



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

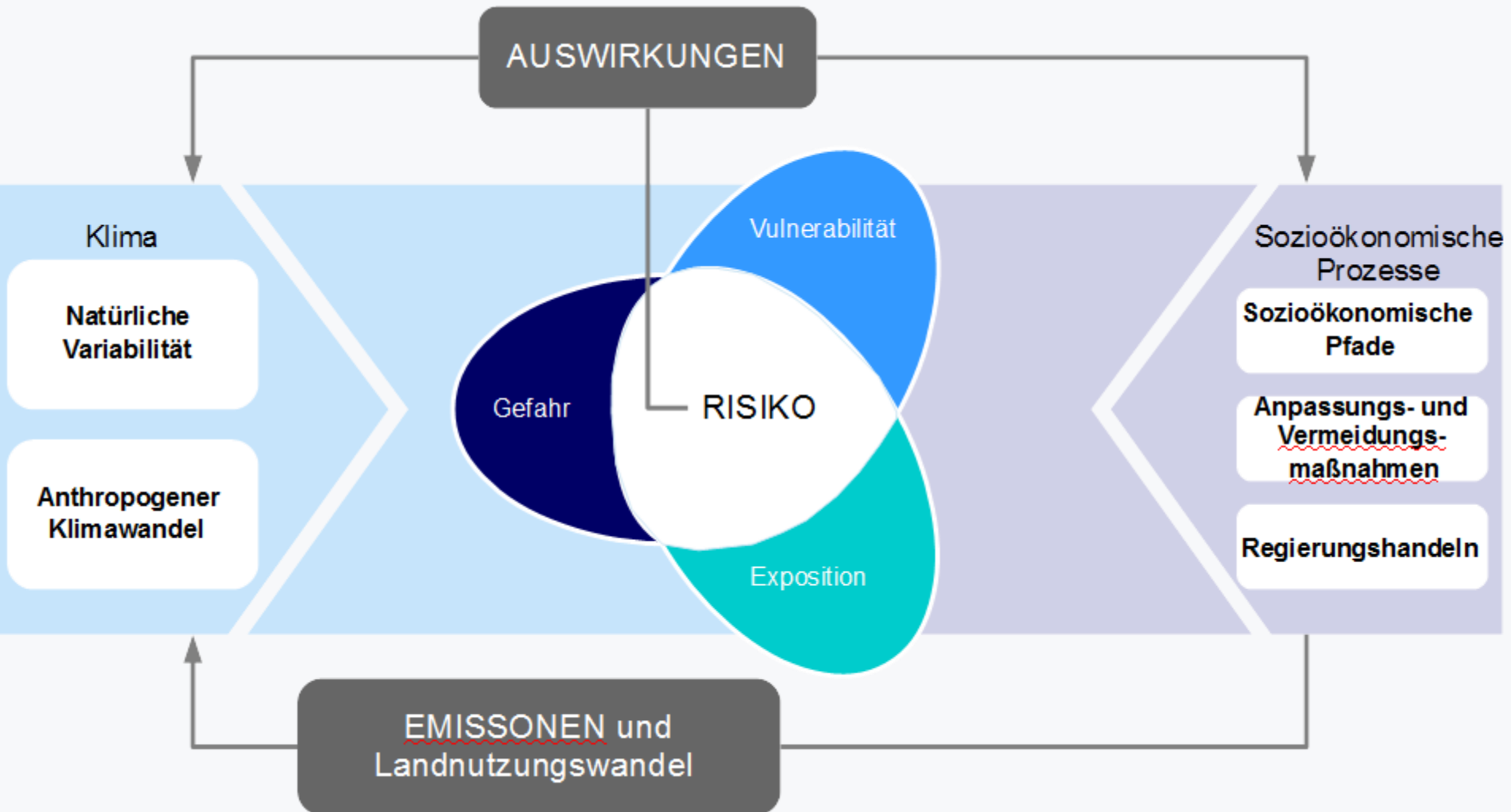
Förderkennzeichen: 03DAS083



Anpassungsmaßnahmen an Klimawandelfolgen in der Wasserversorgung

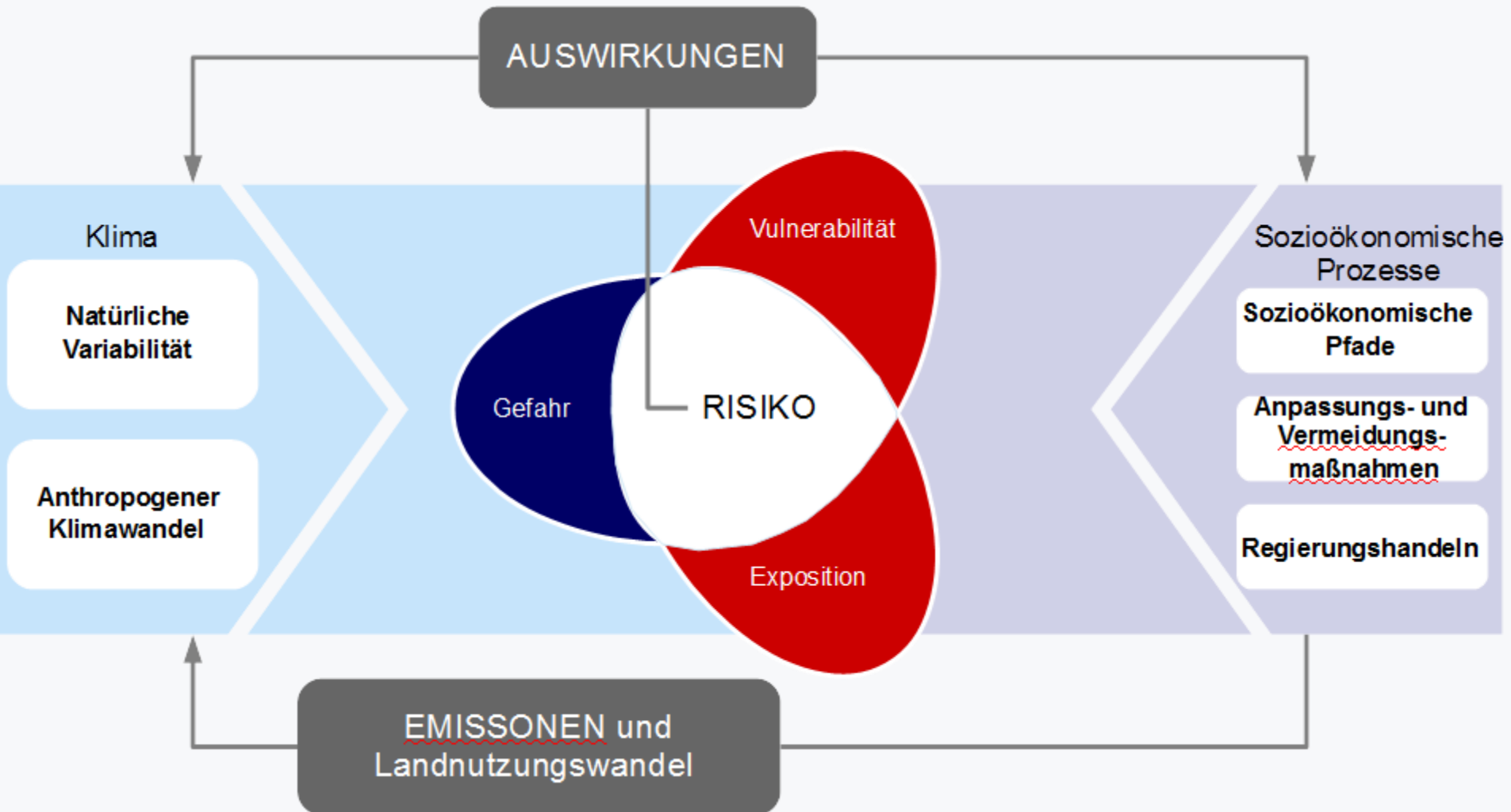
Manfred Fink
Lehrstuhl für Geoinformatik
Friedrich – Schiller – Universität Jena

Risikomanagement



nach IPCC 2014

Risikomanagement



nach IPCC 2014

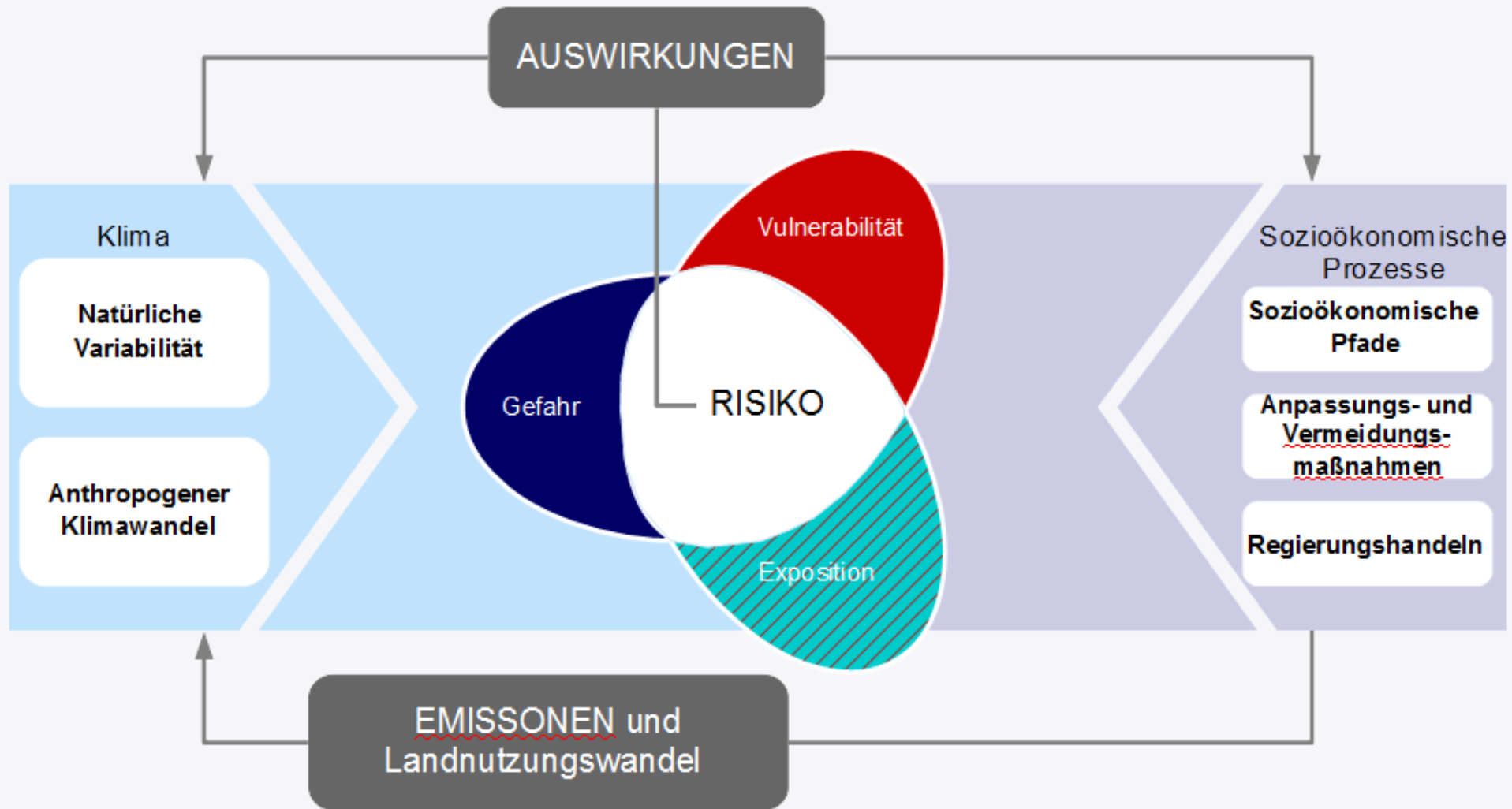
Handlungsempfehlungen Wasseraufbereitung

- Aufbereitung von mikrobiologisch-stabilen Trinkwasser
 - z.B. optimierte Fällung/Flockung, Schnellfiltration, biologisch aktivierte GAC-Filtration, Langsamsandfiltration, gesteuerte Ozondosierung
- ... verringert nachweislich die Aufkeimungsgefahr bei Temperaturanstieg
 - durch verringerte Biofilmbildung, geringere Neigung zur Einlagerung/Vermehrung von hygienisch relevanten Mikroorganismen (*P. aeruginosa*, *L. pneumophila*) im Biofilm
- Desinfektion mit Depoteffekt erhöht die hygienische Sicherheit
 - wirkt aber nicht gegen dauerhafte Einnistung von Krankheitserregern nach Kontaminationen
- Mikrobiologische Stabilität sollte bei jedem Wasserversorgungsunternehmen geprüft werden
 - Untersuchung des Trinkwassers und der Eingesetzten Materialien im Netz im Bezug auf erhöhte Temperaturen

Handlungsempfehlungen Betrieb und Instandhaltung von Trinkwasser-Verteilungssystemen

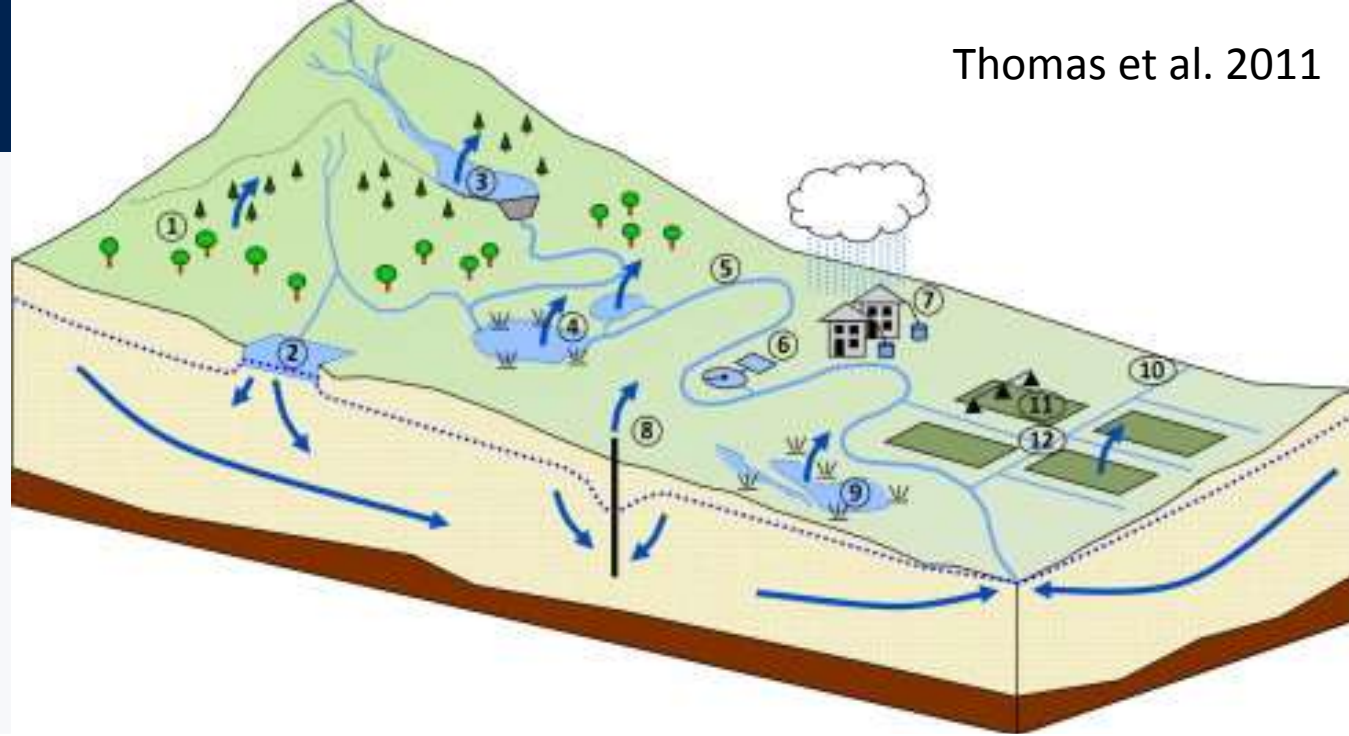
- Erwärmung des Trinkwassers vermeiden
 - Ausreichende Fließgeschwindigkeit sicherstellen (Durchmesser, Vermaschung)
 - Stagnationszonen identifizieren und umbauen (Endstränge, Vermaschung)
 - Oberflächennahe Leitungen in versiegelten Gebieten sind besonders gefährdet
- Instandhaltung des Netzes senkt die Verwundbarkeit
 - Auswechslung spröder Rohrwerkstoffe (vor allem in bindigen Böden)
- Risiko- und Potentialanalyse für jedes Versorgungssystem
 - Netzstruktur, Komponenten, -betrieb und Wasserbeschaffenheit

Handlungsempfehlungen Betrieb und Instandhaltung von Trinkwasser-Verteilungssystemen



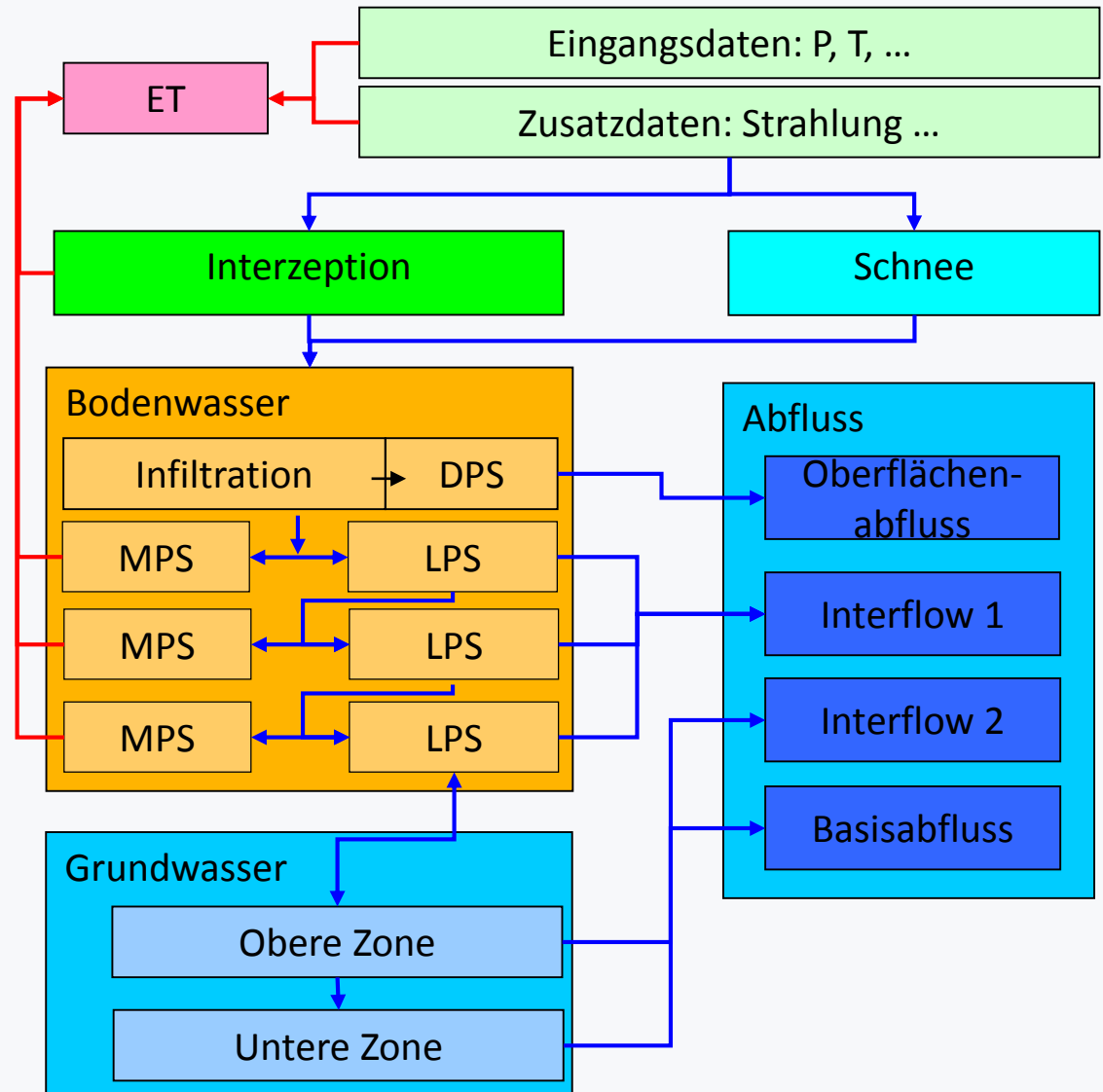
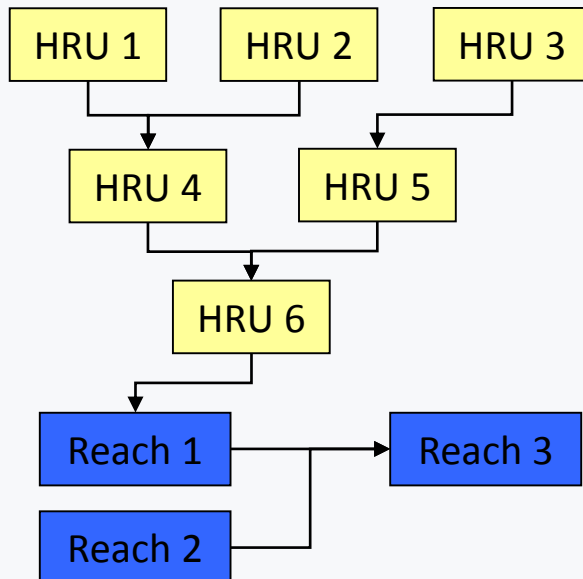
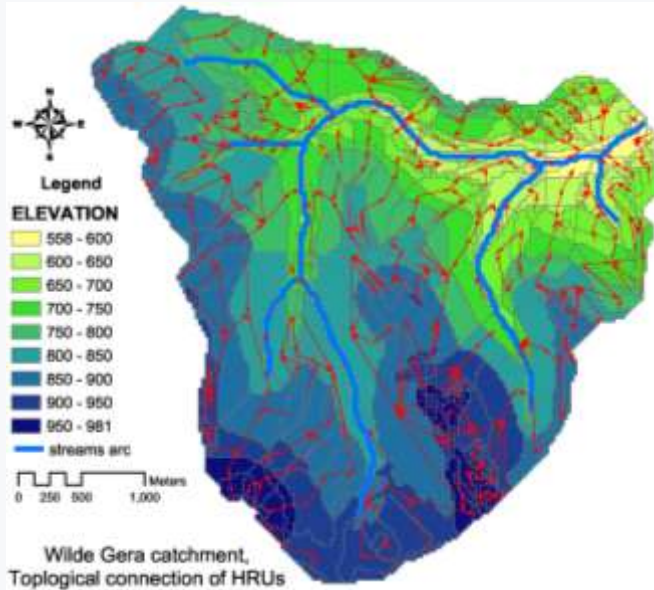
nach IPCC 2014

Maßnahmen gegen Wassermangel: Erhöhung des Wasserdargebots



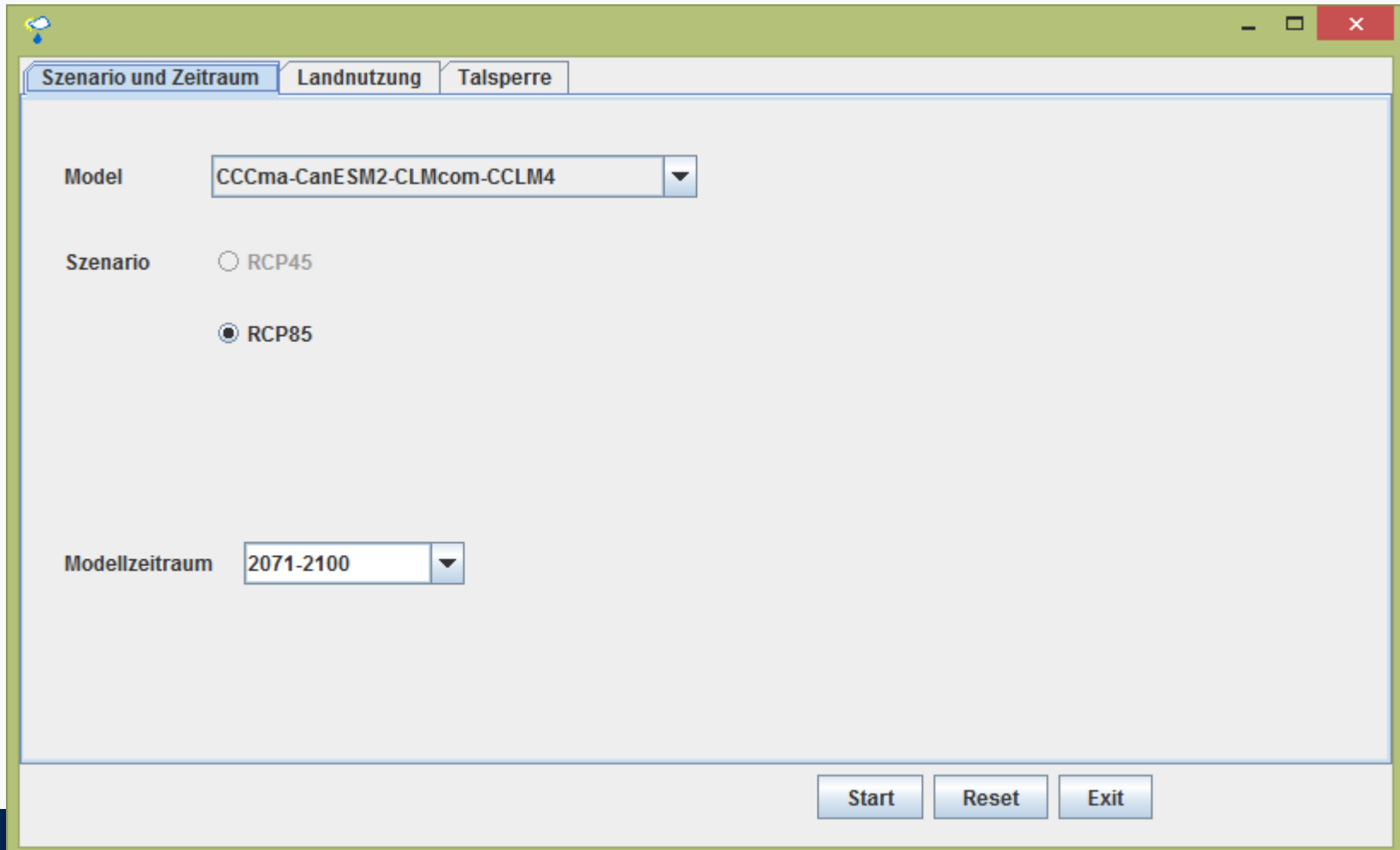
Maßnahme	Wirkprinzip und Auswirkung
Änderung der Landnutzung (1,11)	Verringerung der Verdunstung und Interzeption; Erhöhung der Grundwasserneubildung; Erhöhung des Basisabflusses
Änderung der Bewirtschaftung (11)	Erhöhung der Infiltration und Verringerung der Verdunstung mit Hilfe von Bodenbearbeitung und anderen landwirtschaftlichen Bearbeitungsmaßnahmen; Minimierung von Bewässerungsverlusten
Statische Regenwassergewinnung (7)	Erhöhung der Infiltration anstelle schneller Wasserabfuhr in das Kanalsystem und die Gewässer; Erhöhung der Grundwasserneubildung
Einzugsgebiets-übergreifender Wassertransfer (10)	Überleitung von „Überschusswasser“ benachbarten Einzugsgebieten (aus größeren Talsperren)

Beispielmodell J-2000



Beispielmodell J-2000

- Explorer (Dateimanager) öffnen
- nach C:\IT_Programme\WASKA\ gehen
- WASKA_GUI (WASKA_GUI.exe) ausführen



The screenshot shows the WASKA_GUI application window. It has a title bar with standard Windows window controls (minimize, maximize, close). Below the title bar are three tabs: "Szenario und Zeitraum", "Landnutzung", and "Talsperre". The "Szenario und Zeitraum" tab is currently selected. Inside this tab, there are three main configuration sections:

- Model:** A dropdown menu showing "CCCma-CanESM2-CLMcom-CCLM4".
- Szenario:** Two radio button options: "RCP45" (unselected) and "RCP85" (selected).
- Modellzeitraum:** A dropdown menu showing "2071-2100".

At the bottom of the window, there are three buttons: "Start", "Reset", and "Exit".

Beispielmodell J-2000 Landnutzungsunterschiede

- Zeitraum 1960-1990 -> Jeder ein anderes Modell
- Landnutzungen auf 100% stellen
- Mittleren Abfluss notieren

The screenshot shows the 'Landnutzung' (Land Use) configuration window of the J-2000 model. The window has three tabs: 'Szenario und Zeitraum', 'Landnutzung', and 'Talsperre'. The 'Landnutzung' tab is active. It contains a checkbox for 'Trinkwasserentnahme' (Drinking water extraction) which is unchecked. Below this, there are seven sliders, each representing a different land use type. Each slider is set to 100% on the right side, and the current percentage value is displayed in a text box on the right. The values are: Siedlung (ländlich) at 2%, Siedlung (städtisch) at 1%, Ackerland at 63%, Grünland at 12%, Laubwald at 5%, Nadelwald at 18%, and Anteil bewässerten Ackerlands at 0%. At the bottom of the window are three buttons: 'Start', 'Reset', and 'Exit'.

Landnutzungstyp	Wert (%)
Trinkwasserentnahme	0
Siedlung (ländlich)	2
Siedlung (städtisch)	1
Ackerland	63
Grünland	12
Laubwald	5
Nadelwald	18
Anteil bewässerten Ackerlands	0

Änderungen in der Landnutzung/-management

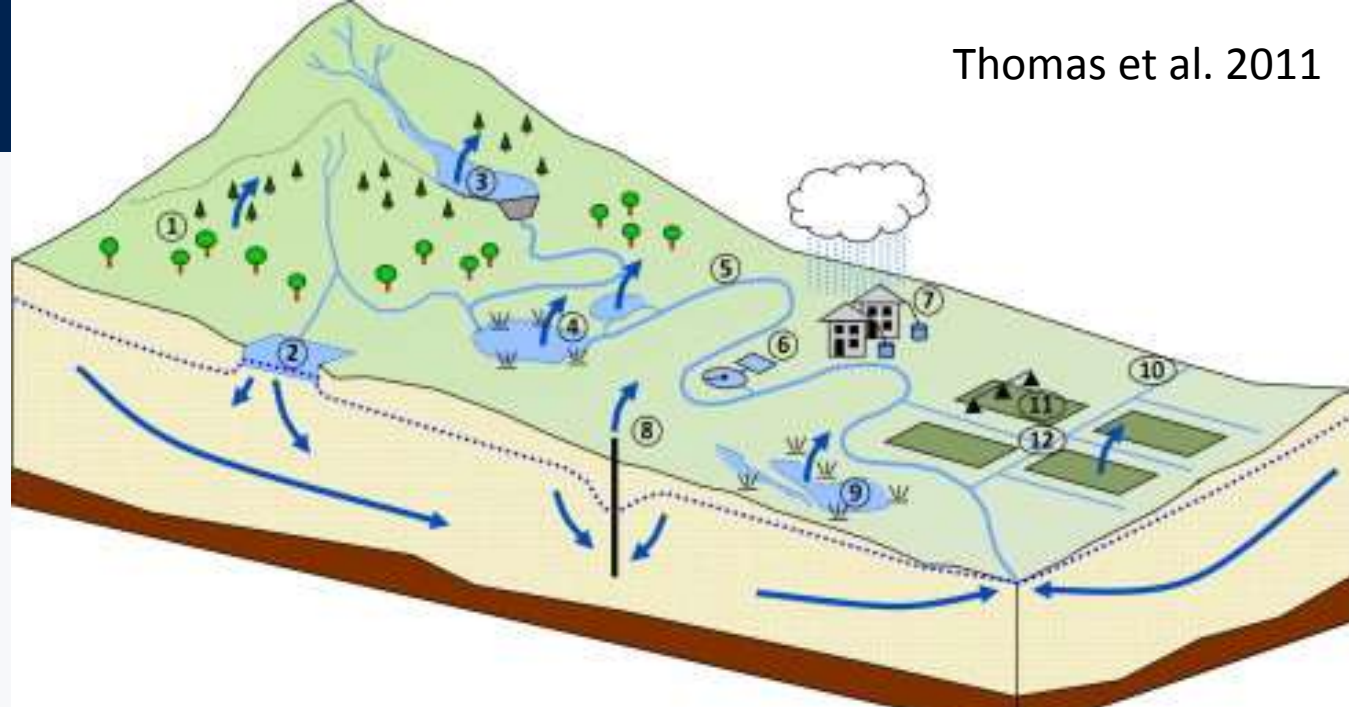
Maßnahme	Betrachtete Variable	Erhöhung des Wasserdargebots in mm/Jahr	Autoren
Nadel zu Laubwald	Wasserdargebot	30 - 60	Brown et al. 2005
	Abfluss	135 - 189	Armbruster et al. 2004
Wald zu Ackernutzung	Verdunstung und Interzeption	100	Verstraeten et al. 2005
Änderung der Feldfrüchte	(Tiefen-)Versickerung	0 - 53	Schindler et al. 1997
Änderungen im Landschaftsmaßstab (verschiedene Maßnahmen)	Verdunstung	17 (Kiefer zu Eiche)	Wattenbach et al. 2007
	Abfluss	12,4 (Flächenstillegung)	Wechsung et al. 2000
	Abfluss	Ca. 75 (Permanente Vegetation zu Feldfrüchten, Mississippi)	Zhang und Schilling 2006
Konservierende Bodenbearbeitung	(Tiefen-)Versickerung	18,5	Oleary 1996
Tiefpflügen (zum aufbrechen wasserstauender Schichten)	(Tiefen-)Versickerung	51 - 67	Scanlon et al 2008
	Perkolation	4	Xu und Mermoud 2003

nach Thomas et al. 2011

Änderungen des Wasserdargebotes

- Städtische Regenwassergewinnung
 - 13,3 % Deutschlands sind Siedlungen und Verkehrsflächen (Destatis, 2009)
 - Grob geschätzt können 50 % davon als versiegelt angesehen werden.
 - Maßnahmen zur Entsiegelung/Regenwasserinfiltration können sich je nach der Grundwassersituation positiv oder negativ auf die Grundwasservorräte auswirken.
 - Bei hochstehendem Grundwasser kann der Verdunstungsschutz durch versiegelte Flächen überwiegen
 - Bei tiefstehendem Grundwasser kann die zusätzliche Infiltration überwiegen (Querner und van Lanen 2001)
- Einzugsgebietsübergreifender Wassertransfer
 - Im großen Stil finden diese Transfers von allem in semiariden oder semihumiden Räumen statt und haben oft Bewässerungszwecke
 - Trinkwasser wird sehr häufig in anderen Einzugsgebieten gewonnen

Maßnahmen gegen Wassermangel: Wasser- zwischen- speicherung



Maßnahme	Wirkprinzip und Auswirkung
Künstliche Grundwasserneubildung (und Wiederauffüllung) (2,8) und Gewässerrenaturierung (5)	Verzögerung des Grundwasserstromes zum Gewässer durch Erhöhung des Basisabflusses; Erhöhung des Grundwasserstandes in Flussnähe Wiederauffüllung unter Verwendung von Schluckbrunnen o. ä.;
Oberflächenwasserspeicher (3,4)	Wasserspeichernutzung zur Sicherstellung des Minimalabflusses / Grundwasserstandes
Feuchtgebiets- und Wassermanagement (9,12)	Abhängig von der Lokalen Hydrogeologie können Feuchtgebiete den Minimalabfluss/Grundwasserstand Sicherstellen wie Wasserspeicher. Falls das nicht der Fall ist können Verdunstungsverluste minimiert werden (durch Herabsetzung des Grundwasserspiegels); höheres Grundwasser an Gräben ermöglicht weniger Bewässerung während Trockenperioden und manchmal sogar eine Erhöhung des Basisabflusses
Abwasserrecycling	Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser für Bewässerung und Grundwasserneubildung

Maßnahmen gegen Wassermangel - Bewertung

Maßnahme	Erzielbares Volumen	Zeit zur Umsetzung	Reaktionszeit	Betriebsaufwand	Konfliktpotential
Erhöhung des Wasserdargebots					
Änderung der Landnutzung	Niedrig - mittel	Jahrzehnt - Jahrhundert	-	-	Mittel - hoch
Änderung der Bewirtschaftung	Niedrig - mittel	Jahr - Jahrzehnt	-	-	Niedrig - mittel
Statische Regenwassergewinnung	Niedrig - mittel	Jahr - Jahrzehnt	Schnell - langsam	Niedrig - mittel	Mittel - hoch
Einzugsgebietsübergreifender Wassertransfer (groß)	Mittel - hoch	Jahr - Jahrzehnt	Schnell - mittel	Mittel	Hoch
Wasserzwischenspeicherung					
Künstliche Grundwasserneubildung	Niedrig - hoch	Jahr - Jahrzehnt	Langsam - nicht	Mittel - hoch	Mittel - hoch
Gewässerrenaturierung	Niedrig	Jahr - Jahrzehnt	mittel	Niedrig	Mittel - hoch
Oberflächenwasserspeicher (groß)	Hoch	Jahrzehnt	Schnell - mittel	Mittel - hoch	Hoch
Oberflächenwasserspeicher (klein)	Niedrig - mittel	Jahr - Jahrzehnt	Schnell	Niedrig - mittel	Niedrig - mittel
Feuchtgebiets- und Wassermanagement	Niedrig - mittel	Jahr - Jahrzehnt	Schnell - mittel	Mittel - hoch	Mittel - hoch
Abwasserrecycling	Niedrig - mittel	Jahr - Jahrzehnt	Schnell	Mittel - hoch	Hoch

Beispielmodell J-2000 Talsperren

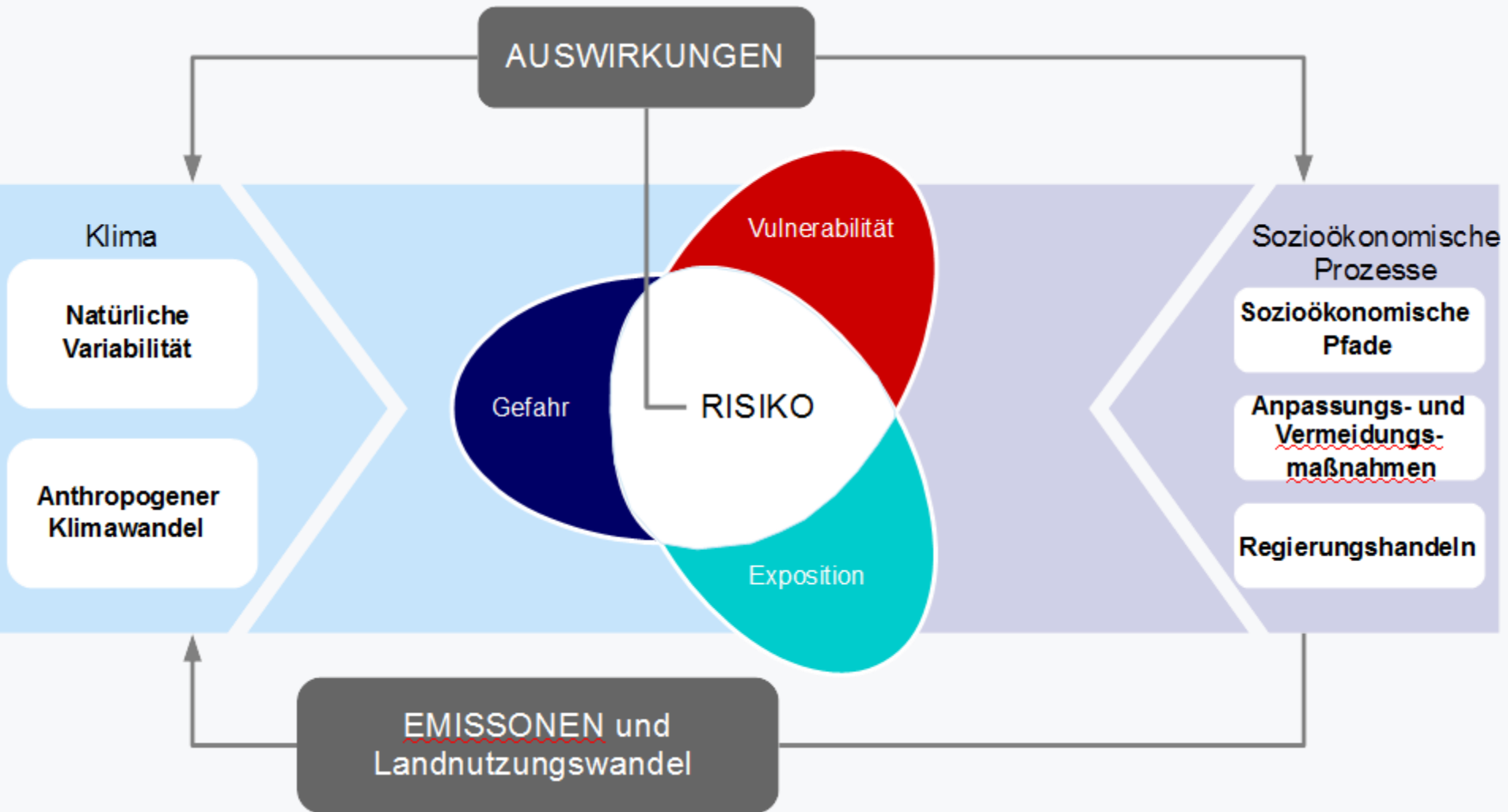
- Zeitraum 2070-2100 -> Jeder ein anderes Modell
- Beim Abfluss den niedrigsten Monat (blau) als Orientierung nehmen
- Talsperre aktivieren - versuchen durch Erhöhung des Mindestabflusses mit der roten Linie den Mindestwert der blauen zu erreichen, Falls das nicht klappt Talsperrenvolumen und Flutablassrate erhöhen
- Durchschnittliche Talsperrenfüllung schätzen.

☒ Talsperre aktiv

Parameter	Value	Unit
max. Talsperrenvolumen	5.32	mio. m ³
Mindestabfluß	0.138	m ³ /s
Min. Zielfüllrate	65	%
Flutablassfüllrate	90	%

Start Reset Exit

Maßnahmen gegen Wassermangel



nach IPCC 2014

Kostenabschätzung für Anpassungsmaßnahmen

Beispiel: Emscher-Lippe-Region (2021 - 2050) - Grundwassernutzung

Trinkwasser- versorgung		Mögliche Anpassungsmaßnahmen an Sz1 Moderater Wandel		Kostenveränderung		Erwartete Erhöhung Gesamtaufwand
				Betriebs- aufwand	Kapital- aufwand	
technische Aufgaben	Wasserproduktion	WW	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> • Arten und Sortenspektrum • Bewässerung, optimiertes Humusmanagement, Flächenkauf, • Beregnungsverband („große Lösung“) 	ca. 0 - 200 %	ca. 0 %	Ca. 1,2 % bis 3,6 %
		WG	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> • Technische Sicherung (Schutzmauern, Lenzpumpen etc.) • Bau zusätzlicher Brunnen • Erhöhung Speicherkapazität, Ausbau Verbund 	ca. 0 - 5 %	ca. 0 % - k. A.	
		WA	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> • Vorhaltung von Spitzenlast in Kombination von Speichervolumen und Fremdwasserbezug • Hochwasserschutz von Aufbereitungsanlagen, zeitweise Abschaltung von Uferfiltrationsbecken • Optimierung bestehender Verfahrensstufen 	ca. 11 - 27 %	ca. 0 - 16 %	
	Wassernetze	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none"> • Rohrleitungen häufiger spülen • Umrüstung WA (Verminderung Mikrobiologie) • Vermeidung von Rohwerkstoffen aus organ. Material • Reduzierung Nennweite bei Neuverlegung • Speicherkapazität erhöhen (erhöhter Energiebedarf) • Sprinkler-Plan aussprechen • Hochwasserschutz von Verteilungsanlagen und Fernwirktechnik 		Derzeit nicht bezifferbar		

Kostenabschätzung für Anpassungsmaßnahmen

Beispiel: Emscher-Lippe-Region (2021 - 2050) - Oberflächenwassernutzung

Trinkwasser- versorgung		Mögliche Anpassungsmaßnahmen an Sz1 Moderater Wandel	Kostenveränderung		Erwartete Erhöhung Gesamtaufwand
			Betriebs- aufwand	Kapital- aufwand	
technische Aufgaben	Wasserproduktion	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none">• Mindestwasserführung erhöhen, um höhere Verdünnung zu erreichen• Düngemanagement (Vermind. diffuser Einträge)• Flussgebietsumfassend: Extensivierung stark erosionsgefährdeter Flächen, hangparalleles Pflügen, Schutzbegrünung brachliegender Flächen	> 1 % - k. A.	k. A.	Ca. 0,03 % bis 14,9 %
		Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none">• techn. Sicherung (Schutzmauern, Lenzpumpen usw.)• Hochwasserschutz von Infiltrations- u. Gewinnungsanlagen• zeitweise Abschaltung von Brunnen	ca. 0 %	ca. 0-11 %	
		Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none">• Vorhaltung von Spitzenlast in Kombination von Speichervolumen und Fremdwasserbezug• Anpassung von Verfahrensstufen an veränderte Rohwasserqualitäten/größere Schwankungsbreiten• Installation zusätzlicher Verfahrensstufen• Hochwasserschutz von Aufbereitungsanlagen	ca. 0 - 16 %	ca. 0-373 %	
	Wassernetze	Ausgewählte Beispiele (Stichworte): <ul style="list-style-type: none">• Rohrleitungen häufiger spülen• Umrüstung WA (Verminderung MiBi)• Vermeidung von Rohwerkstoffen aus organ. Material• Reduzierung Nennweite bei Neuverlegung• Speicherkapazität erhöhen (erhöhter Energiebedarf)• Sprinkler Plan aussprechen• Hochwasserschutz von Verteilungsanlagen und Fernwirktechnik	Derzeit nicht bezifferbar		

Maßnahme Bewässerung

Motivation und Anreize:

- Minimierung klimatischer Standortrisiken
- Stabilisierung und Steigerung der Erträge
- Planbarkeit von Maschineneinsatz und Ernteterminen
- Steigende Erzeugerpreise
- Flächenverlusten entgegenwirken
- Substitution von Futtermittelzukäufen

Maßnahme Bewässerung

Hemmnisse und Probleme:

- Hohe Investitionskosten und geringer Fördersatz
- Mangelnde Berechnungswürdigkeit der angebauten Hauptkulturen
- Unzureichende Wassermenge und/ oder Wasserqualität
- Steigende Betriebsmittel- und Lohnkostenaufwendungen
- Fehlende Kenntnis zu aktuellen Bewässerungsmethoden
- Unzureichende Weiterverarbeitungs- und Absatzmöglichkeiten

Beispiel: Reaktivierung der Talsperre Frohndorf



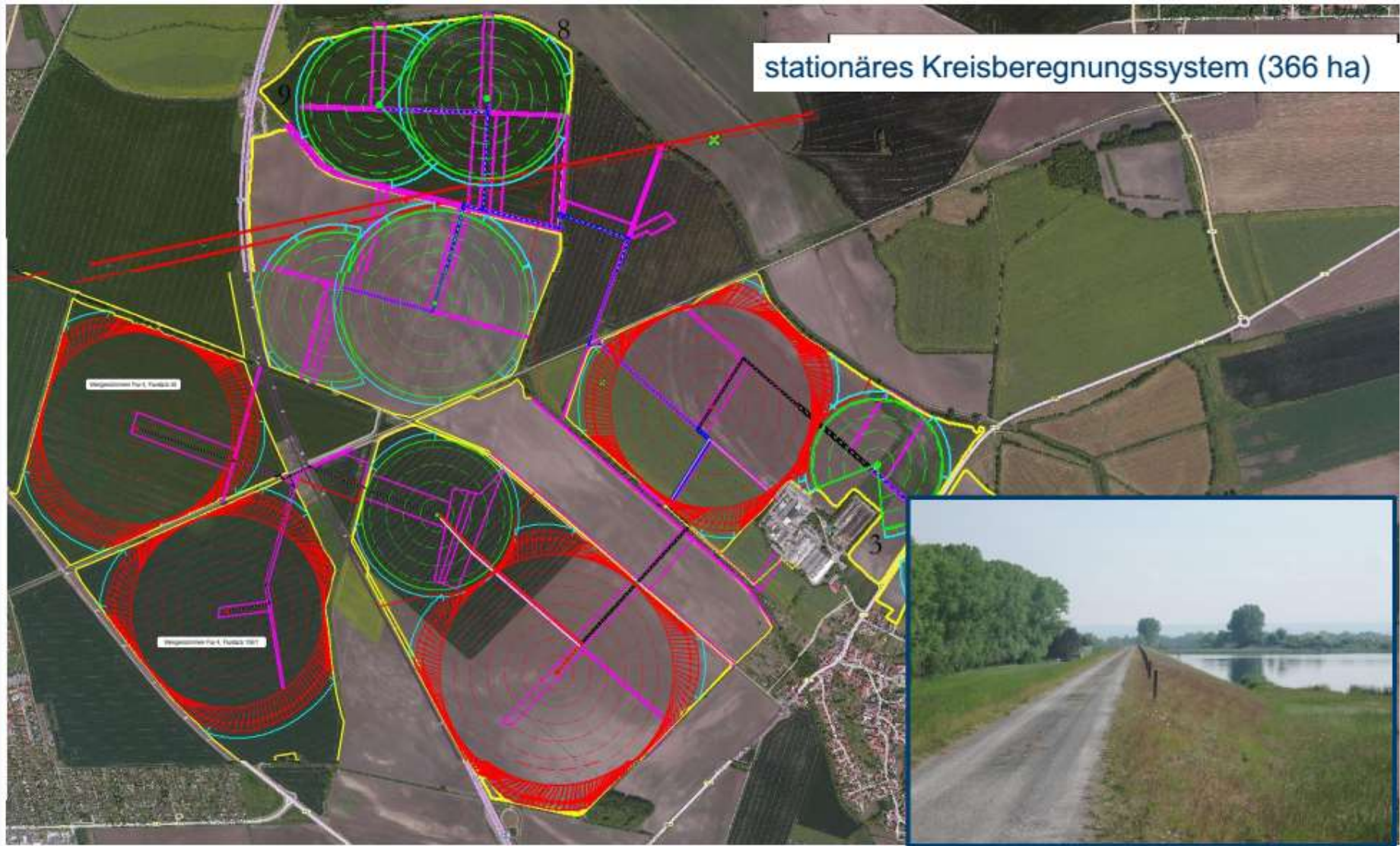
Zentralturm mit Steuereinheit, über Kopf hängende Regnerdüse

Beispiel: Reaktivierung der Talsperre Frohndorf



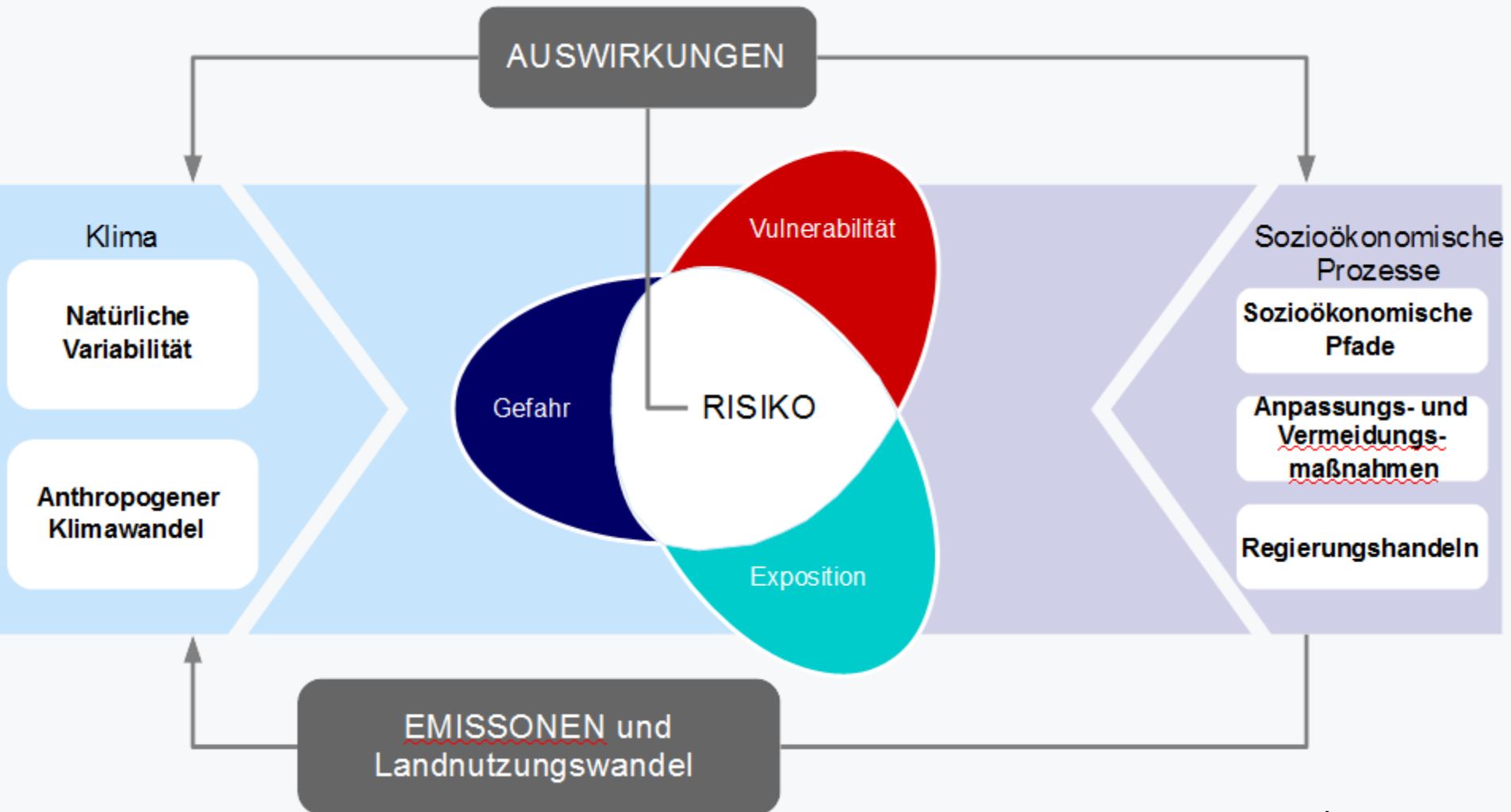
Schwenkbarer Bewässerungsarm des Kreisberegnersystems zur Erfassung der rechteckigen Feldgrenzen

Beispiel: Reaktivierung der Talsperre Frohndorf



Wasserverbrauch Gesamtsystem 500 000 m³ entspricht einer durchschnittlichen Bewässerungsmenge von 137 mm

Maßnahme Bewässerung



nach IPCC 2014

Es besteht die Gefahr von Wassermangel beim Unterlieger

Beispiele: Verschiedene Maßnahmen in kleinen EZG

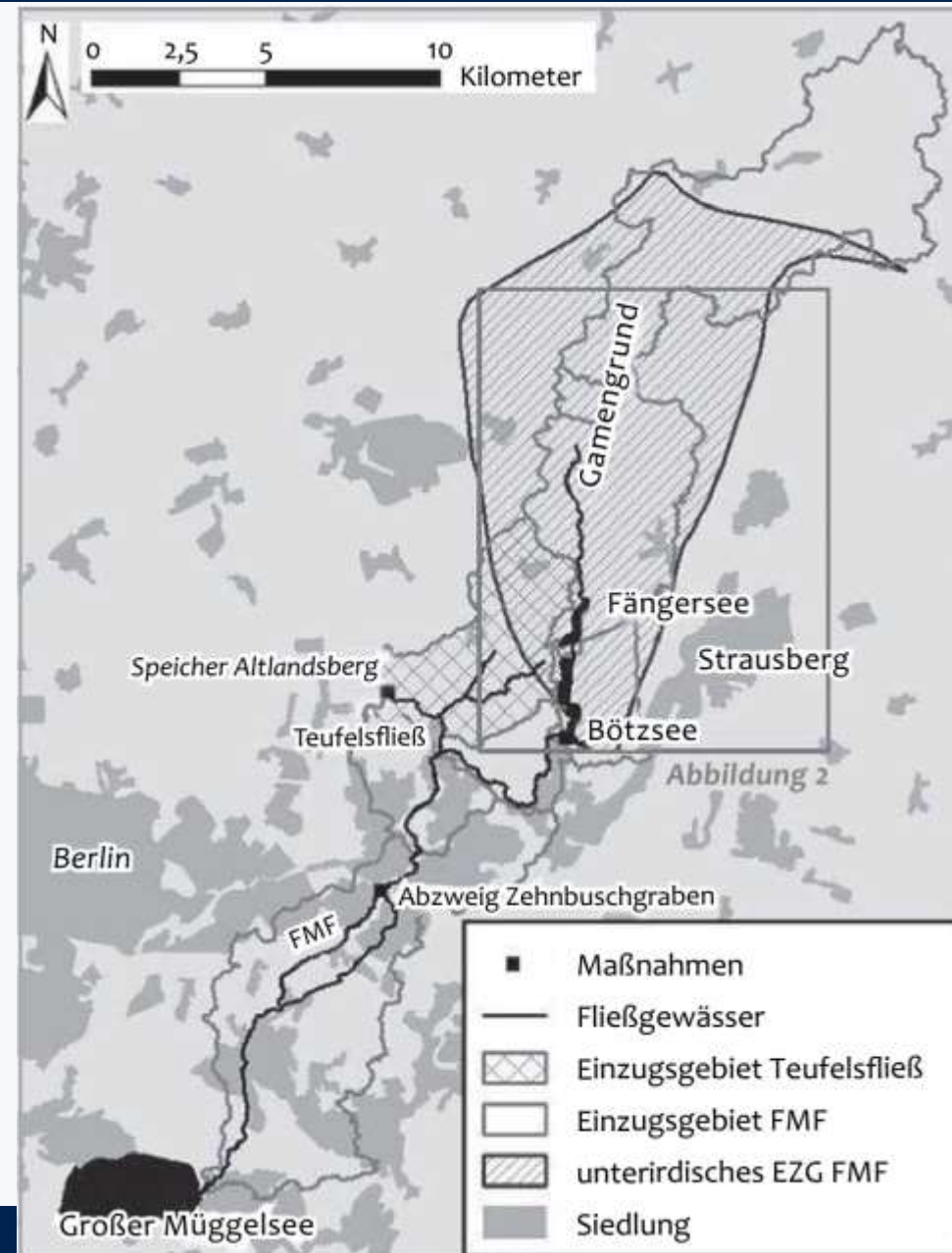
- Wasserrückhalt und Ausgleich durch wasserbauliche Maßnahmen (IKABB Teilprojekt 19)
- Grundwasseranreicherung (KLIMZUG-Nord)

Wasserrückhalt Gebiet: Fredersdorfer Mühlenfließ

Problem Trockenfallen
und Wassermangel im
Gebiet.

Untersuchte Maßnahmen
zum Wasserrückhalt und
Abflussverzögerung und
Abflussausgleich.

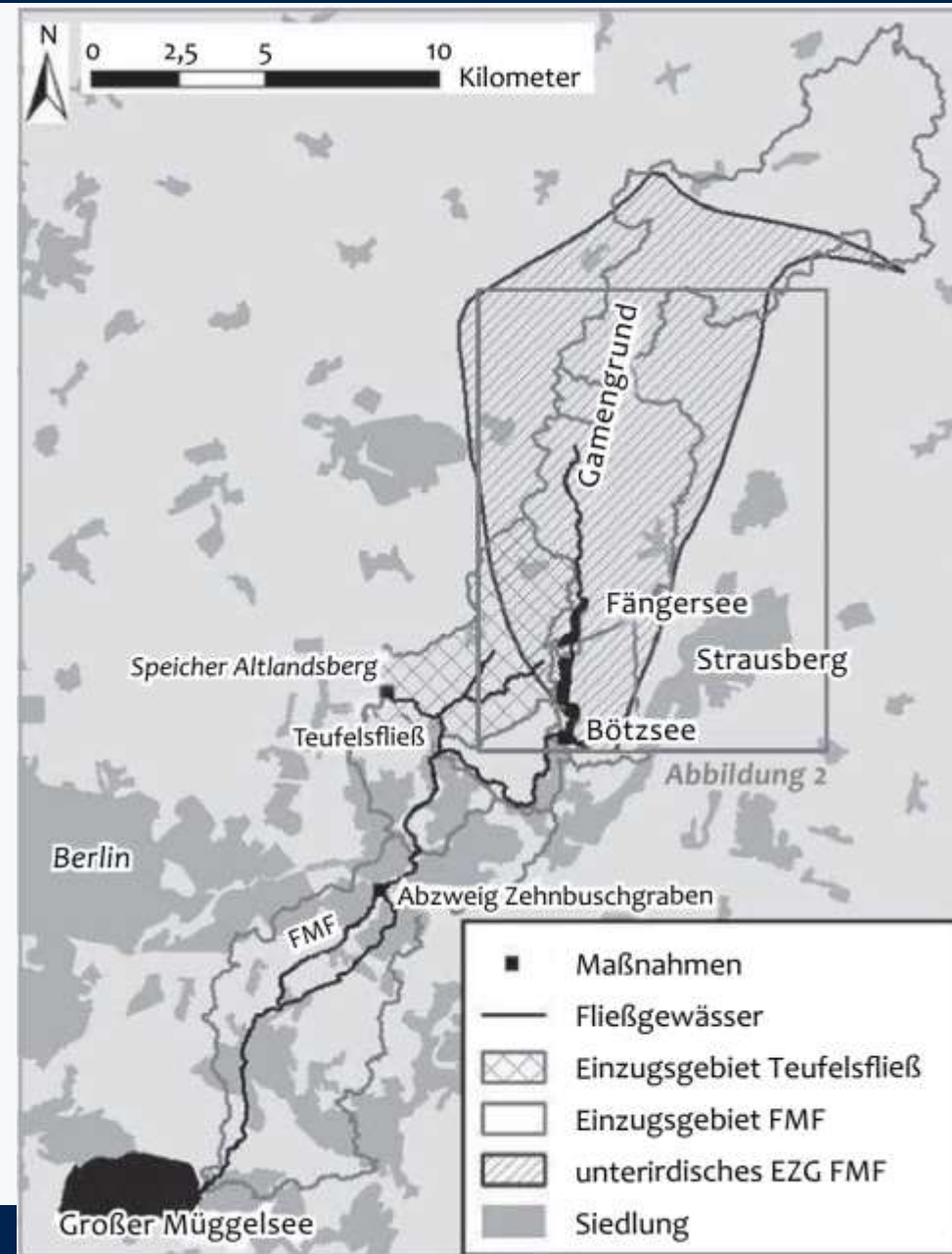
Im Gebiet wird
Trinkwasser entnommen



Fredersdorfer Mühlenfließ

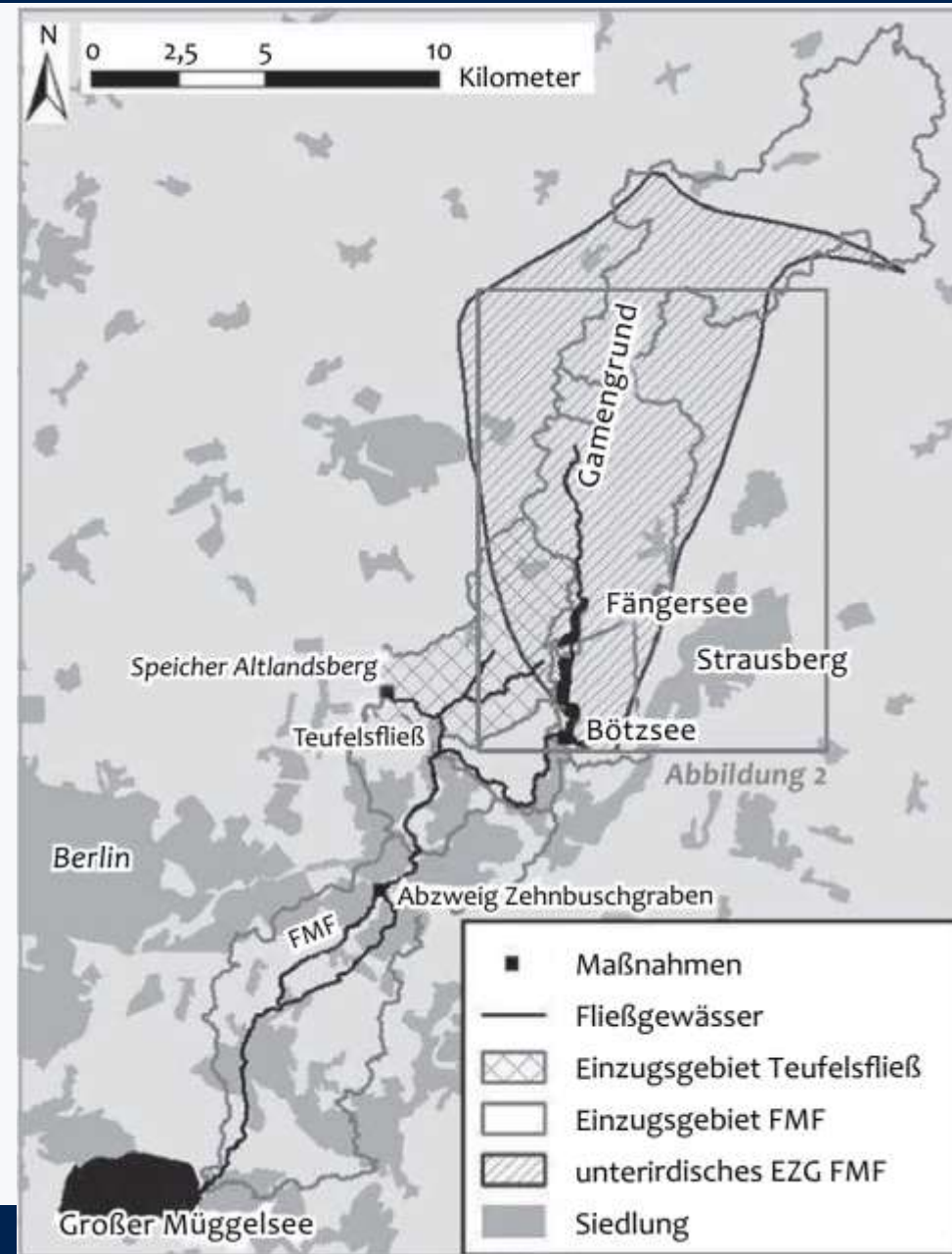
Methoden:

- Hydrologische Systemanalyse mit statistischen Methoden (HKA)
- Grundwassermodell (FEFLOW)
- Gerinnemodell (MIKE 11) gekoppelt mit FEFLOW
- Berücksichtigung von Klimaszenarien



Mühlenfließ: Maßnahmen

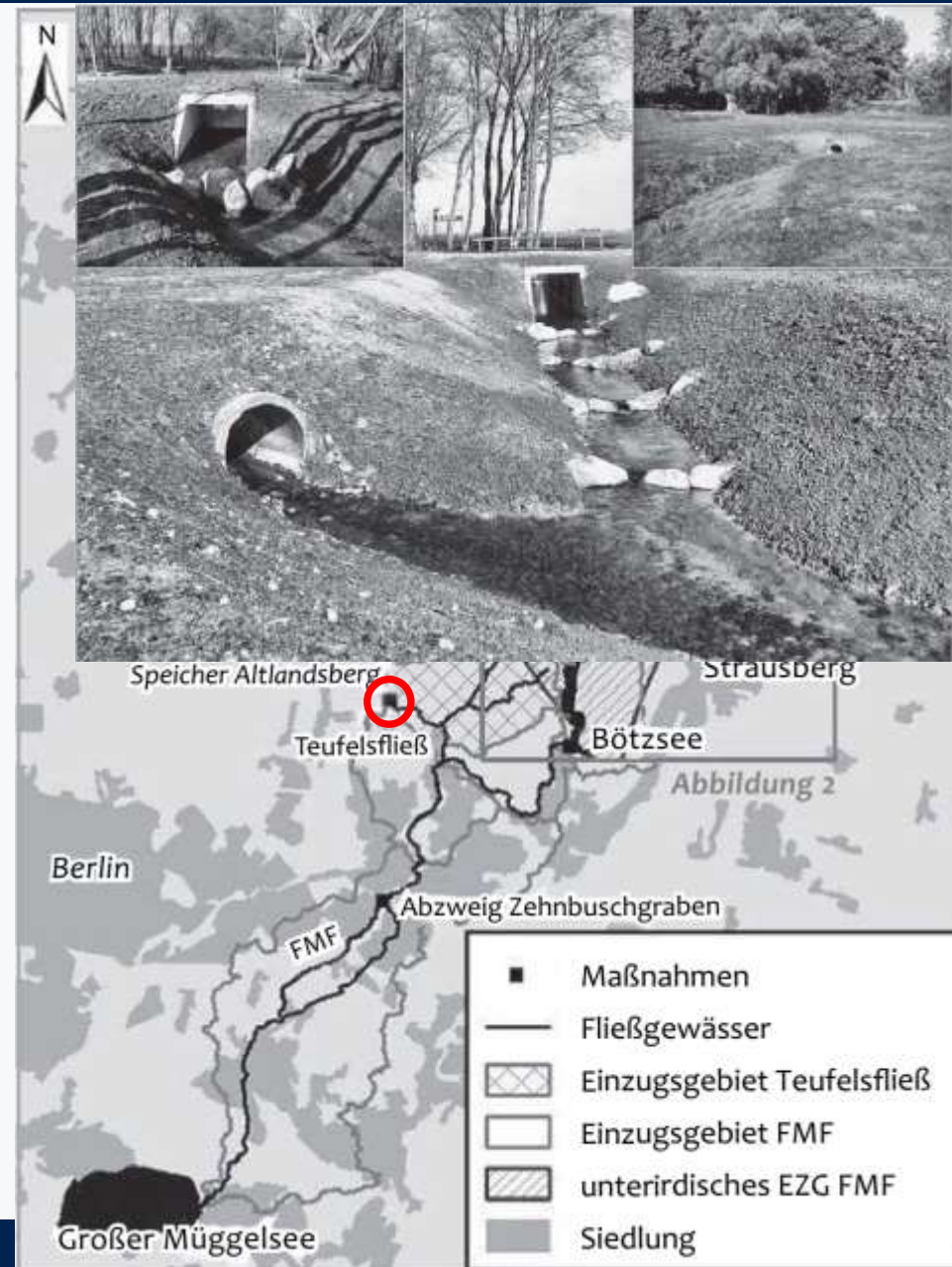
1. Fischtreppe am Speicher Altlandsberg
2. Änderungen im Auslass des Bötzsees
3. Ablass am Abzweig Zehnbuschgraben



Mühlenfließ: Maßnahmen

1. Fischtreppe am Speicher Altlandsberg

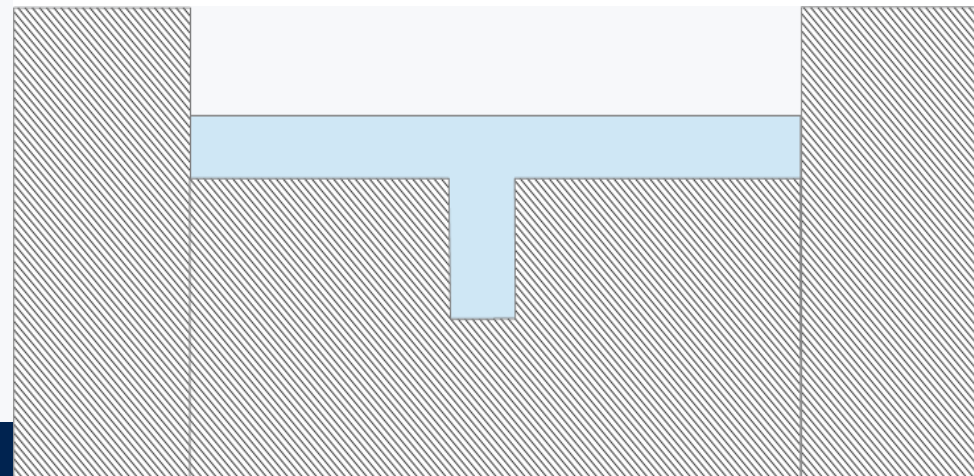
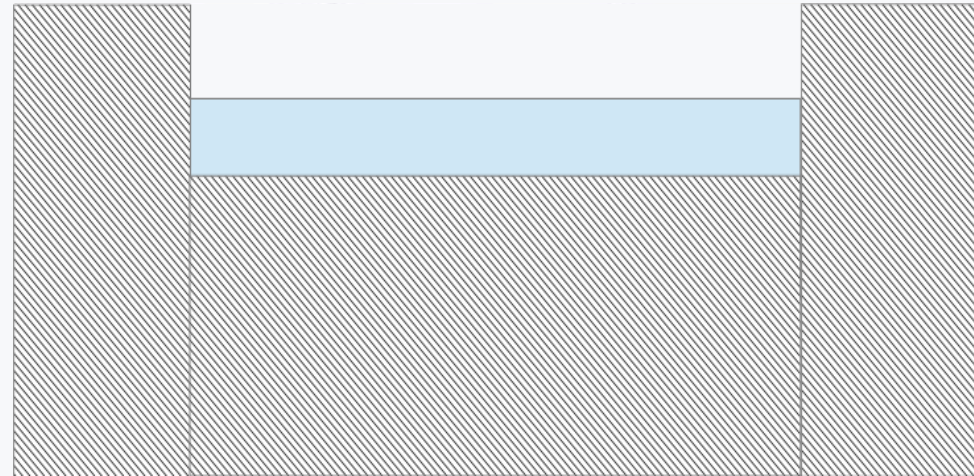
- Die bisherige Verrohrung wird durch die Fischtreppe ergänzt
- Abflussverzögerung und ausgeglichenerer Abfluss (Abflussstreckung nach Ereignissen von 3 bis 5 Tagen)
- Aufgrund der geringen Größe des Speichers (EZG) ist nur eine lokale Wirkung erzielbar



Mühlenfließ: Maßnahmen

2. Änderungen im Auslass des Bötzsees

- Die bisherige Schwelle über die gesamte Gewässerbreite soll durch einen geschlizten Ablauf ersetzt werden
- Modellrechnungen ergaben eine Verlängerung des geplanten Niedrigwasserabflusses um 7 bis 30 Tage.
- (Durch den etwas geringeren Seespiegel werden auch im Hochwasserfall positive Effekte erzielt)

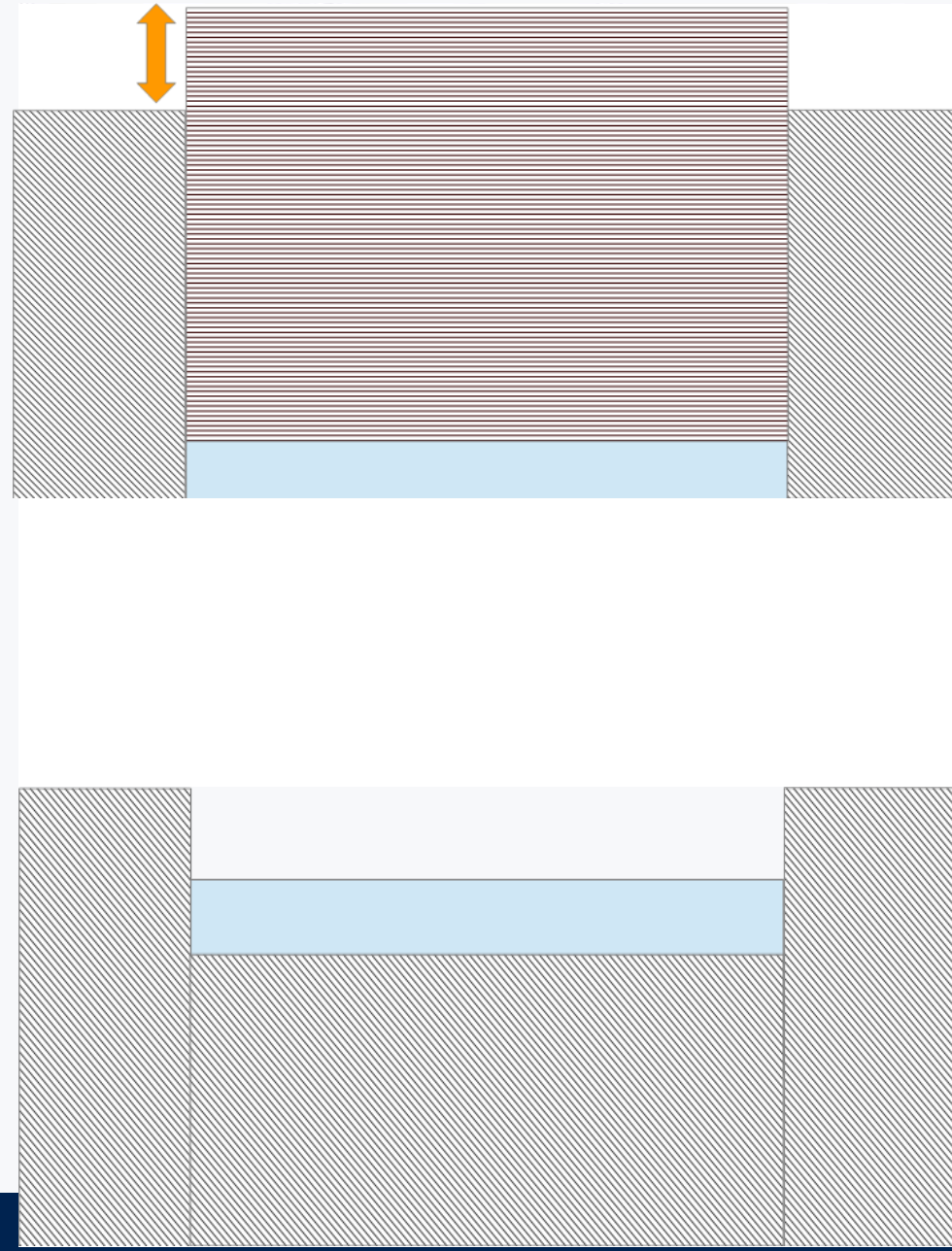


Mühlenfließ: Maßnahmen

3. Ablass am Abzweig
Zehnbuschgraben
- Das bestehende Wehr ist ein einstellbares Grundablasswehr
 - Gefahr der Manipulation und permanenter Wasserverlust im Mühlenfließ
 - Ersatz durch festes Überlaufwehr
 - Sichert Mindestabfluss im Mühlenfließ
 - (Im Hochwasserfall kann beliebig viel Wasser in den Zehnbuschgraben abgeleitet werden)

Die Maßnahmen 2 und 3 wurden bisher nur modelliert

Ramelow et al. 2014



Maßnahmen Grundwasseranreicherung Bewässerung mit Klarwasser

- Waldumbau zur Erhöhung des nutzbaren Grundwasserdargebots
- Umstellung von Nadel auf Laub bzw. Mischwald
 - Verdunstungsraten im Winter (Hauptsaison für Grundwasserneubildung ist bei Laubbäumen erheblich geringer)
 - Wirksam in Regionen mit vorwiegend vertikaler Wasserbewegung

- Ein Versuchsfeld in Niedersachsen (Lüchow- Dannenberg) wurde eingerichtet.
- Effekte können bisher nur modelliert werden

Hauptthemmnis ist die Wirtschaftlichkeit da Laubbäume weniger finanziellen Ertrag bringen.

- Die Waldeigentümer müssen daher einen Vorteil von der erhöhten Grundwasserneubildung haben (z.B. Nutzung des Grundwassers für Bewässerung)

Nutzung von Klarwasser

Pilotgemeinde: Samtgemeinde Rosche (6.440 Einwohnergleichwerte, ca. 370.000 m³ Klarwasser/Jahr)

- Verwendung von Klarwasser in der landwirtschaftlichen Bewässerung Herausforderungen (nur nicht direkt zum Verzehr bestimmte Feldfrüchte):
 - Kosten für die notwendige Speicherung des Klarwassers, wegen der Unterschiede zwischen dem Anfallen des Klarwasser (ganzjährig) und der Wassernachfrage für die Feldberegnung (nur periodisch).
 - Die Notwendigkeit einer Beteiligung möglichst räumlich zusammenhängender Ackerflächen in der Nähe des Klärwerks Rosche, um die Kosten für die Zuleitung und Verteilung des Klarwassers bewältigen zu können.

Die Planungen wurden nicht umgesetzt (EHEC-Krise).

Nutzung von Klarwasser

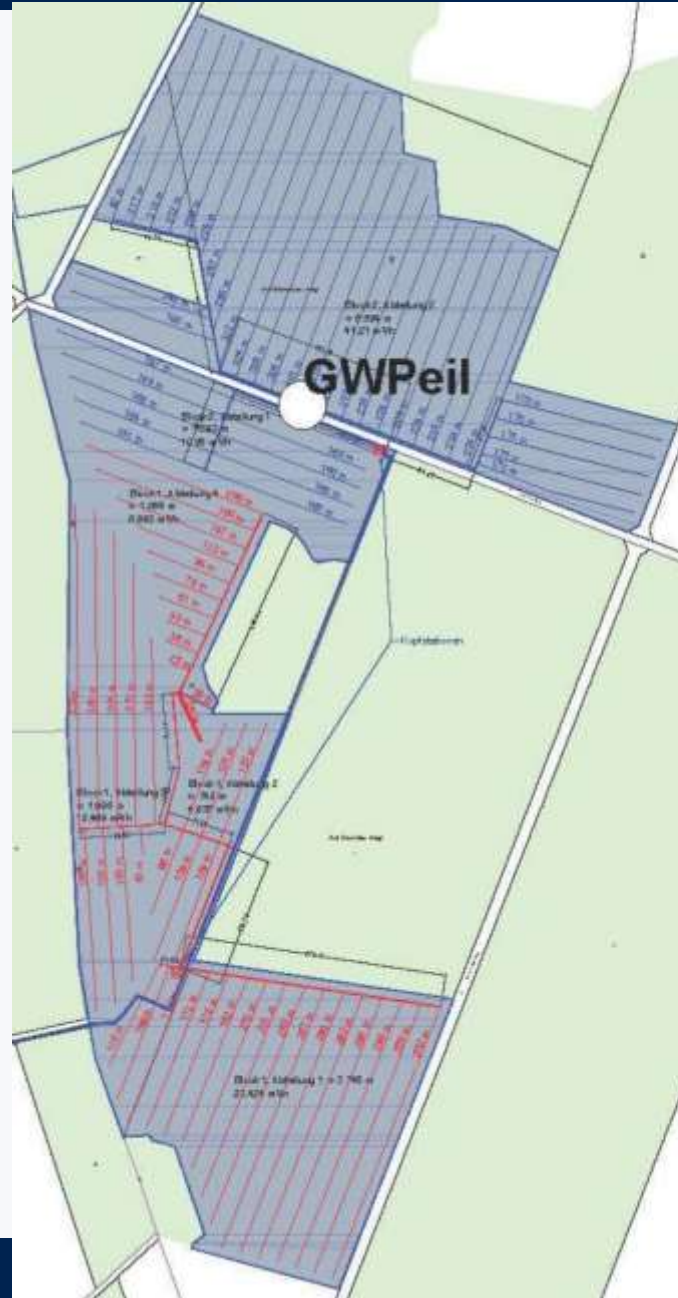
- Versickerung von gereinigtem Abwasser in Kurzumtriebsplantagen zur Energieholzproduktion:
 - Geeignete robuste Ausbringungstechnik ist nicht vorhanden
 - Die Notwendigkeit einer Beteiligung möglichst räumlich zusammenhängender Flächen in der Nähe des Klärwerks Rosche, um die Kosten für die Zuleitung und Verteilung des Klarwassers bewältigen zu können.

Die Planungen wurden nicht umgesetzt.



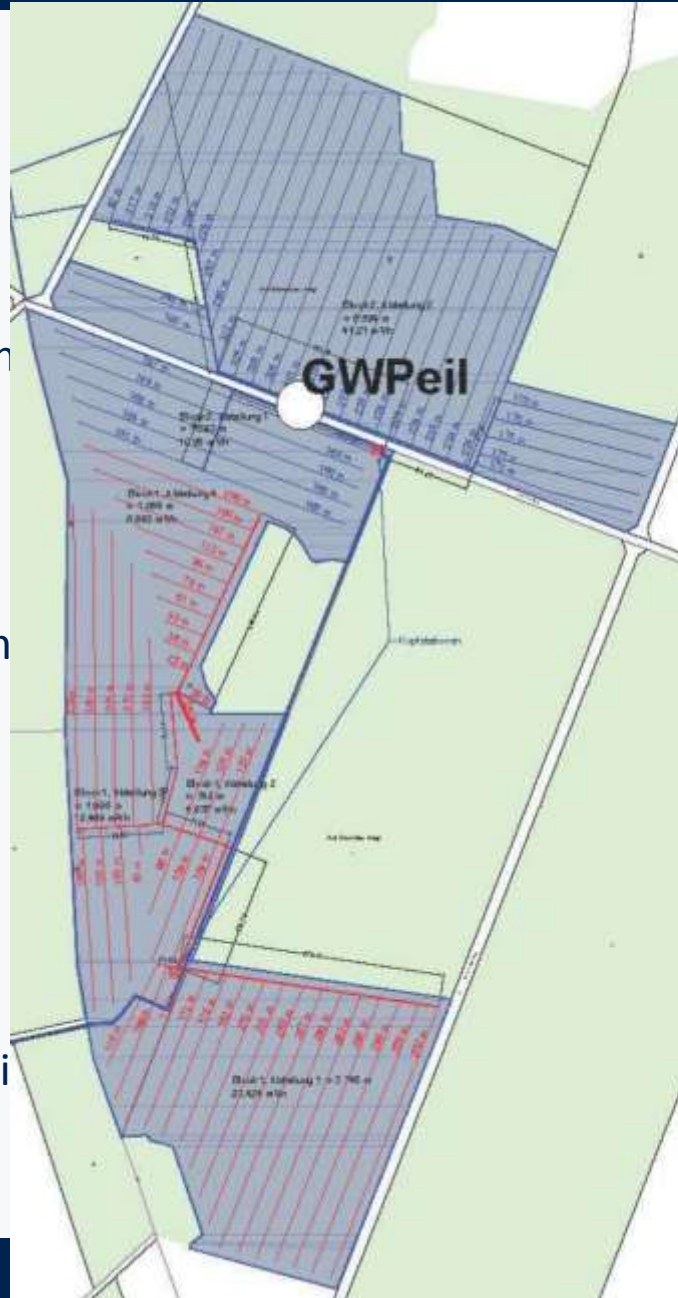
Nutzung von Klarwasser

- Versickerung von gereinigtem Abwasser in Nadelwaldflächen:
 - Geeignete robuste Ausbringungstechnik (Citrus-Plantagen)
 - Nur punktuelle Bewässerung zur Erhöhung der Sickerrate und Vermeidung der Vernässung des Wurzelraums

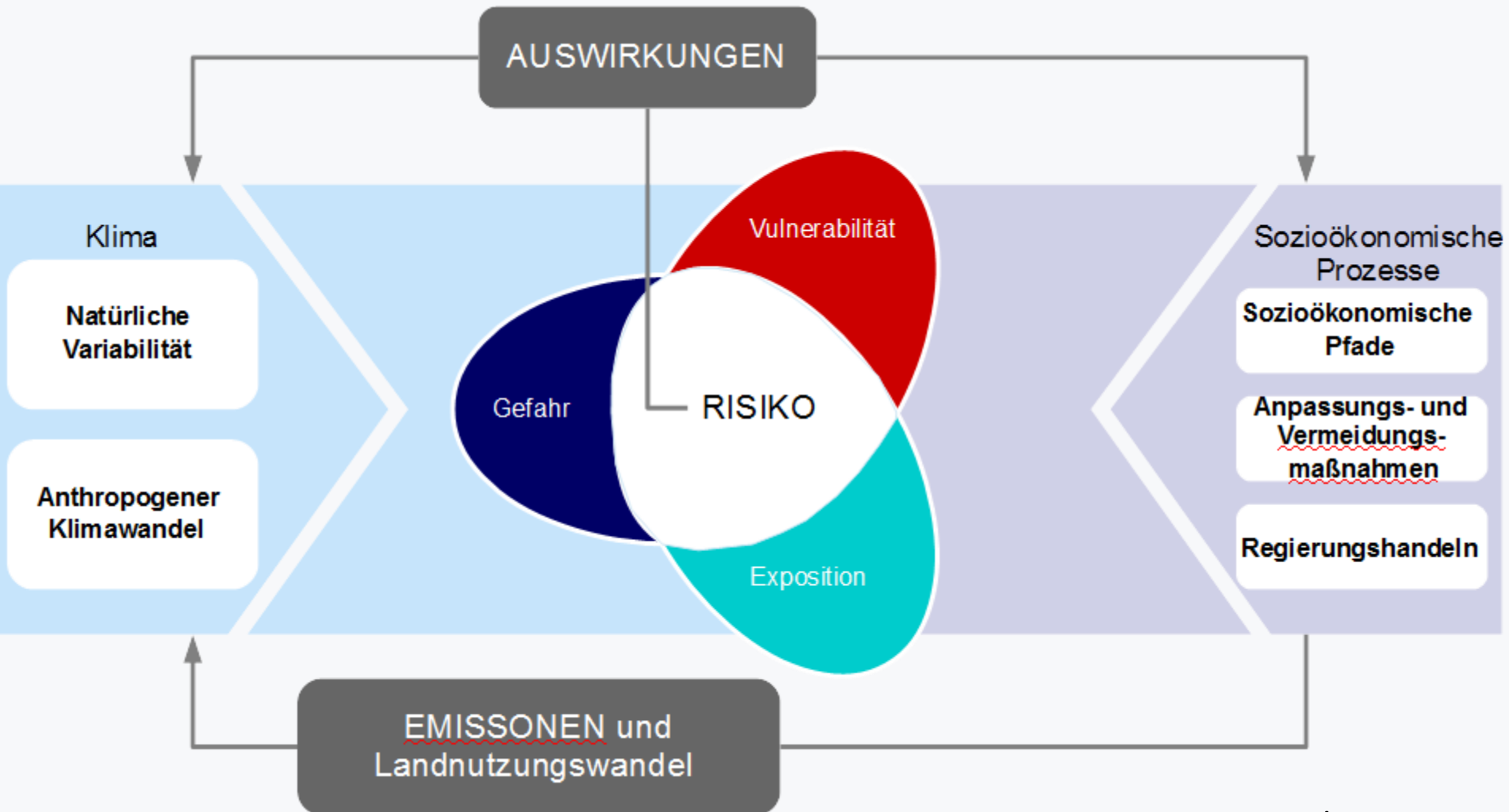


Versickerung von Klarwasser

- Versickerung von gereinigtem Abwasser in Nadelwaldflächen:
 - Betriebskosten von 0,10 €/m³ können von den Bewässerungslandwirten getragen werden.
 - Gesamtkosten System und Voruntersuchungen 300.000 €
 - ca. 68 % des Wasser tragen zur Grundwasserneubildung bei



Beispiele: Verschiedene Maßnahmen in kleinen EZG

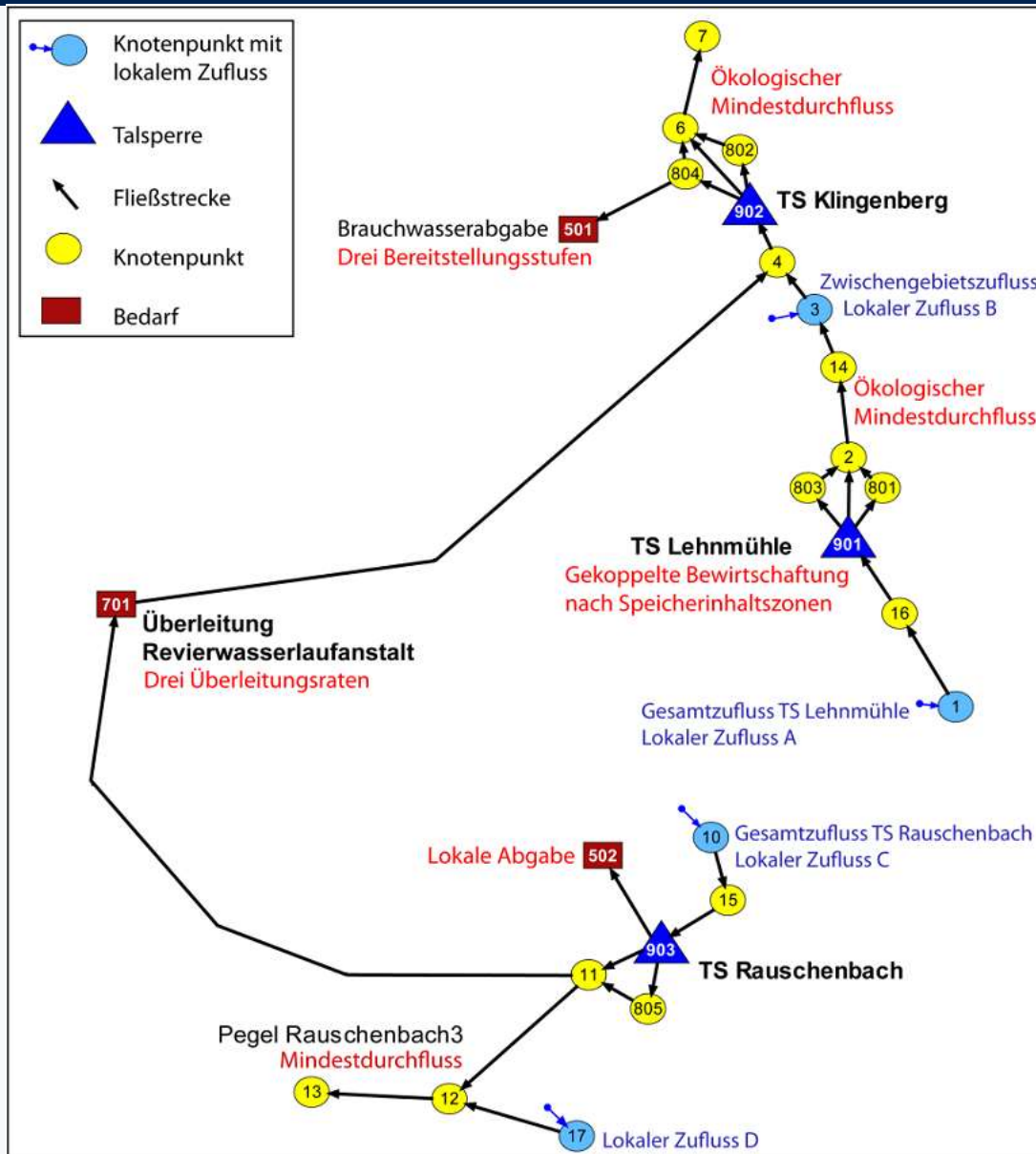


nach IPCC 2014

Multikriterielle Optimierung der Talsperrenbewirtschaftung

- Basis Hydrologisches Modell (WaSim-ETH)
 - Rezente Dynamik
 - Klimamodelldaten
- Talsperrenbewirtschaftungsmodell (OASIS)
 - Bewirtschaftungsoptionen
- Mehrzieloptimierungsalgorithmus

Multikriterielle Optimierung –Talsperrenschema



Multikriterielle Optimierung - Regeln

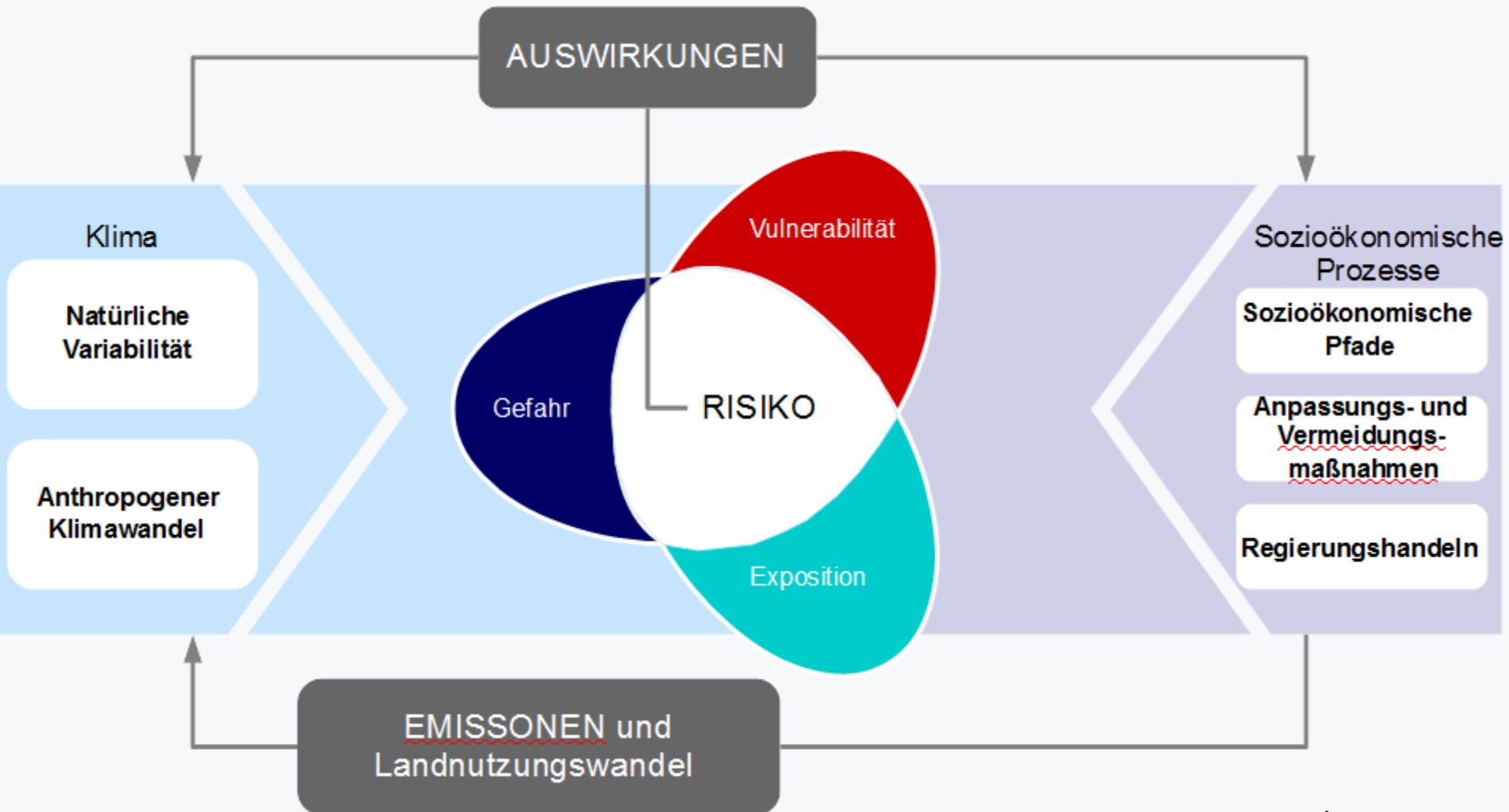
- Die ökologischen Mindestabgaben höhere Prioritäten als die Trinkwasserabgabe der Talsperre Klingenberg.
- Die Verbundsteuerung der Talsperren Klingenberg und Lehmühle geschieht durch ein eigenes Regelwerk.
- Die maximalen Abgaben an den Unterstrom zum Hochwasserschutz werden wenn möglich eingehalten. Ebenso wird der Hochwasserschutzraum frei gehalten, und im Falle eines Einstaus schnellstmöglich wieder geleert.
- Die Bereitstellung von Trinkwasser durch die Talsperre Klingenberg ist implementiert.
- Die Stützung der Talsperren Klingenberg und Lehmühle durch die Talsperre Rauschenbach durch die Überleitung „Revierwasserlaufanstalt“ ist implementiert.

Multikriterielle Optimierung - Zielfunktionen

1. maximiert die Versorgungssicherheit der Trinkwasserversorgung durch die Talsperre Klingenberg
2. maximiert die Wahrscheinlichkeit einer vollen Talsperre Klingenberg im Monat April
3. minimiert die Überleitungsmenge mit der die Talsperre Rauschenbach das Talsperrensystem Klingenberg-Lehnmühle stützt.

Die analysierten Szenarien zeigen dass, das Talsperrensystem in der fernen Zukunft (2070 - 2100) am Limit der Leistungsfähigkeit operiert.

Beispiele: Verschiedene Maßnahmen in kleinen EZG



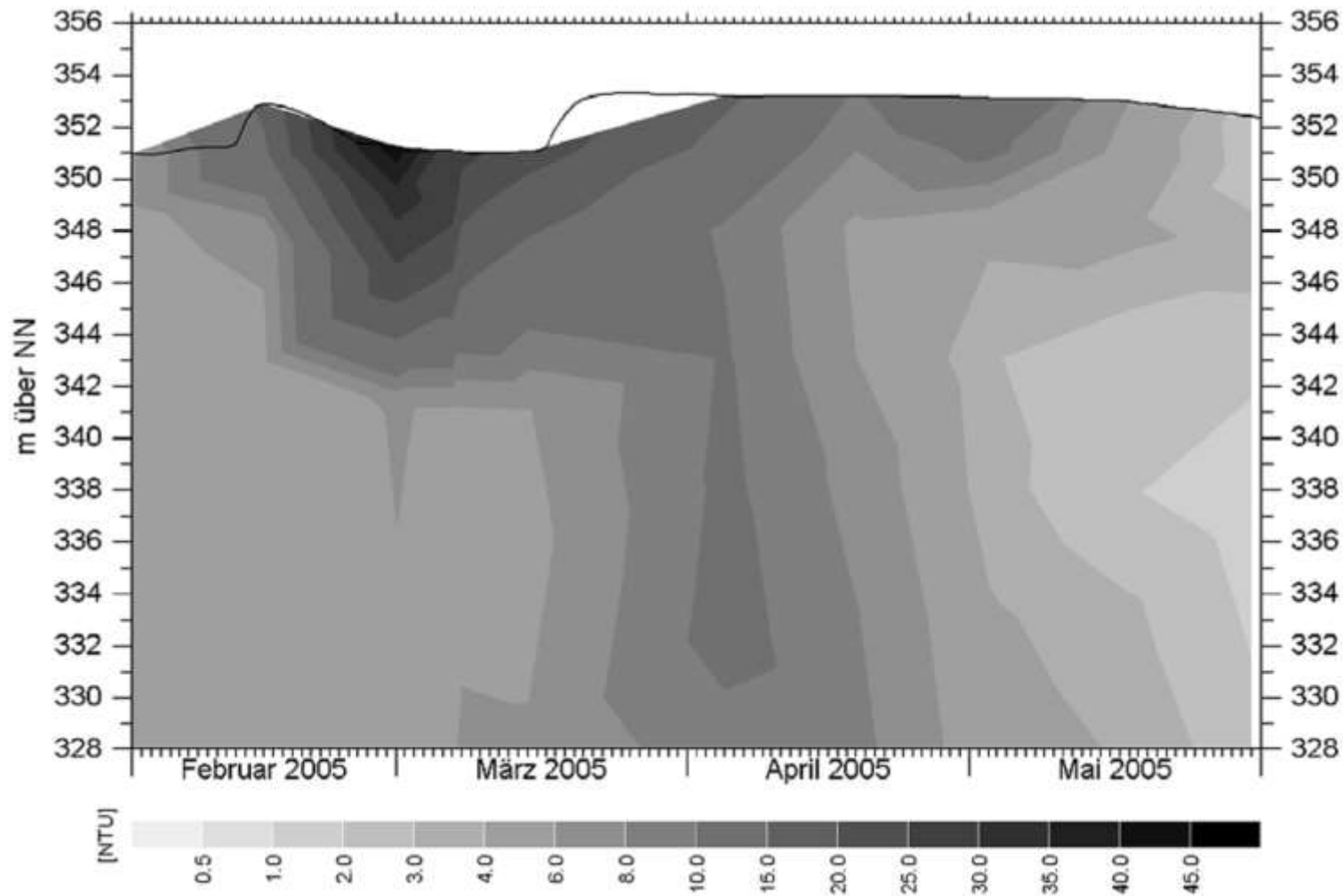
nach IPCC 2014

Talsperrenwasser (nach Willmitzer 2007)

1. Gewässerschutz:

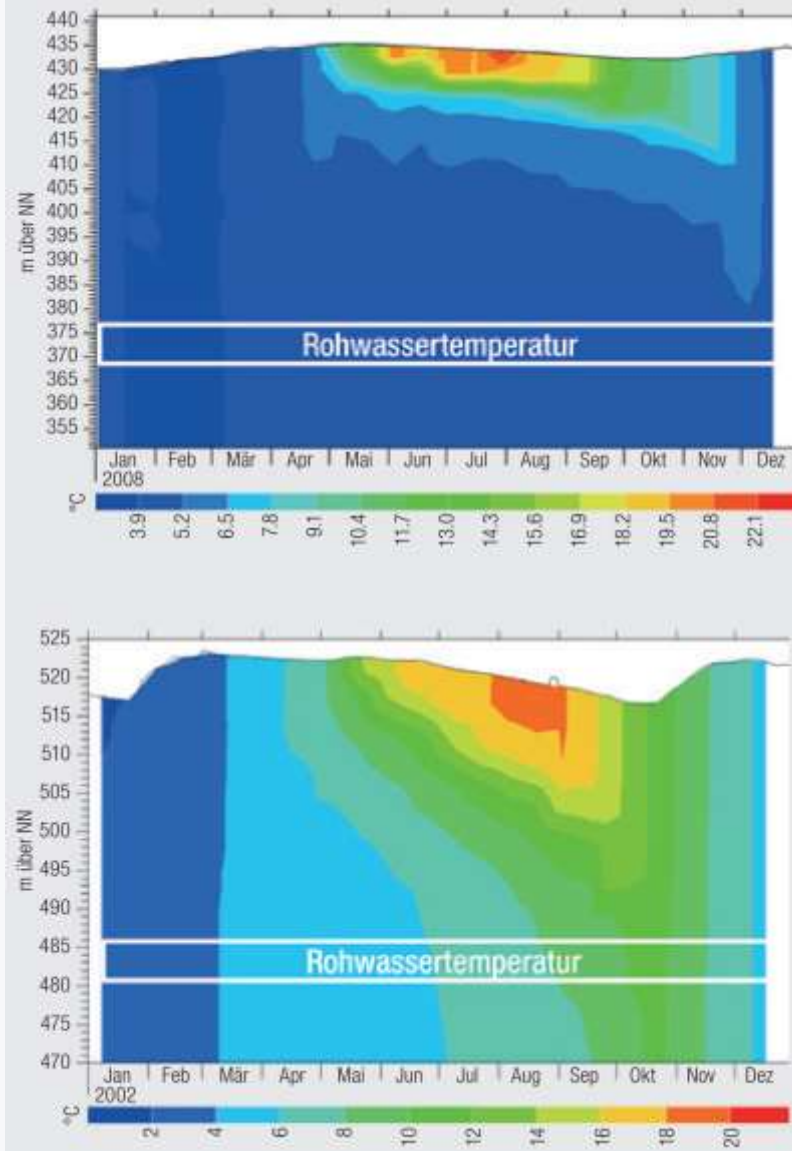
- Vermeidung der Eutrophierung und die Minimierung von Stoffeinträgen aufgrund von Niederschlagsereignissen
- Erosionsschutz zur Vermeidung diffuser Nährstoffeinträge (u. a. naturnahe Ufergestaltung) und - Schaffung ausreichender Kapazitäten von Abwasseranlagen zum Rückhalt von Nähr- und Schadstoffen sowie Krankheitserregern

Talsperrenwasser (nach Willmitzer 2007)

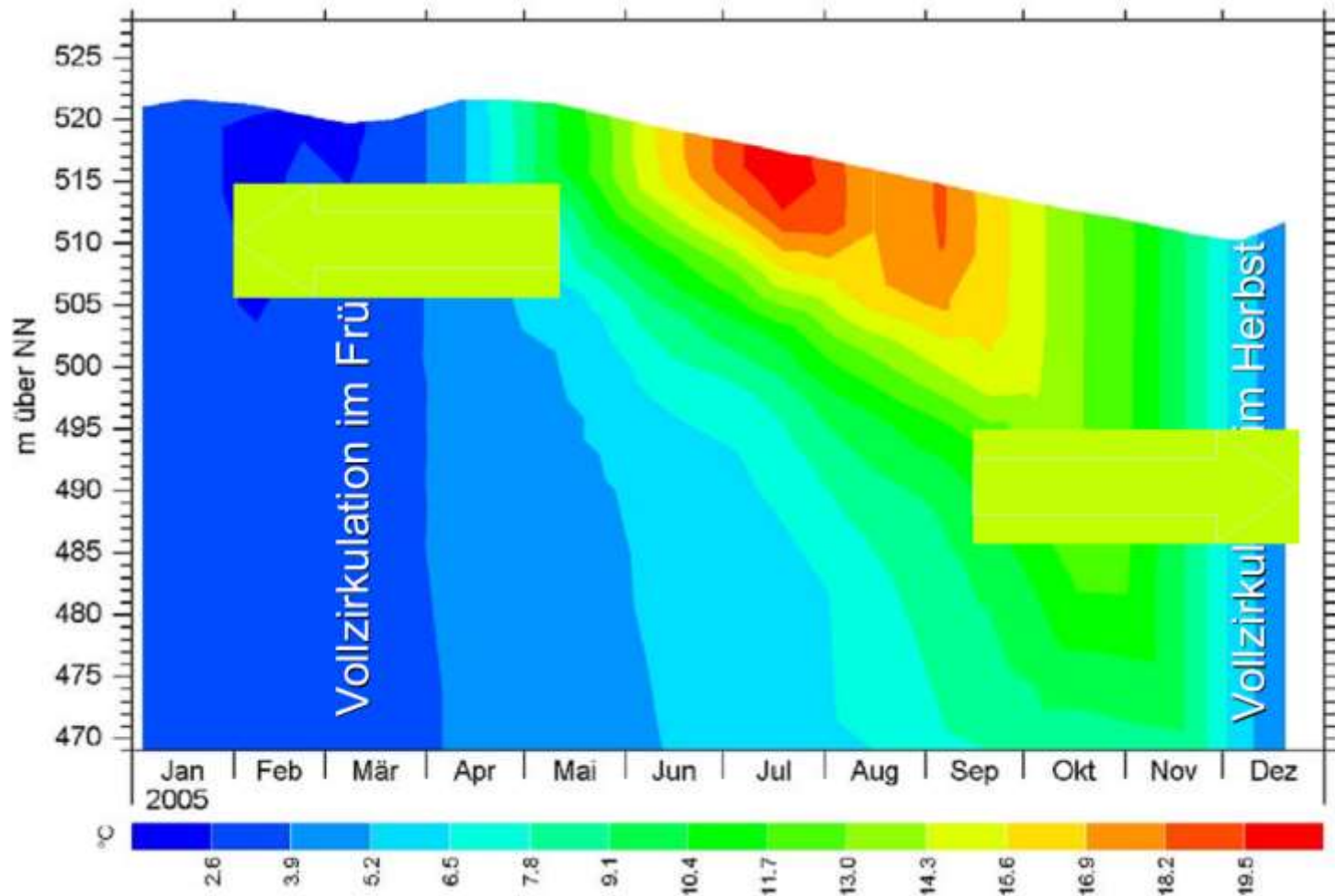


- Verhalten der Trübung in einer Trinkwassertalsperre nach Schneeschmelze und Niederschlagsereignis: Zunächst oberflächennahe Einschichtung; mit beginnender Zirkulation im gesamten Wasserkörper (Mai: Algenblüte)

Talsperrenwasser (nach Willmitzer 2007)



Talsperrenwasser (nach Willmitzer 2007)



- Beispiel für typische thermische Schichtung einer tiefen Trinkwassertalsperre (Ohra): Verbrauch des kalten Tiefenwassers während der Sommerstagnation und früher Eintritt der Stagnation bereits Mitte April (gem. langjähriger Statistik Mitte Mai) .

Talsperrenwasser (nach Willmitzer 2007)

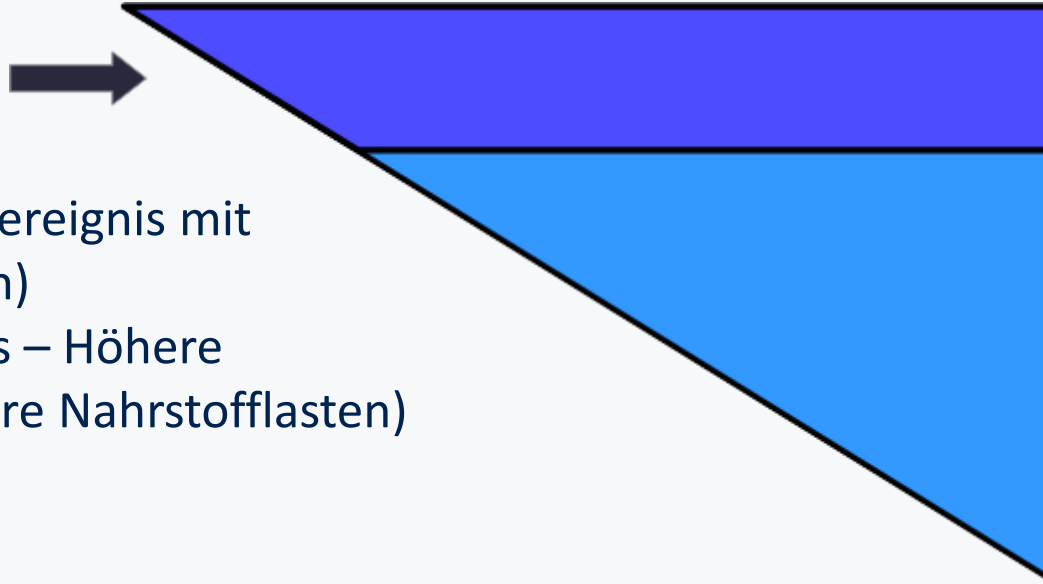
1. Gewässerschutz:

- Vermeidung der Eutrophierung und die Minimierung von Stoffeinträgen aufgrund von Niederschlagsereignissen
- Erosionsschutz zur Vermeidung diffuser Nährstoffeinträge (u. a. naturnahe Ufergestaltung) und - Schaffung ausreichender Kapazitäten von Abwasseranlagen zum Rückhalt von Nähr- und Schadstoffen sowie Krankheitserregern

2. Talsperrenbewirtschaftung:

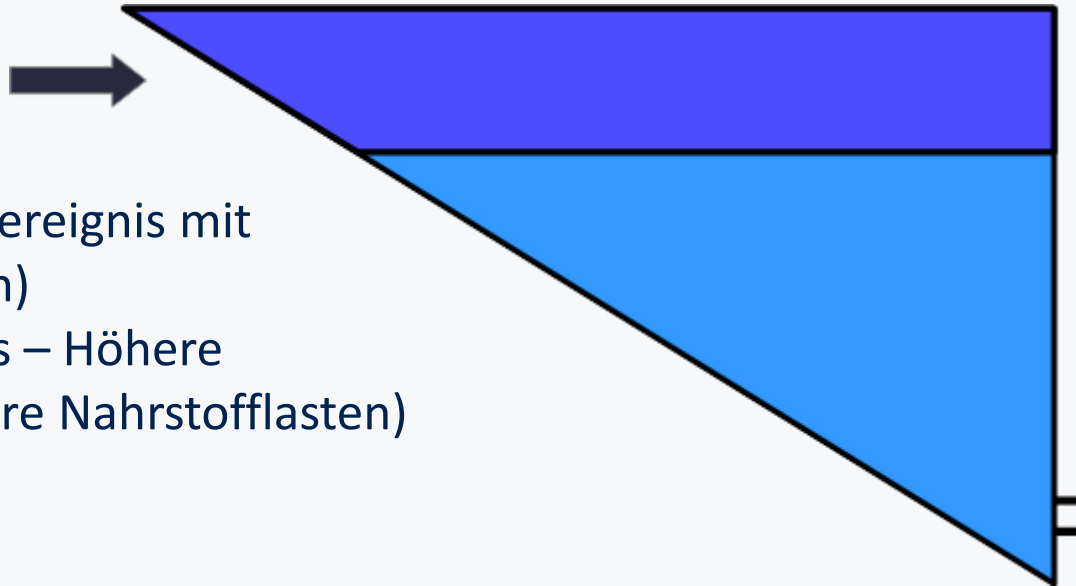
- Menge an kaltem, sauberem Tiefenwasser ist ein entscheidender Parameter
- Da die Sommerstagnation über einen längeren Zeitraum sich verlängern wird, ist die Verfügbarkeit von kaltem, sauberem Tiefenwasser neu zu bewerten.

Talsperrenwasser Entlastung an der Staukrone



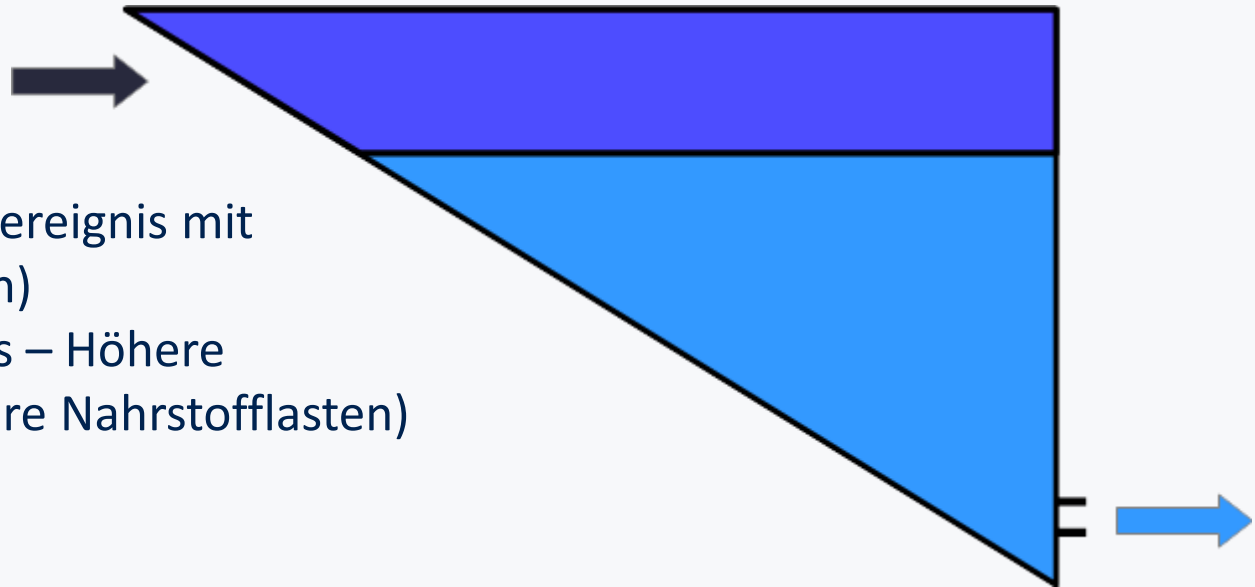
Sommerliches
Starkniederschlagsereignis mit
erhöhtem (warmen)
Oberflächenabfluss – Höhere
Sedimentlast(höhere Nährstofflasten)

Talsperrenwasser Entlastung an der Staukrone



Sommerliches
Starkniederschlagsereignis mit
erhöhtem (warmen)
Oberflächenabfluss – Höhere
Sedimentlast(höhere Nährstofflasten)

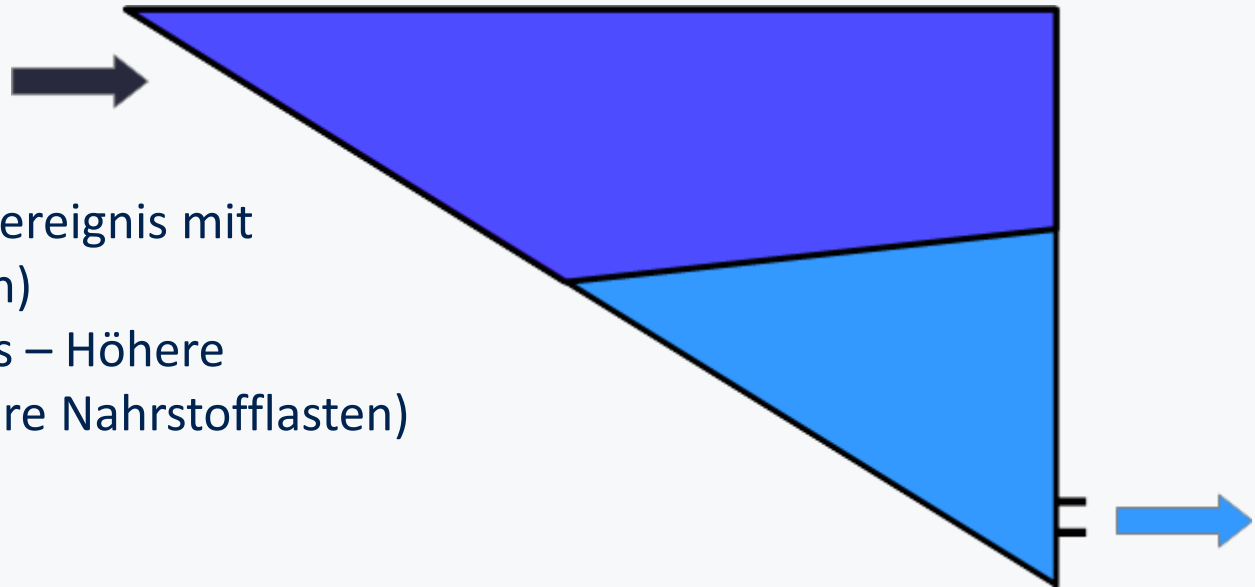
Talsperrenwasser Entlastung an der Staukrone



Sommerliches
Starkniederschlagsereignis mit
erhöhtem (warmen)
Oberflächenabfluss – Höhere
Sedimentlast(höhere Nährstofflasten)

Grundablass kühles sauberes Wasser

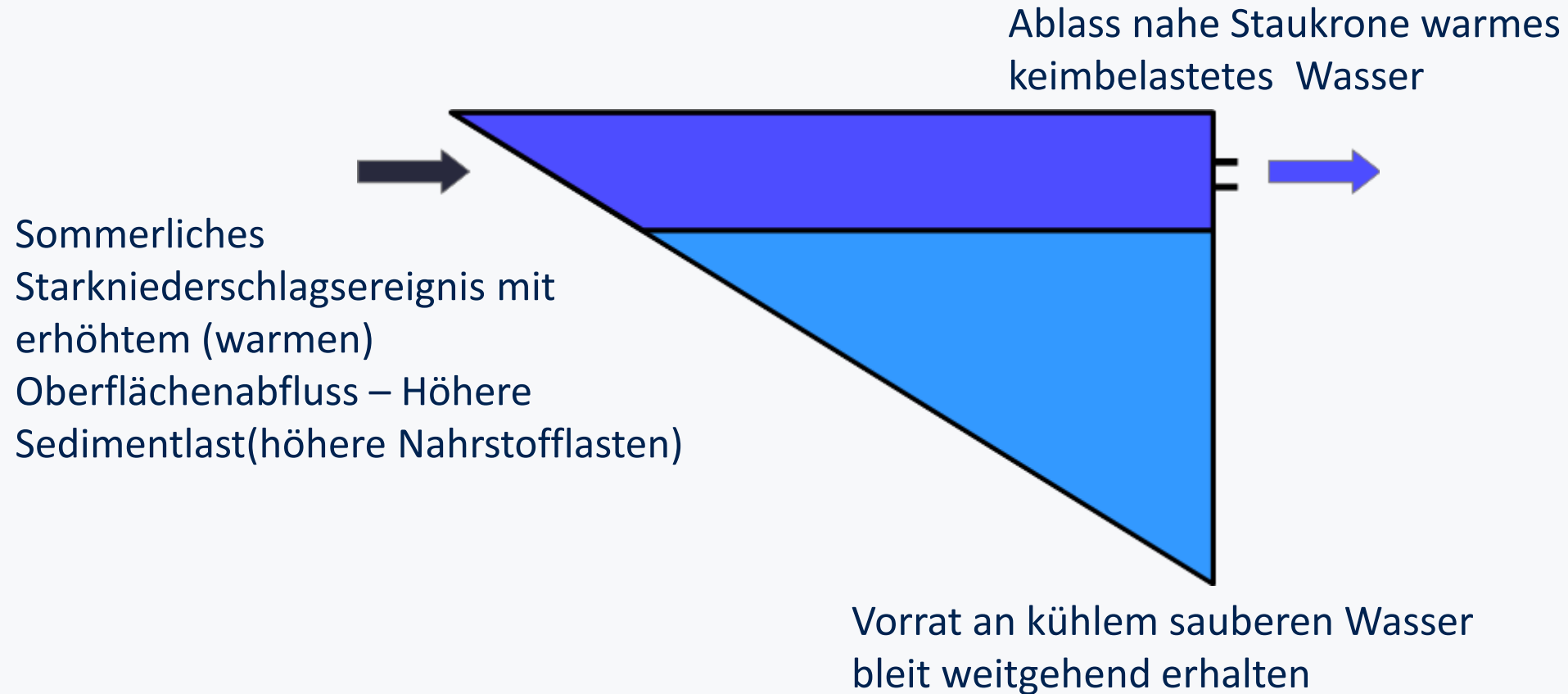
Talsperrenwasser Entlastung an der Staukrone



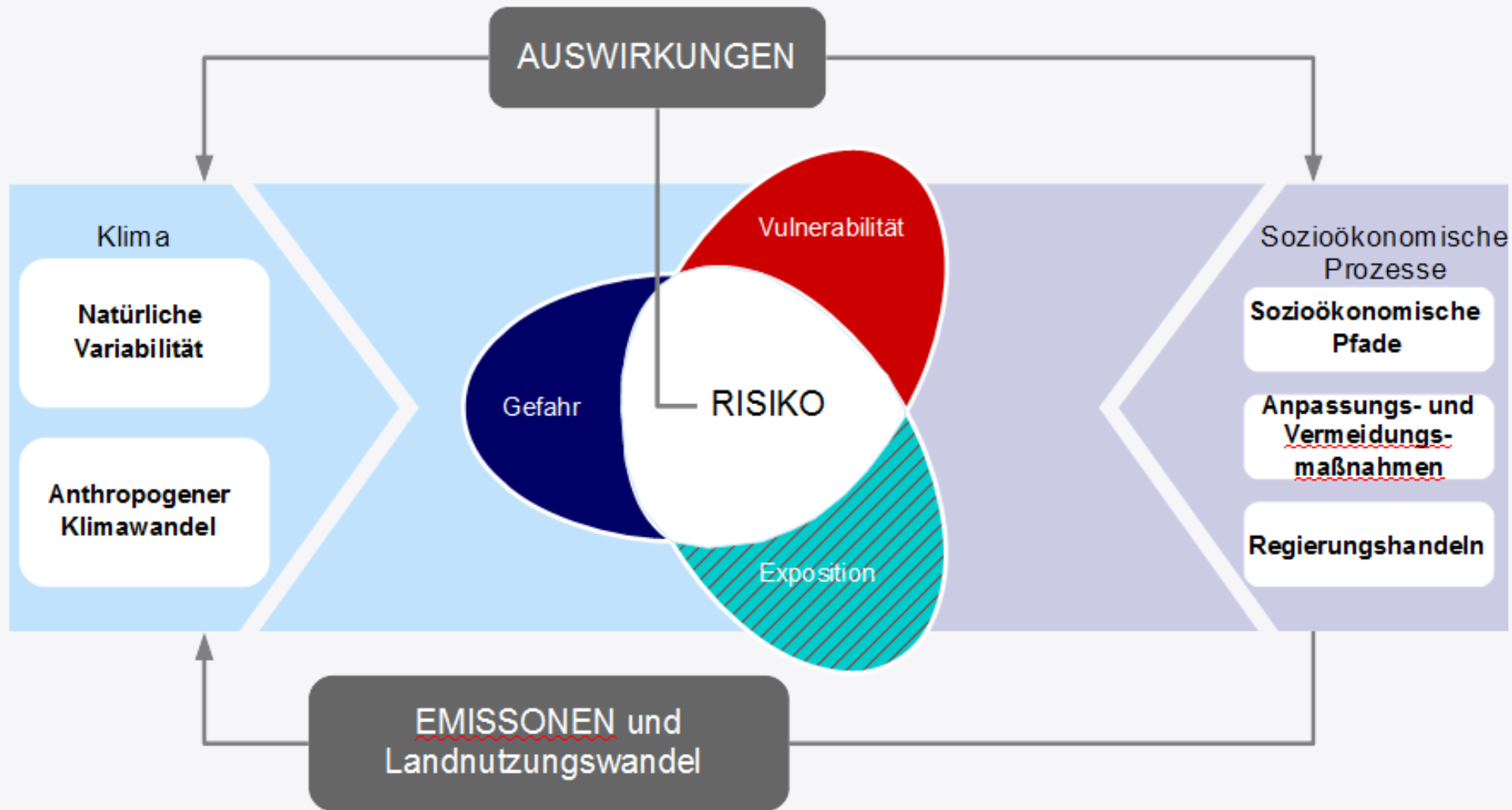
Sommerliches
Starkniederschlagsereignis mit
erhöhtem (warmen)
Oberflächenabfluss – Höhere
Sedimentlast(höhere Nährstofflasten)

Grundablass kühles sauberes Wasser

Talsperrenwasser: Entlastung an der Staukrone



Talsperrenwasser: Entlastung an der Staukrone



nach IPCC 2014

Anpassungsmaßnahmen - Fazit

- Die Beispiele zeigen, dass die Maßnahmen nicht speziell auf den Klimawandel zielen
- Es geht um die Erhöhung der Robustheit der Systeme in Stresssituationen
- Wesentliche Strategien dabei sind:
 - mehr Wasser „in der Landschaft zu halten“,
 - die Infrastruktur mit auf höhere Temperaturen und erhöhte Wassermengendynamik (wenig und viel) auszulegen.