PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN BEI DER WEITERGEHENDEN ABWASSERREINIGUNG BEI EINEM SCHWACHEN VORFLUTER AM BEISPIEL DER KLÄRANLAGE MÖDLING

Andreas FRANZ

1. EINLEITUNG

Mit der Novellierung des Wasserrechtsgesetzes wurden die Anforderungen an die Abwasserreinigung zur Reinhaltung der Gewässer erheblich verschärft. Mit der gleichzeitigen Forderung nach Gewässergüte II für alle Fließgewässer - entsprechend dem Entwurf zur Immissionsverordnung - wurden die Emissions- und Immissionsbetrachtungen miteinander verknüpft. Vor allem bei Kläranlagen an kleinen Vorflutern, die typisch sind für große Teile Niederösterreichs, aber auch des Burgenlandes und der Oststeiermark, wird sich die Einhaltung der chemischen Parameter der zu erwartenden Immissionsverordnung äußerst schwierig gestalten.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes, das durch die Finanzierung über die Österreichische Kommunal Kredit AG ermöglicht wurde, sollte eine Wissensbasis geschaffen werden, die für die Beurteilung der Zusammenhänge zwischen technischem Aufwand, Betriebssicherheit, sowie zu erwartender Reinigungsleistung (unter realen Betriebsbedingungen) und Gewässergüte notwendig ist.
Die primäre Aufgabe bestand darin festzustellen, ob trotz der Einleitung des Ablaufes der Kläranlage in einen Vorfluter ohne nennenswerte Eigenwasserführung, eine Gewässergüte erreichbar ist, die den Anforderungen des Wasserrechtsgesetzes entspricht.

Für diese Untersuchungen wurde die Kläranlage Mödling mit ihrem schwachen Vorfluter, dem Krottenbach, ausgewählt, da ihr verfahrenstechnischer Ausbau sowie die derzeitige Belastung in einem Bereich liegen, der im wesentlichen einer Anlage nach Bemessung nach ATV A-131 entspricht.

Die Kläranlage wurde in Zusammenarbeit mit der TU aber ausschließlich vom Personal der Anlage betrieben. Demzufolge wurden die Ergebnisse dieser Untersuchungen aus den verschiedenen praxisrelevanten Betriebsweisen ermittelt und sind daher auch auf vergleichbare Kläranlagen und Vorfluterverhältnisse durchaus übertragbar.

2. CHARAKTERISIERUNG DER ÖRTLICHEN SITUATION SOWIE DER KLÄRANLAGE UND DES VORFLUTERS

Die Kläranlage Mödling liegt südlich von Wien am Rande des Wienerwaldes. Die jährliche Niederschlagshöhe im Einzugsgebiet der Kläranlage liegt bei ca. 700 mm. Das Einzugsgebiet der Kläranlage umfaßt mehrere Gemeinden mit insgesamt 96 km² Größe mit unterschiedlicher Bebauungsdichte und einer Höhendifferenz von ca. 300 m. Hieraus ergibt sich eine Hauptsammlerlänge von 25 km und spürbare klimatische Unterschiede innerhalb des Einzugsgebietes mit entsprechenden Auswirkungen auf den Mischwasserabfluß. Der Mödlinger Sammler ist als Trennkanal und der Brunner Hauptsammler als Mischkanal ausgeführt. Teilweise undichte Kanäle sowie Fehlanschlüsse führen zu einem hohen Fremdwasseranteil im Rohabwasser. Die Beschickung der Anlage ist zufolge des Brunner Sammlers insgesamt charakteristisch für ein Mischverfahren.

Die Kläranlage Mödling ist eine **einstufige Belebungsanlage ohne Vorklärung mit simultaner Nitrifikation und Denitrifikation, Stabwalzenbelüftung und biologisch - chemischer Phosphorentfernung**. (v.d.EMDE, 1984, 1986, MATSCHÉ, 1992). Die Steuerung der Sauerstoffzufuhr erfolgt über den Sauerstoffgehalt in den beiden Umlaufbecken, der in jedem Becken an einer Stelle in drei verschiedenen Tiefen gemessen wird. Die Anlage ist seit 1990 in Betrieb.

Der Abfluß des Vorfluters (Krottenbach) der Kläranlage Mödling beträgt im Mittel ca. 30 l/s. Der maßgebliche Niederwasserabfluß $Q_{95\%}$ liegt in der Größenordnung von 10 l/s.
Da im Jahresmittel der Abfluß der Kläranlage bei 250-300 l/s liegt und somit den Abfluß des Krottenbaches etwa 10-fach übersteigt, ist für die Qualität (Wasserqualität, biologische Gewässergüte) des Krottenbaches - neben den Belastungen durch Regenüberläufe im Oberlauf - der Ablauf der Kläranlage maßgebend.

Tabelle 1 : Kenndaten der Kläranlage Mödling

Auslegungsdaten der Belebungs- und Nachklärbecken

Ausbaugröße :	100.000	EW_{60}
Abwassermenge:	40.000	m^3/d
QT :	2.880	m^3/h
QR max:	3.924	m^3h
BSB_5-Fracht :	6.000	kg/d
Feststofffracht :	8.000	kg/d

Nutzinhalte und maschinelle Einrichtungen:

Grob-/Feinrechen	30 mm / 15 mm bzw. 10 mm	
Belüfteter Sandfang:	V=	$208m^3$, A= $70m^2$
Anaerobbecken:	V=	$1.000m^3$, 2 Rührwerke
Anaerob-/Anoxbecken :	V=	$4.600m^3$, 12 Rührwerke
2 Belebungsbecken:	V=	$12.500m^3$, 4 Rührwerke

12 Mammutrotoren (∅ 1 m, Länge 9 m, á 40 kW)

3 Nachklärbecken: Rundbecken, mittlere Wassertiefe 3 m, ∅ 45 m, $V=14.310m^3$, $A=4.800m^2$, $q_{A,RW}=0,84$ m/h

RS-Pumpen: Förderleistung 2*800l/s und 1*300l/s

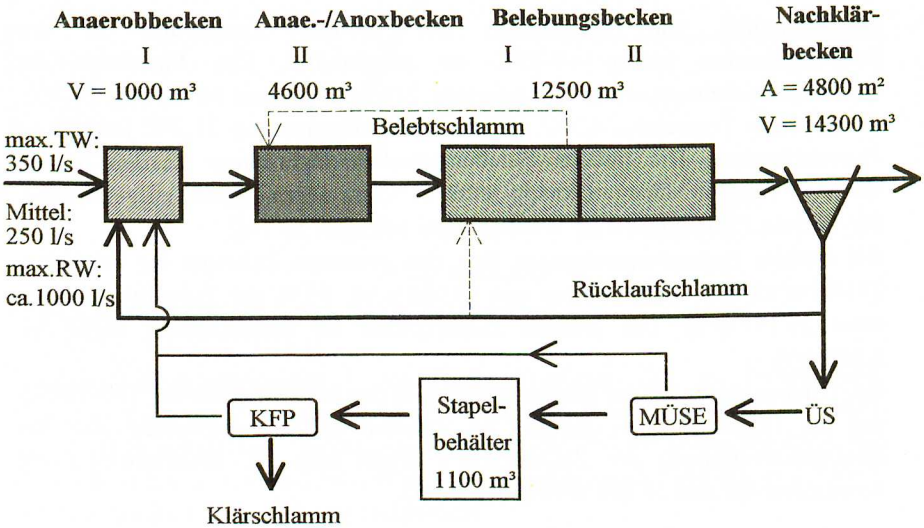

Abbildung 1 : Verfahrensschema der Kläranlage Mödling

3. GEFORDERTER UMFANG DER ABWASSERREINIGUNG DER KLÄRANLAGE MÖDLING

Hinsichtlich der Reinigungsleistung der Kläranlage wurde mit dem Wasserrechtsbescheid aus 1987 bei Trockenwetter (bis 2.880 m³/h bzw. 40.000 m³/d) ein BSB_5 im Ablauf von 15 mg/l, eine Ablaufkonzentration von Ammoniumstickstoff von 3 mg/l (Sommer) bzw. 5 mg/l (Winter) und von Nitratstickstoff von 8 mg/l sowie hinsichtlich der Phosphorverbindungen eine Konzentration von 1 mg/l Ges-P als jeweiliger Tagesmittelwert unabhängig von der Temperatur im Belebungsbecken festgelegt. Im Mischwasserfall (3.924 m³/h), der über das maximale Abfuhrvermögen der Sammelkanäle festgelegt wurde, sind 15 mg/l BSB_5 im Ablauf einzuhalten. Für Trocken- und Regenwetter gilt eine maximale Schwebstoffkonzentration im Ablauf von 30 mg/l ebenfalls als Tagesmittelwert.

4. BELASTUNG DER BESTEHENDEN ANLAGE ALS GRUNDLAGE FÜR DIE BEWERTUNG DER REINIGUNGSLEISTUNG

Abwasseranfall und Temperatur: Die mittlere Temperatur in den Belebungsbecken betrug 14-15°C im Jahresmittel. Der Mittelwert der Belebungsbeckentemperatur im Zeitraum März 92 -August 94 betrug 14,9°C, die minimale Temperatur 9,1°C und die Maximaltemperatur 21,2°C jeweils als Tagesmittelwert. Die tiefsten Belebungsbeckentemperaturen wurden in den Monaten Februar/März mit knapp unter 11°C im Monatsmittel aufgezeichnet. Die tiefsten Temperaturen im Wochenmittel betrugen 10°C.

Die mittlere Tagesabwassermenge über den gesamten Zeitraum lag bei knapp 23.000 m³/d, mit Spitzenwerten von 53.000 m³/d. 85 % der Zulaufwerte lagen unter 28.151 m³/d. Die größten Zulaufspitzen im Stundenmittel lagen bei 2.800 m³/h.

Bei Trockenwetter lag der minimale Zufluß in den Nachtstunden bei 100-120 l/s und die Tagesspitze bei 260-290 l/s, ermittelt aus Stundenwerten. Aus der Häufigkeitsverteilung der Zulaufmengen ergibt sich bei Trockenwetter ein Abwasseranfall von 25.000 m³/d (85%-Wert).

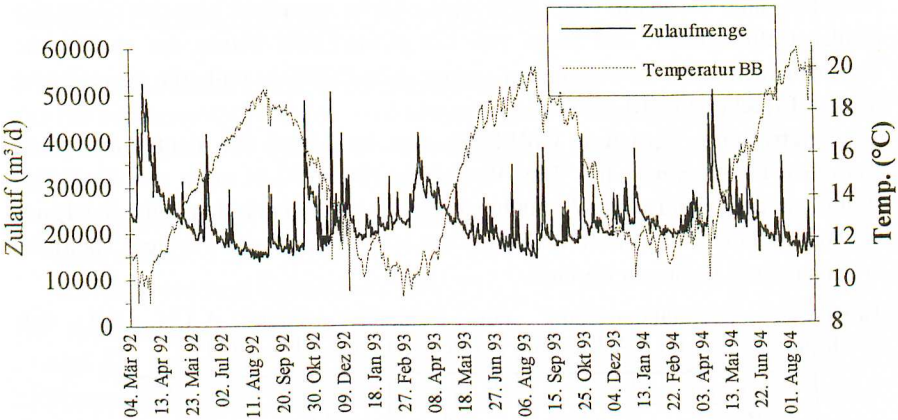

Abbildung 2 : Abwasseranfall und Temperaturverlauf im Belebungsbecken

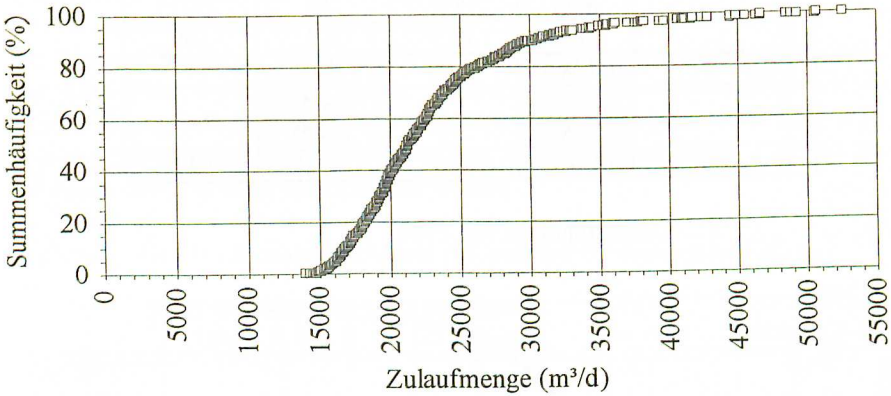

Abbildung 3 : Summenhäufigkeit der Zulaufmenge

<u>Schmutzstoffkonzentrationen / spezifische Frachten:</u> Das zu behandelnde Abwasser kann als kommunales Abwasser mit einem hohen Fremdwasseranteil (ca. 50%) charakterisiert werden. Im Zeitraum 1992-94 wurden in den Monaten März - Mai bis zu 6,8 mg/l NO_3-N in der Tagesmischprobe und bis zu 2,3 mg/l als Monatsmittelwert im Zulauf festgestellt.

Ein Vergleich der ermittelten Zulaufwerte der KA-Mödling mit den für kommunales Abwasser angegebenen Parametern nach der ATV Bemessungsrichtlinie A 131 zeigt, daß die einwohnerspezifischen Frachten an

Phosphor und Stickstoff um 36% bzw. 10 % geringer sind als jene der Kohlenstoffparameter. Auf Basis von 120 gCSB/EW/d betrug die spezifische Phosphorfracht im Zulauf knapp unter 1,6 gP/EW/d und die spezifische Stickstofffracht unter 10 g/EW/d.
Das relativ hohe Verhältnis CSB/BSB_5 von im Mittel 2,5 deutet auf einen Vorabbau im Kanalnetz hin. Das Verhältnis TKN/NH_4-N zeigt den Grad der Hydrolyse der organischen Verbindungen an und liegt nach den Zulaufanalysen in Mödling bei 1,5-1,6. Das Verhältnis org.N/CSB mit zirka 3% liegt ebenfalls in einem etwas niedrigen Bereich.

Tabelle 2 : Gegenüberstellung der Parameter nach A 131 mit den Zulaufparametern der KA-Mödling (Mittelwerte aus 1992-1994)

Parameter		lt. A 131	Mittelwert	Anzahl
CSB	mg/l	600	306	441
BSB_5	mg/l	300	122	60
abf.St.(TSo)	mg/l	350	156	448
N	mg/l	55	25	507
P	mg/l	12,5	4,0	509
CSB	g/EW/d	120	120	
N	g/EW/d	11	9,9 *)	
P	g/EW/d	2,5	1,6 *)	
Q	l/EW/d	200	392	911

*) ..... Datengrundlage von 1993

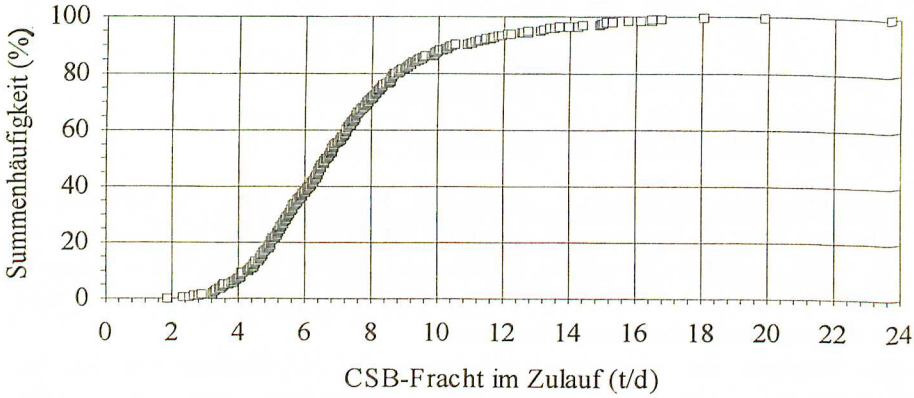

Abbildung 4 : Summenhäufigkeit der CSB-Frachten im Zulauf

5. ABLAUFQUALITÄT UND VORFLUTER

5.1. Ablaufkonzentrationen und Entfernungsgrade

Die Ablaufkonzentrationen der Kohlenstoff- und N-Parameter im Zeitraum März 1992 bis August 1994 unterschreiten im Mittel und auch als 85 % - Wert (Tabelle 6)

- die wasserrechtlich bewilligten Konzentrationen sowie
- die Werte der 1. EMVO und
- die Werte aus dem Entwurf zur IMVO.

Der Gesamtphosphorwert im Ablauf von 1 mg/l wurde nicht eingehalten, da sowohl die Zeiträume mit Fällung als auch mit ausschließlich biologischer P-Entfernung für diese Berechnung herangezogen wurden. Es konnte jedoch gezeigt werden, daß bei ausreichendem Fällmitteleinsatz von im Mittel 7 gFe/m^3 Abwasser bzw. 130 kgFe/d, der Gesamtphosphorwert von 1 mg/l gesichert eingehalten bzw. unterschritten (≈ 0,6 mg/l Ges-P bei einem β=2 auf den zu fällenden Phosphor) werden kann.
Im Zeitraum Feb.-Juni 93 mit Fällung betrug der Mittelwert 0,64 mg/l Ges-P, der 85%-Wert 0,80 mg/l. Um die Einhaltung des Überwachungswertes zu gewährleisten, sollte im Ablauf der Belebung ein Phosphatwert von 0,6-0,7 mg/l und ein Schwebstoffgehalt im Ablauf von 5-10 mg/l (mit einem P-Gehalt im Schlamm von 2%) nicht überschritten werden.

Tabelle 3 : Ges-P - Monatsmittelwerte (Monate mit durchgehender Fällung)

	β auf PO_4-P im Ablauf d. BB II	β auf Ges-P im Zulauf	g Fe/m^3 Abwasser	**Ges-P (mg/l) Ablauf KA**
Dez. 1992	3,4	0,9	7,3	**0,58**
März 1993	1,5	-	2,9	**0,57**
Juni 1993	2,1	0,8	6,1	**0,55**
Sept. 1993	3,5	1,4	9,1	**0,62**
Mai 1994	0,6	0,4	2,2	**0,99**

Tabelle 4 : Zeitraum Feb. - Juni 1993 (durchgehende Periode mit Fällung)

	Ges-P Ablauf KA (mg/l)
50% - Wert	**0,66**
85% - Wert	**0,80**
Mittelwert	**0,64**
Anzahl der Werte	**139**

Die Zugabe von Zeolith, einem Aluminiumsilikat, das im Zeitraum Juli bis September 93 zur Verbesserung der Schlammabsetzeigenschaften zugegeben wurde, erbrachte keine Veränderung der Ablaufwerte. In diesen Monaten wurde nicht gefällt und mit ausschließlich vermehrt-biologischer Phosphorentfernung ergaben sich im Mittel 1,4 mg/l Ges-P im Ablauf.
Die gute Übereinstimmung mit den Analysenwerten des Kläranlagenlabors bestätigt auch die Gleichwertigkeit der Analysengenauigkeit der verwendeten Glasküvettentests mit Spezialanalysengeräten.

Tabelle 5 : Ablaufwerte - Mai bis September 1993 (in mg/l)

1. Mit Fällung, ohne Zeolithzugabe

	Analysen der TU-Wien				Analysen der KA-Mödling		
1.5.-2.7.93	PO4-P	Ges-P	NH4-N	NO3-N	PO4-P	NH4-N	NO3-N
Mittelwert	0,55	**0,63**	**0,15**	**2,09**	0,57	0,03	2,08
St.abw.	0,19	0,21	0,08	0,66	0,16	0,09	0,74
Median	0,60	**0,66**	**0,20**	**1,95**	0,50	0,00	2,00
Min.Wert	0,20	0,22	0,00	0,90	0,30	0,00	0,40
Max.Wert	1,10	1,21	0,40	3,90	1,00	0,60	3,50
Anzahl	**62**	**62**	**62**	**62**	**62**	**62**	**62**

2. Ohne Fällung, mit Zeolithzugabe

	Analysen der TU-Wien				Analysen der KA-Mödling			
2.7.-2.9.93	PO4-P	Ges-P	NH4-N	NO3-N	PO4-P	Ges-P	NH4-N	NO3-N
Mittelwert	1,23	**1,38**	**0,19**	**1,98**	1,38	1,53	0,03	2,35
St.abw.	0,28	0,34	0,23	0,52	0,29	0,22	0,07	0,67
Median	1,30	**1,36**	**0,10**	**2,10**	1,40	1,50	0,00	2,45
Min.Wert	0,30	0,33	0,00	0,80	0,50	1,00	0,00	0,50
Max.Wert	1,80	2,50	1,00	2,90	2,00	2,00	0,50	3,70
Anzahl	**61**	**62**	**61**	**61**	**62**	**52**	**62**	**62**

Der Wirkungsgrad der CSB-Entfernung lag in diesem Zeitraum bei über 90%. Der Entfernungsgrad für Gesamtstickstoff lag bei 90-95% und bei Gesamtphosphor im Zeitraum mit Fällung bei 87% und ohne Fällung bei 66-68%.

Tabelle 6 : Auswertung der Ablaufkonzentrationen 1992-1994, Grenzwerte lt. Wasserrechtsbescheid, Emissionsverordnung und aus dem Entwurf zur Immissionsverordnung

1992-1994	CSB mg/l	TOC mg/l	NH4-N mg/l	NO3-N mg/l	PO4-P mg/l	Ges-P mg/l	SS mg/l
20%	16	5,3	0,0	1,8	0,5	0,7	1
50%	19	6,3	0,1	2,7	0,9	1,0	3
80%	24	7,7	0,3	4,3	1,4	1,5	5
85%	25	8,0	0,3	4,7	1,5*	1,7*	5
98%	50	12,5	1,9	8,7			32
99%	132	16,0	3,6	9,8			70
Mittelwert	**23**	**6,8**	**0,3**	**3,1**	**1,0***	**1,1***	**5**
Anzahl	165	289	731	729	732	662	317
Wasserrechts -bescheid 1987	-	-	**Sommer 3 Winter 5**	**8**	-	**1**	-
a)	**75**	**25**	**5**	-	**0,8**	**1,0**	-
b)	-	**DOC=5,5**	**0,50**	**6,0**	**0,2**		

Legende zu Tabelle 6 :

a) Emissionsbegrenzungen gemäß 1.EVO für kommunales Abwasser vom 12.4.1991 für Anlagen > 50.000 EW_{60}.

b) Auszug aus dem Entwurf zur Immissionsverordnung

*) **mit Fällung kann der Grenzwert von 1 mg/l Gesamtphosphor gesichert eingehalten werden.**

Die Einhaltung der geforderten Gesamtphosphorentfernung von 85% erweist sich bei geringen Zulaufkonzentration als problematisch. Bei einer mittleren Gesamtphosphorkonzentration im Zulauf von ca. 4 mg/l bedeutet dies eine gesicherte Einhaltung von ≤ 0,6 mg/l Gesamtphosphor im Ablauf bzw. ≤ 0,4-0,5 mg/l Orthophosphat. Im Zeitraum Februar bis Dezember 1993 konnte bei einem mittleren Ges-P im Zulauf von 4,4 mg/l (Median bei 4,2 mg/l) in Zeiten mit Fällung (5.2.-30.6.93 und 10.-22.9.93) ein mittlerer P-Entfernungsgrad von 87 % erreicht werden. Der β-Wert bezogen auf den Gesamtphosphor im Zulauf lag dabei zwischen 0,5 und 1,4 im Monatsmittel. Bezogen auf den Phosphor im

Ablauf des Belebungsbeckens lag der β-Wert zwischen 1,0 und 3,5 im Monatsmittel.

Tabelle 7 : Statistische Auswertung der Entfernungsgrade im Zeitraum März 1992 bis August 1994 mit den Analysendaten der TU und der KA-Mödling

	TU-Analysen			**KA-Analysen**		
	ηCSB	ηGes-N	ηGes-P	ηCSB	ηGes-N *	ηGes-P
	%	%	%	%	%	%
Mwg (%)	**≥85**	**≥60 a)** **≥70 b)**	**≥85**			
20%	94	90	84	97	94	78
50%	92	86	71	95	90	72
80%	88	78	58	93	87	62
85%	**87**	**78**	**54**	**92**	**87**	**61**
Mittelwert	**90**	**83**	**71**	**95**	**90**	**68**
Anzahl	**153**	**485**	**478**	**203**	**267**	**166**
c)		>95				
d)			87			
e)			66			

Legende zu Tabelle 7 :

Mittelwert . Entfernungsgrad der Mittelwerte der Zulauf- und Ablauffrachten

Mwg (%)... Mindestwirkungsgrad nach den Emissionsbegrenzungen gemäß 1.EVO für kommunales Abwasser vom 12.4.1991

a) ..... Gilt bei einer Abwassertemperatur >12°C im Ablauf der biologischen Stufe.

b) ..... Gilt bei einer Abwassertemperatur >8°C und ≤ 12°C im Ablauf der biologischen Stufe.

c) ..... Beim Betrieb der Belebtschlammrückführung ohne Anaerobbecken I im August bis November 1993

d) ..... Mit Fällung (Feb.-Juni 93)

e) ..... ohne Fällung bei Betrieb der internen Belebtschlammrückführung und z.T. bei Außerbetriebnahme des Anaerobbeckens I (1993).

* ..... mit org.N im Ablauf = 0,9 mg/l

5.2 Vorfluteruntersuchungen

Da der Krottenbach unterhalb der Kläranlage Mödling nahezu vollständig aus dem Kläranlagenablauf besteht, soll mit diesen Untersuchungen gezeigt werden, welche Wassergüte und biologische Güte des Gewässers mit biologisch gereinigtem Abwasser erreicht werden kann.
Vorrangiges Ziel dieser Untersuchungen war es, anhand der regelmäßigen Vorfluteruntersuchungen festzustellen, ob der Entwurf der Immissionsverordnung die Forderungen des WRG erfüllt und weiters, wenn ja, ob die Verordnung einhaltbar ist.
Entsprechend dem Entwurf zur Immissionsverordnung für Fließgewässer sind für den Krottenbach die Immissionsbegrenzungen für Cyprinidengewässer nicht anzuwenden, da sowohl der Durchfluß $Q_{95\%}$ <400 l/s beträgt, als auch das hydrographische Einzugsgebiet kleiner als 50 km² ist.
Für Vergleichszwecke wird der Entwurf der Immissionsverordnung aber trotzdem herangezogen.

In regelmäßigen Abständen wurde der Krottenbach ca. 200 m oberhalb und ca. 200 m unterhalb der Einleitung der KA-Mödling beprobt und chemische sowie physikalische Parameter bestimmt. Im Zuge der Beprobung des Kläranlagenablaufes und des Vorfluters wurde anhand der physikalisch/chemischen Analysen der Wasserproben der momentane Zustand erhoben und mit der biologischen Güteuntersuchung des Gewässers der Zustand über die Zeit bewertet.

Ein Vergleich der physikalischen und chemischen Parameter für Cyprinidengewässer im Entwurf zur Immissionsverordnung für Fließgewässer mit $Q_{95\%}$ >0,4 m³/s mit den chemischen Analysen des Kläranlagenablaufes zeigte, daß die Immissionsbegrenzungen für die Kohlenstoff- und N-Parameter bei fast allen Beprobungen eingehalten werden können. Dies ist beim Parameter DOC auch auf den relativ hohen Fremdwasseranteil und der dadurch hervorgerufenen Verdünnung zurückzuführen. Der Phosphatwert wurde leicht überschritten, wobei aber anzumerken ist, daß zur Untersuchung der vermehrten biologischen Phosphorentfernung bewußt nicht immer ausreichend Fällmittel eingesetzt wurde, um den im Wasserrechtsbescheid vorgeschriebenen Grenzwert von 1 mg Ges-P/l einzuhalten. Wie bereits gezeigt wurde, können aber bei ausreichender P-Fällung Werte von im Mittel 0,6 mg/l erreicht werden. P-Ablaufwerte im Bereich von 0,2-0,3 mg/l können bestenfalls mit einem nachgeschalteten Filter mit hohem Fällmitteleinsatz und bei störungsfreiem Betrieb erreicht werden.

Phosphorkonzentrationen in den oben genannten Konzentrationsbereichen sind jedoch ohne größere Bedeutung bzw. nachteilige Wirkung für die Funktion des Ökosystems Vorfluter, da auch bei P-Konzentrationen, die selbst mit Flockungsfiltration erreichbar sind, der Phosphor nicht limitierend für das Algenwachstum werden kann. Limitierend für das Algenwachstum ist die Beschattung. Die weitgehende Beschattung des Krottenbaches ist eine wesentliche Voraussetzung für ein relativ geringes Algenwachstum.

Tabelle 8 : Vergleich - vorläufige Immissionsbegrenzungen, Ablaufwerte lt. Wasserrechtsbescheid der Kläranlage Mödling sowie ein Auszug aus den erhobenen Meßwerten von Ablauf und Vorfluter

		vorläufige	Grenzwerte	8.9.1993	10.8.94	10.8.94	10.8.94	10.8.94
Parameter	Einheit	IMVO	WRB 1987	Kr.Achau	Kr.oberhalb	Kr.unterhalb	KA-Ablauf	Kr.Achau
Physikal. Parameter								
Temperatur Temperaturanstieg max. 3°C Höchsttemperatur 25°C	°C			18,3	26,4	24,2	22,5	23
pH-Wert zwischen 6,5 - 9,0 pH-Veränderung max. 0,3 pH-Einheiten	-			8	8,6	7,8	7,8	8,3
Sauerstoffgehalt	%	>80		94				
	mg/l	>6,5		8,5	8,6	9,2	10,4	9,2
Chem. Parameter								
Anorganische Parameter								
Härtegrad	°dH	<8		16,9				
NH4-N	mg/l	0,50	3 bzw. 5	0,05	0,0	0,1	0,0	0,3
Chlorid Cl	mg/l	150		94,1	84	93	92	93
NO3-N	mg/l	6,0	8,0	1,8	2,9	3,1	3,1	3,6
NO2-N	mg/l	0,05		0,03	-	-	-	-
PO4-P	mg/l	0,20	Ges-P = 1,0	1,73	0,3	0,9	0,9	0,7
SO4	mg/l	100			114	141	141	145
Organische Parameter								
DOC	mg/l	5,5		4,4*	3,7*	4,6	6,6	4,8
BSB5 mit ATH	mg/l	3,5	15,0	2	1	1	1	1
BSB5 ohne ATH	mg/l	6,0						
Biolog. Parameter								
Biologische Gewässergüte		II		II				

* ... TOC

Biologische Güteuntersuchung des Krottenbaches

Bei einer Bestimmung der Gewässergüte des Standortes Krottenbach bei Achau ca. 2 km unterhalb der Einleitung der Kläranlage wurde ein Saprobitätswert von 2,2 und eine Gewässergüteklasse von II ermittelt. Es kann somit festgestellt werden, daß mit dem Ablauf einer solcherart bemessenen und betriebenen kommunalen Kläranlage ein Vorfluter ohne nennenswerte Eigenwasserführung (≈"Trockengerinne") gespeist werden kann, der geeignet ist, verschiedene Organismen (bis hin zu Fischen) und Lebensgemeinschaften unterschiedlicher trophischer Stufen hervorzubringen.

Bakteriologische Untersuchungen

Das Ausmaß der fäkalen Belastung und der positive Salmonellennachweis, wie aus den Untersuchungen über den Betrieb einer Abwasserfiltrationsanlage (Dez.92 bis März 93) hervorging, lassen weder Bade- noch Trinkwassernutzung zu.

Die Reduktion der Gesamtkeimzahl (GKZ) in der Belebungsanlage beträgt im Mittel 99,85 %. Zusammen mit der Abwasserfiltrationsanlage (im Pilotmaßstab) konnte eine Keimreduktion von 99,96 % festgestellt werden. Die Bestimmung der Salmonellen über Anreicherung zeigte vor und nach der Filtration einen positiven Befund. Die Ergebnisse über die Keimzahlreduktion durch die Filtration decken sich sehr gut mit Ergebnissen bei Untersuchungen, die auf der Kläranlage Werdhölzli in Zürich durchgeführt wurden (HEISE H., PFUND D., 1990)

Die hygienischen Anforderungen an die Badewasserqualität nach ÖNORM M6230 (GKZ < 1000/ml; E.coli<100 in 100 ml und Salmonellen in 1l nicht nachweisbar) konnte durch Filtration für die Gesamtkeimzahl zwar fallweise erreicht, doch für keinen der Parameter eingehalten werden. Die Anforderungen an die oberirdischen Zuflüsse zu Badegewässern (GKZ<10^4/ml; E.coli<1000 in 100ml) konnten im Falle der Gesamtkeimzahl eingehalten werden, allerdings wurden sie fallweise bereits im Ablauf der Kläranlage erreicht.

Um die hygienischen Anforderungen an Badewasserqualität bzw. an die oberirdischen Zuflüsse zu Badegewässern zu erreichen, reicht die Keimzahlreduktion durch Filtration nicht aus. Hier wäre jedoch die Filtration zur Reduktion von Trübung und Schwebstoffen als Vorstufe zu einer UV-Entkeimung denkbar.

Tabelle 9 : Keimzahlreduktion : Mittelwerte und Schwankungsbreite (Pilotanlage)

	Zulauf KA (Keime/ml)	Zulauf Filter (Keime/ml)	Ablauf Filter (Keime/ml)
Gesamtkeimzahl: MITTELWERT Minimum - Maximum	$4{,}7 * 10^6$ ($2{,}6 - 10{,}4 * 10^6$)	7200 (990 - 14400)	2100 (350 - 5900)
Meßwerte	8	32	32
E. coli: MITTELWERT Minimum - Maximum		180 (1 - 1600)	40 (1 - 170)
Meßwerte		21	21
Fäkalcoliforme: MITTELWERT Minimum - Maximum		880 (23 - 1900)	270 (19 - 270)
Meßwerte		16	16
Salmonellen		pos.	pos.
Meßwerte		6	6

Legende zu Tabelle 9 :
Gesamtkeimzahl: DEV-Nähragar nach Merck, 37°C, 48h, Plattengußverfahren
E.coli: EndoC (Merck) und mFC (Difco), 45°C, 24h, Membranfiltration
Salmonellen: Salmosyst-Regeneration, Anreicherung, Differenzierung auf Rambach-Agar, 37°C

6. SPEZIELLE UNTERSUCHUNGEN

6.1. Veränderungen der Zulaufbedingungen

Wassermenge, Frachten und Temperatur sind prinzipiell jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Sowohl die Intensität als auch die Dauer und die Art der Zulaufveränderungen beeinflussen die Reinigungsleistung. Je kurzfristiger und unerwarteter Änderungen (Wassermenge, Temperatur, Fracht) eintreten, um so größer sind zumeist die Auswirkungen auf die Ablaufqualität.

1. Die Zulaufmenge der Kläranlage Mödling zeigt im Jahresgang deutlich den Mischwassereinfluß. In den Sommermonaten liegen die Zulauffrachten ca. 25% unter dem Jahresmittel. Die Monate Dezember bis Jänner weisen die höchsten Frachten auf. Belastungsveränderungen innerhalb einer Woche sind nur

relativ schwach ausgeprägt und zeigen keinen deutlichen Frachtabfall an den Wochenenden.

2. Für die Darstellung der Tagesganglinien wurden vier 24h-Untersuchungen aus verschiedenen Monaten und unterschiedlichen Belastungsbereichen ausgewählt. Die Untersuchungen im Jänner (Ende der Weihnachtswoche, Glatteis) und Oktober 93 (Regenereignis) mit 11,7 t CSB/d bzw. 10,3 t CSB/d im Zulauf zeigen einen ausgeprägten Tagesgang der Zulauffrachten mit den höchsten Werten in den Vormittagsstunden und einem deulichen Frachtabfall nach Mitternacht. Dem gegenüber liegen die Untersuchungen vom Mai und September 94 (Trockenwetter) in einem niederen Belastungsbereich mit 6,7 t CSB/d bzw. 4,5 t CSB/d und einem relativ schwach ausgeprägten Tagesgang mit den höchsten Frachten unmittelbar in den Morgenstunden.
   Bei allen vier Untersuchungen konnte bei einem Schlammalter >25d ein gleichbleibend gutes Reinigungsergebnis festgestellt werden und zwar unabhängig von der jeweiligen Belastung und der Belebungsbeckentemperatur.

Auswertungen von insgesamt zehn Tagesuntersuchungen (bei Q<40.000 m³/d) hinsichtlich des Verhältnisses von höchster TKN-Fracht in der 4h-Spitze im Zulauf zu der mittleren TKN-Fracht über ca. ein Monat ergaben Spitzenwerte bis 3.

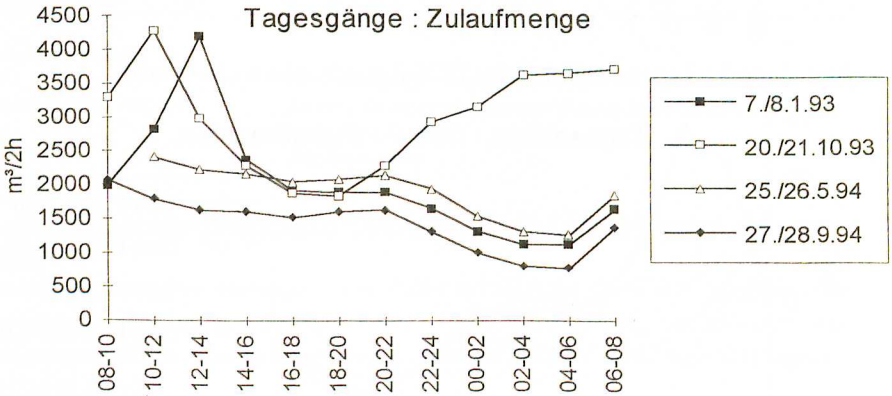

Abbildung 5 : Tagesganglinien der Zulaufmengen (2h-Werte)

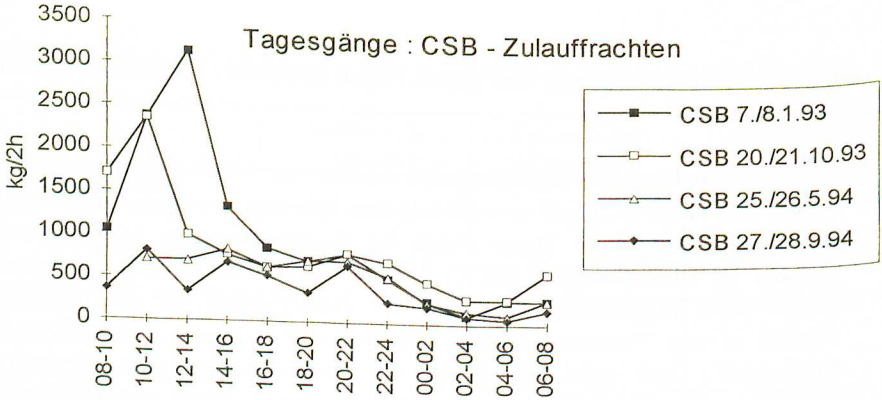

Abbildung 6 : Tagesganglinien der CSB-Zulauffrachten (2h-Werte)

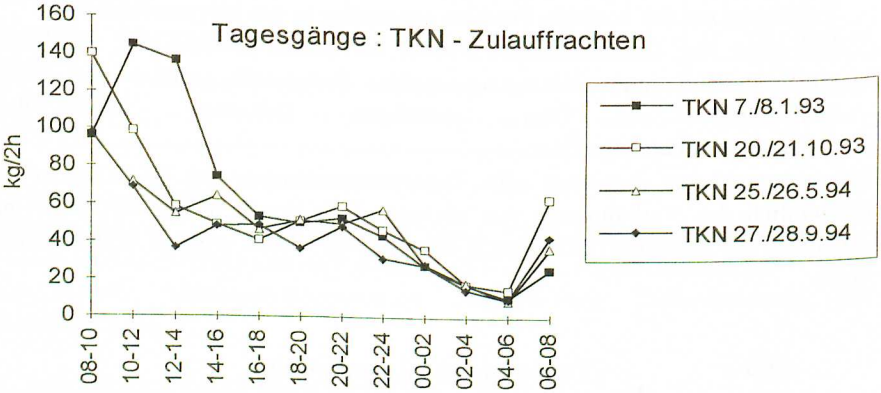

Abbildung 7 : Tagesganglinien der TKN-Zulauffrachten (2h-Werte)

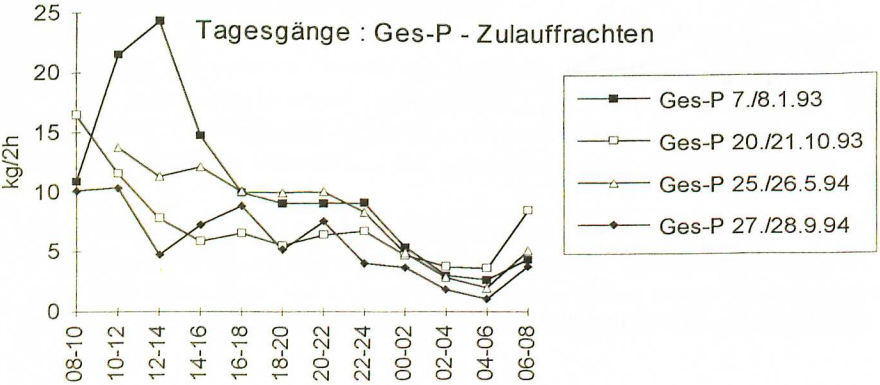

Abbildung 8 : Tagesganglinien der Ges-P-Zulauffrachten (2h-Werte)

Tabelle 10 : 24h-Untersuchungen aus verschiedenen Monaten mit unterschiedlichen Belastungsbereichen

Parameter	Dimension	**7./8. 1.93**		**20./21.10.93**		**25./26.5.94**		**27./28.9.94**	
Zulauf	m^3/d	24.036		36.049		23.484		17.191	
CSB-F	kg/d	11.681		10.310		6.787		4.504	
Temp.	°C	≈11		≈15		≈16		≈20	
TS-BB	g/l	6		9		8		7	
t-TS	d	25		25		26		ca. 28	
$FeCl_3$	ß (Zulauf)	1,1		0		0,32		0	
ISV	ml/g	86		77*)		91		63*)	
qA-NKB	m^3/m^2*h	0,21		0,31		0,20		0,15	
		Zul.	Abl.	Zul.	Abl.	Zul.	Abl.	Zul.	Abl.
TSo/TSe	mg/l	167	2	137	2	137	2	89	5
BSB_5	mg/l	180	2	114	2	142	2	115	2
CSB	mg/l	486	17	286	18	289	19	262	21
NH_4-N	mg/l	21,8	1,9	12,6	nn	12,6	0,3	21,8	0,1
NO_3-N	mg/l	1,9	3,0	0,6	2,2	3,3	2,8	0,3	3,2
TKN	mg/l	30,6	2,5	19	0,9	25,6	1,2	30	1,0
Ges.-P	mg/l	5,2	0,2	2,4	1,3	4,7	0,9	4,0	0,8
pH	-	7,8	7,9	7,8	7,5	7,7	7,5	7,9	7,8
ηCSB	**%**	**96**		**94**		**93**		**92**	
ηBSB_5	**%**	**99**		**99**		**99**		**98**	
ηGes-N	**%**	**83**		**84**		**86**		**86**	
ηGes-P	**%**	**95**		**45**		**81**		**79**	

Legende zu Tabelle 10 :
20./21.10.93..... Anaerobbecken I außer Betrieb
7.8.1.93 und 27./28.9.93..... Interne Belebtschlammrückführung außer Betrieb
nn..... nicht nachweisbar
*) ..... Zeolithzugabe

6.2. Einfluß verschiedener Betriebsweisen und Betriebsstörungen auf den Ablauf

Planmäßige Betriebsänderungen und Außerbetriebnahmen sowie Ausfälle von Aggregaten, aber auch "Betriebsfehler" im Routinebetrieb beeinflussen das Reinigungsergebnis. Die größten Beeinträchtigungen der Ablaufqualität wurden verursacht durch :

- Ausfälle in der Elektronik
- zu geringe Überwachung des Betriebes der Anlage während Servicearbeiten durchgeführt wurden.

Veränderung der Betriebsweise

- Belüftungsregelung
  - Sauerstoffgehalt (Sollwert an der Sonde zwischen 0,4-1 mg/l)
  - die Einschaltfolge der Rotoren, welche die Ausbildung von anoxischen Bedingungen im Einlaufbereich jedes der beiden Belebungsbecken ermöglichte, führte bei gleicher Belastung und vollständiger Nitrifikation zu den geringsten Nitratablaufwerten.

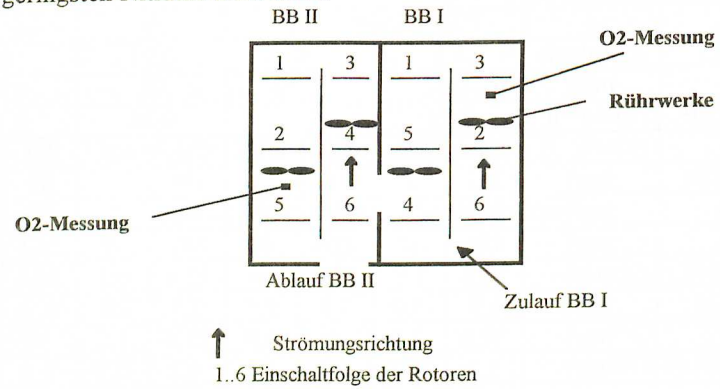

Abbildung 9 : Ermittelte optimale Einschaltfolge der Rotoren

- Überschußschlammabzug
  - Probleme bei der Schlammentwässerung führten zu z.T. hohen TS-Gehalten in der Belebung und in weiterer Folge bei hohem Mischwasserzufluß zu Problemen in der Nachklärung.

- Ein vermindertes Rücklaufverhältnis führte zu einer längeren Aufenthaltszeit des Belebtschlammes im Nachklärbecken - verbesserte Eindickung des Rücklaufschlammes, zusätzliche Denitrifikation, aber auch zu Phosphorrücklösung

- Fällung (Eisenmenge, Zugabestelle), bei Zugabe von $FeCl_3$ im Ablauf des Belebungsbeckens II wurde nach wenigen Tagen Ges-P≤1 mg/l erreicht.

- Planmäßige Außerbetriebnahmen
  - Die Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens in den Sommermonaten und auch eines der drei Nachklärbecken führte zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung der Ablaufqualität.

- Die Außerbetriebnahme des Anaerobbeckens I sowie der Betrieb der internen Belebtschlammrückführung führten zu einer Verschlechterung der biologischen P-Entfernung. Der Betrieb der internen BS-Rückführung vom BBI in das Anaerobbecken II ("vorgeschaltete Deni") führte aber zu einer deutlichen Verminderung der Nitratwerte im Ablauf.

Betriebsstörungen

- Ausfall von Belüftungsrotoren (Rotorbruch), RS-Schnecke (RS→AN I), MÜSE, Analysengeräten
- Stromausfall (Ausfall der Belüftung - Auswirkungen auf die Nachklärung durch vermehrte hydraulische Belastung beim erneuten Einschalten der Belüftung).

"Betriebsfehler"

Dieser meist schwierig zu erhebende Punkt konnte nur aufgrund der fast lückenlosen und genauen Aufzeichnungen des Betriebstagebuches erfolgen.

- Servicearbeiten an den Sauerstoffsonden - Ausschalten der automatischen Belüftungssteuerung (18. Oktober 1992, Abb. 11)
- zu geringe Eintauchtiefe der Rotoren (10.-12. April 1992, Abb. 10)
- Analysenfehler (Ammonium, Nitrat)
- Reaktion auf Störmeldungen des Prozeßleitsystems in kritischen Situationen

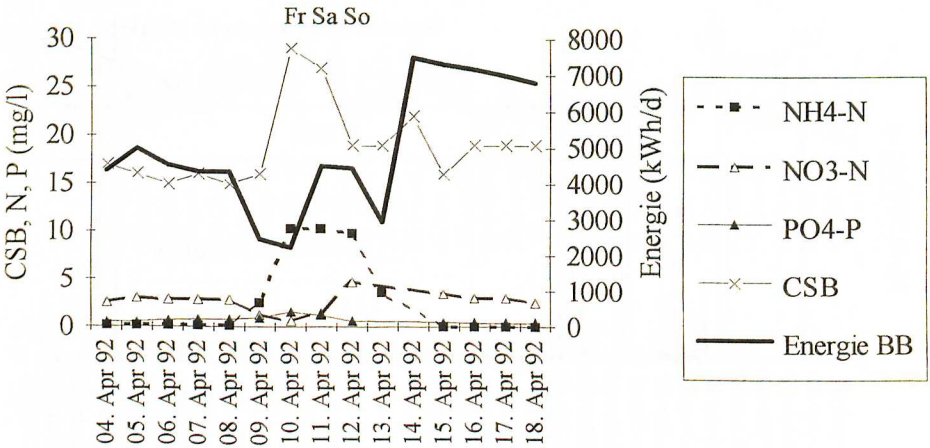

Abbildung 10 : Auswirkungen einer zu geringen Sauerstoffzufuhr zufolge einer zu geringen Eintauchtiefe der Rotoren

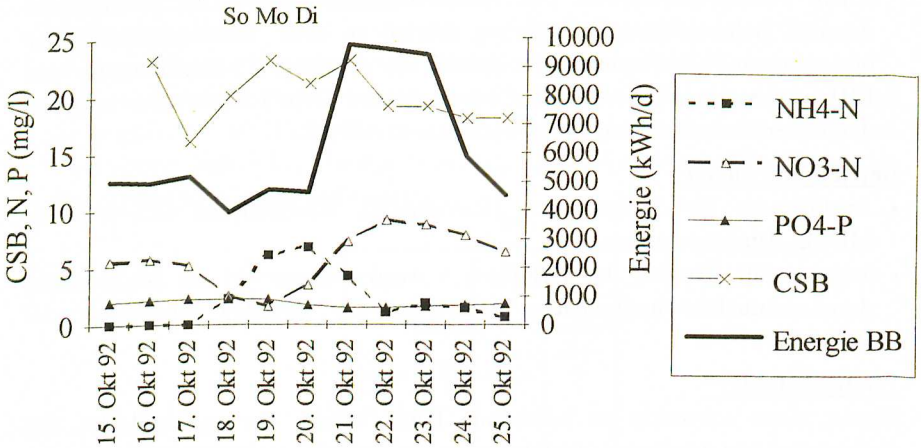

Abbildung 11 : Umstellung der automatischen Belüftungsregelung bei Reparatur einer defekten Sauerstoffsonde

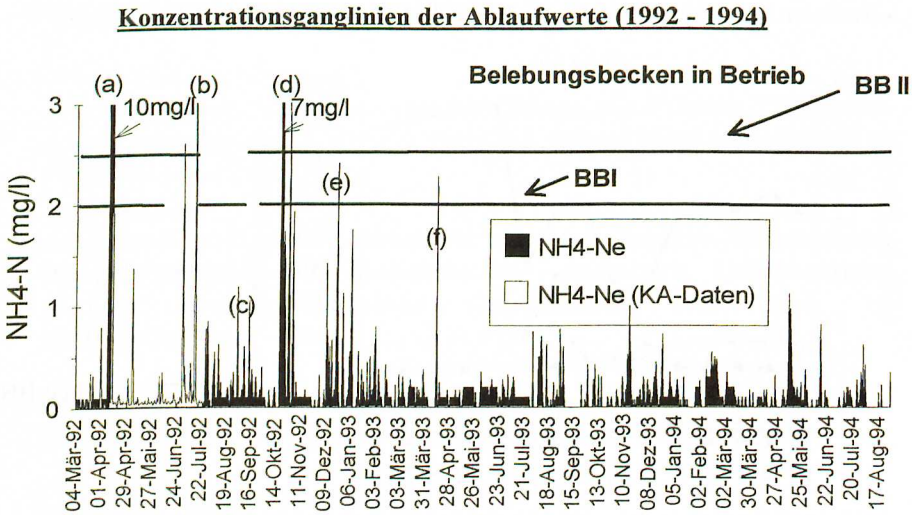

Abbildung 12 : Ammonium Ablaufkonzentrationen

Legende zu Abbildung 12 :

(a) Sauerstoffunterversorgung durch zu geringe Eintauchtiefe der Rotoren
(b) kurzfristige parallele Beschickung der beiden Belebungsbecken im Zuge der Außerbetriebnahme des Belebungsbeckens II
(c) Reduktion der Belüftung aufgrund eines falsch analysierten Nitratablaufwertes
(d) Reparatur einer defekten Sauerstoffsonde - glz. kurzfristige starke Erhöhung der Zulauffracht (t_{TS} ca. 22d, TS-BB ca. 4 g/l).
(e) Außerbetriebnahme des Belebungsbeckens I wegen eines Rotortausches
(f) Reduktion der Belüftung, Defekt der Nitrat-online-Messung wurde vermutet.

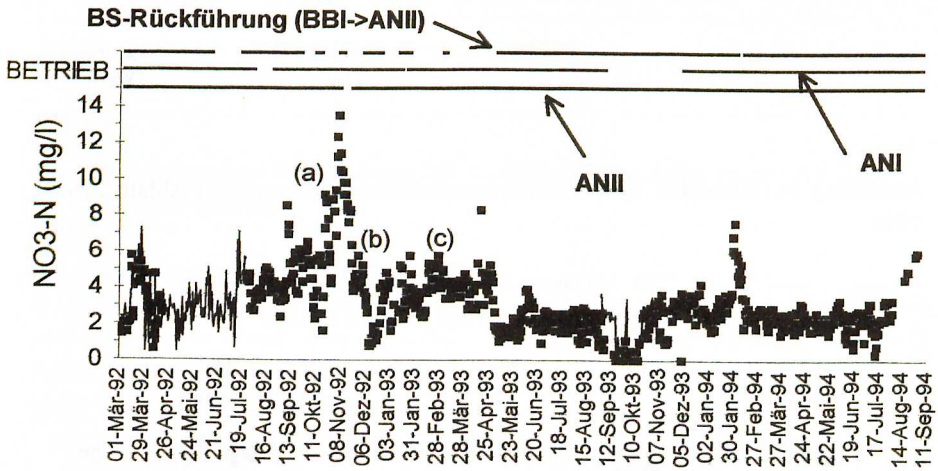

Abbildung 13 : Nitrat-Ablaufkonzentrationen 1992-1994

Legende zu Abbildung 13 :

(a) zu starke Belüftung in Anschluß an ein Sauerstoffunterversorgung
(b) Umstellung der Einschaltfolge der Rotoren
(c) Veränderung der Belüftungsregelung

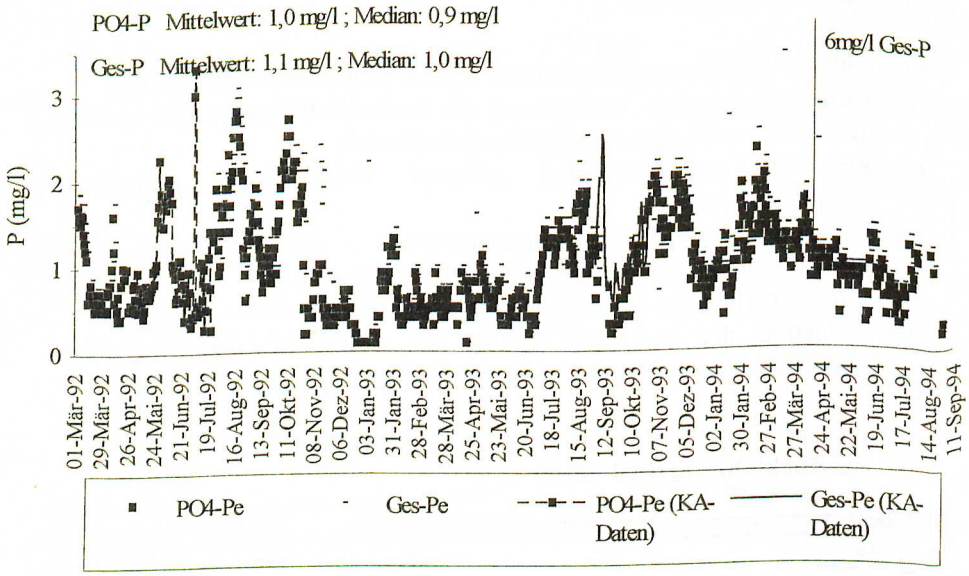

Abbildung 14 : Phosphat- und Gesamtphosphorkonzentrationen im Ablauf 1992-1994

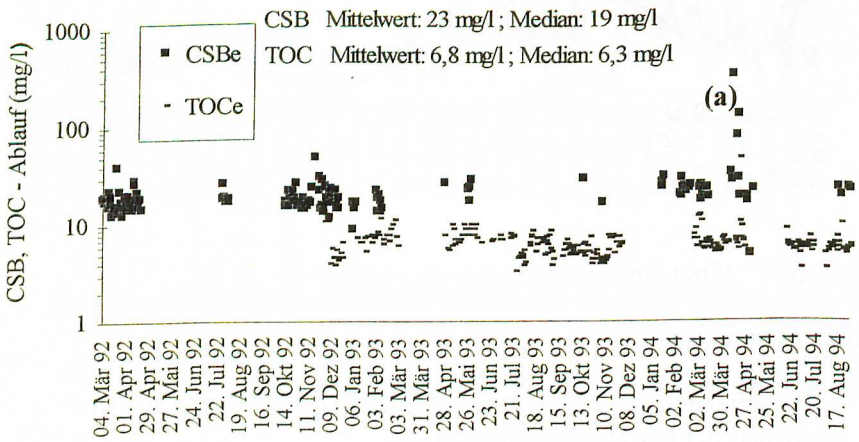

Abbildung 15 : CSB und TOC Ablaufkonzentrationen 1992-1994

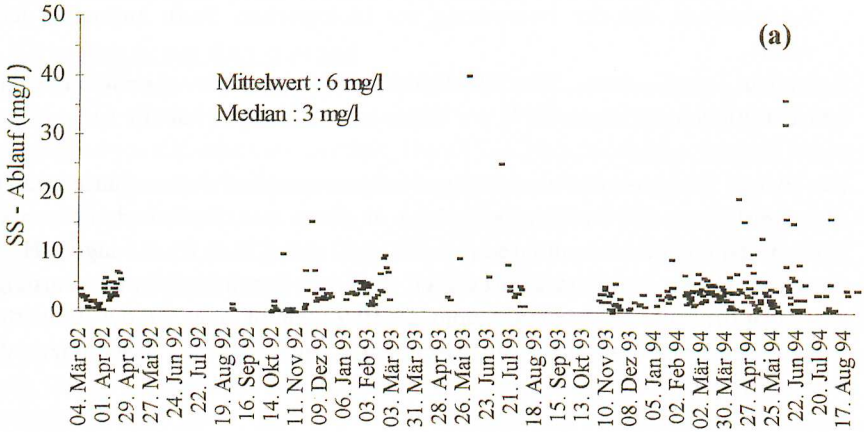

Abbildung 16 : Schwebstoffkonzentrationen im Ablauf 1992-1994

Legende

(a) Ungleichmäßige Beschickung der Nachklärbecken durch einen Defekt in der Wehrstellung

6.3. Überlegungen zur "4von5-Regel"

In der ersten Emissionsverordnung für kommunales Abwasser wurde die Einhaltung der "4von5-Regel" neben den Mindestwirkungsgraden und den Grenzwerten festgelegt. Bei Mischkanalisation gilt für den Trockenwetterzufluß laut 1.EVO (1991) §4 (2):

Ein Emissionswert für einen Abwasserparameter ... gilt im Rahmen der Eigenüberwachung als eingehalten, wenn bei fünf aufeinanderfolgenden Messungen vier Meßwerte unter dem Emissionswert bzw. über dem Wirkungsgrad liegen und lediglich ein Meßwert den Emissionswert um nicht mehr als 50% (bei Ammonium nicht mehr als 100%) überschreitet bzw. unter dem Wirkungsgrad liegt ("4von5"-Regel).

Wertet man die Ammoniumablaufkonzentrationen der KA-Mödling nach der "4von5-Regel" aus, so ergibt sich lediglich aufgrund eines "Störfalles" eine Überschreitung des Grenzwertes der 1.EVO von 5 mg/l.

- Vom 10.-13.4.92 kam es durch eine zu geringe Eintauchtiefe der Rotoren zu erhöhten Ablaufwerten an drei hintereinander folgenden Tagen (10,4 , 10,3

und 9,8 mg/l NH_4-N). Die Tagesabwassermenge lag jeweils unter der Zulaufmenge, die der Bemessung der biologischen Stufe zugrunde gelegt wurde.

Vergleicht man dazu die Häufigkeitsverteilung der Ammoniumablaufkonzentrationen, so liegen 99 % der Werte unter 3,6 mg/l (Tabelle 6).

Das zweite Ereignis, das zu erhöhten Ammoniumablaufwerten führte, war auf eine Umstellung der Belüftungsregelung im Zuge von Servicearbeiten an den Sauerstoffsonden zurückzuführen (19.-22.10.92 mit 6,1 , 6,8 , 4,3 mg/l NH_4-N). Genau in diesem Zeitraum kam es auch zu einem kurzfristig starken Ansteigen der Zulauffracht. Der Meßwert vom 19.10.92 bleibt aber in der Bewertung außer Betracht, da die Abwassermenge an diesem Tag über dem Trockenwetterzufluß lag.

- Aufgrund der erhöhten Ammonium-Ablaufwerte im Oktober 92 wurde die Belüftung stark angehoben, wodurch in weiterer Folge durch hohe Nitrat-Ablaufwerte die Ges-N-Entfernung von 70 % nicht eingehalten werden konnte.

Die einzige Überschreitung des Grenzwertes nach der 1. EMVO für CSB im April 94, wurde durch eine ungleichmäßige Beschickung der Nachklärbecken hervorgerufen. Aufgrund des hohen Mischwasserzuflusses von ca. 50.000 m^3/d bleiben diese Ablaufwerte für die Bewertung nach der "4von5-Regel" unberücksichtigt.

Anhand der Auswertung nach der "4von5-Regel" kann festgestellt werden :

1. Die "4von5-Regel" entspricht nicht einem 80 %-Wert.

2. Mit zunehmender Bestimmungshäufigkeit der einzuhaltenden Ablaufwerte steigt die Wahrscheinlichkeit des Erfassens einer Überschreitung. Eine höhere Analysengenauigkeit kann nicht die erforderliche Analysenhäufigkeit ersetzen.

3. Bei höherer Analysenhäufigkeit ist zur Einhaltung der "4von5-Regel" eine 98-99 % Unterschreitungshäufigkeit erforderlich.

7. ERGEBNISSE DER BILANZEN - SPEZIFISCHE FRACHTEN

7.1. Grundlagen zur Bilanzierung

Über die Bilanzierung des CSB können die Zusammenhänge zwischen Zulauffracht, gebildeter Biomasse (=Überschußschlamm) und Sauerstoffverbrauch ermittelt werden. Durch die Phosphorbilanz können diese Zusammenhänge einfach überprüft werden, da der Phosphor (als Ges-P) nur über den Überschußschlamm entfernt werden kann. Die Differenz aus P-Zulauf und P-Ablauf muß sich daher im Überschußschlamm wieder finden. Der gesamte Sauerstoffverbrauch für den Kohlenstoffabbau und die Nitrifikation wird aus CSB- und Stickstoffbilanz ermittelt und kann über den Energieverbrauch der Belüftung und den Sauerstoffertrag überprüft werden. Durch diese Vorgangsweise können die wesentlichsten Analysen- und Betriebsparameter der Kläranlage mit hinreichender Genauigkeit überprüft werden.

Die Bilanzierung der Kläranlage sollte zumindest über ein Schlammalter erfolgen, da dieser Zeitraum für eine Umstellung der Belebtschlammbiocoenose bei Betriebsänderungen oder Frachtänderungen notwendig ist.

Die Ermittlung der spezifischen Frachten im Abwasser an CSB, Stickstoff (N) und Phosphor (P) gibt die Möglichkeit über Massenbilanzen frachtunabhängig die Stofftransportvorgänge darzustellen und überprüfen zu können.

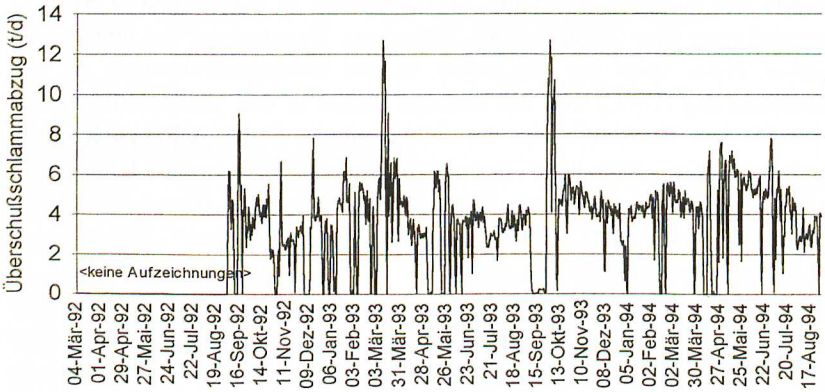

Abbildung 17 : Ermittelte Überschußschlammfracht nach KA-Protokoll 1992-1994

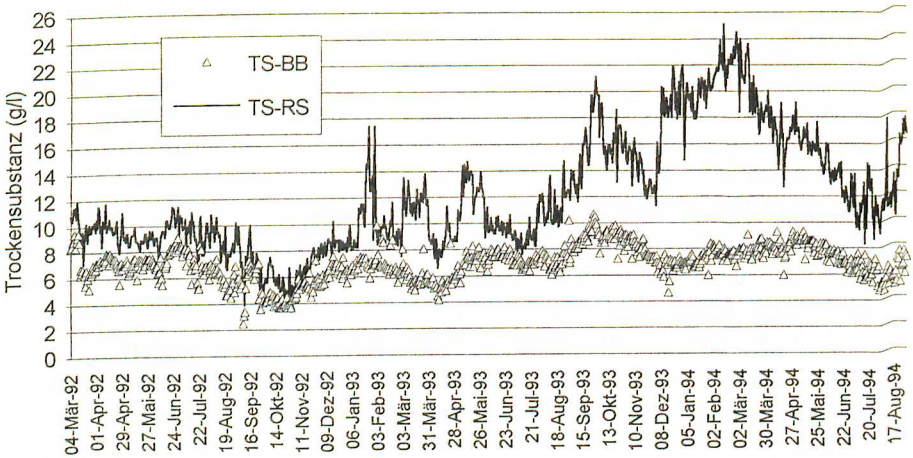

Abbildung 18 : Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken (TS-BB) und Rücklaufschlamm (TS-RS)

7.2. CSB-Bilanz

Bei einer einwohnerspezifischen Fracht (**CSBo**) von 120 g/EW/d gehen im Jahresmittel der Kläranlage Mödling 8 gCSB/EW/d in den Ablauf (**CSBe-F**), entsprechend einer über 90%igen CSB-Entfernung. Bezogen auf den abgebauten CSB gehen etwas mehr als die Hälfte in den Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffatmung (**OVC**) und der restliche Anteil in den Überschußschlamm (**ÜS CSB-F**). Die Rückläufe aus der Schlammbehandlung (**CSB rück**) nach Schlammeindickung, Stapelung sowie Schlammentwässerung liegen mit ca. 2 g CSB/EW/d im Bereich der Meßgenauigkeit. Der spezifische Schlammanfall wurde mit 37 g oTS/EW/d für 1993 abgeschätzt. Bezogen auf die Trockensubstanz ergeben sich dadurch 64 g TS/EW/d.

Über oTS und Phosphorgehalt des entwässerten und gelagerten Klärschlammes kann aus der Phosphorbilanz die CSB-Fracht im Klärschlamm mit rund 46 g CSB/EW/d ermittelt werden. Daraus ergibt sich ein CSB-Abbau im Bereich der Schlammbehandlung (bei Stapelung und Entwässerung) durch anaerobe und aerobe Vorgänge von ca. 4 % bezogen auf die Zulauffracht bzw. 9 % von ÜS(CSB).

Tabelle 11 : CSB-Bilanz 1993

CSB-Bilanz	Einheit	1993 12 Monate
CSBo-F	kg CSB/d	7.471
CSBe-F	kg CSB/d	0.471
ηCSB-F	kg CSB/d	7.000
ÜS CSB-F	kg CSB/d	3.311
OVC-F	kg CSB/d	3.689
CSBo-F	**g/EW/d**	**120**
CSBe-F	**g/EW/d**	**8**
CSB rück	**g/EW/d**	**2**
ÜS CSB-F	**g/EW/d**	**53**
OVC-F	**g/EW/d**	**61**
ÜS CSB/ηCSB	%	47
OVC/ηCSB	**%**	**53**
ηCSB - Anlage	%	94
t-TS BB+AN (15°C)	d	32
oTS-Anfall	**g/EW/d**	**37**
TS-Anfall	**g/EW/d**	**64**
Temp.-BB	°C	15,0
oTS	%	58
TS-BB	g/l	7,1
TS-AN	g/l	5,6

Konsequenzen aus der CSB-Bilanz

Der Anteil des Sauerstoffverbrauchs aus der CSB-Bilanz am gesamten entfernten CSB wurde über die Temperaturabhängigkeit des Wachstums der heterotrophen Bakterien vergleichend dargestellt. Über das Vergleichsschlammalter (für eine Temperatur im Belebungsbecken von 15°C) konnte für t_{TS}=20d ein OVC/ηCSB von ca. 50% für t_{TS}= 50d ein OVC/ηCSB von knapp unter 60 % abgeschätzt werden. Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß der relativ hohe Anteil an anoxischem bzw. anaeroben Volumen, gemessen am Gesamtvolumen der Belebung, die gleichzeitige aerobe Schlammstabilisierung verlangsamt und deshalb fast die Hälfte der CSB-Fracht mit dem Überschußschlamm entfernt wird.

Das Schlammalter, das bei einer Anlage mit gleichzeitiger aerober Stabilisierung i.a. mit mindestens 25 Tagen zugrunde gelegt wird, ist daher bei relativ großen anaeroben und anoxischen Volumina - und damit einem relativ geringeren aeroben Schlammalter - nicht als das alleinige Beurteilungskriterium für die Abschätzung der Schlammstabilisierung anzusehen. Entscheidend ist das aerobe Schlammalter, das bei Anlagen mit simultaner Nitrifikation/Denitrifikation nicht genau ermittelt werden kann.

7.2. Phosphorbilanz

Bezogen auf 120 gCSB/EW/d betrug die spezifische Phosphorfracht im Zulauf (**Ges-Po**) 1,55 g P/EW/d. Bei einer Entfernung ($\eta P_{Fällung}$) von 85%, die durch optimale Fällung erreicht werden kann, gelangen 0,23 g P/EW/d in den Ablauf (**Ges-Pe**) und 1,32 g P/EW/d in den Klärschlamm. Die Rückläufe aus der Schlammbehandlung wurden mit 0,02 g P/EW/d ermittelt und sind vernachlässigbar gering.
Aus dem spezifischen Schlammanfall für 1993 und einem angenommenen Mindestphosphorgehalt von 2,2 % P bezogen auf die organische Trockensubstanz, ergeben sich 0,81 g P/EW/d, welche über den Überschußschlamm entfernt werden können.

Somit werden bei einer einwohnerspezifischen Zulauffracht von 1,55 g P/EW/d rund die Hälfte des zu entfernenden Phosphors bei ηP=85% durch den Biomasseaufbau im Belebtschlamm gebunden. Für den verbleibenden - zu fällenden - Phosphor errechnet sich mit einem β-Wert von 1,5 entsprechend 2,7 g Fe/gP ein Fällmittelbedarf von ca. 1,6 g Fe sowie ein Fällschlammanfall von ca. 4 g TS/EW/d.

Ohne Fällung konnten 1993 bei Belebungsbeckentemperaturen >12°C bis zu 68% des Phosphors entfernt werden. Unter Einhaltung eines Entfernungsgrades von 85% entspricht dies 0,27 gP/EW/d, die zusätzlich gefällt werden müssen. Damit kann bei einem β-Wert von 1,5 ein Fällmittelbedarf von 0,73g Fe und ein daraus resultierender Fällschlammanfall von 1,79g TS/EW/d ermittelt werden. Demzufolge beträgt die Einsparung an Fällmittel bzw. die Verminderung des Fällschlammanfalls bei vermehrter biologischer P-Entfernung ca. 50%.

Tabelle 12 : Phosphor-Bilanz 1993

P-Bilanz	Einheit	**1993 12 Monate**	1993 **+Fällung**	1993 **-Fällung**
Ges-Po-F	kg P/d	96,3	98,3	92,5
Ges-Pe-F	kg P/d	20,6	16,0	29,8
ÜS P-F	kg P/d	75,8	82,3	62,8
Po-F	**g/EW/d**	**1,55**	**1,59**	**1,50**
Pe-F	**g/EW/d**	**0,33**	**0,26**	**0,48**
ÜS P-F	**g/EW/d**	**1,22**	**1,33**	**1,02**
ηP	%	79	**84**	**68**
P MÜSE	kg P/d	0,7	0,8	0,5
P KFP	kg P/d	0,3	0,3	0,4
P Schlammbeh.	kg P/d	1,1	1,2	0,9
ÜS P-Schl.b	g/EW/d	1,20	1,31	1,00
P Schlammbeh.	g/EW/d	0,02	0,02	0,01

7.3. Stickstoffbilanz

Die spezifische Stickstofffracht im Zulauf (**TKNo-F**) ergab sich mit 9,9 g N/EW/d im Jahresmittel 1993. Zufolge der gemessenen mittleren Stickstoffentfernung von 87 % ergibt sich eine Fracht im Ablauf (**Ges-Ne-F**) von 1,3 g N/EW/d. Über Denitrifikation (**ND-F**) wurden 5,9 g N/EW/d und über den Überschußschlamm (**ÜS N-F**) im Mittel 2,8 g N/EW/d entfernt. Die Rückläufe aus der Schlammbehandlung (**TKN Schl.b.**) wurden mit 0,2 g N/EW/d aus den Analysen der Schlammbehandlung ermittelt (ZGUBIENSKI, 1993). Analog zur CSB-Bilanz wurden über die P-Bilanz mit den Stickstoff- und Phosphoranalysen des Klärschlammes eine spezifische Stickstofffracht im Klärschlamm von 2 g N/EW/d abgeschätzt. Daraus ergibt sich ein Stickstoffverlust durch biologische und/oder chemische Vorgänge von ca. 0,6 g N/EW/d bei der Schlammbehandlung.

Es kann auf Basis der erstellten Bilanzen festgestellt werden, daß das bestehende Schlammbehandlungskonzept mit dazu beiträgt, gleichbleibend niedere Stickstoffablaufwerte zu erreichen.
Es zeigt sich aber auch, daß die erreichten niederen Ablaufkonzentrationen für Ges-N und Ges-P und der spezifische Schlammanfall voneinander abhängig sind und daher nicht gleichzeitig vermindert werden können.

Tabelle 13 : Stickstoff-Bilanz 1993

N-Bilanz	Einheit	**1993 12 Monate**
TKNo-F	kg N/d	616
Ges-Ne-F	kg N/d	83
ND-F	kg N/d	356
N(ÜS)/ηCSB	%	2,5
ÜS N-F	kg N/d	177
TKN MÜSE	kg N/d	1,7
TKN KFP	kg N/d	12,0
TKN Schl.b.	kg N/d	13,7
ÜS N - Schl.b.	kg N/d	163,3
N/oTS	%	7,6
No-F	**g/EW/d**	**9,9**
Ne-F	**g/EW/d**	**1,3**
ND-F	**g/EW/d**	**5,9**
ÜS N-F	**g/EW/d**	**2,8**
ηN	%	87
ÜS N	g/EW/d	2,8
ÜS N - Schl.b.	g/EW/d	2,6
TKN Schl.b.	g/EW/d	0,2

8. SCHLAMMEIGENSCHAFTEN

Die Schlammeigenschaften werden in erster Linie über den Schlammindex (ISV) beschrieben, der ein Maß für die Eindickfähigkeit des Schlammes darstellt.
Die Schlammeigenschaften waren stabil mit einem Index von ca. 100 ml/g. In den Zeiträumen mit Fällung konnte ein Index von ca. 90 ml/g ermittelt werden. Trotz starker Sauerstoffdrosselung in den Belebungsbecken und der beiden anaeroben/anoxischen Becken zur biologischen P-Entfernung kam es aber zu keiner Blähschlammbildung.
Die Zugabe von Zeolith (Juli 93 - Feb. 94) verbesserte den Schlammindex um ca. 10 % verglichen mit der Fällmittelzugabe. Da aber gleichzeitig die organische Trockensubstanz (oTS) von ca. 60 % auf ca. 50 % abfiel, blieb das Schlammvolumen bezogen auf die oTS annähernd gleich. Es kann daher davon

ausgegangen werden, daß der Anteil fadenförmiger Bakterien durch die Zeolithzugabe nicht vermindert wurde. Dies konnte auch durch die mikroskopischen Untersuchungen des Belebtschlammes bestätigt werden.
Die untersuchten Belebtschlammproben wiesen eine geringe bis mäßige Fädigkeit von 2 bis maximal 3 auf, unabhängig von Zeolith- oder Fällmittelzugabe. Schalenamoeben, Rädertierchen, Vorticella und Aspidisca kamen nur in mäßiger Häufigkeit vor. Mit steigenden Temperaturen im Belebungsbecken nahm auch die Besiedelung mit Protozoen geringfügig zu. Allgemein konnte eine mäßige Artenvielfalt der Protozoen festgestellt werden. Die Besiedelung der Belebtschlammflocken mit Aspidisca und Rädertierchen weist auf gute Reinigungswirkung und ausreichende Sauerstoffversorgung hin.

9. Auslastung der Kläranlage Mödling

- Um den Auslastungsgrad zu bestimmen wurde ein Vergleich mit den heute üblichen Bemessungswerten nach A 131 für Nitrifikation und Denitrifikation durchgeführt. Für diese Berechnung wurde aus den CSB-Zulauffrachten der 85 % Wert mit ca. 10 t CSB/d ermittelt. Weiters wurden eine Zulaufmenge von 28.000 m^3/d, CSB 360 mg/l, BSB_5 143 mg/l, sowie TSo 200 mg/l, TKN 28 mg/l und Ges-P 4,4 mg/l zugrunde gelegt.
- Als Reinigungsziel wurden die vollständige Nitrifikation und die weitestgehende N-Entfernung festgelegt.
- Für eine Temperatur von 10°C und ein VD/V von 0,45 wurde ein aerobes Schlammalter von knapp 8-Tagen (SF 2,3) und ein Gesamtschlammalter von ca. 15-Tagen ermittelt. Für Simultanfällung (β-Wert 1,8) wurde für TS-BB 4,5 g/l ein Belebungsbeckenvolumen von ca. 17.100 m^3 berechnet. Die Nitratkonzentration im Ablauf wurde mit knapp 4 mg/l ermittelt.
- Bezogen auf die, der Bemessung zugrunde gelegte Schmutzfracht, ergibt sich eine Belastung von 84.000 EW.
- Dem gegenüber steht die mittlere CSB-Fracht von ca. 7,4 t CSB/d, entsprechend einer Belastung von etwa 62.000 EW.
- Unter Berücksichtigung der maßgeblichen Belastung und in Hinblick auf das derzeit geforderte Reinigungsziel wäre die Kläranlage Mödling bei Bemessung nach A 131 ausgelastet.
- Wie jedoch die Betriebs- und Analysendaten bei Mischwasserzufluß (2600-2800 m^3/h) zeigten, ist es möglich die Anlage auch bei TS-Gehalten von ca. 6 g/l (ISV≈100 ml/g) und gleichbleibend niedrigen Schwebstoff-konzentrationen im Ablauf zu betreiben.

- Ermittelt man das erforderliche Beckenvolumen in Abhängigkeit von der Temperatur, so sind bei etwa 18°C nur mehr ca. 50% des bei 10°C erforderlichen Volumens zur Erzielung der gleichen Ablaufwerte erforderlich (für $\eta N \approx 84\%$; $\beta = 1{,}5$ auf P-Zulauf). Diese Überlegungen zeigen, daß mit steigender Temperatur die zur Verfügung stehenden Beckenreserven für die biologische Phosphorentfernung genützt werden können. Für die Planung bedeutet dies weiters, daß eine zweistraßige Ausführung der Anlage ausreichend ist. Gleichzeitig ergibt sich für den Betrieb die Konsequenz, daß eine planmäßige Außerbetriebnahme eines der beiden Belebungsbecken in den Sommermonaten durchzuführen ist, damit es dabei zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung der Ablaufqualität kommt. Dies konnte unter normalen Betriebsbedingungen im Sommer 1992 auf der KA-Mödling gezeigt werden.

10. SCHLUSSFOLGERUNGEN

⇨Es ist möglich mit einer Kläranlage ($t\text{-}TS > 25d$) ganzjährig und unter normalen Betriebsbedingungen einen Ablauf zu erzeugen, der in einem Vorfluter ohne nennenswerte Eigenwasserführung eine Gewässergüte II ermöglicht. Die Gewässermorphologie und die gute Beschattung des Vorfluters sind dabei ebenso von Bedeutung. Die Belüftung des Ablaufes über Absturzbauwerke ist vermutlich ebenfalls wichtig. Wie weit die Verdünnung durch das Fremdwasser dafür von Bedeutung ist (Einfluß des DOC), konnte nicht geklärt werden, da das Fremdwasser nicht beeinflußbar war.

⇨Die hygienischen Anforderungen an die Badewasserqualität (nach ÖNORM) konnten nicht eingehalten werden. Versuche mit einem nachgeschalteten Sandfilter haben gezeigt, daß die Badewasserqualität zwar fallweise erreicht, aber nicht gesichert eingehalten werden kann.

⇨Beim Vergleich und der Bewertung der verschiedenen Betriebszustände über ausreichend lange Zeiträume erwiesen sich die Massenbilanzen als hilfreiche und notwendige Methode zur Eliminierung der Fehler bei Probenahme und Analytik.

⇨Die Ablaufwerte sowie die erzielten Entfernungsgrade (außer beim Phosphor) konnten unter Auswertung aller vorhandener Daten über zwei Jahre gemäß den Begrenzungen der 1. Emissionsverordnung für kommunales Abwasser im Mittel sowie als 85%-Wert eingehalten werden. Die Einhaltung der wasserrechtlich bewilligten maximalen Konzentrationen des Kläranlagenablaufes zu jedem Zeitpunkt erwies sich als nicht möglich.

⇨Die Ermittlung des erforderlichen Belebungsbeckenvolumens in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt, daß bei den vorherrschenden Temperaturverhältnissen eine zweistraßige Ausführung der Anlage als Umlaufbecken mit Oberflächenbelüftung ausreichend dafür ist, daß eine planmäßige Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens im Sommer zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung der Ablaufqualität führt.

⇨**Eine der wesentlichen Voraussetzungen für die extrem hohe Stabilität des Reinigungsergebnisses ist die einfache und robuste Ausführung der Kläranlage bzw. des Meß- und Regelsystems** (Sauerstoffzufuhrsteuerung nur nach dem Sauerstoffgehalt im Belebungsbecken).

⇨Durch die Maximierung der Denitrifikation treten große anoxische und anaerobe Zonen auf, die zu Lasten der aeroben Stabilisierung des Belebtschlammes gehen, da die für den Stabilisierungsprozeß maßgebenden Zerfallsprozesse im anoxischen und anaeroben Milieu langsamer ablaufen als unter aeroben Bedingungen. Für die gleichzeitige aerobe Stabilisierung ist daher das aerobe Schlammalter das entscheidende Kriterium. In Laborversuchen zur getrennten aeroben Stabilisierung konnte gezeigt werden, daß trotz eines Gesamtschlammalters in der Kläranlage von >30d noch über 30% der oTS des Belebtschlammes abbaubar waren (MÜLLER, 1993).

⇨Trotz des relativ hohen Fremdwasseranteils und den damit verbundenen ungünstigen Randbedingungen für Bio-P, konnte mit ausschließlich vermehrter biologischer P-Entfernung in den Sommermonaten bis zu 68% P-Entfernung erreicht werden. Durch Kombination von vermehrter biologischer P-Entfernung und konventioneller Fällung zur Elimination der Restphosphorfracht können die Vorteile beider Verfahren ohne großen Fällmitteleinsatz bei gesicherter Einhaltung von Grenzwerten erreicht werden. Nach den bisherigen Untersuchungen können beide Prozesse zur Phosphorentfernung ungestört nebeneinander zum Einsatz kommen.
Bei der Schaffung günstiger Randbedingungen für die vermehrte biologische Phosphorentfernung und bei der Vermeidung von Phosphorrücklösung im Nachklärbecken stellen vor allem das Rücklaufverhältnis und der Schlammspiegel im Nachklärbecken eine zentrale Rolle dar.

⇨Analytik

a) Es konnte gezeigt werden, daß mit zunehmender Bestimmungshäufigkeit der einzuhaltenden Ablaufwerte - was im Sinne einer guten Fremd- bzw. Eigenüberwachung für den Gewässerschutz und für die Ermittlung notwendiger Informationen für die richtige Betriebsführung erforderlich ist - die Wahrscheinlichkeit des Erkennens einer Überschreitung steigt.

b) Die Kläranlagen-Analytik ist wichtig für die Einhaltung von Grenzwerten. Die Durchführung der Analysen ist mit geeigneten Geräten relativ einfach und die Genauigkeit der Analysenmethoden ist als ausreichend zu bezeichnen. Die wenigen Überschreitungen hätten wahrscheinlich durch richtiges Erkennen und Handeln beim Betrieb vermieden werden können. Die Qualität der Ausbildung der Klärwärter ist die Voraussetzung, daß einerseits richtige Daten erhoben werden, andererseits aus den Daten die richtigen Schlüsse für den fortlaufenden Betrieb gezogen werden. Der Wissensstand der Klärwärter ist daher entscheidend für die Beurteilung von Analysenergebnissen und auch die "billigste" Methode, die Sicherheit des Einhaltens von Grenzwerten zu erhöhen.

c) Es hat sich gezeigt, daß eine regelmäßige Kontrolle der Eigenüberwachungsanalytik sich als Ansporn und Korrektiv bewährt hat, um gelegentlich auftretende (u.U. systematische) Fehlbestimmungen rechtzeitig zu erkennen und abzustellen.

d) Die on line Messungen von Ammonium, Nitrat (und Phosphat) geben wertvolle Informationen für die Richtigkeit der Betriebsführung. Die Zuverlässigkeit der Geräte hängt sehr stark sowohl von der Güte des Gerätes als auch von seiner regelmäßigen Wartung ab.

⇨Die Wirkung eines nachgeschalteten Sandfilters wurde in einer Pilotanlage überprüft. Dabei hat sich herausgestellt, daß die Schwebstoffe von im Mittel 5-7 mg/l auf im Mittel 2-3 mg/l reduziert wurden. Beim Phosphor konnte durch eine Flockungsfiltration eine Reduktion auf ca. 0,3 mg Ges-P/l erreicht werden. Diese Konzentration liegt aber immer noch bei weitem nicht in einem limitierenden Bereich für das Algenwachstum. Bei Schlammabtrieb und hohen Feststoffgehalten kommt es zu einer sehr raschen Verstopfung bzw. zu einem starken Rückgang der Abscheidewirkung. Die P-Grenzwerte der 1. EMVO (außer bei Phosphor im Einzugsgebiet von Seen) können jedenfalls ohne Filter eingehalten werden. Für den Schutz von Fließgewässern ist also eine reichlich bemessene Nachklärung viel bedeutender als eine Filtrationsstufe.

⇨Die Schlammeigenschaften waren stabil mit einem Index von ca. 100ml/g (Fädigkeit 2-3). Durch die Fällmittelzugabe konnte ein Index von ca. 90ml/g erreicht werden. Trotz starker Sauerstoffdrosselung in den Belebungsbecken und einem anaeroben und anoxischen Volumenanteil am Belebungsbeckenvolumen von z.T. über 50% kam es zu keiner Blähschlammbildung. Mikroskopische Untersuchungen des Belebtschlammes zeigten eine mäßige Individuenzahl und Artenvielfalt der Protozoen.

Abschließend muß festgestellt werden, daß die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes nur durch die Mithilfe und den außerordentlichen Einsatz des Betriebsleiters der Kläranlage und seiner Mannschaft durchgeführt werden konnten. Ihnen gilt mein besonderer Dank für die gute Zusammenarbeit über mehr als zwei Jahre.

Literatur

ATV-Arbeitsblatt A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlage mit Anschlußwerten über 5000 Einwohnerwerten, ATV, Hennef, BRD (1991)

EMISSIONSVERORDNUNG FÜR KOMMUNALES ABWASSER: Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 12. April 1991

EMDE v.d. W.: Bericht über die Erhebung der Abwassermenge und Schmutzfracht im Zulauf der Zentralkläranlage Mödling, TU-Wien, (1984 a)

EMDE v.d. W.: Bericht über die Untersuchung der organischen und hydraulischen Belastung in den Hauptsammlern, der an die Kläranlage Mödling angeschlossenen Gemeinden, TU-Wien, (1984 b)

EMDE v.d. W.: Bericht über die Untersuchung der zentralen Abwasserreinigungsanlage Mödling, TU-Wien, (1984 c)

EMDE v.d. W.: Projektstudie zur Erweiterung der Zentralkläranlage der Stadt Mödling, TU-Wien, (1986)

HEISE H., PFUND D.: Reduktion von Bakterien und Viren in der biologischen Reinigungsstufe und Flockungsfiltration der Kläranlage Werdhölzli, Gas - Wasser - Abwasser, 70. Jahrgang, Nr.3, 193- 197 (1990)

MATSCHÈ, N., PRENDL, L., FRANZ, A.: Erweiterung der Kläranlage Mödling. *Wiener Mitteilungen* - Band 100 (1992)

MÜLLER, V.: Bericht über Untersuchungen zur Rücklösung bei der aeroben und anaeroben Stabilisation unter besonderer Berücksichtigung der Arbeit von ZGUBIENSKI (1993). Praktikumsarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien (1993)

ÖNORM M 6230: Anforderungen an die Beschaffenheit von Badegewässern, Fachnormenausschuß 140, Wassergüte und -aufbereitung, Wien (1980)

WASSERRECHTLICHE BEWILLIGUNG DER KA-MÖDLING vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (28. 12. 1987)

ZGUBIENSKI, V.: Untersuchungen der Wege von organischen und anorganischen Nährstoffverbindungen im Bilanzraum "Kommunale Abwasserreinigungsanlage". Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien (1993)

Mag. Andreas FRANZ
✉ Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Technische Universität Wien
A-1040 Wien, Karlsplatz 13
☎ 0222/58801-3249
Fax 0222/5042157
Email AFRANZ@IWAG.TUWIEN.AC.AT