



Dieter Heinhuis

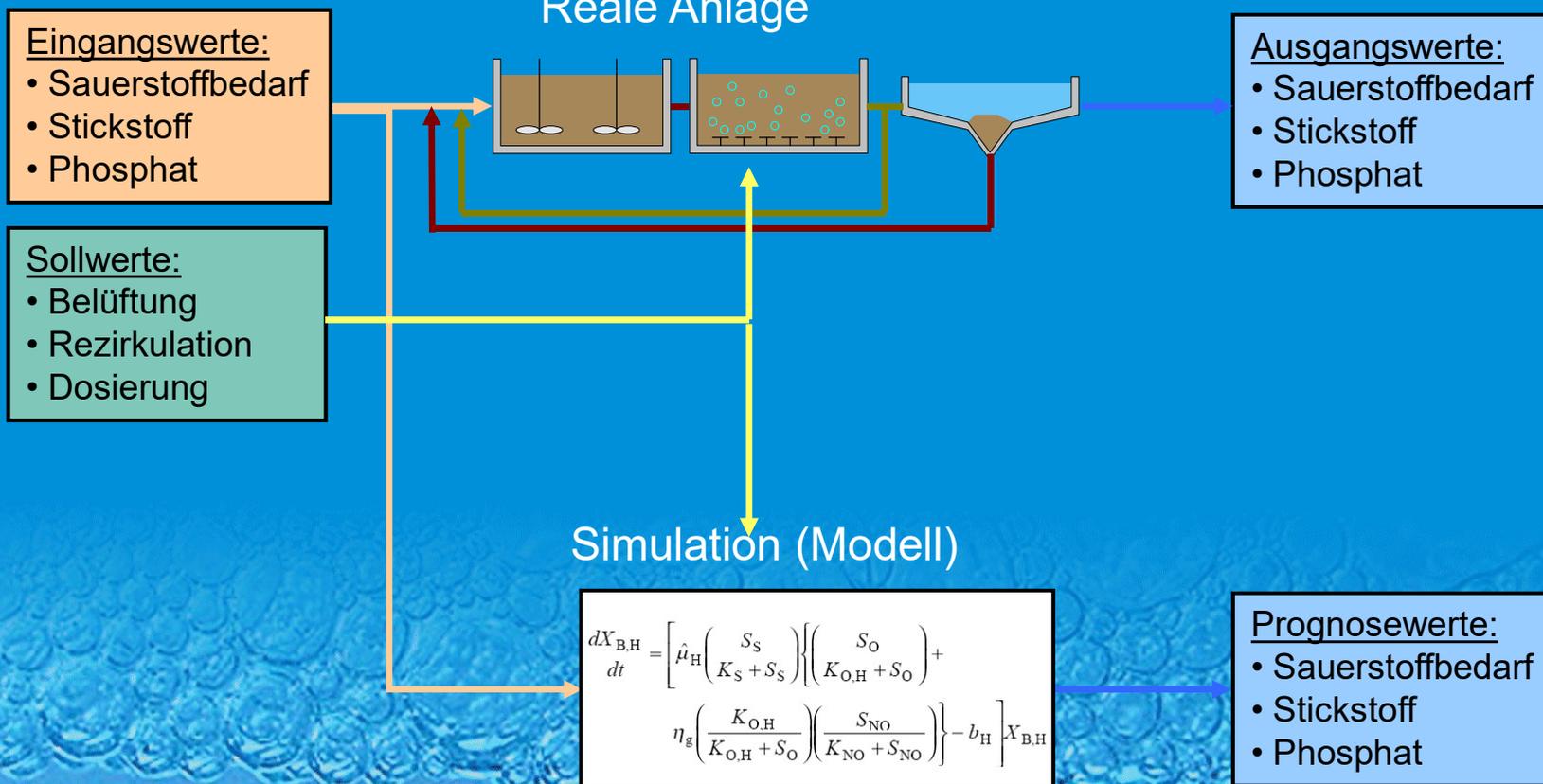
Steigerung der Energie- und
Ressourceneffizienz durch selbstlernende
Prozesssteuerung

Kläranlagen – DER größte Energieverbraucher der Kommunen und Städte



- 20 – 40 KWh/Ewa
- 20 €ct / KWh
- 200000 Ew
- 6 Mio KWh/a
- 1.200.000 €
- weiter steigend !

Optimierung durch Anlagenmodellierung



Das Problem der „rigorosen“ Modellierung am Beisp. ASM1

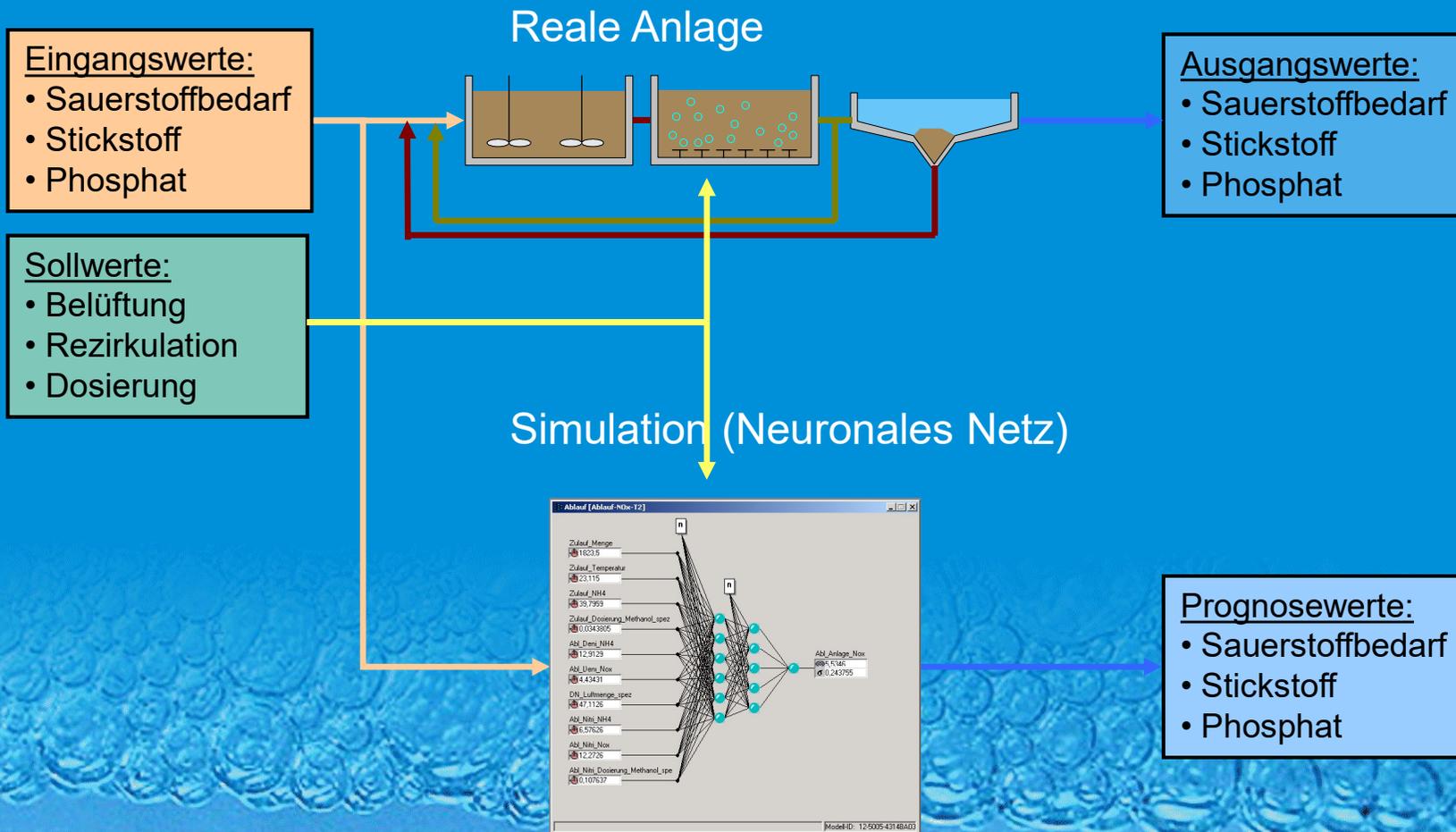
IAWQ model parameters	symbol	unit	20 °C	10 °C	literature
<i>Stoichiometric parameters</i>					
Heterotrophic yield	Y_H	g cell COD formed (g COD oxidized) ⁻¹	0.67	0.67	0.38-0.75
Autotrophic yield	Y_A	g cell COD formed (g N oxidized) ⁻¹	0.24	0.24	0.07-0.28
Fraction of biomass yielding particulate products	f_p	dimensionless	0.08	0.08	–
Mass N/mass COD in biomass	i_{XB}	g N (g COD) ⁻¹ in biomass	0.086	0.086	–
Mass N/mass COD in products from biomass	i_{XP}	g N (gCOD) ⁻¹ in endogenous mass	0.06	0.06	–
<i>Kinetic parameters</i>					
Heterotrophic max. specific growth rate	μ_H	day ⁻¹	6.0	3.0	0.6-13.2
Heterotrophic decay rate	b_H	day ⁻¹	0.62	0.20	0.05-1.6
Half-saturation coefficient (hsc) for heterotrophs	K_S	g COD m ⁻³	20	20	5-225
Oxygen hsc for heterotrophs	$K_{O,H}$	g O ₂ m ⁻³	0.20	0.20	0.01-0.20
Nitrate hsc for denitrifying heterotrophs	K_{NO}	g NO ₃ -N m ⁻³	0.50	0.50	0.1-0.5
Autotrophic max. specific growth rate	μ_A	day ⁻¹	0.80	0.30	0.2-1.0
Autotrophic decay rate	b_A	day ⁻¹	0.20	0.10	0.05-0.2
Oxygen hsc for autotrophs	$K_{O,A}$	g O ₂ m ⁻³	0.4	0.4	0.4-2.0
Ammonia hsc for autotrophs	K_{NH}	g NH ₃ -N m ⁻³	1.0	1.0	–
Correction factor for anoxic growth of heterotrophs	η_g	dimensionless	0.8	0.8	0.6-1.0
Ammonification rate	k_a	m ³ (g COD day) ⁻¹	0.08	0.04	–
Max. specific hydrolysis rate	k_h	g slowly biodeg. COD (g cell COD day) ⁻¹	3.0	1.0	–
Hsc for hydrolysis of slowly biodeg. substrate	K_X	g slowly biodeg. COD (g cell COD) ⁻¹	0.03	–	–
Correction factor for anoxic hydrolysis	η_h	dimensionless	0.4	–	–

5

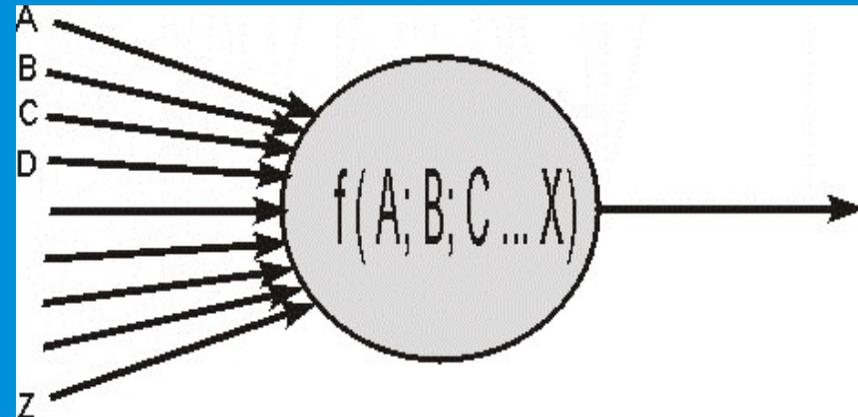
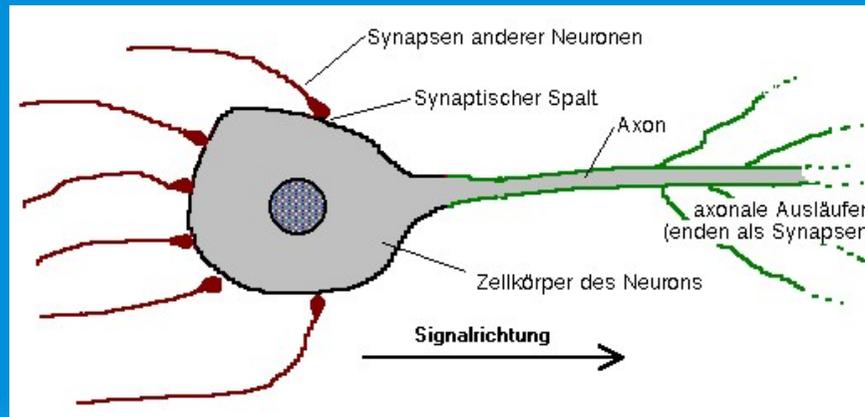
14



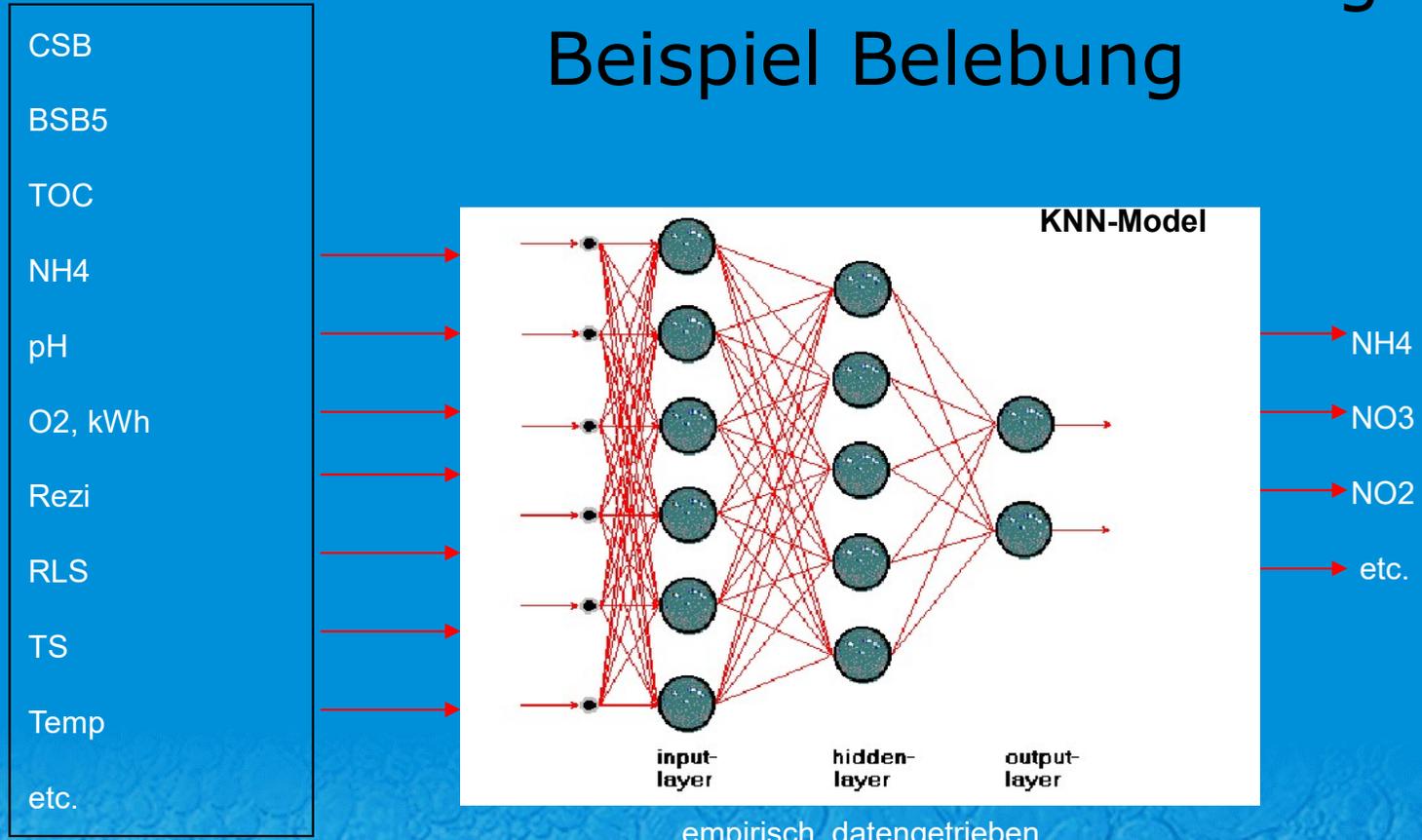
„datengetriebener“ Ansatz für APC



Vorbild Natur



KNN bilden Ursachen auf Wirkungen ab Beispiel Belebung



URSACHE → MODELL → AUSWIRKUNG



Beispiel der Datensätze einer Belebungsstufe:

Zeitstempel		Störgrößen					Stellgrößen					Zielgrößen				
Datum	Uhrzeit	Zulaufdaten					Anlagendaten					Ablaufdaten				
		Q	NH4	BSB5	TOC	pH	O2	Luftmenger	kWh-Belü	Rezi-%/n	RLS-%/n	TS	Temp	NH4	NO3	NO2
		m³/s	mg/l	ablauf; mg/l			mg/l	Nm³/h	MW Energie		m³/s	g/l	ablauf	mg/l	mg/l	mg/l
13.06.2006	07:15	4,54	36,34	366,00	10,09	8,54	1,80	1733,97	7,58	35,00	9,17	3,11	12,33	0,64	9,69	0,12
13.06.2006	07:30	4,85	34,72	372,00	10,01	8,51	1,82	1755,40	7,77	35,00	9,18	3,31	12,51	0,65	9,91	0,13
13.06.2006	07:45	5,82	41,66	446,40	12,02	10,21	2,18	2106,48	9,32	42,00	11,02	3,97	15,01	0,78	11,89	0,16
13.06.2006	08:00	5,24	37,50	401,76	10,81	9,19	1,96	1895,83	8,39	37,80	9,91	3,58	13,51	0,70	10,71	0,14
jedes Datum	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff
.....	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff
.....	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff	ff
13.06.2007	0,30	4,99	36,00	372,00	10,01	8,51	1,82	1755,40	7,77	35,00	9,18	3,31	12,51	0,65	9,91	0,13

Weitere Einsatzbereiche:

- Zentrifugen
- Schlammweg
- Gasproduktion
- Kanalisationsbewirtschaftung

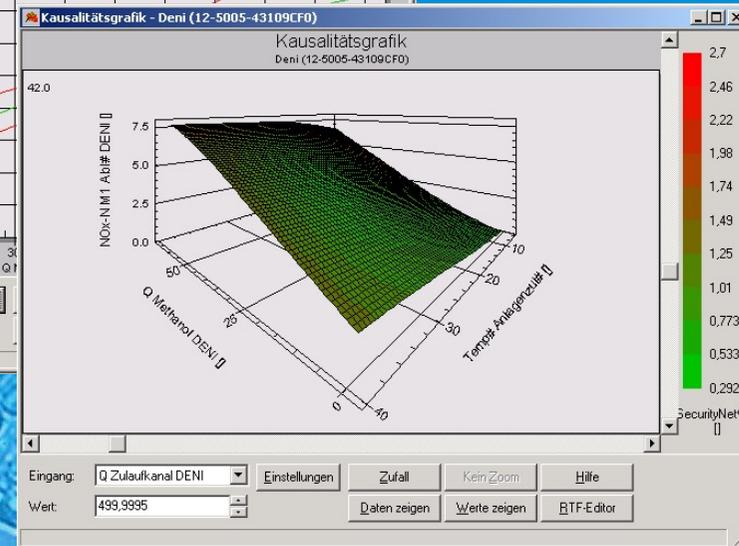
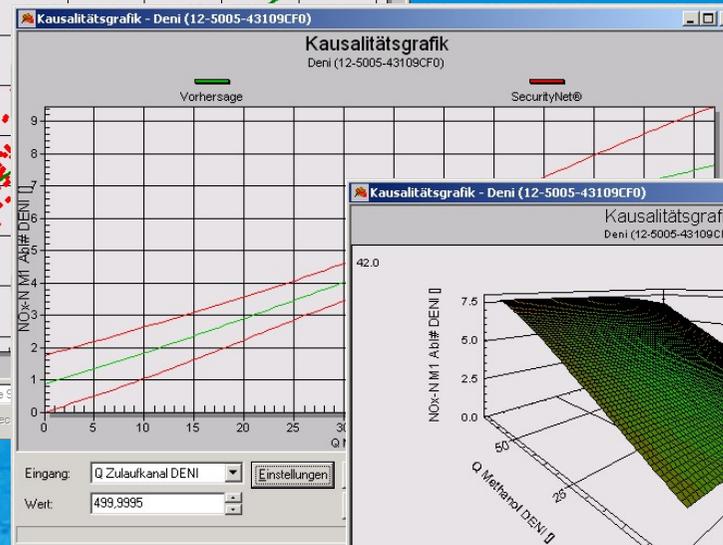
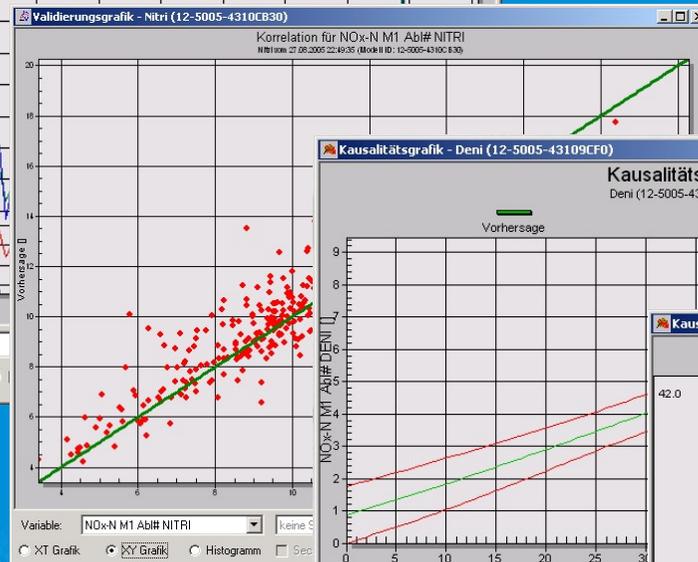
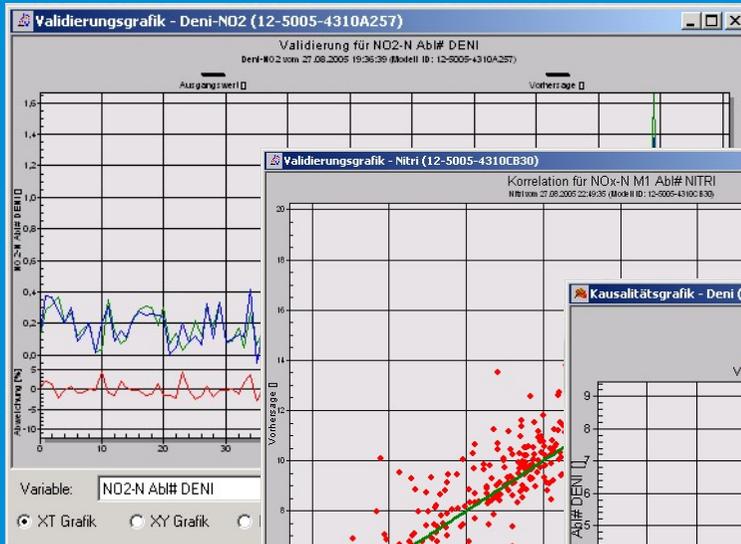


Ergebnisse der Modellierung

Validierung

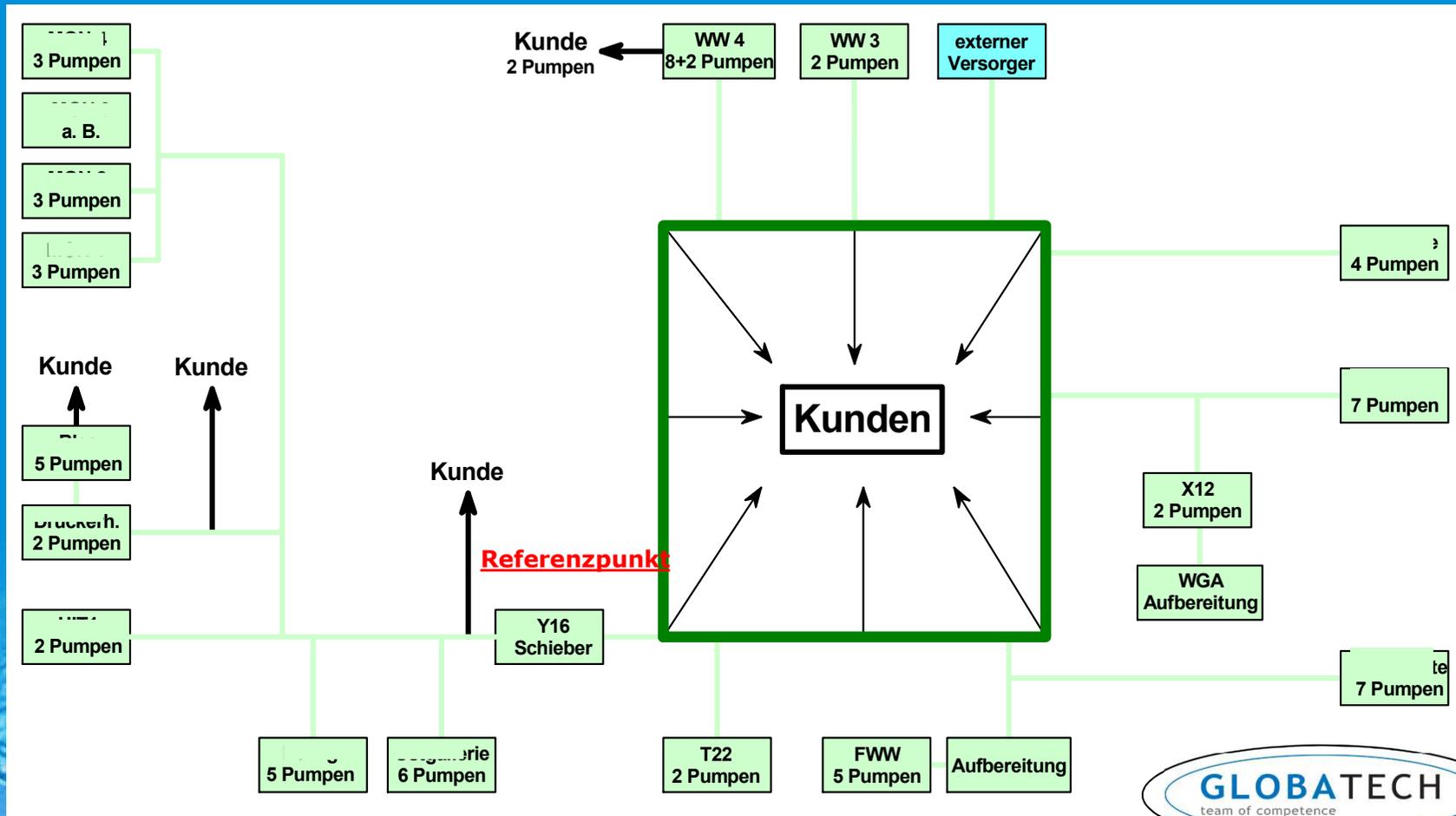
Korrelation

Kausalität



3D-Plot

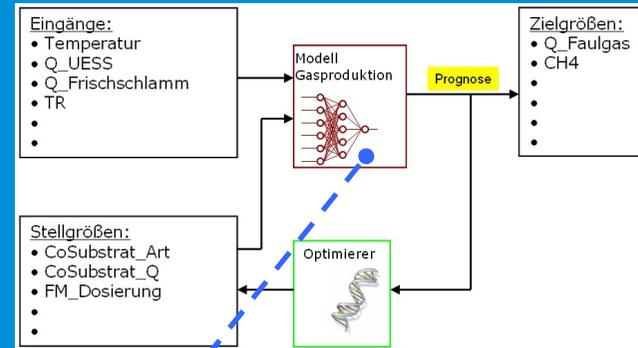
Anwendungsbeispiel 1: Brunnensteuerung/ Energieoptimierung



Optimierung von Schlammbehandlung und Energieversorgung auf der Basis Künstlicher Neuronaler Netze (KNN)

Das Modell der Schlammbehandlungsanlage liefert Prognosen über die zu erwartenden Gasmengen und Gasqualitäten. Es entsteht als Künstliches Neuronales Netz durch einen (Maschinen-)Lernvorgang.

Auf Basis der Prognosen sucht der Genetische Optimierer geeignete Betriebseinstellungen, z.B. Dosierungen von Co-Substraten, welche die verfahrenstechnisch und betriebswirtschaftlich optimale Fahrweise ermöglichen.



Ergebnis:

- Kontinuierliche Gasproduktion
- Maximale Energieausbeute
- Minimale Entsorgungskosten



Der Prozess der Schlammbehandlung und Faulgasproduktion ist sehr komplex und hängt von vielen Parametern ab. Moderne Softwaretechnologien, wie Künstliche Neuronale Netze und Genetische Algorithmen machen die Komplexität beherrschbar und liefern wertvolle Informationen zum optimalen Betrieb der Anlage.

Zwei Schritte zum Erfolg:

1. Modellierung

= Abbildung des verfahrenstechnischen Prozesses

= Simulation

ermöglicht mathematische Analyse => z.B.
Sensitivitätsanalyse

2. Optimierung

- Suche des optimalen Betriebspunkts
- Bewältigung des „astronomischen“ Suchraums durch genetische Methoden

Optimal = Einhaltung geforderter Werte, bei
minimalem Aufwand an Energie und
Betriebsmitteln!





Dieter Heinhuis

vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!