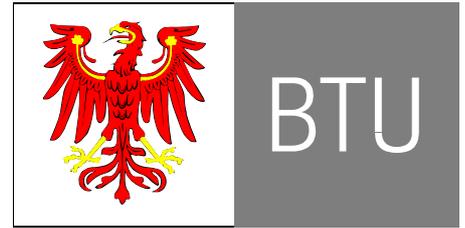




**Brandenburgische
Technische Universität Cottbus**

**Lehrstuhl für Ökosysteme und
Umweltinformatik**



Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Wassergüteuntersuchungen von Seen und Datenanalyse mit MATLAB/ISSOP

Albrecht Gnauck, Bernhard Luther

11. ASIM – Fachtagung
Simulation in Produktion und Logistik
ISSOP User Group Meeting

Fraunhofer Institut
für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik
Berlin, 4.- 5. Oktober 2004

Inhalt

1. Einleitung
2. Der Eutrophierungssimulator HavelMod/ISSOP
3. Das Untersuchungsgebiet und Datenmaterial
4. Simulationsergebnisse
5. Optimierungsergebnisse
6. Schlussbemerkungen

Gewässereutrophierung

Starke Erhöhung der Biomasseproduktion infolge hohen Nährstoffeintrages aus dem Gewässereinzugsgebiet

Intensive Färbung und Trübung des Wasserkörpers durch Algenbiomasse, Abnahme der Lichtdurchlässigkeit und Absterben der Unterwasserpflanzen durch hohe Trübung

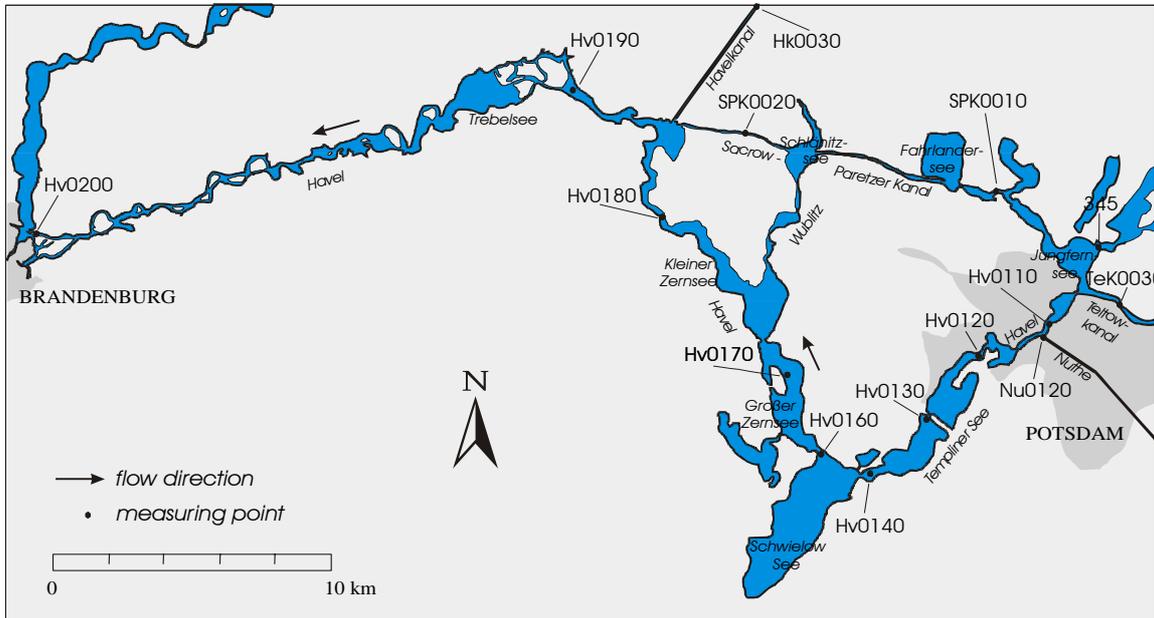
Abnahme des Sauerstoffgehaltes und Anreicherung von Schwefelwasserstoff und Methan in den tieferen Wasserschichten infolge verstärktem Abbau von organischem Material durch bakterielle Aktivität

Fischsterben durch Sauerstoffmangel bzw. durch toxische Wirkungen bei steigenden pH-Werten und hohen photosynthetischen Raten

Anstieg der Nährstofffreisetzung aus dem Sediment bei anoxischen Bedingungen in der oberen Sedimentschicht

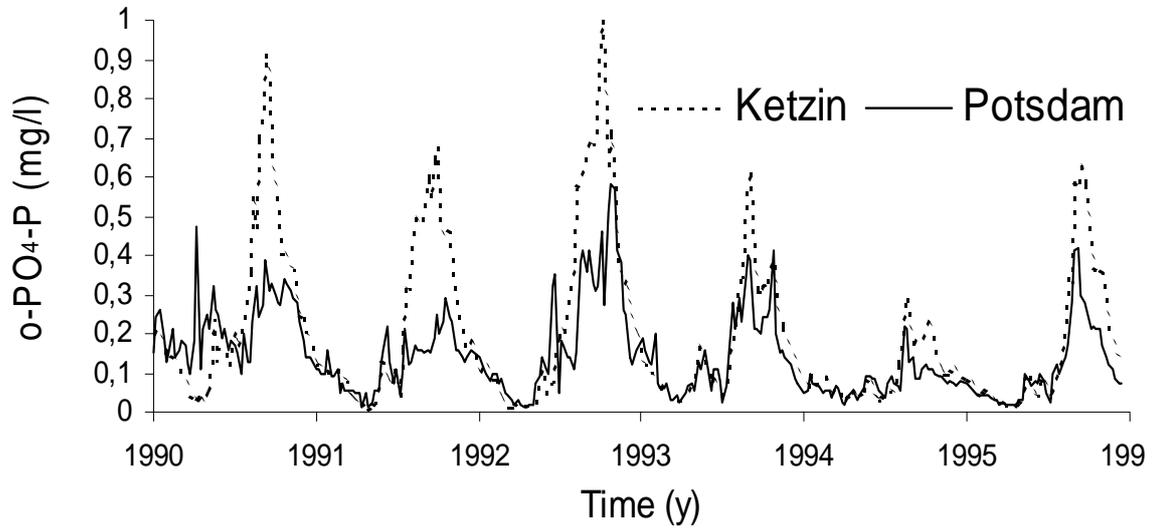
Teilweise erhebliche Einschränkung der Gewässernutzungen

Untersuchungsgebiet

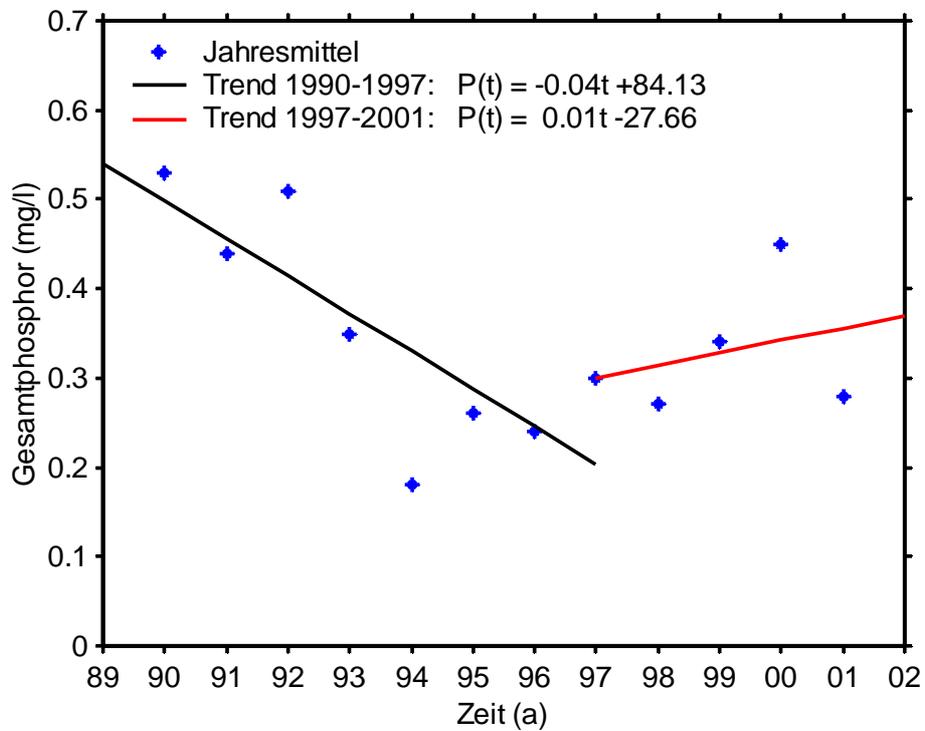


- Die Havel ist ein typisches Fließgewässer des norddeutschen Tieflandes und gehört mit einer Länge von 325 km zu den größten rechtsseitigen Nebenflüssen der Elbe.
- Das Einzugsgebiet ist durch flache Seen, Feuchtgebiete und Marschland mit hohen Verdunstungsraten charakterisiert. Nur 25% der jährlichen Niederschlagsmenge tragen zum Abfluss bei. Für Niedrigwasserbedingungen wurde eine Wasserspiegelneigung von 2 cm/km beobachtet.
- Zahlreiche Stauhaltungen beeinflussen den Abfluss und die Wassergüte. Die aktive Sedimentschicht beträgt 2 - 6 cm.

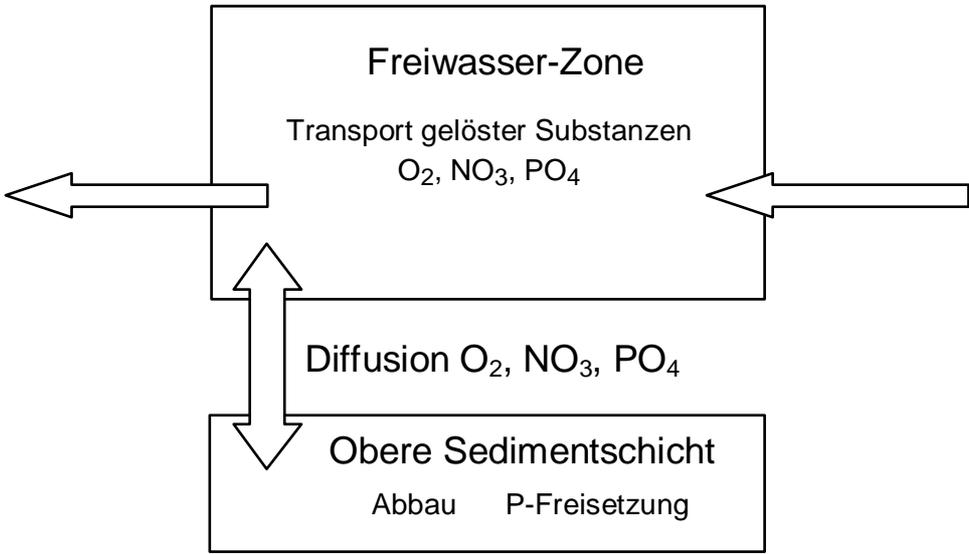
Orthophosphatkonzentrationen in Teileinzugsgebieten der Havel



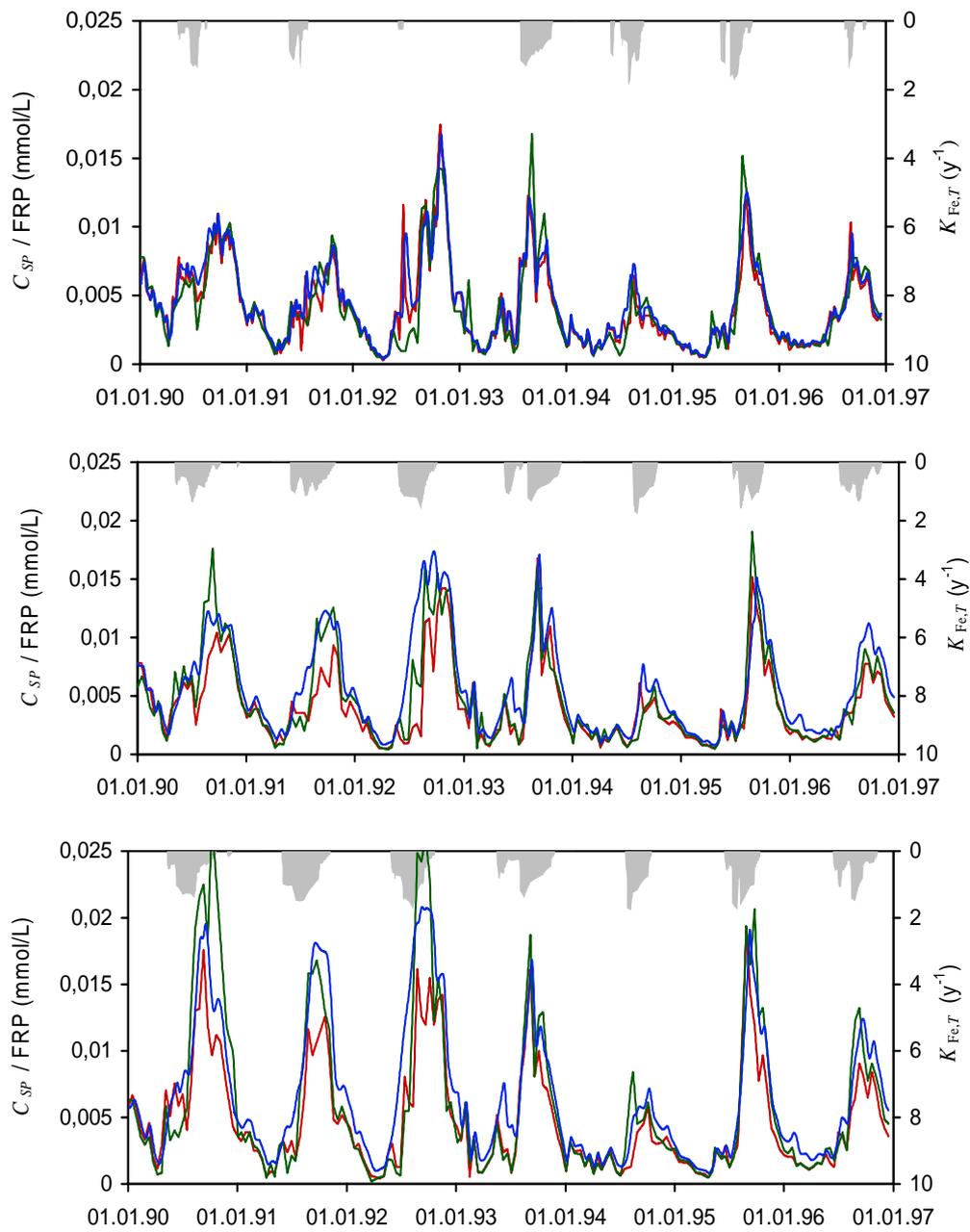
Trends der Orthophosphatkonzentration



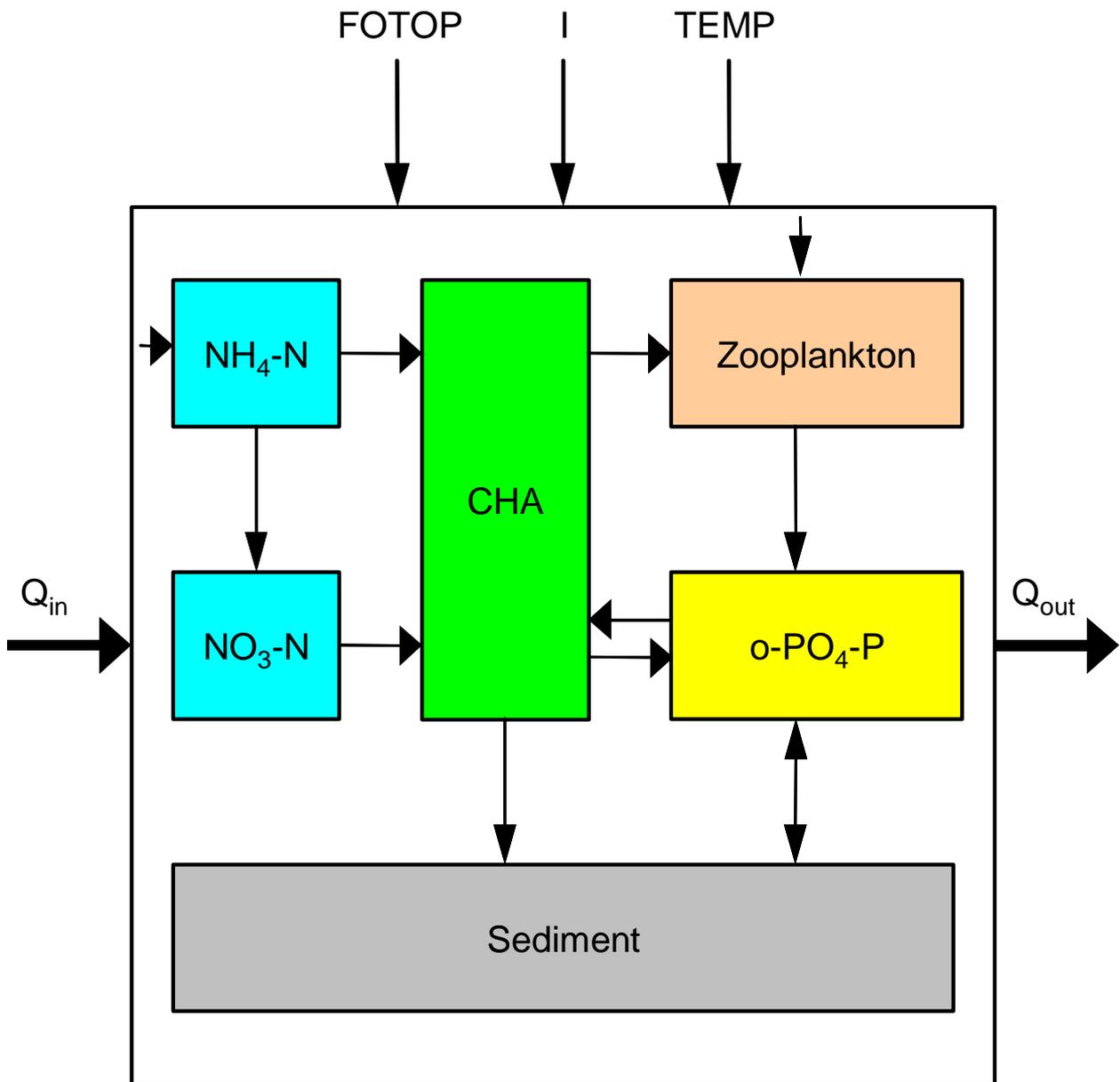
Modellkonzept der P – Freisetzung aus dem Sediment



P – Rücklösung aus dem Sediment



Der Eutrophierungssimulator *HavelMod*



Der Eutrophierungssimulator *HavelMod*

Phytoplankton, A (mg CHA/l)

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{Q}{V} \cdot (C_{A,IN} - C_{A,OUT}) - UA \cdot f \cdot C_A + GROW - FRZ \cdot CR \cdot C_Z \cdot C_A - RESP \cdot T \cdot C_A$$

Orthophosphat-Phosphor, P (mg P/l)

$$\begin{aligned} \frac{dC_P}{dt} = \frac{Q}{V} \cdot (C_{P,IN} - C_{P,OUT}) + \frac{1}{4} \cdot \frac{dC_{P,SED}}{dt} - GROW \\ + FRZ \cdot CR \cdot C_Z \cdot C_A \cdot \left((1 - AZP) \cdot \frac{KSA}{KSA + C_A} \right) + RESP \cdot T \cdot C_A \end{aligned}$$

Ammonium-Stickstoff, NH4-N (mg N/l)

$$\frac{dC_{NH4}}{dt} = \frac{Q}{V} \cdot (C_{NH4,IN} - C_{NH4,OUT}) - FA1 \cdot FUP \cdot GROW + B3 \cdot C_{NORG} - B1 \cdot C_{NH4}$$

Nitrat-Stickstoff, NO3-N (mg N/l)

$$\frac{dC_{NO3}}{dt} = \frac{Q}{V} \cdot (C_{NO3,IN} - C_{NO3,OUT}) - FA1 \cdot (1 - FUP) \cdot GROW + B1 \cdot C_{NH4}$$

Zooplankton, Z (mg C/l)

$$\frac{dC_Z}{dt} = FRZ \cdot CR \cdot C_Z \cdot C_A \cdot q_{C/CHA} \cdot AZP \cdot \frac{KSA}{KSA + C_A} - MORT \cdot C_Z + Z_0$$

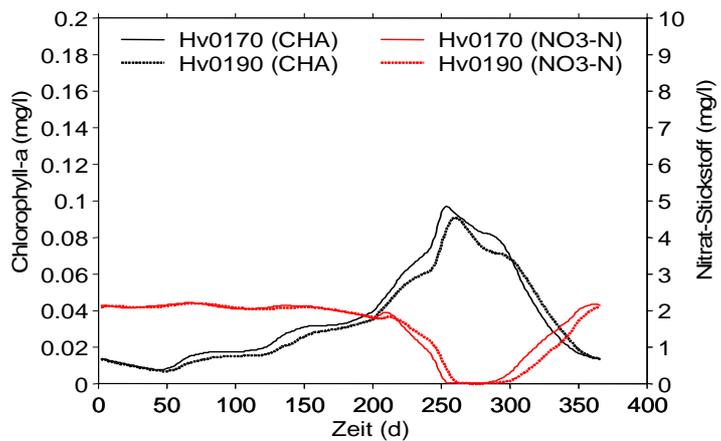
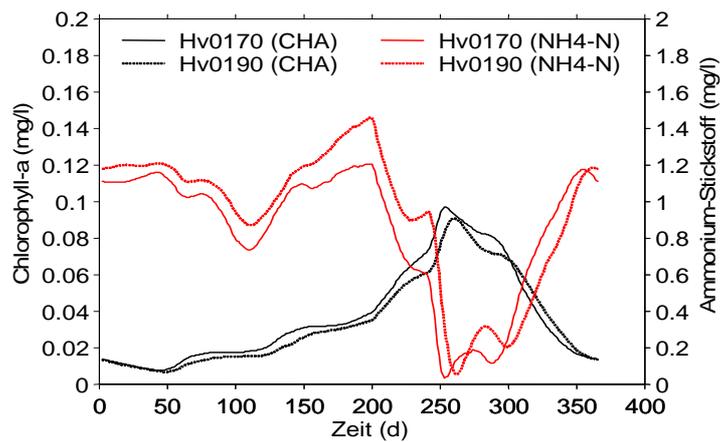
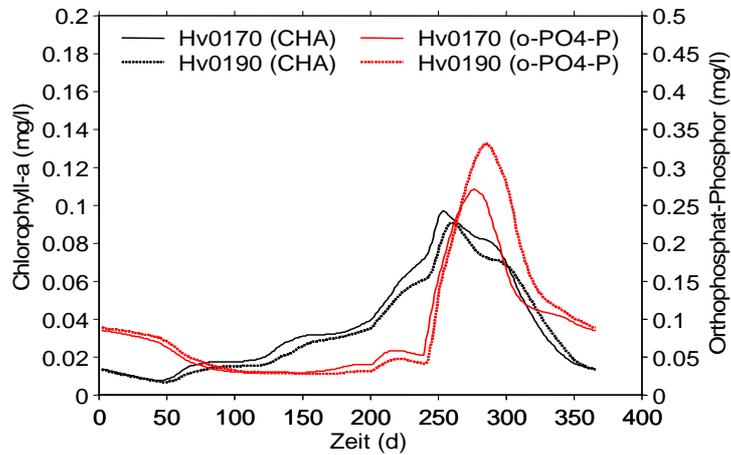
Phosphor-Rücklösung, PSED (mg P/l):

$$\frac{dC_{P,SED}}{dt} = \varphi h_s \cdot \left(-D_{P,T} \frac{1}{1 - \ln(\varphi^2)} \frac{C_P - \frac{C_{P,SED}}{h_s \varphi}}{\frac{h_s}{2}} + \Theta \cdot \frac{C_{EA,POWA,crit} - C_{EA,POWA}}{C_{EA,POWA,crit}} K_{Fe,T} \cdot C_{Fe,POWA} \cdot q_{P/Fe} \right)$$

mit $\Theta = 1$, falls $C_{EA,POWA} \leq C_{EA,POWA,crit}$

und $\Theta = 0$, falls $C_{EA,POWA} > C_{EA,POWA,crit}$

Simulationsergebnisse



Optimale Steuerung der Wassergüte

Steuerungsaufgabe	Gewässer	Ziel der Steuerung	Gütekriterium
Optimalsteuerung	Oberflächengewässer, Grundwasserleiter	Extremwerte der Zustandsvariablen	Integralkriterien, Standards
Konstantes Systemverhalten	Kläranlagen, Trinkwassernetze, Abwassernetze	Festes dynamisches Systemverhalten	Standards, Betriebsanweisungen, Arbeitsvorschriften

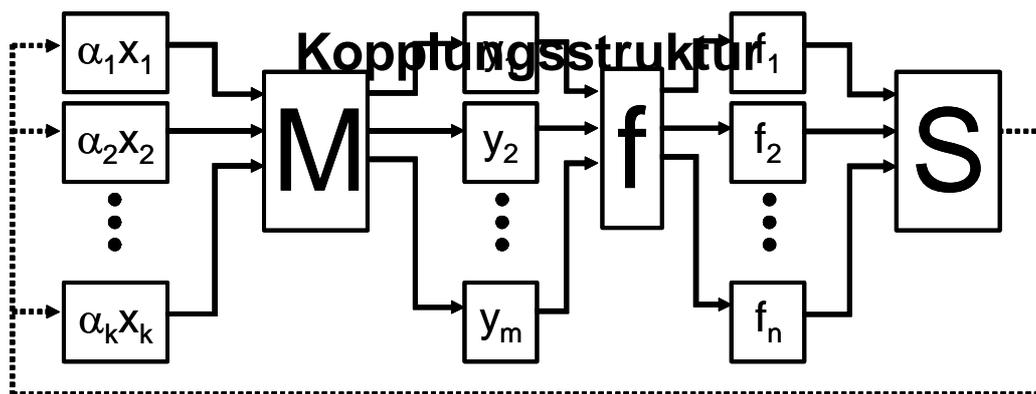
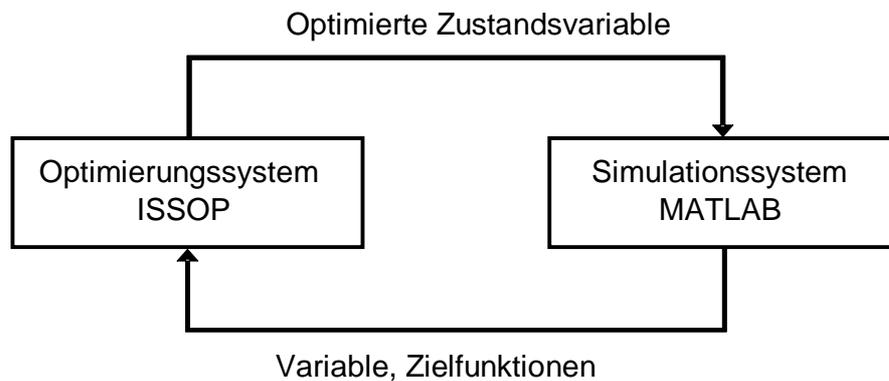
Zielfunktionen sind definiert durch natürliche Prozesse, die die Funktion des Gewässerökosystems beschreiben, durch sozio-ökonomische Bedingungen im Gewässereinzugsgebiet, durch Umweltstandards.

Suboptimale Steuerungen auf der Grundlage von Simulationen der Wassergüte.

Optimalsteuerungen als Kompromiss zwischen kontradiktorischen Zielen.

Kopplung der Simulatoren

Datenaustausch



Eingangsvariable: x_1, \dots, x_k ,

Parameter: $\alpha_1, \dots, \alpha_k$, Beschränkung: $\alpha_1, \dots, \alpha_k \in [0, 1]$,

Ausgangsvariable: y_1, \dots, y_m ,

Zielfunktionen: $\mathbf{f} = (f_1, \dots, f_n)$,

Gewichtsfaktoren: w_1, \dots, w_n mit $\sum_i |w_i| = 1$, $S = \sum w_i f_i$,

Simulation mit *HavelMod*

$$M = (\alpha_1 x_1(t), \alpha_2 x_2(t), \alpha_3 x_3(t)) = (y_1(\mathbf{p}, t), y_2(\mathbf{p}, t), y_3(\mathbf{p}, t))$$

Eingangsvariable:

$x_1(t)$: CHA

$x_2(t)$: o-PO₄-P

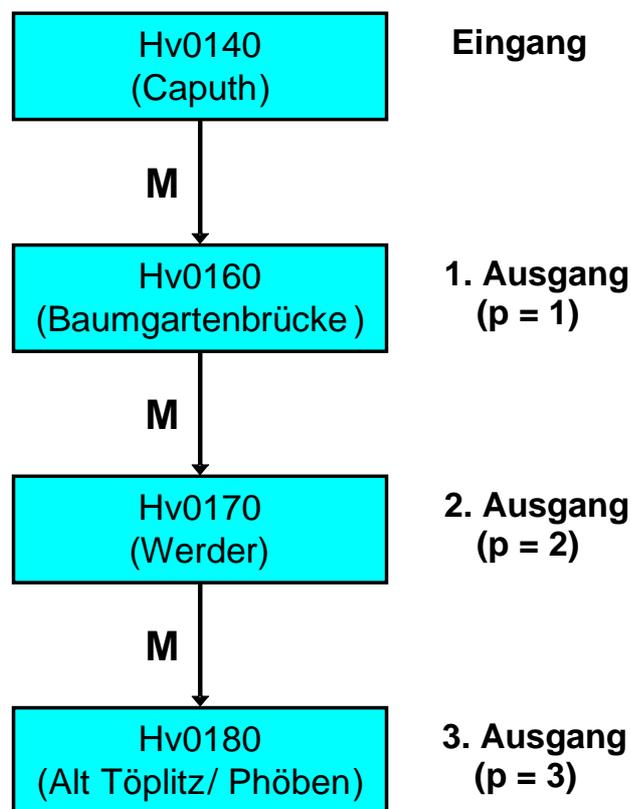
$x_3(t)$: NO₃-N

Ausgangsvariable:

$y_1(\mathbf{p}, t)$: CHA

$y_2(\mathbf{p}, t)$: o-PO₄-P

$y_3(\mathbf{p}, t)$: NO₃-N



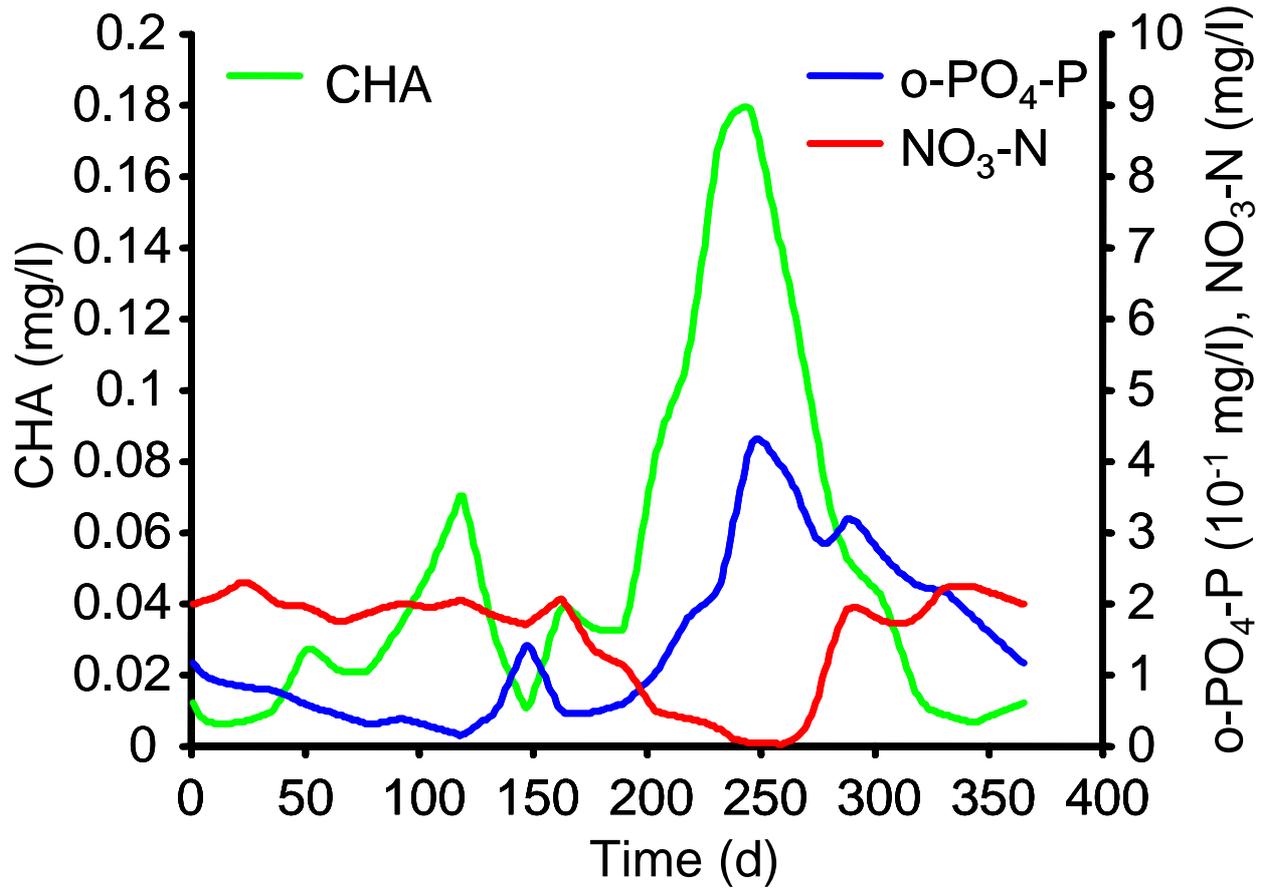
Steuerungsparameter

$\alpha_1 = 1$ CHA: nicht direkt steuerbar

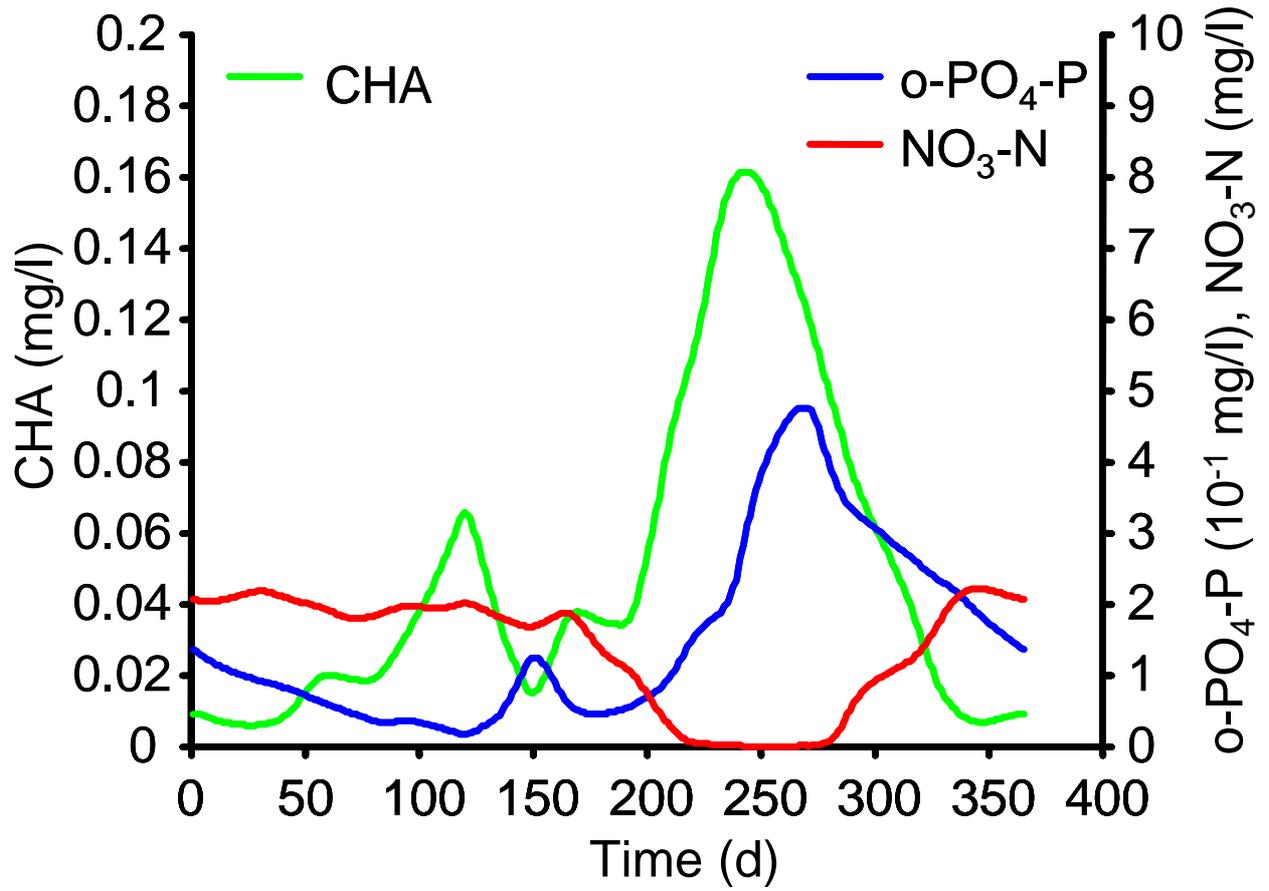
$\alpha_2 \in [0.01, 1]$ o-PO₄-P: Steuerung zwischen 1% und 100%

$\alpha_3 \in [0.01, 1]$ NO₃-N: Steuerung zwischen 1% and 100%

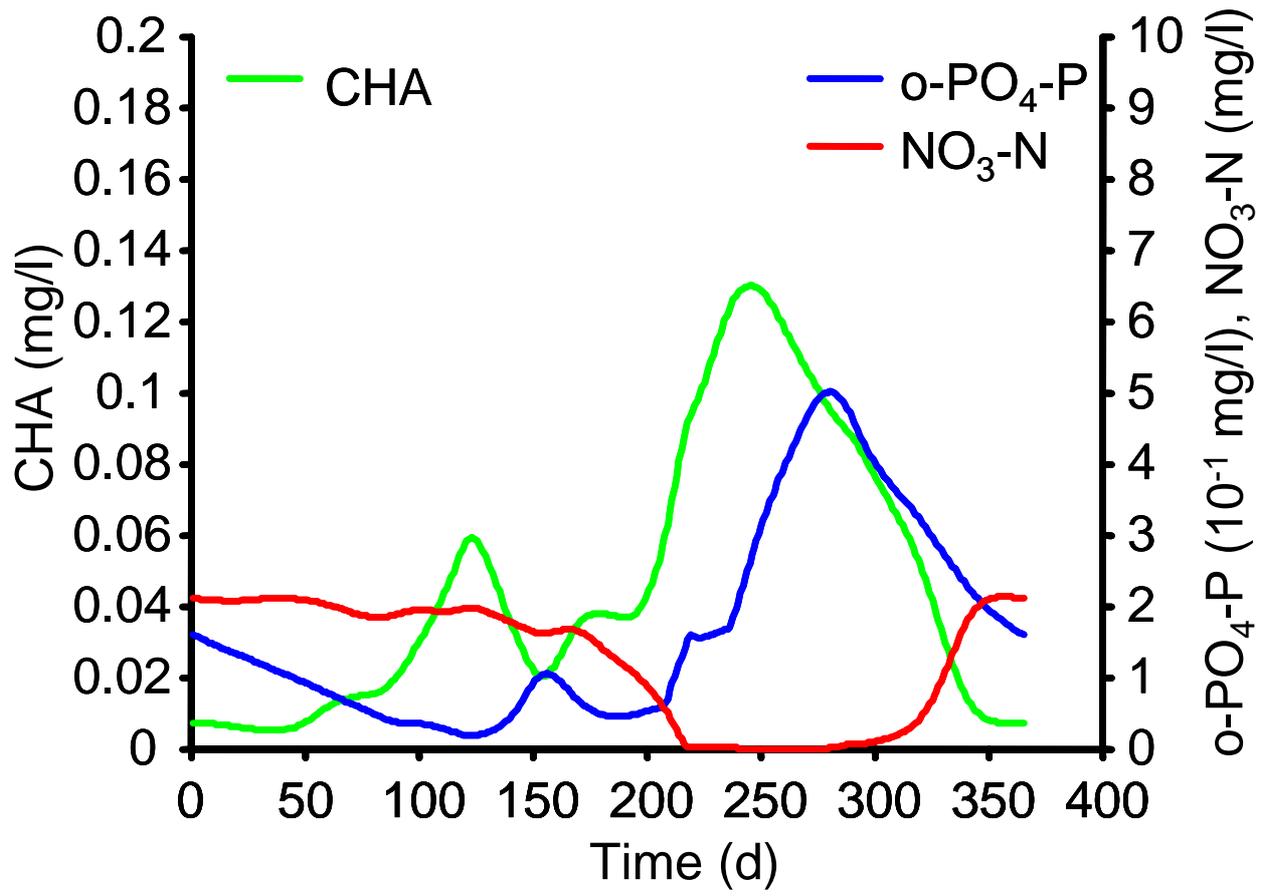
Hv0160



Hv0170



Hv0180



Optimierung mit *ISSOP*

Zielfunktionen

$$\text{CHA: } f_1 = \sum_p \sum_t y_1(p,t) \rightarrow \min.$$

$$\text{o-PO}_4\text{-P: } f_2 = \sum_p \sum_t y_2(p,t) \rightarrow \max.$$

$$\text{NO}_3\text{-N: } f_3 = \sum_p \sum_t y_3(p,t) \rightarrow \max.$$

Aggregation

$$S = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3 \text{ where: } |w_1| + |w_2| + |w_3| = 1$$

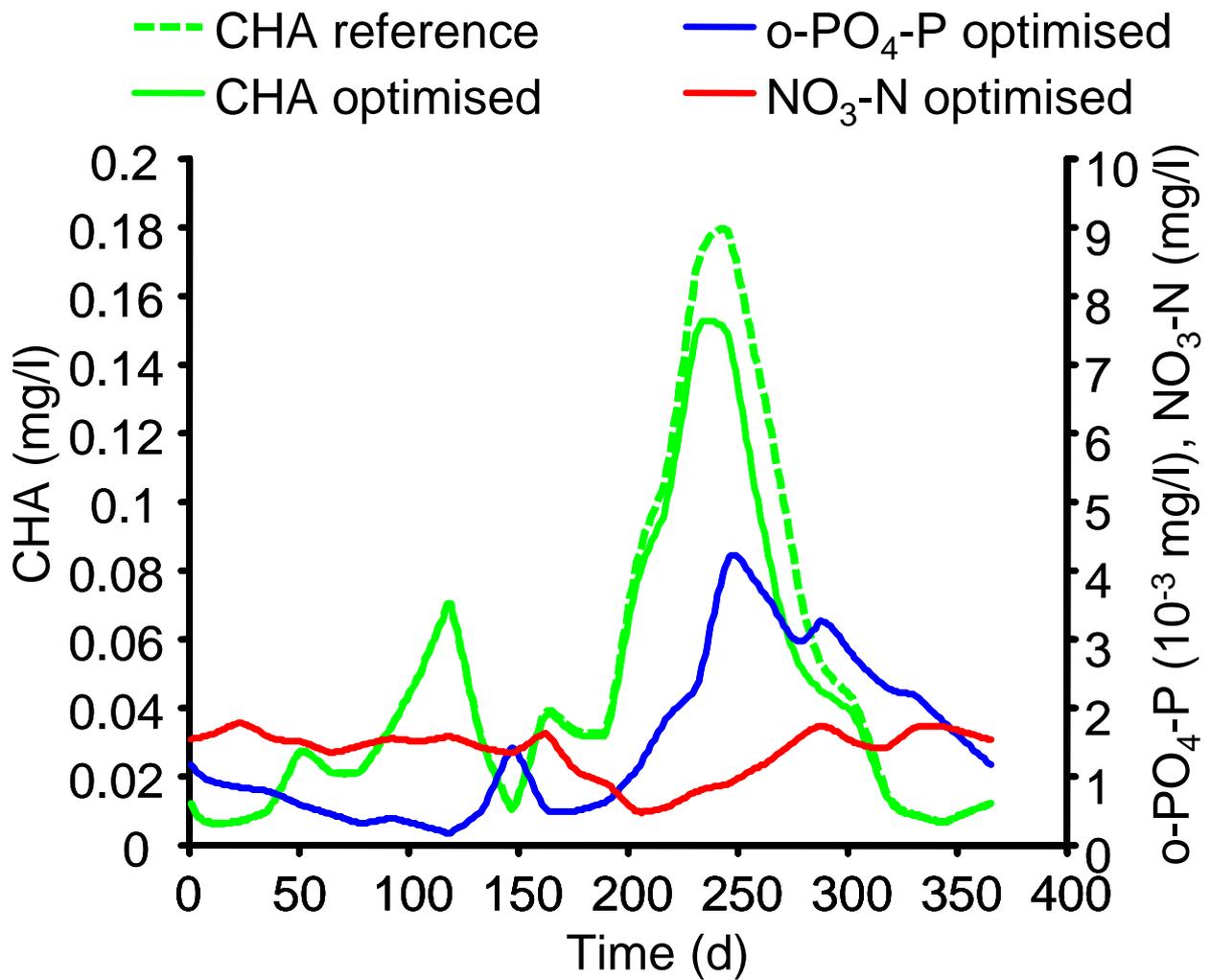
Standardisierte Gewichte (%)

Indikator	C-N-P-Verhältnis	LAWA
CHA	90.5	42
o-PO4-P	- 1.1	- 57
NO3-N	- 8.4	- 1

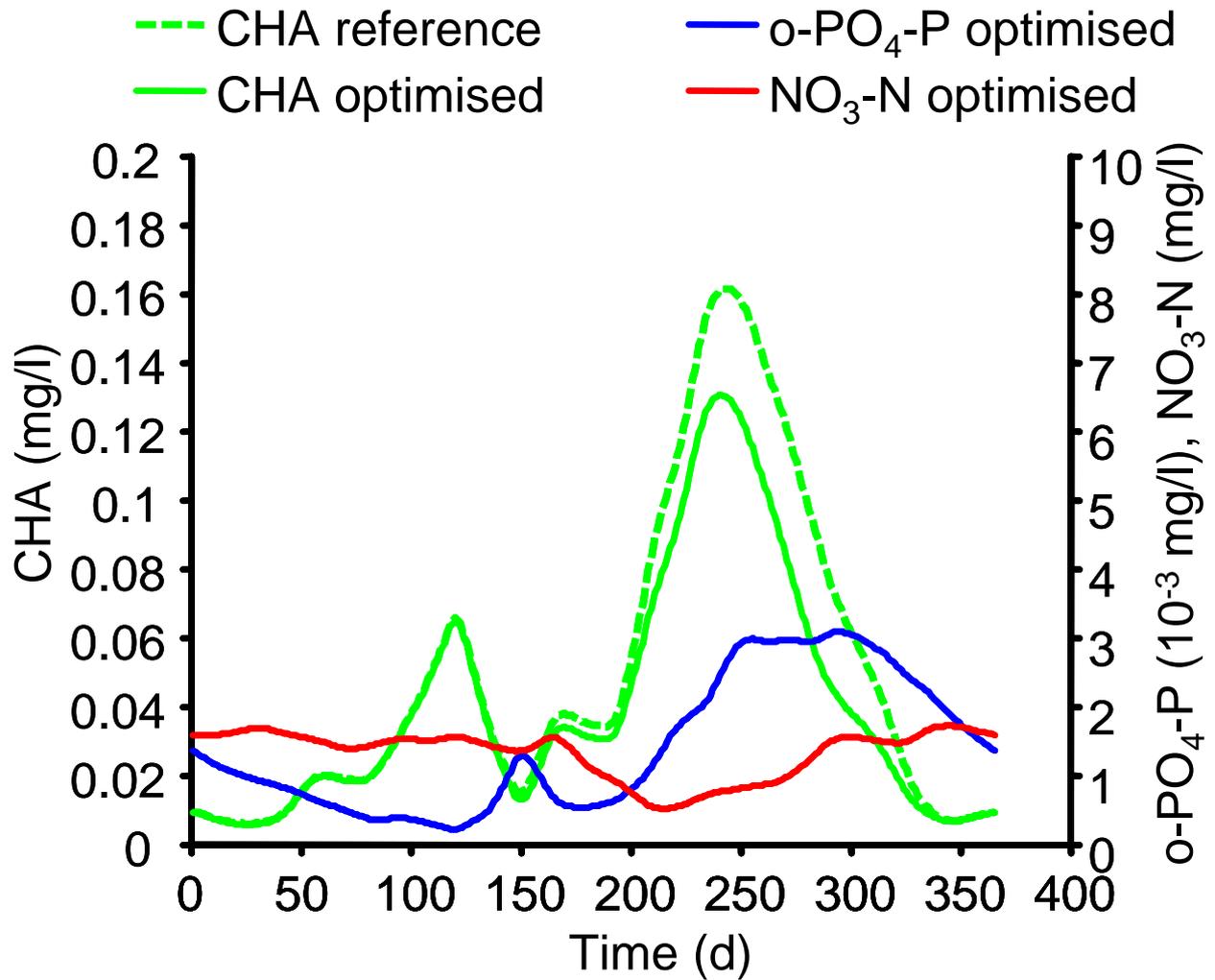
Ergebnisse

Strategie	$f_1(\mu\text{g/l})$	$f_2(\mu\text{g/l})$	$f_3(\mu\text{g/l})$	α_1	α_2	α_3
C-N-P	44,991	1,472	1,54	1	0,01	0,90
LAWA	48,762	0,166	0,08	1	0,03	0,91

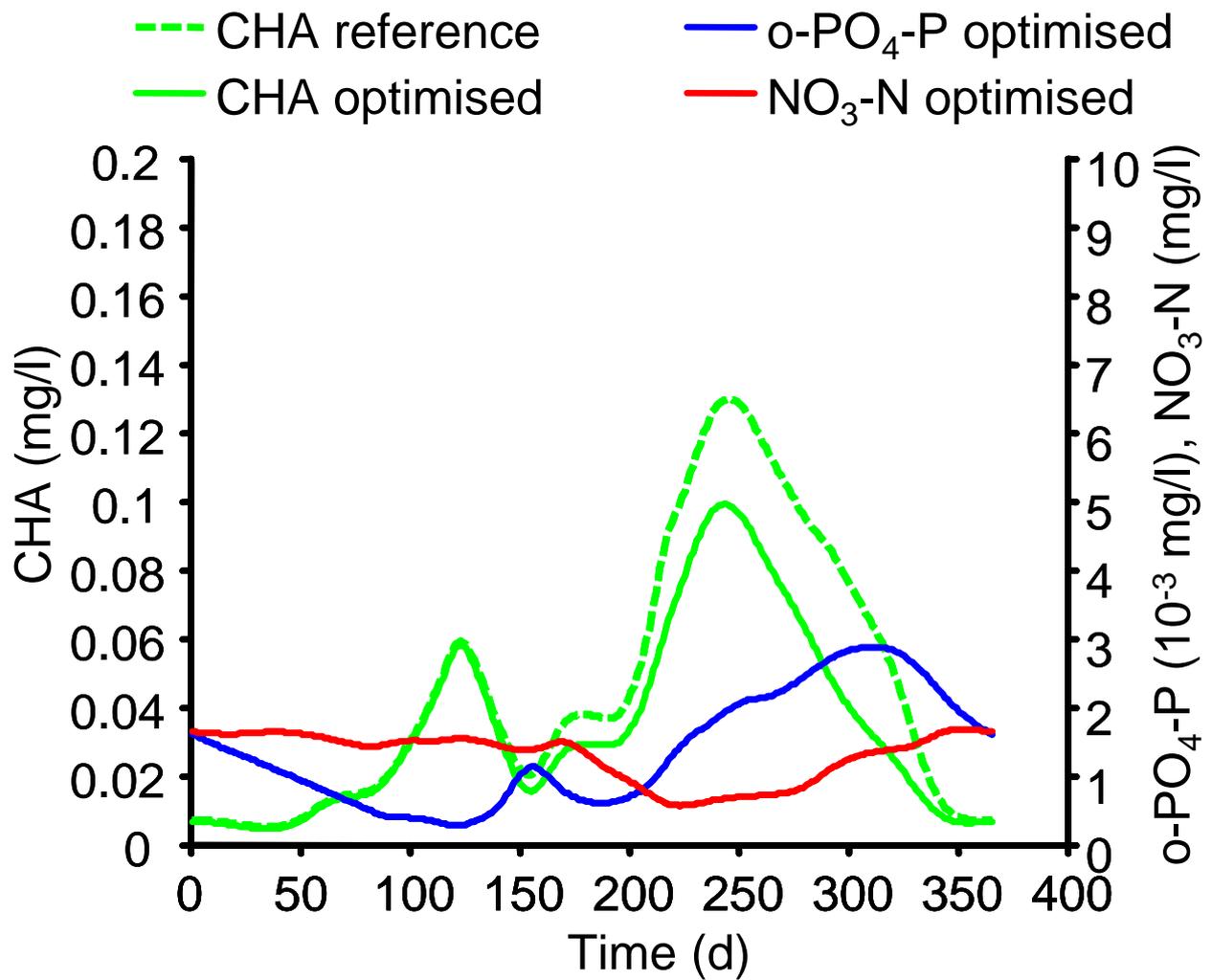
Optimierte Phytoplanktonbiomasse (C-N-P-Verhältnis, Hv0160)



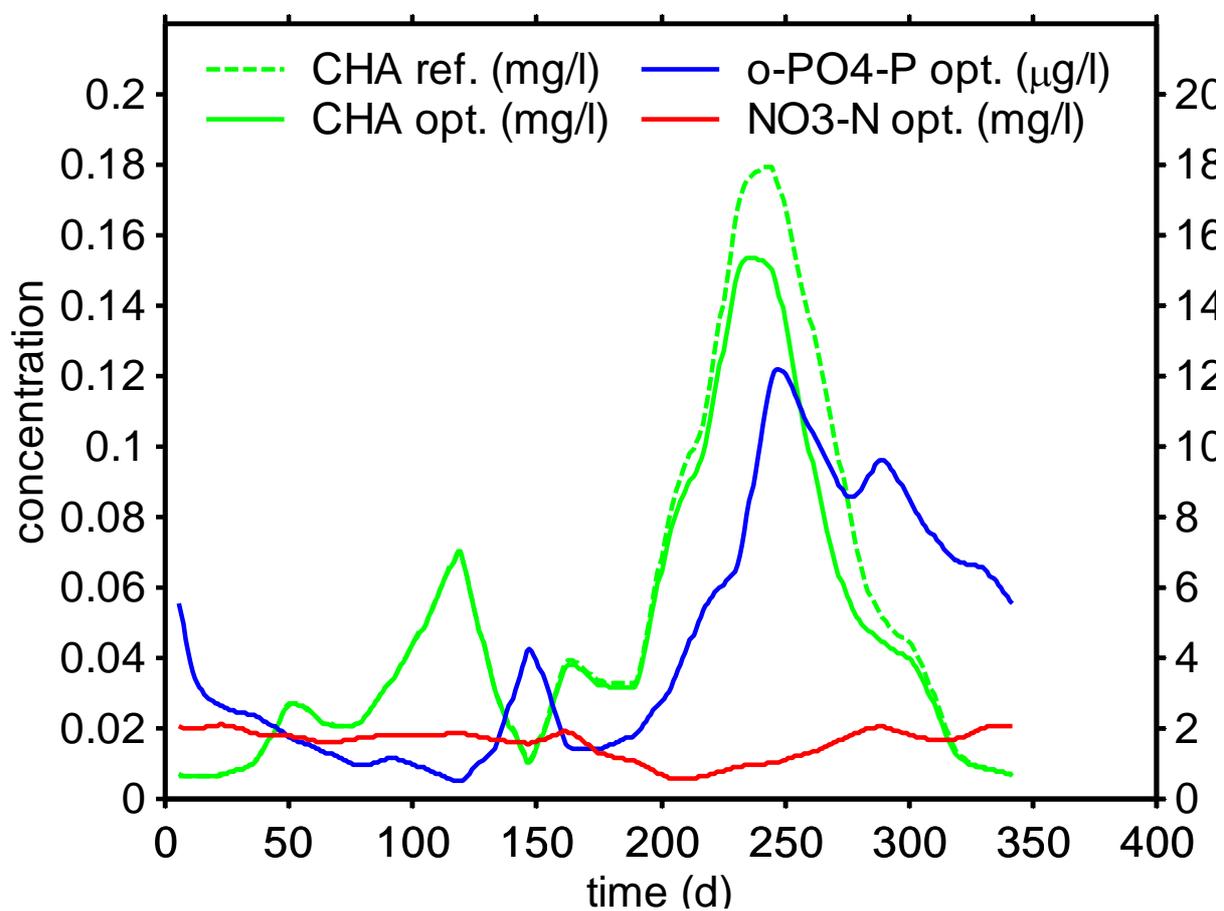
Optimierte Phytoplanktonbiomasse (C-N-P-Verhältnis, Hv0170)



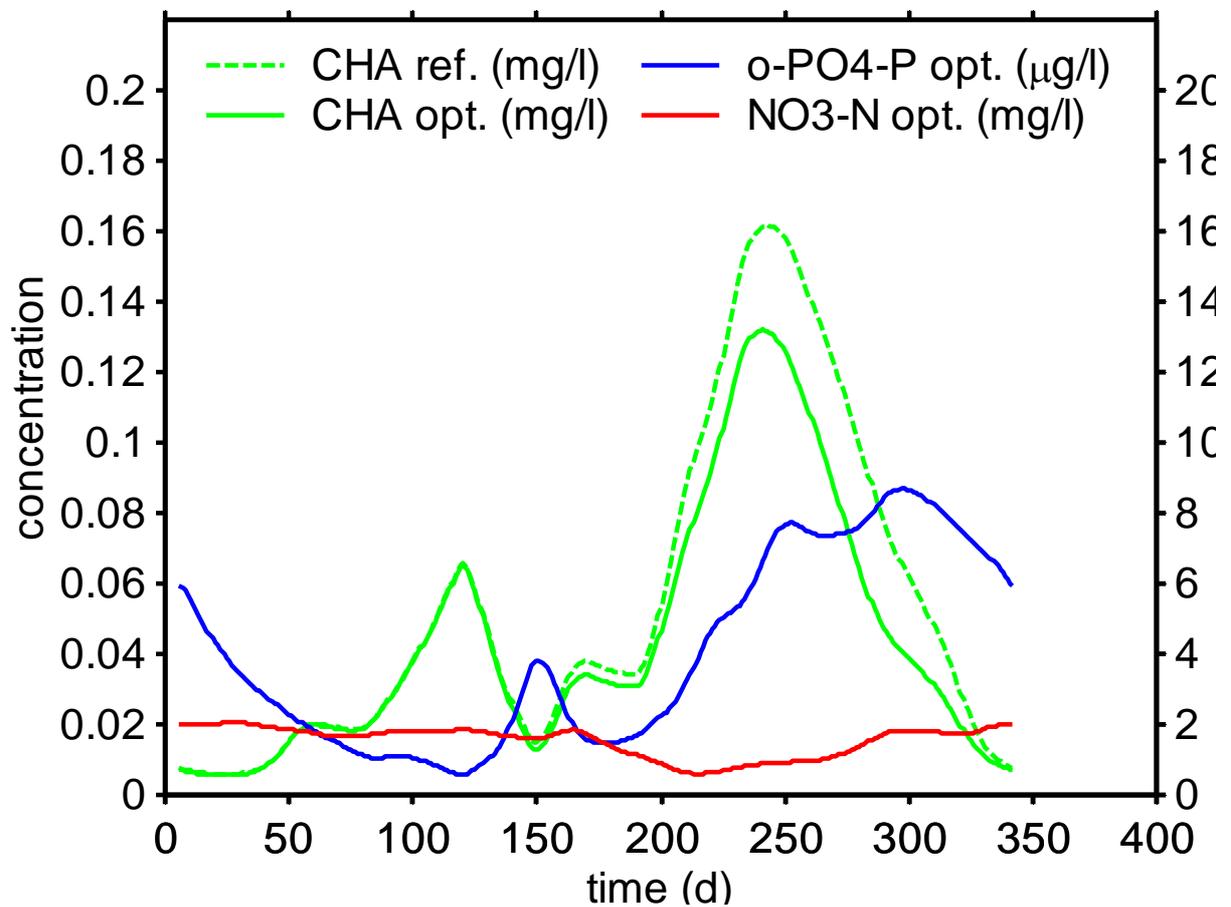
Optimierte Phytoplanktonbiomasse (C-N-P-Verhältnis, Hv0180)



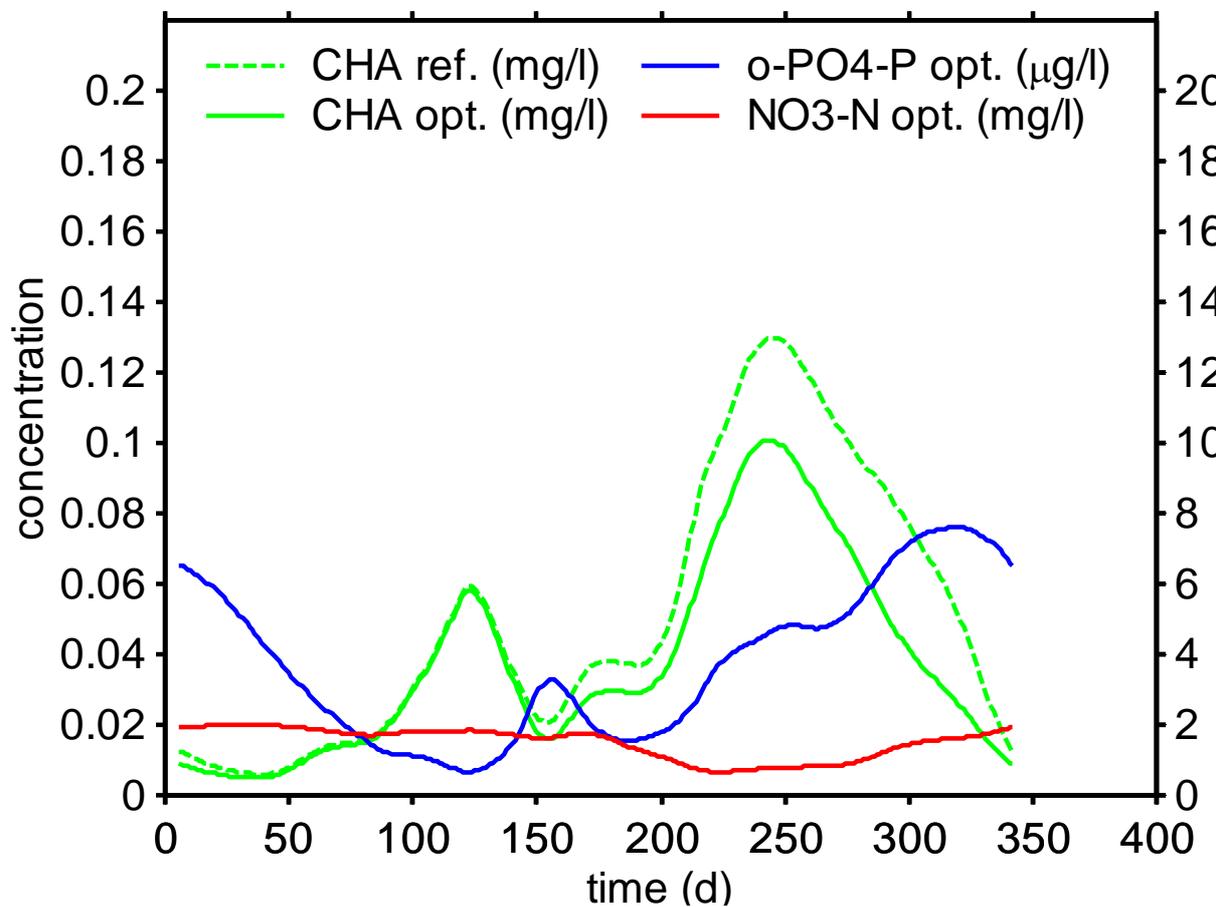
Optimierte Phytoplanktonbiomasse (LAWA, Hv0160)



Optimierte Phytoplanktonbiomasse (LAWA, Hv0170)



Optimierte Phytoplanktonbiomasse (LAWA, Hv0180)



Schlussbemerkungen

Die Anwendung von Informatikwerkzeugen, bei denen Simulation und Optimierung gekoppelt sind, unterstützt eine nachhaltige Bewirtschaftung von Gewässern.

Grundlage zur Systemidentifikation und Parameterschätzung von Gewässern bilden regulär erfasste Rohdaten der Wassermenge und Wassergüte, wobei oft eine Datenvorbehandlung notwendig ist.

Die Formulierung von Zielfunktionen und Managementoptionen ist nach wie vor problematisch. In den Simulationsmodellen sind Risikoansätze unberücksichtigt.

Perspektiven der Softwareentwicklung für eine nachhaltige Wassergütebewirtschaftung werden in einer direkten Kopplung von Simulations-, Optimierungs- und Visualisierungswerkzeugen gesehen.

Schlussbemerkungen

Offene Probleme und Fragen

1. Was bedeutet die Variation der α_i bezüglich der Optimierung, und was bewirkt eine gleichzeitige Änderung der α_i und der Gewichtungsfaktoren?
2. Die Aggregation der Zielfunktionen beschränkt die Variationsmöglichkeiten der Steuerungsvariablen. Die Optimierung unterstützt eine Multi-Attribute-Entscheidung. Wünschenswert wäre eine Unterstützung von Multi-Objective-Entscheidung.
3. Probleme treten auf bei der Nachbehandlung (Graphiken, Ergebnisspeicherung nach der Anwendung von ISSOP). Was muss dazu bei der Kopplung bezüglich der MATLAB-Schnittstelle beachtet werden?