

# ASIM – Tutorial

## 1 Ziel / Idee

Anhand eines Fallbeispiels soll eine auf Nitrifikation ausgebaute Abwasserreinigungsanlage in ASIM abgebildet, nachgerechnet und mit verschiedenen Optionen erweitert werden. Damit sollen die wichtigsten Aspekte von ASIM abgedeckt und nachvollzogen werden können. Im Verlauf des Tutorials erstellen Sie diverse Files. Diese sind alle auch im Ordner Tutorial des Programms gespeichert, sollen aber nur als Stütze dienen, falls Sie nicht weiterkommen (siehe Anhang B).

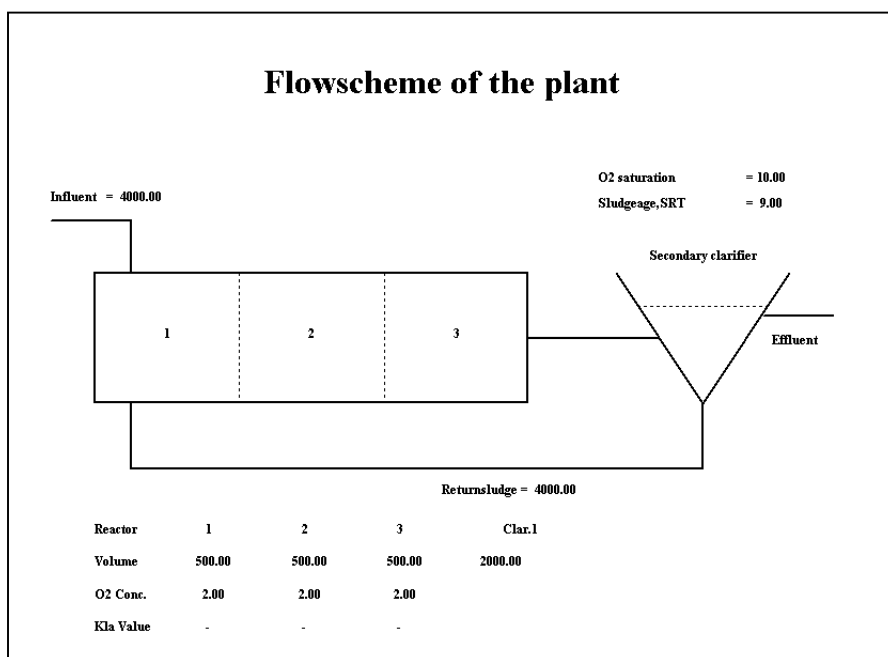
## 2 Anlage

Die fiktive Anlage behandelt das Abwasser von 10'000 EWG und ist ursprünglich nur auf Nitrifikation ausgelegt (siehe Abbildung 1).

Der Tabelle 1 können die Betriebsdaten entnommen werden.

**Tabelle 1: Betriebsdaten und Zufluss**

Bemessungszufluss	4000	$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$
Belebungsbeckengrösse	1500	$\text{m}^3$
Nachklärbecken	2000	$\text{m}^3$
Rücklaufschlamm	4000	$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$
Schlammalter	9	d
Totaler Kjeldahl Stickstoff	34.6	$\text{g m}^{-3}$
$\text{NH}_4$ -Konzentration	25	$\text{g m}^{-3}$
$\text{CSB}_{\text{tot}}$ -Konzentration	280	$\text{g m}^{-3}$
TSS-Konzentration	210	$\text{g m}^{-3}$
Alkalinität	6	$\text{mol m}^{-3}$
Dimensionierungstemperatur	10	$^{\circ}\text{C}$



**Abbildung 1: Fließschema der Anlage**

### 3 Implementierung

In diesem Kapitel wird das Vorgehen beim Erstellen einer Modellanlage, sowie die wichtigsten Eingabemasken erklärt. Auf das Vorgehen beim Erstellen eines kinetischen Modells wird im Anhang eingegangen.

Starten Sie ASIM, erstellen Sie ein neues Projekt (Abbildung 2: Create a new project) und geben Sie dem neuen Projekt einen Namen (nicht Tutorial, da dieses Projekt schon existiert).

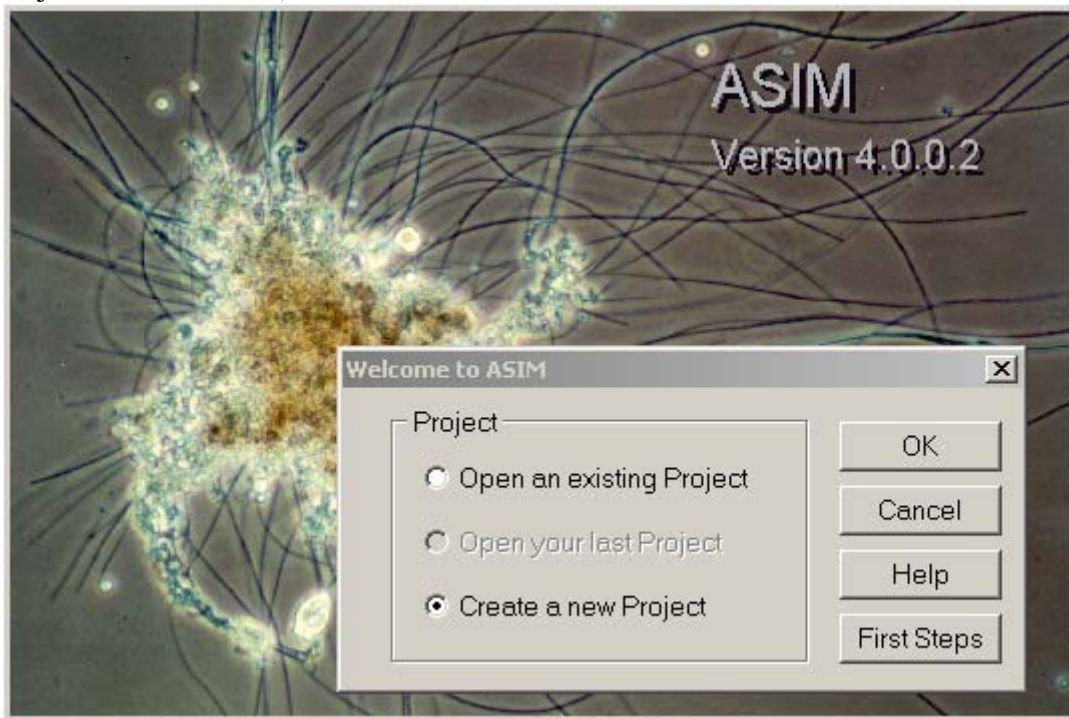


Abbildung 2: In ASIM kann an einem beliebigen Projekt weitergearbeitet werden, ebenso steht das zuletzt genutzte Projekt direkt zur Verfügung.

ASIM verwendet zur Verwaltung der verschiedenen Informationen unterschiedliche Dateien. Im folgenden sollen diese von Ihnen erstellt werden.

Gespeichert werden alle Daten in einem Projektordner, Sie haben soeben einen erstellt. Dieser Ordner befindet sich im Programmverzeichnis, im Ordner „user“ (z.B. C:\\Program Files\\ASIM\\User\\Tutorial).

Falls Sie an einem bestehenden Projekt weiterarbeiten möchten, wählen Sie „Open an existing project“ und es stehen Ihnen alle Projekte im Ordner „user“ zur Verfügung.

#### 3.1 Model File

Das Model File enthält das biokinetische Modell (z.B. das Activated Sludge Model no.3), alle kinetischen und stöchiometrischen Parameter inkl.

Temperaturabhängigkeit, Anfangsbedingungen für die Integration und die Konzentration im ersten Zulauf.

In diesem Fallbeispiel verzichten wir auf das Erstellen eines eigenen Modells. Für die Modellierung nutzen wir ein bereits bestehendes Modell, das Activated Sludge Model No.3. Laden Sie dieses, indem Sie im Menü „Model“ → „Load ASIM Model“ das File „Asm3\_swiss.mod“ einlesen. Über die Einzelheiten der Modellerstellung und des vorliegenden Modells verweisen wir auf die Fachliteratur (Gujer, W et al.) und den Anhang.

### 3.2 Plant File

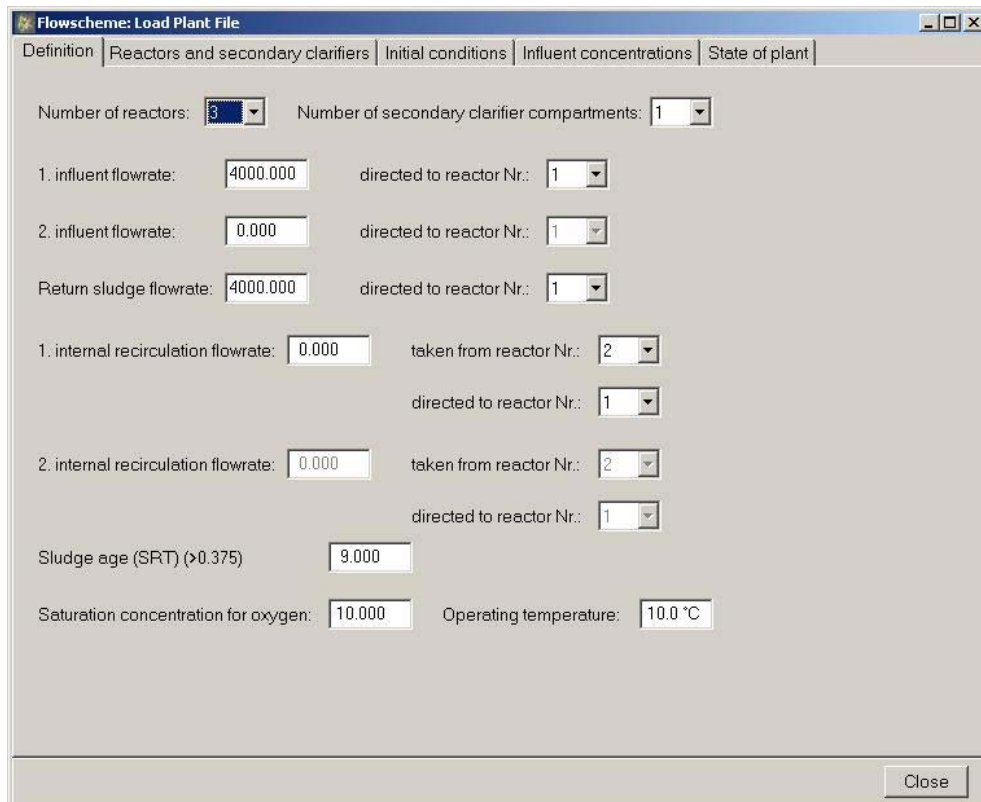
Das Plant File (Anlagen File) enthält die Definition des Fliessschemas, die Konzentrationen des ersten und des zweiten Zulaufs und die gültigen Regelkreise. Dazu wird beim Schreiben des Files der momentane Zustand der Anlage und die aktuelle Betriebstemperatur gespeichert.

Im Folgenden erstellen Sie das Plant File mit den Grössen aus Tabelle 1 und dem Fliessschema aus Abbildung 1.

Über das Menü „Plant definition“ → „Define new Flowscheme“ → „Activated Sludge Reactor“ gelangen Sie zur Maske in Abbildung 3.

#### 3.2.1 Definition

- Das Belebungsbecken wird mit drei Becken abgebildet, um die hydraulischen Verhältnisse möglichst gut nachzubilden (Ergebnis aus Tracerversuchen, ...).
- Zufluss und Rücklauf werden in den ersten Reaktor eingeleitet.
- Es gibt keine interne Rezirkulationen.
- Das Schlammalter beträgt 9 Tage.
- Das NKB wird mit einem volldurchmischten Reaktor abgebildet.



The screenshot shows a software window titled "Flowscheme: Load Plant File" with several tabs: "Definition", "Reactors and secondary clarifiers", "Initial conditions", "Influent concentrations", and "State of plant". The "Reactors and secondary clarifiers" tab is active. The interface includes the following fields and controls:

- Number of reactors: 3 (dropdown)
- Number of secondary clarifier compartments: 1 (dropdown)
- 1. influent flowrate: 4000.000 (text box)
- directed to reactor Nr.: 1 (dropdown)
- 2. influent flowrate: 0.000 (text box)
- directed to reactor Nr.: 1 (dropdown)
- Return sludge flowrate: 4000.000 (text box)
- directed to reactor Nr.: 1 (dropdown)
- 1. internal recirculation flowrate: 0.000 (text box)
- taken from reactor Nr.: 2 (dropdown)
- directed to reactor Nr.: 1 (dropdown)
- 2. internal recirculation flowrate: 0.000 (text box)
- taken from reactor Nr.: 2 (dropdown)
- directed to reactor Nr.: 1 (dropdown)
- Sludge age (SRT) (>0.375): 9.000 (text box)
- Saturation concentration for oxygen: 10.000 (text box)
- Operating temperature: 10.0 °C (text box)

A "Close" button is located at the bottom right of the dialog.

Abbildung 3: Plant Definition - Reaktorkonfiguration

#### 3.2.2 Reactors and secondary clarifiers

Hier erfolgt die Eingabe der einzelnen Reaktorvolumina sowie der Belüftungseigenschaften:

- O<sub>2</sub>-Setpoint: Die Sauerstoffkonzentration wird immer auf einem bestimmten Wert gehalten.
- K<sub>la</sub> Value: Die Gebläseleistung bleibt konstant.

Sie müssen sich für eine der beiden Belüftungsarten entscheiden (in Kapitel 8 wird noch eine dritte Variante, Regelung, eingeführt). Die Sauerstoffkonzentration in allen Reaktoren beträgt konstant 2 mg/l.

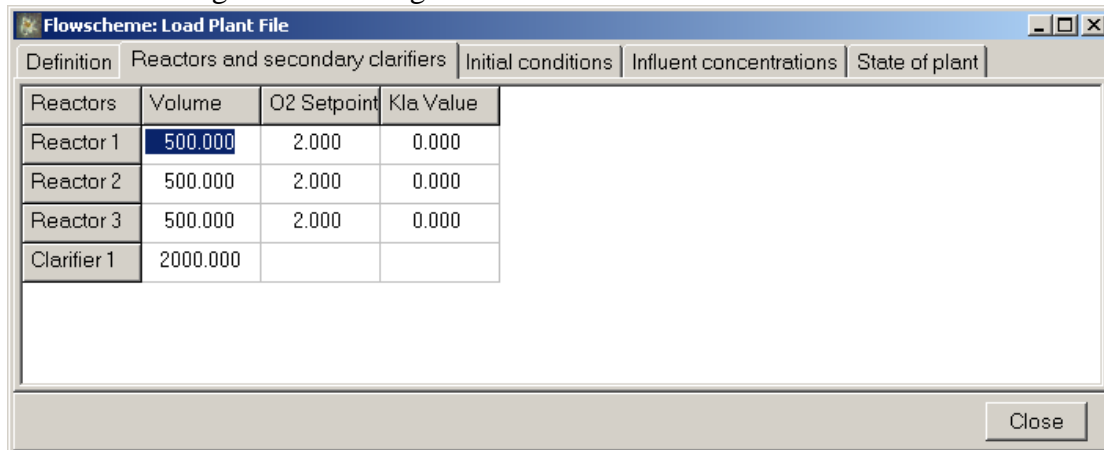


Abbildung 4: Plant Definition – Reaktorvolumina und Belüftung

Sie können Ihre Eingaben anhand des graphischen Schemas, das während der Eingabe im Hintergrund eingeblendet wird, überprüfen. Um die Graphik auch nach der Eingabe zu betrachten, gehen Sie über das Menü „Plant Definition“ → „Graphic of Flowscheme“.

### 3.2.3 Influent concentrations

In diesem Register werden die Zulaufkonzentrationen (1. und 2. Zufluss) eingegeben. Die  $CSB_{tot}$ -Konzentration wird auf die in Tabelle 2 aufgeführten verschiedenen CSB-Fractionen verteilt. Zur Erläuterung dieser Tabelle wird auf die Fachliteratur über ASM3 verwiesen. Diese Aufteilung ist in den meisten Fällen das Resultat einer Kalibrierung. Standardwerte können der Tabelle 2 entnommen werden. Tragen Sie die Konzentrationen des 1. Zuflusses gemäß Abbildung 5 und Tabelle 1 ein

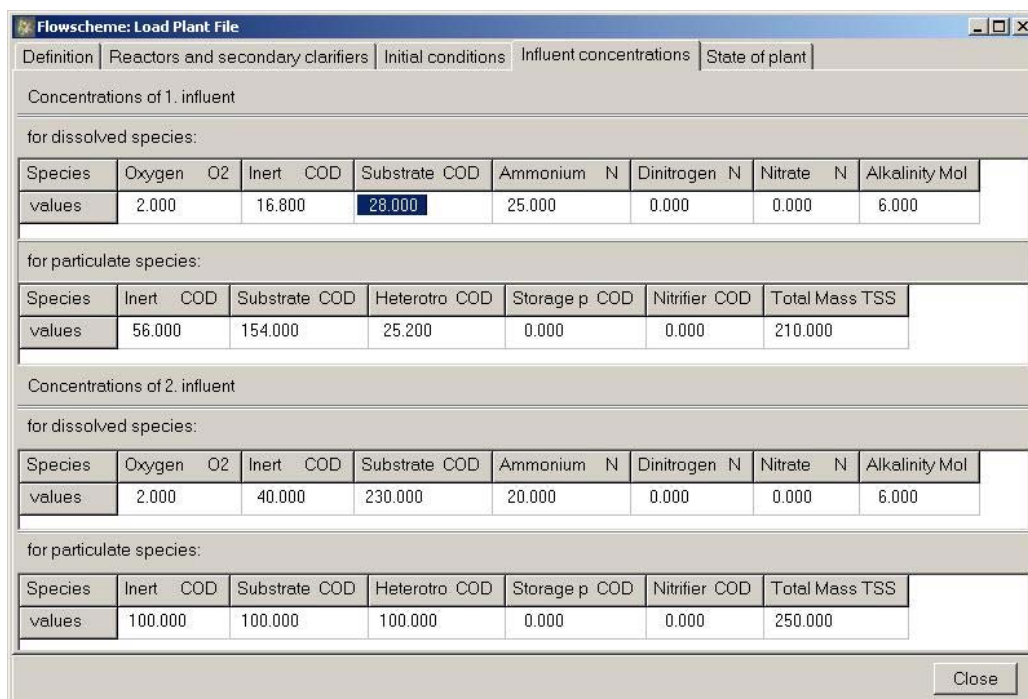


Abbildung 5: Plant Definition – Zufluss-Konzentrationen

Ein zweiter Zufluss müsste im Register „Definition“ definiert werden, bevor hier die Zusammensetzung eingegeben werden kann. Sie werden dies in Kapitel 6 benötigen.

**Tabelle 2: Standardwerte für die Aufteilung des Gesamt-CSB auf die unterschiedlichen Fraktionen in ASM3 (Koch et al., 2000).**

Fraktion	Gelöst		Partikulär					Total:
	Inert	Substrate	Inert	Substrate	Heterotroph	Storage p	Nitrifier	
Aufteilung	6%	10%	20%	55%	9%	0%	0%	100%

### 3.2.4 Initial Conditions und State of plant

Bei der Erstellung des Plant Files gibt es noch zwei weitere Eingabemasken: „Initial Conditions“ und „State of plant“. Die Initial Conditions enthalten einen Satz von Anfangsbedingungen, die für die Differentialgleichungen verwendet werden. Sie können auch genutzt werden, um die Anfangsbedingungen in einem Experiment zu charakterisieren. „State of the Plant“ ist eine Zusammenfassung der Werte im Zufluss, in den Reaktoren und in den Nachklärbecken. Sie werden feststellen, dass die beiden Register dieselben Größen enthalten. Dies kommt daher, dass nach einer Berechnung die Tabelle der „Initial Conditions“ mit dem neu berechneten Zustand „State of plant“ überschrieben wird, so dass bei dynamischen Berechnungen direkt weitergerechnet werden kann.

### 3.3 Variation File

Das Variation File enthält die Informationen zu den zeitlichen Veränderungen des Zuflusses, des Überschussschlammabzuges ( $D_x$ ), der Konzentrationen, usw. über eine bestimmte Dauer, welche für die dynamische Simulation benötigt wird. Es werden nur relative Werte eingegeben (aktueller Wert / Zeitmittelwert), ausser bei der Temperatur, wo die absolute Abweichung eingegeben wird. Der Zeitmittelwert ist derjenige Wert, der im Plant File definiert wurde. Dies erlaubt, das File für unterschiedliche Belastungen / Situationen zu verwenden.

Eine dynamische Simulation kann erst durchgeführt werden, wenn ein Variation File vorliegt.

In Tabelle 3 sind die Variationen im Tagesgang für Ammonium, CSB und Zulauf zur Belebung aufgeführt. Im Folgenden erstellen Sie damit ein Variation File.

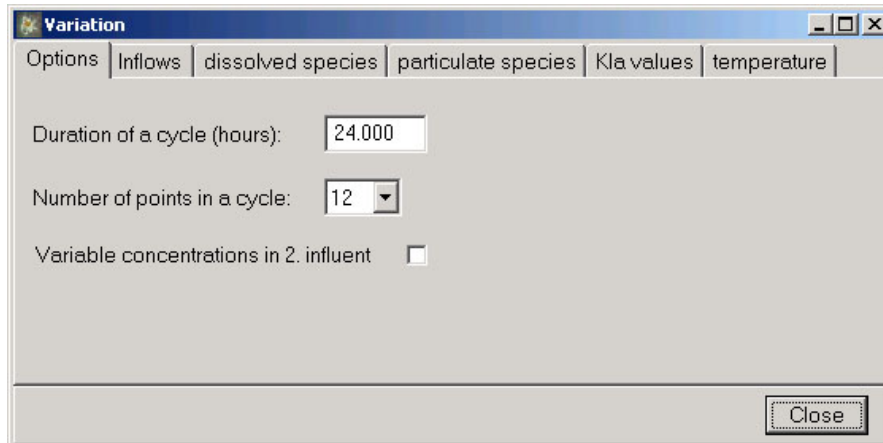
**Tabelle 3: Tagesgang bezüglich NH<sub>4</sub>, CSB und Zulauf zur Belebung.**

Zeit [h]	Ammonium [g m <sup>-3</sup> ]	CSB <sub>tot</sub> [g m <sup>-3</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ]
0 – 2	20.70	73.7	2540
2 – 4	15.53	57.7	2284
4 – 6	10.35	145.3	2792
6 – 8	23.21	248.6	3048
8 – 10	46.74	345.3	4064
10 – 12	31.05	474.9	5080
12 – 14	26.71	467.6	6096
14 – 16	25.04	497.6	4824
16 – 18	23.21	408.2	4572
18 – 20	28.38	318.9	6096
20 – 22	25.88	211.9	3556
22 – 24	23.21	110.4	3035

Öffnen Sie unter „Variation“ → „New Variation“ ein neues Variation File.

### 3.3.1 Options

In der ersten Eingabemaske werden die einzelnen Zyklusperioden definiert und deren Änderungsintervalle angegeben. Gemäss Tabelle 3 handelt es sich hier um 24-Stunden-Zyklen mit einer 2-Stunden-Auflösung. Einen zweiten Zufluss haben wir zu diesem Zeitpunkt nicht.



**Abbildung 6: Definition der Variation**

### 3.3.2 Zuflussvariation:

Füllen Sie unter „Inflows“ die Tabelle „1. Inflow“ gemäss Tabelle 3 aus. Sie können dabei die Absolutwerte der Tabelle benutzen: Indem Sie den Durchschnittswert A unterhalb der Tabellen auf 1 setzen, ersetzt ASIM automatisch die Absolutwerte durch die relativen Werte. Rücklauf- und Überschussschlamm werden in diesem Fallbeispiel vorerst kontinuierlich bewirtschaftet und konstant gehalten.

Variation					
Options   Inflows   dissolved species   particulate species   Kla values   temperature					
time step	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
0-2 hrs	0.635	1.000	1.000	1.000	1.000
2-4 hrs	0.571	1.000	1.000	1.000	1.000
4-6 hrs	0.698	1.000	1.000	1.000	1.000
6-8 hrs	0.762	1.000	1.000	1.000	1.000
8-10 hrs	1.016	1.000	1.000	1.000	1.000
10-12 hrs	1.270	1.000	1.000	1.000	1.000
12-14 hrs	1.524	1.000	1.000	1.000	1.000
14-16 hrs	1.206	1.000	1.000	1.000	1.000
16-18 hrs	1.143	1.000	1.000	1.000	1.000
18-20 hrs	1.524	1.000	1.000	1.000	1.000
20-22 hrs	0.889	1.000	1.000	1.000	1.000
22-24 hrs	0.762	1.000	1.000	1.000	1.000

	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
Factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A:Factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Close

Abbildung 7: Variation des Zuflusses und Normierung auf 1 mit Faktor A.

### 3.3.3 Dissolved/Particulate species

#### Variation der Ammoniumkonzentration:

Verfahren Sie mit den angegebenen  $\text{NH}_4$ -Konzentrationen gleich wie mit der Zulaufvariation. Füllen Sie die Werte in Tabelle 3 in die Reihe „Ammonium“ unter „dissolved species“ und normieren Sie die Variation wiederum auf 1.

#### CSB-Variation:

In Tabelle 3 sind die CSB-Werte als totaler CSB angegeben. Der Einfachheit halber nehmen wir in diesem Fall an, dass die verschiedenen CSB-Fraktionen der gleichen Variation unterworfen sind. Geben Sie nun für irgendeine CSB-Fraktion die Werte aus Tabelle 3 ein und normieren Sie diese wiederum auf 1.

Damit Sie dies nicht für jede CSB-Fraktion durchführen müssen, können Sie diese Datenreihe in andere Reihen kopieren. Klicken Sie dazu mit der linken Maustaste in die Titelleiste der gewünschten Variationsreihe und wählen danach die zu kopierende Quelle aus (Abbildung 8). Führen Sie dies für die partikulären (Inert, Substrate, Heterotrophe BM) und gelösten (Inert, Substrate) Stoffe durch.



wählen. Ihre Anlage heisst defaultmässig gleich wie der Projektordner, taufen Sie die Anlage „winter.pln“. Anschliessend speichern Sie auch noch das Variation-File ab („Variation“→ „Save Variation“).

Durch diese Speicherstrategie von ASIM ist es möglich, verschiedene Berechnungen zu machen, ohne dass das zuerst erstellte File überschrieben wird.

Sie finden die eben erstellten Files auch im Ordner Tutorial (*tutorial\_winter.pln* und *tutorial.vrt*).

## 4 Berechnungen

*Je nach Fragestellung werden unterschiedliche Berechnungen benötigt. Für längerfristige Betrachtungen interessiert häufig der stationäre Zustand, für andere Fragen werden zeitlich aufgelöste Daten bevorzugt. In ASIM stehen drei Berechnungsmethoden zur Verfügung: Relaxation, Integration und dynamische Simulation. Sie sind alle im Menü „Computations“ aufzurufen.*

### 4.1 Steady State

#### 4.1.1 Relaxation

Im Gegensatz zur Integration ist die Relaxation eine sehr schnelle Routine, die ein System rasch gegen einen Steady State führt. Der stationäre Zustand wird dabei nicht erreicht, sondern nur angenähert, um anschliessend mit einer Integration vervollständigt zu werden.

Die Relaxation verlangt die Eingabe dreier Berechnungszeiten. Dies beruht darauf, dass Sauerstoff, gelöstes Material und partikuläre Stoffe ihren stationären Zustand mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten erreichen. Meist sind die vorgeschlagenen Werte geeignet.

Der stationäre Zustand wird ausgehend von einer Relaxation mit einer Integration erreicht.

#### 4.1.2 Integration

Das System wird durch „Integration“ in den stationären Zustand gebracht. Nach durchgeführter Integration lässt sich der Anlagenzustand direkt mit „Show Results“ im Register „State of plant“ überprüfen (wird defaultmässig geöffnet).

Zu beachten: Mit der Berechnung des Steady States werden die Anfangsbedingungen auf die zuletzt berechneten Werte gesetzt. Bei den nächsten Berechnungen wird von den neu berechneten Werten ausgegangen. Dies kann insbesondere bei der dynamischen Simulation zu ungewollten Resultaten führen, wenn die Entwicklung von einem Betriebszustand in den anderen verfolgt werden soll.

Führen Sie die von Ihnen erstellte Anlage in den stationären Zustand und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Tabelle 4. (Abweichungen von bis zu 2% sind im Rahmen der Rechengenauigkeit von ASIM)

**Tabelle 4: Die Anlage im Steady State im Winter (10°C).**

		1.influent	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Clarifier 1
Flowrate/Volumes		4000	500	500	500	2000
gelöst	Oxygen O2	2	2	2	2	
	Inert COD	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
	Substrate COD	28	0.996	0.517	0.377	0.373

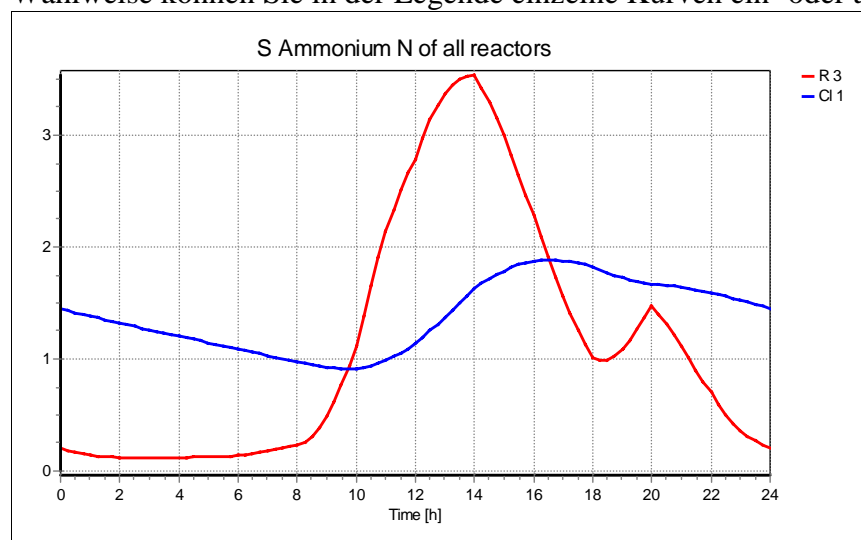
	Ammonium N	25	6.698	2.135	0.465	0.465
	Dinitrogen N	0	2.066	2.537	2.945	2.945
	Nitrate N	0	17.842	22.106	23.629	23.629
	Alkalinity Mol	6	3.419	2.789	2.561	2.561
partikulär	Inert COD	56	1707.98	1710.60	1713.22	
	Substrate COD	154	93.212	68.55	50.247	
	Heterotro COD	25.2	1421.64	1427.69	1430.27	
	Storage p COD	0	29.891	25.885	20.916	
	Nitrifizier COD	0	96.801	97.555	97.635	
	Total Mass TSS	210	3447.732	3434.914	3422.584	
	Oxygen consumption		844.887	640.297	412.200	

## 4.2 Dynamische Berechnungen

Im vorherigen Abschnitt haben Sie die Anlage in ihr Gleichgewicht gebracht, nun können Sie, von diesem Gleichgewicht ausgehend, einen dynamischen Tagesgang (oder auch mehrere) simulieren.

Gehen Sie dazu über den Menüpunkt „Computations“ → „Dynamic Simulation“. In der erscheinenden Maske geben Sie die Anzahl zu simulierender Berechnungszyklen ein (z.B. 5). Als Option können Sie alle berechneten Zyklen in Serie in einer Graphik darstellen lassen. Starten Sie die Simulation und sehen Sie sich danach die Resultate an (Die Resultate lassen sich auch nachträglich über den Menüpunkt „Results“ aufrufen).

Defaultmässig sind zu Beginn die hydraulischen Schwankungen angezeigt. Wechseln Sie über das Menü „View Single Chart“ zu einer Parametergruppe Ihrer Wahl (z.B. → „Dissolved Species“ → „S Ammonium N of all Reactors“). Wahlweise können Sie in der Legende einzelne Kurven ein- oder ausblenden.



**Abbildung 9: Ammoniumkonzentration im letzten Beckenabschnitt und im Ablauf des Nachklärbeckens am fünften Tag. Wie man sieht, ist die Reserve im Gegensatz zu den statischen Berechnungen erheblich gesunken und bewegt sich näher am Grenzwert von 2 mg NH<sub>4</sub>-N l<sup>-1</sup>.**

Graphiken können Sie mit einem Rechtsklick editieren, exportieren oder statistisch auswerten.

## 5 Unterschiedliche Betriebssituationen

Wie simuliert man auf einfache Weise andere Belastungssituationen? In diesem Kapitel werden beispielhaft der Sommerbetrieb, erhöhte Gesamt-, CSB- und Stickstofffrachten und deren Auswirkungen betrachtet.

### 5.1 Sommer / Winter

Sie können sehr leicht von der oben gefahrenen Winterbetriebsweise (10°C) auf Sommerbetrieb wechseln, indem Sie im Plant File die Betriebstemperatur entsprechend anpassen.

Führen Sie die oben durchgeführte Simulation noch einmal durch, diesmal jedoch mit einer Betriebstemperatur von 20°C. Definieren Sie dazu ein zweites Plant File mit den entsprechenden Änderungen, indem Sie das bestehende abspeichern („Save Plant File“), die Temperatur ändern und anschliessend unter dem Namen „sommer.pln“ abspeichern. Sie finden das File „*tutorial\_sommer.pln*“ auch im Ordner Tutorial. In den folgenden Abbildungen und Tabellen sind die Resultate analog zu Kapitel 4 aufgezeigt.

**Tabelle 5: Steady State unter Sommerbedingungen (20°C).**

	1.influent	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Clarifier 1
Flowrate/Volumes	4000	500	500	500	2000
Oxygen O <sub>2</sub>	2	2	2	2	
Inert COD	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
Substrate COD	28	0.814	0.388	0.252	0.25
Ammonium N	25	3.183	0.412	0.101	0.101
Dinitrogen N	0	2.358	2.885	3.316	3.316
Nitrate N	0	21.853	24.541	25.049	25.048
Alkalinity Mol	6	2.882	2.492	2.433	2.434
Inert COD	56	1818.735	1822.166	1825.583	
Substrate COD	154	69.326	45.126	29.204	
Heterotro COD	25.2	920.838	922.666	919.060	
Storage p COD	0	16.897	12.656	9.033	
Nitrifier COD	0	62.558	62.627	62.155	
Total Mass TSS	210	3022.125	3006.009	2990.787	
Oxygen consumption		1153.492	581.864	373.440	

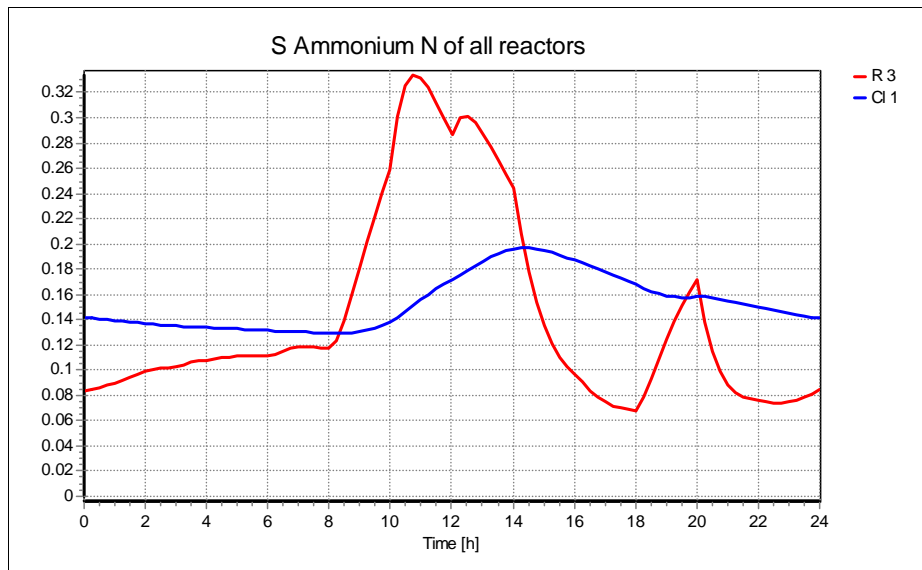


Abbildung 10: Variation der Ammoniumkonzentration im Ablauf der Anlage. Sommersituation.

## 5.2 Erhöhte Belastung

Sehr einfach lassen sich Betriebssituationen mit unterschiedlichen Belastungsszenarien mit Hilfe des Variation Files konstruieren. Im folgenden sollen Sie nachstehende Belastungssituationen simulieren:

### 5.2.1 Periode mit 25% mehr Gesamtbelastung

Das entspricht in etwa einer Belastung, wie sie an 80% der Tage unterschritten wird. Verfolgen Sie dabei die Entwicklung des TSS während mehreren Tagen.

Ausgangspunkt Ihrer Simulation ist die Betriebssituation im Winter mit entsprechendem Plant-, Variation- und Model File von Kapitel 4.2. Wählen Sie dazu unter „Plant Definition“ → „Load Plant File“ das File *winter.pln*.

(Möglicherweise erscheint ein Dialog, dass die momentane Anlage nicht gespeichert sei. Klicken Sie dort „OK“).

- Führen Sie die Anlage zuerst in den stationären Zustand (zur Zeit enthält das Plant File „winter.pln“ immer noch die Endwerte Ihrer letzten (dynamischen) Simulation). Damit erreichen wir den Zustand der Anlage vor der geplanten Belastungssituation.
- Editieren Sie den Tagesgang des Zuflusses im Variation File („Variation → Edit Variation“), indem Sie den Faktor unterhalb des Tagesganges entsprechend verändern. Um eine Erhöhung des Zuflusses (und damit der Frachten) um 25% zu erreichen, setzen Sie den Faktor auf 1.25 (siehe Abbildung 11). Dieses Variationsfile („*tut\_belastung.vrt*“) finden Sie auch im Ordner Tutorial.

Variation					
Options	Inflows	dissolved species	particulate species	Kla values	temperature
time step	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
0-2 hrs	0.623	1.000	1.000	1.000	1.000
2-4 hrs	0.560	1.000	1.000	1.000	1.000
4-6 hrs	0.685	1.000	1.000	1.000	1.000
6-8 hrs	0.748	1.000	1.000	1.000	1.000
8-10 hrs	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
10-12 hrs	1.246	1.000	1.000	1.000	1.000
12-14 hrs	1.496	1.000	1.000	1.000	1.000
14-16 hrs	1.184	1.000	1.000	1.000	1.000
16-18 hrs	1.122	1.000	1.000	1.000	1.000
18-20 hrs	1.722	1.000	1.000	1.000	1.000
20-22 hrs	0.872	1.000	1.000	1.000	1.000
22-24 hrs	0.745	1.000	1.000	1.000	1.000
	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
Factor	1.250	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
AFactor	1.250	1.000	1.000	1.000	1.000

Abbildung 11 Erhöhung der Zulaufmenge.

- Sie könnten auch zu diesem Zeitpunkt den stationären Zustand berechnen, was auf das Resultat keinen Einfluss haben würde, da die Relaxation / Integration nur die Inputwerte aus dem Plant File verarbeitet. Dies ist wichtig zu wissen, falls Sie verschiedene Szenarien für den Steady State untersuchen wollen. In diesen Fällen müssten Sie die Belastungsänderungen im Plant File eingeben!!!  
Führen Sie eine dynamische Simulation mit den erhöhten Zulauffrachten für 10 Tage durch und lassen Sie sich alle Zyklen anzeigen (indem Sie bei der Berechnung ein Häkchen bei „Show all cycles in plot“ machen (
- Abbildung 12).

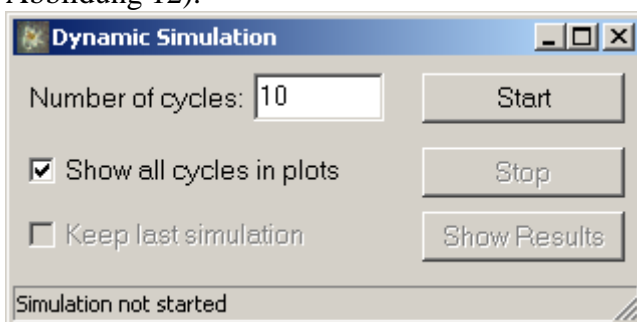
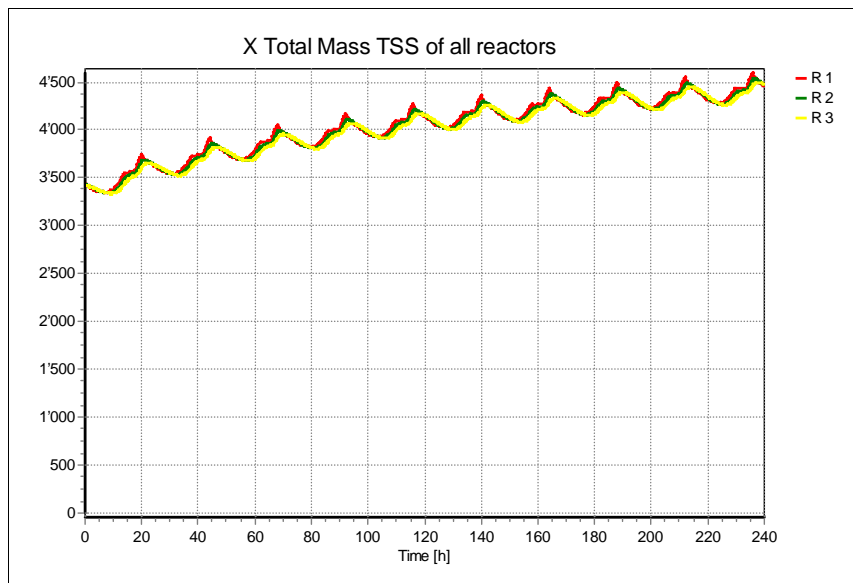
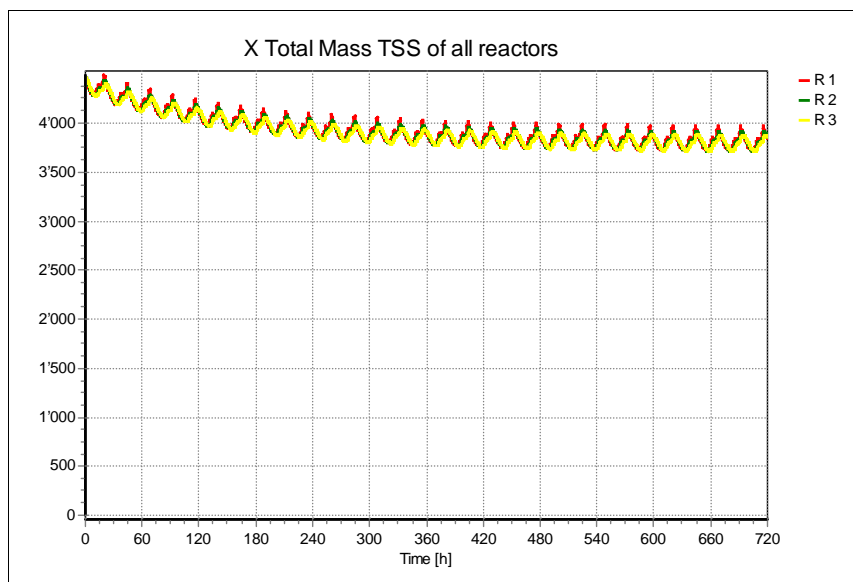


Abbildung 12: Dynamische Simulation für 10 Tage, bei der alle Zyklen angezeigt werden.

- Wählen Sie die total suspendierten Stoffe (TSS: View Single Chart → Particulate Species → X Total Mass TSS of all reactors) in allen Reaktoren und vergleichen Sie die Entwicklung mit Abbildung 13.
- Setzen Sie den Faktor für die Zulaufmenge im Variation File wieder auf 1.00 und führen Sie erneut eine dynamische Simulation durch (berechnen Sie 30 Zyklen, ohne vorgängig zu integrieren!). Wie lange dauert es, bis die Anlage wieder im vorherigen Zustand fährt?



**Abbildung 13: Entwicklung der Belebtschlammkonzentration während einer 10-tägigen erhöhten Belastungssituation.**



**Abbildung 14: TSS-Konzentration nach der 10-tägigen erhöhten Belastung. Um in einen stationären Zustand zu gelangen, dauert es ca. 15 Tage.**

### 5.2.1.1 Exkurs: Steady State und Steady State

Es fällt auf, dass der neue stationäre Zustand nicht mehr auf den Stand von vorher hinunter kommt. Scheinbar bedeutet Steady State in einer dynamischen Simulation nicht dasselbe wie Steady State als Ergebnis einer statischen Simulation (Integration). Wenn Sie sich das Variation File genauer ansehen, werden Sie feststellen, dass unterhalb der Konzentrationen die durchschnittlichen Frachten aufgeführt sind („load“). Diese Frachten sind beim CSB in Abbildung 15 um 15% höher als im Plant File.

Variation													
Options   Inflows   dissolved species   particulate species   Kla values   temperature													
time step	Oxygen	O2	Inert	COD	Substrate COD	Ammonium	N	Dinitrogen	N	Nitrate	N	Alkalinity	Mol
0- 2 hrs	1.000		0.263		0.263	0.828		1.000		1.000		1.000	
2- 4 hrs	1.000		0.206		0.206	0.621		1.000		1.000		1.000	
4- 6 hrs	1.000		0.519		0.519	0.414		1.000		1.000		1.000	
6- 8 hrs	1.000		0.888		0.888	0.928		1.000		1.000		1.000	
8-10 hrs	1.000		1.233		1.233	1.870		1.000		1.000		1.000	
10-12 hrs	1.000		1.696		1.696	1.242		1.000		1.000		1.000	
12-14 hrs	1.000		1.670		1.670	1.068		1.000		1.000		1.000	
14-16 hrs	1.000		1.777		1.777	1.002		1.000		1.000		1.000	
16-18 hrs	1.000		1.458		1.458	0.928		1.000		1.000		1.000	
18-20 hrs	1.000		1.139		1.139	1.135		1.000		1.000		1.000	
20-22 hrs	1.000		0.757		0.757	1.035		1.000		1.000		1.000	
22-24 hrs	1.000		0.394		0.394	0.928		1.000		1.000		1.000	
	Oxygen	O2	Inert	COD	Substrate COD	Ammonium	N	Dinitrogen	N	Nitrate	N	Alkalinity	Mol
Factor	1.000		1.000		1.000	1.000		1.000		1.000		1.000	
Average=A	1.000		1.000		1.000	1.000		1.000		1.000		1.000	
A Factor	1.000		1.000		1.000	1.000		1.000		1.000		1.000	
Load	1.000		1.150		1.150	1.052		1.000		1.000		1.000	

Abbildung 15: Berechneter durchschnittlicher Frachtfaktor.

Dies kommt daher, dass die Variationen von Zufluss und Konzentration (deren Produkt die Fracht ist) sich zeitlich verstärken oder abschwächen (siehe Beispiel anhand des inerten partikulären CSB in Tabelle 6).

Tabelle 6: Berechnung der Frachten in Zeitintervallen.

time step	1.influent	Inert	COD	Load = Influent x COD
0- 2 hrs	0.623	0.263		0.164
2- 4 hrs	0.560	0.206		0.115
4- 6 hrs	0.685	0.519		0.356
6- 8 hrs	0.748	0.888		0.664
8-10 hrs	0.997	1.233		1.229
10-12 hrs	1.246	1.696		2.113
12-14 hrs	1.496	1.670		2.498
14-16 hrs	1.184	1.777		2.104
16-18 hrs	1.122	1.458		1.636
18-20 hrs	1.722	1.139		1.961
20-22 hrs	0.872	0.757		0.660
22-24 hrs	0.745	0.394		0.294

Average: **1.150**

In den meisten Fällen werden diese Abweichungen keine signifikanten Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse verursachen, sondern nur geringfügig den Trend etwas beeinflussen. Um aber diesen Effekt auszuschalten, könnten Sie im Variation File für alle betreffenden Stoffe als Faktor die Kehrwerte des jeweiligen loads eingeben. Dies bewirkt, dass der Steady State der dynamischen dem Steady State der statischen Berechnungen entspricht.

## 5.2.2 Tagesgang mit mittlerer CSB-Belastung aber erhöhter N-Fracht

Simulieren Sie diesen Fall ebenfalls ausgehend von der Betriebssituation im Winter mit entsprechendem Plant-, Variation- und Model File. Laden Sie dazu wiederum das Plant-File „winter.pln“ (ohne die aktive Anlage abzuspeichern).

- Integrieren Sie die Anlage bis zu ihrem Steady State.
- Vergewissern Sie sich, dass im Variation File alle Faktoren wieder auf 1.00 eingestellt sind.
- Erhöhen Sie die Faktoren für Ammonium um 40% und für die Alkalinität um 20%. Das selbe Variationsfile befindet sich im Ordner Tutorial („*tut\_N.vrt*“).
- Führen Sie eine dynamische Simulation während eines Tages durch und vergleichen Sie das Resultat mit Abbildung 9 und Abbildung 16.
- Evtl. wollen Sie den Zwischenstand der Anlage abspeichern (als *winter\_N.pln*).
- Setzen Sie alle Faktoren im Variation File wieder auf 1.00 und untersuchen Sie, wie lange die Anlage braucht, um die Einleitbedingungen von  $2 \text{ mg NH}_4\text{-N l}^{-1}$  wieder einzuhalten (Abbildung 17).
- Schauen Sie auch, ob dieser eine Tag Auswirkungen auf die Konzentration von Nitrifikanten im Belebungsbecken hat.

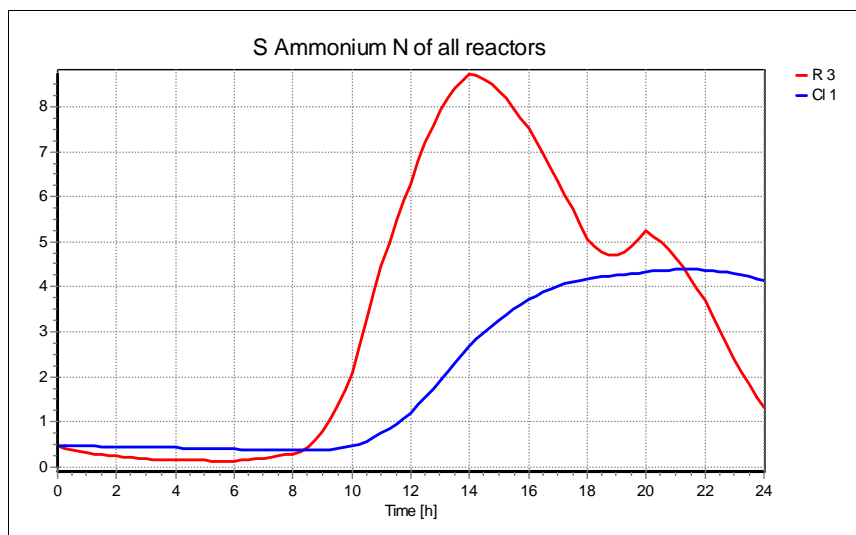


Abbildung 16: Ammonium-Ablaufkonzentration bei um 40% erhöhter Zulauffracht.

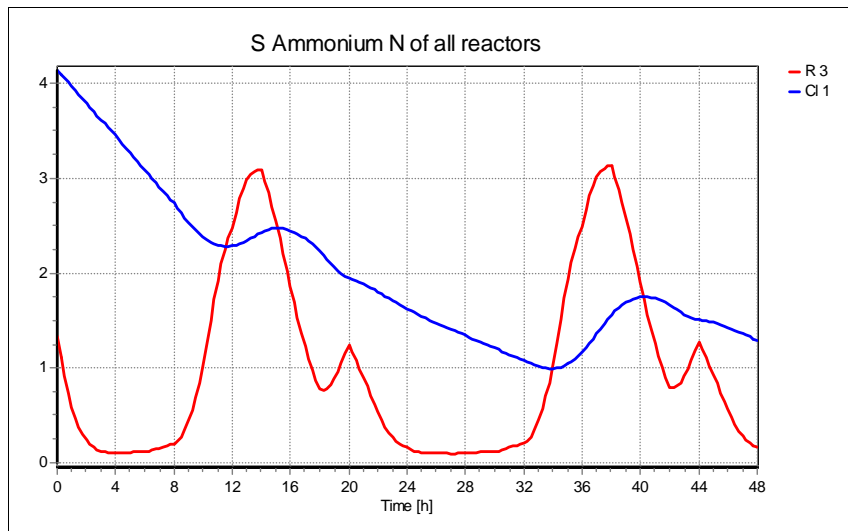


Abbildung 17: 24 h nach der erhöhten Zulaufkraft, unterschreitet der Ablaufwert von Ammonium wieder den Grenzwert.

### 5.2.3 Tagesgang mit erhöhter Fracht von organischen Stoffen

Dieser Fall entspricht einer erhöhten CSB-Belastung, wie sie saisonal z.B. bei Obsternten auftreten kann. Dabei ist jedoch die N-Fracht nicht erhöht.

Gehen Sie wiederum von einer Wintersituation aus.

- Erhöhen Sie im Variation File alle CSB-Fractionen um 40%.
- Vergewissern Sie sich, dass alle anderen Faktoren im Variation File auf 1.00 eingestellt sind (siehe *tut\_CSB.vrt* im Ordner Tutorial).
- Führen Sie die Anlage in den stationären Zustand.
- Simulieren Sie eine Woche erhöhte CSB-Fracht.
- Beobachten und interpretieren Sie die CSB-Ablaufwerte, die Belebtschlammkonzentrationen sowie die Ammoniumablaufwerte (→ Abbildung 18).

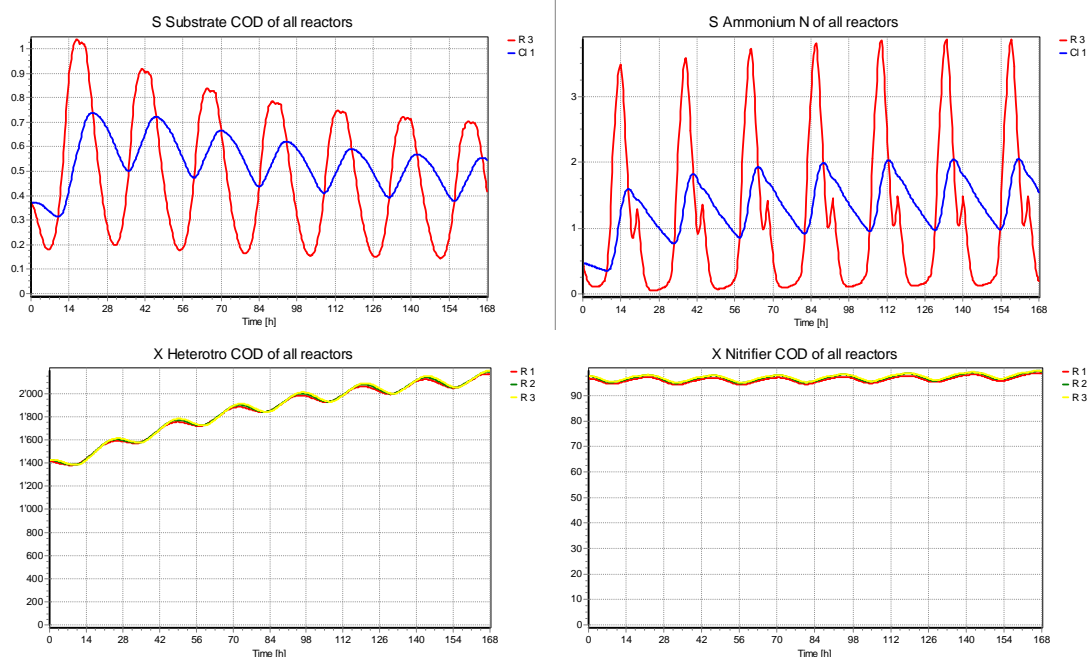


Abbildung 18: Ablaufwerte von Ammonium und leicht abbaubarem CSB (obere Graphiken) sowie Entwicklung der Nitrifikanten und heterotrophen Biomassekonzentrationen.

Erwartungsgemäss ist zu Beginn der Belastungsperiode ein Anstieg der CSB-Ablaufwerte zu verzeichnen. Diese beginnt sich wieder einzupendeln, da gleichzeitig mit der erhöhten Belastung heterotrophe Biomasse einzuwachsen beginnt. Dasselbe gilt, wenn auch in geringerer Masse, für die Ammoniumkonzentration. Dies hat zwei Ursachen: Einerseits kommt der Effekt, der in Kapitel 5.2.1.1 beschrieben wurde, zum Tragen, andererseits enthalten die CSB-Fractionen Stickstoff in unterschiedlicher Konzentration ( $i_{NSS}$ ,  $i_{NXS}$ , ..), was die Zulaufkonzentration ebenfalls erhöht.

## 6 Faulwasserbewirtschaftung

*Bisher wurde nur der Zulauf zur Anlage berücksichtigt. In der Faulung fällt aber Faulwasser an, was eine Erhöhung der Stickstofffracht zur Folge hat. Diese zusätzliche Belastung kann mit der Definition eines zweiten Zuflusses simuliert werden.*

Zu dem in der Anlage anfallenden Überschussschlamm wird zusätzlich der Schlamm einer benachbarten Kläranlage zusammen mit dem Primärschlamm eingedickt, hygienisiert, stabilisiert und danach entwässert. Dabei fällt ammoniumreiches Faulwasser an, das der Anlage als Rückbelastung wieder zugeführt wird. Dieser Rücklauf bedeutet eine nicht zu vernachlässigende Zusatzbelastung der Anlage, handelt es sich dabei doch um eine Stickstofffracht, die gegen 30% der Gesamtbelastung an Stickstoff ausmacht. In so einem Fall ist der Zeitpunkt der Faulwasserzugabe entscheidend für die Einhaltung der Ablaufgrenzwerte. Nachstehende Tabelle 7 enthält die Angaben über das Faulwasser.

**Tabelle 7: Faulwassermenge und –zusammensetzung.**

Faulwassermenge:	40	$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$
$\text{NH}_4$ -Konzentration:	700	$\text{mg NH}_4\text{-N l}^{-1}$
Alkalinität:	55	$\text{mmol l}^{-1}$
N-Fracht:	28	$\text{kg NH}_4\text{-N d}^{-1}$
Übrige Konzentrationen:	0	$\text{mg l}^{-1}$

Auf der Kläranlage wird der Faulwasserstapel am Morgen zwischen 8 und 12 Uhr in den Zulauf zur Biologie entleert.

- Definieren Sie die Zugabe des Faulwassers als zweiten Zufluss im Plant File winter.pln (Abbildung 19) und charakterisieren diesen (Abbildung 20).
- Geben Sie die zeitlich begrenzte Zugabe des Faulwassers im Variation File ein (Vergessen Sie nicht, den Durchschnittswert der Zeitschritte wieder auf 1.00 zu normieren → Abbildung 21; *tut\_fw\_morgen.vrt*).
- Bringen Sie die Anlage mit ihrer zusätzlichen Belastung in ihren neuen Steady State und simulieren Sie 5 Tagesgänge in Serie.
- Im Ordner Tutorial finden Sie das Plant-File für diese Aufgabe (*tutorial\_fw.pln*).



Variation					
Options	Inflows	dissolved species	particulate species	Kla values	temperature
time step	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
0-2 hrs	0.623	1.000	1.000	1.000	0.000
2-4 hrs	0.560	1.000	1.000	1.000	0.000
4-6 hrs	0.685	1.000	1.000	1.000	0.000
6-8 hrs	0.748	1.000	1.000	1.000	0.000
8-10 hrs	0.997	1.000	1.000	1.000	6.000
10-12 hrs	1.246	1.000	1.000	1.000	6.000
12-14 hrs	1.496	1.000	1.000	1.000	0.000
14-16 hrs	1.184	1.000	1.000	1.000	0.000
16-18 hrs	1.122	1.000	1.000	1.000	0.000
18-20 hrs	1.722	1.000	1.000	1.000	0.000
20-22 hrs	0.872	1.000	1.000	1.000	0.000
22-24 hrs	0.745	1.000	1.000	1.000	0.000

	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
Factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A Factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Abbildung 21: Zugabe des Faulwassers zwischen 8 und 12 Uhr (tutorial\_fw.vrt).

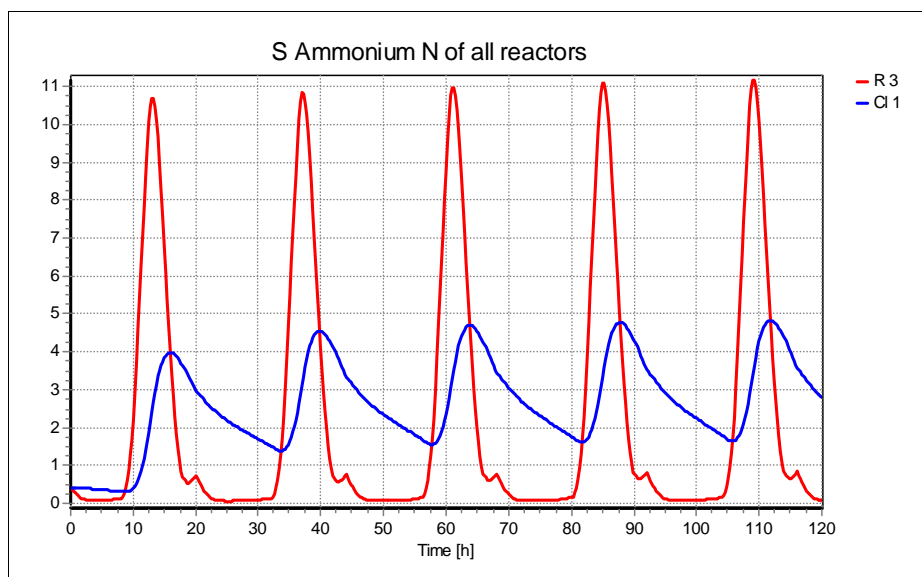


Abbildung 22: Einfluss der Faulwasserzugabe auf die Ammoniumkonzentration im Ablauf.

Wie Sie Abbildung 22 entnehmen können, schlagen die Ablaufwerte für Ammonium über die Grenzwerte. Versuchen Sie nun in einem nächsten Schritt, das Faulwasser so zu dosieren, dass sich die Ammoniumfracht aus dem Einzugsgebiet und vom Faulwasser möglichst gleichmässig über den Tag verteilt. Helfen kann Ihnen dabei die Abbildung 23, die die Verteilung des Ammoniums ohne die Faulwasserzugabe darstellt. Eingezeichnet wurde darin die  $\text{NH}_4$ -Konzentration, die das Abwasser im Zulauf mit dem Faulwasser aufweisen würde:

$$\frac{28 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 4000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 0.025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{4040 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 32 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Massenangaben in  $\text{NH}_4\text{-N}$

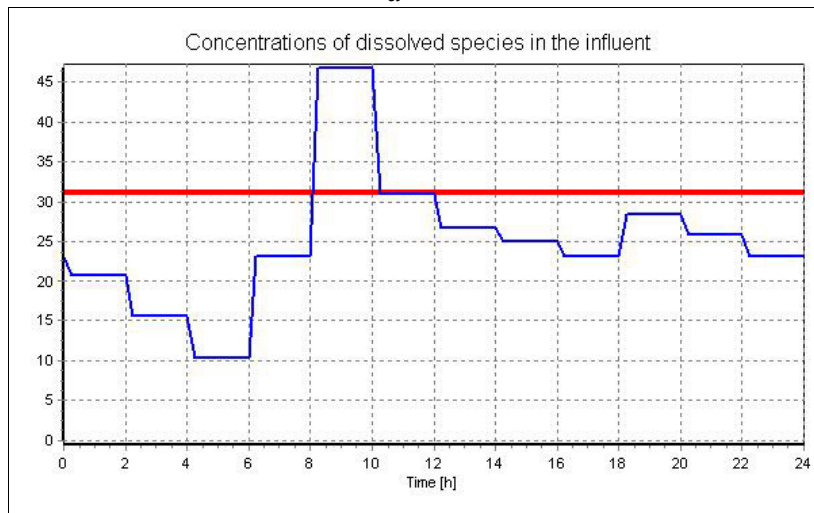


Abbildung 23: Ammoniumkonzentration im Zulauf OHNE Faulwasserzugabe. Eingezeichnet ist die durchschnittliche  $\text{NH}_4$ -Konzentration, die der Zulauf MIT dem Faulwasser aufweisen würde.

Abbildung 24 zeigt das Simulationsergebnis einer optimierten Faulwasserdosierung, mit der die Ablaufwerte eingehalten werden können. Aus Tabelle 8 ist ersichtlich, dass in der kritischen Zeit, in der die Belastung aus dem Einzugsgebiet maximal ist, kein Faulwasser gepumpt werden sollte. Mit einer angepassten Dosierung können Belastungsschwankungen ausgeglichen werden.

**Tabelle 8: Werte für die Zugabe des zweiten Zuflusses (Faulwasser). Ein Vergleich mit Abbildung 23 zeigt das „Auffüllen“ der Belastungs-Minima.**

time step	0- 2 hrs	2- 4 hrs	4- 6 hrs	6- 8 hrs	8-10 hrs	10-12 hrs
2.influent	1.500	2.250	3.000	1.125	0.000	0.000
time step	12-14 hrs	14-16 hrs	16-18 hrs	18-20 hrs	20-22 hrs	22-24 hrs
2.influent	0.375	0.750	1.125	0.000	0.750	1.125

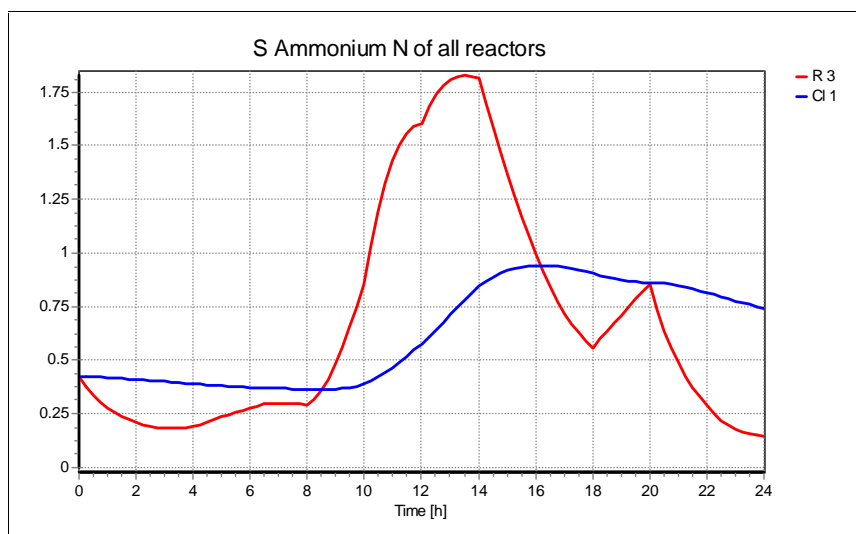


Abbildung 24: Ablaufwerte mit zeitlich angepasster Zugabe des Faulwassers.

## 7 Erweiterung auf Denitrifikation

Im Planungsstadium können mit einer mathematischen Modellierung Prognosen über das Verhalten einer Anlage unter verschiedenen Betriebsbedingungen oder mit verschiedener Verfahrenstechnik gemacht werden. In diesem Kapitel werden Sie die bestehende Anlage um eine Denitrifikationsstufe erweitern.

Die Behörde verlangt, dass die Kläranlage aufgrund eines untenliegenden empfindlichen Gewässers Nitrat eliminieren muss. Der beratende Ingenieur schlägt vor, die Nitrifikationsbecken zu verlängern und den ersten Beckenteil anoxisch zu betreiben. Die Zulaufcharakterisierung verändert sich nicht. Editieren Sie das Plant File gemäss Abbildung 25 und Abbildung 26.

Verwenden Sie das oben erstellte Variationsfile. Im Ordner Tutorial finden Sie die Files *tutorial\_deni.pln* und *tutorial\_fw.vrt*, mit denen Sie notfalls rechnen können.

Flowscheme: Load Plant File

Definition | Reactors and secondary clarifiers | Initial conditions | Influent concentrations | State of plant

Number of reactors: 5 | Number of secondary clarifier compartments: 1

1. influent flowrate: 4000.000 | directed to reactor Nr.: 1

2. influent flowrate: 40.000 | directed to reactor Nr.: 1

Return sludge flowrate: 4000.000 | directed to reactor Nr.: 1

1. internal recirculation flowrate: 0.000 | taken from reactor Nr.: 2 | directed to reactor Nr.: 1

2. internal recirculation flowrate: 0.000 | taken from reactor Nr.: 2 | directed to reactor Nr.: 1

Sludge age (SRT) (>0.500): 12.000

Saturation concentration for oxygen: 10.000 | Operating temperature: 10.0 °C

Close

Abbildung 25: Fließschema Denitrifikation mit 5 Reaktoren und grösserem Schlammalter.

Flowscheme: Load Plant File

Definition | Reactors and secondary clarifiers | Initial conditions | Influent c

Reactors	Volume	O2 Setpoint	Kla Value
Reactor 1	250.000	0.000	0.000
Reactor 2	250.000	0.000	0.000
Reactor 3	500.000	2.000	0.000
Reactor 4	500.000	2.000	0.000
Reactor 5	500.000	2.000	0.000
Clarifier 1	2000.000		

Abbildung 26: Die Denitrifikation findet unter Sauerstoffausschluss in 2 vorgeschalteten Reaktoren mit je 250 m<sup>3</sup> Volumen statt.

Der bisherigen Belebungsanlage werden zwei kleinere, unbelüftete Reaktoren vorgeschaltet. Der noch vorhandene Sauerstoff baut sich relativ rasch ab, mit dem Rücklaufschlamm wird Nitrat zugeführt, somit kann in diesen Becken Denitrifikation (Stickstoffelimination) stattfinden. Die Korrektur des Schlammalters auf 12 Tage erfolgt, um die Aufenthaltszeit im anoxischen Reaktor zu kompensieren. Das aerobe

Schlammalter beträgt nach wie vor 9 Tage. Aus der Simulation (Abbildung 27) folgt, dass ein Teil des Nitrats abgebaut und in  $N_2$  umgewandelt wird. (Der Ablaufwert für Nitrat betrug vorher ca. 30 mg/l)

Flowscheme: Load Plant File								
Definition	Reactors and secondary clarifiers		Initial conditions	Influent concentrations			State of plant	
	1.influent	2.influent	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Reactor 4	Reactor 5	Clarifier 1
Flowrate/Volumes	4000.000	40.000	250.000	250.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxygen O2	2.000	0.000	0.015	1.19E-4	2.000	2.000	2.000	
Inert COD	16.800	0.000	16.634	16.634	16.634	16.634	16.634	16.634
Substrate COD	28.000	0.000	3.123	1.924	0.522	0.359	0.261	0.262
Ammonium N	25.000	700.000	16.612	16.899	8.418	2.394	0.426	0.426
Dinitrogen N	0.000	0.000	11.883	14.945	15.354	15.709	16.015	16.013
Nitrate N	0.000	0.000	5.103	2.043	10.103	15.865	17.793	17.794
Alkalinity Mol	6.000	55.000	5.044	5.283	4.102	3.260	2.982	2.982
Inert COD	56.000	0.000	1708.045	1708.524	1710.800	1713.083	1715.367	
Substrate COD	154.000	0.000	90.603	77.012	56.683	41.589	30.443	
Heterotro COD	25.200	0.000	1221.069	1223.123	1229.698	1232.620	1232.251	
Storage p COD	0.000	0.000	25.617	29.218	24.176	18.601	14.035	
Nitrifier COD	0.000	0.000	116.047	115.945	117.520	118.525	118.598	
Total Mass TSS	210.000	0.000	3279.272	3273.356	3264.126	3254.707	3245.054	
Oxygen consumption			63.520	0.476	866.524	668.268	372.235	

Abbildung 27: Steady-State mit Denitrifikation.

Mit einer Denitrifikationsstufe wird das Nitrat im Ablauf um ungefähr 40% reduziert. Die Denitrifikation wird beeinflusst durch die Sauerstoffkonzentration, das leicht abbaubare Substrat und das vorhandene Nitrat. Gemäss Abbildung 27 wirkt das leicht abbaubare Substrat oder die Grösse des Reaktors limitierend (Substrate COD in Reaktor 1 und 2). Im dynamischen Fall erkennen Sie, wie sich die Nitratkonzentration über die Becken verändert (Abbildung 28).

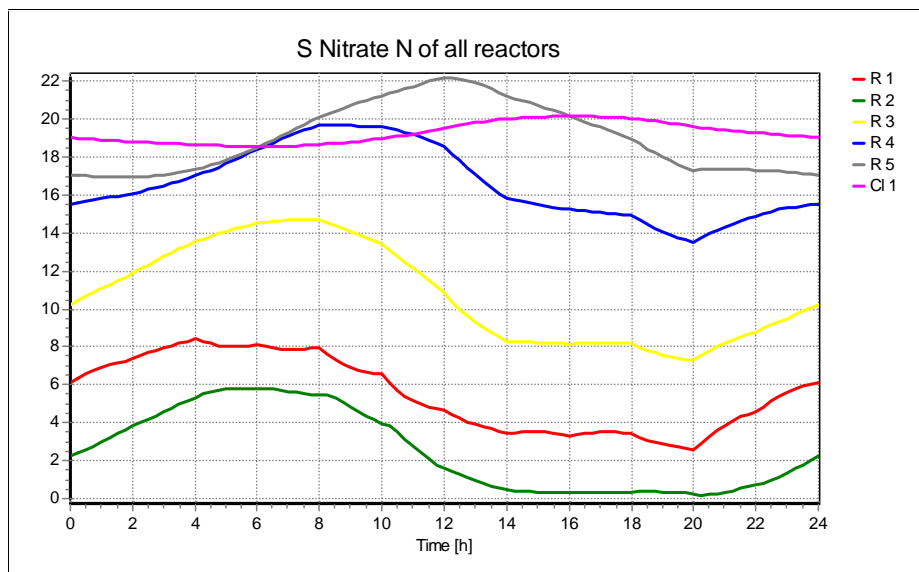


Abbildung 28: Tagesgang des Nitrats mit Denitrifikation. Die tiefe Konzentration im Reaktor 1 ist auf Verdünnung und Denitrifikation zurückzuführen, die Reduktion im Reaktor 2 nur noch auf Denitrifikation.

## 8 Einführung einer Regelung

*Im Betrieb einer Kläranlage gibt es einige Einflussmöglichkeiten für den Klärwärter. Die wichtigsten sind dabei die Sauerstoffkonzentration und der Überschussschlammabzug. Diese Grössen können die Leistung ziemlich stark beeinflussen. Mit Hilfe von Steuerung und Regelung lassen sich diese Grössen in Beziehung zu anderen Grössen setzen.*

### 8.1 Regelung in ASIM

In ASIM lassen sich einfache Regelkreise einführen. Mit Hilfe dieser Regelung kann z.B. die Sauerstoffkonzentration aufgrund eines Zulaufwertes verändert werden. Für die Regelung stehen zwei Strategien zur Verfügung:

- On/Off-Regelung: Über- resp. unterschreitet die Zustandsgrösse einen bestimmten Schwellenwert, wird die Prozessstellgrösse ein- oder ausgeschaltet.
- Proportionalregelung: Die Stellgrösse wird über eine lineare Funktion der Zustandsgrösse gesteuert.

Regelkreise werden nur bei dynamischen Berechnungen und in der Integration angewendet, eine Relaxation ist nicht möglich. Sie werden im Plant-File abgespeichert.

### 8.2 Regelung der Belüftung

Bisher betrug die Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken konstant 2 mg<sub>O<sub>2</sub></sub>/l. In einem realen System ist ein konstanter Wert unrealistisch. Die Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken ist von verschiedenen Faktoren, wie z.B. Schmutzstofffracht oder Temperatur, abhängig. Normalerweise wird die Luftzufuhr anhand der gemessenen Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken geregelt. Der Sauerstoffverbrauch pro Becken kann anhand der Graphik „View Single Chart“ → „Others“ → „Reaction Rates of all Reactors“ nach einer dynamischen Simulation beurteilt werden (Abbildung 29). Daraus geht hervor, dass im Reaktor 3 am meisten Sauerstoff verbraucht wird, in Reaktor 4 und 5 die Zehrung geringer ist, aber etwas grössere Schwankungen aufweist (Berechnung nach Kapitel 7).

Bevor Sie die Regelung einführen, bringen Sie die Anlage in einen stationären Zustand.

Die Sauerstoffzufuhr in den Reaktoren 3 bis 5 wird neu via Messung der O<sub>2</sub>-Konzentration eingestellt. Dazu definieren Sie unter dem Menüpunkt „Plant Definition“ → „Control Loops“ einen Regelkreis.

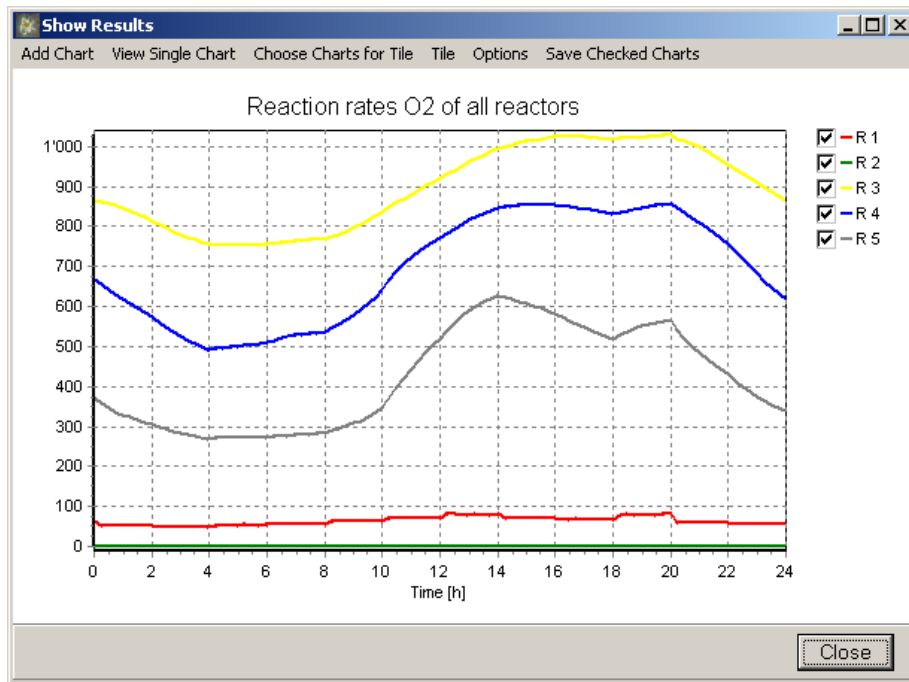


Abbildung 29: Sauerstoffzehrung in den 5 Reaktoren.

Nach dem Anwählen der Control Loops erscheint ein Dialogfeld (Abbildung 30).

Abbildung 30: Das Dialogfeld für die Regelkreise. Es wird angezeigt, welche Regelkreise aktiviert sind (hier Belüftung von Reaktor 3), welche Art von Regelung nach welcher Strategie erfolgt.

In diesem Dialogfeld sind alle regelbaren Größen aufgeführt:

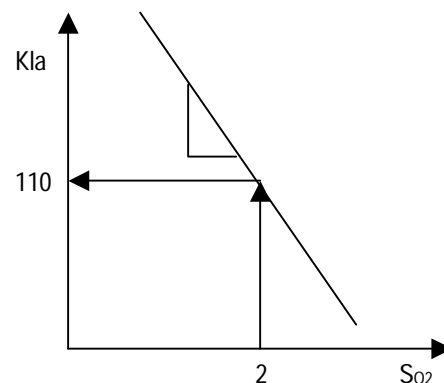
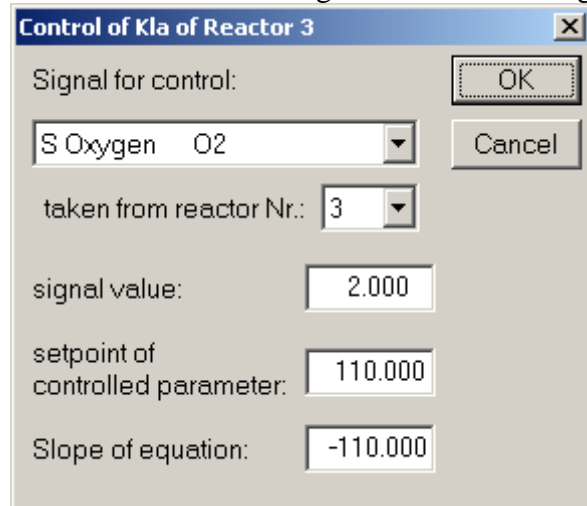
- Rücklaufschlamm
- Interne Rezirkulationen (sofern vorhanden)
- Überschussschlammabzug (damit lässt sich die Schlammkonzentration regeln)
- 2. Zufluss
- Belüftung (via  $K_L a$ -Werte der einzelnen Reaktoren)

Die ersten beiden Reaktoren werden nach wie vor anoxisch betrieben, für das Einschalten der Regelung muss das Kästchen neben „Kla of Reactor X“ aktiviert werden, anschliessend wird die Art der Regelung ausgewählt. In unserem Fall eine kontinuierliche Regelung, d.h. Sie wählen „Equation“. Nach dem Anwählen

erscheint eine nächste Dialogbox (Abbildung 31), wo verschiedene Grössen eingegeben werden müssen:

- Signal for control: Was wird gemessen (Zustandsgrösse)?
- taken from reactor: Wo wird diese Grösse gemessen?
- signal value: Sollwert der Zustandsgrösse
- setpoint of controlled parameter: Wert der Stellgrösse, wenn die Zustandsgrösse den Sollwert erreicht.
- Slope of equation: Steigung der Regelgeraden. Je steiler, desto schneller reagiert die Stellgrösse. Gefahr, dass das System instabil wird.

Bei Reaktor 3 sollen folgende Parameter eingegeben werden (Abbildung 31):



**Abbildung 31 a und b: Dialogfeld für die Regelung mittels Gleichung. Zuerst wird die Zustandsgrösse und deren Messort ausgewählt, anschliessend der Sollwert, der Wert der Stellgrösse beim Sollwert und die Steigung der Regelgeraden (positiv oder negativ!).**

Die Regelgleichung heisst somit:

$$K_L a[R3] = 110 - 110 \cdot (S_{O_2}[R3] - 2)$$

In Abbildung 31b ist die Regelgerade für den Reaktor 3 aufgetragen. Sobald die Sauerstoffkonzentration über 2 mg/l steigt, wird die Luftzufuhr gedrosselt, wenn 3 mg/l erreicht werden, schaltet das Gebläse ganz ab (wollte man einen Maximalwert von 2.5 mg/l erreichen bis zum Abschalten, müsste die Steigung den Wert  $-220$  erhalten).

Die Sauerstoffkonzentration wird sowohl in Reaktor 3 wie auch Reaktor 5 gemessen. Damit lassen sich folgende Regelgleichungen für die hinteren Reaktoren definieren:

$$K_L a[R4] = 100 - 100 \cdot (S_{O_2}[R5] - 2)$$

$$K_L a[R5] = 70 - 70 \cdot (S_{O_2}[R5] - 2)$$

Mit dieser Regelungsstrategie lässt sich ein befriedigender Ammonium-Abbau (Abbildung 32) bei relativ geringem Luftverbrauch erreichen. Die nötige Belüftungsleistung können Sie Abbildung 33 entnehmen.

Im File *tutorial\_deni.pln* sind diese Regelkreise schon eingegeben, allerdings nicht aktiv.

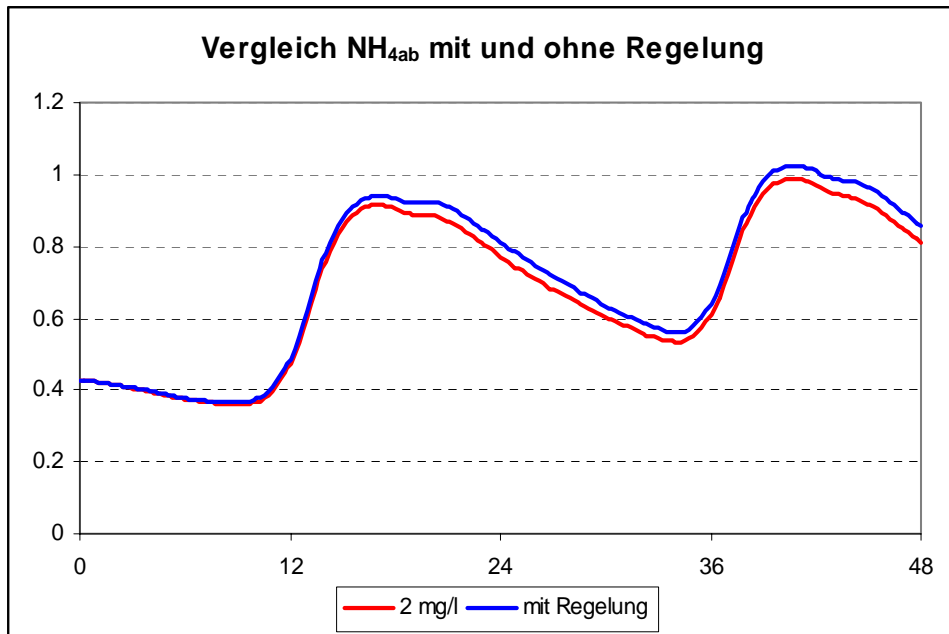


Abbildung 32: Vergleich der Ammoniumablaufwerte für die Regelung und den konstanten Wert von 2 mg/l. Mit dieser Regelung kann der „Idealfall“ gut abgebildet werden (Vergleich Regelung und konstante O<sub>2</sub>-Konzentration; in Excel, um die Werte zu vergleichen).

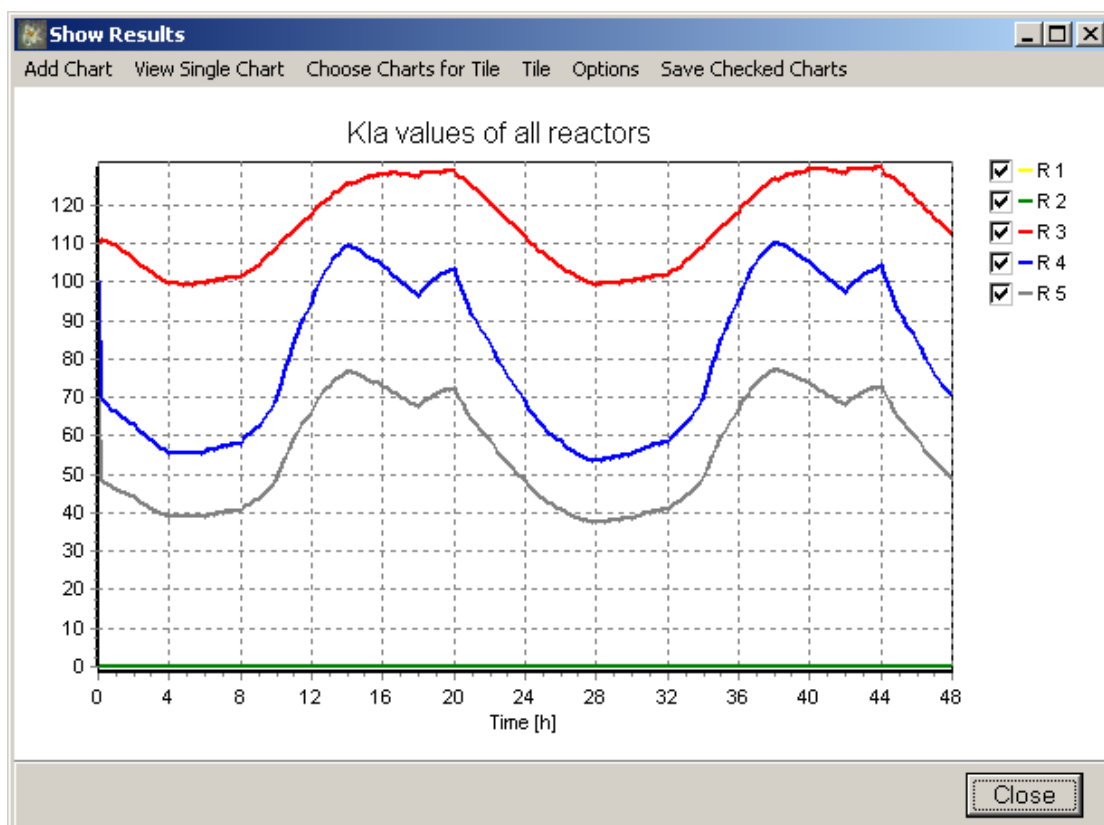


Abbildung 33: Kla-Werte (Belüftungsstärke). Im Reaktor 5 wird relativ wenig Sauerstoff eingeblasen. Reaktor 4 schaltet wie Reaktor 5, die Sauerstoffkonzentration liegt aber häufig weit unter 2, weil das Gebläse vom Sensor in Reaktor 5 abhängig ist. Es wäre vielleicht besser, die Belüftung in Reaktor 4 über die Messung in Reaktor 3 zu steuern.

### 8.3 On/Off-Regelung: Intermittierende Belüftung

Der beratende Ingenieur der Kläranlage schlägt vor, die Belüftung intermittierend zu betreiben, um Energiekosten zu sparen. Intermittierende Belüftung heisst, die Gebläse zweistufig zu fahren.

Dazu stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- zeitliche Steuerung: Die Steuerung der Gebläseleistung erfolgt nach einem fixen Zeitplan.
- On/Off-Regelung: Über- resp. unterschreitet die Zustandsgrösse einen bestimmten Schwellenwert, wird die Stellgrösse ein- oder ausgeschaltet.

In ASIM lässt sich Fall a) durch Anpassung des Variationsfiles nachbilden. Fall b) kann mit einer On/Off-Regelung unter „Control Loops“ simuliert werden. Die Becken 3-5 sollen nun intermittierend belüftet werden. Aus Kostengründen stehen wiederum lediglich 2 Sauerstoffsonden (Becken 3 und 5) zur Verfügung. Die Sauerstoffkonzentration soll im Becken 3 nicht unter 1.5 mg/l sinken, bei Überschreiten von 2.5 mg/l wird die Luftzufuhr gedrosselt. Um das Verstopfen der Belüfter zu vermeiden, werden die Gebläse nicht ganz abgeschaltet, sondern laufen immer mindestens auf der kleinsten Stufe mit einem  $Kla$ -Wert von  $25d^{-1}$ . Becken 5 wird gleich betrieben, allerdings aufgrund der kleineren zu erwartenden Sauerstoffzehrung mit einer kleineren Gebläseleistung. Reaktor 4 wird an die Sonde in Reaktor 5 gekoppelt und soll etwas früher belüftet werden als Reaktor 5, d.h. wenn die Sauerstoffkonzentration auf 1.7 mg/l fällt.

Um die intermittierende Belüftung mit der anderen Regelstrategie zu vergleichen, muss vom gleichen Ausgangszustand ausgegangen werden. Deaktivieren Sie dazu die Regelung und bringen Sie die Anlage in einen Steady-State.

Die Vorgaben implementieren wir folgendermassen in ASIM:

- Aktivieren Sie im Dialogfeld Control Loops den  $Kla$ -Wert für Reaktor 3.
- Wählen Sie anschliessend On/Off.
- Füllen Sie das Dialogfeld gemäss Abbildung 34 a aus.

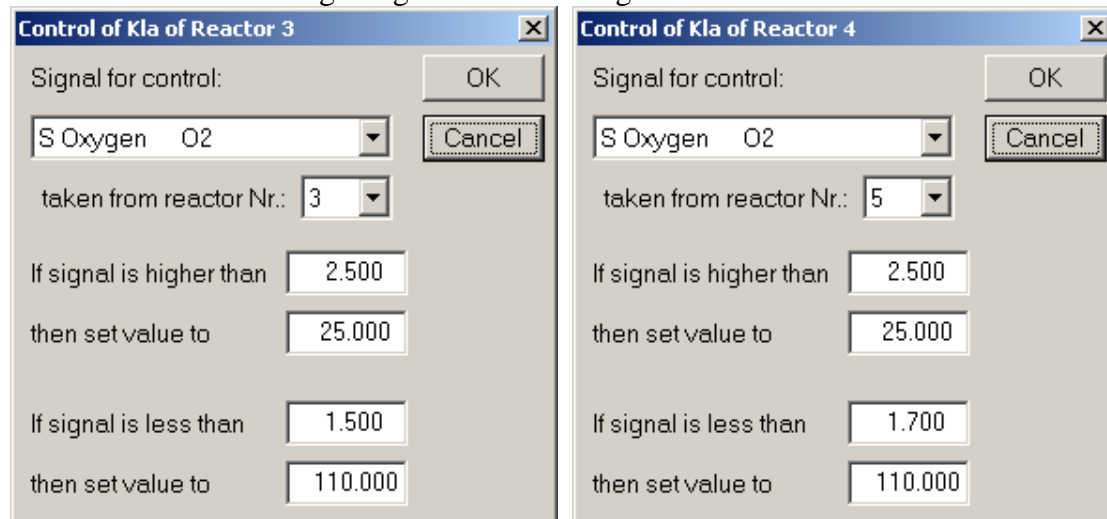
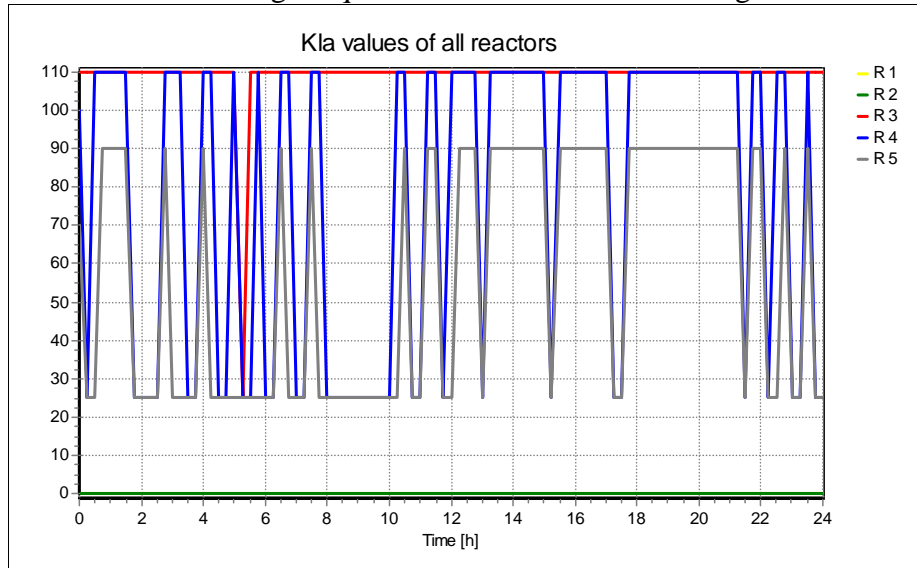


Abbildung 34 a und b: On/Off-Regelung für den Reaktor 3 (links) und 4 (rechts). Reaktor 5 hat die gleichen Werte wie Reaktor 4, schaltet aber erst bei einem Minimalwert von 1.5 mg/l zu.

Die Werte für Reaktor 4 und 5 werden analog zu Abbildung 34 b eingetragen, bei Reaktor 4 ist der kleinere Signalwert 1.7 mg/l, in Reaktor 5 beträgt er 1.5 mg/l. Die maximale Belüftungsstärke in Reaktor 5 beträgt  $90 d^{-1}$ . Das File *tutorial\_onoff.pln* beinhaltet diese Regelung.

Die Ablaufwerte liegen in der gleichen Größenordnung, es sind leicht höhere Ammoniumwerte zu verzeichnen.

Die Belüftungsfrequenz kann anhand der  $K_{la}$ -Werte („View Single Charts“ → „Others“ → „ $K_{la}$  values of all reactors“) betrachtet werden (Abbildung 35). Daraus folgt, dass der Reaktor 3 beinahe konstant die volle Leistung erbringt, während in den hinteren Reaktoren ab und zu geschaltet wird (die tatsächliche Belüftungsfrequenz ist aber unbekannt → Legende Abbildung 35).



**Abbildung 35: Sauerstoffeintrag in Reaktoren 3, 4 und 5 bei intermittierender Belüftung.** Es ist möglich, dass häufiger geschaltet wird, da in ASIM pro Zyklus 96 Punkte angezeigt werden. Diese Punkte sind jeweils Momentanwerte, d.h. wenn in diesem Beispiel in einem neuen Zeitschritt (à 15 Minuten) in Minute 1 der  $K_{la}$ -Wert runtergefahren wird und nach 14 Minuten wieder hoch, bleibt er in der Graphik auf dem hohen Wert.

Das Argument der Energieersparnis kann ebenfalls überprüft werden. Mit einem Klick der rechten Maustaste in die Graphik kann die „Time Series Statistics“ abgerufen werden. Ein Vergleich der mittleren  $K_{la}$ -Werte der beiden Belüftungsstrategien zeigt folgende Tabelle:

**Tabelle 9: Mittlerer  $K_{la}$ -Wert der beiden Regelstrategien im Vergleich. Mit intermittierender Belüftung scheint eine Energieersparnis möglich.**

	Mittlerer $K_{la}$ -Wert über 48 Stunden [ $d^{-1}$ ]		
	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 5
konstante Regelung	117	84	59
intermittierende Belüftung	109	77	57

## 9 Simulation der Denitrifikation im Nachklärbecken

*Biologische Reaktionen finden nur in den Belebungsreaktoren statt. Das Nachklärbecken bewirkt eine ideale Trennung von Schlamm und Wasser und bewirkt eine hydraulische Verzögerung des Abwasserstromes. Biologische Prozesse, die im Nachklärbecken ablaufen können, müssen daher anderweitig implementiert werden.*

### 9.1 Hintergrund

Im Nachklärbecken einer Kläranlage kann die folgende Situation eintreten: Der Belebtschlamm wird durch die hydraulische Verdrängung vom Belebungsbecken ins Nachklärbecken verschoben, wo er aussedimentiert. Falls mehr Schlamm ins Nachklärbecken gelangt, als wieder zurückgeführt wird, baut sich am Boden ein sogenanntes Schlammbett auf. Die Mikroorganismen benötigen auch im Nachklärbecken Energie, um sich am Leben zu erhalten und verbrauchen den Restsauerstoff, der noch im Wasser vorhanden ist. Anschliessend setzt bei Vorhandensein von Nitrat die Denitrifikation ein, im Betrieb steigen Belebtschlammflocken durch entstehende N<sub>2</sub>-Blasen an die Oberfläche. Diese Denitrifikation im Nachklärbecken kann substantziell sein und führt bei Nichtberücksichtigung zu Fehlern in der Massenbilanz.

### 9.2 Simulation

#### 9.2.1 Reaktor

Das Volumen des Nachklärbeckens beträgt 2000 m<sup>3</sup>, das Schlammbett habe einen Anteil von ungefähr 20%, also 400 m<sup>3</sup>. In ASIM laufen im Nachklärbecken keine biologischen Prozesse ab, es erfolgt lediglich eine ideale Abtrennung von partikulären Stoffen. Ein Schlammbett muss somit als eigener Reaktor abgebildet werden, der dem Verfahren vorgeschaltet ist. Die Zuläufe müssen dabei neu in den 2. Reaktor eingeleitet und das Volumen des Nachklärbeckens korrigiert werden. Daraus ergibt sich das Fliessschema in Abbildung 36.

Falls Sie Probleme haben, können Sie im File *tutorial\_sb.pln* nachschauen.

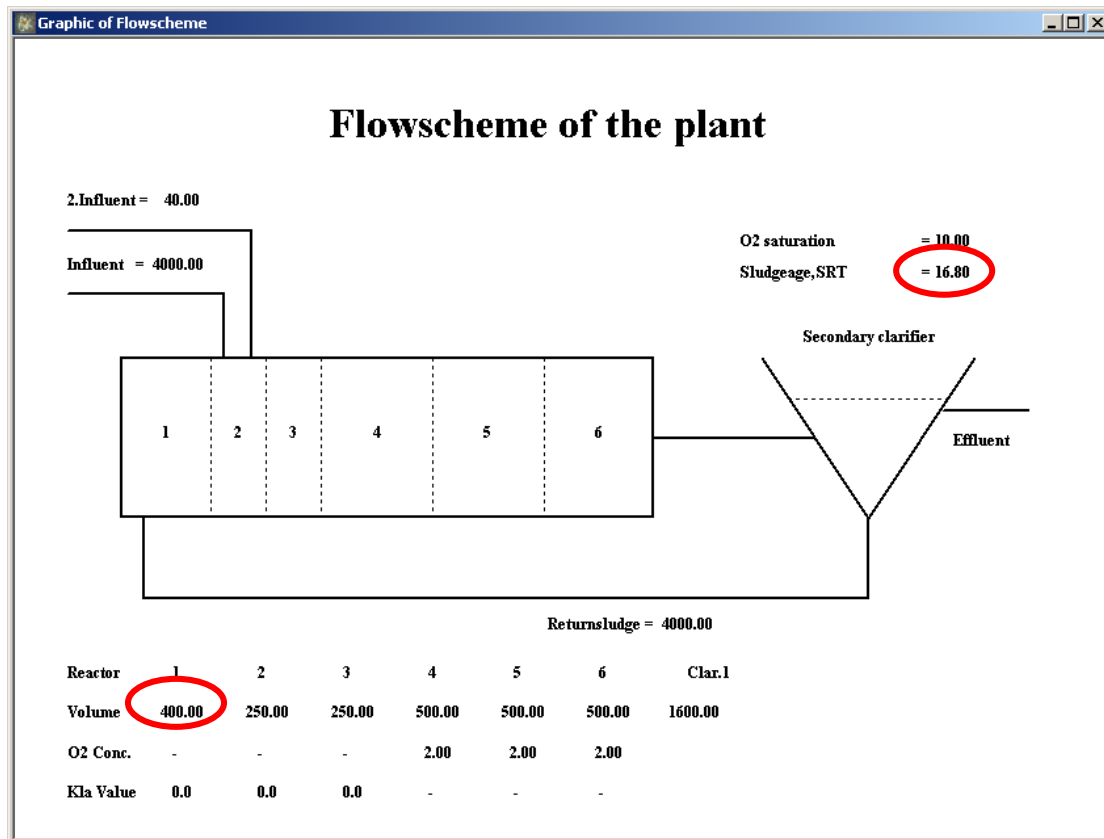


Abbildung 36: Neues Fließschema mit Schlammbett. Die Zuläufe fließen in den Reaktor 2, der Rücklaufschlamm geht ins Schlammbett, die letzten 3 Reaktoren werden belüftet. Durch das Einfügen des Schlammbetts muss auch das Schlammalter korrigiert werden.

### 9.2.2 Schlammalter

Durch die verlängerte Aufenthaltszeit des Schlammes muss auch das Schlammalter angepasst werden. Das neue Schlammalter lässt sich mit einer Bilanz ums Nachklärbecken berechnen:

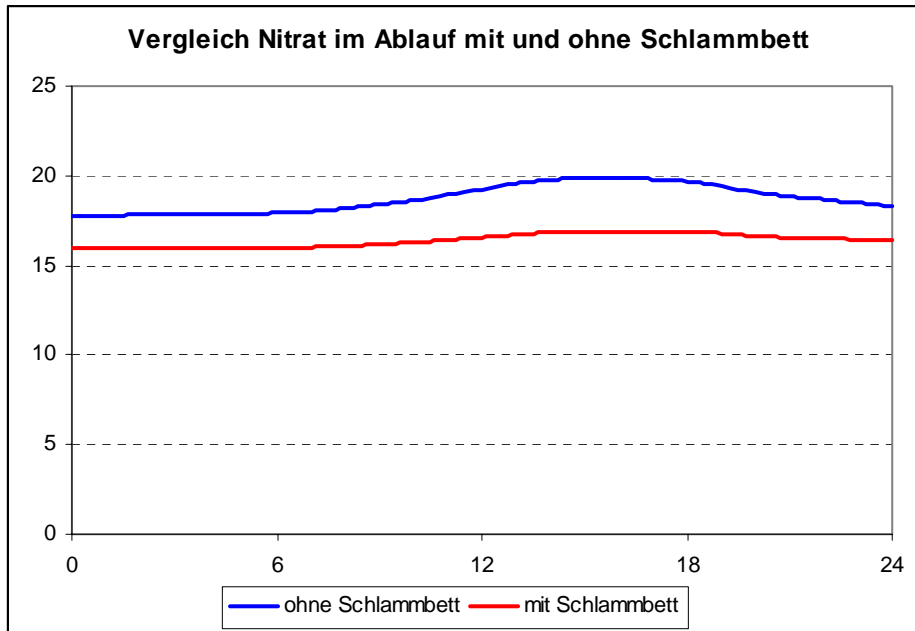
$$SA_{neu} = SA_{alt} \cdot \left(1 + \frac{V_{SB}}{V_{BB}} \cdot \left(1 + \frac{Q_{in}}{Q_R}\right)\right)$$

Das neue Schlammalter beträgt 16.8 Tage.

Stellen Sie sicher, dass die Regelung ausgeschaltet und die Sauerstoffkonzentration in den Reaktoren 4 bis 6 wieder 2 mg/l beträgt. Berechnen Sie anschliessend den stationären Zustand sowie einen Tagesgang.

Aus den Resultaten (

Abbildung 37) ist eine Steigerung der Denitrifikationsleistung ersichtlich, die im Beispiel nicht allzu gross ist, da die Denitrifikation schon gut funktioniert. Insgesamt werden in der Modellanlage rund 45% des Stickstoffs eliminiert.



**Abbildung 37: Vergleich der Nitratablaufwerte mit und ohne Schlammbett. Im Schlammbett findet im Beispiel eine Reduktion des Nitrats um etwa 15% statt. Für den Vergleich wurden die Ablaufwerte in Excel exportiert.**

## 10 Import / Export von Daten

*Bei dynamischen Berechnungen werden teilweise lange Zeitreihen benötigt. Es ist recht aufwändig, diese abzutippen. Daher bietet ASIM die Möglichkeit, diese Daten direkt aus einem Tabellenverarbeitungsprogramm oder einem Textfile zu importieren. Zur weiteren Aufbereitung der Berechnungen können auch die Resultate exportiert werden.*

### 10.1 Import

In ASIM lassen sich lediglich ganze Files importieren, d.h. Plant-Files (\*.pln), Model-Files (\*.mod) oder Variations-Files (\*.vrt). Sie lassen sich im jeweiligen Menu unter dem Befehl „Load \*-File“ aufrufen. Die einzige Ausnahme bilden die Variationsfiles. Dort ist es möglich, einzelne Werte in Excel einzugeben und zu übertragen. Dies geschieht mit dem gewöhnlichen Copy-Befehl und anschliessend durch Klick mit der linken Maustaste auf den gewünschten Spaltenkopf. Im Dialogfeld muss dann „from Clipboard“ gewählt werden.

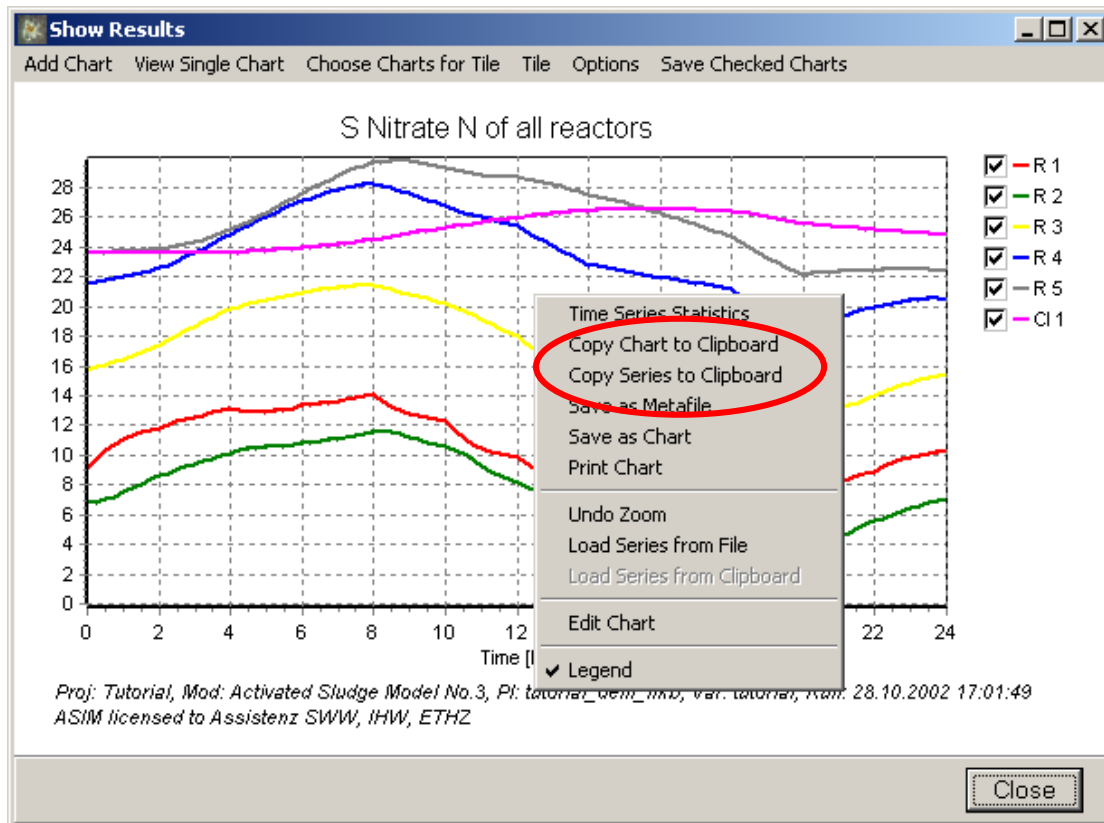
### 10.2 Export

#### 10.2.1 Statische Berechnungen

Die Resultate der statischen Berechnungen lassen sich mittels „Copy Table to Clipboard“-Befehl durch anklicken der Tabelle mit der rechten Maustaste kopieren und in ein Tabellenverarbeitungsprogramm einfügen. Das gleiche gilt für die Tabellen im Modell- und Variationsfile.

#### 10.2.2 Dynamische Berechnungen

Die Resultate dynamischer Berechnungen kann man graphisch oder in Tabellenform exportieren.



**Abbildung 38: Verschiedene Speichermöglichkeiten der dynamischen Berechnungen.**

Durch Anklicken der Graphik mit der rechten Maustaste erscheint der Dialog in Abbildung 38.

- **Copy Chart to Clipboard:** Die Graphik wird in der sichtbaren Form kopiert und kann andernorts als Bild eingefügt werden, d.h. man kann einzelne Kurven entfernen.
- **Copy Series to Clipboard:** Die der Graphik zugrundeliegende Tabelle wird als Ganzes exportiert (auch wenn nicht alle Kurven sichtbar sind). Jeder Zyklus der dynamischen Berechnung wird in 96 Zeitschritten gespeichert.
- **Save as Metafile:** Die Graphik wird im aktiven Projektverzeichnis als .wmf-Datei abgespeichert und kann in andere Programme exportiert werden.
- **Save as Chart:** Die Graphik wird als .tee-Datei abgespeichert und kann in ASIM wieder geladen werden (siehe Kapitel 12).

Unter dem Menu „Results“ können die Resultate zudem in Tabellenform als .rlt-Dateien gespeichert und später in ASIM analysiert werden (alle Resultate einer dynamischen Berechnung!).

## 11 Dokumentation von Simulationen

Die Modelle und Anlagen werden in eigenen Dateien gespeichert. Unter Umständen ist es hilfreich, das ganze Modell schön der Reihe nach vor sich zu haben. Die Model- und Plant-Files lassen sich ausdrucken oder exportieren.

ASIM bietet die Möglichkeit, die Modelleingaben als Text zu betrachten, zu drucken oder zu exportieren. Diese Befehle befinden sich im Menü „Model“ (Abbildung 39).

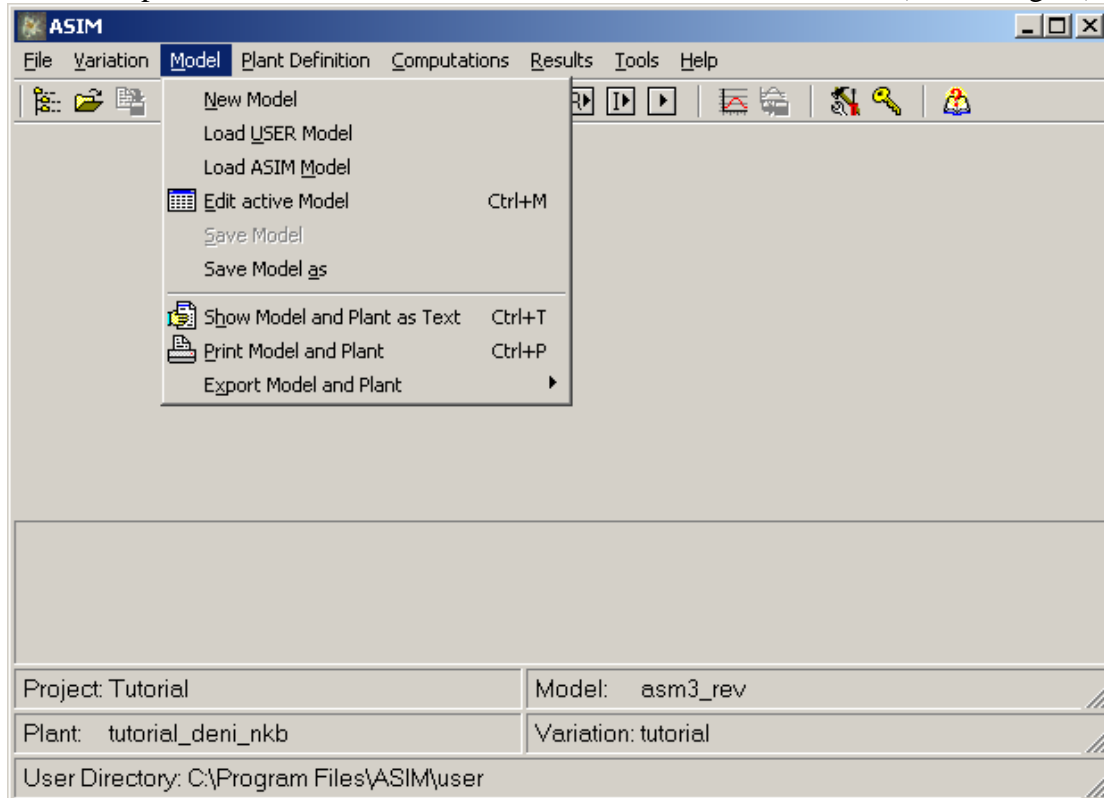


Abbildung 39: Möglichkeiten zum Exportieren des Modells und der Anlageneigenschaften.

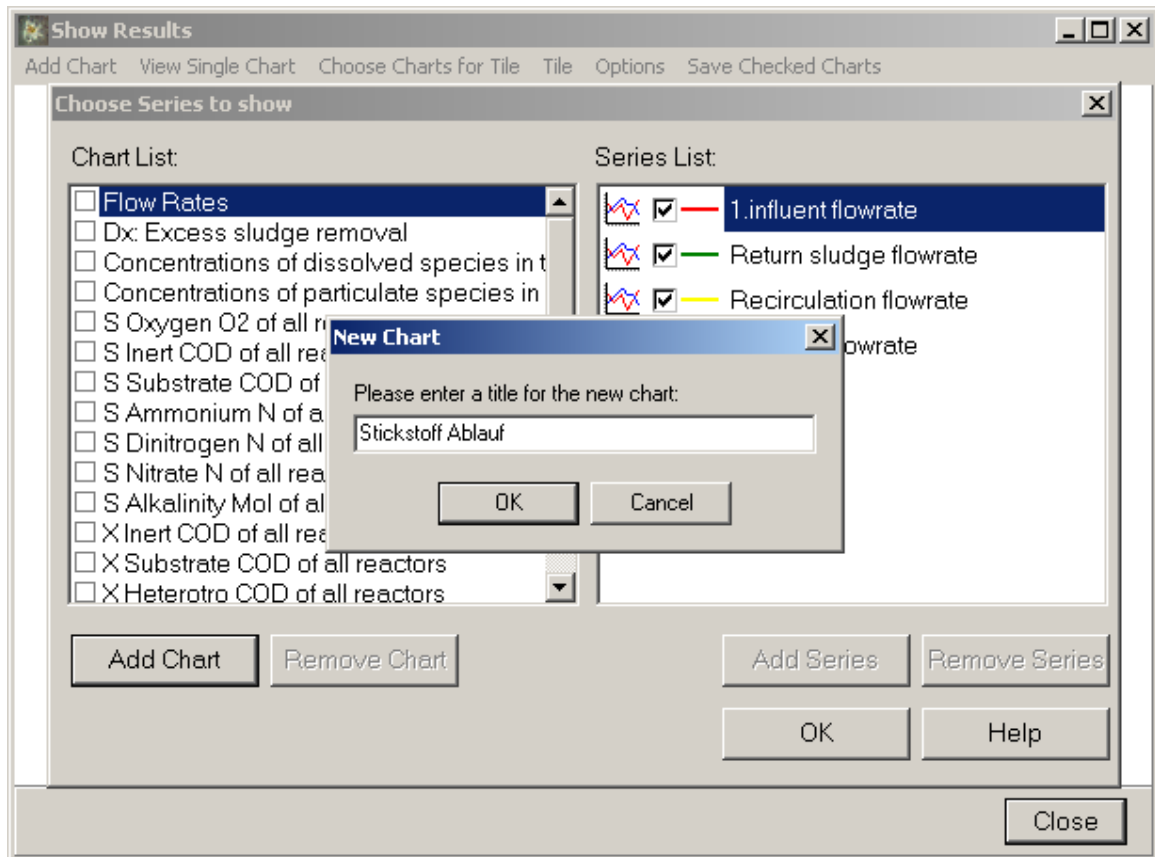
Alle drei Befehle bewirken im Prinzip das Gleiche: Das Modell und die Anlage werden in einem Text aufgeführt:

- Modell: beteiligte Stoffe, Prozesse, stöchiometrische Matrizen, Kinetik.
- Anlage: Reaktoren, Volumina, Zuflüsse.

Beim Befehl „Show Model and Plant as text“ können Sie auswählen, welche der obengenannten Eigenschaften Sie sehen wollen.

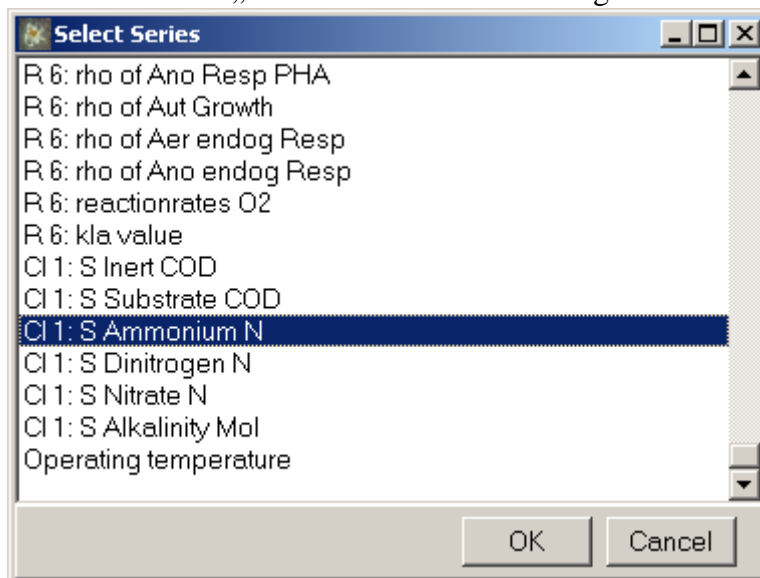
## 12 Erstellen von Grafik-Templates

Bei praktischen Anwendungen ist häufig erwünscht, dass die Grafiken einheitlich aussehen. Vielleicht wollen Sie auch nur die Ablaufkonzentrationen mehrerer Stoffe in einer Grafik betrachten. Nehmen Sie das letzte berechnete Beispiel (denitrifizierendes Schlammbett). Sie wollen die Ablaufwerte (ein Tagesgang) von Nitrat und Ammonium in einer Grafik darstellen. Dazu wählen Sie in der Grafikmaske den Befehl „Add Chart“ → „Define New“, wählen Sie im Dialogfeld „Add Chart“ und geben Sie einen Titel ein, z.B. Stickstoff Ablauf (Abbildung 40).



**Abbildung 40: Einfügen von neuen Graphiken.**

Mit dem Button „Add Series“ stehen alle berechneten und eingegebenen Tagesgänge zur Darstellung zur Verfügung (Abbildung 41). Wählen Sie „Cl:1 S Ammonium“ und „Cl:1 S Nitrate“ und gehen zur Grafik zurück.



**Abbildung 41: Es stehen alle Konzentrationen, Geschwindigkeiten und Rahmenbedingungen (Temperatur, Belüftung) zur Auswahl.**

Nun können Sie die Grafik durch Klick mit der rechten Maustaste und dem Befehl „Edit Chart“ nach Belieben bearbeiten (Achsen und Farben anpassen, Titel wählen, Gitternetzlinien einblenden oder ausschalten etc.). Wenn Sie mit der Grafik zufrieden sind, speichern Sie sie als Template ab:

1. Mit der rechten Maustaste die Grafik an- und den Befehl „Save as Chart“ auswählen. (Speichern als .tee-File).
2. Unter „Add Chart“ → „Load as Template“ werden die gespeicherten Grafiken (resp. Einstellungen) aufgerufen.

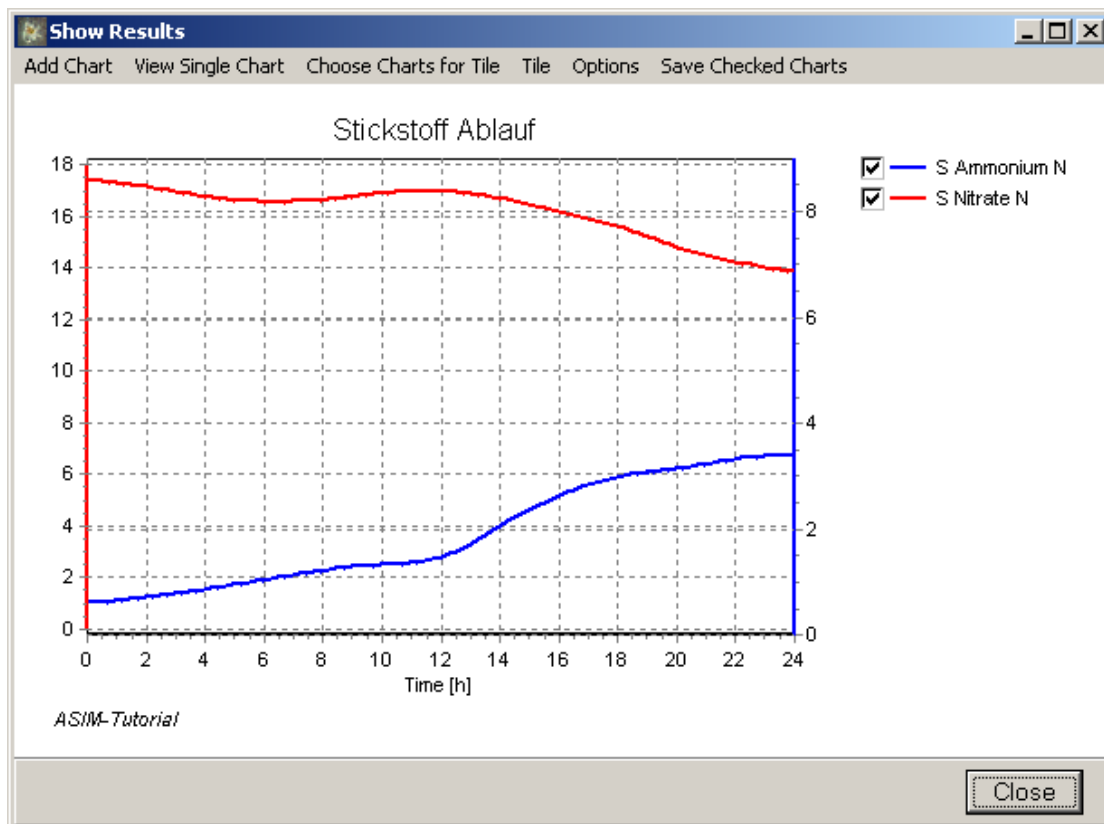


Abbildung 42: Beispiel für eine bearbeitete Grafik. Diese kann abgespeichert und später als Template wieder geladen werden.

## Literatur

- Gujer, W., Henze, M., Mino, T. and van Loosdrecht, M.C.M. (1999), Activated Sludge Model No. 3, *Wat. Sci. Technol.* 39 (1), 183-193
- Koch, G., Kühni, M., Gujer, W. and Siegrist, H., 2000, Calibration and Validation of activated sludge model no. 3 for swiss municipal wastewater, *Wat. Res.* Vol. 34, pp. 3580-3590.

## Anhang A – Das Model-File

Dieses Unterkapitel dient der Erklärung des Model-Files und ist für die Bearbeitung von Problemen nicht direkt relevant. Für die Modellkalibrierung ist aber ein weitergehendes Verständnis der Modelle nötig.

Model-Files tragen die Endung \*.mod und enthalten alle Informationen, die benötigt werden, um ein biokinetisches Modell zu charakterisieren: Stöchiometrie, Kinetik, kinetische Parameter, Temperaturkoeffizienten, sowie ein Satz typischer Anfangsbedingungen und Zuflusskonzentrationen.

Mit ASIM können Sie verschiedenste biokinetische Modelle benutzen. Einige klassische Modelle werden mit dem Programm mitgeliefert. Diese Modelle sind im Ordner \ASIM\text gespeichert und können mit dem Befehl „Model“ → „Load ASIM Model“ geladen werden.

### Aufbau des Model-Files

Wählen Sie „Model“ → „Edit Active Model“. Es erscheint eine Box mit acht Registerkarten.

### Info

Im Register „Info“ sehen Sie genauere Informationen zum gewählten Modell, die Anzahl gelöster und partikulärer Stoffe, sowie die Anzahl der Umwandlungsprozesse. Wenn Sie ein neues Modell erstellen wollen, müssen Sie hier die Anzahl Umwandlungsprozesse sowie die gelösten und partikulären Stoffe eingeben.

The screenshot shows a dialog box titled "Model - Info / number of species and processes". It has several tabs: "Kinetics of diss. species", "Kinetics of part. species", "Initial conditions", "Influent concentrations", "Info", "Stoich. of diss. species", "Stoich. of part. species", and "Rate constants". The "Info" tab is active. The dialog contains the following information:

- Program Version: ASIM Vers. 3.24
- Model Name: Activated Sludge Model No.3
- Remarks: ASM3 with endogenous respiration; Parameter set from Koch et al. "Calibration and validation of activated sludge model No. 3 for swiss municipal wastewater" (1999).
- Number of dissolved species incl. O2: 7
- Number of particulate species: 6
- Number of transformation processes: 12
- Base Temperature: 20.0 °C
- Operating Temperature: 13.8 °C
- Close button

Abbildung 43: Übersicht über das gewählte Modell (hier das Activated Sludge Model No.3)

## Stoichiometry of dissolved species

Wählen Sie die Registerkarte „Stoich. of dissolved species“. Diese beinhaltet die stöchiometrische Matrix der gelösten Stoffe des gewählten Modells. Für jeden Prozess und Stoff ist der stöchiometrische Koeffizient angegeben. Leere Felder bedeuten, dass ein Stoff an diesem Prozess nicht aktiv beteiligt ist. Bei selbstgewählten Modellen ist es dem Benutzer freigestellt, welche Einheiten er benutzen will (Masse, Mol). Wichtig ist aber, dass die Einheiten korrekt gehandhabt werden.

## Stoichiometry of particulate species

Im Register „Stoich. of part. species“ befindet sich die stöchiometrische Matrix für die partikulären Stoffe. Die partikulären Stoffe werden im Nachklärbecken ideal abgetrennt.

## Kinetics of dissolved species

Im Register „Kinetics of diss. species“ wird der Reaktionsterm eines Prozesses bestimmt. Es stehen 12 Möglichkeiten zur Verfügung, die im folgenden kurz vorgestellt werden:

**Tabelle 10: Erklärung der kinetischen Parameter für die gelösten Stoffe**

Abkürzung	Beschreibung
K	Sättigungs- oder Übergangskonstante
S	Konzentration des gelösten Stoffes
A	Stoff A
B	Stoff B
n	Faktor
$r_{kin}$	Kinetik-Konstante (wird unter „rate constants“ definiert!)

1. Zero Order: Kinetik nullter Ordnung. Dieser Stoff hat keinen Einfluss auf die Kinetik.

$$r_{kin}$$

2. First Order: Die Prozessrate ist proportional zur Konzentration des Stoffes.

$$r_{kin} \cdot S_A$$

3. Variable Order: Die Prozessrate ist proportional zur Konzentration des Stoffes hoch n.

$$r_{kin} \cdot S_A^n$$

4. Monod: Monod-Kinetik. Dieser Stoff beeinflusst die Prozessrate mit einer Sättigungskinetik.

$$r_{kin} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A}$$

5. Inhibition: Der Stoff verlangsamt die Prozessgeschwindigkeit.

$$r_{kin} \cdot \frac{K_A}{S_A + K_A}$$

6. Two substrates: Zwei Stoffe beeinflussen den Prozess parallel. Diese Kinetik bedingt, dass ein weiteres Substrat definiert wird.

$$r_{kin} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_A + S_B}$$

7. Gas stripping: Der Stoff wird proportional zu seiner Konzentration und zum KLa-Wert aus dem Reaktor gestrippt.

$$r_{kin} \cdot K_L a \cdot (S_A - K_{A,Gas})$$

8. Exponential: Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt exponentiell von der Konzentration ab.

$$r_{kin} \cdot \exp(S_A \cdot K_{exp})$$

9. Monod II: Monod-Kinetik, die von einem exponentiellen Faktor abhängt.

$$r_{kin} \cdot \frac{S_A^n}{K_A^n + S_A^n}$$

10. Inhibition II: Die Prozessgeschwindigkeit wird verlangsamt, es wird mit einem exponentiellen Faktor gearbeitet.

$$r_{kin} \cdot \frac{K_A^n}{K_A^n + S_A^n}$$

11. Gas stripping II: Der Stoff wird in Abhängigkeit von seiner Konzentration, aber unabhängig vom KLa-Wert gestrippt.

$$r_{kin} \cdot (S_A - K_{A,Gas})$$

12. Gas stripping III: Die Prozessgeschwindigkeit ist abhängig von der Konzentration des Stoffes A, aber auch von der Konzentration (und einem Faktor) eines zweiten Stoffes.

$$r_{kin} \cdot (S_A - K_{Gas} \cdot S_B)$$

## Kinetics of particulate species

Im Register Kinetics of part. Species kann der Reaktionsterm eines Prozesses in Abhängigkeit eines partikulären Stoffes gewählt werden. Es stehen sechs Möglichkeiten zur Verfügung:

Tabelle 11: Erklärung der kinetischen Parameter für die partikulären Stoffe

Abkürzung	Beschreibung
K	Sättigungs- oder Übergangskonstante
S	Konzentration des gelösten Stoffes
X	Konzentration des partikulären Stoffes
A	Stoff A
B	Stoff B
n	Faktor / Exponent
$r_{kin}$	Kinetik-Konstante (wird unter „rate constants“ definiert!)

1. Zero Order: Dieser Stoff hat keinen Einfluss auf die Reaktionskinetik.

$$r_{kin}$$

2. First Order: Die Prozessrate ist proportional zur Konzentration des Stoffes.

$$r_{kin} \cdot X_A$$

3. Variable Order: Die Prozessrate ist proportional zur Konzentration des Stoffes hoch n.

$$r_{kin} \cdot X_A^n$$

4. Adsorption: Der Stoff beeinflusst die Prozessrate mit einer Sättigungs-Adsorptions-Kinetik. Dazu müssen mindestens zwei partikuläre Stoffe definiert sein.

$$r_{kin} \cdot \frac{X_A / X_B}{K_A + X_A / X_B}$$

5. Inhibition: Je grösser die relative Konzentration  $X_A/X_B$ , desto mehr wird der Prozess verlangsamt.

$$r_{kin} \cdot \frac{K_A}{K_A + X_A / X_B}$$

6. Inh. / Saturation: Mit zunehmendem Verhältnis  $X_A/X_B$  wird eine Sättigung erreicht, bei kleinem Verhältnis wird die maximale Rate erreicht.

$$r_{kin} \cdot \frac{K_A - X_A / X_B}{1.05 \cdot K_A - X_A / X_B}$$

### Rate constants

Das Register `Rate constants` enthält die Geschwindigkeitskonstanten der einzelnen Prozesse (wurden in vorhergehenden Gleichungen  $r_{kin}$  genannt).  $k$  ist das Produkt aller  $r_{kin}$  eines Prozesses. Die Geschwindigkeitskonstanten müssen für eine Basistemperatur definiert und mit einem Temperaturkoeffizienten versehen werden. Die Konstanten sind temperaturabhängig und werden nach folgender Formel berechnet:

$$r_{kin}(T) = r_{kin}(T_{Basis}) \cdot \exp(a \cdot (T - T_{Basis}))$$

In den Registerkarten `Initial Conditions` und `Influent Concentrations` können für die einzelnen Stoffe die Anfangsbedingungen und die Zulaufwerte definiert werden. Dies kann aber auch im `Plant-File` geschehen.

## Anhang B – Mitgelieferte Dateien

Im Ordner \ASIM\user\tutorial befinden sich beinahe alle Files, die während des Tutorials erstellt wurden. Sie sollen nicht als Vorlage dienen, sondern weiterhelfen, falls Sie irgendwo steckenbleiben.

In den folgenden Tabellen sind die Dateien kurz erklärt.

**Tabelle 12: Mitgelieferte .pln-Files (Anlagen-Dateien)**

<b>Dateiname</b>	<b>Kapitel</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
tutorial_winter.pln	3	Die Anlage, wie sie beschrieben ist, bei 10° C Betriebstemperatur, also Winterbetrieb.
tutorial_sommer.pln	5.1	Wie tutorial_winter.pln, Betriebstemperatur 20°C.
tut_winter_N.pln	5.2.2	Anlage wie im Winter, aber nach einem Tag mit erhöhter Stickstoffbelastung.
tutorial_fw.pln	6	Anlage im Winter, mit Faulwasserzufluss.
tutorial_deni.pln	7	Anlage im Winter, mit Faulwasserzufluss und Denitrifikationsstufe.
tutorial_onoff.pln	8.3	Anlage im Winter, mit Faulwasserzufluss, Denitrifikationsstufe und On/Off-Regelung für Sauerstoff.
tutorial_sb.pln	9.2	Anlage im Winter, mit Faulwasserzufluss, Denitrifikationsstufe und Schlammbett. Sauerstoff im Belebungsbecken konstant.

**Tabelle 13: Mitgelieferte .vrt-Files (Variations-Dateien)**

<b>Dateiname</b>	<b>Kapitel</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
tutorial.vrt	3	Variationsfile mit normaler Belastung.
tutorial_belastung.vrt	5.2.1	Durchfluss um 25 % erhöht.
tut_N.vrt	5.2.2	Ammonium um 40 % und Alkalinität um 20% erhöht.
tutorial_CSB	5.2.3	alle CSB-Fraktionen um 40% erhöht.
tut_fw_morgen.vrt	6	Belastung normal, Faulwasserdosierung von 8-12 Uhr.
tutorial_fw.vrt	6, 7	Belastung normal, optimierte Faulwasserdosierung.