



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

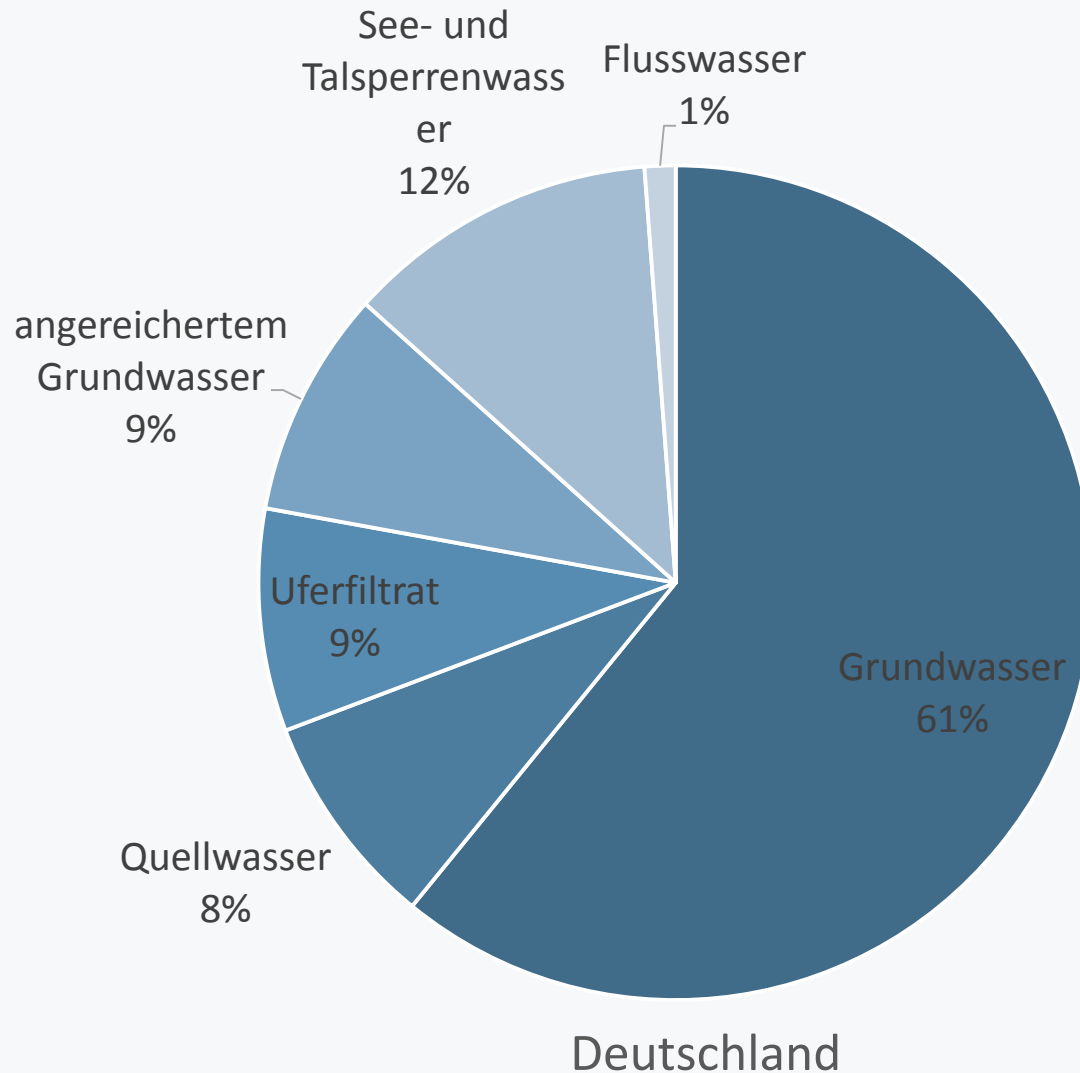
Förderkennzeichen: 03DAS083



Klimawandelfolgen in der Wasserversorgung

Manfred Fink
Lehrstuhl für Geoinformatik
Friedrich – Schiller – Universität Jena

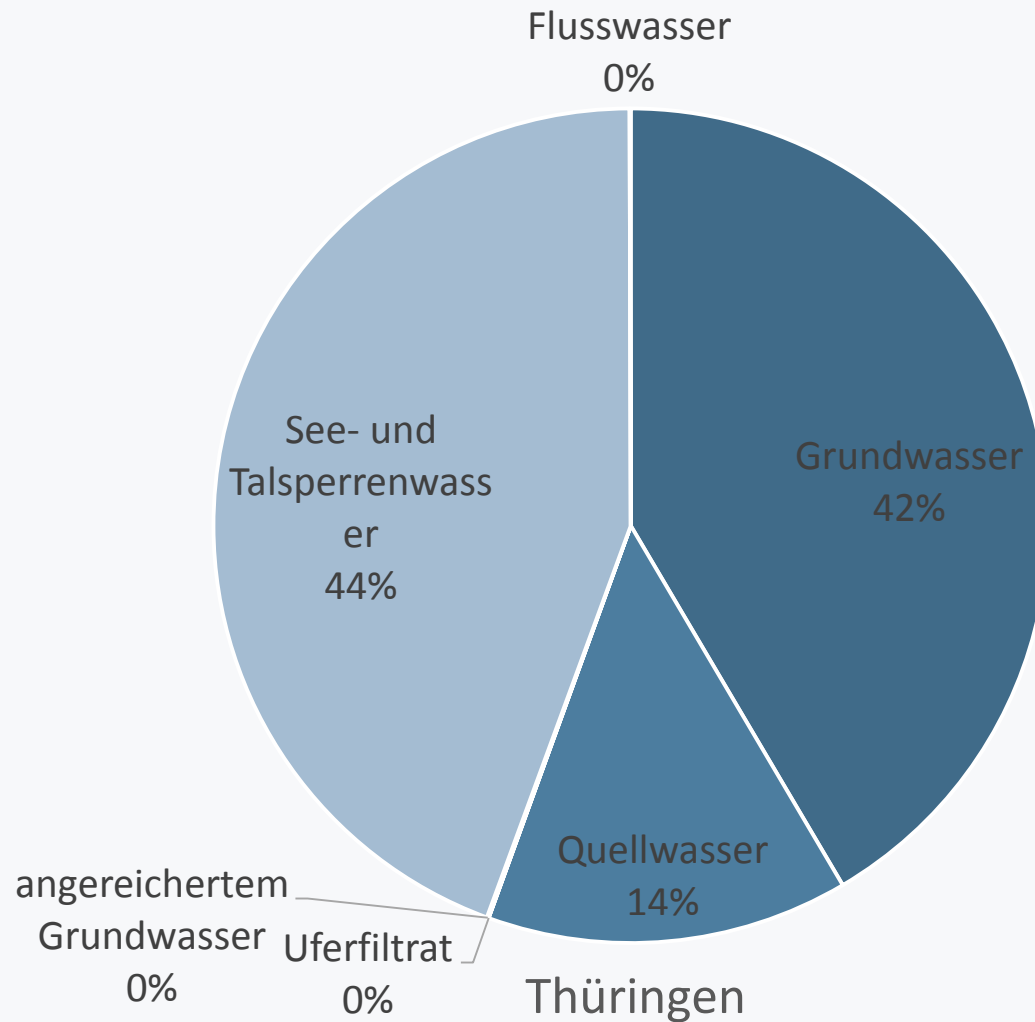
Wassergewinnung



Wassergewinnung durch öffentliche Wasserversorgungsunternehmen (WVU) 2013

Quelle: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015

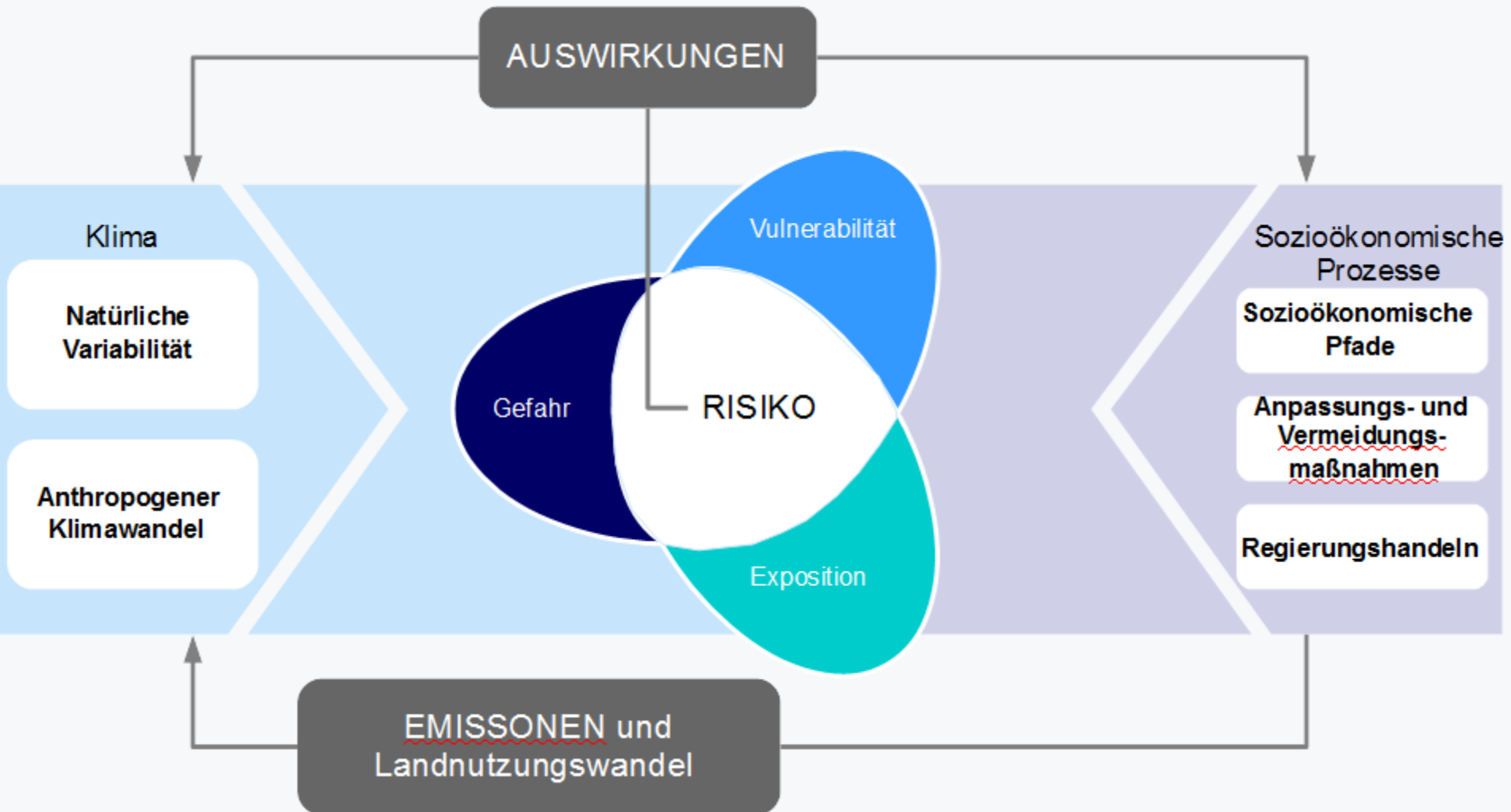
Wassergewinnung



Wassergewinnung durch öffentliche Wasserversorgungsunternehmen (WVU) 2013

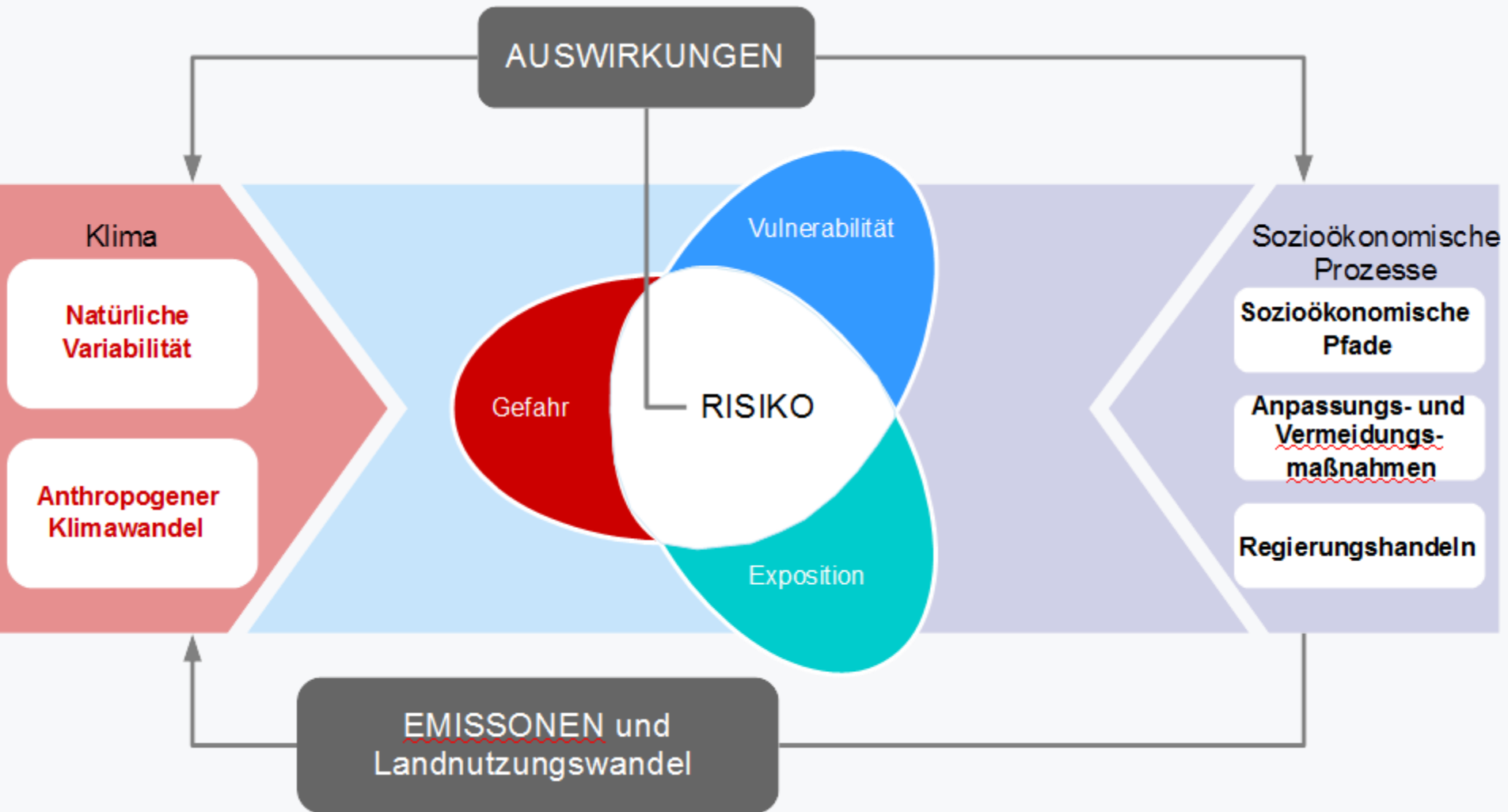
Quelle: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015

Risikomanagement



nach IPCC 2014

Risikomanagement



nach IPCC 2014

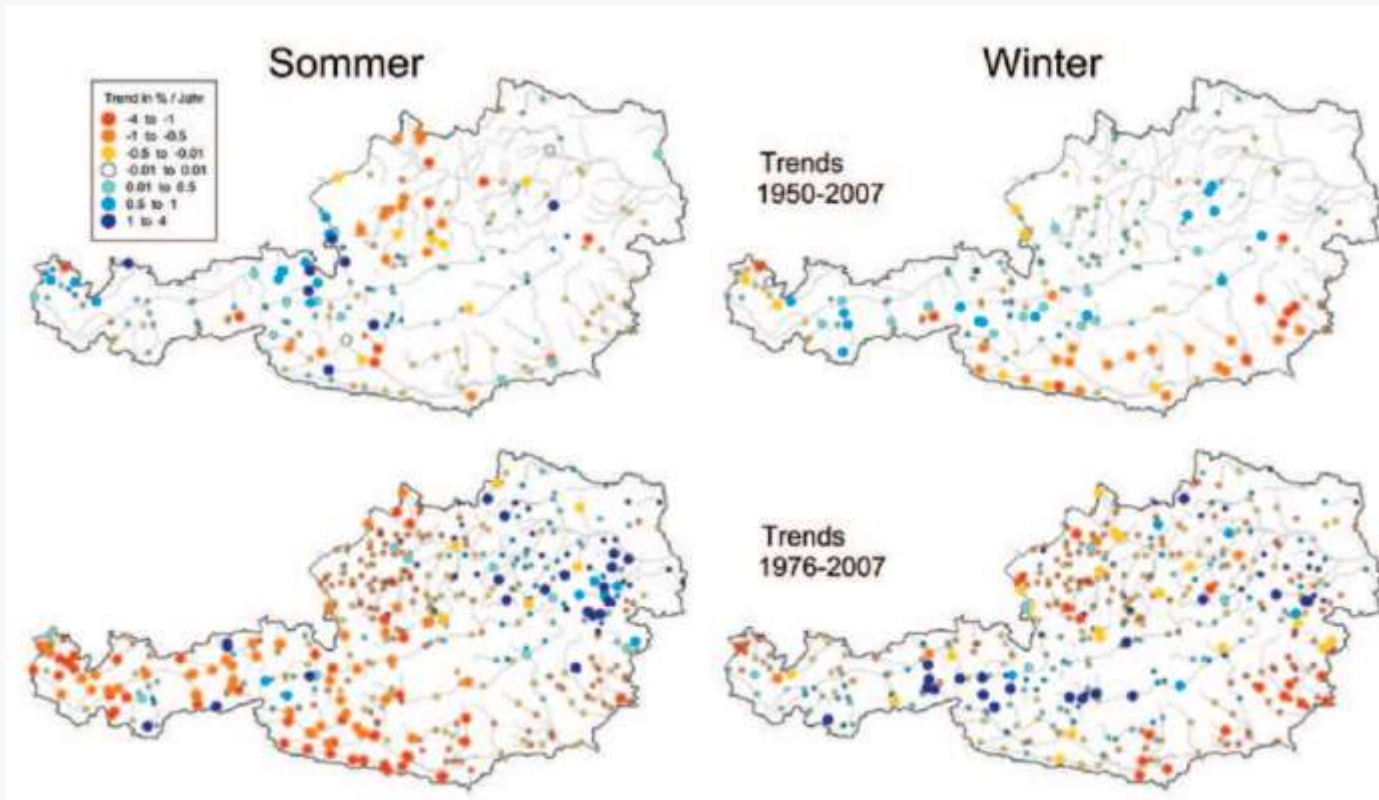
Flusswasser

1. Erwärmung des Wassers – Vermehrte Bioproduktion – Verschlechterung der Wasserqualität (mittelharte Aussage)
2. Vermehrte Starkniederschlagsereignisse - mehr Oberflächenabfluss - verminderte Wasserqualität (höhere Nährstofflasten) – Höhere Sedimentlast (weiche Aussage)
3. Punkt 2 verstärkt noch die in Punkt 1 genannten Effekte
4. Änderung der Jahreszeitlichen Dynamik in den Flüssen - (Erhöhung im Winter, verringerung im Sommer) – (mittelharte Aussage)

Flusswasser

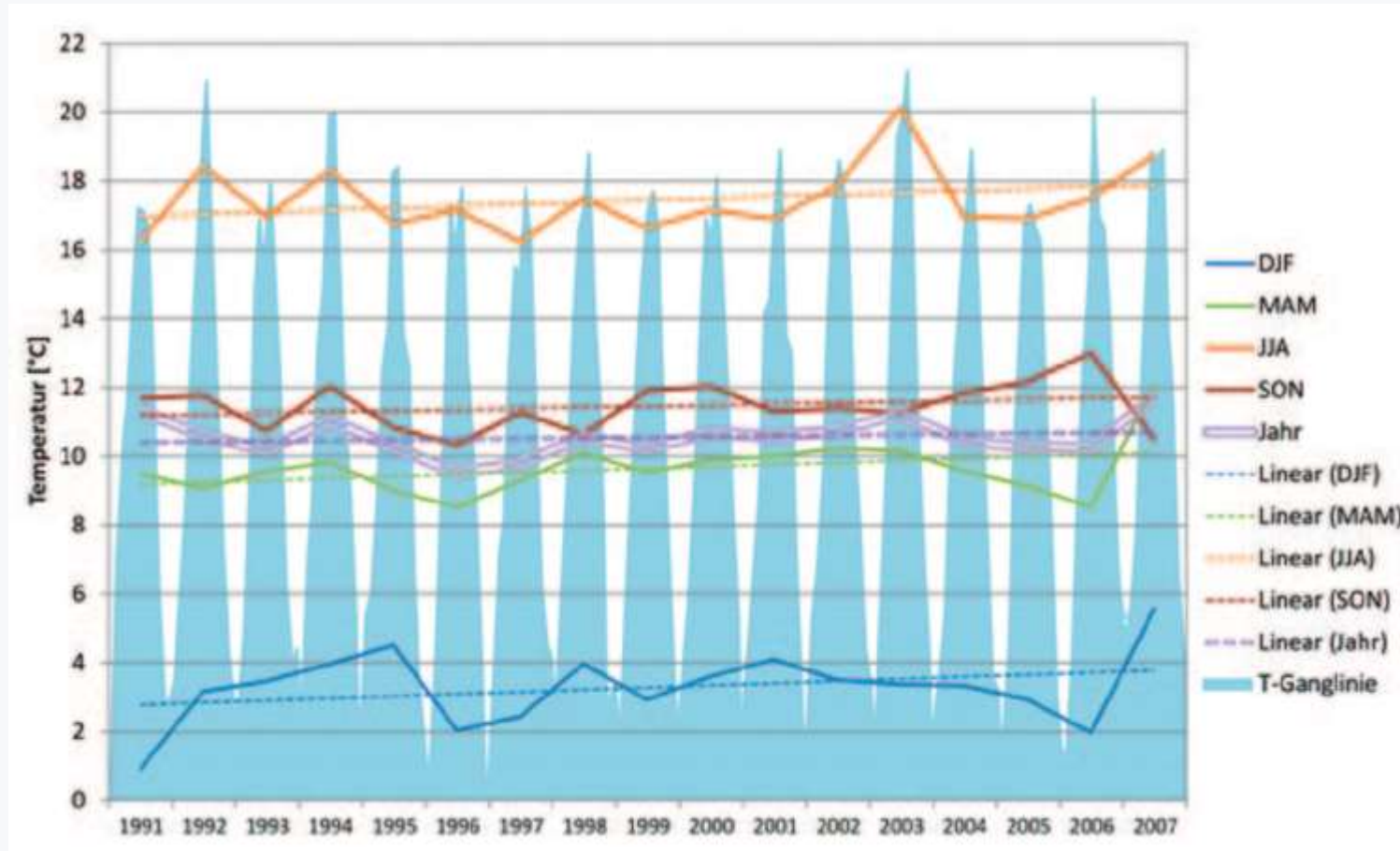
1. Erwärmung des Wassers – Vermehrte Bioproduktion – Verschlechterung der Wasserqualität (mittelharte Aussage)
2. Vermehrte Starkniederschlagsereignisse - mehr Oberflächenabfluss - verminderte Wasserqualität (höhere Nährstofflasten) – Höhere Sedimentlast (weiche Aussage)
3. Punkt 2 verstärkt noch die in Punkt 1 genannten Effekte
4. Änderung der Jahreszeitlichen Dynamik in den Flüssen - (Erhöhung im Winter, verringerung im Sommer) – (mittelharte Aussage)

Flusswasser Mengen



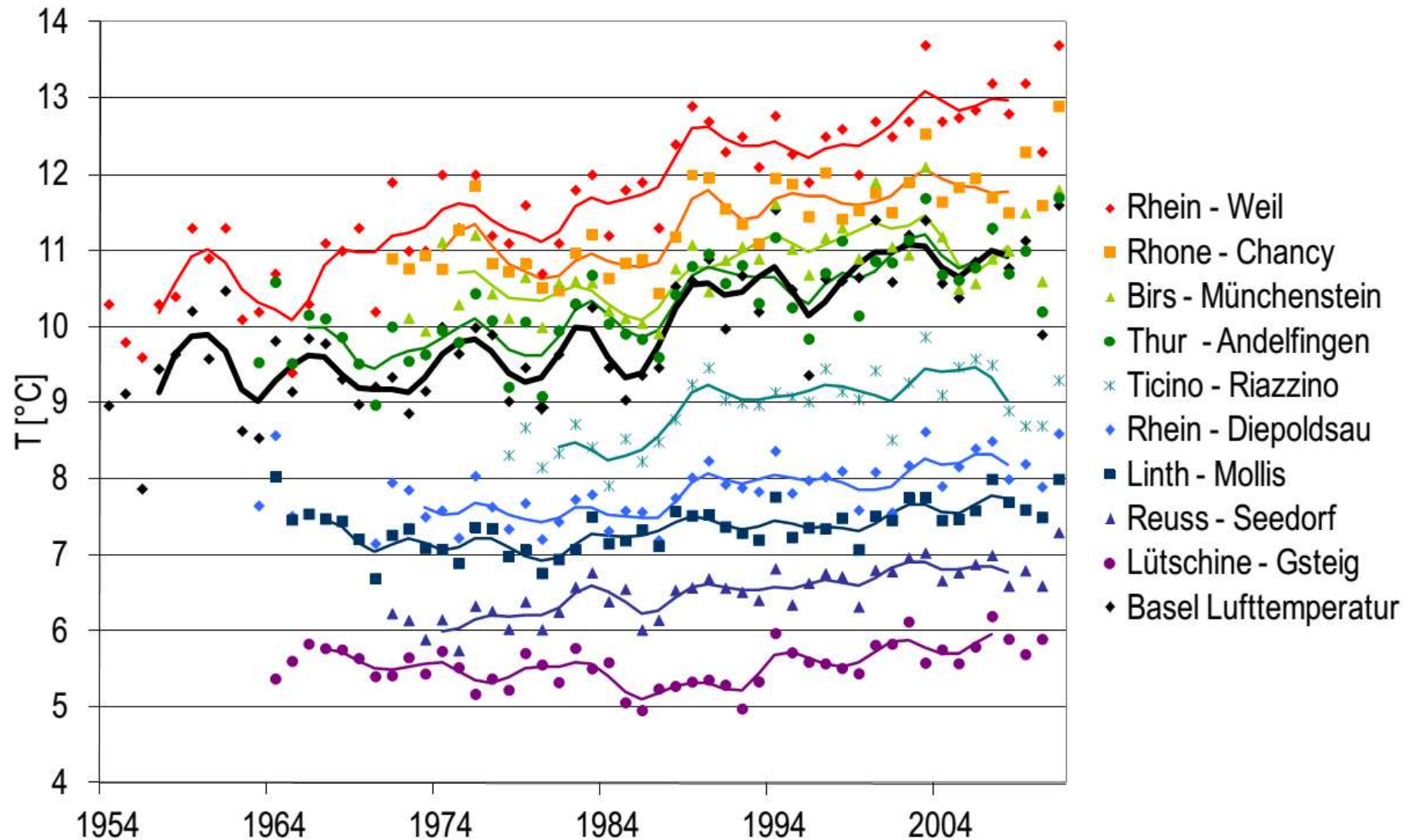
Trends der Sommerabflüsse (Juni–August, links) und Winterabflüsse (Dezember–Februar, rechts) für die Periode 1950–2007 (oben) und 1976–2007 (unten). Große Kreise blau: steigende Trends; große Kreise rot: fallende Trends; kleine Kreise: Trends nicht signifikant
Quelle: Blaschke et al. 2011

Flusswasser Temperatur



Entwicklung der Wassertemperatur der Donau bei Spitz. Tagesmittelwerte als Temperaturganglinie, Quartalsmittelwerte für Winter (DJF), Frühjahr (MAM), Sommer (JJA) und Herbst (SON) sowie Trendentwicklung für den Zeitraum 1991 bis 2007
Quelle: Kreuzinger & Kroiß 2011

Flusswasser Temperatur



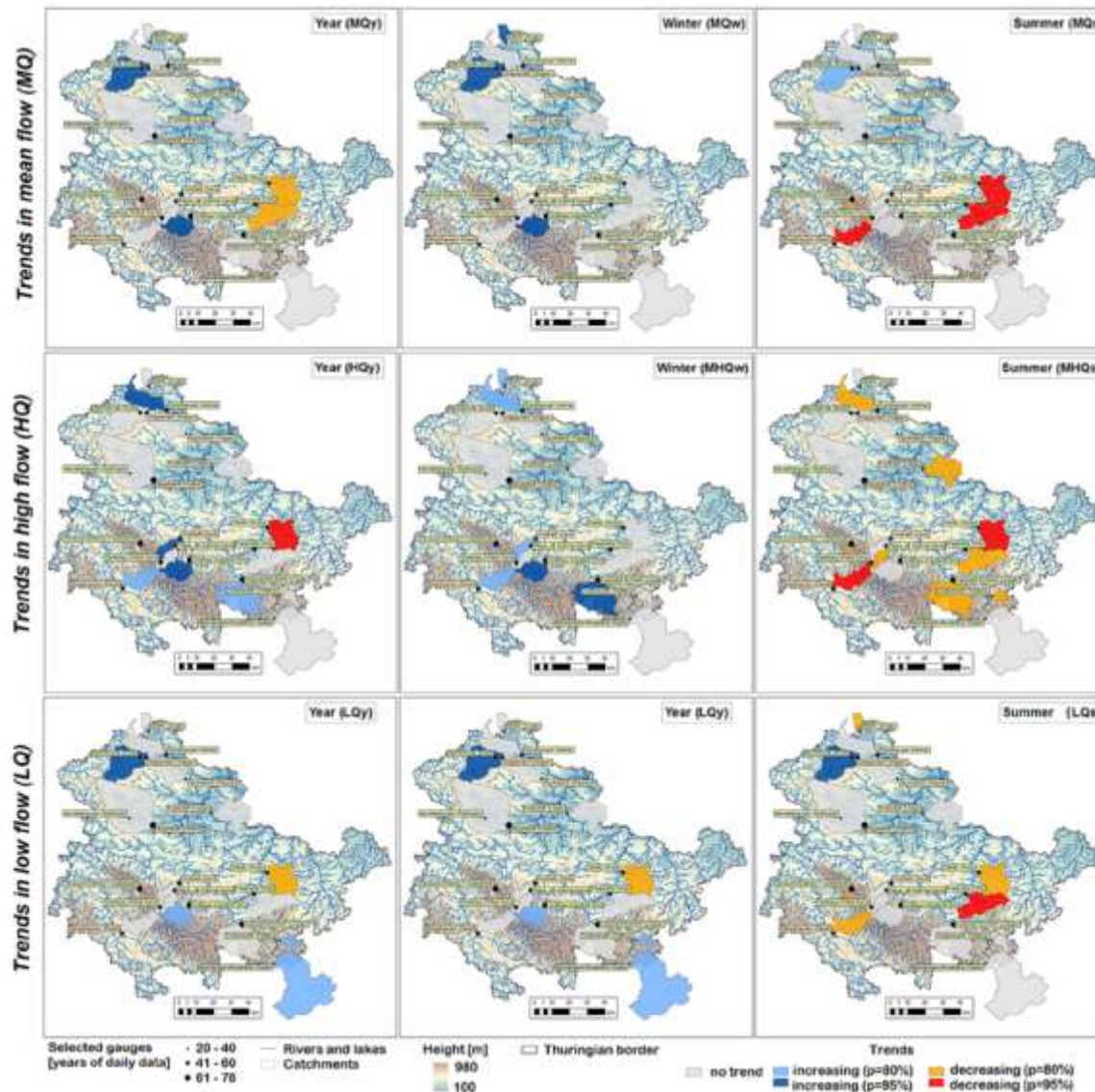
aus BAFU 2012

Flusswasser Mengen

Mittelwasser

Hoch- und

Niedrig-,



Trends der Jahresabflüsse (**links**) Winterabflüsse (Dezember–Februar, **mitte**) Sommerabflüsse (Juni–August, **rechts**) und für durchschnittlich 48 Jährige Messzeiträume

Grau: Trends nicht signifikant

Hellblau: Trend schwach signifikant, steigend

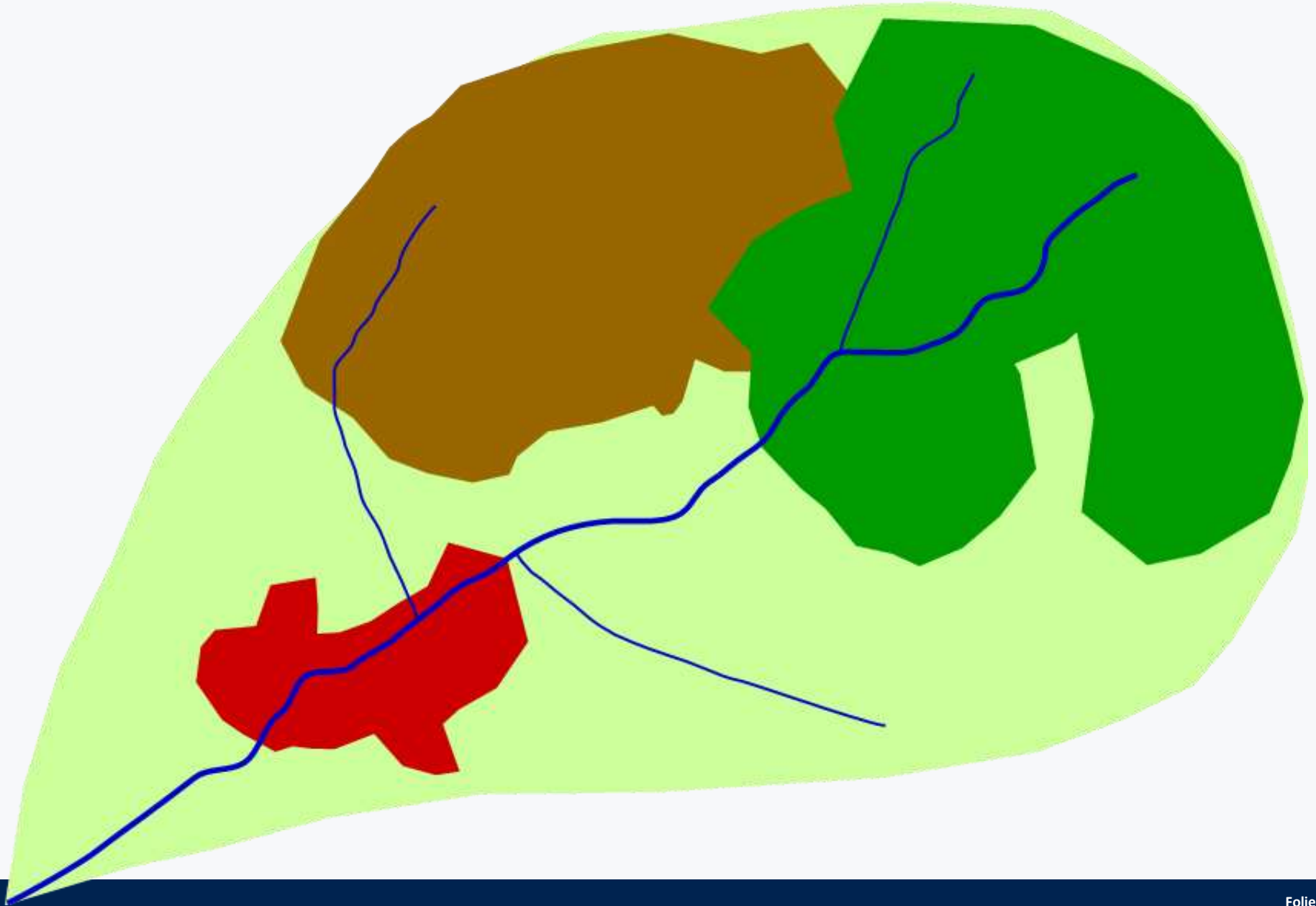
Blau: Trend signifikant, steigend

Gelb: Trend schwach signifikant, fallend

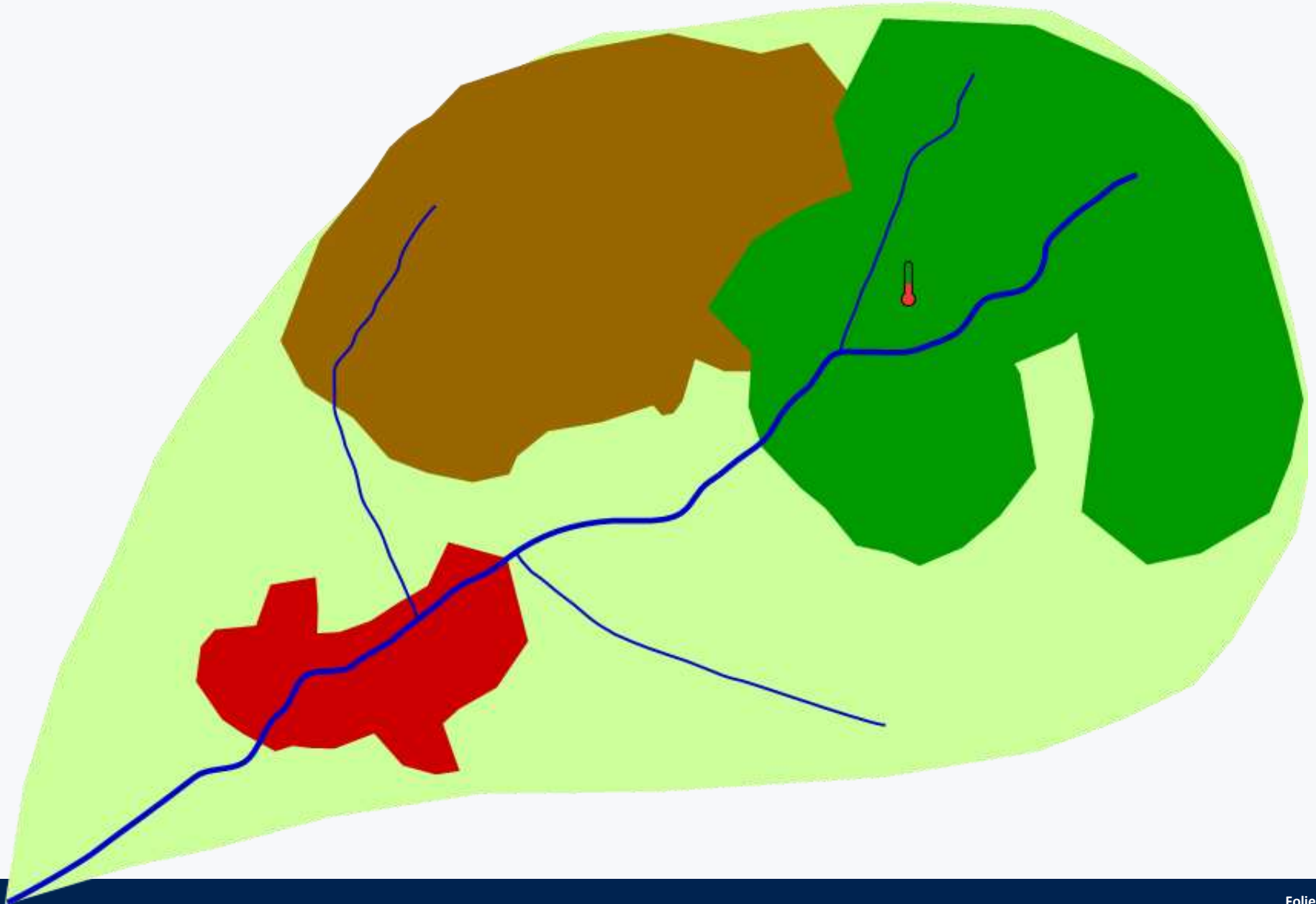
Rot: Trend signifikant, fallend

Quelle: Dannenberg 2012

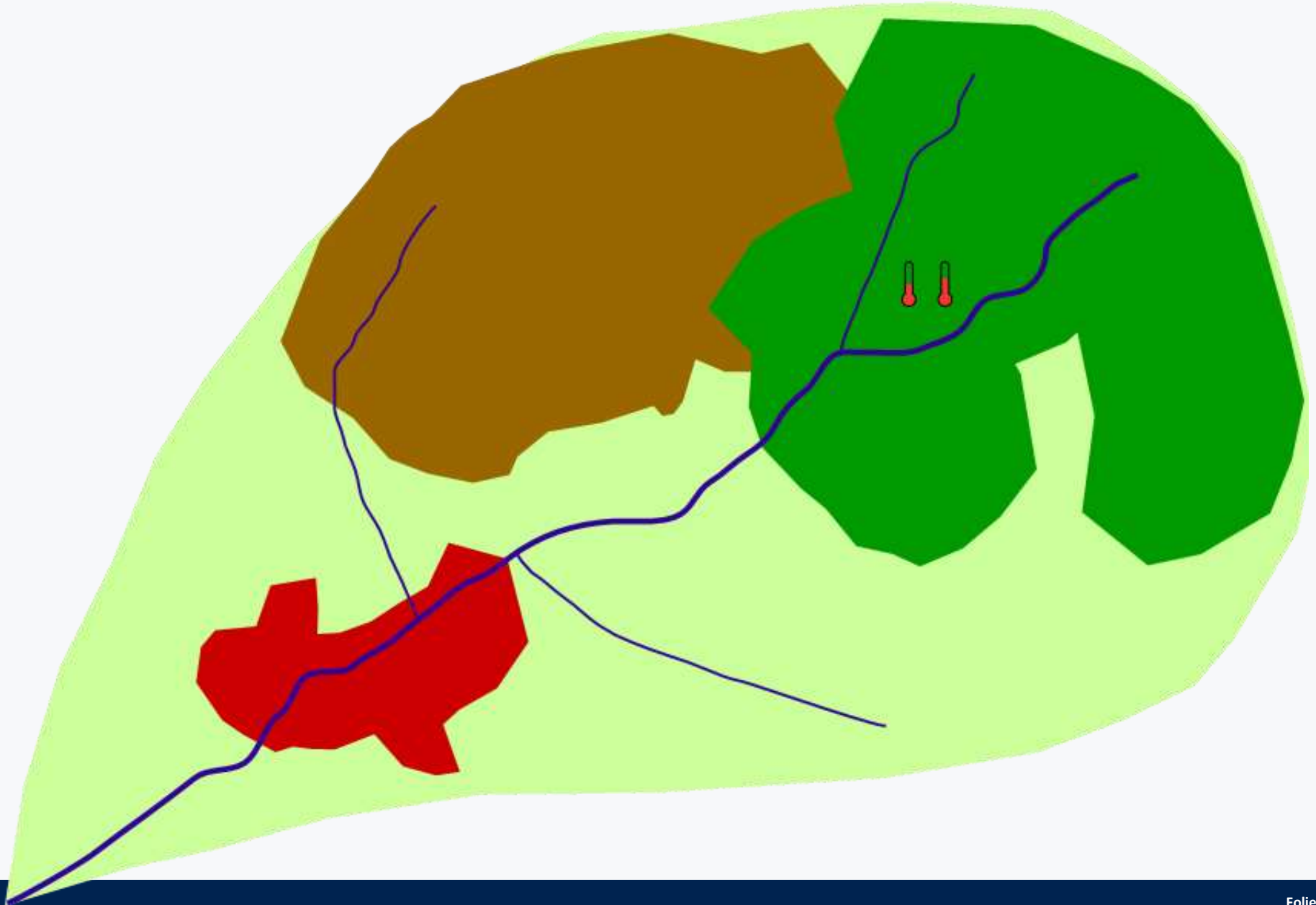
Flusswasser Zusammenfassung



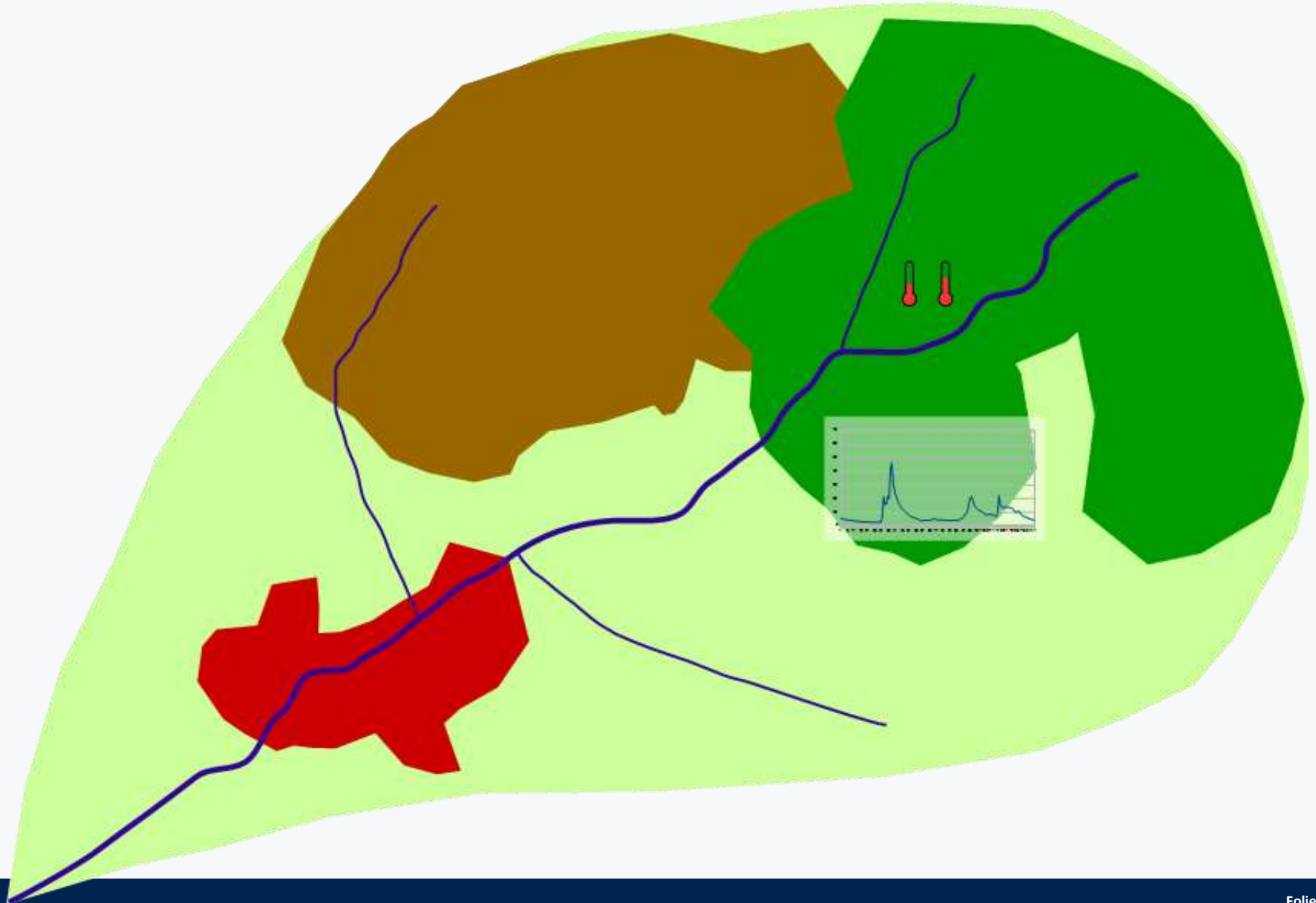
Flusswasser Zusammenfassung



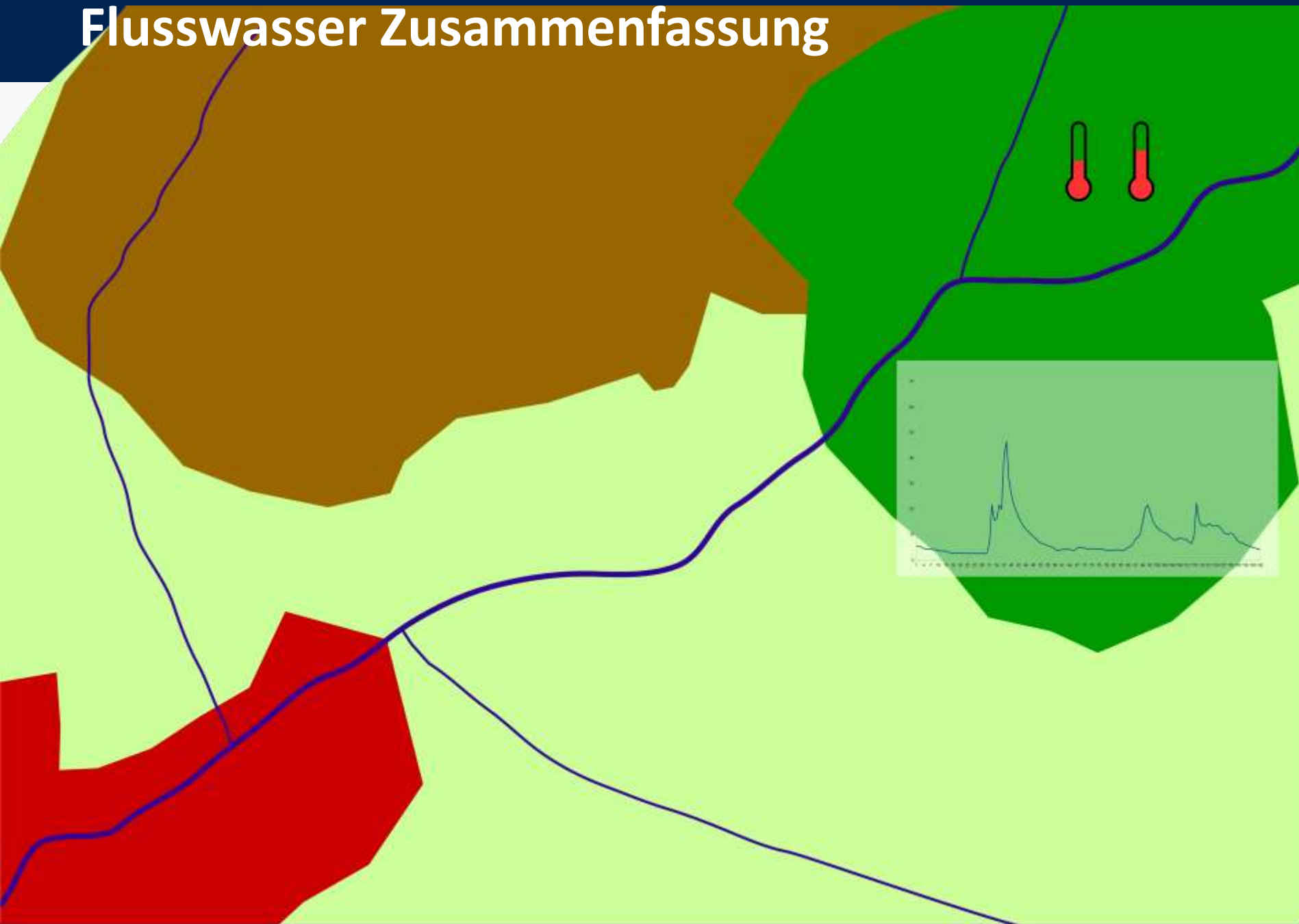
Flusswasser Zusammenfassung



Flusswasser Zusammenfassung



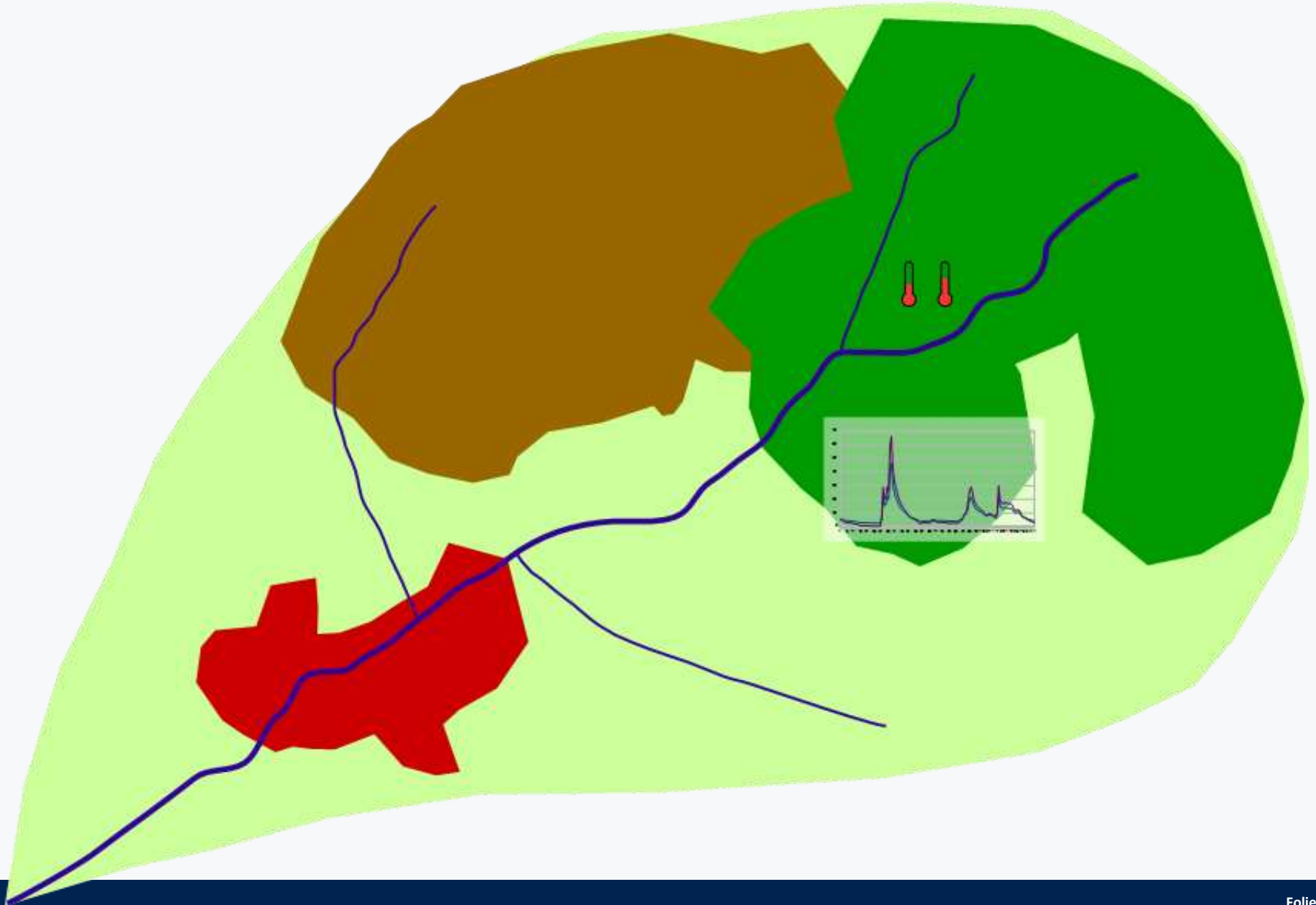
Flusswasser Zusammenfassung



Flusswasser Zusammenfassung



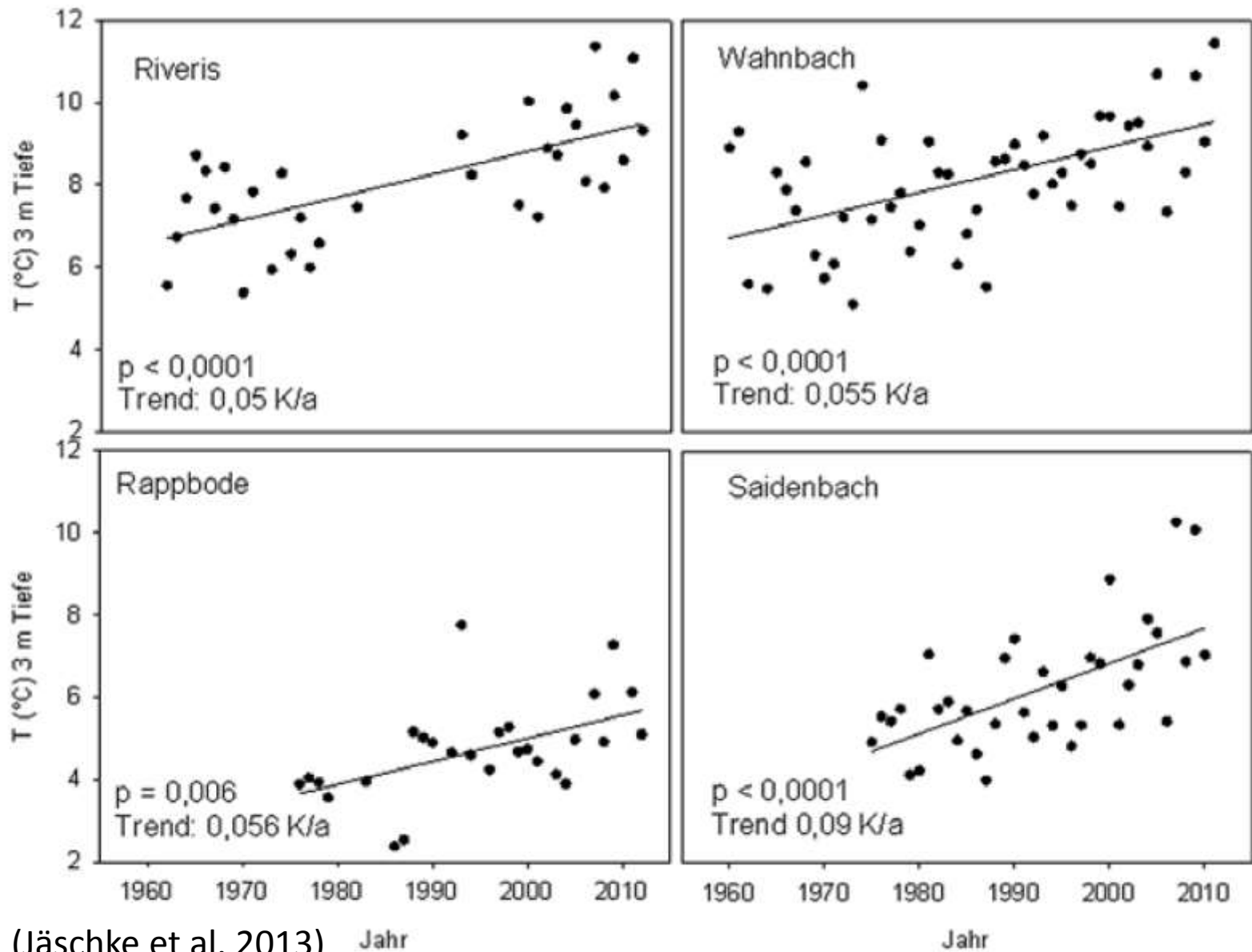
Flusswasser Zusammenfassung



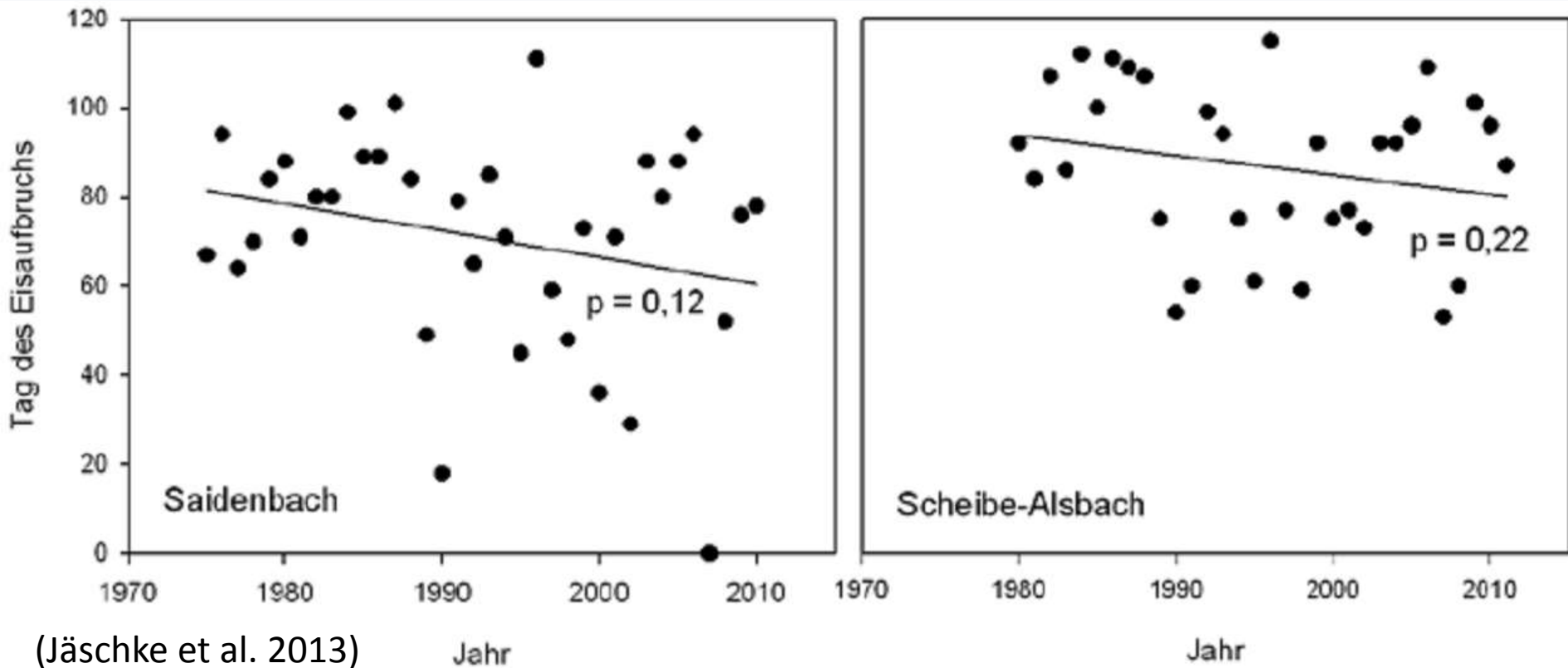
Talsperrenwasser

1. Erwärmung des Wassers - Vergrößerung des Hyperlimnion – Verkleinerung der Zone mit guter Wasserqualität (Hypolimnion) (harte Aussage)
2. Erwärmung des Wassers – Vermehrte Bioproduktion – Verschlechterung der Wasserqualität (mittelharte Aussage)
3. Vermehrte Starkniederschlagsereignisse - mehr Oberflächenabfluss - verminderte Wasserqualität in den Zuflüssen (höhere Nährstofflasten) – Höhere Sedimentlast (weiche Aussage)
4. Punkt 3 verstärkt noch die in Punkt 2 genannten Effekte
5. Änderung der Jahreszeitlichen Dynamik in den Zuflüssen - (Erhöhung im Winter, verringerung im Sommer) – größerer Speicherbedarf (mittelharte Aussage)

Talsperrenwasser



Talsperrenwasser



(Jäschke et al. 2013)

Saidenbach (Höhe: 445 m ü NHN)

P1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	W	W	C	C	C	C	W	C	W	W	C	W	C	W	C	C	C	C	W	W	C	C
P2	C	C	W	C	C	C	W	W	C	C	C	C	C	C	W	W	W	C	C	W	C	C	W	W	W	W	C	W	C	W	C	C	W	W	W	W
P3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	W	C	C	C	C	W	C	W	C	C	C	C	C	C	C	W	W	W	C
P4	C	W	C	C	C	C	C	C	W	C	C	C	C	C	C	C	C	W	C	W	C	C	C	C	W	C	C	C	W	C	W	W	C	W	C	W
	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010

(Jäschke et al. 2013)

Wasserschichten in Talsperren

- Talsperren unterliegen im Jahresverlauf typischen thermischen Schichtungsverhältnissen

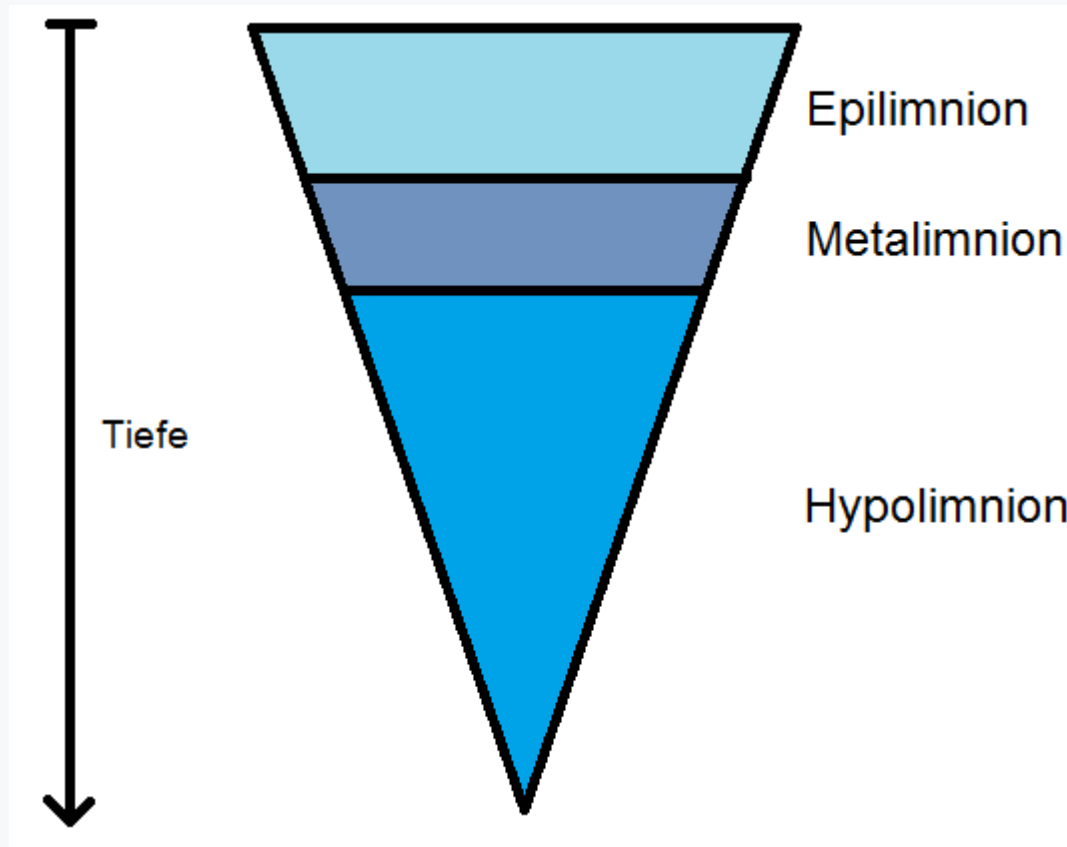


Abb. 1 Typische Schichtung von Talsperren

Rohwasserentnahme

- Rohwasser für die Trinkwasserversorgung wird in der Regel aus den unteren Horizonten

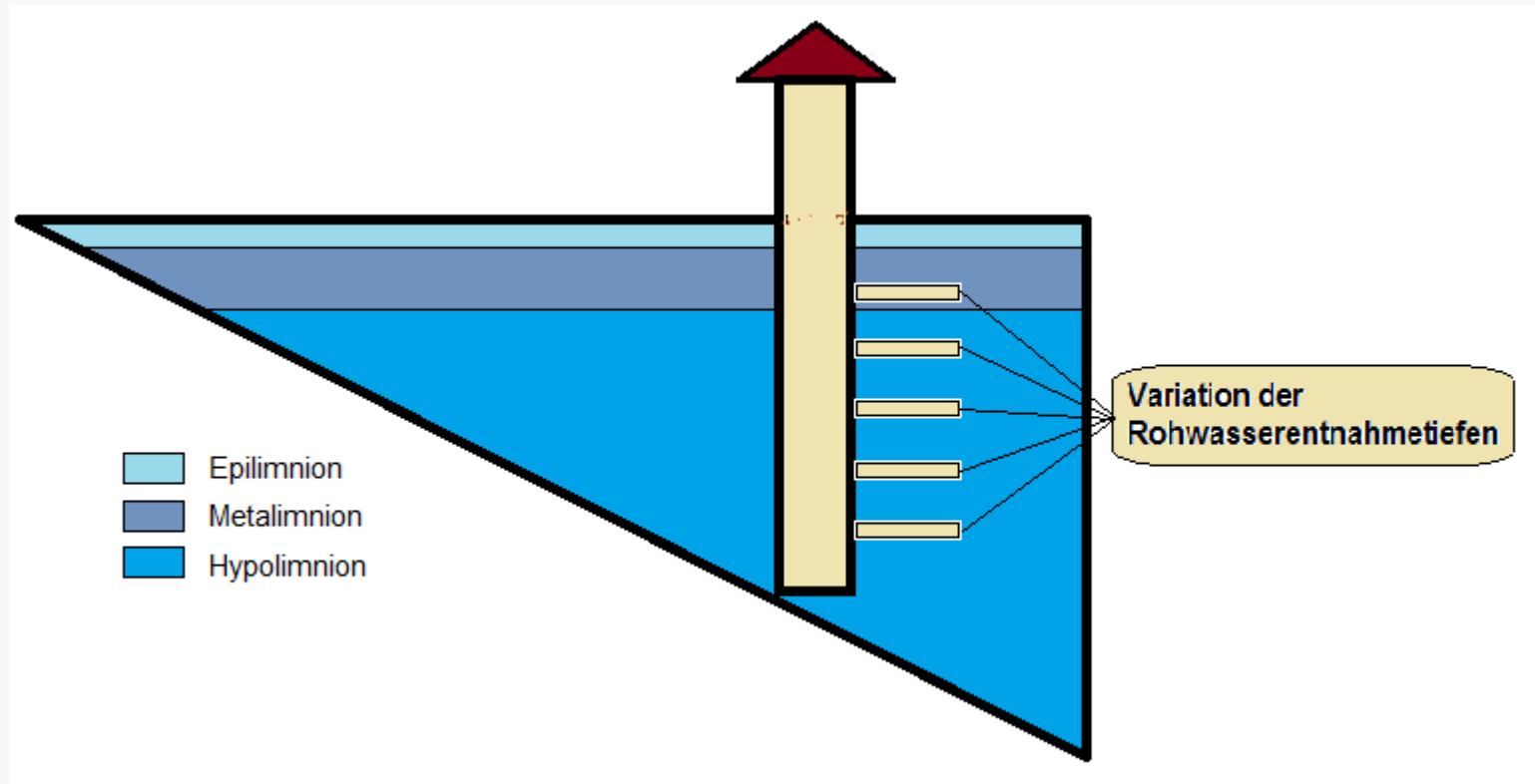
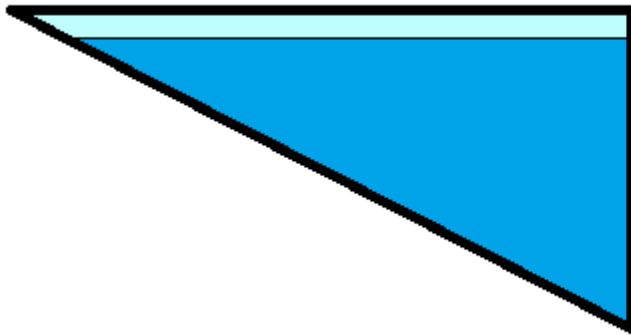


Abb. 2 Steuerung und Überwachung der Rohwasserentnahmetiefen

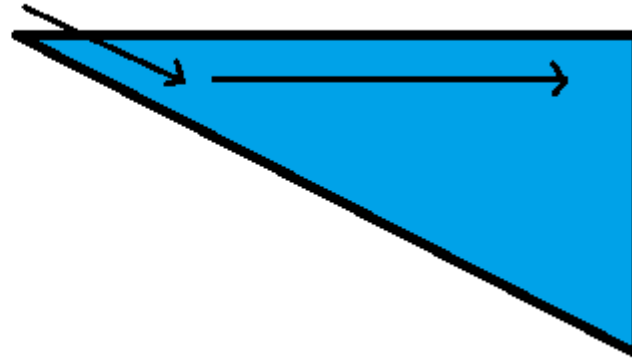
Talsperren Zirkulation

- Das zufließende Wasser schichtet sich je nach Wassertemperatur in unterschiedlichen Tiefen ein

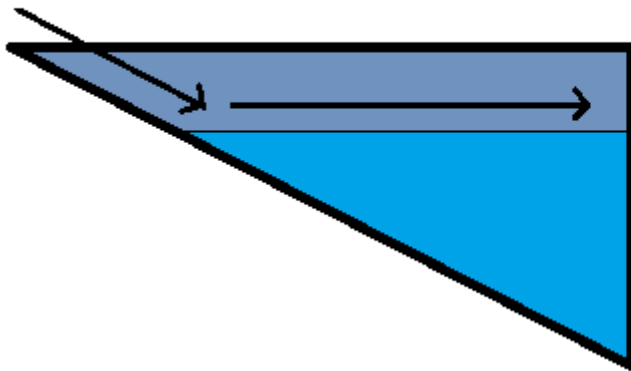
a.) Winterstagnation



b.) Frühjahrzirkulation



c.) Sommerstagnation



d.) Herbstzirkulation

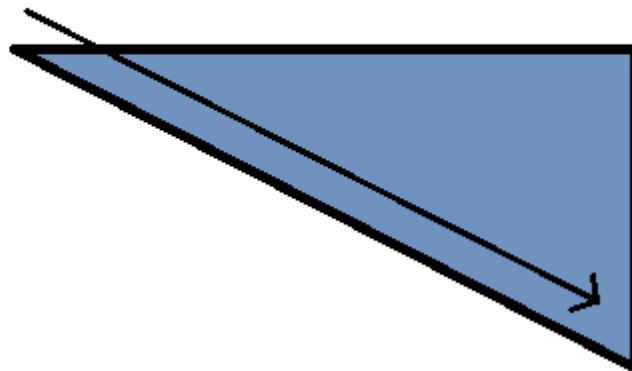
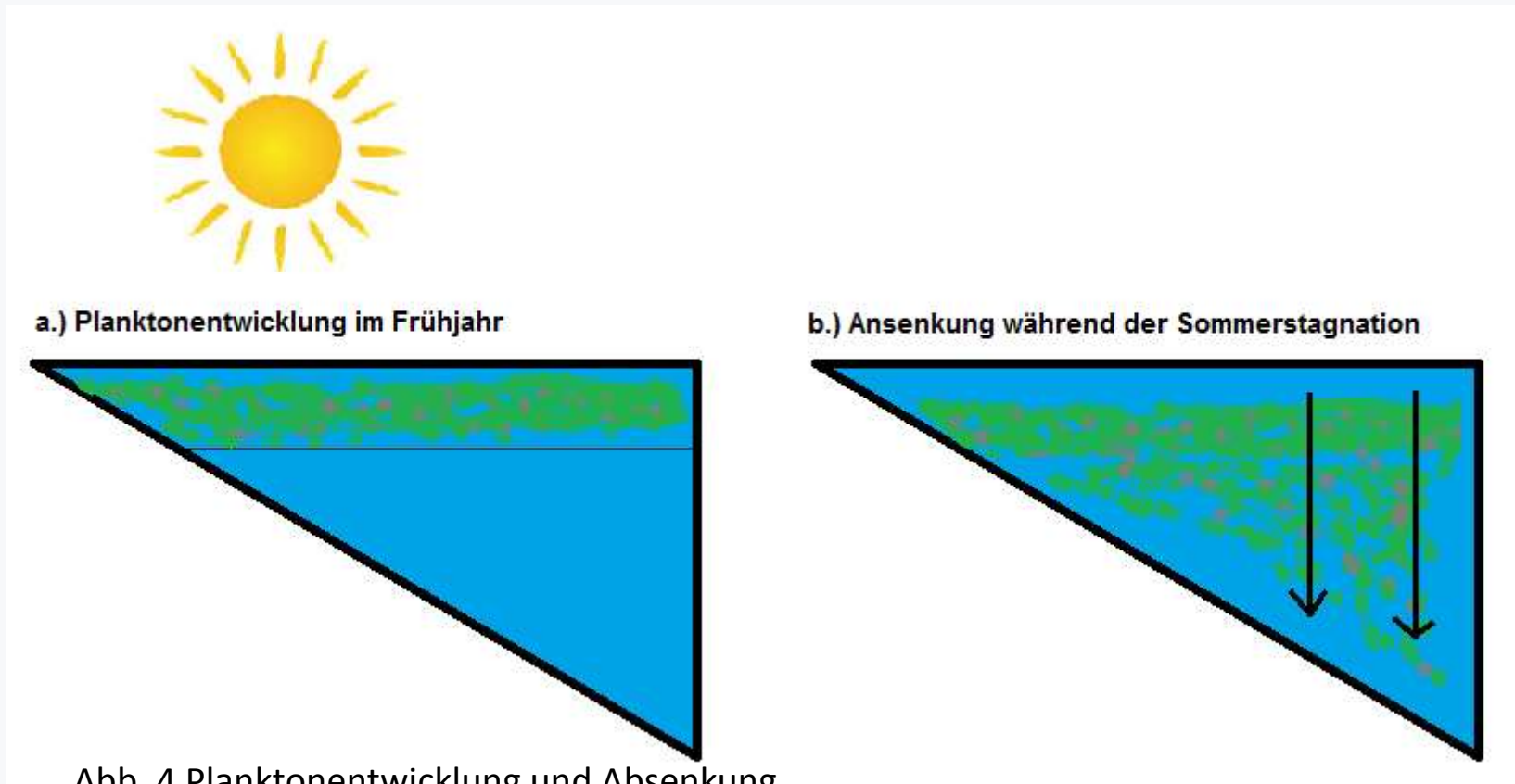


Abb. 3 Einschichtung von Zuläufen in geschichteten Talsperren

Bildung von Phytoplankton

- Durch die Zunahme der Strahlungsintensität startet die Entwicklung von Phytoplankton in Oberflächennähe
- Während der Sommerstagnation sinkt dieses Plankton nach unten und wird abgebaut, wobei Laststoffe entstehen.



Bildung von Phytoplankton

- Im Tiefenwasser wird das Plankton unter Zehrung von Sauerstoff abgebaut
- Dabei können Laststoffe wie Eisen-, Mangan- und Phosphorverbindungen zurückgelöst werden
- Die Intensität des Planktonwachstums wird von der Menge der eingetragenen und zurückgelösten Nährstoffe bestimmt

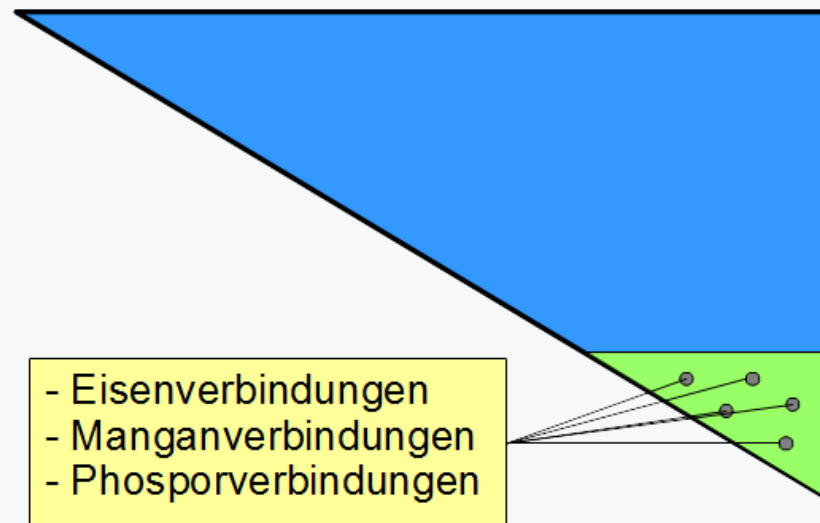


Abb. 5 Entstehung von chem. Verbindungen
im Tiefenwasser

Planktonorganismen in Talsperren

- Ein sicherer Wasserwerksbetrieb ist möglich, wenn jegliche Massenentwicklungen und das Auftreten der in Tab. 1 genannten Gruppen weitestgehend vermieden werden

Tab. 1 Wichtige Planktonorganismen in Talsperren (nach Willmitzer 1997)

Gattung	Probleme in der Wasseraufbereitung
Micocystis	Schlechte Eliminierung, Toxine
Planktothrix	Filterlaufzeiten, schlechte Eliminierung, Toxine, Geruch, Geschmack
Melosira, Fragilaria, Asterionella	Verstopfung von Filtern
Synura, Uroglena, Dinobryon	Geruch, Geschmack
Cryptomonas	Eigenbeweglichkeit, schlechte Eliminierung
Notholca	Schlechte Eliminierung

Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren

- An zahlreichen Talsperren in Deutschland sind Einflüsse des Klimawandels erkennbar (Willmitzer et. al 2015)

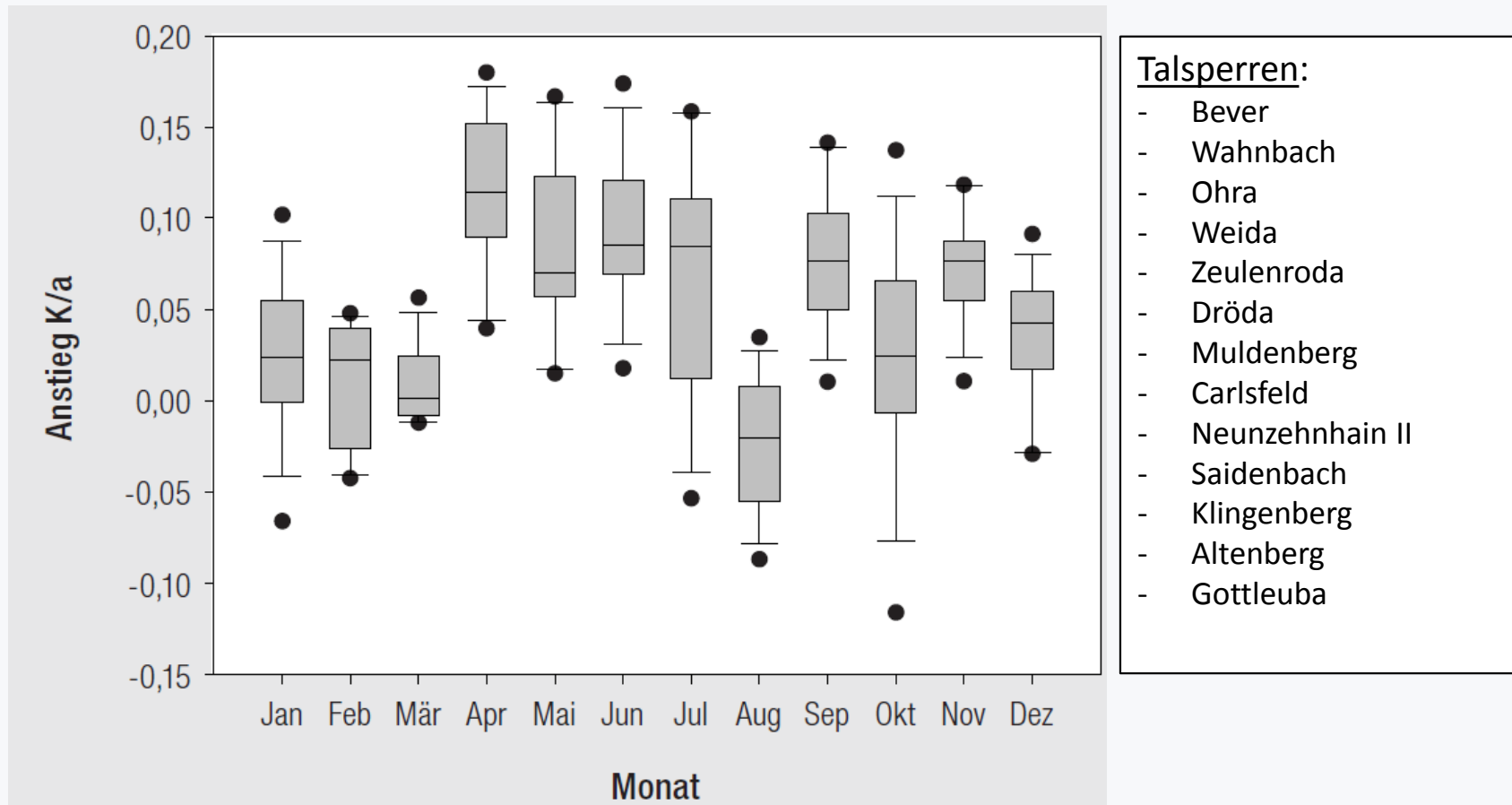


Abb. 6 Anstieg der Wassertemperatur in 3 Meter Tiefe (1993-2011) von 13 Talsperren in Thüringen, NRW und Sachsen (angepasst nach Willmitzer et al. 2015)

Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren

- Veränderungen durch den Klimawandel beeinflussen die Qualität des Wassers in den Talsperren

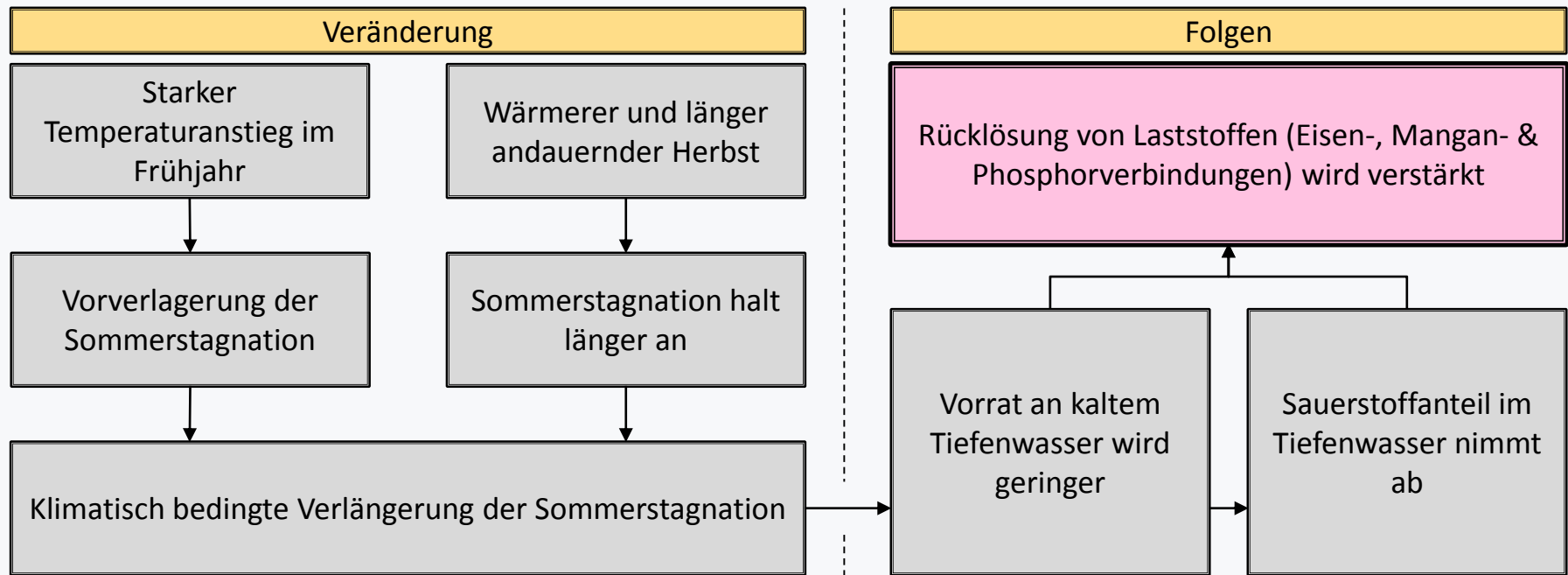


Abb. 6 Wirkkette der Veränderungen in einer Talsperre bei ansteigenden saisonalen Temperaturen

Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren

- Algenblüten entstehen vor allem an Stellen, wo mangelnder Gewässerschutz oder ungünstige hydrographische Verhältnisse zu einer Phosphorversorgung führen
- Steigende Wassertemperaturen beschleunigen Bioproduktion



Abb. 7 Massenentwicklung von Cyanobakterien in der Vorsperre Deesbach im Sommer 2002 (Willmitzer 2007)

Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren

- Es zeigt sich weiterhin, dass der Eisaufbruch in zahlreichen Talsperren vorverlagert wird
- Es gibt Jahre, an denen eine Vereisung komplett ausbleibt

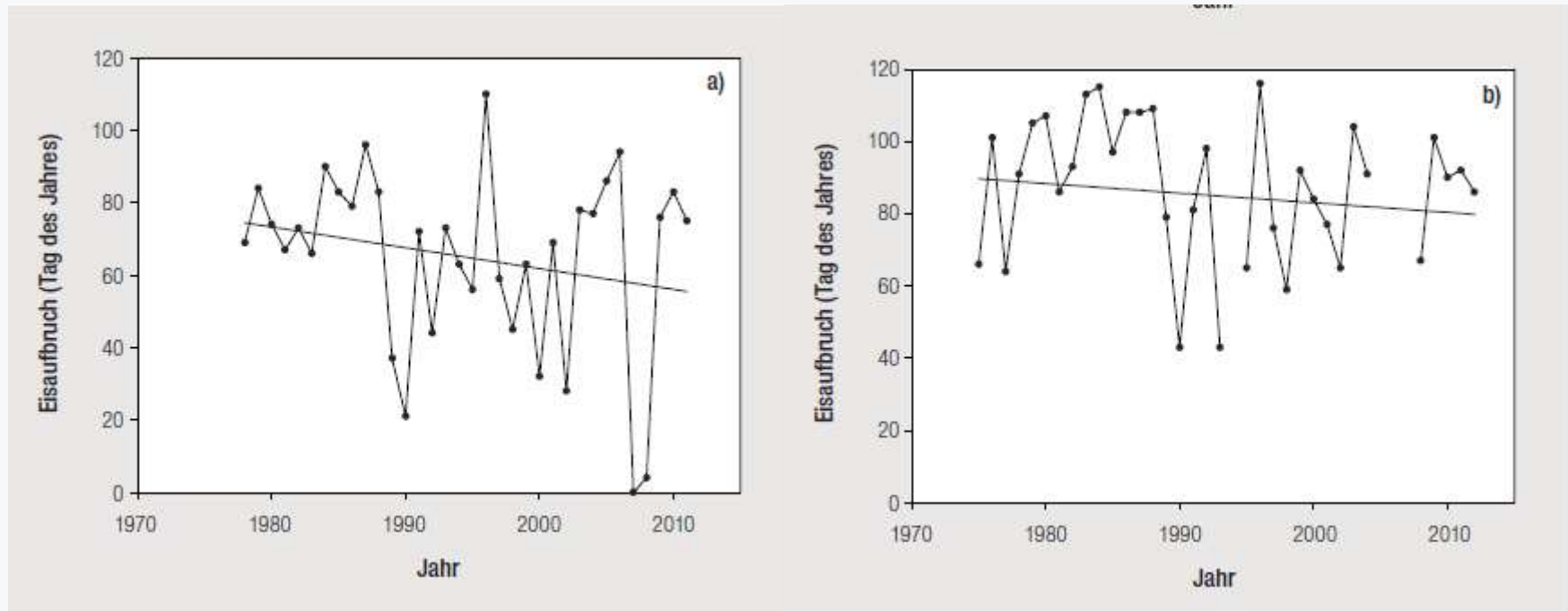


Abb. 8 Tag des Eisaufbruchs in den sächsischen Talsperren Gottleuba (a) [420 m ü. M.] und Muldenberg (b) [712 m ü. M.] (Willmitzer et al. 2015)

Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren

- Intensität der Veränderung hängt von der Höhenlage der Talsperren ab
- Höher gelegene Talsperren sind offenbar weniger vom Klimawandel betroffen

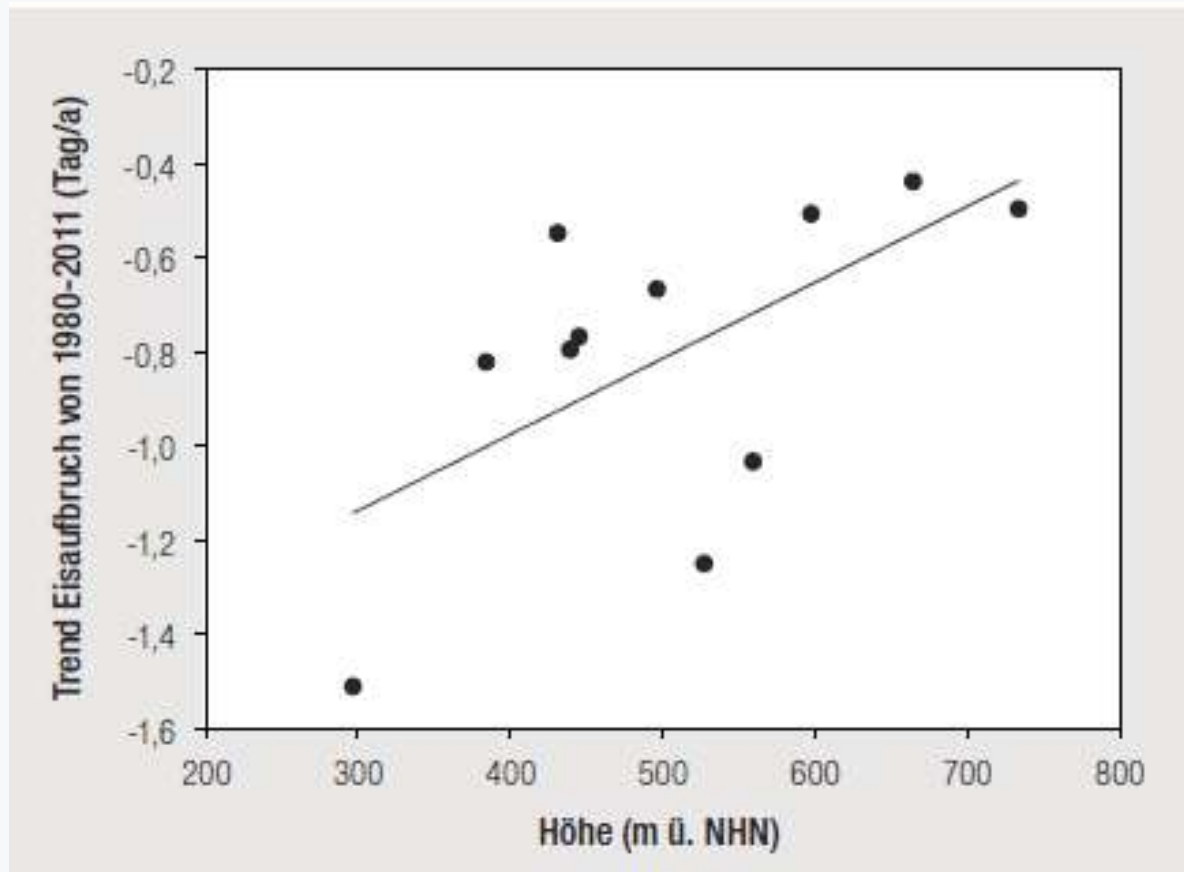
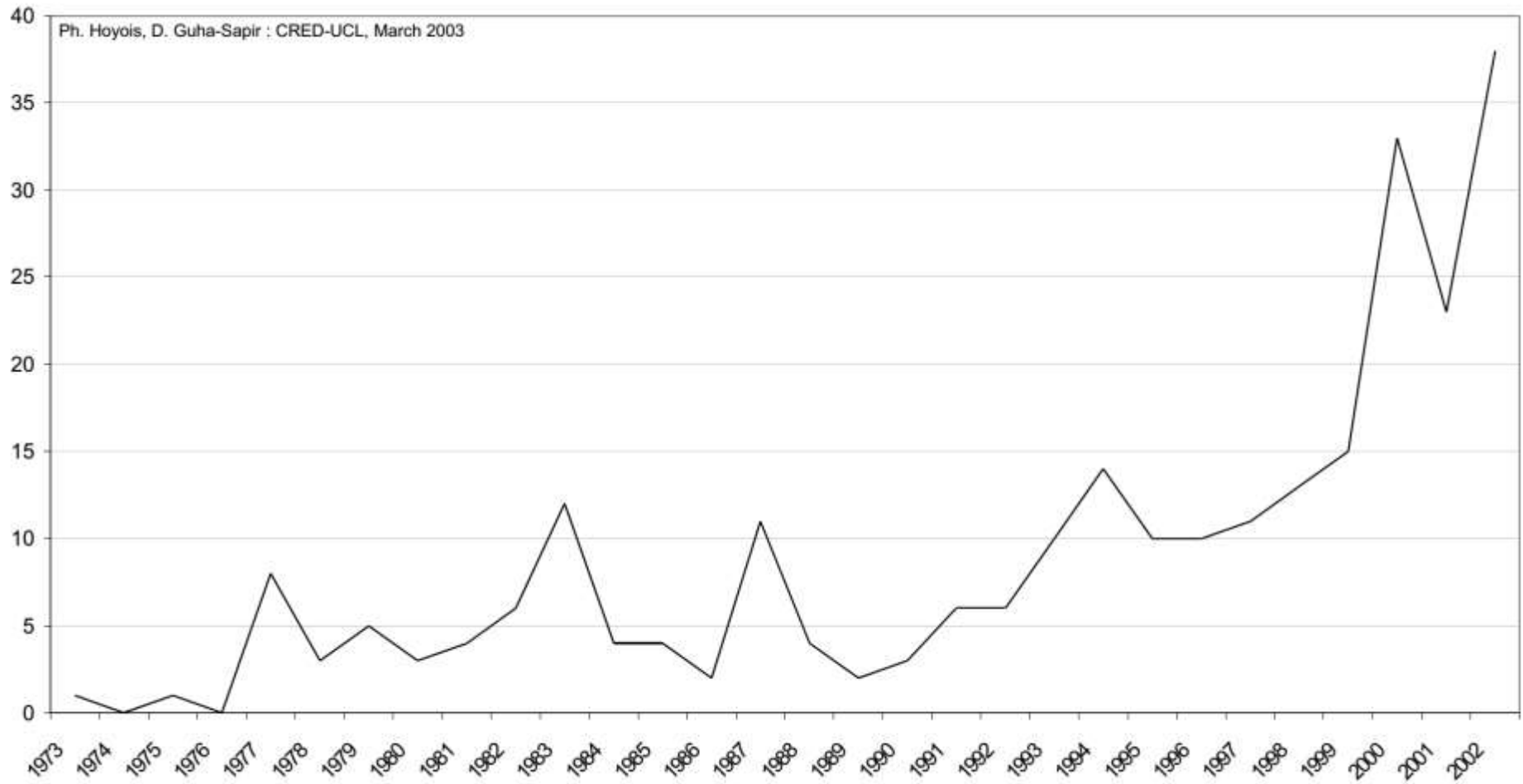


Abb. 9 Trend des Eisaufbruchs von 1980 – 2011 in Abhängigkeit der Höhenlage (Willmitzer et al. 2015)

Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren



- Zahl der erfassten Flutkatastrophen in der UN European Macro-Region : 1973 – 2002 (EMDAT – The International Disaster Database) (Hoyois & Guha-Sapir, 2003)

Auswirkungen des Klimawandels auf Talsperren

- Europaweite Datenauswertung zeigt eine deutliche Zunahme an Hochwasserereignissen
- Hydrologischen Oberflächenprozesse haben Einfluss auf Qualität des Wasserkörpers

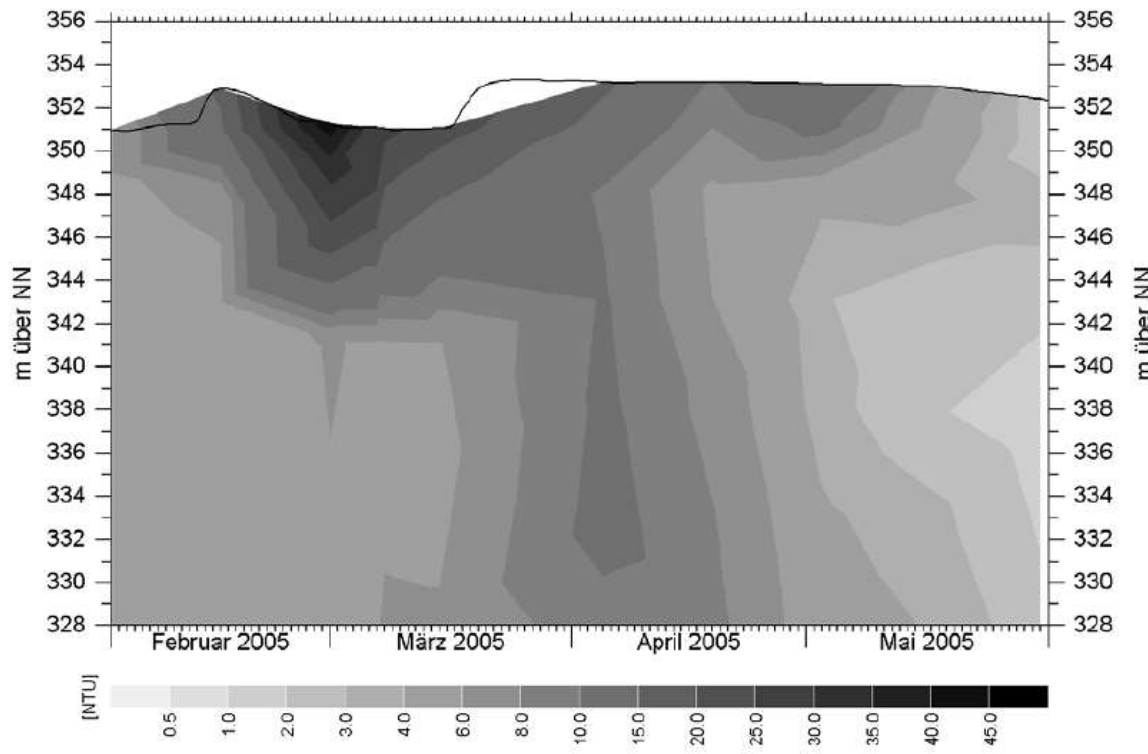
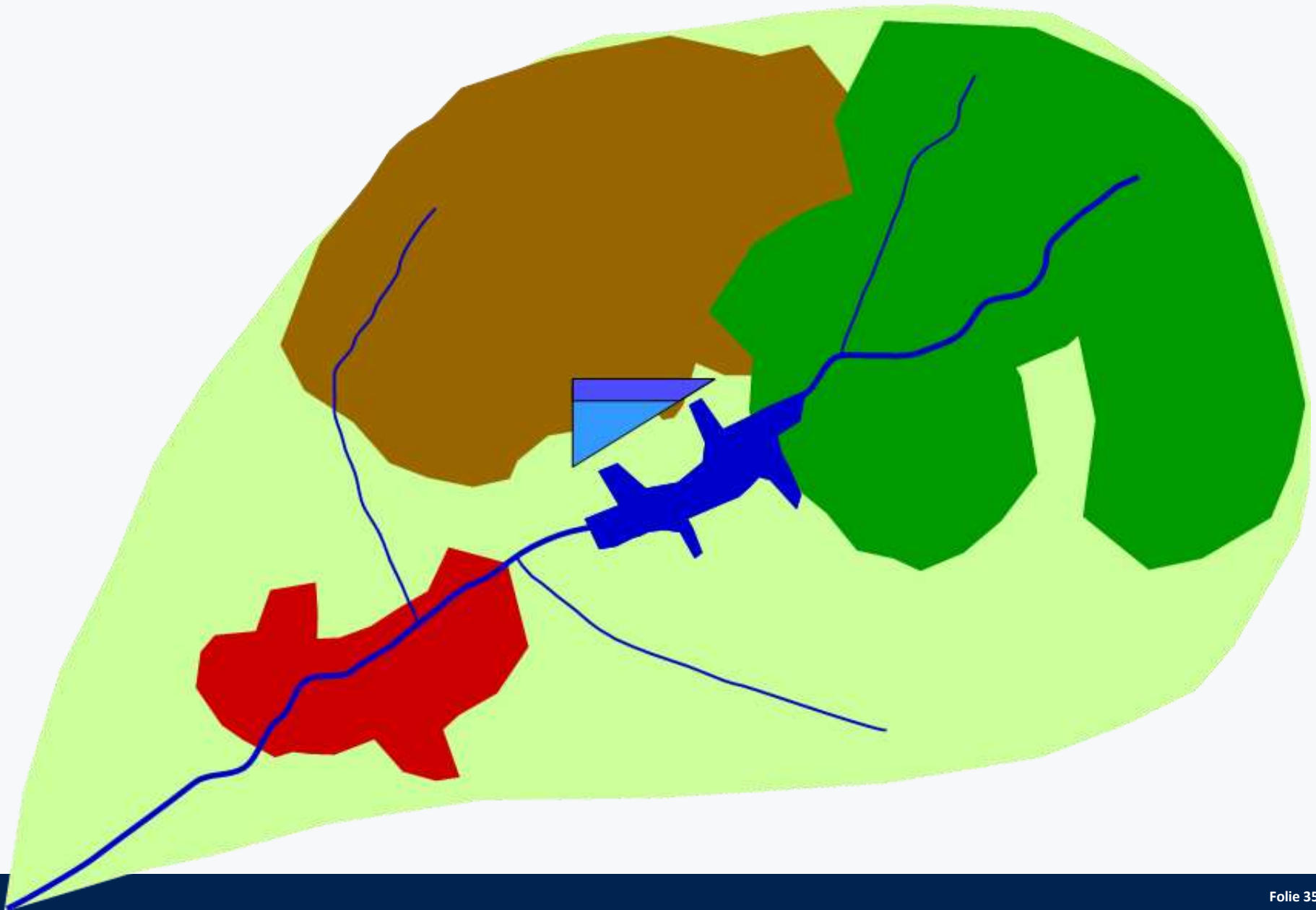
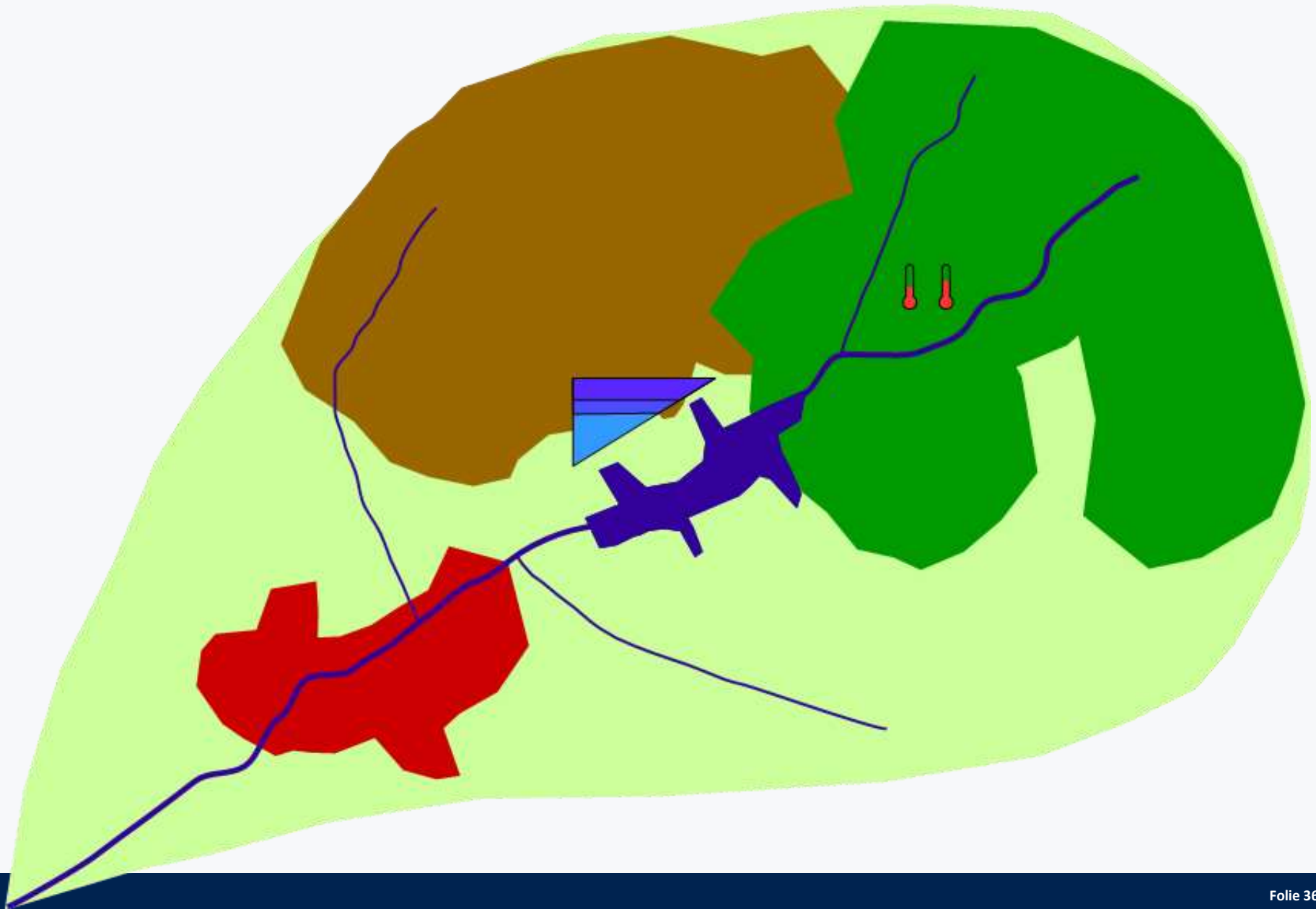


Abb. 10 Verhalten der Trübung in einer Trinkwassertalsperre nach Schneeschmelze und Niederschlagsereignissen (Willmitzer 2007)

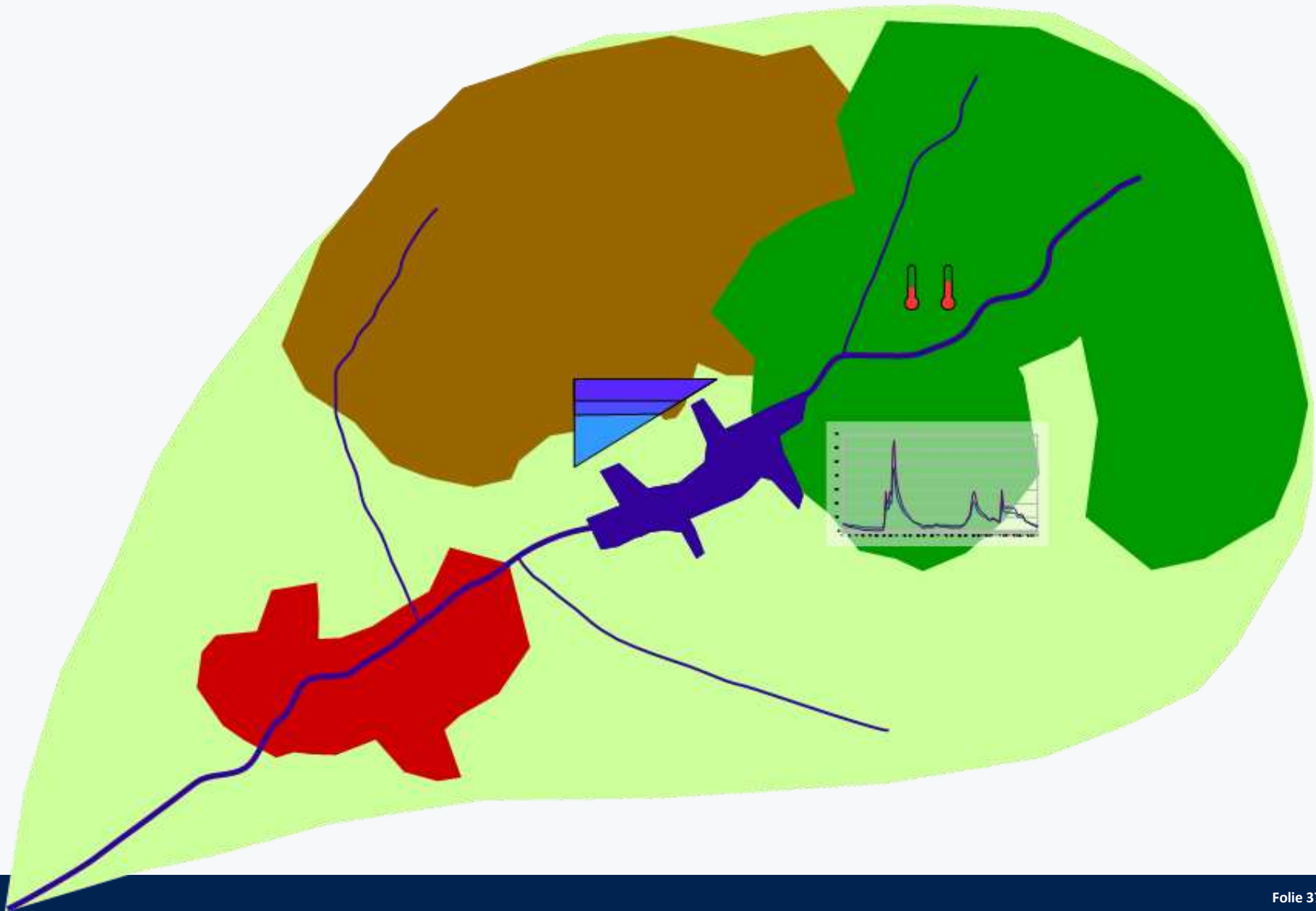
Talsperren Zusammenfassung



Talsperren Zusammenfassung



Talsperren Zusammenfassung



Grundwasser

1. Erwärmung der Lufttemperatur - Erwärmung des Grundwassers - (harte Aussage)
2. Vermehrte Starkniederschlagsereignisse – phasenweise kürzere Verweilzeiten - verminderte Wasserqualität (höhere Nährstoff und biologische Belastung) (weiche Aussage)
3. Änderung der Jahreszeitlichen Dynamik in der Grundwasserneubildung - (Erhöhung im Winter, Verringerung im Sommer) (mittelharte Aussage)

Diese Effekte sind stark von der Tiefe bzw. hydraulischen Verbindung zwischen Oberfläche und Aquifer abhängig

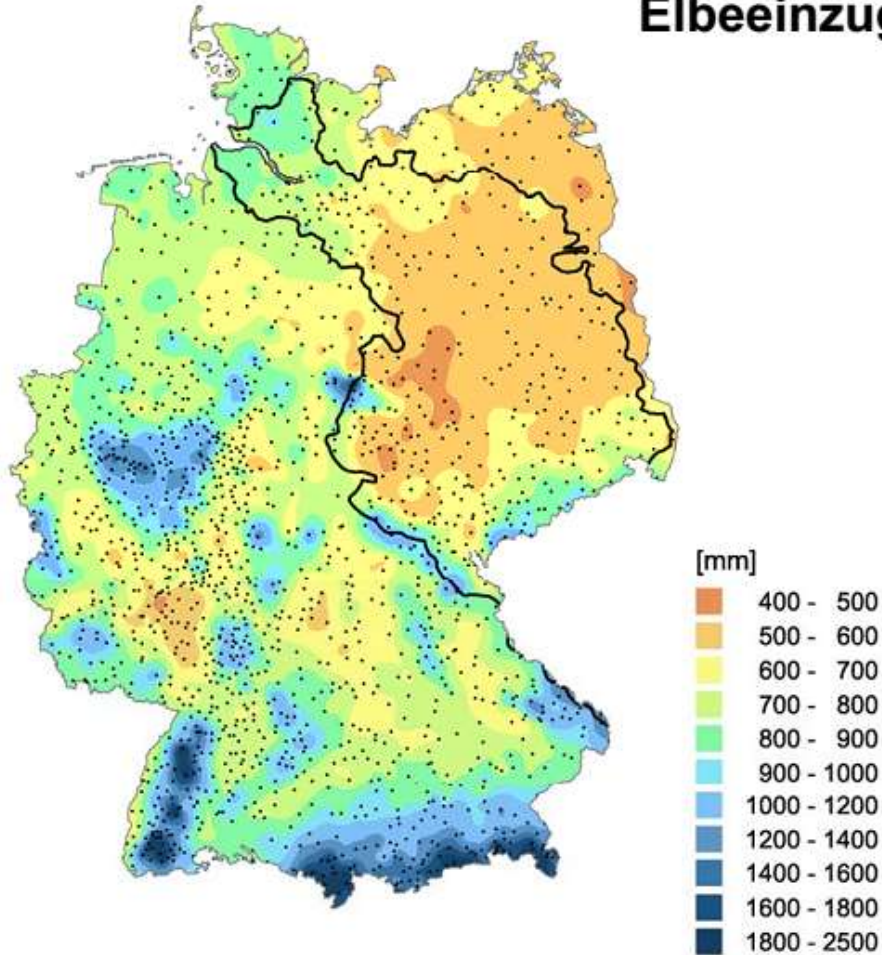
Grundwasser

Mögliche Positive Effekte durch den Klimawandel:

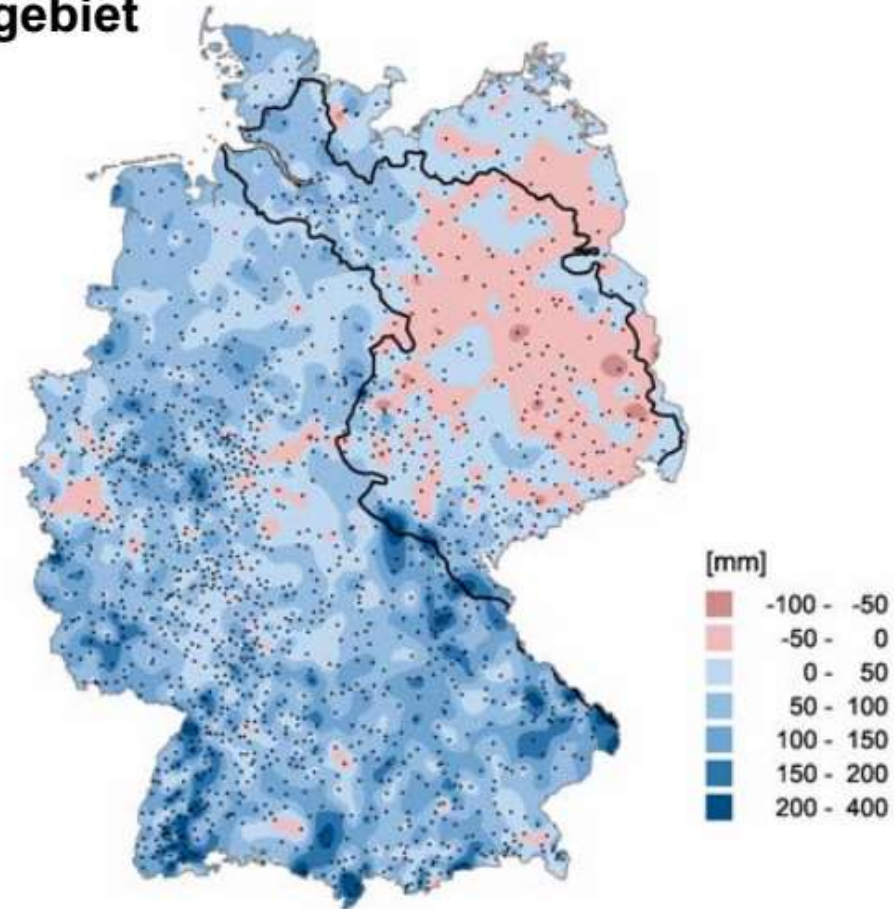
erhöhte Temperatur ->
schnellerer Abbau von organischen Schadstoffen (z.B. Pestizide) in der
Boden- und Grundwasserzone

Entwicklung des Niederschlags

Entwicklung der beobachteten Niederschläge im Elbeeinzugsgebiet



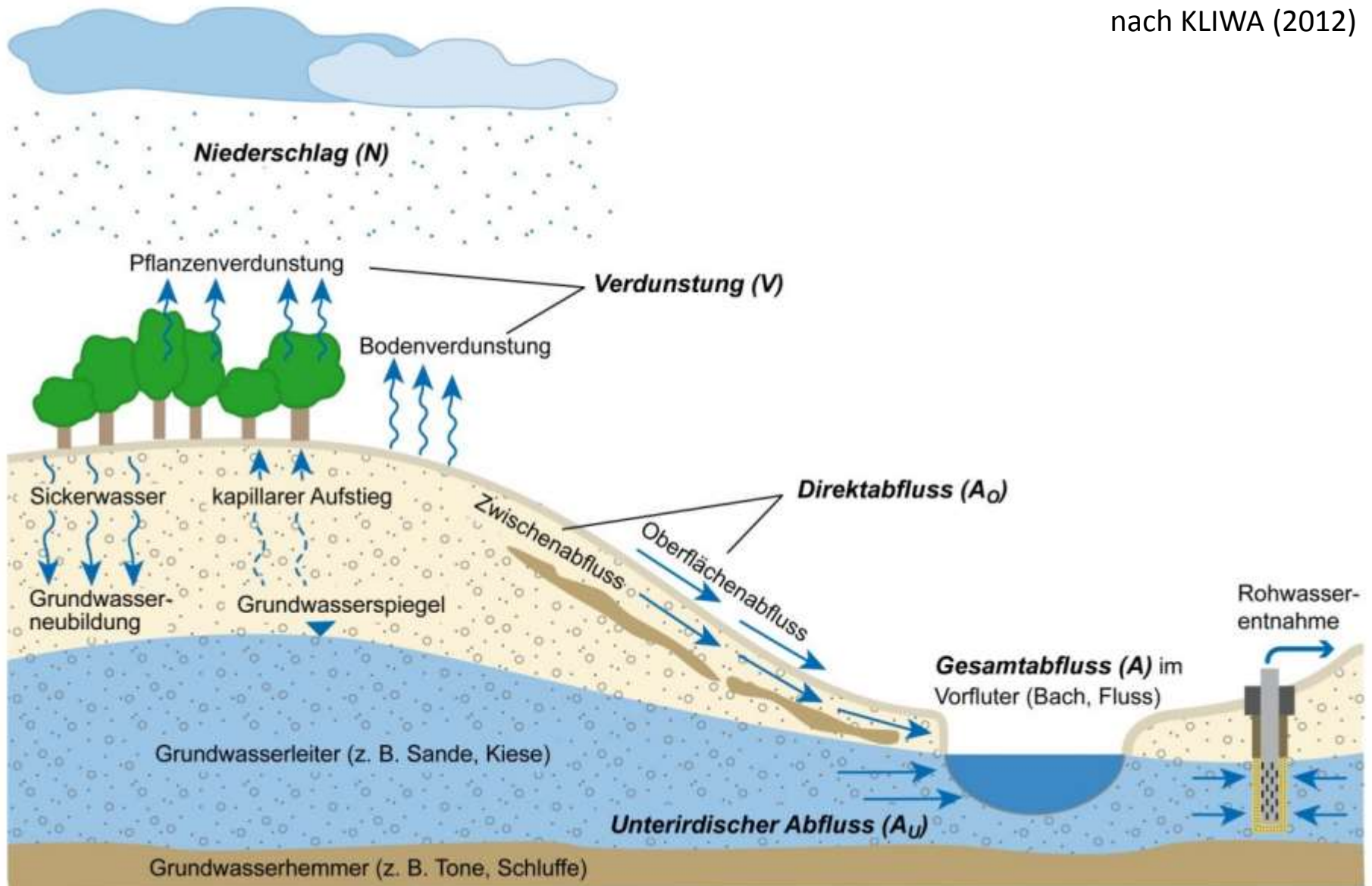
Niederschlagsmittel 1951-2000



Trend des Niederschlages 1951-2003

Der Grundwasserhaushalt

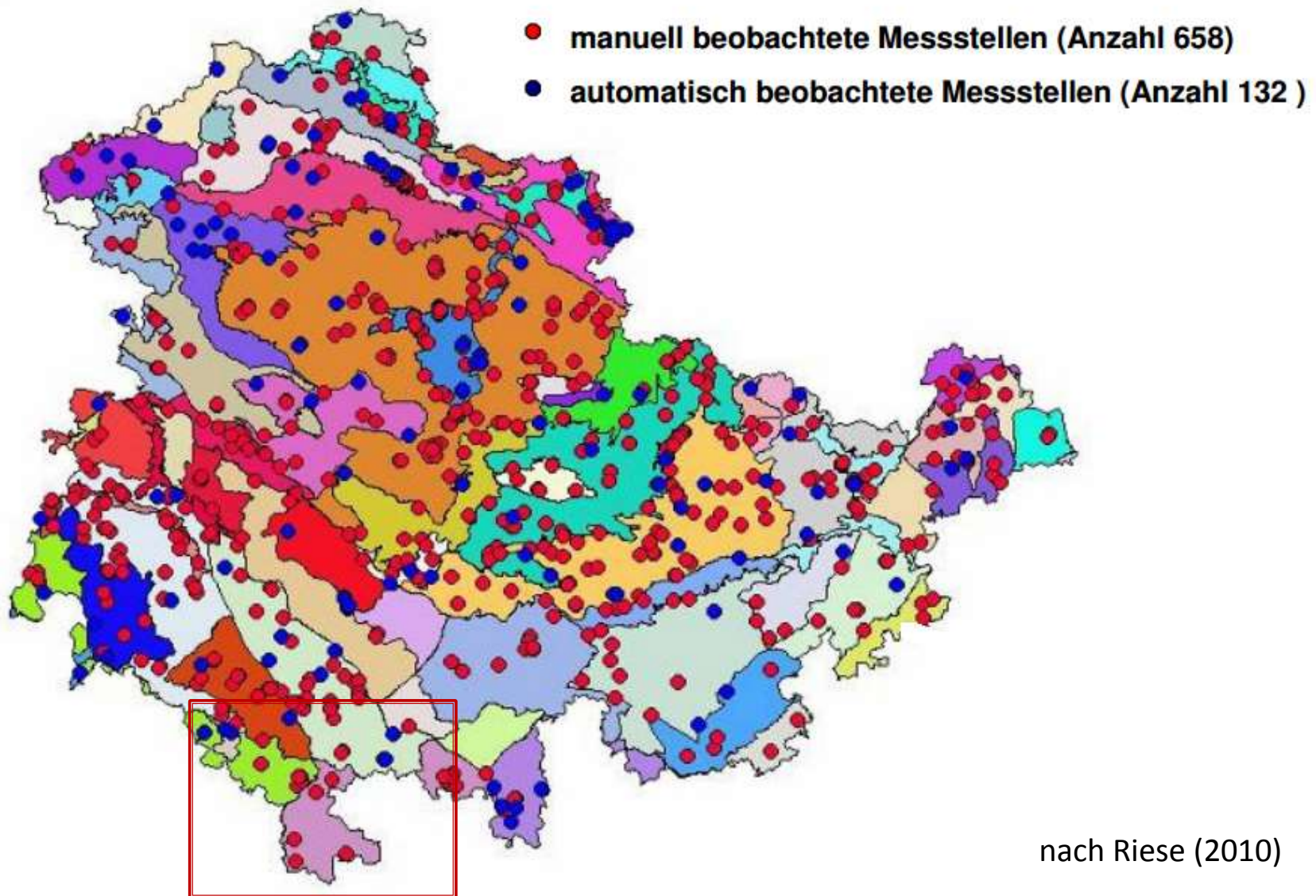
nach KLIWA (2012)



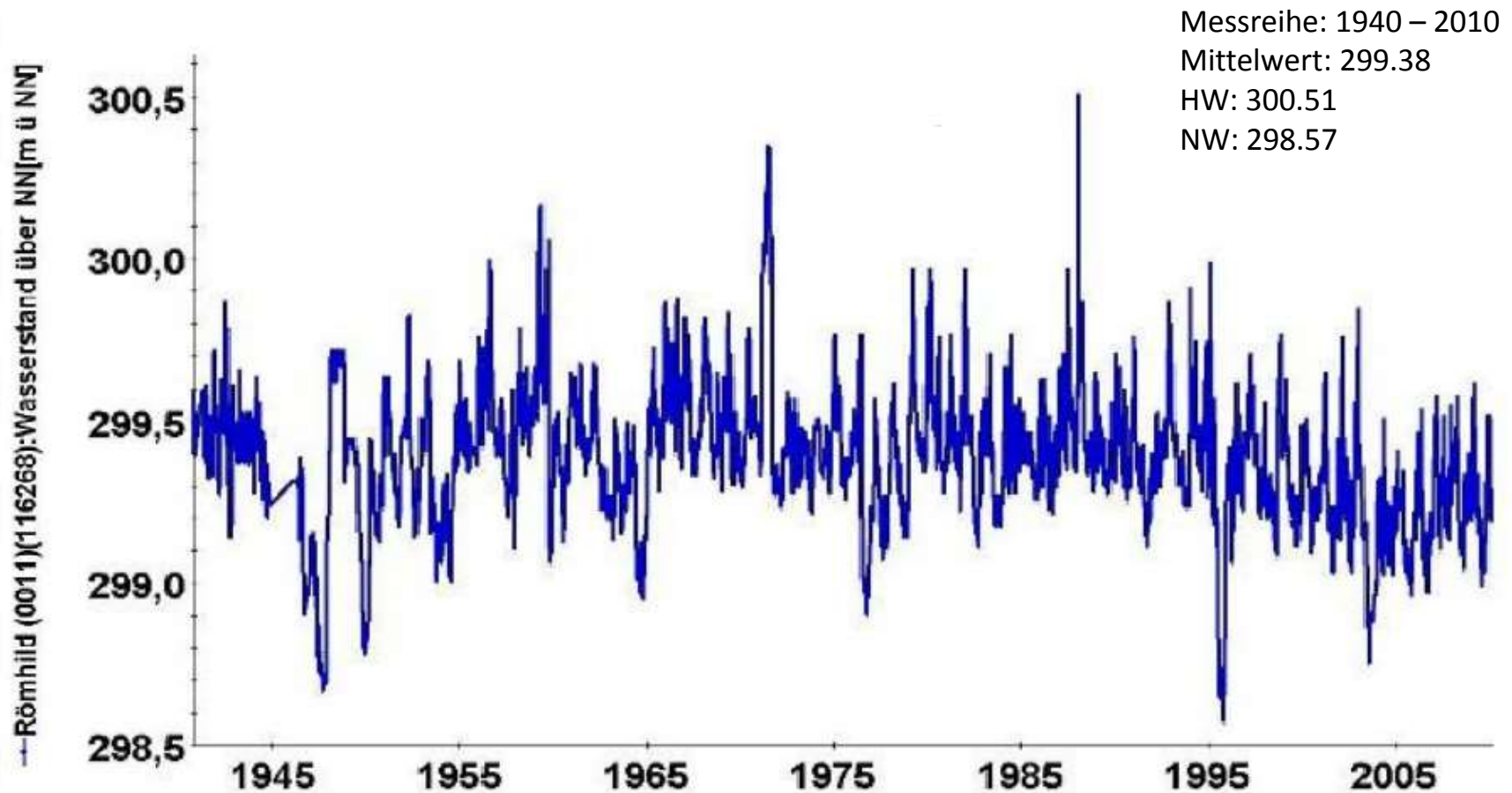
Grundwasserkörper

- Ein **Grundwasserkörper** ist ein abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter
- Die Abgrenzung einzelner **Grundwasserkörper** erfolgt so, dass Grundwasserkörper eine möglichst homogene Einheit darstellen, die eine eindeutige Einschätzung, Beschreibung und Überwachung, sowohl des mengenmäßigen als auch des chemischen Zustands erlauben.
- In Thüringen existiert ein kontinuierliches Messnetz zur Überwachung der Grundwasserkörper

Überwachung Grundwasserkörper

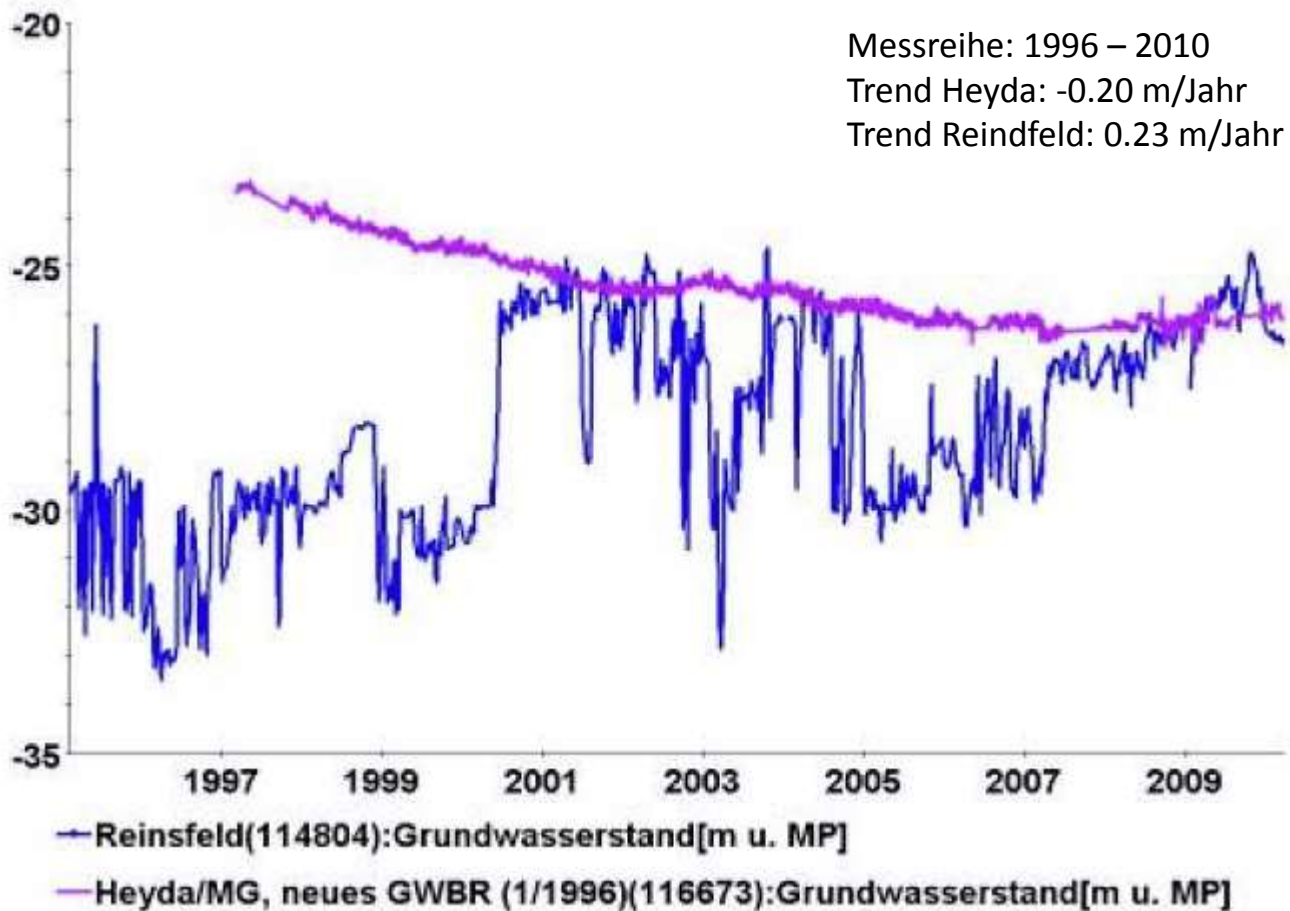


Wasserstandsentwicklung Hildsburghausen



nach Riese (2010)

Trend Grundwasserstand in Mittelthüringen



nach Riese (2010)

Reaktionen des Grundwasserleiters

- Extremwettersituationen spiegeln sich **zeitverzögert** (z. T. mehrere Monate), meist **stark abgeschwächt** in den Grundwasserständen wider.
- Die Reaktion vom Grundwasserleiter ist abhängig von der **Durchlässigkeit, Speichervolumen, Landbedeckung, Größe** und der **Grundwasserverweildauer**
- Deutliche und zeitnahe Reaktionen erfolgen in oberflächennahen Grundwässern und von Fließgewässern beeinflussten Verhältnissen (Karstgrundwasserleiter, kleine Quelleinzugsgebiete)

Grundwasserneubildung

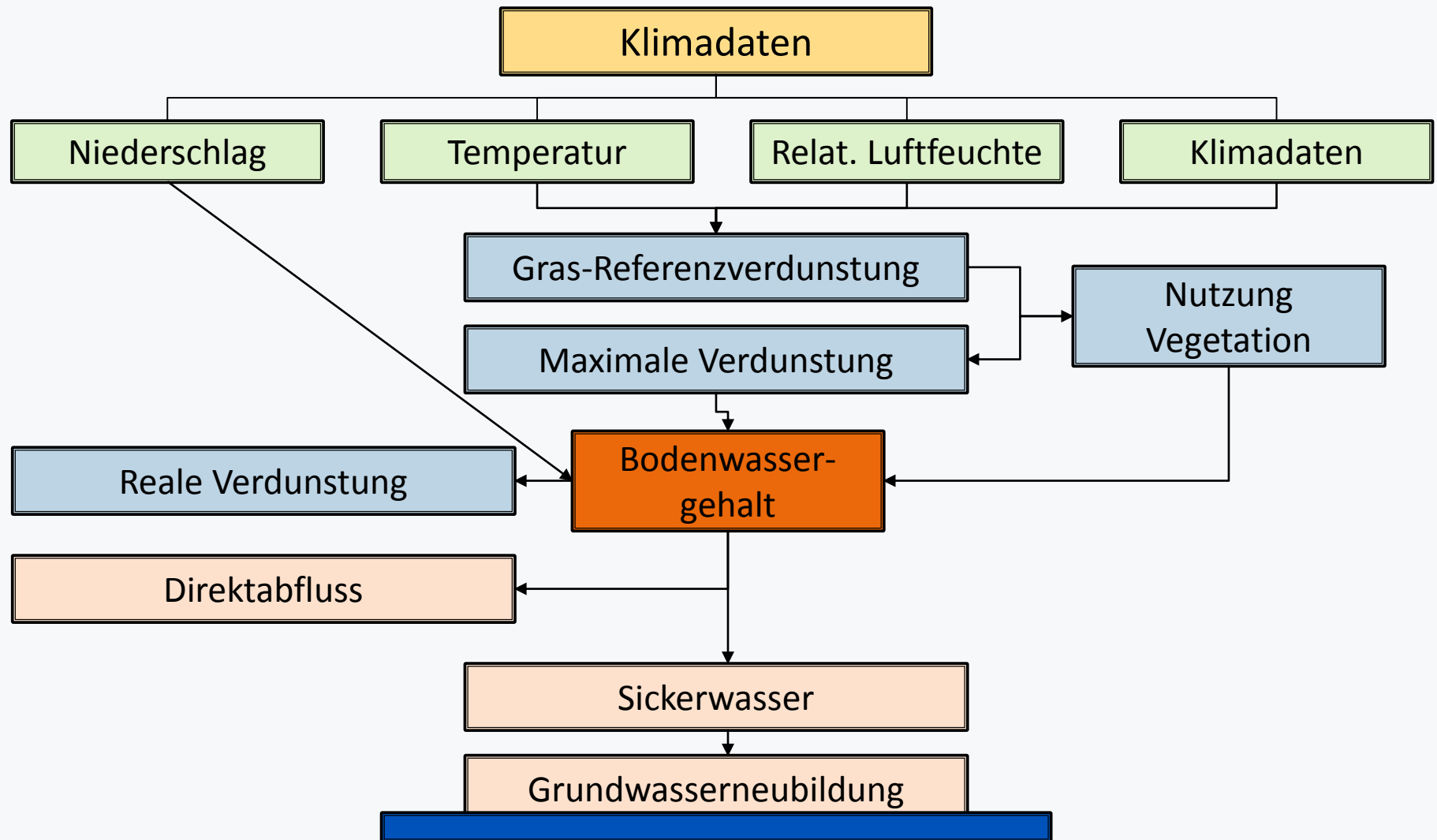
- Grundwasserneubildung GwN wird gemäß DIN 4049-3 als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“ definiert:

Grundwasserneubildung = Niederschlag – Verdunstung – oberird. Abfluss

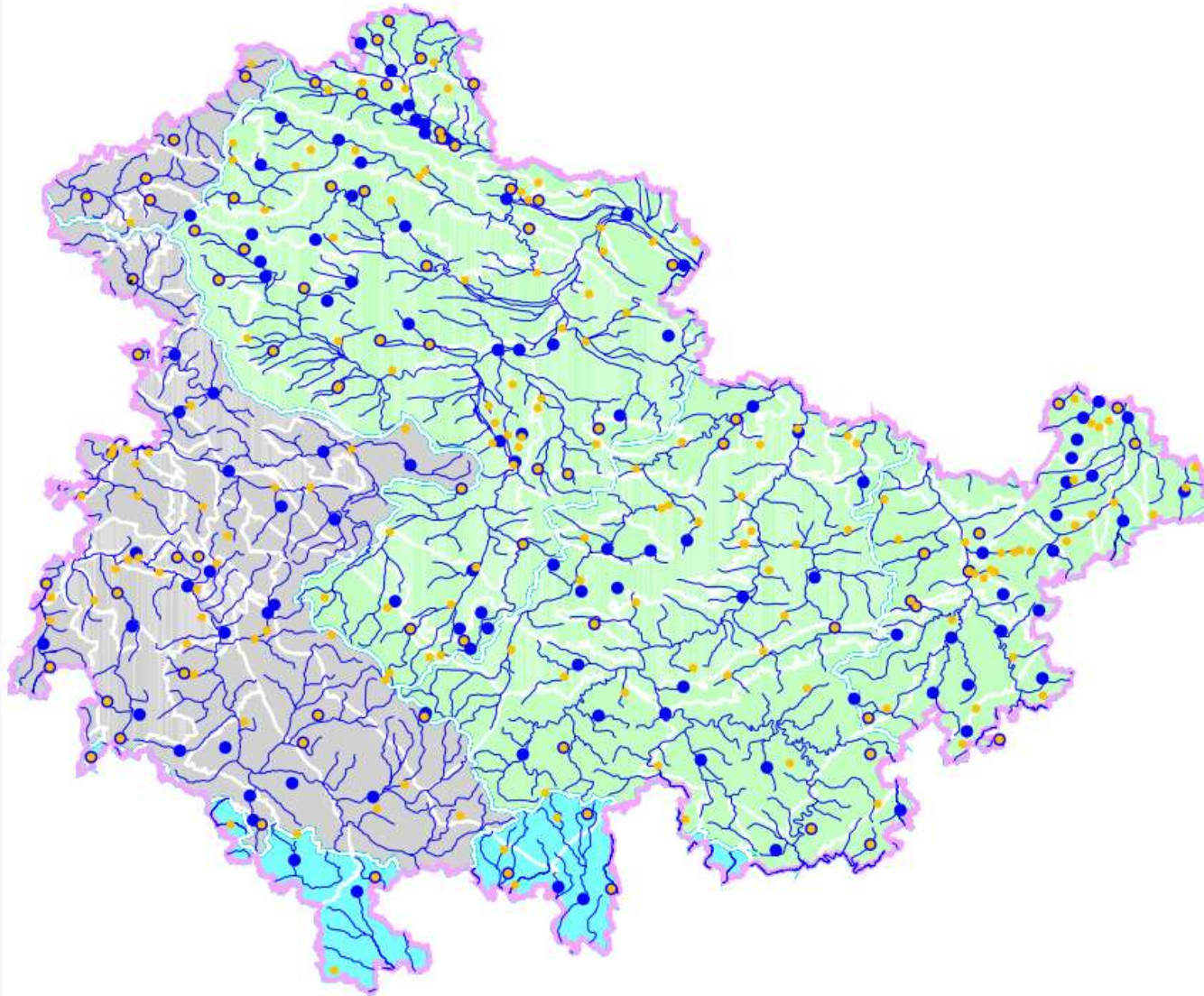
Klimatische Einflussfaktoren:

- Niederschlag: Art/Dauer, Relief, Luv/Lee-Lage
- Verdunstung: Temperatur, Sonnenscheindauer, Bewuchs, Wind, Exposition
- Abfluss (oberirdisch): Boden/Gestein, Bewuchs, Hangneigung, Versiegelung

Grundwasserneubildung



Grundwassermessnetz Thüringen



Grundwassermessstellen

Zeichenerklärung

- Landesgrenze
- Fließgewässer

Grundwasser-Monitoring

- Überblicksmessstelle Güte
- Überblicksmessstelle Menge

Grundwasserkörper (GWK)

- GWK Flussgebiet Elbe
- GWK Flussgebiet Weser
- GWK Flussgebiet Rhein

Stand: 03/ 2007

Herausgeber:

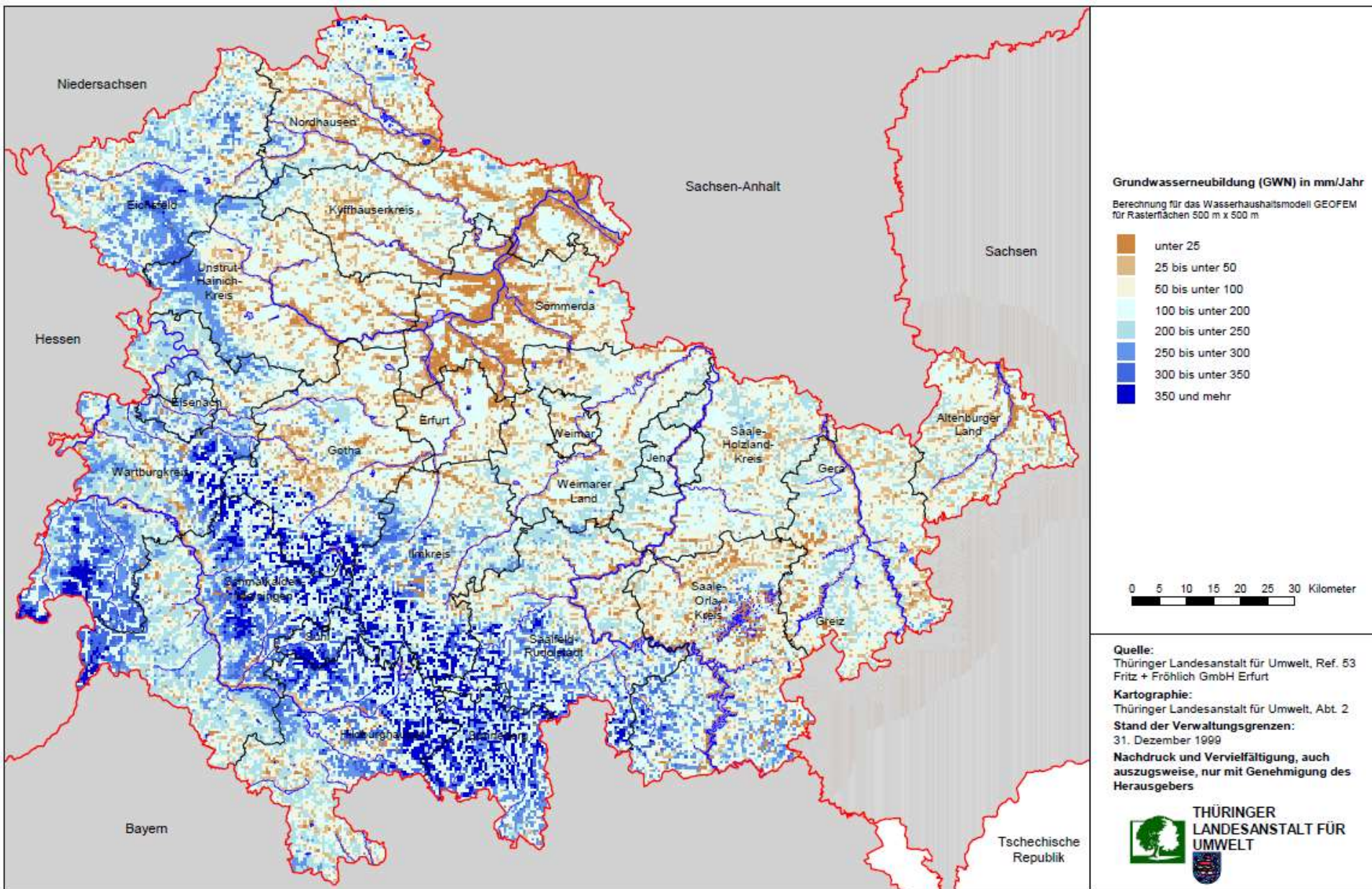


THÜRINGER
LANDESANSTALT FÜR
UMWELT UND GEOLOGIE

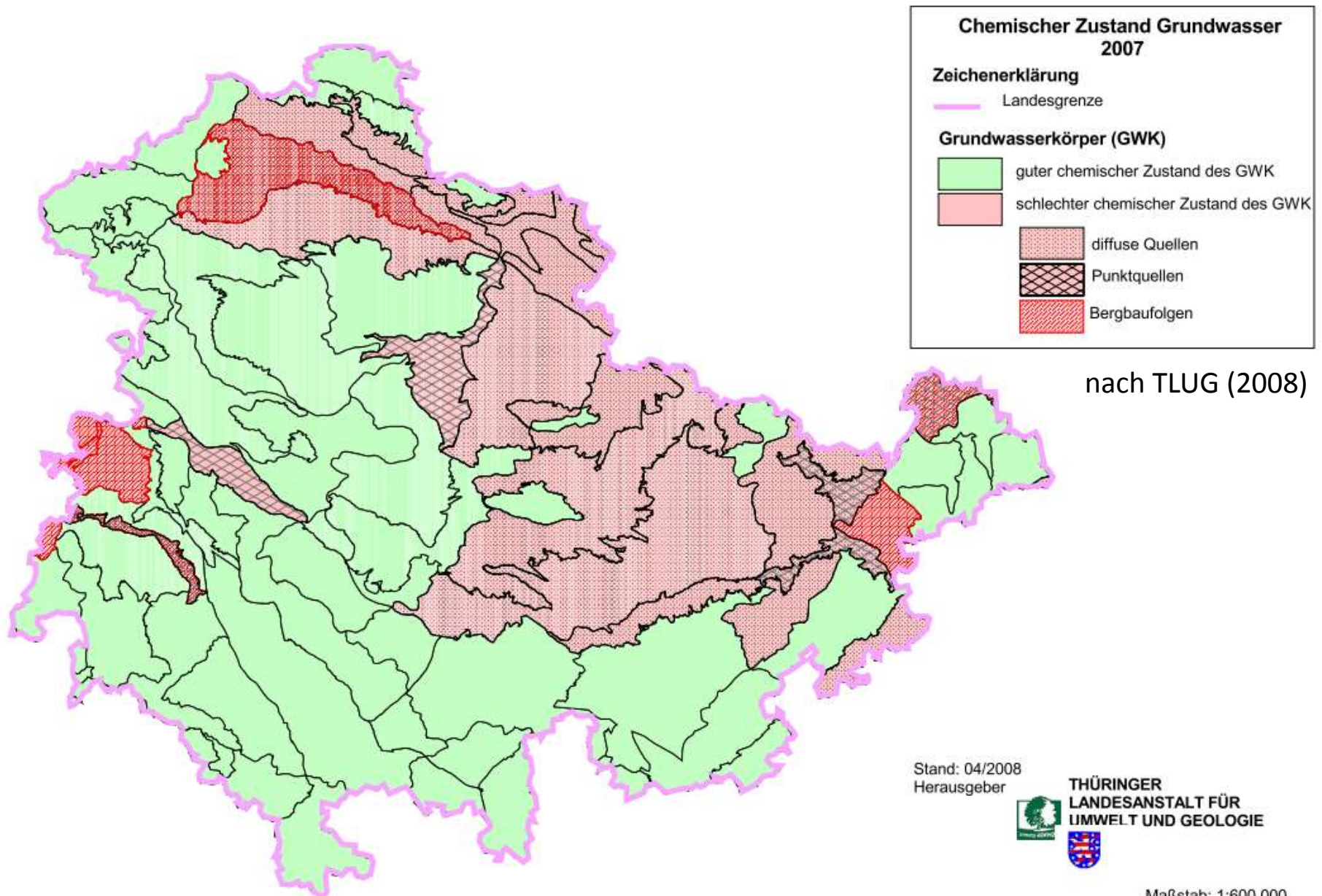
Maßstab: 1:700 000

nach TLUG (2008)

Grundwasserneubildung (berechnet nach GEOFEM)



Ist-Zustand Grundwasserleiter Thüringen



Stand: 04/2008
Herausgeber

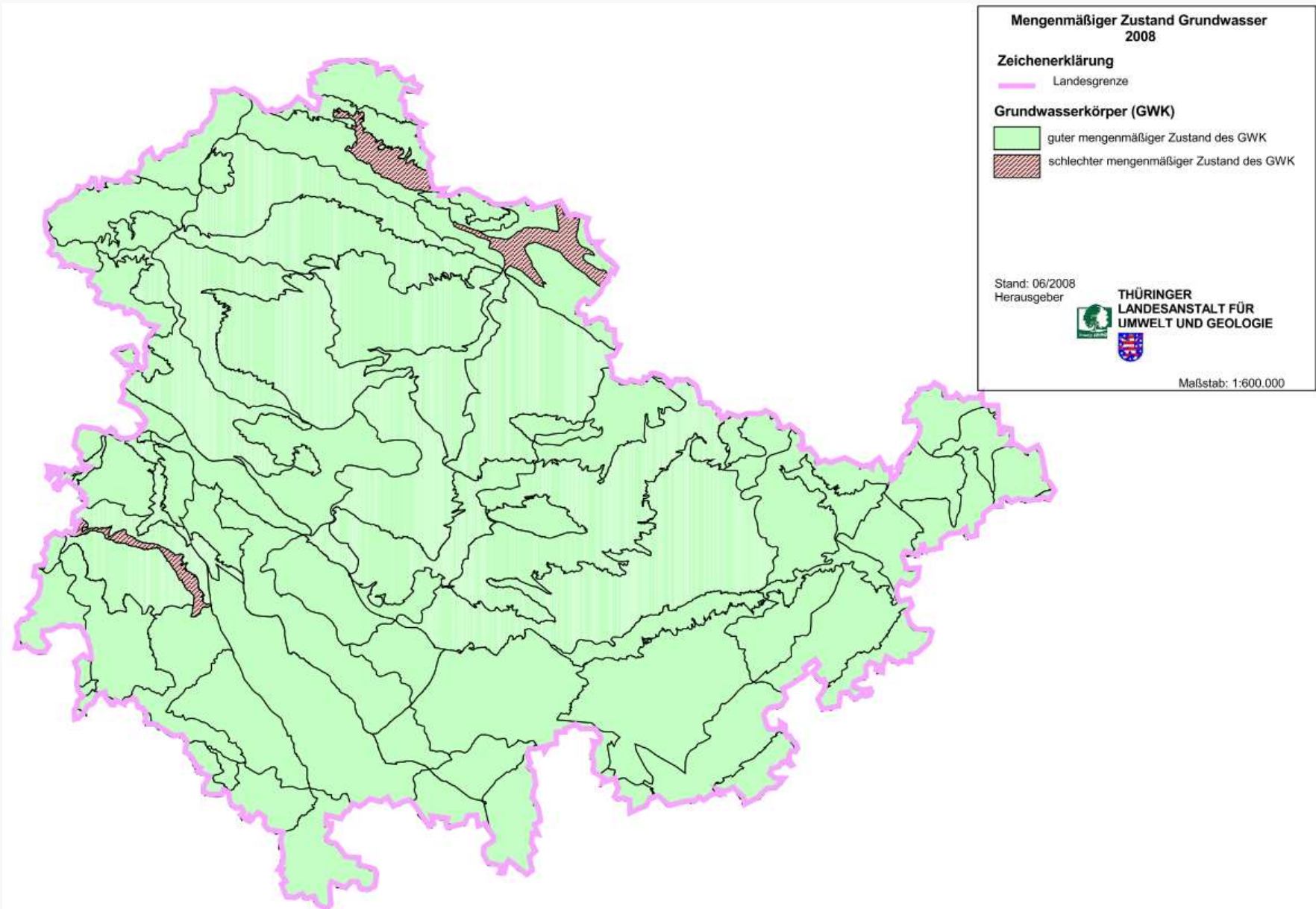


THÜRINGER
LANDESANSTALT FÜR
UMWELT UND GEOLOGIE



Maßstab: 1:600.000

Ist-Zustand Grundwasserleiter Thüringen



Einfluss des Klimawandels auf Grundwasserleiter

Studie von Rödiger et al. (2009):

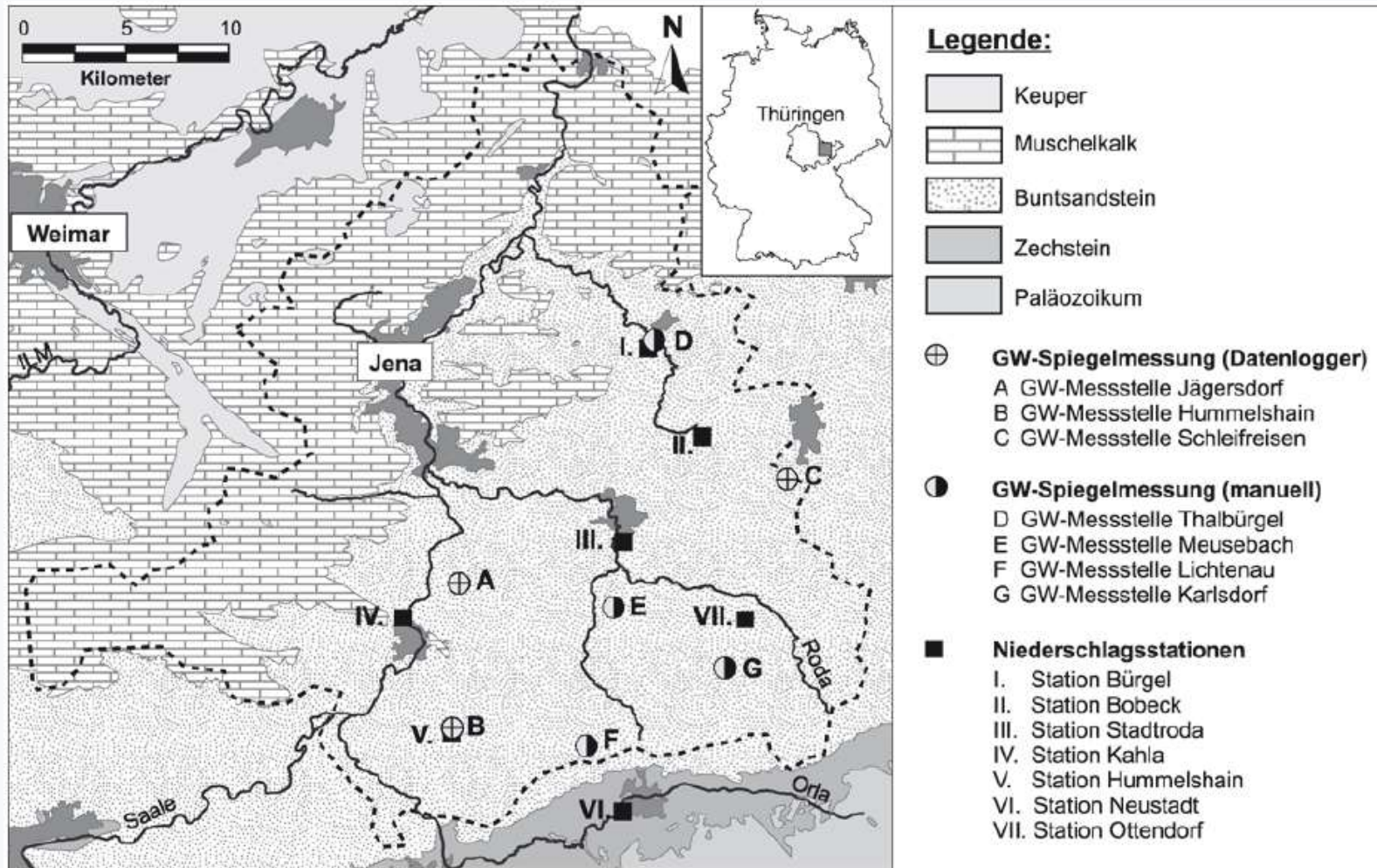


Abb. 1 Genutzte Grundwassermessstellen und Niederschlagsstationen, nach Rödiger et al. (2009)

Einfluss des Klimawandels auf Grundwasserleiter

Flurabstand < 10m:

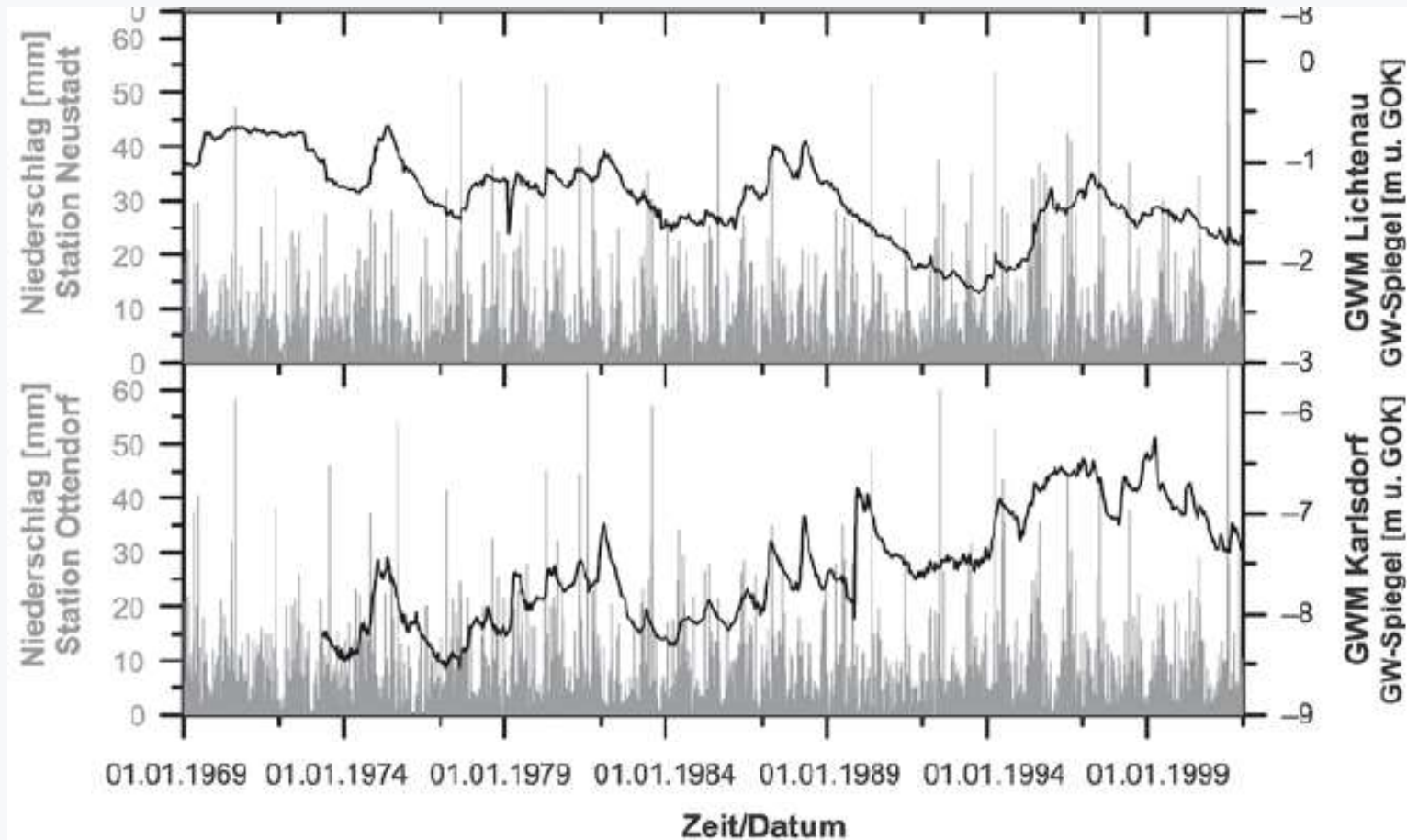


Abb. 2 Verlauf der Grundwasserspiegelstände der Messstellen Lichtenau und Karlsdorf, nach Rödiger et al. (2009)

Einfluss des Klimawandels auf Grundwasserleiter

Flurabstand < 10m:

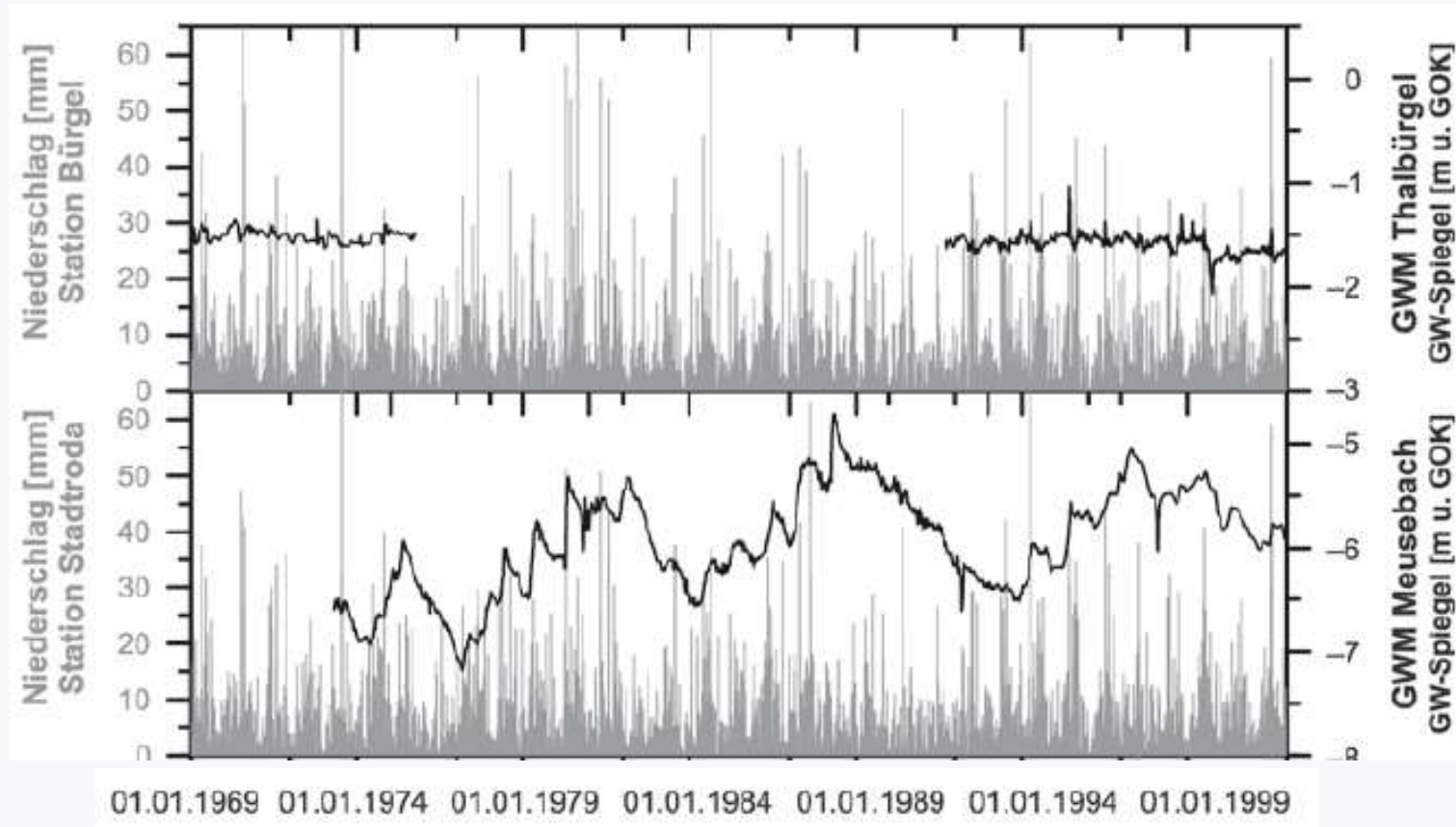
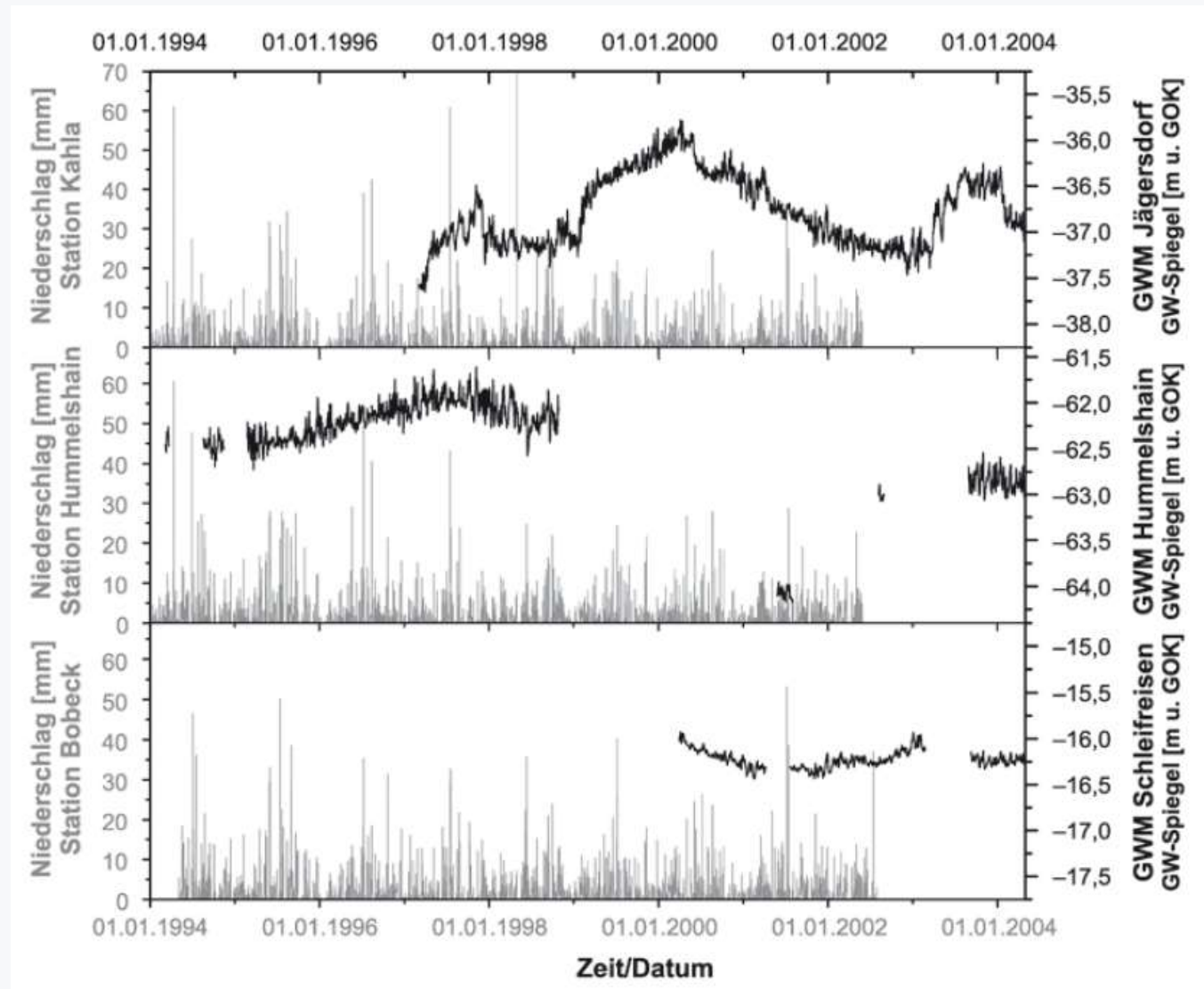


Abb. 3 Verlauf der Grundwasserspiegelstände der Messstellen Thalbürgel und Meusebach, nach Rödiger et al. (2009)

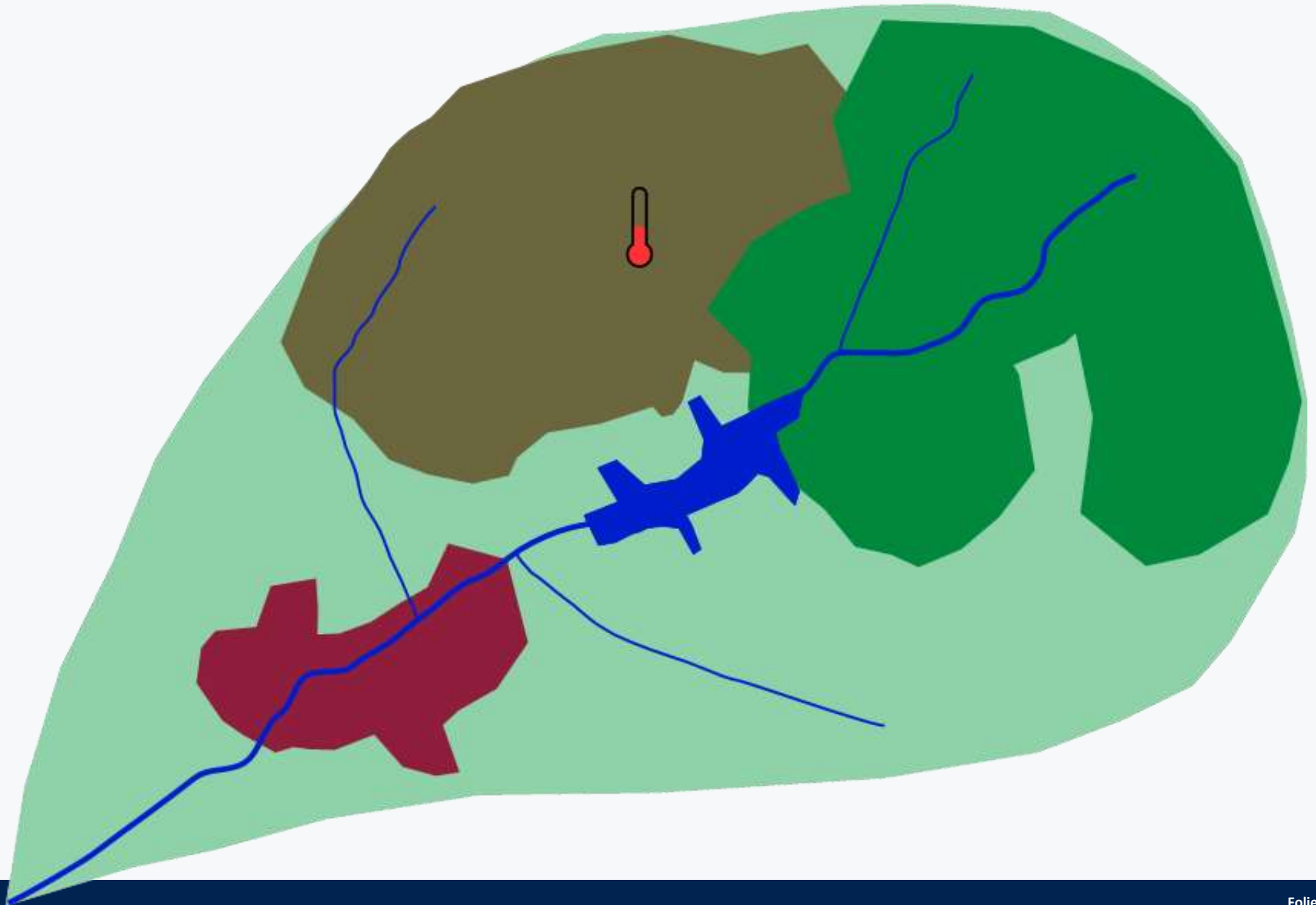
Einfluss des Klimawandels auf Grundwasserleiter

Flurabstand > 10m:

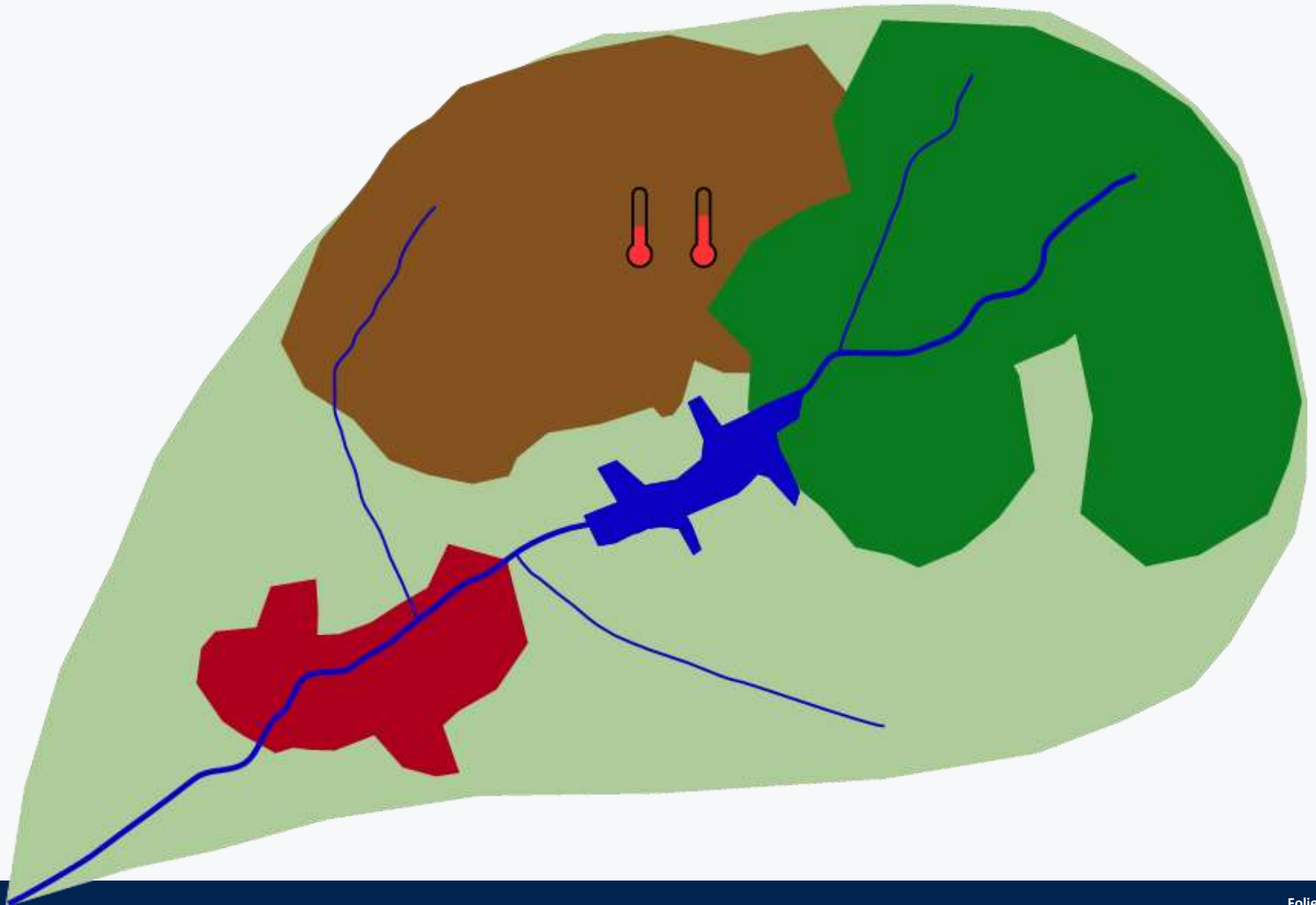
Abb. 3 Verlauf der Grundwasserspiegelstände der Messstellen Jägersdorf und Hummelshain und Schleifreisen, nach Rödiger et al. (2009)



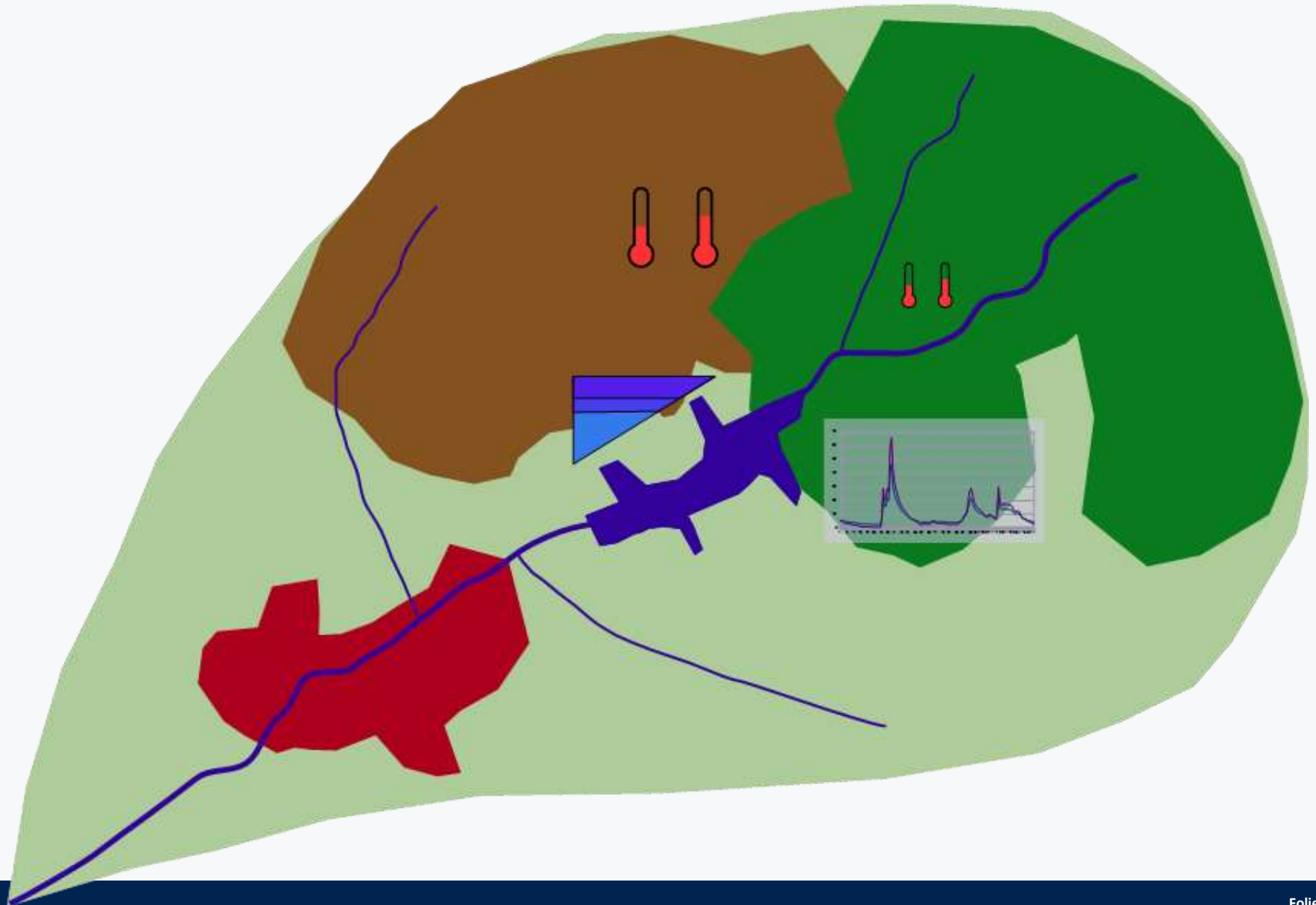
Einfluss des Klimawandels auf Grundwasserleiter



Einfluss des Klimawandels auf Grundwasserleiter



Einfluss des Klimawandels auf Grundwasserleiter



Quellwasser

1. Erwärmung der Lufttemperatur - Erwärmung des Quellwassers - (harte Aussage)
2. Vermehrte Starkniederschlagsereignisse – phasenweise kürzere Verweilzeiten - verminderte Wasserqualität (höhere Nährstoff und biologische Belastung) (weiche Aussage)
3. Änderung der Jahreszeitlichen Dynamik in der Quellschüttung - (Erhöhung im Winter, Verringerung im Sommer) (mittelharte Aussage)

Diese Effekte sind stark von der Tiefe bzw. hydraulischen Verbindung zwischen Oberfläche und dem Quellspeicher abhängig

Uferfiltrat

1. Erwärmung der Lufttemperatur - Erwärmung des Flusswassers - (harte Aussage)
2. Vermehrte Starkniederschlagsereignisse – phasenweise kürzere Verweilzeiten - verminderte Wasserqualität (höhere Nährstoff und biologische Belastung) (weiche Aussage)
3. Änderung der Jahreszeitlichen Dynamik in der Wasserführung- (Erhöhung im Winter, Verringerung im Sommer) (mittelharte Aussage)

Diese Effekte sind stark von hydraulischen Verbindung zwischen Oberflächenwasser und der Entnahme abhängig