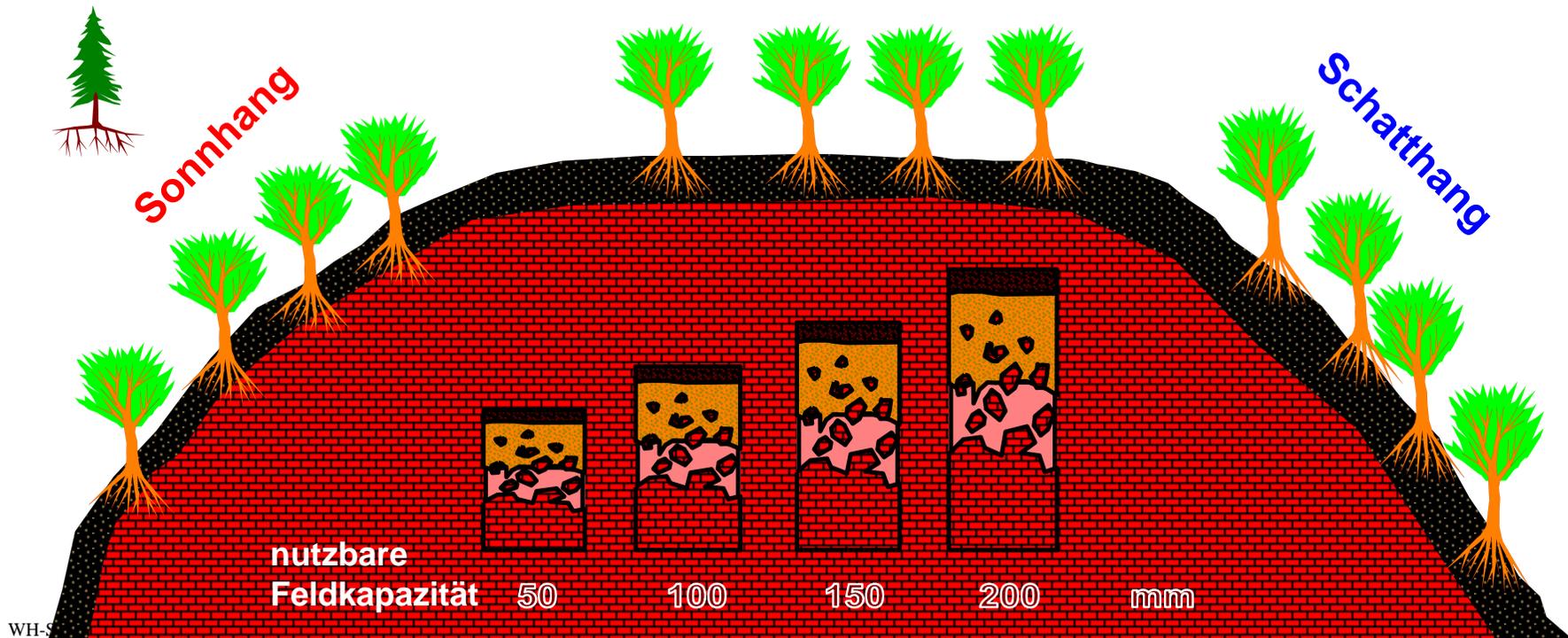
## Wasserhaushaltstabelle



Niederschlagsgruppe	Relief	Gruppen verfügbarer nFK (mm)							
		200	140	120	100	80	65	50	
4 >950 mm	Schatthang	äfr	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	n	mtr
	eben<10°	äfr	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	n	mtr
	Sonnhang	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr
3 750-950	Schatthang	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr
	eben<10°	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr
	Sonnhang	äfr	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr	str
2 675-750	Schatthang	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr
	eben<10°	äfr	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr	str
	Sonnhang	sfr	fr	z	n	mtr	tr	str	str
1 600-675	Schatthang	äfr	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr	str
	eben<10°	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr	str	ätr
	Sonnhang	fr	zfr	n	mtr	tr	str	str	ätr
0 <600	Schatthang	sfr	fr	zfr	n	mtr	tr	str	ätr
	eben<10°	fr	zfr	n	mtr	tr	str	str	ätr
	Sonnhang	zfr	n	mtr	tr	tr	str	ätr	ätr

Wasserhaushaltsmodell WASIM

- Klimadaten von 21 rheinland-pfälzischen DWD Stationen 1971 – 2003
- 4 Böden mit unterschiedlicher Feldkapazität = 50; 100; 150; 200 mm
- 3 Relief Situationen = Süd 20°; eben; Nord 20°
- Standard Bestände = Fichte 100 jährig; Buche 100 jährig



# Wasserhaushalt → Wasserhaushaltsindex

z.B.: WH-Index „9 WGT“ = zählt Tage im Jahr mit definierten 9mm/m<sup>2</sup> Wassergehalt (WG) im Boden an Tagen >10°C (9 mm/m<sup>2</sup> = erlaubt einem Bestand 3 mm/m<sup>2</sup> for 3 Tage zu transpirieren)

**WG > 9 mm + ½ nFK = 1 Tag; WG > 9 mm + ¼ nFK = 0,5 Tag; WC > 9 mm + PWP = 0,3 Tag**

## Alzey

## Deuselbach

## Schneifel

## Umwandlung des WH Index in Wasserhaushaltsklassen

■ Niederschlag/Jahr [mm]

■ Niederschlag/Jahr [mm]

■ Niederschlag/Jahr [mm]

□ Alzey 20° Nord, 200 mm nFK

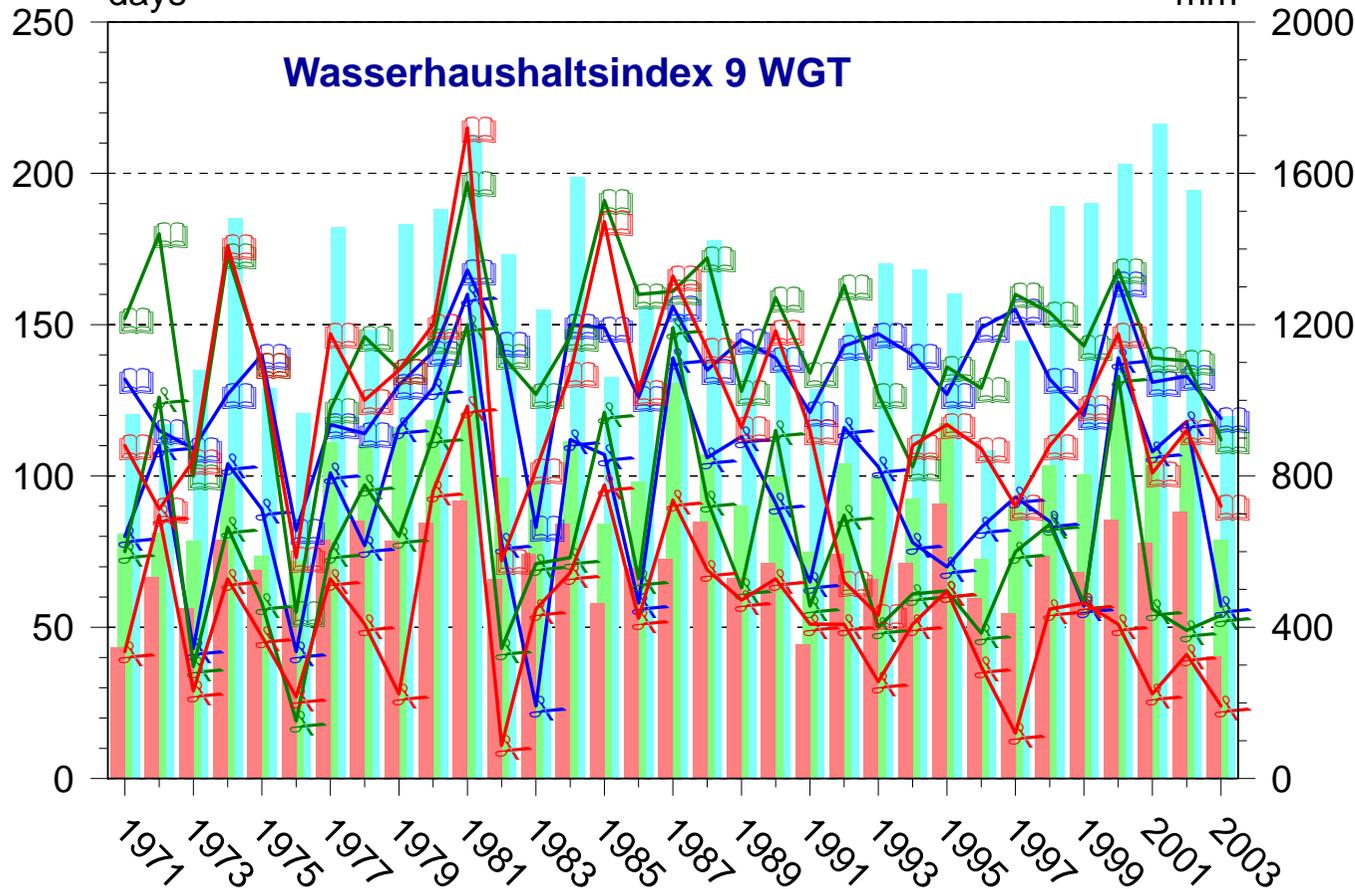
□ Deuselbach 20° Nord, 200 mm nFK

□ Schneifel 20° Nord, 200 mm nFK

○ Alzey 20° Süd 50 mm nFK  
days

○ Deuselbach 20° Süd, 50 mm nFK

○ Schneifel 20° Süd, 50 mm nFK  
mm



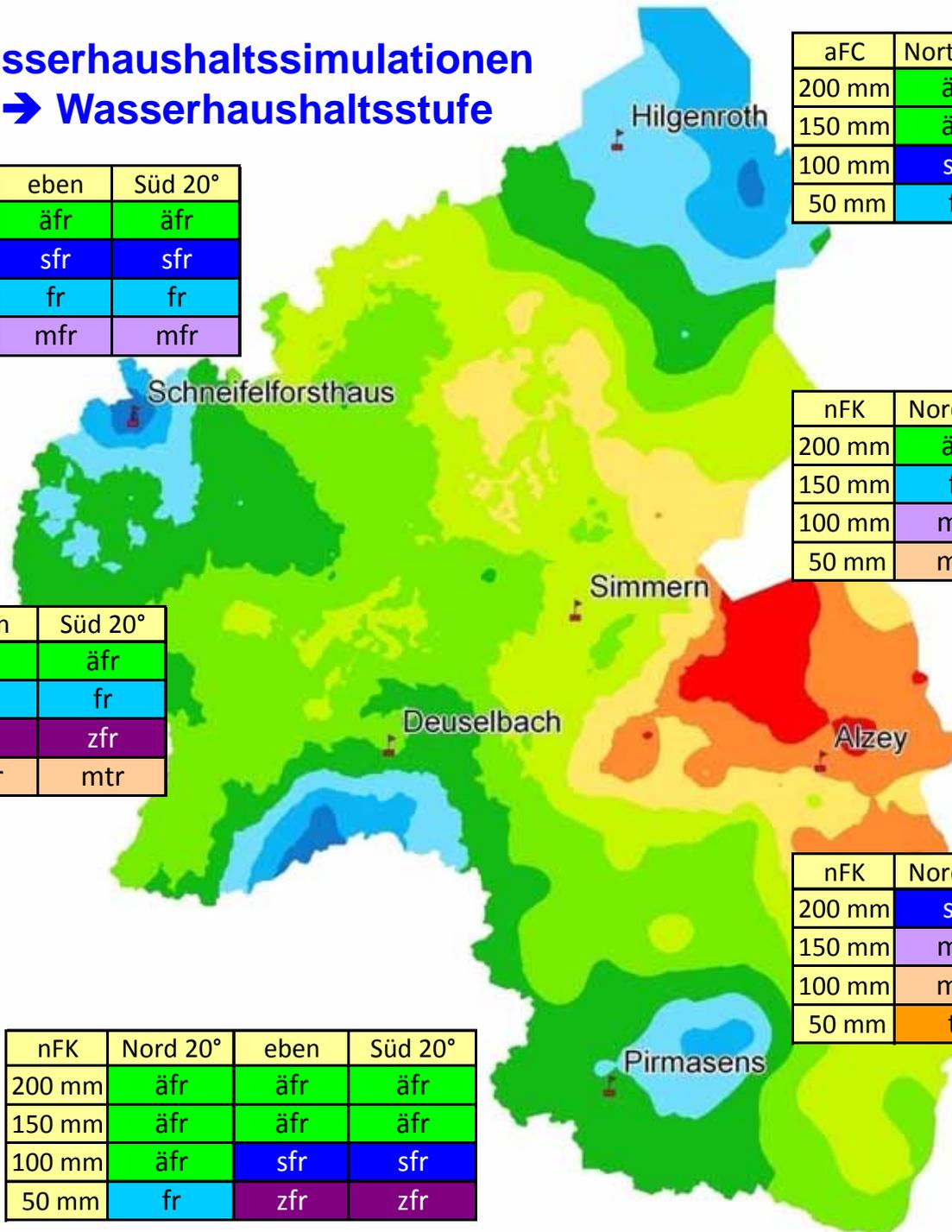
Index Tage	%	Wasserhaushaltsstufe	
136	95	äfr	Definition 1
81	40	mtr	Definition 2
131	90	äfr	äusserst fr
121	80	sfr	sehr frisch
111	70	fr	frisch
101	60	zfr	ziemlich fr
91	50	mfr	mäßig fr
81	40	mtr	mäßig tr
71	30	tr	trocken
61	20	str	sehr trocken
51	10	ätr	äusserst tr

# Resultate der Wasserhaushaltssimulationen

## WH Index MI9 → Wasserhaushaltsstufe

nFK	Nord 20°	eben	Süd 20°
200 mm	äfr	äfr	äfr
150 mm	sfr	sfr	sfr
100 mm	fr	fr	fr
50 mm	zfr	mfr	mfr

aFC	North 20°	flat	South 20°
200 mm	äfr	äfr	äfr
150 mm	äfr	äfr	sfr
100 mm	sfr	fr	fr
50 mm	fr	zfr	mfr



nFK	Nord 20°	eben	Süd 20°
200 mm	äfr	sfr	fr
150 mm	fr	zfr	mfr
100 mm	mfr	mtr	mtr
50 mm	mtr	tr	tr

nFK	Nord 20°	eben	Süd 20°
200 mm	äfr	äfr	äfr
150 mm	sfr	fr	fr
100 mm	fr	zfr	zfr
50 mm	mfr	mtr	mtr

Niederschlag [mm]

<span style="color: red;">■</span>	NG0 515 - 550
<span style="color: orange;">■</span>	NG0 550 - 600
<span style="color: yellow;">■</span>	NG1 600 - 675
<span style="color: lightgreen;">■</span>	NG2 675 - 750
<span style="color: green;">■</span>	NG3 750 - 850
<span style="color: darkgreen;">■</span>	NG3 850 - 950
<span style="color: cyan;">■</span>	NG4 950 - 1.050
<span style="color: lightblue;">■</span>	NG4 1.050 - 1.150
<span style="color: blue;">■</span>	NG4 1.150 - 1.250
<span style="color: darkblue;">■</span>	NG4 1.250 - 1.276

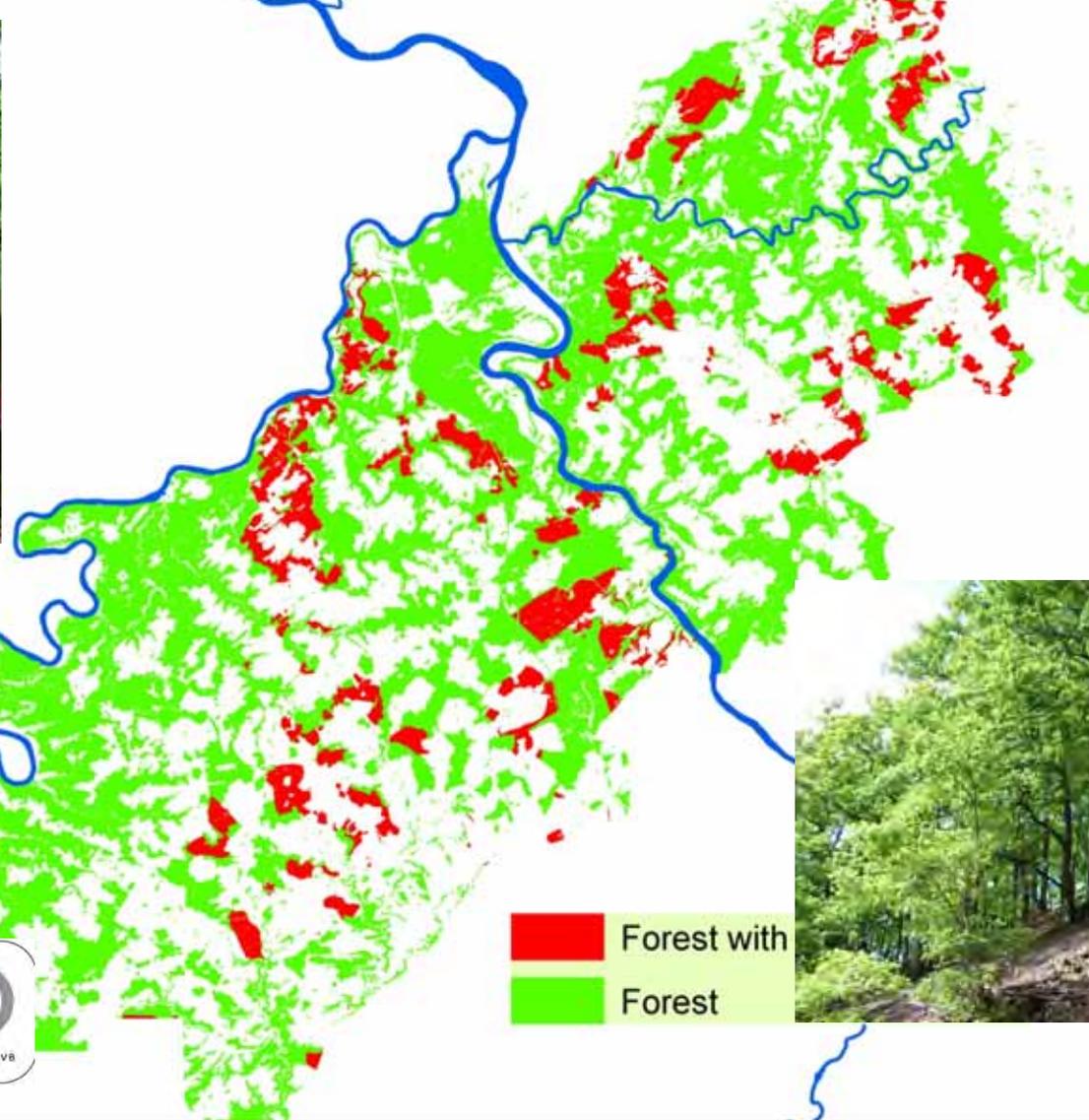
nFK	Nord 20°	eben	Süd 20°
200 mm	sfr	mtr	tr
150 mm	mfr	tr	str
100 mm	mtr	tr	str
50 mm	tr	str	ätr

nFK	Nord 20°	eben	Süd 20°
200 mm	äfr	äfr	äfr
150 mm	äfr	äfr	äfr
100 mm	äfr	sfr	sfr
50 mm	fr	zfr	zfr

# Problem 4: Umsetzung der dynamischen Komponenten in die Fläche

Lösung: Übertragung über prozentuale Differenzberechnung

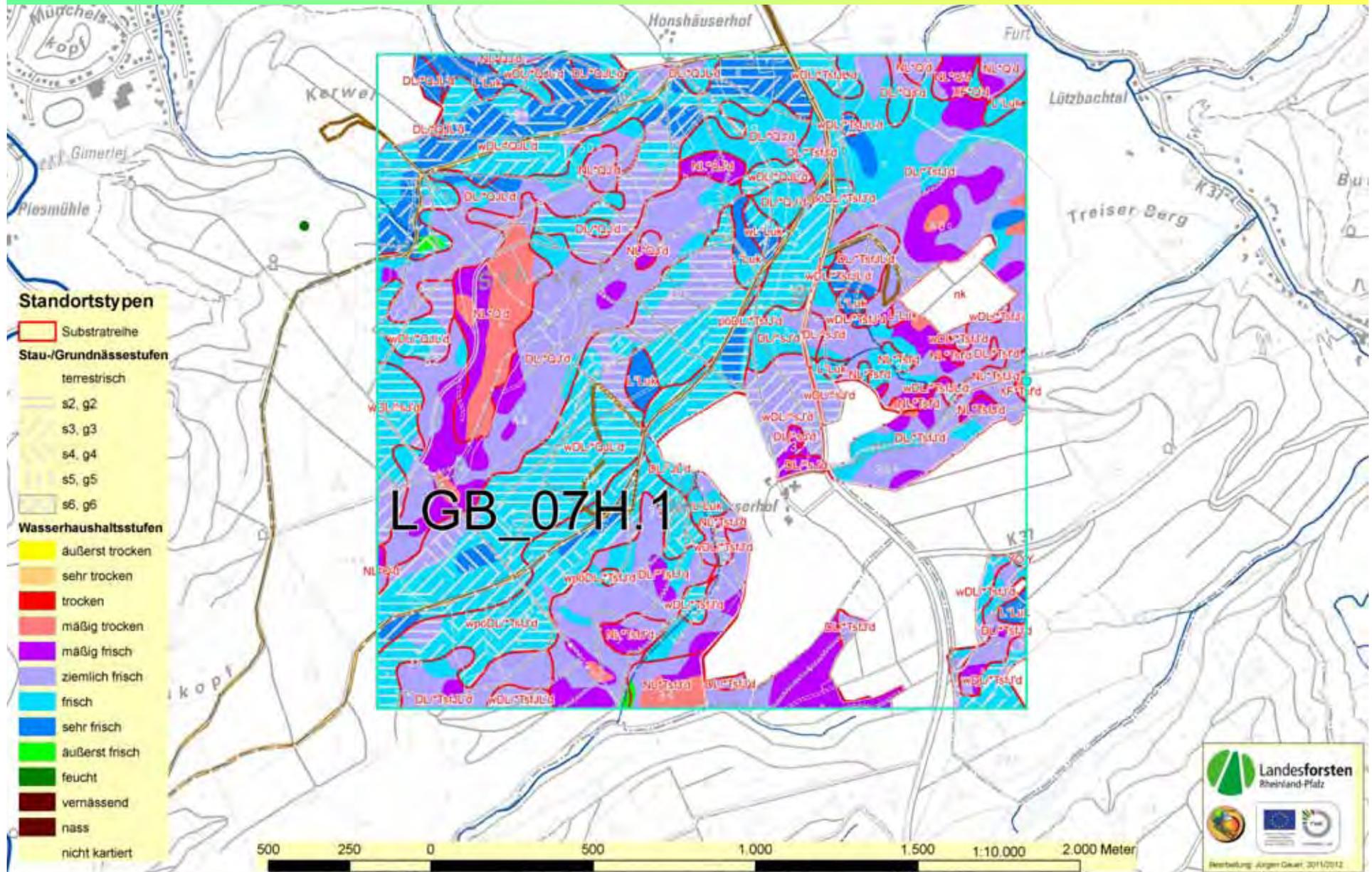
## Untersuchungsgebiet Ost-Hunsrück und Taunus



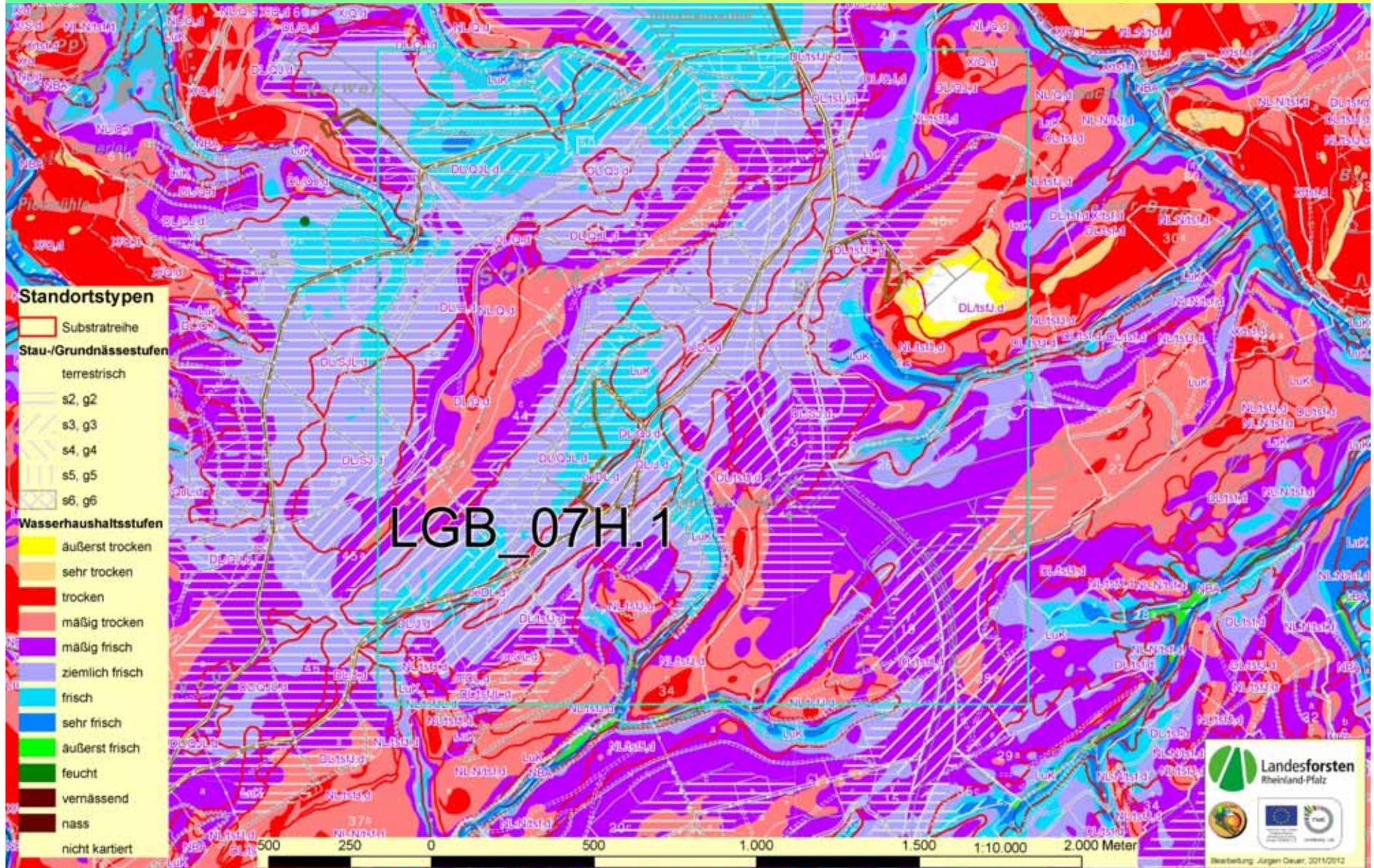
ForeStClim



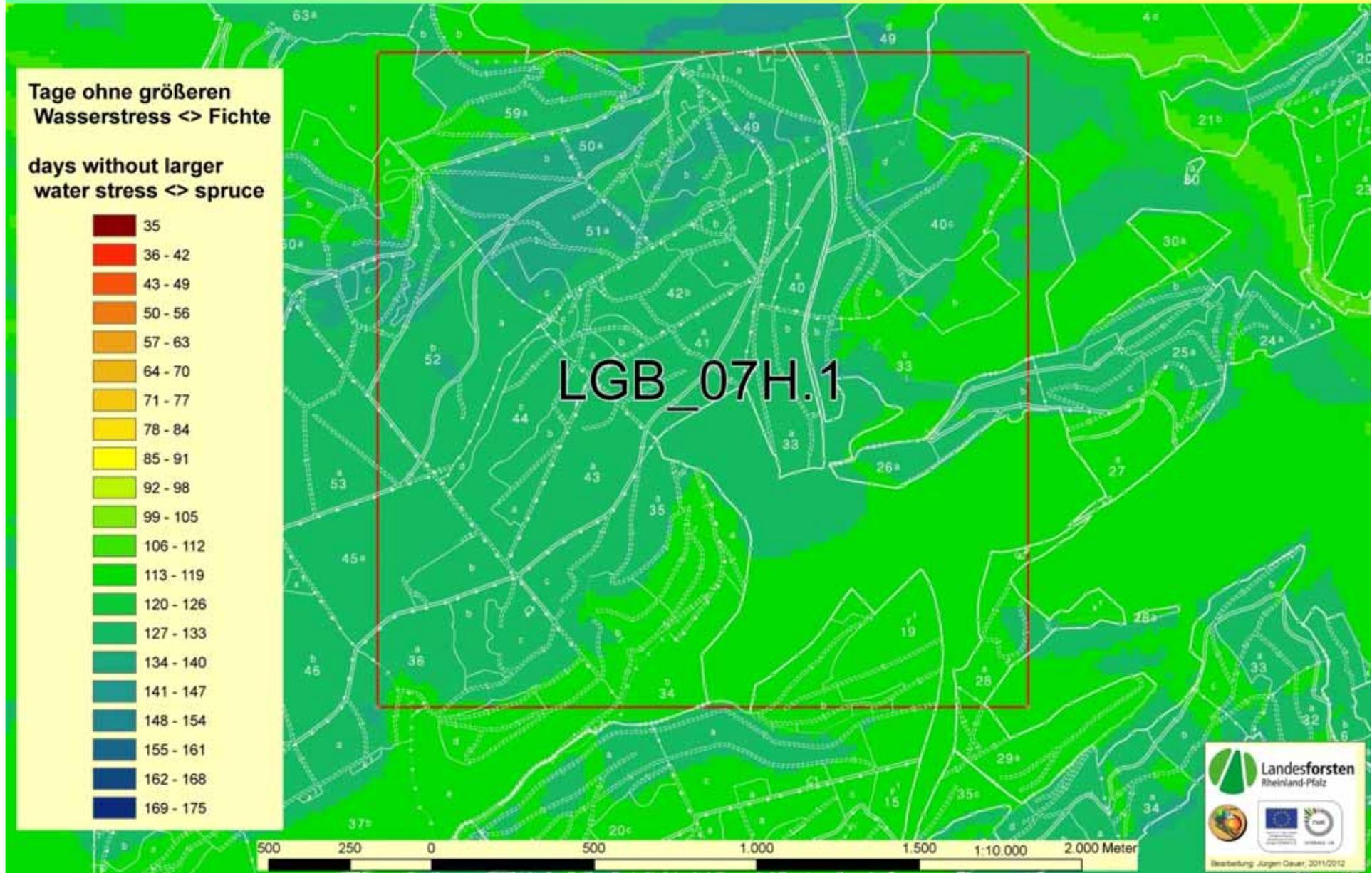
# Umsetzung: Schritt 1: konventionell kartiertes Lerngebiet



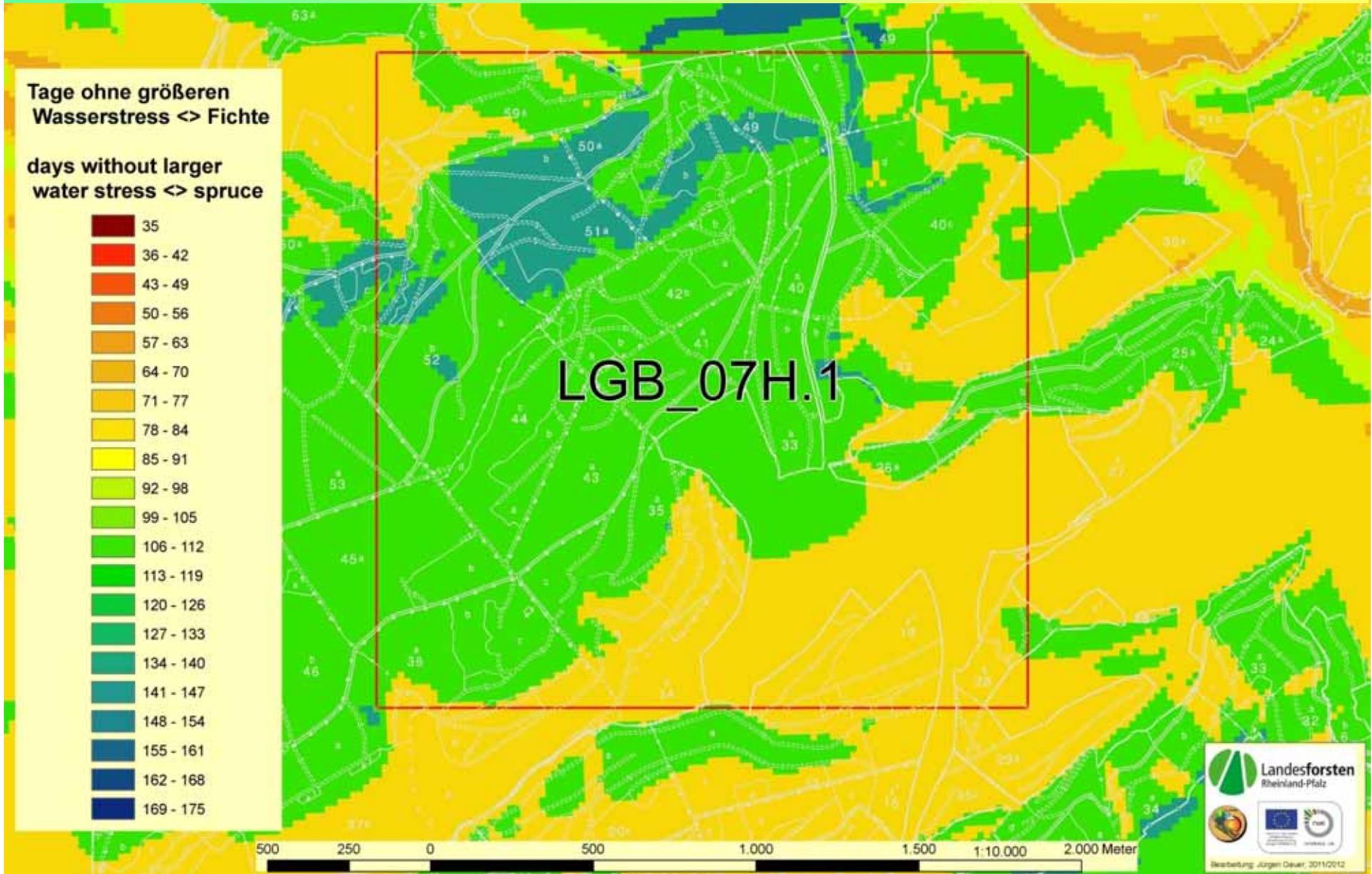
## Umsetzung: Schritt 2: Erweiterung durch Standortprognose



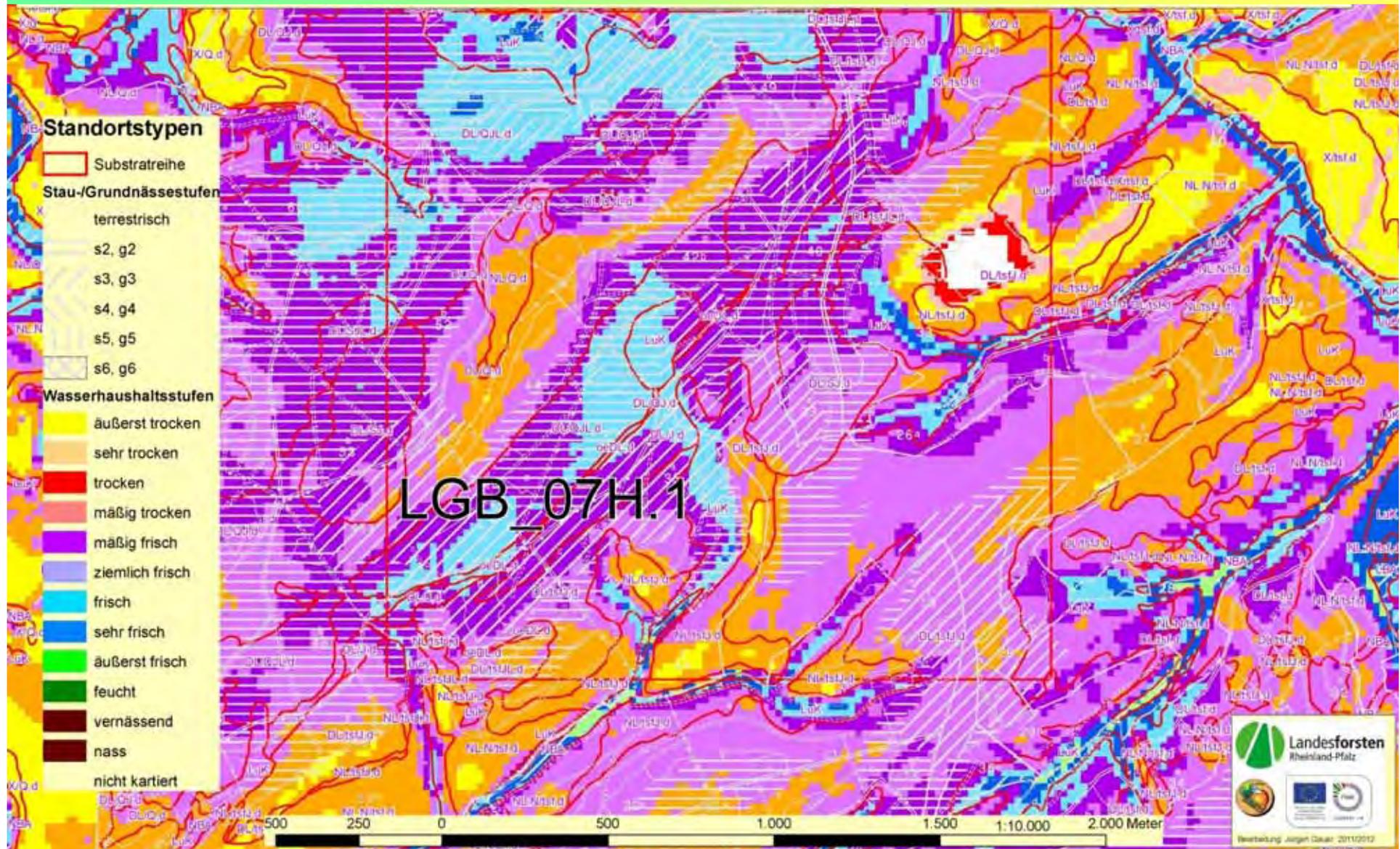
# Umsetzung: Schritt 3: Regionalisierung des WHS-Index 9 aus der Wasserhaushaltssimulation <> Basis 1971 - 2000



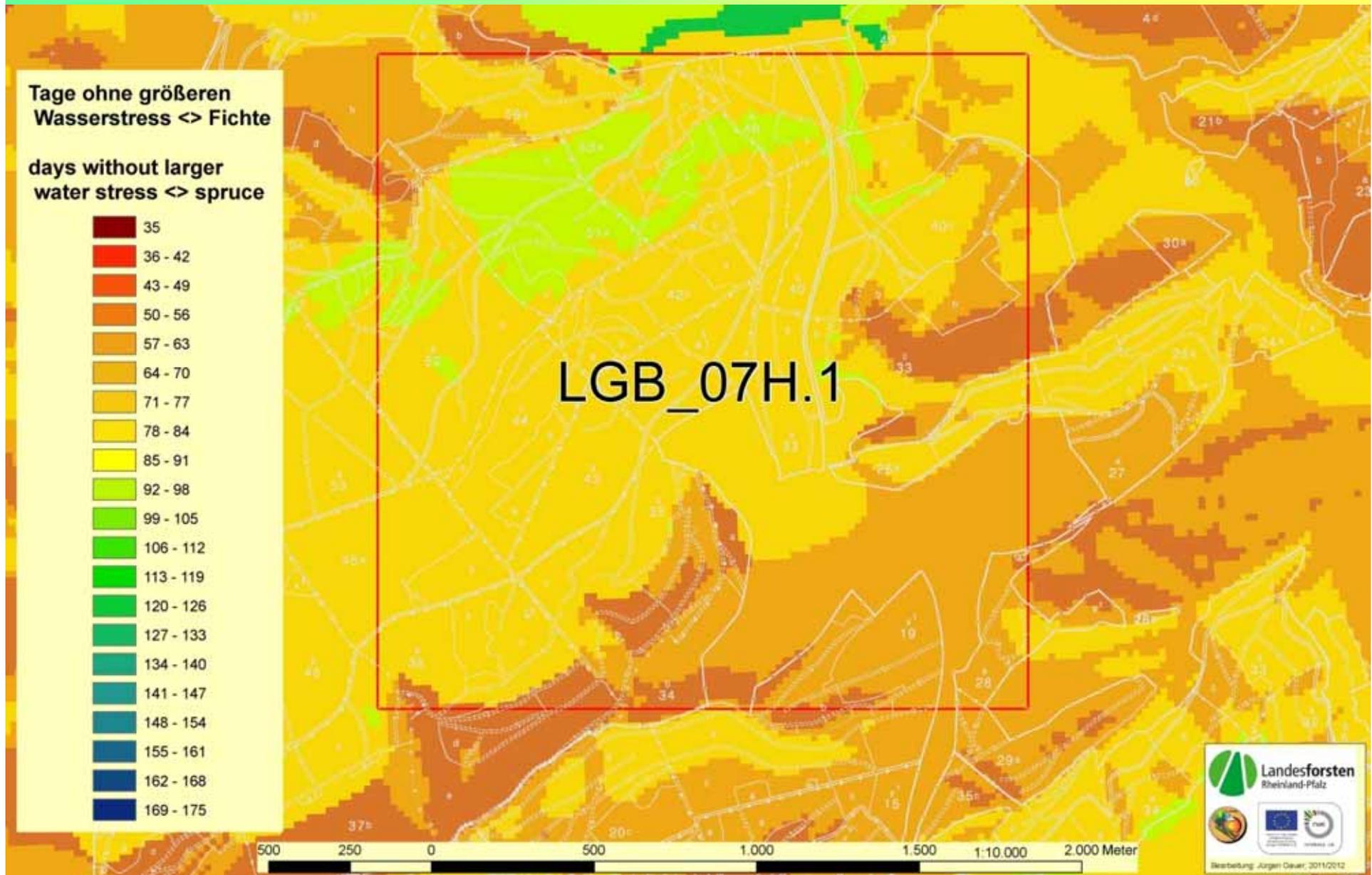
**Umsetzung: Schritt 4: Regionalisierung des WHS-Index 9 aus der  
Wasserhaushaltssimulation <> Basis 2021 –2050  
Berechnung der Differenz 1971-2000 <> 2021-2050 in Prozent**



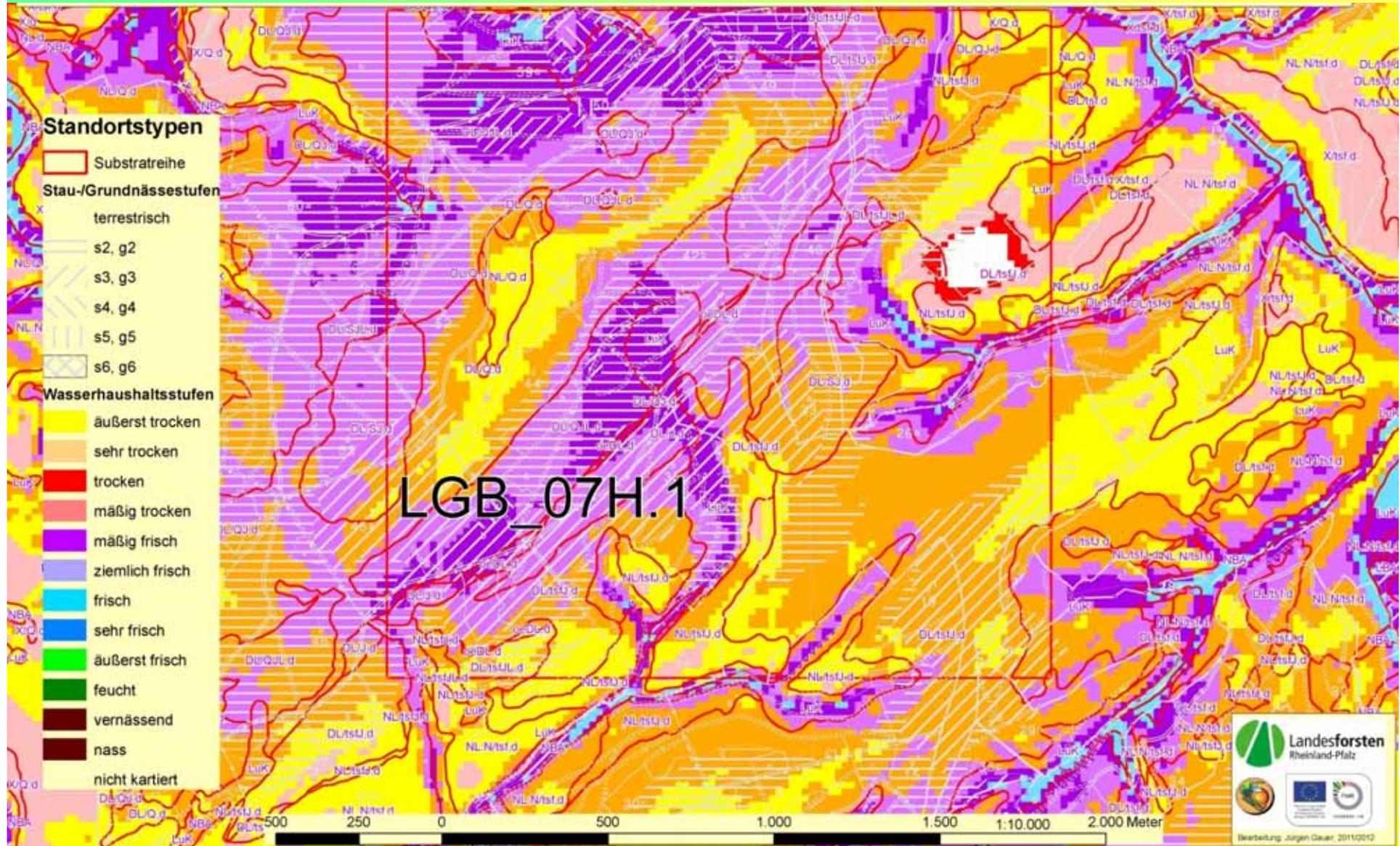
# Umsetzung: Schritt 5: Übertragung der Prozentabstände der Wasserhaushaltssimulationen 1971-2000 <=> 2021-2050 auf die prognostizierten Wasserhaushaltsstufen (in einer 0 – 130 Skala)



# Umsetzung: Schritt 6: Regionalisierung des WHS-Index 9 aus der Wasserhaushaltssimulation <> Basis 2071 –2070 Berechnung der Differenz 1971-2000 <> 2071-2070 in Prozent



# Umsetzung: Schritt 7: Übertragung der Prozentabstände der Wasserhaushaltssimulationen 1971-2000 <=> 2071-2100 auf die prognostizierten Wasserhaushaltsstufen (in einer 0 – 130 Skala)





# Die Bäume

**Bewertung der  
Standorte aus  
Sicht der Bäume**

**Ansprüche**

# Pflanzen können sich in einem arttypischen Spektrum an Trockenheit anpassen

Austrocknungswiderstand

Austrocknungstoleranz

passiver

aktiver

Phase 1

Phase 2

Phase 3

Phase 4

Phase 5

Grundausrüstung

Erstes Streßsignal

Schließbewegung der Stomata

Kutikulärer Abschnitt

Toleranzabschnitt

Phasenmodell der Trockenresistenz von Pflanzen

# Buche

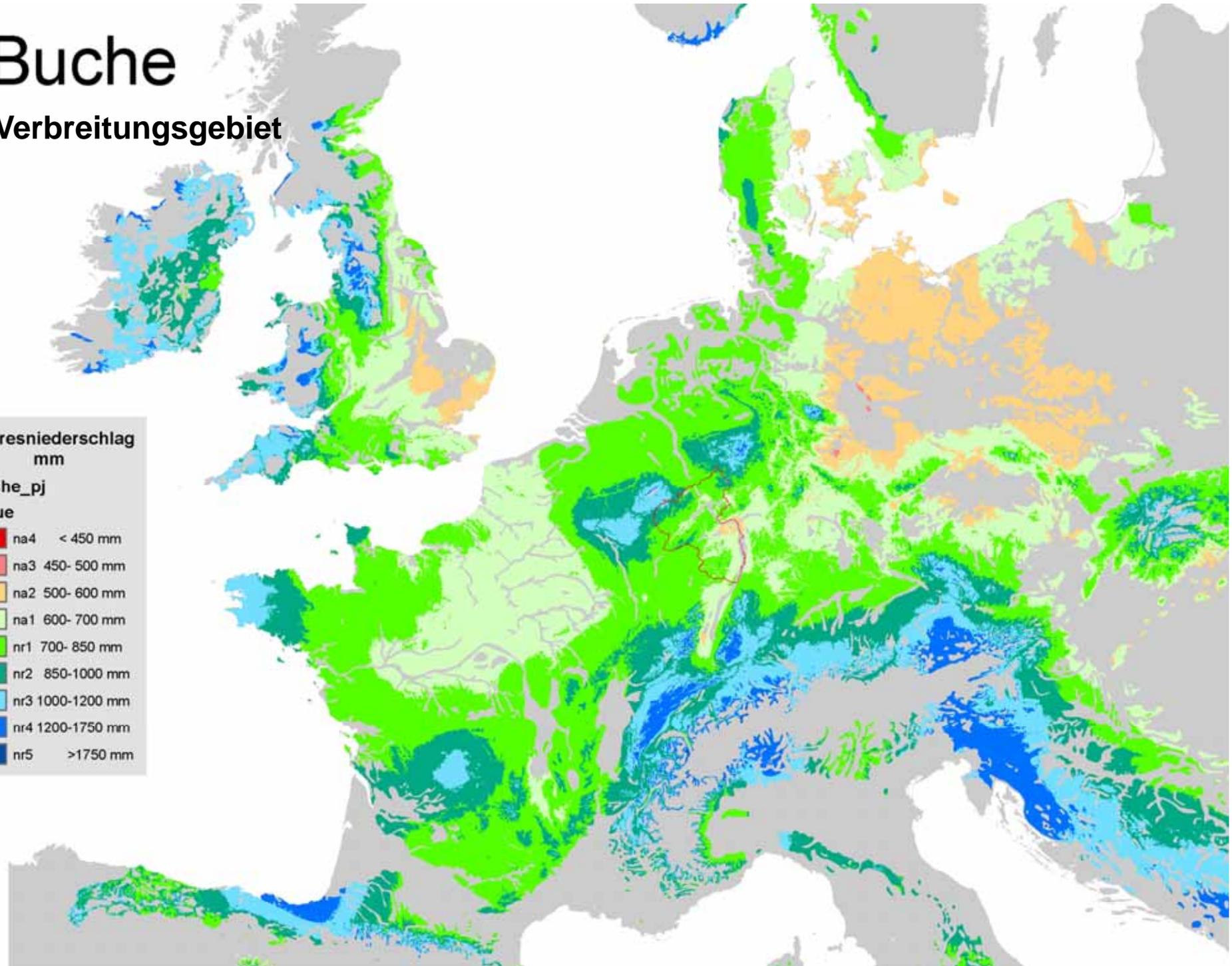
## Verbreitungsgebiet

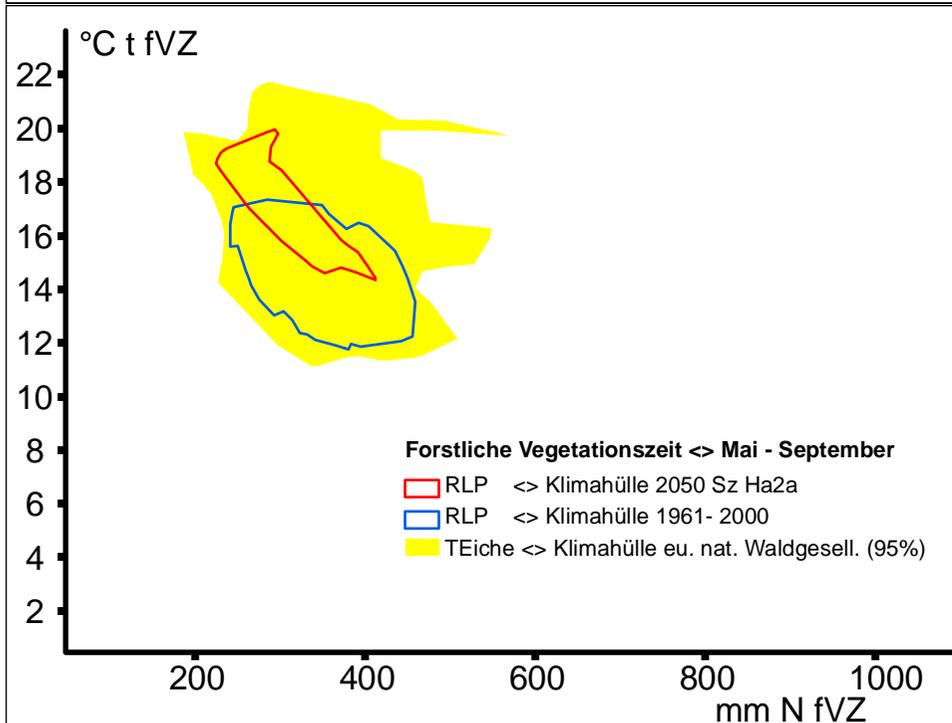
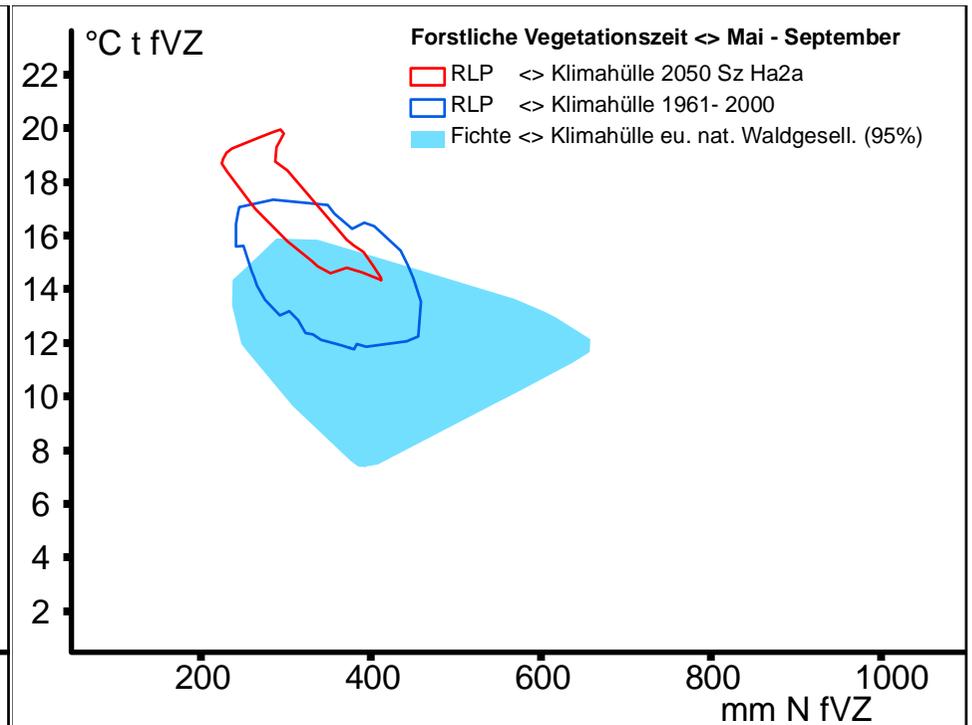
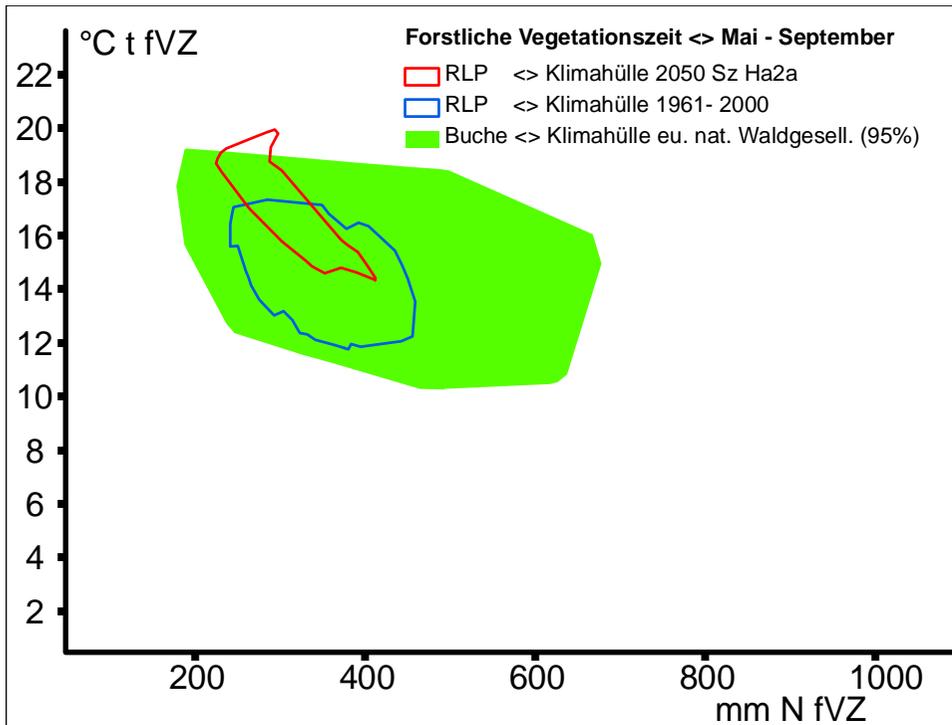
Jahresniederschlag  
mm

buche\_pj

Value

	na4	< 450 mm
	na3	450- 500 mm
	na2	500- 600 mm
	na1	600- 700 mm
	nr1	700- 850 mm
	nr2	850-1000 mm
	nr3	1000-1200 mm
	nr4	1200-1750 mm
	nr5	>1750 mm





## Erstellung von Klimahüllen

## Ökologische Potenz mitteleuropäischer Baumarten (Otto 1996)

Baumart	Standorts-Eigenschaften			Art-Eigenschaften					Gefährdungen				Bewertung	
	Kälte-toleranz	Trocken-heits-toleranz	Nährstoff-mangel-toleranz	Schatten-toleranz	Höhen-wuchs	Stabilität	Lebens-dauer	Verjüngungs-potenz	Spätfrost-resistenz	Windwurf/Schnee-bruchresist.	Waldbrand-resistenz	Widerstand geg. biot. Schaderreg.	Mittelwerte	ökologische Potenz-gruppen
Buche	4	3	3	5	5	4	4	4	2	4	5	3	3,8	über 3,5
Weißtanne	4	2	4	5	5	5	4	4	1	5	2	2	3,6	
Traubeneiche	2	4	4	1	4	5	5	3	2	5	5	5	3,8	
Stieleiche	2	3	3	1	4	5	5	3	2	5	5	5	3,6	
Bergahorn	4	2	2	3	4	4	4	5	4	4	5	3	3,7	
Europ. Lärche	5	4	4	1	5	4	4	4	2	4	4	2	3,6	
Waldkiefer	5	5	5	2	4	4	4	4	5	2	1	2	3,6	
Fichte	5	3	4	5	5	1	4	4	2	1	2	1	3,1	über 3,0 bis 3,5
Esche	2	3	1	2	5	3	4	5	1	4	5	2	3,1	
Hainbuche	2	2	2	4	3	4	4	4	3	4	5	4	3,4	
Aspe	5	2	5	2	3	4	2	5	5	2	4	2	3,4	
Sandbirke	5	4	5	1	2	2	1	5	5	2	2	4	3,2	
Elsbeere	1	4	1	3	3	4	4	1	5	5	5	3	3,3	
Speierling	1	4	1	4	2	5	4	1	5	5	5	1	3,2	
Roterle	3	2	2	1	3	5	2	2	4	3	5	3	2,9	unter 3,0
Wildkirsche	1	4	2	1	3	3	1	2	4	4	5	1	2,6	
Wildapfel	3	3	2	1	2	4	3	3	3	4	5	3	3,0	
Walnuss	1	4	2	1	3	5	4	3	1	4	5	3	3,0	

Toleranzniveau > 1 = sehr niedrig <> 2 = niedrig <> 3 = mittel <> 4 = hoch <> 5 = sehr hoch

# Konsequenzen für die Baumartenwahl und Behandlung



keine Überforderung eines StO

Esche auf NL\*Q'd, mtr  
(Schuttlehm aus Quarzit des Devon)

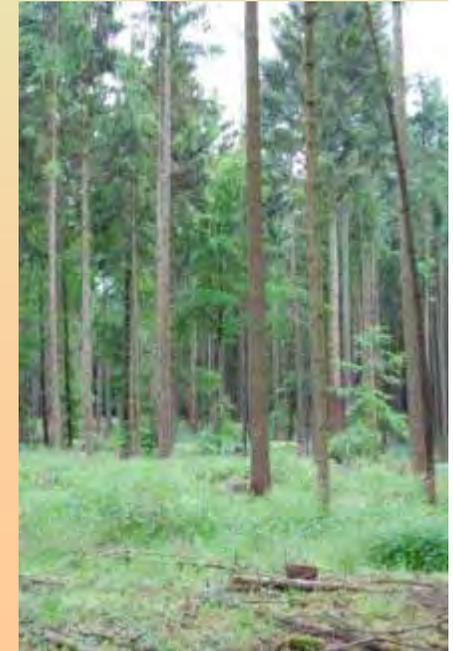
optimale  
Ausnutzung  
des Standorts



keine  
Unterforderung  
eines StO

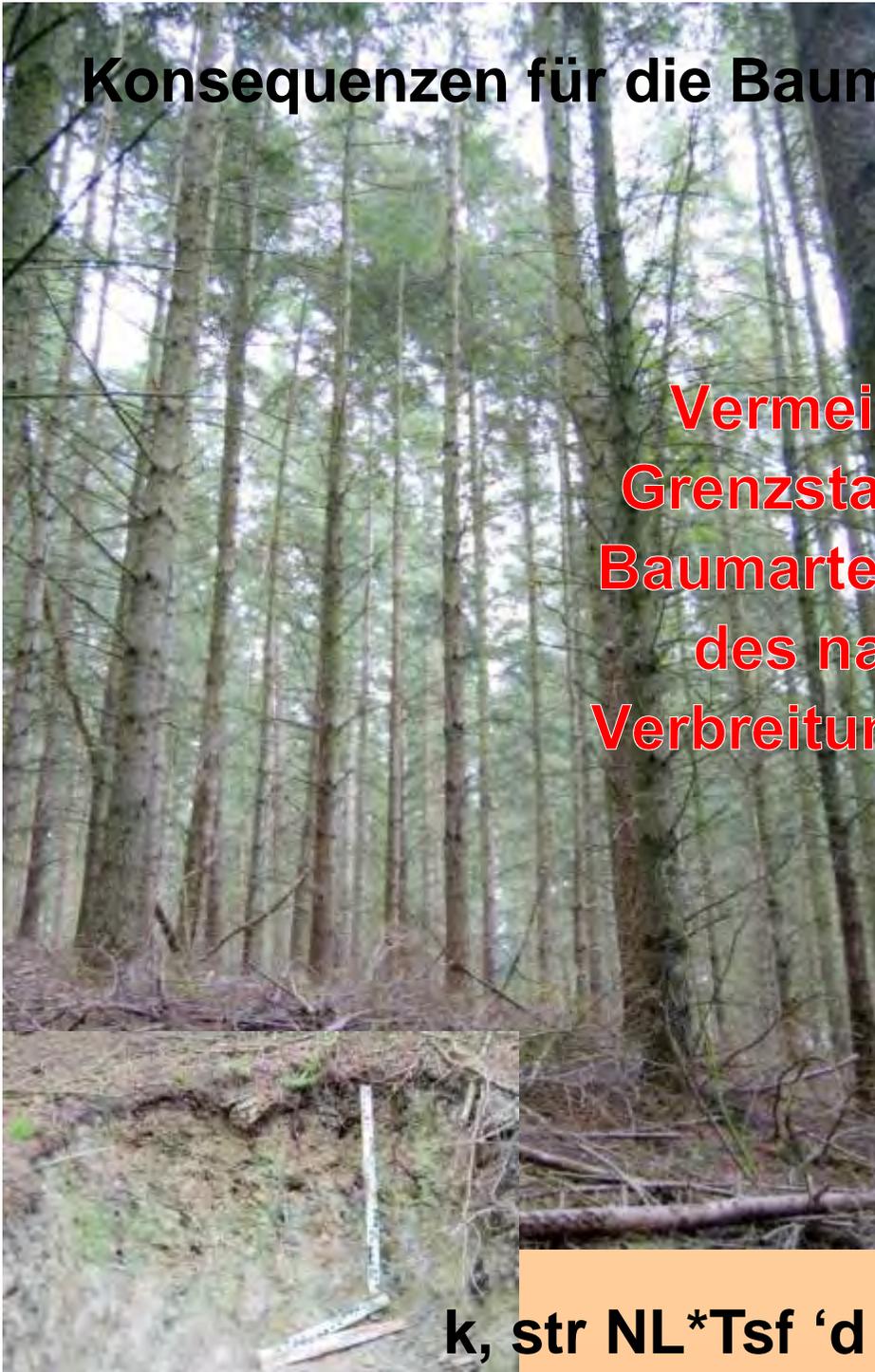
Fi, Dou auf  
(w)DL/\*cTsf'd, fr

(Hydromorpher Decklehm über kalkhaltigem  
Tonschiefer des Devon)



# Konsequenzen für die Baumartenwahl und Behandlung

Vermeidung von  
Grenzstandorten für  
Baumarten außerhalb  
des natürlichen  
Verbreitungsgebietes



k, str NL\*Tsf 'd



k, mfr DL/^s'd

# Konsequenzen für die Baumartenwahl und Behandlung



längere Vegetationszeit

Ertragsleistung > steigt

geringere Sommerniederschläge

Ertragsleistung > sinkt

höhere Winterniederschläge,  
steigende Sturmereignisse

Risiko > steigt

wärmere Sommer

Risiko > steigt

Zielbäume mit

- hoher Einzelbaumstabilität,
- großem Standraum
- sicherem h/d-Verhältnis
- Möglichkeit von „Waterharvesting“
- Qualitätsoption

# Standortstypenkarte - Beispiel FA Haardt

## Informationsbereitstellung

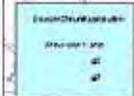
Dynamische,  
digitale Standortskarte



Wasserhaushaltsstufe  
(flächige Farben)

Substratreihe  
(Grenzlinie; Kürzel)

Grund-/Staunässe  
(Schraffur)



# Informationsbereitstellung

## Schuttlehme aus Quarziten des Devon <> NL\*Q'd <> 9014

**Vorkommen:** Rheinisches Schiefergebirge – Devon; insbesondere auf den Höhenrücken.

**Allgemeine Beschreibung:** Skelett-reiche, flach bis mittelgründige podsolige Braunerden, auch Ranker und Regosol-Braunerden aus mäßig bis gering lössbeeinflusster Hauptlage oder aus Hangschutt über anstehendem Quarzit oder Quarzitzersatz, Basislagen meist wenig oder nicht ausgebildet

**Petrographie:** Quarzite; quarzreiche, quarzitisches gebundene Sandsteine; Feinerde oft Lösslehm-haltig

**Typische Horizontfolge:** Ahe/Bv/ICv/mCn; Ahe/(Ah-Bv)/mCn)

**Skelett:** sehr schuttreich, Unterboden Schutt (Zerfallszone) über anstehendem Quarzit

**Bodenarten:** schluffiger Lehm (OB) bis stark lehmiger Sand; UB stark lehmiger Sand bis lehmig sandiger Schluff

**Wasserhaushalt:** terrestrisch

**Wasserspeicherkapazität:** gering bis sehr gering

**Durchlüftung:** sehr gut

**Humusformen:** Es überwiegen Moder-Humusformen (feinhumusreicher Moder bis feinhumusreicher Rohhumus).

**Nährstoffangebot und –umsatz (Trophie):** schwach mesotroph; bodenchemisch arm; pH-Werte (CaCl<sub>2</sub>) im Ahe um 3,0-3,3 und um 3,6 - 4,2 in B- und C-Horizonten zeigen Aluminium- bis Aluminium-Eisen-Pufferbereich an; tief basenarm; Verwitterungsreserven gering.

**Ökologische Artengruppen:** Vaccinium myrtillus-Grp., Deschampsia flexuosa-Grp., Luzula-Luzuloides-Grp.

### Bewertung der forstlichen Baumarteneignung und waldbauliche Möglichkeiten:

Obwohl die Buche – wegen der Lage von Rheinland-Pfalz im zentralen Buchenoptimum – auch diese skelettreichen Standorte dominiert und erst bei sehr trockenen Varianten – jenseits forstlicher Wirtschaftsstandorte – langsam ausscheidet, liegen größere Teile dieser Standorte unterhalb eines wirtschaftlichen Buchenanbaus. Andererseits lässt die Nährstoffversorgung dieser Substratreihe nur anspruchslose Baumarten zu. Neben der Buche als Leitbaumart in den (ziemlich) frischen und besseren Wasserhaushaltsbereichen kommt deshalb der Traubeneiche bzw. der Douglasie größere Bedeutung zu. Fichte als bedeutende Misch- oder Leitbaumart eignet sich auf Standorten der submontanen Höhenstufe ab (ziemlich) frisch, in der montanen Stufe ab mäßig frisch. Die Extensivitätsgrenze liegt bei mäßig trocken bis trocken

### Leitbilder:

- Bu-aMW - Artenarme Buchenmischbestände
- Bu-NB-MB - Buchen-Nadelbaum-Mischbestände
- Dou-Bu-MB - Douglasien-Buchen-Mischbestände
- Fi-Bu-MB - Fichten-Buchen-Mischbestände (submontan, montan)

**Konkurrenzflora:** mäßige Potenz (Deschampsia Rasen)

**Nährstoffentzug:** sehr empfindlich

**Windwurfisiko:** sehr gering

**Bodenschutzkalkung:** Bodenschutzkalkung vordringlich, Wiederholungskalkungen in Intervallen von 15-25 Jahren

**Befahrung:** wenig empfindlich

### Standortswald:

kollin									
	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str	ätr
Standortswald			HB/kTB*	kTB	kTB	kTB	VHTB	VTB	KTB
Hauptbaumart			Bu	Bu, Tei	Bu, Tei	Bu, Tei	Tei, Bu	Tei, Bu, Ki	Tei, Ki, Bu
Nebenbaumart.			Tei	Tei			Ki		
Pioniere			Bir, Ki, Tei						
submontan									
	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str	ätr
Standortswald			HB	HB	HB	VHTB	VHTB	VHTB	VHTB
Hauptbaumart			Bu						
Nebenbaumart.				i	Tei	Tei	Tei	Tei	Tei
Pioniere			Bir, Ees						
montan									
	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str	ätr
Standortswald			FIVHB						
Hauptbaumart			Bu						
Nebenbaumart.			Fi	Fi	Fi	Fi	Fi, Bir	Fi, Bir	Fi, Bir
Pioniere			Bir, Ees						

\* Sonnhang

kTB → kolliner Traubeneichen Buchenwald, HB → Hainsimsen-Buchenwald, VHTB → Heidelbeer-Hainsimsen-Traubeneichen-Buchenwald, VTB → Heidelbeer-Traubeneichen-Buchenwald, KTB → Weißmoos-Kiefern-Traubeneichen-Buchenwald; FIVHB → Fichten-Heidelbeer-Hainsimsen-Buchenwald

SR-Beschreibung

# Substratreihenbeschreibung und standortskundliche Beurteilung

6100 - Sande des Oberen Buntsandsteins  
Keine Differenzierung nach Höhenstufen

Kürzel	Baumart	ätr	str	tr	mtr	n	zfr	fr	sfr	äfr
S's'so	Bu				ö	w	m	g	gO	gO
	Tei		ö	ö	w	m	gF	gF	mF	w
	Rei					w	m	m	m	m
	Bah								ö	ö
	Sah							w	w	w
	Kir							w	w	w
	Bi		ö	ö	ö	mL	mL	mL	mL	mL
	Wli							w	m	m
	Bul								ö	ö
	Fi						w	g	gO	gO
	Ta							w	m	g
	Dou				w	m	g	gO	wOQ	wOQ
	Ki		ö	w	m	g	g	mQ	w	w
	Eiä						w	m	m	m

### Legende :

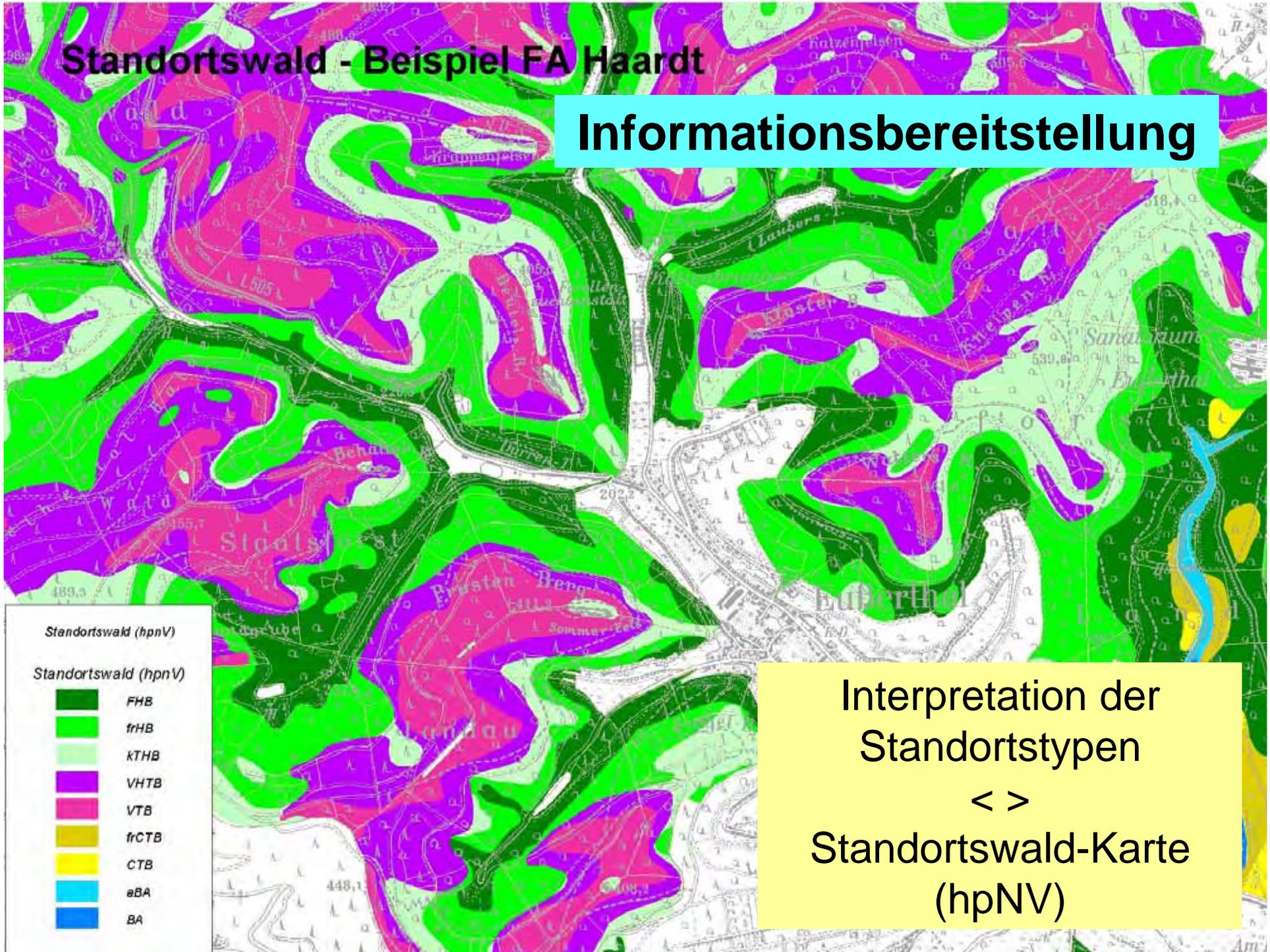
- g = gut geeignet
- m = geeignet
- w = wenig geeignet
- u = ungeeignet
- ö = ökologisch wertvolle Mischbaumart
- uö = aus lpf. Gründen höchst problematisch

### Zusätze :

- O = Optimumstandorte
- F = Furnierholzstandorte
- R = erhöhtes Anbauisiko
- Q = eingeschränkte Qualitätserwartung
- L = deutlich geringere Massenleistung

# Standortswald - Beispiel FA Haardt

## Informationsbereitstellung



Interpretation der Standortstypen  
< >  
Standortswald-Karte (hpNV)

# Ergebnisse der Standortkartierung: "Abflussprozesskarte"

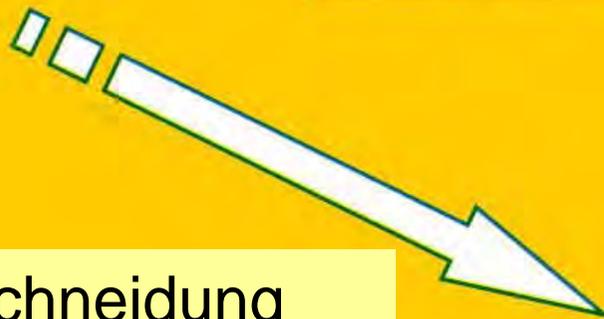
Einzugsgebiet

Substratreihe

Wasserhaushalt

Geomorphologie

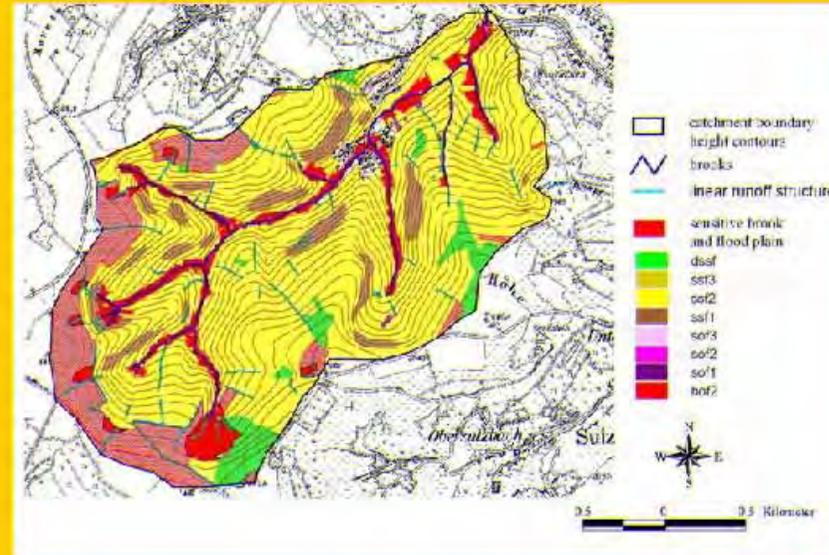
## Informationsbereitstellung



Verschneidung

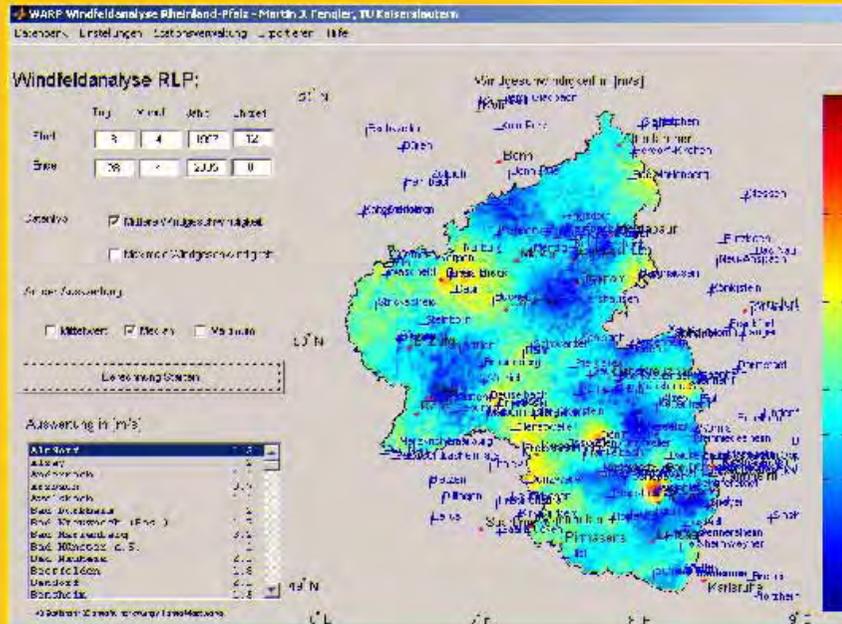
< >

Abflussprozesskarte



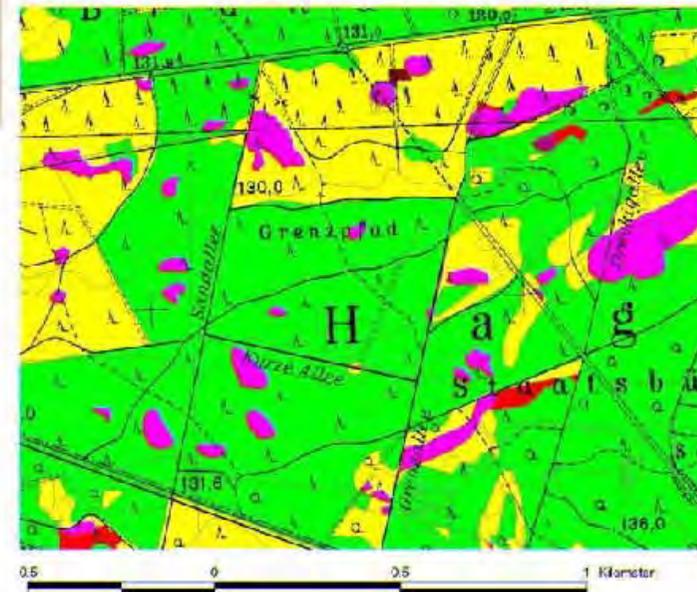
# Ergebnisse der Standortkartierung: "Sturmgefährdungskarte"

## Informationsbereitstellung



Berechnung  
< >  
Sturmgefährdungskarte

Ausschnitt aus der digitalen Sturmgefährdungskarte im Bereich des Bienwaldes



- Legende Bienwald
- stabil
  - gefährdet
  - stärker gefährdet
  - extrem gefährdet
  - gefährdet (Lück) (Lück)
  - stärker gefährdet (Lück)
  - extrem gefährdet (Lück)
  - keine Waldreste

Erstellung von Sturmgefährdungskarten mit Hilfe von Windfeldanalysen und digitalen Standortskarten

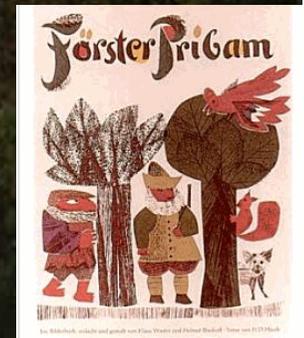


Vielen Dank

Wir sollten hüten den Wald,  
der schon über tausend Jahre alt!



Landesforsten  
Rheinland-Pfalz



# Schadorganismen und abiotische Risikofaktoren im Klimawandel

Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Rheinland-Pfalz  
[www.fawf.wald-rlp.de](http://www.fawf.wald-rlp.de)

in Kooperation mit der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg  
[www.fva-bw.de](http://www.fva-bw.de)



ForeStClim - Schadorganismen und abiotische Risikofaktoren im Klimawandel - Horst Delb und Joachim Block  
FAWF 04 und 11, September 2012  
Rheinland-Pfalz

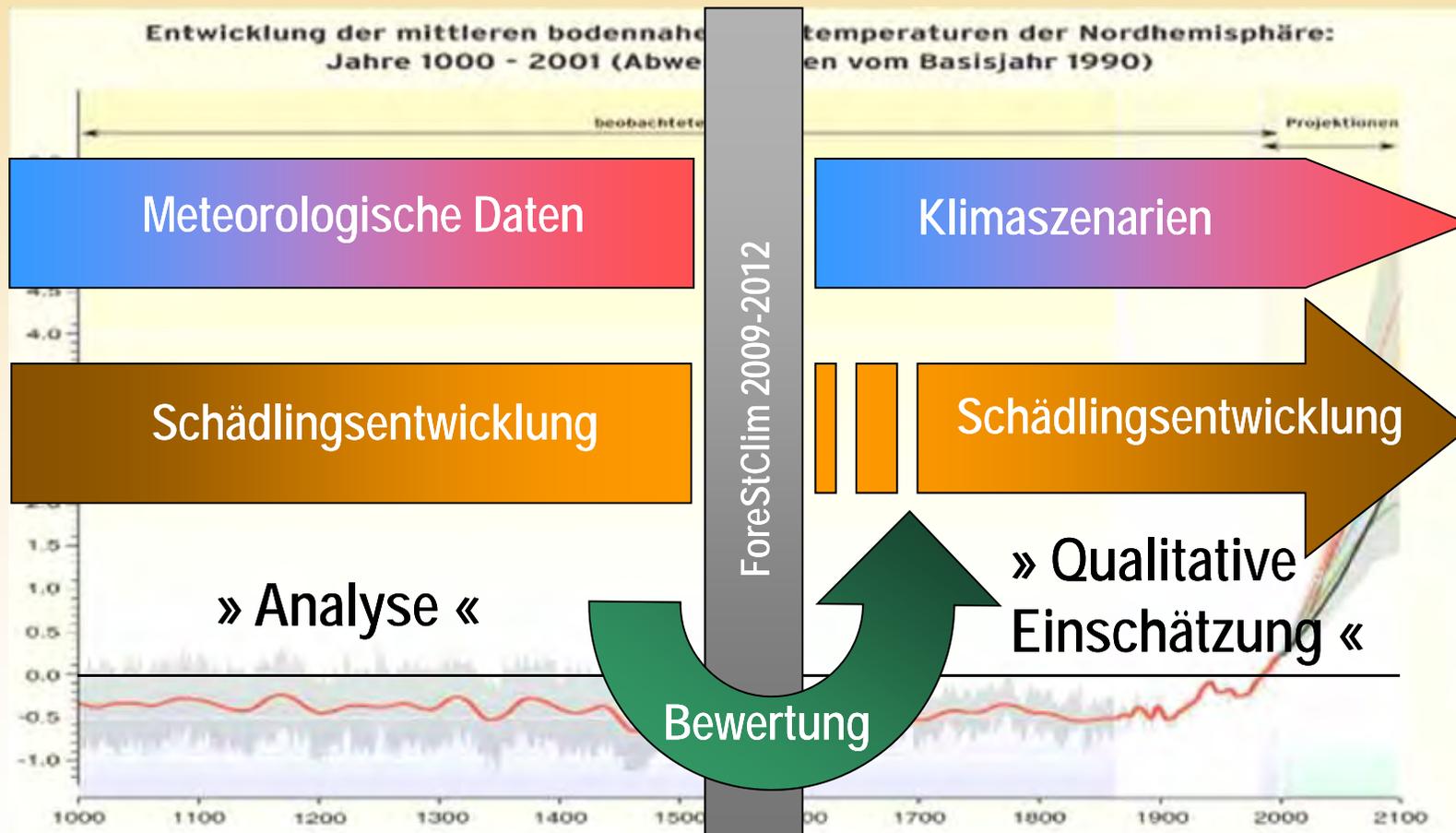


# Konzept und Methode - Übersicht

Retrospektive ◁

Gegenwart

▷ Prospektive

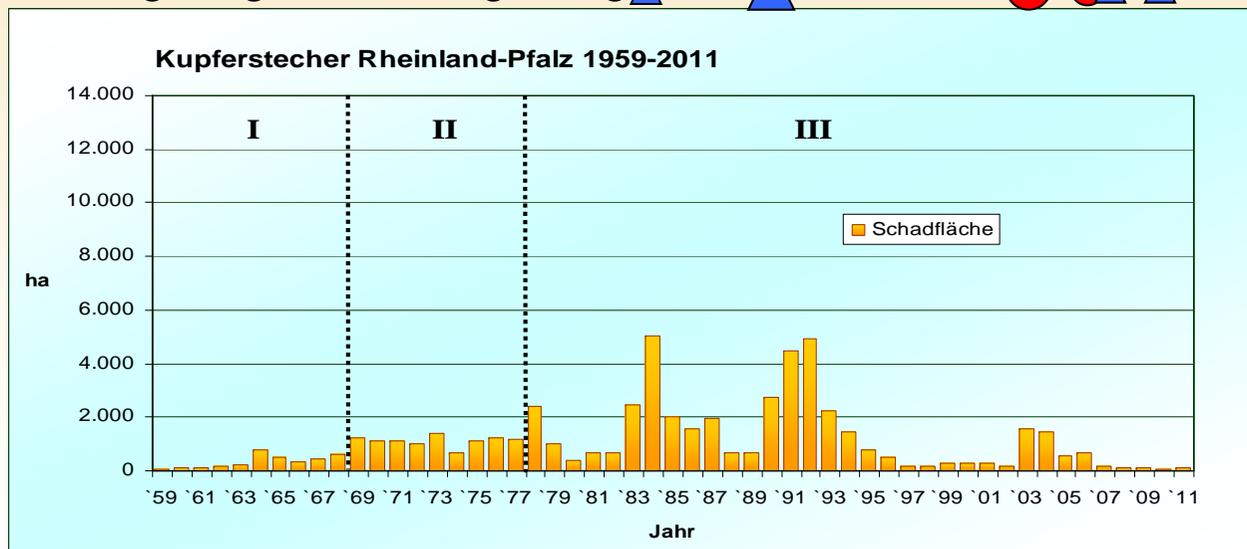
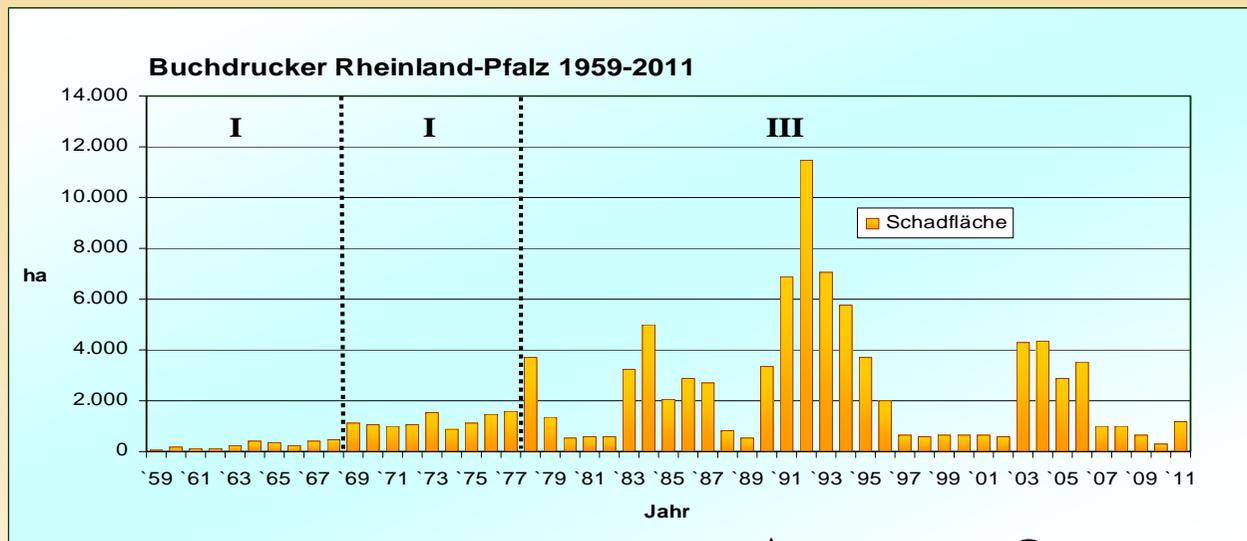


2



# Die vermeintlich wichtigste Frage: Was macht der Fichten- Borkenkäfer?





Entwicklung der Befallsflächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz

**Trockenjahr:** ○  
1959, 1964, 1976, 1982/83, 2003, 2006

**Winterorkan:** ▲  
1984, 1990, 1999, 2007, 2008, 2010

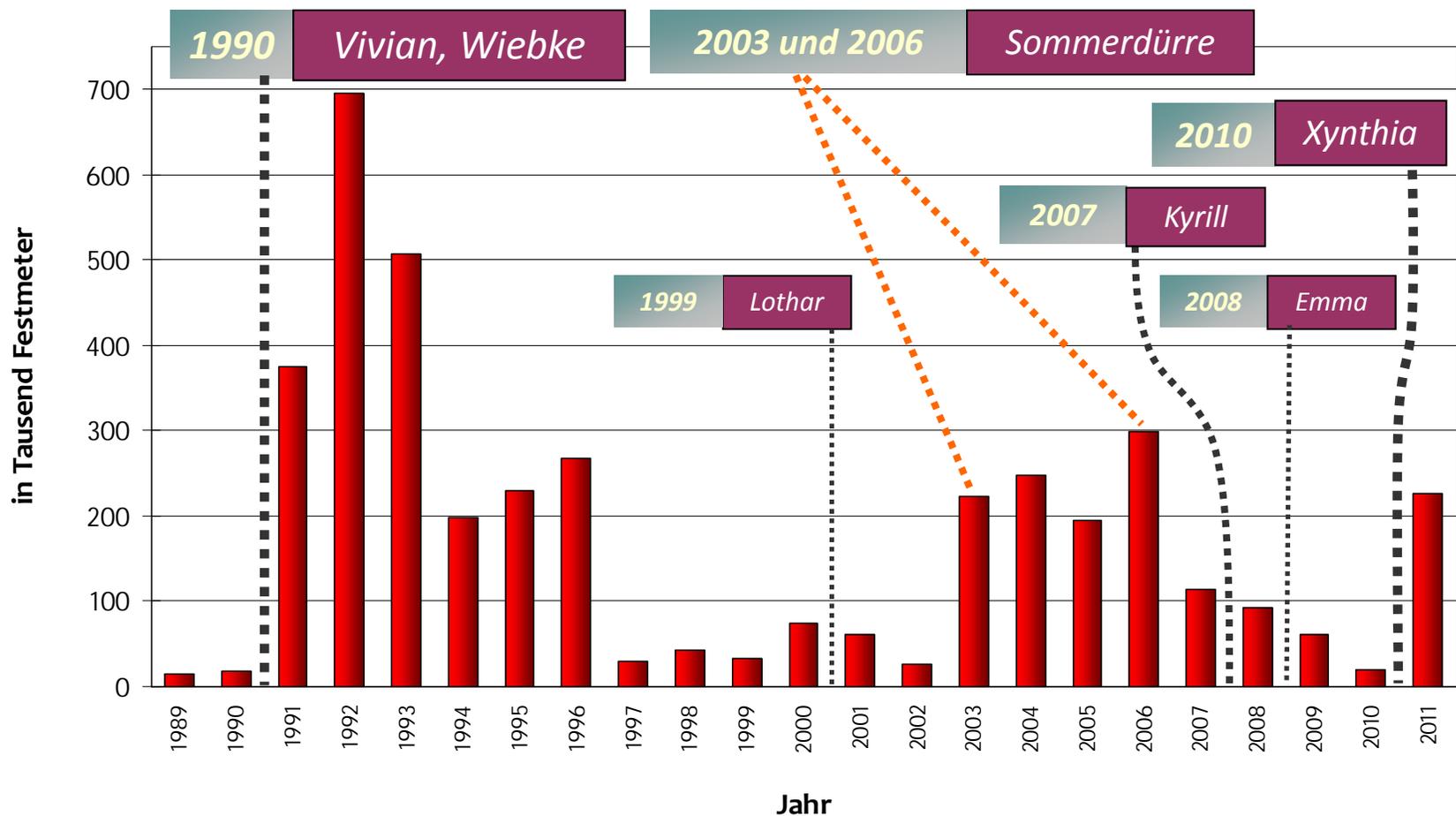


## Winterorkane in Rheinland-Pfalz mit bedeutenden Schäden im Wald

Name	Jahr	Datum	Sturmholzmenge
Orkan	1984	22./24.11.	2 Mio. Fm
Vivian, Wiebke	1990	25./26.2., 28.2./1.3.	12 Mio. Fm
Lothar	1999	26.12.	0,5 Mio. Fm
Kyrill	2007	18./19.01.	2 Mio. Fm
Emma	2008	29.02./01.03.	0,6 Mio. Fm
Xynthia	2010	27./28.02.	3,3 Mio. Fm



## Insekten-Schadholzmenge/ Rheinland-Pfalz/ Alle Baumarten/ Staats- und Körperschaftswald/ 1989 bis 2011



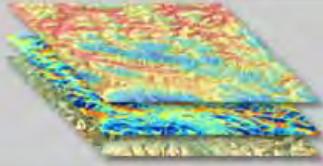
# Buchdrucker an Fichte

Modellhafte Kalkulation nach Schopf (1997): 200 ♀/ qm Rindenfläche bei dichter Besiedlung, Reproduktions-rate: 20 ♀/ ♀;  
 Geschlechterverhältnis 50 ♀ : 50 ♂; Fichten: BHD 20, Kronenansatz 13 m = 8 qm Rindenfläche

Fichte BHD 20 Kronenansatz 13 m	Anzahl ♀	♀ Nachkommen/ qm Rindenfläche	in der nächsten Generation notwendiger Brutraum: Anzahl Fichten (n)	Steigerungsfaktor
Eine befallene Fichte im Frühjahr	1.600	/	/	1
Aus einer befallenen Fichte nach Abschluß der 1. Generation	32.000	4.000	20,0	20
Aus 20 befallenen Fichten nach Abschluß der 2. Generation	640.000	80.000	400,0	400
Aus 400 befallenen Fichten nach Abschluß der 3. Generation	12.800.000	1.600.000	8.000,0	8.000

Schopf, A. (1997): Möglicher Einfluß einer Klimaänderung auf das Schädlingsauftreten von Forstinsekten. In: Klimaänderung – Mögliche Einflüsse auf den Wald und waldbauliche Anpassungsstrategien, Österreichischer Forstverein, S. 25-34

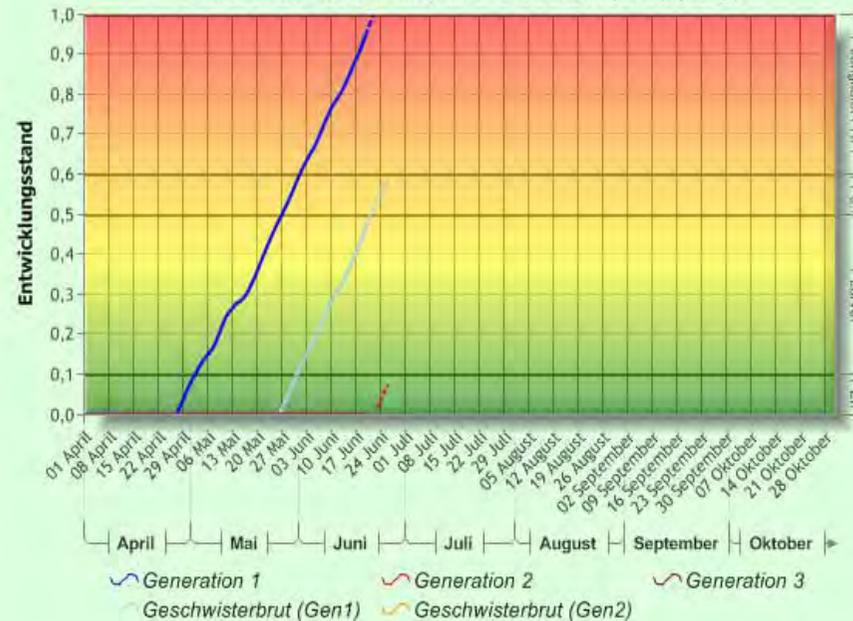




- Home
- PHENIPS - Sachsen
- PHENIPS - Thüringen
- PHENIPS - Rheinland-Pfalz**
- Generationsentwicklung
- Klimadaten
- PHENIPS - Bayern
- PHENIPS - Nordrhein-Westfalen
- PHENIPS - Dürrenstein
- PHENIPS - Rosalia
- PHENIPS - Nationalpark Kalkalpen

Klimastation:  Jahr:

**Generationsentwicklung Kaiserslautern (RLP) (2012)**



**Aktueller Entwicklungsstand:**

Der Buchdrucker hat zu Schwärmen begonnen: 27.04.2012  
 Anzahl möglicher Schwärmtage nach Schwärmbeginn: 48  
 Die Hauptflugphase / Befallsbeginn des Buchdruckers hat begonnen:  
 28.04.2012

**Prognose der Entwicklung für die nächsten 7 Tage:**

Der Buchdrucker hat zu Schwärmen begonnen: 27.04.2012  
 Anzahl möglicher Schwärmtage in der kommenden Woche: 7  
 Die Hauptflugphase / Befallsbeginn des Buchdruckers hat begonnen:  
 28.04.2012

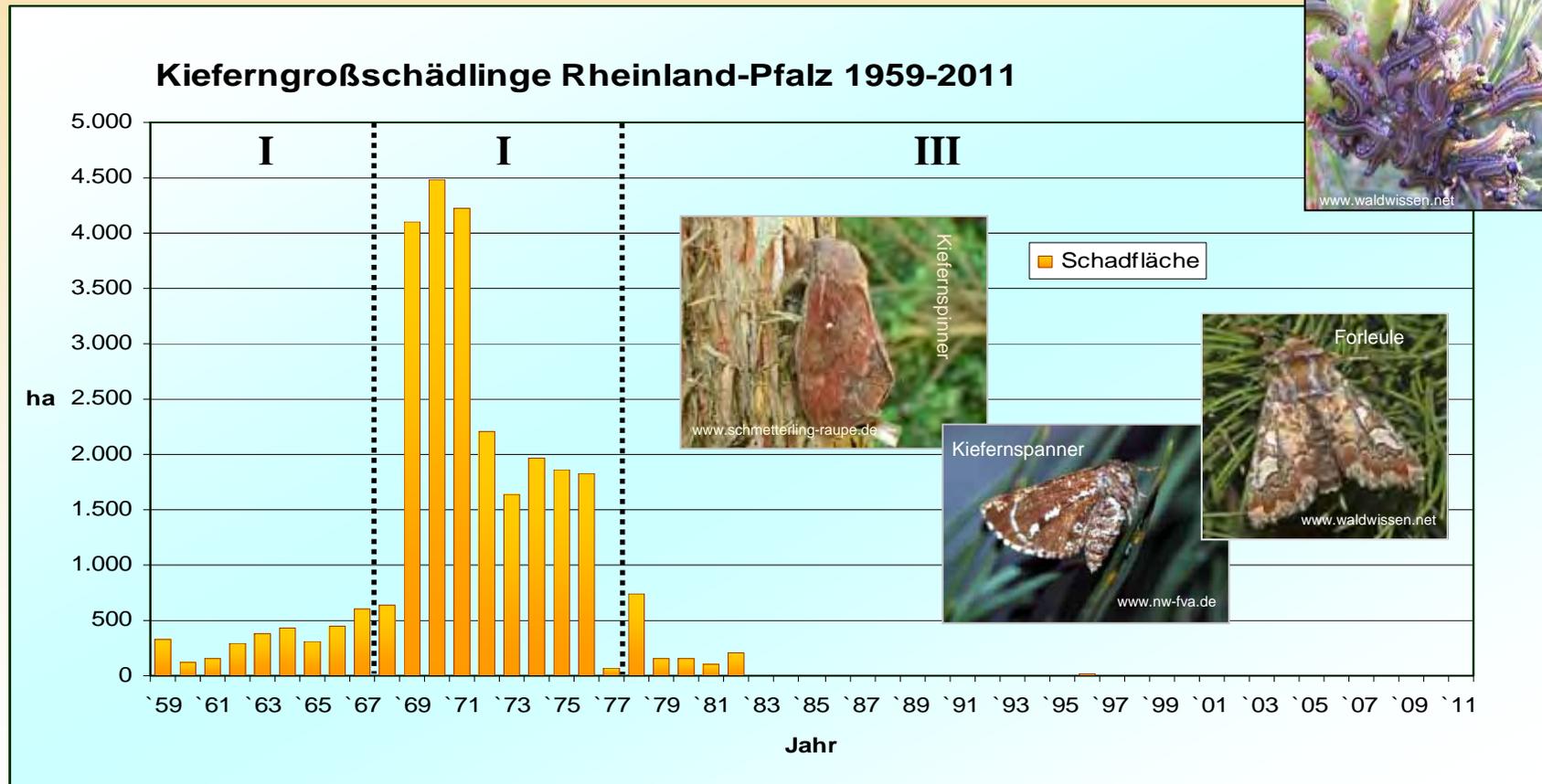
# Kieferngroßschädlinge im Klimawandel



ForeStClim - Schadorganismen und abiotische Risikofaktoren im Klimawandel - Horst Delb und Joachim Block  
Forschungsinstitut für Waldökologie und Forstwissenschaften  
Richard Platz  
FAWF 04 und 11, September 2012



Entwicklung der von Kiefern-Großschädlingen: Kiefernspinner, Forleule, Kiefernspanner und Kiefernswärmer befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz

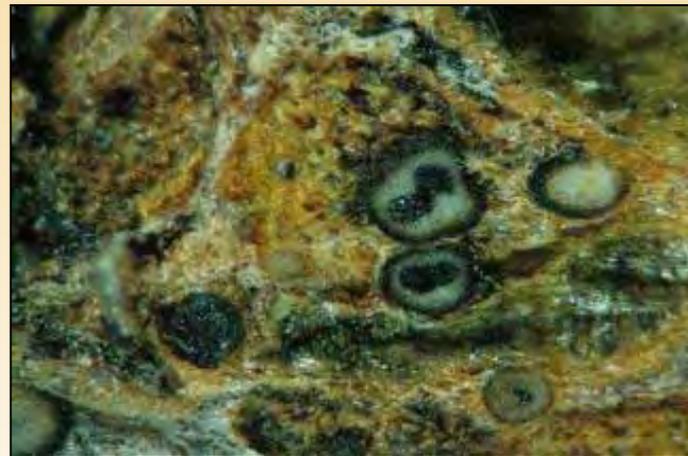


**Relative Anteile zu warmer und zu feuchter Jahre im Winter** (Summe der Temperaturen und Niederschläge von Dezember bis März) im Vergleich zum langjährigen Mittel 1876 bis 2011 in den Perioden von 1876 bis 1985 (110 Jahre) und 1986 bis 2011 (25 Jahre) an den DWD Messstationen Karlsruhe (bis Oktober 2008) und Rheinstetten (ab November 2008) in der Oberrheinebene (von 1944 und 1945 liegen nur unvollständige Werte vor)

<b>Zeitraum</b>	<b>zu warme Jahre</b>	<b>zu feuchte Jahre</b>	<b>zu warm und gleichzeitig zu feucht</b>
1876-1985	47%	50%	26%
1986-2011	84%	60%	56%



# Diplodia-Triebsterben *Sphaeropsis sapinea* – Pilzbefall nach Schäden durch Hagelschlag an Kiefern



- gehäuft lokale Sommerstürme gepaart mit erheblichen Hagelschäden an der Rinde, an den Trieben, an Nadeln und Blättern
- gefolgt vom Diplodia-Triebsterben *Sphaeropsis sapinea* - Pilzbefall nach Schäden durch Hagelschlag an Kiefern

Jahr	Ort
1999	Pfälzerwald
2002	Bienwald
2008	Pfälzerwald
2010	Nordpfalz und Pfälzerwald
2011	Wälder an der Mosel





# Schaderreger an Douglasien

## Gefahren:

- **Adaption** mitteleuropäischer Schaderreger und/oder
- **Einwanderung**, Etablierung und Adaption z.B. aus Südeuropa oder Asien
- **Einschleppung**, Etablierung und Adaption z.B. aus Übersee



An der Douglasie in Nordamerika, Europa und Neuseeland (NA = Nordamerika, EU = Europa, NZ = Neuseeland) vorkommende und in Zusammenhang mit Schäden häufig genannte Insekten; die Arten mit physiologischen Schadpotenzial im Bast oder an den Nadeln sind grau hervorgehoben

Art	Ordnung	Ursprung	Eingeschleppt	Schadpotenzial
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	Coleoptera (Käfer)	NA	/	Bast
<i>Orgyia pseudotsugata</i>	Lepidoptera (Schmetterlinge)	NA	/	Nadeln
<i>Choristoneura occidentalis</i>	Lepidoptera (Schmetterlinge)	NA	/	Nadeln
<i>Dioryctria abietivorella</i>	Lepidoptera (Schmetterlinge)	EU, NA	/	Zapfen
<i>Leptoglossus occidentalis</i>	Hemiptera (Schnabelkerfe)	NA	EU	Zapfen
<i>Megastigmus spermotrophus</i>	Hymenoptera (Hautflügler)	NA	EU, NZ	Zapfen



# Douglas-fir tussock moth *Orgyia pseudotsugata*

- *Pseudotsuga menziesii*, *Abies grandis* und weitere Coniferen
- Heimat Pazifikküste Nordamerikas
- Ausgeprägte Massenvermehrungen: Kahlfraß
- Mortalität nach wiederholtem Fraß bekannt
- Einschleppung v.a. mit Eigelegen möglich
- EPPO A1 List of pests recommended for regulation as quarantine pests: noch fehlend





## SchlehenSpinner *Orgyia antiqua*

- Europa
- Laubholz, Nadelhölzer  
werden auch befallen

## Douglas-fir tussock moth *Orgyia pseudotsugata*

- Pazifikküste Nordamerikas
- Douglasie und weitere Coniferen



Adaption?





# Douglas-fir beetle *Dendroctonus pseudotsugae*

- Nordamerika
- Massenvermehrungen nach abiotischen Störungen (Sturm, Trockenheit ...)
- dann Primärbefall, aggressiv und wirtsspezifisch
- Einschleppung nur mit Rinde möglich
- EPPO A1 List of pests recommended for regulation as quarantine pests: noch fehlend; Non-European Scolytidae





## Douglas-fir beetle

*Dendroctonus pseudotsugae*

- Nordamerika
- Insbesondere Douglasie

## Riesenbastkäfer

*Dendroctonus micans*

- Europa
- Insbesondere Fichte

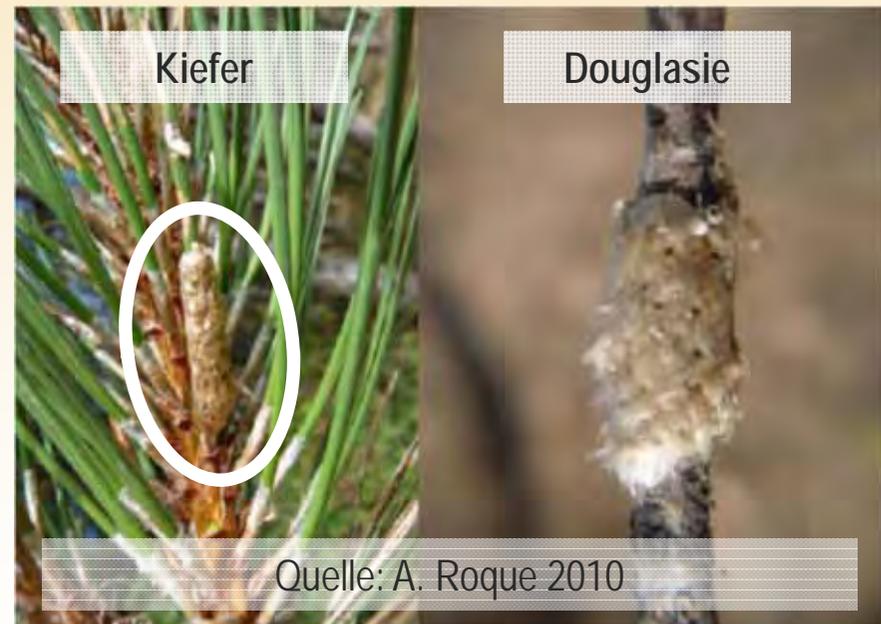


Adaption?



# Pinienprozessionsspinner

Adaption an Douglasie nach Migration oder Verschleppung aus Südeuropa (Roque 2010)?



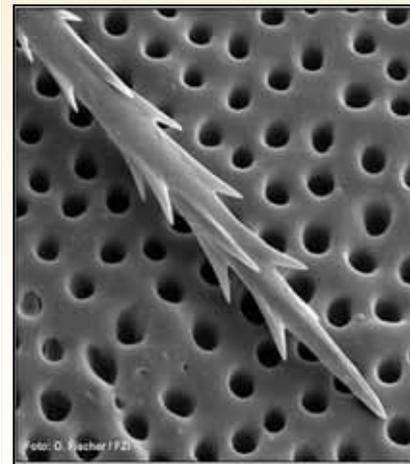
# Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.)



Influence of pests - Horst Delb - Team D Workshop  
ForeStClim Kick-Off Conference, Koblenz, 02-04 September 2008



# Gesundheitsgefährdung



# Waldgefährdung



Influence of pests - Horst Delb - Team D Workshop  
ForeStClim Kick-Off Conference, Koblenz, 02-04 September 2008



This project has received  
European Regional  
Development Funding  
through INTERREG IV B



INTERREG IV B  
Development Funding  
North West Europe



**Pheromonfallenfänge  
2010:**  
nur einzelne Falter bei  
Koblenz, Boppard  
(Mittelrhein), Cochem  
(Mosel) und Saarburg  
(Saar)



**Eichen-  
prozessions-  
spinner**

**Verbreitung in  
Südwest-  
deutschland**

**- aktuell**

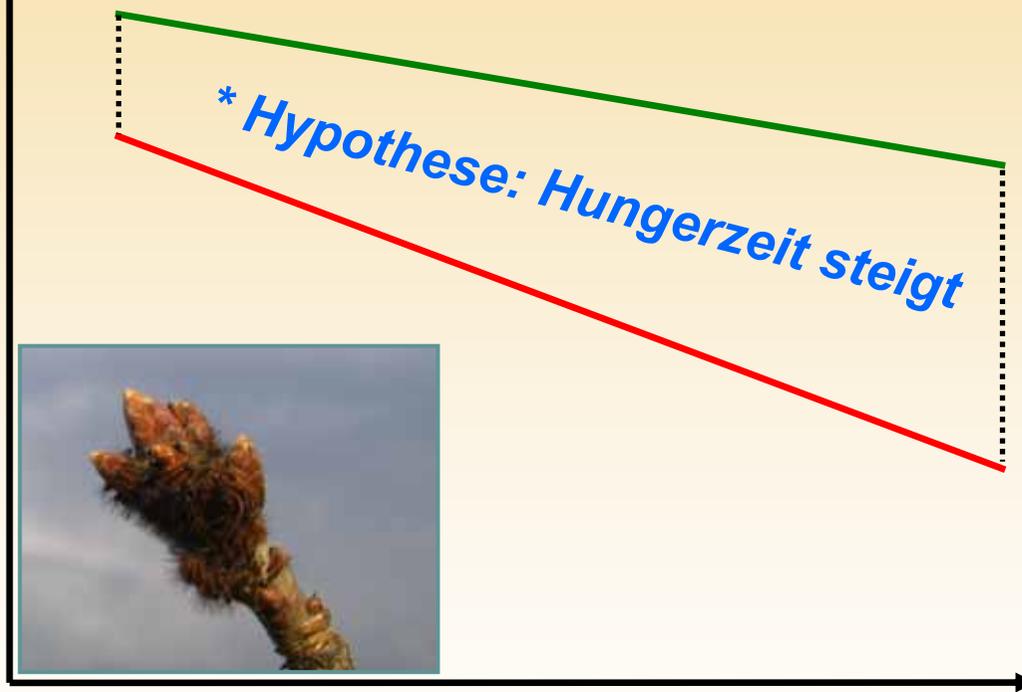


# Phänologie

Synchronisation zwischen **Schlupf** und **Austrieb**:  
Koinzidenz beim **Eichenprozessionsspinner**



früh - Schlupfzeitpunkt / Austrieb - spät



Eiche

EPS



Jahr

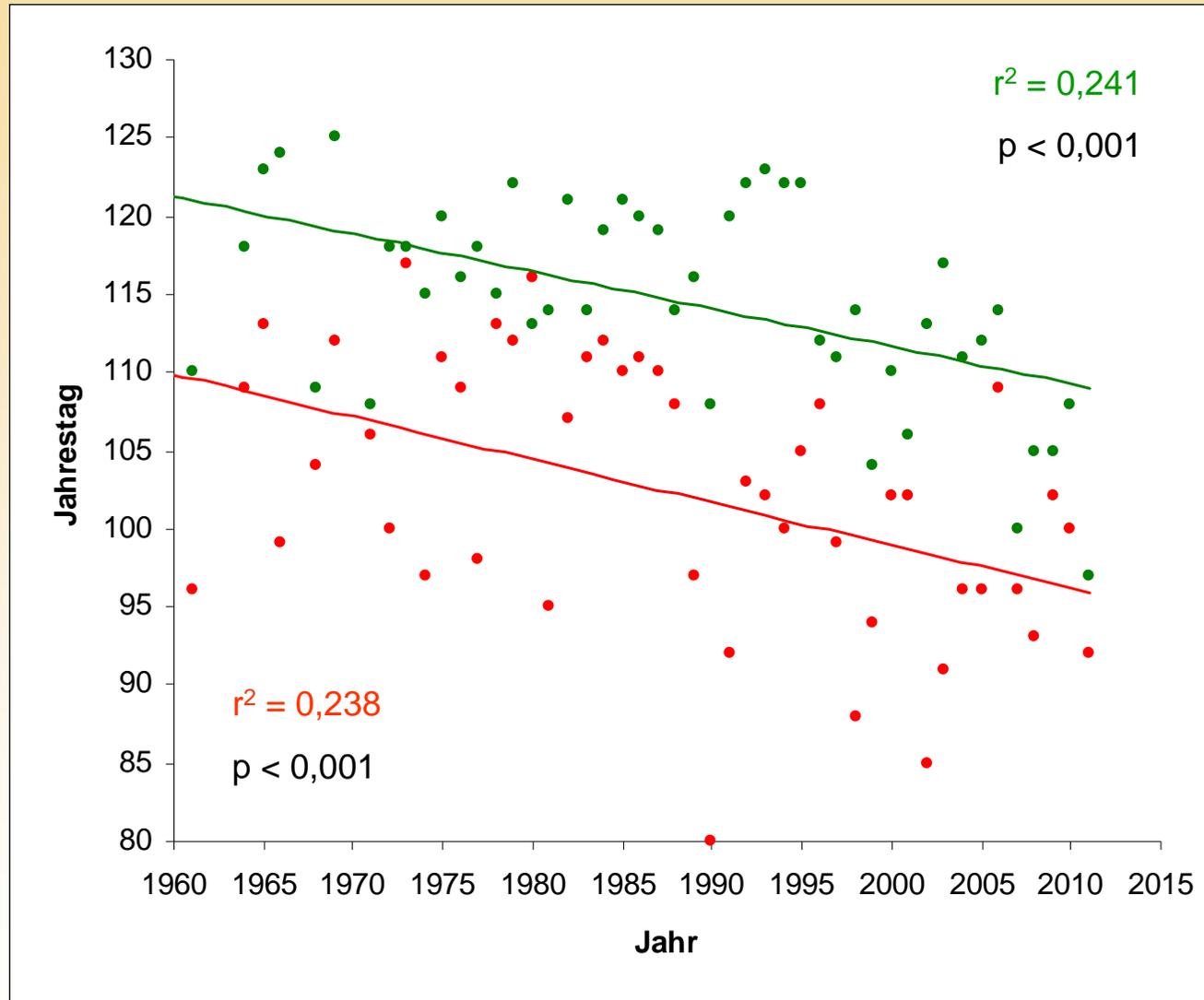
\* Visser & Holleman (2001): Frostspanner; experimentell

\* Meurisse et al. (2012): Eichenprozessionsspinner; experimentell



## Eichenaustrieb + Raupenschlupf

DWD Wetterstation Karlsruhe



DWD Phänologische Station Wiesental

Folie Wagenhoff et al. (2012):



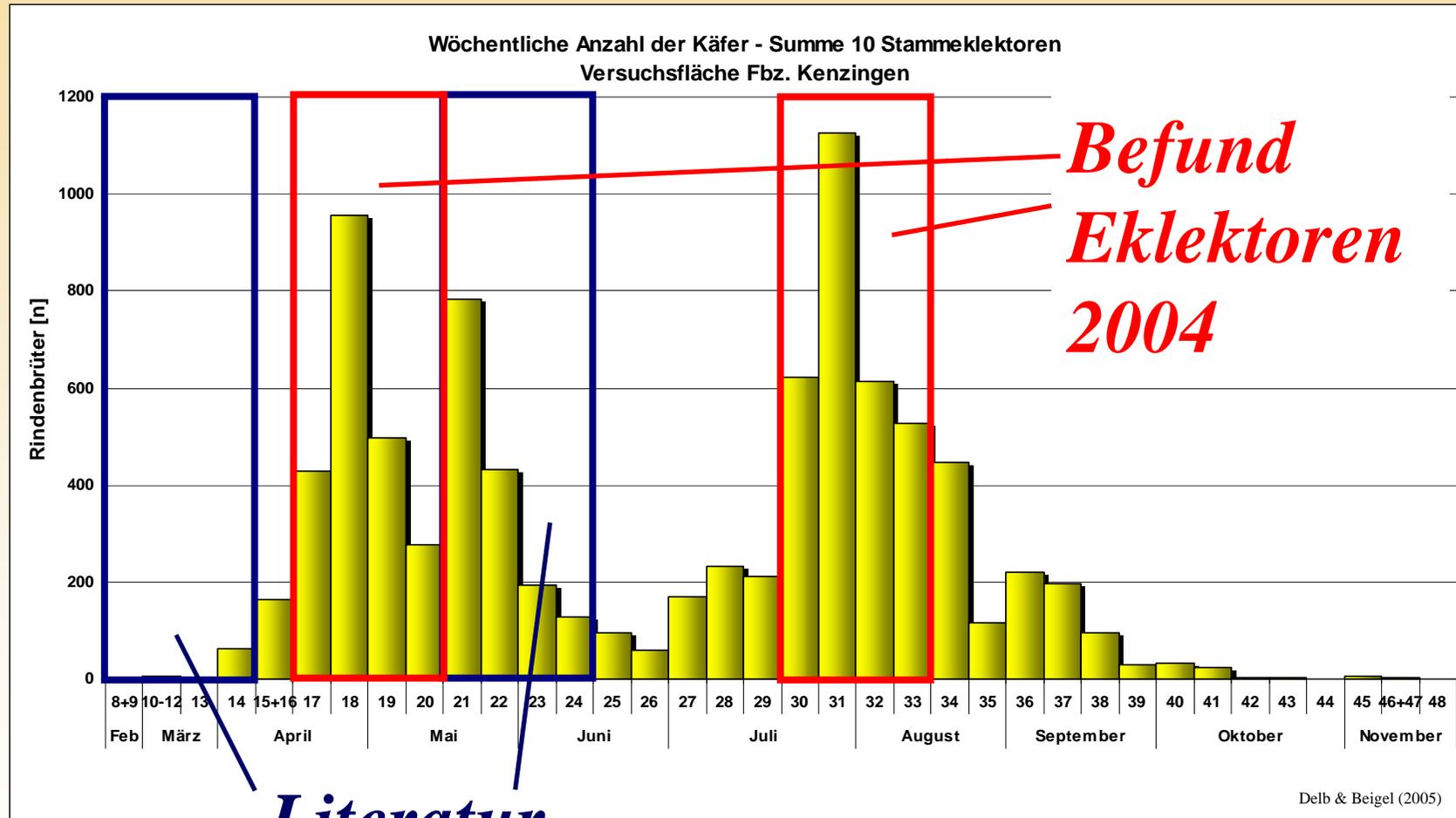
*... Sturm "Lothar" 1999 ...*

*... Dürre 2003 (und 2006) ...*

*=> Befall durch Rindenbrüter an  
stehenden, durch Dürre ge-  
schwächte Buchen*



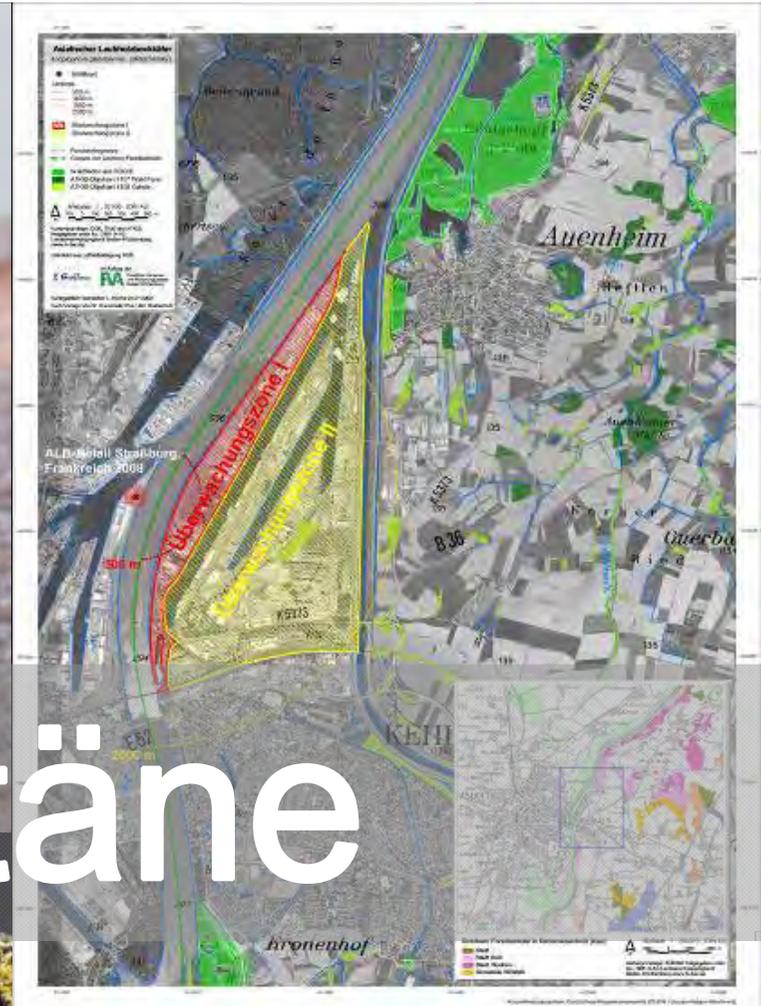
# Flugverlauf des Buchenborkenkäfers *Taphrorychus bicolor* Hrbst. 2004



Asiatischer  
Laubholzbockkäfer

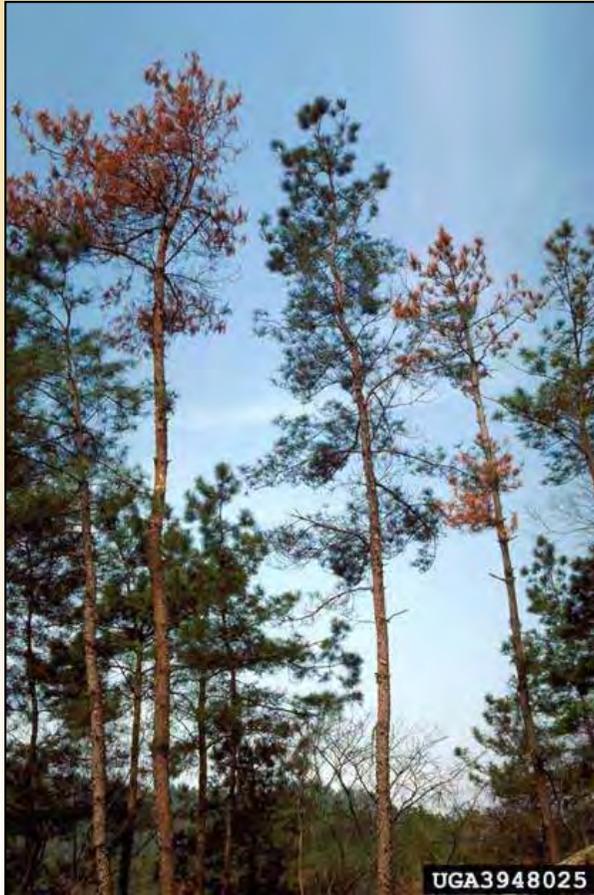


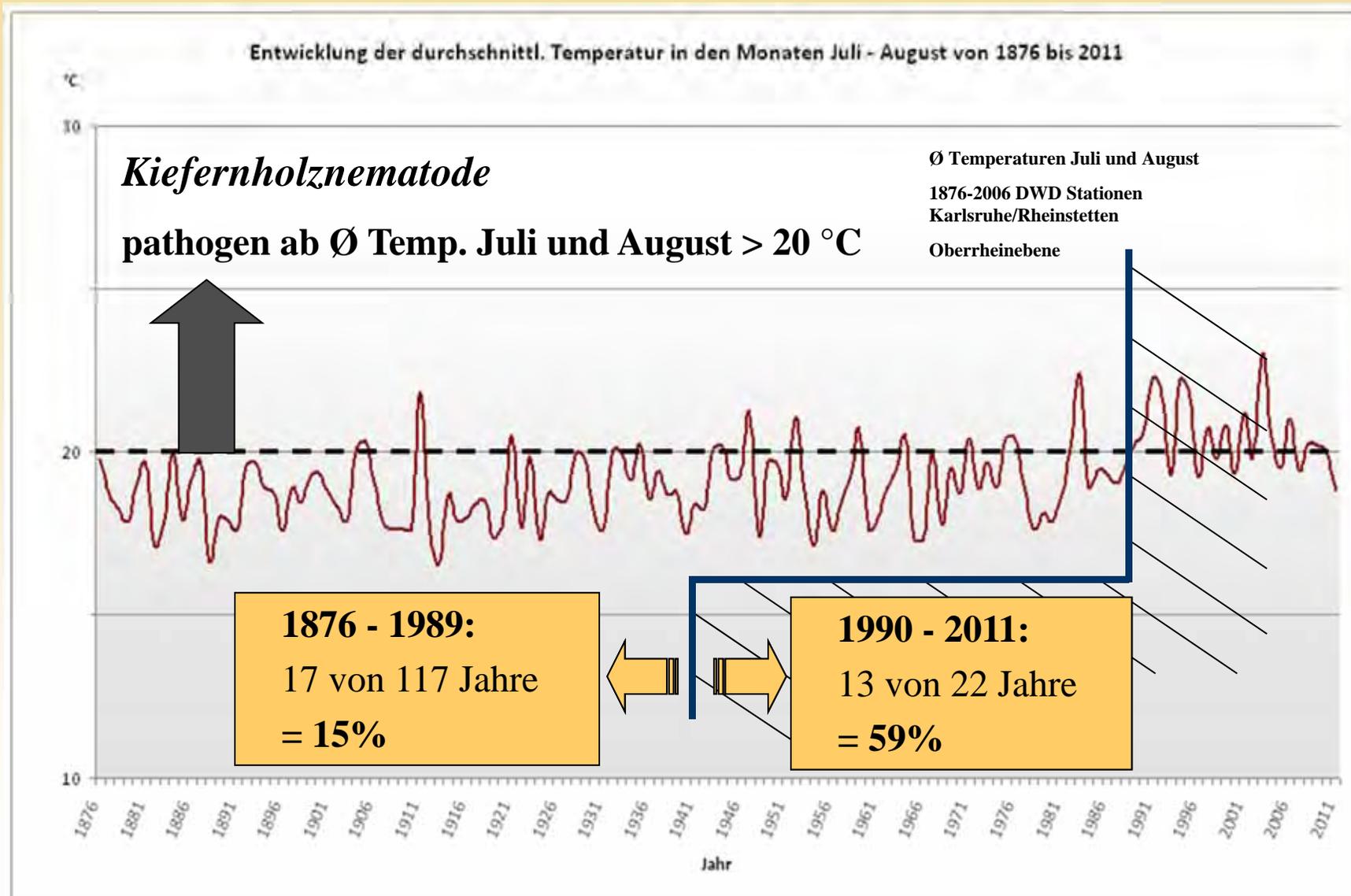
# Quarantäne



Kiefernholz-nematode

# Kiefernholz-nematode *Bursaphelenchus xylophilus*





# Populationsmodelle (Insektenentwicklung in Abhängigkeit von Klimadaten)

## 1) Kurzfristige Fernprognose mit Hilfe der Wettervorhersage

- Entwicklungsstadium: v.a. Raupenschlupf- und Käferflug

⇒ Optimierung der

a.) Überwachung (z.B. Borkenkäfer)

b.) Bekämpfung (z.B. Eichenschädlinge)

## 2) Langfristige Einschätzung der Schädlingentwicklung:

⇒ Wissenslücken, fehlende Parameter, Unsicherheiten



# Handlungsmöglichkeiten - 1

## Integrierter Waldschutz

### 1. Maßnahmen des Waldbaus

- standortsangepasste **Baumartenwahl** ⇐ Klimawandel
- vorsichtiger **Baumartenwechsel**, wo notwendig: Voranbau etc.
- **Baumartenmischung und vertikale Strukturen**: Risikostreuung
- Keine **übermäßigen Eingriffe** (Störung der Bestandesstruktur)
  
- Nach Möglichkeit **Produktionszeiträume verkürzen**
- (...)



## Handlungsmöglichkeiten - 2

### 2. Maßnahmen des Waldschutzes

- **Monitoring:**
  - ▶ Kontinuierliche und intensive Schädlingsüberwachung
  - ▶ Intensive Kontrollen vor Ort
- **Sanitärhiebe, Aufarbeitung und rechtzeitige Abfuhr**
  - ↻ Saubere Wirtschaft, Waldhygiene ↔ Totholz
  - ↻ Aufarbeitungsgrenzen, Schlagabraum, Resthölzer etc.
  - ↻ Lagerung und Abfuhr
- 💣\* **Einschlagszeitpunkt: kein regulärer Einschlag "im Saft"**
- **Fallweise Schädlingsbekämpfung mit Pflanzenschutzmitteln**
- **Quarantänemaßnahmen** - (...)



## Erforderliche Waldschutz-Projekte:

- (1) Implementierung eines  
(...) **Internet-basierten Online Melde- und Berichtssystem** zum Monitoring bzw. Schädlingsüberwachung und von  
(...) zu prüfen: Waldschutz-Korrespondenten bei den Forstbetrieben
- (2) Evaluierung und **Weiterentwicklung des Monitoring** und der Methoden zur Schädlingsüberwachung
- (3) Evaluierung und **Weiterentwicklung von Modellen** zur kurz- und langfristigen Fernprognose
- (4) Eingehende **Risikoanalysen** (Pest-Risk-Assessment)



- Entwicklung der Wirt-Parasit-Beziehungen im Klimawandel von entscheidender Bedeutung
- Forstleute und Waldbesitzende können mit geeigneten Maßnahmen viel bewirken
- Rahmenbedingungen für eine „saubere Waldwirtschaft“ besser als in den letzten Jahrzehnten





# Vielen Dank!



ForeStClim - Schadorganismen und abiotische Risikofaktoren im Klimawandel - Horst Delb und Joachim Block  
FAMF 04 und 11. September 2012  
Richard Pfalz

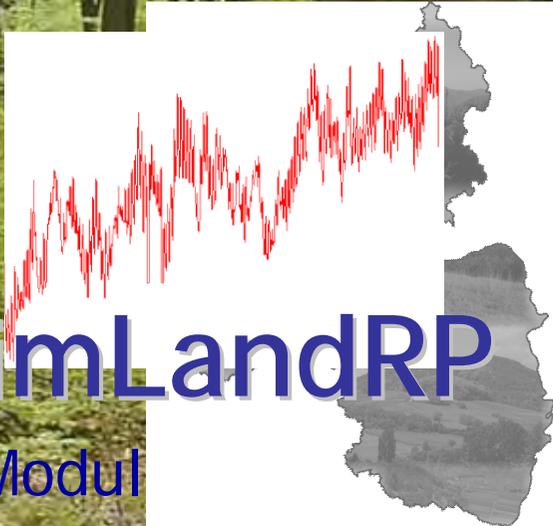




Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,  
ENERGIE UND  
LANDESPLANUNG

# Der Wald in Rheinland-Pfalz im Klimawandel



KlimLandRP

Modul

## Baumarteneignung und Waldwachstumstrends



# Projektstruktur KlimLandRP



# Ziele

Abschätzung der Waldentwicklung auf der Basis **regionaler Klimaprojektionen (bis 2100)** unter sich ändernden Standortbedingungen

Identifizierung der aktuellen und künftigen **Konfliktträume** bzw. Risikobereiche

Erarbeitung von  
**Planungsgrundlagen / Entscheidungsunterstützungshilfen**  
für eine künftige Waldnutzung



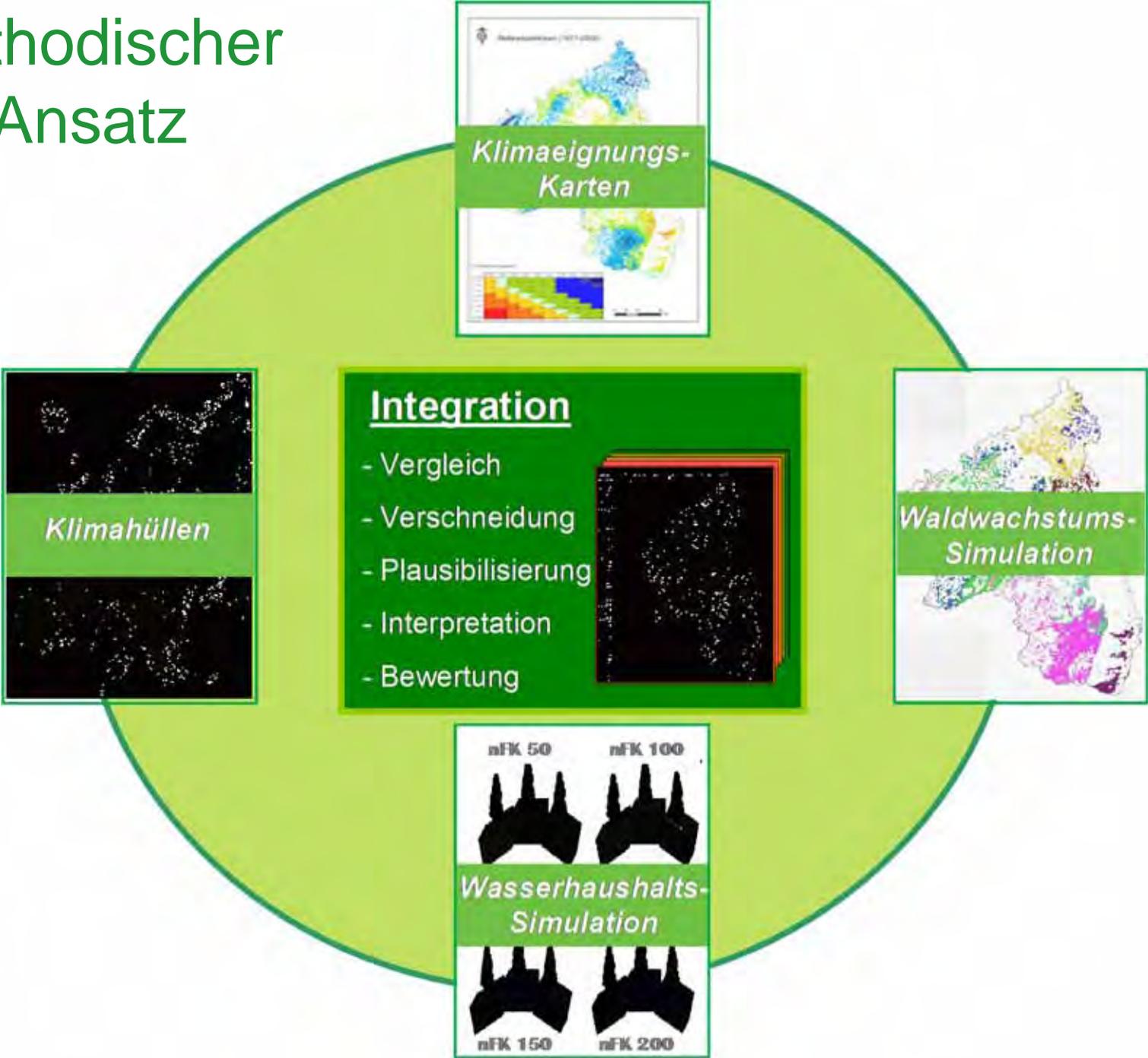
Risiko minimieren / streuen  
Anpassungsfähigkeit erhalten

# Forschungsfragen

---

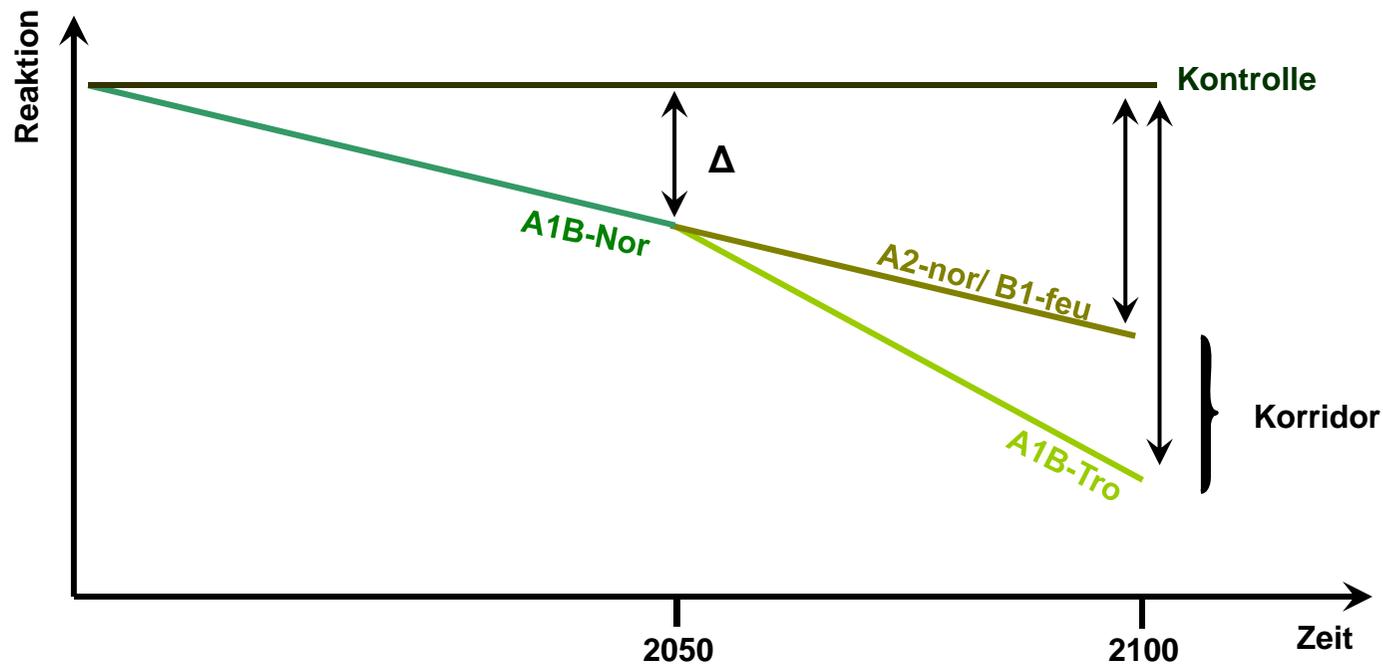
- I. Werden die Baumarten in Rheinland-Pfalz noch innerhalb der Grenzen ihrer natürlichen klimatischen Nische leben können?
- II. Wie könnte sich die klimatische Eignung der fünf rheinland-pfälzischen Hauptbaumarten verändern?
- III. Wie könnte sich die Wuchsleistung der rheinland-pfälzischen Hauptwaldtypen in den verschiedenen Waldlandschaften verändern?
- IV. Wie könnte sich in Rheinland-Pfalz die „Wasserverfügbarkeit“ für die Buche verändern?

# Methodischer Ansatz



# Emissionsszenarien und Klimaprojektionen

## Klimatischer KORRIDOR -> Ergebnisse KORRIDOR



„Best Case“  
vs.  
„Worst Case“

WETTREG<sub>2006</sub>



# I. Baumarten Bio-Klimahüllen

nach Kölling et al. (2007)

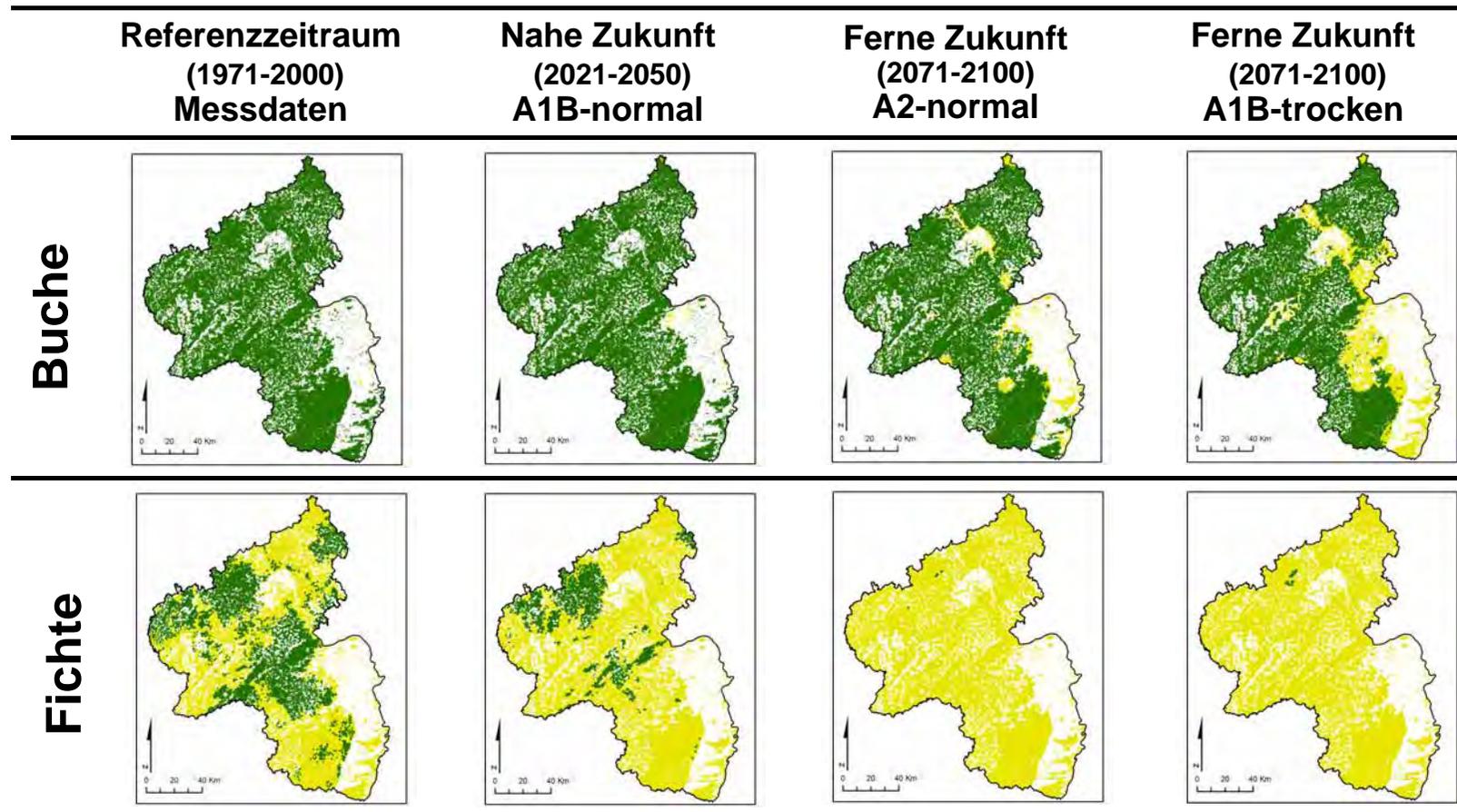
Klimatische  
Bedingungen  
in den  
natürlichen  
Verbreitungsgebieten  
der  
Baumarten



# I. Baumarten Bio-Klimahüllen cont.

## Klimatische Nische in RLP

Temperatur und Niederschlag (Vegetationszeit / meteorologischer Sommer / Jahr)





# II. Klima- Baumarteneignungskarten

nach Kölling et al. (2008)

## Waldklimamuster

		mittlere Niederschlagssumme in der Vegetationszeit (mm)							
		180-210	210-240	241-260	261-300	301-340	341-380	381-420	421-460
mittlere Jahrestemperatur (°C)	6-6,4	01	11	21	31	41	51	61	71
	6,5-6,9	02	12	22	32	42	52	62	72
	7-7,4	03	13	23	33	43	53	63	73
	7,5-7,9	04	14	24	34	44	54	64	74
	8-8,4	05	15	25	35	45	55	65	75
	8,5-8,9	06	16	26	36	46	56	66	76
	9-9,4	07	17	27	37	47	57	67	77
	9,5-9,9	08	18	28	38	48	58	68	78
	10-10,4	09	19	29	39	49	59	69	79
	10,5-10,9	010	110	210	310	410	510	610	710
	11-11,4	011	111	211	311	411	511	611	711
	11,5-11,9	012	112	212	312	412	512	612	712
	12-12,4	013	113	213	313	413	513	613	713
	12,5-13,1	014	114	214	314	414	514	614	714

Heute

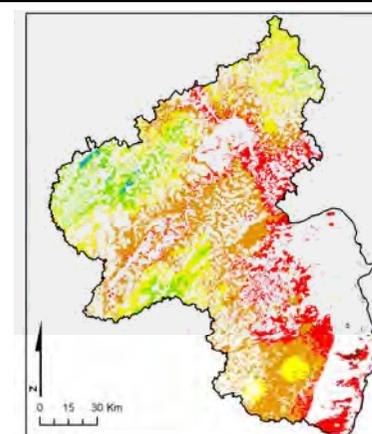
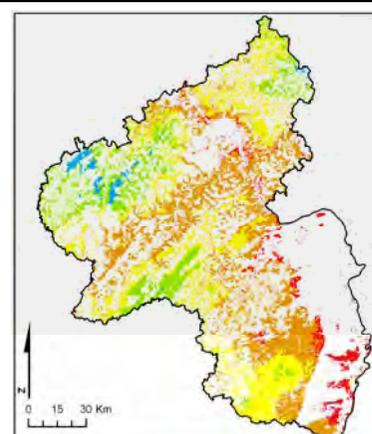
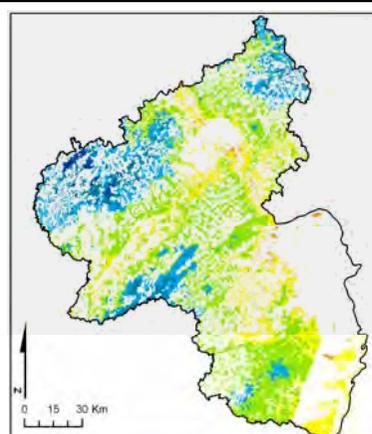
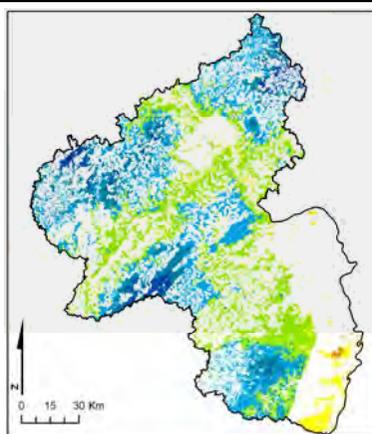
Zukunft

Referenzzeitraum  
(1971-2000)  
Messdaten

Nahe Zukunft  
(2021-2050)  
A1B-normal

Ferne Zukunft  
(2071-2100)  
A2-normal

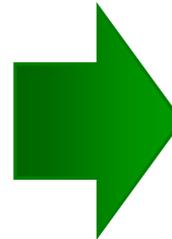
Ferne Zukunft  
(2071-2100)  
A1B-trocken



# Methodik Klima-Baumarteneignungskarten

Buche  
Fichte  
Traubeneiche  
Kiefer  
Douglasie

Vorkommen  
Bonität



**Klimaeignungsmatrix**

## ...am Beispiel der Fichte

Fichte		mittlere Niederschlagssumme in der Vegetationszeit [mm]						
		180-240	241-260	261-300	301-340	341-380	381-420	421-460
mittlere Jahrestemperatur [°C]	6-6,4					++	++	
	6,5-6,9	-	+-	+	+	++	++	++
	7-7,4	-	+-	+	+	++	++	++
	7,5-7,9	-	+-	+	+	++	++	++
	8-8,4	-	-	+-	+	++	++	++
	8,5-8,9	-	-	+-	+	+	++	++
	9-9,4	-	-	+-	+-	+	++	++
	9,5-9,9	-	-	+-	+-	+	+	+
	10-10,4	--	-	-	+-	+-	+	+
	10,5-10,9	--	--	-	+-	+-	+-	+-
	11-13.1							

- ++ Sehr gut geeignet
- + Gut geeignet
- +- Geeignet
- Bedingt geeignet
- Nicht geeignet

Vorkommen	Ertragsklasse
sehr hoch	I (I,5) und besser
hoch	I,5 (II)
mittel	II (II,5)
gering	II,5 (III)
sehr gering	III und schlechter

# II. Klima-Baumarteignungskarten cont.

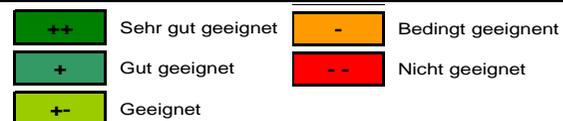
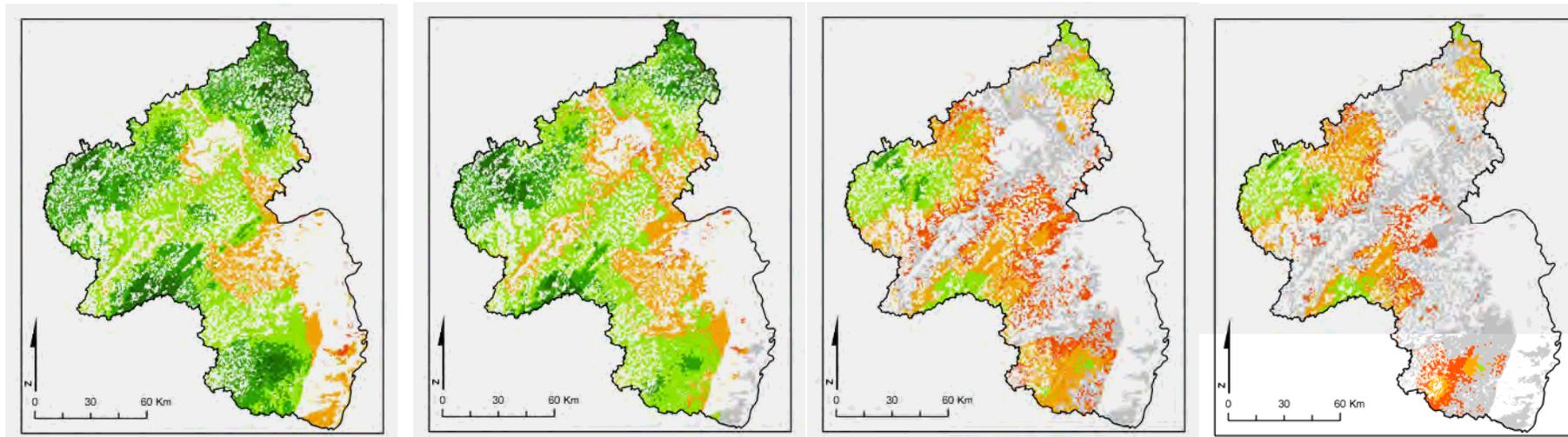
## Fichte Klimaeignungskarten

Referenzzeitraum  
 (1971-2000)  
 Messdaten

Nahe Zukunft  
 (2021-2050)  
 A1B-normal

Ferne Zukunft  
 (2071-2100)  
 A2-normal

Ferne Zukunft  
 (2071-2100)  
 A1B-trocken





# II. Klima-Baumarteignungskarten cont.

## Fichte Klimaeignungsmatrix - Szenario

Fichte		mittlere Niederschlagssumme in der Vegetationszeit [mm]							
		180-210	210-240	241-260	261-300	301-340	341-380	381-420	421-460
mittlere Jahrestemperatur [°C]	6-6,4	-	-	-	+-	+	++	++	++
	6,5-6,9	-	-	-	+-	+	++	++	++
	7-7,4	-	-	-	+-	+	+	++	++
	7,5-7,9	-	-	-	+-	+	+	++	++
	8-8,4	--	-	-	-	+-	+	++	++
	8,5-8,9	--	-	-	-	+-	+	+	++
	9-9,4	--	-	-	-	+-	+-	+	++
	9,5-9,9	--	-	-	-	+-	+-	+	+
	10-10,4	--	--	--	-	-	+-	+-	+
	10,5-10,9	--	--	--	--	-	+-	+-	+-
	11-11,4	--	--	--	--	-	-	+-	+-
	11,5-11,9	--	--	--	--	-	-	+-	+-
	12-12,4	--	--	--	--	--	-	-	+-
12,5-13,1	--	--	--	--	--	-	-	-	

	Vorkommen	Ertragsklasse
++	Sehr gut geeignet	sehr hoch I (I,5) und besser
+	Gut geeignet	hoch I,5 (II)
+-	Geeignet	mittel II (II,5)
-	Bedingt geeignet	gering II,5 (III)
--	Nicht geeignet	sehr gering III und schlechter



# II. Klima-Baumarteignungskarten cont.

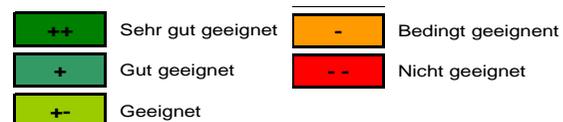
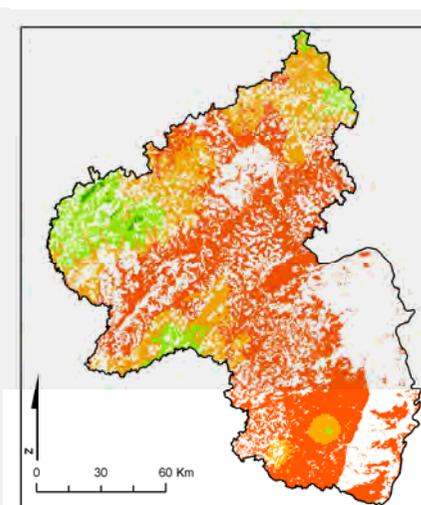
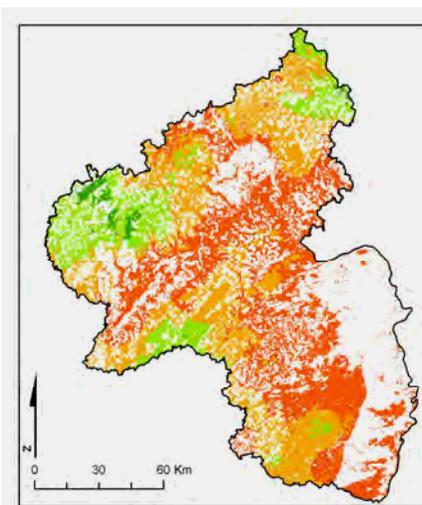
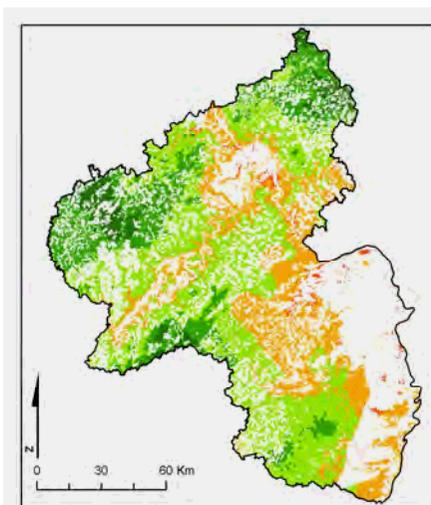
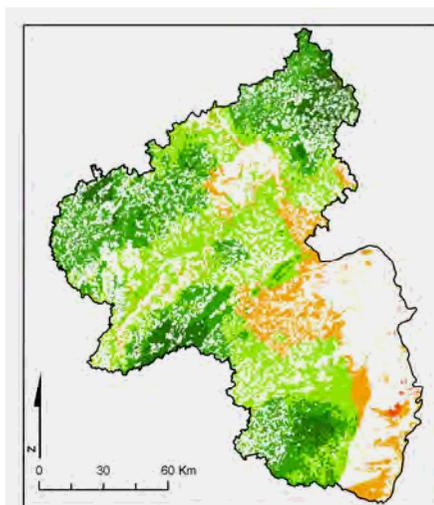
## Fichte Klimaeignungskarten - Szenario

Referenzzeitraum  
(1971-2000)  
Messdaten

Nahe Zukunft  
(2021-2050)  
A1B-normal

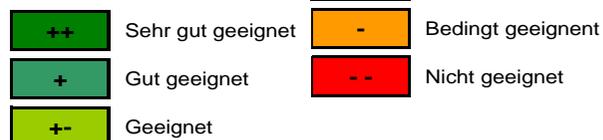
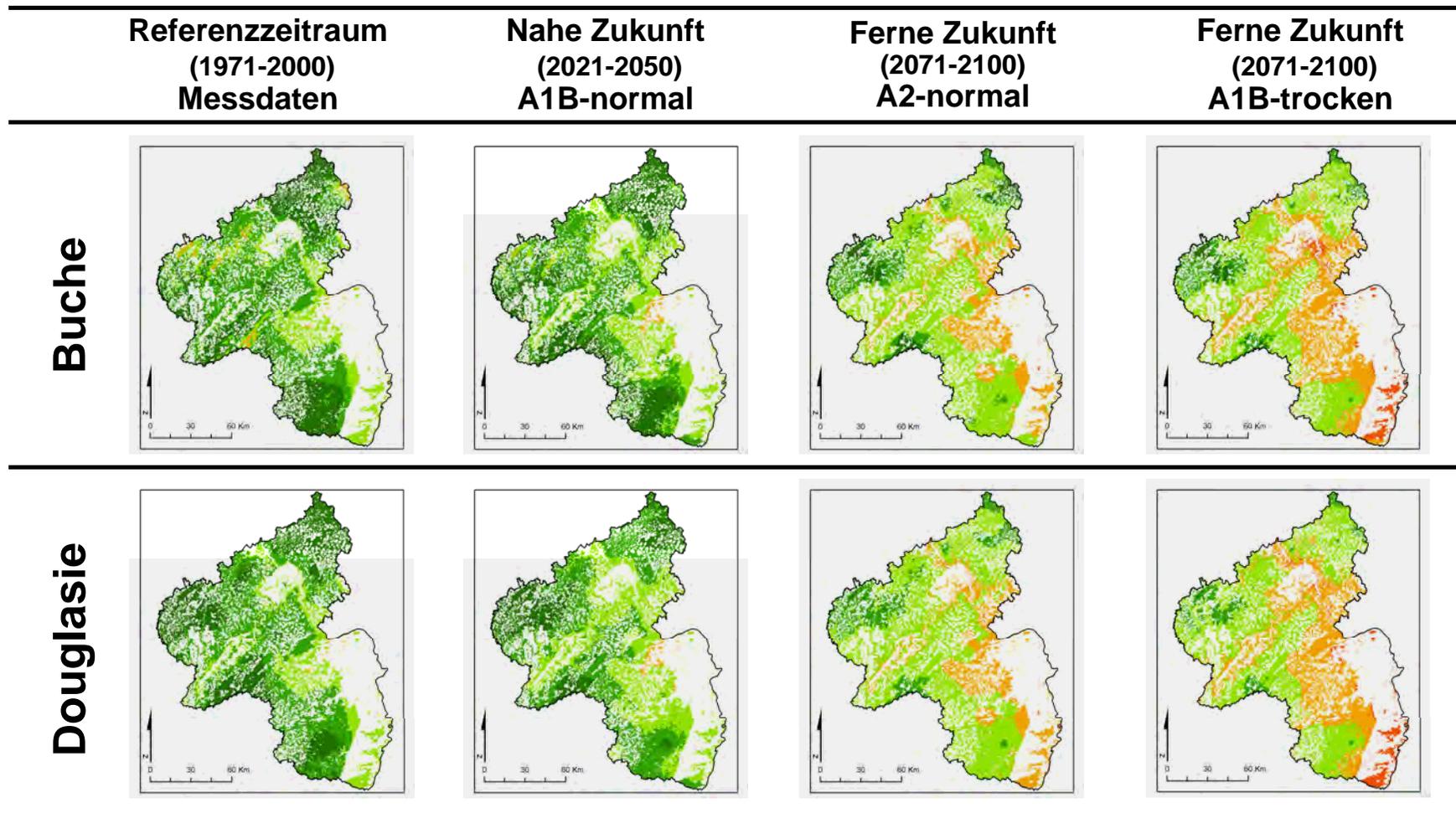
Ferne Zukunft  
(2071-2100)  
A2-normal

Ferne Zukunft  
(2071-2100)  
A1B-trocken



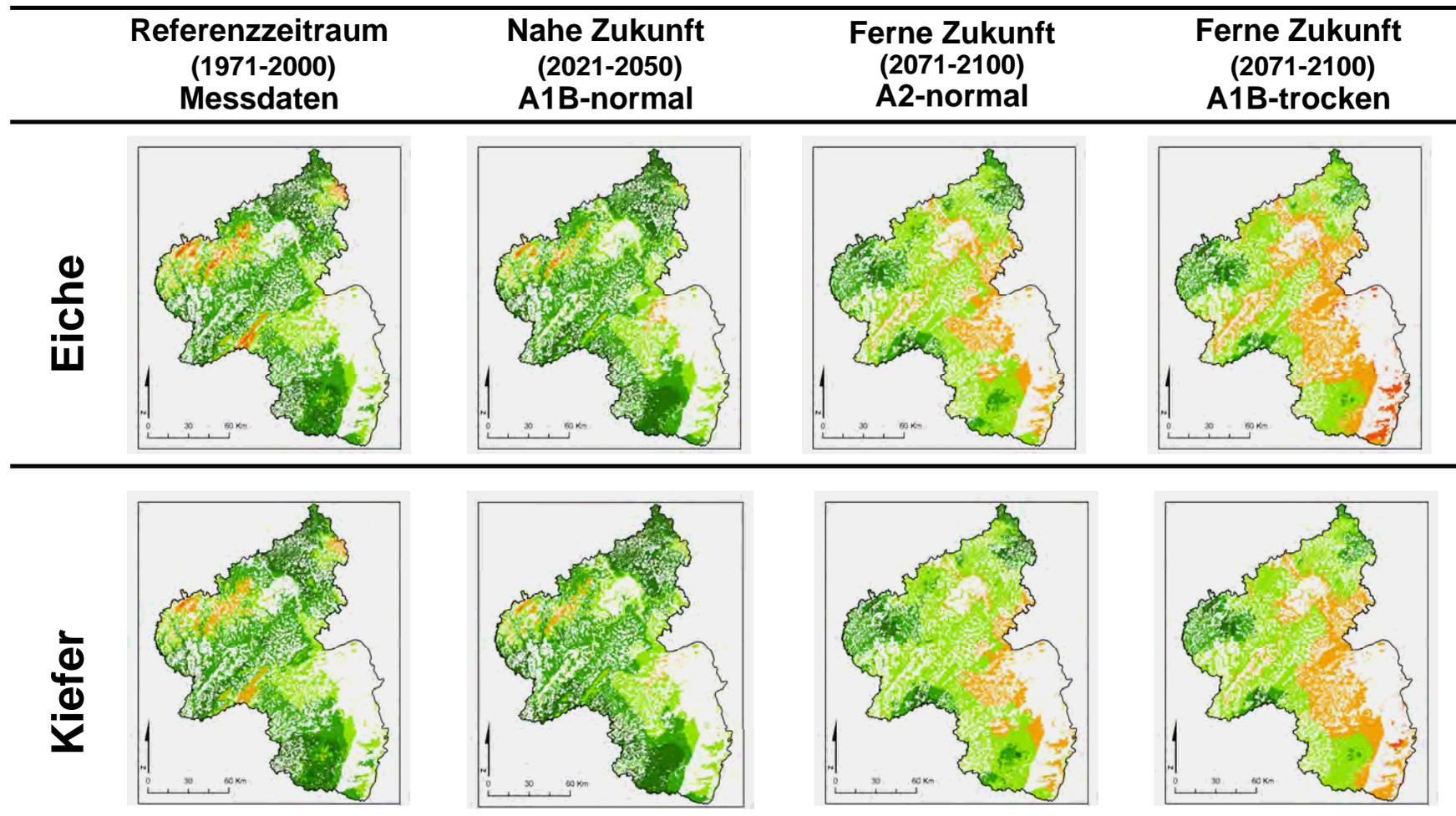


# II. Klima-Baumarteignungskarten cont.





# II. Klima-Baumarteignungskarten cont.



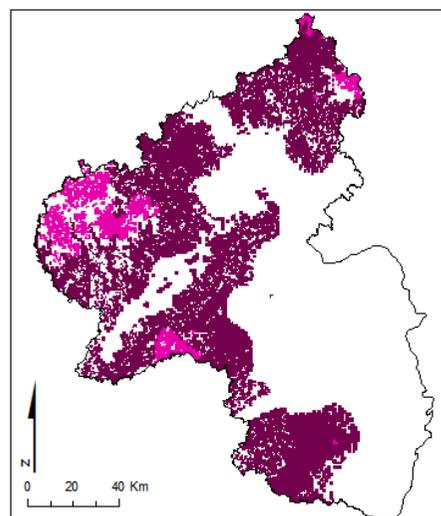
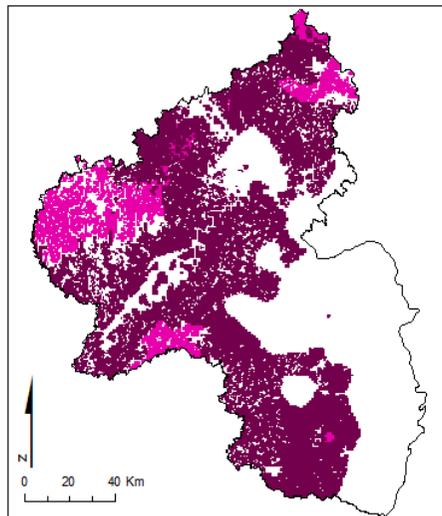
## II. Klima- Baumarteneignungskarten

### FAQ: Douglasie als Ersatz für die Fichte?

In welchen Regionen präsentiert die Douglasie eine bessere klimatische Eignung als die Fichte, bezogen auf den Klimakorridor in der fernen Zukunft (2071-2100)?

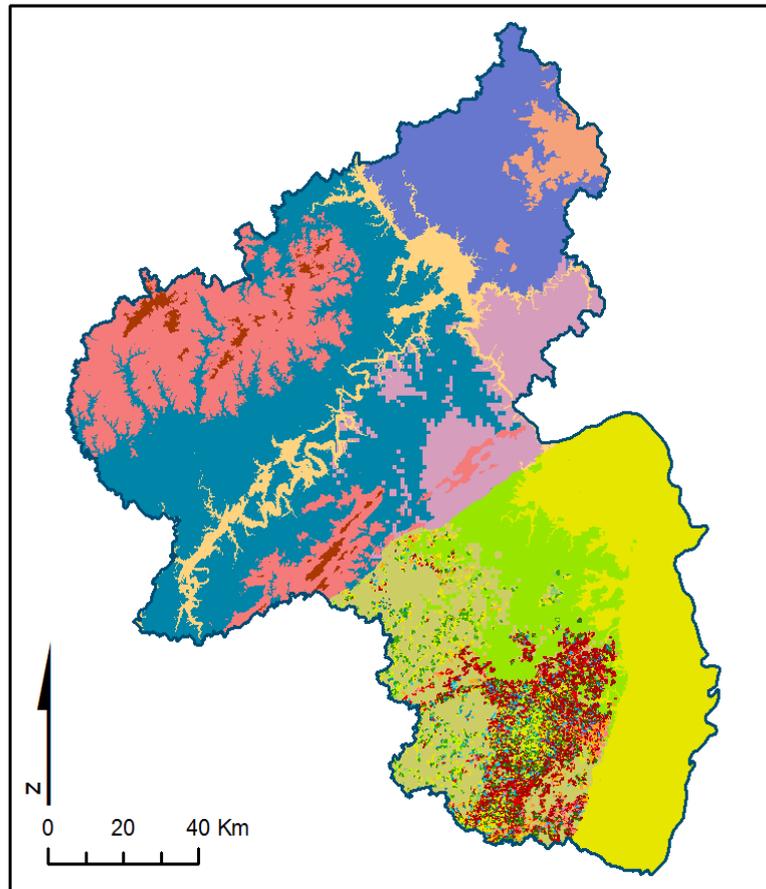
Ferne Zukunft  
 (2071-2100)  
 A2-normal

Ferne Zukunft  
 (2071-2100)  
 A1B-trocken



- Douglasie +/- und Fichte +
- Douglasie +/- und Fichte -/-

# III. Waldwachstumssimulation



Forstliche Landschaftsräume und Waldtypen

 Kiefer - Buche	 Buche - Kiefer	 Eiche - Buche
 Kiefer - Fichte	 Buche - Eiche	 Fichte - Buche
 Kiefer - Douglasie	 Buche - Lärche	 Fichte - Kiefer
 Kiefer - Eiche	 Buche - Fichte	

✓ **Typisierung der rheinland-pfälzischen Landschaften**

- Wärmestufe
- Niederschlag

**heutige und künftige (!) Verhältnisse**

- Nord / Süd

✓ **Typisierung der rheinland-pfälzischen Wälder**

- Bestandestypen (Beispiel Landschaft 4)  
(Kollin-Süd-Niederschlagsreich)



**repräsentative Waldlandschaftseinheiten**



# III. Waldwachstumssimulation cont.

Waldtypen pro Landschaft

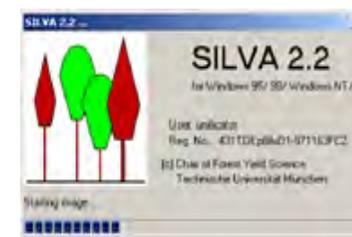


Klimasensitive  
Waldwachstumssimulation

## Waldwachstumsmodell-Kopplung



Prozess basiertes Modell



empirisches Modell  
(Management orientiertes)

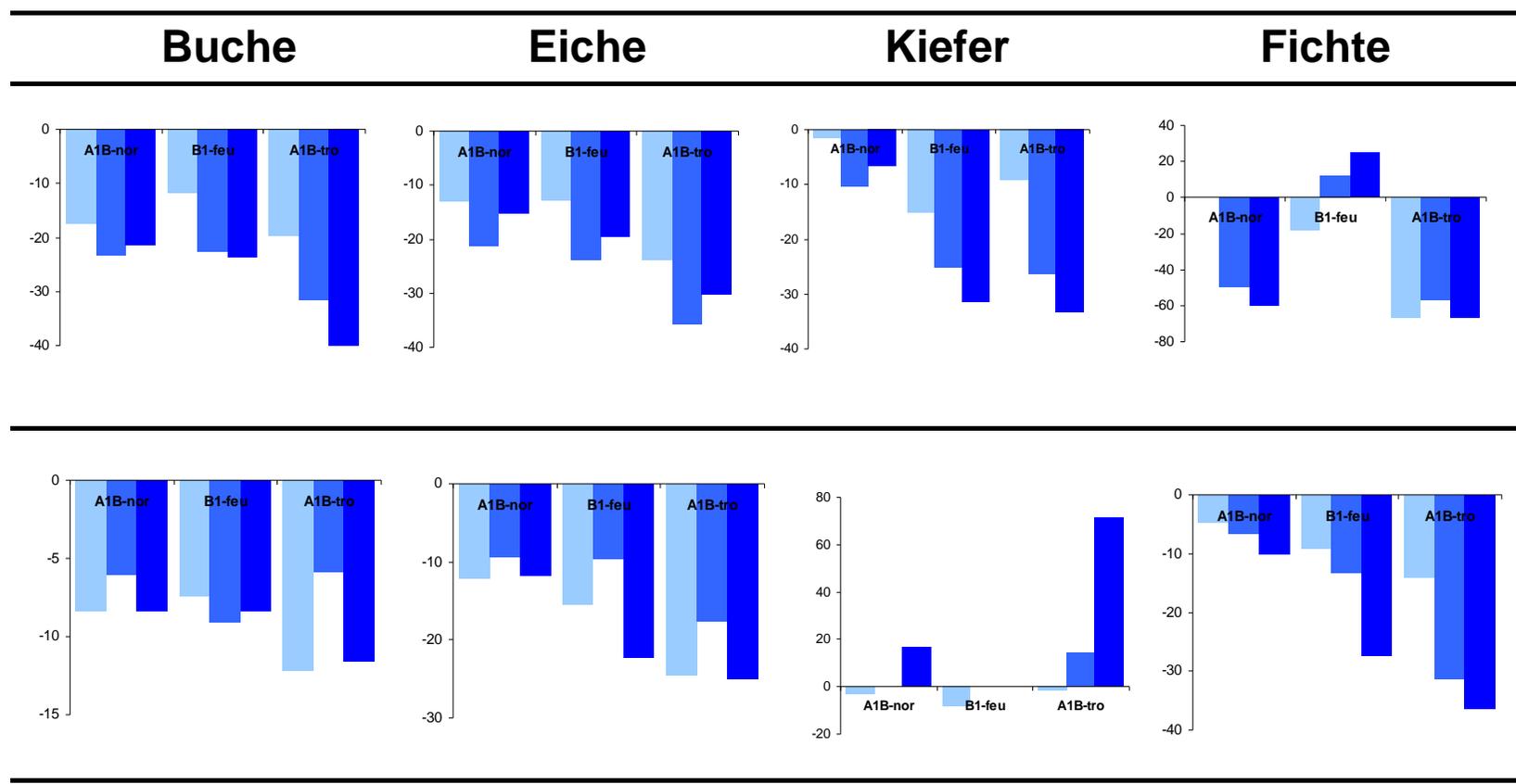


BA Reaktion

# III. Waldwachstumssimulation cont.

## BALANCE Ergebnisse: physiologische Reaktion der Hauptbaumarten

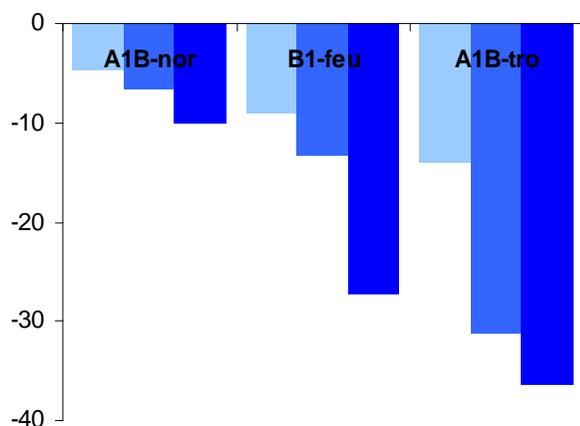
Veränderung durchschnittlicher Höhenzuwachs [%]



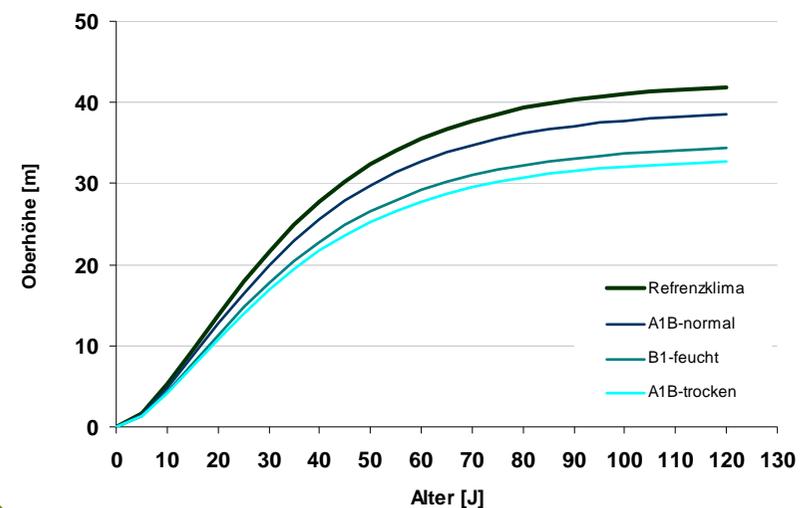
■ jung (30)   
 ■ mittel alt (90)   
 ■ alt (130)   
 ■ jung (30)   
 ■ mittel alt (70)   
 ■ alt (110)



### III. Waldwachstumssimulation cont.



Veränderung des durchschnittlichen Höhenzuwachses [%] am Beispiel eines Fichtenbestandes der Landschaft 4



Veränderung des Höhenwachstumspotenzials [m] am Beispiel eines jungen Fichtenbestandes der Landschaft 4

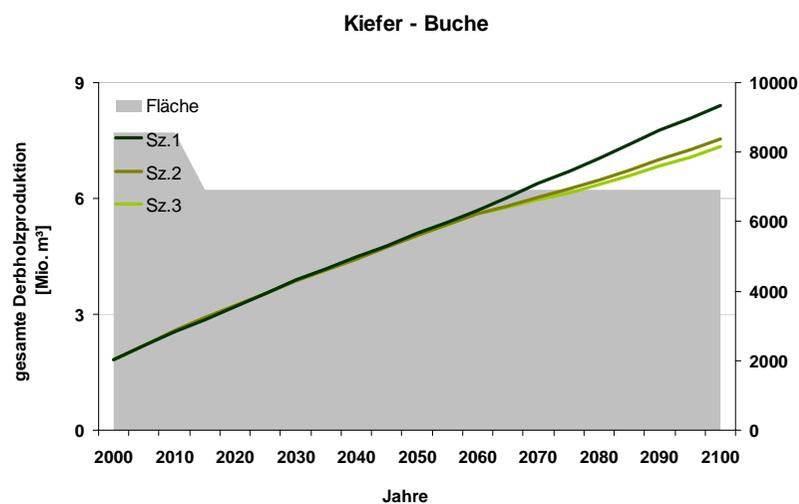
Chapman-Richards-Funktion  
 $h_o = A \cdot (1 - e^{-k \cdot t})^p$



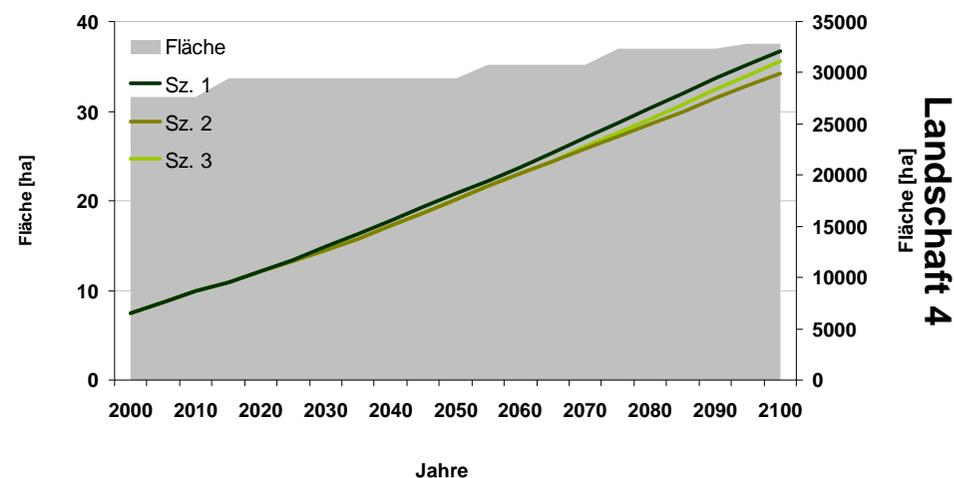
# III. Waldwachstumssimulation cont.

## SILVA Ergebnisse: gesamte Derbholzproduktion nach Bestandstyp

Landschaft 1



Kiefer - Buche



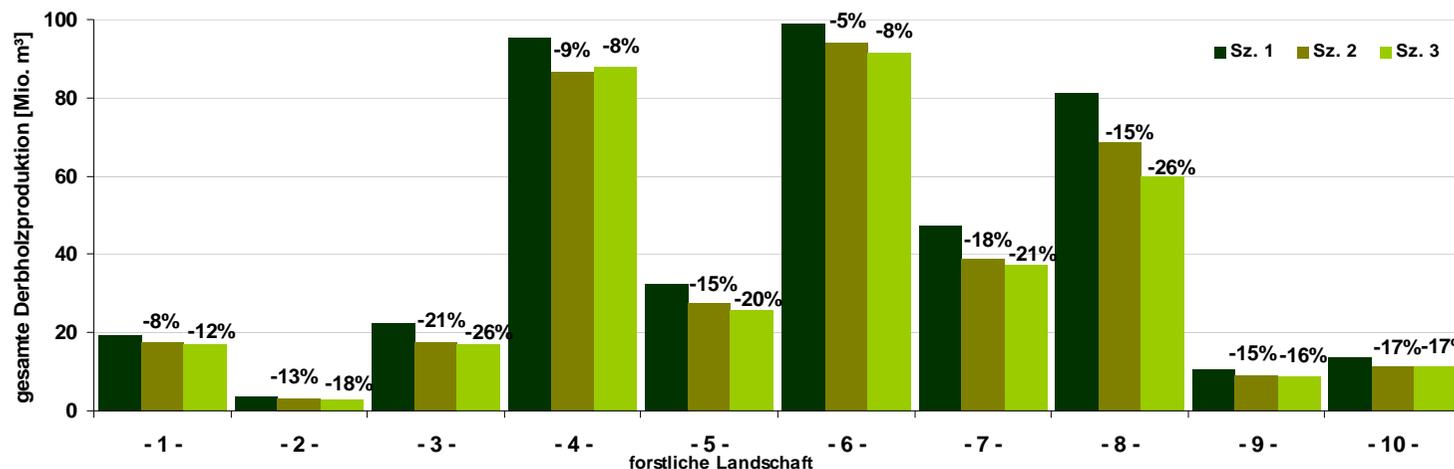
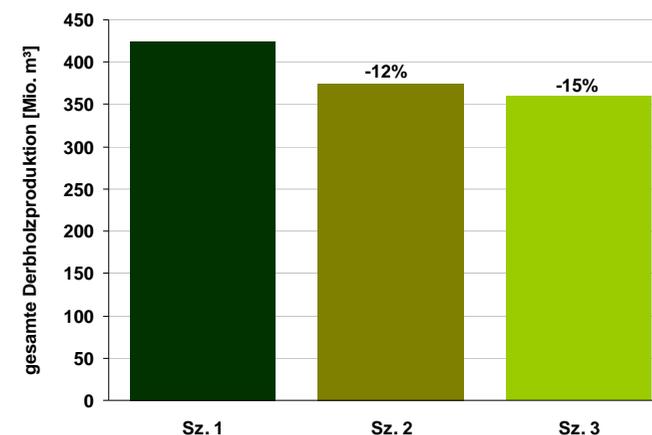
Landschaft 4

- Ist/Referenz
- B1 feucht
- A1B trocken



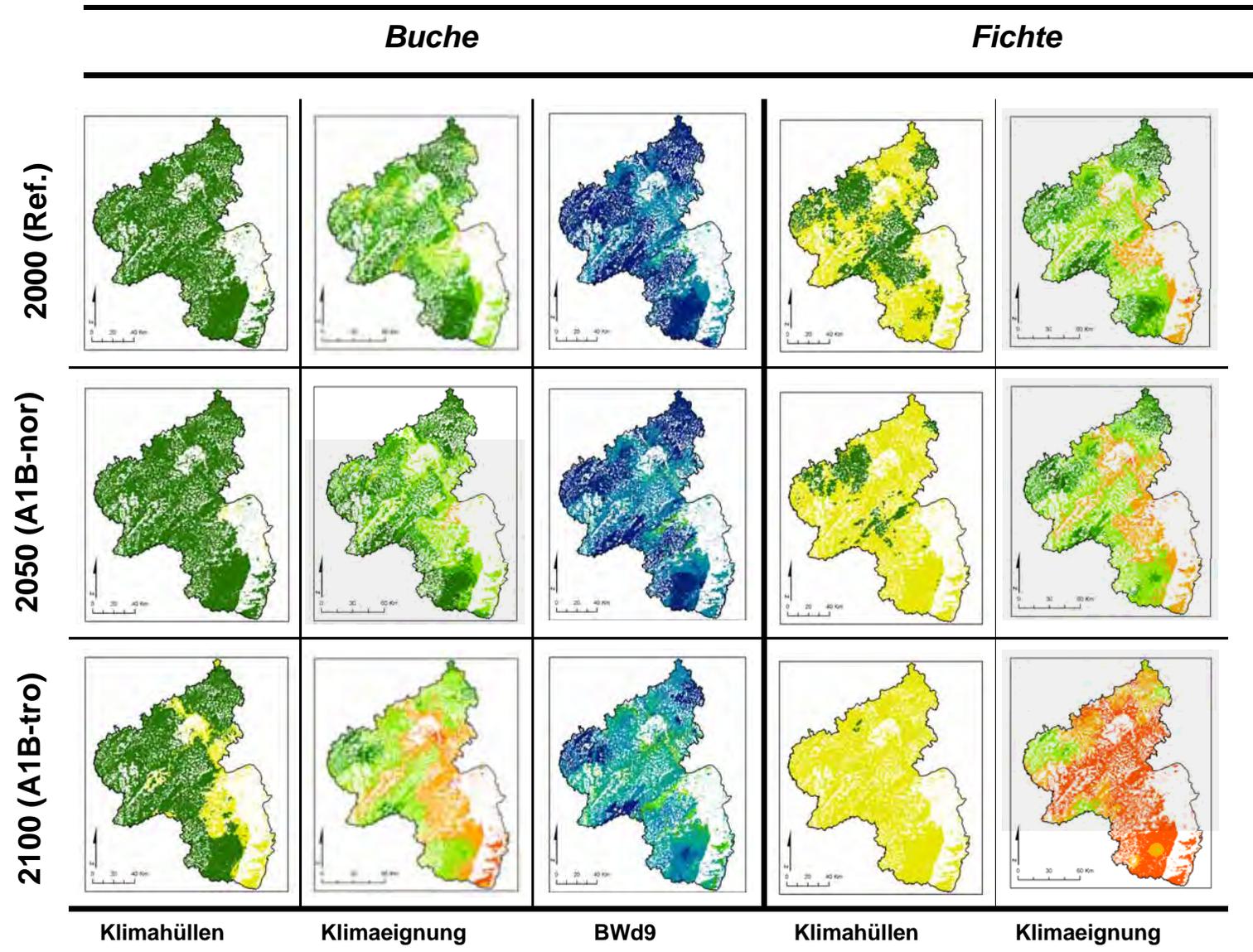
# III. Waldwachstumssimulation cont.

Entwicklungstrends pro Klimaszenario,  
Landschaft,  
Bestandestyp,  
Baumart



- Ist/Referenz
- B1 feucht
- A1B trocken

# Ergebnisse: Integration - Planungsgrundlagen



# Schlussfolgerungen und Anpassungsoptionen

## Methodenvielfalt



- Ergebnisse sind mit Unsicherheit verbunden
- Eingesetzte Methoden haben Stärken und Schwächen
- Anwendung verschiedener Methoden führt zu vergleichbaren Ergebnissen – erhöht die Belastbarkeit der Aussagen

## Risiken & Chancen



- Mögliche Wirkungen des Klimawandels auf den Wald werden **regionalspezifisch** sein!
  - **große Flusstäler, Leelagen des Saar-Nahe-Berglandes u. Haardtgebirge:**  
Abnahme der klimatischen Eignung und des Ertragspotentials der HauptBA
  - **höhere Lagen der Mittelgebirge:**  
Zunahme der klimatischen Eignung und möglicherweise des Ertragspotentials von Buche, Eiche und Kiefer
- Ist die **Douglasie** ein Ersatz für die **Fichte**?
- künftige Eignung der Douglasie in allen Landschaften geringer als heute, aber meist besser als die Fichte
- keine uneingeschränkte Ersatzbaumart für die Fichte

# Schlussfolgerungen und Anpassungsoptionen

## Risiko Streuung



- auf Landschaftsebene unterschiedliche Waldtypen zur Risikostreuung
- **vielfältige Baumarten-Mischung** aus „geeigneten“ Baumarten bzw. Herkünften und örtliches Expertenwissen
- mögliche Wirkungen des Klimawandels werden überlagert von **waldbaulichen Verfahren** und natürlichen Prozessen

## Lokale Baumarteneignung



- **lokalspezifische Eignungsbewertungen** und das örtliche **Expertenwissen** müssen einbezogen werden
- Eignungskarten sind regionale Risikoeinschätzungen und dienen der Entscheidungsunterstützung

An aerial photograph of a vast, dense forest with vibrant green foliage. A narrow, light-colored path or streambed winds through the center of the forest. In the background, rolling hills and mountains are visible under a hazy sky. A semi-transparent grey rectangular box is centered over the path, containing the word "Danke" in white text.

Danke



# Bodenwasser- und Stoffhaushalt unter dem Einfluss klimatischer Veränderungen

Dr. Joachim Block, FAWF, FB  
Waldmonitoring und Umweltvorsorge

Seminar 2.4.9

04. und 11.09.2012

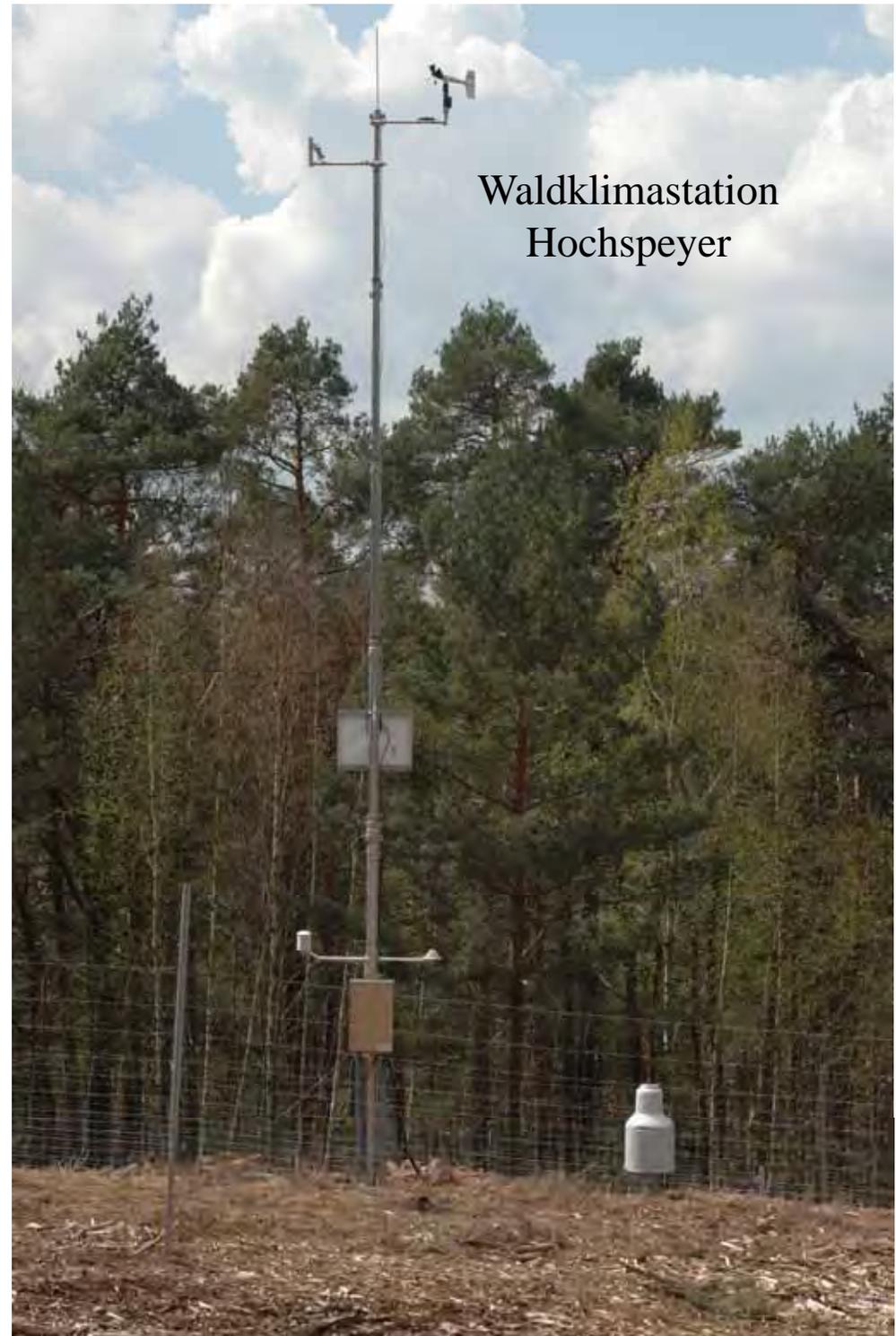
Klimawandel in Rheinland-Pfalz – Chancen und Risiken für unsere Wälder:



# **Wasserverfügbarkeit:**

- **Wachstum und Produktivität**
  - **Vitalität**
  - **Kohlenstoffspeicherung**
  - **Bioelement- und Nährstoffhaushalt**
- 
- **Wasserhaushaltsuntersuchungen seit Mitte der 1980er Jahre integraler Bestandteil des forstlichen Umweltmonitorings**
  - **Seit 2008 (EU ForeStClim) Einbeziehung Klimaprojektionen für Zukunftszeiträume**

# Waldklimastationen ([www.am.rlp.de](http://www.am.rlp.de))



# Wasserhaushaltssimulationen

- Prozessorientierte numerische Wasserhaushaltsmodelle (COUPMODEL; LWF BROOK 90)
- Eingesetzt an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen und BZE-Raster
- An Untersuchungsflächen (ForUm-Level II, ForeStClim Merzalben) kalibriert und validiert mit Tensions- und Wassergehaltsmessungen in verschiedenen Bodentiefen

**Aktuelle Veröffentlichungen der FAWF <http://www.fawf.wald-rlp.de/index.php?id=2601>:**

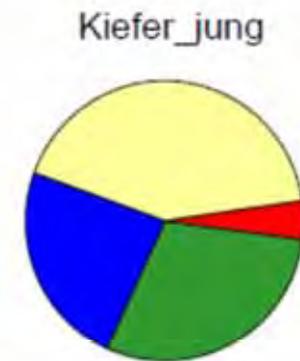
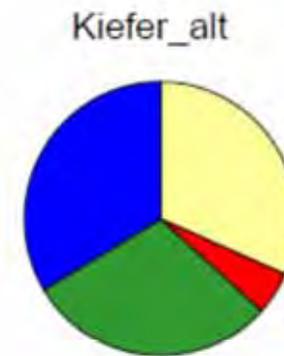
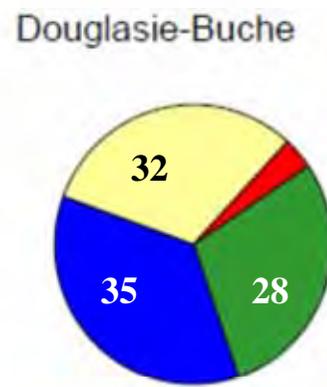
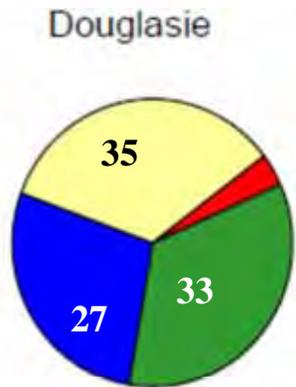
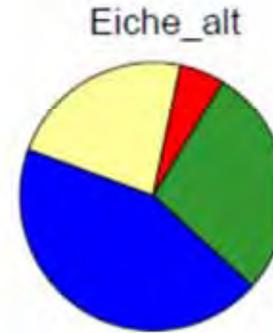
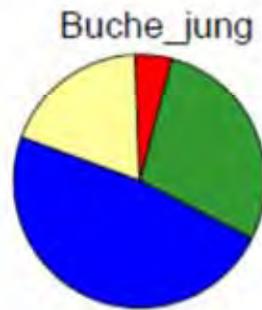
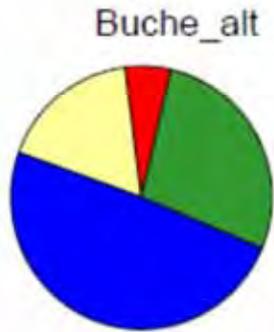
**Block und Gauer 2012 (BZE-Bericht)**

**Karl et al. 2012a (Wasserhaushaltsuntersuchungen)**

**Karl et al. 2012b (Wasserhaushalt und Klimawandel)**

# Wasserhaushalt, ForeStClim-Flächen, Ø 1988-2010

Bu, Ei: Interzeption: 18-25%; Sickerung: 40-50%



Dou, Ki: Interzeption: 32-43%; Sickerung: 23-35%

**Interzeption**

**Evaporation**

**Transpiration**

**Sickerung**

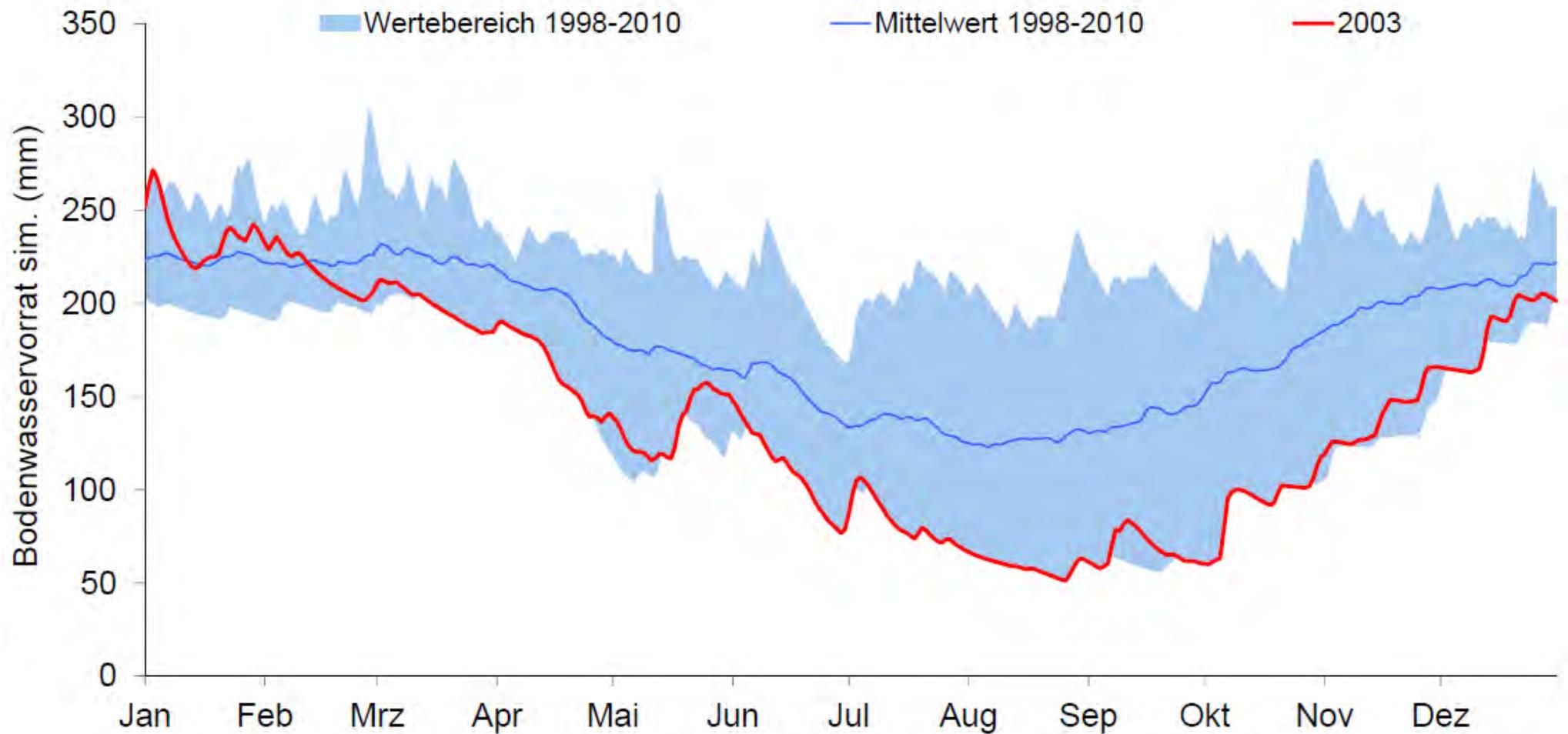
Anteile vom Freilandniederschlag

(Karl et al. 2012c)

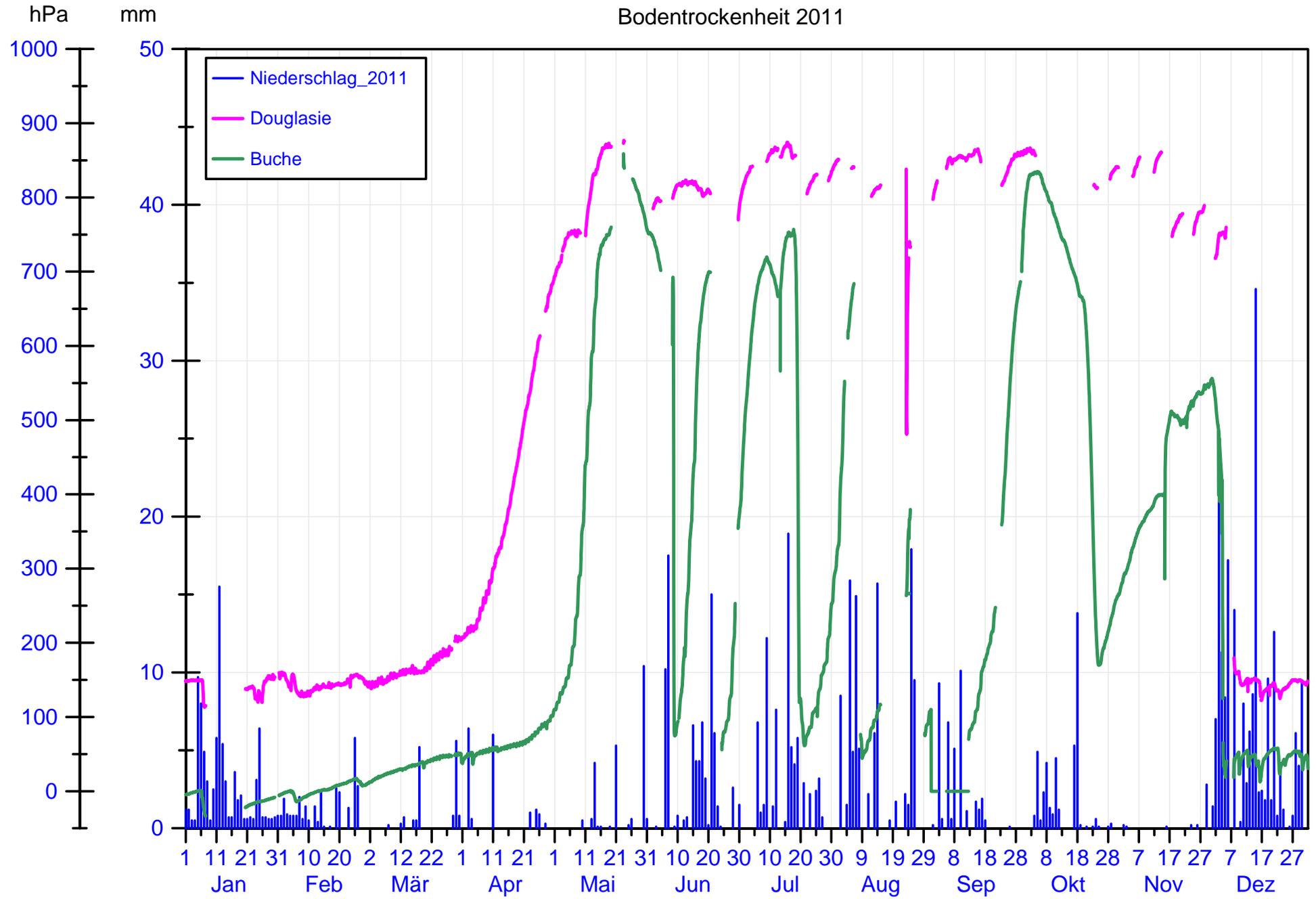
# Bodenwasservorrat (l/m<sup>2</sup>) im Wurzelraum Eiche (alt)

Merzalben **Jahresverlauf**

(Karl et al. 2012a)



# Bodentrockenheit 2011



# Kennwerte Trockenstress

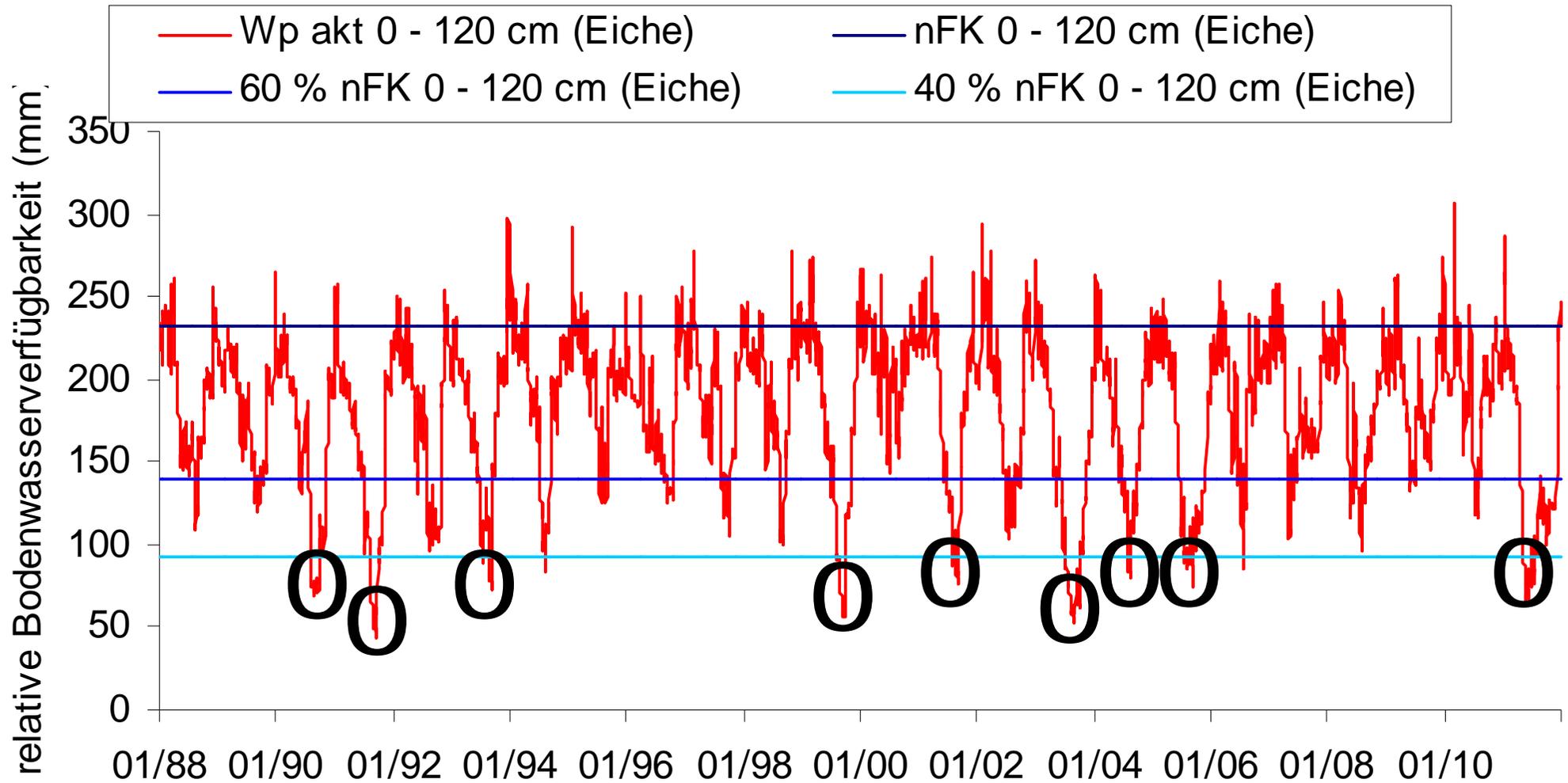
## ➤ Relative Bodenwasserverfügbarkeit (nFK40%)

Anzahl der Tage, an denen der (pflanzenverfügbare) Bodenwassergehalt weniger als 40% des maximal im Wurzelraum speicherbaren Wasservorrats beträgt

## ➤ Transpirationdifferenz (Tdiff)

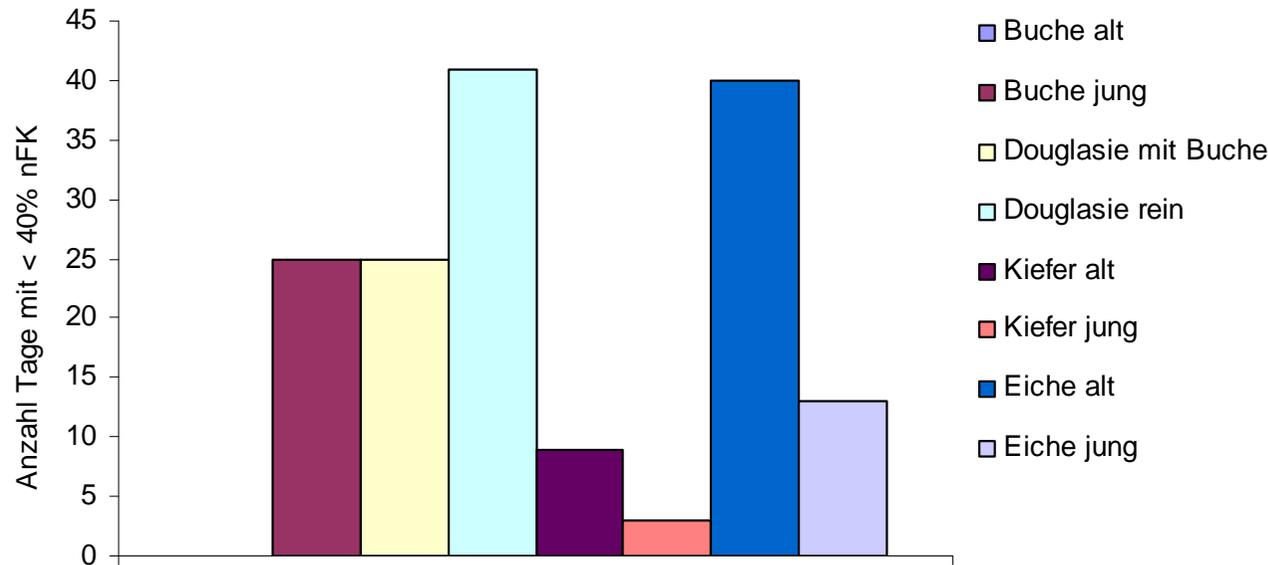
Differenz zwischen potenzieller (nicht durch Bodentrocknis eingeschränkter) und realer (gegebenenfalls durch Bodentrocknis eingeschränkter) Transpiration (mm/Tag in Vegetationszeit)

# Bodenwasservorrat (l/m<sup>2</sup>) im Wurzelraum Eiche (alt) Merzalben **Verlauf 1988 bis 2011**

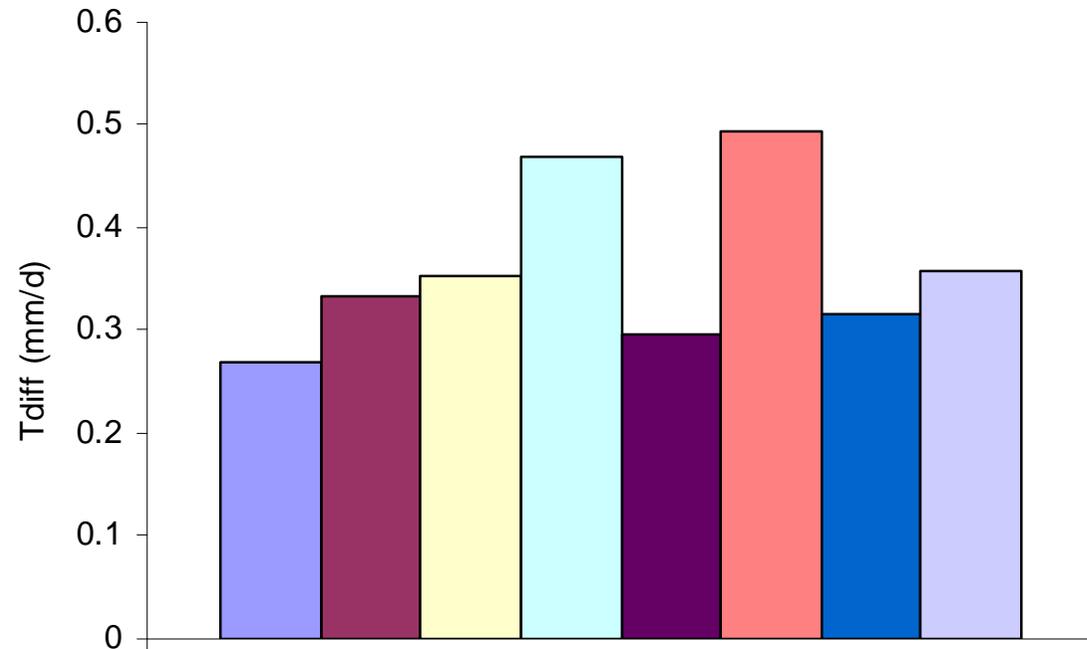


(Karl et al. 2012d)

# Vergleich Trockenstresskennwerte ForeStClim Merzalben



(Karl et al. 2012c)



## Befunde:

Buche deutlich geringere Anzahl der Tage mit nFK40% und deutlich geringere Tdiff als Douglasie

**Aber** (Befunde der Saftflussmessungen und physiologischen Untersuchungen durch Geobotanik Uni Trier im ForeStClim Projekt Merzalben; Bögelein et al. 2012):

- Douglasie deutlich bessere Regulation der Spaltöffnungen (als Buche)
- Photosynthese auch bei Bodentrockenheit
- Erheblich längere Vegetationszeit
- Höhere Wassernutzungseffizienz (WUE)
- Buche verdunstet Wasser gegebenenfalls über Schädigungsgrenze hinaus (Abwurf grüner Blätter 2003)

Fazit:

- Douglasie trocknet den Boden stärker aus als Buche, aber eine erhöhte Trockenstressgefährdung lässt sich hieraus nicht ableiten
- Vorsicht bei Interpretation von Trockenstresskennwerten!

**Untersuchungsareal Merzalben im Sommer 2003: bereits im August meist grün herabgefallene Buchenblätter**



# Einfluss Klimawandel auf Wasserhaushalt

- Fülle von auf verschiedenen Emissionsszenarien, Global- und Regionalmodellen basierenden Klimaprojektionen
- Unterscheiden sich erheblich in Darstellungen des möglichen, zukünftigen Klimas

⇒ Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsanalyse Klimaszenarien für ForeStClim Untersuchungsareal  
Merzalben (C20 zu Z2) (Karl et al. 2012c)

	LT				FNS			LF			GS			WS		
	Jahr	WHJ	SHJ		Jahr	WHJ	SHJ									
C41	4,2	4,4	4,0	0	13	-10		1	4	-2	-2	-12	1	-4	-5	-2
DMI_ECHAM5	2,0	2,5	1,6	12	16	7		1	1	2	-7	-14	-5	2	4	-1
ETHZ	3,5	3,4	3,6	-7	1	-14		-3	0	-6	4	-1	5	-1	0	-2
HC3Q0	4,1	3,7	4,4	-3	11	-16		-8	-4	-12	5	2	6	-2	-2	-1
HC3Q3	3,6	3,3	3,7	-2	11	-15		-5	-2	-11	3	-5	5	0	-1	1
ICTP	2,7	2,7	2,7	6	18	-6		-1	1	-3	5	-7	8	-1	1	-4
KNMI	2,7	2,6	2,8	8	21	-5		-1	1	-3	1	-8	4	3	6	-2
MPI	2,7	2,8	2,7	9	22	-4		-1	-1	-2	-3	-7	-2	1	4	-2
WETTREG	2,2	2,7	1,7	4	23	-17		-3	-2	-5	7	4	8	-4	-2	-6
A1B_CLM_C1	3,2	3,2	3,1	3	16	-11		-2	0	-5	3	-5	6	-1	2	-4
A1B_CLM_C2	3,3	3,2	3,3	-3	12	-19		-3	1	-6	4	-4	6	1	4	-3
B1_CLM_C1	2,1	2,1	2,1	4	14	-6		-1	0	-3	1	-6	4	0	2	-4
B1_CLM_C2	2,2	2,3	2,2	-5	4	-14		-1	0	-3	2	-1	3	0	2	-1
B1_REMO	2,0	2,1	1,9	8	18	0		0	0	0	-3	-6	-2	1	4	-2
A2_REMO	3,1	3,3	2,8	5	21	-8		-1	-2	-1	-3	-7	-3	3	6	-1
Mittelwert	2,9	2,9	2,8	3	15	-9		-2	0	-4	1	-5	3	0	2	-2

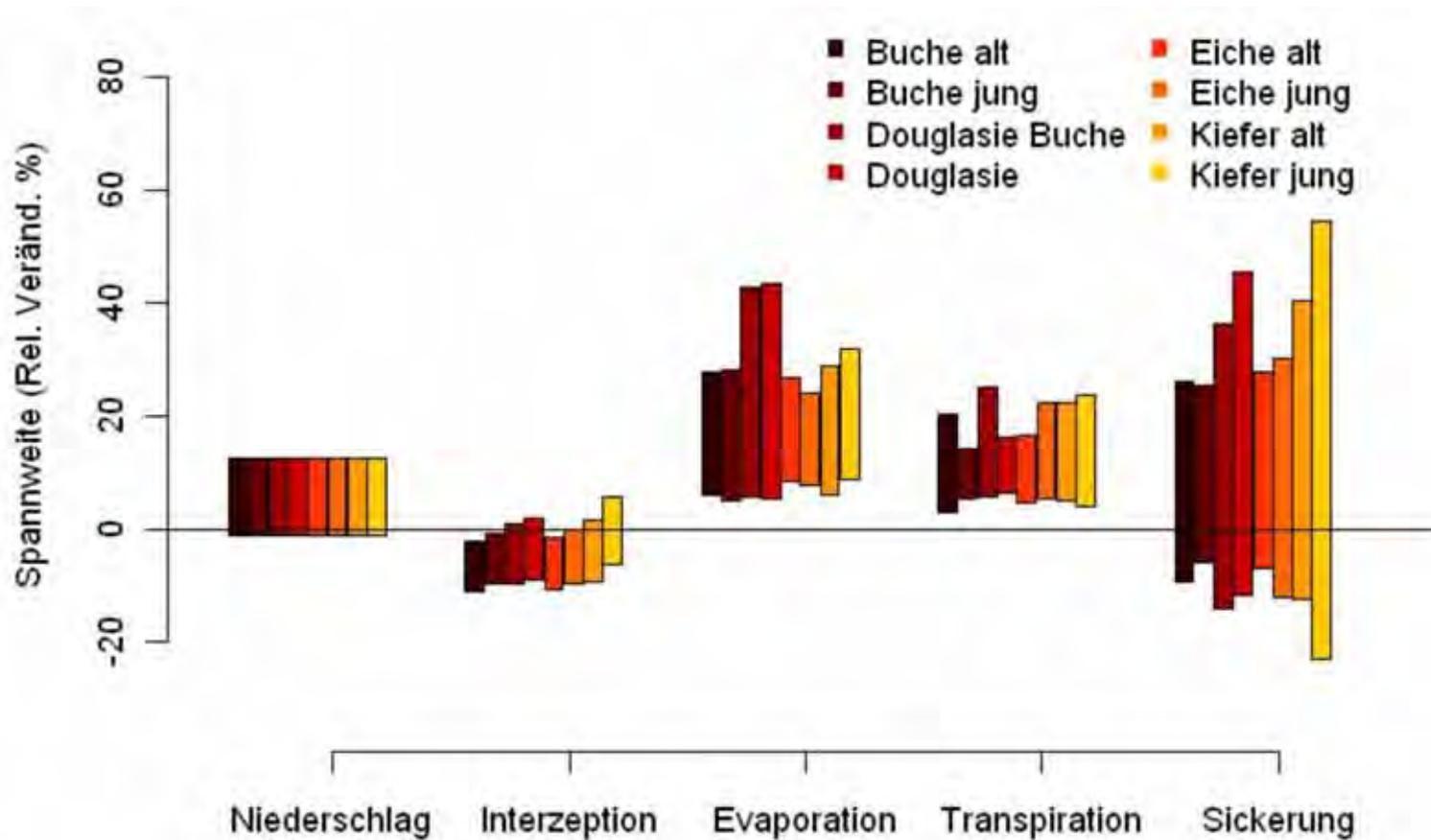
für die Wasserhaushaltssimulationen ausgewählte Szenarien :

**DMI\_ECHAM5** („wenig Erwärmung, Zunahme des Niederschlages“)

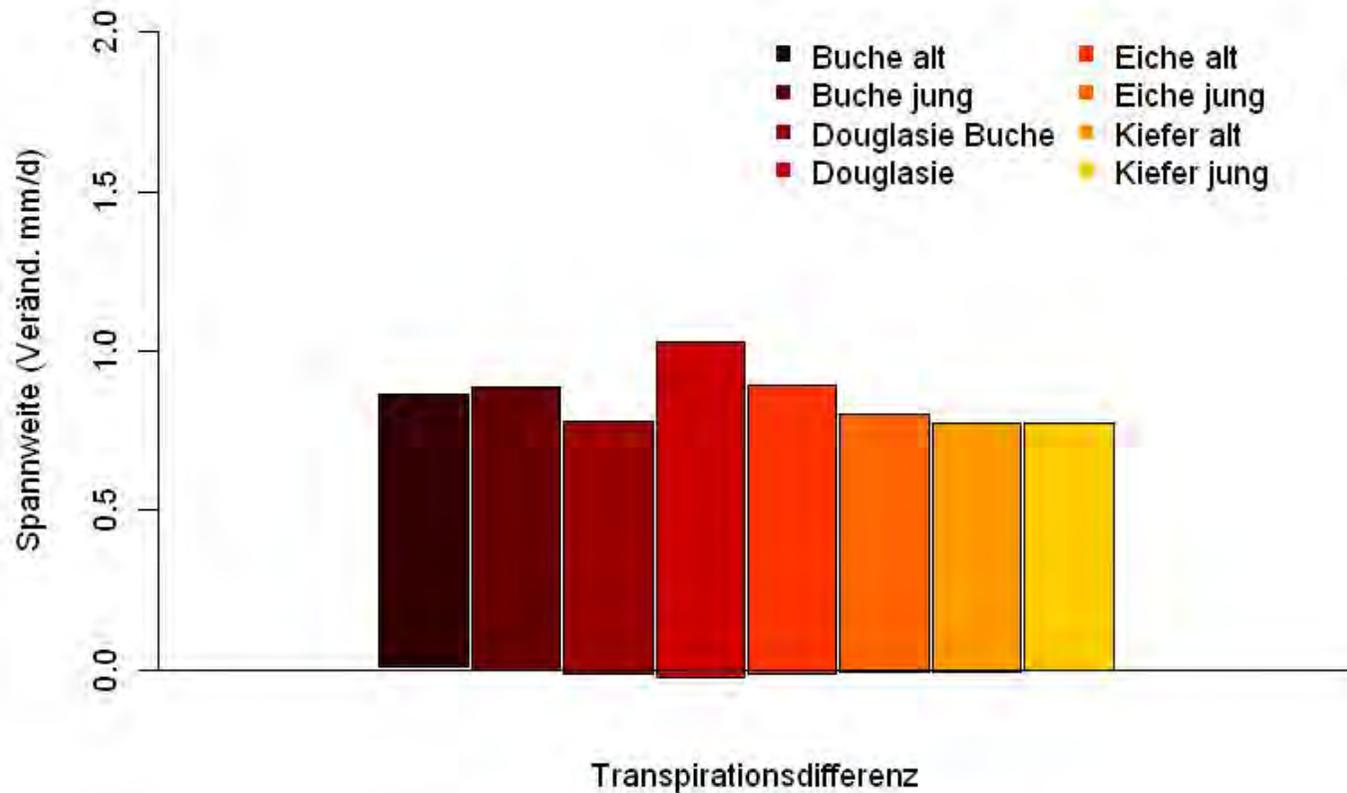
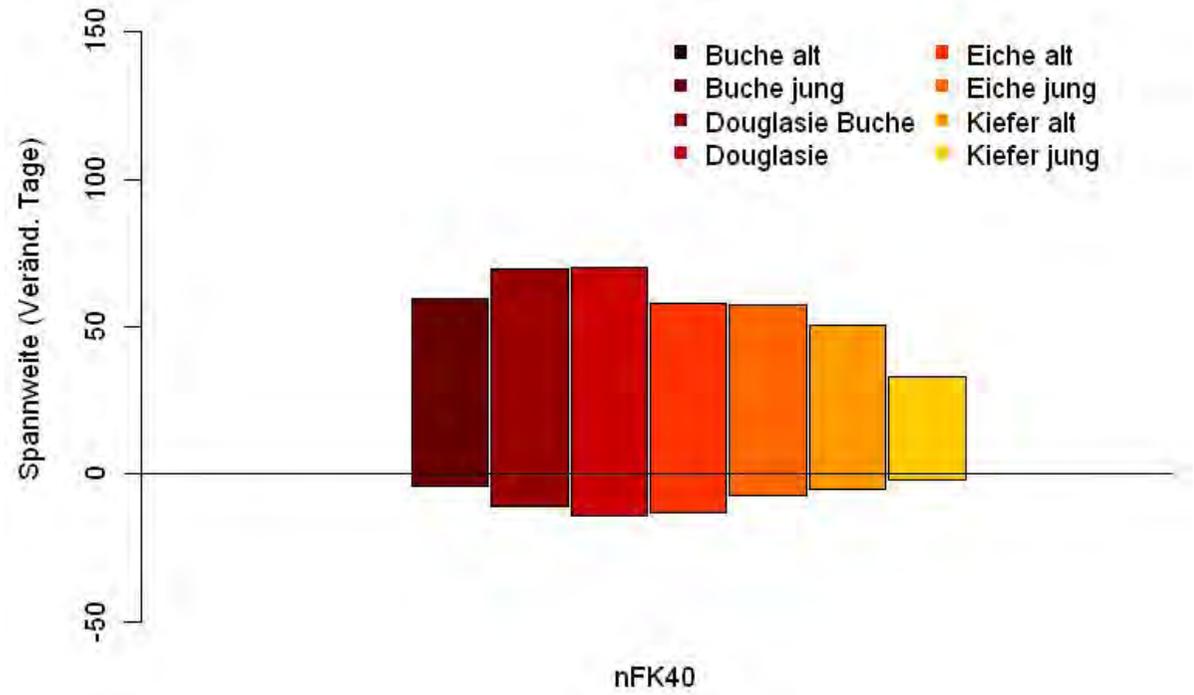
**WETTREG** („wenig Erwärmung, starke Umverteilung der Niederschläge vom Sommer- ins Winterhalbjahr“)

**HC3Q0** („starke Erwärmung, sommertrocken“)

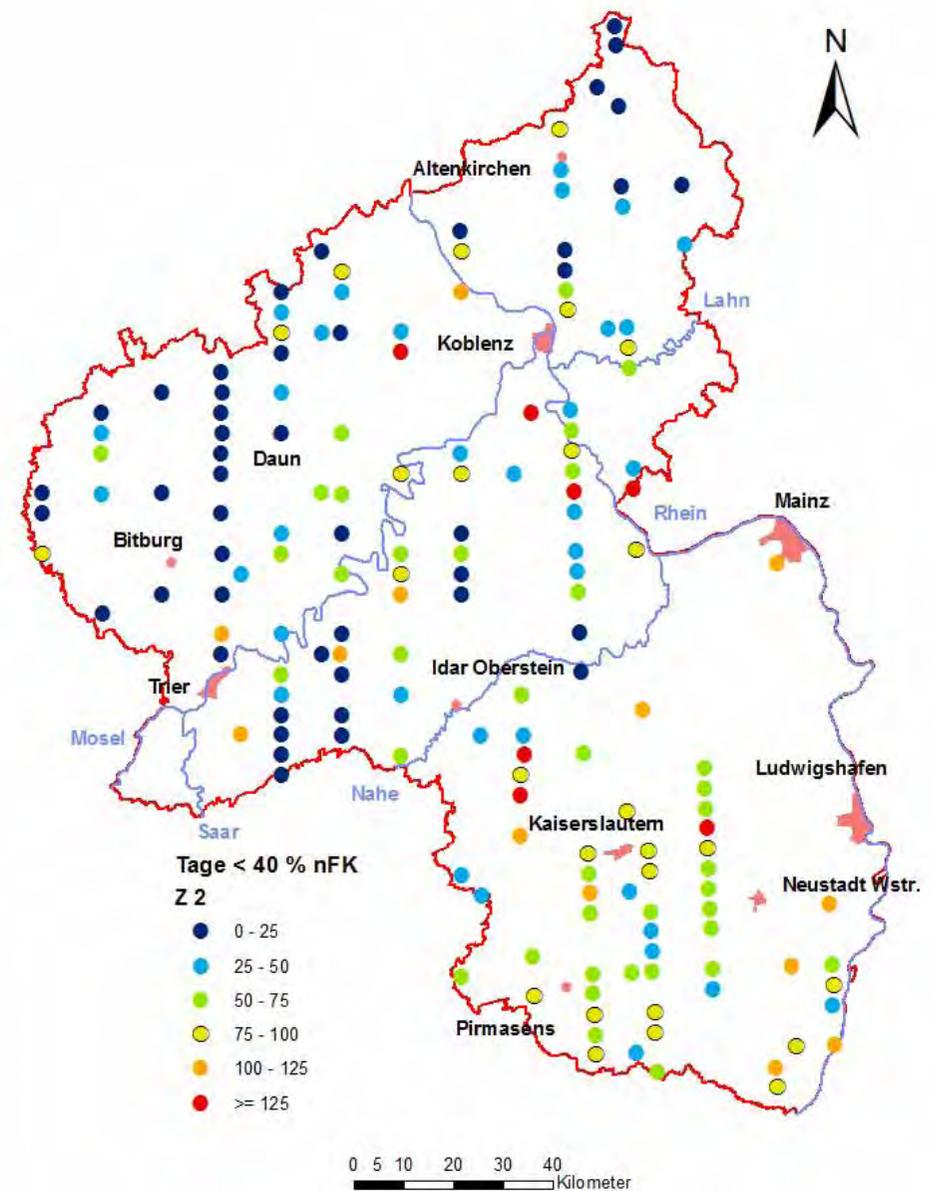
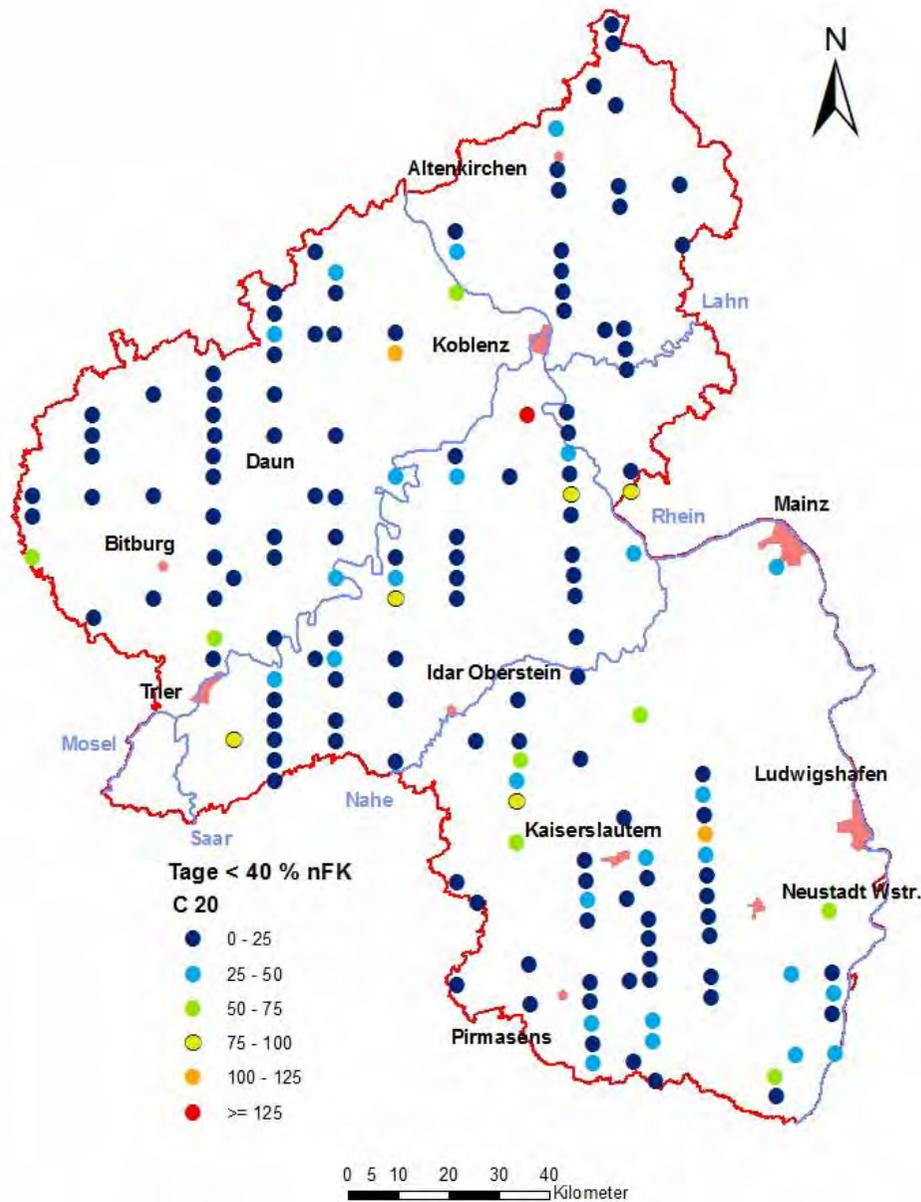
# Mögliche Veränderungen der Kenngrößen des Wasserhaushalts



# Mögliche Veränderungen der Trockenstresskennwerte



# WETTREG A1B (C20 zu Z2) = eine mögliche Entwicklung



# **Einfluss Klimawandel auf Stoffhaushalt**

**(Kohlenstoff, Nährstoffe)**

- **Wasser- und Stoffhaushalt eng miteinander verknüpft**
- **Grosse Wissenslücken; Abschätzung Einfluss Klimawandel auf Stoffhaushalt noch schwieriger als beim Wasserhaushalt**

# Betrachtung der Bilanzgrößen des Stoffhaushalts

- Schwefel- und Stickstoffeintrag und auch Kalzium- und Magnesiumeintrag durch **atmogene Deposition** werden vermutlich weiter sinken (Abnahme der Emission und vermutlich (?) Abnahme der Niederschlagstage)
- Nährstoffnachlieferung (Ca, Mg, K) durch **Mineralverwitterung** steigt mit zunehmender Bodentemperatur
- Vermutlich rascherer **Streuzusatz** bei steigender Bodentemperatur (solange nicht durch ausgedehnte Trockenphasen eingeschränkt)
- **Nährstoffentzug mit Holzernte** abhängig von zukünftiger Wachstumsleistung der Baumarten (je nach Standort und Ausprägung des Klimawandels Steigerung oder Verringerung möglich) und Intensität der Nutzung (Derbholz, Vollbäume)
- **Nährstoffaustrag mit Sickerwasser**: steigende oder sinkende Sickerungsraten; Schwefelaustrag wird vermutlich sinken, Stickstoffaustrag könnte im Zuge zunehmender N-Sättigung sowohl steigen als auch bei abnehmenden Depositionsraten steigen; Austragsraten der Basekationen hängen von Entwicklung der Anionen (Sulfat, Nitrat) ab.
- **Kalkung, Düngung; Holzascherückführung**: nicht vorhersehbar!

# Entwicklung kaum vorhersehbar; große Spanne der Unsicherheit

- Erweiterung der Kenntnisse über Folgen möglicher Veränderungen der Umweltbedingungen (Klimawandel ...) (**Forschung**)
- Sorgfältige und kontinuierliche Überwachung der Umweltbedingungen und der Reaktionen der Waldökosysteme auf Veränderungen
  - Forstliches **Umweltmonitoring**
  - **Schädlingsüberwachung**
- Konsequente **Risikostreuung**



Herzlichen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit

