



Grundwasserschutz durch Bodenschutzkalkung ?

Klaus v. Wilpert

FVA Baden-Württemberg, Abteilung Boden und Umwelt

Waldbodentagung: Vitale Waldböden für multifunktionale Wälder
25. Juni 2024
Schwerte

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 906

Waldbewirtschaftung und Gewässerschutz

Oktober 2016



Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V.



MERKBLATT DWA-M 906 - WALDBEWIRTSCHAFTUNG UND GEWÄSSERSCHUTZ:

- „Die Forstwirtschaft ist eine **dem Gewässerschutz besonders zuträgliche** Landnutzung“.
- „**standortangepasste Waldökosysteme zu erhalten**, steht in der Regel im Einklang mit den Anforderungen an einen wirksamen Gewässerschutz“.
- „Die wasserschützende Wirkung der Wälder kann durch [...] **Versauerung und Nährstoffüberschüsse** infolge von [...] Luftbelastung beeinträchtigt werden [...] Damit der Wald seine Schutzfunktion [...] langfristig gewährleisten kann, bedarf es [...] des Hinwirkens auf **stabile und anpassungsfähige Waldökosysteme**“.
- „Kalkungen zur Kompensation von Immissionsbelastungen haben **in der Regel eine positive Wirkung**“.

Fallstudien: Gebietseigenschaften



Parameter	Schluchsee		Kleine Kinzig	
	Schluchsee 1	Schluchsee 4	Teufelsbächle	Huttenbächle
Gekalkter Flächenanteil [%]	51	76 (z.T. mehrfach)	54	95 (z.T. mehrfach)
Einzugsgebietsfläche [ha]	12	10	217	392
Höhe (Min-Max.) [m+NN]	1145-1254	1147-1299	609-854	617-853
Baumarten	Fi 99%, Bu 1%	Fi 97%, Bu 3%	Fi 52%, Ta 45%, Bu 3%	Fi 52%, Ta 37%, Bu 9%, Lä 2%
Alter [a]	55-75	70-90	80-90	70-120
Böden	Braunerde-Podsol		Podsol-Braunerde	
Grundgestein	Bärhaldegranit		Buntsandstein	
Jahresniederschlag [mm]	1900		1700	
Jahresmitteltemperatur [°C]	5,5		7,5	

Abflussbildung in den Fallstudien

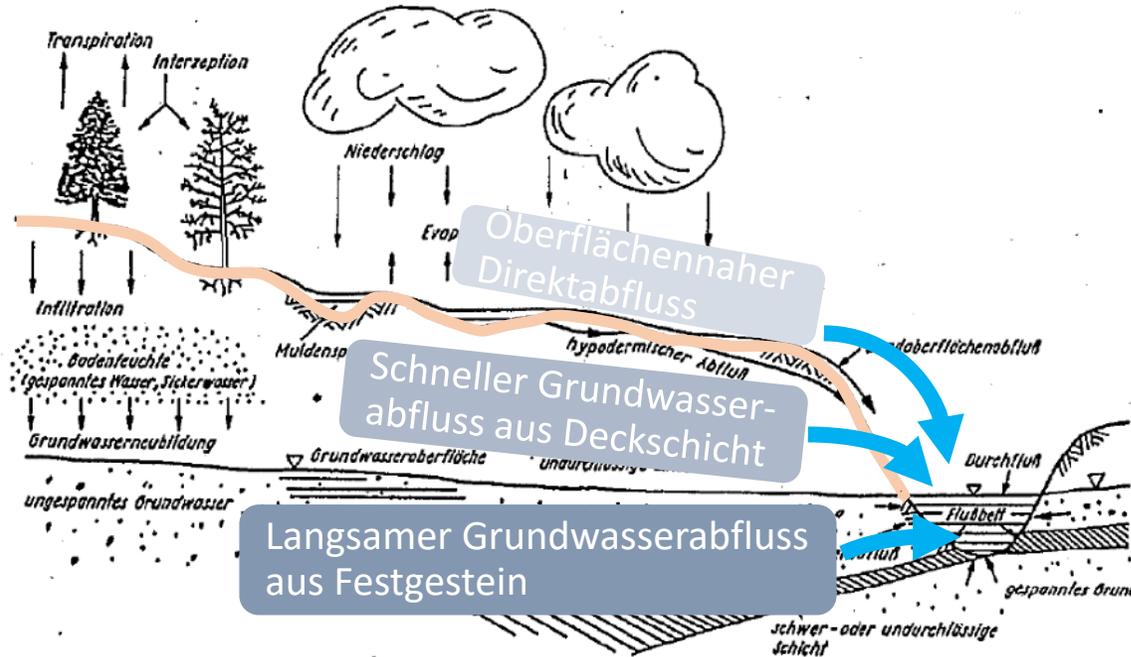


Bild 1.3. Vereinfachte Darstellung der Abflußbildung

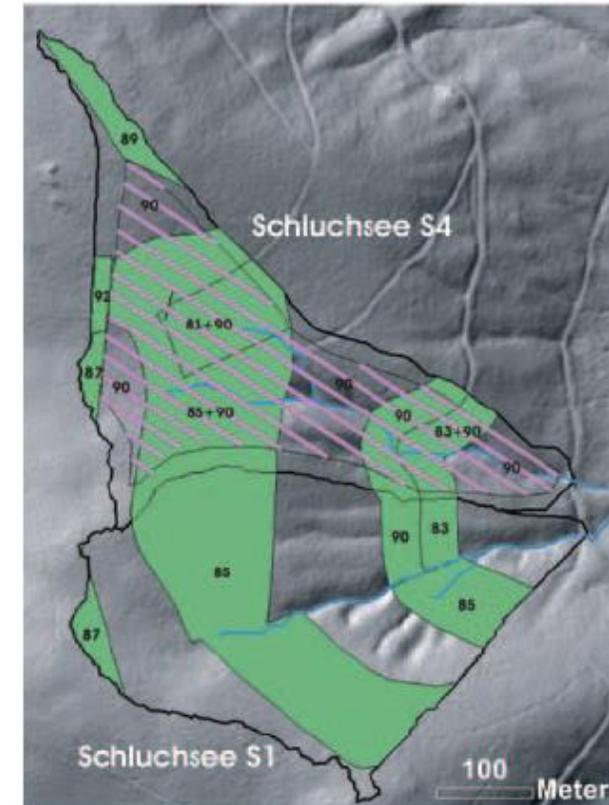
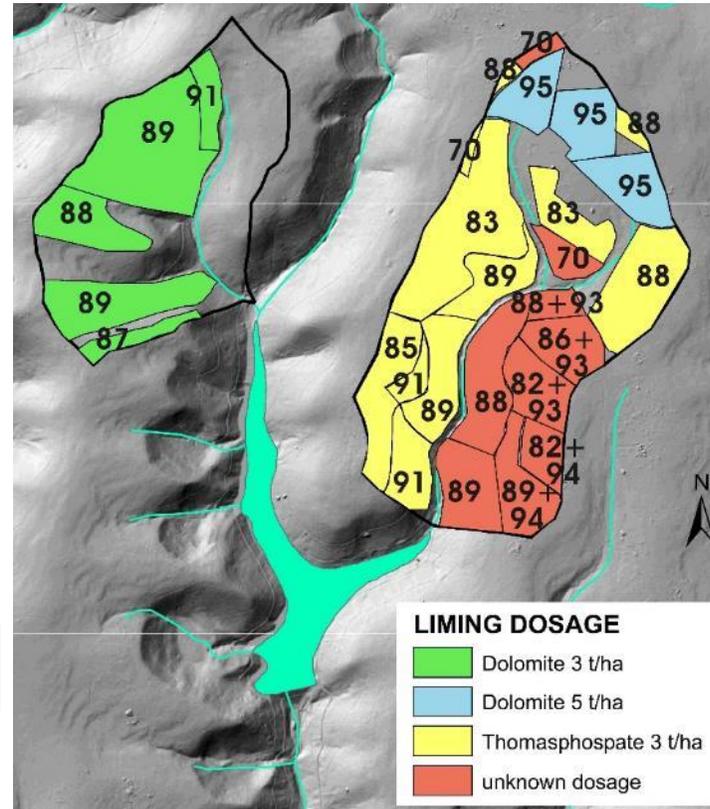
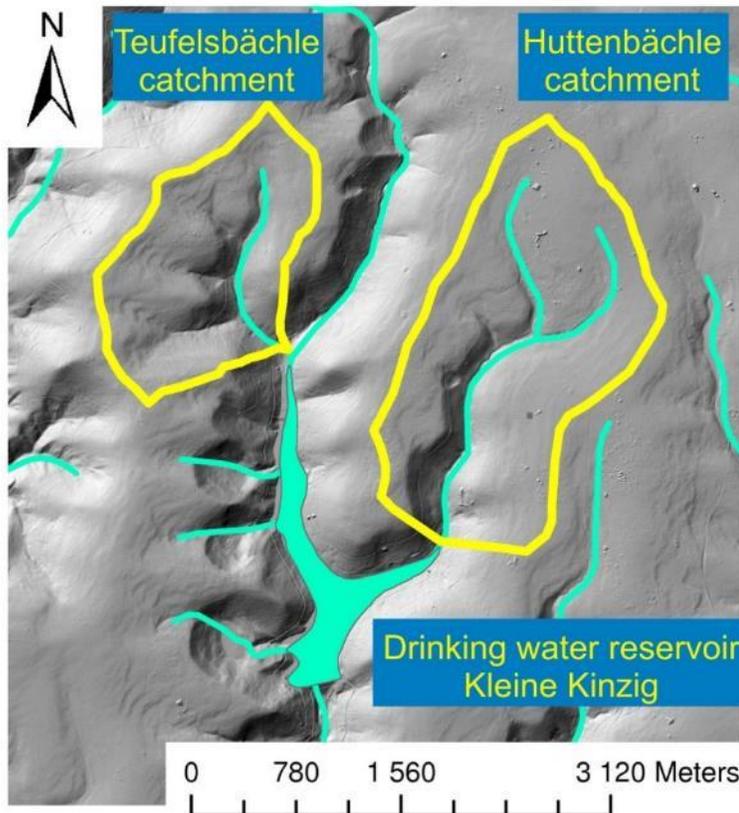
Kalkungseffekte im Bachwasser abhängig von dominierendem Prozess der Abflussbildung

- ➔ Säureschübe
- ➔ Mineralarmut
- ➔ Eintrag basischer Kationen

Kalkung wirkt vor allem auf den Direktabfluss und den schnellen Grundwasserabfluss.

Gesamtjahr	Direkt-abfluss [%]	Schneller Grundwasser-abfluss [%]	Langsamer Grundwasser-abfluss [%]
Huttenbächle	20	62	18
Teufelsbächle	18	60	22
Schluchsee 1	23	50	27
Schluchsee 4	26	60	14

Untersuchungsgebiet Kleine Kinzig: Vergleich wenig vs. intensiv gekalktes Einzugsgebiet Untersuchungen bis 2006

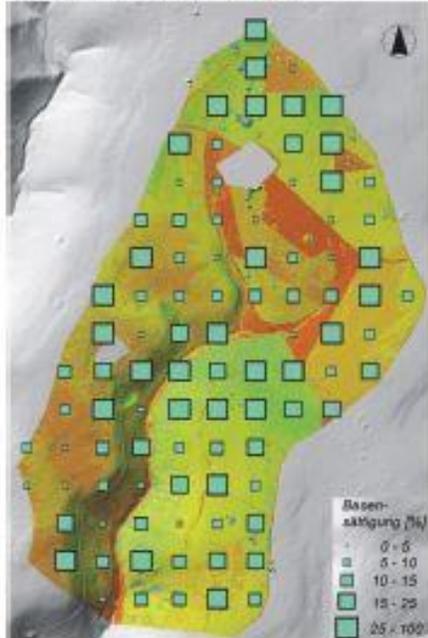


Schraffur: Vollflächige Kalkung in S4 mit 3t/ha Dolomit im Jahr 1990

Regionalisierung der Basensättigung in 0-10cm und 60-90cm Tiefe in Teileinzugsgebieten der Kleinen Kinzig (links) und Schluchsee (rechts)



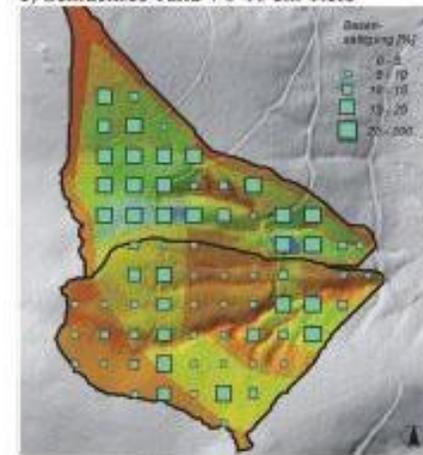
a) Huttenbächle 0-10 cm Tiefe



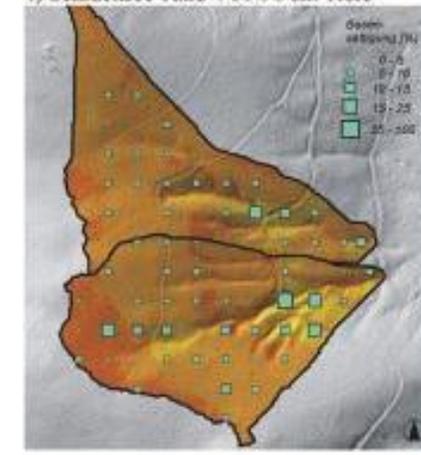
b) Huttenbächle 60-90 cm Tiefe



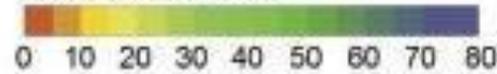
e) Schluchsee I und 4 0-10 cm Tiefe



f) Schluchsee I und 4 60-90 cm Tiefe

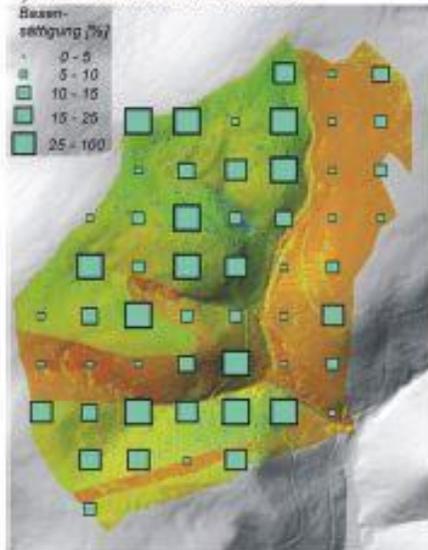


Basensättigung [%]

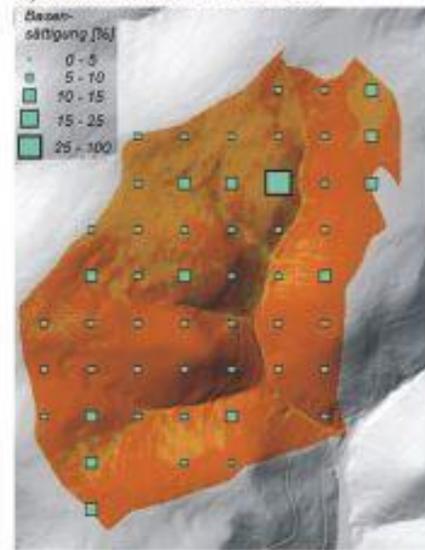


Kästchen = gemessene Basensättigungswerte
Farbflächen = mittels multiplen Regressionsmodellen interpolierte Werte

c) Teufelsbächle 0-10 cm Tiefe

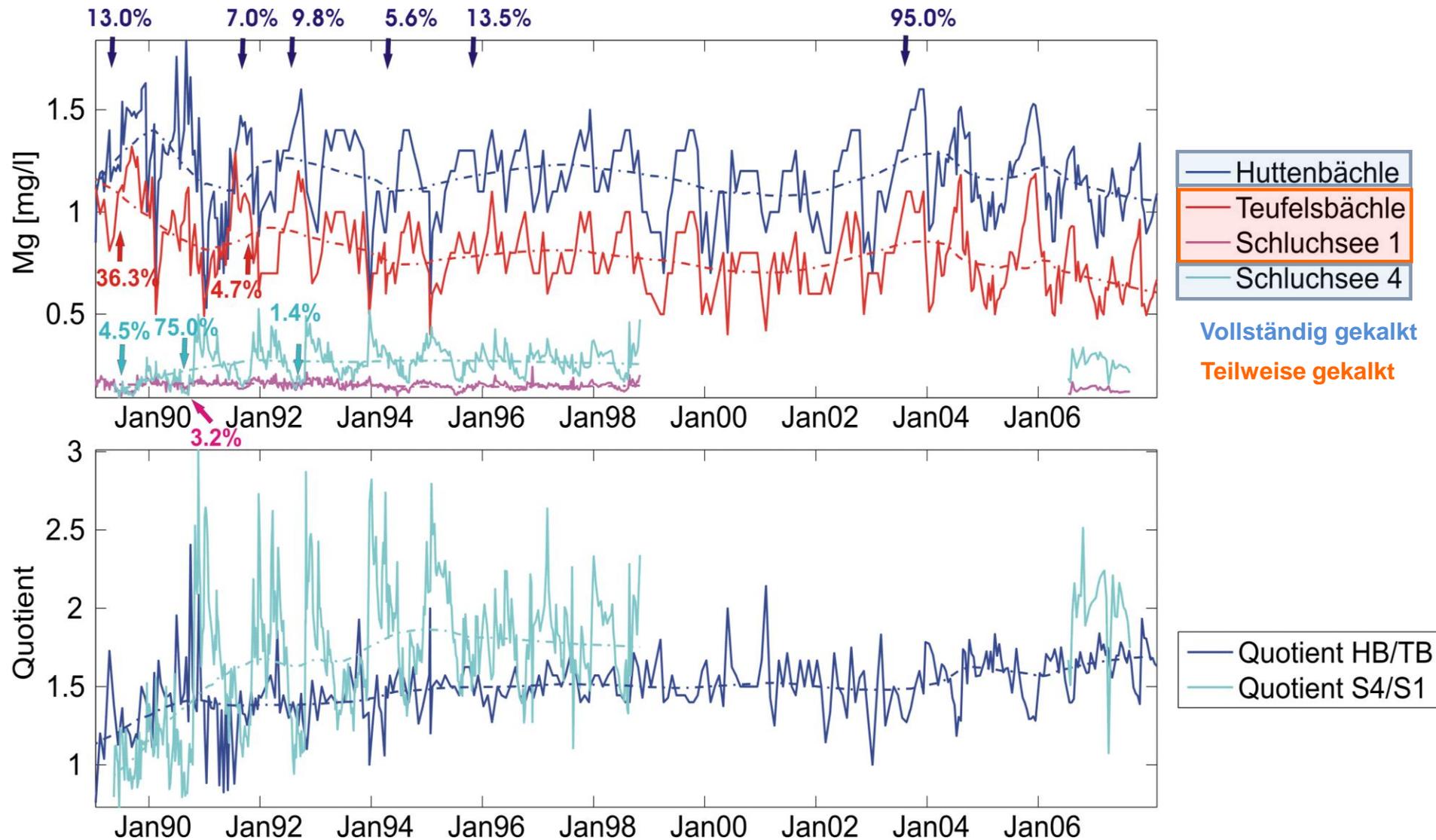


d) Teufelsbächle 60-90 cm Tiefe



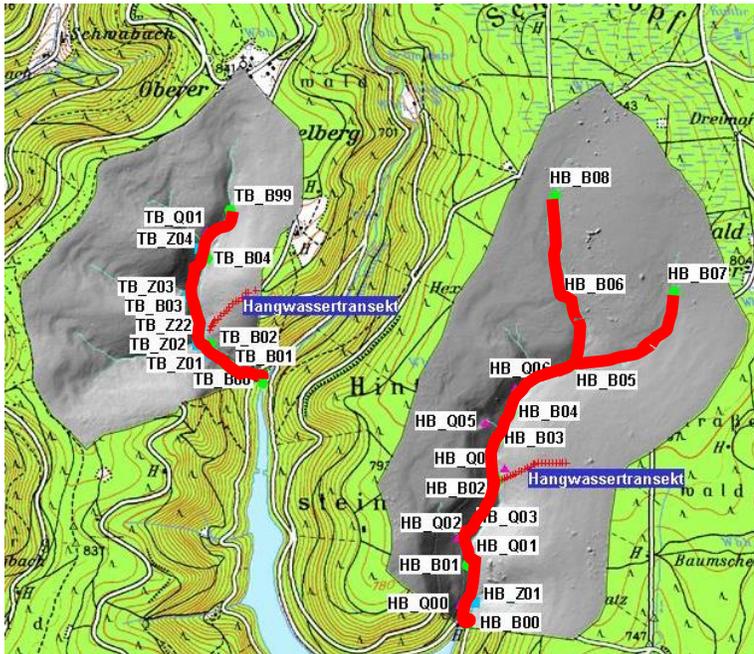
- In beiden Einzugsgebieten haben in 0-10 cm Bodentiefe stark gekalkte Areale signifikant höhere Basensättigungen gegenüber und wenig oder nicht gekalkten Arealen
- In 60-90 cm Bodentiefe sind diese Unterschiede schwächer ausgeprägt, aber noch erkennbar

Bodenschutzkalkung: Magnesium im Bachwasser

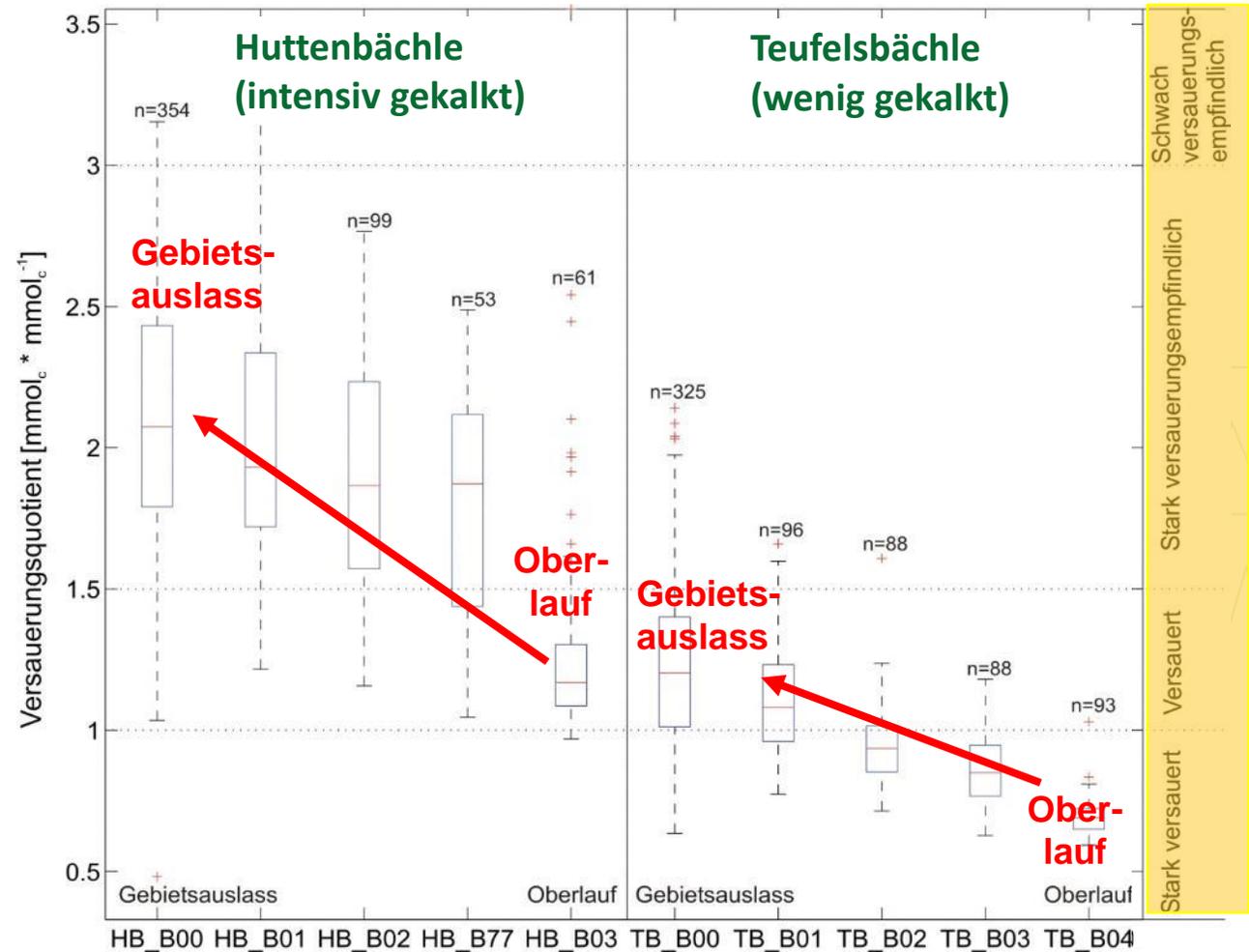


Bach- und Quellwasser-Beprobung

Messprogramm: Bach- und Quellwasserbeprobung



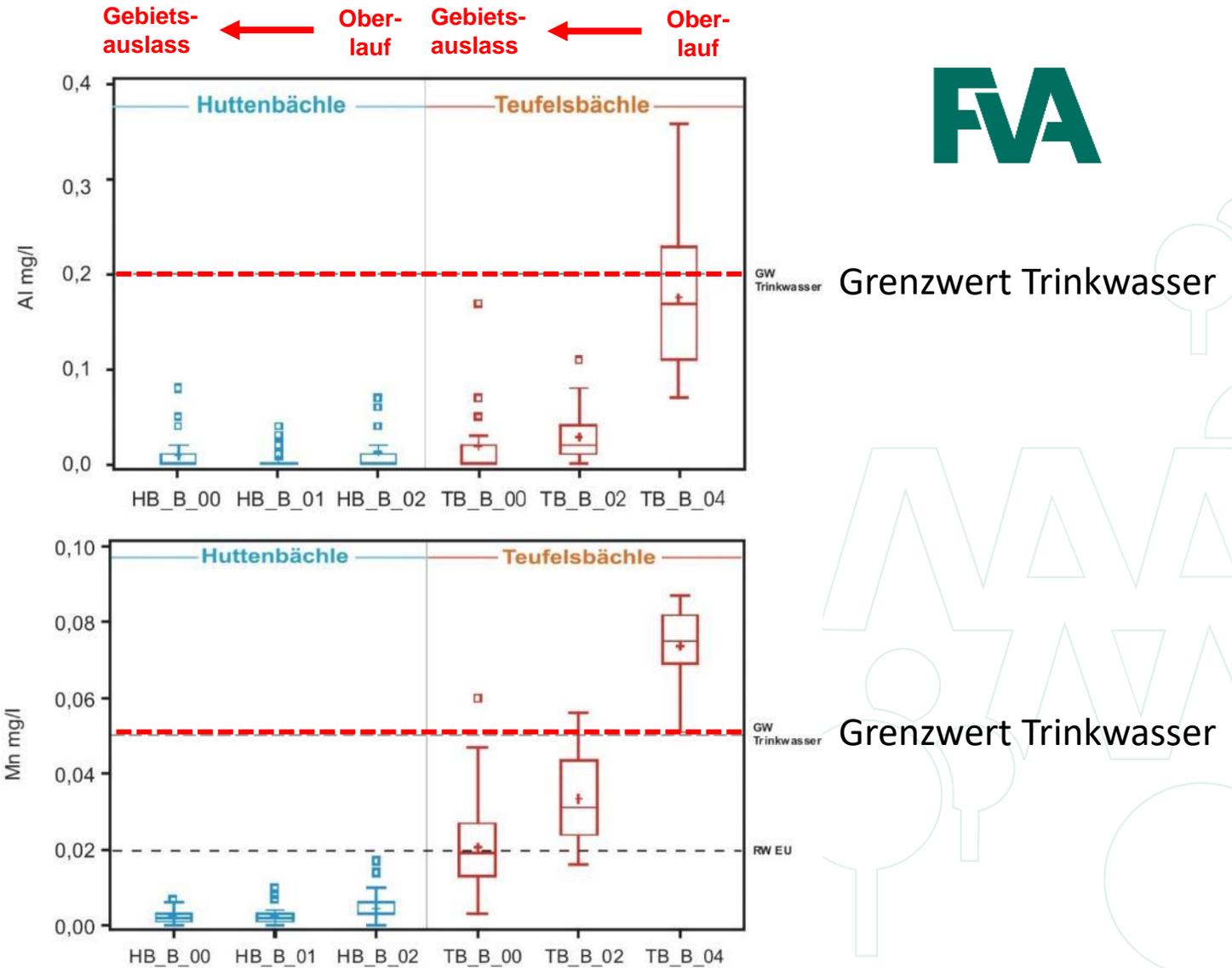
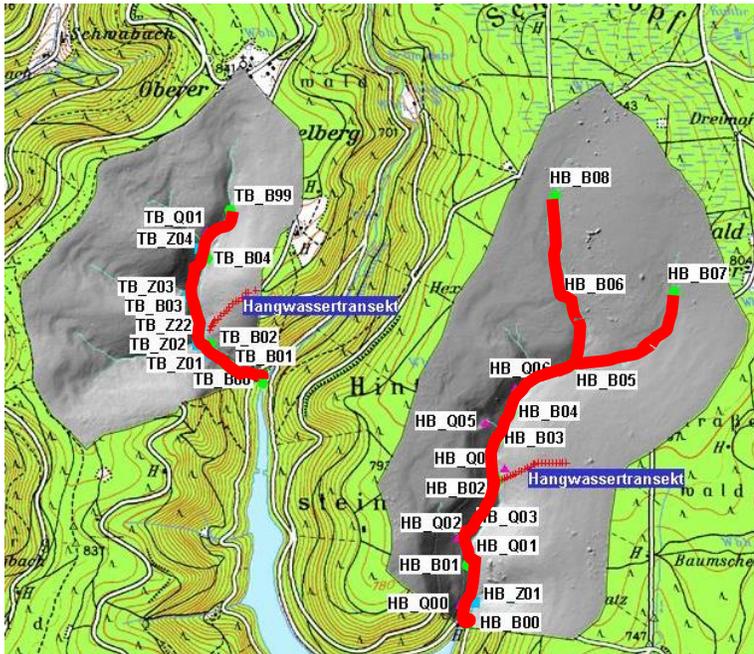
$$VQ = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) / (SO_4^{2-} + NO_3^{-}) \text{ [mmol}_c\text{/mmol}_c\text{]}$$



Bachwasser im gekalkten Gebiet besser gepuffert

Bach- und Quellwasser-Beprobung

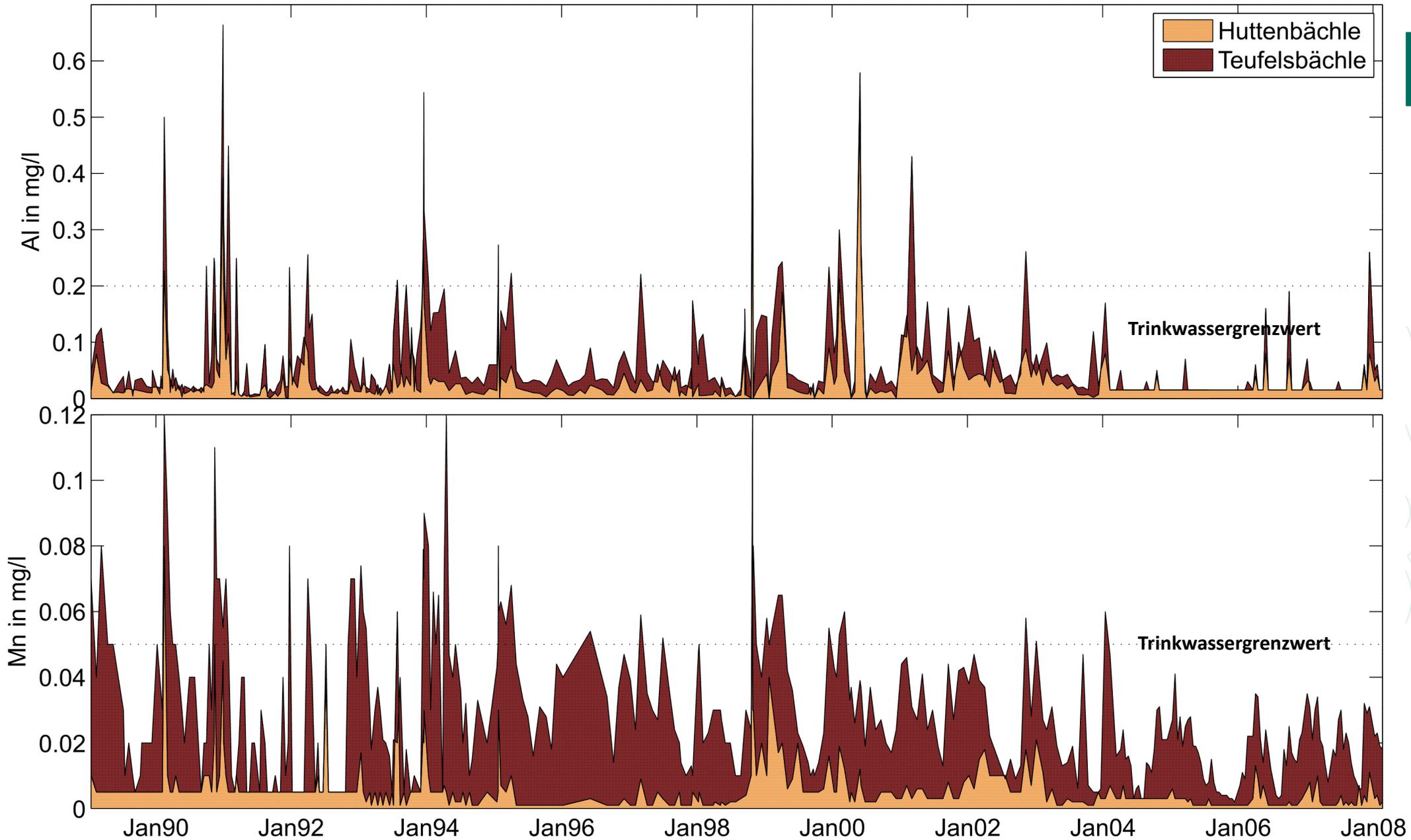
Messprogramm: Bach- und Quellwasserbeprobung



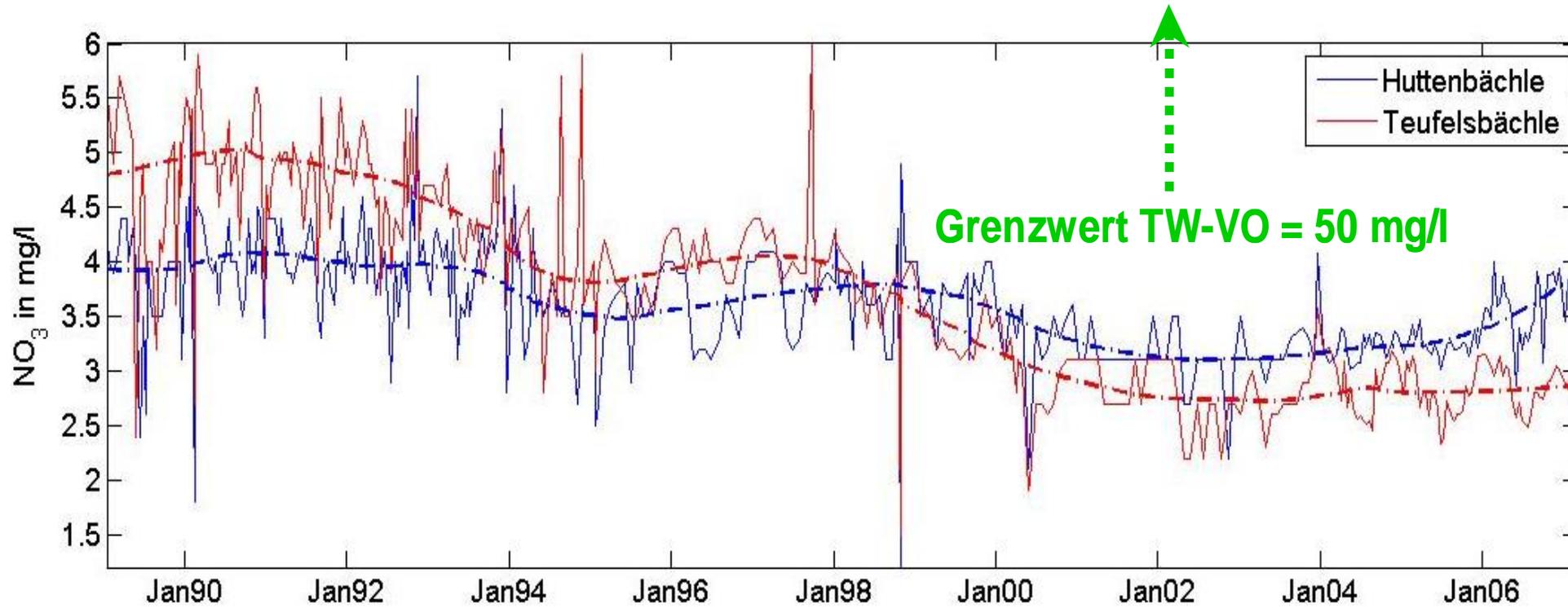
Am Gebietsauslass ähnliche Al-Konzentrationen, bis dahin deutlich höhere Al, und durchweg höhere Mn-Konzentrationen im weniger gekalkten TB



Konzentrationen von Al und Mn im Bachwasser (Gebietsauslass)



Risiken und Nebenwirkungen von Kalkungen: Nitrataustrag am Gebietsauslass



**insgesamt geringe NO₃-Werte & Abnahme seit 1990er Jahre
HB vs. TB kein signifikanter Unterschied**

Waldbauliche Steuerungsmöglichkeiten des Stoffhaushalts von Waldökosystemen

Ergebnisse aus 15 Jahren der Ökosystemfallstudie
Conventwald bei Freiburg

Bestand	Bäume	Kronenstr.	Metastr.	Lage
Mischb.	→ Buche (2 Bäume)	→ Kronenkern	Kleinkahlschlag Femel (1996)	→ Kern
		→ Stammablauf		
		→ Kr.-Rand		
	→ Kr.-Lücke			
→ Tanne (2 Bäume)	→ Kronenkern	Femel m. Vorverj.	→ Kern	
	→ Kr.-Rand		→ Rand	
	→ Kr.-Lücke			
→ Fichte (2 Bäume)	→ Kronenkern	Femel o. Vorverj.	→ Kern	
	→ Kr.-Rand		→ Rand	
	→ Kr.-Lücke			
		Naturverjüngung unter Schirm		
Buchen- Baumh.	→ Buche (2 Bäume)	→ Kronenkern	Kleinfemel	→ Kern
		→ Stammablauf		→ Rand
		→ Kr.-Lücke		
Fichten- baumh.	→ Fichte (2 Bäume)	→ Kronenkern	Kleinfemel	→ Kern
		→ Kr.-Lücke		→ Rand
Fichten- Altholz	→ Fichte (3 Bäume)	→ Kronenkern		
		→ Kr.-Rand		
		→ Kr.-Lücke		
Summe Varianten	13	39	7	10
Summe Messstellen				49

Strukturbezogenes Mess – Konzept:

Übersicht über Varianten und
Messstellen.

Gliederung in Bestände,
Bäume, Kronenstraten sowie
Metastruktur-elemente.

Waldbauliche Strukturen in der Conventwald-Fallstudie

Buchen Baumholz 50-jährig



Fichten Baumholz 50-jährig



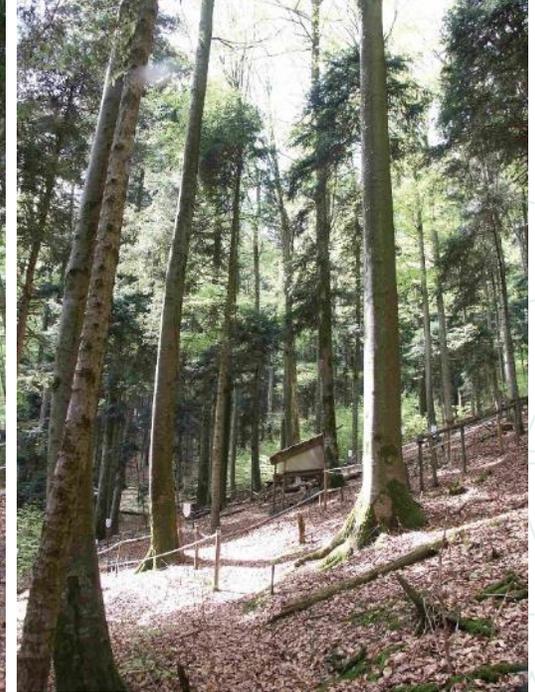
← Baumhölzer

Altbestände →

Fichten Altholz 100-jährig



Bu/Ta/Fi Mischbestand 150-jährig



Durchforstungslücke Buche 50-jährig



Durchforstungslücke Fichte 50-jährig



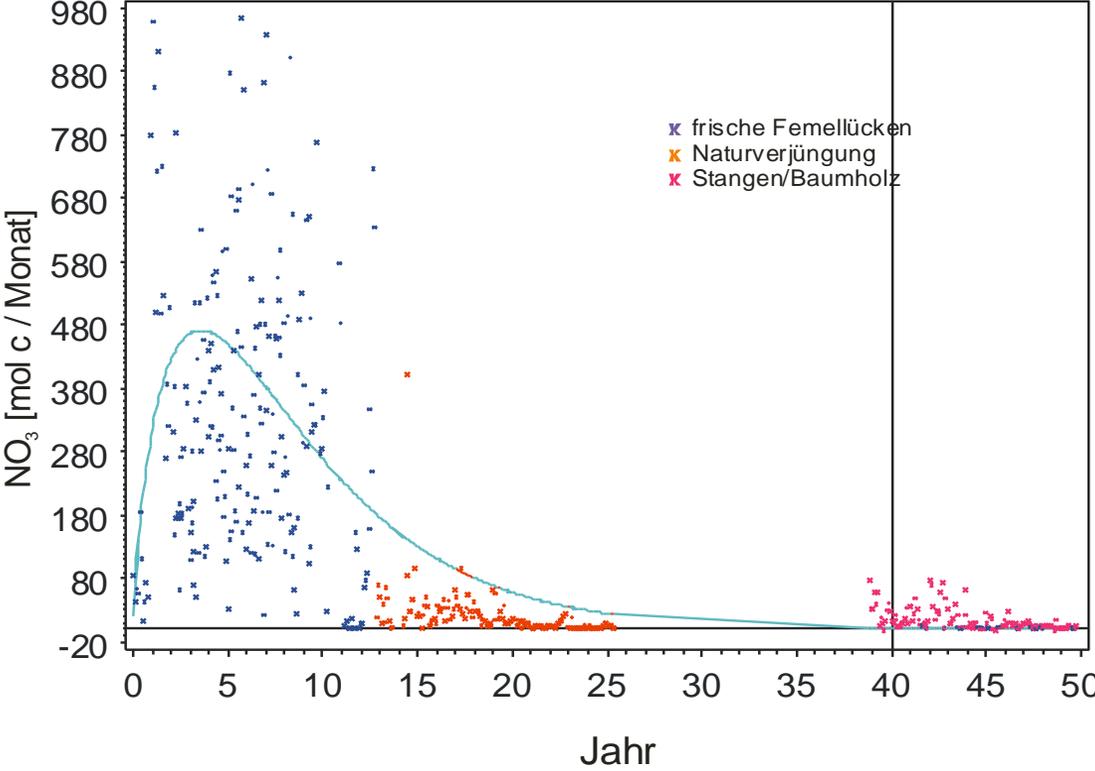
Femellücke Buche/Tanne/Fichte 150-jährig



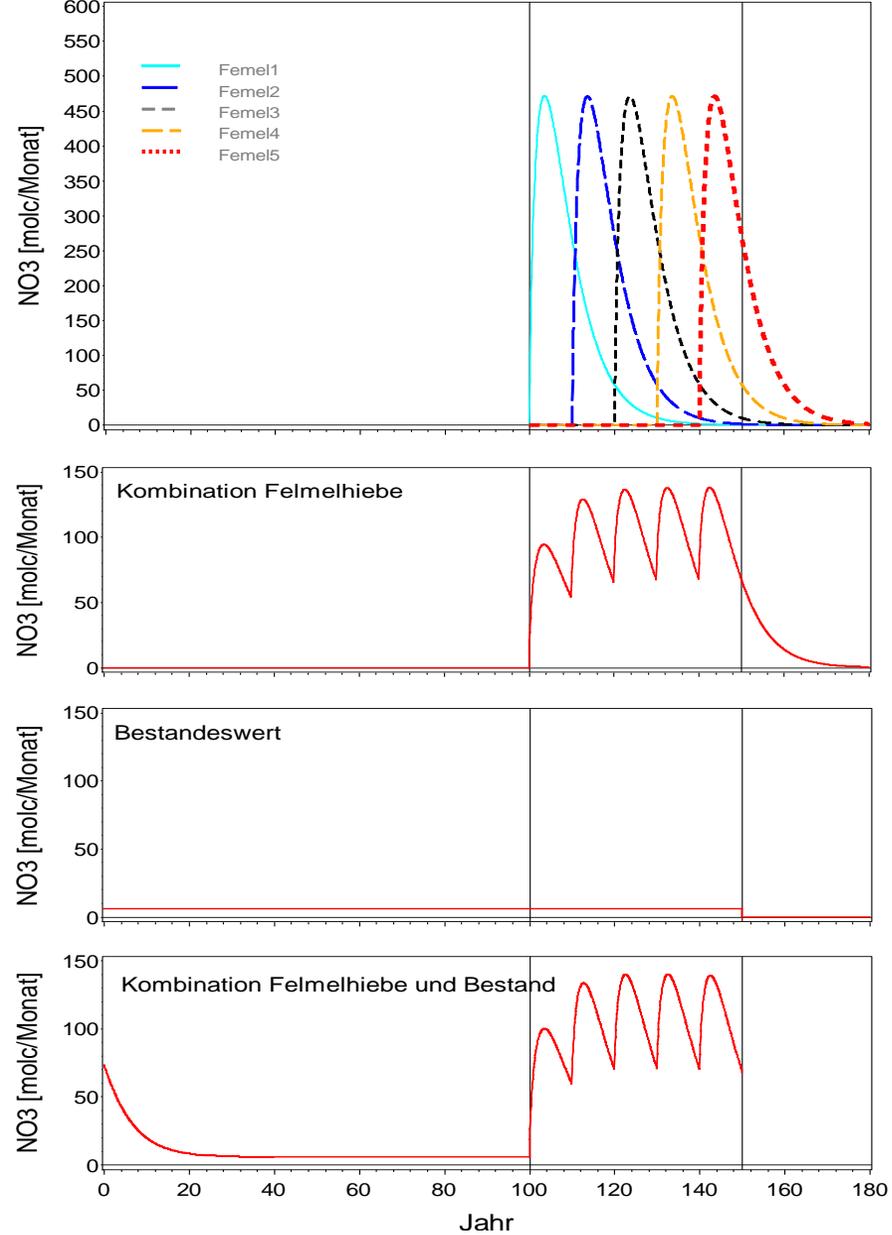
Herleitung der Nitratausträge in 120cm Bodentiefe im Buchen-Femelschlag ohne Naturverjüngung

Buche Femel ohne NatVj.

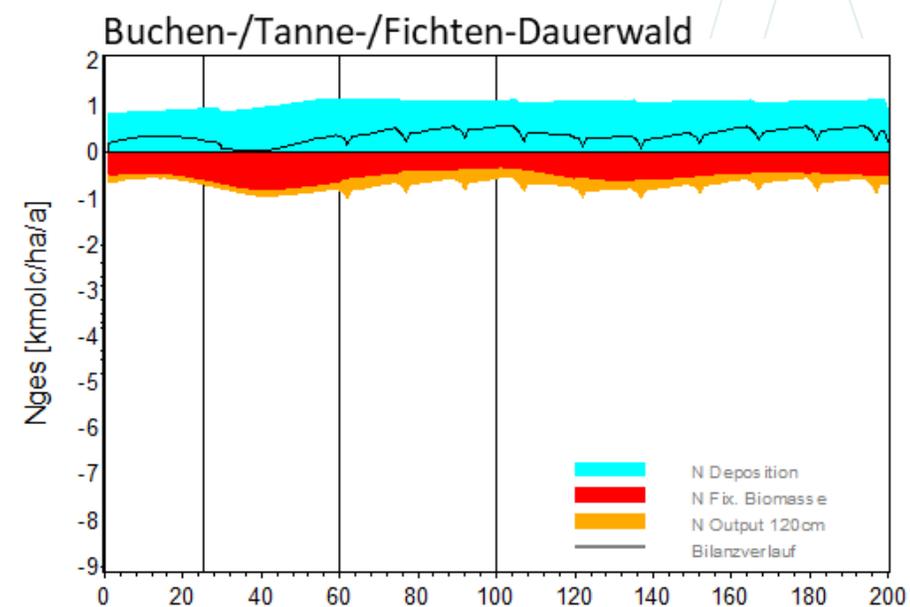
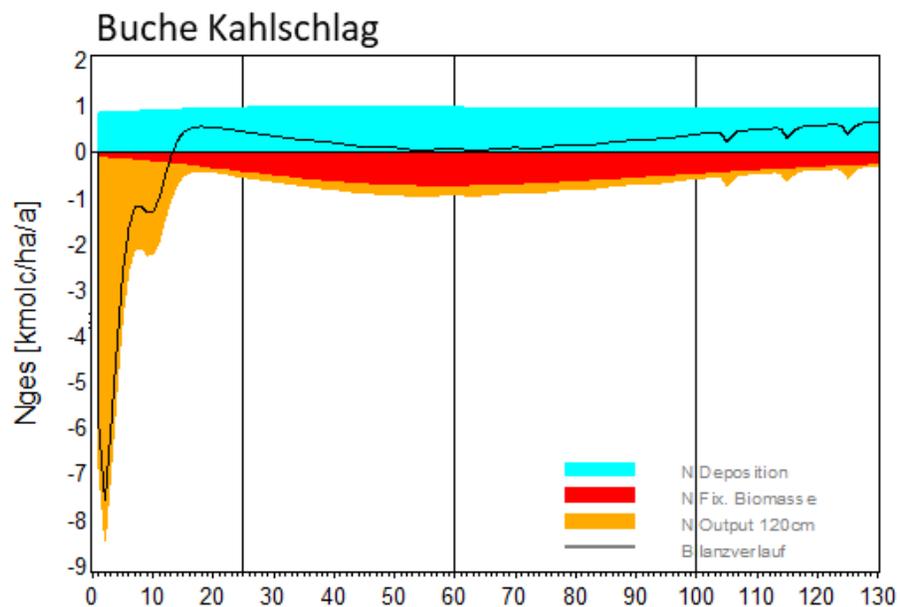
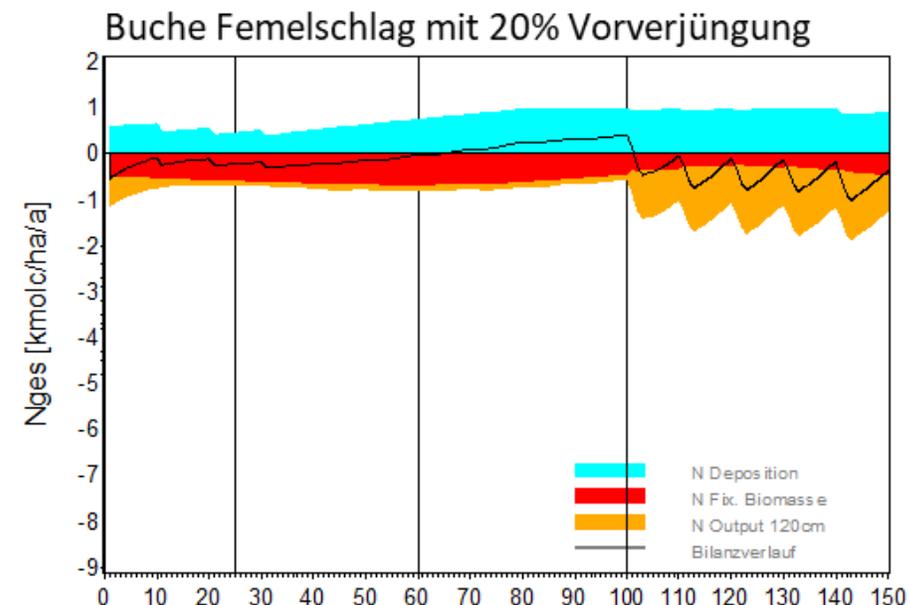
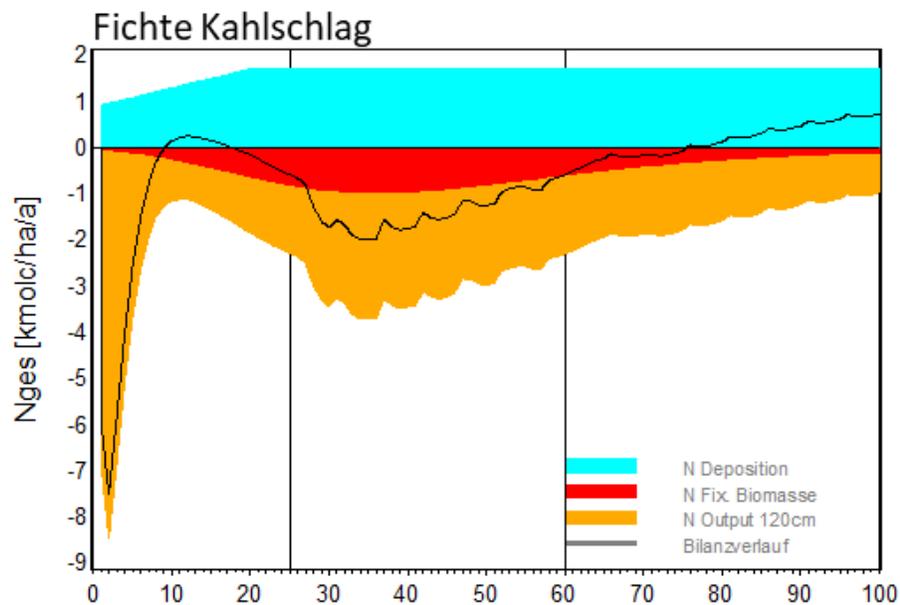
1) Kombination von Messwerten aus experimenteller Femellücke, NatVj. und Baumholz



2) Modellierung des NO_3 -Austrags über das gesamte Bestandesleben im Femelschlagbetrieb



Stickstoffbilanzen für unterschiedliche Waldbauvarianten



- Mit der Holzernte werden Calcium, Magnesium und Kalium exportiert
- Damit verstärkt sie in Abhängigkeit von Waldbauverfahren und Nutzungsintensität die Bodenversauerung
- Bodenversauerung kann die Wasserqualität schwächen z.B. durch erhöhte Schwermetall-Mobilität

Gesamtbilanzen Ca+Mg+K [kmolc/ha/a]

Bilanz-Element	Nutzung	Bu/Ta/Fi 200 Dauer -----	Bu 150 Femel 0.8VVj. -----	Bu 150 Femel 0.2VVj. [kmol _c ha ⁻¹ a ⁻¹]	Bu 130 Kahlschl. -----	Fi 100 Kahlschl. -----
MB-Kati.	Holz	0,520	0,418	0,311	- 0,018	- 1,904
MB-Kati.	Holz+Rinde	0,125	0,082	- 0,026	- 0,332	- 2,461
MB-Kati.	Vollbaum	- 0,086	- 0,084	- 0,251	- 0,542	- 2,644

Zusammenfassung



- ❖ Kalkungen wirken sich positiv auf Bodenwasser, Sickerwasser und Bachwasser aus
 - weniger gekalkte Flächen zeigen deutlich stärkeren Versauerungszustand
 - Bodenwasser des Oberbodens: erhöhte Ca- und Mg-Konzentrationen gegenüber tieferen Bodenschichten
 - Sickerwasser: ausgeprägte Differenzierung nach Zahl der Kalkungskampagnen
 - Bachwasser: höhere Ca- und Mg-Konz. in Bächen der intensiver gekalkten Einzugsgebiete → relativ unverzögert einsetzende, aber lang anhaltende Wirkung
- ❖ keine ungewollten Nebenwirkungen wie erhöhte Nitratausträge in relevanter Größenordnung beobachtet
- ❖ Baumartenwahl und schonende Waldbauverfahren verbessern die Wasserqualität zusätzlich, insbesondere hinsichtlich Nitrat
- ❖ Waldkalkung unterstützt die Etablierung anspruchsvoller Laubholzarten mit hohem Wasservorsorgepotential



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg



Landes
Forst
Verwaltung
BW



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Literatur

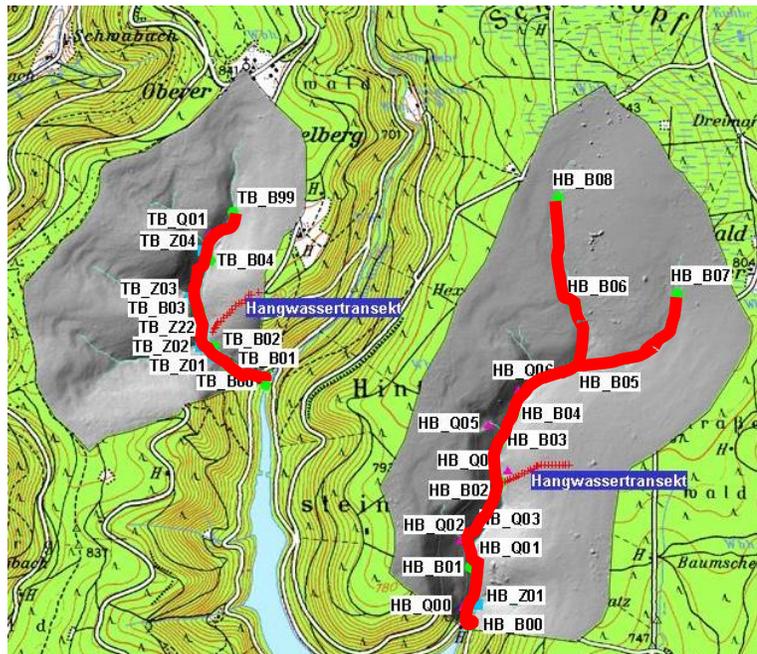
- MERKBLATT DWA-M 906 - WALDBEWIRTSCHAFTUNG UND GEWÄSSERSCHUTZ - OKTOBER 2016
- SUCKER, C. & KRAUSE, K. (2010): Increasing dissolved organic carbon concentrations in freshwaters: what is the actual driver? *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 3/4, 106-108.
- SUCKER, C.; PUHLMANN, H.; ZIRLEWAGEN, D.; VON WILPERT, K. & FEGER, K.-H. (2009): Bodenschutzkalkungen in Wäldern zur Verbesserung der Wasserqualität – Vergleichende Untersuchungen auf Einzugsgebietsebene. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 53/4, 250-262.
- SUCKER, C.; VON WILPERT, K. & PUHLMANN, H. (2011): Acidification reversal in low mountain range streams of Germany. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174/1-4, 65-89.
- v.Wilpert, K. Niederberger, J. Puhlmann, H. (2007): Fallstudien zur Bewertung und Entwicklung forstbetrieblicher Optionen zur Sicherung der Wassergüte in bewaldeten Einzugsgebieten – Wirkung von Bodenschutzkalkungen auf die Wasserqualität. *Freiburger Forstliche Forschung, Berichte H.75*, 65 S.
- v.Wilpert, K. Zirlewagen, D. (2007): Forestry Management options to maintain sustainability – element budgets at Level II sites in South – West Germany. In: Eichhorn, J. (Edit.): *Forests in a Changing Environment – Results of 20 years ICP Forests Monitoring*, Schriften aus der Forstlichen Fak. Univ. Göttingen, Bd. 142, 170 – 179.
- v.Wilpert, K. (2008): Waldbauliche Steuerungsmöglichkeiten des Stoffhaushalts von Waldökosystemen – am Beispiel von Buchen- und Fichtenvarianten der Conventwald – Fallstudie. *Freiburger Forstliche Forschung*. Band 40.237 S.

Arbeitshypothesen zweier Fallstudien im Schwarzwald

- **Deposition von Säuren und Stickstoff haben die Kapazität von Böden vermindert, das Sickerwasser zu filtern und zu puffern und so die Qualität von Grund- und Oberflächenwasser verschlechtert**
- **Bodenschutzkalkung hat mittel- bis langfristig ein Potential zur Stabilisierung der chemischen Qualität von Grund und Oberflächenwasser bewaldeter Wassereinzugsgebiete**
- **Bodenschutzkalkung verbessert außerdem die Voraussetzungen für einen Waldumbau in Richtung von laubholzreichen Mischbeständen mit höherem Potenzial zur Wasservorsorge**
- **Der Austrag von Nitrat, Aluminum-Ionen, organischem Kohlenstoff und von Schwermetallen wird außerdem auch durch Aufbau und waldbaulicher Behandlung von Wäldern bestimmt**

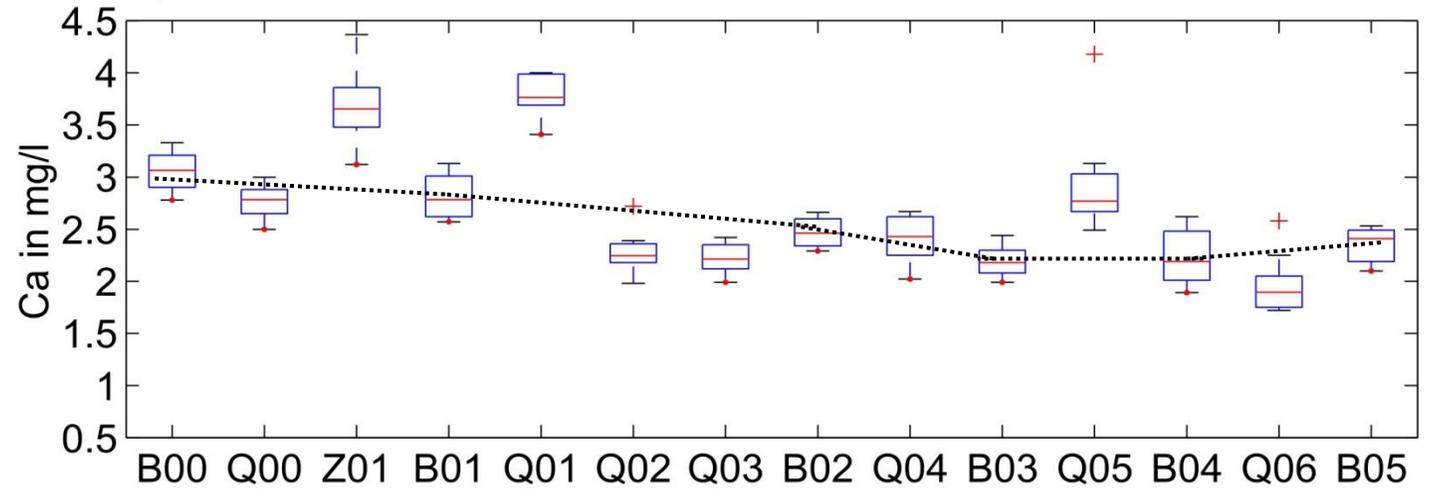
Bach- und Quellwasser-Beprobung

Messprogramm: Bach- und Quellwasserbeprobung

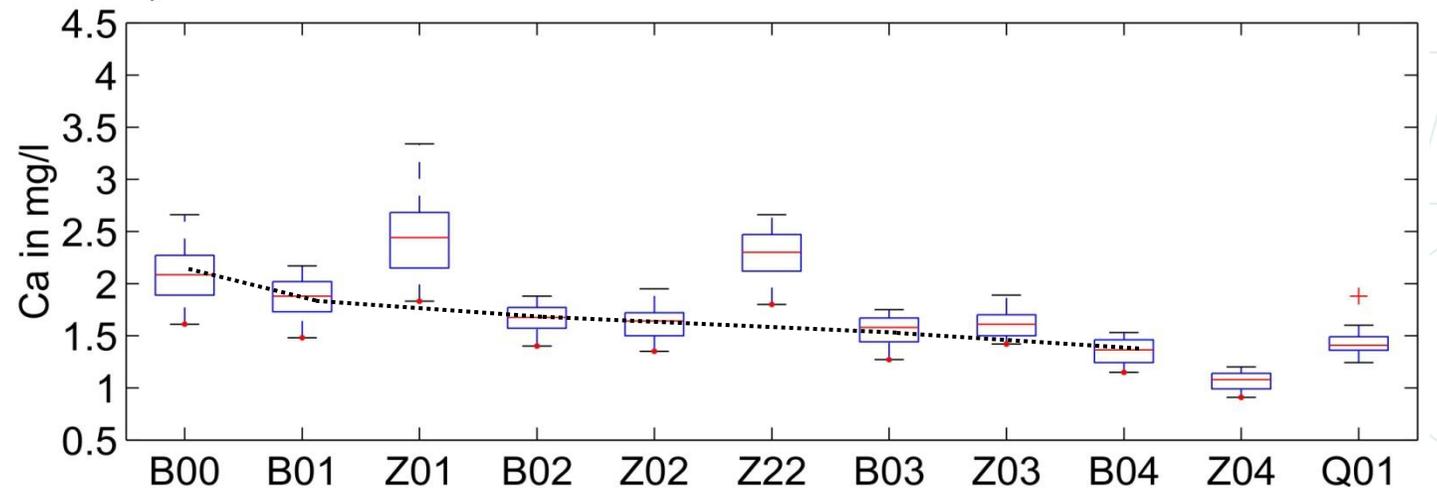


Gebietsauslass ← ————— → Oberlauf

a) Huttenbächle



b) Teufelsbächle



Ca-Konzentration in Gebietsauslass und im intensiv gekalkten Gebiet höher