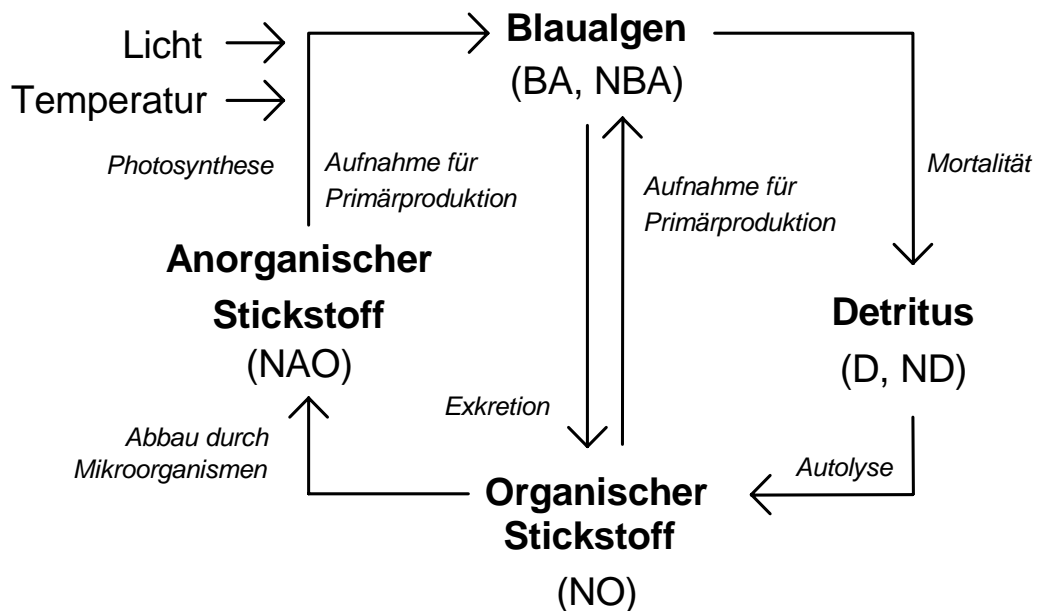


# **Simulation und Optimierung eines Blaualgen-Wachstums-Modells**

1. Aufgabenstellung
2. Struktur des Blaualgen-Modells
3. Vergleich der Simulationsverfahren
4. Einfluß der Schrittweitenänderung
5. Gütefunktion
6. Aufbau des Programms
7. Ergebnisse der Optimierung
8. Erweiterung des Modells

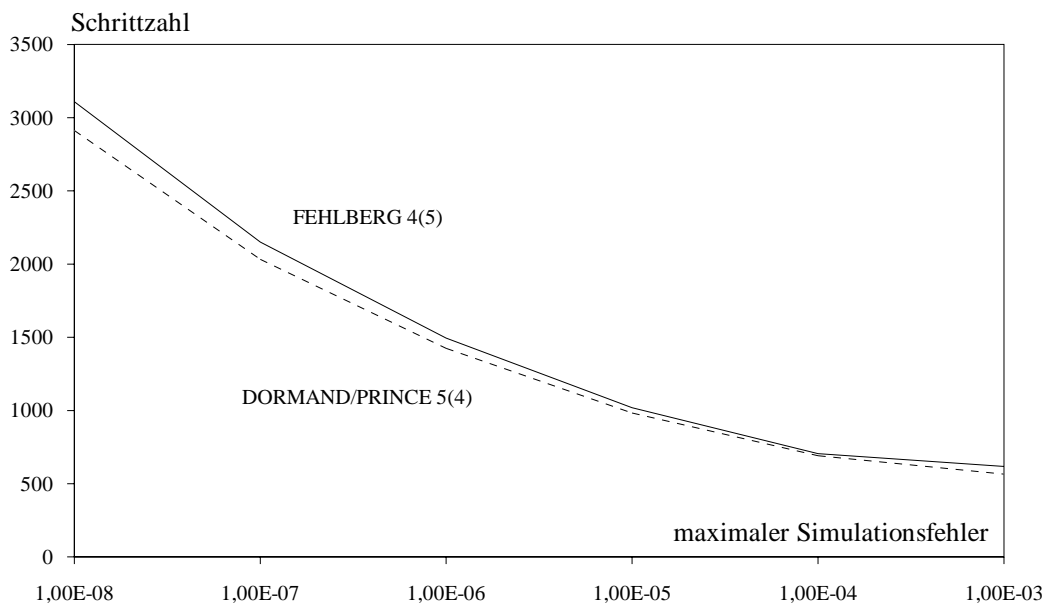
# Blaualgen-Wachstums-Modell

## Die Struktur des Blaualgen-Wachstums-Modells



# Vergleich der Simulationsverfahren

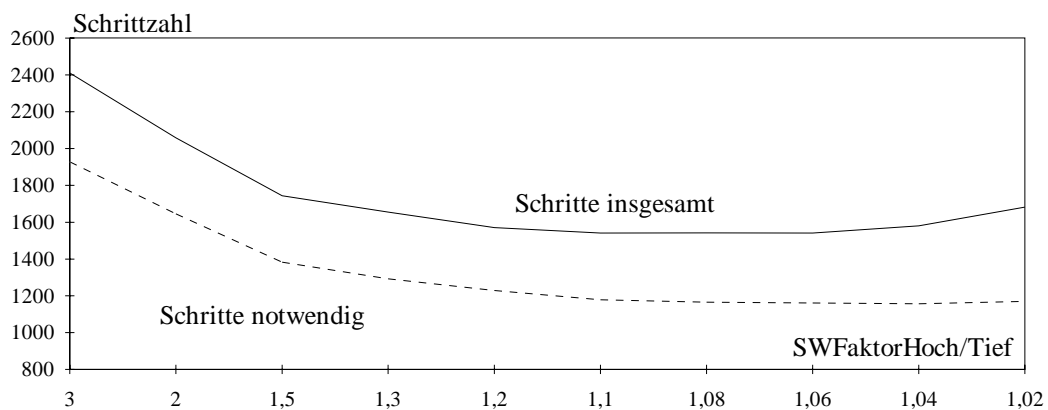
Simulationsverfahren	relative Fehlergrenze	Schrittweite min/max	Schrittzahl notw./gesamt	Rechenzeit
RUNGE-KUTTA: RK4	keine	0,14/d	2555	4,8 s
RUNGE-KUTTA- FEHLBERG: RK4(5)	1.E-3	0,14/3,56	618/694	2,5 s
	1.E-5	0,062/2,86	1020/1268	4,5 s
	1.E-7	0,041/1,29	2150/2656	9,4 s
DORMAND-PRINCE: DP5(4)	1.E-3	0,16/3,74	566/606	2,4 s
	1.E-5	0,073/2,80	983/1220	4,9 s
	1.E-7	0,043/1,31	2033/2513	10,2 s



# Einfluß der Schrittweitenänderung (1)

## 1. Verfahren

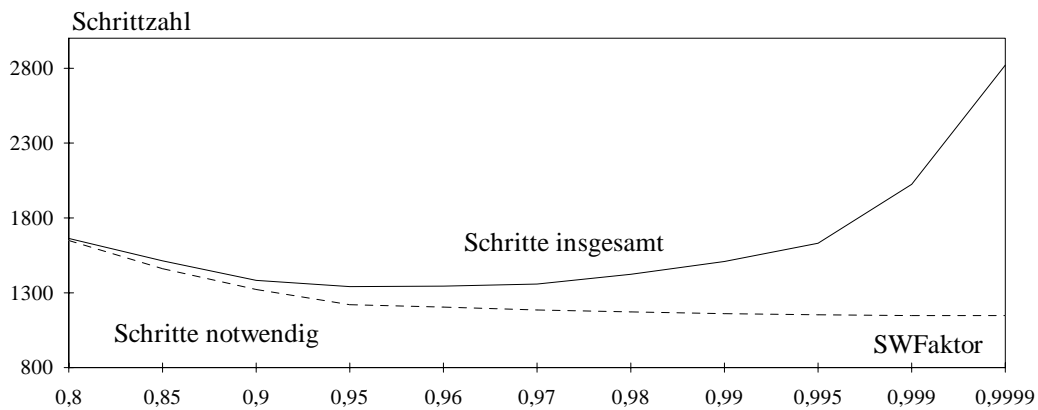
$$h_{\text{neu}} = \begin{array}{l} h_{\text{aktuell}} \cdot \text{SWFaktorHoch} \\ h_{\text{aktuell}} / \text{SWFaktorTief} \end{array}$$



# Einfluß der Schrittweitenänderung (2)

## 2. Verfahren

$$h_{\text{neu}} = \text{SWFaktor} \cdot h_{\text{aktuell}} \cdot \left( \frac{\text{Fehlergrenze}}{\text{Fehler}_{\text{berechnet}}} \right)^{\frac{1}{p+1}}$$



# Gütefunktional

$$I(u) = \frac{1}{2} \int_{t_{\text{Beginn}}}^{t_{\text{Ende}}} \left( W_u \cdot [u(t)]^2 + W_{q_1} \cdot [q_1(t) > q_{1_{\text{max}}}]^2 \right) dt + \\ + W_{\text{Ende}} \cdot \left( [q_{1;3}(t_{\text{Ende}}) - q_{1;3_{\text{soll}}}(t_{\text{Ende}})]^2 \right)$$

Bewertung von:

Blualgen  $\frac{1}{2} \int_{t_{\text{Beginn}}}^{t_{\text{Ende}}} \left( W_{q_1} \cdot [q_1(t) > q_{1_{\text{max}}}]^2 \right) dt$

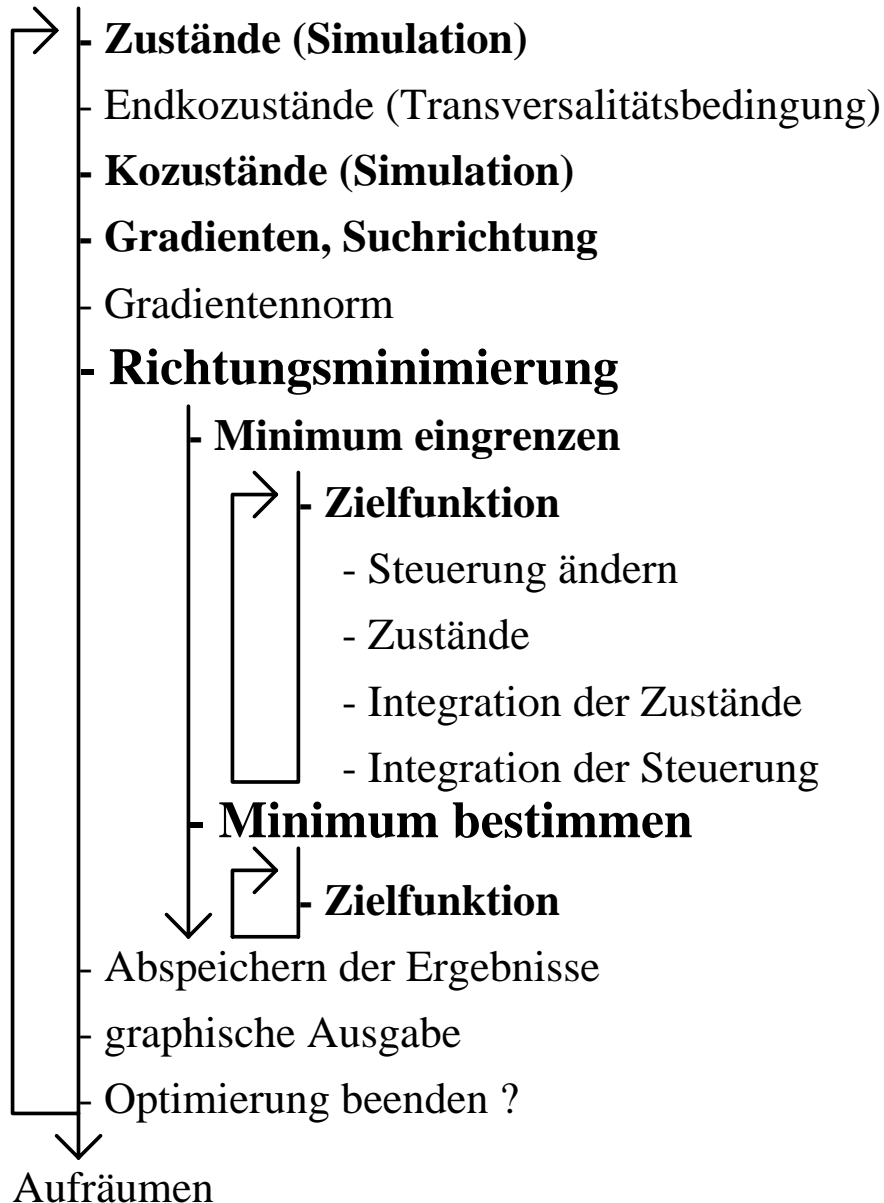
Steuerung  $\frac{1}{2} \int_{t_{\text{Beginn}}}^{t_{\text{Ende}}} \left( W_u \cdot [u(t)]^2 \right) dt$

Endzuständen  $W_{\text{Ende}} \cdot \left( [q_{1;3}(t_{\text{Ende}}) - q_{1;3_{\text{soll}}}(t_{\text{Ende}})]^2 \right)$

# Aufbau des Programms

Initialisierung

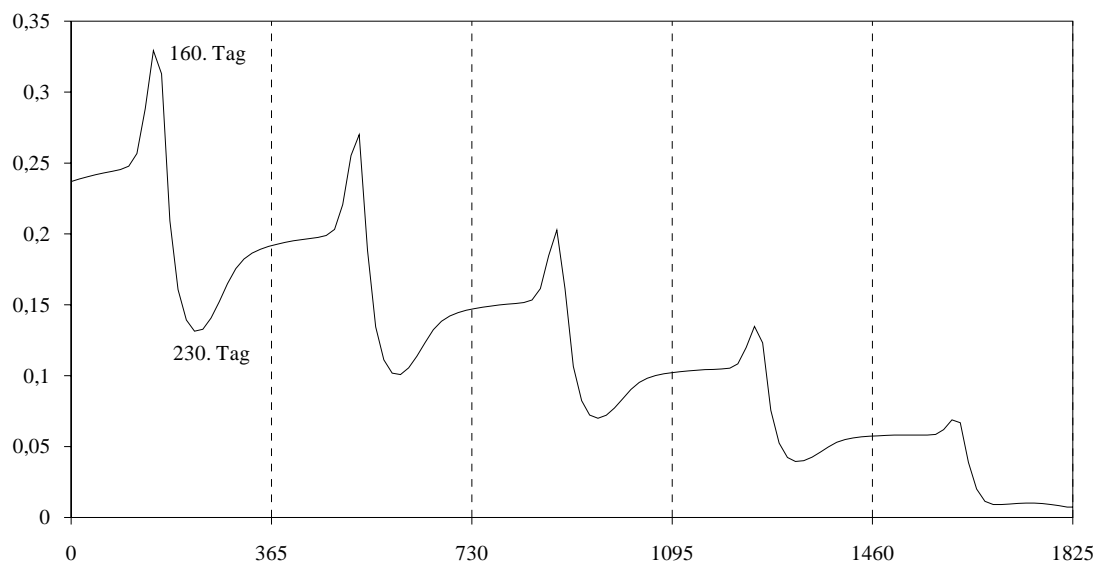
## Optimierung



# Ergebnisse der Optimierung (1)

## Detritusentnahme über 5 Jahre

### Verlauf der Steuerung

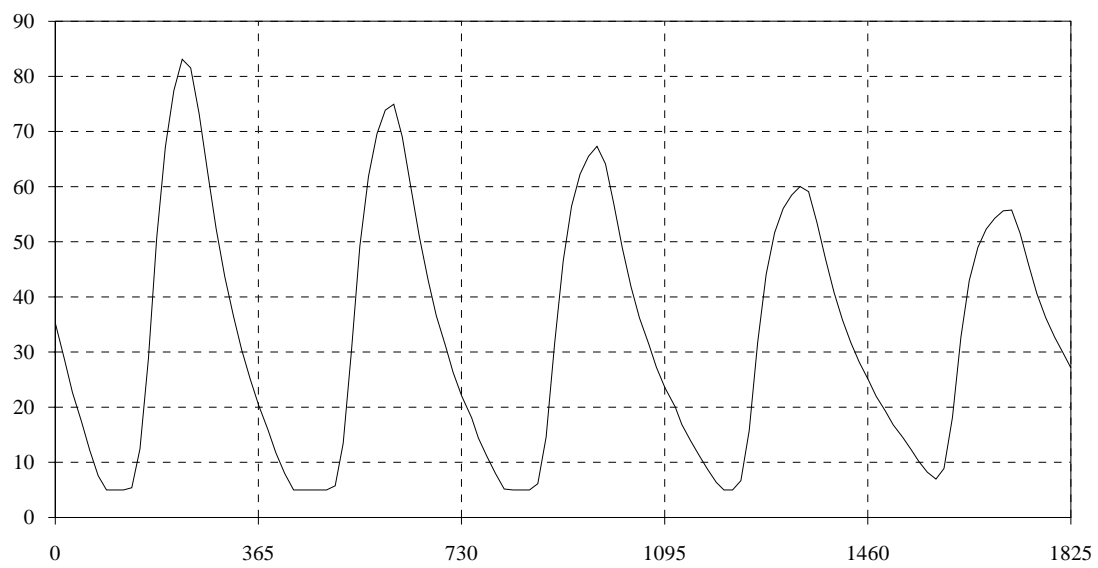




# Ergebnisse der Optimierung (2)

## Detritusentnahme über 5 Jahre

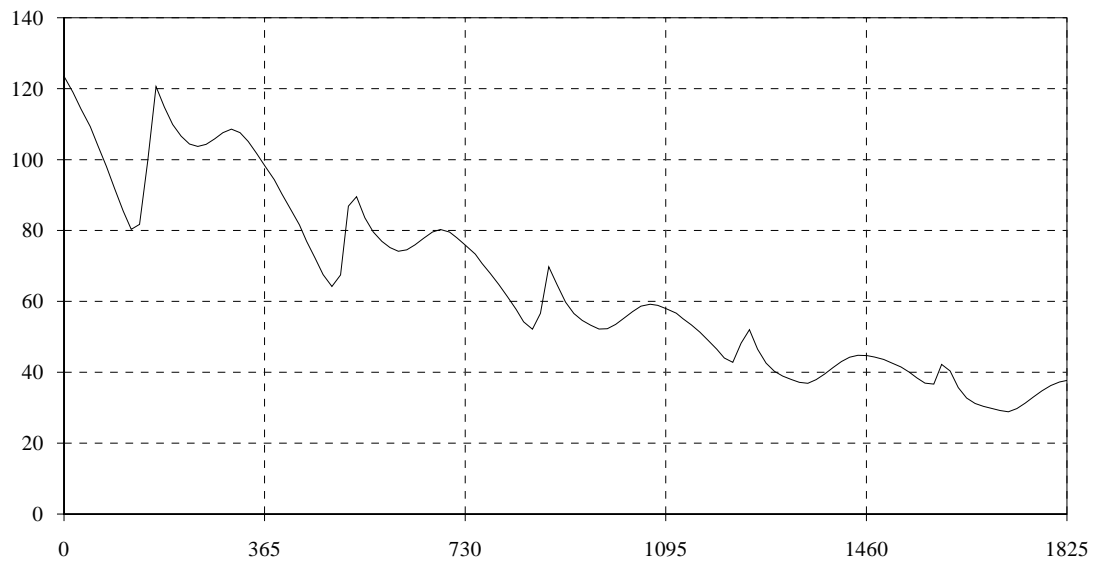
### Detritus



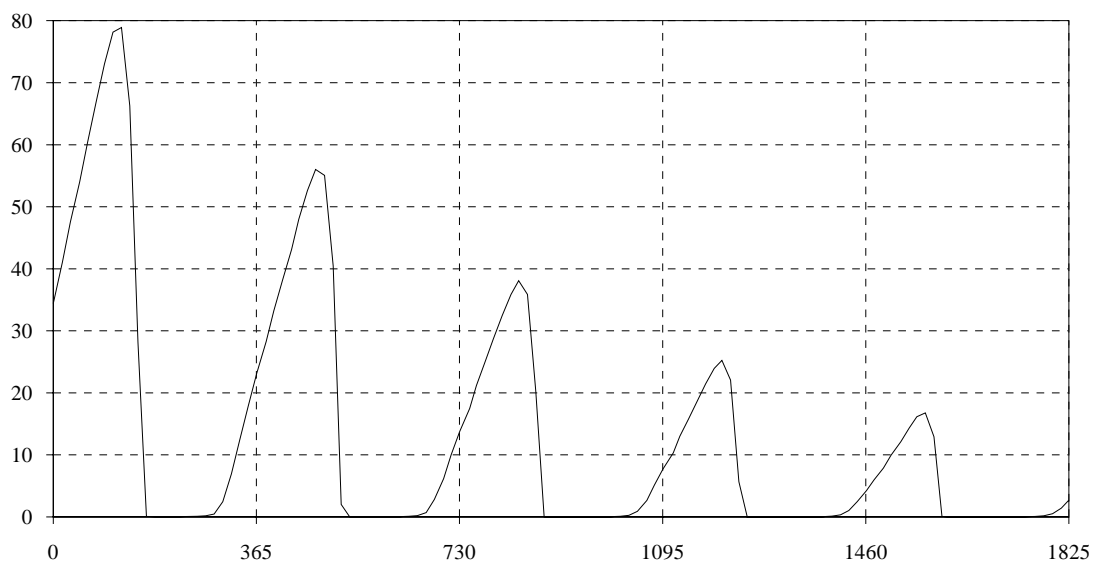
# Ergebnisse der Optimierung (3)

## Detritusentnahme über 5 Jahre

### Organischer Stickstoff



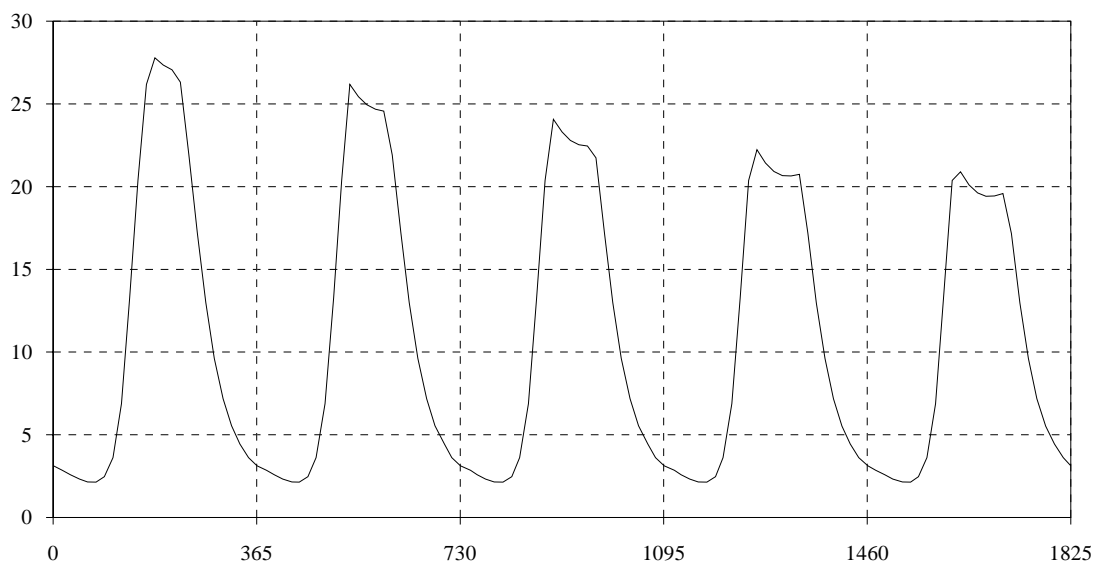
### Anorganischer Stickstoff



# Ergebnisse der Optimierung (4)

## Detritusentnahme über 5 Jahre

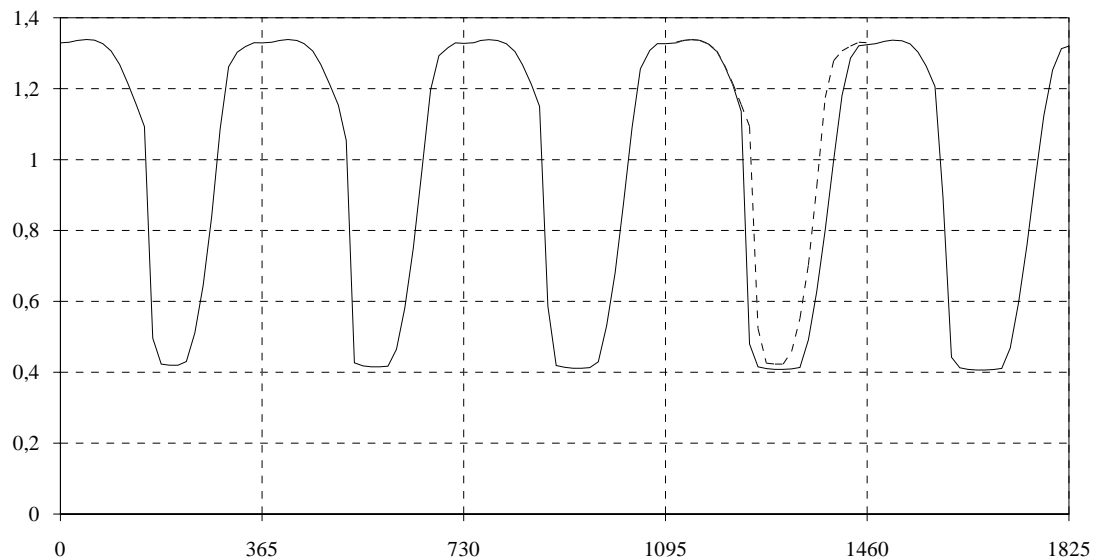
### Biomasse der Blaualgen



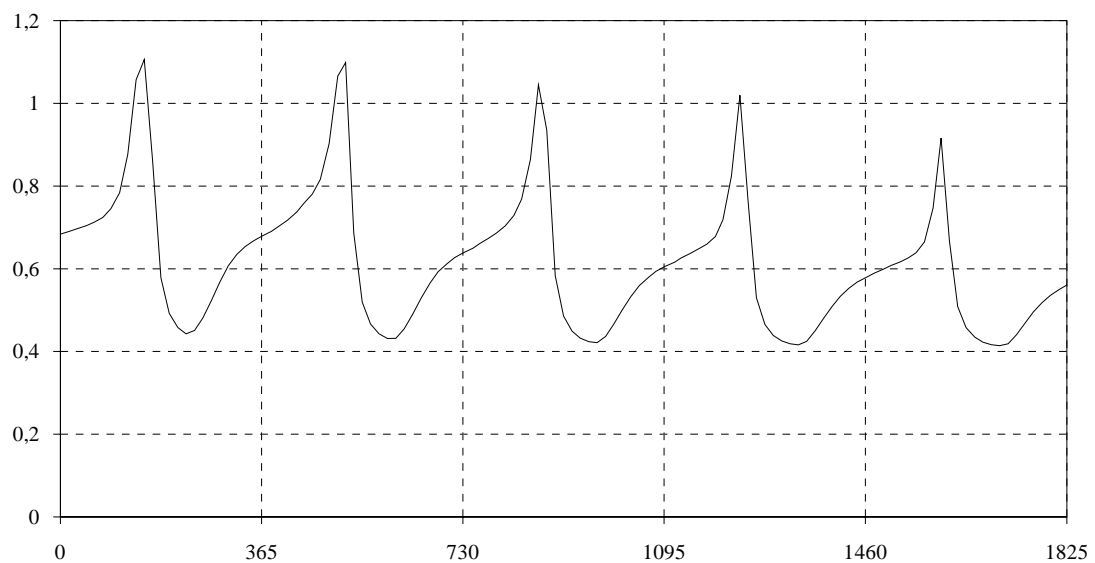
# Ergebnisse der Optimierung (5)

## Detritusentnahme über 5 Jahre

### Stickstoffgehalt der Blaualgen



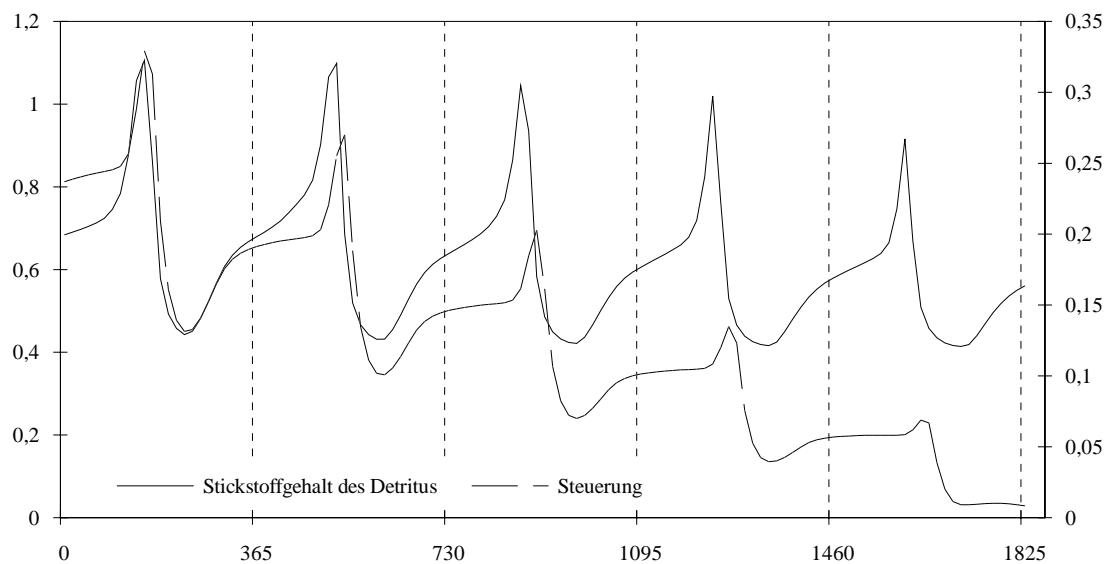
### Stickstoffgehalt des Detritus



# Ergebnisse der Optimierung (6)

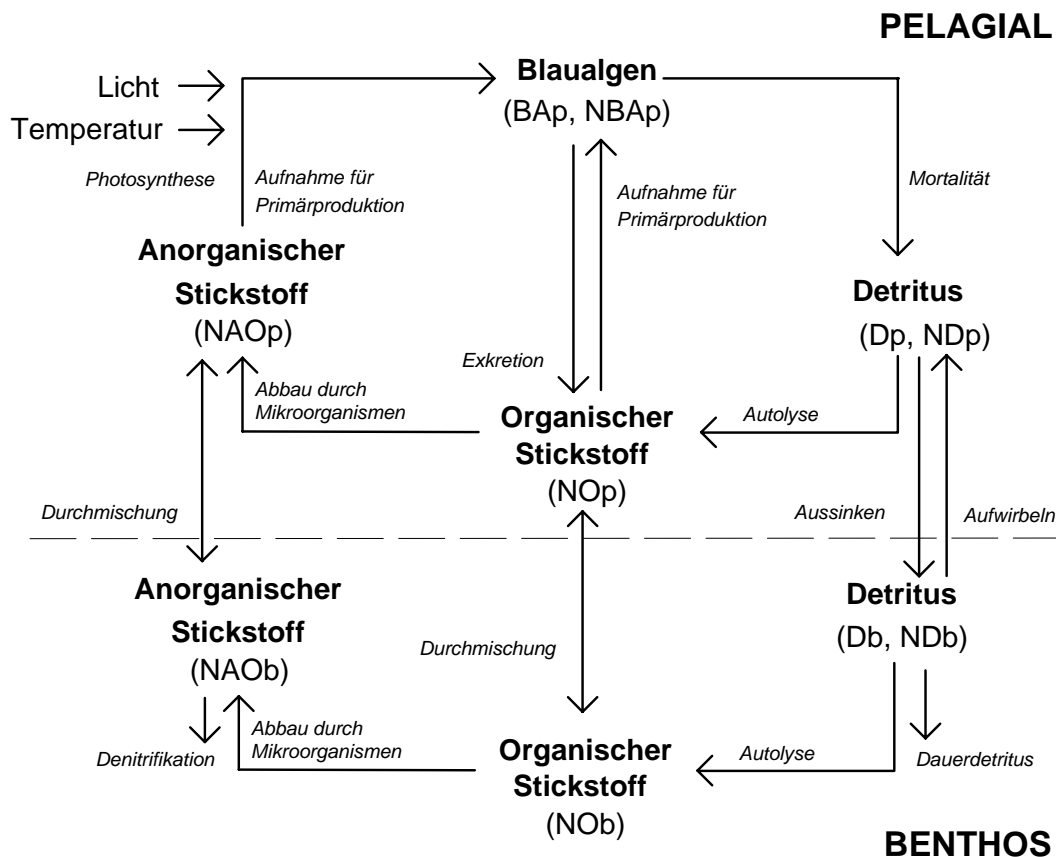
## Detritusentnahme über 5 Jahre

### Vergleich der Steuerung durch Detritusentnahme mit dem Stickstoffgehalt des Detritus



# Erweitertes Blaualgen-Modell

## Die Struktur des erweiterten Modells



### neue Teilprozesse:

- Aufwirbeln und Aussinken des Detritus
- Durchmischung
- Denitrifikation des Anorganischen Stickstoffs
- Umsetzung in Dauerdetritus

## Umrechnung der Steuerung in reale Größen

$$\text{AFTM} = \frac{\text{Energiegehalt pro Fläche}(q_7)}{\text{spezifischer Energiegehalt}(3,8\text{kcal} \cdot \text{g}_{\text{AFTM}}^{-1})}$$

⇓

$$\text{Trockenmasse(TM)} = 2,5 \cdot \text{AFTM}$$

⇓ mit Wassergehalt = 75%

$$\text{Frischmasse(FM)} = 4,0 \cdot \text{TM} = 10,0 \cdot \text{AFTM}$$

⇓ mit Dichte Detritus<sub>Benthos</sub> = 1,1t · m<sup>-3</sup>

$$\text{Masse} = \frac{q_7 \cdot 2,5 \cdot 4,0 \cdot \text{Fläche}_{\text{Bodden}}}{3,8\text{kcal} \cdot \text{g}^{-1}}$$

⇓

$$\text{Masse}|_t = q_7|_{\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2}} \cdot 2,6 \cdot \text{Fläche}_{\text{Bodden}}|_{\text{km}^2}$$

⇓

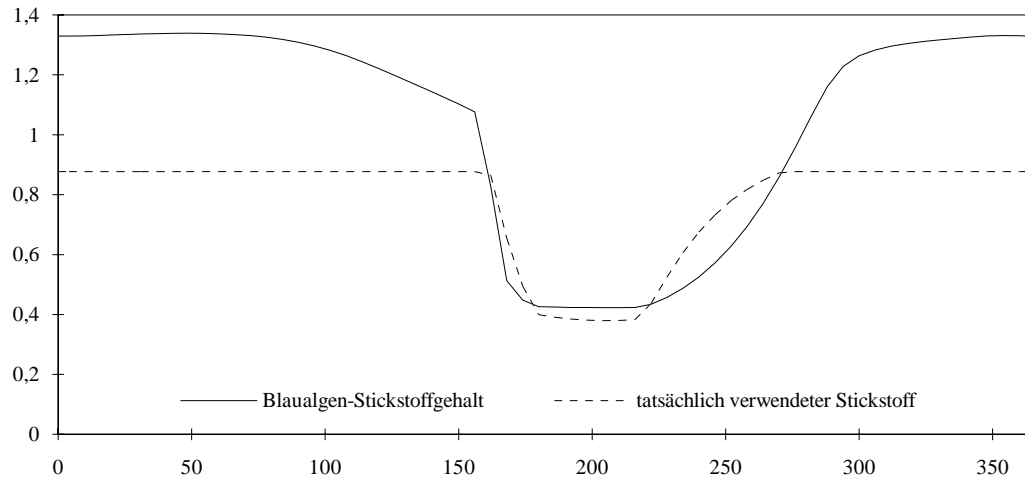
$$\text{Volumen}|_{\text{m}^3} = \text{Masse}|_t \cdot 0,91$$

# Minimumfunktion

tatsächlich verwendeter Stickstoff

$$nBA = (q_2 - NBA_{min}) / (q_2 - NBA_{min} + K_{sns}), \quad \text{wenn } q_2 < N_{krit}$$

$$nBA = (N_{krit} - NBA_{min}) / (N_{krit} - NBA_{min} + K_{sns}), \quad \text{wenn } q_2 \geq N_{krit}$$



eingestrahle Lichtmenge (iBA)

$$\text{minfkt} = \text{MIN}(nBA, iBA)$$

