

DWA Gewässergütemodell Kick-off Anwendertreffen

Hennef, 15.02.2016

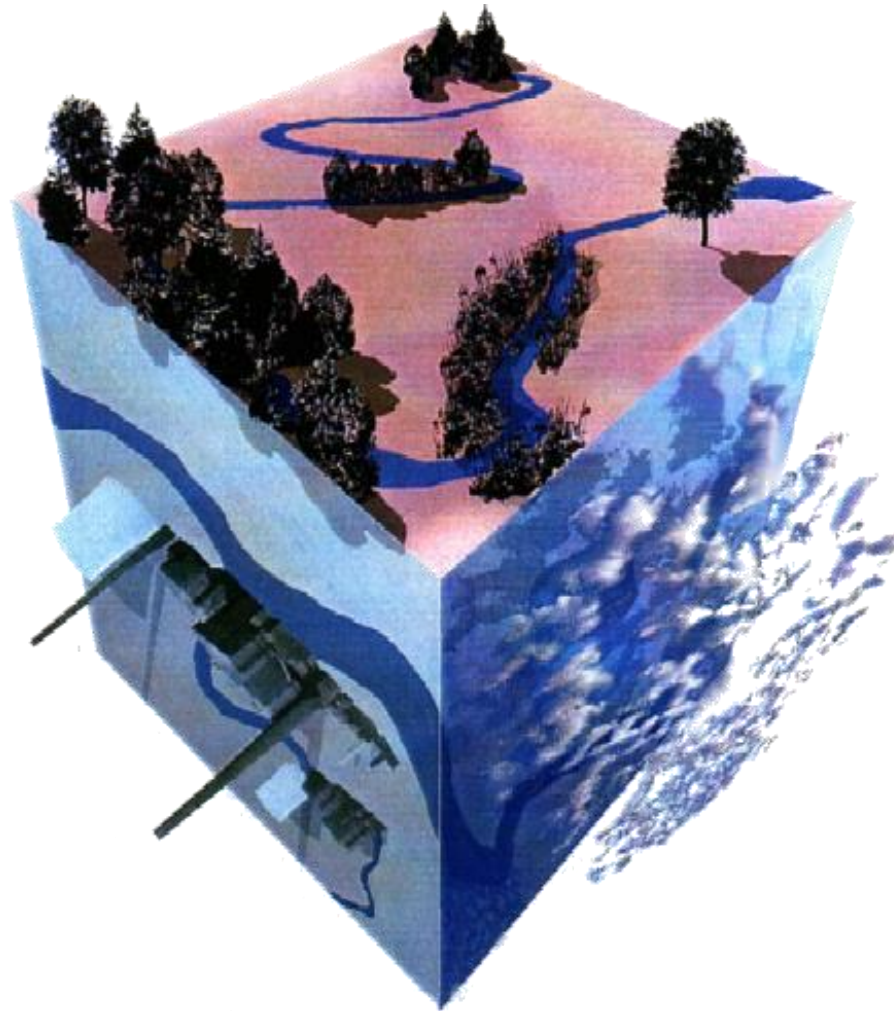


Ablauf der Veranstaltung (Zeitraum: 10⁰⁰h – 16⁰⁰h)

- Entstehungsgeschichte des Modells (Christoffels)
- Bausteine (Christoffels)
- Menüführung / Generierung eines Anwenderbeispiels inkl. Simulation (Lange)
- Gangliniendarstellung und -bearbeitung (Petruck)
- Querprofil Darstellung und -bearbeitung (Niemann)

Mittagspause 12:30 h

- Kartografische Darstellung (Christoffels)
- Ergebnisdarstellung (Kaul)
- 3D-Ergebnisdarstellung (Ernesti)
- Benutzerhandbuch und Bedienungsanleitung (Christoffels)
- Ausblick (neue Werkzeuge / neue Bausteine) (Ernesti / Christoffels)



DWA AG GB-1.4 „Modellrechnungen in der Wassergütewirtschaft“

1913	Michaelis Menten (Kinetik biochemischer Reaktionen)
1925	Streeter & Phelps (Sauerstoffhaushalt – Ohio River)
1949	Monod (Zellwachstum abhängig von Substratkonzentration)
→ 1970	Hohe Abwasserlast der Gewässer
1970 →	Mechanisch-biologische Abwasserreinigung Bedarf: Nachweis der Wirkung der Maßnahmen / Erfolgskontrolle Modellansätze: Beschreibung der Abbaureaktionen organischer Substanzen im Gewässer
1975	ATV-Fachausschuss „Modellrechnungen in der Wassergütewirtschaft“ Modellansätze: Sauerstoffhaushaltsmodelle / Wärmelastpläne
1985	übermäßiges Algenwachstum / Robbensterben (Nordsee) Initiative: Weitergehenden Abwasserreinigung Ziel: Rückhalt Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) Novellierung des Waschmittelgesetzes
1988	BMBF FuE-Vorhaben: Allgemein verfügbares Gewässergütemodell
1997	Lizenzvertrieb DWA Gewässergütemodell
2015	DWA Gewässergütemodell: Revision Software / Erweiterung

DWA Arbeitsgruppe GB-1.4 Modellrechnungen in der Wassergütewirtschaft

- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Bundesanstalt für Gewässerkunde
- Universität Duisburg-Essen
- Ecosystem Saxonia GmbH
- TriniDat GmbH
- Softwareentwicklung für Technik und Wissenschaft
- Lippeverband
- Erftverband

Externer Sachverstand:

- TU München
- Universität Regensburg
- TU Hamburg - Harburg
- Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (GSF)

nach Gesetzmäßigkeit:

- a. stochastisch: statistische Verfahren bilden aus Datenkollektiven synthetische Datenreihen.
- b. deterministisch: math. Gleichungen beschreiben den simulierten Prozess.

nach Modellansatz:

- a. empirisch: Naturbeobachtungen u. Experimente bilden die Grundlage. Die Erkenntnisse werden in Gleichungen umgesetzt, ohne physikalisch-naturwissenschaftlichen Hintergrund nicht übertragbar.
- b. physikalisch basiert: Modellbeschreibung mit Gesetzen der Physik, deshalb übertragbar, dort wo diese Gesetze gelten, Mischform durch empirische Komponenten.

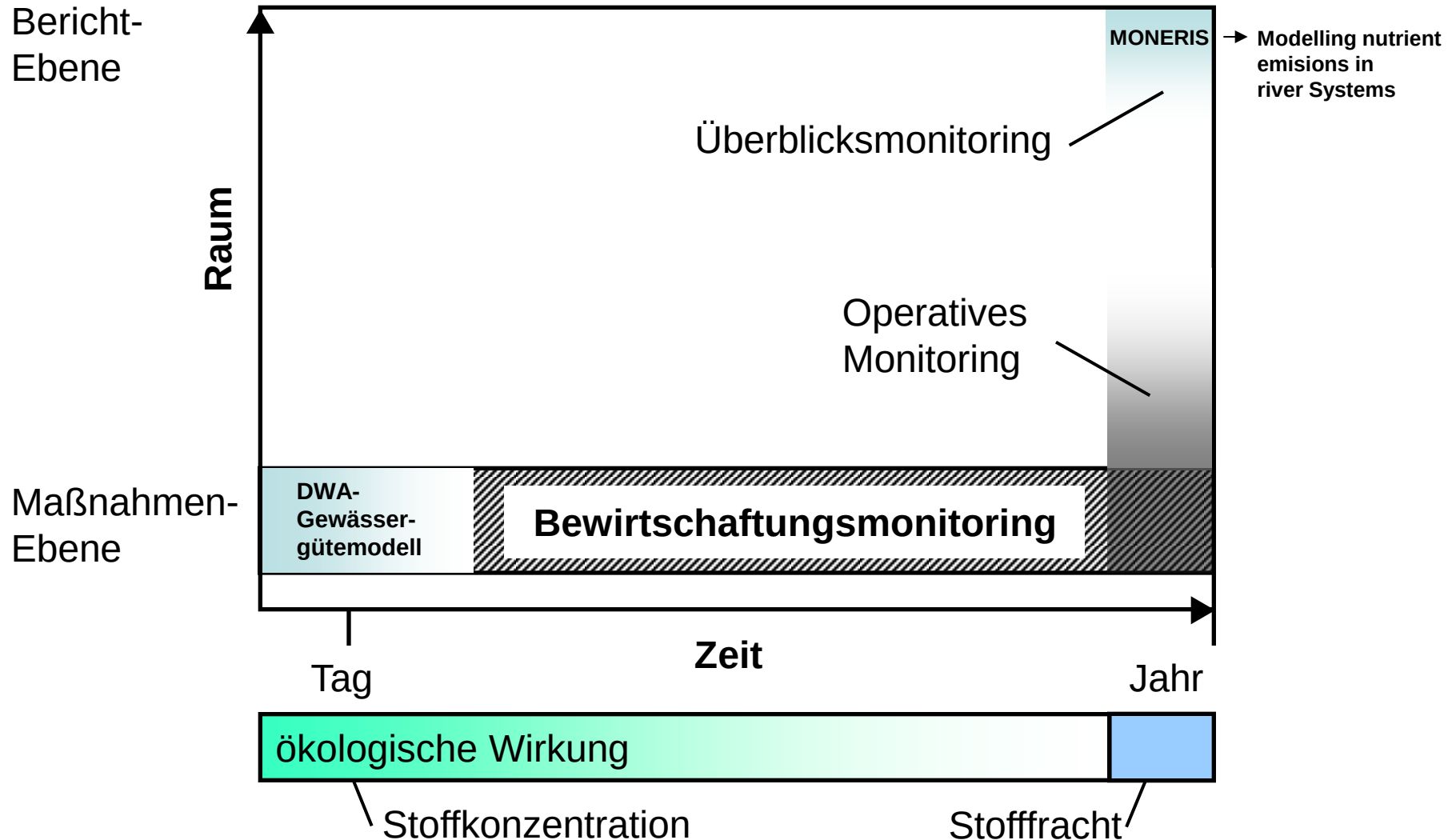
nach zeitlicher Auflösung:

- a. kontinuierlich: über längeren Zeitraum gemittelte Ergebnisse.
- b. ereignisbezogen: Abbildung einzelner Ereignisse.

 $\triangleq$ DWA-Gewässergütemodell

Monitoring / Modellierung

Raum- / Zeitskalenebene



DWA Gewässergütemodell: Relevante Prozesse

Meteorologische Prozesse		
Strahlung (z.B. Photosynthese, Wärmehaushalt)		
Wolkenbildung (z.B. Lichtextinktion)		
Wind (z.B. Verdunstung)	Hydrologische Prozesse	
Verdunstung, Kondensation (z.B. Wassertemperatur)		
	Abflussaufteilung (z.B. Ausleitungsstrecken)	
	Entnahme (z.B. Beregnung von Freilandkulturen)	Stoffumwandlungsprozesse
	Einleitung (z.B. kommunale Kläranlagen)	
	Lateraler Zufluss als Grundwasser-, Bodenwasser- und Oberflächenabfluss; Flussbettinfiltration	
		Biologische Reaktionen (z.B. organischer Abbau, Inkorporation)
		Chemische Reaktionen (z.B. Oxidation)
		Physikalische Stoffumwandlung (z.B. Adsorption, Absorption, Extinktion)

Region

- Klimaregion (z. B. Lufttemperatur)
- Höhenlage (z. B. Strahlung)
- Exposition (z. B. Meridian / uhrzeitabhängiger Sonnenstand)

Abschnitt

- Gewässerrandstreifen (z. B. Ufervegetation / Strahlung)
- Fließgewässerabschnitt (z. B. Substratverhältnisse)

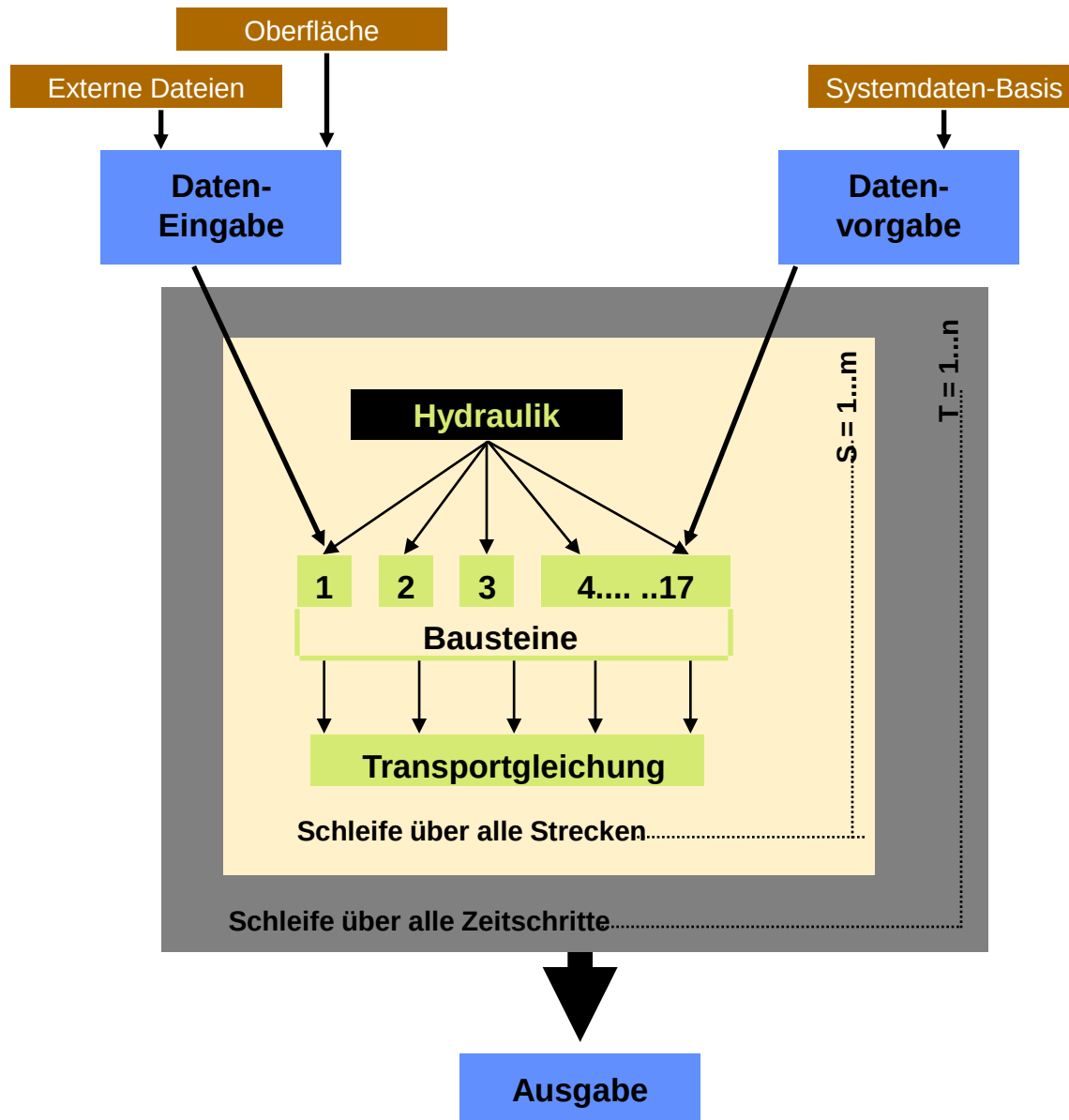
Profil

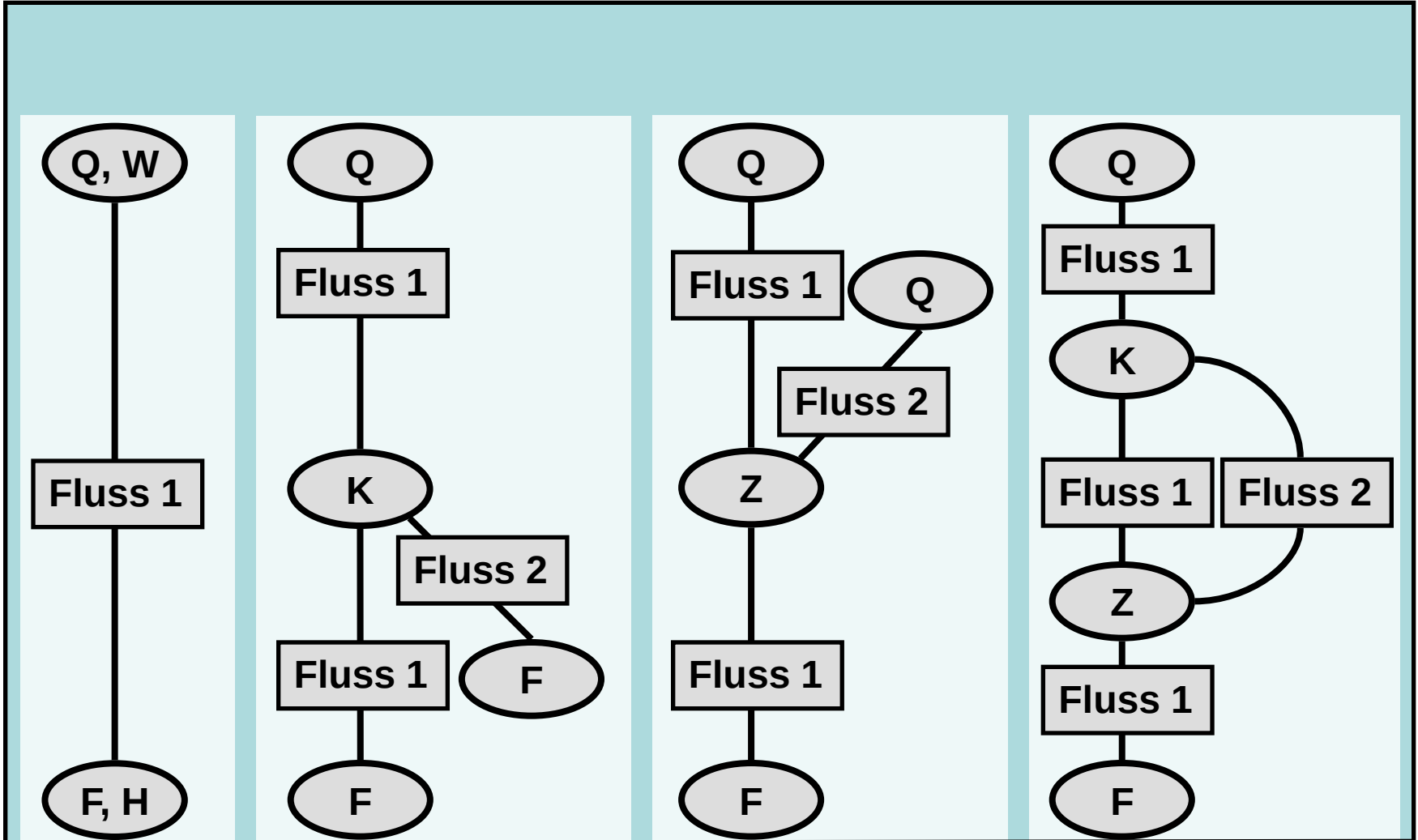
- Querprofil (z. B. Rauheit / Abfluss)

Knoten

- Staueinrichtungen (z. B. Wehranlagen)
- Einleitung (z. B. Abwasserlast)

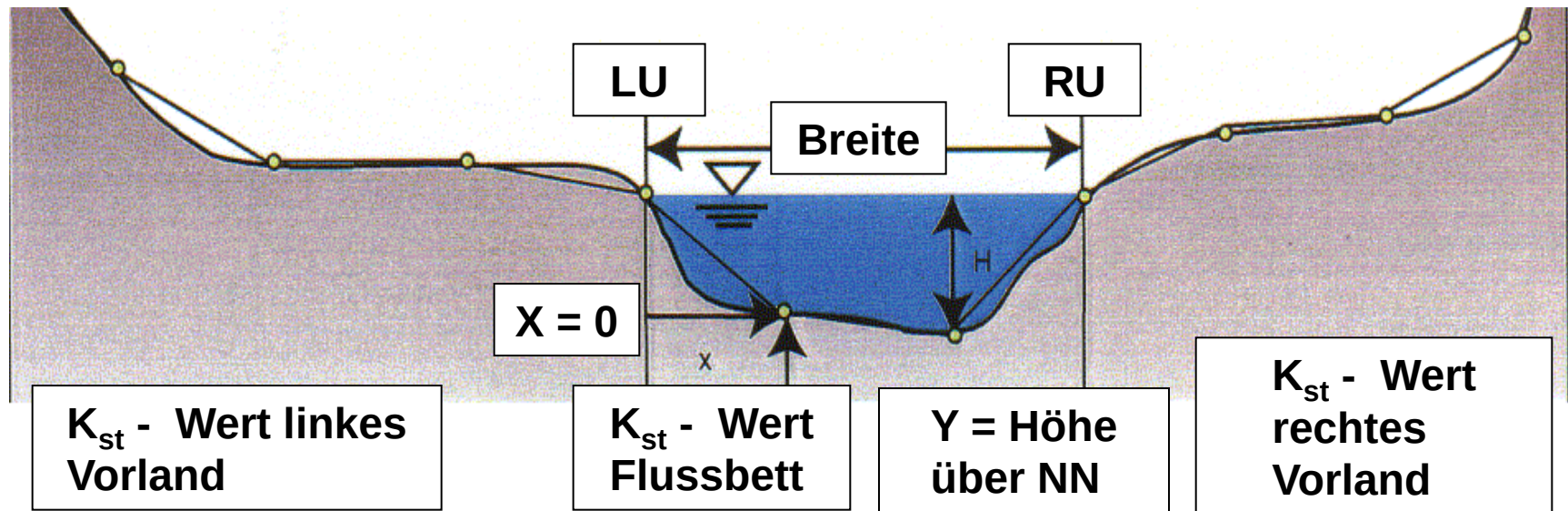
DWA-Gewässergütemodell: Struktur





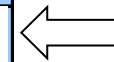
DWA-Gewässergütemodell

Messprofil zur Beschreibung der Gewässergeometrie



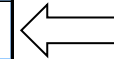
Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB/CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoffhaushalt
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB/CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoffhaushalt
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



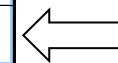
**Relevant für
Bausteine 2 - 17**

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB/CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoffhaushalt
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



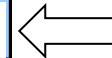
- Temperaturberechnung
- Photosynthese
- Photolyse

lfd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB/CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoffhaushalt
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



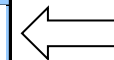
**Geschwindigkeit
der Umsatzprozesse**

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB/CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoffhaushalt
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



- anorganische Salze (z.B. Chlorid)
- Überprüfung der Transportprozesse

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB/CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoffhaushalt
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



Sedimentationsprozesse

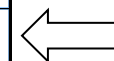
lfd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	Primärbelastung BSB-C
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoff
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen

← **dominierende
Sauerstoffzehrung
durch Einleiter
(Kohlenstoffabbau)**

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	Primärbelastung BSB-C + BSB-N
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoffe
14	Sauerstoff
15	pH - Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen

← dominierende
Sauerstoffzehrung
durch Einleiter
(Kohlenstoffabbau,
Nitrifikation)

lfd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen

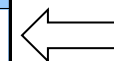


**planktondominierte,
größere Gewässer**

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen + K I / K II
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen

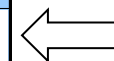
← planktondominierte,
größere Gewässer

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



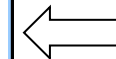
**planktondominierte,
größere Gewässer**

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen + K I / K II
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



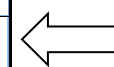
**planktondominierte,
größere Gewässer**

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



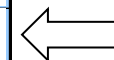
**makrophyten-
dominierte, kleinere
Gewässer mit
Makrophyten,
Epiphyten, Phytobenthon**

lfd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



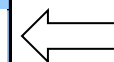
Algenentwicklung
⇔ pH-Wert

Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	organische Substanzen



Schadstoffgruppe I:
Milieuabh. Verteilung
Wasser / Schwebstoff

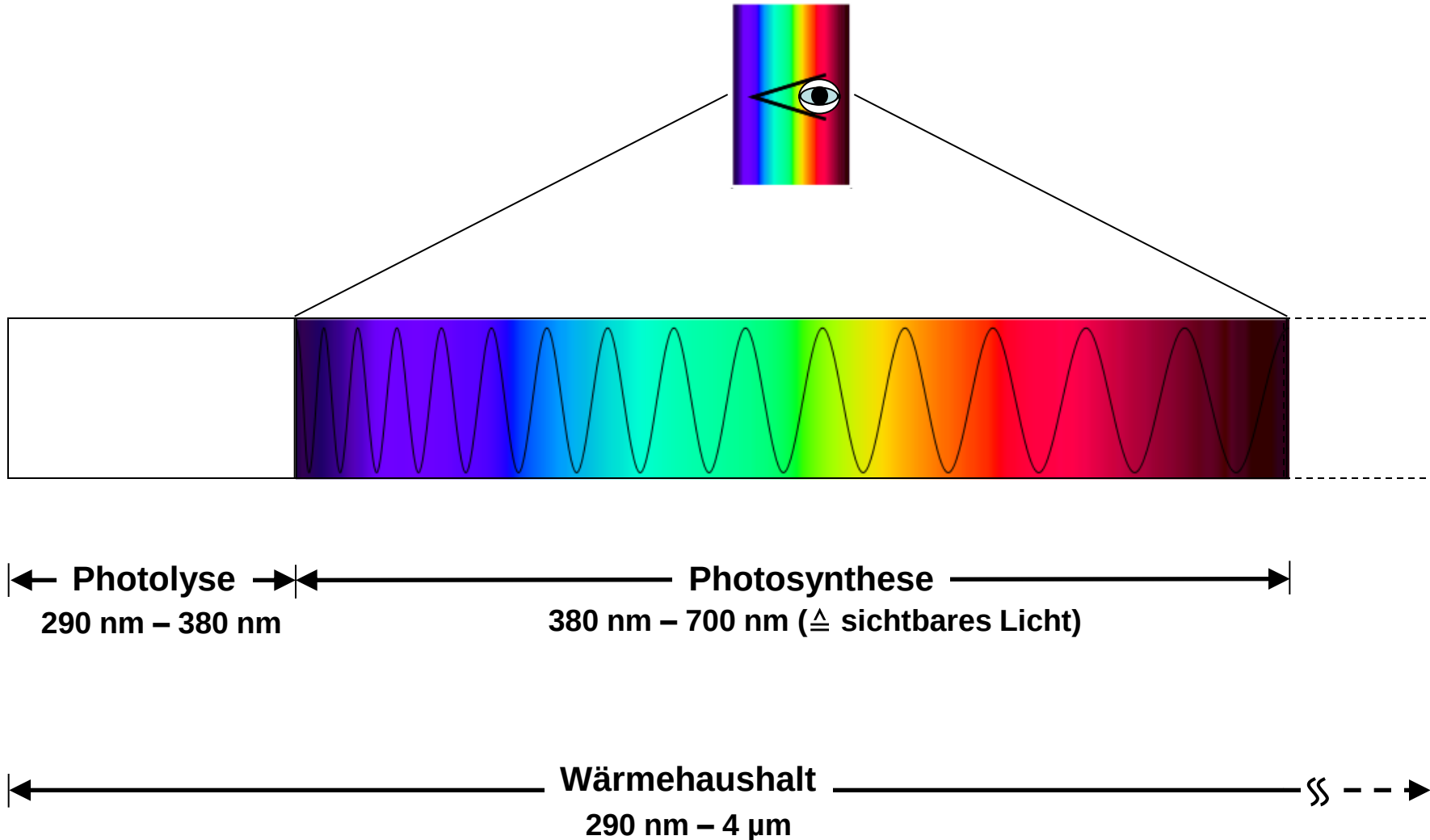
Ifd. Nr.	Bausteinbezeichnung
0	Abfluss
1	Strahlung
2	Wassertemperatur
3	Konservative Substanzen, Tracer
4	BSB / CSB
5	Phosphor
6	Stickstoffverbindungen
7	Silikat
8	Kieselalgen
9	Grünalgen
10	Konsumenten I
11	Konsumenten II
12	Besiedelung des Flussbettes, Austausch mit dem Sediment
13	Schwebstoff
14	Sauerstoff
15	pH-Wert
16	Schwermetalle
17	Organische Einzelsubstanzen



**Schadstoffgruppe II:
Fraktionsspezifische
Umsatzprozesse**

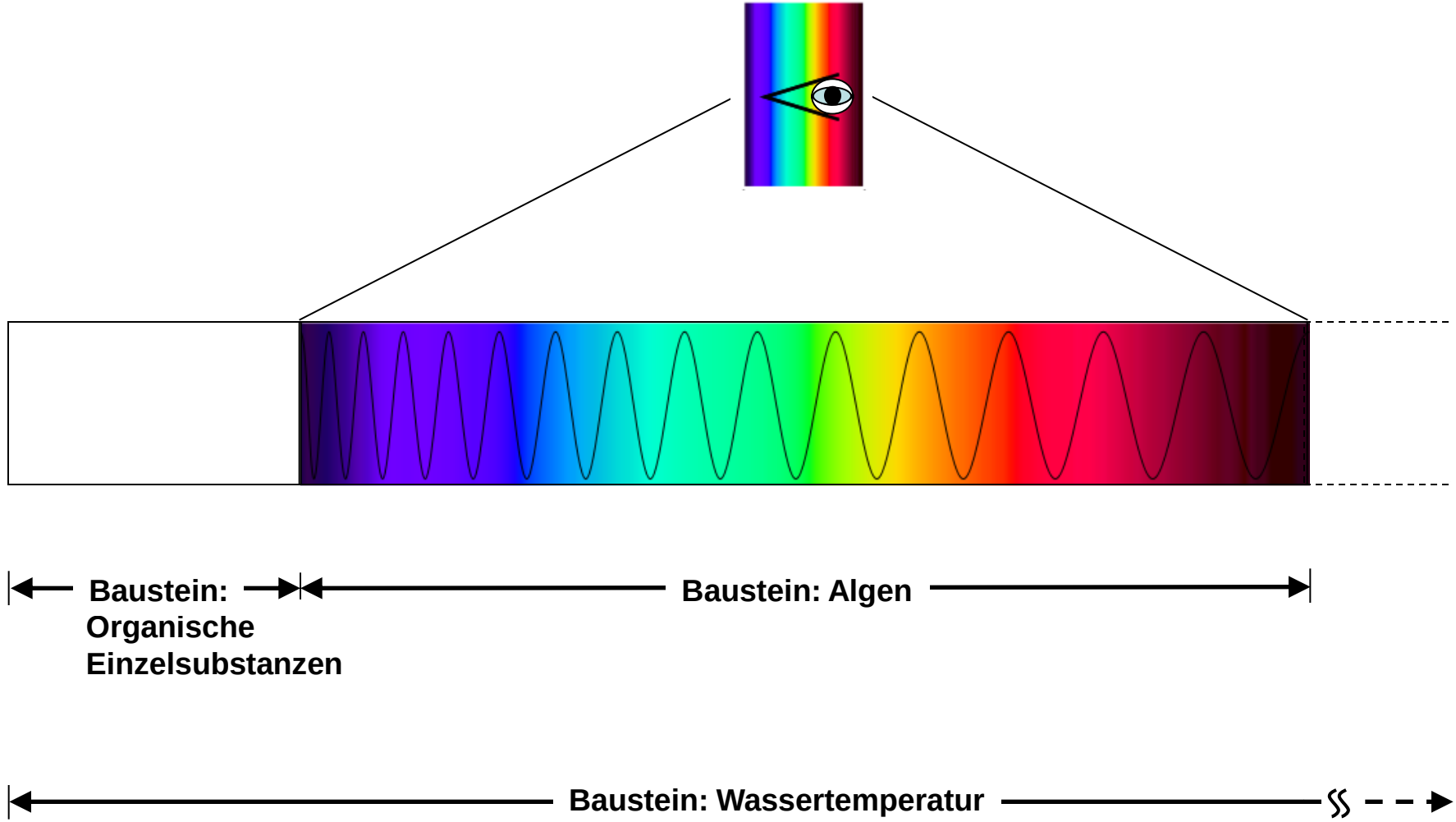
Baustein: Strahlung

Wellenlängenabhängige Relevanz des Strahlungsspektrums



Baustein: Strahlung

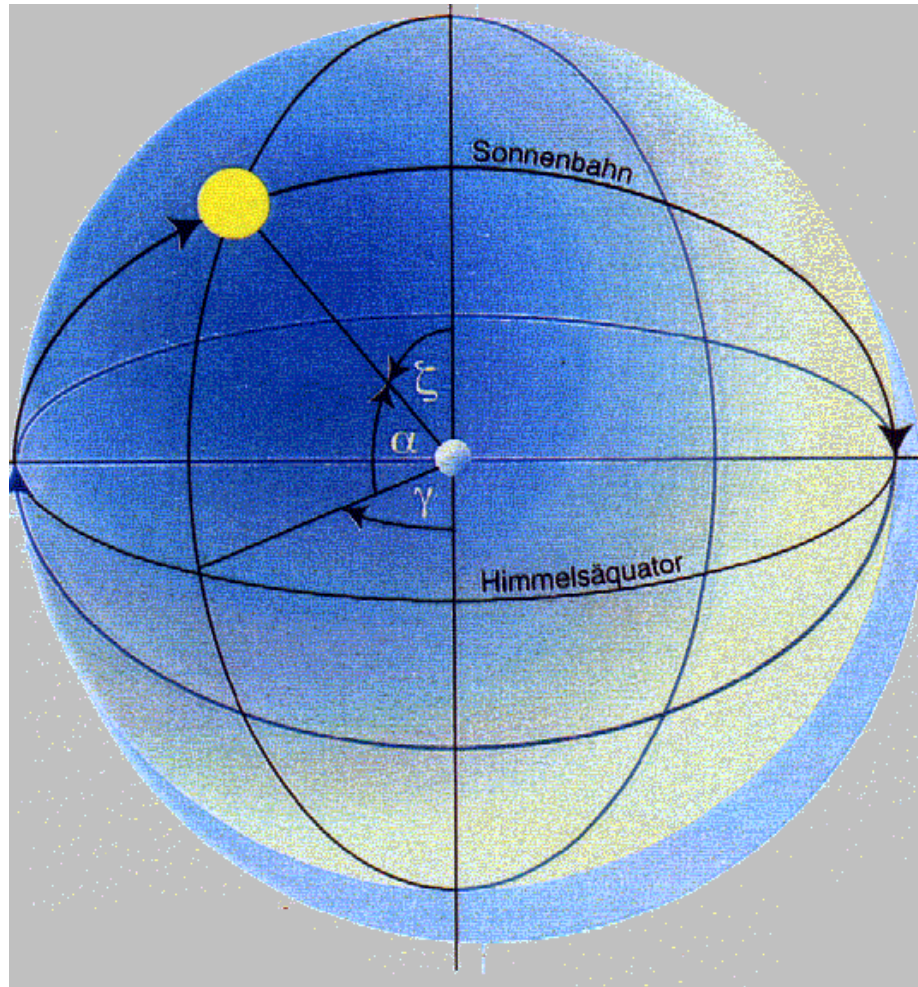
Wellenlängenabhängige Relevanz des Strahlungsspektrums



Baustein: Strahlung

Koordinaten des Sonnenstandes

α = Höhenwinkel, γ = Stundenwinkel ξ = Zenitwinkel

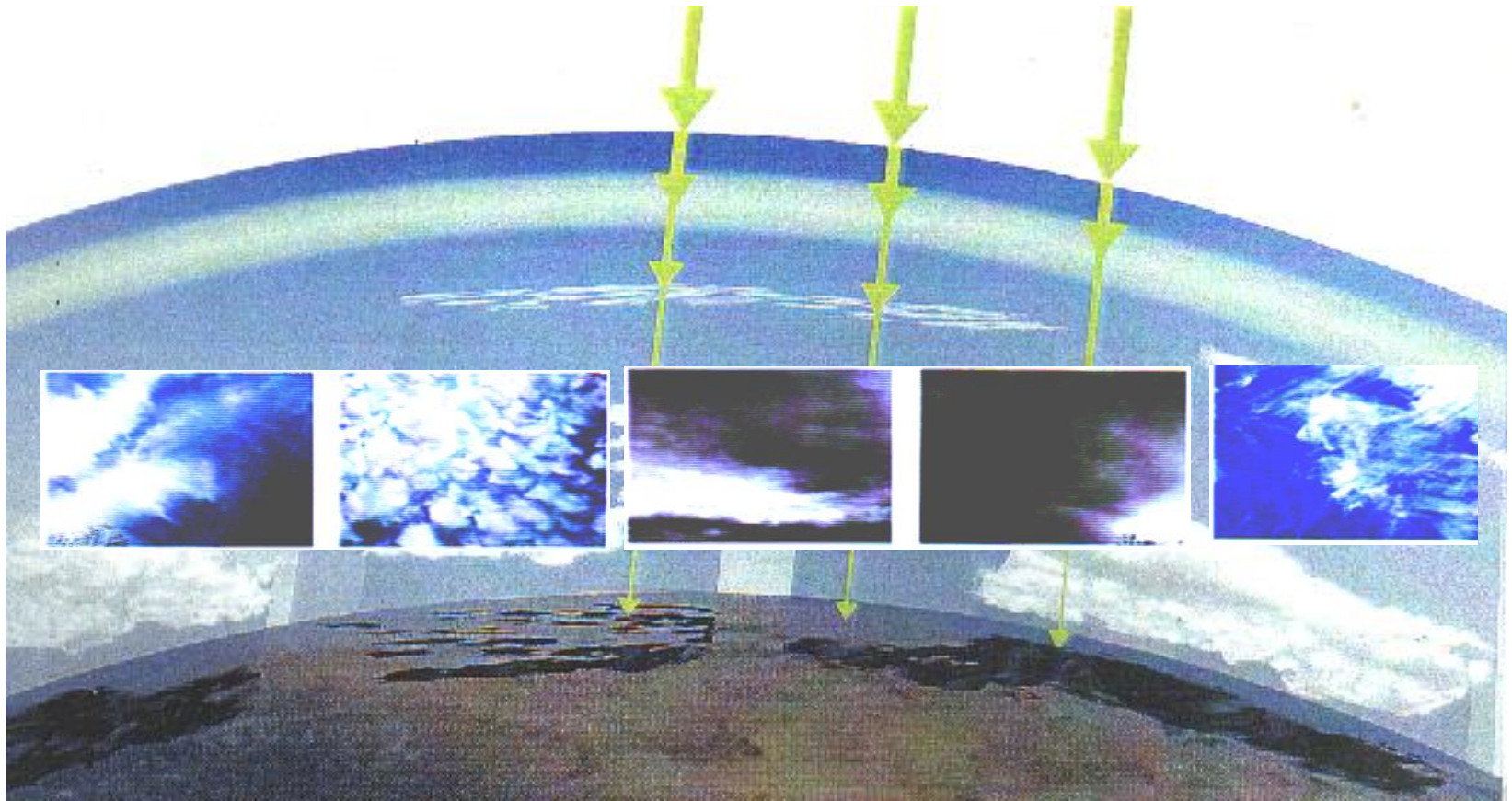


Berechnung der Nettostrahlung
für Flussgebiete (abschnittsweise)
für jeden Simulationszeitschritt
des Lichttags.



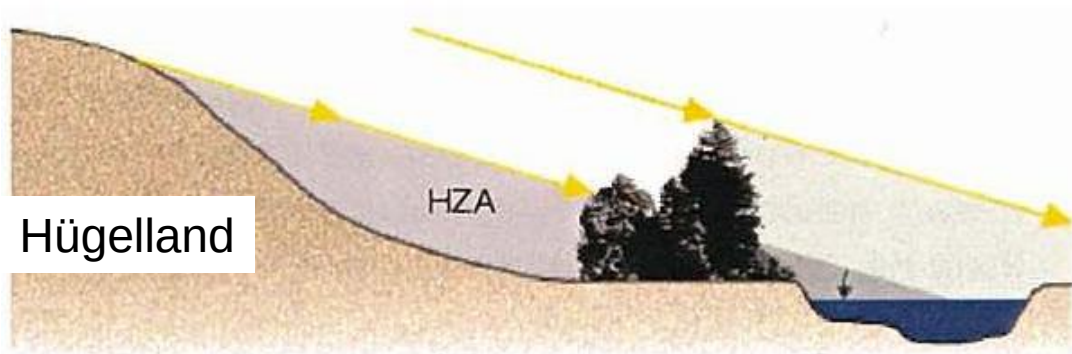
Baustein: Strahlung

Beeinflussung der Strahlung durch die Atmosphäre

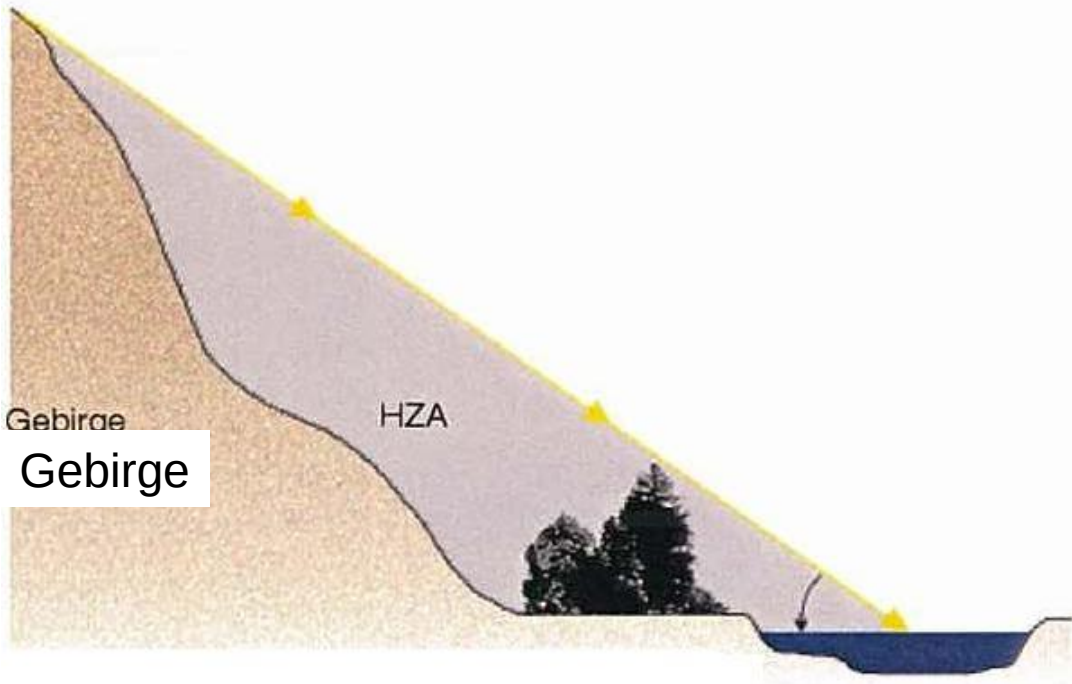


Baustein: Strahlung

Beeinflussung der Strahlung durch Horizontüberhöhung



Hügelland

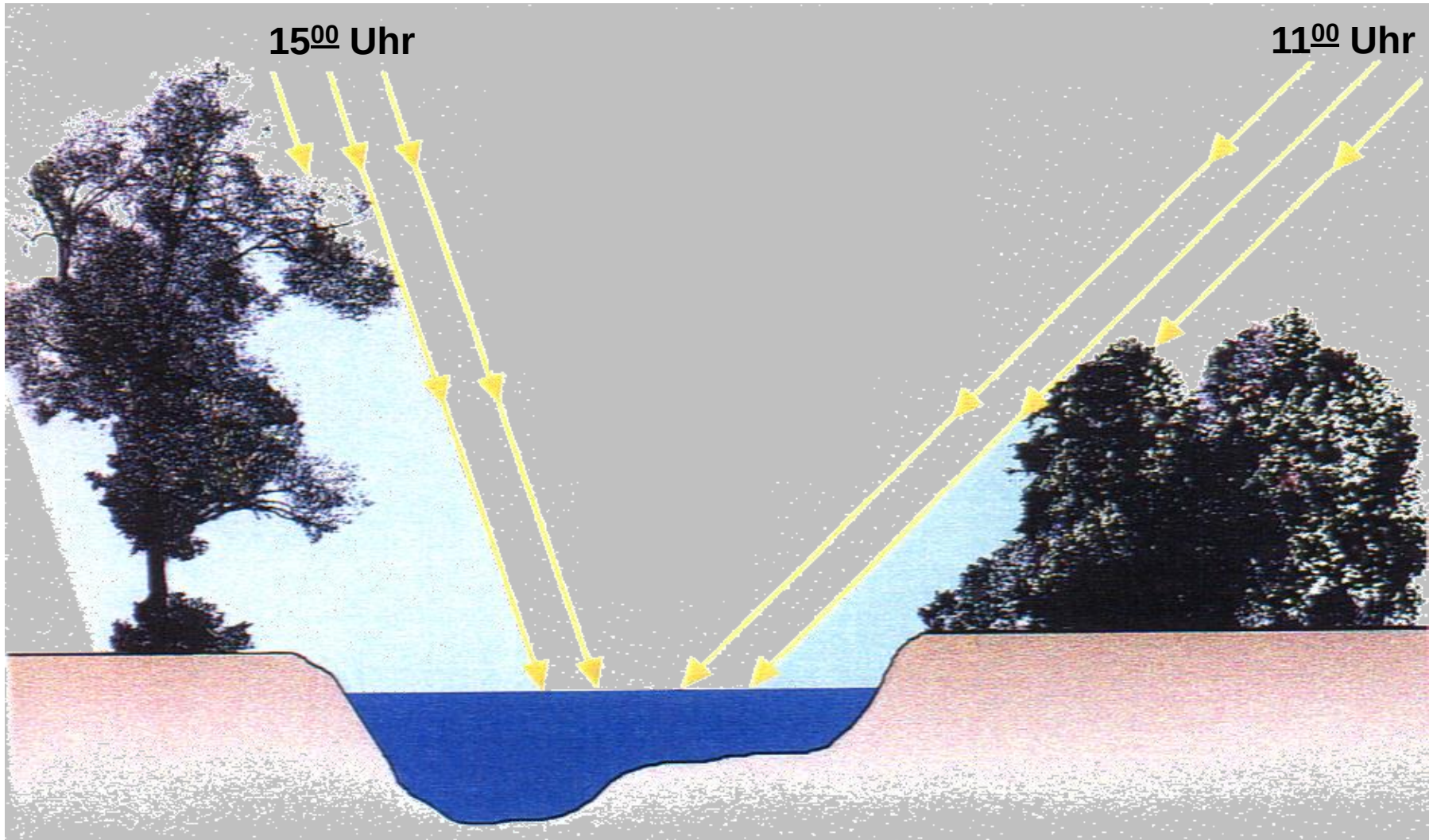


Gebirge
Gebirge

$HZA \triangleq$ Horizontüberhöhung

Baustein: Strahlung

Schattenwurf der Ufervegetation im Tagesgang



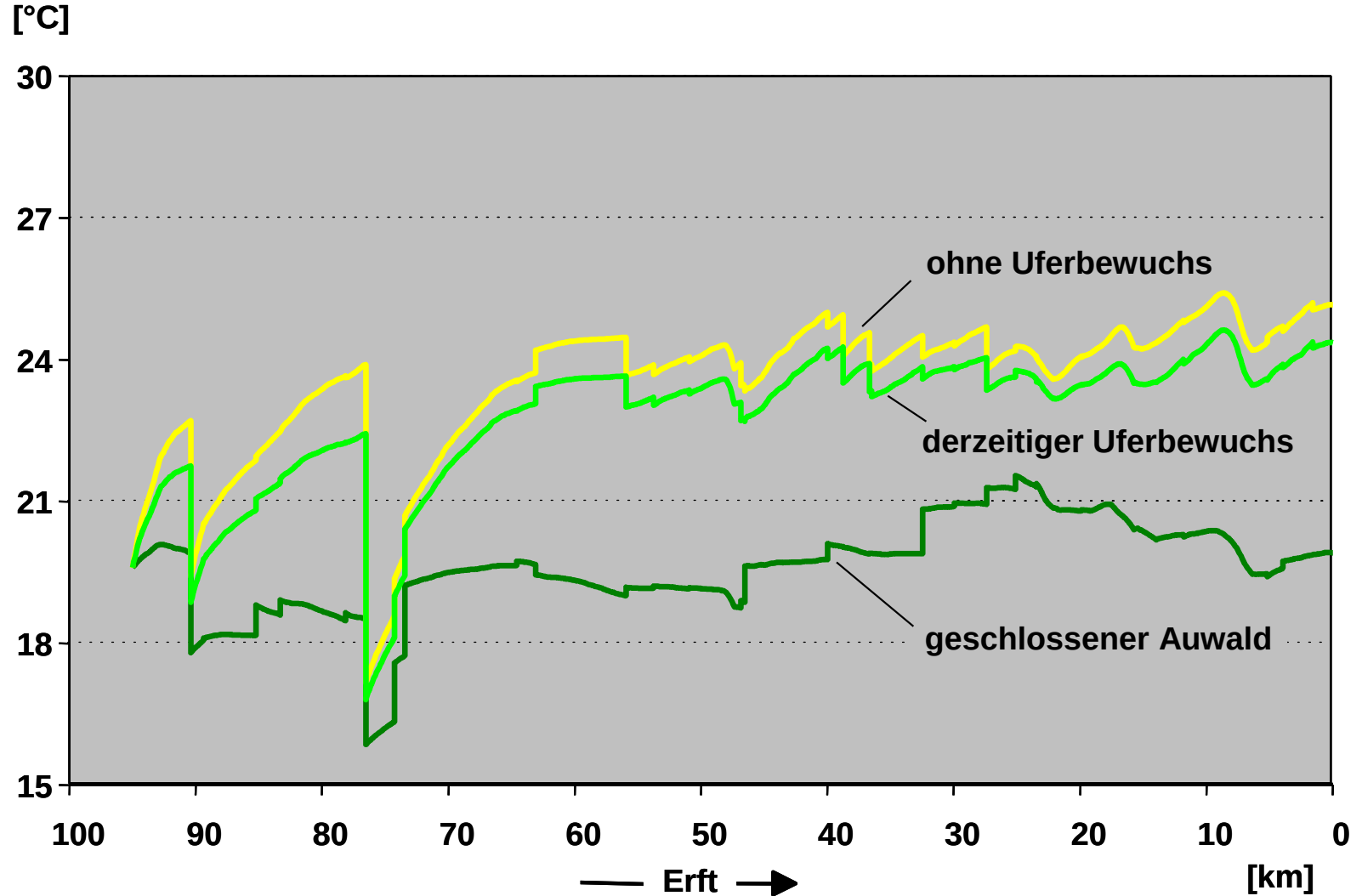
Baustein: Strahlung

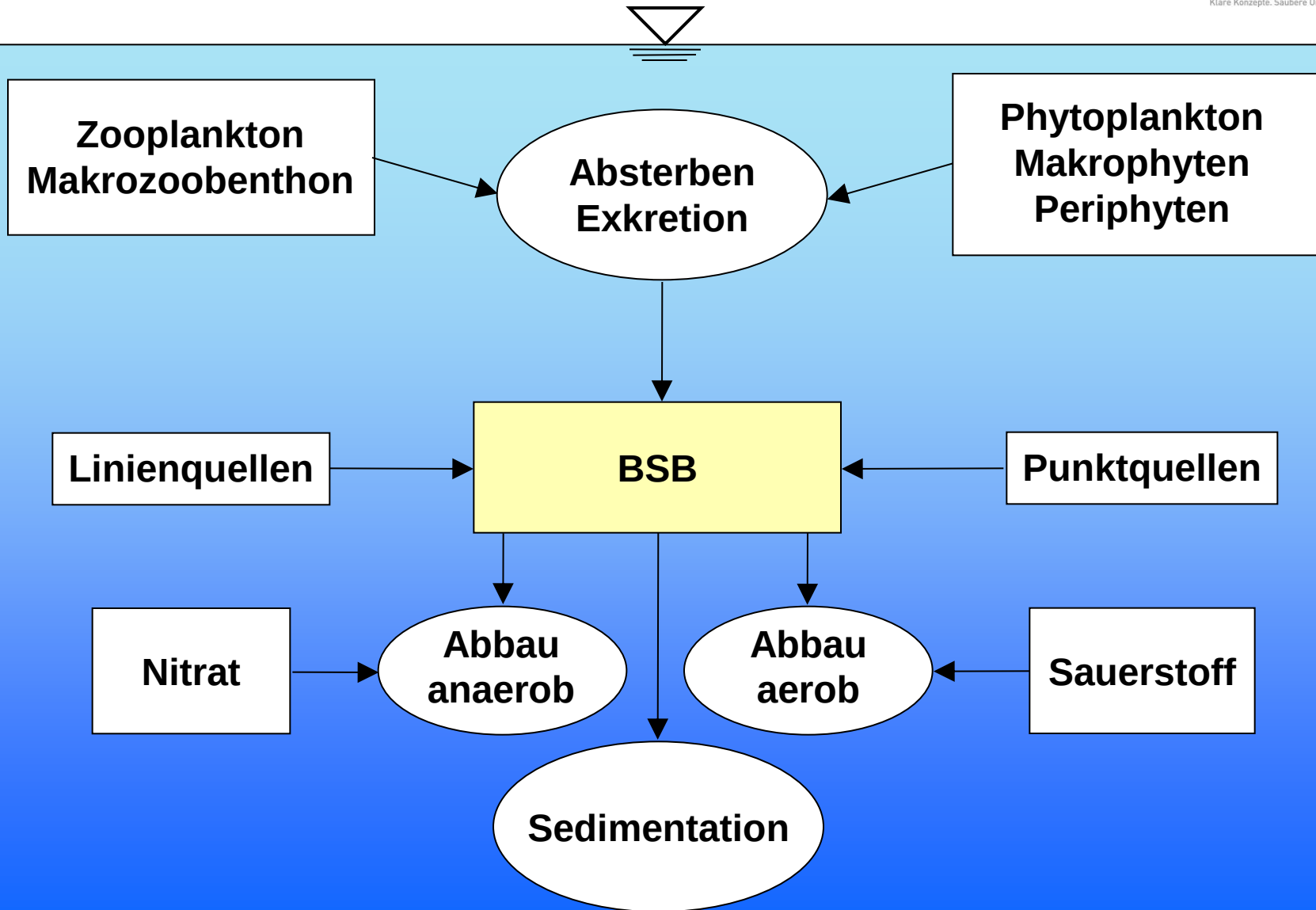
Vegetationstypen und zugeordnete Parameterangaben

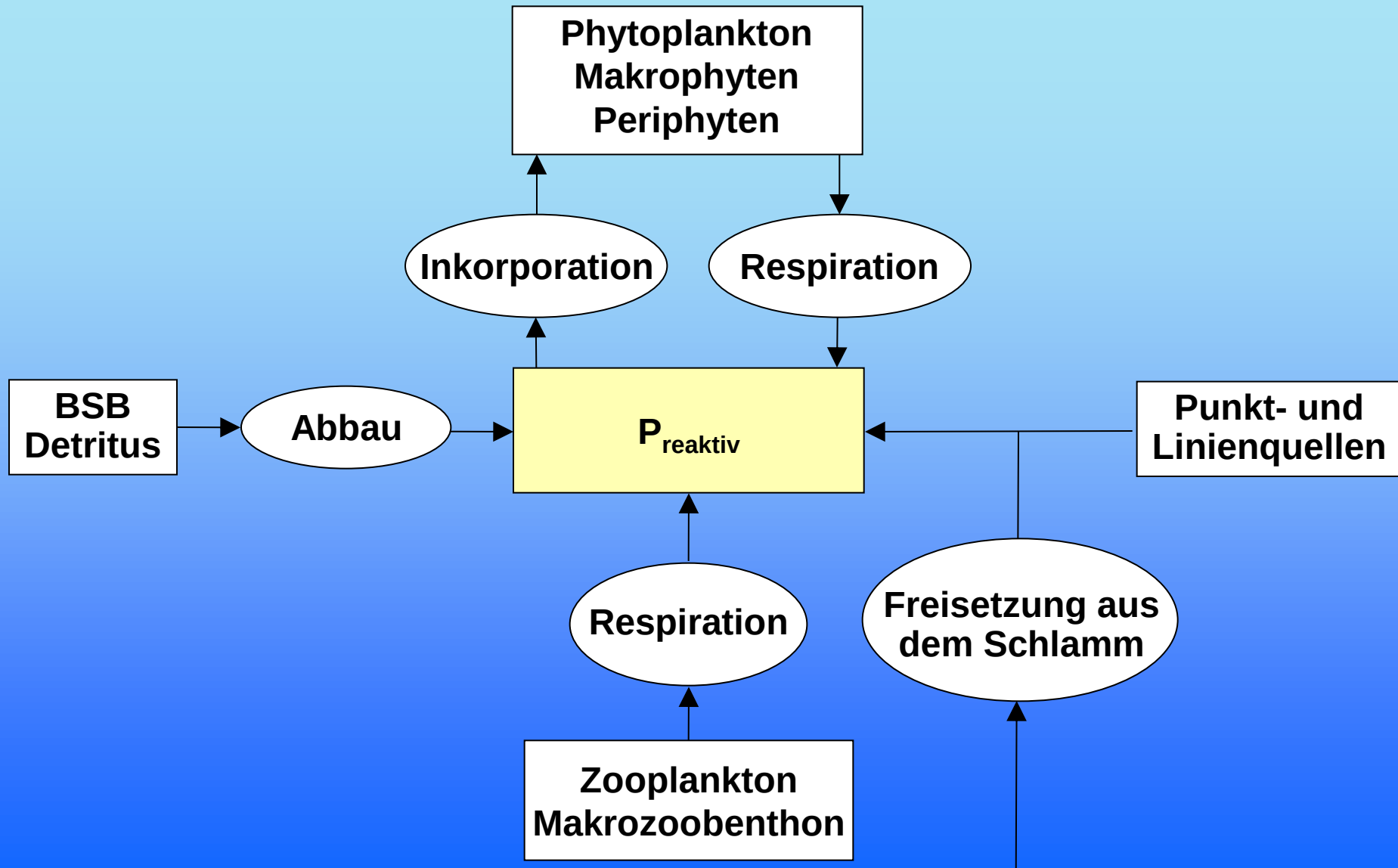
Vegetationsart/ Bebauung	Höhe in m	Kronenbreite in m	Uferabstand in m	Dichte in %		
				Sommer	Winter	Übergang
Niedervegetation	0,8	0,0	0,0	65	10	30
Buschwerk	5,0	1,0	1,0	57	20	35
Weichholzaue einseitig	12,0	5,0	1,0	43	20	40
Laubwald einseitig	20,0	12,0	2,0	93	25	45
Nadelwald einseitig	25,0	8,0	2,0	85	85	85
Weichholzaue beidseitig	12,0	5,0	1,0	55	25	40
Laubwald beidseitig	20,0	12,0	2,0	98	25	55
Nadelwald beidseitig	25,0	8,0	2,0	95	95	95
Bebauung	Eingabe	0,0	Eingabe	100	100	100

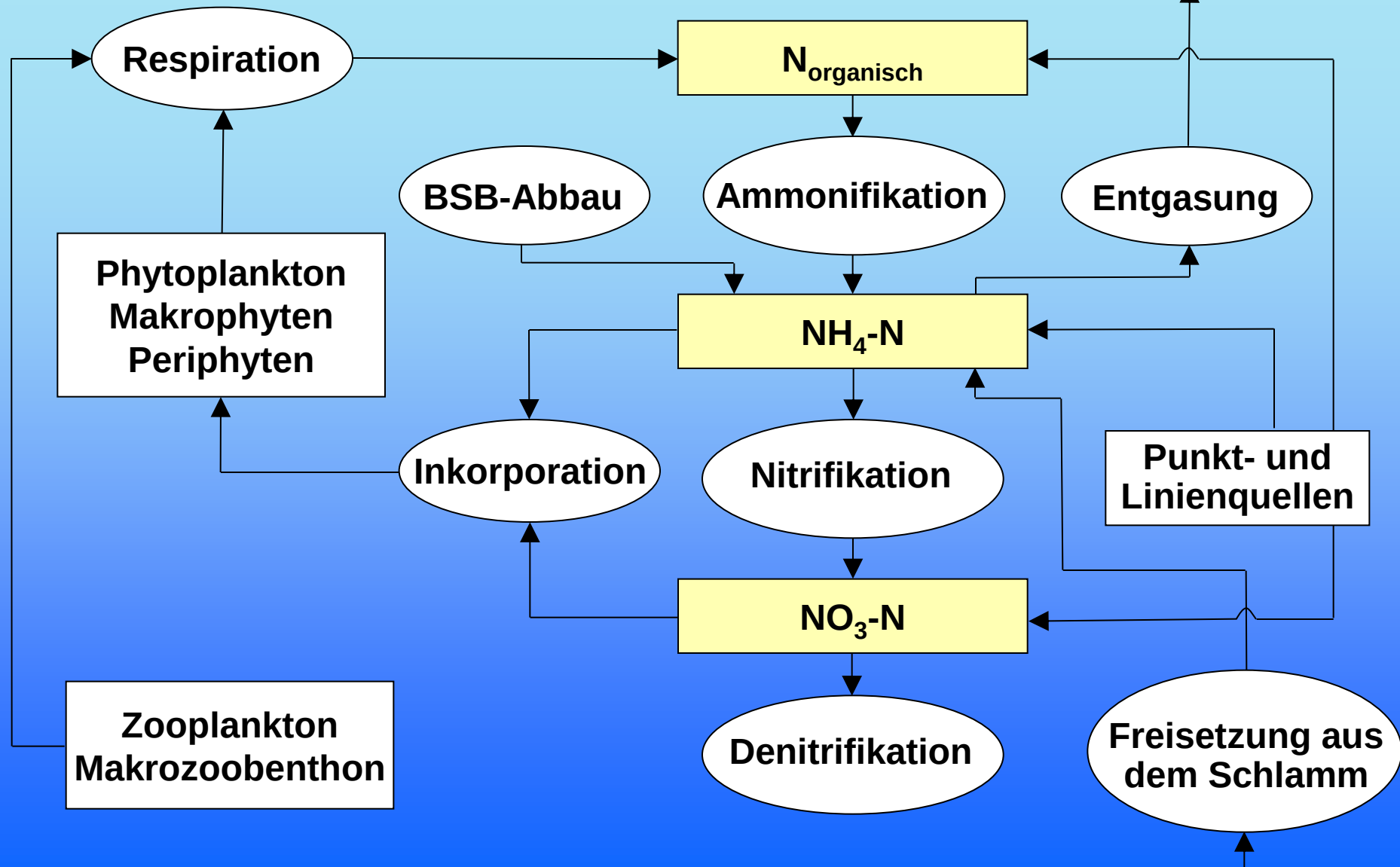
Baustein: Wassertemperatur

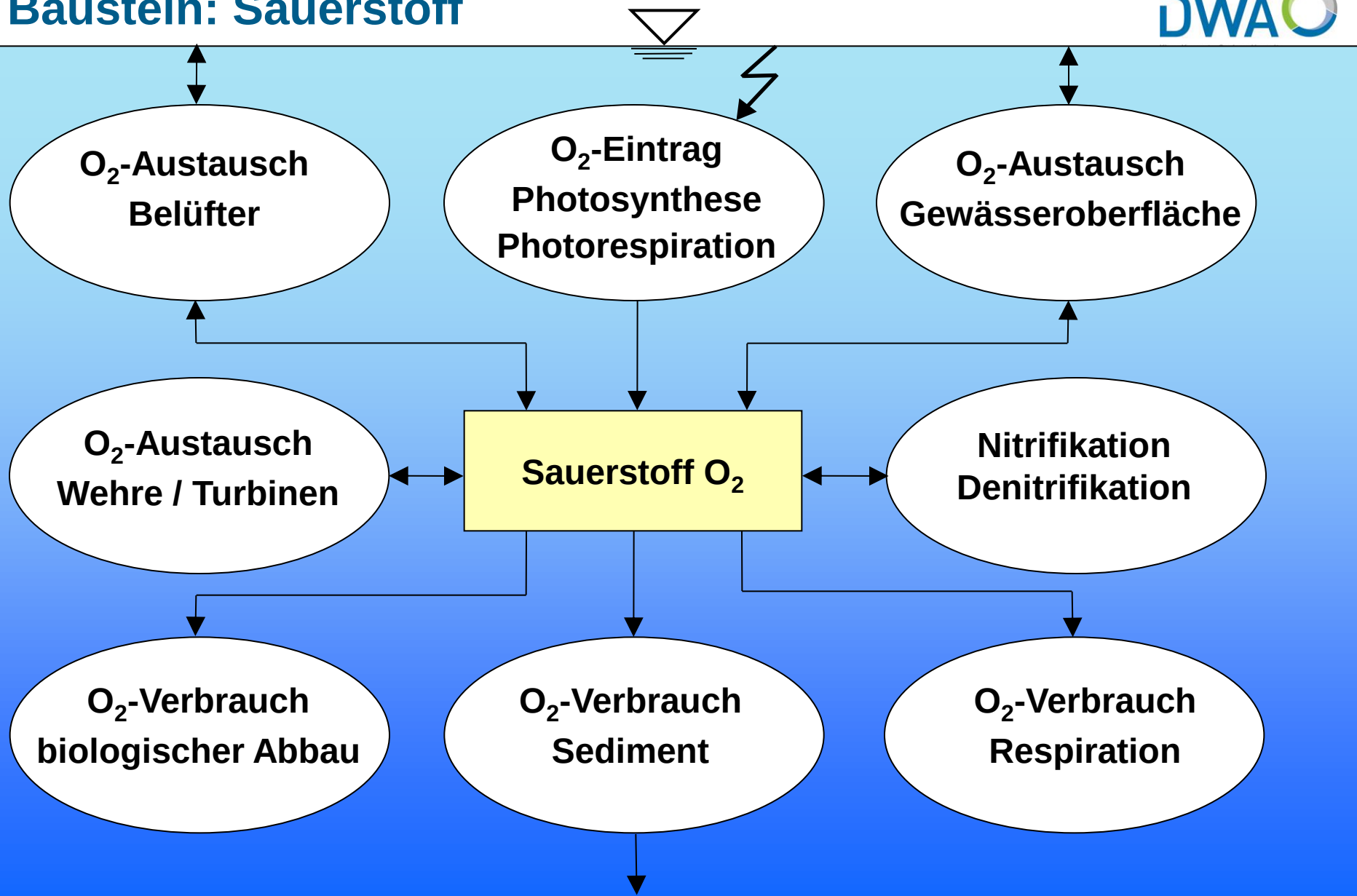
Einfluss der Ufervegetation





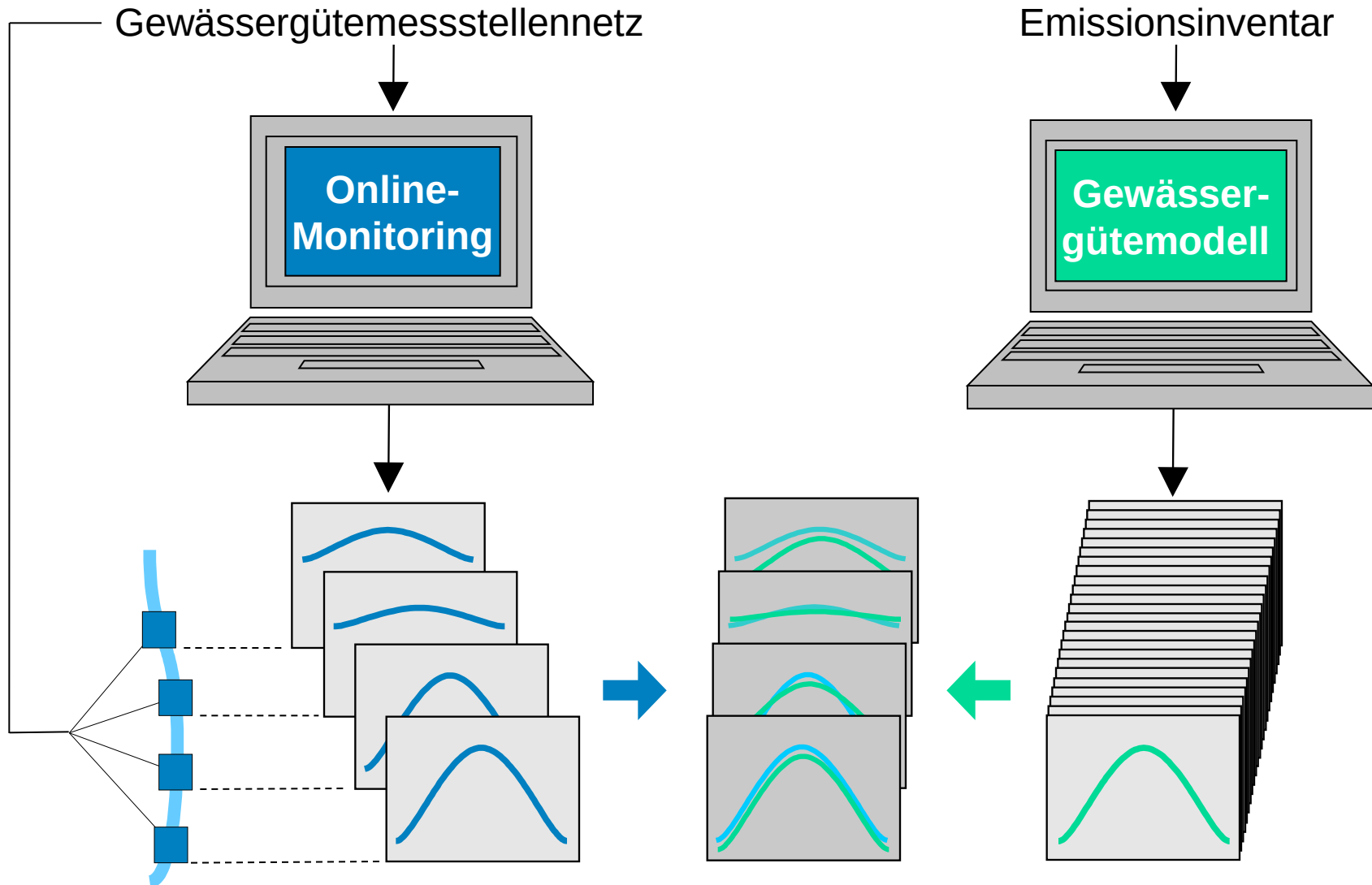






Monitoring und Modellanwendung

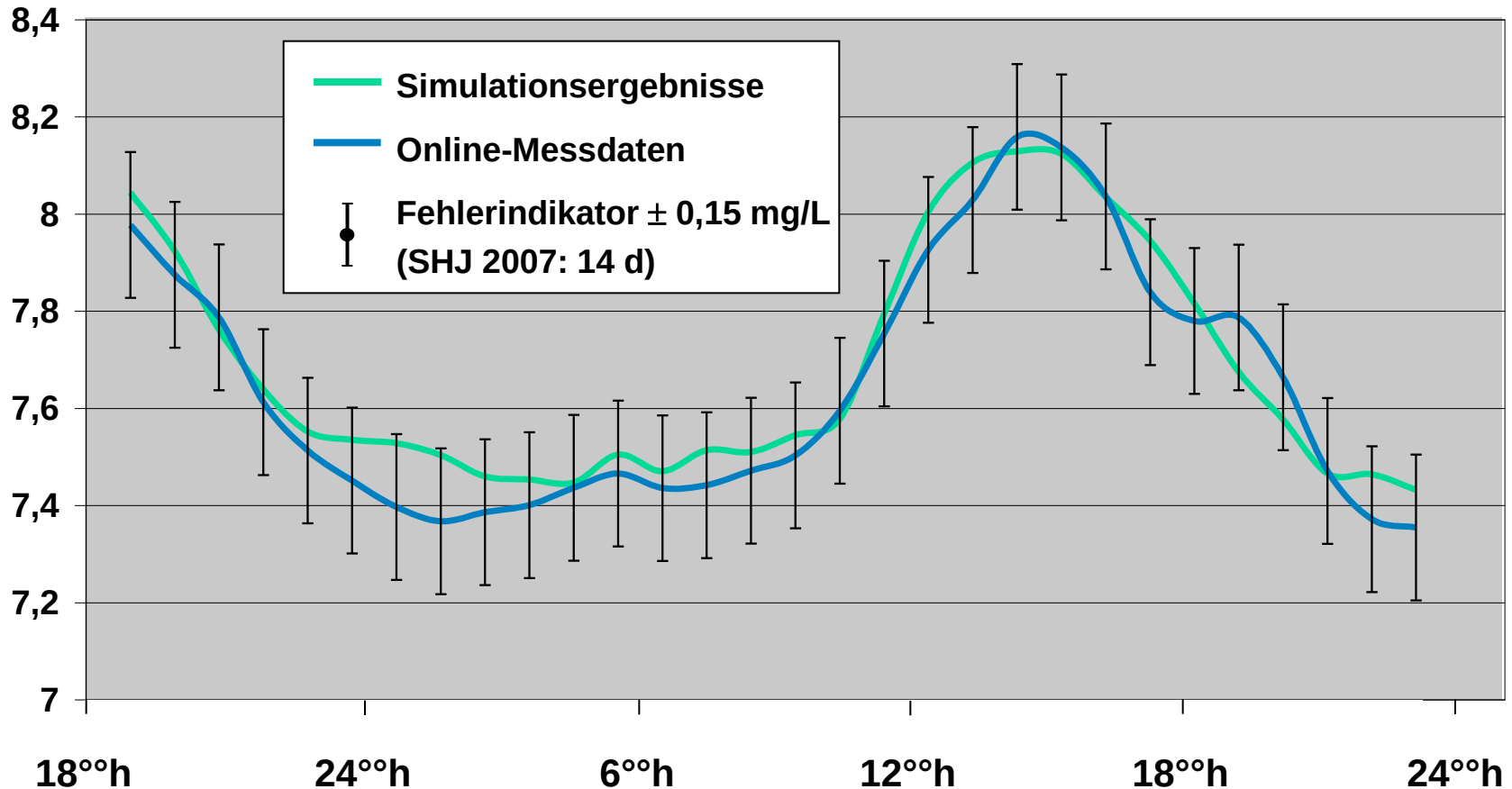
Gemeinsame Herangehensweise I



Monitoring und Modellanwendung

Gemeinsame Herangehensweise II

Sauerstoffgehalt [mg/L]



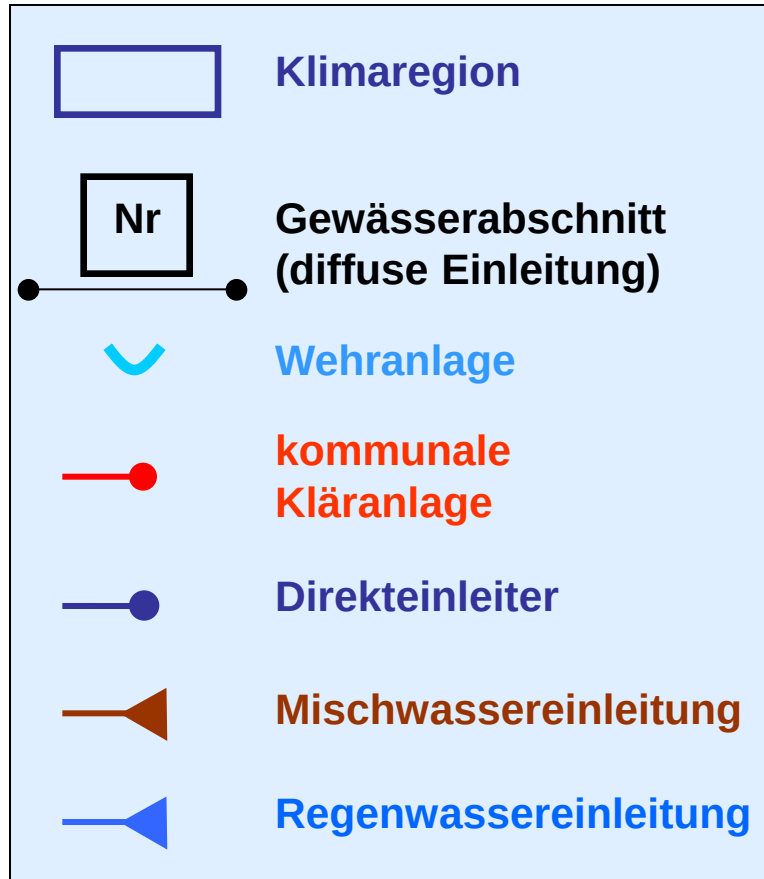
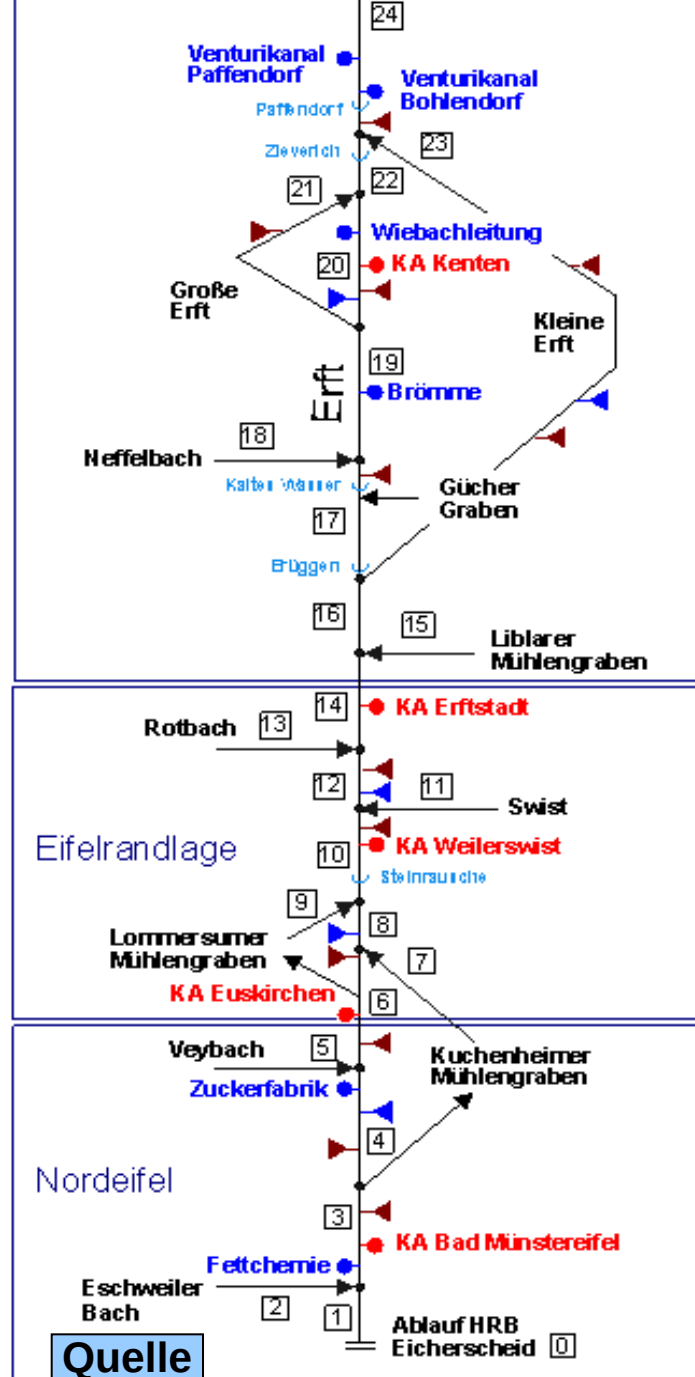
01./02. Sept. 2007

Gewässergütemodell

Flusssystem Erft

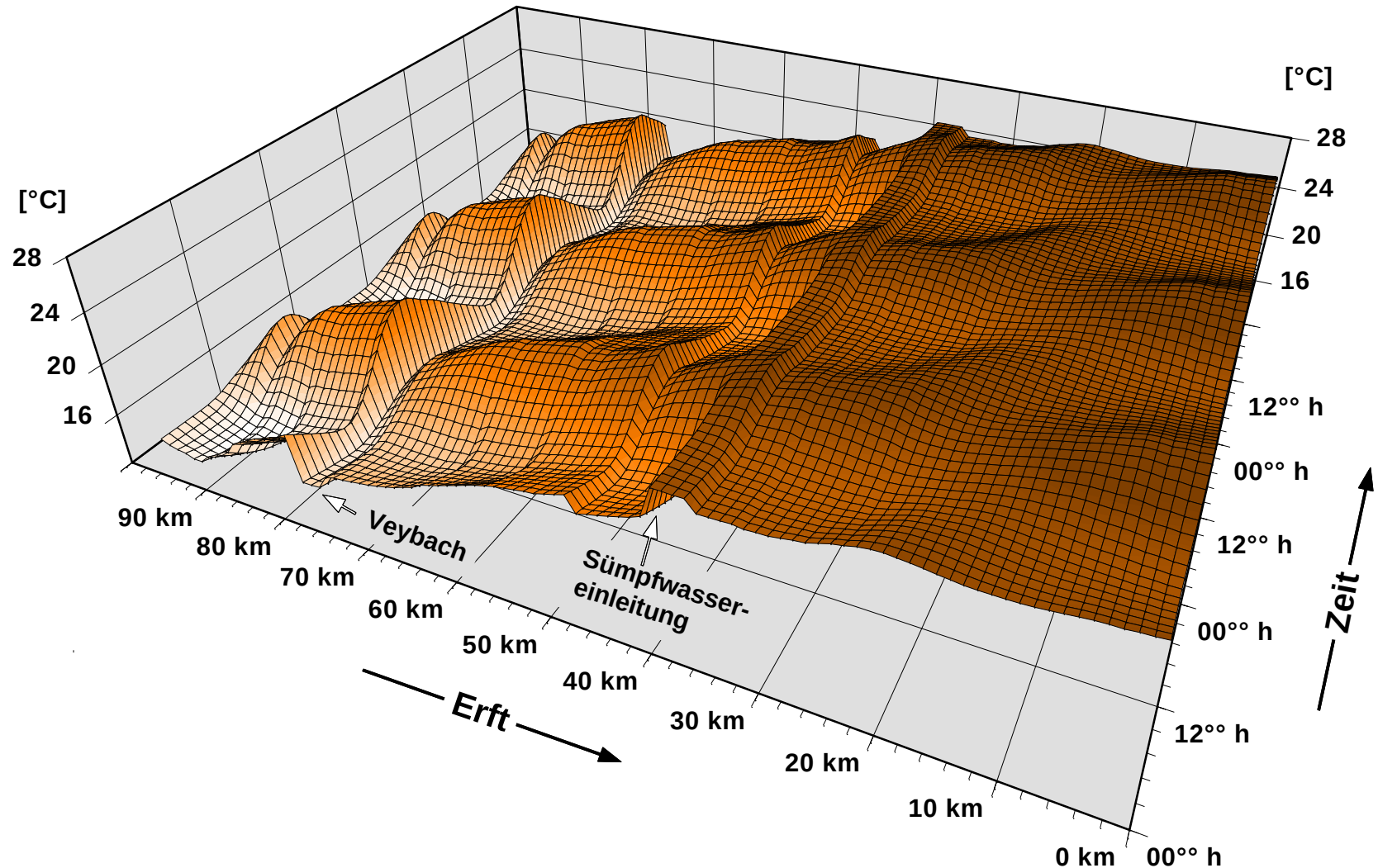
Beschattungsabschnitte

Gewässerstrecke mit Versickerung



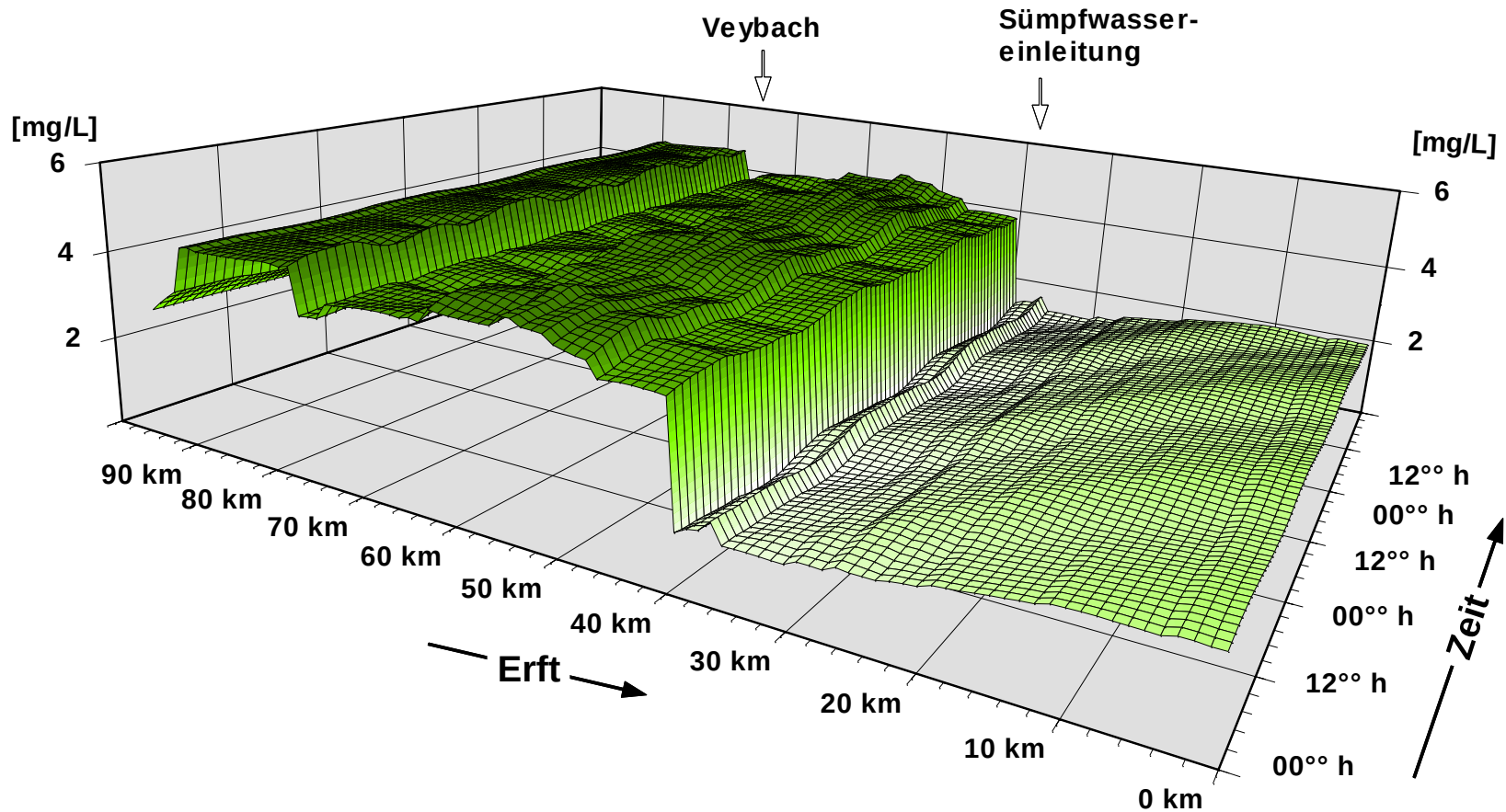
Modellberechnung: Wassertemperatur der Erft

- Sommerlastfall -



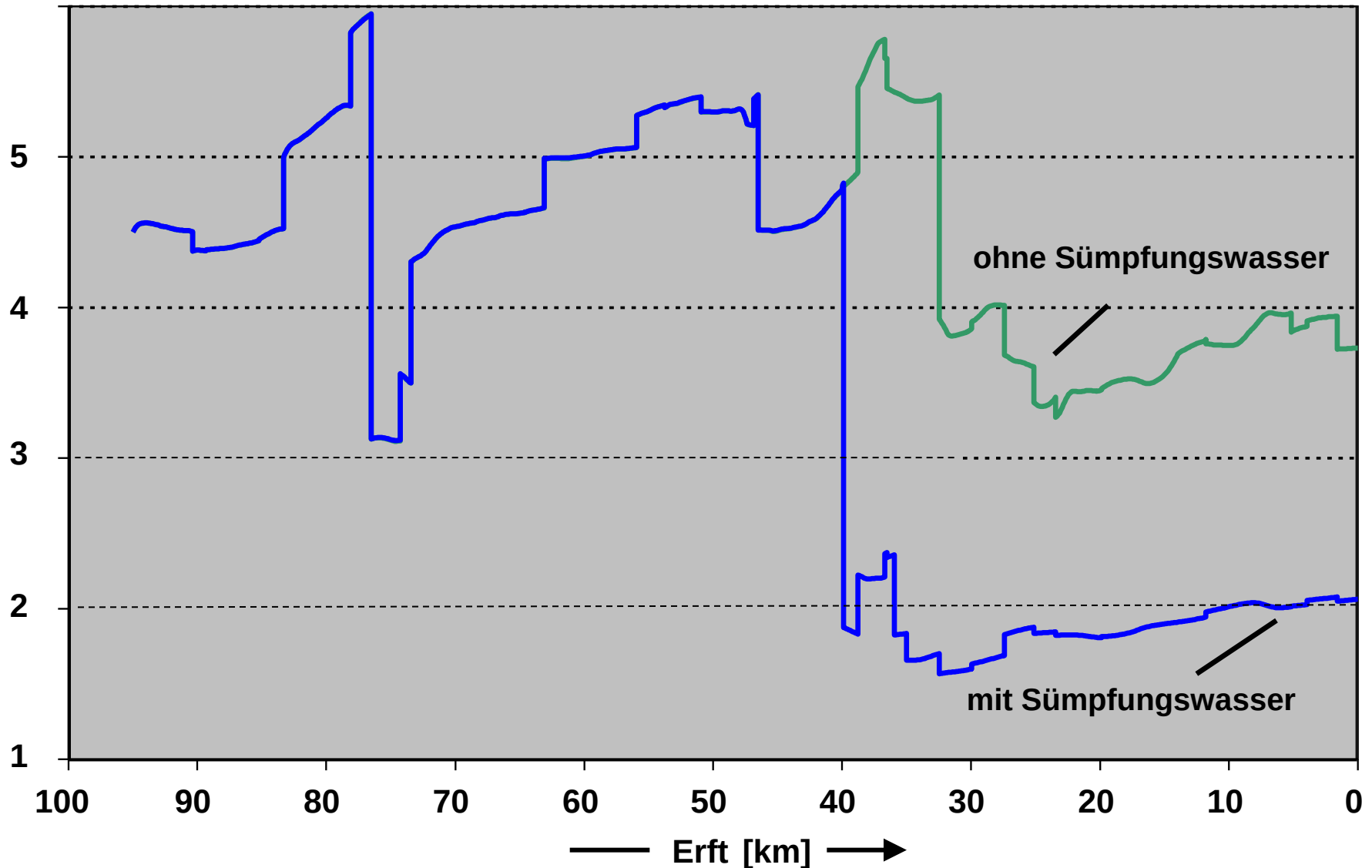
Modellberechnung: Nitratstickstoff der Erft

- Sommerlastfall -



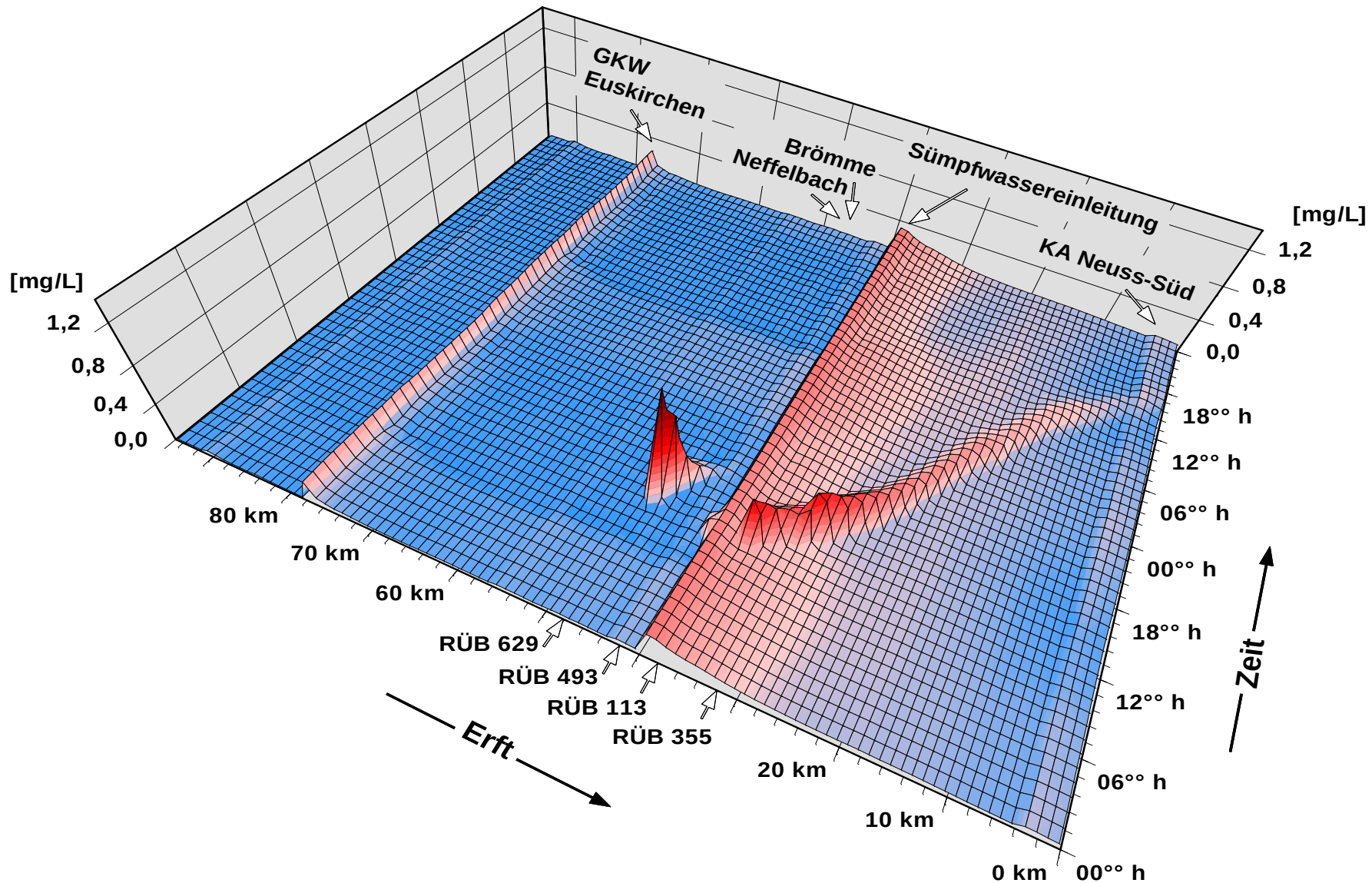
Modellberechnung: Nitratstickstoff der Erft

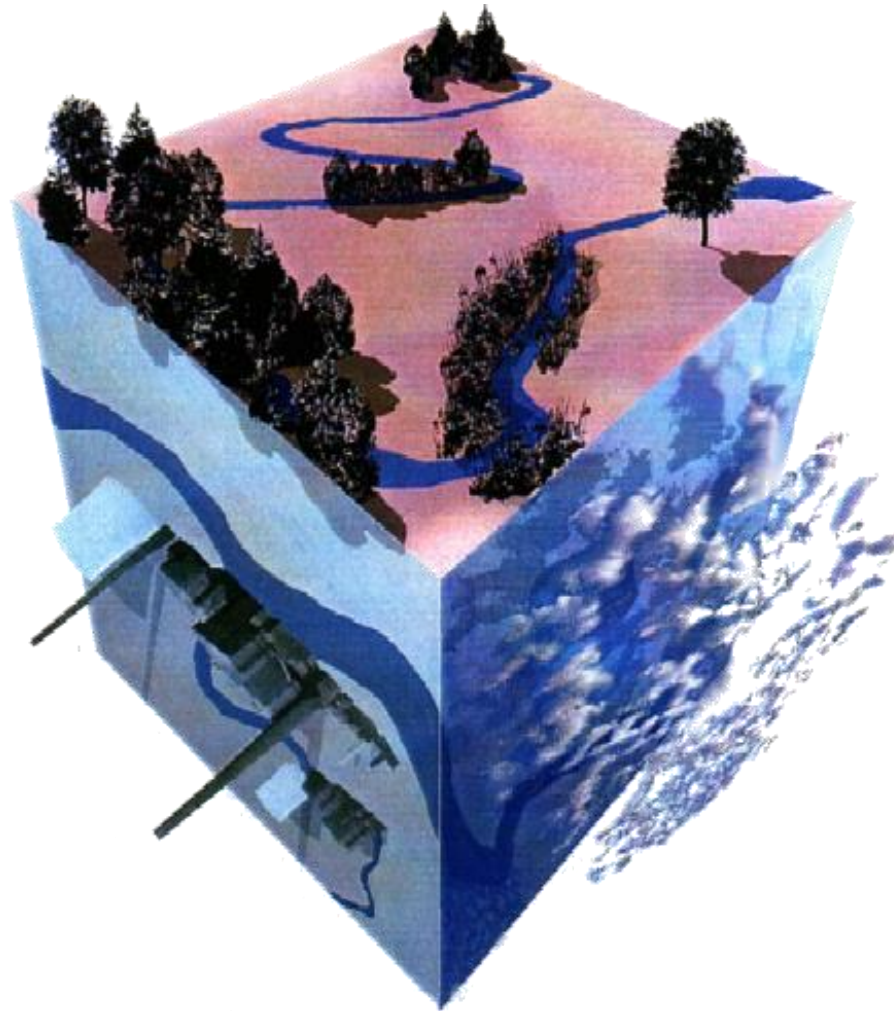
Nitratstoffgehalt [mg/L]



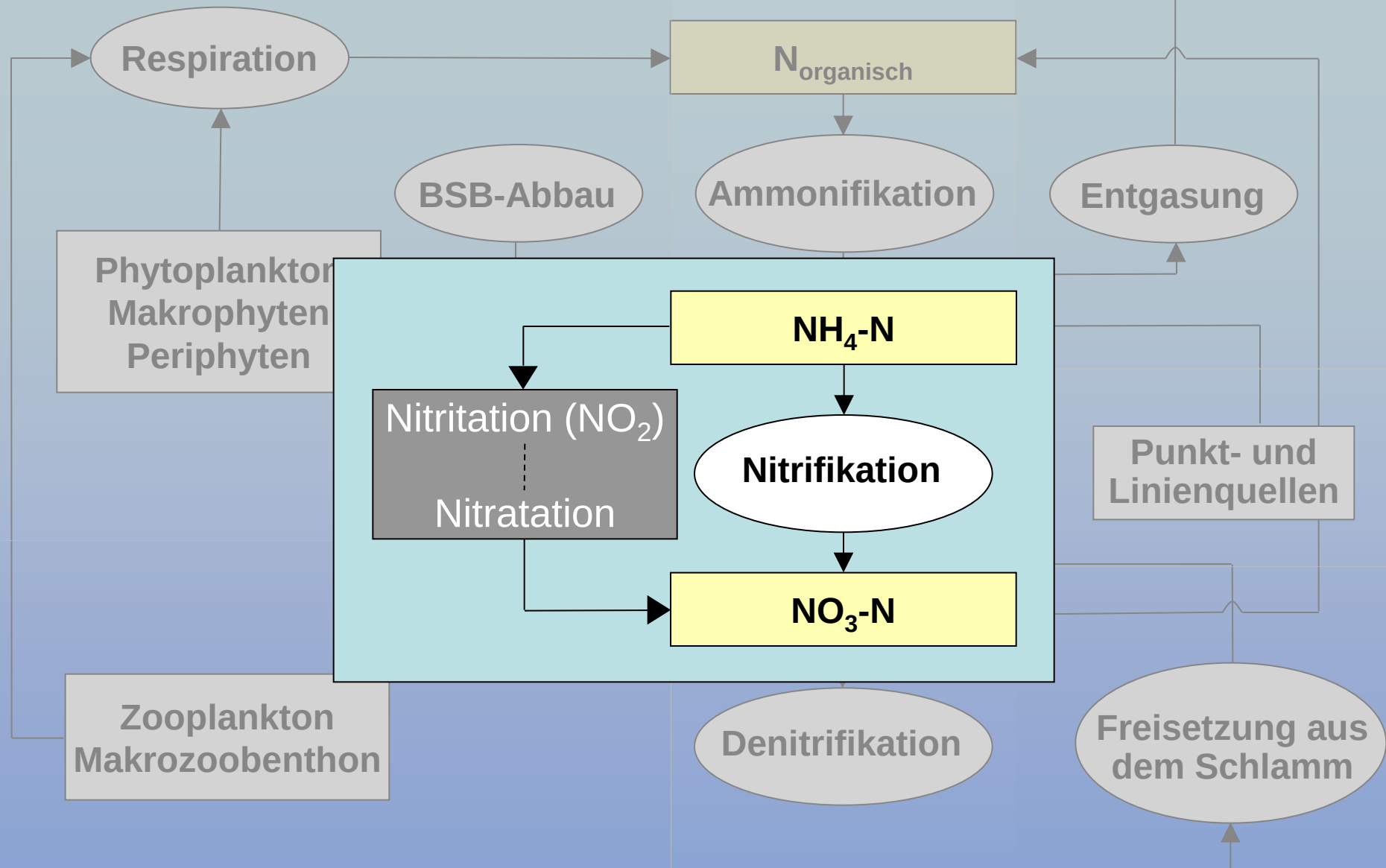
Ergebnisse:

Sommer- / Niederschlagszenario, Beispiel Ammoniumstickstoff



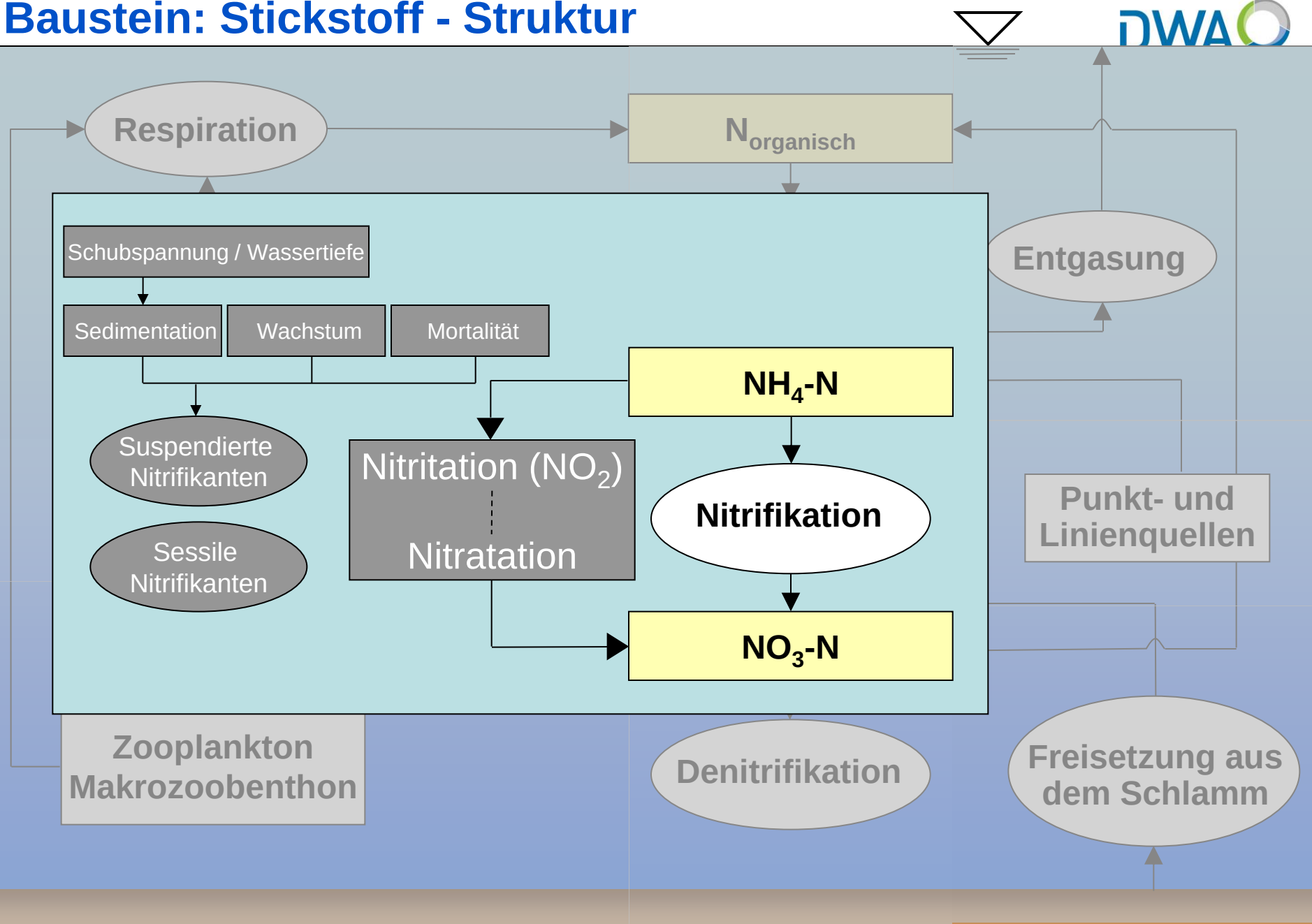


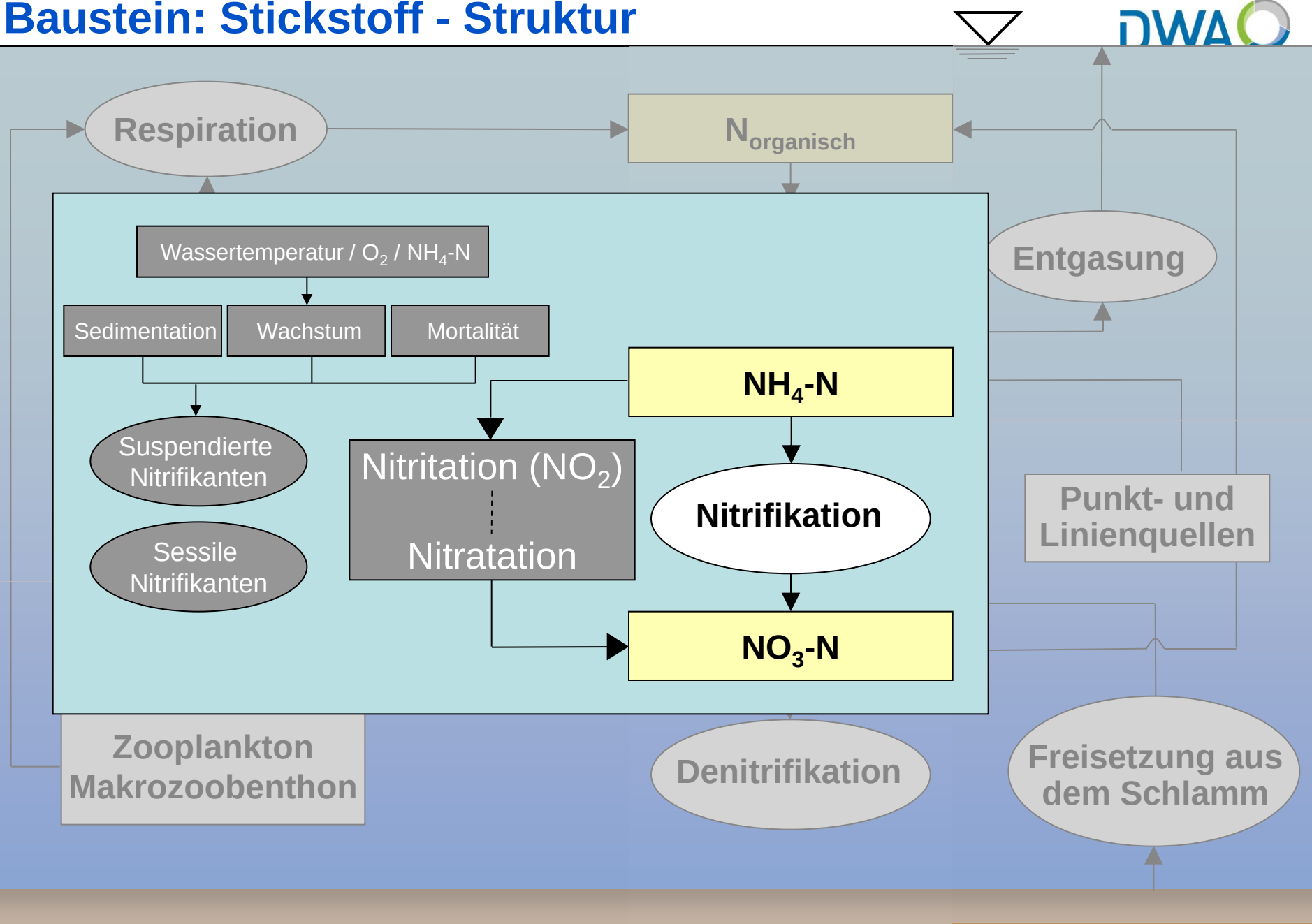
DWA AG GB-1.4 „Modellrechnungen in der Wassergütewirtschaft“

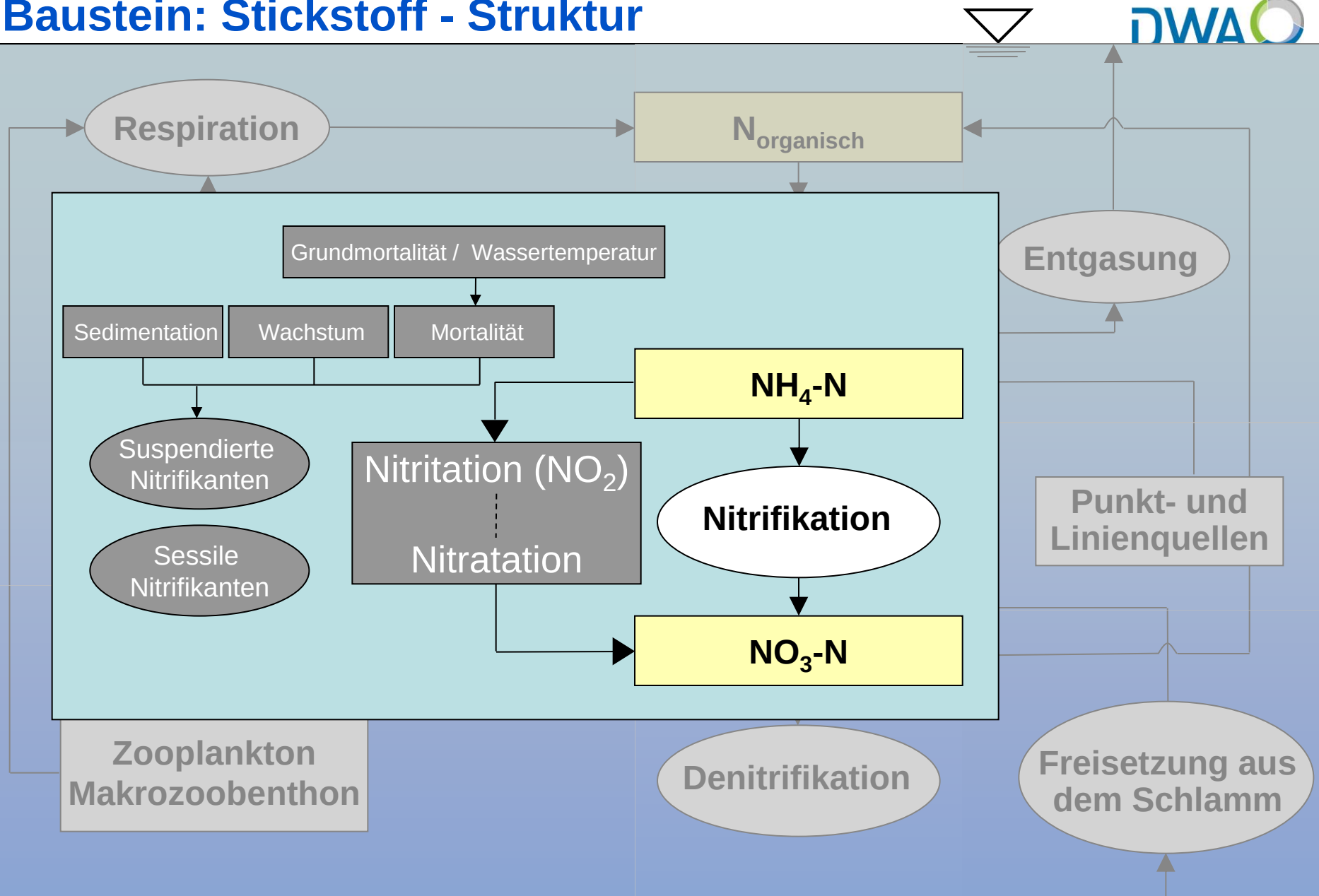


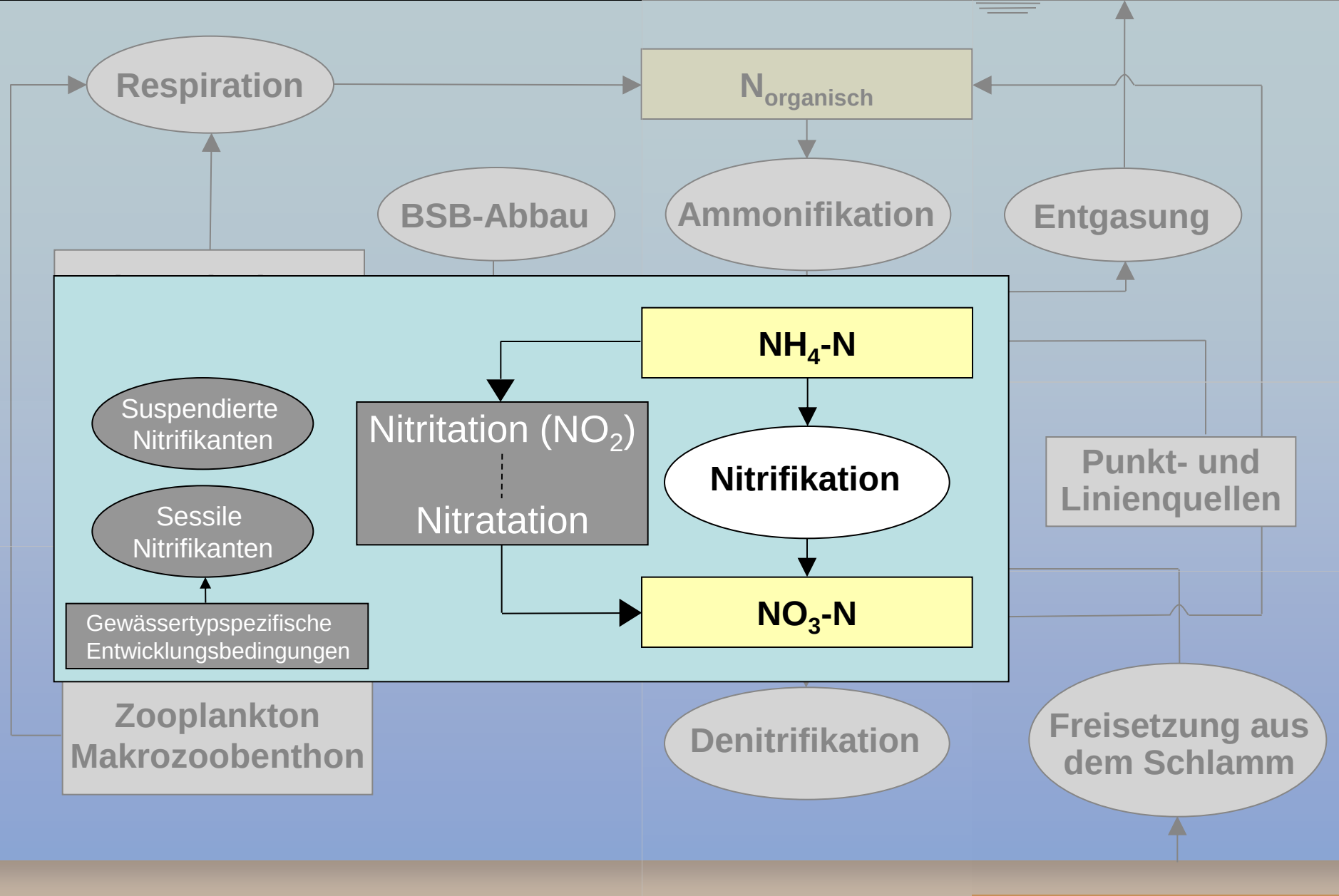


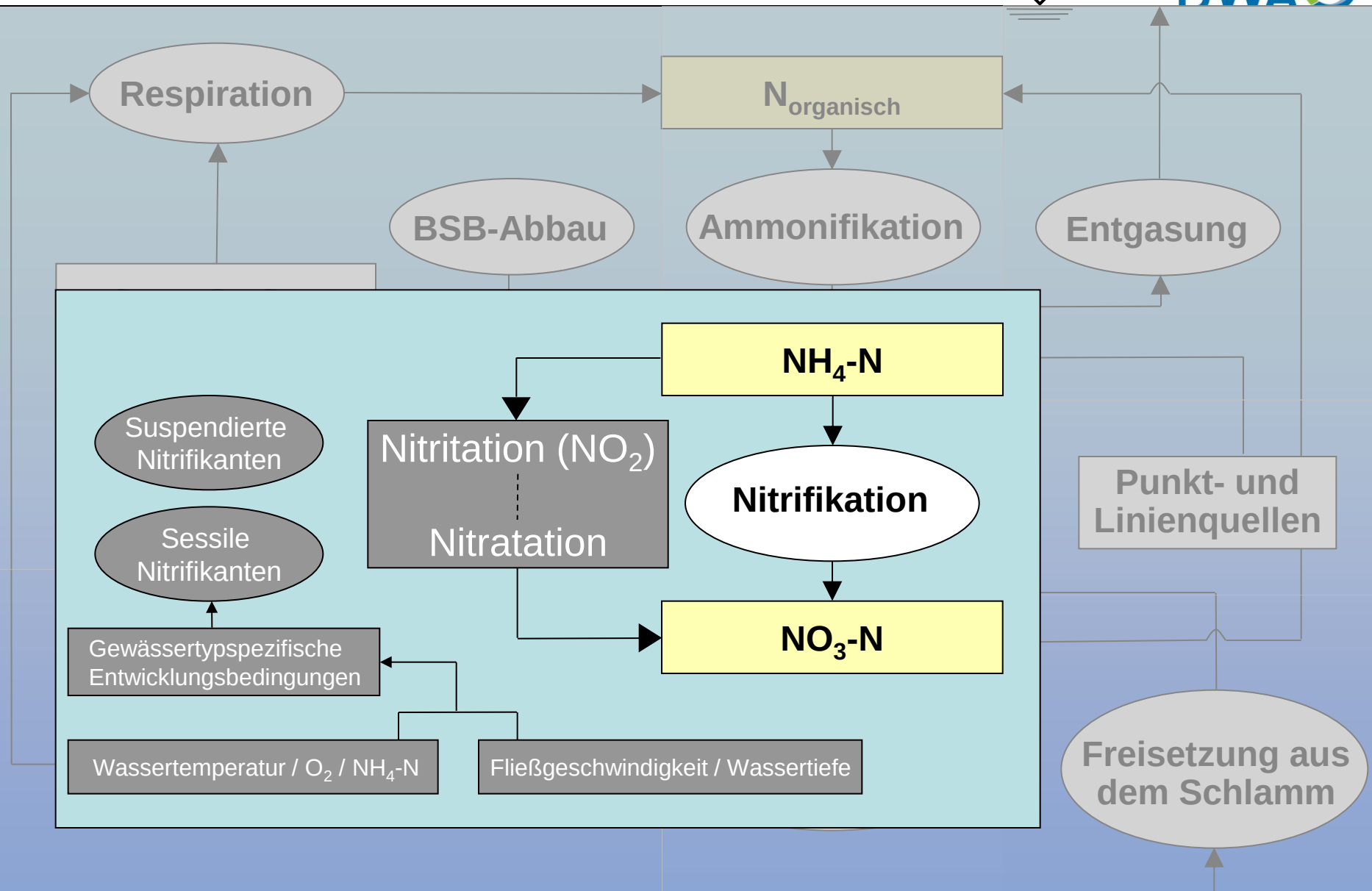


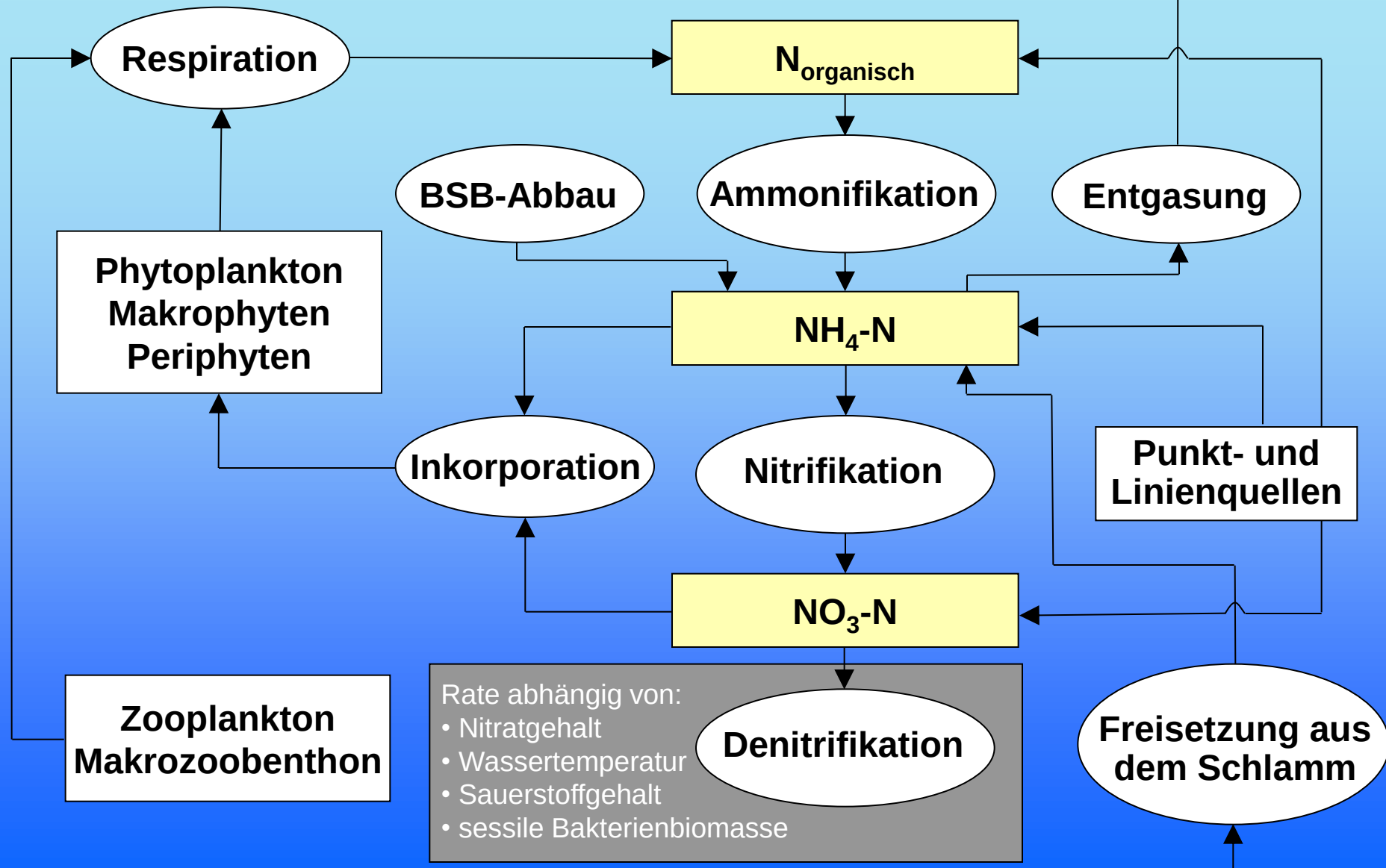








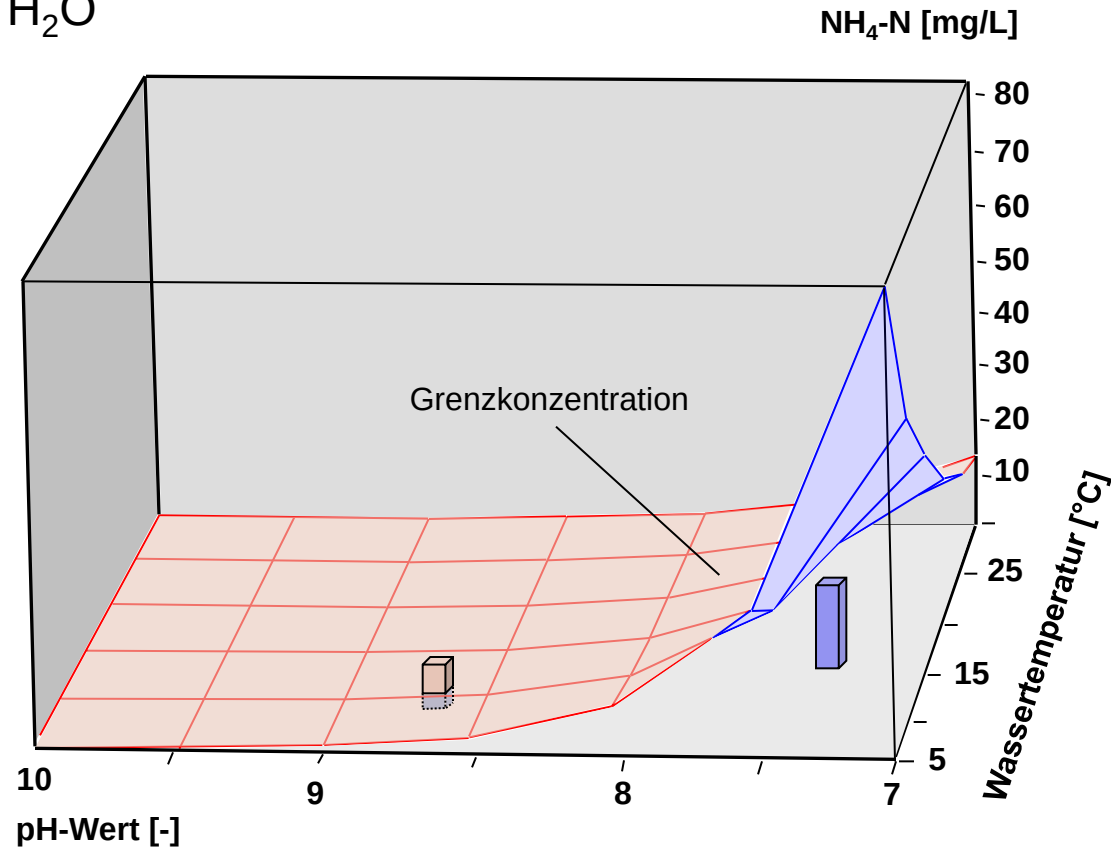
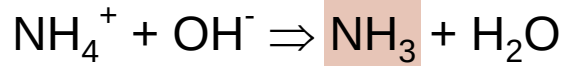






Baustein: Stickstoff

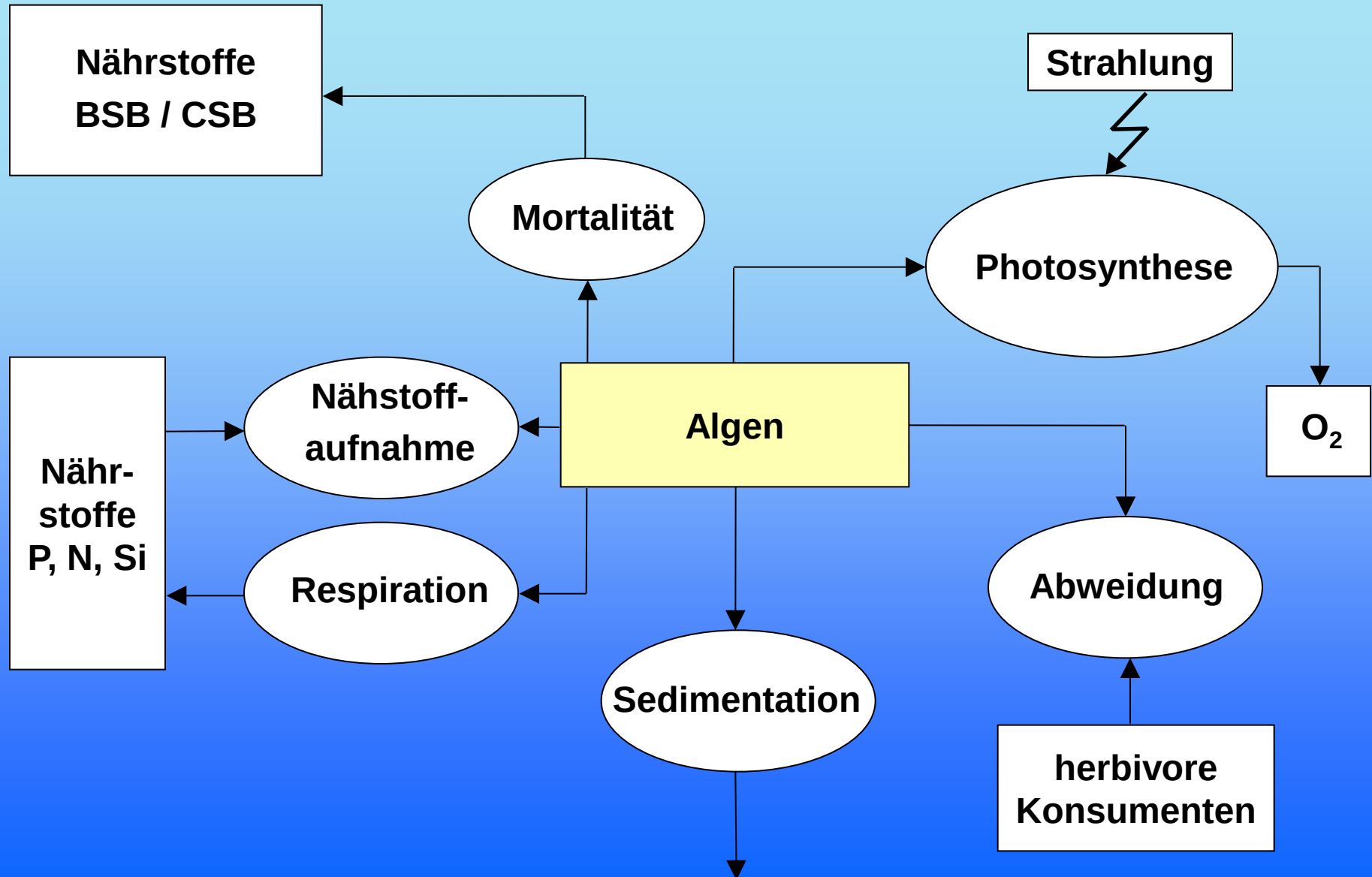
$\text{NH}_4\text{-N}$ Grenzkonzentration für fischgiftige Wirkung von NH_3 (0,1 mg/l)



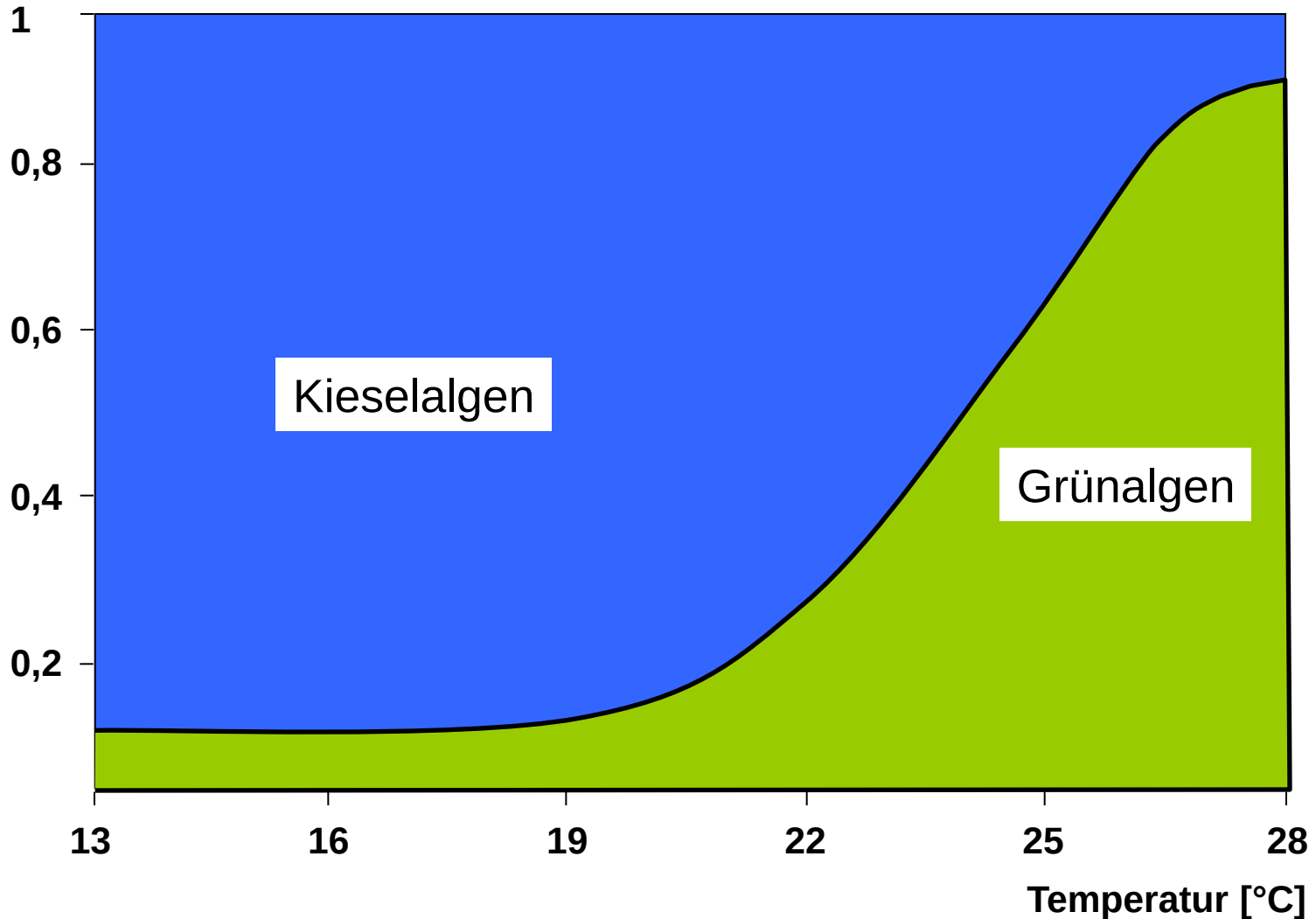
$$\text{NH}_3 = \frac{0,94412 \times \text{NH}_4\text{-N}}{1 + 10^{0,0925 + \frac{2728,795}{W_t + 273,15} - \text{pH}}}$$

NH_3 = Ammoniakanteil
 W_t = Wassertemperatur

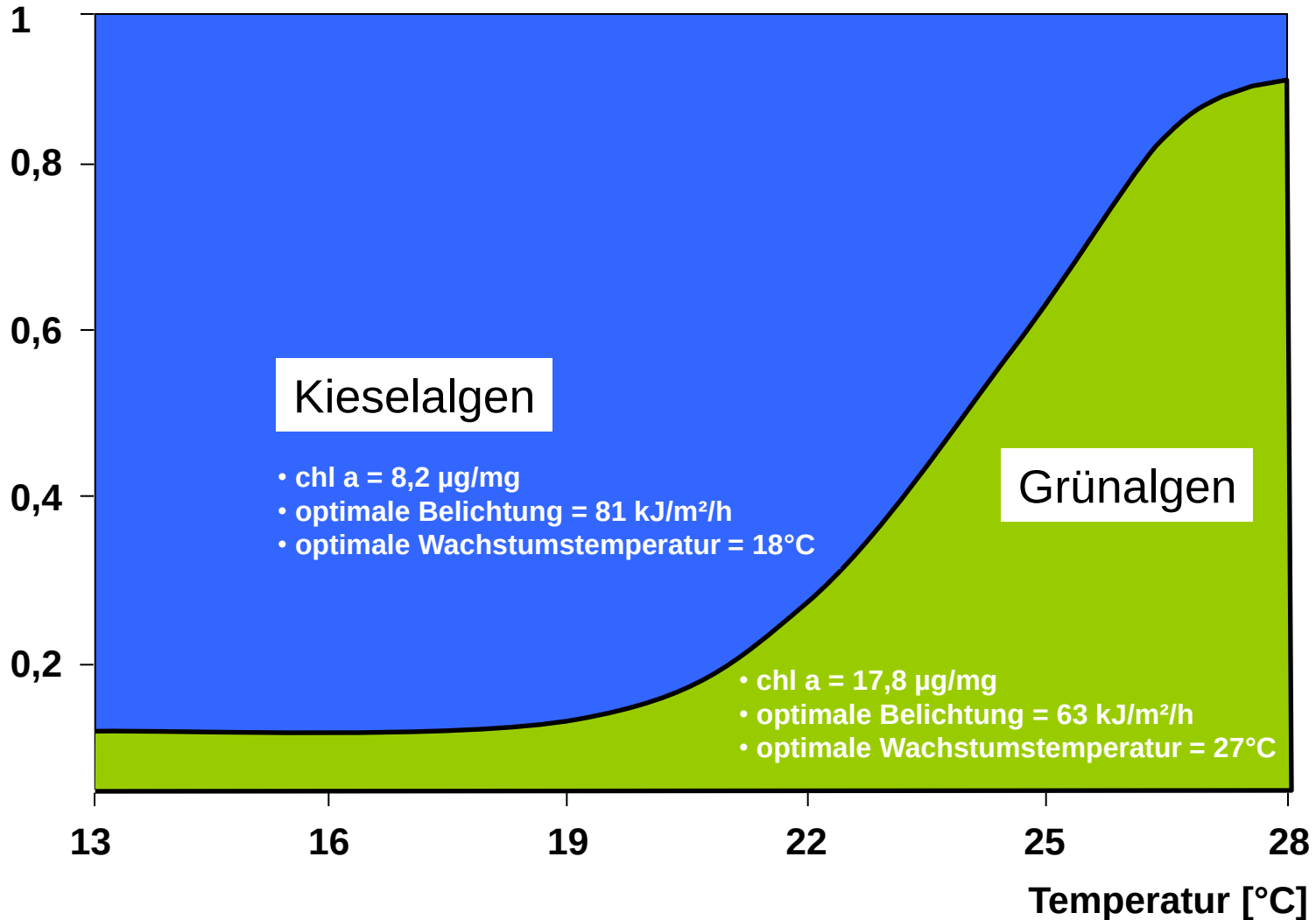
.	Restverschmutzung									
	gering		mäßig		mittel		groß		sehr groß	
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne				
	Denitrifikation		Denitrifikation		Denitrifikation					
NH ₄ -N										
von - bis	<1		1 - 3		3 – 8		8 - 15	15 - 30	30 - 40	>40
Mittel	1		3		6		12	25	35	60
NO ₃ -N										
von - bis	<5	5 - 10	5 - 15	>10	<10	<10				
Mittel	3	7	7	10	3	9	1	1	1	1
N _{org}										
von - bis	<1		1 - 2		2 – 5		5 - 8	8 - 15	15 - 30	>30
Mittel	1		2		3		5	8	25	40
Σ N	5	9	12	15	12	18	18	>30	>60	>100
	≤ Mindestanforderung (§ 7a WHG)							> Mindestanforderung		



Anteil Chlorophyll a



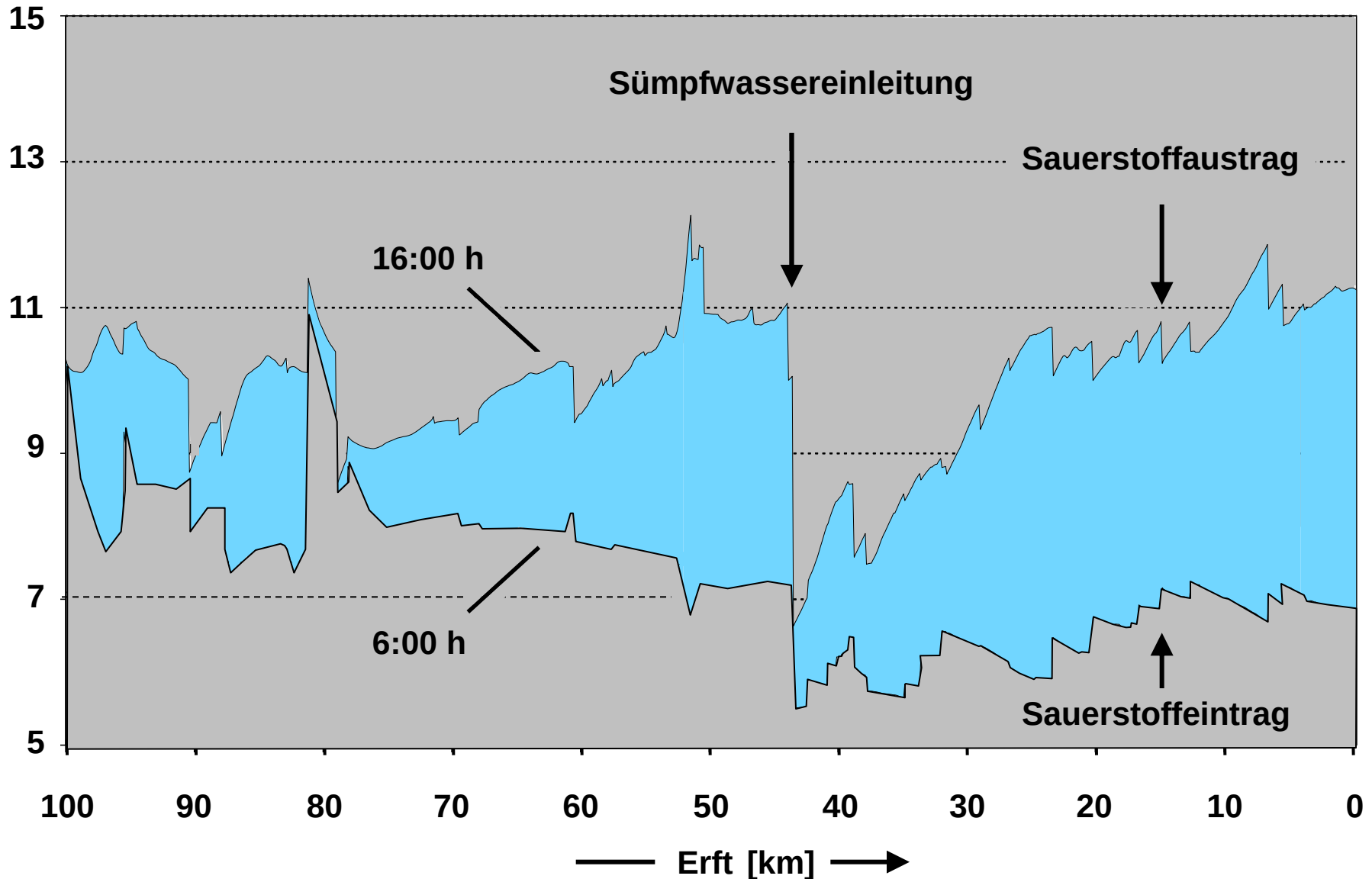
Anteil Chlorophyll a



Modellberechnung: Status Quo – Sauerstoffgehalt der Erft

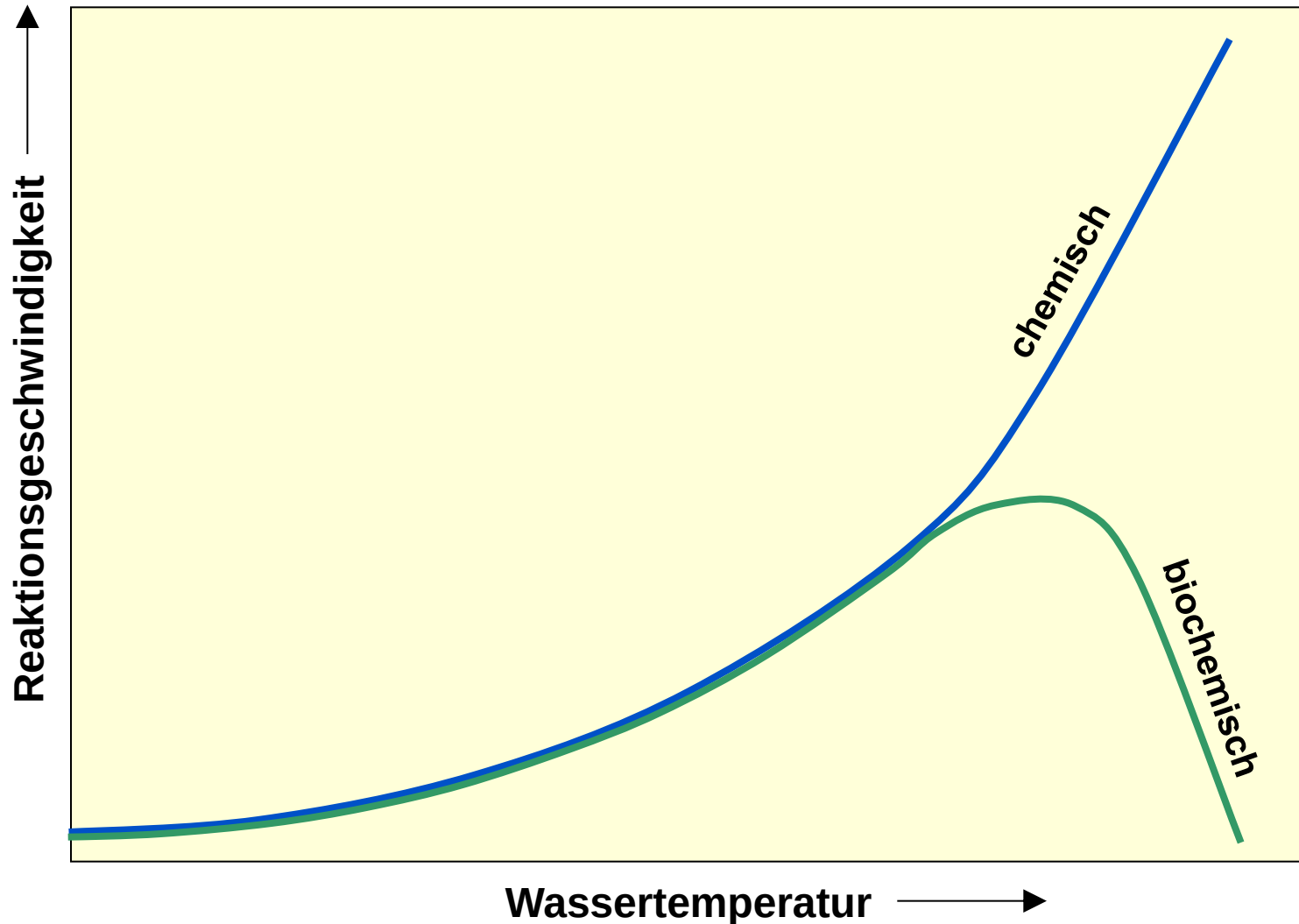
Sauerstoffgehalt [mg/L]

- Sommerlastfall -



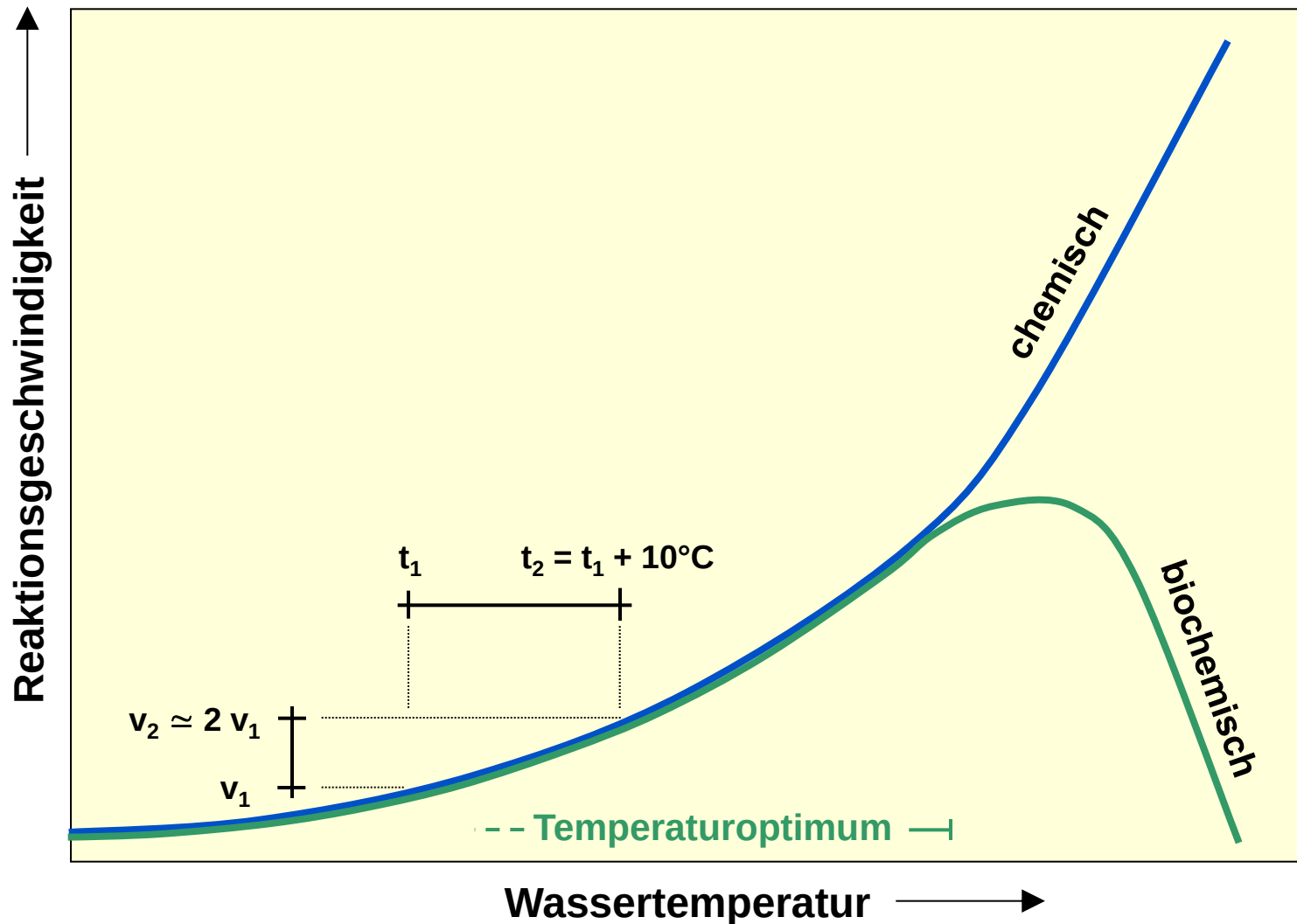
Baustein Wassertemperatur:

Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen
in Abhängigkeit von der Wassertemperatur



Baustein Wassertemperatur:

Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen
in Abhängigkeit von der Wassertemperatur

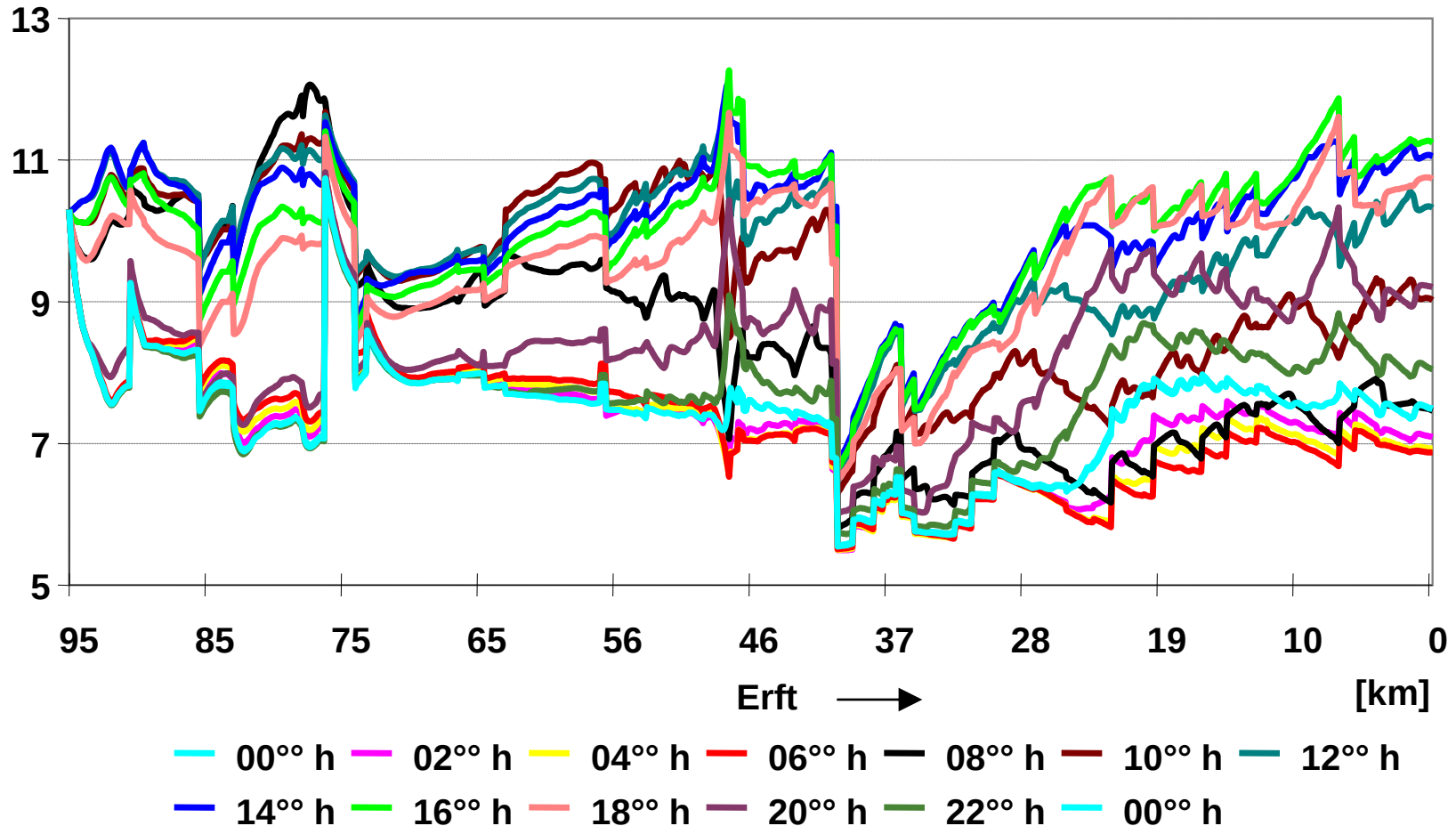


1. Zielsetzung und Anwendungsbereich
(Ereignis / Kontinuum, Detailgrad, Zeitperiode, Stoffgruppe)
2. Stoffumsatzprozesse
(Freisetzung, Transport, Dispersion, Diffusion, Reaktion, Adsorption, Desorption, Akkumulation)
3. Prozessabbildung, Systemabbildung
(Mathematische Formulierung, Programmiersprache)
4. Datenmanagement
(Bedarf, Analyse, Archivierung)
5. Verifikation (Prozessdarstellung), Kalibrierung (Parameterfitting)
6. Sensitivitätsanalyse
(Variation Eingabeparameter / Korrelation Ausgabeparameter)
7. Validierung
(Vergleich Messdaten / Berechnungsergebnisse)
8. Unsicherheitsanalyse
(Statistische Verfahren)
9. Dokumentation

Modellberechnung: Status Quo – Sauerstoffgehalt der Erft

- Sommerlastfall -

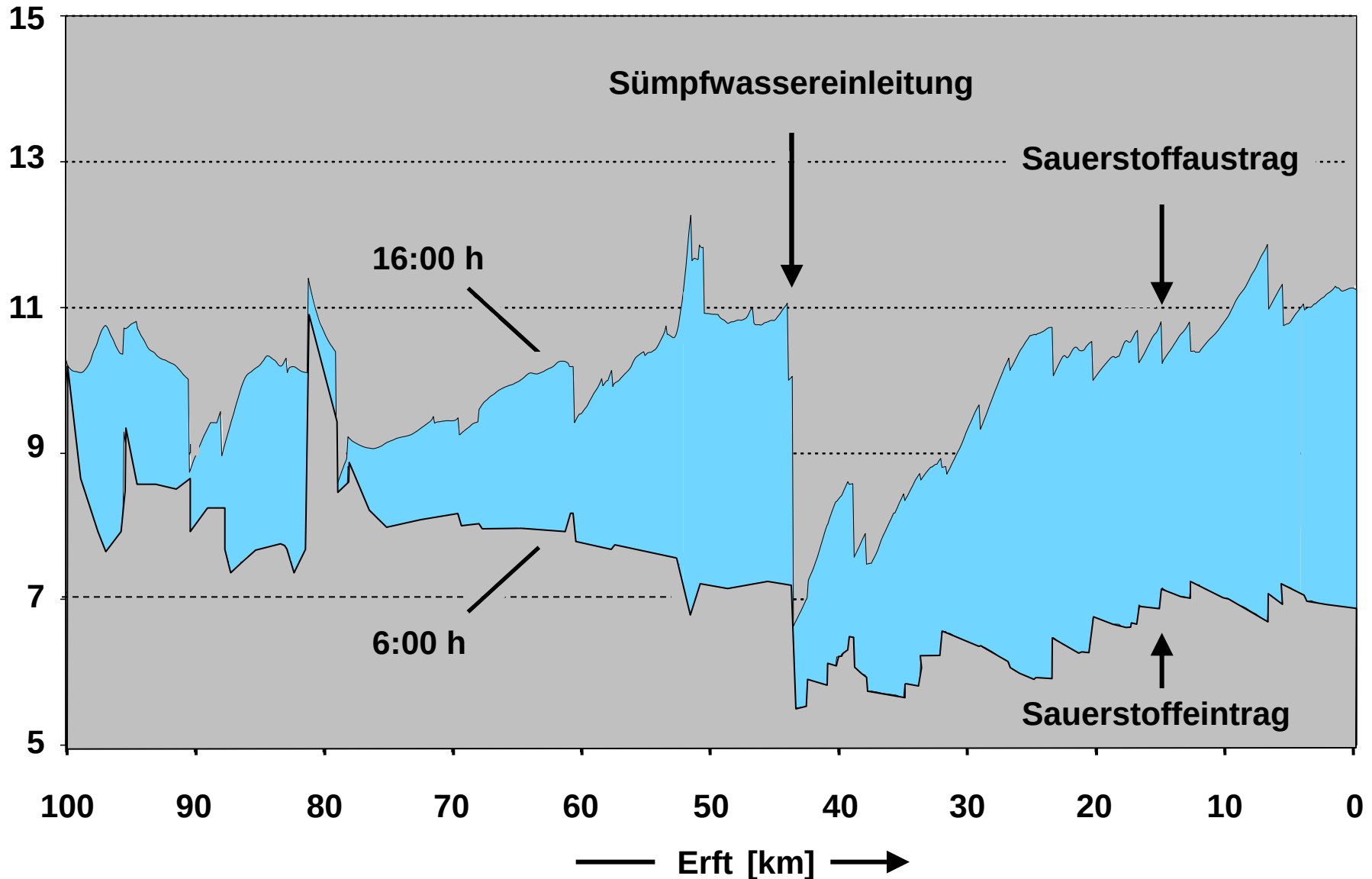
Sauerstoffgehalt [mg/L]



Modellberechnung: Status Quo – Sauerstoffgehalt der Erft

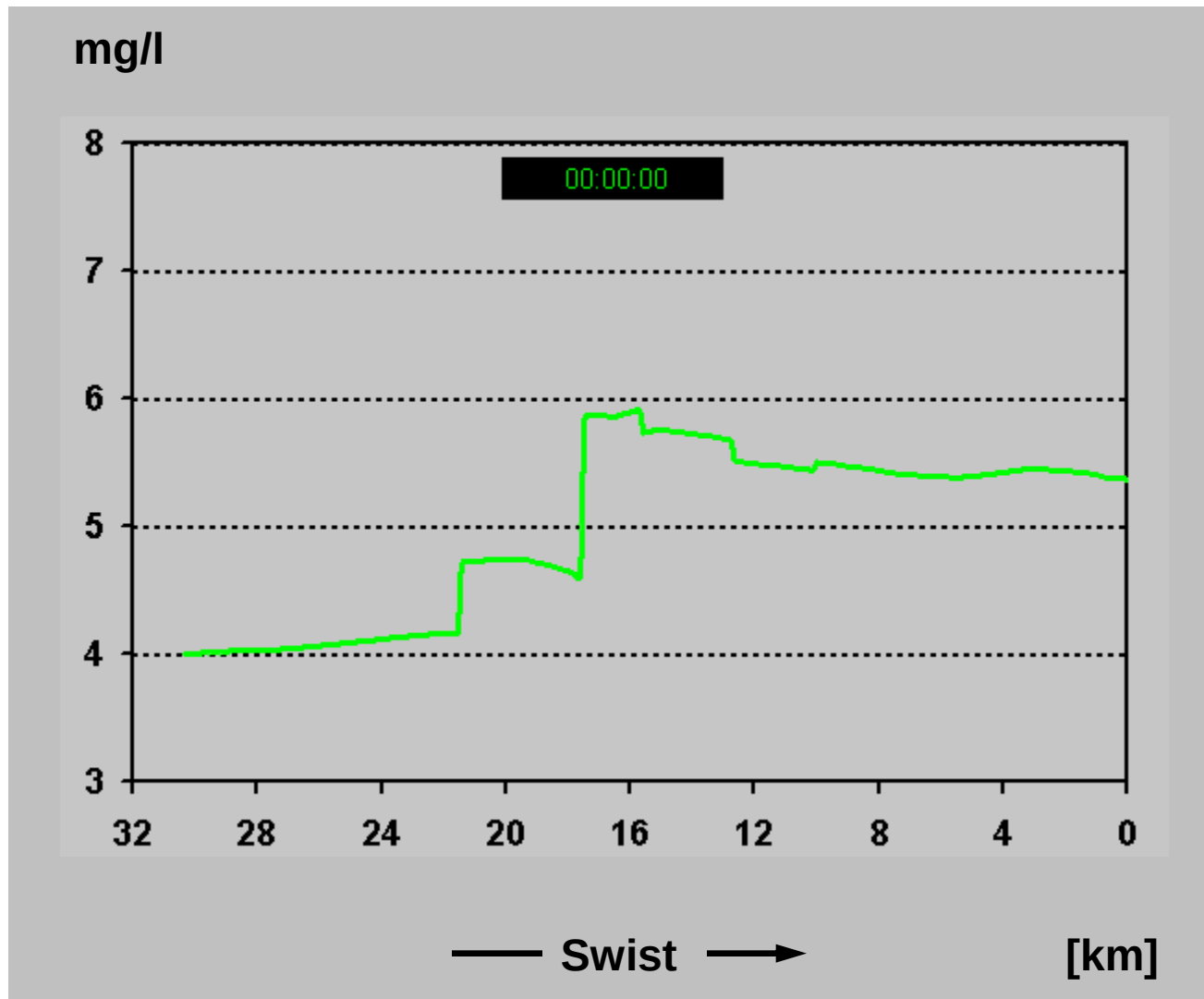
Sauerstoffgehalt [mg/L]

- Sommerlastfall -



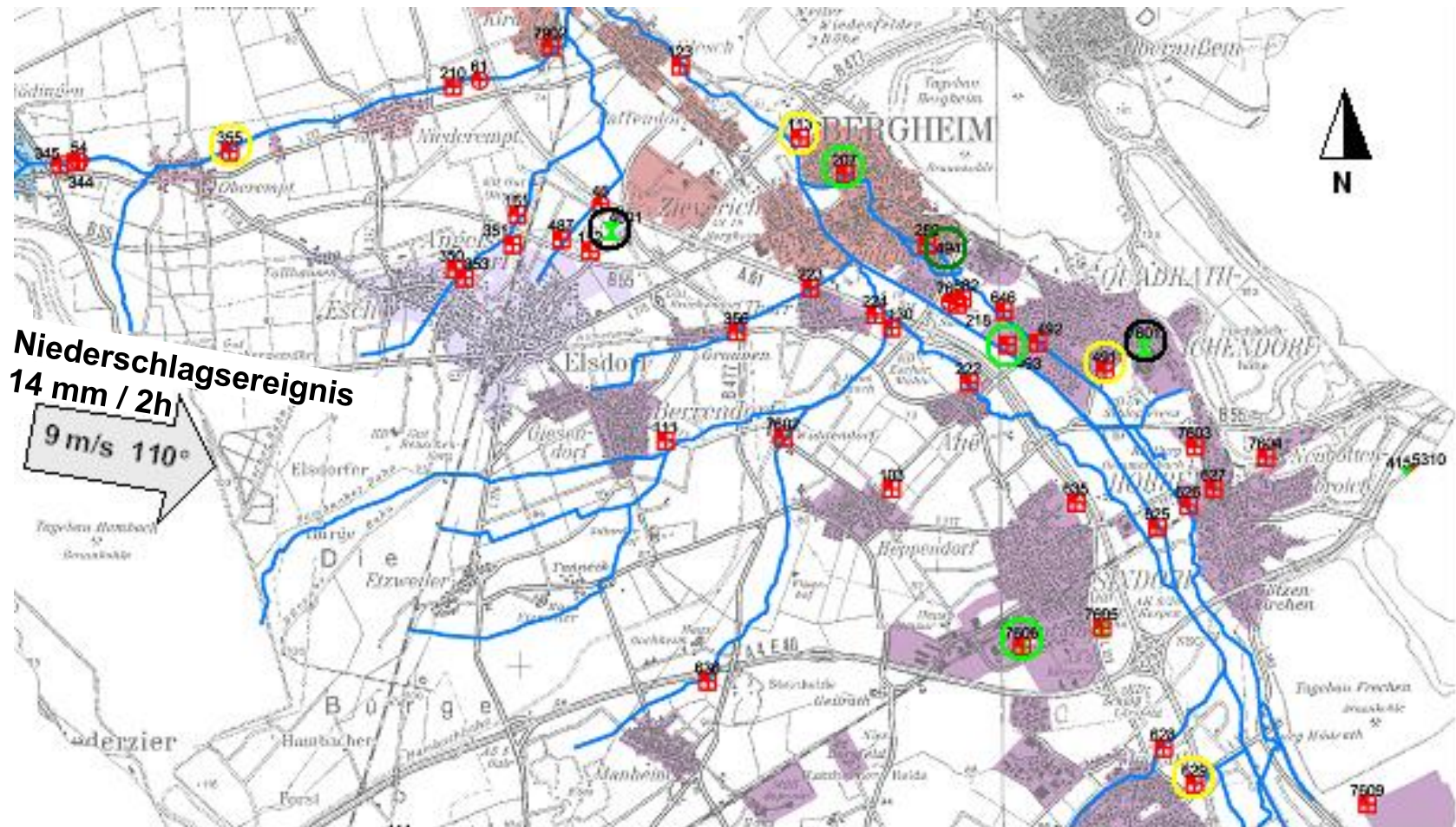
Ergebnisse:

Sommer- / Trockenwetterszenario Beispiel Nitrat



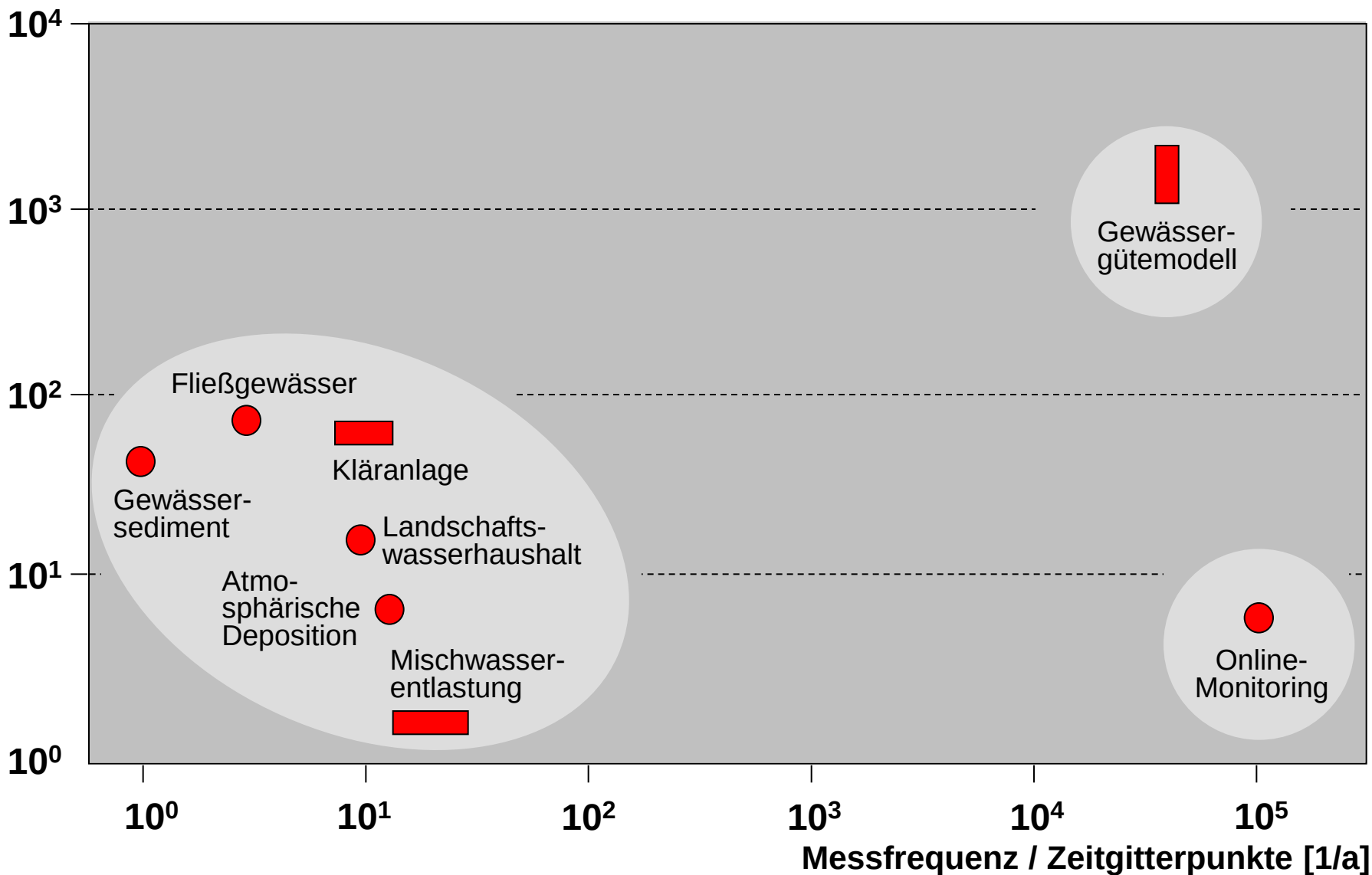
Ergebnisse: Niederschlagsinduzierte Modellierung

Niederschlagszenario, Typ und Lage der Entlastungsanlagen im Überregnungskorridor Bergheim im Mittellauf der Erft



- Oberflächenabfluss
- ⊗ Regenklärbecken
- ⊞ Regenüberlaufbecken mit
- geringer Entlastung
- ⊗ mäßiger
- ergiebiger

Anzahl Probestellen / Ortsgitterpunkte [n]



DWA-Gewässergütemodell:

Berücksichtigung der Fließverluste (Stricklerwerte k_{ST})

Integralparameter zur Berücksichtigung der Fließverluste aus

- Rauheit der Gerinnewandung
- Transportkörper an der Gewässersohle
- Vegetation
- Um- bzw. Überströmen von Buhnen
- Aufweitung bzw. Änderung der Querschnittsform
- Sekundärströmung in Krümmungen
- Trennflächenrauheiten zwischen Flussschlauch und Vorland

Beschaffenheit	k_{ST}
Feinsand	50
Mittlerer Kies	40
Grobkies	35
Stark verkrautet	25

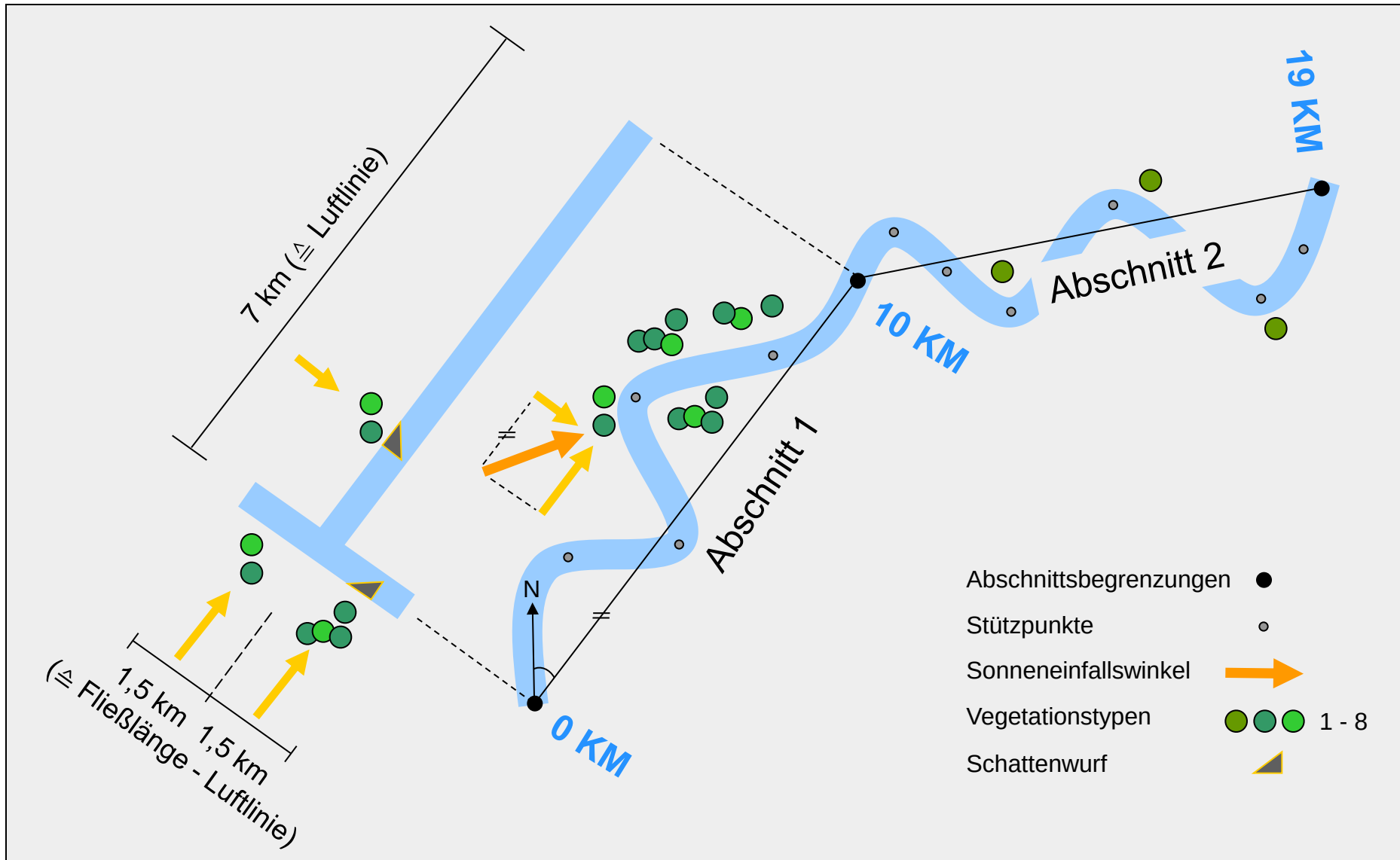
DWA-Gewässergütemodell:

Anwendungsbereiche der Gewässergütesimulation

- Daten- und Systemanalyse**
- Wirkungsanalyse für Planungszwecke**
- Analyse des Verhaltens umweltrelevanter Stoffe**
- Grundlage für die Entwicklung von Bemessungs-, Steuerungs- und Bewirtschaftungsregeln**
- Operationeller Einsatz in Alarmplänen**

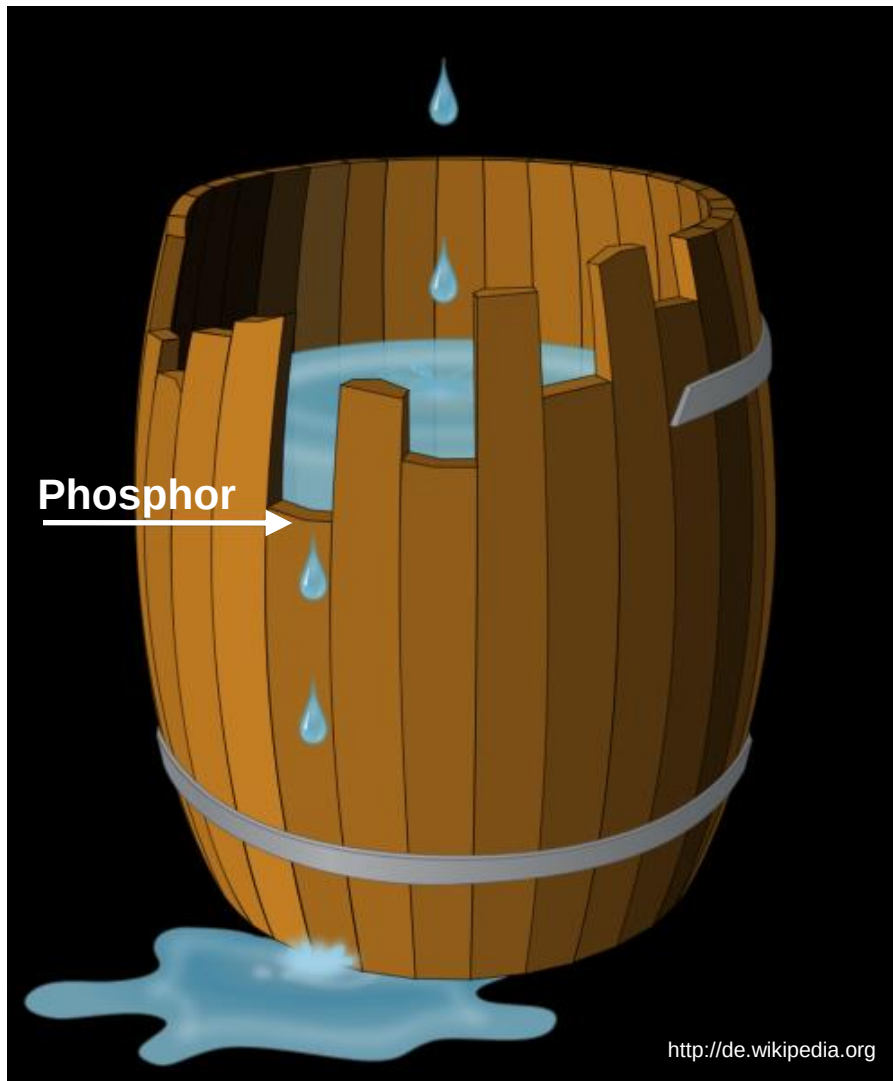
Baustein: Strahlung

Uferbegleitende Vegetation und Abschattung



Baustein: Phosphor

Gesetz vom Minimum



Minimumgesetz:

Wachstum von Pflanzen wird durch die knappste Ressource eingeschränkt. Diese Ressource bezeichnet man als Minimumfaktor.

DIP $\triangleq$ dissolved inorganic phosphorus
 $\Rightarrow$ unmittelbar algenverfügbar

DOP $\triangleq$ dissolved organic phosphorus
 $\Rightarrow$ inkorporiert in organische Substanz,
 $\Rightarrow$ BSB-Abbau
 $\Rightarrow$ Freisetzung als Orthophosphat
 $\Rightarrow$ algenverfügbar

Umrechnung: $c_{\text{PO}_4\text{-P}} = c_{\text{PO}_4} \times \text{Molare Masse P} / \text{HPO}_4^{2-}$



Eutrophierung:

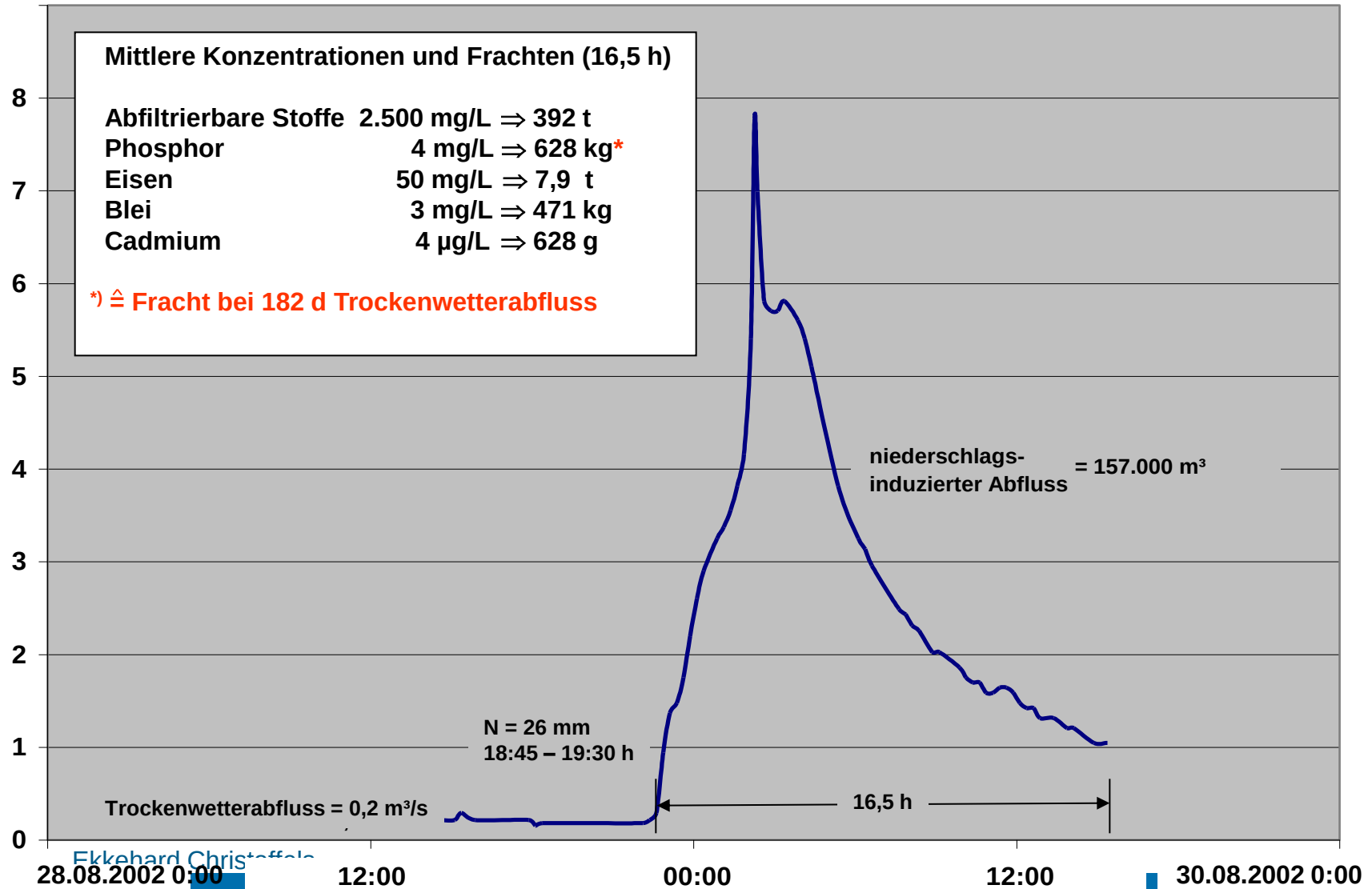
**hohes Nährstoffangebot => starke Verkrautung
(besonders bei ungehemmter Lichteinfall)**

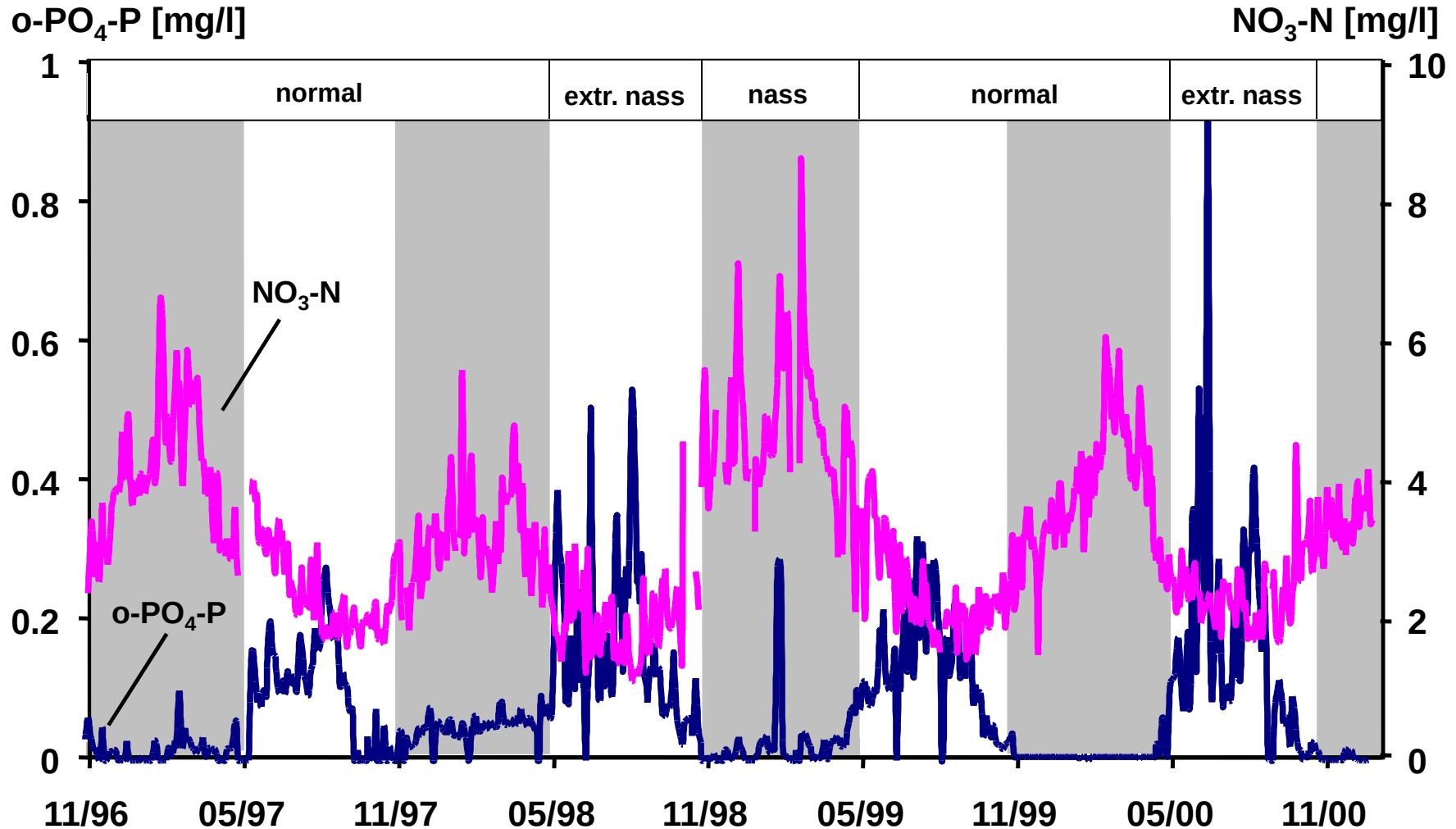
**Absterben der Pflanzen => Abbau der Pflanzenrückstände
=> Sauerstoffzehrung
=> Faulschlamm (giftige Abbauprodukte)**





Wasserabfluss [m^3/s]

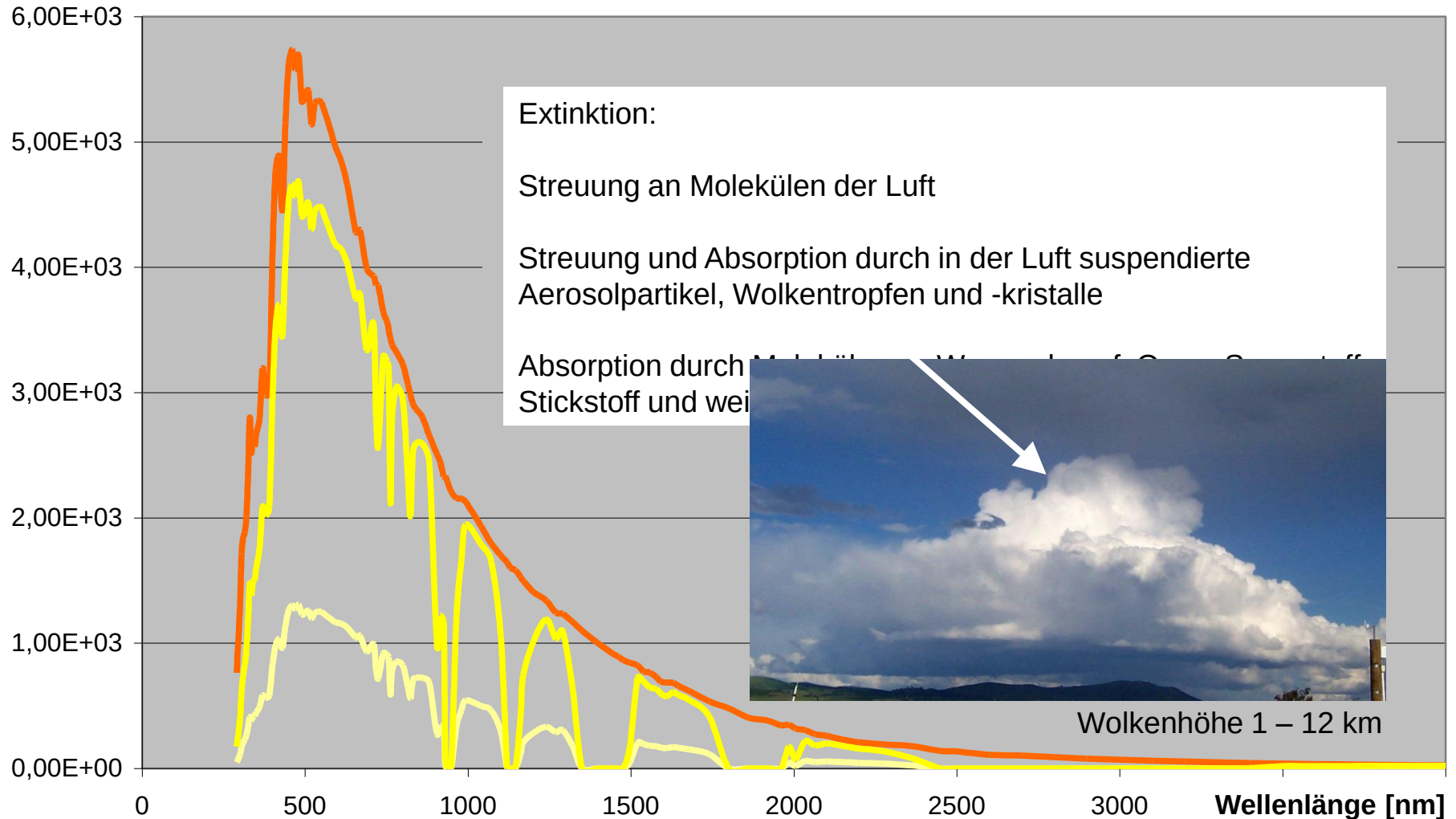




Baustein: Strahlung

Dämpfung der Solarstrahlung durch Extinktion

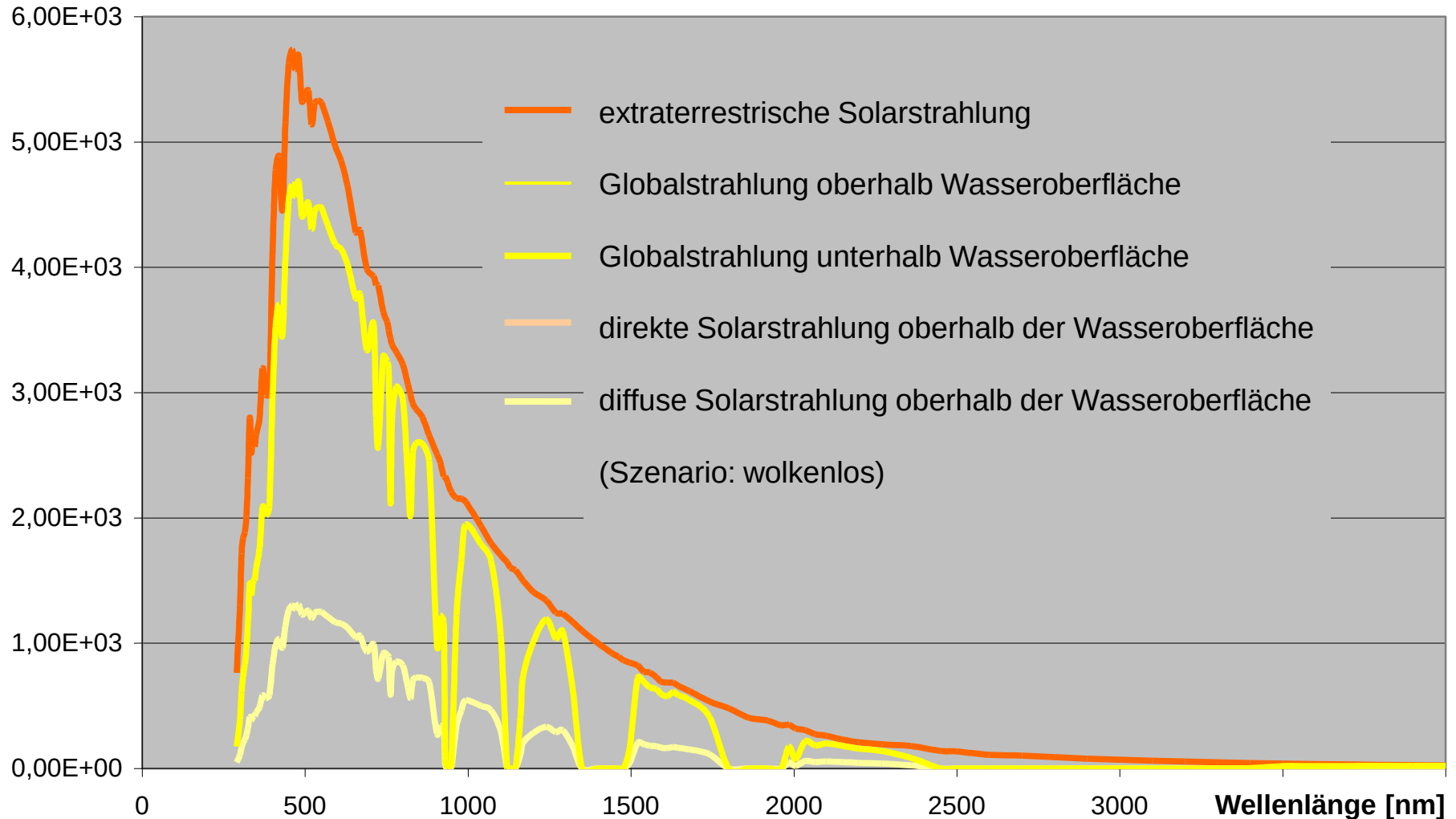
Strahlung [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \times \text{h})$]

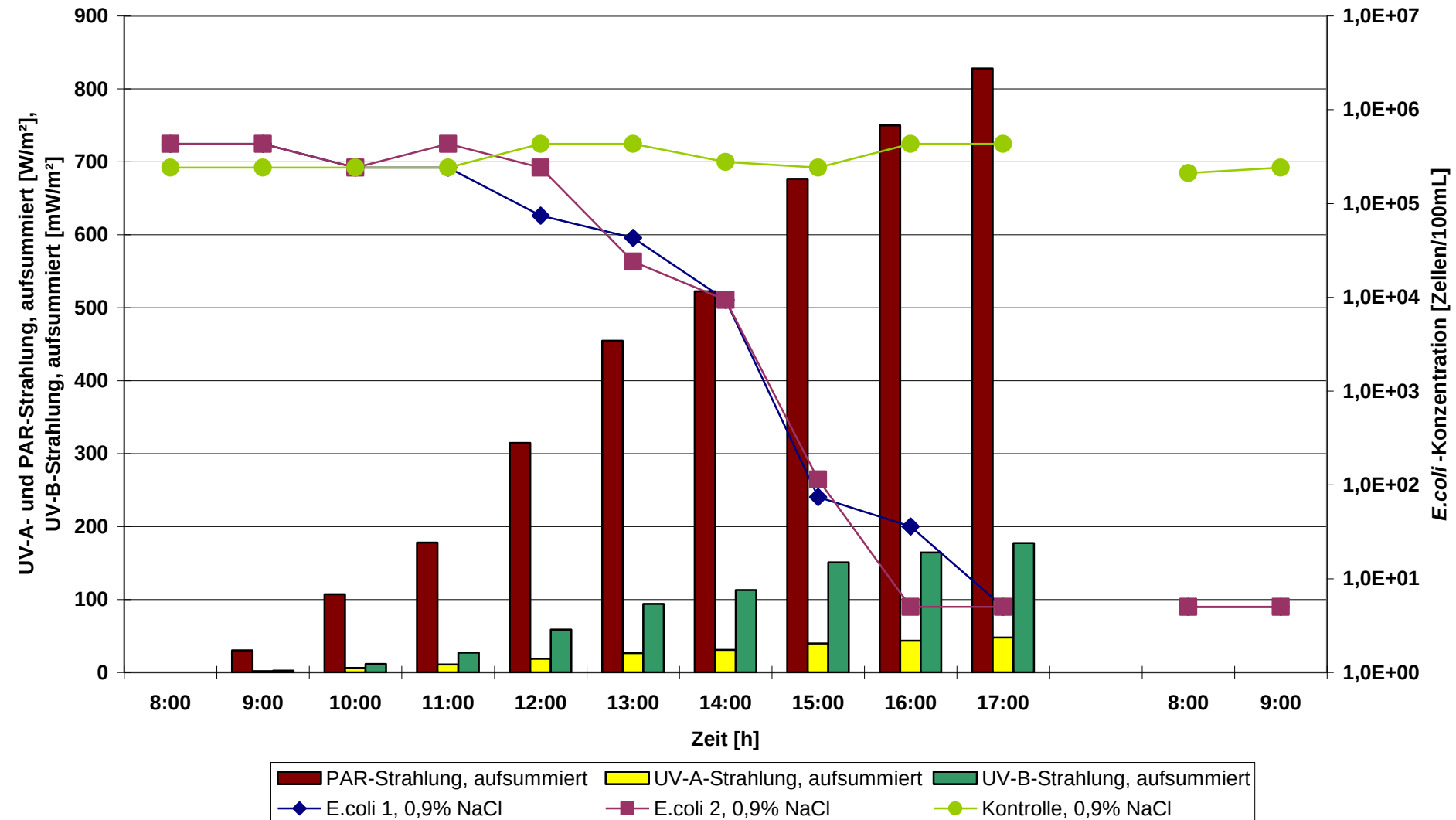


Baustein: Strahlung

Direkte und diffuse Solarstrahlung

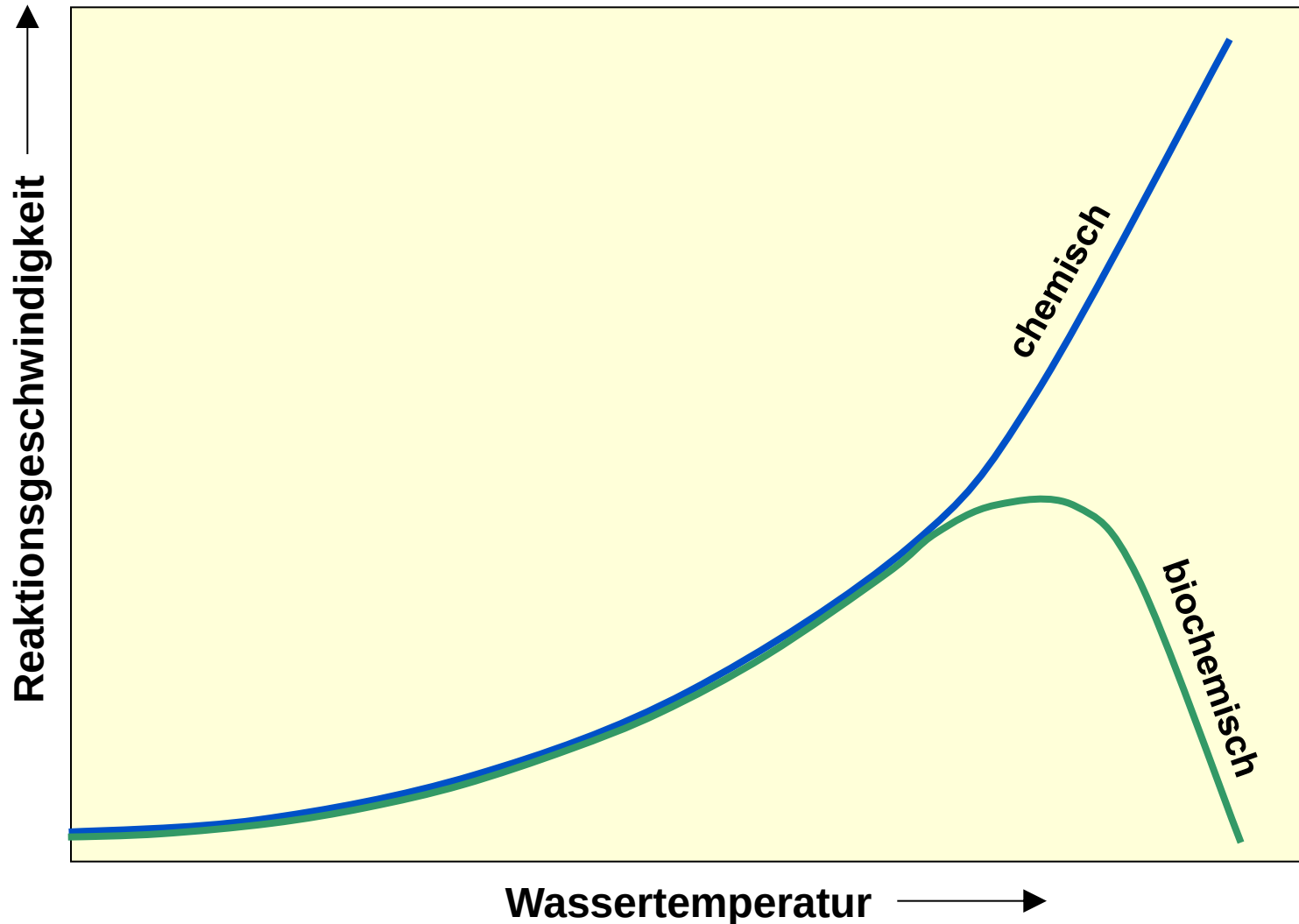
Strahlung [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \times \text{h})$]





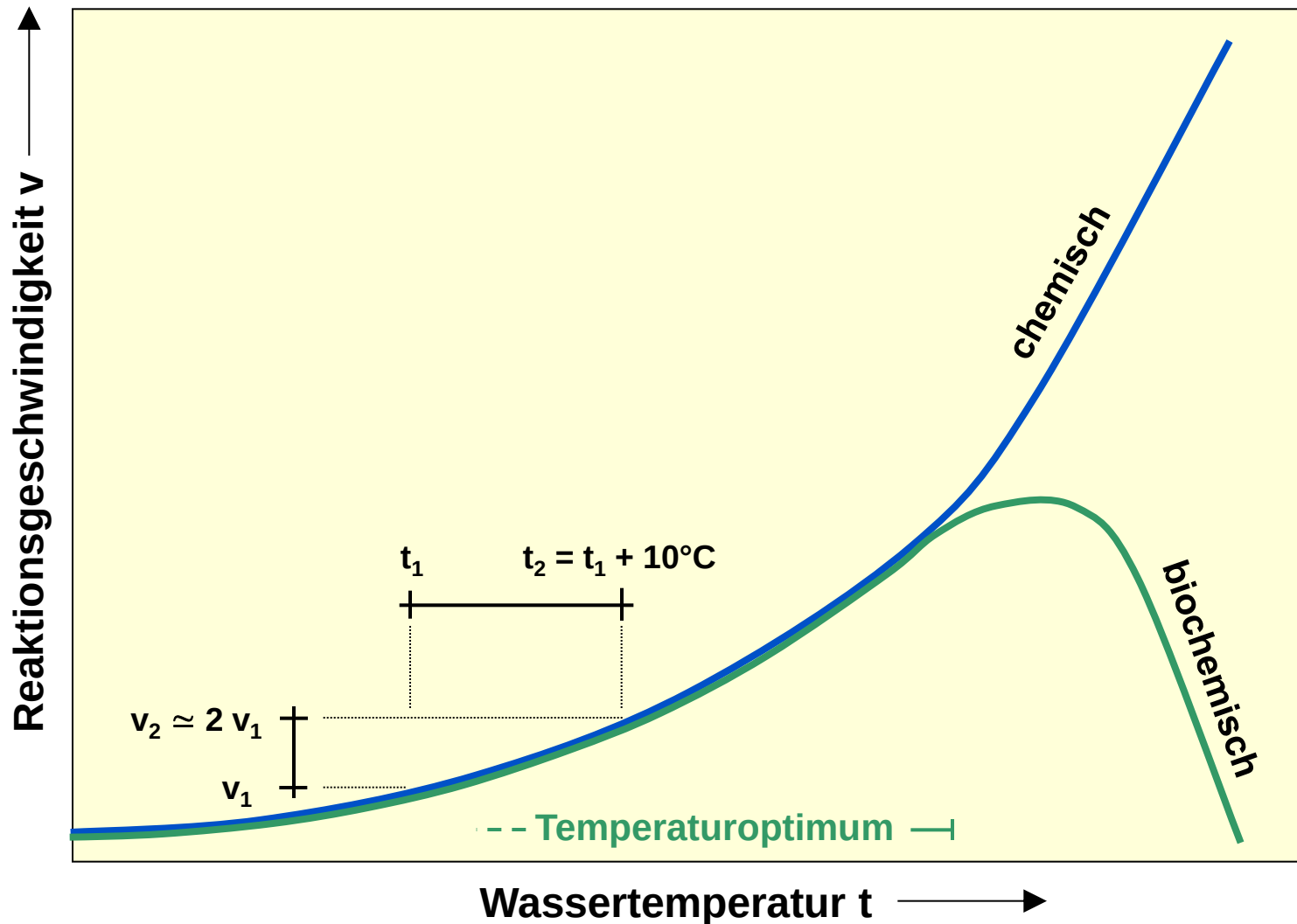
Baustein Wassertemperatur:

Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen
in Abhängigkeit von der Wassertemperatur



Baustein Wassertemperatur:

Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen
in Abhängigkeit von der Wassertemperatur



Baustein: Wassertemperatur

$$\text{EHSNET} = \text{EHG} + \text{EHA}_c - \text{EHB} \pm \text{EHE} \pm \text{EHS}$$

EHG

EHSNET-EHG

Wassertiefe

EHSNET	= Nettostrahlung
EHG	= Globalstrahlung nach Reflektion und Abschattung
EHA _c	= Wärmestrahlung der Atmosphäre nach Reflektion
EHB	= Wärmeabstrahlung von Wasseroberfläche
EHE	= Kondensation, Verdunstung
EHS	= Konvektion

Wärme

Austausch an der Oberfläche

Baustein: Wassertemperatur

$$\text{EHSNET} = \text{EHG} + \text{EHA}_c - \text{EHB} \pm \text{EHE} \pm \text{EHS}$$

EHG

EHSNET-EHG



Kondensation: Wärmezufuhr im Wasser aufgrund Dampfdruckdifferenz

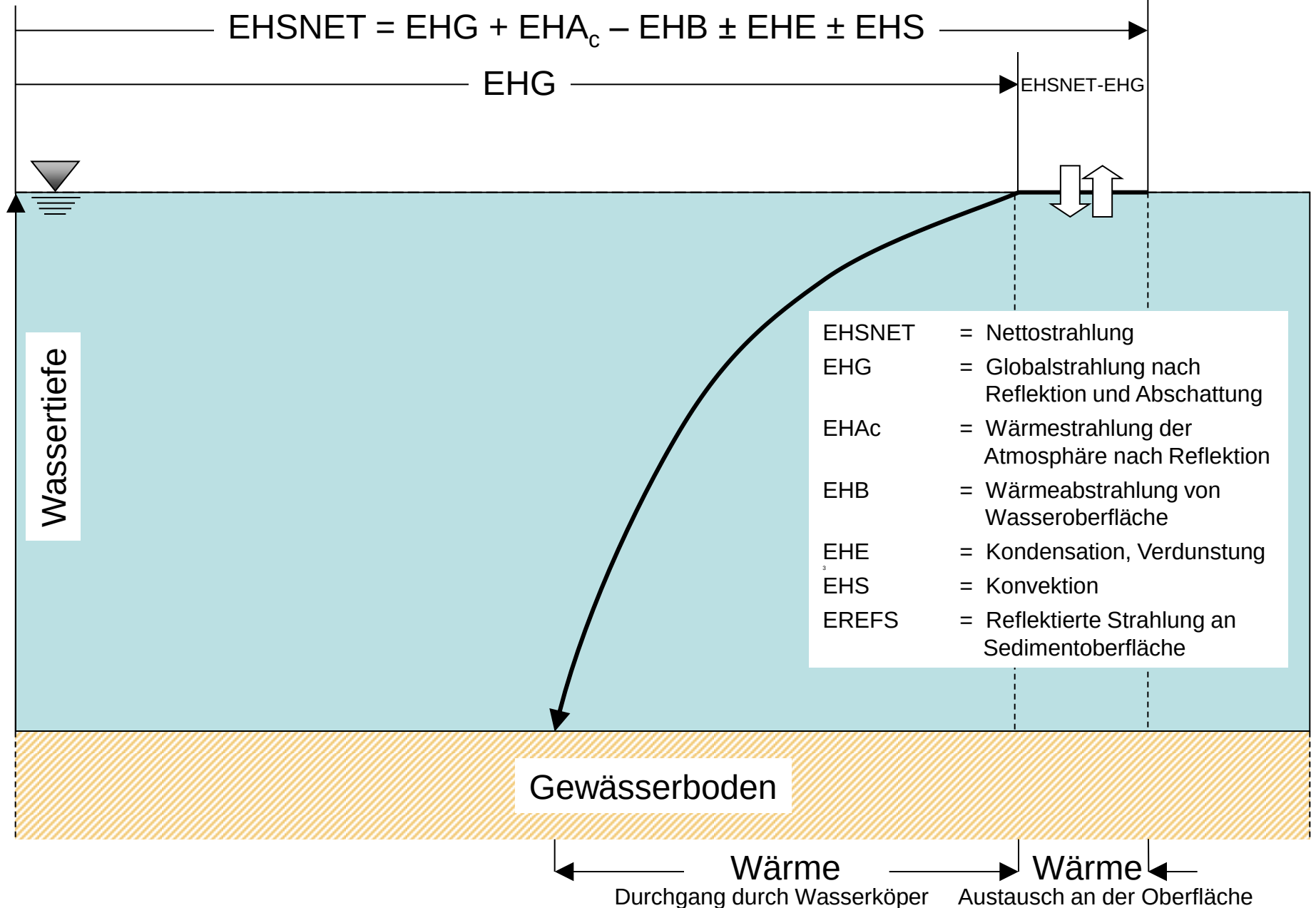
Verdunstung: Wärmeverlust im Wasser aufgrund Dampfdruckdifferenz

Konvektion: unmittelbarer Wärmeübergang aufgrund Temperaturdifferenz

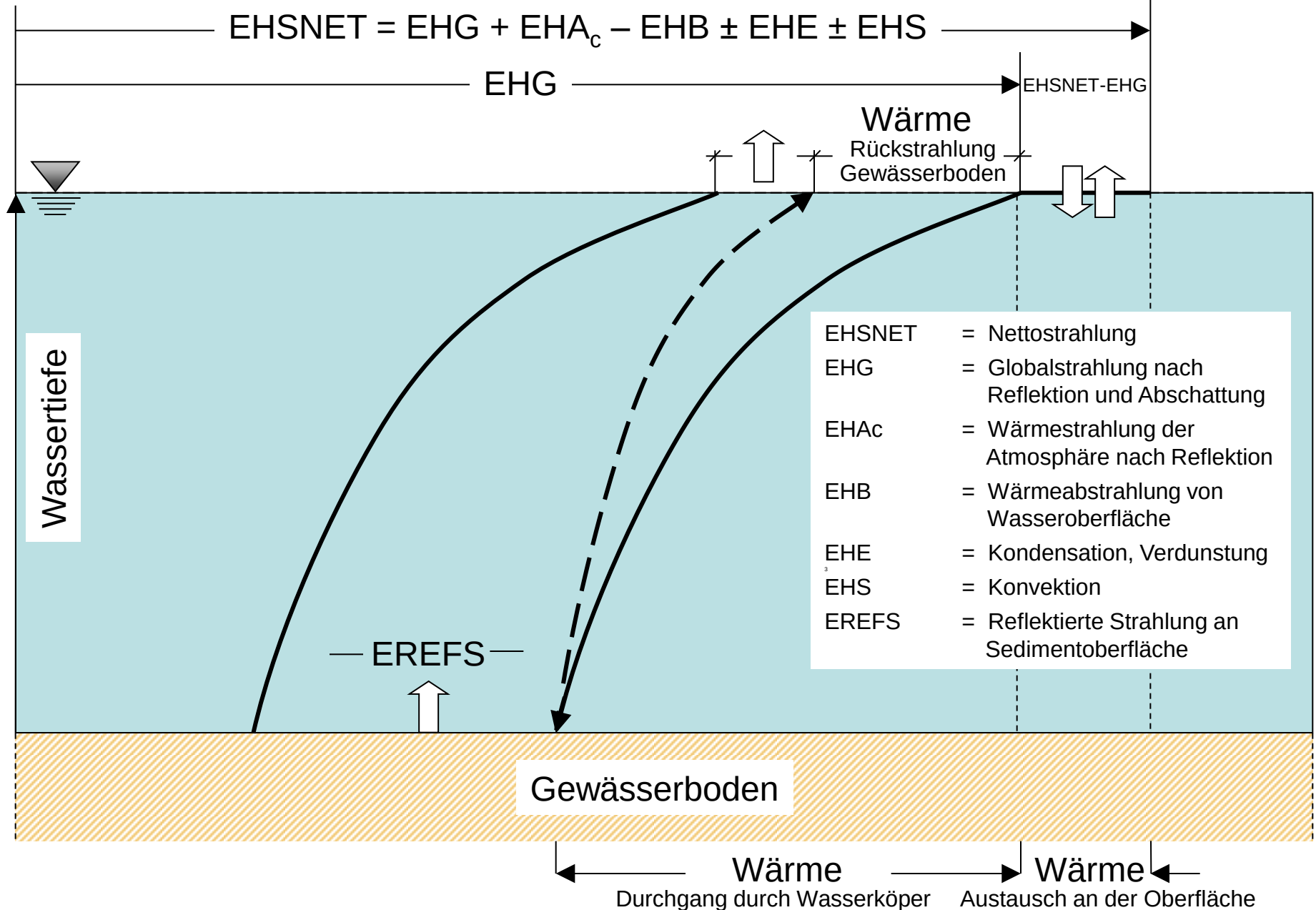
Wärme

Austausch an der Oberfläche

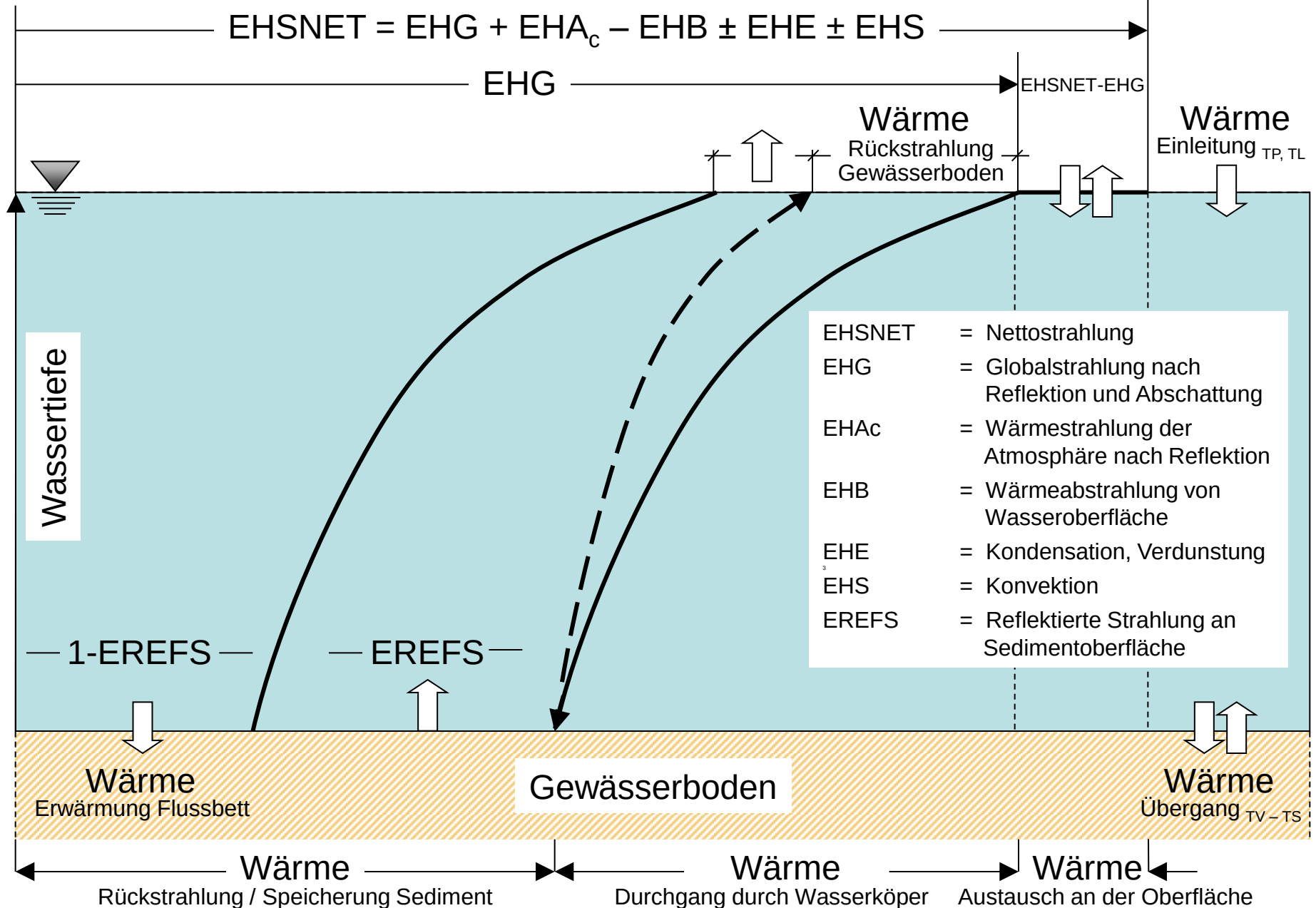
Baustein: Wassertemperatur



Baustein: Wassertemperatur



Baustein: Wassertemperatur



Baustein: Biochemischer Sauerstoffbedarf

BSB-abhängige Übergabeparameter

Substanz	Prozess	Baustein
N_{org} , P_{org}	⇒ Freisetzung durch aeroben, bakteriellen Abbau und Denitrifikation	Stickstoff, Phosphor
Sauerstoff	⇒ Verbrauch durch aeroben, bakteriellen Abbau	Sauerstoff
partikuläre Stoffe	⇒ Abnahme durch Abbau des partikulären BSB	Schwebstoffe
hochmolekularer DOC	⇒ näherungsweise C-Gehalt der Huminstoffe $\triangleq$ gelöster Anteil des refraktären CSB	Strahlung Organische Einzelsubstanzen

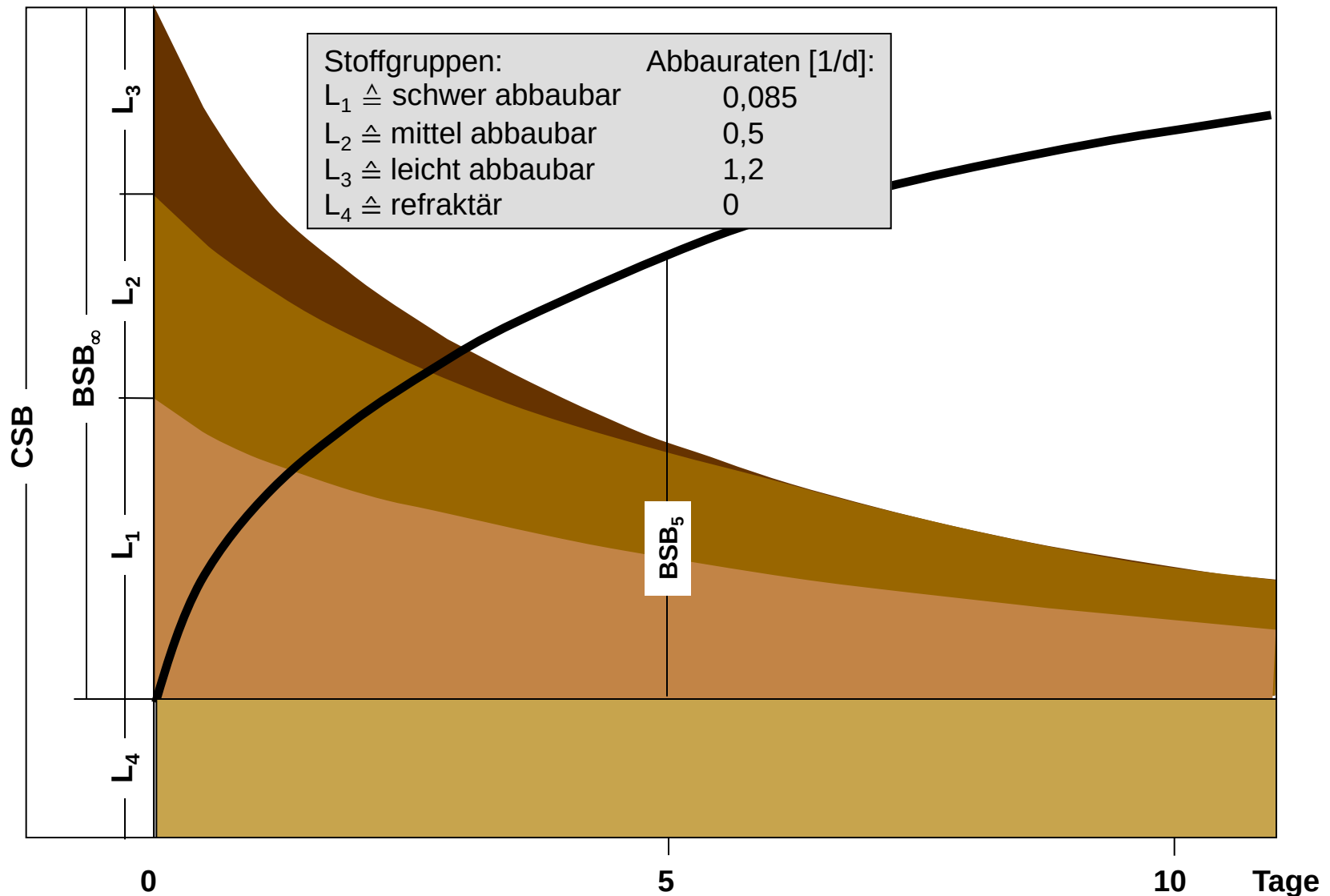
DOC $\triangleq$ dissolved organic carbon

N_{org} $\triangleq$ organisch gebundener Stickstoff

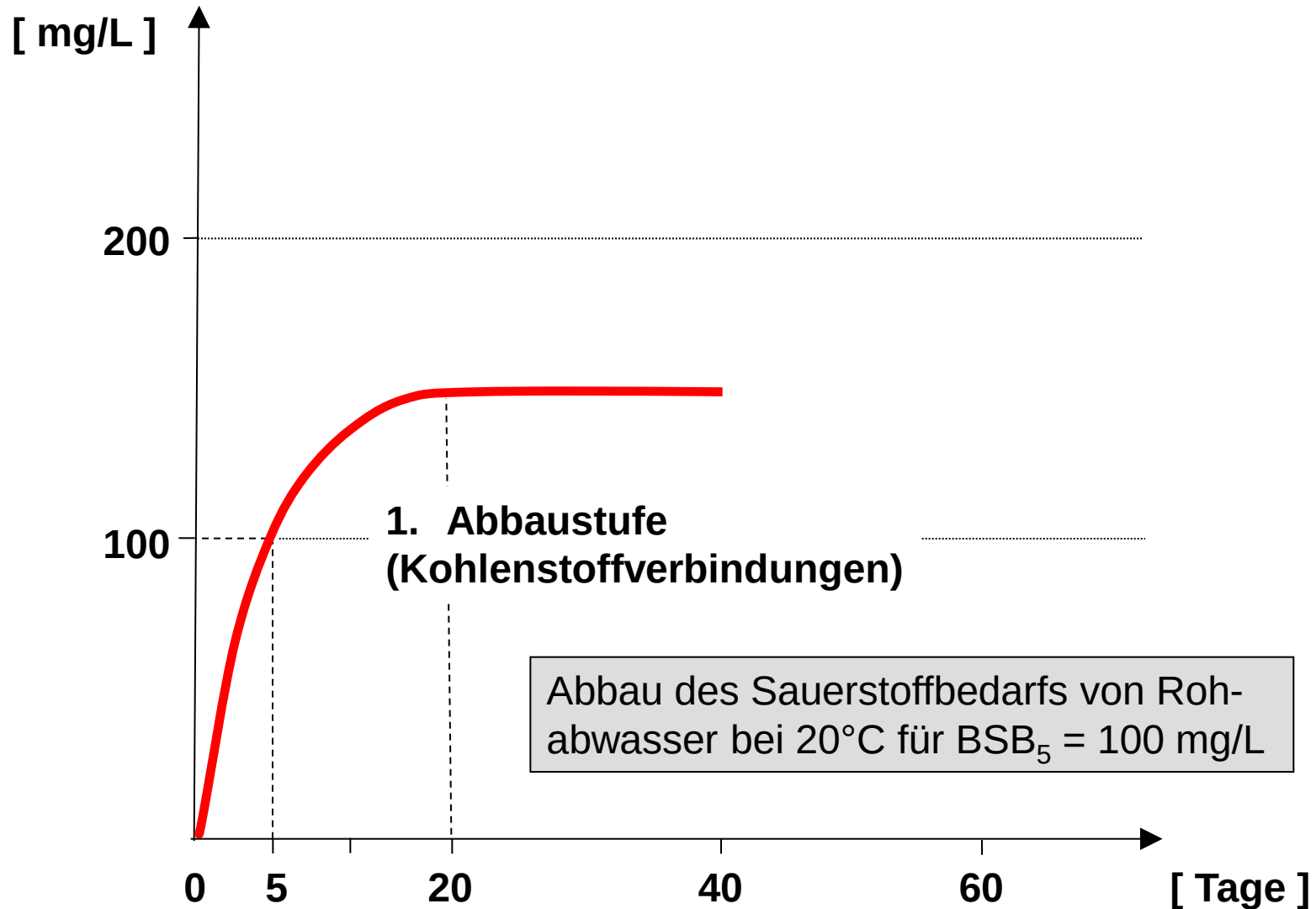
P_{org} $\triangleq$ organisch gebundener Phosphor

Baustein: Biochemischer Sauerstoffbedarf

Zusammensetzung der BSB- / CSB-Bestandteile verschiedener Stoffgruppen

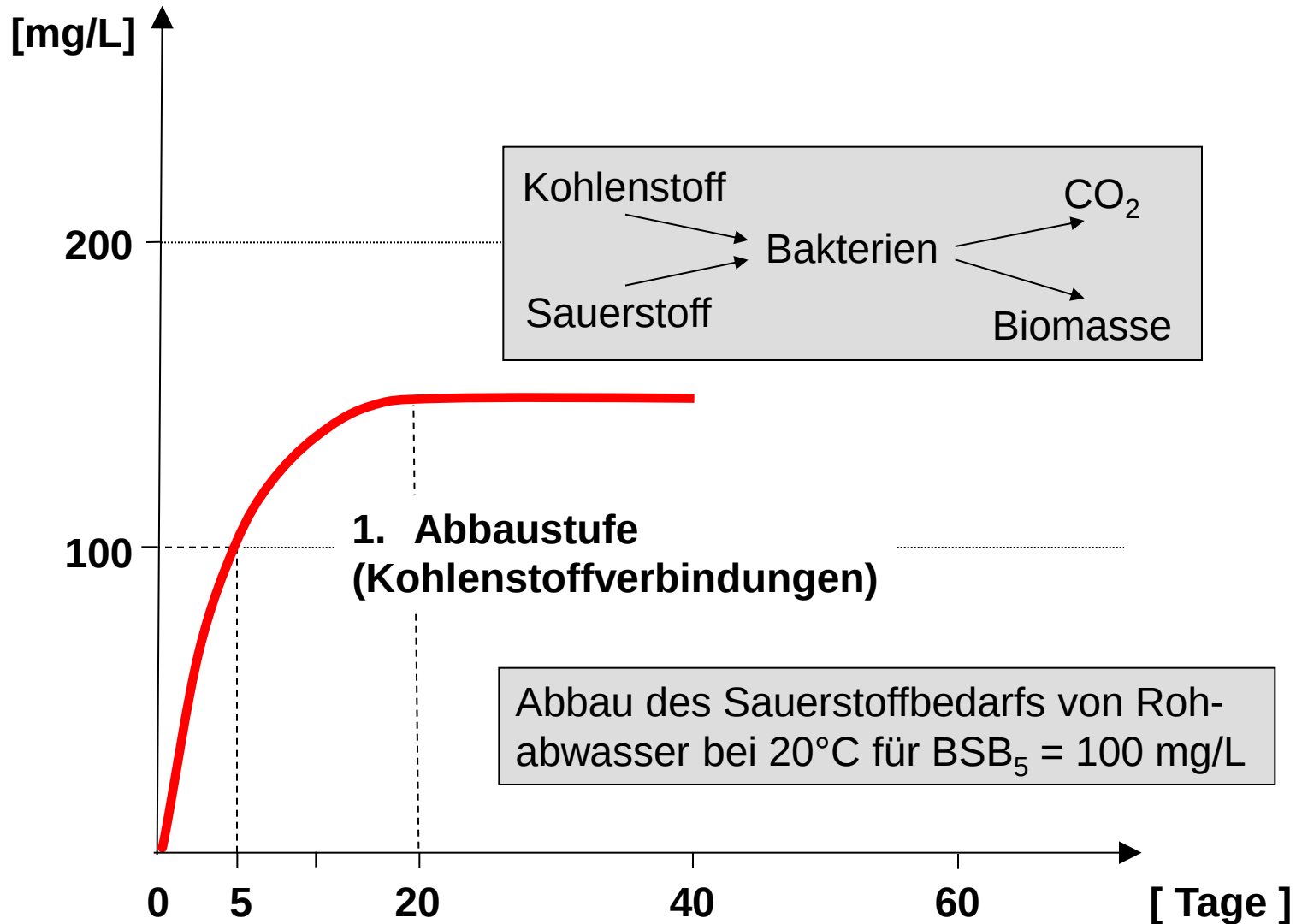


Reinigungsverfahren	Vorabbau %	Mischungsverhältnisse		
		schwer	mittel	leicht
Rohabwasser	0	0,30	0,60	0,10
mechanisch gereinigt	30	0,40	0,55	0,05
teilbiologisch gereinigt	75	0,70	0,30	0,00
vollbiologisch gereinigt	95 – 97	0,85	0,15	0,00
weitergehende Reinigung (Fällung, Flockungsfiltration etc.)	98 - <99	0,95	0,05	0,00



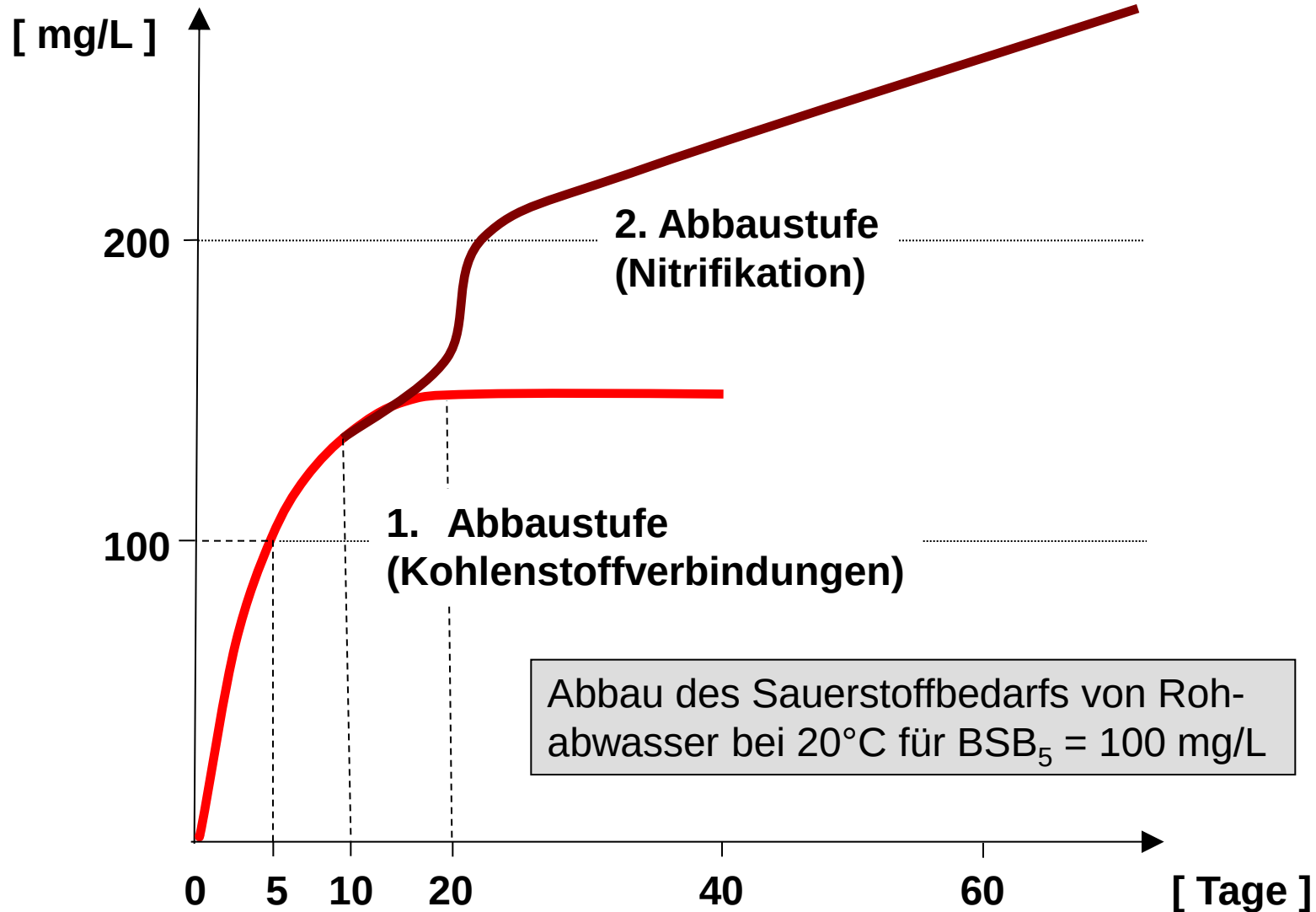
Baustein: Biochemischer Sauerstoffbedarf

Abbaubarkeit von Abwasser II



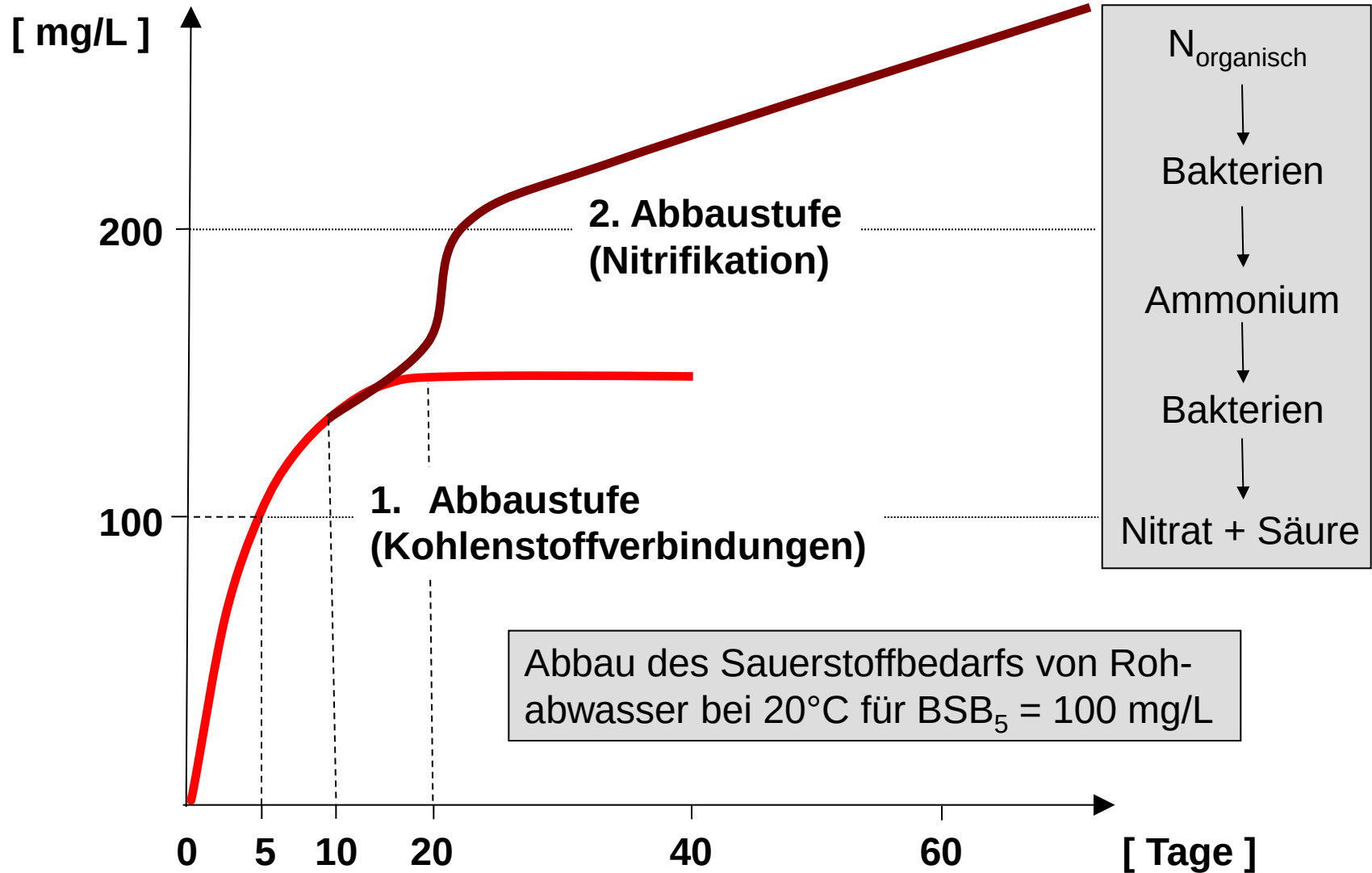
Baustein: Biochemischer Sauerstoffbedarf

Abbaubarkeit von Abwasser II



Baustein: Biochemischer Sauerstoffbedarf

Abbaubarkeit von Abwasser II



Baustein: Biochemischer Sauerstoffbedarf

Abbaubarkeit von Abwasser II

