

TU Wien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

BILANZIERUNG DER KLÄRANLAGE SCHWECHAT

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c Helmut Kroiss
und Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Andre Spindler,
E226

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen,
von

Tsvetelina Petrova Dimitrova
0327319

Wg. Krasno selo, Block 2-E , App. 145,
1330 Sofia, Bulgarien

Wien, 2008

Unterschrift:



Abstract

Bei Kläranlagen, deren Aufgabe ist, industrielle Abwässer zu reinigen, steht häufig die Frage, ob die Zuläufe richtig bestimmt sind. Es geht um viel Geld, das die einzelnen Betriebe für ihre Abwässer bezahlen müssen. Eine Kontrolle der durchgeführten Messungen und damit auch Aussage für die Arbeit einer Kläranlage bringt die Stoffflussanalyse.

Die vorliegende Arbeit untersucht über den Zeitraum von 5 Monaten die Genauigkeit der Messungen an der zweistufigen Kläranlage in Schwechat auf Grund einer durchgeführten Bilanzierung.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der TU Wien im Rahmen eines Doppel-Degree Studiums zwischen der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia und der Technischen Universität Wien entwickelt. Der Abschluss meines Studiums der Richtung "Wasserbau" ist eine Diplomarbeit, die aus zwei Teilen besteht. Die vorliegende Arbeit ist der erste Teil meiner Diplomarbeit und wird weiter als Basis für die Erstellung des zweiten Teils dienen.

Danksagung

Ich möchte mich bei all jenen Personen ganz herzlich bedanken, die mich bei meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herr o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Helmut Kroiss seitens des Instituts für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft für die Bereitstellung des Themas, die umfangreiche Betreuung und die erworbenen Kenntnisse und Ideen bedanken.

Mein Dank gilt ebenso Proj.-Ass. Dipl.-Ing. Andre Spindler - zum einen für die wissenschaftliche Betreuung und intensive Durchsicht der Arbeit, zum Anderen für die vielen hilfreichen Ratschläge und Hinweise während der Versuche und Berechnungen.

Ferner bedanke ich mich bei der Leitung der Kläranlage Wien- Schwechat, die mit großem Entgegenkommen meine Untersuchungen ermöglichte.

Nicht vergessen möchte ich die Laboranten des IWAG, TU Wien für die hilfreiche und zuvorkommende Unterstützung im Bereich der Labordaten.

Ebenso möchte ich mich bei O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn Roumen Arsov und O.Univ. Dipl.-Ing. Doz. Dr.techn Irina Kostova seitens der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia für die Unterstützung bedanken.

Für ihre Unterstützung während meines Studiums bedanke ich mich auch bei allen Dozenten seitens des Lehrstuhls für Hydrotechnische Anlagen an der UABG-Sofia und bei allen seitens der TU-Wien am Doppel-Degree Programm beteiligten Professoren.

Ich möchte mich bei meiner Familie für alle Formen der Unterstützung bedanken, die mein Studium ermöglicht haben.

INHALTVERZEICHNIS

INHALTVERZEICHNIS	- 1 -
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	- 3 -
TABELLENVERZEICHNIS	- 5 -
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	- 6 -
1. EINLEITUNG	- 9 -
2. ZIELSETZUNG	- 10 -
3. KLÄRANLAGE SCHWECHAT, NÖ	- 11 -
3.1 Geschichte der Kläranlage	- 11 -
3.2 Die Kläranlage in Zahlen	- 12 -
3.3 Die Zuläufe	- 13 -
3.4 Die Reinigung	- 13 -
3.4.1 Reinigungsstufen	- 14 -
3.4.2 Chemische Überwachung auf der KA	- 22 -
4. Bilanzierung von Kläranlagen	- 28 -
4.1 Überprüfung von Stoffflüssen anhand von Bilanzen. Allgemeines	- 28 -
4.1.1 Grundsätze der Bilanzierung	- 28 -
4.1.2 Bilanzzeiträume	- 29 -
4.1.3 Systemgrenze	- 29 -
4.1.4 Bilanzierte Parameter	- 30 -
4.2 Atmungsmessungen	- 40 -
4.2.1 Einleitung	- 40 -
4.2.2 Anwendung	- 40 -
4.2.3 Grundlagen	- 41 -
4.2.4 Begriffsdefinitionen	- 41 -
4.2.5 Praktische Ermittlung des Sauerstoffbedarfs OVC für die Bilanzierung	- 42 -
5. BILANZIERUNG DER KLÄRANLAGE SCHWECHAT	- 44 -
5.1 Messungen	- 44 -
5.1.1 Mengenmessungen	- 44 -
5.1.2 Zu- und Ablaufkonzentrationen	- 45 -
5.1.3 Schlämme	- 54 -
5.1.4 Interner Rücklauf	- 57 -
5.1.5 Atmungsmessungen in Schwechat	- 59 -
5.1.6 Faulgasanfall	- 65 -
5.2 Bilanzräume	- 66 -
5.2.1 Gliederung	- 66 -
5.2.2 Besonderheiten der einzelnen Teilsysteme	- 67 -
5.3 Erstellung der Bilanzen	- 69 -

5.3.1 Q - Bilanz.....	- 70 -
5.3.2 P – Bilanz.....	- 71 -
5.3.3 CSB – Bilanz.....	- 72 -
5.3.4 N – Bilanz.....	- 73 -
5.3.5 aTS – Bilanz.....	- 74 -
5.4 Interpretation der Ergebnisse.....	- 75 -
6. Bilanzierung in anderen Fachgebieten.....	- 83 -
6.1 Biomasseanteil von Abfällen.....	- 83 -
6.1.1 Problemstellung.....	- 83 -
6.1.2 Methode.....	- 83 -
6.1.3 Ergebnisse.....	- 84 -
7. ZUSAMMENFASSUNG.....	- 85 -
LITERATURVERZEICHNISS.....	- 87 -
ANHANG A: KLÄRANLAGE SCHWECHAT – SCHEMEN.....	I
A 1. Lageplan.....	I
A 2. Reinigungsstufen.....	I
A 3. Schlammbehandlung.....	I
ANHANG B: ATMUNGSMESSUNGEN.....	V
B 1. Schwachlaststufe.....	V
B 2. Hochlaststufe.....	VIII

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Niederösterreich (Quelle: Abwasserverband Schwechat (AWVS))	12 -
Abb. 2 Reinigungsstufen der Kläranlage Schwechat	14 -
Abb. 3 Schema eines Stabrechens (Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)	15 -
Abb. 4 Trommelrechen (Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)	15 -
Abb. 5 belüfteter Sandfang (Quelle: Entwässerungsbetriebe Mainz)	16 -
Abb. 6 Vorklärbecken (Quelle: Entwässerungsbetriebe Mainz)	17 -
Abb. 7 Prinzip der vorgeschalteten Denitrifikation (Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)	19 -
Abb. 8 Darstellung von Stickstoffzulauf und -elimination (Quelle: WTW Wissenschaftlich- Technische Werkstätten GmbH & Co. KG)	25 -
Abb. 9 Allgemeine Darstellung von Massenbilanz	28 -
Abb. 10 Phosphorbilanz für eine biologische Stufe	30 -
Abb. 11 Phosphorbilanz einer Kläranlage	32 -
Abb. 12 CSB-Bilanz einer biologischen Stufe	33 -
Abb. 13 CSB-Bilanz einer anaeroben Schlammbehandlungsanlage	34 -
Abb. 14 Stickstoffmodifikationen im Abwasser (Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)	36 -
Abb. 15 Stickstoffflüsse einer nitrifizierenden/denitrifizierenden Anlage mit vorgeschalteter Denitrifikation	37 -
Abb. 16 Feststoffflüsse eines Voreindickers	38 -
Abb. 17 aTS-Ströme einer anaeroben Schlammbehandlungsanlage	39 -
Abb. 18 Vereinfachtes Verfahrensschema der Kläranlage Schwechat	44 -
Abb. 19 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Liesingtal für den Bilanzzeitraum 1.03- 31.07	49 -
Abb. 20 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Fischatal für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07	50 -
Abb. 21 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Industrie für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07	50 -
Abb. 22 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Flughafen Schmutzwasser für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07	51 -
Abb. 23 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Liesingtal für den Bilanzzeitraum 1.03- 31.07	52 -

Abb. 24 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Fischatal für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07.....	- 52 -
Abb. 25 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Industriefür den Bilanzzeitraum 1.03-31.07	- 53 -
Abb. 26 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Flughafen Schmutzwasser für den Bilanzzeitraum 1.03. - 31.07.....	- 53 -
Abb. 27 Messstellen der Zulaufmengen [m ³] - Vorklä rung.....	- 57 -
Abb. 28 Berechnung der internen Rücklaufwassermenge [m ³] aus der Müse	- 57 -
Abb. 29 Berechnung der internen Rücklaufwassermenge [m ³] aus der Faulschlammentwässerung	- 58 -
Abb. 30 Berechnung der internen Rücklaufwassermenge [m ³] aus dem Voreindicker	- 58 -
Abb. 31 Einrichtung zur Atmungsmessung	- 61 -
Abb. 32 Sauerstoffverbrauch O ₂ im Laufe der Zeit t, schematisch	- 62 -
Abb. 33 Q-Bilanz der Kläranlage Schwechat	- 70 -
Abb. 34 P-Bilanz der Kläranlage Schwechat.....	- 71 -
Abb. 35 CSB-Bilanz der Kläranlage Schwechat.....	- 72 -
Abb. 36 N-Bilanz der Kläranlage Schwechat.....	- 73 -
Abb. 37 aTS-Bilanz des Faulturmes	- 74 -
Abb. 38 Monod-Funktion – Zusammenhang zwischen Wachstumsrate (μ) und Substratkonzentration (S) (Quelle: BOKU, „Industriewasserwirtschaft“, Haberl).....	- 79 -
Abb. 39 Darstellung der 6 Bilanzgleichungen bei der Bilanzierung der Biomasseanteile in Abfällen (Quelle: IWAG, TU Wien).....	- 84 -

TABELLENVERZEICHNIS

Tab.1 Mittlere Wassermengen im Zulauf der KA Schwechat	- 44 -
Tab.2 BSB ₅ und CSB- Zu- und Ablaufkonzentrationen	- 45 -
Tab.3 TN Konzentrationen	- 47 -
Tab.4 TP Konzentrationen	- 48 -
Tab.5 Mengen,TS, GV und oTS der einzelnen Schlämme.....	- 54 -
Tab.6 Vergleich zwischen alt und neu gemessenen TP-, CSB-,TN- /oTS Verhältnissen.....	- 55 -
Tab.7 CSB-Gehalt des Primär-, Überschuss- und Faulschlammes	- 55 -
Tab.8 N- Gehalt des Primär-, Überschuss- und Faulschlammes.....	- 56 -
Tab.9 Belastung durch Fette und Vergleich zum häuslichen Abwasser (Quelle: Grundsätze für Planung, Bau und Wartung,2002)	- 56 -
Tab.10 Frachten der Hauptabwasserparameter in den Schlämmen	- 57 -
Tab.11 Konzentrationen und Frachten von Phosphor,CSB und Stickstoff in dem internen Rücklauf.....	- 59 -
Tab.12 Atmungsmessung – Unterschiedliche Proben je nach Messwert	- 61 -
Tab.13 pH-, Temperatur- und Atmungsmessungen (11.11.2008).....	- 63 -
Tab.14 Vergleich von angenommenen und neu gemessenen (11.11.2008.) Werte für Kohlenstoffatmung	- 63 -
Tab.15 pH-, Temperatur- und Atmungsmessungen (24.11.2008).....	- 64 -
Tab.16 Sauerstoffmessungen (24.11.2008)	- 64 -
Tab.17 Volumina der Belebungsbecken in [m ³].....	- 65 -
Tab.18 Überblick der zu- und ablaufenden Stoffströme in den Bilanzräumen	- 66 -
Tab.19 Bilanzen für die einzelne Teilsysteme und Parameter.....	- 75 -
Tab.20 Literaturwerte A131, Einwohnerspezifische Frachten in g/(E·d), die an 85% derTage unterschritten werden, ohne Berücksichtigung des Schlammwassers	- 78 -
Tab.21 Wirkungsgrad der Vorklärung – Vergleich zwischen berechneten – und Literaturwerten	- 78 -

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

...AB	...im Ablauf
...ED	...im eingedickten Schlamm
...FS	...im Faulschlamm
...iRL	...im internen Rücklauf
...PS	...im Primärschlamm
...RS	... im Rücklaufschlamm
...Tr.W	...im Trübwasser
...ÜS	...im Überschussschlamm
...ZU	...im Zulauf
Δt	Bilanzzeitraum
Ab /A/	Ablauf
ARA	Abwasserreinigungsanlage
ATH	Allylthioharnstoff
aTS	anorganische Trockensubstanz
B	Belebung
BB	Belebungsbecken
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
c	Konzentration
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
c _s	Sauerstoffsättigungswert
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
c _x	Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken
E	Einwohner
EGW	Einwohnergleichwert
EV	Energieverbrauch
EW	Einwohnerwert (EW = E + EGW)
FG	Faulgas
FH OW	Flughafenoberflächenwasser
FH SW	Flughafenschmutzwasser
Fr	Stofffracht
FS	Faulschlamm
FT	Faulturm
F _T	Temperaturfaktor
GesN /TN/	Gesamtstickstoff
GesP/TP/	Gesamtphosphor
GR	Glührückstand
GV	Glühverlust
HL	Hochlastbelebungsstufe

i.RL	interner Rücklauf
KA	Kläranlage
MÜSE	maschinelle ÜS-Eindickung
N	Stickstoff
Nden.	denitrifizierter Stickstoff
NED	Nacheindicker
NH _{2,2} CO	Harnstoff
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NKB	Nachklärbecken
NO ₂ -N	Nitritstickstoff
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
org.N	organischer Stickstoff
oTS	organische Trockensubstanz
OV	Sauerstoffverbrauch
OVC	Sauerstoffverbrauch für den Kohlenstoffabbau
OVC _g	Kohlenstoffgrundatmung
OVC _{max}	Kohlenstoffmaximalatmung
OVC _s	Kohlenstoffsubstratatmung
OVD	Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffatmung mit Nitrat
OVN	Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation
OVN _{max}	Stickstoffmaximalatmung
OV _s	Sofortatmung
P[kW]	Leistung
P	Phosphor
PO ₄ -P	Orthophosphat-Phosphor
PS	Primärschlamm
Q	Durchfluss, Volumenstrom
Q _{AB}	Ablaufmenge
Q _{FS}	Faulschlammmenge
Q _{RS}	Rücklaufschlammmenge
Q _{ÜS}	abgezogene Überschussschlammmenge
Q _{zu}	Zulaufmenge
R	Rechen
RS	Rücklaufschlamm
S	Substratkonzentration
S _d	Sättigungsdampfdruck
SEW	Schlammwässerungsanlage
Sf	Sandfang
SK	Schlammkuchen
SK	Selektor
SL	Scwachlastbelebungsstufe
T	Temperatur
t	Zeit

TKN	Kjeldahl-Stickstoff, Total Kjeldahl Nitrogen, $TKN = (NH_4-N) + (org.N)$
TS	Trockensubstanz(gehalt), Feststoffgehalt
tr _s	Schlammalter
TW	Trübwasser
ÜS	Überschussschlamm
ÜS _{HL}	ÜS der Hochlaststufe
ÜS _{SL}	ÜS der Schwachlaststufe
V	Volumen
V _{BB}	Belebungsbeckenvolumen
V _{DB}	Denitrifikationsbecken
VED	Voreindicker
VK	Vorklärung
X _A	autotrophe Wachstum der Nitrifikanten
X _{TS,ZB}	Konzentration der mit 0,45 µm Membranfilter abfiltrierbaren Stoffe nach Trocknung bei 105 °C
ZKB	Zwischenklärbecken
Zu /Z/	Zulauf
α _{OP} /OP/	Sauerstofftrag in Belebtschlamm
η	Wirkungsgrad
η _{CSB}	abgebauter CSB
μ	Wachstumsrate

1. EINLEITUNG

„Das Leben auf der Erde verdankt zwei Faktoren seine Existenz: Der Sonne und dem Vorkommen von Wasser. Wasser bestimmt unser tägliches Leben. Wir alle sind auf Wasser angewiesen. Das Wasser befördert Nährstoffe und Sauerstoff zu unseren Zellen; es hilft, unsere Körpertemperatur zu regeln; es ermöglicht Verdauung und Ausscheidung von Giften. Schon das kleine Zellgebilde, aus dem später einmal ein Mensch wird, besteht zu 90 Prozent aus Wasser.

Wir Europäer leben in einer begünstigten Zone. Wir haben Wasser - so scheint es - im Überfluss. Doch die weltweite Realität sieht anders aus. Nur 0,03 Prozent des Wassers auf der Erde ist als Trinkwasser nutzbar. Viele Menschen leiden unter Wassermangel bis hin zum Tod. Grund genug für uns, mit dem Wasser sorgsam umzugehen. Das bedeutet, Wasser zu sparen, es nicht unnötig zu verschmutzen und nach Gebrauch wieder nur gereinigt in die Umwelt zu entlassen.“ (Quelle: Abwasserverband Schwechat (AWVS))

Die Menschen sind sich schon der Bedeutung von sauberer Wasser bewusst geworden, das hat dazu geführt, dass eine Vielzahl von Abwasserreinigungsanlagen gebaut wurde, die das Rückgrad des Gewässerschutzes darstellen.

Täglich wird eine große Anzahl von Messdaten gesammelt, die Information über die Abwasserkomponente und Reinigungsleistung der Kläranlage liefern. Sehr oft passieren aber Datenunsicherheiten. Sie sind Folge von fehlerhafter Probenahme und -analyse oder unzureichender Wartung von Online-Messgeräten. Eine weitere Unsicherheit liegt in der Mengemessung. Zudem sind einige Stoffströme quantitativ praktisch nicht erfassbar (Gase die aus dem Abwasser entweichen). Je richtiger aber die Messwerte sind, desto genauer kann der reale Abwasserreinigungszustand in der Kläranlage dargestellt werden.

Ein Instrument für die Überprüfung der Plausibilität stellt die **Bilanzierung** dar. Je höher die Plausibilität der Daten bei der Bilanzierung ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass die gemessenen Daten richtig und repräsentativ für die wirklichen Vorgänge bei der Abwasserreinigung sind.

2. ZIELSETZUNG

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Durchführung der Bilanzierung am Beispiel der Kläranlage Schwechat bei Wien.

Auf der Basis gegebener Messdaten, die vom Betriebspersonal der Kläranlage zwischen 1.03.2008-31.07.2008 aufgezeichnet wurden, wurde eine Stoffflussanalyse erstellt. Basierend auf Vergleichen der Ergebnisse untereinander bzw. mit Erfahrungswerten können Rückschlüsse über die Plausibilität der Daten, bzw. über die Funktion der Kläranlage gezogen werden.

3. KLÄRANLAGE SCHWECHAT, NÖ

3.1 Geschichte der Kläranlage

Im Jahr 1981 ist auf Initiative der Stadt Schwechat der **AbWasserVerband Schwechat** (AWVS) gegründet worden. Mehrere Gemeinden und Betriebe haben sich zusammengeschlossen, um gemeinsam die wichtige Frage der Abwasserreinigung zu lösen. Der Verband errichtete in den Jahren 1983 bis 1987 die Verbandskläranlage Schwechat.

Seit 1987 werden die Abwässer von vier Gemeinden (*Schwechat, Zwölfaxing, Lanzendorf und Maria Lanzendorf*) und drei Betrieben (*Raffinerie Schwechat OMW, Brauerei Schwechat und Petrochemie Schwechat Borealis*) in die Kläranlage eingeleitet und gereinigt.

Seit 1990 werden auch die Abwässer der Stadtgemeinde *Fischamend* in die Verbandskläranlage Schwechat eingeleitet.

Die Kläranlage war zum damaligen Zeitpunkt der erste Planung für eine Belastung von 160.000 Einwohnergleichwerten ausgelegt. Die Gesamtkosten für die Kläranlage und die Anschlusskanäle betragen 22,1 Millionen Euro.

Ende 1991 beschloss die Mitgliederversammlung zu den bestehenden 9 Mitgliedern 11 neue aufzunehmen und die Verbandsanlagen zu erweitern.

Die Zahl der Gemeinden, die ihre Abwässer durch die gemeinsame Anlage reinigen lassen, wurde von 4 auf 13 erhöht, die der Betriebe von 3 auf 7.

In der zweiten Jahreshälfte 1995 wurde mit den Bauarbeiten der Erweiterung der Verbandskläranlage auf 270.000 EW sowie den Anschlusskanälen begonnen.

Ab April 1997 wurden die Gemeinden aus dem *Fischatal* (6 Gemeinden) an die Verbandskläranlage angeschlossen.

Die Abwässer aus *Hennersdorf* und *Leopoldsdorf* werden seit Anfang 1998 zur Verbandskläranlage Schwechat gepumpt.

Die Gesamtinvestitionssumme für die Erweiterung der Kläranlage belief sich auf rd. 21,7 Mio. Euro. Die erforderlichen Anschlusskanäle kosteten 12,4 Mio. Euro.

Im Juni 2000 hat die Mitgliederversammlung die Flughafen Wien AG als 20. Mitglied beim Abwasserverband Schwechat aufgenommen.

Eine zweite Erweiterungsstufe mit Gesamtkosten von 6,3 Mio. Euro wurde ab Mitte 2002 realisiert. Diese Erweiterungsstufe war Ende 2003 funktionstüchtig und damit konnte auch das Abwasser des Flughafens zu Reinigung ab 2004 übernommen werden.

Der Abwasserverband Schwechat hat somit seit Beginn 62,5 Mio. Euro für seine gesamten Anlagenteile aufgewendet. Das entspricht bei der heutigen Zulauffracht von 167327 EW₁₁₀ einem Betrag von 375 €/ EW₁₁₀

(Quelle: Ganz Schwechat , 25 Jahre Abwasserverband)

3.2 Die Kläranlage in Zahlen

Der Abwasserverband Schwechat besteht aus 13 Gemeinden, die zusammen mehr als 40.000 Einwohner in 17.923 Haushalten und viele Gewerbebetrieben beherbergen, und sieben Großbetriebe.

Mitgliedsgemeinden nach Größe:

Schwechat	15.286	Einwohner	Zwölfaxing	1.458	Einwohner
Fischamend	4.419	Einwohner	Lanzendorf	1.464	Einwohner
Leopoldsdorf	3.436	Einwohner	Hennersdorf	1.418	Einwohner
Ebergassing	3.449	Einwohner	Haslau/Ma.Ellend	1.312	Einwohner
Enzersdorf/Fischa	2.663	Einwohner	Kleinneusiedl	854	Einwohner
MariaLanzendorf	1.894	Einwohner	Rauchenwarth	602	Einwohner
Schwadorf	1.768	Einwohner			



Abb. 1 Niederösterreich (Quelle: Abwasserverband Schwechat (AWVS))

Die Anlage ist für 300.000 EW ausgelegt und umfasst ein Einzugsgebiet von fast 200 Quadratkilometer sowie ein 42,2 km langes Kanalnetz mit 10 Pumpwerken.

50.000 Kubikmeter Abwasser (Bemessungswassermenge) durchlaufen täglich die Anlage. Diese Menge steigt bei Regenwetter bis zum Doppelten, können in diesem Fall doch bis zu 4.650 Kubikmeter pro Stunde zusätzlich anfallen.

(Quelle: AbWasserVerband Schwechat (AWVS))

3.3 Die Zuläufe

Auf der Kläranlage Schwechat wird ein Teil des Abwassers in einem zweistufigen Verfahren behandelt. Der Ablauf der ersten (Hochlast-) Stufe wird gemeinsam mit den anderen Zuläufen anschließend in der zweiten (Schwachlast-) Stufe gereinigt.

Das Abwasser kommt über sechs verschiedene Zuläufe:

Hochlast:

- die Abwässer aus den Industriebetrieben OMV, Borealis und Fa.Werfring (Silotransport)
- die Wässer der Stadt Fischamend und der LOBA Feinchemie AG

Schwachlast:

- die kommunalen Abwässer des Liesingtals (Stadt Schwechat und Gemeinden Zwölfaxing, Lanzendorf, Maria Lanzendorf, Hennersdorf und Leopoldsdorf) sowie von der Brauerei Schwechat und MEWA Textilfabrik,
- die Abwässer aus dem Fischatal (Gemeinden Ebergassing, Schwadorf, Kleinneusiedl, Enzersdorf / Fische, Haslau, Maria Ellend) und von der Textil- und Teppichfabrik Magna Eybl.
- sowie die Abwässer aus dem Bereich des Flughafens Wien
 - ✓ Oberflächenwasser FH OW und
 - ✓ Schmutzwasser FH SW

3.4 Die Reinigung

Die Kläranlage Schwechat hat die Aufgabe nicht nur *kommunale* Abwässer zu reinigen, sondern auch *industrielle*, und in einer Qualität in die Donau zu entlasten, die die Wasserqualität nicht mindert und die gesetzlichen Anforderungen (1. AEVKA) an die Reinigung erfüllt. Diese beinhalten für eine Kläranlage der Größenklasse IV folgende maximale Ablaufkonzentrationen:

BSB ₅	15 mg/l
CSB	75 mg/l
TOC	25 mg/l
NH ₄ -N	5 mg/l
Gesamt-P	1 mg/l

Außerdem wird eine Stickstoffelimination von mindestens 70% bezogen auf Gesamt-N gefordert (bei einer Abwassertemperatur größer 12 °C im Ablauf).

Der AWW Schwechat ist bei dieser Aufgabe mit vielfältigen Anforderungen konfrontiert. Abgesehen von den Gewerbebetrieben in den Mitgliedsgemeinden reicht die Palette industrieller Abwassereinleiter vom Flughafen über die Erdölindustrie bis zur Brauwirtschaft, Textilreinigung und reinen Chemiebetrieben. Wenngleich die Mehrzahl dieser Unternehmen in der Mehrzahl für ihre Produktion weitgehend über geschlossene Wasserkreisläufe besitzen bzw. ihre Abwässer in eigenen Kläranlagen vorreinigen, so muss auf die Verbandsanlage größtmögliche Sicherheit für die Einhaltung der geforderten Reinigungsleistung gegeben sein. (Das Team des AWW Schwechat)

3.4.1 Reinigungsstufen

Die KA Schwechat gliedert sich in drei Bereiche: Mechanik, Hoch- und Schwachlastbiologie sowie Schlammbehandlung.

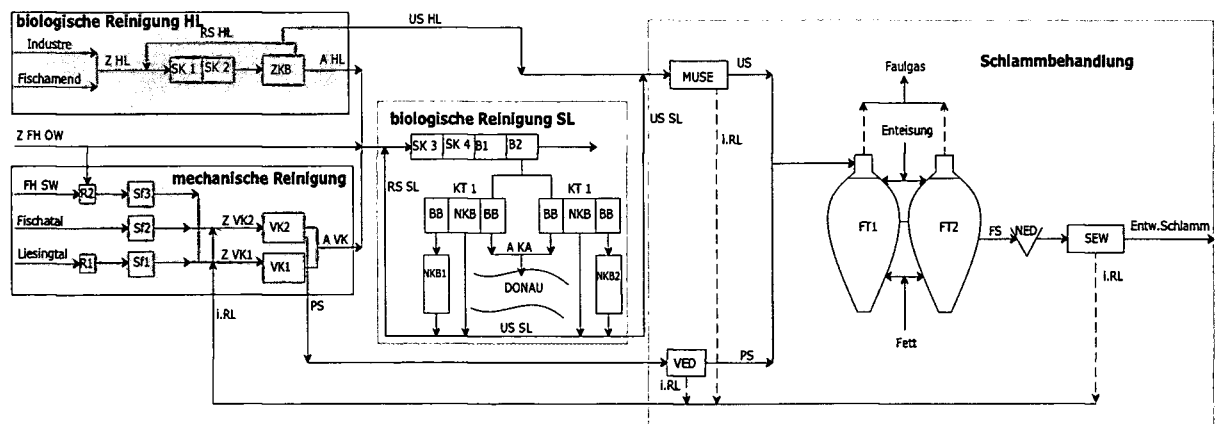


Abb. 2 Reinigungsstufen der Kläranlage Schwechat

3.4.1.1 Die mechanische Stufe:

Für die Behandlung der kommunalen Abwässer (Zulauf Liesingtal, Fischatal und Flughafen- kommunales und teilweise Oberflächenwasser) ist die mechanische Vorreinigung der erste Schritt. Sie bestehen aus Rechen, Sandfängen und Vorklärbecken

mit denen Grobstoffe, mineralische und organische absetzbare und aufschwimmbare Feststoffe zurückgehalten werden

✓ Rechen

Das Abwasser von Liesingtal enthält grobe, sperrige, und zur Zopfbildung neigende Stoffe. Diese stören den Betrieb der Kläranlage, deshalb müssen sie aus dem Abwasser entfernt werden. Das geschieht im Rechenhaus. Es ist als Absenkbrunnen (Durchmesser 9m) ausgeführt, in dem 2 Feinrechen untergebracht sind. Die Rechen bestehen aus parallel nebeneinander angeordneten Rechenstäben mit einer Stabweite von 6 mm (Gerinnenbreite 2 m). Die im Abwasserstrom mitgeführten Grobstoffe (Rechengut) bleiben an den Rechenstäben hängen, und werden maschinell abgestreift.

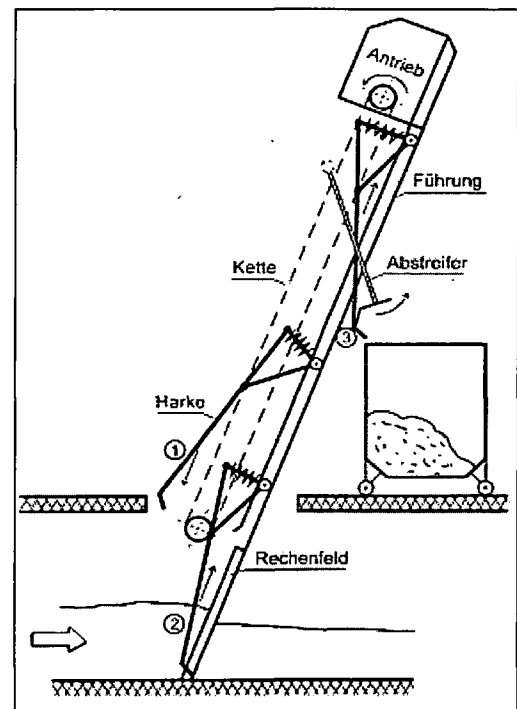
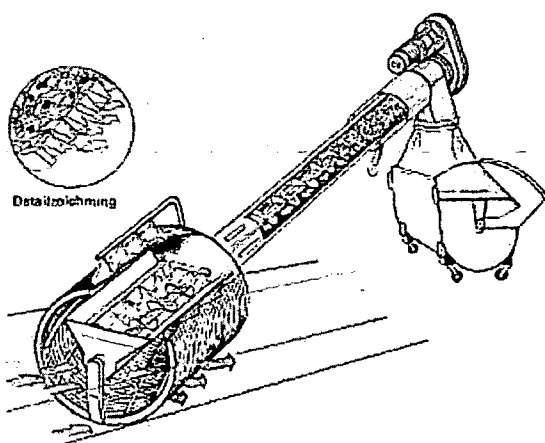


Abb. 3 Schema eines Stabrechens
(Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)

Das abgestreifte Rechengut wird über eine Schneckenpresse entwässert und in einen Container gefördert.

Abb. 4 Trommelrechen (Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)



Die Schmutz- und ein Teil der Oberflächenwasser des Flughafens Wien erreichen ebenfalls eine Rechenanlage, wo die Abtrennung der Feststoffe aus dem Abwasser über einen Trommelrechen passiert.

Der Rechenkorb besteht aus kreisförmig gebogenen Flachstäben. Er ist schräg in das Zulaufgerinne eingesetzt, so dass das Wasser hineinströmen und zwischen den Stäben hindurchfließen muss. Der Räumzyklus wird auch hier durch die Wasserspiegeldifferenz vor und nach dem Rechen ausgelöst. Die Räumung des Rechenkorbes erfolgt durch einen zentrisch auf der Mittelachse sitzenden Rechenkamm, der innen umläuft. Dieser streift das Rechengut längs des Zylindermantels ab und wirft es in der oberen Stellung in einen

zentrisch angeordneten Trog ab. Von hier wird das Rechengut mit einer Förderschnecke entwässert und ebenfalls in einen Container abtransportiert.

Das Abwasser von Fischatal wird ohne die Entfernung der Grobstoffe über Rechen- bzw Siebanlage direkt in den Sandfang 2 geleitet.

Das im Rechenhaus vorgereinigte Wasser gelangt in das Pumpwerk, von wo es durch eine Druckleitung DN 350 zum hochgelegenen Sandfang gefördert wird. Es kommen 2 (+ 1 Reserve) Tauchmotorpumpen mit einer Förderleistung von 600 m³/h zum Einsatz; die zu überwindende Förderhöhe beträgt 18 m.

✓ Sandfänge

Die Sandfanganlage der KA Schwechat besteht aus drei parallelen belüfteten Sandfängen mit einer insgesamt Oberfläche von 60 m² und einem Inhalt von 120 m³ (Aufenthaltszeit bei Q₂₄ 12 min).

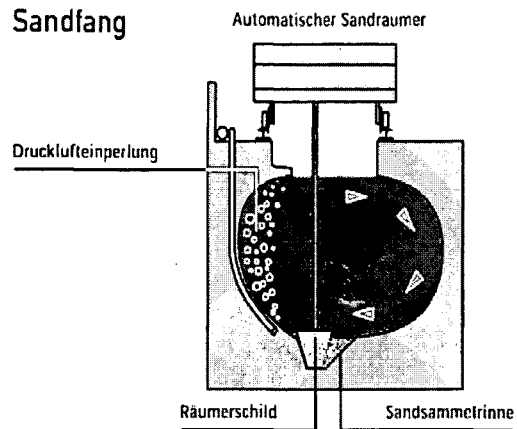


Abb. 5 belüfteter Sandfang (Quelle: Entwässerungsbetriebe Mainz)

Ihre Aufgabe ist es, absetzbare Verunreinigungen mit hoher Sinkgeschwindigkeit (Sand, Steine, Glassplitter oder Gemüsereste) aus dem Abwasser zu entfernen. Diese Stoffe würden zu betrieblichen Störungen in der Anlage führen (Verschleiß, Verstopfung).

An der Oberfläche werden zugleich Fette und Öle abgeschieden. Die Belüftung des Sandfangs (am Beckenboden angebracht) erzeugt eine „Walzenströmung“. Durch die eingeblasene Luft verringert sich die scheinbare Dichte des Abwassers. Aufgrund beider Effekte setzen sich die schweren, vorwiegend mineralischen Feststoffe (hauptsächlich Sand) am Beckenboden (Sandsammelrinne) ab. Mittels eines Sandklassierers werden die organischen Stoffe abgeschieden und der gereinigte Sand in einen Container gefördert. Schwimmstoffe werden direkt der Schlammbehandlungsanlage zugeleitet.

✓ Vorklärbecken

Hinter den Sandfängen 1 und 2 (Liesingtal und Fischatal) sind 2 längsdurchströmte, rechteckige Vorklärbecken angeordnet. Sie dienen zur mechanischen Entfernung feiner

Teilchen, die sedimentieren oder auch an der Oberfläche schwimmen. Die Trennung erfolgt bei einer Fließgeschwindigkeit von ca. 0,015 m/s. Ein Räumler bewegt sich nur noch mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,01 m/s.

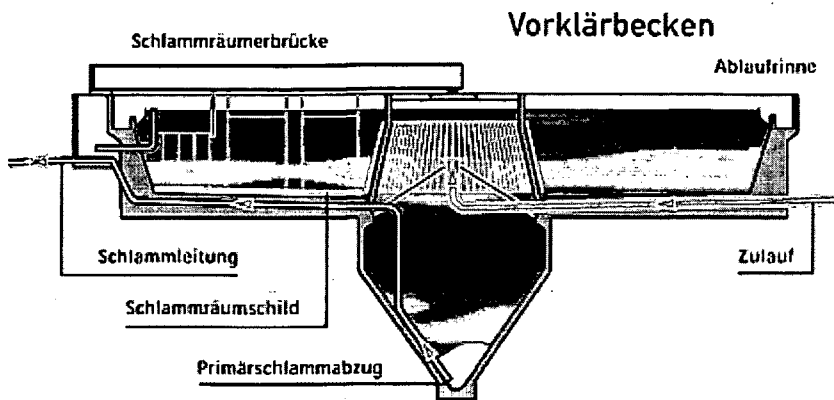


Abb. 6 Vorklärbecken (Quelle: Entwässerungsbetriebe Mainz)

Die am Beckengrund sich ablagernden Stoffe, welche überwiegend aus organischen Materialien bestehen, bilden den Primärschlamm, der in den sogenannten Voreindicker eingeleitet wird. Die aufschwimmenden Stoffe werden gemeinsam mit dem Schlamm abgepumpt.

Mit der Vorklärung endet die mechanische Abwasserreinigung. Im Abwasser befinden sich jetzt noch ca. 60 - 70% der organischen Verschmutzung, die in gelöster Form oder als Schwebstoffe vorliegt und in der anschließenden biologischen Stufe abgebaut werden.

3.4.1.2 Die biologische Stufe:

In der KA Schwechat sind zwei Belebungsstufen zu unterscheiden:

✓ 1. Belebungsstufe (Hochlast)

Im Bereich des Vorklärbeckenablaufs erfolgt eine Vermischung des kommunalen Abwassers von Fischamend mit den durch eine gesonderte Druckleitung zufließenden Abwässern der Industrie. Dieses Abwasser wird bereits in den Betrieben mechanisch und chemisch/physikalisch vorbehandelt und daher nur mehr der biologischen Stufe zugeführt (1. Belebungsstufe, bzw. Hochlast).

Das Abwasser gelangt in die **Hochlastbelebungsstufe**, die aus dem Belebungsbecken (zwei Kaskaden, in Schwechat Selektor 1 und 2 genannt) und einem Zwischenklärbecken besteht. Die Zwischenklärung ist als Rundbecken ausgeführt. Das Wasser durchströmt dieses Becken überwiegend vertikal. Der Belebtschlamm setzt sich dabei langsam am

Boden ab. Das Becken verfügt über eine flache Sohle, der abgesetzte und eingedickte Schlamm wird mittels Saugräumern abgezogen. Anschließend wird er zum Teil zurück in das Belebungsbecken, zum anderen Teil als Überschussschlamm nach maschineller Eindickung in die Faulbehälter gepumpt. Den Schlamm, der zurück ins Belebungsbecken gefördert wird, nennt man Rücklaufschlamm. Die Rücklaufschlammförderung wird nach dem Abwasserzufluß zur Kläranlage gesteuert.

Die Stoffe, welche leichter als Wasser sind, werden in der Zwischenklärung von der Wasseroberfläche abgezogen und in die Faulbehälter gepumpt. Diese Schwimmstoffe bestehen aus Fetten, Kunststoffpartikeln und Ähnlichem.

Nach dem Passieren der Zwischenklärung ist das Abwasser bereits weitgehend von der organischen Verunreinigung befreit und fließt weiter zur zweiten Belebungsstufe.

✓ 2. Belebungsstufe (Schwachlast)

Die Zuläufe Liesingtal, Fischatal sowie das Schmutzwasser des Flughafens fließen nach der mechanischen Reinigung in die 2. Belebungsstufe (Schwachlast). Das verschmutzte Oberflächenwasser des Flughafens fließt dagegen nur teilweise gemeinsam mit dem Schmutzwasser über Rechen, Sandfang und Vorklärung. Teilweise fließt es direkt in die 2. Belebungsstufe. Diese besteht aus 5 Kaskaden: 2 aeroben Selektoren (Selektor 3 und 4 genannt), 2 Denitrifikationsbecken, die als Umlaufbecken ausgeführt sind sowie 2 belüfteten Belebungsbecken, die jeweils mit einem Nachklärbecken eine bauliche Einheit (Klärturn) darstellen sowie 2 zusätzlichen Nachklärbecken. Die Druckluftherzeugung ist in einem Gebläsehaus untergebracht.

Zuerst fließt das Abwasser durch die aeroben Selektoren. Sie haben die Aufgabe, die Bildung von Blähschlamm durch fadenförmige Bakterien weitgehend zu vermeiden. Wegen der hohen Anteil an gelösten Stoffen wird der Selektor belüftet. Die flockenbildenden Bakterien können Substrat speichern und dann in den nachfolgenden Belebungsbecken veratmen. Die Fadenbakterien können nichts speichern und finden in der Belebung keine Nahrung mehr. Dadurch wird ihre Wettbewerbsfähigkeit geringert und damit ebenso ihre negativen Folgen für die Schlammeigenschaften.

In Schwechat erfolgt die Stickstoffentfernung durch die sogenannte vorgeschaltete Denitrifikation. In diesem Fall werden nitrathaltiger Rezykulationsschlamm (Belebtschlamm aus dem Ablaufbereich des Belebungsbeckens) und das zulaufende Abwasser in ein Denitrifikationsbecken geleitet, wo nur gerührt wird. In diesem Deni-Becken herrschen anoxische Bedingungen (kein Sauerstoff, aber Nitrat). Durch das Rohabwasser ist die Aktivität des Schlammes hoch. Da kein gelöster Sauerstoff sondern nur Nitrat vorhanden

ist, sind die Bakterien gezwungen den im Nitrat (NO_3) gebundenen Sauerstoff zu veratmen. Das tun sie auch und es wird molekularer Stickstoff (N_2) frei, der in die Atmosphäre entweicht. Nach dem Deni-Becken fließt das Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch in das Nitrifikationsbecken. (Abb. 7)

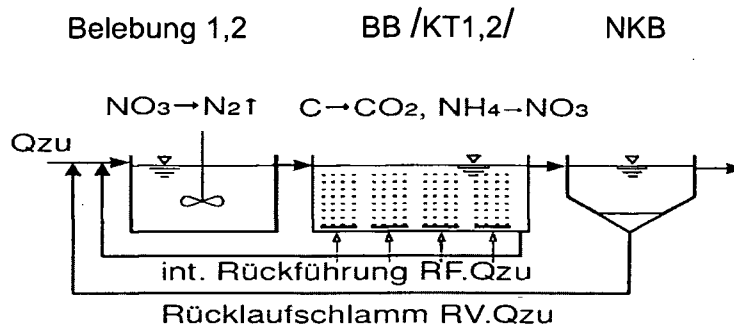


Abb. 7 Prinzip der vorgeschalteten Denitrifikation (Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)

Am Umbau von Ammonium zum Nitrat sind zwei Bakteriengruppen beteiligt.

1. die "Nitrosomonas" oxidieren NH_4 zu Nitrit (NO_2)
2. die "Nitrobacter" oxidieren Nitrit zu Nitrat (NO_3)

Für ihre Arbeit brauchen die Bakterien Sauerstoff, welcher mit Luftverdichtern in die Becken eingeblasen werden muss.

Die nitrifizierenden Bakterien sind besonders anspruchsvoll. Sie reagieren empfindlich auf Störungen und Änderungen ihrer Lebensbedingungen (z.B. Temperatur), zudem vermehren sie sich langsam. Diesen Prozessen muss daher vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden, weil stets niedrige Ammonium- und Gesamtstickstoffgrenzwerte eingehalten werden müssen. Das Nitrat gelangt über die Rücklaufschlammförderung und die interne Rezirkulation in die Denitrifikationsbecken, wo es mit dem mechanisch gereinigten Abwasser gemischt wird.

Nach den Belebungsbecken gelangt der Belebtschlamm in die **Nachklärbecken**, wo das biologisch gereinigte Abwasser vom Belebtschlamm getrennt und wieder in die Natur (die Donau) entlassen wird.

Der abgesetzte Schlamm wird in die Belebung zurückgeführt (Rücklaufschlamm), um dort die Konzentration an Mikroorganismen ausreichend hoch zu erhalten. Der tägliche Zuwachs an Biomasse (Überschussschlamm) wird täglich aus der Belebungsanlage abgezogen und zur Weiterbehandlung zusammen mit dem Schlamm des Vorklärbeckens in die Faultürme eingebracht.

3.4.1.3 Die Schlammbehandlung

Die bei der Abwasserreinigung anfallenden Schlämme werden weiter eingedickt, stabilisiert, entwässert und anschließend entsorgt. In Schwechat werden diese Aufgaben von folgenden Anlagenteilen übernommen:

✓ Voreindicker (VED)

Der Primärschlamm aus der Vorklärung (VK) gelangt in den Voreindicker, dessen Funktion ist, den Schlamm einzudicken. In dem runden Behälter setzt sich der relativ schwere Schlamm am Behälterboden ab. Das sich oben abscheidende Trübwasser wird diskontinuierlich von der Oberfläche abgezogen. Dazu werden Teleskoprohre verwendet, welche senkrecht im Behälter angebracht sind und automatisch Stück für Stück heruntergefahren werden. Eine Trübungssonde misst die Feststoffe im Trübwasser. Wenn ein vorgegebener Feststoffgehalt erreicht wird, stoppt das Teleskoprohr und fährt wieder aufwärts. So wird sichergestellt, dass nur das Wasser, nicht aber der Schlamm abgezogen wird.

Das im Behälter befindliche Krähwerk (ein Räumler) transportiert den am Boden liegenden Schlamm in den zentralen Bodentrichter. Der eingedickte Schlamm wird aus dem Trichter in Richtung der Faulbehälter gepumpt. Der Voreindicker ist abgedeckt und mit einer Abluftabsaugung versehen, um Geruchsbelästigungen durch bereits faulenden Schlamm zu vermeiden. Die Beschickung, der Schlammwasserabzug und der Schlammabzug erfolgen programmgesteuert nacheinander. Der Sinn und Zweck des Eindickens besteht in der Reduzierung des Schlammvolumens, welches weiterbehandelt werden muß.

✓ Maschinelle Überschussschlammeindickung

Der Überschussschlamm (von der Hoch- und Schwachlaststufe) wird maschinell eingedickt. In der Kläranlage gibt es zwei Anlagen für maschinelle Eindickung, die als Bändeindicker ausgeführt sind.

Die Bändeindicker sind kontinuierlich arbeitende Maschinen, bei denen der konditionierte Schlamm gleichmäßig auf einem umlaufenden Seihband verteilt und durch die Wirkung der Schwerkraft eingedickt wird.

Der im Flockungsreaktor geflockte Schlamm wird gleichmäßig auf dem Seihband (Bandfilter) verteilt. Das Filtrat läuft auf der waagerechten Seihzone durch das kontinuierlich umlaufende Siebband ab. Feststoffe werden zurückgehalten. Anschließend wird der Schlamm in einer Trommel intensiv umgeschichtet und umgelagert. Damit wird

erreicht, dass das freigesetzte Wasser ablaufen kann und sich nicht auf der Oberfläche oder im Inneren der Feststoffschicht sammelt und nicht abfließt.

Im Verlauf der Bandrückführung sind Waschvorrichtungen angeordnet. Sie werden mit Wasserdrücken von bis zu 9 bar (Frey, 2002) betrieben und reinigen das Bandfilter vor der erneuten Beschickung. Der eingedickte Schlamm wird schließlich über einen Abstreifer zur Weiterbehandlung ausgetragen.

Die Bandeindicker können durch verschiedene, stufenlos verstellbare Parameter gesteuert und so wechselnden Schlammigenschaften angepasst werden. Die Steuermöglichkeiten im Betrieb der Bandfilter ergeben sich mit

- der Bandgeschwindigkeit,
- der Mischenergie im Flockungsreaktor,
- der Verweilzeit in der Eindickzone über den Schlammumsatz pro Zeiteinheit,
- der Flockungshilfsmitteldosierung.

✓ Faulbehälter (FT)

Der eingedickte Primärschlamm, die maschinell eingedickten Überschussschlämme sowie extern angelieferte Fette (Co-Substrate) und Fäkalien bilden die Zuflüsse der Faulbehälter. Dort werden Schlämme unter anaeroben Bedingungen durch anaerobe Bakterienstämme zu Faulschlamm, brennbarem Faulgas (ein Gemisch aus Methan und Kohlenstoffdioxid) sowie geringen Mengen Wasserstoff und Schwefelwasserstoff abgebaut.

Es gibt vier Abbauphasen im Faulturm: Hydrolysephase, Versäuerungsphase, acetogene Phase und methanogene Phase.

Es werden bei der Schlammfäulung die im Rohschlamm enthaltenen ca. 70% organischen Materials auf etwa 50% organische Stoffe im Faulschlamm vermindert. Theoretisch ginge der Abbau noch weiter, verlief aber sehr viel langsamer. Die restliche organische Substanz ist nämlich schwer abbaubar. Im technischen Sinne gilt der Schlamm mit $18 \text{ g oTS/EW}_{110/\text{d}}$ (Nowak, 2000) als stabil.

Die Faulbehälter auf der KA Schwechat sind turmförmig und werden daher als Faultürme bezeichnet, sie haben einen Nutzinhalt von insgesamt 8000 m^3 .

Aus dem Faulgas wird in Blockheizkraftwerken (Gasmotoren treiben Generatoren an) Ökostrom erzeugt, der teilweise in das öffentliche Stromnetz eingespeist beziehungsweise in der Verbandskläranlage selbst genutzt wird.

✓ Nacheindicker und Schlammmentwässerungsanlage

Der ausgefaulte Schlamm wird weiter verwertet. Er wird anschließend in den sogenannten Nacheindicker geleitet. Dieser dient als Vorlagebehälter für die Schlammmentwässerung, die mittels Zentrifugen durchgeführt wird. Der entstehende „Schlammkuchen“ findet eine thermische Nutzung in einem modernen Braunkohlenkraftwerk.

3.4.2 Chemische Überwachung auf der KA

Die Anlage wurde als biologische Reinigungsanlage für Kohlenstoffabbau, Stickstoff- und Phosphor-Entfernung konzipiert.

In der Kläranlage werden die Abwassermengen gemessen, Proben genommen und im Labor die Konzentrationen der wichtigsten Parameter zur Beschreibung des Verschmutzungsgrades bestimmt. Dazu gehören BSB₅, CSB, Stickstoff und Phosphor.

3.4.2.1 Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB₅

✓ Definition

Unter dem biochemischen Sauerstoffbedarf (in 5 Tagen) versteht man die Menge an Sauerstoff, die von Mikroorganismen an 5 Tagen verbraucht wird, um die im Wasser enthaltene organische Stoffe bei 20°C abzubauen. Er ist ein Maß für die biologisch abbaubare Verunreinigung mit organischen Kohlenstoffverbindungen

✓ Bestimmung

Für die Bestimmung des BSB₅ wird das manometrische Verfahren eingesetzt.

Die BSB₅-Meßgeräte beruhen auf einer Verminderung des Luftdrucks auf Grund des Sauerstoffverbrauchs der Mikroorganismen in einem abgeschlossenen System. Dabei wird das in Folge der Atmung entstehende CO₂ chemisch gebunden. Die Druckverminderung wird mit batteriegetriebenen Drucksensoren gemessen, in mg/L BSB₅ umgerechnet und die Daten über den Zeitraum von fünf Tagen gespeichert und bei einigen Gerätetypen auch grafisch dargestellt.

Bei dieser Messmethode spielt die Probenahme und die Probenvorbereitung eine große Rolle. Besonders im Zulauf sollte es sich bei der untersuchten Probe um eine frische (die leicht abbaubaren organischen Bestandteile werden rasch veratmet), homogenisierte (die Kohlenstoffverbindungen liegen zu etwa einem Drittel in absetzbarer Form vor) mengenproportionale Tagesmischprobe handeln, da die Belastung im Tagesverlauf starken Schwankungen unterworfen ist.

Für die Bestimmung des BSB₅ sind folgende Voraussetzungen notwendig:

1. Die angesetzte Probe muss während der gesamten Zehrungszeit ausreichend Sauerstoff, das sind mindestens 2 mg/l, enthalten
2. Je 100mL Probe sind 0,1 mL ATH-Lösung mit 1g/L zuzugeben
3. Die angesetzte Probe muss genügend Bakterien enthalten. Sie sind im normalen Abwasser reichlich vorhanden. Bei speziellen Abwässern gewerblicher Betriebe müssen allenfalls Bakterien zugesetzt werden.
4. In der angesetzten Probe muss genügend N (Stickstoff) und P(Phosphat) als Nährstoffe enthalten sein!
5. Die angesetzten Proben müssen während der 5 Tage möglichst genau bei 20 C und im Dunkeln, am besten in einem Thermoschrank, aufbewahrt werden. Wird bei zu niedrigen Temperaturen gearbeitet, erhält man geringere Werte, bei Temperaturen über 20°C werden zu hohe Werte erhalten. Die Dunkelheit verhindert Sauerstoffeintrag infolge Algenwachstum.

3.4.2.2 Chemischer Sauerstoffbedarf CSB

✓ Definition

Der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB, engl. chemical oxygen demand, COD) ist als Summenparameter ein Maß für die Summe aller im Wasser vorhandenen, unter bestimmten Bedingungen oxidierbaren Stoffe /organische Kohlenstoffverbindungen/. Er gibt die Menge an Sauerstoff (in mg/l) an, die zu ihrer „vollständigen“ Oxidation benötigt wird. Er ist ein Maß für die Verunreinigung des Abwassers mit organischen Kohlenstoffverbindungen bzw. für den Energieinhalt der Verunreinigung.

✓ Bestimmung

Die CSB-Bestimmung erfolgt mittels sogenannter Küvetten-Schnelltests. Diese Test-Kits können ohne nennenswerte Vorkenntnisse angewendet werden, enthalten bereits alle notwendigen Reagenzien und erfordern nur wenige Laborgeräte.

Es wird eine Wasserprobe mit Schwefelsäure stark angesäuert und mit einer vorgegebenen genauen Menge des starken Oxidationsmittels Kaliumdichromat ($K_2Cr_2O_7$) erhitzt, unter Zusatz von Silbersulfat als Katalysator. Die Menge an verbrauchtem Dichromat wird über *photometrische* Bestimmung des verbliebenen Dichromats berechnet. Das zugehörige spezielle Photometer zeigt das Ergebnis auch gleich umgerechnet als Sauerstoff in mg/l an.

Der CSB kann in unterschiedliche Teilfraktionen unterteilt werden:

- "Partikulärer CSB". Damit sind ungelöste im Wasser vorhandene, durch Dichromat oxidierbare Stoffe gemeint, die durch einen Membranfilter mit einem Porendurchmesser von 0,45 μm zurückgehalten werden. Sie bestehen aus biologisch abbaubaren und nicht abbaubaren partikulären Stoffen. Diese Fraktion ist in der Vorklärung zu treffen, sie wird nicht extra analysiert.
- "Gelöster CSB". Damit sind gelöste und partikuläre, Membranfilter mit einem Porendurchmesser von 0,45 μm passierende, durch Dichromat oxidierbare Stoffe gemeint. Sie bestehen aus biologisch abbaubaren und biologisch nicht abbaubaren Stoffen, gelöst oder als sehr kleine Stoffpartikel.

Im Ablauf sind hauptsächlich gelöste, biologisch schwer abbaubare organische Stoffe enthalten, weiters in geringem Umfang biologisch abbaubare organische Stoffe sowie Schlammflocken. Der chemische Sauerstoffbedarf zusammen mit dem Biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB_5) erlaubt die Interpretation der Qualität der enthaltenen Verunreinigung.

Der CSB ist ein wichtiger Parameter bei der Bemessung, Dimensionierung und der betrieblichen Kontrolle von Abwasser-Kläranlagen. Er wird dazu verwendet, die Stoffströme der organischen Kohlenstoffverbindungen auf der Kläranlage zu beschreiben (CSB-Bilanz). Dies ermöglicht:

- Die Abschätzung des Sauerstoffbedarfs im Belebungsbecken.
- Die Beschreibung der Verhältnisse in der Schlammstabilisierung.
- Eine Plausibilitätsprüfung von Messwerten
- Bemessung von Kläranlagen bei industriellen und gewerblichen Abwässern, deren Zusammensetzung nicht den Standardwerten von kommunalem Abwasser entspricht

Weiter ist die CSB-Bilanz Grundlage der Beschreibung der Reaktionskinetik des Belebtschlammverfahrens. Zudem sind Erfahrungswerte verfügbar, die eine Umrechnung des CSB im Überschussschlamm in die Trockenmasse (TS) des Überschussschlammes ermöglichen. Dieses CSB/TS-Verhältnis bewegt sich zumeist zwischen 1,4 (ausschließlich Biomasse) und 1,0 (erheblicher Anteil anorganischer Feststoffe im Überschussschlamm) (Svardal, 1997).

3.4.2.3 Stickstoff N

✓ Definition

Stickstoffverbindungen gehören zu den Stoffen, die in einem Gewässer als Nährstoff ein verstärktes Wachstum von Algen bewirken können (Eutrophierung). Da dies die ökologische Situation des Gewässers empfindlich stören kann, wird eine möglichst weitgehende Entfernung in Kläranlagen gefordert.

Im Abwasser liegt Stickstoff in Form von Ammonium-Stickstoff (NH_4^+), Harnstoff ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) und organisch gebundenem Stickstoff und sowie unter Umständen in geringeren Mengen als Nitrat (NO_3^-) vor.

Im kommunalen Abwasser ist er überwiegend als menschliches Ausscheidungsprodukt in Form von Harnstoff vorhanden, der teilweise bereits im Kanalnetz zu Ammoniumstickstoff umgesetzt wird (Ammonifikation).

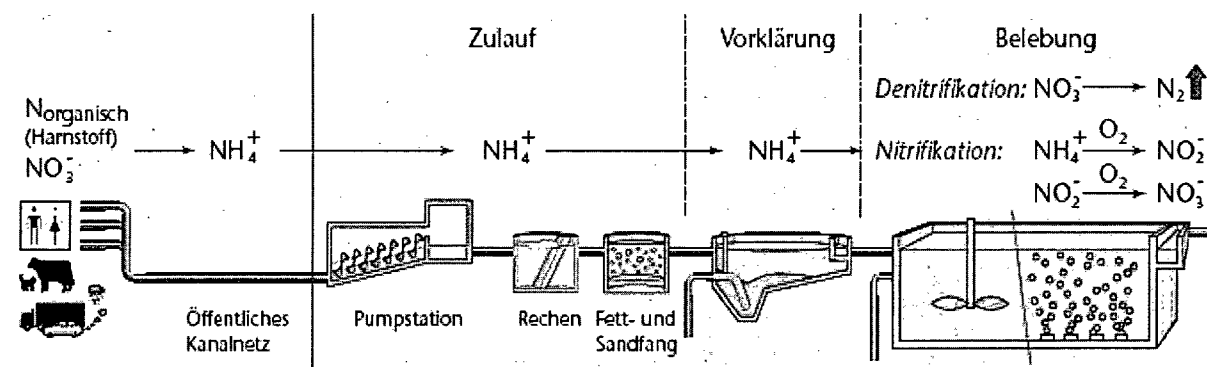
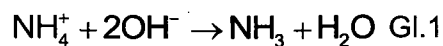


Abb. 8 Darstellung von Stickstoffzulauf und -elimination (Quelle: WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH & Co. KG)

Im Belebungsbecken erfolgt im Zuge der Nitrifikation zunächst die Oxidation des im Abwasser vorliegenden Ammonium über Nitrit zu Nitrat. Hierfür wird Sauerstoff benötigt. In der anschließenden Denitrifikation wird in Abwesenheit von Sauerstoff das entstandene Nitrat (NO_3^-) bzw. Nitrit (NO_2^-) weiter umgesetzt zu molekularem Stickstoff N_2 . Dieser wird überwiegend in gasförmiger Form an die Umgebung abgegeben. Diese beiden Verfahrensschritte erfolgen aufgrund der verschiedenen Rahmenbedingungen und der unterschiedlichen biologisch aktiven Mikroorganismengruppen in zwei grundsätzlich getrennten Prozessen.

Nitrat, Nitrit, Ammonium und organisch-gebundener Stickstoff werden zur Ermittlung der Nährstofffracht im Rahmen der 1. AEVKA im Abwasser regelmäßig gemessen. Nitrit und Ammonium haben neben dem Nährstoffcharakter auch toxisches Potential. Nitrit ist bereits in geringen Konzentrationen akut toxisch für Fische und hat daneben mutagenes

Potential (Bildung von Nitrosaminen). Ammonium in seiner ionischen Form ist nur gering toxisch. Verschiebt sich der pH-Wert in den alkalischen Bereich, wandelt sich Ammonium in wassergelösten Ammoniak um (Gl. 1). Dieser ist ungeladen und kann ungehindert Biomembranen durchdringen. Im Inneren der Zelle läuft Gl.1 in umgekehrter Reaktionsrichtung ab, wodurch sich Hydroxylionen bilden, die den pH-Wert des Cytosols ins Alkalische verschieben und so viele Proteine funktionsunfähig machen.



Nitrit, Nitrat und Ammonium werden als Einzelstoffe erfasst. In der Praxis aber spielen die sogenannten Summenparameter eine große Rolle. Dazu gehört der organische Stickstoff (org.N), der Kjeldahl- Stickstoff (TKN) und der Gesamtstickstoff (TN).

TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) ist die Konzentration an Stickstoff als Summe aus org.N und Ammonium-Stickstoff; $\text{TKN} = \text{org.N} + \text{NH}_4\text{-N}$; [mg/L]. Im Rohabwasser liegt fast der gesamte Stickstoff in Form des Kjeldahl-Stickstoffs vor, im biologisch behandelten Abwasser dagegen je nach Belastungsverhältnissen in mehr oder weniger oxidierter Form als Nitrit oder Nitrat.

Der Parameter TN wird als Summe von organisch gebundenem Stickstoff, Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff gemessen und ist einer der wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Kläranlagenfunktion.

✓ Bestimmung

▪ Ammonium

Auf der KA Schwechat werden jeden Tag die Ammoniumkonzentrationen in Zu – und Ablauf bestimmt. Dafür wird ein photometrisches Verfahren verwendet

▪ Nitrat

Nitrat wird auch täglich im Ablauf durch ein photometrisches Verfahren bestimmt.

▪ Gesamtstickstoff TN

Die TN-Konzentration wird 2 Mal pro Woche gemessen. Das erfolgt mittels Küvettentests der Firma Hach-Lange. Für eine Abschätzung der täglichen TN-Konzentrationen ist es möglich, die TN /NH₄ Verhältnisse zu benutzen.

3.4.2.4 Phosphor P

✓ Definition

Phosphor ist ein lebenswichtiger Nährstoff für alle Organismen. Er ist Baustein vieler Zellstrukturen, von Verbindungen des Energiestoffwechsels und von Zwischenverbindungen des Synthesestoffwechsels. Für die Gewässer ist Phosphor als Nährstoff für das Pflanzenwachstum und damit als wesentlicher Faktor für die Eutrophierung von Bedeutung.

Der Großteil des Phosphors in kommunalem Rohabwasser stammt aus menschlichen Ausscheidungen (über Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Art, Nahrungsmittelzusätze, Konservierungsmittel), der Rest aus Speiseresten und Waschmitteln. Dazu kommen Phosphor-Verbindungen aus gewerblichen und industriellen Abwässern über Indirekteinleitung.

Im Abwasser liegt Phosphor in Form von ortho-Phosphat, kondensierten Phosphaten (Di-, Tri-, Polyphosphat) und zum Teil als organisch gebundener Phosphor vor. Polyphosphate und andere hydrolysierbare P-Verbindungen werden schnell von Mikroorganismen zu ortho-Phosphat gespalten. In der biologischen Reinigungsstufe liegen daher die gelösten P-Verbindungen überwiegend als ortho-Phosphat vor; in dieser Form wird Phosphor in die Zellen aufgenommen.

Wie bei Stickstoff geht es auch hier um Einzelstoffe ($\text{PO}_4\text{-P}$ - o-Phosphat) und Summenparameter –Gesamtphosphor TP.

✓ Bestimmung

- Phosphat und Gesamtphosphor

$\text{PO}_4\text{-P}$ (täglich) und TP (2 Mal pro Woche) werden in KA Schwechat mittels der Küvettenschnelltests bestimmt. Ein repräsentativer Gesamtphosphormittelwert über einen bestimmten Zeitraum lässt sich wie beim Stickstoff über das Verhältnis $\text{PO}_4\text{-P/TP}$ berechnen.

4. BILANZIERUNG VON KLÄRANLAGEN

4.1 Überprüfung von Stoffflüssen anhand von Bilanzen. Allgemeines

4.1.1 Grundsätze der Bilanzierung.

Die Bilanzierung von Stoffströmen wirkt als Informationsquelle über den Betrieb einer Kläranlage, über den Zustand der Abwasserreinigung sowie auftretende Probleme.

Ihr Vorteil liegt darin, daß sie ein umfassendes Analyseinstrument darstellt und eine Grundlage schafft, auf der umweltpolitische Entscheidungen, Systemoptimierungen oder Investitionsentscheidungen erheblich besser fundiert werden können.

Die Erstellung von Bilanzen ist aber keine einfache Aufgabe. Die Bilanzierung eines Stoffes ist nur dann möglich, wenn er und seine Umwandlungsprodukte an den Grenzen eines definierten (Teil-) Systems messtechnisch vollständig erfasst werden können. Hier werden unter „Stoff“ chemische Elemente (z.B. Phosphor, Stickstoff) bzw. bilanzierbare Summenparameter (CSB und aTS) verstanden.

Am einfachsten ist die Bilanzierung von Stoffen, die keiner Transformation innerhalb des Systems unterliegen (z.B. aTS im Faulturm) oder deren Änderungen vernachlässigt werden können, sowie bei Analysenmethoden, die die Gesamtheit eines Stoffes (chemisches Element) erfassen. Aber in den meisten Fällen müssen für die allgemeine Formulierung einer Massenbilanz die Transport-, Transformations- und Speichervorgänge kombiniert werden. Die allgemeine Darstellung der Massenbilanz hat die nachfolgende Form:

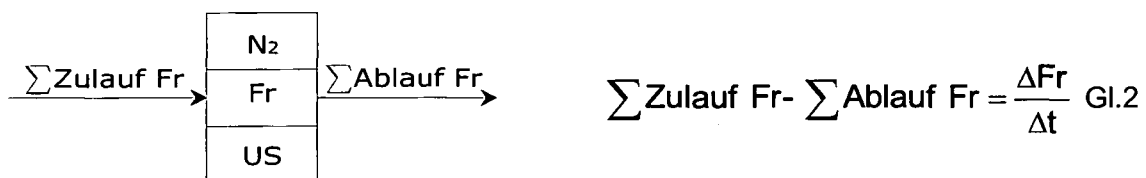


Abb. 9 Allgemeine Darstellung von Massenbilanz

Die Differenz aller zu- und abfließenden Frachten muss gleich der Änderung im System sein (Gl.2).

4.1.2 Bilanzzeiträume

Neben der Auswahl geeigneter Stoffe für die Bilanzierung ist die Wahl des Bilanzzeitraumes Δt entscheidend. Für viele Stoffe ist die im System vorhandene Menge um ein Vielfaches höher als die täglich zu- bzw. abtransportierte Menge. Das bedeutet, dass bei zu kurzen Betrachtungszeiträumen die Änderung der im System vorhandenen Stoffmengen so gering ist, dass sie um die Messgenauigkeit liegt und damit keine Aussagekraft hat. Die Bedeutung der im System vorhandenen Stoffmengen nimmt mit zunehmender Länge des Bilanzzeitraumes ab. Eine größere Zeitspanne erlaubt die Vernachlässigung der Änderung der im System gespeicherten Mengen und führt zur Änderung der Gleichung der zu – und abfließenden Frachten (Gl. 3).

$$\frac{\Delta Fr}{\Delta t} = 0 \rightarrow \sum \text{Zulauf Fr} = \sum \text{Ablauf Fr} \quad \text{Gl.3}$$

Bei Wahl eines größeren Bilanzzeitraumes werden zum Beispiel die Schwankungen des Trockensubstanzgehaltes in der Belebung ausgeglichen. Die bei nur stichprobenhafter Beprobung und Messung auftretenden unsystematischen Schwankungen können nicht vernachlässigt werden.

Zeiträume werden normalerweise so gewählt, dass sie mehreren Aufenthaltszeiten der jeweiligen Stoffe entsprechen. „Die Aufenthaltszeiten sind hauptsächlich vom Aggregatzustand der Stoffe abhängig. So werden sich gasförmige Stoffe (z.B. Sauerstoff) nur wenige Minuten, flüssige Stoffe etwa der hydraulischen Aufenthaltszeit entsprechend (einige Stunden) und Feststoffe gleich dem Schlammalter (definitionsgemäß mittlere Aufenthaltszeit im Belebungsbecken, Faulbehälter), d.h. einige Tage bis zu einigen Wochen im System Abwasserreinigung aufhalten. Da in den meisten Bilanzen Feststoffe beteiligt sind, ist als Bilanzzeitraum zumindest deren mittlere Aufenthaltszeit (Schlammalter), besser ein Vielfaches davon zu wählen.“ (Svardal 1997)

4.1.3 Systemgrenze

Grundsätzlich basieren Stoffbilanzen auf Frachten (Masse pro Zeiteinheit), woraus sich neben der Forderung nach einer hohen Güte der Analytik der Stoffkonzentrationen auch die Forderung nach einer hohen Genauigkeit der Mengemessung ergibt.

Um eine exakte Beschreibung und Erfassung aller notwendigen Ein- und Ausgangsfrachten erreichen zu können ist es unbedingt notwendig, klare Systemgrenzen

zu definieren. In einer Bilanz sind alle an den Systemgrenzen auftretenden Zwischen- und Endprodukte einzubeziehen.

Es ist möglich, dass die Systeme in Teilsysteme zerlegt werden. Das bringt eine verbesserte Übersicht, höhere Genauigkeit und Sicherheit. Die Schnittstellen aber sollen so gewählt werden, dass sie genau definiert sind und messtechnisch erfasst werden können. Normalerweise wird mit zwei Teilsystemen des Hauptsystems Abwasserreinigungsanlage (ARA) gearbeitet: der eigentlichen Abwasserreinigung und der Schlammbehandlung. Sehr oft werden weitere Teilsysteme definiert, z.B. eine Unterteilung in mechanische und biologische Stufen. Möglich ist, diese noch in untergeordnete Systeme zu zerlegen: die mechanische Stufe z.B. in Rechen, Sandfang, Vorklärung, die Biologie in eine oder mehrere Stufen und die Schlammbehandlung z.B. in Voreindicker, MÜSE, Faulung; Nacheindicker, Entwässerung. Das führt zu einer detaillierteren Beschreibung der an der Abwasserreinigung beteiligten Prozesse und Möglichkeit für eine Überprüfung von Teilströmen.

4.1.4 Bilanzierte Parameter

4.1.4.1 Phosphor

Die einfachste und vollständig messtechnisch bestimmbare Bilanz ist die Phosphorbilanz. Auf Grund der Tatsache, dass Phosphor nur über den Ablauf und über den entsorgten Klärschlamm das System Abwasserreinigungsanlage verlassen, d.h. nicht über die gasförmige Phase verloren gehen kann, wird die Bilanzierung wesentlich vereinfacht.

— Phosphor-Bilanz über die biologische Stufe

Für die Bilanzierung der biologischen Stufe braucht man die gesamten Phosphor -Zu- und Abflüsse sowie die P-Fracht des Überschussschlammes. Dabei wesentlich ist nur der Gehalt und nicht „über welche Vorgänge (Aufnahme über Stoffwechsel, Phosphorfällung oder Luxusaufnahme über vermehrte biologische Phosphorentfernung) der Phosphor in den Belebtschlamm eingebunden wird.“ (Svardal, 2007)

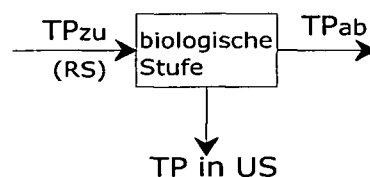


Abb. 10 Phosphorbilanz für eine biologische Stufe

Der P-Gehalt im Schlamm wird in Labors gemessen, dabei sind nur wenige Messungen für kommunale Anlagen notwendig, weil dort Konzentrationenänderungen von Phosphor im Schlamm sehr langsam eintreten.

Entsprechend der Beschreibung und Abbildung 10 kann die Phosphorbilanz für die biologische Stufe formuliert werden (Gl.4) :

$$Q_{zu} \cdot TP_{zu} = Q_{ab} \cdot TP_{ab} + Q_{üs} \cdot TS_{üs} \cdot P/TS \quad \text{Gl.4}$$

An Bestimmungsgrößen werden benötigt:

Q _{zu}	Zulaufmenge Biologie	[m ³ /d]
Q _{ab}	Ablaufmenge Nachklärung	[m ³ /d]
Q _{üs}	abgezogene Überschussschlammmenge	[m ³ /d]
TP _{zu}	Gesamter Phosphor im Zulauf Biologie	[g/l]
TP _{ab}	Gesamter Phosphor im Ablauf Nachklärung	[g/l]
P/TS	Phosphorgehalt des Belebtschlammes	[-]
TS _{üs}	Trockensubstanzgehalt des Überschussschlammes	[g/l]

Aufgrund der allgemein fehleranfälligen Bestimmung von TP – ebenso wie auch anderer Gesamtparameter wie CSB und TKN - in Schlammproben (inhomogene Probe), ist es zulässig, die Phosphor-Fracht im abgezogenen Überschussschlamm nährungsweise aus der Trockensubstanz zu berechnen. Da die mineralische TS im Zulauf zu Kläranlage beispielsweise aufgrund von Regenereignissen erheblichen Schwankungen unterliegt, sollte man den Phosphorgehalt des Belebtschlammes immer auf die organische Trockensubstanz beziehen. Die P/oTS-Verhältnisse unterliegen in der Regel aus den genannten Gründen weitaus geringen Schwankungen als die P/TS-Verhältnisse. Auf Erfahrungswerte für P-Gehalt in Belebtschlamm kann nicht zurückgegriffen werden, da diese um Faktor 2 - 4 schwanken können (Abwasserverband "An der Traisen", 2002).

— Phosphor-Bilanz eines Vorklärbeckens

Die Bilanzierung erfolgt nach der gleichen oben dargestellten Methodik. Auch in diesem Fall muss die Differenz zwischen Zulauf- und Ablaufrachten in Schlamm wieder zu finden sein.

— Phosphor - Bilanz der Schlammfäulung

Bei der Schlammfäulung muss wiederum in Sinne des Massenerhaltungsgesetzes die Phosphorfracht im Zulauf und Ablauf übereinstimmen.

— Phosphor - Bilanz der gesamten Abwasserreinigungsanlage

Für die Erstellung der Bilanz der gesamten KA gilt Gl. 4, aber anstatt Überschussschlamm wird der entwässerte Schlamm (Schlammkuchen) betrachtet:

$$Q_{zu} \cdot TP_{zu} = Q_{ab} \cdot TP_{ab} + Q_{sk} \cdot TS_{sk} \cdot P/TS \quad \text{Gl.5}$$

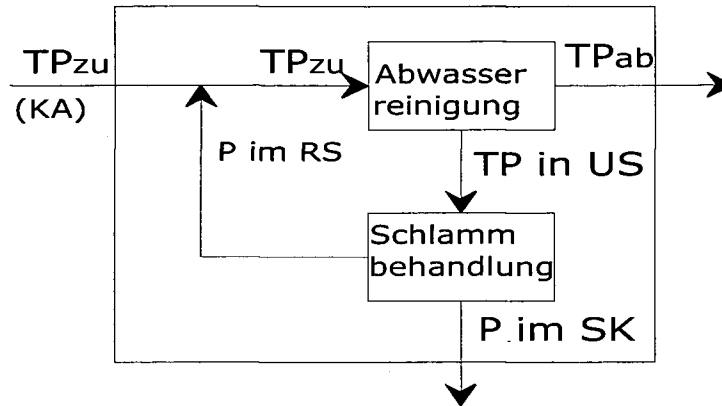


Abb. 11 Phosphorbilanz einer Kläranlage

Es ist egal, ob der Faulschlamm oder der entwässerte Schlamm untersucht wurde, sofern bei der Entwässerung keine Zuschlagstoffe zugesetzt wurden (org. Flockungshilfsmittel sind mengenmäßig ohne Bedeutung). Wird der P-Gehalt des Faulschlammes auf die organische Trockensubstanz (oTS) bezogen, so bleibt das Verhältnis P/oTS auch bei Zugabe anorg. Zuschlagstoffe bei der Entwässerung gleich (z.B. Kalk bei Kammerfilterpressen).

Der Phosphorgehalt des Faulschlammes wird wegen der sehr langen Verweilzeit des Schlammes im Gesamtsystem (Schlammalter in der Belebung ≈ 15 Tage, im Faulbehälter ≈ 30 Tage) nur in großen Abständen gemessen.

Wenn alle Zu- und Ablaufgrößen bekannt sind, kann die Bilanz aufgestellt werden. Abweichungen zwischen zu- und abfließenden Frachten von mehr als 15% weisen auf systematische Fehler bei der Messung eines oder mehrerer der bestimmten Parameter hin. Meist sind die Stellen mit komplizierterer Probenahme bekannt, so dass es durch die Bilanzierung möglich ist, Vermutungen, z.B. hinsichtlich einer nicht repräsentativen Probenahme im Zulauf, zu bestätigen.

4.1.4.2. CSB

Bei der CSB-Bilanz ist es möglich, neben der gebildeten Biomasse (Überschussschlamm), auch den für die biochemische Oxidation (biologischer Abbau) der organischen Kohlenstoffverbindungen erforderlichen Sauerstoffbedarf zu ermitteln. Somit besteht die Möglichkeit, die Stoffflüsse an allen Systemgrenzen zu erfassen und als Folge die Bilanz zu „schließen“.

— CSB-Bilanz über die biologische Stufe

Die Stoffflüsse sind wie folgt:

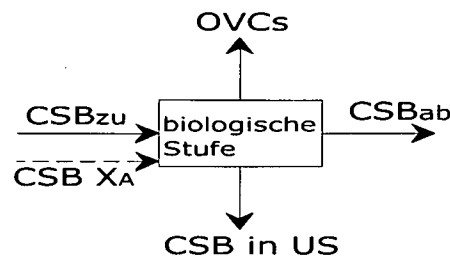


Abb. 12 CSB-Bilanz einer biologischen Stufe

Nur ein bestimmter Teil von CSB_{zu} ist entfernbar (η -CSB) und geht entweder über den Baustoffwechsel in den Aufbau neuer Biomasse (CSB_{ÜS}) oder über den Energiestoffwechsel in den Sauerstoffverbrauch (OVC). Der Rest verlässt die Anlage in gelöster Form als nicht entfernter, „inert“ Anteil.

Die CSB-Bilanz einer Belebungsstufe kann folgendermaßen beschrieben werden (Gl.6):

$$Q_{zu} \cdot CSB_{zu} - Q_{ab} \cdot CSB_{ab} = \eta CSB = OVC + Q_{üs} \cdot TS_{üs} \cdot CSB / TS \quad \text{Gl.6}$$

Das Verhältnisses CSB/TS ist schwer zu bestimmen, sogar bei sorgfältiger Analyse (weitgehende Homogenisierung des Schlammes). Wegen der Gefahr fehlerhafte Werte zu gewinnen ist es zweckmäßig, das CSB/TS-Verhältnis aus dem Glühverlust und dem CSB der organischen Trockensubstanz zu berechnen. Der CSB-Gehalt von Belebtschlämmen beträgt etwa 1,4 bis 1,5g CSB/g oTS (Svardal, 1997). Dieses Verhältnis ist in der Praxis immer wieder bestätigt worden.

➤ *Plausibilitätsprüfung bei „offener“ Bilanz (OVCs unbekannt)*

Die Kohlenstoffatmung wird bei der Routineüberwachung nicht gemessen, also fehlt noch der Sauerstoffbedarf für den CSB-Abbau (OVC). Ist dieser nicht bekannt, so ist nur die Erstellung einer „offenen“ Bilanz möglich, mit der sich die verwendeten Messwerte nicht direkt überprüfen lassen. Eine „offene“ Bilanz ermöglicht allerdings sehr wohl eine

Plausibilitätsprüfung, wenn man die gewonnenen Werte mit Erfahrungs- oder Literaturwerten vergleicht. Svoldal (1997) gibt beispielsweise Erfahrungswerte für das Verhältnis $CSB_{\text{ÜS}}/\eta$ CSB in Abhängigkeit von Schlammalter, Temperatur, Industrieanteil, Entwässerungsform (Misch- oder Trennkanalesation). Bei Anlagen ohne Vorklärung reicht das Verhältnis von 0,45 bis 0,60, und für Anlagen mit Vorklärung von 0,35 bis 0,55.

„Eine Erhärtung der Ergebnisse der noch „offenen“ CSB-Bilanz, kann durch die Überprüfung des Überschussschlammabzuges (Q_{ÜS}) mittels einer Phosphorbilanz erfolgen. Deckt sich der so bestimmte Überschussschlammabzug mit dem aus der CSB-Bilanz, so kann mit grosser Sicherheit angenommen werden, dass der noch offene Teil der CSB-Bilanz dem Sauerstoffbedarf entspricht“. (Svoldal, 1997)

➤ „Schließen“ der Bilanz durch Erfassung des Sauerstoffbedarfs OVC

Damit die CSB-Bilanz geschlossen wird, ist es erforderlich, den Sauerstoffbedarf der Mikroorganismen für die Kohlenstoffatmung (OVC) zu erfassen. Das kann entweder durch Atmungsmessung oder über eine Abschätzung aus dem Energieverbrauch für die Belüftung erfolgen. (siehe Kapitel 4.2 Atmungsmessungen)

— CSB-Bilanz eines Vorklärbeckens

Die CSB-Bilanzierung der Vorklärung ist einfacher, weil die Verweilzeiten relativ kurz (1-1,5 Stunden) sind und damit keine relevanten Transformationsvorgänge (Hydrolyse) oder ein Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe stattfinden.

— CSB-Bilanz der Schlammfäulung

Im Rahmen der Schlammfäulung ist es möglich, eine „geschlossene“ Bilanz zu erstellen, weil bei der anaeroben Schlammstabilisierung im Faulbehälter der Zulauf-CSB (in Form von Primär- und Überschussschlamm) nicht oxidiert wird, sondern biologisch teilweise in Methan (CH₄) umgeformt wird. Die Summe aus dem CSB des produzierten Methans und der CSB-Fracht des ausgefaulten Schlammes muss der CSB-Fracht des Überschuss- und Primärschlammes entsprechen (die dem Faulbehälter zufließende CSB-Fracht) (Abb. 13)

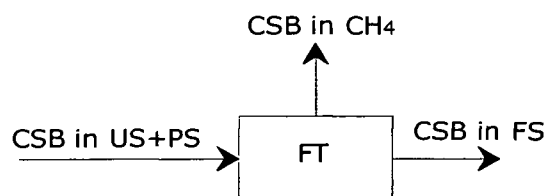


Abb. 13 CSB-Bilanz einer anaeroben Schlammbehandlungsanlage

Die CSB-Bilanz eines Faulturms kann folgendermaßen beschrieben werden (Gl.7):

$$Q_{FTzu} \cdot CSB_{zu/ps+üs/} - Q_{FTab} \cdot CSB_{Ab FS} = Q_{Faulgas} \cdot CSB_{Faulgas} \quad \text{Gl.7}$$

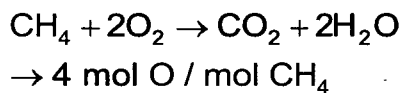
Svardal (1997) weist darauf hin, dass die Messung von CSB der Schlämme schwierig und fehleranfällig ist. Besonders wichtig ist eine sehr gute Homogenisierung der Proben. Typischer Weise enthält 1 g oTS zwischen 1,4 und 1,5 g CSB, es ist zulässig, den CSB mit diesen Werten näherungsweise aus der org. Trockensubstanz zu berechnen.

$$CSB(PS+ÜS) = \text{oTS des Rohschlammes} \times 1,42 \quad [\text{g/l}]$$

$$CSB_{FS} = \text{oTS des stabilisierten Schlammes} \times 1,42 \quad [\text{g/l}]$$

$$CSB_{Faulgas} = \text{CH}_4\text{-Gehalt} \times 2,86 = (1 - \text{CO}_2\text{-Gehalt}) \times 2,86 \quad [\text{kg CSB/Nm}^3\text{CH}_4]$$

Der CSB des Faulgases läßt sich berechnen, sofern der Methangehalt bekannt ist. 1 Nm³ CH₄ entspricht einem CSB von 2,86 kg, was einfach abzuleiten ist (Gl.8)



$$\left. \begin{array}{l} \text{O: } 16 \text{ g/mol} \\ \text{Gas: } 22,4 \text{ mol/Nl.} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{4 \cdot 16 \cdot 1000}{22,4 \cdot 1000} = \underline{2,86 \text{ kg/Nm}^3} \quad \text{Gl.8}$$

Der Faulgasanfall und der Methangehalt (bzw. eher der CO₂-Gehalt) werden meist gemessen.

Bei Faulgasnutzung mit Gasmotor und Generator kann dieser Wert zusätzlich anhand der gewonnenen Energie überprüft werden.

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \approx 10 \text{ kWh};$$

$$\eta (\text{Gasmotor} + \text{Generator}) = 25 - 40\%$$

Somit ist ein Energiegewinn von etwa 2,5 bis 4 kWh_{elektr.}/Nm³ CH₄ zu erwarten, wenn das Faulgas mit Gasmotoren in mechanische (elektrische) Energie umgewandelt wird. Durch die CSB-Bilanz des Faulbehälters können die Faulgasmengenmessung oder die TS-Messungen verifiziert werden.

4.1.4.3. Stickstoff

Die Stickstoffbilanz ist die problematischste Bilanz, weil der Stickstofffluss über die Denitrifikation (in Form von gasförmigem N_2) nicht oder nur sehr schwer meßtechnisch erfasst werden kann.

Daher muss er aus den anderen Zu- und Abflüssen errechnet werden. Eine Überprüfung der Stickstoffflüsse ist nur in Ausnahmefällen möglich. Trotzdem ist die Erstellung von Stickstoffbilanzen insbesondere bei nitrifizierenden/denitrifizierenden Anlagen von großer Bedeutung, denn sie erlaubt eine Quantifizierung beider Prozesse.

Für die Stickstoffbilanzierung ist es notwendig zu wissen, welche Möglichkeiten es für die Stickstoffumsetzung gibt (Abb.14):

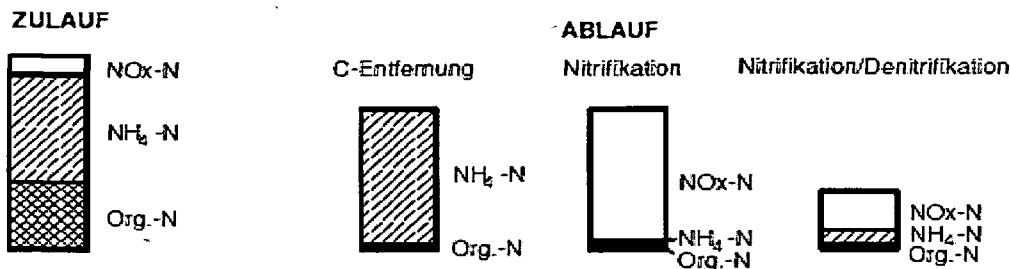


Abb. 14 Stickstoffmodifikationen im Abwasser (Quelle: Wiener Mitteilungen Band 202)

- im Zulauf

Nitrat kann im allgemein vernachlässigt werden. So kann der Gesamtstickstoff etwa dem TKN gleichgesetzt werden. Die Rückläufe aus der Schlammbehandlung müssen aber entweder messtechnisch oder durch die Bilanzierung des Systems „Schlammbehandlung“ abgeschätzt werden

- im Ablauf

Der verbleibende Stickstoff liegt als Ammonium (bei Anlagen mit Kohlenstoffentfernung) oder als Nitrat (bei Anlagen mit Nitrifikation) vor. Erst in Anlagen mit bewusst geschaffenen anoxischen Zonen ist eine gezielte Stickstoffentfernung über Denitrifikation möglich. In diesem Fall liegen die Ablaufkonzentrationen an Nitrat dementsprechend deutlich unter den Werten für Anlagen, die vornehmlich auf Nitrifikation ausgelegt sind.

— Stickstoffbilanz einer biologischen Anlage mit Nitrifikation / Denitrifikation

Die Erstellung einer Bilanz der Stickstoffflüsse einer solchen Anlage erfolgt im folgenden exemplarisch anhand der Annahme für eine vorgeschaltete Denitrifikation (wie bei der Kläranlage Schwechat) (Abb.15):

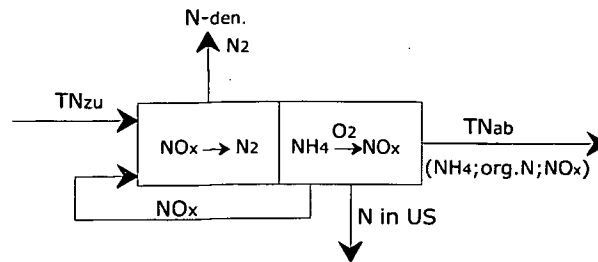


Abb. 15 Stickstoffflüsse einer nitrifizierenden/denitrifizierenden Anlage mit vorgeschalteter Denitrifikation

Die Stickstoffbilanz lässt sich mit Gleichung 9 berechnen:

$$Q_{zu} \cdot TN_{zu} - Q_{ab} \cdot TN_{ab} = \eta TN = Q_{üs} \cdot TS_{üs} \cdot N/TS + N\text{-den} \quad \text{Gl.9}$$

$$\rightarrow N\text{-den.} = Q_{zu} \cdot TN_{zu} - Q_{ab} \cdot TN_{ab} - Q_{üs} \cdot TS_{üs} \cdot N/TS \quad \text{Gl.10}$$

Der denitrifizierte Stickstoff kann nicht mit einfachen meßtechnischen Methoden erfaßt werden. Deshalb ist, wie schon gesagt, eine „geschlossene“ Stickstoffbilanz, im Gegensatz zu den vorhergehenden Beispielen oder zur Phosphorbilanz, nicht möglich.

➤ Möglichkeiten der Plausibilitätsprüfung bei Stickstoffbilanzen

Fehler der Stickstoffbilanz führen zu einer Fehleinschätzung der Denitrifikation. Es gibt Möglichkeiten, die eine Plausibilitätsprüfung der Stickstoffbilanz und daher auch Plausibilitätsprüfung der Messergebnisse erlauben:

- Vergleich der nitrifizierten Stickstofffracht (N-nit.) mit der Fracht an oxidierten Stickstoffverbindungen (NO_x) im Ablauf:

$$N\text{-nit.} = Q_{zu} \cdot TKN_{zu} - Q_{üs} \cdot TS_{üs} \cdot N/TS - Q_{ab} \cdot (\text{NH}_4 + \text{org.N}_{ab}) \geq Q_{ab} \cdot (\text{NO}_x) \quad \text{Gl.11}$$

- Abschätzung der „Nitratatmung“ (Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffatmung mit Nitrat als Elektronenakzeptor, OVD, in $\text{kg O}_2/\text{d}$) aus der denitrifizierten Stickstofffracht (Gl.12)

$$\text{OVD} = 2,86 \cdot N\text{-den.} \quad \text{Gl.12}$$

Somit schließt sich der Kreis zur CSB-Bilanz. Die Kopplung der Stickstoff- mit der CSB-Bilanz auf nitrifizierenden/denitrifizierenden Anlagen ermöglicht eine wertvolle gegenseitige Überprüfung der beiden „offenen“ Bilanzen. Aus dem Verhältnis der Frachten OVD zu OVC kann weiters die Plausibilität der Ergebnisse der Bilanzierung überprüft werden, denn Gleichung 13 muss erfüllt werden (Abwasserverband "An der Traisen", 2002):

$$\frac{OVD}{OVC} < \frac{V_{\text{anoxisch}}}{V_{\text{gesamt}}} < 1 \quad \text{Gl.13}$$

- Abschätzung des abgezogenen Überschussschlammes

Wesentlich für die Stickstoffbilanz ist der Stickstoffgehalt des abgezogenen Überschussschlammes. Nachdem sich der Stickstoffgehalt der Biomasse wie auch der Phosphorgehalt entsprechend langsam ändert, genügen wenige Analysen, um abgesicherte Werte zu erhalten. Aber der Stickstoffabzug mit dem Überschussschlamm, sollte durch die Überprüfung des Überschussschlammabzuges aus der CSB- bzw. der Phosphorbilanz überprüfbar sein.

4.1.4.4. Feststoffbilanzen

Für das Gesamtsystem „Abwasserreinigungsanlage“ ist keine Feststoffbilanz möglich. Die Ursache dafür ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass ein Teil der zugeführten Feststoffe in lösliche Verbindungen umgewandelt und gelöste Stoffe in Feststoffe umgebaut werden. Die Feststoffbilanz kann für mechanische Teilsysteme erstellt werden. So werden die Messung der Volumensströme bzw. die TS-Messungen überprüft.

— Feststoffbilanz eines Voreindickers

In einem Voreindicker finden Hydrolysevorgänge statt, aber so gering, dass sie nicht berücksichtigt werden müssen. So ist der Voreindicker als mechanisches Teilsystem zu bezeichnen.

Die Feststoffströme für einen Eindicker (Abb. 16) sind wie die einer MÜSE oder einer Zentrifuge darzustellen, weil die eingesetzten org. Flockungshilfsmittelfrachten gering sind und daher nicht berücksichtigt werden brauchen.

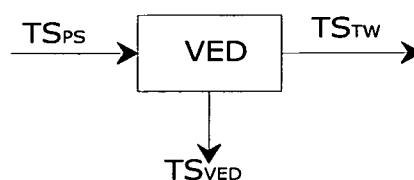


Abb. 16 Feststoffflüsse eines Voreindickers

Die Feststoffbilanz lässt sich mit Gleichung 14 berechnen:

$$Q_{PS} \cdot TS_{PS} = Q_{TW} \cdot TS_{TW} + Q_{VED} \cdot TS_{VED} \quad \text{Gl.14}$$

wo $Q_{TW} = Q_{PS} - Q_{VED}$ (Kontinuitätsgleichung). Diese Gleichung gilt, sofern der Füllstand des Eindickers am Anfang und am Ende des Betrachtungszeitraumes gleich ist. Eine solche Bilanz ist nur über längere Zeiträume sinnvoll, weil die Menge der Feststoffe im System praktisch nicht ermittelt werden kann und bei längeren Bilanzzeiträumen die Schwankungen der Feststoffmenge im System im Vergleich zu den durchgesetzten Feststofffrachten vernachlässigbar sind.

„Der große Wert von Feststoffbilanzen besteht darin, dass Messungen aus Stichproben (alle TS-Messungen) überprüft werden können. Man erhält damit eine wesentlich größere Sicherheit über die abgezogenen Feststofffrachten.“ (Svardal, 1997)

— Bilanz der anorg. Feststofffrachten eines Faulbehälters (Faulturm)

Eine Bilanz der Feststoffströme eines Faulbehälters ist nicht möglich, weil ein Teil durch anaerobe Abbauvorgänge in Faulgas umgewandelt wird. Die *anorganischen* Feststoffe bleiben aber weitgehend unverändert, wenn keine chemischen Lösungs- bzw. Fällungsvorgänge stattfinden. Bei kommunalen Faulbehältern ist es möglich, eine solche Annahme zu machen, weil in dem Fall die Calciumgehalte im Vergleich zur anorg. Trockenzubstanz relativ gering sind und die CaCO_3 -Fällung bei der anaeroben Behandlung vernachlässigt werden kann. Dies gilt natürlich nicht, wenn etwa Kalkhydrat zur Anhebung des pH-Werts im Faulbehälter zugegeben wurde.

Der Faulschlamm wird üblicher Weise aus verschiedenen Höhen im Faulbehälter abgezogen, deshalb gibt die Einbeziehung des Nacheindicker in die Bilanz genauere Ergebnisse. Es ist möglich, auch die Schlammentwässerung einzubeziehen, wenn dort keine anorganischen Zuschlagstoffe (z.B. Kalk, Steinmehl) zugesetzt werden. In Abbildung 17 sind die möglichen Systemgrenzen für eine Bilanzierung von aTS dargestellt.

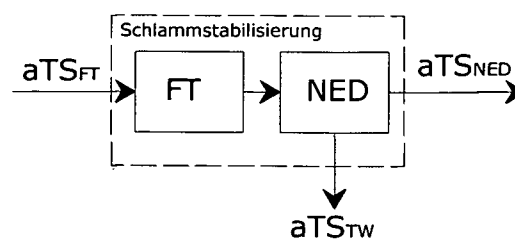


Abb. 17 aTS-Ströme einer anaeroben Schlammbehandlungsanlage

„Auch diese Bilanz kann dazu dienen, eine repräsentative Entnahme der Schlammproben zu verifizieren. Man kann damit aber auch überprüfen, ob es zu einer Speicherung von anorganischen Feststoffen im Faulbehälter (Sandablagerungen) kommt.“ (Svardal, 1997)

4.2 Atmungsmessungen

4.2.1 Einleitung

Die Atmungsmessung ist eine Methode zur Bestimmung von Umsatzgeschwindigkeiten aerober Mikroorganismen. Die Messung des Sauerstoffverbrauchs von Belebtschlamm stellt ein einfaches und zugleich aber zuverlässiges Werkzeug sowohl zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Belebungsanlagen bzw. Belebtschlamm als auch zur Charakterisierung von Abwasser dar. In aeroben Systemen sind die Umsatzraten der verschiedensten Substrate sehr eng mit dem Verbrauch von Sauerstoff verbunden. Der große Vorteil der Atmungsmessung besteht darin, daß bei dieser Methodik Umsatzraten mit Hilfe einer Sauerstoffelektrode, also ohne chemische Analytik ermittelt werden können.

4.2.2 Anwendung

Neben der Überprüfung der Kohlenstoffatmung (OVC) im Rahmen einer CSB- Bilanz können Atmungsmessungen in folgenden Fällen zum Einsatz kommen:

- Abschätzung der „Reserven“ bei der Nitrifikation, d.h. der Aktivität der Bakterien bei der Oxidation von Ammonium. (OVN)
- Wie viel Rückläufe aus der Schlammbehandlung als Trüb- oder Presswasser können der Belebung zugeleitet werden können, ohne, dass das Ammonium im Ablauf merkbar ansteigt. (OVN)
- Ermittlung und Dokumentation einer zeitweise auftretenden und durch den Zulauf zur Kläranlage bedingten Nitrifikationshemmung. (OVN)
- Abschätzung der „Gefährlichkeit“ (Hemmung der Nitrifikation und des Kohlenstoffabbaues) von verschiedenen Abwässern z.B. aus Gewerbe und Industrie auf eine Belebtschlammanlage.
- Ermittlung der maximalen CSB-Fracht, die von der Belebtschlammanlage abgebaut werden kann; z.B. bei Anlagen mit Kellereiabwässern (saisonale Stoßbelastung).
- Charakterisierung von Abwässern z.B. aus Gewerbe und Industrie ob das Abwasser leicht, schwer oder nicht abbaubare Stoffe enthält. (OVC)

4.2.3 Grundlagen

Sauerstoff wird von den Mikroorganismen verbraucht, und das führt zum Abbau / Umbau von Schmutzstoffen. So entspricht 1 mg CSB 1 mg O₂, benötigt und für 1 mg NH₄-N werden 4,3 mg O₂ benötigt. (Kroiss, 2007)

Sauerstoffverbrauch der Mikroorganismen = Atmung in mg / L · h } Koppelung
 Abbau / Umbau von Schmutzstoffen mg / L · h

Bei bekanntem Sauerstoffverbrauch ist es möglich, die von den Mikroorganismen umgesetzte CSB - bzw. Ammoniummenge zu bestimmen. Die CSB-abbauenden und nitrifizierenden Bakterien sitzen gemeinsam in den Belebtschlammflocken, deshalb resultiert der Sauerstoffverbrauch aus den Umsätzen beider Bakteriengruppen. Durch den Einsatz des Nitrifikationshemmstoffs ATH können die nitrifizierenden Bakterien gehemmt werden und damit kann der Umsatz der CSB-abbauenden Mikroorganismen alleine gemessen werden. Beim Weglassen von ATH wird der Sauerstoffverbrauch der nitrifizierenden und kohlenstoffabbauenden Bakterien gemessen.

Wir unterscheiden daher zwei Arten des Sauerstoffverbrauches:

- O₂-Verbrauch zufolge des Kohlenstoff -Abbaues [C] (OVC)
- O₂-Verbrauch zufolge der Nitrifikation [Nitrif] (OVN)

4.2.4 Begriffsdefinitionen

Sofortatmung O_{Vs}: Sauerstoffverbrauch des frisch aus dem Belebungsbecken entnommenen Belebtschlammes. Je nach Belastung und Reinigungsleistung werden dabei der Sauerstoffverbrauch zufolge des Kohlenstoffabbaues (OVC_s) und der Nitrifikation erfasst.

Kohlenstoffgrundatmung OVC_g: Sauerstoffverbrauch, der aus dem Abbau von gespeichertem CSB und zerfallenden Bakterien resultiert. Diese Atmung wird auch als „endogene“ Atmung bezeichnet.

Kohlenstoffmaximalatmung OVC_{max}: Sauerstoffverbrauch für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen, der bei Substratüberschuss auftritt. Die Kohlenstoffmaximalatmung ist ein Maß für die Anzahl und Aktivität der heterotrophen Bakterien im Belebtschlamm.

Stickstoffmaximalatmung OVN_{max} : Sauerstoffverbrauch, der für die biochemische Oxidation von Ammonium maximal auftreten kann.

OVC_{max} und OVN_{max} sind von Bedeutung, weil sie folgende Information liefern:

- Hinweise auf die maximale Leistungsreserve, Nitrifikationskapazität
- das Erkennen von einleitungsbedingten Störungen der Nitrifikation (bei Einleitung von Hemmstoffen)
- Sauerstoffverbrauch bei Stoßbelastung

In Abhängigkeit von Erfahrungswerten ist es möglich, verschiedene Schlussfolgerungen zu ziehen:

- Ein hohes Verhältnis von Maximal- zu Grundatmung ist ein Zeichen für eine gut arbeitende Anlage, die auch Stoßbelastungen verkraften kann.
- Liegen alle Atmungen sehr nahe beieinander, so ist mitunter beim Betrieb der Anlage mit Schwierigkeiten zu rechnen, weil kaum Reservekapazität für Belastungsspitzen vorhanden ist.
- Bei schwach belasteten Belebungsanlagen ist OVC_{max} mindestens 4-mal so hoch wie OVC_g .

4.2.5 Praktische Ermittlung des Sauerstoffbedarfs OVC für die Bilanzierung

Bei regelmäßiger Bestimmung der Kohlenstoffatmung wird **bei der Atmungsmessung** dem mit ATH versetzten Schlamm die Tagesmischprobe entsprechend der mittleren hydraulischen Verweilzeit in das Atmungsgefäß zugegeben. Daraus wird die Kohlenstoffsubstratatmung $OVCs$ ($mgO_2/l.h$) ermittelt. Sie ist mit dem gesamten Belebungsbeckenvolumen zu multiplizieren und auf einen Tag zu beziehen (Gl.15), damit die Bilanz geschlossen werden kann.

$$OVCs \text{ (kg } O_2/d) = OVCs \text{ (mg } O_2/l.h) \cdot 1/1000 \cdot V_{BB} \text{ (m}^3) \cdot 24 \text{ (h/d)} \quad \text{Gl.15}$$

Bei schwach belasteten Anlagen können repräsentative Ergebnisse auch durch stichprobenartige Messungen der Kohlenstoffsofortatmung erzielt werden.

Aufgrund des stichprobenartigen Charakters jeder Atmungsmessung, können Schwankungen in der Trockensubstanz des verwendeten Belebtschlammes auftreten, die zu Ungenauigkeiten führen. Bei gleichmäßiger Belastung sind zwei Messungen pro

Woche genug, um die Größenordnung von OVC zu erfassen, in anderen Fällen aber sollte so oft gemessen werden, wie Belastungszustände zu betrachten sind. Sehr oft werden bei den Atmungsmessungen zu geringe Mengen oder bereits gealtertes ATH verwendet, was zu falschen Ergebnissen führt. Solch negativen Einfluss hat auch die Nichtberücksichtigung des Temperaturunterschieds zwischen Atmungsmessung und vorhandener Temperatur im Belebungsbecken.

Alternativ kann der gesamte Sauerstoffverbrauch (OV) auch direkt **über den Energieverbrauch** für die Belüftung abgeschätzt werden. Bei bekanntem Sauerstoffertrag OP [kg O₂/kWh] und Energieverbrauch EV für die Belüftung [kWh/d] ist es möglich die Atmung OV in [kg O₂/d] zu errechnen (Gl.16).

$$OV = OP \cdot EV \cdot (c_s - c_x) / c_s \text{ [kg O}_2\text{/d] Gl.16}$$

cs Sättigungswert [g O₂/m³]

cx Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken

Liegen Werte aus Sauerstoffzufuhrversuchen in Reinwasser vor, ist der OP-Reinwasserwert um den α -Wert abzumindern (für Druckbelüftung ca.0,6; für Oberflächenbelüftung ca.0,9) (Svardal, 1997).

Zur Abschätzung der Kohlenstoffsubstratatmung OVCs über den Energieverbrauch muss bei nitrifizierenden Anlagen auch der Sauerstoffbedarf für die Nitrifikation OVNs berücksichtigt werden.

5. BILANZIERUNG DER KLÄRANLAGE SCHWECHAT

Die Gesamtbilanz der Kläranlage Schwechat, sowie Bilanzen über einzelne Teilsysteme wurden für einen Zeitraum von 5 Monaten berechnet: 01.03.2008 – 31.07.2008. Damit haben Änderungen der Stoffinhalte der Behälter vernachlässigbarer Einfluss. Das Fließschema der Kläranlage ist Abbildung 18 zu entnehmen. Dabei sind alle Wasser- bzw. Schlammströme eingezeichnet, die für die Bilanzierung verwendet wurden.

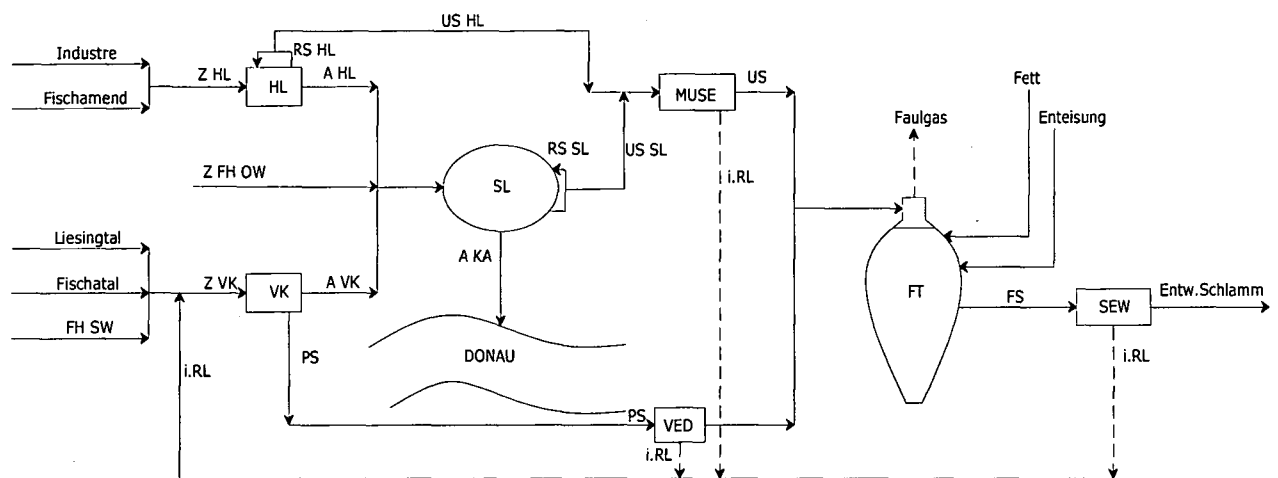


Abb. 18 Vereinfachtes Verfahrensschema der Kläranlage Schwechat

5.1 Messungen

5.1.1 Mengenmessungen

In Schwechat werden an den sechs Zuläufen und an dem Ablauf der Kläranlage die Wassermengen durch Online-Messgeräte (MID, Venturi) gemessen. Für die Bilanzzeit wurden die folgende Tagesmittelwerte berechnet:

Wassermenge [m ³ /d]	Liesingtal	Fischatal	Industrie	Fischamend	FH SW	FH OW	Ablauf KA
Q	9450	4770	8889	1061	1441	282	26491

Tab.1 Mittlere Wassermengen im Zulauf der KA Schwechat

5.1.2 Zu- und Ablaufkonzentrationen

Im Labor der KA Schwechat werden die Konzentrationen der üblichen Belastungsparameter aller Zuläufe, des Ablaufes sowie des internen Rücklaufes bestimmt.

5.1.1.1 CSB

Die gemessene Werte für CSB sind in Tabelle 2 eingetragen. Dabei sind noch die BSB₅ Werte mit angeführt, die die Plausibilität von CSB- Daten beweisen. Auf kommunalen Anlagen sind sie im Zulauf etwa halb so hoch wie der CSB (Kroiss, 2007). In Schwechat ist aber zu sehen, dass CSB meist weniger als 2·BSB₅ ist. Die Ursache liegt im hohen industriellen Abwasseranteil auch in den kommunalen Zuläufen.

Zu/Abläufe:	Liesingtal	Fischatal	Industrie	Fischamend	FH SW	FH OW	Ablauf KA
BSB ₅ g/m ³	566	243	238	493	665	1140	5,4
CSB g/m ³	933	416	526	800	1275	1785	28

Tab.2 BSB₅ und CSB- Zu- und Ablaufkonzentrationen

Bei kommunalen Abwässern liegt der CSB bei einer Wassermenge von 200 l pro Einwohner und Tag ungefähr bei 600 mg/l (ATV 2000).

In Liesingtal und Fischamend ist eine höhere Konzentration an CSB zu betrachten. Die Ursache dafür sind die Zuflüsse von Abwasser aus der Brauerei (Liesingtal) und Loba Feinchemie (Fischamend), die reich an (leichtabbaubaren) Kohlenstoffverbindungen sind.

Im Schmutzwasser vom Flughafen stellt sich auch eine höhere CSB-Konzentration ein, weil dort nur Schmutzwasser fließt und kein Mischwasser.

Die Konzentration im Oberflächenwasser vom Flughafen ist besonders hoch, da nur das stark verschmutzte OW auf die Kläranlage kommt. Die Werte sind aber nicht mit jenen der kommunalen Abwässer vergleichbar.

5.1.1.2 Gesamtstickstoff

Die Bestimmung der Gesamtstickstoffkonzentration wird in Schwechat nur 2 Mal in der Woche durchgeführt. Das führt zu einer geringeren Datendichte und damit zu unsicheren Ergebnissen bei der Ermittlung des Tagesmittelwerts für den Bilanzzeitraum. Im Gegensatz dazu steht eine ausreichende Anzahl von NH₄-N Daten zur Verfügung. Das Dividieren der NH₄-N Konzentration durch den Faktor 0,6 (Multiplikation mit 1,7 (Scheffknecht, 2005)) liefert eine Abschätzung der durchschnittlichen

Gesamtstickstoffgehalte im Zulauf. Eine Verbesserung wird durch die empirische Ermittlung dieses Faktors (0,5 – 0,8) für die jeweilige Kläranlage erreicht. Für die Berechnung von Einzelwerten, die Voraussetzung für eine korrekte Ermittlung des momentanen Eliminationsgrades sind, ist dieses Verfahren nur mit größeren Fehlern bedingt anwendbar. Bei Betrachtung größerer Zeiträume kann aber zumeist bei kommunalem Abwasser eine relativ gute Näherung an den tatsächlichen Wert erreicht werden.

Dieser Faktor (mittleres Verhältnis zwischen NH_4/TN) wurde für die 6 Zuläufe während des Bilanzzeitraumes von 5 Monaten berechnet und weiter benutzt, um die Gesamtstickstoffkonzentrationen aus den NH_4 - Werten zu bestimmen. Diese Umrechnung ist unten ausführlich beschrieben und die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Die Mittelwerte (c) von TN werden aus dem Verhältnis zwischen den Ammoniumtagesmittelwert (a)

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n \text{NH}_4 - \text{N}_{j,k}}{n}, \quad \begin{cases} n=153 \text{ Tage (1.03-31.07)} \\ k - \text{die einzelne Zuläufe} \end{cases} \quad \text{Gl.17}$$

und dem Mittelwert des Tagesverhältnisses zwischen Ammonium und Gesamtstickstoff (b)

$$b = \frac{\sum_{j=1}^m \text{NH}_4 - \text{N}_{j,k} / \text{TN}_{j,k}}{m} \quad m = \text{Tage, wenn die TN-Konzentrationen bekannt sind} \quad \text{Gl.18}$$

berechnet: $\rightarrow c = a / b$ Gl.19

Die zweite Weise für TN Bestimmung ist direkt aus den TN-Tagesmittelwerten (d)

$$d = \frac{\sum_{j=1}^m \text{TN}_{4,j,k}}{m} \quad \text{Gl.20}$$

Wie jedoch schon erwähnt wurde, sind die Werte nach (d) wegen der geringen Datenlänge nicht maßgebend. Nur die Berechnung von TN am Ablauf der Kläranlage erfolgt mittels Gleichung 22, weil dort die Ammoniumkonzentration sehr gering ist.

$$\text{TN}_{\text{zu}} = \text{NH}_4 + \text{N}_{\text{org}} \quad \text{Gl.21}$$

$$\text{TN}_{\text{ab}} = \text{NH}_4 + \text{NO}_3 \quad \text{Gl.22}$$

Zu / Abläufe:		Liesingtal	Fischatal	Industrie	Fischamend	FH SW	FH OW	Ablauf KA
NH ₄ - Tagesmittelwert	a	30	21	25	47	66	15	
NH ₄ /TN- Mittelwert der Tagesverhältnisse	b	0,62	0,60	0,81	0,70	0,75	0,55	
TN- Mittelwerte aus Mittelkonzentrationen von NH ₄	c	49	35	31	68	88	27	
TN- Tagesmittelwert	d	45	32	31	61	86	20	9,8

Tab.3 TN Konzentrationen

Bei einem Vergleich beider Berechnungsmethoden für TN (mittels Gl.19 und Gl.20) ist zu sehen, dass der Unterschied gering ist und es daher zulässig ist mit Gl.20 zu rechnen.

Als übliche Werte für die Gesamtstickstoffkonzentration in kommunalen Abwässern gelten 55-60 mg/l (bei 200 l/E.d) (AVT 2000). Bei dem Vergleich der Messdaten mit den üblichen Werten ist zu sehen, dass bei dem Flughafen SW der Gesamtstickstoff einen höheren Wert erreicht. Dies ist auf einen geringeren Abwasseranfall pro EW₁₁ zurückzuführen. Bei Flughafen SW ist die Wassermenge geringer, enthält dafür aber große Stickstoffkonzentration. Die Abwässer von der Industrie und FH OW sind nicht mit den kommunalen Werten vergleichbar.

5.1.1.3 Gesamtphosphor

Durch den Ersatz von Phosphaten in den Waschmitteln ist der Gesamtphosphoranfall im häuslichen Abwasser seit den 80er Jahren von ca. 5 g auf rd. 2 g P/E·d zurückgegangen (Nicolavcic, 1998). Für Österreich konnte über eine Bilanzierung ausgehend von der landwirtschaftlichen Produktion und dem Konsum von Lebensmitteln und sonstigen phosphorhaltigen Gebrauchsgütern gezeigt werden, dass der Phosphorgehalt im Abwasser der Haushalte bei ca. 1,6 bis 2 g/E·d (8-10 mg/l) liegen müsste (Nicolavcic, 1998). Etwa 0,2 g P/E·d davon kommen aus unterschiedlichen Gebrauchsgütern wie Geschirrspülmittel, Waschmittel etc., der Rest aus den menschlichen Ausscheidungen und Speiseresten. Im kommunalen Abwasser liegt der spezifische Phosphoranfall durch den geringeren Phosphoranteil in gewerblichen und industriellen Abwässern derzeit bei etwa 1,5 g P/EW·d (Nicolavcic, 1998). Bei kleinen Anlagen ist der P-Anfall vorwiegend durch das häusliche Abwasser geprägt und beträgt etwa 1,7 g/EW·d (Nicolavcic, 1998). Derzeit steigt der Phosphorgehalt je EW₁₁₀ wegen der steigenden Nutzung von Geschirrspülnern und „Tabs“ wieder (Osma-Bericht, 2008).

Die Gesamtposphorkonzentrations-Mittelwerte werden wie jene von TN berechnet, d.h. vom Verhältnis zwischen PO_4 - Tagesmittelwert und dem Mittelwert der Tagesverhältnisse zwischen PO_4 und TP. Für den Vergleich werden auch die TP- Mittelwerte als Tagesmittelwerte berechnet.

In Schwechat sind folgende Ergebnisse zu betrachten:

Zu / Abläufe:		Liesingtal	Fischatal	Industrie	Fischamend	FH SW	FH OW	Ablauf KA
PO_4 - Tagesmittelwert	A	5,0	3,3	0,08	6,3	12	4,65	0,43
PO_4/TP - Mittelwert der Tagesverhältnisse	B	0,68	0,71	0,50	0,76	0,87	0,55	0,85
TP- Mittelwerte aus Mittelkonzentrationen von PO_4	C	7,4	4,6	0,15	8,4	14	8,5	0,50
TP- Tagesmittelwert	D	7,2	4,9	0,15	7,8	15	7,5	0,61

Tab.4 TP Konzentrationen

Im Industrieabwasser ist die Phosphorkonzentration sehr gering, was für einen geringen Phosphoreinsatz bei der Produktion spricht, wie es für die Erdölverarbeitung zu erwarten ist.

Die Erklärung für die höhere Phosphorkonzentration im Schmutzwasser des Flughafens ist wieder (wie bei CSB und Stickstoff) die geringere Wassermenge pro $EW_{1,8}$.

In Liesingtal und Fischamend zeigen die Ergebnisse eine gute Übereinstimmung mit der langjährigen Erfahrung. Im Unterschied dazu stellt sich in Fischatal eine geringere als die erwartete Phosphorkonzentration ein. Dies wurde auch bei den anderen Zulaufparametern (CSB, N) beobachtet. Die Ursache ist möglicherweise Fremdwasser oder ein erhöhter Wasserverbrauch der Einwohner.

5.1.1.4 Prüfung der Daten auf Plausibilität

Im vorangehenden Kapitel wurden einige der gemessenen Werte mit den in der Praxis auftretenden verglichen, d.h. einige Plausibilitätprüfungen sind schon erfolgt. Weitere Prüfungen sind zusätzlich möglich:

Die Zuläufe (Q, CSB, NH_4-N , PO_4-N) für die einzelnen Tagen wurden graphisch auf Ausreißer überprüft. Dank dieser Anfangsüberprüfung von Messdaten wurde ein Wert gefunden, der offensichtlich falsch ist. Am 11.07.2008 liegt die NH_4-N -Konzentration in Fischatalzulauf bei $257,60 \text{ g/m}^3$, während alle andere Werte zwischen $5,00 - 36,00 \text{ g/m}^3$ liegen. Dieser Wert wird bei der Bilanzierung nicht mitbetrachtet.

Eine andere Überprüfungsmethode zur Absicherung von künftigen Aussagen erfolgt über die Verhältnisse zwischen TN/CSB und TP/TN für den einzelnen Tagen. Die Normalwerte für kommunalen Abwässerzuläufe sind wie folgt:

CSB g/E.d	N g/E.d	P g/E.d
110-120	11-12	1,6-1,8

$$TN/CSB \cong 10\%$$

$$TP/TN \cong 15\%$$

(AVT 2000)

Die Zuläufe, die höhere Durchflüsse aufweisen, d.h. größere Bedeutung für die anschließenden Berechnungen haben, sind besonders zu betrachten. Dazu zählen die Zuläufe von Liesingtal, Fischatal, Industrie und Flughafen Schmutzwasser. Die Verhältnisse sind grafisch dargestellt (Abb. 22 – 26)

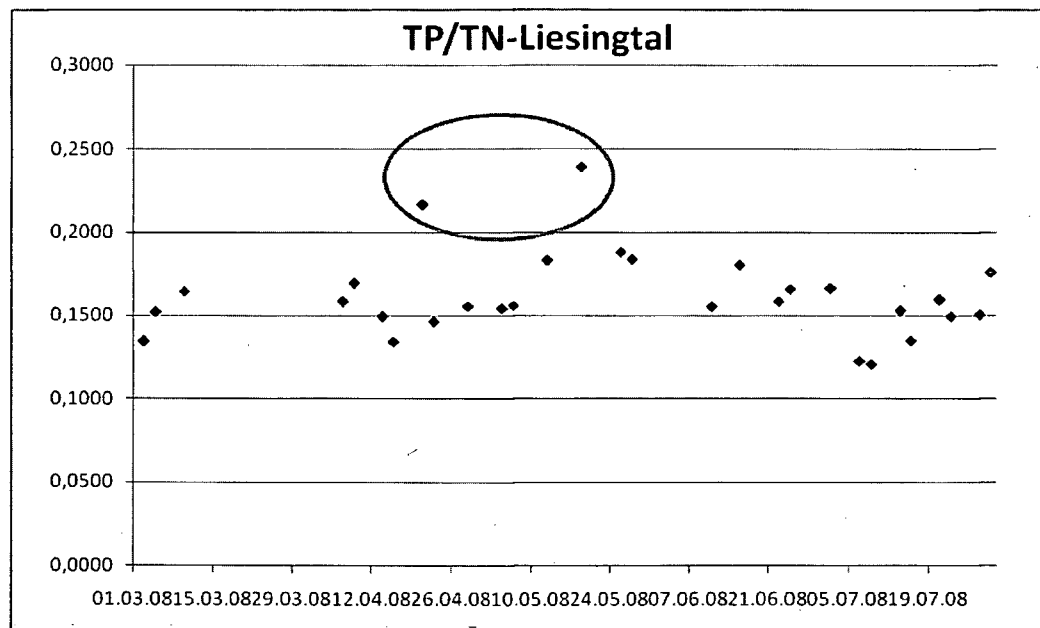


Abb. 19 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Liesingtal für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07

Die TP/TN-Verhältnisse für die kommunalen Abwässer (Liesingtal und Fischatal) zeigen einen konstanten Verlauf zwischen 12-19%. Im Zulauf von Liesingtal liegen an zwei Tagen die TP/TN-Verhältnisse bei über 20%. Die Ursache dafür liegt möglicherweise an einer längeren Trockenperiode und nachfolgendem Regen, was zur Erhöhung des Phosphorkonzentration im Zulauf führen kann. Eine andere Ursache wäre eine Reinigung in einem Industriebetrieb. Eine solche Vermutung ist naheliegend, weil für diese Tage ein erhöhter TP - Zulauf gemessen wurde.

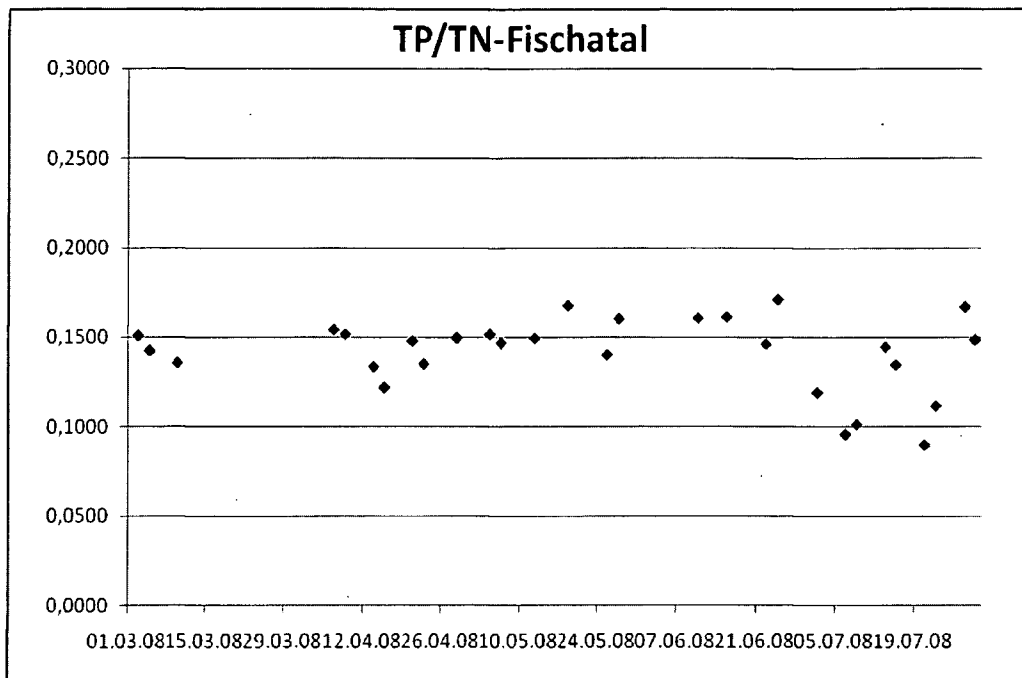


Abb. 20 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Fischatal für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07

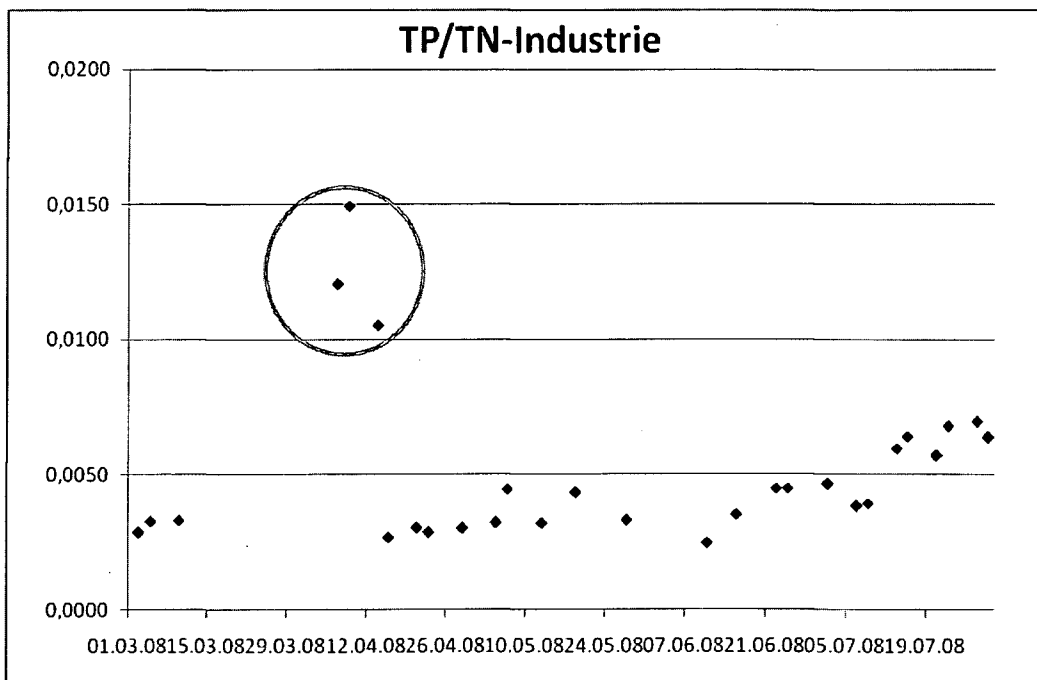


Abb. 21 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Industrie für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07

Abbildung 21 zeigt einen geringeren Anteil Phosphor im Vergleich zu Stickstoff in den Industrieabwässer was Ergebnis der phosphorarmen Produktion der Betriebe in Schwechat ist (Raffinerie). Drei Tage aber unterscheiden sich mit einem erhöhten Phosphorgehalt bezogen auf Stickstoff. Diese Tage weisen ebenso eine erhöhte TP-Konzentration im Zulauf auf und liegen in einem kurzen Zeitintervall. Vermutlich kamen an diesen Tagen phosphorhaltige (Reinigungs-) Stoffe zum Einsatz.

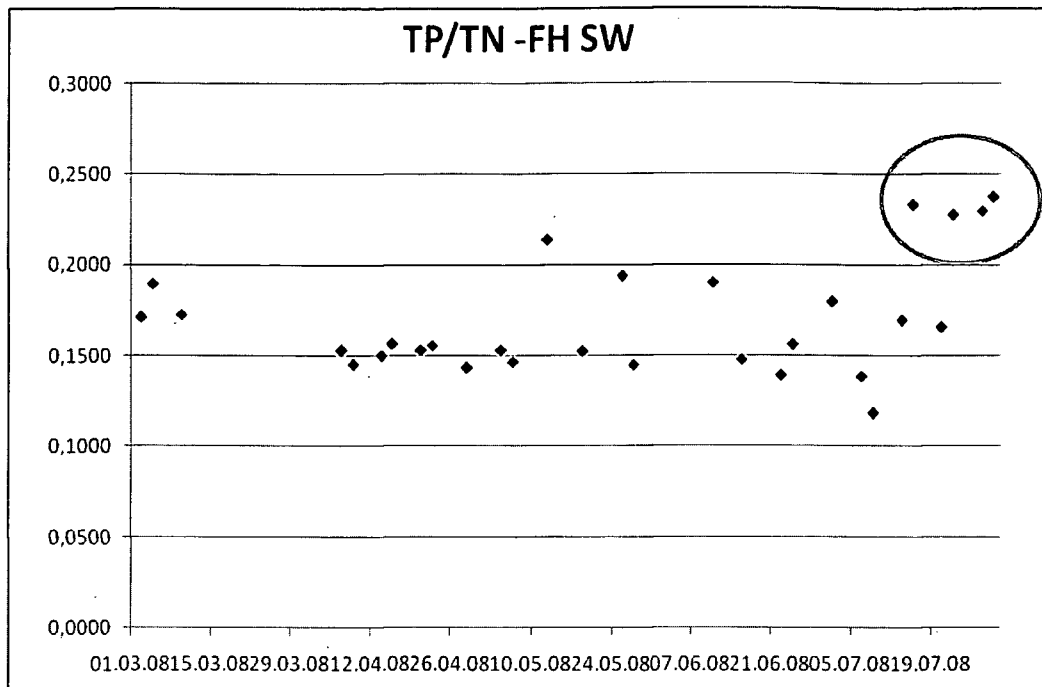


Abb. 22 Verhältnis zwischen TP/ TN im Zulauf Flughafen Schmutzwasser für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07

Von Abbildung 22 ist zu sehen, dass die an Phosphor reichsten Abwässer jene sind, die vom Flughafen kommen (TP/TN-Verhältnis liegt zwischen 15-22%). Für die erhöhten Werte der letzten Tage im Juli gibt es keine Begründung, weil der Bilanzzeitraum hier endet und der weitere Verlauf nicht bekannt ist.

Die TN/CSB-Verhältnisse der einzelnen Zuläufe zeigen keine Besonderheiten. Sie schwanken in den Grenzen 3-11%.

In Liesingtal liegt das TN/CSB-Verhältnis unter den Erwartungen, was eine Folge der Abwässer aus der Bierproduktion ist. Im Brauereiabwasser ist Stickstoff extrem gering im Vergleich zum CSB (30-80 mg/l N bzw. 1500- 3000 mg/l CSB) (Rüffer, 1991).

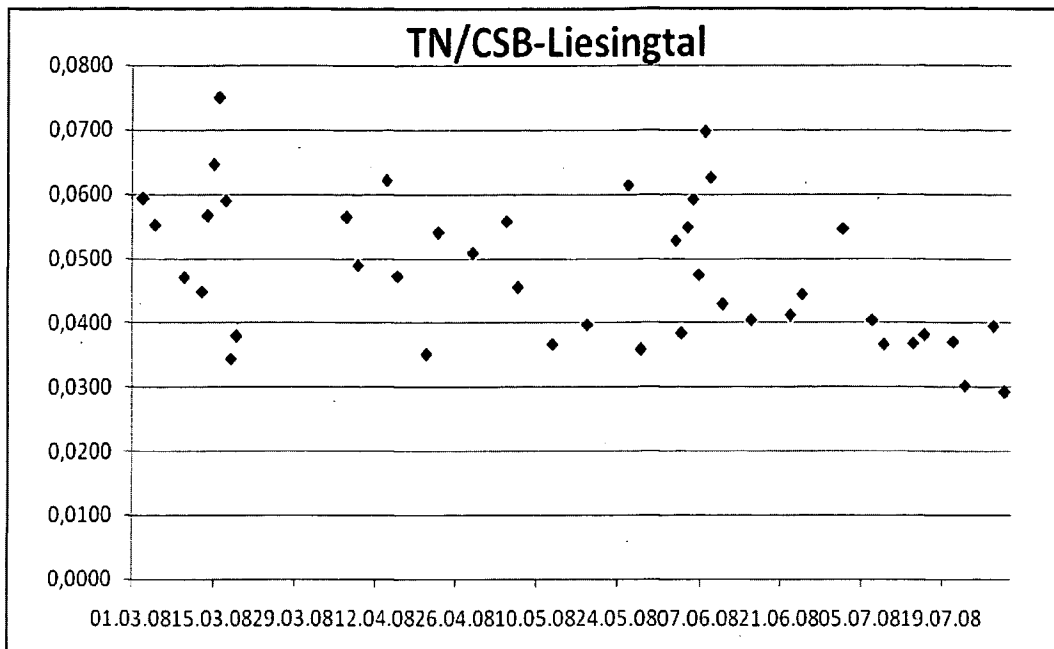


Abb. 23 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Liesingtal für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07

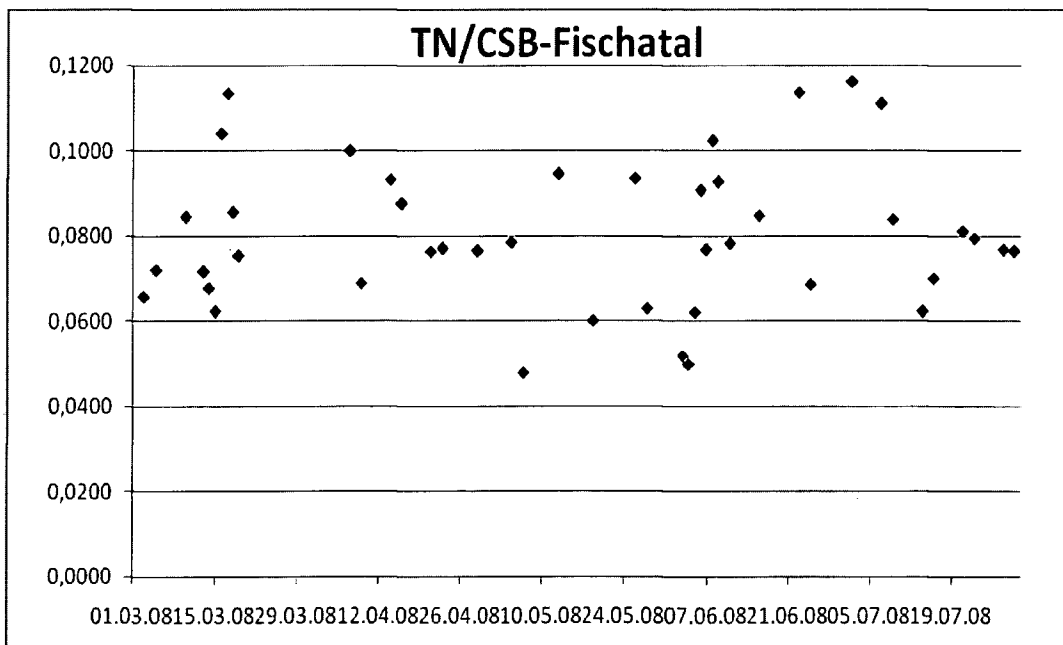


Abb. 24 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Fischatal für den Bilanzzeitraum 1.03-31.07

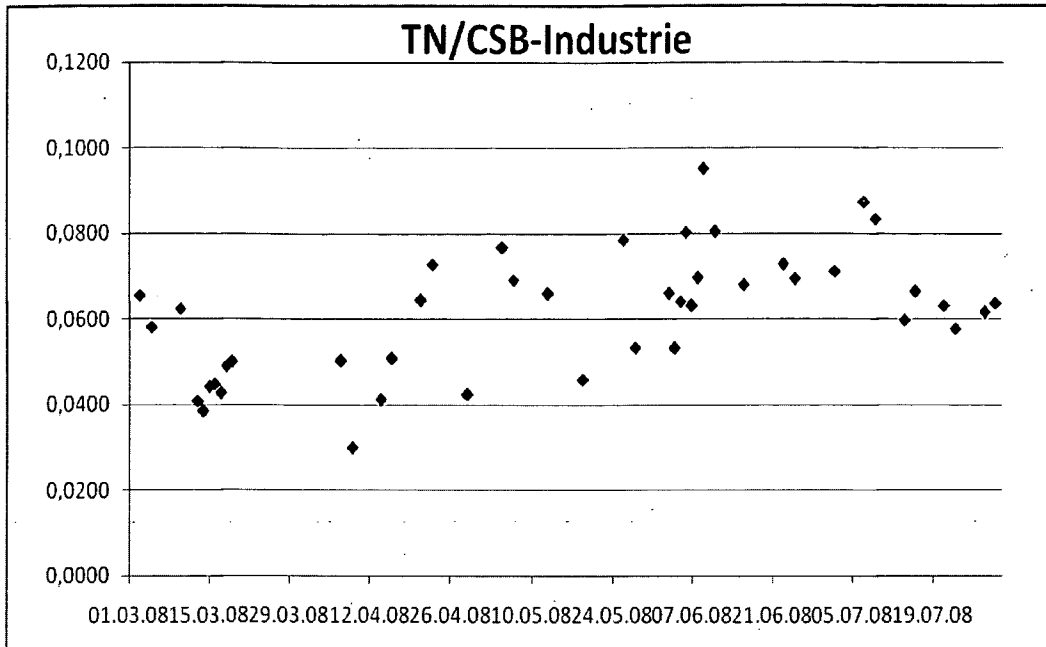


Abb. 25 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Industriefür den Bilanzzeitraum 1.03-31.07

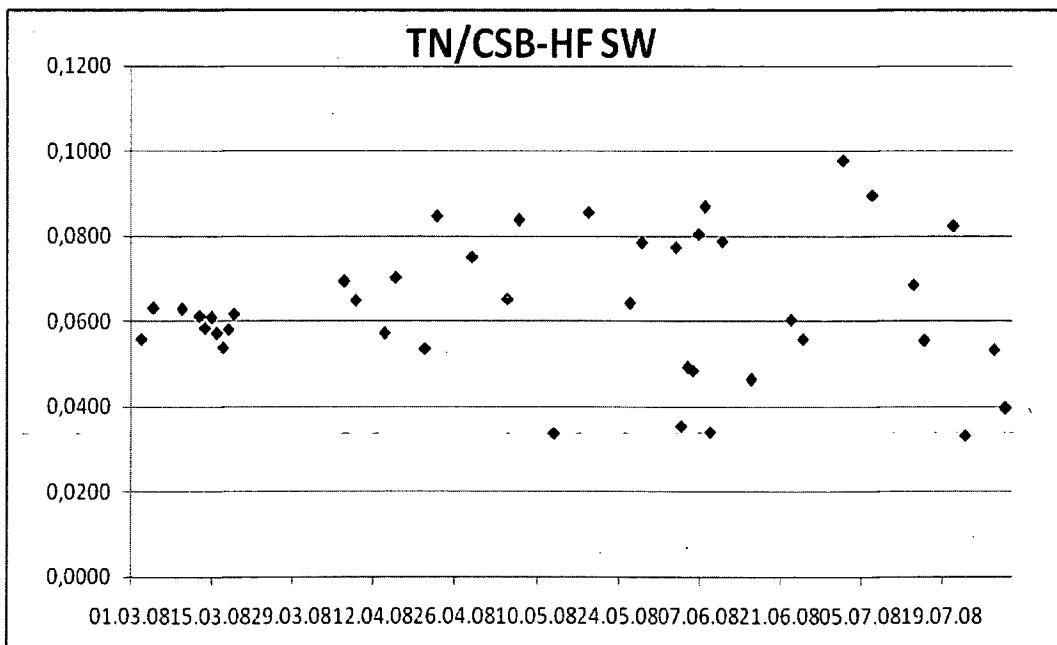


Abb. 26 Verhältnis zwischen TN/CSB im Zulauf Flughafen Schmutzwasserfür den Bilanzzeitraum 1.03. - 31.07.

5.1.3 Schlämme

Die Schlammengen werden in Schwechat täglich gemessen (Ausnahme: Schlammkuchen – nur bei Abholung) und die Trockensubstanzgehalte (TS) und die Glührückstände (GR) werden seitens des Labors der Kläranlage ungefähr einmal pro Woche bestimmt. Bei bekannten Mengen des TS und des GV ist es einfach, die Konzentration der organischen Trockensubstanz (oTS) zu berechnen (Gl. 23). Die Messdaten und die berechnete oTS-Konzentration sind in Tabelle 5 dargestellt.

$$\text{oTS [kg]} = \frac{\text{TS-Fracht.GV[\%]}}{100} \quad \text{Gl.23}$$

	Menge	TS	GV	oTS
Schlamm	m ³ /d	%	%	kg
PS nach VED	56	6,5	65	2327
ÜS vor MÜSE HL	192	6,9	75	816
ÜS vor MÜSE SL	417	6,4	75	2136
FS	147	3,9	56	3167
entw. FS	21	25	56	2925

Tab.5 Mengen, TS, GV und oTS der einzelnen Schlämme

Die mit dem Überschussschlamm aus dem System entfernte Trockensubstanzfracht wird anhand der Überschussschlammmenge und der Trockensubstanzkonzentration im Rücklaufschlamm bestimmt.

Da die Überschussschlämme der Hoch- und Schwachlaststufe auf der KA Schwechat abwechselnd diskontinuierlich eingedickt werden, unterliegen die Messwerte der Trockensubstanzbestimmung nach der MÜSE starken Schwankungen. Zur Bilanzierung wurden daher die Trockensubstanzfrachten der Überschussschlämme vor der MÜSE für die Berechnung der Faulturmzuläufe verwendet.

Plötzliche Schwankungen des Trockensubstanzgehaltes im Überschussschlamm sind nicht zu erwarten, da der Überschussschlamm aus dem kontinuierlichen Rücklaufschlammstrom abgezogen wird.

Bei der Bilanzierung wurden für die Abschätzung der Konzentrationen der einzelnen Parameter in den Schlämmen die Verhältnisse P/oTS, CSB/oTS und N/oTS verwendet. Diese Verhältnisse wurden aus den Konzentrationen der auf der KA Schwechat entnommenen und im Labor des Institutes für Wassergüte der TU- Wien untersuchten Proben berechnet. Allerdings wurden im Bilanzzeitraum keine Proben genommen. Zum Zeitpunkt der Bilanzerstellung standen Daten von 2.05.2007 und 8.09.2008 (nur für

Faulschlamm) zur Verfügung. Die Bilanzierung wurde mit diesen Verhältnissen durchgeführt. Später wurden weitere Proben genommen und die Verhältnisse neu berechnet. Dabei wurde die Zuverlässigkeit der bei der Bilanzierung verwendeten Verhältnisse bestätigt (Tabelle 6).

Schlamm	Vergleich	TP/oTS	CSB/oTS	TKN/oTS
RS HL	alt	0,015	1,72	0,10
RS SL	alt	0,042	1,45	0,080
VED	alt	0,010	1,82	0,030
	neu	0,018	1,60	0,047
FS	alt	0,043	1,55	0,11
	neu	0,045	1,57	0,11

Tab.6 Vergleich zwischen alt und neu gemessenen TP-, CSB-, TN- /oTS Verhältnissen

Eine größere Abweichung zwischen neuen und alten Werten tritt beim Primärschlamm auf. Das ist aber zulässig, weil die Messungen mittels Stichproben durchgeführt wurden und gerade beim Primärschlamm starke Schwankungen des Zulaufes auftreten.

Die Verhältniswerte wurden noch mit Literaturwerten verglichen. Ein solcher Vergleich ist aber für Phosphor in diesem Zusammenhang schwierig, da der Phosphorgehalt von Schlämmen stark abhängig von der Zulaufzusammensetzung und von der Art der Phosphorentfernung ist. Die Werte liegen allerdings in einem plausiblen Bereich.

Weiters wurde das CSB-Gehalt der jeweiligen Schlämme verglichen. Aus Erfahrungswerten kann davon ausgegangen werden, dass der CSB-Gehalt von Belebtschlämmen sowie von Faulschlämmen zwischen 1,4 bis 1,5 g CSB/oTS liegt (Nowak 2000). Die Messergebnisse auf der Kläranlage Schwechat ergaben im allgemeinen eine gute Übereinstimmung (Tabelle 7). Nur bei der Hochlast ergibt sich ein höherer Wert. Es wird vermutet, dass wegen der Raffinerie schwer abbaubare Kohlenwasserstoffe am Schlamm adsorbiert sein könnten.

	CSB/oTS	CSB/oTS
	Schwechat	Nowak, 2000
Primärschlamm	1,82	1,4-1,5
Überschussschlamm Hochlast	1,72	
Überschussschlamm Schwachlast	1,45	
Faulschlamm	1,55	

Tab.7 CSB-Gehalt des Primär-, Überschuss- und Faulschlammes

Die N/oTS-Verhältnisse und ihr Vergleich mit Literaturwerten ist Tabelle 8 zu entnehmen. Da sich eine gute Übereinstimmung zwischen Messwerten und Erfahrungswerten zeigt,

wurden erstere für die Bilanzierung verwendet. Nur bei Faulschlamm wurde ein höherer Wert gefunden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Bildung des Verhältnisses der Gesamtstickstoff, nicht der partikuläre Stickstoff (als Differenz zwischen Gesamtstickstoff und gelöstem Stickstoff) zu Grunde gelegt wurde.

	N/oTS	N/oTS
	Schwechat	Nowak 2000
Primärschlamm	0,03	≈0,04
Überschussschlamm Hochlast	0,10	0,095-0,10
Überschussschlamm Schwachlast	0,08	
Faulschlamm	0,11	0,075-0,08

Tab.8 N- Gehalt des Primär-, Überschuss- und Faulschlammes

Für den entwässerten Faulschlamm (auch Schlammkuchen genannt) wurden die gleichen Verhältnisse in Bezug auf oTS angenommen wie für den Faulschlamm, die hohe Konzentration an gelöstem Stickstoff im Faulschlamm wurde dabei nicht beachtet.

In die Schlammfäulung werden noch Fette und Fäkalschlämme angeliefert. Die letzteren haben ein geringes Ausmaß, deshalb wurden sie bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt. Die Fette spielen aber eine Rolle bei der Erstellung der CSB- Bilanz. Ihre CSB-Fracht wird mit Hilfe der „Grundsätze für Planung, Bau und Wartung“ von Fettabscheidern abgeschätzt:

<u>Belastung durch Fette und Vergleich zum häuslichen Abwasser</u>		
Frachten an Fett und CSB:		
Gelöste Fette im Zulauf zu Kläranlagen: 6-15 g/Einwohnerwert und Tag		
Gelöste Fette im Abwasser von Restaurantküchen:35-50 g /hergestellte Mahlzeit		
CSB (je nach Qualität des Fettes im Abwasser): 1,5 – 4,7 g CSB / kg Fett oder Öl		
somit Einwohnerwerte (120 g CSB / EW 120): 13 – 40 EW 120 / kg Fett oder Öl		
CSB im Zulauf zu Kläranlagen: 120 g/Einwohnerwert und Tag		
CSB im Abwasser von Restaurantküchen:90-120 g /hergestellte Mahlzeit		
Konzentrationen an Fetten und CSB:		
Gehalt in mg/l	Fett (1)	CSB
häusliches Abwasser 40-100	600	600
Abwasser aus Küchen (vor Fettabscheider)	600-1000	1000-3000
Abwasser aus Fleischereien (vor Abscheider)	600-3000	1300-1700
Fettschlamm aus Fettabscheideanlagen	30000-70000	65000-170000

Tab.9 Belastung durch Fette und Vergleich zum häuslichen Abwasser (Quelle: Grundsätze für Planung, Bau und Wartung,2002)

Die Konzentration der Fette wurde mit 5% abgeschätzt, bei einem CSB-Gehalt von 3 kg CSB / kg Fett.

In Tabelle 10 sind die Frachten der Hauptabwasserparameter in den Schlämmen zusammengefasst.

	Primärschlamm	Überschussschlamm		Faulschlamm	Schlammkuchen	Fette
	[kg/d]	HL [kg/d]	SL [kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	
TP	24	12	89	136	125	
CSB	4246	1407	3100	4903	4529	863
TN	70	82	170	354	327	

Tab.10 Frachten der Hauptabwasserparameter in den Schlämmen

5.1.4 Interner Rücklauf

5.1.4.1 Mengen

Der gesamte interne Rücklauf, der sich aus dem Ablauf der Primärschlammeindickung, der maschinellen Überschussschlammeindickung und der Faulschlammmentwässerung zusammensetzt (Gl.24), wird als Zulauf der Vorklärung betrachtet und seitens der KA Schwechat nur dort beprobt (Abb. 27).

$$i.RL_{\text{gesamt}} = i.RL_{A \text{ VED}} + i.RL_{A \text{ MÜSE}} + i.RL_{A \text{ SEW}} \quad \text{Gl.24}$$

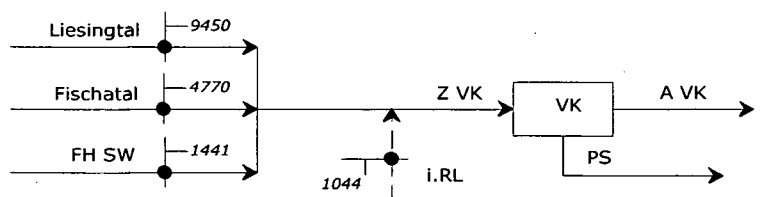


Abb. 27 Messstellen der Zulaufmengen [m³] - Vorklärung

Die Zulauf- und Ablaufschlammengen der Müse werden auch gemessen, d.h. es ist möglich die Wassermenge aus der maschinellen Überschussschlammeindickung als ihre Differenz zu berechnen.(Abb. 28)

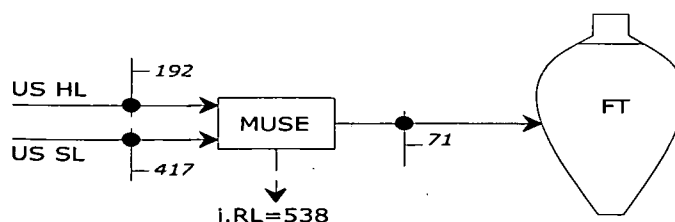


Abb. 28 Berechnung der internen Rücklaufwassermenge [m³] aus der Müse

Dasselbe gilt für die Faulschlammwässerung. Als Zulaufmenge der SEW wird die Ablaufmenge des Faulturms verwendet (der NED wird nicht berücksichtigt). (Abb.29)

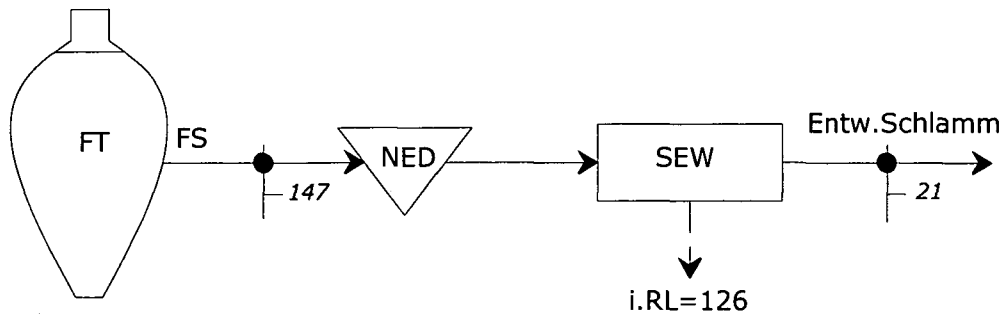


Abb. 29 Berechnung der internen Rücklaufwassermenge [m³] aus der Faulschlammwässerung

Unbekannt ist nur der interne Rücklauf nach dem Voreindicker. Mittels Gleichung 24 ist es einfach diese Menge zu berechnen, aber das ist eine ungefähre Abschätzung, da hier das Problem der Differenzen zwischen großen Zahlen besteht:

$$i.RL_{A\ VED} = i.RL_{gesamt} - i.RL_{A\ MÜSE} - i.RL_{A\ SEW} = 1044 - 538 - 126 = 380\ m^3$$

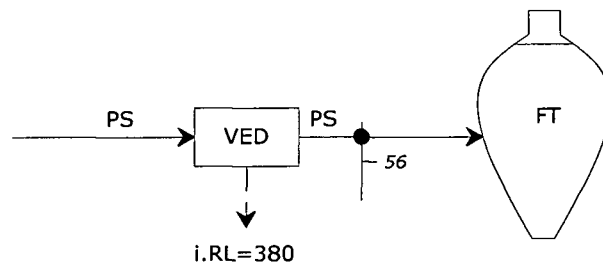


Abb. 30 Berechnung der internen Rücklaufwassermenge [m³] aus dem Voreindicker

5.1.4.2 Konzentrationen im internen Rücklauf

Die Konzentrationen der einzelnen Parameter im internen Rücklauf sind notwendig für die Umrechnung in Frachten und Erstellung von Bilanzen der Kläranlage und sollen deshalb bestimmt werden. Sie werden für den gesamten Rücklauf vom Betriebspersonal gemessen.

Es wurde angenommen, dass die Konzentrationen an Phosphor, CSB und Stickstoff im Rücklauf nach dem Voreindicker gleich denen im Ablauf der Vorklärung sind und jene nach der Müse gleich denen des gesamten Kläranlagenablaufs. Korrekter wäre eine Aufteilung nach den Hoch- und Schwachlastabläufen bei der Berechnung der Konzentrationen im internen Rücklauf nach der Müse. Die Konzentrationen im Ablauf der MÜSE sind aber so gering, dass der entstehende Fehler vernachlässigbar ist.

Die Konzentrationen im Rücklauf nach der Faulschlammwässerung sind unbekannt, lassen sich jedoch aus der abgeschätzten Fracht und Menge berechnen.

Bei bekannten Konzentrationen [mg/l] und Wassermengen [m³/d] ist es einfach, die Frachten [kg/d] zu berechnen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt:

i.RL	gesamt		VED		MÜSE		SEW	
Q	1044		380		538		126	
	Konz.	Frachten	Konz.	Frachten	Konz.	Frachten	Konz.	Frachten
TP	7,0	7,0	6,6	2,5	0,5	0,3	(34)	4,3
CSB	218	215	520	197	28	15	(25)	3,1
TN	215	209	55	21	9,8	5,3	(1447)	183

Tab.11 Konzentrationen und Frachten von Phosphor, CSB und Stickstoff in dem internen Rücklauf

Wegen der geringen Bedeutung der Werte in Bezug auf die Gesamtfrachten des Teilsystems sind die berechneten Schmutzstofffrachten in den internen Rückläufen nach dem Voreindicker und der Müse vernachlässigbar.

5.1.5 Atmungsmessungen in Schwechat

Notwendig zur Berechnung der CSB-Bilanz ist die mittlere Kohlenstoffatmung in den Belebungsbecken, die als Kohlenstoffsofortatmung bestimmt wurde. Die zusätzlichen Bestimmungsgrößen geben weitere Hinweise auf die ablaufenden Prozesse und dienen der Überprüfung der Plausibilität der gemessenen Kohlenstoffsofortatmung.

Die durchgeführte Bilanzierung beruht zunächst auf Annahmen für die Kohlenstoffatmung, deren Größenordnung sich an den Ergebnissen einer früheren Bilanzierung der Kläranlage (Spindler, 2005) orientiert:

$$\text{HL } 35 \text{ mg/l/h} \quad \text{SL } 8 \text{ mg/l/h}$$

Zur Kontrolle wurden die Atmungsraten nach Erstellung der Bilanzen noch einmal gemessen (Wartungsarbeiten ließen eine Messung im Vorfeld der Bilanzierung nicht zu).

5.1.5.1 Messprinzip

Die Atmungsmessung wird mittels Sauerstoff-Elektrode ohne chemische Analytik durchgeführt. Es wird die Abnahme des Sauerstoffgehaltes des Belebtschlammes bis zu einer Konzentration von ca. 2 mg/L in einem luftdicht abgeschlossenen Behälter bestimmt (Kroiss, 2007).

Für die Atmungsmessung werden benötigt:

- Eine Sauerstoffsonde (Handsonde) zur Messung der Abnahme des O₂-Gehaltes im abgeschlossenen Atmungsgefäß.
- Ein Magnetrührer und ein Magnetstäbchen (Rührstäbchen) zur Anströmung der Sauerstoffsonde.
- Ein Atmungsgefäß mit Bohrungen für eine Sauerstoffsonde und gegebenenfalls für eine Injektionsspritze. Ein Kunststoffgefäß für ein Wasserbad, damit das Atmungsgefäß während der Messung bei Belebungsbeckentemperatur gehalten werden kann.
- Eine Sonde zur Messung der Temperatur und des pH-Wertes der Probe (am Anfang und am Ende der Messung)
- Ein Messgerät, das mit den beiden Sonden verbunden ist
- Ein Computer, der mit dem Messgerät verbunden ist.

Frischer Belebtschlamm vom Klärturm (Schwachlaststufe) bzw. Selektor (Hochlaststufe) wurde entnommen, intensiv geschüttelt und in das Atmungsgefäß gefüllt. Dieses steht auf einem Magnetrührer, das Gefäß wurde nach dem Füllen sofort luftdicht verschlossen. Bei laufendem Rührer wird die Sauerstoffkonzentration im Schlamm gemessen. Der Schlamm verbraucht den darin gelösten Sauerstoff.

Ein Computerprogramm zur Aufzeichnung der Abnahme der Sauerstoffkonzentration im Atmungsgefäß, wurde benutzt. Temperatur und pH-Wert der Probe wurden am Anfang und Ende des Versuchs vom Messgerät abgelesen und notiert. Es war pH-Werte größer als 6,8 zu achten, um eine Hemmung der Nitrifikation zu vermeiden (Kroiss, 2007).

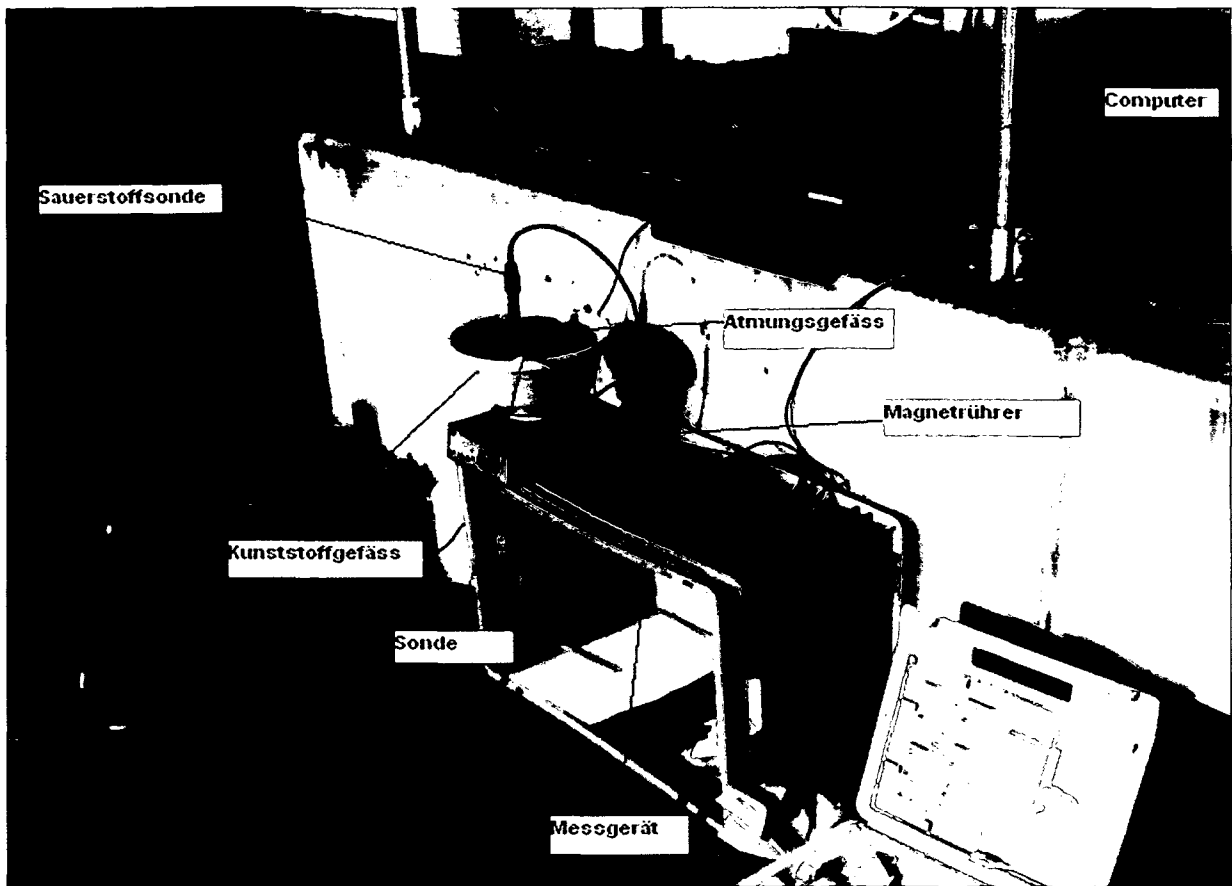


Abb. 31 Einrichtung zur Atmungsmessung

Zur Ermittlung von OVC_g und OVN_{max} wurde der Schlamm auf zwei Behälter aufgeteilt und für 30 Minuten belüftet. In einem Behälter wurde der Schlamm zur Hemmung der Nitrifikanten mit Allylthioharnstoff (ATH) versetzt, die Konzentration an ATH betrug 10 mg/l. Der Schlamm im anderen Behälter wurde mit Ammonium versetzt. Die NH_4 Konzentration betrug 15 mg/l (Svardal, 1997).

In folgender Tabelle sind die verschiedenen Arten von Sauerstoffverbrauch zusammengefasst:

Messwert	Abkürzung	Probe
Sofortatmung	OVs	Belebtschlamm
Kohlenstoffsofortatmung	OVCs	Belebtschlamm mit Zusatz von ATH
Kohlenstoffgrundatmung	OVC_g	Belebtschlamm mit Zusatz von ATH
Stickstoffmaximalatmung	OVN_{max}	Belebtschlamm mit Zusatz von Ammoniumlösung

Tab. 12 Atmungsmessung – Unterschiedliche Proben je nach Messwert

5.1.5.2 Ergebnisse

❖ Schwachlast

In Schwechat wurden drei Proben vom Klärturn 2 und eine vom Klärturn 1 genommen.

In zwei von den Proben des Klärturns 2 wurde ATH zugefügt und OVCs berechnet. Die Probe des Klärturns 1 diente zur Kontrolle der Ergebnisse.

Eine fünfte Probe wurde vom Klärturn 2 genommen und in zwei einzelnen Behälter belüftet. Diese zwei Proben wurden für die Ermittlung von OVCg und OVNmax verwendet.

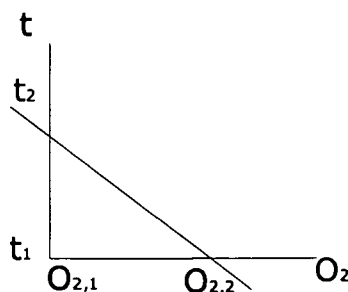
❖ Hochlast

Die Berechnung des Sauerstoffverbrauchs des Hochlast war eine kompliziertere Aufgabe wegen der hohen Prozessgeschwindigkeit.

Damit die Atmung gemessen werden konnte, wurde die Probe mit Wasser gemischt. (Verhältnis 1:4)

Mittels des genutzten Computerprogramms wurden Dateien für die verschiedenen Messungen erstellt. Sie enthalten die Informationen über die Sauerstoffveränderung im Laufe der Zeit. Die graphischen Darstellungen finden sich im Anhang.

Von den einzelnen Graphiken werden nur die Bereiche mit konstantem Sauerstoffverbrauch (gerade Linie, Abb.32) betrachtet, und damit die notwendigen Atmungsraten berechnet.



$$OV = \frac{O_{2,1} - O_{2,2}}{t_2 - t_1} \cdot 60 \text{ [mg/l.h]} \text{ Gl.25}$$

Mit Gleichung 25 werden OV_s, OVC_s, OVC_g berechnet.

Abb. 32 Sauerstoffverbrauch O_2 im Laufe der Zeit t , schematisch

OVN_s ist gleich der Differenz zwischen OV_s und OVC_s.

Die gemessenen Werte sind in Tabelle 13 dargestellt:

	Schwachlast						Hochlast
	KT 2	KT 2	KT 2	KT 1	KT 2	KT 2	Selektor 1
	1.Probe	2.Probe	3.Probe		OVCg	OVNmax	01:04
pHa	7,0	7,2	7,3	7,3	7,8	8,2	7,3
pHe	7,0	7,1	7,1	7,2	7,8	8,1	7,2
Ta	21,5	21,5	21,7	21,7	16,7	14	19,5
Te	20,2	20,9	20,8	20,5	15,5	13,7	20,2
OVs	14,4	13,5	13,1	13,7	-	-	104
OVCs	9	-	9,5	-	-	-	-
OVCg	-	-	-	-	4,1	-	-
OVNmax	-	-	-	-	-	12,3- OVCg=8,2	-
OVNs	5,4	-	3,6	-	-	-	-

Tab.13 pH-, Temperatur- und Atmungsmessungen (11.11.2008)

Diese Werte sind mit den angenommenen Werten zu vergleichen:

	angenommen Werte [mg/l.h]	neue Werte [mg/l.h]
Hochlast	35,00	104
Schwachlast	8,00	9,0

Tab.14 Vergleich von angenommenen und neu gemessenen (11.11.2008.) Werte für Kohlenstoffsofortatmung

Die Atmungsmessungen wurden am 11.11.2008 durchgeführt, d.h. nicht im Bilanzierungszeitraum. Trotzdem stimmen die Ergebnisse für die Schwachlast gut überein.

In der Hochlaststufe ist aber der gemessene Wert des verbrauchten Sauerstoffs 3 Mal größer als der über die Bilanz berechnete. Aus diesem Grund wurden die Atmungsmessungen für die Hochlast wiederholt.

Eine Probe wurde von Selektor 1 genommen und mit Wasser verdünnt (Verhältnis 1:4). Eine Hälfte der Probe wurde sofort untersucht, die andere Hälfte nach 10 Minuten.

Von Selektor 2 wurden auch Proben genommen: eine Probe wurde mit Wasser verdünnt und eine zweite ohne Wasserzugabe. Die zweite Probe wurde 2 Mal untersucht - sofort und nach 10 Minuten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 eingetragen:

	Hochlast				
	Selektor 1		Selektor 2		
	1.Probe (1:4)		1.Probe(1:4)	2.Probe	
		nach 10 min			nach 10 min
pHa	7,6	7,9	7,35	7,88	8,10
pHe	-	-	7,26	-	7,97
Ta	18,1	16	18,2	27,8	24,2
Te	17,5	-	18,2	27,6	23,4
OVs	93	60	26	42,9	30,9
OVCs	86	-	-	-	-

Tab.15 pH-, Temperatur- und Atmungsmessungen (24.11.2008)

Die Ergebnisse nach 10 Minuten sind realistischer, weil die Mikroorganismen, die im Selektor geringen Sauerstoffkonzentrationen ausgesetzt sind, bei plötzlichem Überangebot von Sauerstoff (Atmungsmessung) zu einer verstärkten Atmung neigen.. Nach einer kurzen Adaptationsphase stellen sich wieder „normale“ Atmungsraten ein.

Es ist veranschaulicht, dass die Atmung im Selektor 1 viel größer als im Selektor 2 ist.

Es wurden noch einige Sauerstoffmessungen mittels LDO - Gerät durchgeführt.

	Sauerstoff [mg/l]		
	Selektor 1	0,28	0,29
Selektor 2	1,38		

Tab.16 Sauerstoffmessungen (24.11.2008)

Die Ergebnisse zeigen, dass es im Selektor 1 sehr wenig Sauerstoff gibt. Zur Erhöhung der Sicherheit wurden dort 3 Messungen gemacht. Der erkennbare Sauerstoffmangel führt zu einer sehr schnellen anfänglichen Atmung während der Messungen. Daher wurden diese, wie beschrieben, nach 10 Minuten wiederholt.

Die Atmungs- und Sauerstoffmessungen wurden aber an den Zuläufen beider Selektoren durchgeführt, wo hohe Substratkonzentrationen typisch sind und damit eine hohe Atmungsaktivität. Deshalb sind die Atmungsmessungen nicht repräsentativ für das gesamte Becken. Für die Bilanzierung soll insgesamt der Wert der Atmung in der Hochlaststufe größer als jener im Selektor 2 und kleiner als im Selektor 1 sein, d.h. zwischen 30-100 mg/l.h angenommen werden.

Für die Bilanzierung sind die *Frachten [kg/d]* an veratmetem Sauerstoff in den Belebungsbecken (HL und SL) notwendig. Dafür müssen die Volumina der Becken bekannt sein:

	Volumen [m ³]
Hochlast	2900
Schwachlast	33000

Tab.17 Volumina der Belebungsbecken in [m³]

5.1.6 Faulgasanfall

Die Messung der anfallenden Gasmenge und – zusammensetzung (CO₂,CH₄) erfolgt online. Die Daten für CO₂ und CH₄ sind nur für den Zeitraum 1.03-25.03 gegeben, deshalb wurde für die gesamte Bilanzierung eine Gaszusammensetzung entsprechend dem Mittelwert dieses Zeitraumes angenommen. Die Temperatur in den Faultürme beträgt ungefähr 37 °C. Sie ist von Bedeutung zur Umrechnung der gemessenen Gasmenge auf Normbedingungen (0°C, 0% Feuchtigkeit, Normaldruck 1013,25 mbar):

$$\text{ges.Faulgas [Nm}^3] = \frac{\text{Gasanfall [m}^3 / \text{d}] \cdot 273,15}{T^{\circ}\text{C} + 273,15} \quad \text{Gl.26}$$

Es ist notwendig, den CSB-Gehalt des Faulgases zu bestimmen. Das erfolgt über das Verhältnis CSB/CH₄ = 2,86 kg/Nm³ (siehe die Herleitung im Kapitel 4.1.4.2 CSB). Dazu ist die Berechnung der absoluten Methanmenge im Faulgas erforderlich:

$$\frac{\text{CH}_4[\%]}{100} \cdot \text{ges.Faulgas [Nm}^3] = \text{CH}_4 \text{ in Faulgas [Nm}^3]$$

Das Gas enthält CO₂ und CH₄ aber auch eine kleine Menge Wasserdampf, der sich vom Verhältnis zwischen dem Sättigungsdampfdruck und dem Normaldruck (1013,25 mbar) berechnen lässt. Dabei wurde der Sättigungsdampfdruck (S_d) mittels der Magnus Formel berechnet (Gl.27) :

$$S_d = 6,1 \text{ hPa} * 10^{(7,5 t)/(t + 237,2 \text{ }^{\circ}\text{C})} \quad \text{Gl.27}$$

Im Vergleich zu CO₂ und CH₄ hat Wasserdampf einen geringen Anteil und kann vernachlässigt werden.

Für die Erstellung der CSB-Bilanz wurde eine Fracht von 5536 kg/d CSB im Faulgas berechnet.

5.2 Bilanzräume

5.2.1 Gliederung

Die Kläranlage wurde bei der Bilanzierung in die Teilsysteme Vorklämung, Biologische Stufe, Schwachlast und Hochlast sowie Faulung unterteilt. Dabei wurden der Gesamtphosphor, der CSB und der Gesamtstickstoff bilanziert. Über die Faulung wurden zusätzlich die Stoffströme der anorganischen Trockensubstanz analysiert. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der zu- und ablaufenden Stoffströme:

	Zulauf	Parameter	Ablauf	Parameter
Vorklämung	Liesinotal	P,CSB,N	Ablauf VK	P,CSB,N
	Fischatal		PS	
	FH SW			
	interner Rücklauf			
HL	Industrie	P,CSB,N	Ablauf HI	P,CSB,N
	Fischamend		ÜS HI	
			Atmung HI	CSB
SL	Ablauf VK	P,CSB,(N)	ÜS SL	P,CSB,(N)
	Ablauf HI		Ablauf KA	
	FH OW		Atmung SL	CSB
VK+Belebung	Liesinotal	P,CSB	Ablauf KA	P,CSB
	Fischatal		PS	
	FH SW		ÜS HI	
	FH OW		ÜS SL	
	Industrie		Atmung HI	CSB
	Fischamend		Atmung SL	
	interner Rücklauf			
FT	PS	P,CSB,N,aTS	FS	P,CSB,N,aTS
	ÜS (HI+SL)			
	Fett	CSB	Faulgas	CSB
	Enteisungsmittel			
gesamte KA	Liesinotal	P,CSB	Ablauf KA	P,CSB
	Fischatal		entwässerter FS	
	FH SW		Atmung HL	
	FH OW			
	Industrie			
	Fischamend			
	Fett	CSB	Faulgas	CSB
	Enteisung			

Tab.18 Überblick der zu- und ablaufenden Stoffströme in den Bilanzräumen

5.2.2 Besonderheiten der einzelnen Teilsysteme

- Vorklärung

Dieses Teilsystem enthält auch die mechanische Vorreinigung, weil diese einen geringen Einfluss auf die untersuchten Parameter hat. Es ist nicht notwendig, sie als zusätzlichen Bilanzraum zu berücksichtigen.

Von der Kläranlage sind keine Daten über den Teil des Flughafenoberflächenwassers, das die Vorklärung durchfließt, gegeben. Wegen der kleinen Frachten ist das nicht messtechnisch erfasst und kann bei der Bilanzierung vernachlässigt werden.

- Hochlast

In Schwechat wird die **Phosphorkonzentration** am Ablauf der Hochlast (A HL) nicht gemessen. Es ist unmöglich eine Bilanz zu erstellen. Bei bekannten Frachten in den Zulauf (Z HL) und Überschussschlammablauf (ÜS HL) ist es aber einfach die Abauffracht der Hochlast (A HL) zu ermitteln. Es wurde festgestellt, dass fast der ganze Phosphor mit dem Überschussschlamm die Hochlaststufe verlässt und deshalb ist es möglich, den Ablauf (A HL) zu vernachlässigen.

Die CSB- und Stickstoffkonzentrationen im Ablauf der Hochlast (A HL) werden gemessen und die Bilanzen sind möglich. Bei der **CSB**-Bilanz soll die Atmung berücksichtigt werden.

In den Selektoren der Hochlaststufe findet trotz einem Schlammalter von ca. 10 Tagen keine Nitrifikation statt, vermutlich da sie in Folge des Industriezulaufes gehemmt ist. Deshalb findet auch keine Denitrifikation statt und eine geschlossene Bilanzierung für den Parameter **Stickstoff** ist hier möglich.

- Schwachlast

Es wird angenommen, dass das ganze Flughafenoberflächenwasser in die Schwachlaststufe fließt.

Bei der **Stickstoffbilanz** ist die Denitrifikation zu berücksichtigen. Bei diesem Prozess verlässt gasförmiger Stickstoff das System, ist also als „Ablauf“ zu betrachten.

Die Denitrifikation ist gleich der Differenz zwischen Zu- und Ablaufstickstofffrachten. Unter Stickstoffablauf ist die Summen von Stickstoff im Überschussschlamm (ÜS SL) und im Ablauf der Kläranlage (A KA) zu verstehen. Der Stickstoff im Kläranlageablauf wird direkt gemessen, er ist aus Ammonium (NH_4), Nitrat (NO_3) und organischem Stickstoff ($\text{N}_{\text{org}} = 1-2 \text{ mg/l}$) zusammengesetzt.

Eine geschlossene Bilanzierung ist aber dabei nicht möglich.

- Vorklärung und Belebung

Dieser Bilanzraum umfasst die gesamte mechanische und biologische Abwasserreinigung. Dadurch werden etwaige Probleme bei der Mengenmessung und Analyse interner Stoffströme (Ablauf Vorklärung, Ablauf Hochlast) ausgeschlossen. Zu beachten ist jedoch der interne Rücklauf. Dieser stellt einen zusätzlichen Zufluss zum Bilanzraum „Vorklärung und Belebung“ dar.

- Faulung

Die Zuflüsse zum Bilanzraum der Schlammbehandlung (Faulung) sind der eingedickte Primärschlamm (nach dem VED), die extern angelieferten Fette, Enteisungsmittel, Kalkmilch sowie die maschinell eingedickten Überschussschlämme. Da für letztere wegen der starken Schwankungen nach der MÜSE keine genauen TS-Frachten bekannt sind, wurde bei der Bilanzierung statt mit den maschinell eingedickten Überschussschlämmen mit den Überschussschlämmen von Hoch- und Schwachlaststufe gerechnet. Im Gebiet des Flughafens werden Enteisungsmittel verwendet, die eine große CSB-Konzentration aufweisen. Die Konzentrationen werden nicht oft gemessen, aber mittels Interpolation zwischen den bekannten Werten wurde die Datendichte erhöht und die CSB - Frachten berechnet.

Die Dosierung von Kalkmilch in die Schlammfaulung soll bei der Bilanzierung der anorganischen Trockensubstanz in der Faulung berücksichtigt werden. In Schwechat ist die Zugabe von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gleich 420 kg/d (74 g/mol). Das Calciumhydroxid wird in Calciumcarbonat umgewandelt, das schwerer ist (100 g/mol). In der aTS- Bilanz ist daher mit dem Wert für CaCO_3 zu rechnen. ($420 \cdot 100 / 74 = 568$ kg/d)

Die durch die Eindickung mit dem Klarwasser entfernten Frachten sind vernachlässigbar.

Der ausgehende Stoffstrom des Bilanzraumes „Schlammfaulung“ ist der Faulschlamm vor der Schlammentwässerung.

5.3 Erstellung der Bilanzen

Bei der Erstellung von Bilanzen werden normalerweise die Tagesmittelwerte der Zu- und Abauffrachten den Berechnungen zu Grunde gelegt. Wie schon erwähnt, wurde im Fall der KA Schwechat wegen der geringen Datendichte für die Gesamtphosphor- und Stickstoffkonzentrationen die mittlere Tagesfracht aus dem Mittelwert der Konzentrationen berechnet.

Bei der Berechnung der Frachten der Überschussschlämme von der Hoch- und Schwachlaststufe ist darauf zu achten, dass es Tage gibt, an denen kein Überschussschlamm abgezogen wird. Diese Tage werden bei der Berechnung der TS-Frachtenmittelwerte berücksichtigt - für die Hochlast 97 Tage und für die Schwachlast 25 Tage, insgesamt 153.

Wegen der geringen Datendichte für die Werte des Glühverlustes werden die organischen Trockensubstanzen der einzelnen Schlämme direkt aus den Mittelwerten der Trockensubstanzgehalte und Glühverluste ermittelt. Daran anschließend werden die Gehalte an den einzelnen Parametern in den verschiedenen Schlämmen aus den Verhältnissen zum oTS berechnet. (siehe Kapitel 5.1.3 Schlämme)

5.3.1 Q - Bilanz

Die Erstellung der Q- Bilanz ist die einfachste Aufgabe bei der Bilanzierung, aber auch einer der wichtigsten, weil sich eventuelle Fehler bei den Zulauf- und Ablaufmengenmessungen bei den anderen Bilanzen widerspiegeln können.

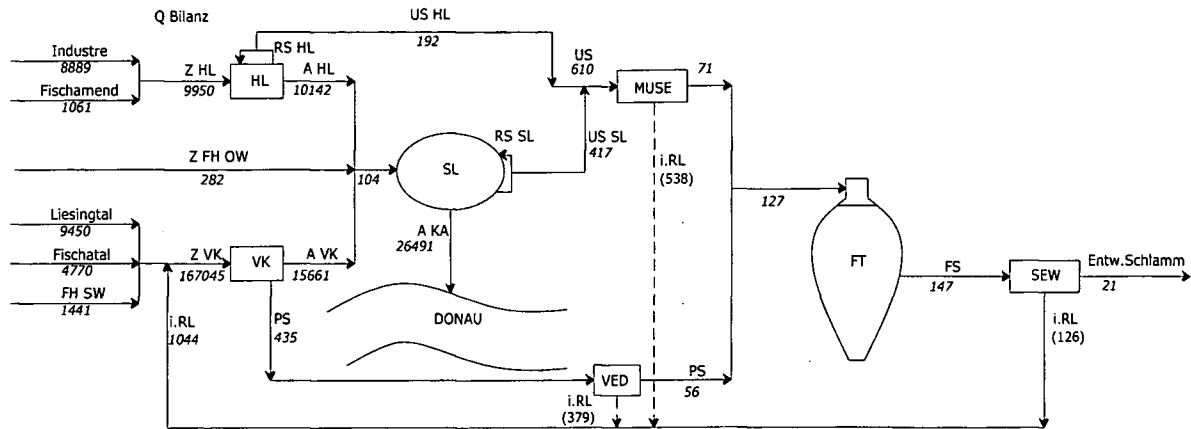


Abb. 33 Q-Bilanz der Kläranlage Schwechat

Vorklärung

Zuläufe [m³/d]		Abläufe [m³/d]	
Liesingtal	9450	PS vor VED	435
Fischatal	4770	Ablauf VKB	15661
FH SW	1441		
iRL	1044		
Summe	16705		16096
		Bilanz:	96%

Faulung

Zuläufe [m³/d]		Abläufe [m³/d]	
PS nach VED	56	FS	147
ÜS HL	192	IRL MÜSE	538
ÜS SL	417		
Summe	665		685
		Bilanz:	103%

Hochlast

Zuläufe [m³/d]		Abläufe [m³/d]	
Industrie	8889	ÜS HL	192
Fischamend	1061	Ablauf HL	9950
Summe	9950		10142
		Bilanz:	102%

Schwachlast

Zuläufe [m³/d]		Abläufe [m³/d]	
Ablauf VKB	15661	ÜS SL	417
FH OW	282	Ablauf KA	26491
Ablauf HL	9950		
Summe	25893		26908
		Bilanz:	104%

Vorklärung + Belebung

Zuläufe [m³/d]		Abläufe [m³/d]	
Liesingtal	9450	PS nach VED	56
Fischatal	4770	Ablauf KA	26491
FH SW	1441	ÜS SL	417
FH OW	282	ÜS HL	192
iRL	1044		
Fischamend	1061		
Industrie	8889		
Summe	26937		27156
		Bilanz:	101%

gesamte Kläranlage

Zuläufe [m³/d]		Abläufe [m³/d]	
Liesingtal	9450	Ablauf KA	26491
Fischatal	4770	Schlammkuchen	21
FH SW	1441		
FH OW	282		
Fischamend	1061		
Industrie	8889		
Summe	25893		26512
		Bilanz:	102%

5.3.2 P – Bilanz

Phosphor Bilanz

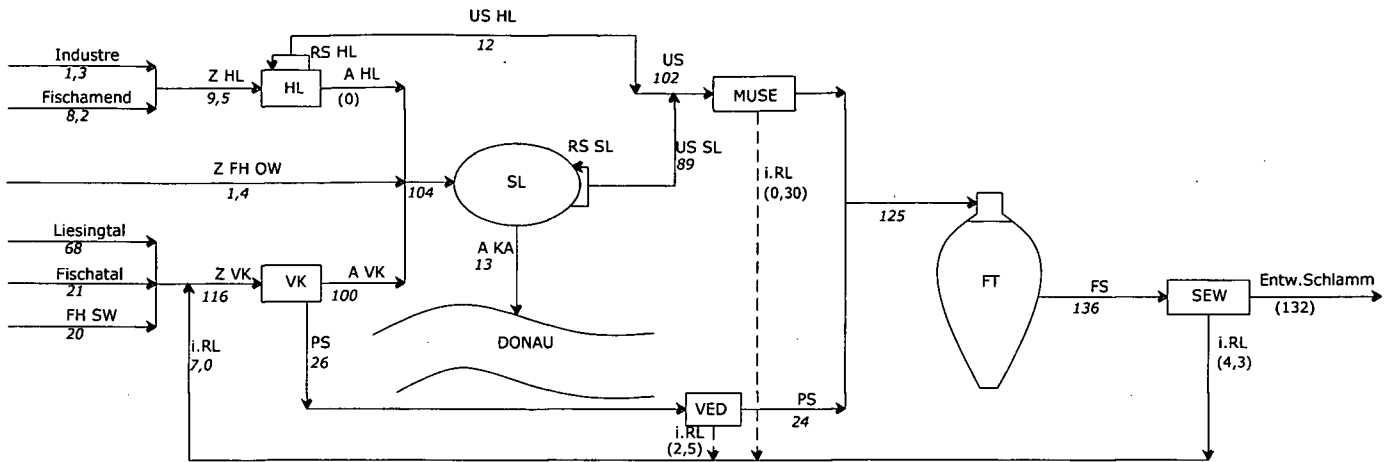


Abb. 34 P-Bilanz der Kläranlage Schwechat

Vorklärung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	68	PS vor VED	26
Fischatal	20	Ablauf VKB	100
FH SW	20		
iRL	7,0		
Summe	116		126
		Bilanz:	108%

Faulung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
PS nach VED	24	FS	136
ÜS HL	12		
ÜS SL	89		
Summe	125		136
		Bilanz:	108%

Hochlast

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Industrie	1,3	ÜS HL	12,1
Fischamend	8,2	Ablauf HL	0
Summe	9,6		

Schwachlast

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Ablauf VKB	100	ÜS SL	89
FH OW	1,4	Ablauf KA	13
Ablauf HL	0		
Summe	101		103
		Bilanz:	102%

Vorklärung + Belebung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	68	PS nach VED	24
Fischatal	21	Ablauf KA	13
FH SW	20	ÜS SL	89
FH OW	1,4	ÜS HL	12
iRL	7,0		
Fischamend	8,2		
Industrie	1,3		
Summe	127		138
		Bilanz:	109%

gesamte Kläranlage

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	68	Ablauf KA	13
Fischatal	21	Schlammkuchen	132
FH SW	20		
FH OW	1,4		
Fischamend	8,2		
Industrie	1,3		
Summe	120		145
		Bilanz:	120%

5.3.3 CSB – Bilanz

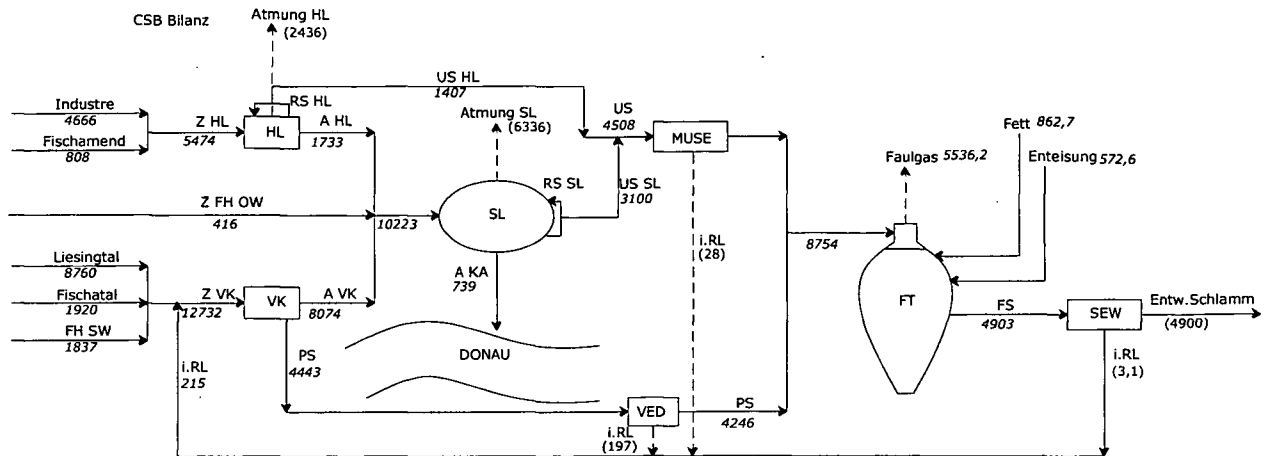


Abb. 35 CSB-Bilanz der Kläranlage Schwechat

Vorklämung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	8760	PS vor VED	4443
Fischatal	1920	Ablauf VKB	8074
FH SW	1837		
i.RL	215		
Summe	12732		12517
		Bilanz:	98%

Hochlast

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Industrie	4666	ÜS HL	1407
Fischamend	808	Ablauf HL	1733
		Atmung HL	2436
Summe	5473		5576
		Bilanz:	102%

Vorklämung + Belebung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	8760	PS nach VED	4246
Fischatal	1920	Ablauf KA	739
FH SW	1837	ÜS SL	3100
FH OW	416	ÜS HL	1407
i.RL	215	Atmung HL	2436
Fischamend	808	Atmung SL	6336
Industrie	4666		
Summe	18621		18265
		Bilanz:	98%

Faulung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
PS nach VED	4246	FS	4903
ÜS HL	1407	FAULGAS	5 536
ÜS SL	3100		
FETT	863		
Enteisung	573		
Summe	10189		10439
		Bilanz:	102%

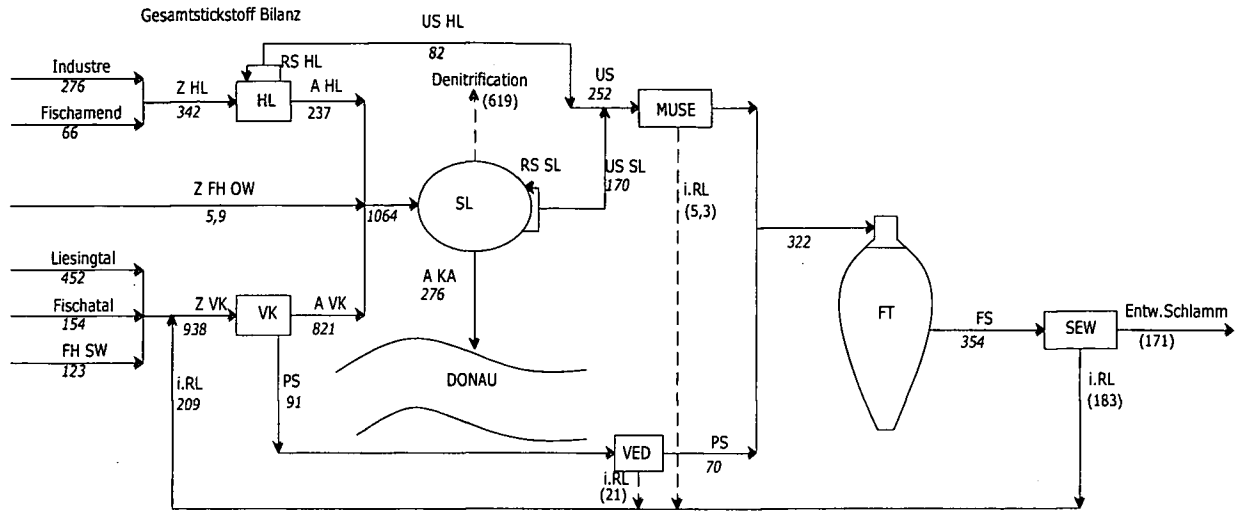
Schwachlast

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Ablauf VKB	8074	ÜS SL	3100
FH OW	416	Ablauf KA	739
Ablauf HL	1733	Atmung SL	6336
Summe	10223		10176
		Bilanz:	100%

gesamte Kläranlage

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	8760	Ablauf KA	739
Fischatal	1920	Schlammkuchen	4900
FH SW	1837	FAULGAS	5 536
FH OW	416	Atmung HL	2436
Fischamend	808	Atmung SL	6336
Industrie	4666		
FETT	863		
Enteisung	573		
Summe	19841		19948
		Bilanz:	101%

5.3.4 N – Bilanz



Vorklärung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	452	PS vor VED	91
Fischatal	154	Ablauf VKB	821
FH SW	123		
iRL	209		
Summe	938		912
		Bilanz:	97%

Abb. 36 N-Bilanz der Kläranlage Schwechat

Faulung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
PS nach VED	70	FS	354
ÜS HL	82		
ÜS SL	170		
Summe	322		354
		Bilanz:	110%

Hochlast

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Industrie	276	ÜS HL	82
Fischamend	66	Ablauf HL	237
Summe	342		319
		Bilanz:	93%

Schwachlast

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Ablauf VKB	821	ÜS SL	170
FH OW	5,9	Ablauf KA	276
Ablauf HL	237		
Summe	1064		445

Vorklärung + Belebung

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	452	PS nach VED	70
Fischatal	154	Ablauf KA	276
FH SW	123	ÜS SL	170
FH OW	5,9	ÜS HL	237
iRL	209	Denitrifikation	619
Fischamend	66		
Industrie	276		
Summe	1286		1372
		Bilanz:	107%

Denitrifikation 619

gesamte Kläranlage

Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
Liesingtal	452	Ablauf KA	276
Fischatal	154	Schlammkuchen	171
FH SW	123	Denitrifikation	619
FH OW	5,9		
Fischamend	66		
Industrie	276		
Summe	1077		1066
		Bilanz:	99%

N-Entfernung 1010,0 79%

5.3.5 aTS – Bilanz

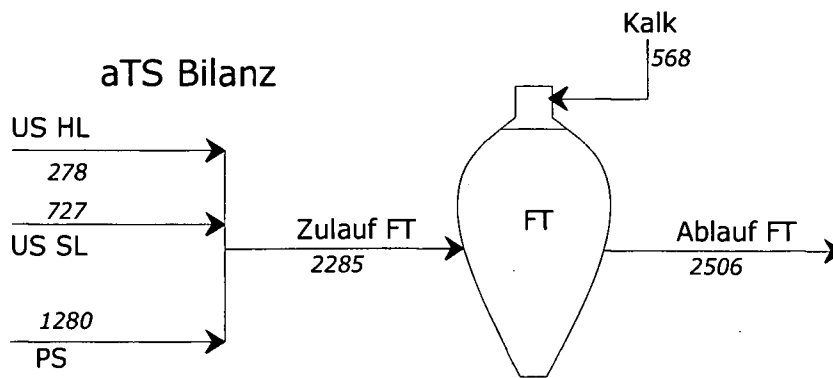


Abb. 37 aTS-Bilanz des Faulturmes

Faulung			
Zuläufe [kg]		Abläufe [kg]	
PS	1280	FS	2506
ÜS HL	278		
ÜS SL	727		
Kalk	568		
Summe	2853		2506
		Bilanz:	88%

5.4 Interpretation der Ergebnisse

In Tabelle 19 sind die Bilanzen für die einzelne Teilsysteme und Parameter zusammengefasst:

		P	CSB	N
VK	Zulauf	116	12732	938
	Ablauf	126	12517	912
	Bilanz	108%	98%	97%
FT	Zulauf	125	10189	322
	Ablauf	136	10439	354
	Bilanz	108%	102%	110%
HL	Zulauf	9,6	5473	342
	Ablauf US	12,1	5576	319
	Differenz/Bilanz	0	102%	93%
SL	Zulauf	101	10223	1064
	Ablauf	103	10176	445
	Bilanz/Denitrifikation	102%	100%	619
VK+BB	Zulauf	127	18621	1286
	Ablauf	138	18265	1372
	Bilanz	109%	98%	107%
KA	Zulauf	120	19841	1077
	Ablauf	145	19577	1066
	Bilanz	120%	99%	99%
aTS (FT)	Zulauf	2853		
	Ablauf	2506		
	Bilanz	88%		

Tab.19 Bilanzen für die einzelne Teilsysteme und Parameter

Die Bilanzen ergaben im allgemeinen zufriedenstellende Ergebnisse. Die gerechneten Abweichungen lagen dabei in den meisten Fällen in einem sehr guten Bereich (bis $\pm 10\%$). Nur die aTS-Bilanz für die Faulung sowie die P-Bilanz für die gesamte Kläranlage weisen größere Abweichungen auf. Man muss dabei in Betracht ziehen, dass eine 10 %-ige Abweichung bei allen Unsicherheiten, mit denen die Abwasseranalytik behaftet ist, schon als sehr gut bezeichnet werden kann (IWAG, TU Wien, 2003).

Als kritischstes Teilsystem bei der Bilanzierung hat sich die *Faulung* herausgestellt.

Bei der Bilanzierung ergaben sich für Stickstoff und Phosphor im Ablauf höhere Frachten als im Zulauf. Um die Richtigkeit der zu Grunde liegenden Verhältnisse zwischen den einzelnen Parametern und der oTS-Konzentration zu überprüfen, wurde zusätzlich eine Bilanzierung der aTS durchgeführt. Diese Bilanz zeigte aber eine geringere anorganische Trokensubstanz im Ablauf. Daher kommt eine fehlerhafte Bestimmungen der TS-Konzentrationen nicht als Ursache für die Abweichungen in Betracht. Dagegen spricht der ungefähr gleiche Betrag der Abweichungen möglicher Weise für eine Unterbestimmung des Glührückstandes im Faulschlamm in Höhe von ca. 10%. Diese wäre zu begründen, wenn beim Glühen eine Umwandlung des gesamten Calciumcarbonates des Faulschlammes zu Calciumoxid angenommen würde. Eine andere mögliche Ursache für die fehlerhaften N- und P-Bilanzen sind falsch abgeschätzte oTS-Verhältnisse (alte Werte). Der Fehlbetrag in der aTS-Bilanz würde dann auf mögliche Ablagerungen anorganischer Feststoffe im Faulbehälter hinweisen.

Die *Vorklärung*, bei der die festgestellten zeitlichen (sogar stündlichen) Schwankungen des Primärschlammanfalles sowie dessen Zusammensetzung die Ermittlung der Schlammfrachten etwas erschwerte, zeigt gute Bilanzergebnisse für Stickstoff und CSB. Für Phosphor ergibt sich eine Abweichung von 8%, was aber in einem akzeptablen Bereich liegt. Dieser Fehler tritt auch im Teilsystem *Vorklärung und Belebung* wieder auf.

Die abgeschätzten OVC-Werte (Sauerstoffverbrauch für den CSB- Abbau) schließen zufriedenstellend die CSB- Bilanzen über die *biologische Stufe*, sowohl für die Schwachlast als auch für die Hochlaststufe. Für die Hochlaststufe wurde aber eine Atmung angenommen (35 mg/l.h), die an der unteren Grenze der gemessenen Werte liegt (30-100 mg/l.h) und daher als sehr unwahrscheinlich einzuschätzen ist. Mit einem höheren Wert würde die Bilanz aber nicht aufgehen. Als Ursache wurde ein Fehler in der Probenahme vermutet. In Schwechat wird CSB im HL Zulauf in einem Probeschrank als 24h-Mischprobe bestimmt. Es wurde vermutet, dass während der Probenahme leicht flüchtige Kohlenstoffverbindungen entweichen und daraufhin weniger CSB gemessen wird als es tatsächlich gibt. Bei einer direkten Messung im Zulauf, die zum Beweis dieser Vermutung durchgeführt wurde, betrug die CSB-Konzentration direkt nach der Probenahme 893 mg O₂/l und nach 24 h - 763 mg O₂/l. Ähnliche Differenzen wurden bei Wiederholungsmessungen auf der KA Schwechat festgestellt. Es ist daher davon auszugehen, dass die auf der KA Schwechat bisher gemessenen CSB-Zulaufkonzentrationen systematisch unterbestimmt wurden.

Die Stickstoffbilanz für die *Schwachlaststufe* konnte über die Plausibilität der CSB- Bilanz überprüft werden. Dabei zeigte der Vergleich zwischen den denitrifizierten und den (maximal) nitrifizierten Frachten plausible Ergebnisse:

$$\text{OVD} = 2,86 \cdot \text{N-den} = 2,86 \cdot 619 \text{ kg} = 1770 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

$$\text{OVN}_{\text{max}} = 8,2 \text{ mg/l.h.} \cdot 0,024 \cdot V_{\text{DB}} = 8,2 \cdot 0,024 \cdot 19000 = 2735 \text{ kg}$$

Außerdem muss, wie schon an anderer Stelle erwähnt, das Verhältnis OVD/OVC kleiner als der Anteil der Denitrifikation am Gesamtbelegungsvolumen und dieses kleiner als 1 sein (Svardal, 1997):

$$\text{OVD/OVC} = 1770/6336 = 0,28 < V_{\text{Deni}}/V_{\text{BB}} = 13.900/33.000 = 0,42 < 1$$

Auch diese Bedingung ist erfüllt.

Über die Phosphorfracht im Ablauf der Hochlaststufe gab es keine Daten. Es kann von sehr geringen Konzentrationen ausgegangen werden. Selbst bei Vernachlässigung der P- Fracht im Ablauf der HL ergibt sich jedoch bereits ein Fehler in der Bilanz. Die Phosphorfracht im ÜS HL beträgt 125% der Zulauffracht. Eine Ursache konnte nicht festgestellt werden. Auf Grund der geringen P- Frachten in der Hochlaststufe ergeben sich aber keine Auswirkungen auf anderen Bilanzen.

In der Phosphorbilanz der gesamten Kläranlage ergibt sich die größte Abweichung. Dieser Fehler ist eine Kombination aus Fehler im Zulauf und im Schlamm, da Vorklämung und Faulung je den halben Fehler aufweisen. Im Schlamm stammt wahrscheinlich das Problem wieder aus den alten Messdaten für P/oTS. Für die nicht erwähnten Teilsysteme und Parameter ergeben die Bilanzen sehr zufriedenstellende Ergebnisse.

Die Schlammwässerung wurde nicht als getrenntes Teilsystem betrachtet, weil es mit den zur Verfügung stehenden Messwerten unmöglich war, die Bilanzen zu bestimmen. Die Ursache dafür liegt in der Annahme der gleichen Verhältnisse zur oTS für Schlammkuchen und Faulschlamm. Das spielt eine besondere Rolle bei der Stickstoffbilanz, weil der gelöste Anteil im Faulschlamm das System rechnerisch mit dem Schlammkuchen verlässt und der Anteil im internen Rücklauf nicht berücksichtigt wird. Für eine Erhöhung der Übersichtlichkeit sind die Frachten im entwässerten Schlamm noch mal als eine Differenz zwischen Faulschlamm und internem Rücklauf nach SEW berechnet und so in den Bilanzbildern dargestellt.

Aus den erstellten Bilanzen können weitere Ergebnisse und Schlussfolgerungen gewonnen werden:

- Wirkungsgrad

Aus der Berechnung des **Vorklärungswirkungsgrads** und dem Vergleich mit Literaturwerten ist es möglich festzustellen, wie effektiv sie funktioniert.

$$\eta = \frac{\text{Zulauf VK-Ablauf VK}}{\text{Zulauf VK}} \cdot 100, \% \quad \text{Gl.28}$$

für Phosphorentfernung $\eta_P = \frac{116 - 100}{116} \cdot 100 = 14 \%$

für CSB $\eta_{\text{CSB}} = \frac{12732 - 8074}{12732} \cdot 100 = 37 \%$

für Stickstoffentfernung $\eta_N = \frac{938 - 821}{938} \cdot 100 = 12 \%$

Parameter	Rohabwasser	Durchflusszeit in der Vorklärung bei Q_t	
		0,5 bis 1,0 h	1,5 bis 2,0 h
BSB ₅	60	45	40
CSB	120	90	80
TS	70	35	25
TKN	11	10	10
P	1,8	1,6	1,6

Tab.20 Literaturwerte A131, Einwohnerspezifische Frachten in g/(E·d), die an 85% der Tage unterschritten werden, ohne Berücksichtigung des Schlammwassers

Wegen dem relativ großen Volumen des Vorklärbeckens ist eine Durchflusszeit in der Vorklärung zwischen 1,5 – 2,0 Stunden maßgebend.

Der Vergleich der berechneten Werte des Wirkungsgrads mit den Literaturwerte ist in Tabelle 21 dargestellt und ergibt eine sehr gute Übereinstimmung für alle Parameter.

Parameter	η berechnete Werte	η Literaturwerte
P	14%	11%
CSB	37%	33%
N	12%	9%

Tab.21 Wirkungsgrad der Vorklärung – Vergleich zwischen berechneten – und Literaturwerten

Interessant ist auch die Ermittlung des Wirkungsgrades der CSB-Entfernung in der **Hoch- und Schwachlaststufe**. Die Wachstumskinetik der Mikroorganismen wird durch äußere Faktoren wie Temperatur, Substratkonzentration(en), etc. beeinflusst. Der Einfluss der

Substratkonzentration auf das Wachstum kann in Form einer „Monod-Beziehung“ dargestellt werden: (Abb.38)

Diese Funktion zeigt, dass bei geringeren Substratkonzentrationen (bei SL) die Mikroorganismen langsamer wachsen. Sie haben wenig „zu essen“ und deshalb wird das Substrat bei geringer Zulaufkonzentration sofort abgebaut. Bei der Hochlaststufe ist es umgekehrt – die Mikroorganismen haben viel zu essen, wachsen schnell und verbrauchen nicht alles. Das bedeutet, dass die Schwachlaststufe einen höheren Wirkungsgrad als die Hochlaststufe aufweist.

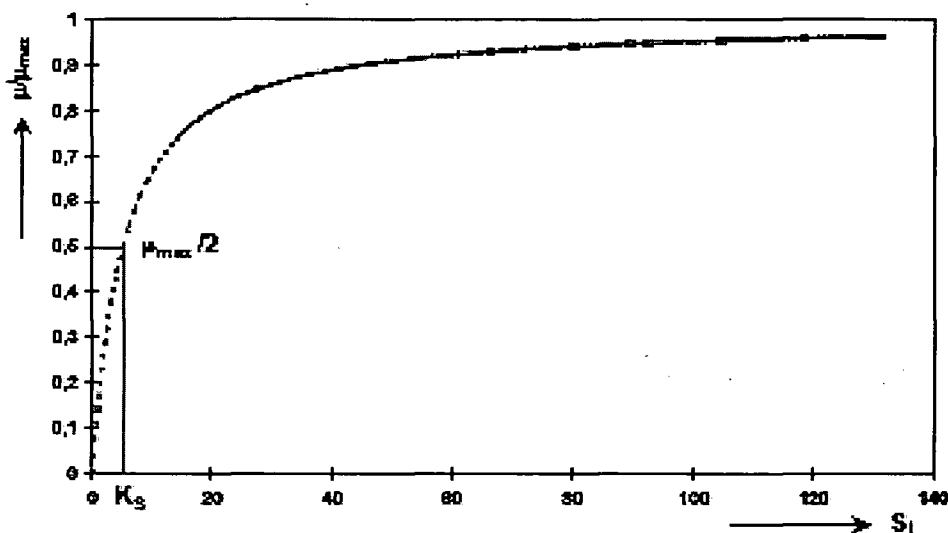


Abb. 38 Monod-Funktion – Zusammenhang zwischen Wachstumsrate (μ) und Substratkonzentration (S) (Quelle: BOKU, „Industriewasserwirtschaft“, Haberl)

Die Berechnung beider Wirkungsgrade (Gleichungen 29 und 30) bestätigt genau diese Behauptung:

$$\eta_{SL} = \frac{\text{Zulauf SL-Ablauf KA}}{\text{Zulauf SL}} \cdot 100, \% \quad \text{Gl.29}$$

$$\eta_{SL,CSB} = \frac{10223 - 739}{10223} \cdot 100 = 93\%$$

$$\eta_{HL} = \frac{\text{Zulauf HL-Ablauf HL}}{\text{Zulauf HL}} \cdot 100, \% \quad \text{Gl.30}$$

$$\eta_{HL,CSB} = \frac{5473 - 1733}{5473} \cdot 100 = 68\%$$

- Schlammalter

Bei Nichtbeachtung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf, wird das Schlammalter der Schwachlastbelebungsstufe zu 29 Tagen und das der Hochlaststufe zu 10 Tagen berechnet. Die Berechnung des Schlammalters erfolgt nach Gleichung 31.

$$t_{TS} = \frac{V_{BB} \cdot TS_{BB}}{Q_{\ddot{U}S} \cdot TS_{\ddot{U}S}} \quad \text{Gl.31}$$

$$t_{SL,TS} = \frac{19000 \cdot 4,1}{417,6 \cdot 4} = 29 \text{ Tage Gl.32} \quad t_{HL,TS} = \frac{2900 \cdot 4,5}{192,6 \cdot 9} = 10 \text{ Tage Gl.33}$$

Zum Vergleich wurde das Mindestschlammalter für Anlagen mit Nitrifikation/Denitrifikation nach ATV A 131 berechnet.

$$t_{TS,Bem.} = (1,2 \div 1,4) \cdot 3,4 \cdot 1,103^{15-T} \frac{1}{1 - V_D/V_{BB}} \quad \text{Gl.34}$$

$$SL : t_{TS,Bem.} = 1,4 \cdot 3,4 \cdot 1,103^{15-12} \frac{1}{1 - 13900/33000} = 11 \text{ d}$$

Aus dem Vergleich des gemessenen Schlammalters mit den Bemessungswerten ist zu sehen, dass die Schwachlastbelebungsstufe auf der KA Schwechat ein extrem großes Schlammalter aufweist. Das gleiche gilt für die Hochlaststufe, für die sich im derzeitigen Zustand eine äußerst geringe Schlammbelastung von 0,36 kg BSB₅/ (kg TS · d) ergibt. Das wirkt sich nachteilig auf die anschließende Faulung der Überschussschlämme aus, weil bereits viel CSB veratmet ist und nicht mehr für die Faulung zu Verfügung steht. Außerdem wird unnötig viel Energie für die Belüftung eingesetzt.

- $CSB_{\ddot{U}S} / \eta CSB$ – Verhältnis

Das $CSB_{\ddot{U}S} / \eta CSB$ – Verhältnis beschreibt den Anteil des Überschussschlammes am insgesamt entfernten CSB beim Belebungsprozess (Gleichung 35).

$$\frac{CSB_{\ddot{U}S}}{\eta CSB} = \frac{CSB_{\ddot{U}S}}{\text{Zulauf}_{BB} - \text{Ablau}_{KA(HL)}} \quad \text{Gl.35}$$

In der Hochlastbelebungsstufe beträgt das $CSB_{\ddot{U}S} / \eta CSB$ – Verhältnis 0,38 (für angenommene $OVC_{HL} = 35 \text{ mg/l.h}$) (Gleichung 36).

$$HL \quad \frac{CSB_{\ddot{U}S}}{\eta CSB} = \frac{1407}{5473 - 1732} = 0,38 \quad \text{Gl.36 (OVC=30-100mg/l.h} \rightarrow CSB_{\ddot{U}S} / \eta CSB = 0,40-0,17)$$

Das bedeutet, 38 % des entfernten CSB sind im Überschussschlamm enthalten, 62 % werden über die Atmung entfernt.

In der Schwachlastbelebungsstufe stellt sich ein $CSB_{\text{ÜS}}/\eta\text{CSB}$ – Verhältnis von 0,33 ein. (Gleichung 37).

$$SL \frac{CSB_{\text{ÜS}}}{\eta\text{CSB}} = \frac{3100}{10223 - 739} = 0,33 \quad \text{Gl.37}$$

Die Praxis sagt, dass die Schwachlaststufe einer Kläranlage mit Vorklärung effektiv arbeitet, wenn das $CSB_{\text{ÜS}}/\eta\text{CSB}$ – Verhältnis in den Grenzen 0,35-0,55 ist. Auf Grund des großen Schlammalters stellt sich ein sehr geringes $CSB_{\text{ÜS}}/\eta\text{CSB}$ – Verhältnis ein.

- Denitrifikation

Aus der Bilanzierung des Parameters Stickstoff folgt eine Stickstoffeliminationsrate von 79% (Gleichung 38).

$$\text{Denitrifikation} = \frac{\text{Zulauf}_{\text{VK+BB}} - \text{Ablauf}_{\text{KA}}}{\text{Zulauf}_{\text{VK+BB}}} \cdot 100 = \frac{1286 - 276}{1286} = 79\% \quad \text{Gl.38}$$

In der Hochlastbelebungsstufe findet keine nennenswerte Denitrifikation statt.

Im Wasserrechtsbescheid ist eine N-Entfernung von 70% vorgegeben. Von der Praxis ist bekannt, dass bei vorgeschalteter Denitrifikation eine N-Entfernung von ca. 80% möglich ist. Die Ergebnisse in Schwechat zeigen eine befriedigende Denitrifikation.

- Überschussschlammproduktion

Die Überschussschlammproduktion der *Schwachlaststufe*, die sich aus der Bilanzierung ergibt, beträgt **2136** kg oTS/d. Dieser Wert kann mit dem auf Basis der Norm A131 gerechneten verglichen werden.

Der in einer Belebungsanlage produzierte Schlamm setzt sich aus den beim Abbau organischer Stoffe entstehenden und eingelagerten Feststoffen sowie dem aus der Phosphorelimination resultierenden Schlamm zusammen:

$$\text{ÜS} = \text{ÜS}_c + \text{ÜS}_p \quad \text{kgTS/d} \quad \text{Gl.39}$$

Für die Berechnung der Schlammproduktion aus der Kohlenstoffelimination gilt folgende empirische Gleichung mit den Koeffizienten von Hartwig:

$$\text{ÜS}_c = B_{\text{BSB}} \cdot \left(0,75 + 0,6 \cdot \frac{X_{\text{TS,ZB}}}{C_{\text{BSB,ZB}}} - \frac{0,8 \cdot 1,17 \cdot 0,75 \cdot t_{\text{ts}} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{\text{ts}} \cdot F_T} \right) \quad \text{kgTS/d} \quad \text{Gl.40}$$

Der Temperaturfaktor (F_T) für die endogene Veratmung lautet:

$$F_T = 1,072^{(T-15)} = 1,072^{(20-15)} = 1,42 \quad \text{Gl.41}$$

$X_{TS,ZB} = 25 \text{ g/E.d} \cdot 75000 \text{ EW} = 1835 \text{ kg}$ - Konzentration der mit $0,45 \mu\text{m}$ Membranfilter abfiltrierbaren Stoffe nach Trocknung bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\rightarrow \dot{U}S_C = 5112 \cdot \left(0,75 + 0,6 \cdot \frac{1835}{5112} - \frac{0,8 \cdot 1,17 \cdot 0,75 \cdot 30 \cdot 1,42}{1 + 0,17 \cdot 30 \cdot 1,42} \right) = 5112 \cdot 0,44 = 2238 \text{ kgTS/d}$$

Der aus der Phosphorelimination resultierende Überschussschlamm ($\dot{U}S_P$) ergibt sich aus Gleichung 42

$$\dot{U}S_P = 6,8 \cdot X_{p,F\ddot{a}lle,Fe} = 6,8 \cdot (P_{A\text{ VK}} - P_{PS} - P_{BS}) \text{ kgTS/d} \quad \text{Gl.42}$$

$$\dot{U}S_P = 6,8 \cdot (100 - 24 - 51) = 6,8 \cdot 25 = 170 \text{ kgTS/d}$$

$$\rightarrow \dot{U}S = \dot{U}S_C + \dot{U}S_P = 2238 + 170 = 2408 \text{ kgTS/d}$$

Die beiden Werte liegen in derselben Größenordnung. Die Unterschiede sind Ergebnis der Unsicherheit bei der Annahme der Temperatur ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) und der Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe ($X_{TS,ZB}$).

- Einwohnerspezifischer Gasanfall

Der Gasanfall in Schwechat beträgt $3.645 \text{ m}^3/\text{d}$ Davon sind 90% der CSB-Fracht aus Fetten und Enteisungsmitteln abzuziehen. Bei einem Methangehalt von 60% ergibt sich daraus, bezogen auf die EW, ein einwohnerspezifischer Gasanfall von $8,4 \text{ l CH}_4 / (\text{EW} \cdot \text{d})$ (Gleichung 44)

$$\frac{\text{Zulauf}_{\text{CSB}}}{110} = \frac{18406}{0,11} = 167327 \text{ EW} \quad \text{Gl.43}$$

$$\text{Gasfall} = \frac{\frac{60}{100} \cdot \left(3645 - \frac{90}{100} \cdot (863 + 573) \right)}{167327} \cdot 1000 = 8,4 \text{ CH}_4 / \text{EW.d} \quad \text{Gl.44}$$

Laut Agis, 2002 sind als durchschnittlicher Gasanfall auf kommunalen Kläranlagen in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen wie der Wirkung der Vorklärung, der Temperatur oder der Aufenthaltszeit im Faulbehälter $8 - 16 \text{ l CH}_4 / (\text{EW} \cdot \text{d})$, entsprechend $12 - 24 \text{ l}$ Faulgas je EW und Tag zu erwarten. Wegen der hohen veratmeten CSB-Fracht ergibt sich in Schwechat eine relativ geringe Gasproduktion.

6. BILANZIERUNG IN ANDEREN FACHGEBIETEN

Die Methode der Stoffflussanalyse wirkt als ein Werkzeug zur Beschreibung und Analyse beliebig komplizierter Systeme, zur Identifizierung und Quantifizierung aller relevanten Flüsse von Stoffen in einem zeitlich und räumlich exakt abgegrenzten System, sowie zur Abschätzung von Prozessänderungen und Betriebsproblemen nicht nur im Bereich der Abwasserbehandlung sondern in einer Vielzahl von Fachgebieten (Abfallwirtschaft, Finanzbranche, Energiesystem u.a.). Die Bilanzierung hat ihre eigenen Spezifikationen in den verschiedenen Fachgebieten. Sie ist keine einfache Aufgabe und soll von Leute mit entsprechenden Kenntnissen durchgeführt werden.

6.1 Biomasseanteil von Abfällen

6.1.1 Problemstellung

Verschiedene gesetzliche Vorgaben (EU-Richtlinien: Förderung des Stroms aus erneuerbaren Quellen, Stromkennzeichnung, Emissionszertifikatshandel) verpflichten die Betreiber von Müllverbrennungsanlagen, die Anteile der eingesetzten Energieträger sowie voraussichtlich auch den Anteil an fossilen CO₂-Emissionen auszuweisen. Bisher gängige Verfahren zur Bestimmung dieser Größen bedienten sich aufwendiger Beprobungen des Abfallinputs.

6.1.2 Methode

Eine an der TU Wien entwickelte Methode (Bilanzenmethode) ermöglicht es hingegen, ohne Beprobungsaufwand den biogenen Anteil der behandelten Abfälle zu bestimmen. Das Verfahren beruht auf 6 Bilanzgleichungen, die jeweils eine physikalisch-chemische Eigenschaft des Abfalls charakterisieren. Als Inputparameter werden die Betriebsdaten der Anlage herangezogen.

Benötigte Daten der Anlage:

- Abfallinput
- Masse der festen Rückstände (Schlacke, Filterasche, Filterkuchen)
- O₂ und CO₂ Konzentration des Reingases
- Dampfproduktion (Menge, Druck und Temperatur)
- Reingasmenge
- Wirkungsgrad des Dampfkessels

Massenbilanz	$m_B + m_F + m_E + m_W$	=	1
Aschenbilanz	$+ m_A$	=	$\frac{d_{Ash}}{d_{Ash}}$
Kohlenstoffbilanz	$C_B \cdot m_B + C_F \cdot m_F$	=	C_{Ash}
Energiebilanz	$HW_B \cdot m_B + HW_F \cdot m_F - 2,45 \cdot m_W$	=	HW_{Ash}
O ₂ -Verbrauch	$O_{2,B}^C \cdot m_B + O_{2,F}^C \cdot m_F$	=	$O_{2,Ash}^C$
Differenz aus O ₂ -Verbrauch + CO ₂ -Produktion	$d_{O_2-CO_2,B} \cdot m_B + d_{O_2-CO_2,F} \cdot m_F$	=	$d_{O_2-CO_2,Ash}$

Abb. 39 Darstellung der 6 Bilanzgleichungen bei der Bilanzierung der Biomasseanteile in Abfällen
(Quelle: IWAG, TU Wien)

6.1.3 Ergebnisse

Die Bilanzenmethode erlaubt es, die gewünschten Ergebnisse (Energieträgeranteile und fossile Kohlendioxidemissionen) sowohl laufend als auch rückwirkend zu bestimmen, sofern die erforderlichen Betriebsparameter aufgezeichnet wurden. Die folgenden Abbildungen zeigen die Resultate einer Müllverbrennungsanlage in Österreich.

Die Vorteile der Bilanzen-Methode gegenüber bestehenden alternativen Verfahren sind:

- Kosteneinsparung von >95% gegenüber bekannten Verfahren
- Unsicherheiten der Ergebnisse werden miterfasst und betragen <5% (relativ)
- jahreszeitliche Schwankungen der Abfallzusammensetzung werden berücksichtigt
- keine neuen Messgeräte oder Messeinrichtungen erforderlich

7. ZUSAMMENFASSUNG

Die Kläranlage Schwechat wurde für die Parameter Gesamtphosphor, CSB und Gesamtstickstoff im Zeitraum vom 1.03.2008 bis zum 31.07.2008 bilanziert.

Ein Teil der Daten stammt von den Aufzeichnungen der Kläranlage. Atmungsmessungen und Schlammanalytik wurden seitens des Institutes für Wassergüte der TU Wien durchgeführt. Die Daten erlaubten eine geschlossene Bilanzierung der gesamten Kläranlage und ihrer Teilsysteme. Fehlende oder unplausible Daten konnten durch begründete Annahmen ersetzt bzw. korrigiert werden.

Auf Grund der ausgeglichenen Mengenbilanz kann davon ausgegangen werden, dass die Durchflussmessungen am Zu- und Ablauf der Kläranlage Schwechat zufrieden stellend funktionieren.

Die **Phosphorbilanz** der Kläranlage weist zulaufseitig einen Fehlbetrag in Höhe von 20% (25 kg/d) auf. Die Phosphorteilbilanzen der einzelnen Teilsysteme zeigen ähnliche Ergebnisse - die Phosphorfrachten im Ablauf sind höher als die im Zulauf gemessenen (Vorklärung 9,8 kg/d; Faulung 11 kg/d). Der Fehler ist möglicher Weise auf eine systematische Unterbestimmung der Phosphorkonzentration im Zulauf und die Verwendung unrichtiger Verhältnisse zu oTS zurückzuführen.

Die Berechnung der Phosphor- CSB- und Stickstoffbilanzen über das Teilsystem der **Schlammfaulung** ergibt eine erhöhte Fracht im Faulschlamm (Ablauf) im Unterschied zu der aTS- Bilanz. Ursache ist entweder eine fehlerhafte Bestimmung des Glühverlustes im Faulschlamm (durch CO₂ – Verlust beim Brennen von Calciumcarbonat) oder fehlerhafte Annahmen über die oTS-Verhältnisse.

Die über die Messwerte im Zu- und Ablauf der Vorklärung berechneten Wirkungsgrade liegen in einem plausiblen Wertebereich.

Als besonders interessant bei der Bilanzierung der Kläranlage Schwechat hat sich die **Atmungsmessung der Hochlaststufe** herausgestellt. Sie ergab einen höheren Wert der Kohlenstoffatmung, als er bei der Bilanzierung angesetzt wurde. Anhand von Stichproben wurde nachgewiesen, dass bei den bisherigen Messungen der CSB-Konzentration im zulaufenden Industrieabwasser systematisch zu geringere Werte bestimmt wurden.

Das **Schlammalter** in der Schwachlastbelebungsstufe ist mit etwa 29 Tagen außerordentlich hoch. Aus diesem Grund wird der größere Teil des zufließenden CSB veratmet, und nur wenig (33%) davon wird in Biomasse (Schlamm) umgewandelt. Daraus

ergibt sich ein größerer energetischer Aufwand für die Belüftung. Der weitgehende aerobe Abbau des CSB führt dementsprechend zu einer geringen Gasausbeute bei der Schlammfäulung.

Es ist zu erwarten, dass durch eine Reduktion des aeroben Schlammalters der Belüftungsbedarf im Betrieb der Kläranlage Schwechat zurückgeht und damit bei gleich bleibender Reinigungsleistung eine Energieeinsparung erzielt werden kann.

Die erarbeiteten Bilanzen weisen eine zufriedenstellende Genauigkeit auf und können als Grundlage für eine Prozessoptimierung herangezogen werden.

LITERATURVERZEICHNISS

Abwasserverband "An der Traisen", IWA TU Wien (2003): *Verfahrenstechnische Ansätze zur Reduktion von Klärschlamm auf Kläranlagen*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft;

Agis, H. (2002): *Energieoptimierung von Kläranlagen. ÖWAV – Workshop „Benchmarking in der Abwasserentsorgung“*, Wiener Mitteilungen Band 176, S. 133-178;

ATV (2000): Arbeitsblatt A 131, *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*;

AWV Schwechat (2008): Homepage (<http://www.awv-schwechat.at/>);

Fellner J. (2007) : "Poster: *Bilanzen-Methode - Kostengünstige Bestimmung des Biomasseanteils von Abfällen*", ÖWAV Abfallwirtschaftstagung "Energie und Rohstoffe im Abfall", Linz

Frey W., Schrammel A.,(2002): *Maschinelle Ausrüstung der Schlammbehandlung*, Wiener Mitteilungen Band 177b, S.77-124;

Ganz Schwechat (2006): *25 Jahre Abwasserverband* , Zeitschrift 480(2006),Nr.11,S.10;

Grundsätze für Planung, Bau und Wartung (2002) : *Fettabscheider*, Land Salzburg

GWF.Wasser.Abwasser (2004): *Direkter Weg zu sauberem Wasser*, Zeitschrift 145 (2004),Nr.4, S. 276-278;

Haberl R. (2008): *811.103 Industrierwasserwirtschaft*, Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz, Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt / Universität für Bodenkultur Wien , S.163-203;

Internet Portal für Wasser und Abwasser (2008): Homepage (<http://www.wasserwissen.de/>);

Klärwerk.Info (2008): Homepage (<http://www.klaerwerk.info/Fachwissen/>);

Kroiss H. (2007): *Klärwärter-Grundkurs* , Wiener Mitteilungen Band 202;

Mair J.(1985): *Einfahr- und Betriebsverfahren einer Belebungsanlage zur Reinigung von Zuckerfabrikabwasser*, Diplomarbeit TU Wien;

- Nikolavcic B., M. Zeßner, O. Nowak (1998):** *Maßnahmen zur Phosphorentfernung*, Wiener Mitteilungen Band 145, S. 205 – 259;
- Nowak O. (2000):** *Bilanzierung in der Abwasserreinigung*, Habilitationsschrift TU Wien, Institut für Wassergüte
- OSMA – Wien, Bericht Phase C (2008):** *Optimierte Stoffflussmonitoring für die Abwasserentsorgung Wiens*, TU-Wien
- Petrov I. (2007):** *Bilanzierung einer zweistufigen Belebungsanlage (HKA Wien) bei zwei maßgeblichen Lastfällen*, Diplomarbeit TU Wien;
- Radlegger W. (2002):** *Untersuchungen zur Nitrifikation und Denitrifikation der Trübwasserbehandlung am Beispiel der Kläranlage Wien-Schwechat*, Diplomarbeit TU Wien;
- Reihe Niederösterreich (1995):** *Tätigkeitsbericht des Rechnungshofes in Bezug den Abwasserverband Schwechat*; Österreichische Staatsdruckerei;
- Rüffer H. (1991):** *Taschenbuch der Industrieabwasserreinigung*, Oldenburg
- Scheffknecht Ch. (2005):** *Kläranlagenüberwachung, Bestimmung des Gesamtstickstoffs*; Bericht UI-07/2005, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg;
- Spindler A. , Parravicini V. ,Svardal K. (2005) :** *Bilanzierung der Kläranlage Schwechat*, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien;
- Svardal K. (1997):** *Durchführung und Interpretation von Atmungsmessungen für den Betrieb von Belebungsanlagen*, Wiener Mitteilungen Band 141, S. 247-273;
- Svardal K., Nowak O. und Schweighofer, P. (1998):** *Datendokumentation und Auswertung – Plausibilitätsanalyse von Messwerten*, Wiener Mitteilungen Band 147, S. 439-475;
- Umweltbundesamt/Federal Environment Agency – Austria (2004):** *Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten – Schwechat*, M-168, S. 447-501;
- WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (2008) :** *Online Messtechnik, Kataloge - Nährstoffparameter Stickstoff* , S.34-45;

ANHANG A: KLÄRANLAGE SCHWECHAT – SCHEMEN

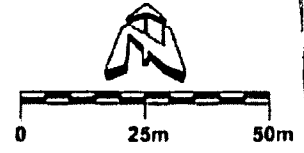
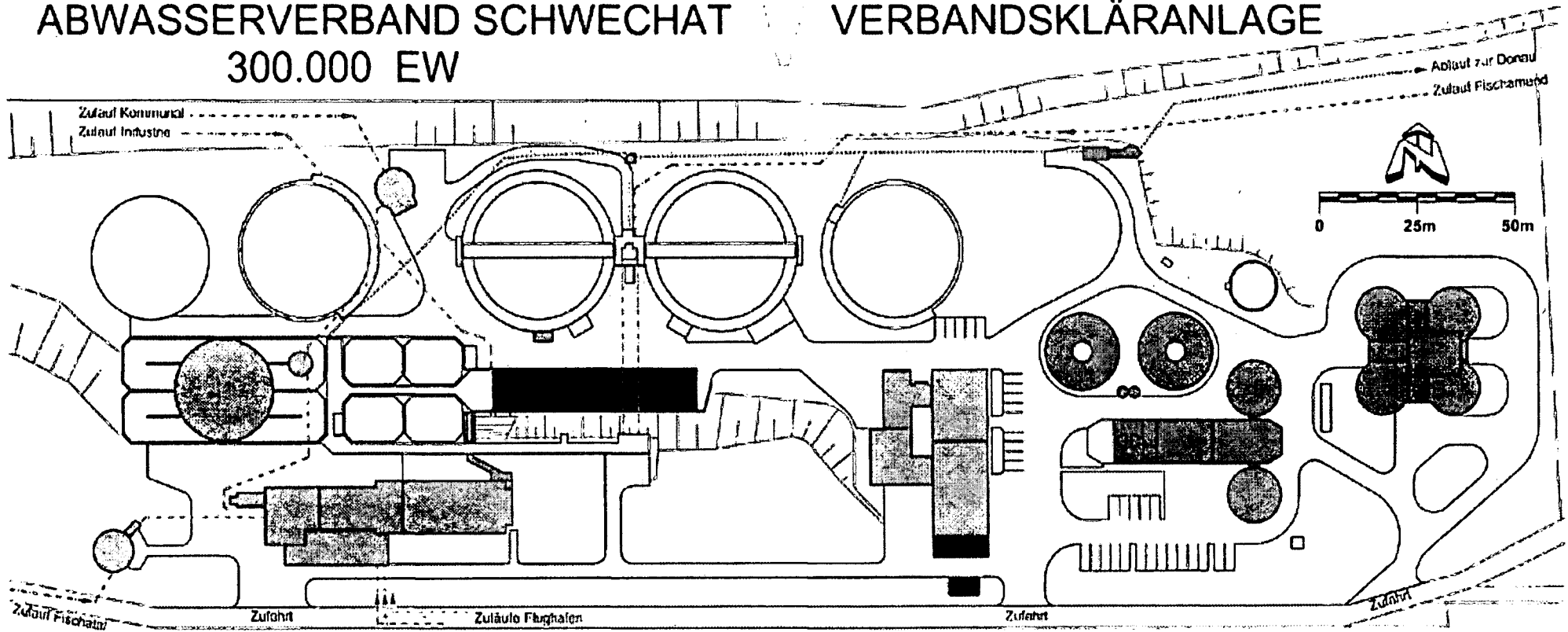
A 1. Lageplan

A 2. Reinigungsstufen

A 3. Schlammbehandlung

ABWASSERVERBAND SCHWECHAT VERBANDSKLÄRANLAGE

300.000 EW

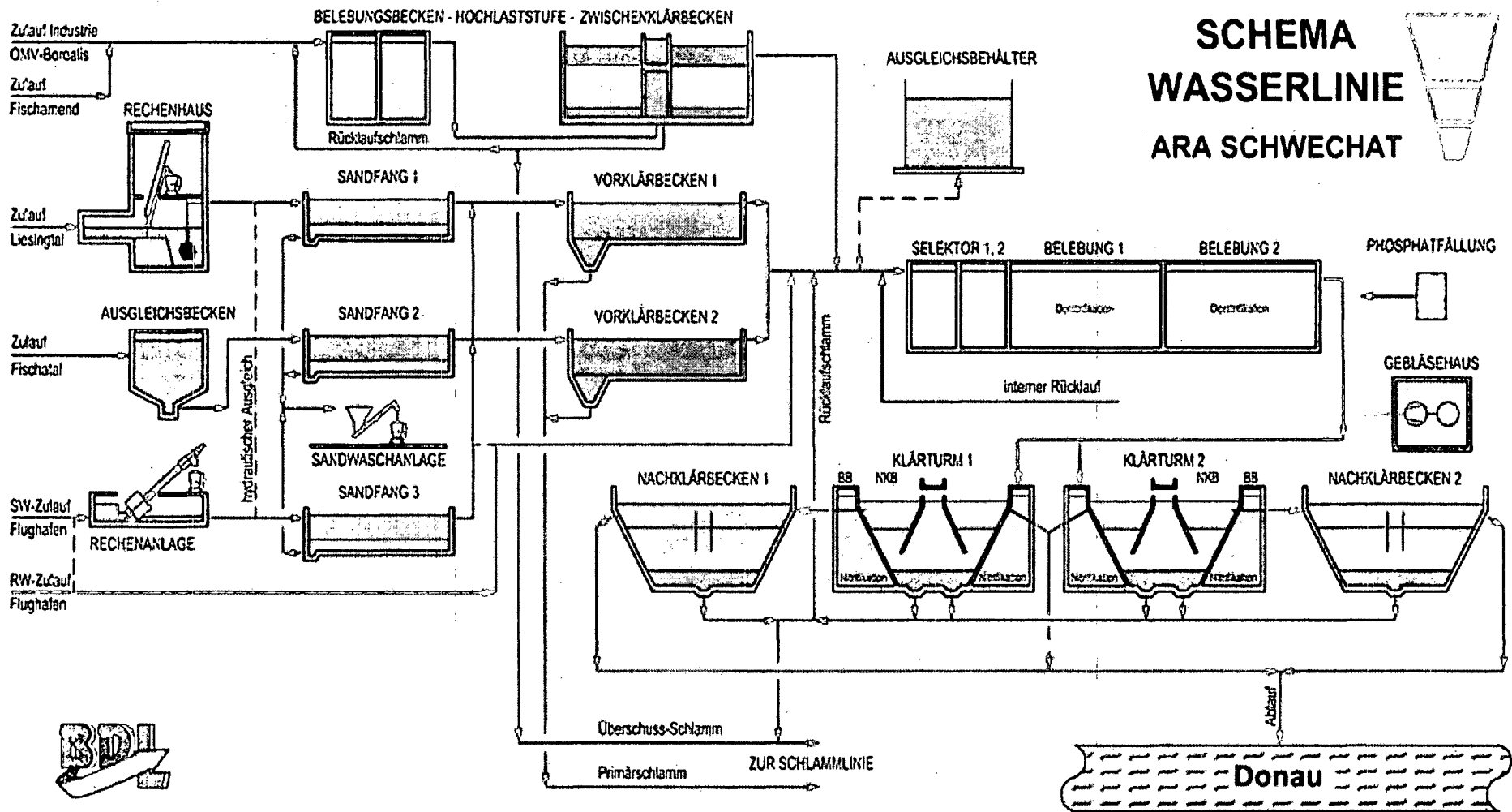


- | | | |
|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| MECHANISCHE REINIGUNGSANLAGE | GAS- UND HEIZUNGSANLAGE | ABLUFTREINIGUNGSANLAGEN |
| BIOLOGISCHE REINIGUNGSANLAGE | WARTF., BURO, WERKSTATT, GARAGE | BETRIEBSSTRASSEN |
| SCHLAMMBEHANDLUNGSANLAGE | DRUCKLUFT- UND ENERGIEERZEUGUNG | GRÜNFLÄCHEN |

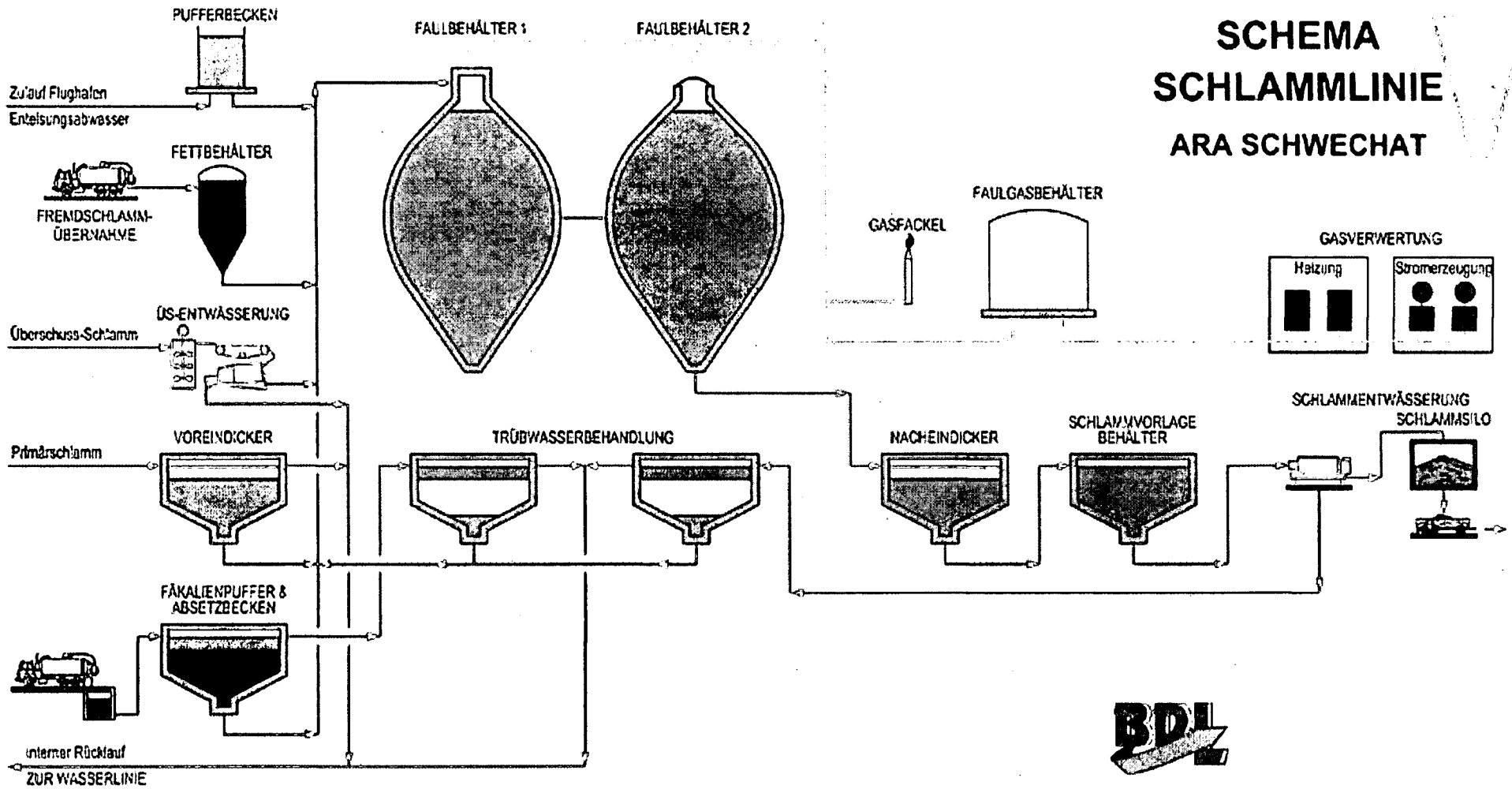


A2 Reinigungsstufen

SCHEMA WASSERLINIE ARA SCHWECHAT



A3 Schlammbehandlung

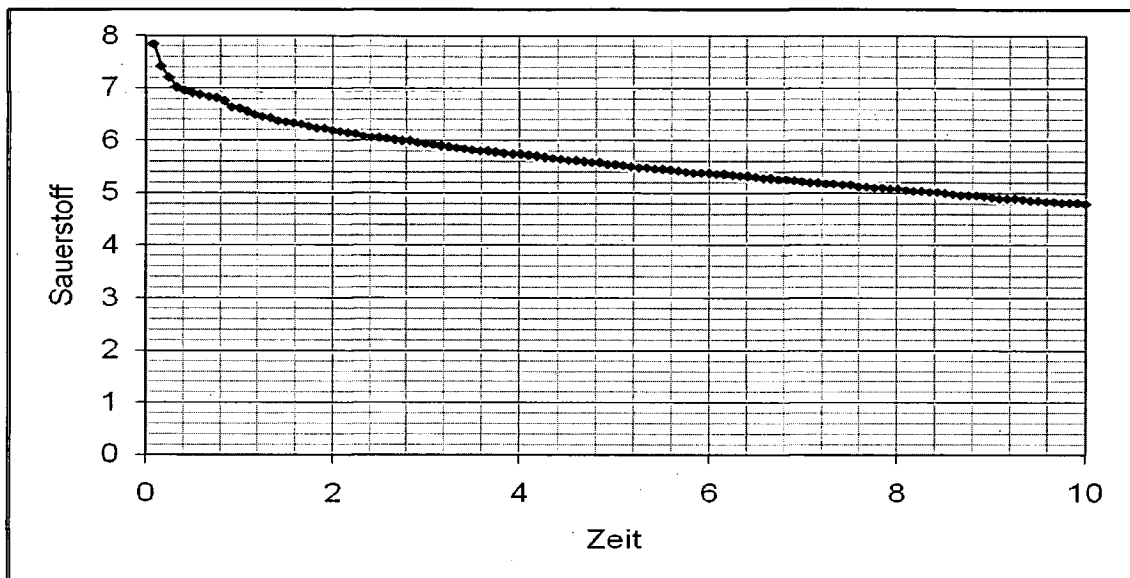


ANHANG B: ATMUNGSMESSUNGEN

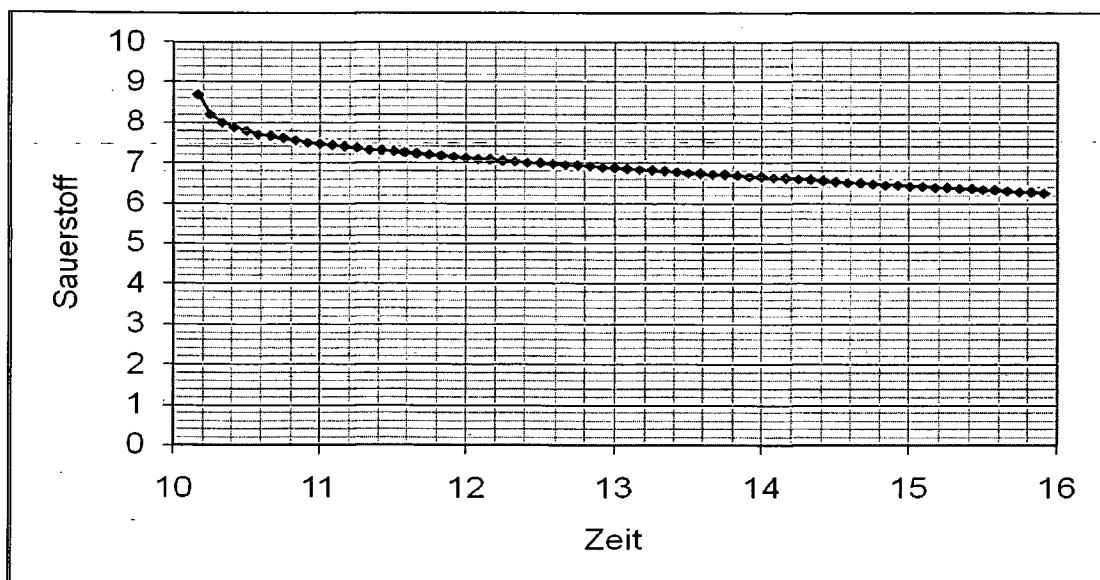
B 1. Schwachlaststufe

- Bemessungen von 11.11.2008

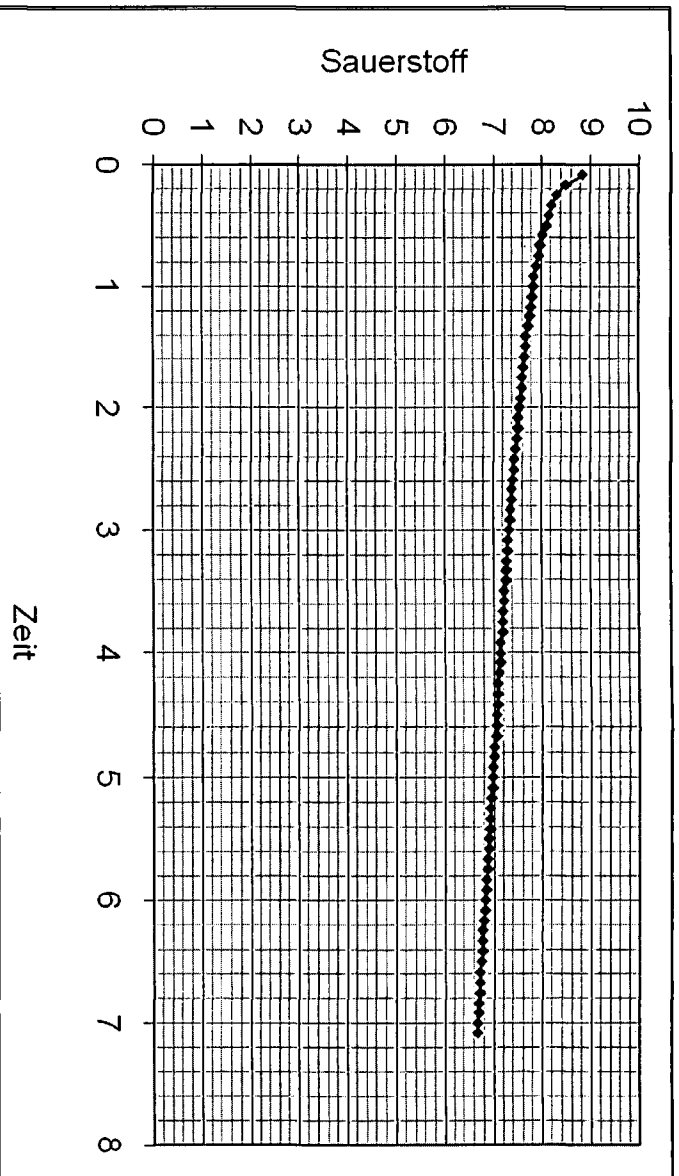
B 2.1 1 Probe – KT2



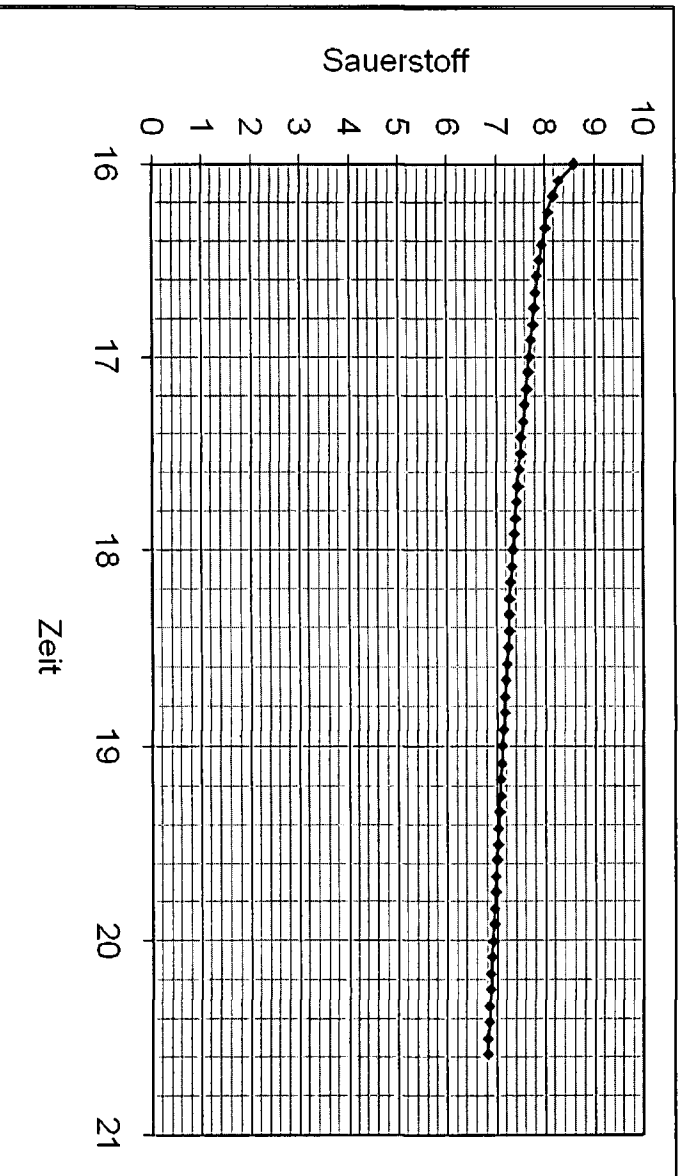
B 2.2 2 Probe – KT2



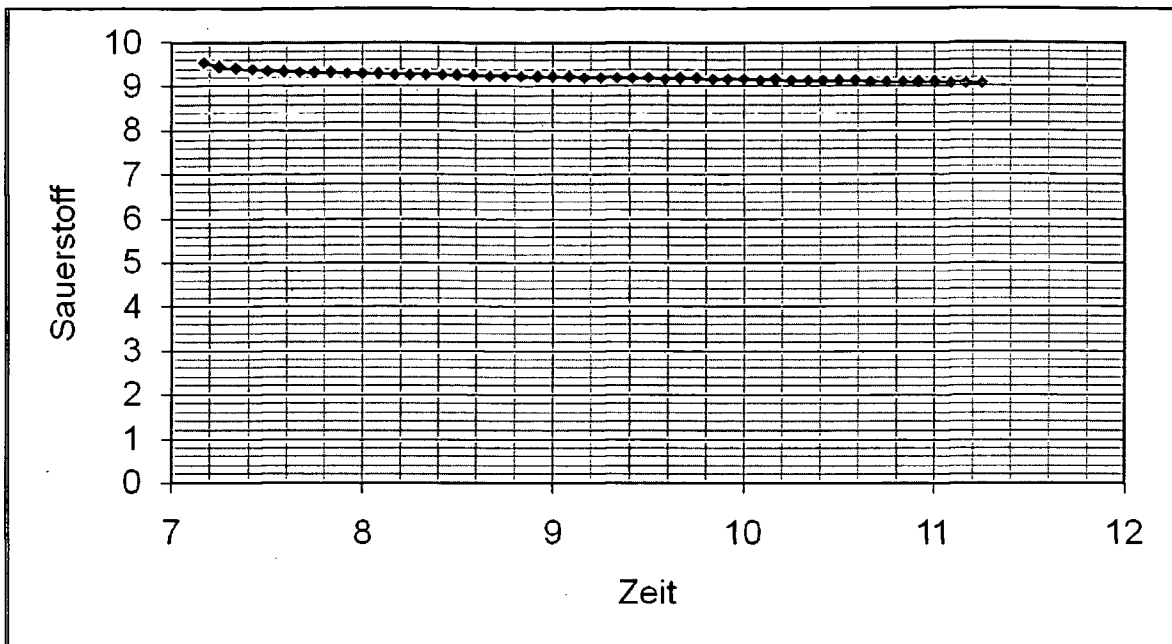
B.2.3 3 Probe – KT2



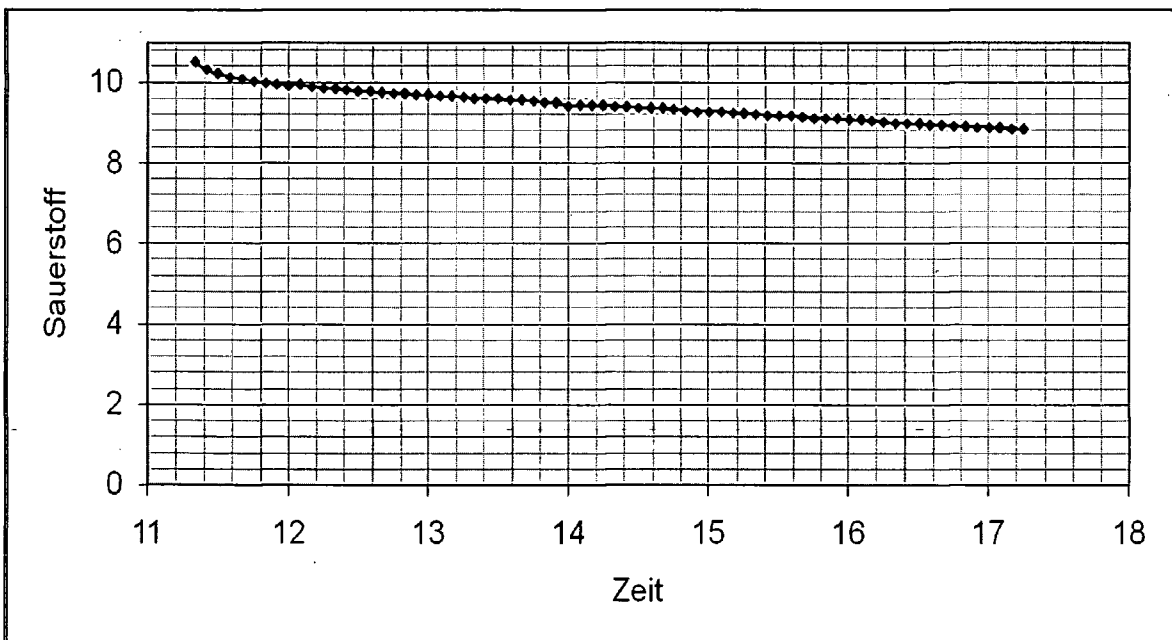
B.2.4 1 Probe – KT1



B 2.5 OVCg Bestimmung – KT2



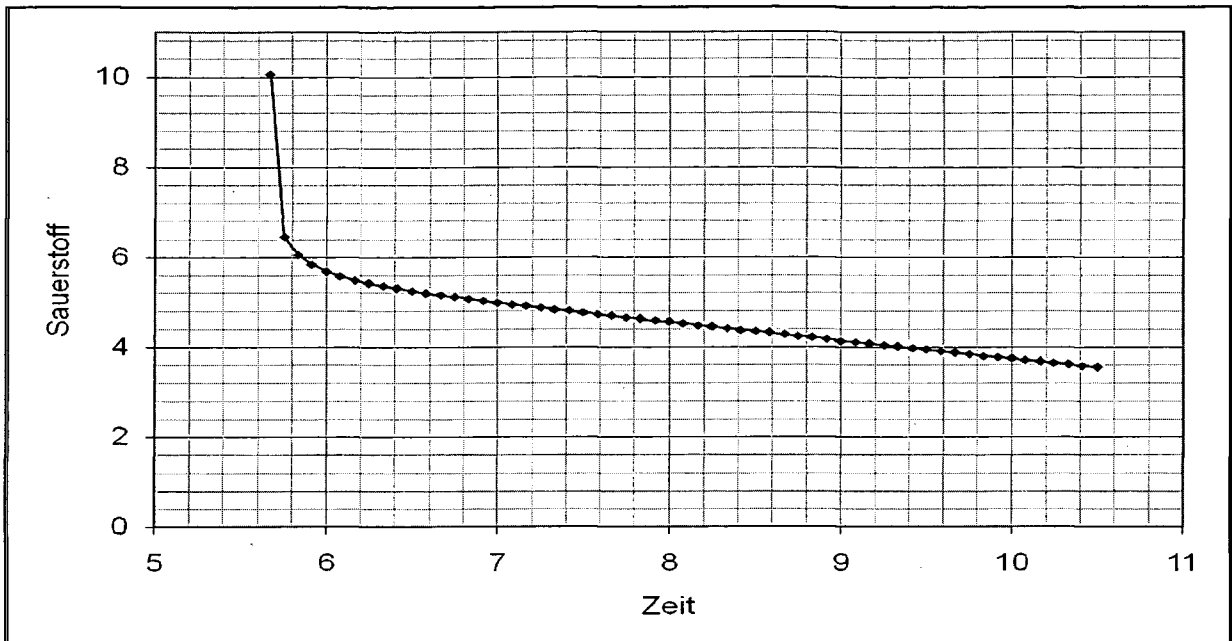
B 2.6 OVNmax Bestimmung – KT2



B 2. Hochlaststufe

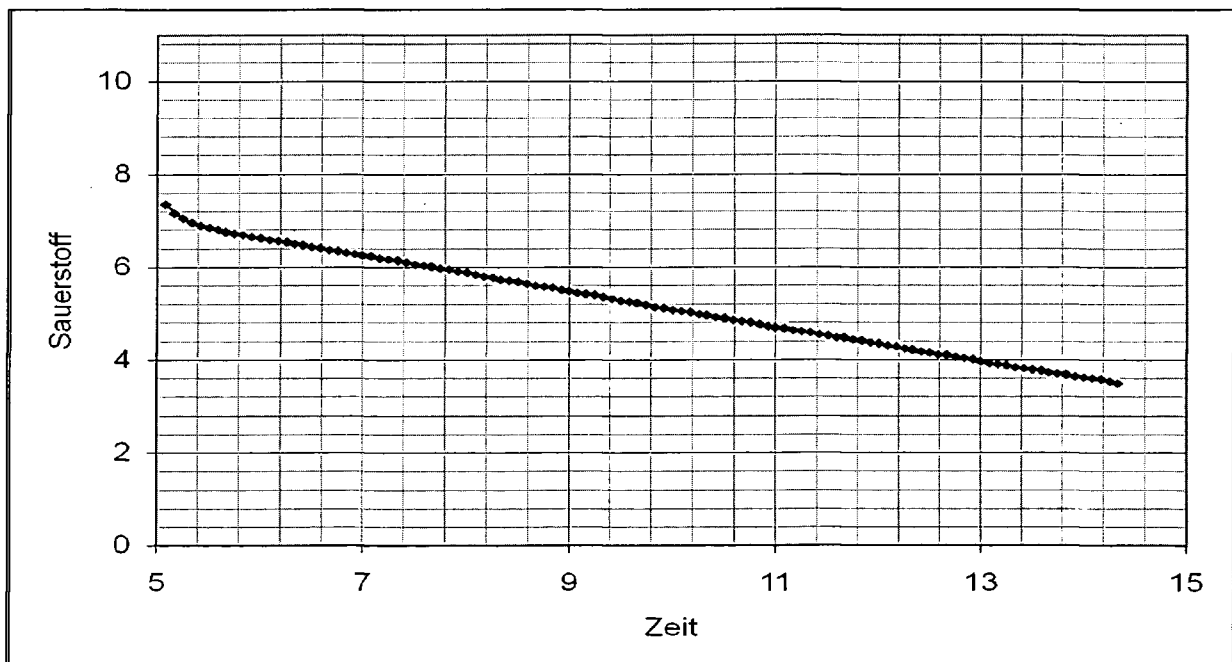
- Bemessungen von 11.11.2008

B 2. 1 Selektor 1(Probe vermischt mit Wasser:1:4)

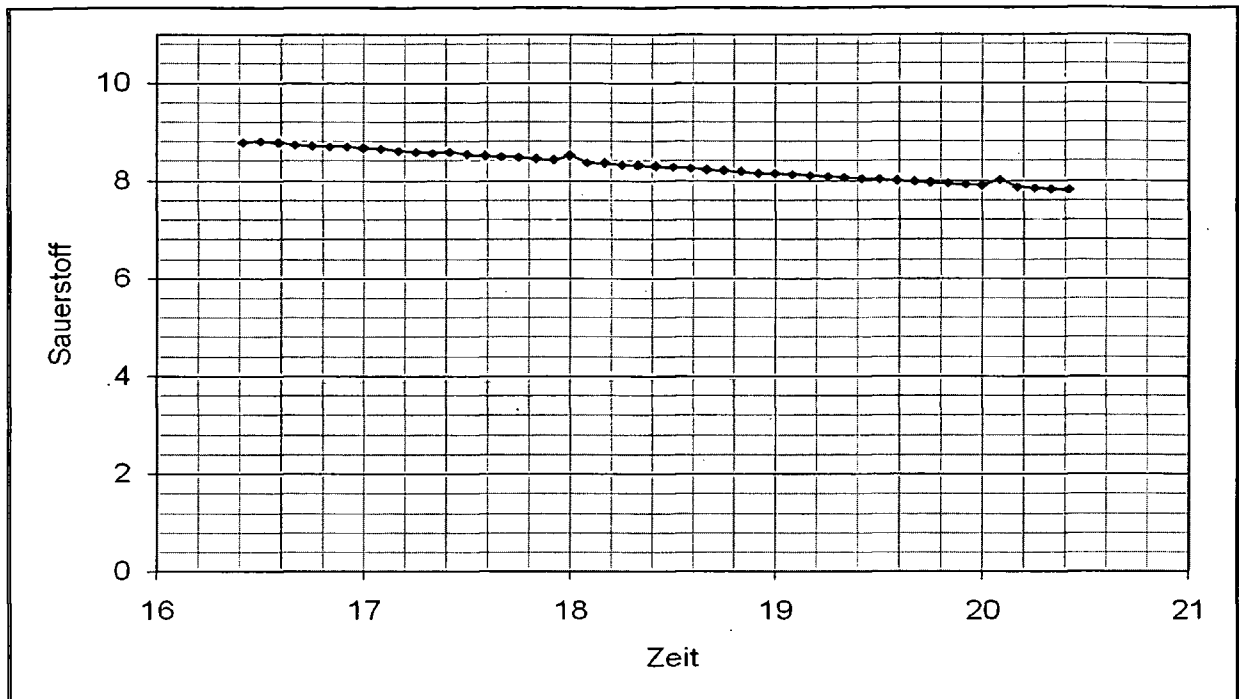


- Bemessungen von 24.11.2008

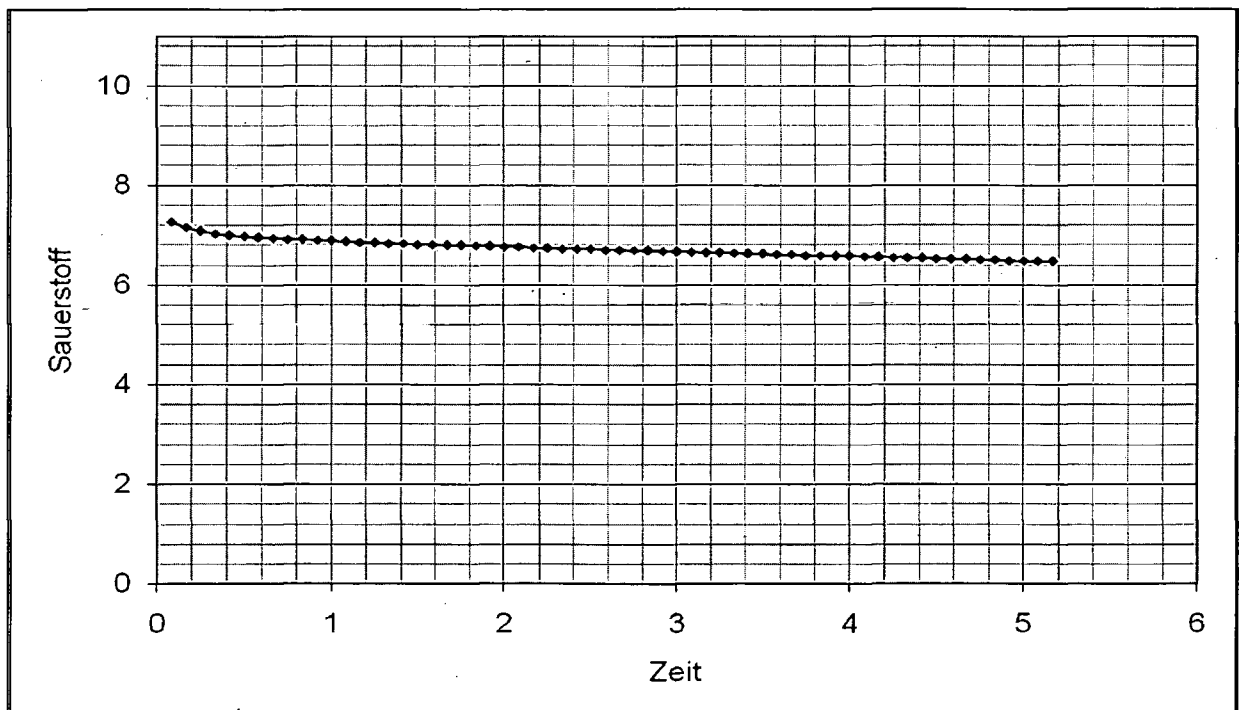
B 2. 2 Selektor 1-1.Probe / mit Wasser vermischt (1:4)/



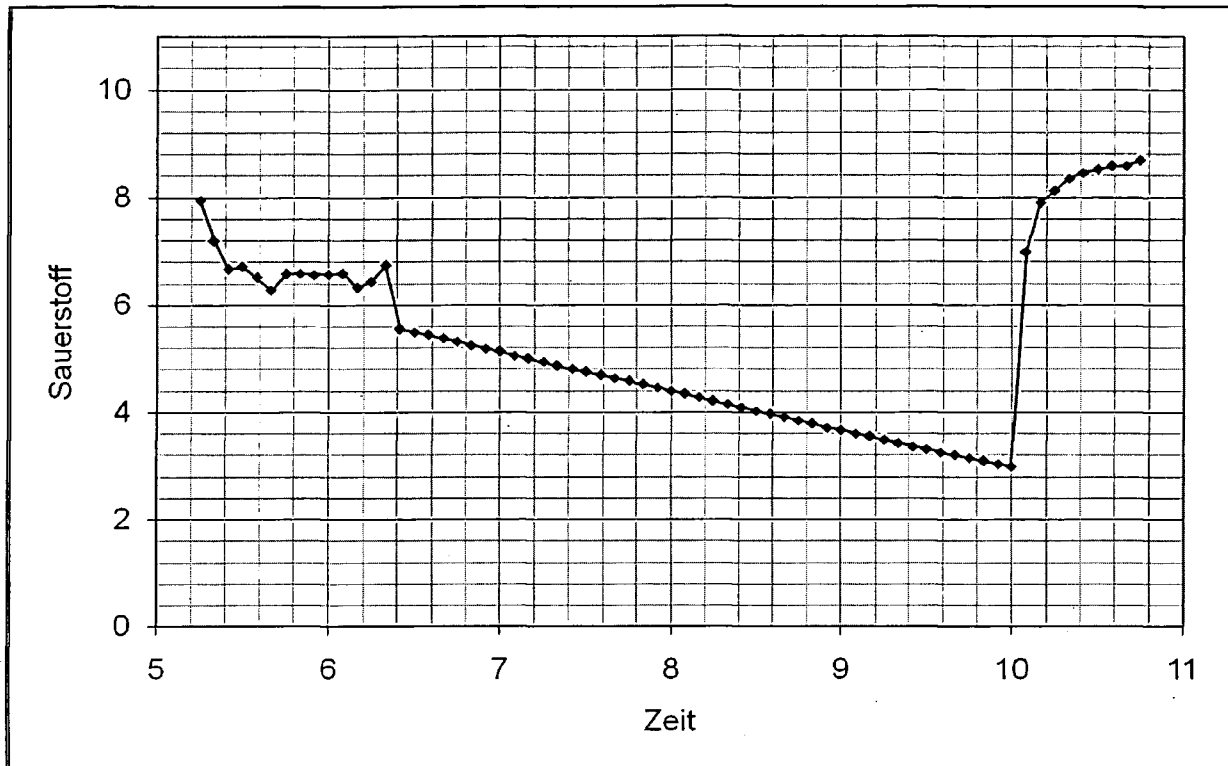
B 2. 3 Selektor 1- 1.Probe / mit Wasser vermischt (1:4)/ nach 10 Minuten



B 2. 4 Selektor 2 – 1.Probe / mit Wasser vermischt (1:4)/



B 2. 5 Selektor 2 – 2.Probe



B 2. 6 Selektor 2 – 2.Probe nach 10 Minuten

