

Beitrag des Waldes zur Verbesserung der Grundwasserqualität

Apports de la forêt sur l'amélioration de la qualité de l'eau souterraine

Carina Sucker

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt

Baden-Württemberg

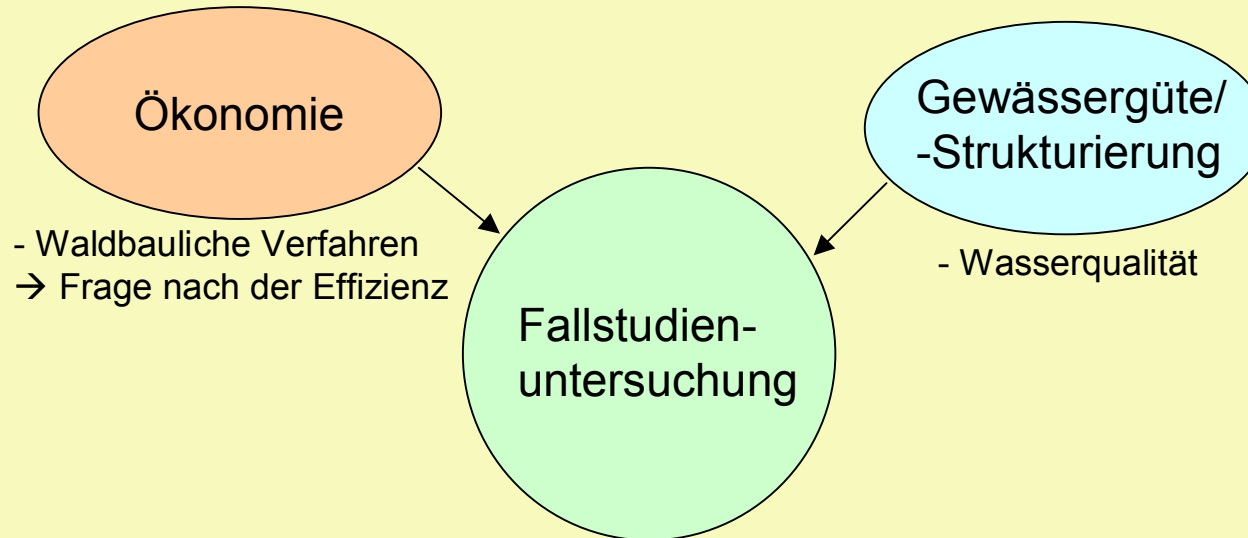
Abteilung Boden und Umwelt



Dieses Projekt wird von der europäischen Union kofinanziert
(INTERREG-Programm - Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Einführung und Ziele des Teilprojektes

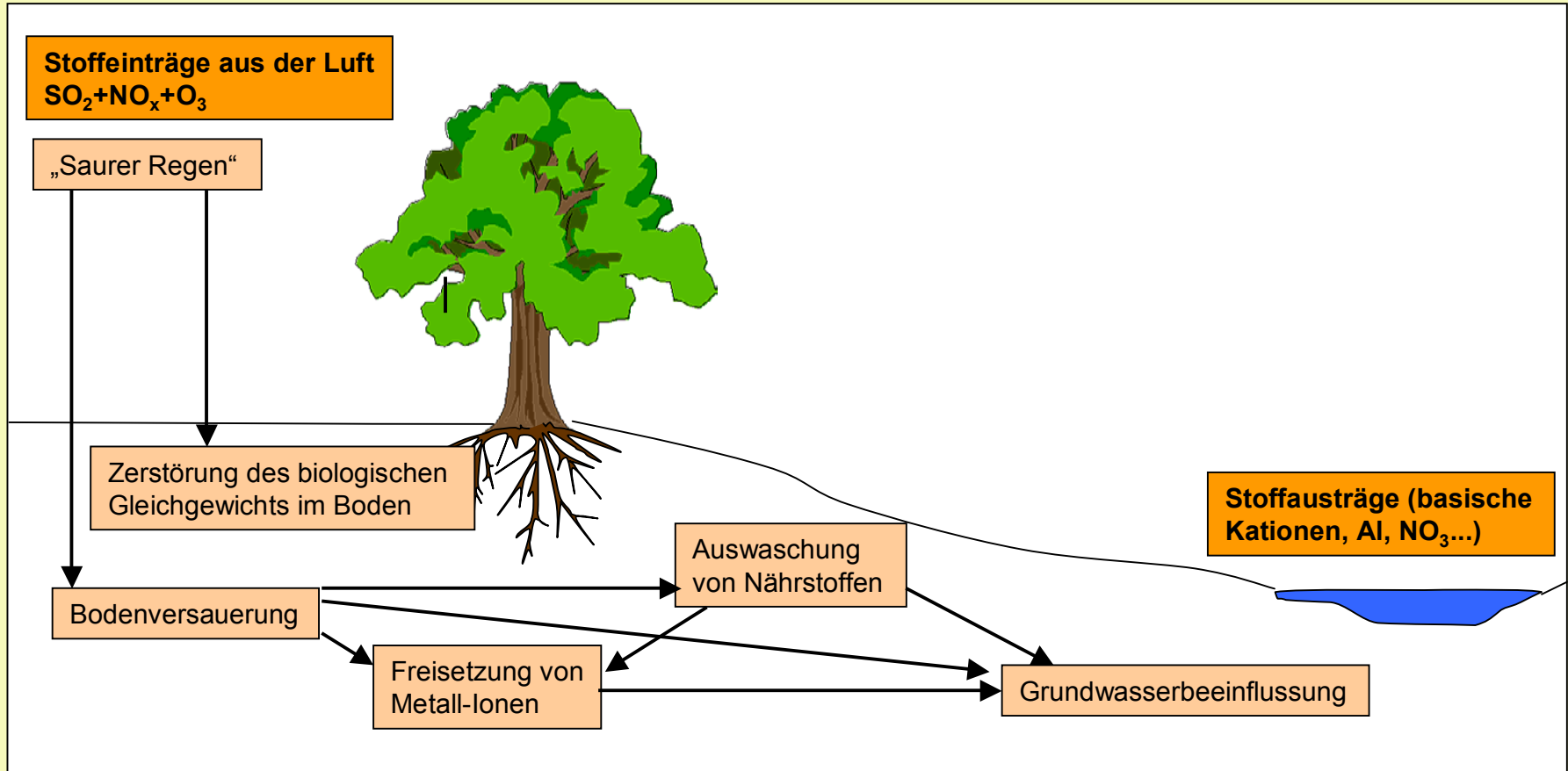
- Grundwasser aus bewaldeten Trinkwassereinzugsgebieten ohne weitere Behandlung meist qualitativ hochwertig
→ Beeinflussung durch Depositionsbelastungen



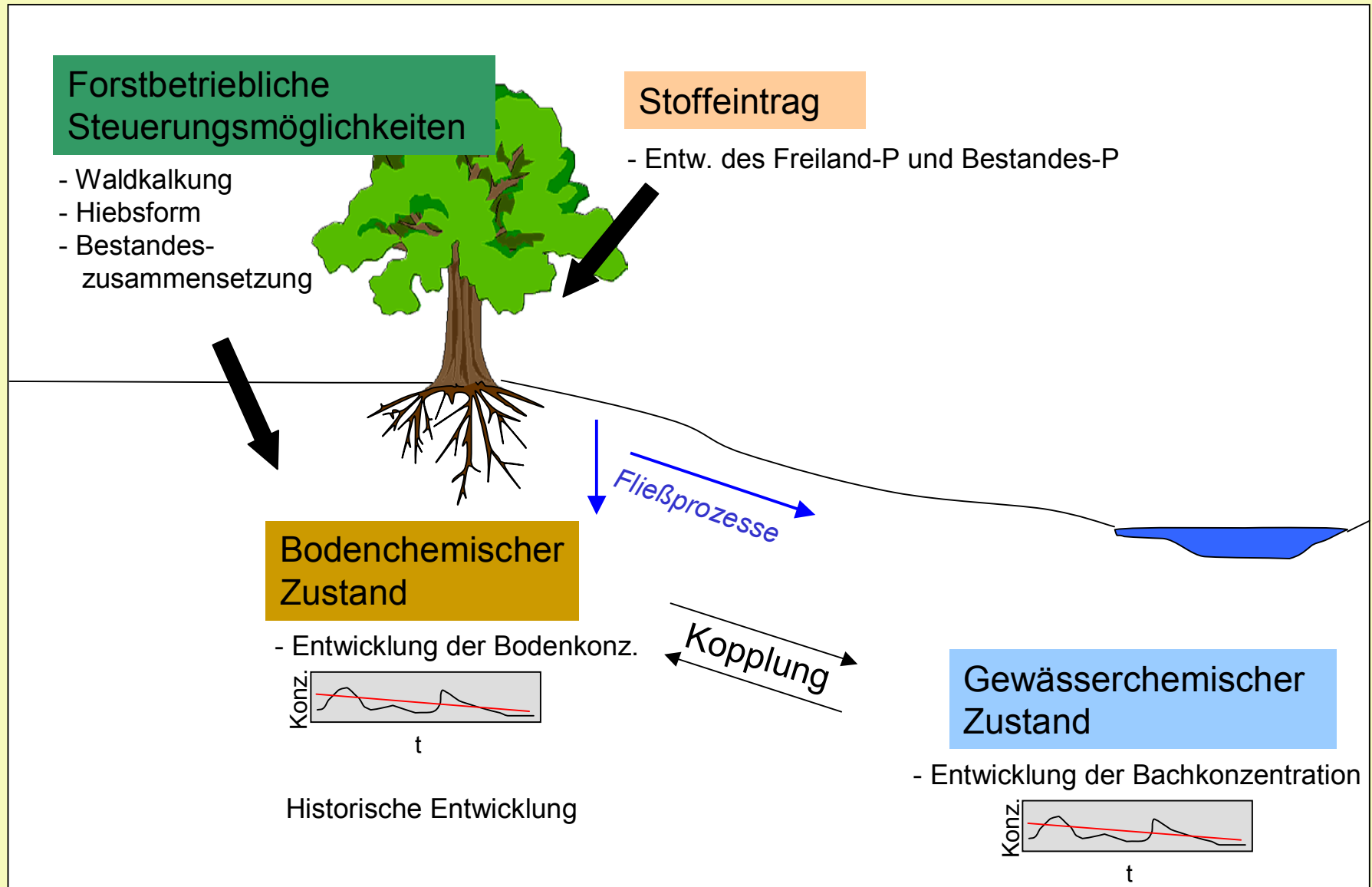
Ziele des Teilprojektes:

- Leistung des Waldes sichern
- Steuerung der Wasserqualität über Forstwirtschaft
- Bewirtschaftungsempfehlungen ableiten
- Stützung kleiner kommunaler Wasserversorger
- Ressourcenschonendes Management

Einführung - Vereinfachter Stofflauf



→ Stoffeinträge aus der Luft: langfristiges Risiko für Bodenversauerung und Sickerwasserqualität!



Vorstellung der Fallstudien



Fallstudien:

- Conventwald (1991)
- Kleine Kinzig (1989)
- Schluchsee (1987-1998)
- Aubure (1986)

Ziele der Untersuchungen

- Wirkung verschiedener waldbaulicher Verjüngungsverfahren + Baumartenzusammensetzung auf Stofftransport
- Mittel- und langfristige Wirkungen der Waldkalkung auf Trinkwasserqualität
- Kurzfristige Wirkung der Waldkalkung auf Hydrosphäre
- Wirkung der Baumartenzusammensetzung und waldbaulicher Verfahren auf Stofftransport

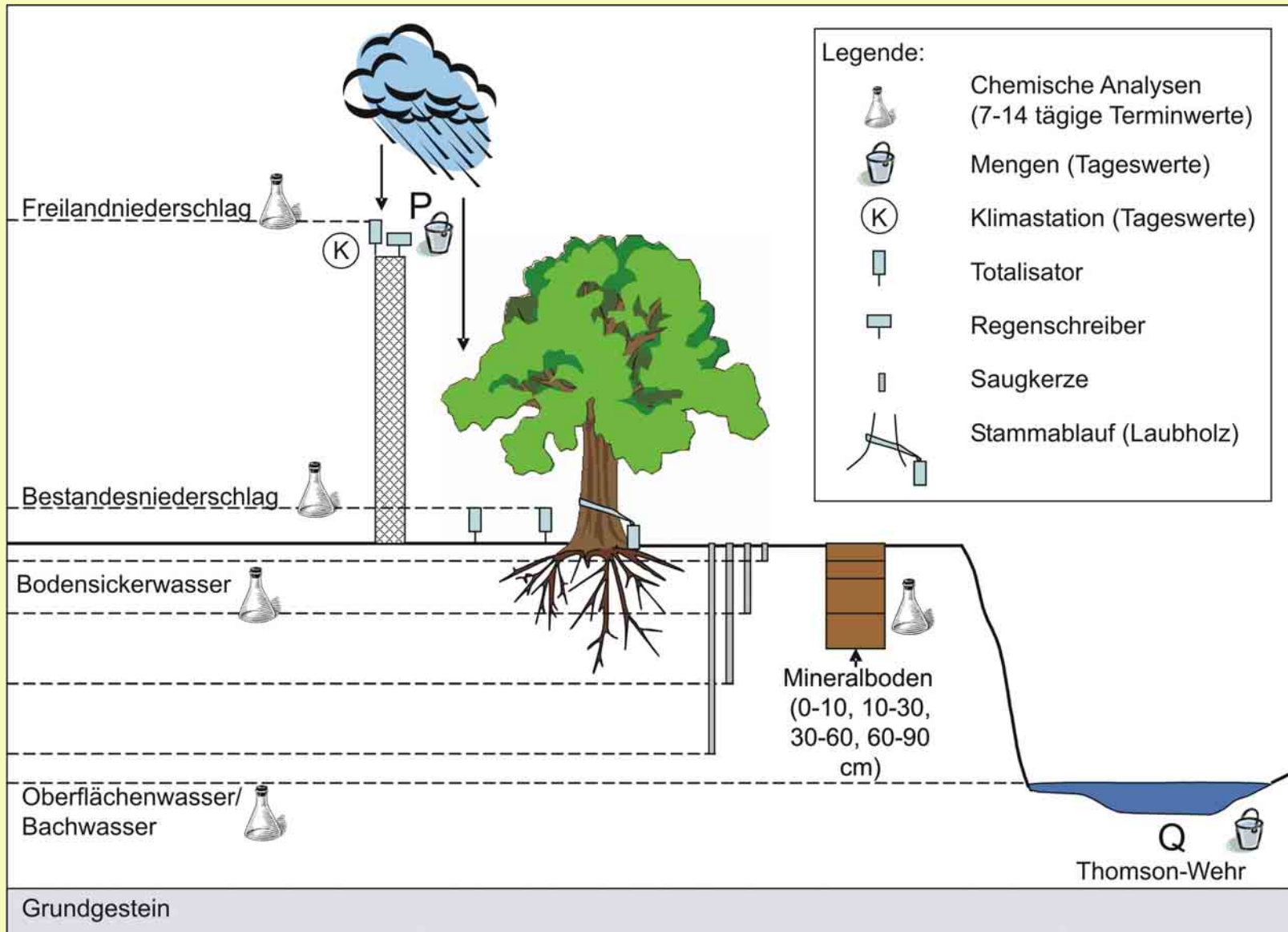
EG-Charakteristik

Parameter	Kleine Kinzig			Schluchsee		Aubure
	Conventwald	Huttenbächle	Teufelsbächle	S1	S4	
Einzugsgebietsfläche [ha]	9	392	217	13	10	82
Höhe (Min-Max.) [müNN]	703-865	617-853	609-854	1145-1254	1147-1299	883-1147
Höhenstufe	montan	submontan		hochmontan		
Mittl. Gefälle [°]	22	8	12	13	13	15
Exposition	SO	SW	SO	ONO	OSO	O
Vegetation	Bu 63%, Ta 27%, Fi 5%, Lücke 5%	Fi 52%, Ta 37%, Bu 9%, Lä 2%	Fi 52%, Ta 45%, Bu 3%	Fi 99%, Bu 1%	Fi 97%, Bu 3%	Fi 59%, Kie 18%, Bu 11%, Ta 9%, Lücke 3%
Böden	Braunerde	Podsol, Podsol-Braunerde		Braunerde, Braunerde-Podsol, Podsol		Braunerde, Podsol
Grundgestein	Paragneis	Buntsandstein		Granit		
Messungen chemischer Parameter¹						
Freilandniederschlag	91-heute	91-heute		87-98	87-98	86-heute ²
Bestandesniederschlag		90-heute			89-98	
Bodenwasser		04-heute			90-98	
Bachwasser		89-heute		87-98, 06-07	89-98, 06-07	
¹ Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Al ³⁺ , Mn ²⁺ , H ⁺ , NH ₄ ⁺ , Si, NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , DOC, Leitfähigkeit, pH-Wert ² Nicht alle Daten frei verfügbar						

Eintrag von Säurebildnern - Fichte (1993):

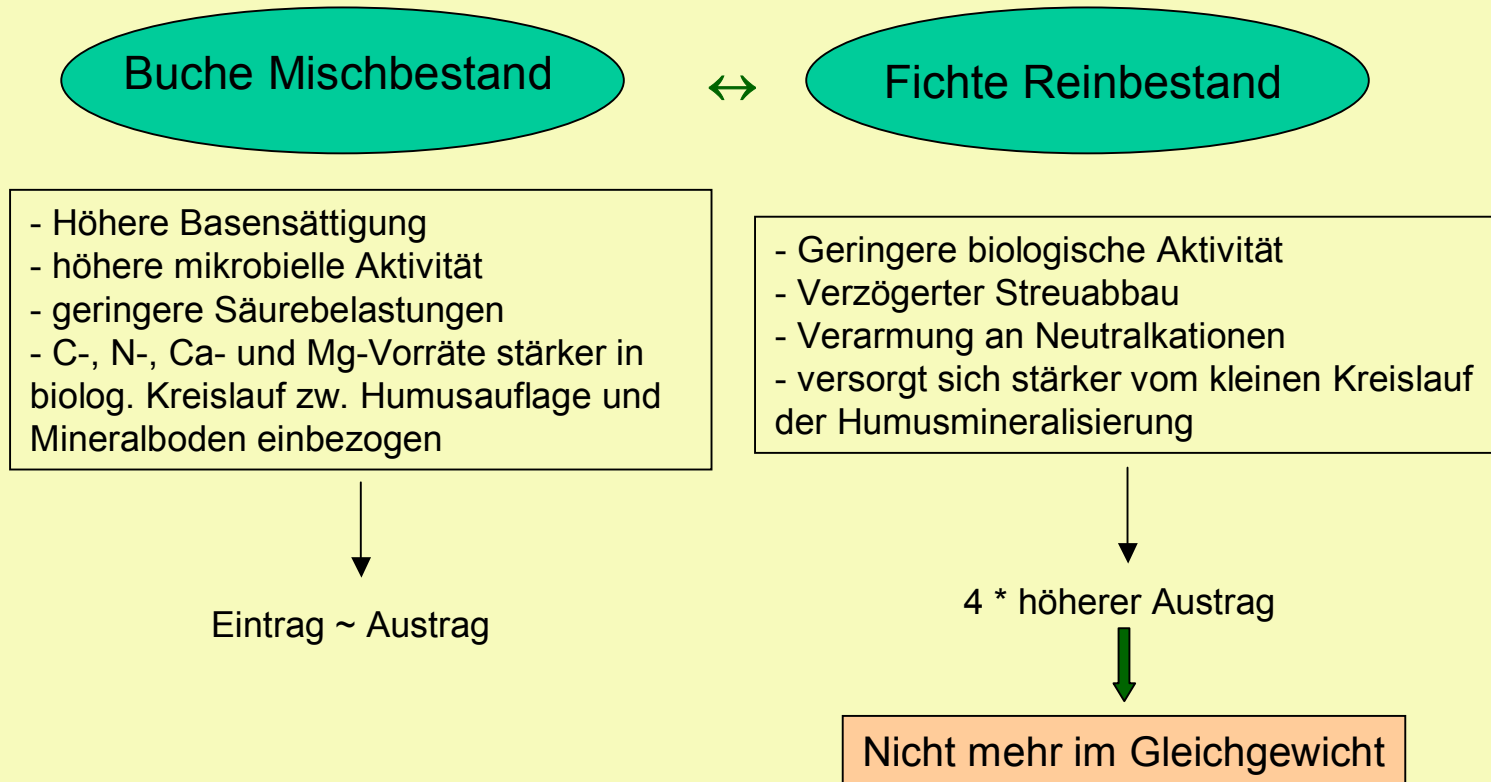
	Freudenstadt	Schauinsland	Aubure
NO ₃ ⁻ [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	36,3	55,9	10,2
NH ₄ ⁺ [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	6,6	6,6	21,2
Cl ⁻ [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]	13,4	18,8	14,7

Material-Messaufbau (Skizze)



Forstbetriebliche Steuerungsmöglichkeiten - Bestandeszusammensetzung

Beispiel: Conventwald



→ Ergebnisse von bodenchemischen Analysen reihen sich relativ widerspruchlos in die von anderen Studien bekannten Auswirkungen der Baumartenzusammensetzung auf den Waldbodenzustand ein.

Forstbetriebliche Steuerungsmöglichkeiten - Hiebsform (Bestandesstruktur)

Beispiel: Conventwald

40 jähriger Buchenstangenholz
- 25% niedrigere Säureeinträge



160 jährigen Buchenmischbestand

Femellücke Buche
(bei Vorhandensein einer
geschlossenen Vorverjüngung
unter Schirm)
- Stoffaustrag um mind. 50%
niedriger in ersten 2 Jahren
nach Anlage



Femellücke Buche
(ohne Vorverjüngung)

Kahlschlag Buche
-10-20 fache Anionenaustrag



Geschlossener Bestand Buche

Kahlschlag Fichte
- 2-3 fache Anionenaustrag



Geschlossener Bestand Fichte

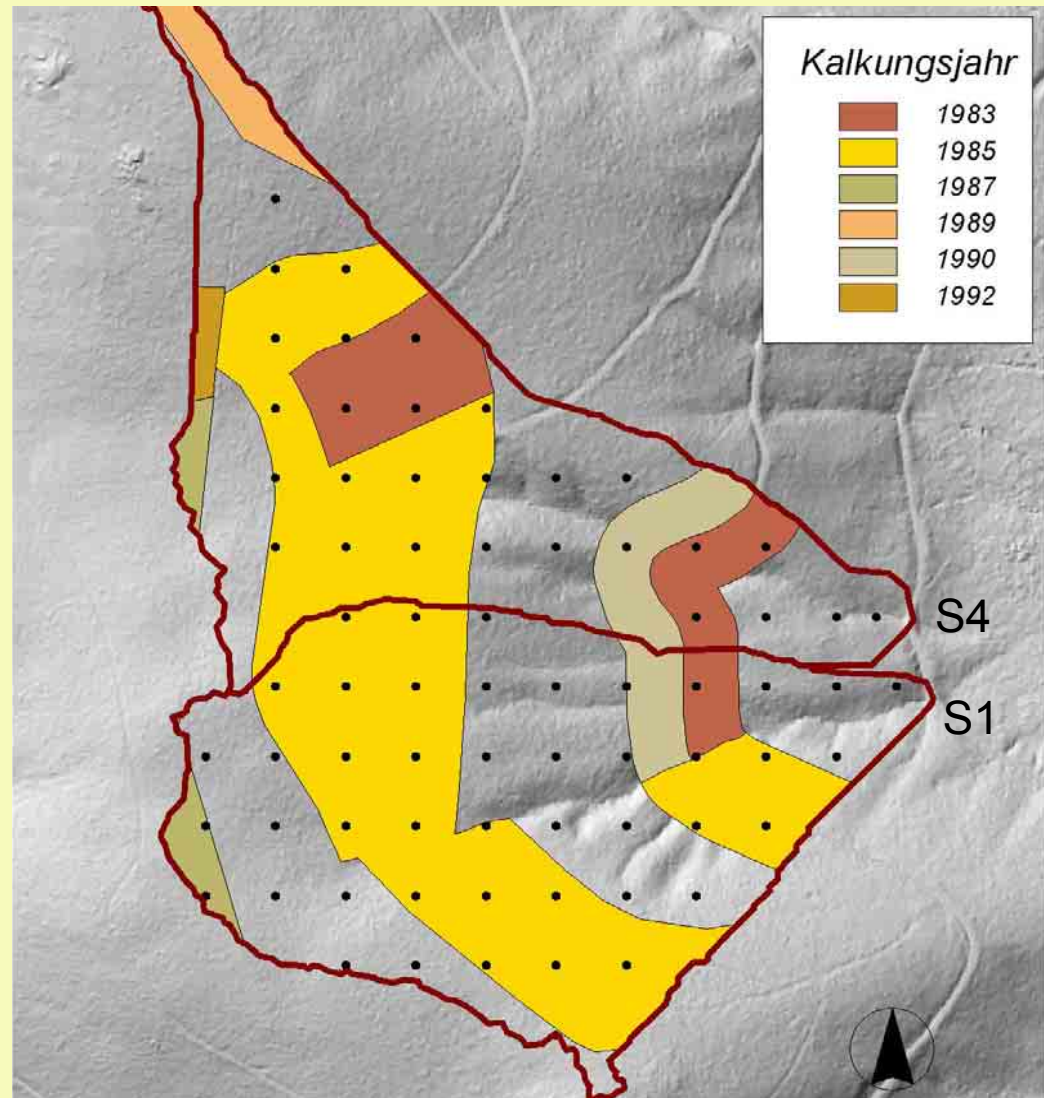
Forstbetriebliche Steuerungsmöglichkeiten - Waldschutzkalkungen

Analyse der bodenchemischen Zustände – Bsp. Schluchsee

1990: S4 komplett gekalkt mit 4t/ha Dolomitkalk

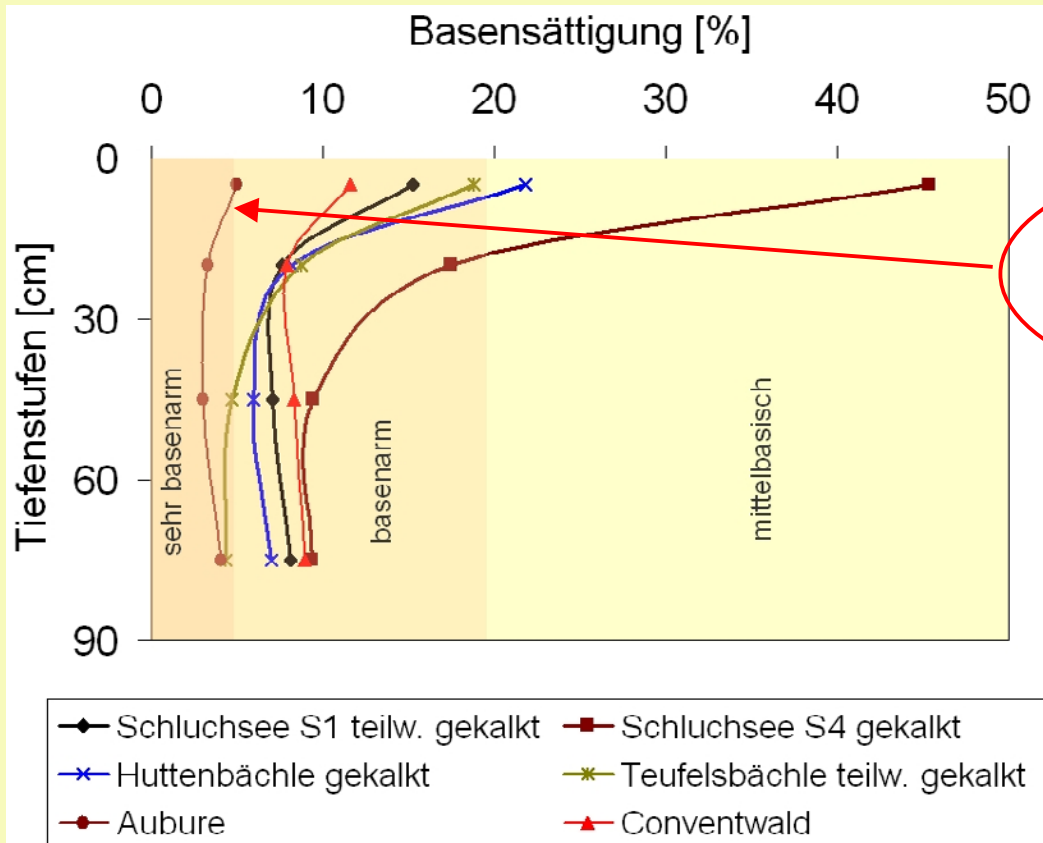
Rasterbeprobung 2006 am Beispiel der Basensättigung:

BS [%]	S1	S4
0-10	15,2	45,4
10-30	7,7	17,5
30-60	7,1	9,4
60-90	8,1	9,3



Forstbetriebliche Steuerungsmöglichkeiten - Waldschutzkalkungen

Elementanalyse des Mineralbodens am Beispiel der Basensättigung:



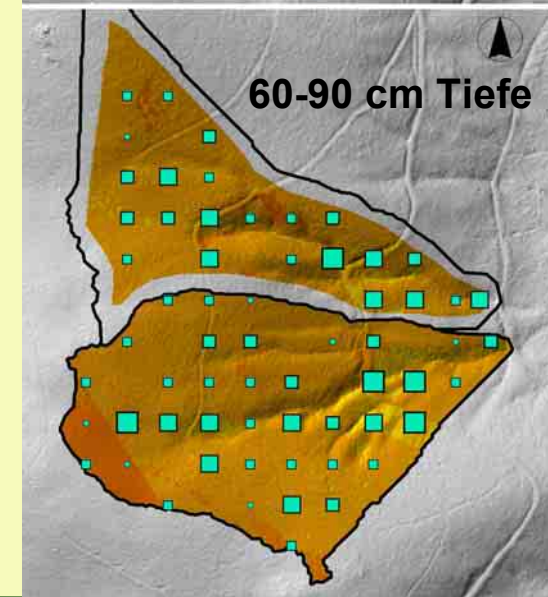
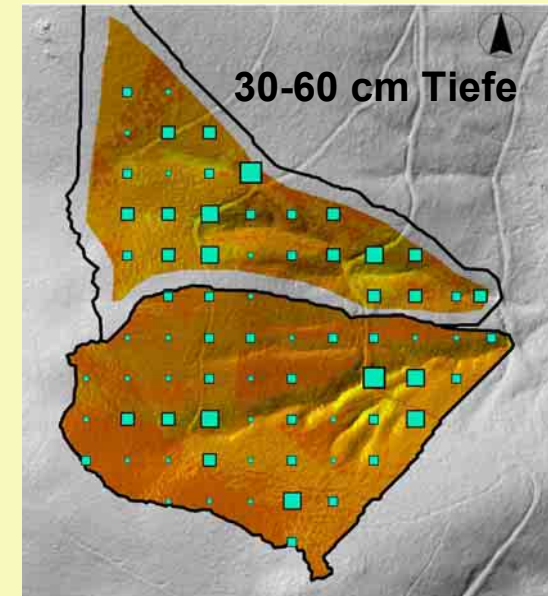
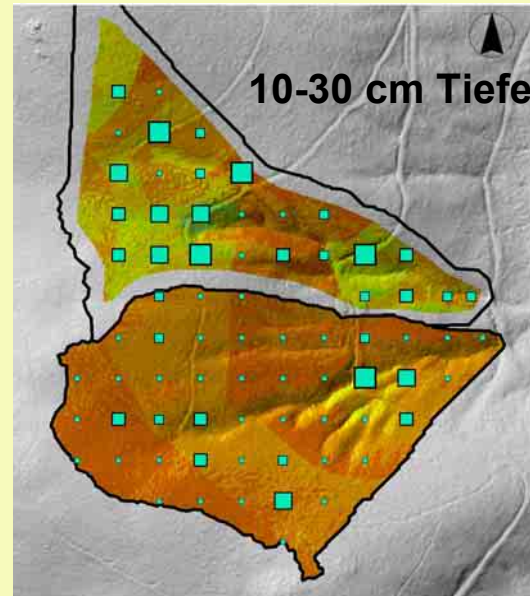
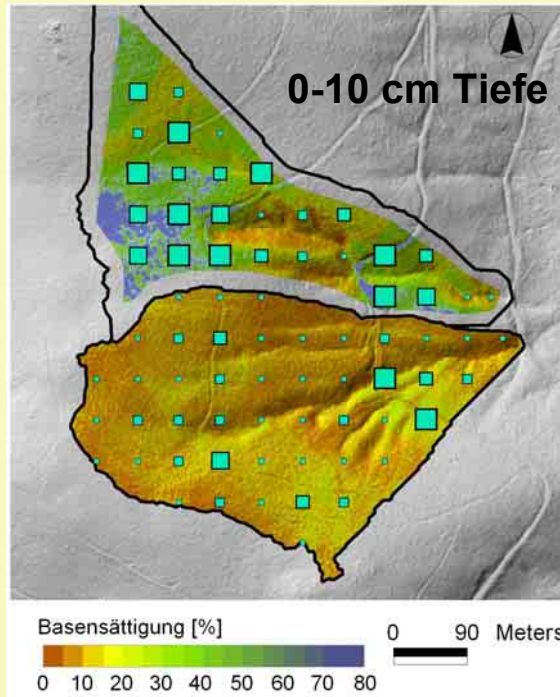
Aubure: 11/40 Profilen, obere Hanglage, vorwiegend im Fichtenwald, schwach hydrothermaler Granit, twl. Gneis

Effekte der Bodenschutzkalkungen auf Basensättigung mit zunehmender Bodentiefe schwächer



Abhängig von Stoffeinträgen, Fließprozessen und Ausgangsgestein

Regionalisierungsergebnisse der Basensättigung – Bsp. Schluchsee



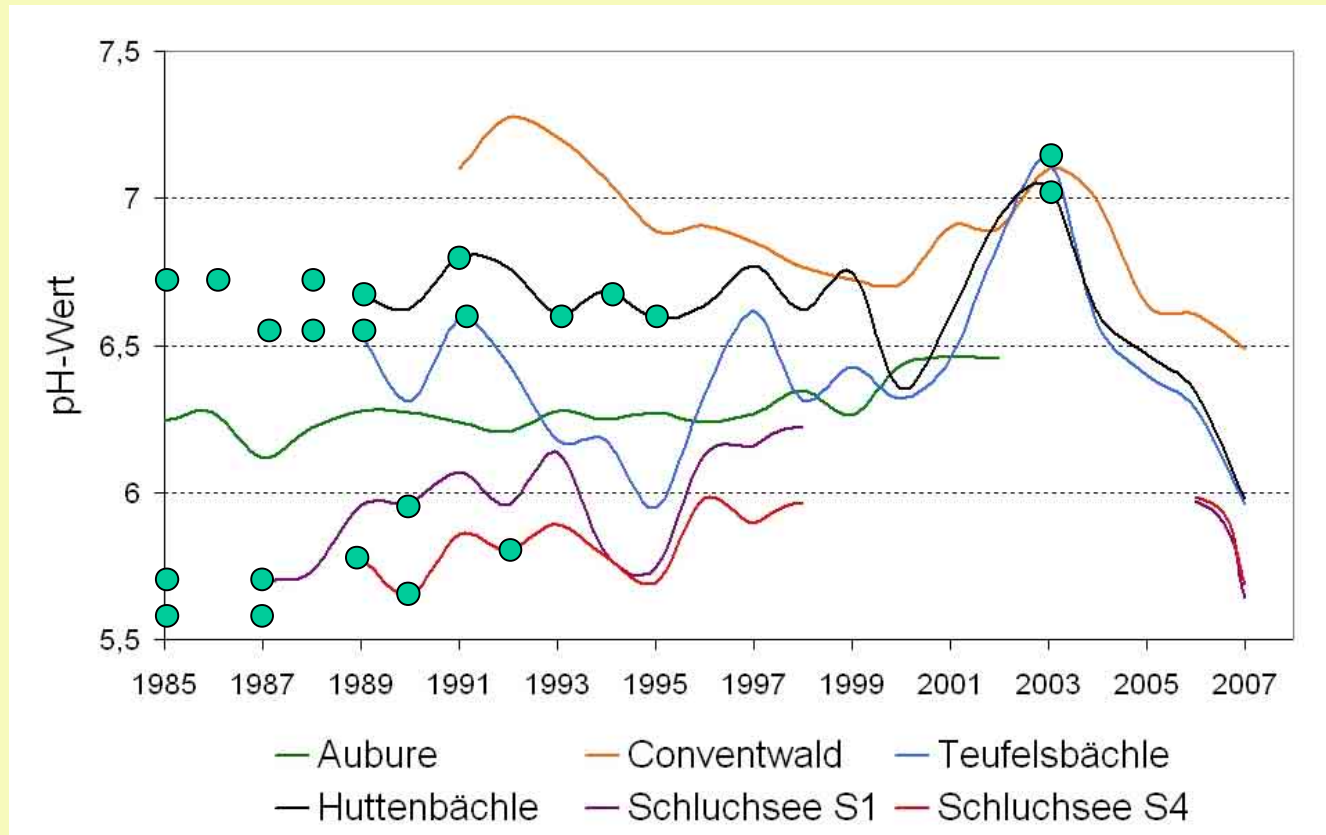
Profiltiefe	R^2_{S1}	R^2_{S4}
0-10	0,49	0,70
10-30	0,43	0,62
30-60	0,60	0,72
60-90	0,45	0,70

Regionalisierung: Multiple lineare Regressionsmodelle

Einfluss von Topographie und Kalkung am stärksten
→ gegenseitig übergreifend

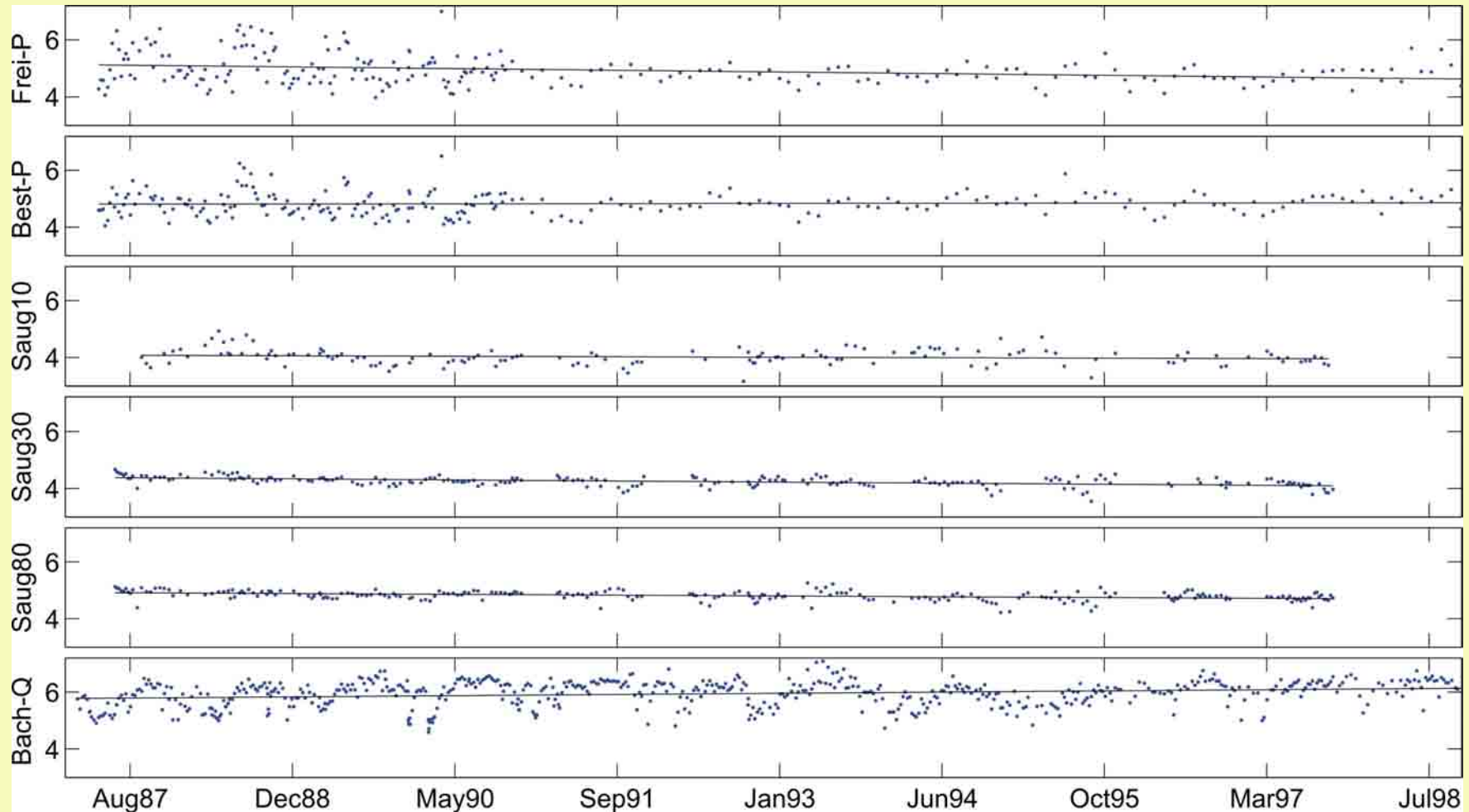
Forstbetriebliche Steuerungsmöglichkeiten - Waldschutzkalkungen

Zeitliche Verlauf des pH-Wertes als gemittelte Jahreswerte im Bachwasser der Untersuchungsgebiete



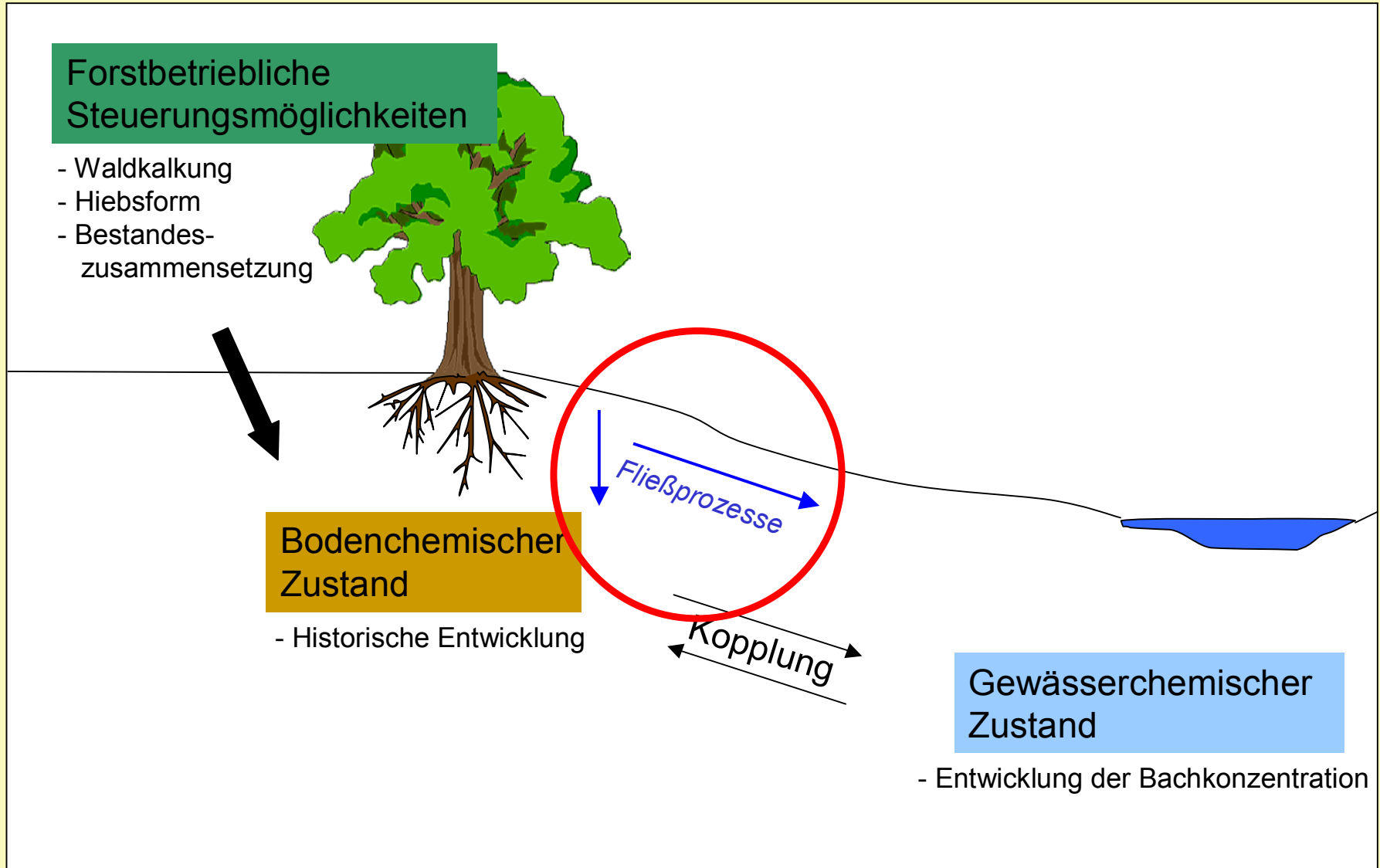
In der Bodenphase festgestellten Versauerungserscheinungen lassen sich nicht immer im Bachwasser der Einzugsgebiete wiederfinden!

Trenduntersuchungen der Elemente in den einzelnen Kompartimenten



Vergleich der pH-Wert Verläufe über die einzelnen Kompartimente im teilgekalktem Gebiet Schluchsee S1

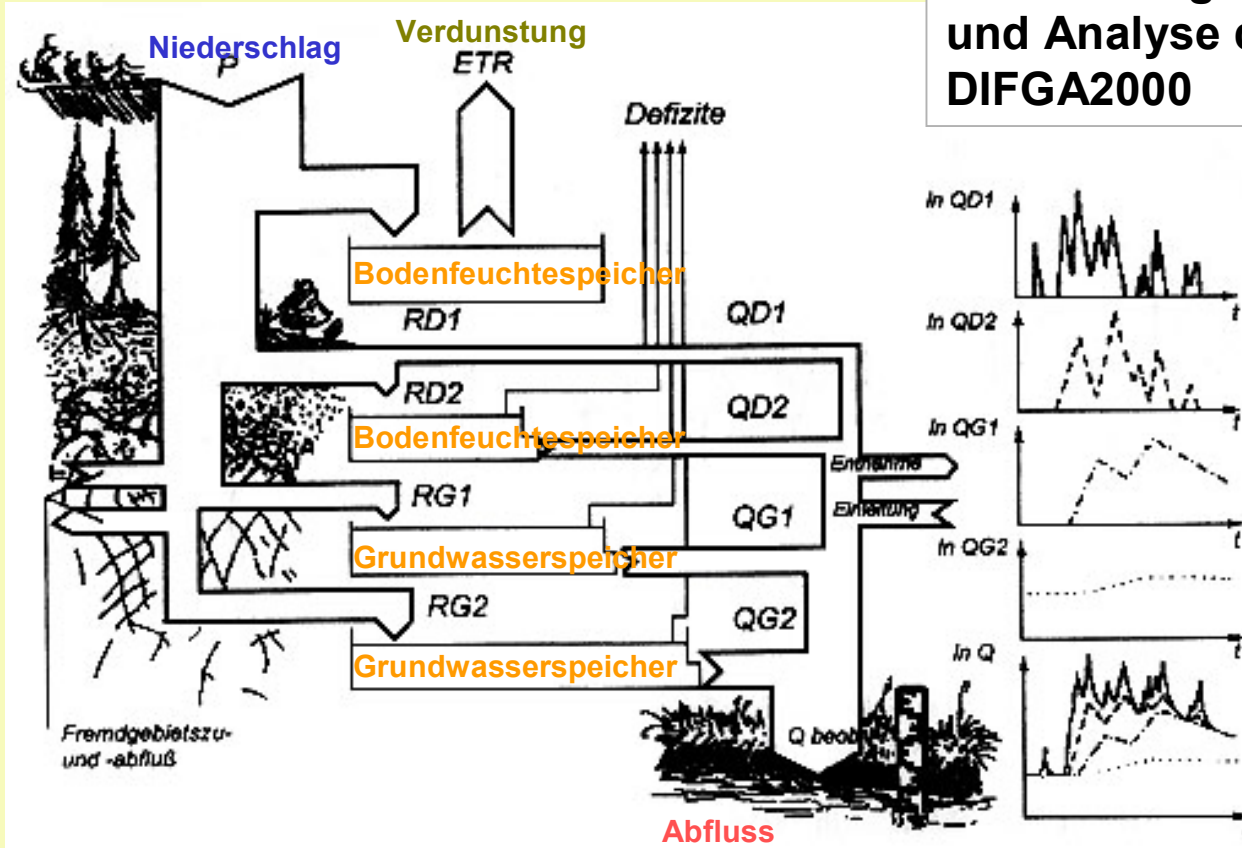
Identifizierung der Fließprozesse



Identifizierung der Fließprozesse

→ Ganglinienseparation

Berechnung des Wasserhaushaltes und Analyse der Fließwege mit DIFGA2000



PC-gestützte Abflusskomponentenseparation unter Verwendung langjähriger Durchflussmessreihen

Wasserhaushaltsbilanz mit ETR als Restglied

Schwarze, R.: Gegliederte Analyse und Synthese des Niederschlags- Abfluss-Verhaltens von Einzugsgebieten. Diss., TU Dresden Fak. für Bau-, Wasser-, Forstwesen 1985.

$$P - RG2 - RG1 - RD1 - RD2 = (\Delta S + ETR)$$

$$Q_{\text{beob}} = QG2 + QG1 + QD1 + QD2$$

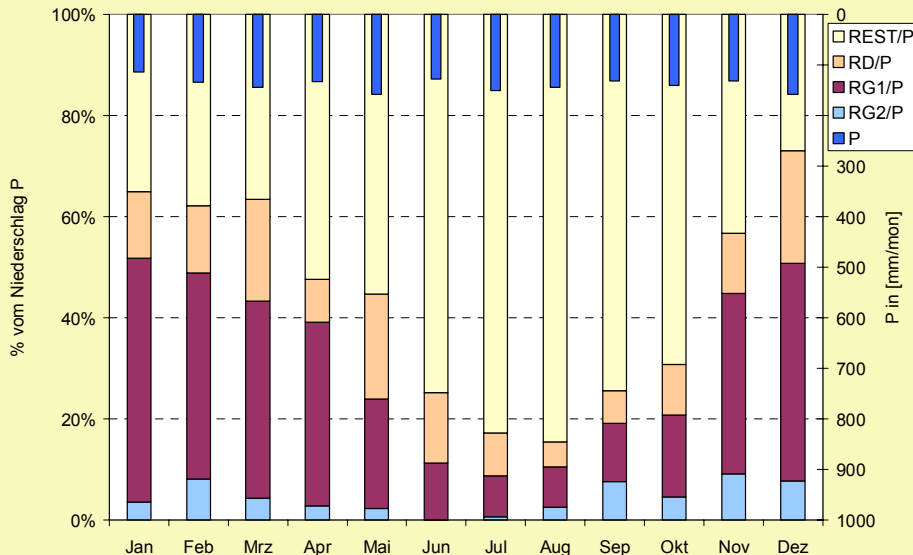
Analyse der Fließprozesse

Bsp. Conventwald: → Schnellere Abflusskomponente überwiegt!!!



- Gneise auf Grund ihrer Kompaktheit recht unergiebigere Grundwasserleiter
- Leitfähigkeit beruht auf Vorhandensein von Klüften

Mittlerer Jahresgang der Wasserhaushaltsgrößen



DIFGA 2000: MITTLERE WASSERHAUSHALTSBILANZ

Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie

Gewässer: Conventwaldbach, Pegel: Conventwald
 Einzugsgebietsfläche: 0,0857 km²
 Lithofaziesseinheit: manuelle Vorgabe der Spannweiten, CG2min = 300 d, CG2max = 400
 CG2: 330 d, CG1: 11 d
 Reihe von 11/1991 bis 10/2006, Bilanzierung von 11/1991 bis 10/2006
 Angaben zum Niederschlag: SSnow
 Angaben zur Schneeschmelze: SSnow

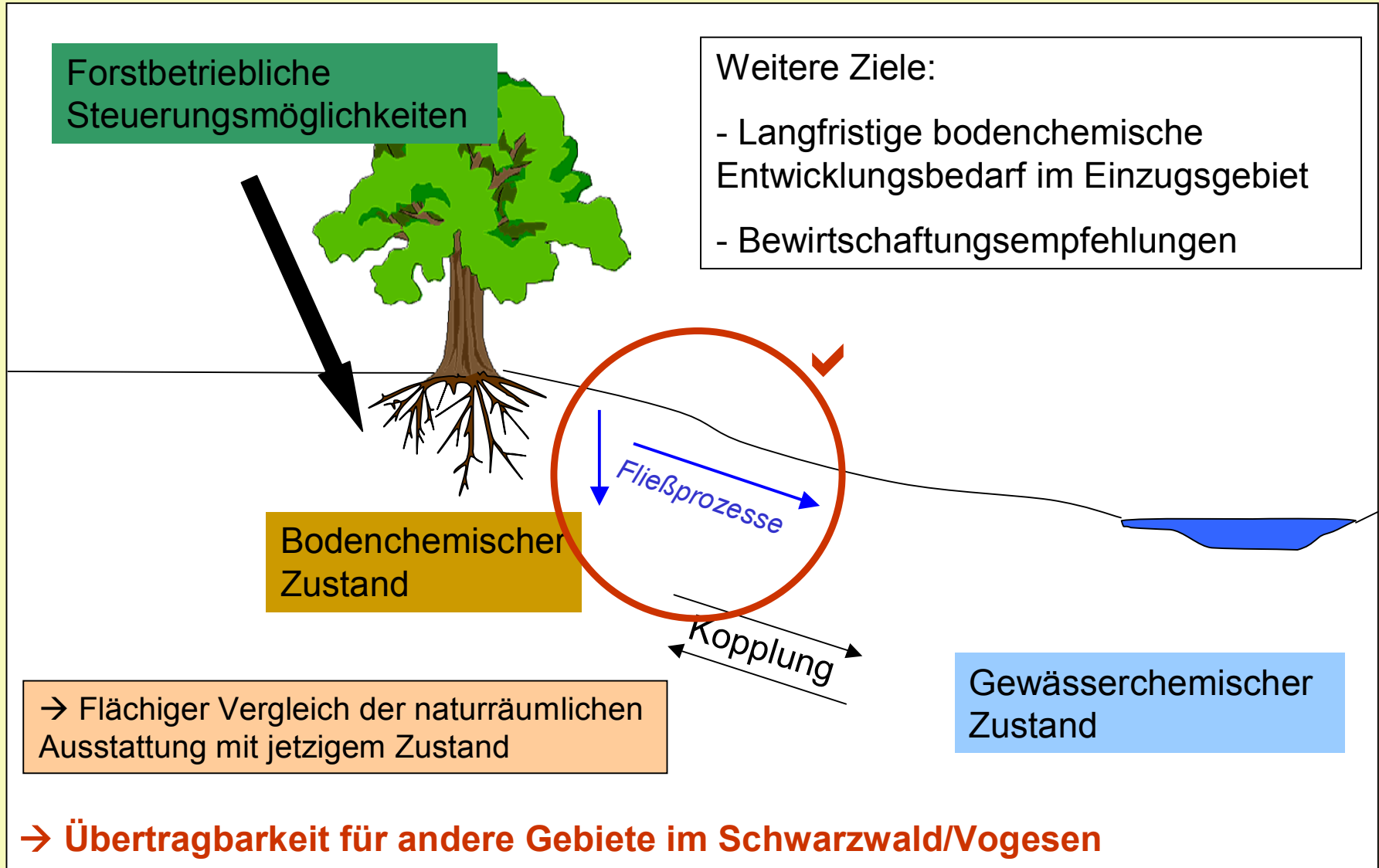
Monatsmittel aller Summen in mm/Monat:										conv
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
1	113,4	4,0	54,9	14,9	81,0	5,6	60,5	14,9	0,0	39,8
%	100,0	3,5	48,4	13,1	100,0	6,9	74,8	18,3	0,0	35,0
2	133,5	10,9	54,3	17,8	73,5	5,3	50,3	17,8	0,0	50,4
%	100,0	8,1	40,7	13,4	100,0	7,2	68,5	24,3	0,0	37,8
3	144,4	6,2	56,4	29,0	99,0	6,1	63,8	29,0	0,0	52,8
%	100,0	4,3	39,0	20,1	100,0	6,2	64,5	29,4	0,0	36,6
4	132,6	3,7	48,3	11,3	68,0	5,7	51,0	11,3	0,0	69,4
%	100,0	2,8	36,4	8,5	100,0	8,4	74,9	16,6	0,0	52,3
5	157,9	3,7	34,1	32,8	77,8	5,8	39,3	32,8	0,0	87,4
%	100,0	2,3	21,6	20,7	100,0	7,4	50,5	42,1	0,0	55,3
6	128,0	0,1	14,4	17,8	42,8	5,2	19,8	17,8	0,0	95,6
%	100,0	0,1	11,3	13,9	100,0	12,2	46,1	41,7	0,0	74,7
7	150,4	1,0	12,2	12,7	31,4	4,9	13,8	12,7	0,0	124,5
%	100,0	0,7	8,1	8,4	100,0	15,8	43,9	40,4	0,1	82,8
8	144,3	3,8	11,4	7,2	22,3	4,7	10,4	7,2	0,0	121,9
%	100,0	2,6	7,9	5,0	100,0	20,9	46,8	32,3	0,2	84,5
9	130,7	9,9	15,1	8,5	27,4	4,6	14,4	8,5	0,0	97,2
%	100,0	7,6	11,6	6,5	100,0	16,9	52,5	31,0	0,1	74,4
10	140,8	6,4	22,8	14,2	36,1	5,3	16,6	14,2	0,0	97,3
%	100,0	4,5	16,2	10,1	100,0	14,6	46,0	39,4	0,0	69,1
11	131,6	12,1	47,0	15,6	60,4	4,5	40,3	15,6	0,0	56,9
%	100,0	9,2	35,7	11,9	100,0	7,4	66,7	25,9	0,0	43,2
12	157,4	12,3	67,7	35,0	99,7	5,4	59,4	35,0	0,0	42,4
%	100,0	7,8	43,0	22,2	100,0	5,4	59,5	35,1	0,0	26,9

Winterhalbjahressumme in mm/6 Monate (90 Monate):										conv
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
	813,0	49,0	328,6	123,7	481,5	32,5	325,3	123,7	0,0	311,6
%	100,0	6,0	40,4	15,2	100,0	6,8	67,6	25,7	0,0	38,3

Sommerhalbjahressumme in mm/6 Monate (90 Monate):										conv
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
	852,0	24,9	110,1	93,2	237,9	30,5	114,3	93,2	0,1	623,8
%	100,0	2,9	12,9	10,9	100,0	12,8	48,0	39,2	0,1	73,2

Jahressumme in mm (180 Monate):										conv
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	ETR
	1665,0	73,9	438,7	216,9	719,4	63,0	439,6	216,9	0,1	935,5
%	100,0	4,4	26,3	13,0	100,0	8,8	61,1	30,1	0,0	56,2

(das hydrologische Jahr geht vom 01.11. bis zum 31.10.)





**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit !**