

DWA Gewässergütemodell Kick-off Anwendertreffen

Hennef, 15.02.2016

DWA Gewässergütemodell Kick-off Anwendertreffen am 15.02.2016 in Hennef



Ablauf der Veranstaltung (Zeitraum: 10°°h – 16°°h)

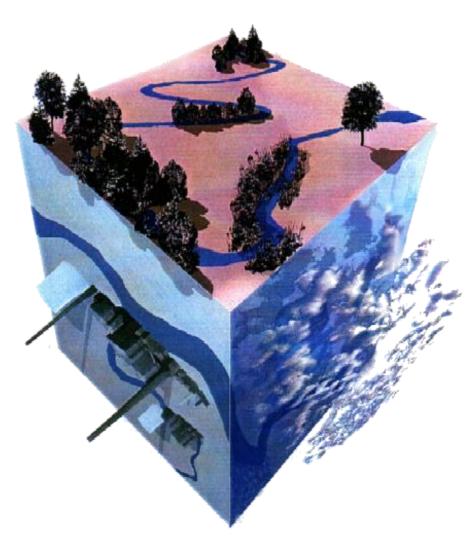
- Entstehungsgeschichte des Modells (Christoffels)
- Bausteine (Christoffels)
- Menüführung / Generierung eines Anwenderbeispiels inkl. Simulation (Lange)
- Gangliniendarstellung und -bearbeitung (Petruck)
- Querprofildarstellung und -bearbeitung (Niemann)

Mittagspause 12:30 h

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

DWA-Gewässergütemodell





DWA AG GB-1.4 "Modellrechnungen in der Wassergütewirtschaft"

Gewässergütemodellierung: Geschichte



	Klare Konzepte. Saubere Umwelt.
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-Gewässergütemodell



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 f
 ür Technik und Wissenschaft
- Lippeverband
- Erftverband

Externer Sachverstand:

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

Modelltypen



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 physikalischnaturwissenschaftlichen Hintergrund nicht übertragbar.
- b. physikalisch basiert: Modellbeschreibung mit Gesetzen der Physik, deshalb übertragbar, dort wo diese Gesetze gelten, Mischform durch empirische Komponenten.

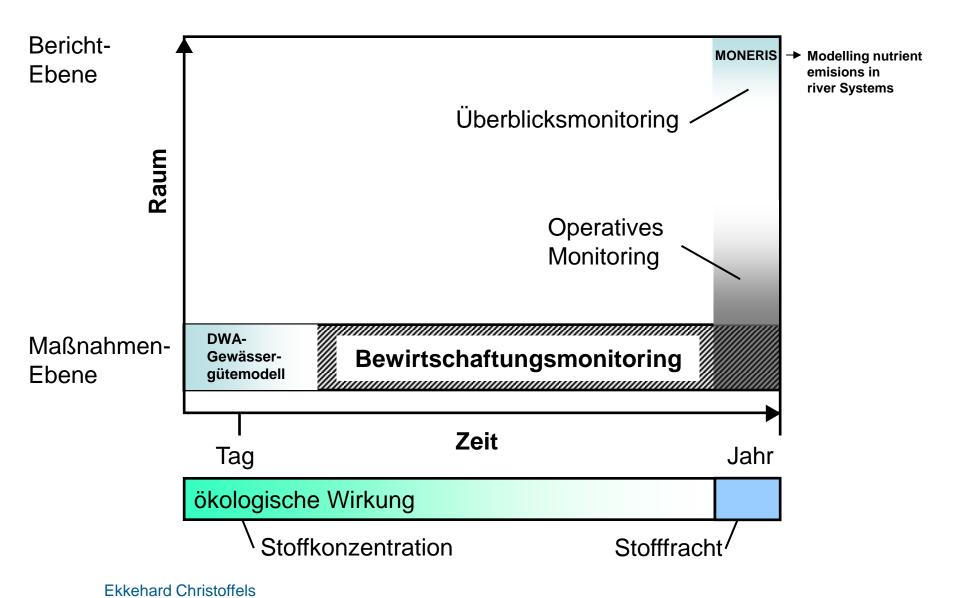
nach zeitlicher Auflösung:

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

	🔺 📤 DWA-Gewässergütemodell
--	----------------------------

Monitoring / Modellierung Raum- / Zeitskalenebene





DWA Gewässergütemodell: Relevante Prozesse



Meteoro	logische	Prozesse
----------------	----------	-----------------

Strahlung (z.B. Photosynthese, Wärmehaushalt)

Wolkenbildung (z.B. Lichtextinktion)

Wind (z.B. Verdunstung)

Verdunstung, Kondensation (z.B. Wassertemperatur)

Hydrologische Prozesse

Abflussaufteilung (z.B. Ausleitungsstrecken)

Entnahme

(z.B. Beregnung von Freilandkulturen)	Stof
Einleitung (z.B. kommunale Kläranlagen)	Biolo (z.B.
Lateraler Zufluss als Grundwasser-, Bodenwasser- und Oberflächen- abfluss; Flussbettinfiltration	Chei (z.B.
·	Dhye

Stoffumwandlungsprozesse

Biologische Reaktionen (z.B. organischer Abbau, Inkorporation)

Chemische Reaktionen (z.B. Oxidation)

Physikalische Stoffumwandlung (z.B. Adsorption, Absorption, Extinktion)

DWA Gewässergütemodell: Relevante Objekte



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

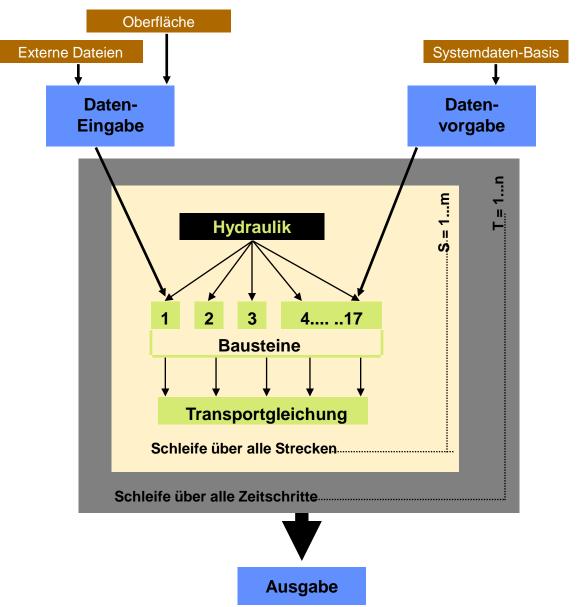
Querprofil (z. B. Rauheit / Abfluss)

Knoten

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

DWA-Gewässergütemodell: Struktur

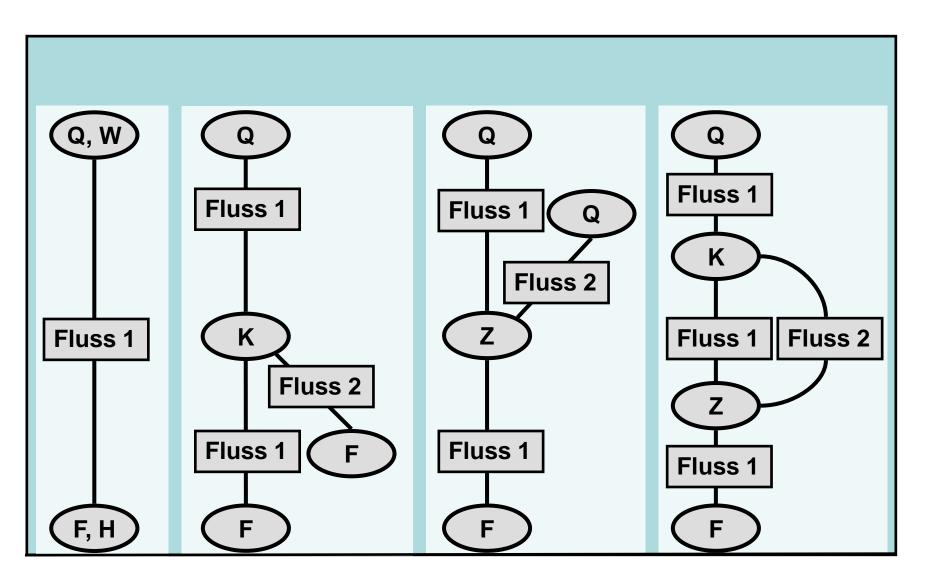




DWA-Gewässergütemodell Definition des Eließgewässersystems dur

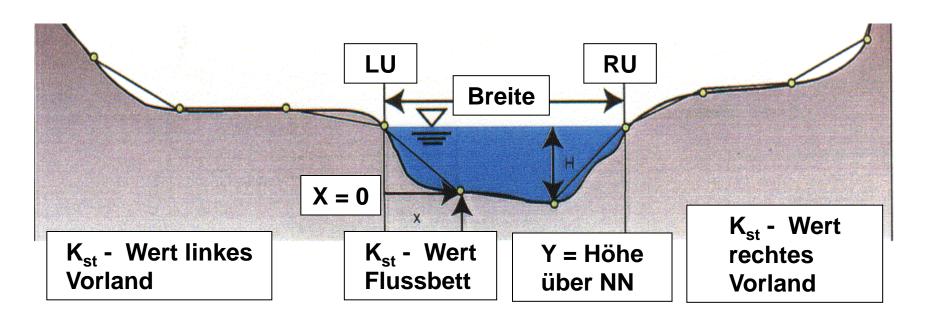


Definition des Fließgewässersystems durch Knotentypen



DWA-GewässergütemodellMessprofil zur Beschreibung der Gewässergeometrie







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



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

Relevant für Bausteine 2 - 17



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

- 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



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

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



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

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)



lfd. 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					



lfd. 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					



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					



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 + 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					

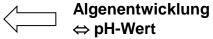


lfd. Nr.	Bausteinbezeichnung					
0	Abfluss					
1	Strahlung					
2	Wassertemperatur					
3	Konservative Substanzen, Tracer					
4	BSB / CSB					
5	Phosphor					
6	Stickstoffverbindungen					
7	Silikat					
8	Kieselalgen					
9	Grünalgen					
10	Konsumenten I					
11	Konsumenten II					
12	Besiedelung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

makrophytendominierte, 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					





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						

Schadstoffgruppe I: Milieuabh. Verteilung Wasser / Schwebstoff

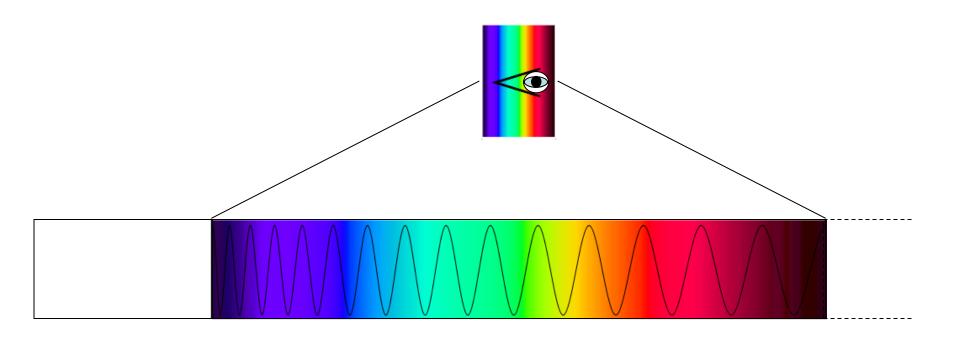


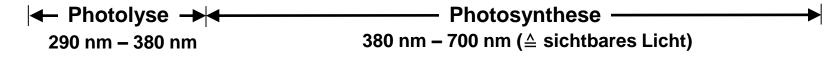
lfd. Nr.	Bausteinbezeichnung					
0	Abfluss					
1	Strahlung					
2	Wassertemperatur					
3	Konservative Substanzen, Tracer					
4	BSB / CSB					
5	Phosphor					
6	Stickstoffverbindungen					
7	Silikat					
8	Kieselalgen					
9	Grünalgen					
10	Konsumenten I					
11	Konsumenten II					
12	Besiedelung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

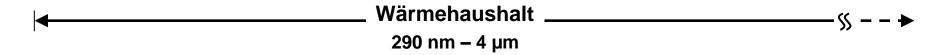
Schadstoffgruppe II: Fraktionsspezifische Umsatzprozesse

DWA C

Wellenlängenabhängige Relevanz des Strahlungsspektrums

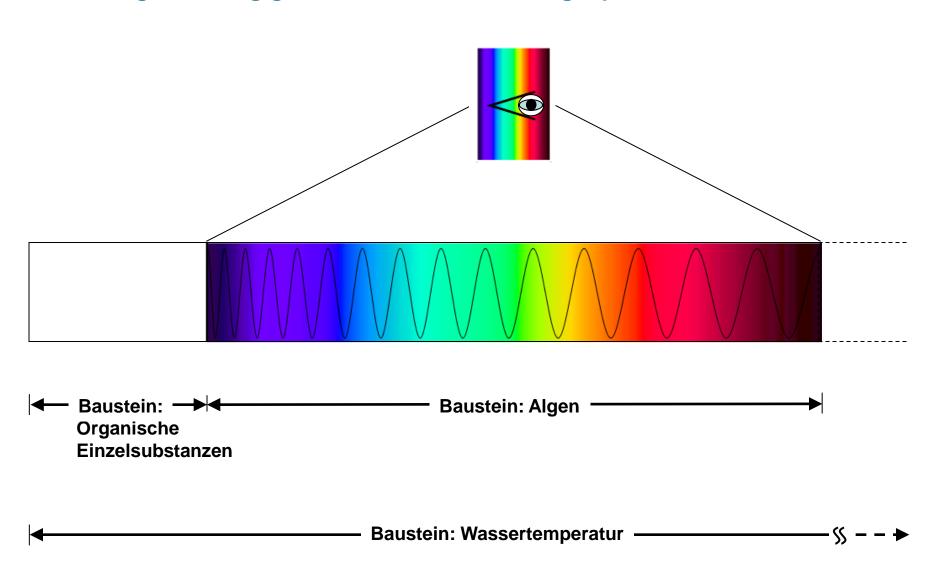






DWA C

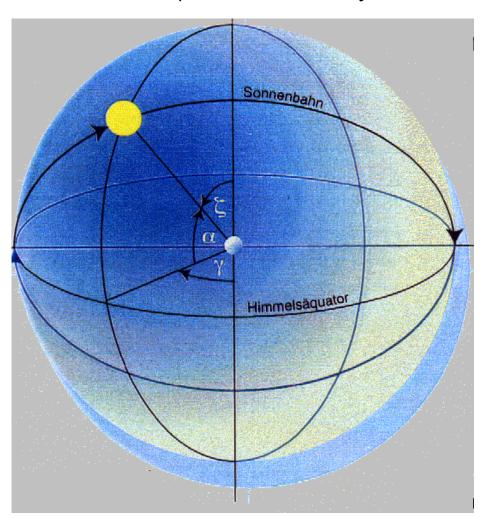
Wellenlängenabhängige Relevanz des Strahlungsspektrums



Koordinaten des Sonnenstandes



 α = Höhenwinkel, γ = Stundenwinkel ξ = Zenitwinkel

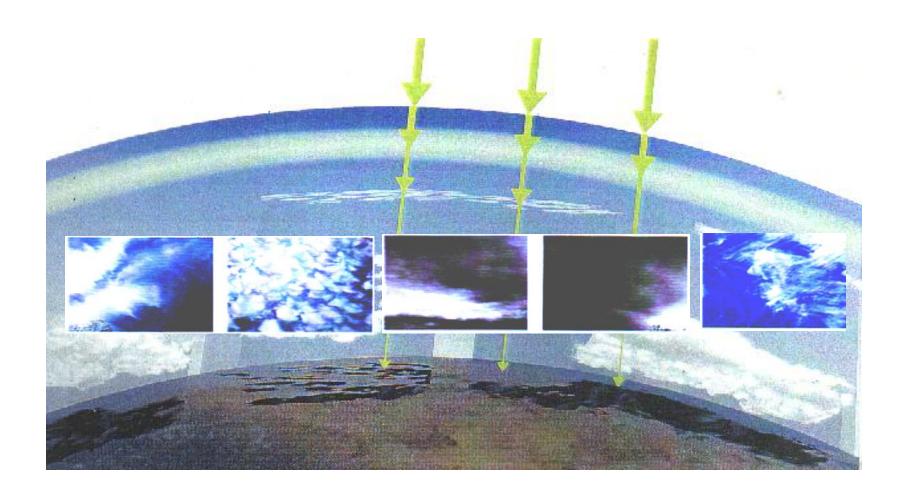


Berechnung der Nettostrahlung für Flussgebiete (abschnittsweise) für jeden Simulationszeitschritt des Lichttags.



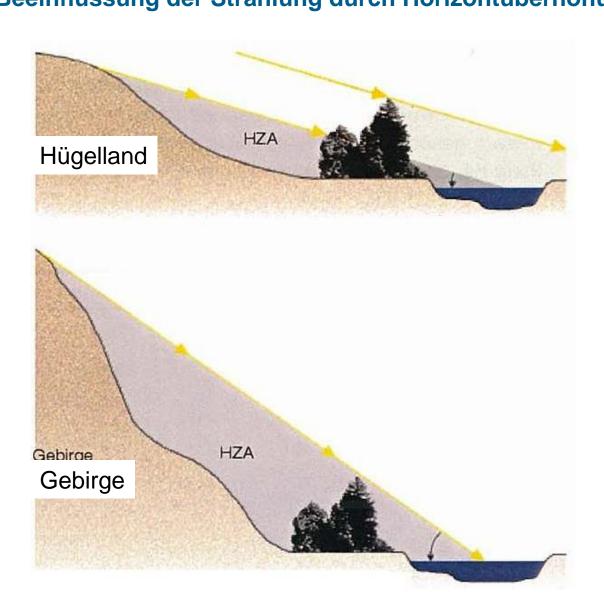
Beeinflussung der Strahlung durch die Atmosphäre





Baustein: Strahlung Beeinflussung der Strahlung durch Horizontüberhöhung

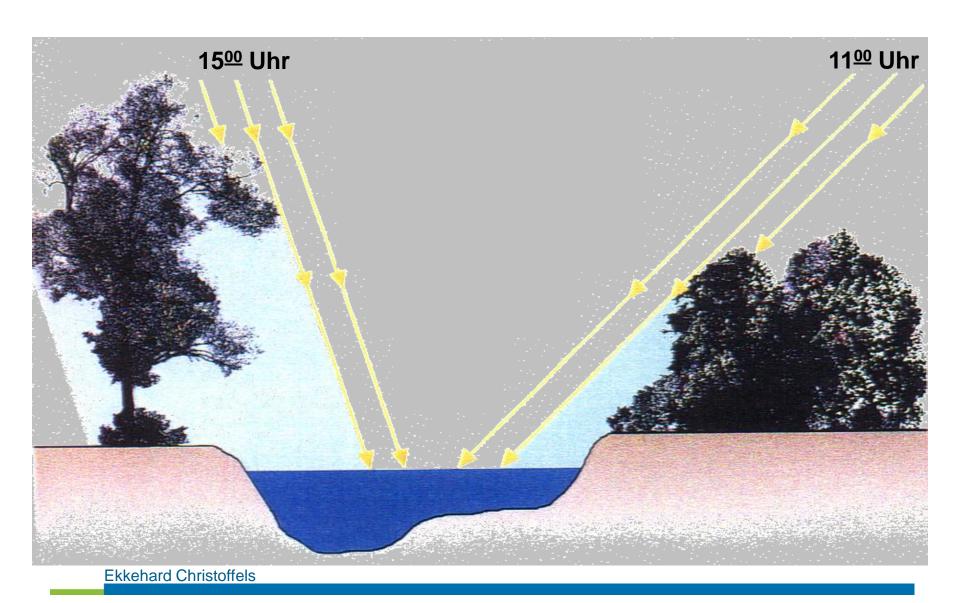




HZA ≜ Horizontüberhöhung



Schattenwurf der Ufervegetation im Tagesgang





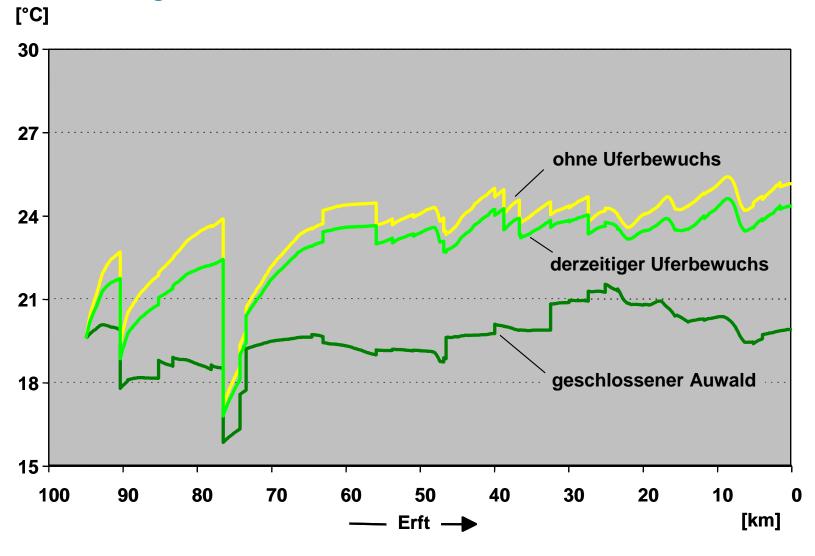


Vegetationsart/	Höhe	Kronenbreite	Uferabstand	Dichte in %		
Bebauung	in m	in m	in m	Sommer	Winter	Übergang
Niedervegetation	0,8	0,0	0,0	65	10	30
Buschwerk	5,0	1,0	1,0	57	20	35
Weichholzaue einseitig	12,0	5,0	1,0	43	20	40
Laubwald einseitig	20,0	12,0	2,0	93	25	45
Nadelwald einseitig	25,0	8,0	2,0	85	85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

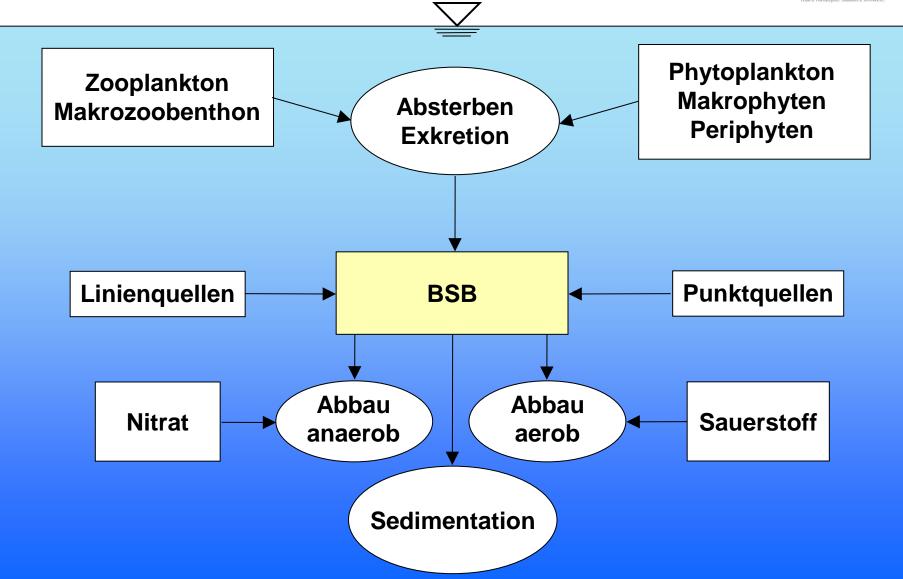
Einfluss der Ufervegetation





Baustein: Biochemischer Sauerstoffbedarf

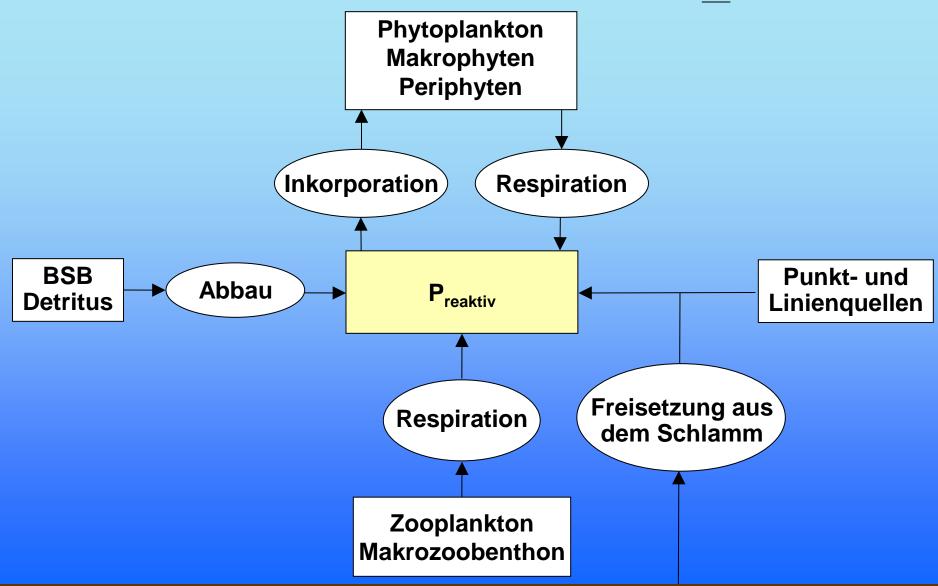


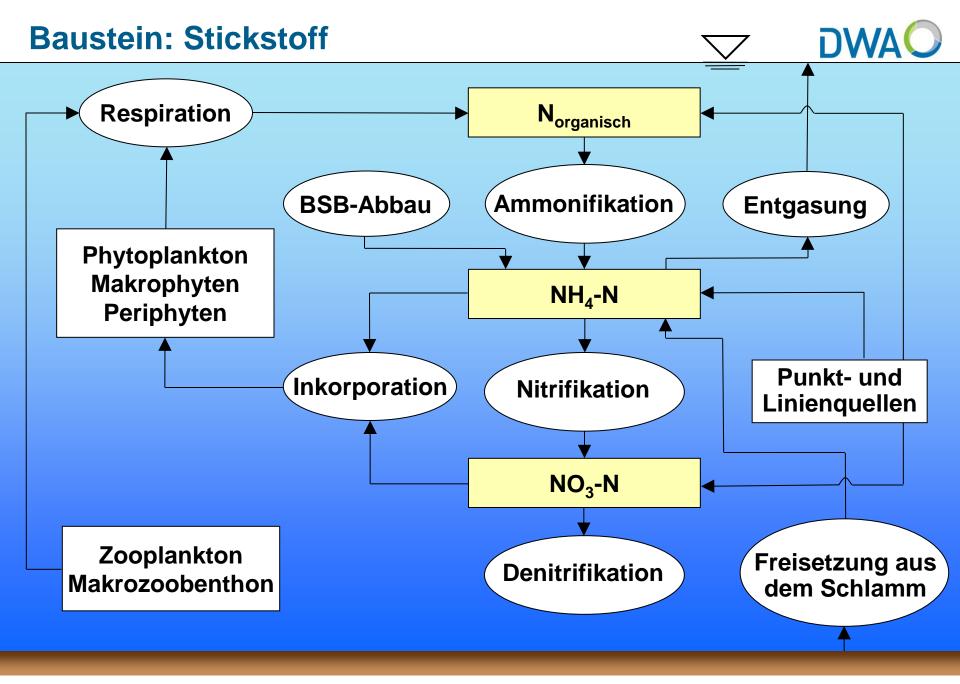


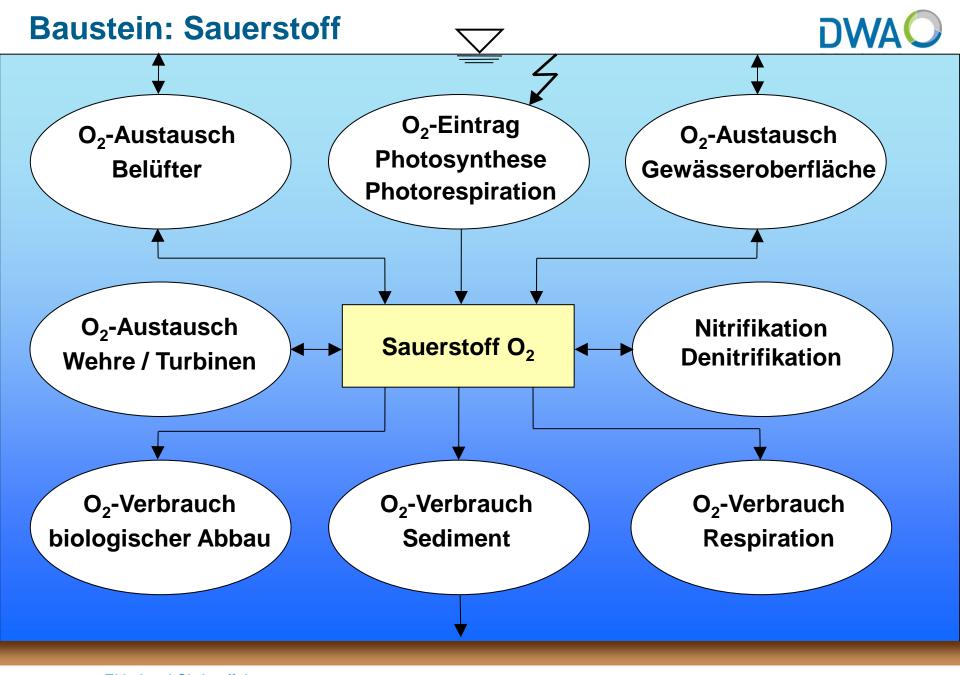
Baustein: Phosphor





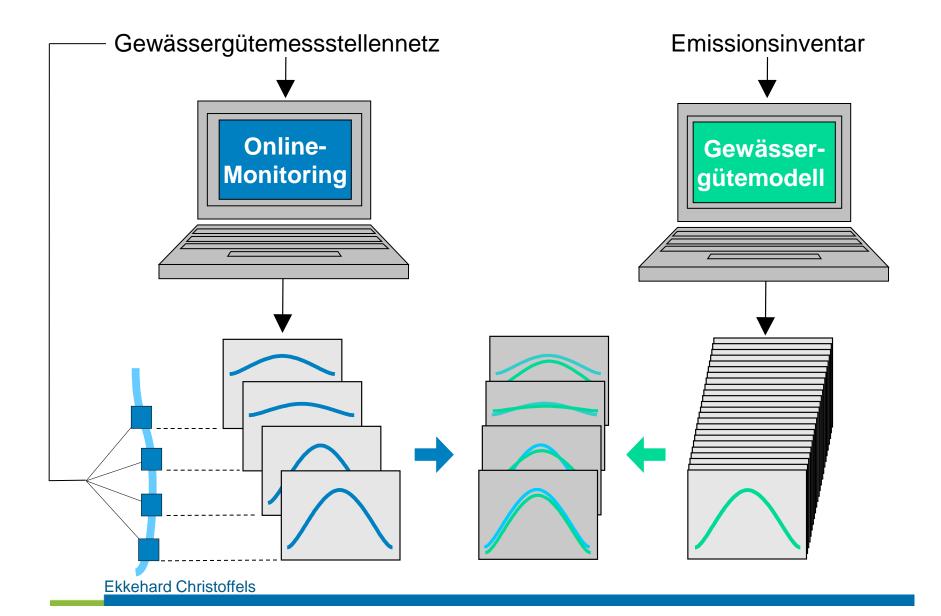






Monitoring und Modellanwendung Gemeinsame Herangehensweise I

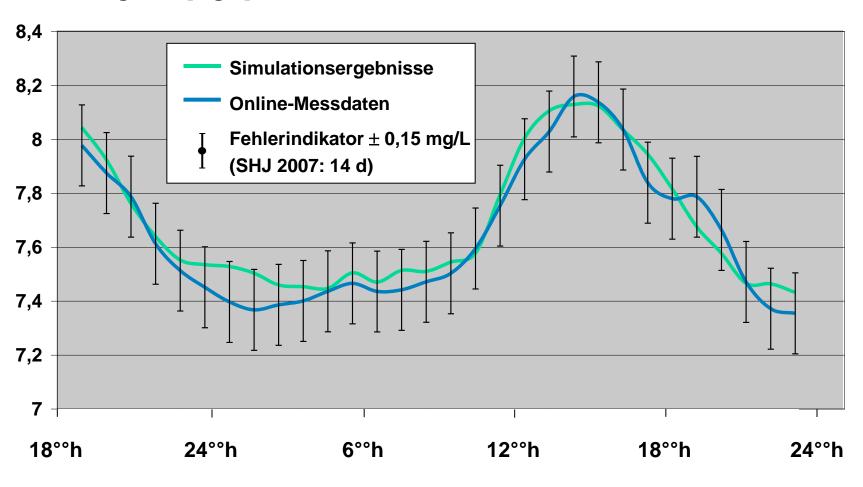




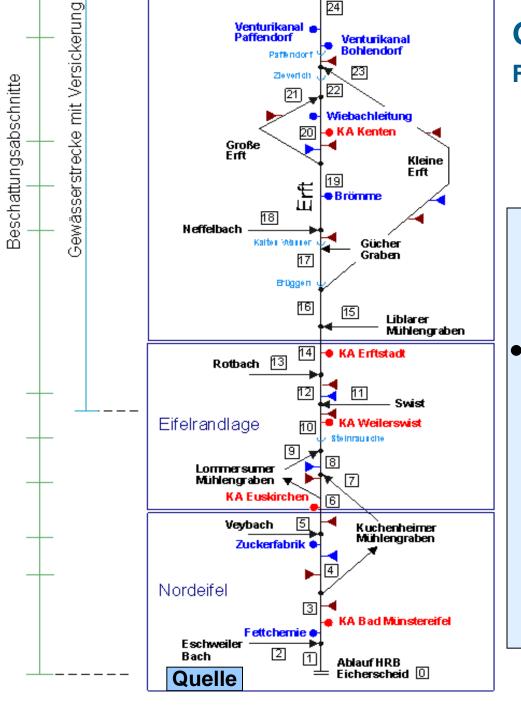
Monitoring und Modellanwendung Gemeinsame Herangehensweise II



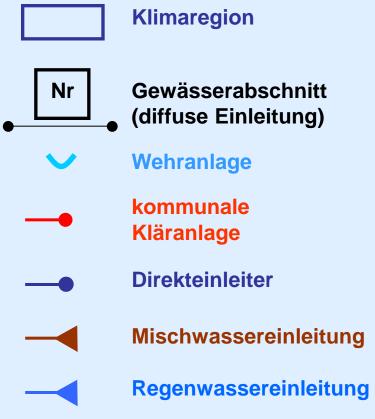
Sauerstoffgehalt [mg/L]



01./02. Sept. 2007



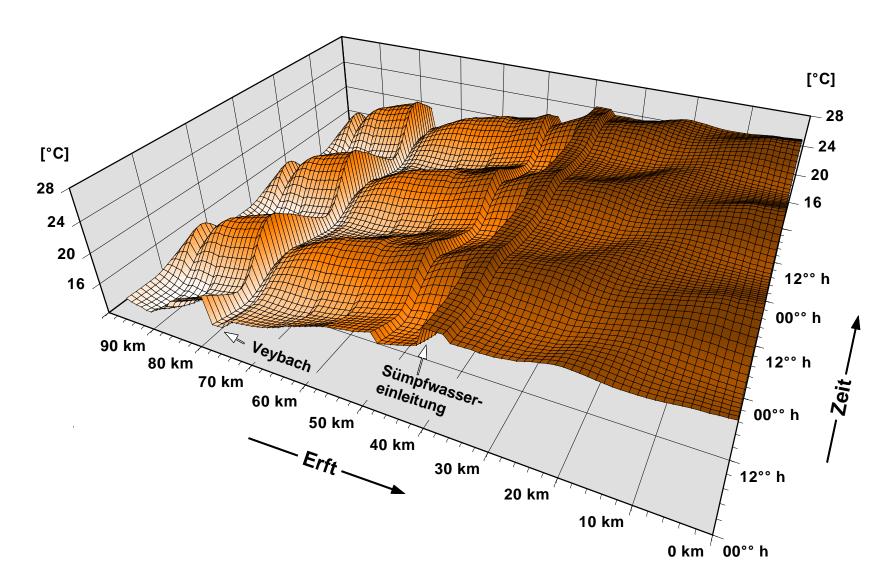
Gewässergütemodell Flusssystem Erft



Modellberechnung: Wassertemperatur der Erft



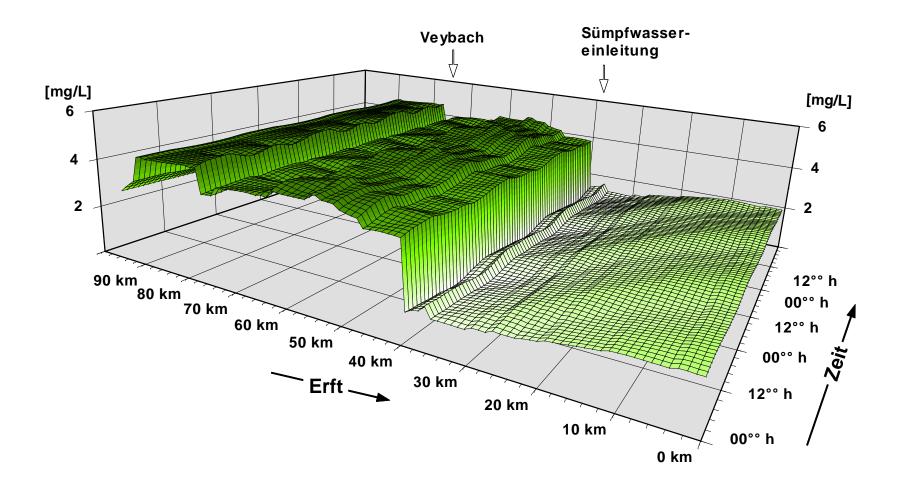
- Sommerlastfall -



Modellberechnung: Nitratstickstoff der Erft



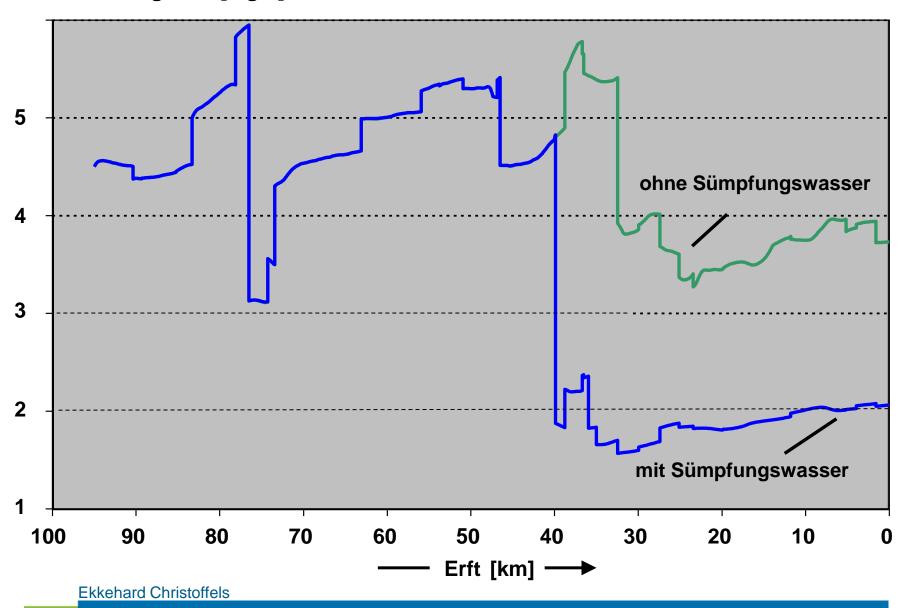
- Sommerlastfall -



Modellberechnung: Nitratstickstoff der Erft



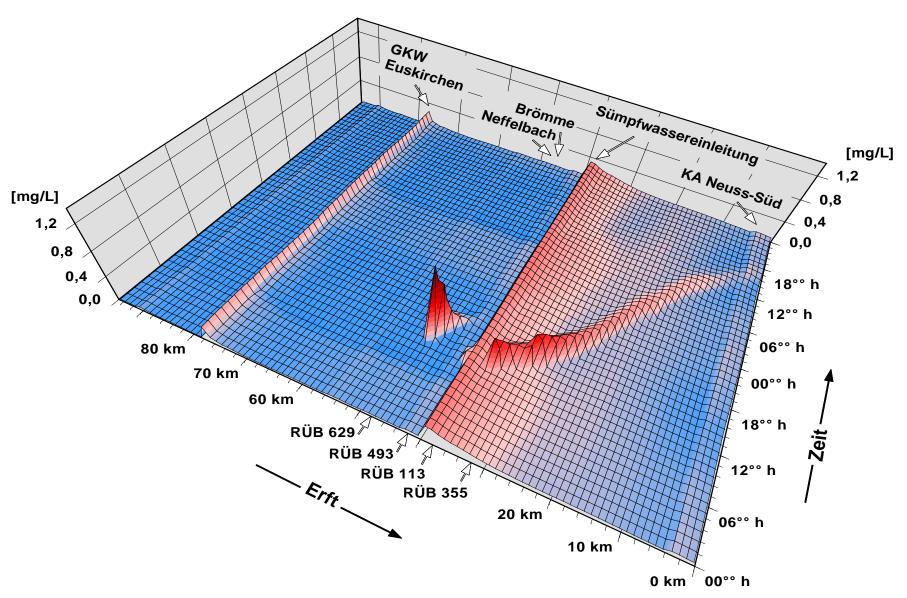
Nîtratstoffgehalt [mg/L]



Ergebnisse:

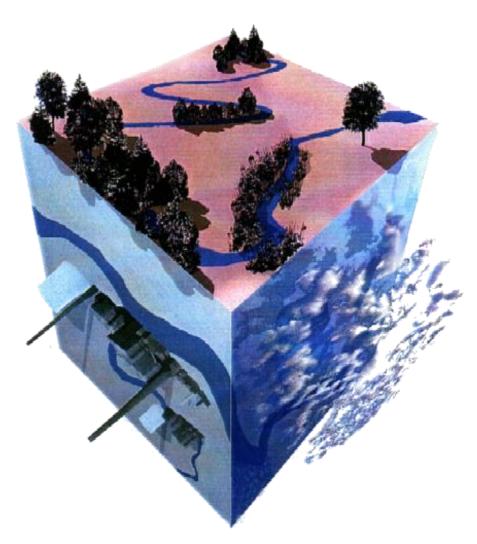
Sommer- / Niederschlagszenario, Beispiel Ammoniumstickstoff



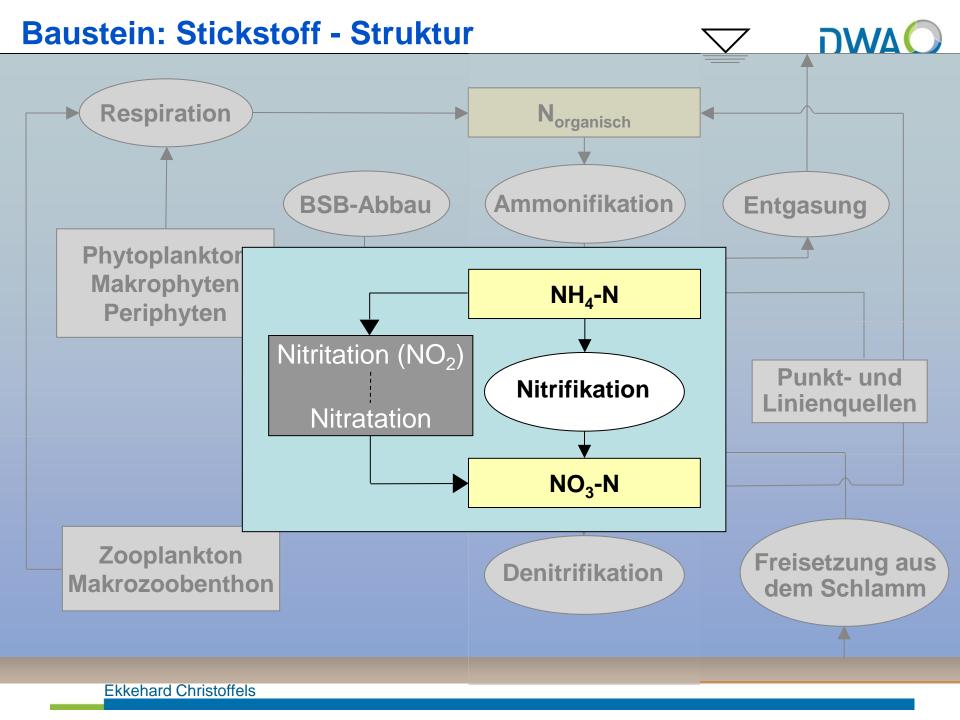


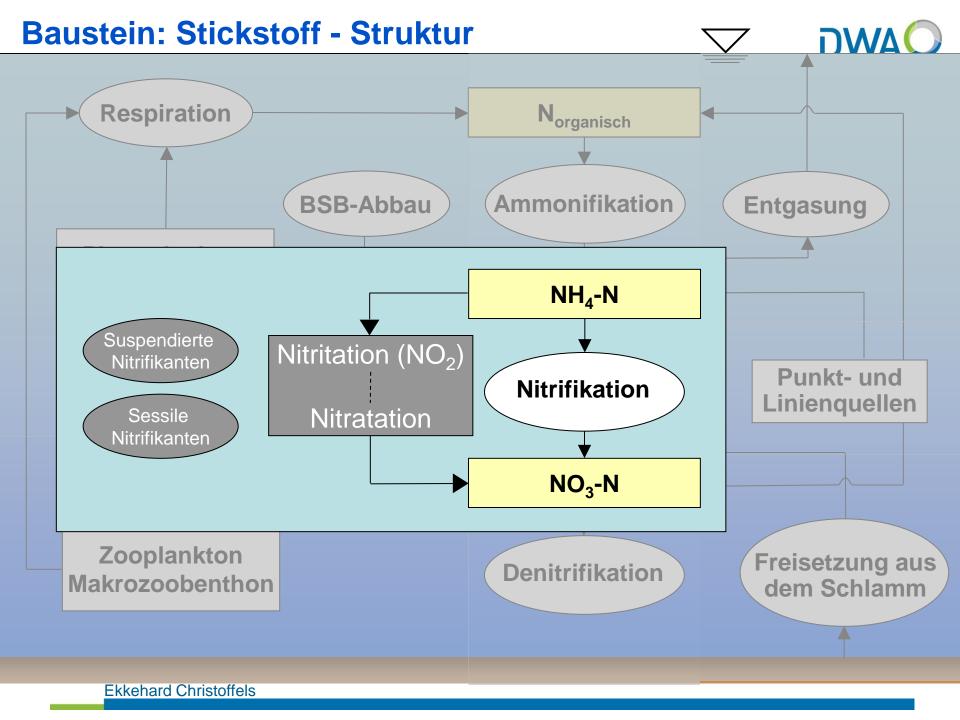
DWA-Gewässergütemodell

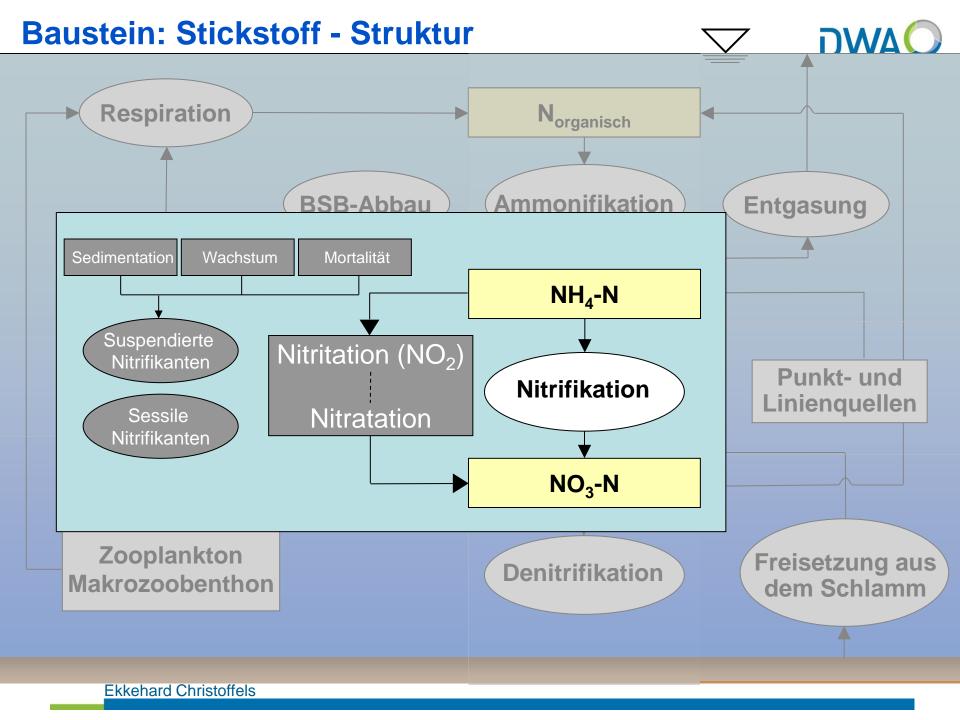


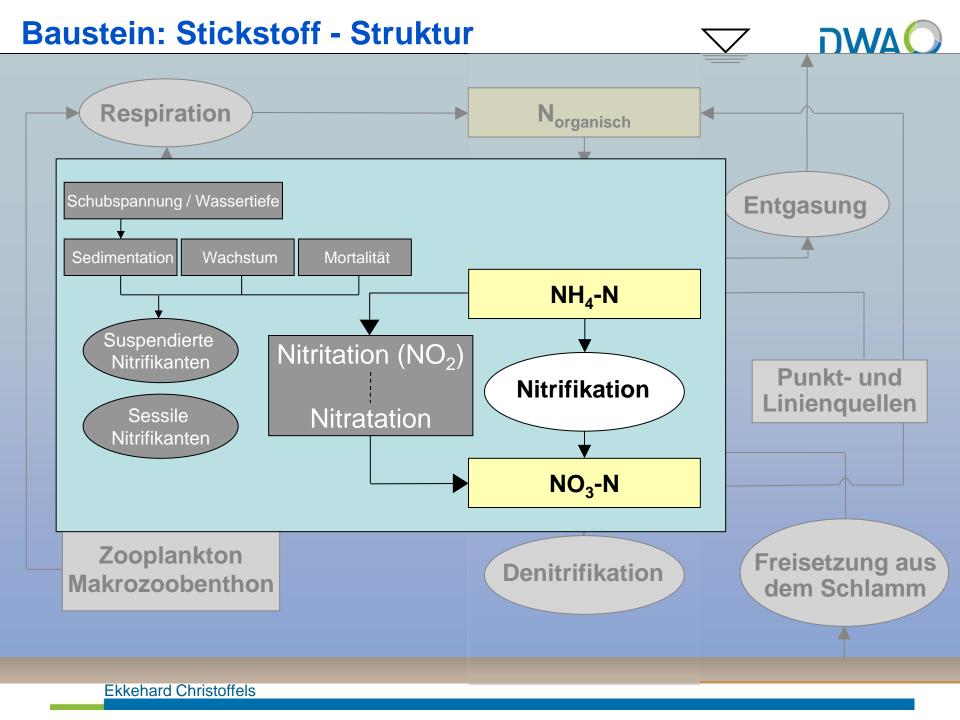


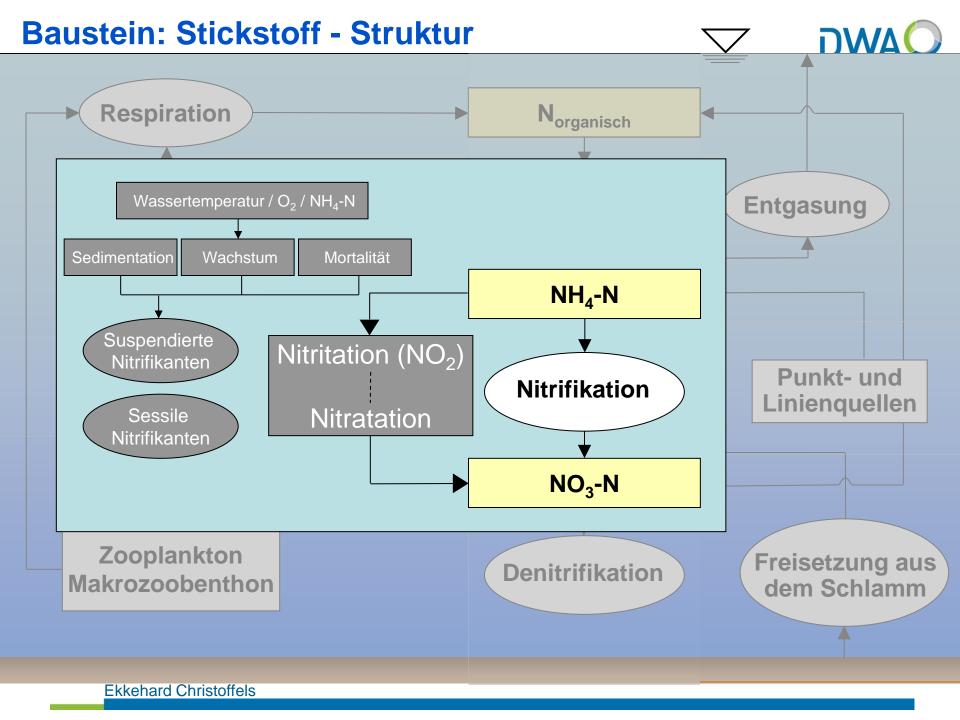
DWA AG GB-1.4 "Modellrechnungen in der Wassergütewirtschaft"

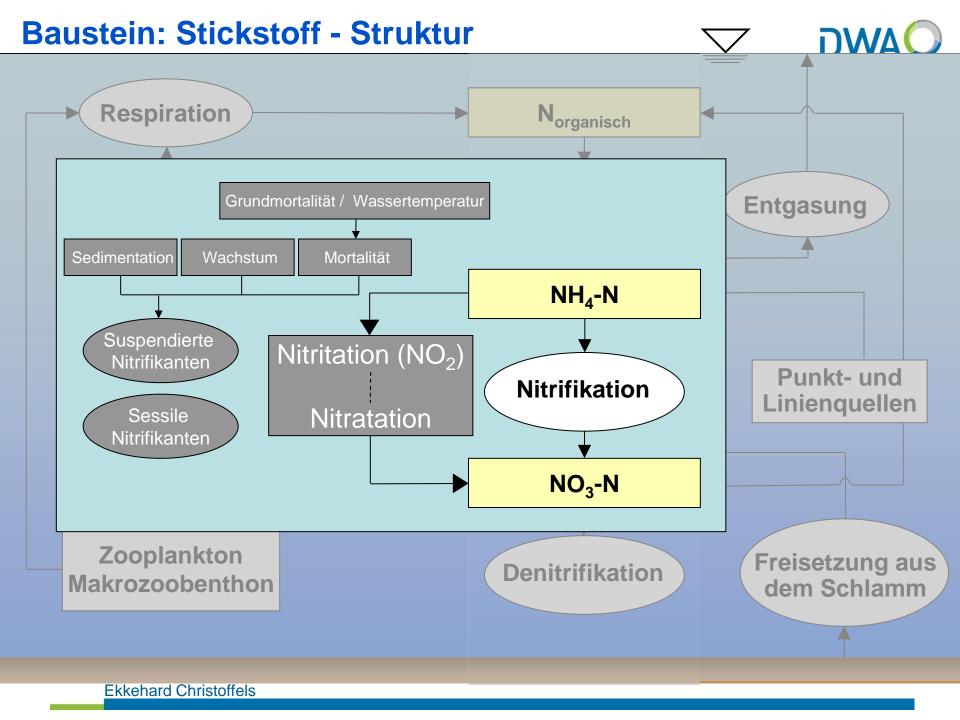


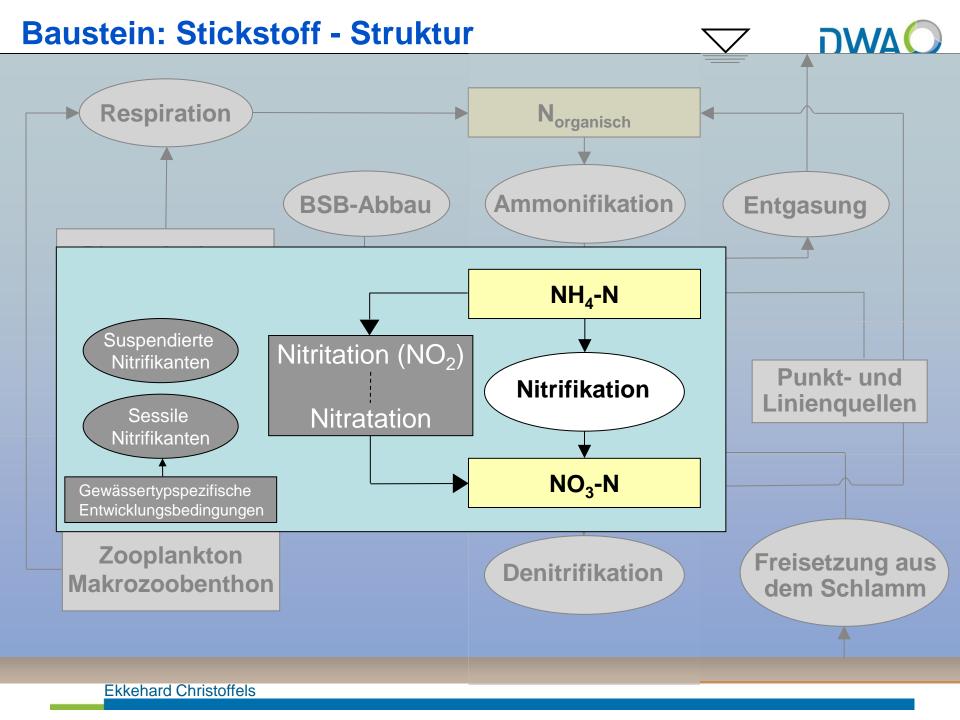


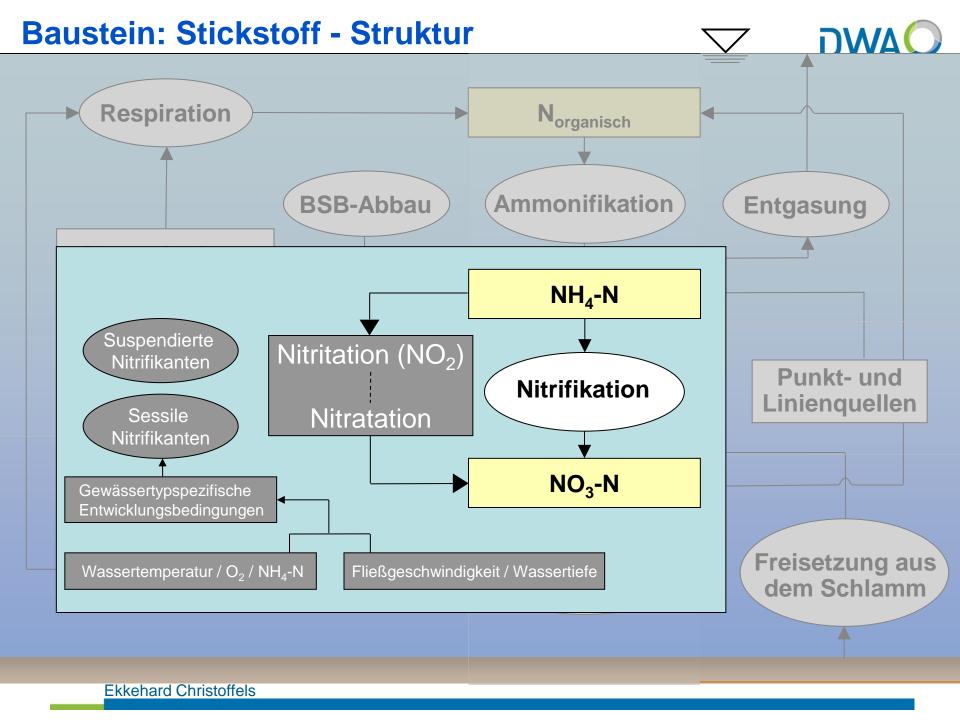


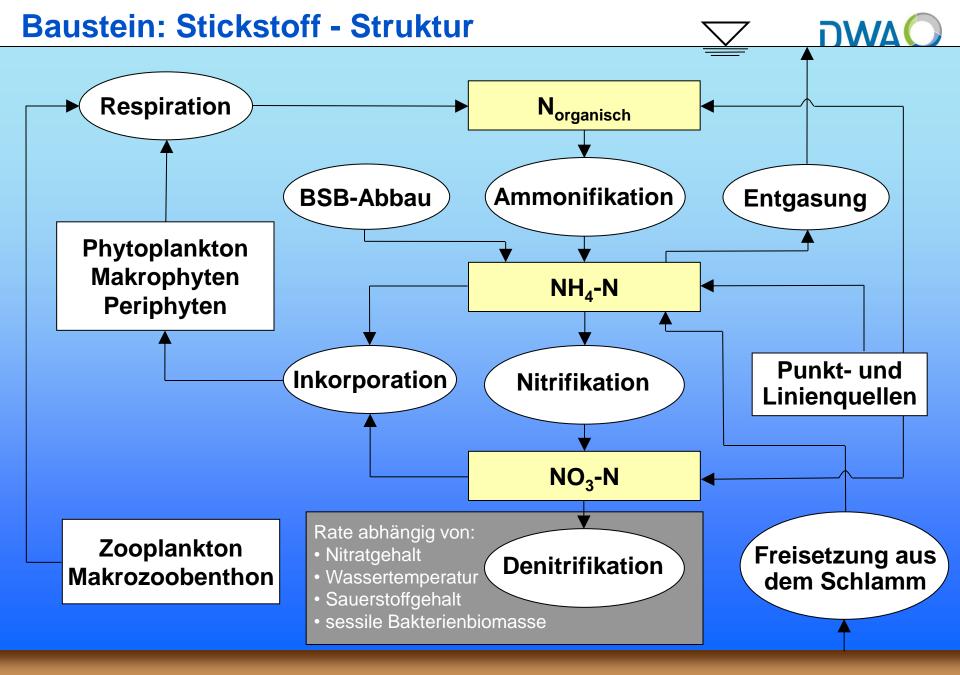


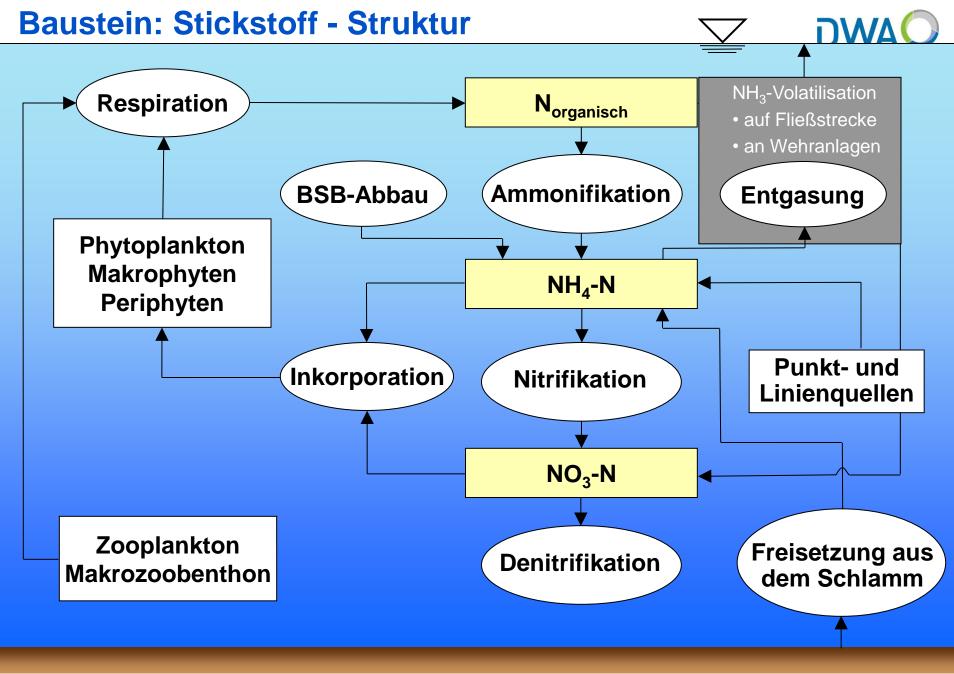






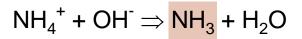




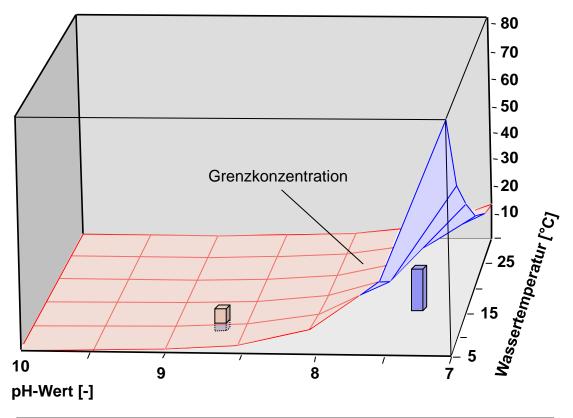


Baustein: Stickstoff

NH₄-N Grenzkonzentration für fischgiftige Wirkung von NH₃ (0,1 mg/l)







$$NH_{3} = \frac{0.94412 \times NH_{4} - N}{1 + 10^{0.0925 + \frac{2728.795}{W_{1} + 273.15} - PH}}$$

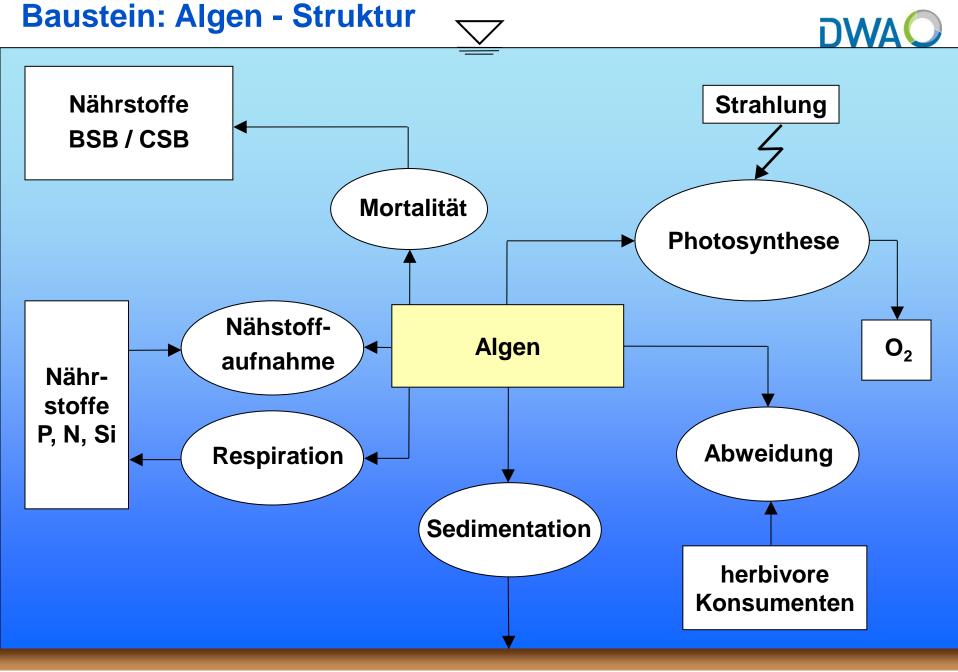
$$NH_{3} = Ammoniakanteil W_{t} = Wassertemperatur$$

Baustein: Stickstoff

Kläranlagen - Stickstoffreinigungsstufen



	Postvorschmutzung										
•	Restverschmutzung										
•	gering		mäßig		mittel			groß	sehr groß		
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	e				
	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	
ΣΝ	5	9	12	15	12	18	18	>30	>60	>100	
	≤ Mindestanforderung (§ 7a WHG)								> Mindestanforderung		
Ekkehard Christoffels											

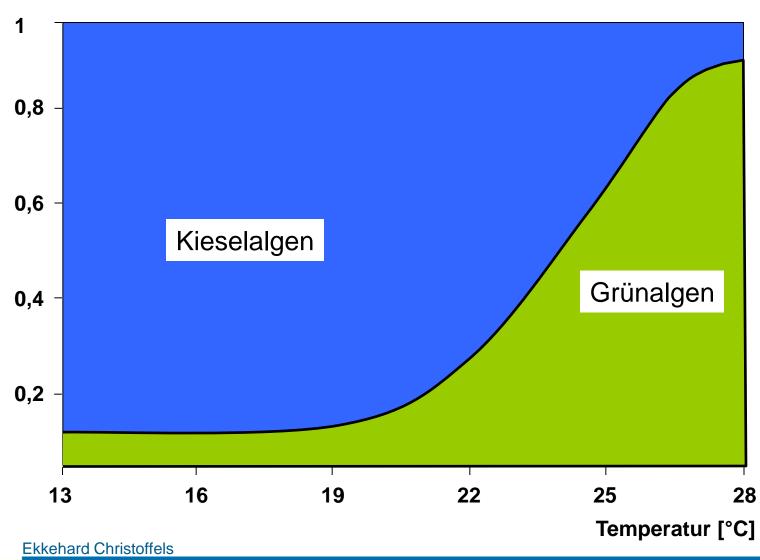


Baustein: Algen

Temperaturabhängige Zusammensetzung





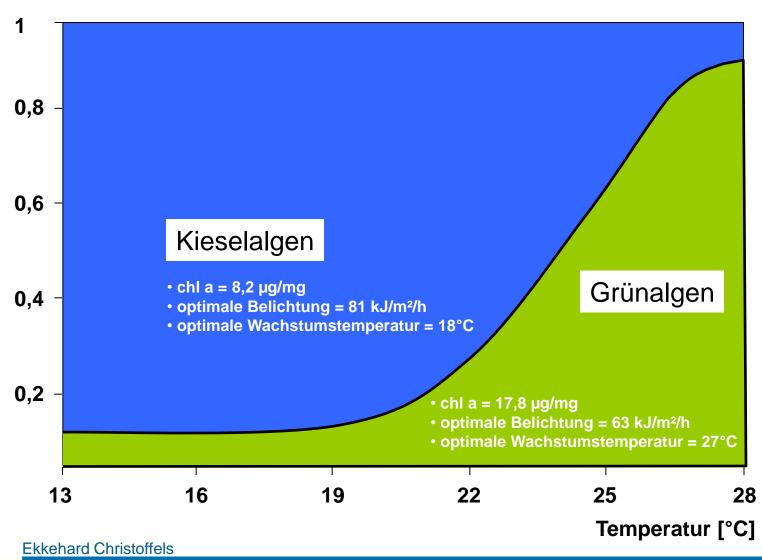


Baustein: Algen

Temperaturabhängige Zusammensetzung



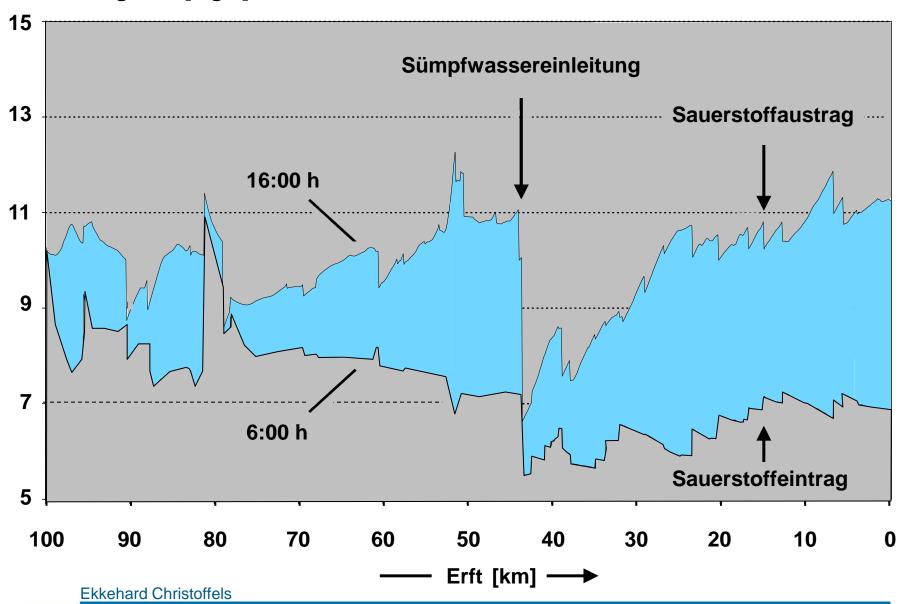




Modellberechnung: Status Quo – Sauerstoffgehalt del Martin



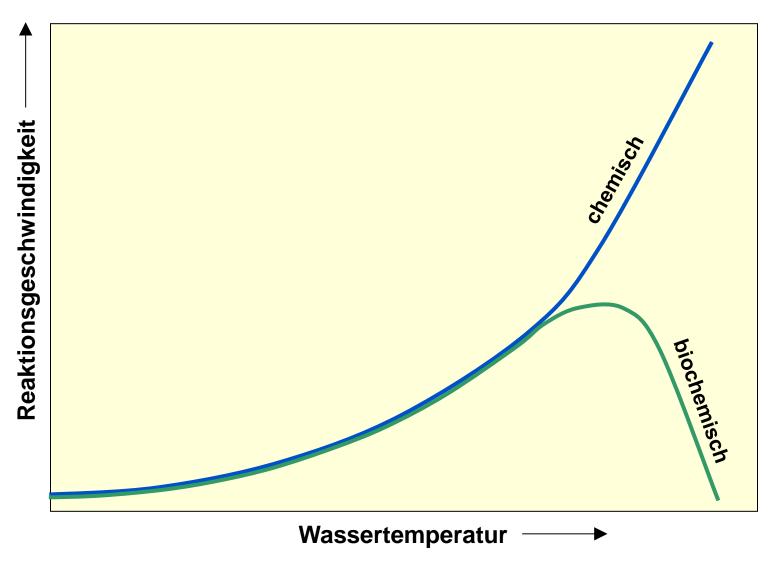
- Sommerlastfall -



Baustein Wassertemperatur:



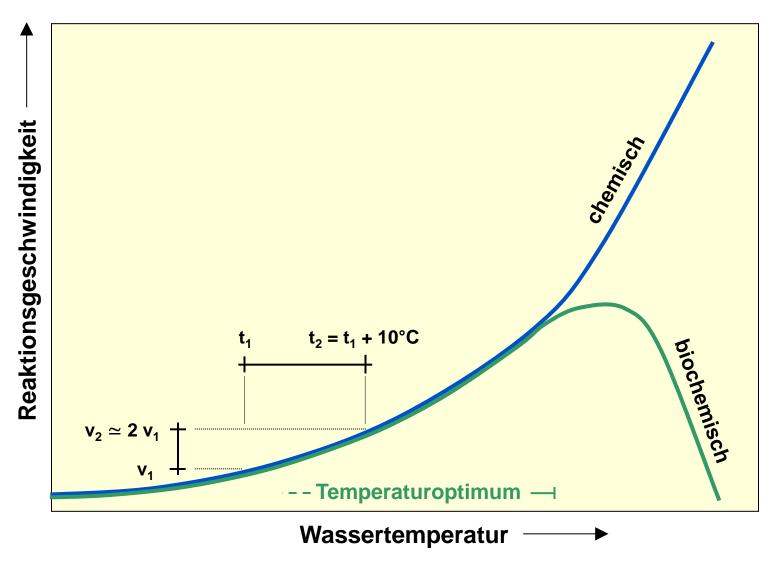
Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur



Baustein Wassertemperatur:



Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur



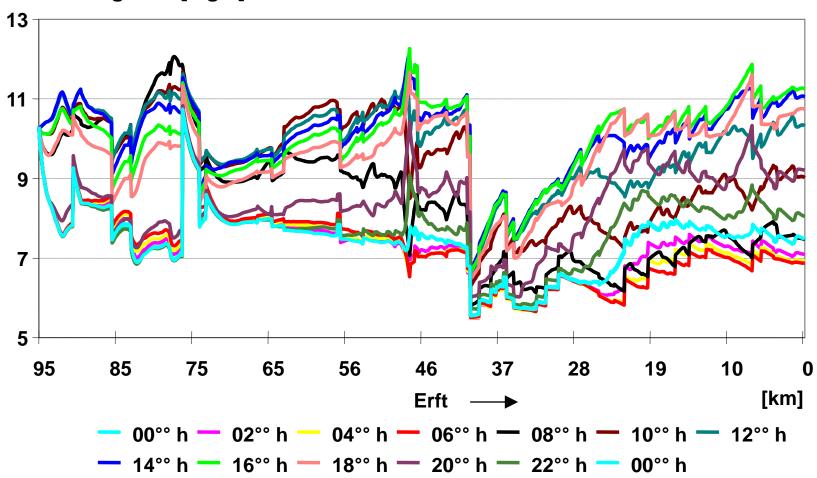
Gute Modell-Praxis



- 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)
- 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 de Market Sauerstoffgehalt - Sommerlastfall -

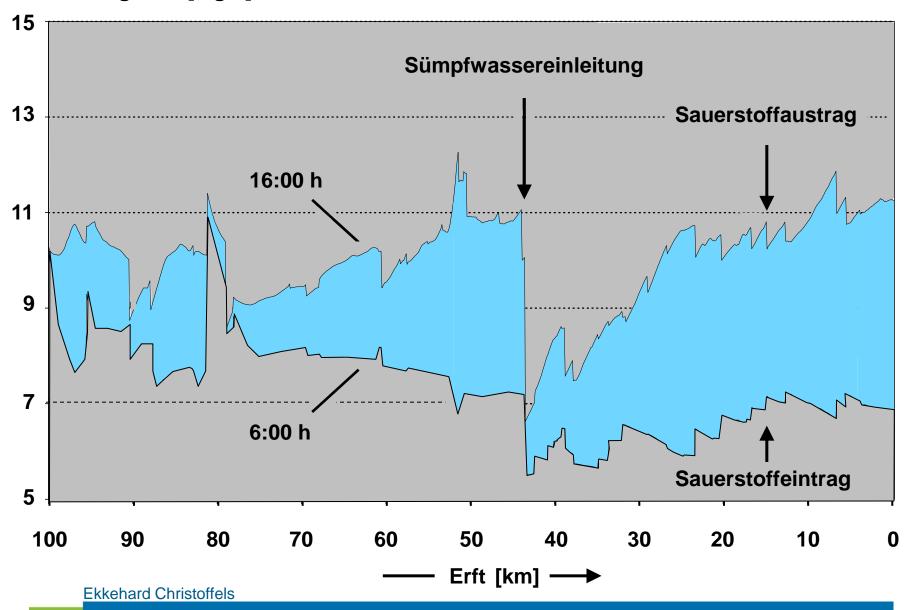
Sauerstoffgehalt [mg/L]



Modellberechnung: Status Quo – Sauerstoffgehalt de hatt



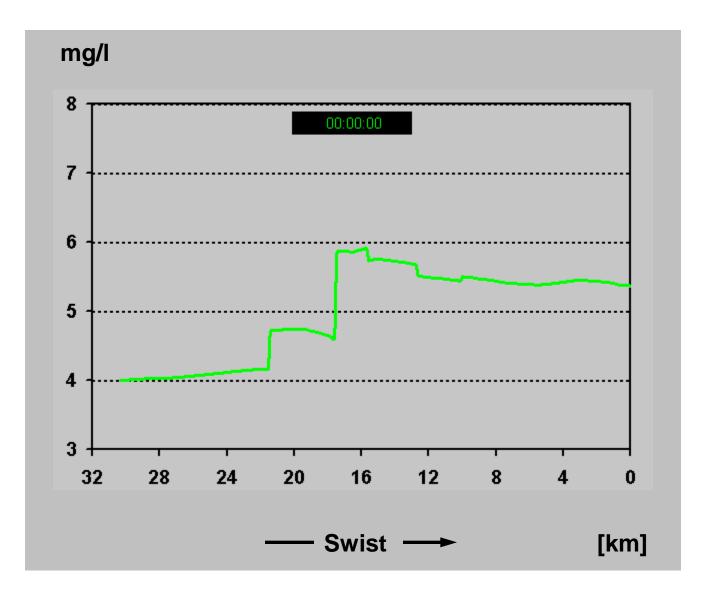
- Sommerlastfall -



Ergebnisse:

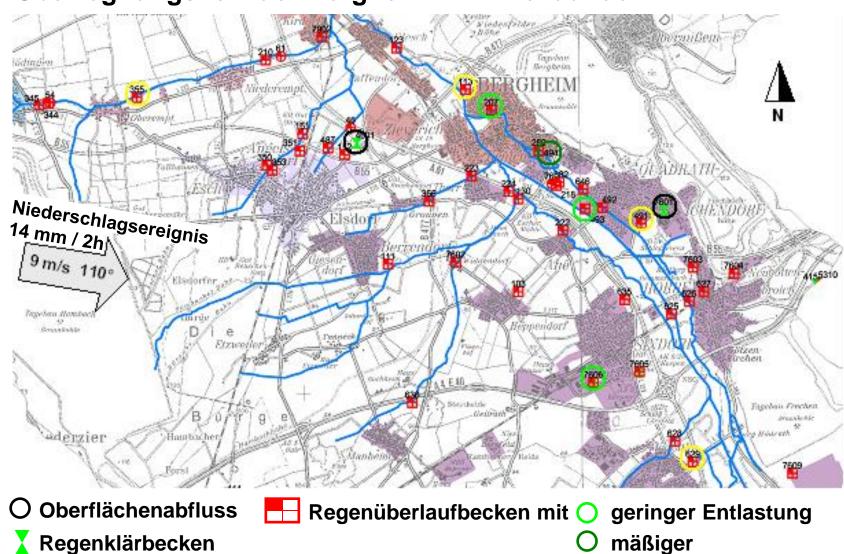
DWA O

Sommer-/Trockenwetterszenario Beispiel Nitrat



Ergebnisse: Niederschlagsinduzierte Modellierung

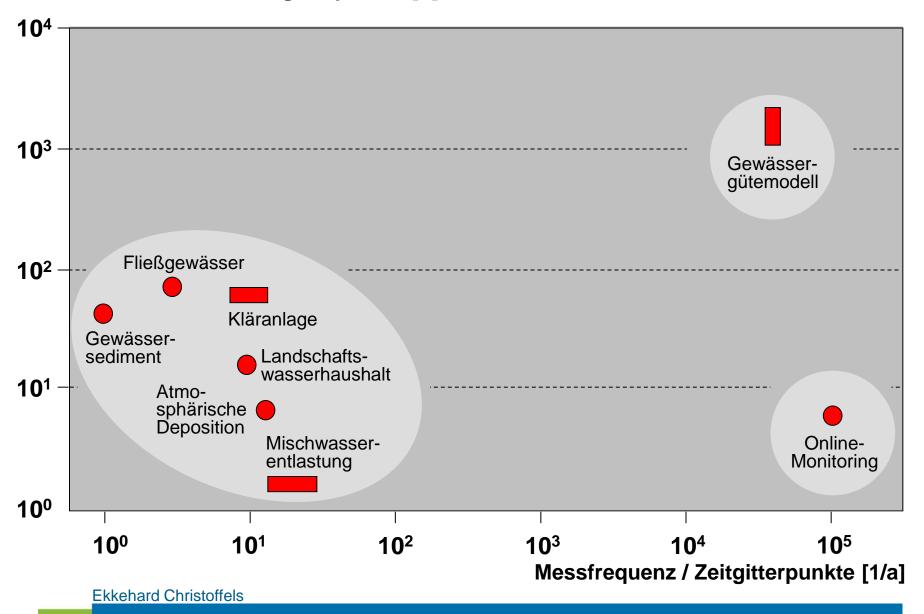
Niederschlagszenario, Typ und Lage der Entlastungsanlagen im Überregnungskorridor Bergheim im Mittellauf der Erft



ergiebiger

Monitoring und Modellierung – Raum- / Zeitskalene

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:

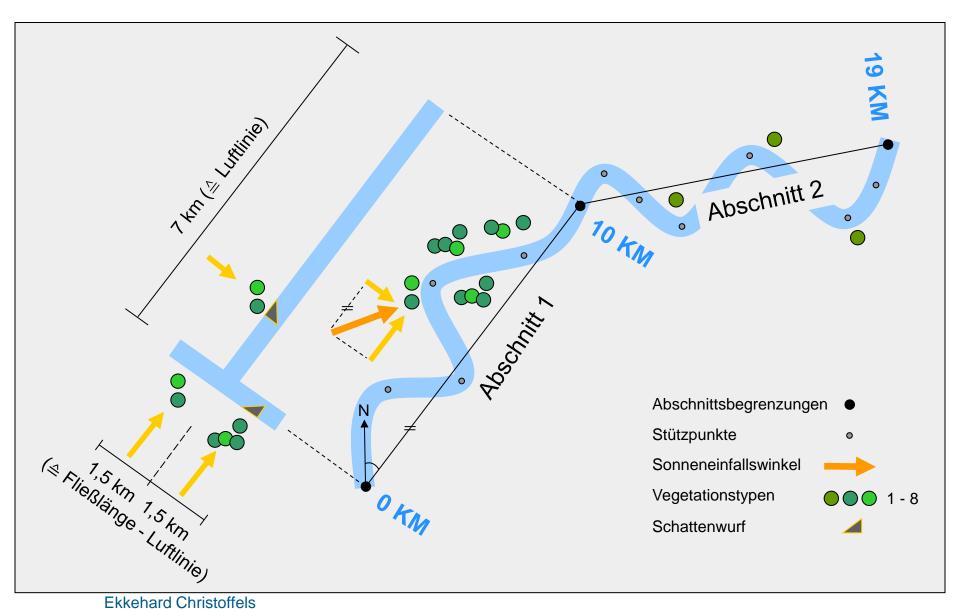
Anwendungsbereiche der Gewässergütesimulation

- 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

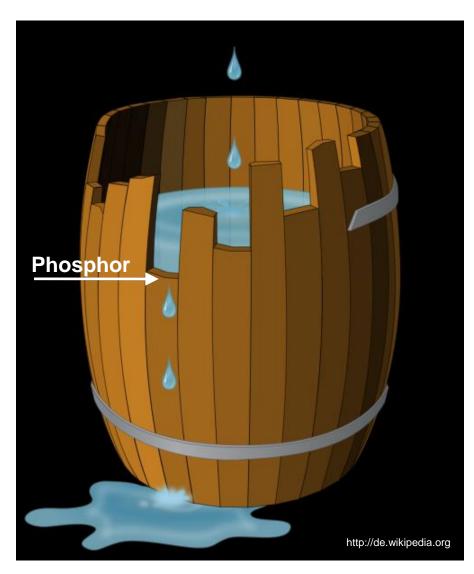
Uferbegleitende Vegetation und Abschattung





Gesetz vom Minimum





Minimumgesetz:

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

- ⇒ inkorporiert in organische Substanz,
- ⇒ BSB-Abbau
- ⇒ Freisetzung als Orthophosphat
- ⇒ algenverfügbar

Umrechnung: $c_{PO_4-P} = c_{PO_4} x$ Molare Masse P / HPO₄²⁻

Bedeutung der Eutrophierung für Fließgewässer





Bedeutung der Bodenerosion für Fließgewässer I





Bedeutung der Bodenerosion für Fließgewässer II

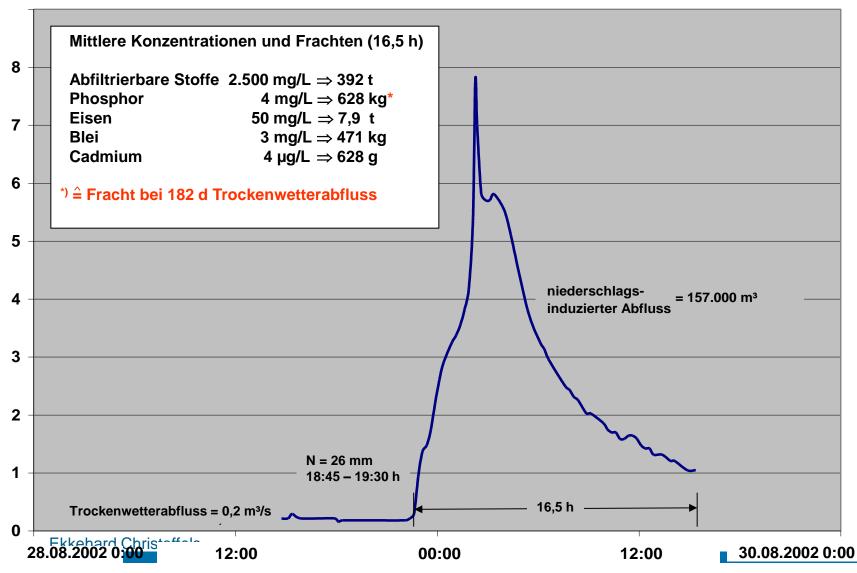






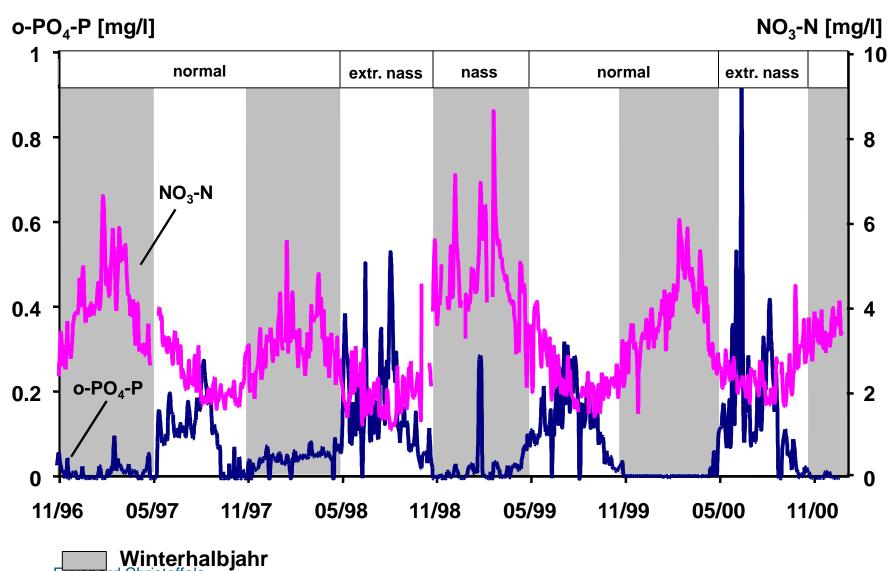
Bedeutung der Bodenerosion für Fließgewässer III

Wasserabfluss [m³/s]



Baustein: Phosphor / Stickstoff

Saisonalität der Nährstoffgehalte in Fließgewässern

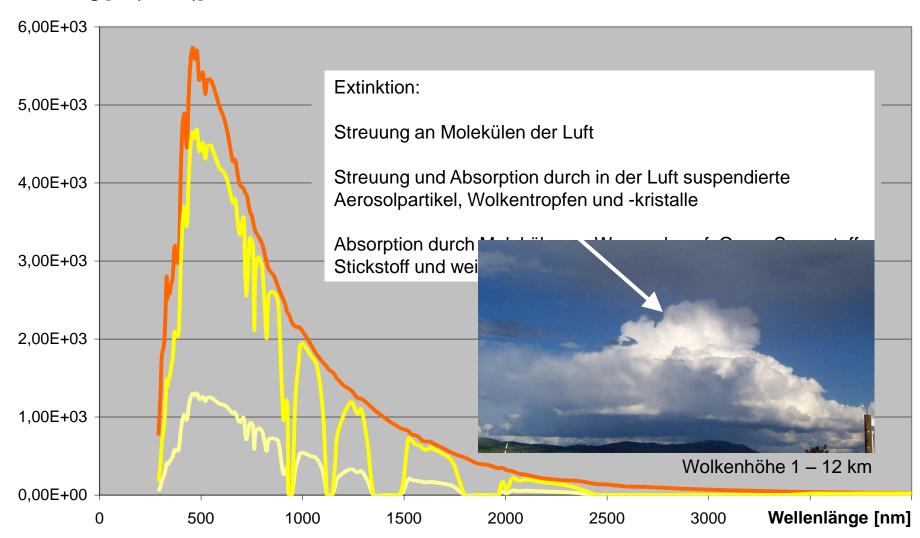




Baustein: Strahlung Dämpfung der Solarstrahlung durch Extinktion



Strahlung [kJ/(m² x h)]

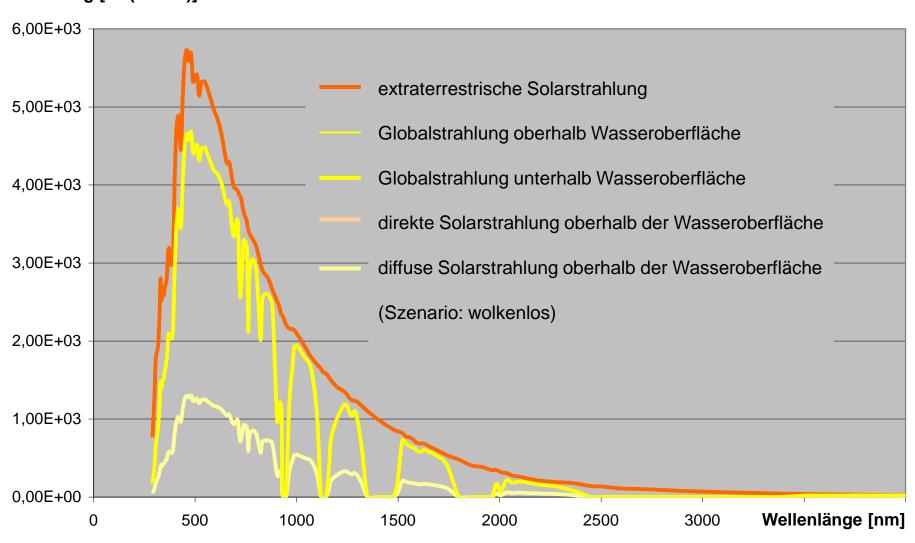


Baustein: Strahlung Direkte und diffuse Solarstrahlung



Strahlung [kJ/(m² x h)]

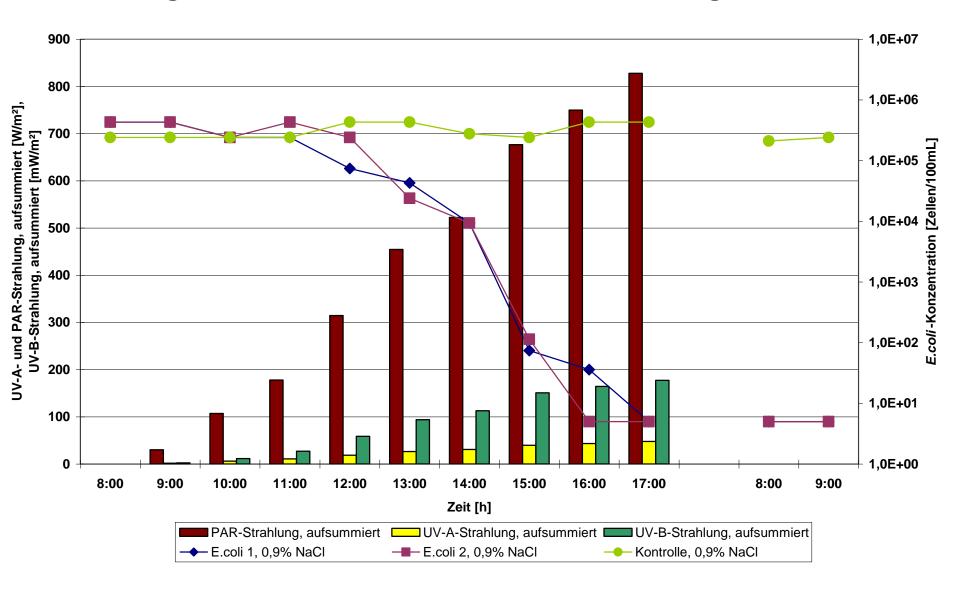
Ekkehard Christoffels



Baustein: Strahlung

DWA O

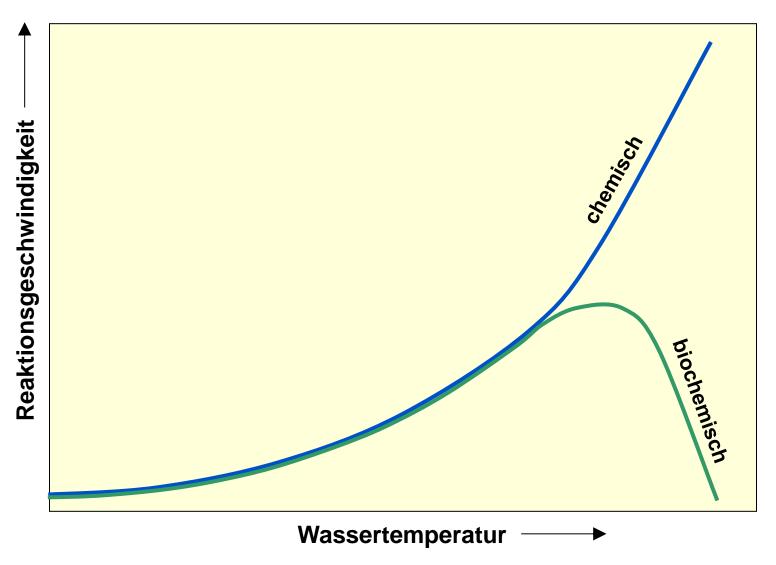
Limitierung von Escherichia coli durch Solarstrahlung



Baustein Wassertemperatur:



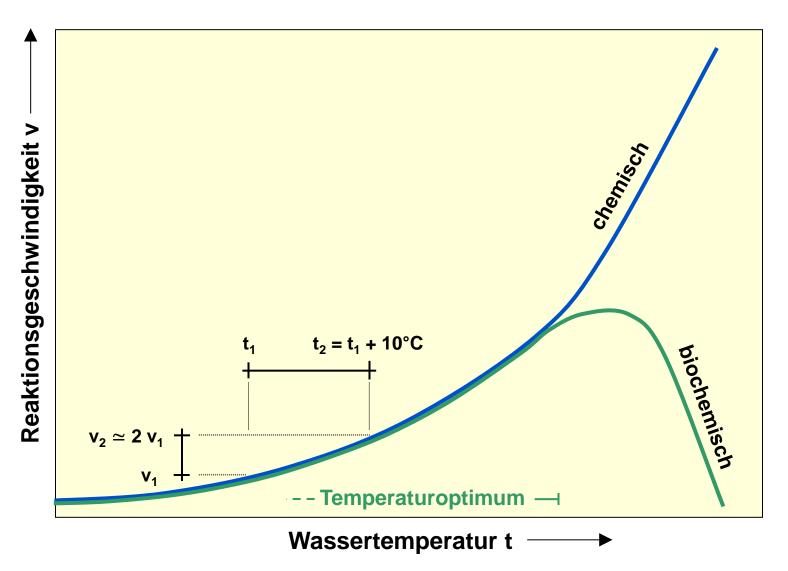
Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur

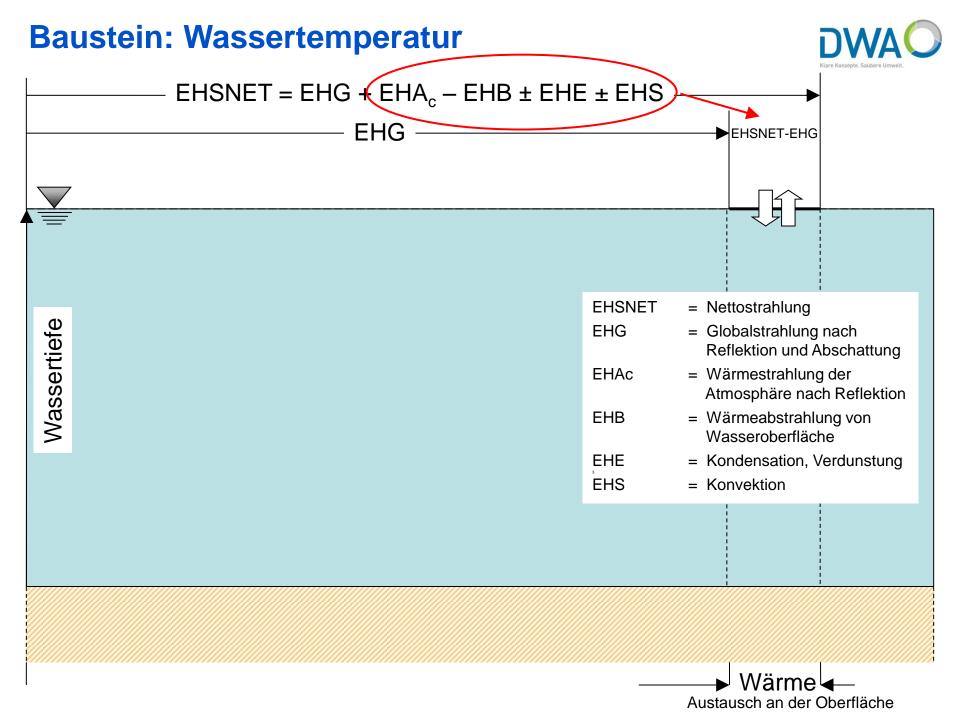


Baustein Wassertemperatur:



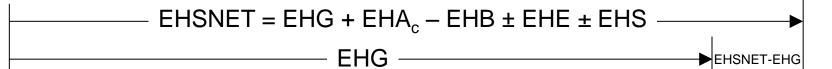
Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur





Baustein: Wassertemperatur







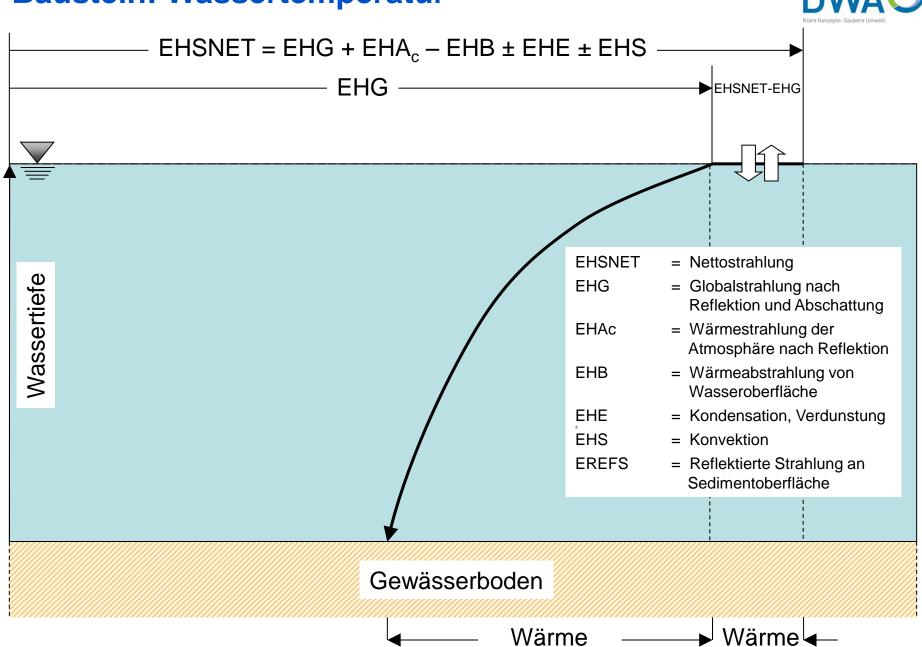


Kondensation: Wärmezufuhr im Wasser aufgrund Dampfdruckdifferenz

Verdunstung: Wärmeverlust im Wasser aufgrund Dampfdruckdifferenz

Konvektion: unmittelbarer Wärmeübergang aufgrund Temperaturdifferenz

Baustein: Wassertemperatur

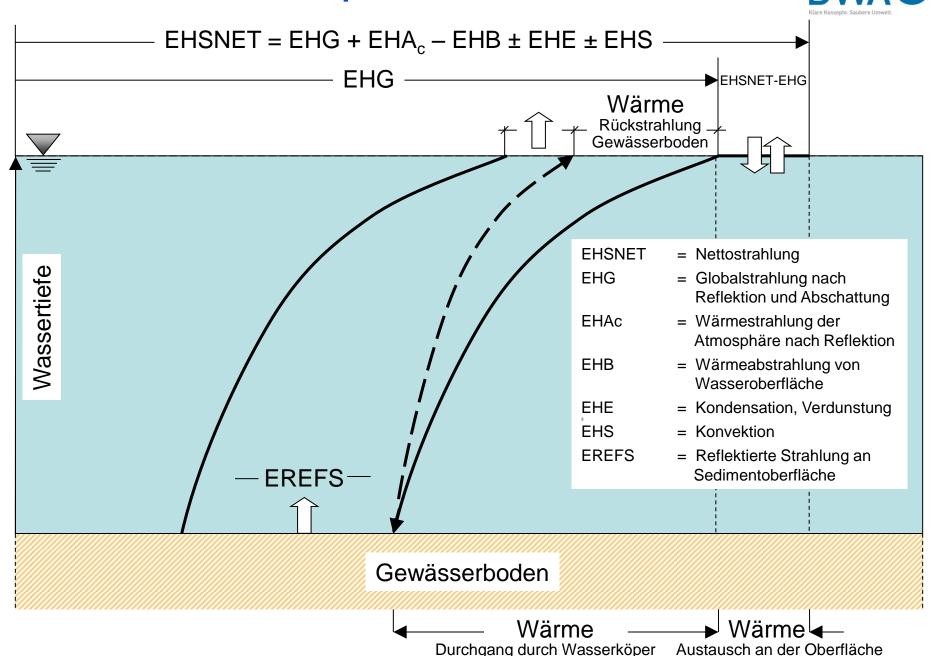


Durchgang durch Wasserköper

Austausch an der Oberfläche

Baustein: Wassertemperatur





Baustein: Wassertemperatur EHSNET = EHG + EHA_c – EHB \pm EHE \pm EHS **EHG** ►EHSNET-EHG Wärme Wärme Einleitung TP, TL Rückstrahlung _ Gewässerboden **EHSNET** = Nettostrahlung Wassertiefe **EHG** = Globalstrahlung nach Reflektion und Abschattung **EHAc** = Wärmestrahlung der Atmosphäre nach Reflektion **EHB** = Wärmeabstrahlung von Wasseroberfläche EHE = Kondensation, Verdunstung **EHS** = Konvektion = Reflektierte Strahlung an **EREFS** 1-EREFS **EREFS** Sedimentoberfläche Wärme Wärme Gewässerboden Erwärmung Flussbett Ubergang TV-TS Wärme Wärme Wärme⊌ Rückstrahlung / Speicherung Sediment Durchgang durch Wasserköper Austausch an der Oberfläche



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 ≙ gelöster Anteil des refraktären CSB	Strahlung Organische Einzelsubstanzen	

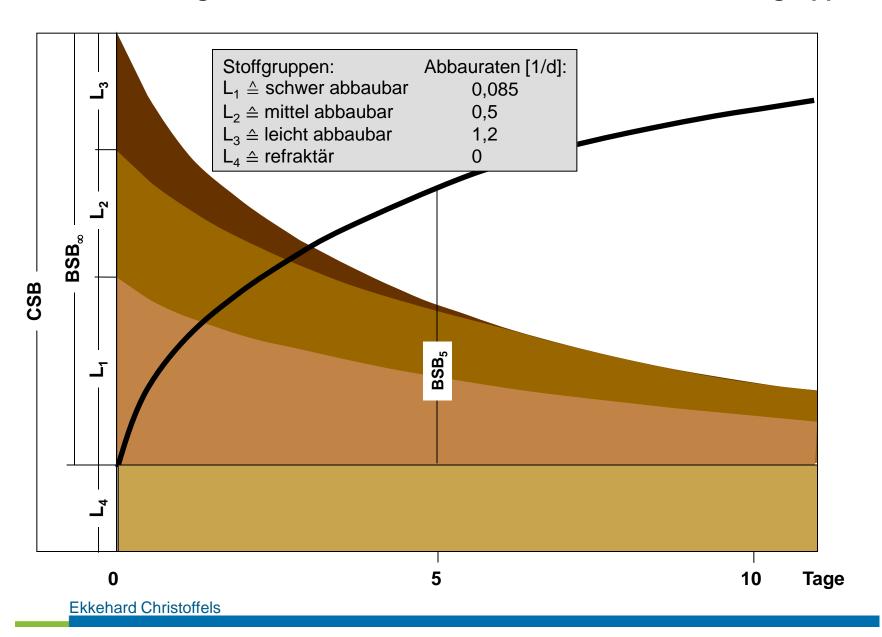
DOC

dissolved organic carbon

 $egin{array}{ll} N_{org} & riangle & organisch gebundener Stickstoff \ P_{org} & riangle & organisch gebundener Phosphor \ \end{array}$



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



