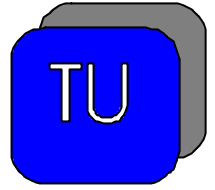




Institut für Analytische Chemie
Abteilung Umweltanalytik
Technische Universität Wien
Getreidemarkt 9/151, A-1060 Wien



Endbericht zum Projekt MA22-4510/99

EMISSIONEN VON OZONBILDENDEN UND KLIMARELEVANTEN SPURENGASEN AUS KLÄRANLAGEN

Heidrun Schmid und Hans Puxbaum

unter Mitwirkung von

**Reinhard Ellinger, Wolfgang Pühringer, Gerald Wandl, Heide
Müller-Rechberger, Abdus Salam, Yolanda Kraxner und Georg
König**

Dezember 2000

KURZFASSUNG

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die atmosphärischen Emissionen von Stickstoffoxiden (NO_x), Lachgas (N_2O), Methan (CH_4), Nichtmethankohlenwasserstoffen (NMHC), Kohlendioxid (CO_2), organischen Aerosolteilchen (POC) und individuellen polaren organischen Verbindungen der Versuchskläranlage der Hauptkläranlage Simmering untersucht. Während der zweiwöchigen Messperiode wurde die Anlage in zwei unterschiedlichen Betriebsweisen betrieben, wobei beim Hybridverfahren das gesamte Abwasser in die 1. Belebungsstufe geleitet wird. Beim Bypassverfahren wird je nach Kläranlagenbelastung und Temperatur 10 bis 40% des vorgeklärten Abwassers direkt in die 2. Belebungsstufe geleitet.

Zur Berechnung der Emissionen der Versuchskläranlage wurde CO als Tracer verwendet, um den Erfassungsgrad der Messung zu bestimmen. Parallel dazu wurden die Konzentrationen der gesuchten Komponenten in einem definierten Volumenstrom über den Belebungsbecken der Anlage gemessen und unter Berücksichtigung der Verdünnung (Erfassungsgrad) die Emissionen berechnet. Die täglichen Emissionen der Anlage wurden auf Einwohnergleichwerte und auf m^3 Abwasser bezogen. Weiters wurden die Emissionsraten im Verhältnis zu CO_2 berechnet, um normalisierte Emissionsfaktoren zu erhalten, die für Emissionsinventuren verwendet werden können.

Es wurden somit Emissionsfaktoren für eine Reihe von individuellen polaren Verbindungen ermittelt, wobei vorallem die ungesättigten Säuren Octadecen- und Tetradecensäure aber auch die Hexadecan- und Octadecansäure, die Nonansäure, sowie die Brenztraubensäure, die Oxalsäure und die Azelainsäure in höheren Konzentrationen gemessen wurden.

Die Methanemissionsfaktoren sind mit 0,09-0,18 g/EGW deutlich geringer als der Literaturwert von 0,82 g/EGW (McInnes, 1996). Wesentlich höher ist der Beitrag der Kläranlagen mit einem Anteil an 3-8% an den Gesamt- N_2O -Emissionen in Wien.

Die Emissionsfaktoren von NO_x , für die noch keine Literaturdaten vorhanden sind, waren mit 0,65-2,8 g NO_2 /EGW relativ niedrig. Die Emissionsfaktoren für NMHC betragen 0,014g/EGW für beide Betriebszustände. Daraus schließen wir, dass die Emissionen der ozonbildenden Spurengase auch nach der Implementierung der Denitrifikationsstufen in der Wiener Kläranlage relativ gering bleiben werden.

STICHWORTLISTE:

Abwasser, Aerosole, Belebungsbecken, Bypassverfahren, Emissionen, Kläranlagen, Klima, Kohlendioxid, Kohlenwasserstoffe, Lachgas, Methan, organische Säuren, Ozon, Stickoxide, Treibhauseffekt

ABSTRACT

Within the scope of the present project atmospheric emissions of nitrogen oxides (NO_x), nitrous oxide (N_2O), methane (CH_4), non-methane hydrocarbons (NMHC), carbon dioxide (CO_2), particulate organic carbon (POC) and individual polar organic components from the pilot wastewater treatment plant of the main sewage treatment plant Simmering were investigated. During the two-week measuring period the plant was operated under two different working conditions. Under hybrid-conditions the whole wastewater is injected into the first aeration tank. Under bypass-conditions 10 to 40% of the pre-treated wastewater are directly injected into the second aeration tank.

Carbon monoxide was used as a tracer to determine the dilution coefficient for the calculation of the emissions. By measuring the concentrations in the known flux of the off-gas and taking the dilution into account the emission rates were determined. The daily emissions of the plant were also transferred into emissions per capita equivalent (c.e.) and per m^3 wastewater. The emission rates were further put into relation to CO_2 to obtain normalized data that can be used for emission inventories.

Emission rates for a number of individual polar components were obtained, especially for the non-saturated acids Octadecenoic and Tetradecenoic acid, but as well for Hexadecanoic and Octadecanoic acid, Nonanoic acid and Pyruvic acid, Oxalic acid and Azelaic acid.

Emissions of methane were 0.09-0.18 g/c.e. and lower than the data in literature at 0.82 g/c.e. (Mc Innes, 1996). The contribution of sewage treatment plants to the total emissions of N_2O in Vienna account for 3-8%.

Emission rates of NO_x , that are not available in literature yet, were relative low at 0.65-2.8 $\text{gNO}_2/\text{c.e.}$. Emission rates of NMHC were 0.014 g/c.e. under both operating conditions. From this we conclude that even after the implementation of denitrification stages in the Viennese wastewater treatment plant emissions of trace gases will still remain very low.

INHALT

EINLEITUNG	6
OBJEKTBESCHREIBUNG.....	7
MESSAUFBAU.....	8
<i>Probenahme</i>	8
<i>Messperioden und Betriebsweisen</i>	9
METHODIK.....	10
<i>Gasförmige Komponenten</i>	10
<i>Organische Aerosole (POC)</i>	10
Gesamtkohlenstoff (PTC - Particulate Total Carbon)	11
Black Carbon	11
Polare organische Verbindungen	11
BERECHNUNG DER EMISSIONEN	13
ERGEBNISSE.....	14
ABWASSERPARAMETER.....	14
SCHLAMM.....	14
GASFÖRMIGE KOMPONENTEN	16
<i>Konzentrationen</i>	16
Belebungsbecken Stufe 1 – ohne Bypass (Messperiode I)	16
Belebungsbecken Stufe 2 – ohne Bypass (Messperiode II)	17
Belebungsbecken Stufe 2 – Bypassverfahren (Messperiode III)	19
Belebungsbecken Stufe 1 – Bypassverfahren (Messperiode IV)	21
<i>Emissionen</i>	22
CO₂	22
CH₄	22
NMHC	24
N₂O	24
NO	25
NO_x	25
ORGANISCHE AEROSOLE.....	26
<i>Gesamtkohlenstoff</i>	26
<i>Black Carbon</i>	27
<i>Polare organische Verbindungen</i>	29
SCHLUSSFOLGERUNGEN UND VERGLEICH DER EMISSIONSFAKTOREN ERMITTELT AN UNTERSCHIEDLICHEN KLÄRANLAGENTYPEN	36
DANKSAGUNG	39
LITERATUR.....	39
ANHANG.....	41
ABWASSERPARAMETER.....	41

EINLEITUNG

Die Hauptkläranlage Simmering wurde 1980 in Betrieb genommen und ist seither für die Reinigung von rund 90% der Abwasser der Gemeinde Wien verantwortlich. Um die Anforderungen der EU-Richtlinie vom 21. Mai 1991, die eine Stickstoffelimination von mind. 70% im Jahresmittel im geklärten Abwasser vorschreibt, zu erfüllen, wurde eine Erweiterung der bestehenden Anlage geplant. Zusätzlich bedingt das durch die Bevölkerungszunahme erwartete Ansteigen der Einwohnergleichwerte auf 4 Millionen im Jahr 2010 eine Vergrößerung der Kläranlage. Aufgrund von Kanalnetzrechnungen und einer anschließenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde festgelegt, dass künftig 18 m³ Abwasser pro Sekunde mechanisch und biologisch zu reinigen sind. In einer Variantenstudie wurden verschiedenste Verfahren mit und ohne Integration der bestehenden Kläranlage untersucht. Als beste und auch wirtschaftlich optimale Lösung wurde das zweistufige Belebungsverfahren mit Teilumgehung der erste Stufe (Bypass) und Rückführung (Hybrid) ermittelt. Im weiteren wurde von der Firma Umwelttechnik Wien (UTW) in Zusammenarbeit mit der EbS und der TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, ein dynamisches Simulationsmodell für die HKA 2 ermittelt, das eine optimale Betriebsweise des Bypass und Hybridverfahrens ermöglicht. Die dynamische Simulation unterstützt die Entwicklung eines Mess- Steuer- und Regelungskonzeptes (MSR-Konzept) zur Einstellung der optimalen Bypass bzw. Schlammengen aus der 1. Stufe je nach Belastungs- und Temperaturbedingungen sowie die Veränderung des belüfteten Volumens der 2. Stufe. Zur Entwicklung dieses mathematischen Modelle wurde die Versuchskläranlage errichtet, deren Emissionen an Luftschadstoffen im vorliegenden Projekt untersucht wurden.

Abbildung 1 Versuchskläranlage am Gelände der Hauptkläranlage Wien Simmering

Objektbeschreibung

Beim gegenständlichen Untersuchungsobjekt handelt es sich um die Versuchskläranlage am Gelände der Hauptkläranlage Simmering, 1100 Wien, 11. Haidequerstrasse 6. (Abbildung 1, Foto der Versuchskläranlage). Diese Versuchskläranlage wurde von der Firma Umwelttechnik Wien (UTW) im Rahmen der Erweiterung der Hauptkläranlage Simmering geplant und errichtet.

Abbildung 2 zeigt das Schema der Versuchskläranlage. Vor der Anlage befindet sich noch ein Vorklärbecken (Dortmundbrunnen, Oberfläche 3,14 m², Volumen 4,5 m³), dessen Emissionen im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Die Kläranlage selbst besteht aus 2 Belebungsstufen mit Zwischen- und Nachklärung. Die 1. Belebungsstufe umfasst 4 Kaskaden zu je 1 m³ Volumen. Die 1. Kaskade wurde nur gerührt, die Kaskaden 2-4 wurden vom Verdichter belüftet. Danach gelangt das Abwasser über das Zwischenklärbecken (Dortmundbrunnen, Oberfläche 4,8 m², Volumen 6 m³) in die 2. Belebungsstufe. Diese besteht wiederum aus 4 Becken. Die 1. und 2. Kaskade werden nicht extra belüftet, wobei die 2. Kaskade teilweise durch die konstante Belüftung der 4. Kaskade mitbelüftet wird. Die 3. Kaskade wird teilweise belüftet abhängig von der Belastung der Anlage.

Abbildung 2 Schematischer Plan der Versuchskläranlage Simmering (Kroiss et al., 2000)

BP...Bypass, ZU...Zulauf, RP...Rückpass, SK...Schlammkreislauf, RS...Rücklaufschlamm, UM...Umlauf, ZK...Zwischenklärbecken, NK...Nachklärbecken, ÜS...Überschussschlamm

Detaillierte Angaben über den Aufbau, die Sonden und die Steuerung der VK können der Literatur entnommen werden (Kroiss et al., Bericht über die Pilotversuche und die Entwicklung eines dynamischen Simulationsmodells für die HKA 2, 2000).

Die gesamte Aufbau der Kläranlage Simmering (1. und 2. Belebungsstufe), wie er im Entwurf vorgesehen ist, wurde in der Pilotanlage im Maßstab 1:10 000 nachgebaut, d.h. alle Beckenvolumina und die Volumenströme entsprechen in einem Verhältnis von 1:10 000 denen der geplanten Hauptkläranlage.

Messaufbau

Probenahme

Der Luftraum über den Becken der Versuchskläranlage ist mit Metallabdeckungen verschlossen. Um den Erfassungsgrad der Emissionen zu erhöhen, wurden die Abdeckungen teilweise zusätzlich mit Gummidichtungen versehen. Weiters wurden ausgewählte Becken (Belebungsstufe 1) mit Polyethylen-Abdeckfolie (Stärke 50 µm, Fa. Schuller) abgedichtet. Die Probenahme aller Komponenten erfolgte über ein Manifold, das über den Belebungsbecken angebracht war. In Vorversuchen wurde getestet, ob bei einer Dosierung des Tracergases in Verdichter 2+3, die die Belebungsstufe 2 belüften, in der Belebungsstufe 1 im Becken 1 erhöhte CO-Konzentrationen gefunden werden. Da keine erhöhten Tracergaskonzentrationen über dem Belebungsbecken Stufe 1 gefunden wurden, kann man davon ausgehen, dass zwischen den beiden Belebungsstufen kein messbarer Gasaustausch stattfindet.

Abbildung 3 Foto der Probenahmeverrichtung am Belebungsbecken Stufe 1 der VK Simmering

Messperioden und Betriebsweisen

Während der gesamten Projektdauer wurde die Anlage in zwei verschiedenen Betriebszuständen betrieben (Tabelle 1). Die prinzipiellen Unterschiede dieser Betriebsweisen sind, dass beim Bypassverfahren je nach Kläranlagenbelastung und Temperatur 10 bis 40% des vorgeklärten Abwassers direkt in die 2. Belebungsstufe geleitet werden. Dabei werden die Denitrifikanten mit leicht abbaubaren CSB versorgt. Beim Hybridverfahren wird das gesamte Abwasser in die 1. Belebungsstufe geleitet. Die Versorgung der Denitrifikanten erfolgt hier durch den hochbelasteten Schlamm der Stufe 1. Die Details dieser Zustände sind in der Literatur ausführlich beschrieben (Kroiss et al., Bericht über die Pilotversuche und die Entwicklung eines dynamischen Simulationsmodells für die HKA 2, 2000).

Tabelle 1 Zeitdauer der Messperioden an der VK Simmering, Probenentnahmestellen und Betriebszustände der Anlage während der jeweiligen Messperiode

Messperiode	Datum	Ort	Betriebsweise
0	17.2.2000-20.2.2000	Belebungsbecken Stufe 1+2	Vorversuche
I	21.2.2000-25.2. 2000	Belebungsbecken Stufe 1	ungeregelter Hybridbetrieb
II	25.2.2000-28.2.2000 (11.00)	Belebungsbecken Stufe 2	ungeregelter Hybridbetrieb
III	28.2 2000-2.3.2000	Belebungsbecken Stufe 2	Bypassverfahren 0,55 m ³ /h
IV	2.3.2000 – 6.3.2000	Belebungsbecken Stufe 1	Bypassverfahren 0,55 m ³ /h

Methodik

Gasförmige Komponenten

Zur kontinuierlichen Emissionsmessung wurden die unten angeführten Instrumente verwendet (Tabelle 2). Alle Messwerte wurden als 1-Minutenmittelwerte aufgezeichnet.

Tabelle 2 Liste der Messgeräte, die zur Bestimmung der Emissionen an der VK Simmering verwendet wurden

Messgerät	Fabrikat	Baujahr	Messbereich	Messprinzip
NO _x	MLU 8840 NOx	1985	0 -500 ppb	Chemilumineszenz
N ₂ O	Thermo Elektron	1995	0 – 50 ppm	GFC
CO ₂	Maihak Unor 6N	1991	0 - 2 Vol%	NDIR
CO Zuluft	Maihak Unor 6N	1991	0 - 2000 ppm	NDIR
CO Abluft	Maihak Unor 6N	1991	0 - 300 ppm	NDIR
NMHC/THC (Methan)	Horiba APMA 360	1998	0 - 50 ppm	FID
Rechner	Epson EL2	1991		
	AD-Wandler Keithley DAS 8 Abfragefrequenz 1 Hz Signalaufösung 12 Bit	1993		

Organische Aerosole (POC)

Die Probenahme des Gesamtkohlenstoffs erfolgte auf Quarzfaserfiltern Tissuquarz 2500 QAT-UP (Pallflex, USA) mit einem Durchmesser von 47 mm unter Verwendung von Polycarbonatfilterhaltern („Filterstacks“ - NILU- „Norwegian Institut for Air Research“) mit einem Luftdurchsatz von ca. 40 l/min. Es wurden je zwei Quarzfaserfilter hintereinandergeschaltet (Doppelfilterstack).

Die Bestimmung der polaren organischen Verbindungen im Aerosol erfolgte mit Hilfe von Doppelfilterstacks, wobei der vordere Teflonfilter (Front) hauptsächlich partikuläre Verbindungen sammelt, während der dahinter angebrachte Quarzfaserfilter (Back) die gasförmigen und die semi-volatilen Verbindungen sammelt, die vom Teflonfilter abgedampft sind. Die angegebenen Werte sind die Summe aus dem jeweiligen Front- und Backfilter nach Abzug eines Feldblindwerts (ebenfalls Front- und Backfilter).

Die Filterhalter aus Polycarbonat (Fa. NILU) wurden über ca. 2 cm kurze Teflonschläuche mit Messingfittings am Manifold montiert. Die Luftmenge wurde mit einer Kombination aus Manometer, Thermometer und Gaszähler bestimmt. Die Temperaturmessung erfolgte mit Thermofühlern (im T-Stück zwischen Gasvolumenmesser und Pumpe für die PTC-Sammlung, in der Pumpenabluft für die GC-MS Sammlung). Es wurden 30 min Mittelwerte aufgezeichnet.

Alle Filter wurden ca. 24h beprobt. Die Blindwertfilter wurden analog zu den anderen Filtern behandelt, allerdings nur 10 sec beprobt.

Gesamtkohlenstoff (PTC - Particulate Total Carbon)

Das Prinzip der Gesamtkohlenstoffbestimmung besteht aus der Verbrennung der Quarzfaserfilter in einem vertikalen Ofen im Sauerstoffstrom bei 1000°C. Das entstandene CO₂ wird im Gasanalysator mittels nichtdispersiver Infrarot-Photometrie nach dem Einstrahlverfahren mit Strahlungsmodulation detektiert, die Aufzeichnung und Auswertung der Daten erfolgt über das Integrationssystem ATS Winchrom³².

Black Carbon

Der lichtabsorbierende Anteil der kohlenstoffhaltigen Aerosolfraction wird mit einem selbstgebauten Handaethalometer durch Vergleichsmessungen von beprobten und unbeprobten Filtern bestimmt. Als spezifischer Absorptionskoeffizient Sigma wurde 16,1 gewählt. Dieser Wert ist der Mittelwert von einer Reihe von Untersuchungen in urbanen (Wien, Berlin), semi-ländlichen und Hintergrundsgebieten.

Polare organische Verbindungen

Die polaren organischen Verbindungen wurden vor der gaschromatographischen Analyse dem folgenden Probenaufbereitungsverfahren unterzogen.

Elution der Filterproben:

Die beprobten Filter wurden zunächst in einer Epruvette mit 200µl Aceton und 400µl Methanol versetzt, dann wurde die Epruvette mit H₂O bis zur Markierung aufgefüllt und die Filter 15 min. im Ultraschallbad eluiert. Das Eluat wurde in einen 25 ml-Kolben überführt, der Filter nochmals mit 400µl Methanol benetzt, mit H₂O bedeckt und wieder 15 min im Ultraschallbad eluiert. Das Eluat des zweiten Extraktionsschrittes wurde danach mit dem Eluat im 25 ml-Kolben vereinigt. Dieser wurde mit H₂O bis zur Markierung aufgefüllt. Diese Lösung stellte schließlich die Probenflüssigkeit dar.

Festphasenextraktion:

Zur Abtrennung der polareren Disäuren von den anderen Komponenten wurde die Probenflüssigkeit durch ein C18-Isolute-Extraktionssäule gesaugt. Die Disäuren blieben dabei in der flüssigen Phase gelöst, die restlichen organischen Substanzen wurden an der Säule adsorbiert.

Veresterung der Säuren:

Da organische Säuren erst bei relativ hohen Temperaturen - und dann nicht unzersetzt - in die Gasphase übergeführt werden können, sind sie über Gaschromatographie nicht direkt zugänglich. Sie müssen vor einer gaschromatographischen Analyse verestert werden:

Die schwächer polare Fraktion der Monocarbonsäuren, Penole und Phthalate wurde mit 2x1,250ml Methanol aus der Säule gelöst und in einem 10ml-Kolben mit 50µl eines internen Standards, sowie 100µl BF₃-MeOH-Komplex als Veresterungsreagens versetzt und 30 min bei 75°C verestert. Danach wurde der Kolben mit gesättigter NaCl-Lösung auf ca. 10 ml aufgefüllt.

Die stärker polare Fraktion der Disäuren wurde in einem 25 ml-Kolben fast bis zur Trockenen eingeeengt, in einem Milliliter Propanol aufgenommen und nochmals fast bis zur Trockenen eingedampft. Dann wurden 100 µl BF₃-Propanol-Komplex und 50 µl interner Standard zugegeben und der Rand des Kolbens mit nochmals 1 ml Propanol abgespült. Zur Veresterung wurde die Lösung 30 min bei 95°C gekocht. Danach wurde die Probe eingeeengt und mit gesättigter NaCl-Lösung auf ca. 25 ml aufgefüllt.

Extraktion:

Die beiden Fraktionen wurden mit je 200 µl Cyclohexan ausgeschüttelt.

Analyse:

Die Extrakte wurden über einen Autosampler mit einem Injektionsvolumen von 1 µl in die GC-Apparatur (HP 6890 Series II) eingespritzt, und unter Verwendung einer Trennsäule (HP5MS, Crosslinked 5%, 30 m, Beschichtung PH ME Siloxan) und eines massenselektiven Detektors (HP 5973) analysiert.

Berechnung der Emissionen

Zur Berechnung der Emissionen der Versuchskläranlage wurde CO als Tracer verwendet. Dieser Tracer wurde in den Volumenstrom nach dem Verdichter, der die jeweilige Belebungsstufe belüftet, aufgegeben und die Konzentration an der Aufgabestelle gemessen. Parallel dazu erfolgte die Messung der Konzentration des Tracers an der Entnahmestelle, d.h. nach dem Manifold sowie die Bestimmung der Konzentrationen und Mischungsverhältnisse aller anderen gasförmigen Verbindungen nach dem Manifold. Aus dem Verhältnis der Tracerkonzentrationen läßt sich der Erfassungsgrad der Messung bestimmen und durch die Bestimmung des Volumenstroms an der Entnahmestelle (576 m³/d) die Emissionen der gasförmigen Komponenten berechnen. Für die Berechnung der Emissionen wurden die folgenden Außenluftwerte von den gemessenen Daten abgezogen.

Tabelle 3 Außenluftwerte an der VK Simmering

	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	NMHC
Einheit	ppm	Vol%	ppm	ppm
Konzentration bzw. Mischungsverhältnis	0,07	0,03	1,96	0,22

Da die NO_x-Konzentrationen über der Anlage sehr stark von der Konzentrationen in der Außenluft beeinflusst werden (man sieht z.B. in den Emissionen über der Anlage die morgendliche Verkehrsspitze von 6.00-8.00), wurden die kontinuierlichen NO_x-Geräte so geschaltet, dass jeweils 5 min Anlagenluft und 5 min Außenluft gemessen wurden. Für die Berechnung der Emissionen wurde die Differenz der aufeinanderfolgenden Intervalle verwendet.

ERGEBNISSE

Abwasserparameter

Der Abbau der organischen Substanz war während der gesamten Versuchsdauer sehr gut und lag bei durchschnittlich 91 bis 94% je nach Messperiode (Tabelle 4). Die Stickstoffentfernung betrug in den ersten drei Messperioden 70 bis 75% und erfüllte somit die gesetzlichen Anforderungen. In der vierten Messperiode ab dem 3.3.2000 wurden weniger als 70% des Stickstoffs eliminiert, wobei die Denitrifikation jedoch ziemlich vollständig verlief. Tabelle 4 zeigt weiters die Abwassermengen (Zulauf) und Einwohnerequivalente (EGW), die zur Berechnung der Tagesmittelwerte der Emissionen verwendet wurden. Die Emissionen der verschiedenen Messperioden wurden aus den jeweiligen Tagesmittelwerten berechnet.

Tabelle 4 Abwasserparameter der VK Simmering

Datum	Zulauf m ³ /d	CSB gesamt kg/d	EGW EGW/d	C Entfernung %	N Entfernung %
21.2.2000	57,9	24,9	208	93	67
22.2.2000	57,9	24,1	201	90	70
23.2.2000	57,9	21,9	183	93	73
24.2.2000	57,8	21,7	181	92	74
25.2.2000	57,8	14,8	123	90	82
26.2.2000	57,8	15,0	125	93	76
27.2.2000	57,8	18,3	153	94	71
28.2.2000	42,8	22,8	190	96	70
29.2.2000	43,1	22,0	183	92	72
01.3.2000	57,8	26,1	218	92	65
02.3.2000	57,9	31,3	261	93	72
03.3.2000	57,7	30,2	251	91	62
04.3.2000	57,9	21,5	179	92	61
05.3.2000	57,8	26,2	219	93	60
06.3.2000	54,5	23,0	192	85	54

Die vollständige Auflistung der Abwasserparameter befindet sich im Anhang.

Die Kalkulation der EGW erfolgte aus dem umgesetzten CSB/Tag (Tabelle 4) mit 120 g C = 1 EGW. Diese Definition gilt streng genommen nur für Rohabwasser. Sie wurde jedoch verwendet, um die Emissionen, die durch die Umsetzung der organischen Substanz in verschiedenen Kläranlagentypen nach jeweils unterschiedlichen Vorklärlösungen entstehen, untereinander vergleichen zu können.

Schlamm

1. Belebungsstufe : Schlammalter 0,5-1 Tag
2. Belebungsstufe : Schlammalter 6-7 Tage

Anlagenparameter

Messperiode I + II unregelmäßiger Hybridbetrieb (konventionell zweistufig)

Die Bemessungszulaufwassermenge (2,4 m³/h im Tagesmittel mit dem für die HKA typischen Tagesgang) wird vollständig über die erste Stufe zugeleitet.

Messperiode III + IV Bypassverfahren

Beschickung 4m³/h, Bypass ab 28.2.2000 ca. 7.00 0,55 m³/h, Schlammkreislauf konstant, V1 70-100%, V2 on -off, V3 80-100%, Bemessungszulaufwassermenge 2,9 m³/h im Tagesmittel mit dem für die HKA typischen Tagesgang, 2,4 m³/h werden über die erste Stufe zugeleitet. Während der Messperiode gab es kein Schmelzwasser (keine Nitrifikationshemmung).

Ca. 32% des Rohabwassers wurden in der Vorklärung abgebaut.

Gasförmige Komponenten

Konzentrationen

Die Konzentrationen und Mischungsverhältnisse der gasförmigen Komponenten wurden während der gesamten Versuchsdauer kontinuierlich gemessen. Nachfolgend sind die Ergebnisse nach Versuchstagen aufgeteilt aufgelistet. Die Tabellen zeigen die Tagesmittelwerte (average) der Konzentrationen und Mischungsverhältnisse der Komponenten gebildet aus den Einminutenmesswerten des jeweiligen Tages. Es wurden nur jene Zeitspannen zur Mittelwertbildung herangezogen, in denen die Anlage ungestört in Betrieb war. Zeitspannen, in denen die oberen Abdeckungen der Anlage geöffnet wurden, um z.B. Schlammproben zu entnehmen oder die Becken zu reinigen, wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Zusätzlich zu den Mittelwerten sind in den Tabellen auch die minimalen (min) und maximalen Werte (max) angegeben, die während der zur Auswertung herangezogenen Zeitspannen des jeweiligen Tages gemessen wurden. Neben den Ergebnissen der Spurengase ist auch der Erfassungsgrad angegeben, der beschreibt, wieviel Prozent des in den Belüftungsstrom injizierten Tracergases an der Probeentnahmestelle wiedergefunden wurde. Der Erfassungsgrad kennzeichnet sozusagen die Verdünnung der Kläranlagenabluft.

Belebungsbecken Stufe 1 – ohne Bypass (Messperiode I)

Tabelle 5 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 23.2.2000

	N ₂ O	CO ₂	NO	NO _x	CH ₄	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	0,77	0,22	34	44	14,47	2,26	0,29
min	0,59	0,21	15	27	12,94	1,06	0,18
max	1,05	0,25	76	80	16,27	3,38	0,40

Tabelle 5 und die nachfolgenden Tabellen 6-15 geben einen Überblick über die Größenordnungen der Konzentrationen und Mischungsverhältnisse der Spurengase, die in der Abluft der Versuchskläranlage Simmering gemessen wurden. Die angegebenen Mittelwerte (average) wurden verwendet, um die täglichen Emissionen der Kläranlage in den Tabellen 16 bis 21 zu berechnen. Die minimalen und maximalen Werte zeigen, wie stark die Komponenten während des zur Auswertung herangezogenen Messzeitraums schwanken. Die NMHC Konzentrationen z. B. sanken von Mitternacht (3 ppm) bis 8.00 morgens auf ca. ein Drittel des Wertes ab und stiegen ab dem Nachmittag um 14.00 wieder kontinuierlich an.

Tabelle 6 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 24.2.2000

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	0,59	0,14	31	39	12,90	1,44	0,22
min	0,25	0,08	25	32	6,91	0,89	0,17
max	0,71	0,18	42	50	23,27	1,86	0,28

Die CO₂ Konzentrationen an diesem Messtag waren relativ niedrig (Tabelle 6). Auffallend war die deutliche NO_x-Spitze während des Morgenverkehrs, die sich in den Mischungsverhältnissen in der Anlagenluft beobachten läßt.

Belebungsbecken Stufe 2 – ohne Bypass (Messperiode II)

Tabelle 7 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 25.2.2000

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	0,39	0,33	55	59	6,97	0,60	0,31
min	0,22	0,23	38	46	4,61	0,42	0,16

max	0,66	0,41	85	90	9,23	0,74	0,43
-----	------	------	----	----	------	------	------

Alle Komponenten schwankten um den Mittelwert, ohne dass ein Trend während der Nachmittags- oder Nachtstunden beobachtet werden konnte (Tabelle 7).

Tabelle 8 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 26.2.2000

	N ₂ O	CO ₂	NO	NO _x	CH ₄	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	2,48	0,60	293	369	11,72	0,74	0,40
min	0,93	0,44	115	128	9,28	0,32	0,28
max	4,28	0,71	353	462	15,99	1,06	0,46

Die Mischungsverhältnisse von NO_x und N₂O sanken von Mitternacht bis zum Morgen kontinuierlich ab. Von frühen Nachmittag an wurde ein Ansteigen der NO_x - Mischungsverhältnisse von ca. 130 ppb innerhalb von wenigen Stunden auf über 450 ppb beobachtet. Parallel dazu stiegen die N₂O Konzentrationen von 0.9 ppm auf über 4 ppm.

Tabelle 9 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 27.2.2000

	N ₂ O	CO ₂	NO	NO _x	CH ₄	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	0,72	0,50	471	536	11,79	0,80	0,00
min	0,05	0,27	322	359	6,79	-0,02	0,00
max	1,93	0,75	667	778	19,78	1,82	0,00

Der Erfassungsgrad am 27.2.2000 und am Morgen des 28.2.2000 ist Null, da am Sonntag und am Montag Morgen keine Tracermessung durchgeführt werden konnten. Für diese Tage wurden daher nur die relativen Emissionsfaktoren bezogen auf CO₂ angegeben.

Tabelle 10 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 28.2.2000 (0.00 bis 6.00)

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	0,38	0,30	57	65	6,95	0,45	0,00
min	0,10	0,11	47	59	3,60	0,09	0,00
max	0,83	0,52	65	72	13,55	0,81	0,00

Die in Tabelle 10 angegebenen Werte beschreiben die Konzentrationen und Mischungsverhältnisse am 28.2.200 von 0.00 bis 6.00 morgens. Danach wurden die Abdeckungen der Anlage öfters geöffnet, sodass der Zeitraum ab 6.00 nicht mehr zur Auswertung herangezogen wurde.

Belebungsbecken Stufe 2 – Bypassverfahren (Messperiode III)

Tabelle 11 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 28.2.2000 (Nachmittag)

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	1,55	0,36	41	89	6,41	0,75	0,33
min	0,52	0,17	47	56	4,70	0,51	0,18
max	3,50	0,59	127	132	8,94	1,03	0,50

Ab 11.00 wurde die Anlage auf den Bypassbetrieb umgestellt. Danach waren die Konzentrationen konstant bis ca. 19.00 und stiegen ab dann bis Mitternacht an.

Tabelle 12 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 29.2.2000

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	1,59	0,66	121	163	10,00	1,54	0,65
min	1,10	0,50	103	138	7,80	1,37	0,55
max	2,23	0,77	190	185	12,49	1,81	0,75

Es zeigte sich ein Maximum der NO_x und CO₂ Konzentrationen zwischen 1.00 und 2.00, danach sanken die Konzentrationen, durchliefen ein Minimum um 4.30, um dann erst wieder in der Nacht zu steigen.

Tabelle 13 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 1.3.2000

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	1,06	0,73	104	166	13,34	1,82	0,61
min	0,98	0,68	93	151	12,26	1,68	0,56
max	1,13	0,78	195	191	14,48	2,00	0,68

Am 1.3.2000 wiesen die Messwerte einige Minima und Maxima auf. Um 15.00 kam es zu einem starken Absenken der Konzentrationen, möglicherweise durch ein Öffnen der Abdeckungen des Belebungsbeckens. Diese Zeitdauer wurde für die Berechnung der Emissionsfaktoren nicht herangezogen. Ab 17.00 waren die Konzentrationen wieder konstant.

Belebungsbecken Stufe 1 – Bypassverfahren (Messperiode IV)

Tabelle 14 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 2.3.2000

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	0,25	0,20	16	34	15,13	3,92	0,47
min	0,13	0,17	9,3	16	11,38	3,31	0,41
max	0,59	0,22	63	64	19,43	4,52	0,52

Am 2.3.2000 wurde das Manifold wieder an der Belebungsstufe 1 angebracht. Die Konzentrationen über diesem Becken waren im allgemeinen relativ niedrig, obwohl der Erfassungsgrad durchschnittlich fast 50% betrug. Methan und die Nichtmethankohlenwasserstoffe wiesen hier sehr hohe Konzentrationen auf (Tabelle 14).

Tabelle 15 Konzentrationen, Mischungsverhältnisse und Erfassungsgrad der Spurengase in der Abluft der VK Simmering am 3.3.2000

	N2O	CO2	NO	NOx	CH4	NMHC	Erfassungsgrad
	ppm	Vol%	ppb	ppb	ppm	ppm	%
average	0,35	0,27	22	49	13,80	3,04	0,31
min	0,25	0,21	14	35	9,80	2,08	0,20
max	0,42	0,35	57	66	20,21	4,05	0,43

Die Konzentrationen an CO₂ waren bis ca. 2.00 früh sehr niedrig bei 0,21Vol% und stiegen dann relativ rasch auf 0,35Vol% an. Die NO_x Konzentrationen folgten dem morgendlichen Verkehr und stiegen bis ca. 8.00 an.

Emissionen

CO₂

Tabelle 16 CO₂ Emissionen der VK Simmering

	Emission [gCO ₂ /Tag]	Emission [gCO ₂ /m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [gCO ₂ /EGW]
Bypassbetrieb			
1. Stufe	6674	116	26
2. Stufe	11616	245	59
gesamt	18290	306	85
Hybridbetrieb			
1. Stufe	6930	120	38
2. Stufe	14286	247	115
gesamt	21215	367	153

Die durchschnittlichen Emissionen der Versuchskläranlage betrieben mittels Bypassverfahren betragen 85 gCO₂/EGW und liegen somit zwischen den Emissionen der Versuchskläranlage mit intermittierender Belüftung und der Biofilmanlage (Tabelle 31). Im *Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook* herausgegeben von der Europäischen Umweltbehörde werden die jährlichen CO₂ Emissionen aus Kläranlagen auf einer Basis von 27400g/EGW berechnet, was einer Emission von 75 gCO₂/EGW entspricht. Die Emissionen aus dem unregelmäßigem Hybridbetrieb liegen bei 153 gCO₂/EGW. Bei beiden Verfahren sind die Emissionen aus der 2. Belebungsstufe deutlich höher als aus der 1. Belebungsstufe (Tabelle 16).

CH₄

Tabelle 17 CH₄ Emissionen der VK Simmering

	Emission [g/Tag]	Emission [mg/m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [mg/EGW]	Emission relativ zur CO₂- Emission [g/g CO ₂]
Bypassbetrieb				
1. Stufe	14	238	54	2,3 · 10 ⁻³
2. Stufe	6,1	128	31	5,3 · 10 ⁻⁴
gesamt	20	366	85	1,1 · 10 ⁻³
Hybridbetrieb				
1. Stufe	20	350	111	3,1 · 10 ⁻³
2. Stufe	8,6	148	69	6,1 · 10 ⁻⁴
gesamt	29	498	180	1,4 · 10 ⁻³

Die Methanemissionen der Versuchskläranlage Simmering lagen bei 400-500 mg/m³ Abwasser (Tabelle 17). Bezogen auf die Emissionen pro Einwohnergleichwert weist der Hybridbetrieb mit 180 mg/EGW deutlich höhere Emissionen als der Bypassbetrieb mit 85 mg/EGW auf, die relativen Emissionsfaktoren sind jedoch für beide Betriebsweisen sehr ähnlich. Im Gegensatz zu den CO₂ Emissionen sind die Methan Emissionen aus

der 1. Belebungsstufe bei beiden Betriebsarten deutlich höher als die der 2. Belebungsstufe.

NMHC

Tabelle 18 NMHC Emissionen der VK Simmering

	Emission [g/Tag]	Emission [mg/m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [mg/EGW]	Emission relativ zur CO ₂ - Emission [gC/g CO ₂]
Bypassbetrieb				
1. Stufe	2,6	45	10	4,5 10 ⁻⁴
2. Stufe	0,65	14	3,3	5,5 10 ⁻⁵
gesamt	3,3	59	14	1,8 10 ⁻⁴
Hybridbetrieb				
1. Stufe	1,9	33	11	2,8 10 ⁻⁴
2. Stufe	0,45	7,7	3,6	3,2 10 ⁻⁵
gesamt	2,4	41	14	1,1 10 ⁻⁴

Die Emissionen der NMHC waren für beide Betriebszustände relativ ähnlich bei 14 mg/EGW. Analog zu den Methan Emissionen zeigt sich auch hier, dass die Emissionen der Stufe 1 deutlich höher sind als die der Stufe 2. Die relativen Emissionsfaktoren unterscheiden sich um nahezu einen Faktor 10 (Tabelle 18).

N₂O

Tabelle 19 N₂O Emissionen der VK Simmering

	Emission [g/Tag]	Emission [mg/m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [mg/EGW]	Emission relativ zur CO ₂ - Emission [g/g CO ₂]
Bypassbetrieb				
1. Stufe	0,78	14	3,1	1,1 10 ⁻⁴
2. Stufe	3,0	67	16	2,7 10 ⁻⁴
gesamt	3,8	80	19	2,1 10 ⁻⁴
Hybridbetrieb				
1. Stufe	2,8	49	15	4,2 10 ⁻⁴
2. Stufe	4,0	70	32	2,2 10 ⁻⁴
gesamt	6,8	118	48	3,2 10 ⁻⁴

Die gesamt N₂O Emissionen bewegen sich zwischen 19 und 48 mg/EGW, wobei die höheren Werte während des Hybridbetriebs gemessen wurden. Bezieht man die Emissionen auf Einwohnerequivalente so ergeben sich für die 2. Belebungsstufe deutlich höhere Emissionen als für die 1. Stufe (Tabelle 19).

NO

Tabelle 20 NO Emissionen der VK Simmering

	Emission [gNO/Tag]	Emission [mgNO/m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [mgNO/EGW]	Emission relativ zur CO ₂ - Emission [gNO/g CO ₂]
Bypassbetrieb				
1. Stufe	0,079	1,4	0,31	1,2 10 ⁻⁵
2. Stufe	0,13	2,7	0,65	1,1 10 ⁻⁵
gesamt	0,21	4,1	0,97	1,1 10 ⁻⁵
Hybridbetrieb				
1. Stufe	0,071	1,2	0,39	1,1 10 ⁻⁵
2. Stufe	0,25	4,4	2,0	2,2 10 ⁻⁵
gesamt	0,32	5,6	2,4	1,5 10 ⁻⁵

Die NO Emissionen bewegen sich zwischen 0,3 und 2 mgNO/EGW mit den höchsten Werten in der 2. Belebungsstufe während des Hybridbetriebs. Die relativen Emissionsfaktoren unterscheiden sich nicht so stark (Tabelle 20).

NO_x

Tabelle 21 NO_x Emissionen der VK Simmering

	Emission [gNO ₂ /Tag]	Emission [mgNO ₂ /m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [mgNO ₂ /EGW]	Emission relativ zur CO ₂ - Emission [gNO ₂ /g CO ₂]
Bypassbetrieb				
1. Stufe	0,045	0,78	0,18	6,1 10 ⁻⁶
2. Stufe	0,094	2,0	0,47	8,1 10 ⁻⁶
gesamt	0,14	2,8	0,65	7,6 10 ⁻⁶
Hybridbetrieb				
1. Stufe	0,054	0,94	0,30	7,1 10 ⁻⁶
2. Stufe	0,31	5,34	2,48	2,5 10 ⁻⁵
gesamt	0,36	6,3	2,8	1,7 10 ⁻⁵

Die Emissionen von NO_x wurden als Emissionen von NO₂ berechnet und betragen zwischen 1 und 5 mgNO₂/m³ Abwasser mit höheren Werten in der 2. Stufe und besonders während des Hybridbetriebs (Tabelle 21).

Dass die NO_x Emissionen teilweise geringer sind als die NO Emissionen deutet darauf hin, dass die NO_x Emissionen hauptsächlich aus NO bestehen und in der Versuchskläranlage NO₂ abgebaut wird.

Organische Aerosole

Gesamtkohlenstoff

Zur Bestimmung der Konzentrationen an Gesamtkohlenstoff in der Abluft der Kläranlage wurden pro Messtag zwei Parallelmessungen durchgeführt. Die Kohlenstoffkonzentrationen lagen zwischen 50 und 300 mgC/Nm³ und waren somit relativ hoch. Die in Tabelle 22 angegebenen Werten wurden aus der Summe von Front- und Backfilter nach Abzug des durchschnittlichen Feldblindwerts gebildet. Der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt der Feldblindwertfilter betrug 3,4 µgC/cm² (n = 12 Filter), ca. eine Größenordnung unter dem Gehalt der Frontfilter. Die Backfilter wiesen durchschnittlich 8% des Kohlenstoffgehalts der Summe aus Front- und Backfilter auf. Die Aerosolkonzentrationen in der Außenluft, die zur Belüftung der Anlage verwendet wurde, gehen nicht in die Bestimmung ein, da es sehr unwahrscheinlich ist, dass die Teilchen in der Zuluft die mit Abwasser und Schlamm gefüllten Belebungsbecken ungehindert passieren.

Die angegebenen Werte beziehen sich auf TSP (Total Suspended Matter – Gesamtstaub), d.h. es wurden Aerosolteilchen aller Größen, die sich in der von der Anlage emittierten Luft befanden, gesammelt. Die zum Teil sehr hohen Einzelwerte können auch von größeren organischen Teilchen stammen. Es wäre daher interessant, in späteren Projekten auch eine Korngrößenfraktionierte Bestimmung durchzuführen.

Tabelle 22 Gesamtkohlenstoffkonzentrationen in der Abluft der VK Simmering

	n	TC [µg/Nm ³]
Bypassbetrieb		
1. Stufe	2	78,2
2. Stufe	6	296,4
Hybridbetrieb		
1. Stufe	3	146,1
2. Stufe	6	50,9

n...Anzahl der Einzelmessungen

Zur Berechnung der Aerosolemissionen der Anlage (Tabelle 23) wurden zunächst die relativen Emissionsfaktoren bezogen auf CO₂ für den jeweiligen Messtag bestimmt und dann aus den Einzeltagen die Mittelwerte der jeweiligen Messperiode berechnet. Die Emissionen pro Tag bzw. pro m³ Abwasser oder pro EGW wurden aus der Multiplikation der relativen Emissionsfaktoren mit den jeweiligen absoluten Emissionsfaktoren für die Emissionen von CO₂ (Tabelle 16) berechnet. Die Ergebnisse

des 28.2.2000 wurden in Tabelle 23 nicht berücksichtigt, da an diesem Tag außerordentlich hohe Gesamtkohlenstoffwerte gemessen wurden, die um einen Faktor 10 über den üblichen Werten lagen.

Tabelle 23 Gesamtkohlenstoffemissionen der VK Simmering

TC	Emission [mgC/Tag]	Emission [mgC/m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [mgC/EGW]	Emission relativ zur CO ₂ -Emission [g/g CO ₂]
Bypassbetrieb				
1. Stufe	124	2,1	0,48	18,5 · 10 ⁻⁶
2. Stufe	60	1,3	0,31	5,2 · 10 ⁻⁶
gesamt	184	3,4	0,79	10,1 · 10 ⁻⁶
Hybridbetrieb				
1. Stufe	296	5,1	1,62	42,7 · 10 ⁻⁶
2. Stufe	79	1,4	0,64	5,5 · 10 ⁻⁶
gesamt	375	6,5	2,3	17,7 · 10 ⁻⁶

Die Aerosolemissionen sind trotz der relativ hohen Konzentrationen in der Abluft im mg Bereich pro EGW (Tabelle 23). In der ersten Belebungsstufe wurden generell höhere Emissionen als in der zweiten Belebungsstufe gemessen, wobei der Hybridbetrieb etwas höhere Werte als der Bypassbetrieb aufweist.

Black Carbon

Die Analyse zur Bestimmung des Black Carbon Gehalts erfolgte auf den gleichen Filtern, die auch zur Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs beprobt wurden. Der Black Carbon Feldblindwert lag mit ca. 0,05 µgC/cm² unter der Nachweisgrenze des Verfahrens. Auf den Backfiltern wurde ebenfalls kein Black Carbon gefunden.

Tabelle 24 Black Carbon Konzentrationen in der Abluft der VK Simmering

	n	BC [µgC/Nm ³]	Anteil an BC an TC [%]
Bypassbetrieb			
1. Stufe	2	10,2	13
2. Stufe	6	15,8	22
Hybridbetrieb			
1. Stufe	3	12,3	8
2. Stufe	6	11,3	22

n...Anzahl der Einzelmessungen

Die Black Carbon Konzentrationen lagen relativ konstant bei 10 bis 15 $\mu\text{gC}/\text{Nm}^3$ und betragen 8 bis 13% des Gesamtkohlenstoffs in der ersten Belebungsstufe und 22% in der zweiten Belebungsstufe (Tabelle 24).

Tabelle 25 Black Carbon Emissionen der VK Simmering

BC	Emission [mgC/Tag]	Emission [mgC/m ³ Abwasser]	Emissionsfaktor [mgC/EGW]	Emission relativ zur CO ₂ -Emission [g/g CO ₂]
Bypassbetrieb				
1. Stufe	16	0,27	0,061	2,33
2. Stufe	19	0,39	0,095	1,61
gesamt	34	0,66	0,16	1,87 10 ⁻⁶
Hybridbetrieb				
1. Stufe	27	0,47	0,15	3,89
2. Stufe	17	0,29	0,13	1,17
gesamt	44	0,76	0,28	2,06 10 ⁻⁶

Die Berechnung der Black Carbon Emissionen erfolgt analog zu der Berechnung der Gesamtkohlenstoffemissionen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Belebungsstufen und Betriebszuständen sind gering. Die Emissionen pro EGW bewegen sich im Bereich von 0,2-0,3 mgC (Tabelle 25).

Polare organische Verbindungen

Konzentrationen

Tabelle 26 Konzentrationen an polaren organischen Verbindungen in der Abluft der VK Simmering

	Bypassbetrieb		Hybridbetrieb	
	1. Stufe	2. Stufe	1. Stufe	2. Stufe
	IV (n=3)	III (n=3)	I (n=2)	II (n=3)
	[ng/m ³]			
Octansäure	2,55	0,43	2,07	1,41
Nonanal	2,28	0,80	2,21	3,18
Nonansäure	8,28	0,43	4,17	4,27
Decanal	0,27	0,27	1,27	0,57
Decansäure	1,93	0,44	7,37	1,97
Dodecanal	0,45	0,61	0,50	1,92
Dodecansäure	9,61	7,41	33,7	3,32
Tetradecansäure	11,3	3,32	18,3	4,20
Tetradecensäure	0,46	0,44	0,76	0,51
Pentadecansäure	1,37	1,33	3,00	1,53
Hexadecansäure	23,1	1,58	57,6	1,81
Hexadecensäure	0,46	0,44	1,05	0,51
Octadecansäure	4,56	1,01	27,2	1,91
Octadecensäure	45,3	1,95	129	3,81
t-Butyl-Hydroxyanisol	0,46	0,44	2,01	1,09
2,4-Diisobutyl-phenol	1,20	0,47	4,91	2,92
x,y-n-Alkyl-Propansäure	8,80	2,04	24,9	6,25
Brenztraubensäure	2,16	11,3	13,3	8,55
Oxalsäure	17,1	73,7	33,8	31,9
Malonsäure	1,98	10,31	7,24	6,50
Isoglutarensäure	0,46	1,83	1,60	1,81
Bernsteinsäure	6,77	23,0	16,4	14,4
Glutarsäure	0,93	1,42	1,35	1,09
Adipinsäure	0,75	0,73	2,17	0,83
Phthalsäure	0,64	0,62	1,06	0,71
Pimelinsäure	1,34	0,89	1,51	1,02
Korksäure	6,40	1,04	1,76	1,19
Azelainsäure	48,8	4,11	7,09	3,81
Fumarsäure	2,02	0,44	0,76	0,51
Maleinsäure	0,46	0,44	1,16	0,51
Summe	212,3	153,3	409,1	114,0
mögliche Probenahmeartefakte				
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione-	2,18	2,52	6,49	3,28
2,6-diisobuthylphtalat				
Dimethylphtalat	1,69	1,11	4,33	10,8
Diethylphtalate	1,96	1,89	3,23	2,17
Diisobutylphtalat	26,8	54,7	51,9	20,0
Dibutylphtalat	59,8	11,8	50,5	5,63

< ... Konzentration unterhalb des Limits of Quantification

Tabelle 26 zeigt die Konzentrationen der polaren organischen Verbindungen in der von der Kläranlage emittierten Luft. Es sind hier die Mittelwerte der einzelnen Messperioden angegeben. Die jeweiligen Messperioden (I bis IV) bestehen aus 2 bis 4 Einzeltagen (n=2-4). Es wurden nur jene Messperioden zur Auswertung herangezogen, in denen mehr als 66% der Einzelwerte über der Nachweisgrenze lagen. Die Ergebnisse der einzelnen Filter in absoluten Mengen pro Filter (ng/Filter) und Konzentrationen pro emittierter Luft (ng/m³) befinden sich im Anhang.

Obwohl die Beprobungsdauer ca. 24 h betrug, waren einige Komponenten unter der Nachweisgrenze des Verfahrens wie z.B. die Phtalsäure, die Fumarsäure oder die Maleinsäure (Nachweisgrenze = $\frac{1}{2}$ LOQ – Limit of Quantification - siehe Anhang). Erstaunlich niedrige Konzentrationen wiesen auch die Hexadecan- und die Hexadecensäure auf, die in einigen Messperioden ebenfalls unter der Nachweisgrenze lagen. Relativ hohe Blindwerte wurden für die Octan-, die Nonan, Decan-, Dodecan- und Octadecansäure gefunden sowie für die Phtalate. Dadurch kommt es auch für einige dieser Komponenten zu Emissionen, die unter der Nachweisgrenze liegen.

Emissionen

Tabelle 27 zeigt die relativen Emissionsfaktoren der polaren organischen Aerosole bezogen auf CO₂. Es wurden zunächst die relativen Emissionsfaktoren pro Tag berechnet und aus diesen die Mittelwerte der jeweiligen Messperiode gebildet.

Tabelle 27 Emissionen der polaren organischen Verbindungen der VK Simmering: Emissionen relativ zur CO₂-Emission [g/gCO₂]

	Bypassbetrieb		Hybridbetrieb	
	1. Stufe	2. Stufe	1. Stufe	2. Stufe
	IV (n=3)	III (n=3)	I (n=2)	II (n=3)
	[10⁻¹⁰ g/gCO₂]			
Octansäure	2,86	<	4,29	2,29
Nonanal	15,6	<	4,64	<
Nonansäure	35,0	<	8,91	9,02
Decanal	1,17	<	2,62	0,82
Decansäure	5,08	<	15,6	2,31
Dodecanal	2,75	0,80	1,08	5,06
Dodecansäure	35,1	8,37	72,7	4,72
Tetradecansäure	1,95	0,49	1,62	0,97
Tetradecensäure	36,4	4,21	39,0	7,30
Pentadecansäure	5,85	1,46	6,34	2,90
Hexadecansäure	69,8	<	122	<
Hexadecensäure	<	<	2,30	<
Octadecansäure	25,8	<	57,4	3,35
Octadecensäure	94,4	<	270	6,67
t-Butyl-Hydroxyanisol	1,95	0,49	4,28	2,72
2,4-Diisobutyl-phenol	5,96	0,50	10,3	5,50
x,y-n-Alkyl-Propansäure	31,7	1,88	53,1	10,9
Brenztraubensäure	12,1	13,5	28,1	11,4
Oxalsäure	59,0	89,5	71,9	36,0
Malonsäure	5,85	13,7	15,4	6,99
Isoglutarsäure	1,95	2,19	3,33	2,25
Bernsteinsäure	20,4	27,9	35,1	16,7
Glutarsäure	1,95	1,83	2,82	1,46
Adipinsäure	3,18	0,80	4,66	1,58
Phthalsäure	<	<	<	<
Pimelinsäure	3,90	0,98	3,23	1,93
Korksäure	4,55	1,14	3,77	2,25
Azelainsäure	44,7	5,10	15,7	9,01
Fumarsäure	<	<	<	0,97
Maleinsäure	<	<	<	<
Summe	529	175	860	155
mögliche Probenahmeartefakte				
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione-	9,26	3,13	14,1	7,14
2,6-diisobuthylphtalat				
Dimethylphtalat	<	<	9,00	16,0
Diethylphtalate	8,31	2,08	6,89	4,12
Diisobutylphtalat	168	77,8	112	31,9
Dibutylphtalat	530	18,0	104	6,66

< ... Konzentration unterhalb des Limits of Quantification

Die relativen Emissionsfaktoren bewegen sich im Bereich von ng polarer organischer Verbindung pro g emittierten CO₂. Die 1. Belebungsstufen beider Betriebsarten weisen etwas höhere Emissionsfaktoren als die 2. Belebungsstufen auf. Die höchsten Emissionsfaktoren

wurden für die Octadecensäure ermittelt, allerdings nur in den 1. Belebungsstufen. In der Abluft der 2. Belebungsstufe ist die Konzentration der Octadecensäure sehr gering bzw. sogar unter den Blindwertdaten. Ähnliche Ergebnisse wurden für die Hexadecensäure und mit etwas niedrigeren Emissionen auch für die Octadecensäure gefunden. Nur für die Oxalsäure wurden relativ hohe Emissionsfaktoren für alle 4 Messperioden gefunden.

Tabelle 28 Emissionen der polaren organischen Verbindungen der VK Simmering: Emissionen pro Tag

	Bypassbetrieb		Hybridbetrieb	
	1. Stufe	2. Stufe	1. Stufe	2. Stufe
	IV (n=3)	III (n=3)	I (n=2)	II (n=3)
	[µg/d]			
Octansäure	1,9	<	3,0	3,3
Nonanal	10	<	3,2	<
Nonansäure	23	<	6,2	13
Decanal	0,8	<	1,8	1,2
Decansäure	3,4	<	11	3,3
Dodecanal	1,8	0,9	0,7	7,2
Dodecansäure	23	9,7	50	6,7
Tetradecansäure	1,3	0,6	1,1	1,4
Tetradecensäure	24	4,9	27	10
Pentadecansäure	3,9	1,7	4,4	4,1
Hexadecansäure	47	<	85	<
Hexadecensäure	<	<	1,6	<
Octadecansäure	17	<	40	4,8
Octadecensäure	63	<	187	9,5
t-Butyl-Hydroxyanisol	1,3	0,6	3,0	3,9
2,4-Diisobutyl-phenol	4,0	0,6	7,2	7,9
x,y-n-Alkyl-Propansäure	21	2,2	37	16
Brenztraubensäure	8,1	16	19	16
Oxalsäure	39	104	50	51
Malonsäure	3,9	16	11	10
Isoglutarsäure	1,3	2,5	2,3	3,2
Bernsteinsäure	14	32	24	24
Glutarsäure	1,3	2,1	2,0	2,1
Adipinsäure	2,1	0,9	3,2	2,3
Phthalsäure	<	<	<	<
Pimelinsäure	2,6	1,1	2,2	2,8
Korksäure	3,0	1,3	2,6	3,2
Azelainsäure	30	5,9	11	13
Fumarsäure	<	<	<	1,4
Maleinsäure	<	<	<	<
Summe	353	203	596	221
mögliche Probenahmeartefakte				
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione-	6	3,6	10	10
2,6-diisobutylphthalat				
Dimethylphthalat	<	<	6	23
Diethylphthalate	6	2,4	5	6
Diisobutylphthalat	112	90	78	46
Dibutylphthalat	354	21	72	10

< ... Konzentration unterhalb des Limits of Quantification

Die Emissionen der polaren organischen Verbindungen der einzelnen Messperioden pro Tag bzw. pro m³ Abwasser oder pro EGW wurden aus der Multiplikation der relativen Emissionsfaktoren (Tabelle 27) mit den jeweiligen absoluten Emissionsfaktoren für die Emissionen von CO₂ (Tabelle 16) berechnet.

Tabelle 29 Emissionen der polaren organischen Verbindungen der VK Simmering: Emissionen pro m³

	Abwasser			
	Bypassbetrieb		Hybridbetrieb	
	1. Stufe	2. Stufe	1. Stufe	2. Stufe
	IV (n=3)	III (n=3)	I (n=2)	II (n=3)
[ng/m ³]				
Octansäure	33	<	51	57
Nonanal	181	<	56	<
Nonansäure	405	<	107	223
Decanal	14	<	31	20
Decansäure	59	<	187	57
Dodecanal	32	20	13	125
Dodecansäure	408	205	872	117
Tetradecansäure	23	12	19	24
Tetradecensäure	422	103	468	180
Pentadecansäure	68	36	76	72
Hexadecansäure	810	<	1464	<
Hexadecensäure	<	<	28	<
Octadecansäure	299	<	688	83
Octadecensäure	1095	<	3240	165
t-Butyl-Hydroxyanisol	23	12	51	67
2,4-Diisobutyl-phenol	69	12	124	136
x,y-n-Alkyl-Propansäure	368	46	637	269
Brenztraubensäure	140	331	337	281
Oxalsäure	684	2192	863	889
Malonsäure	68	335	184	173
Isoglutarsäure	23	54	40	55
Bernsteinsäure	237	683	421	411
Glutarsäure	23	45	34	36
Adipinsäure	37	20	56	39
Phthalsäure	<	<	<	<
Pimelinsäure	45	24	39	48
Korksäure	53	28	45	56
Azelainsäure	518	125	189	222
Fumarsäure	<	<	<	24
Maleinsäure	<	<	<	<
Summe	6135	4282	10321	3828
mögliche Probenahmeartefakte				
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione-	107	77	169	176
2,6-diisobuthylphthalat				
Dimethylphthalat	<	<	108	395
Diethylphthalate	96	51	83	102
Diisobutylphthalat	1947	1906	1349	788
Dibutylphthalat	6148	442	1253	164

< ... Konzentration unterhalb des Limits of Quantification

Abhängig von der jeweiligen Komponente wurden von der Versuchskläranlage Emissionen an polaren Aerosolen im Bereich von ng bis µg pro m³ umgesetzten Abwasser ausgestossen. Die 1. Belebungsstufen zeigen auch hier etwas höhere Werte als die 2. Belebungsstufen (Tabelle 29).

Tabelle 30 Emissionen der polaren organischen Verbindungen der VK Simmering: Emissionen pro EGW

	Bypassbetrieb		Hybridbetrieb	
	1. Stufe	2. Stufe	1. Stufe	2. Stufe
	IV (n=3)	III (n=3)	I (n=2)	II (n=3)
	[ng/EGW]			
Octansäure	7,4	<	16	26
Nonanal	41	<	18	<
Nonansäure	91	<	34	104
Decanal	3,0	<	10	9,5
Decansäure	13	<	59	27
Dodecanal	7,1	4,7	4,1	58
Dodecansäure	91	49	276	54
Tetradecansäure	5,1	2,9	6,1	11
Tetradecensäure	95	25	148	84
Pentadecansäure	15	8,6	24	33
Hexadecansäure	181	<	463	<
Hexadecensäure	<	<	8,8	<
Octadecansäure	67	<	218	39
Octadecensäure	245	<	1026	77
t-Butyl-Hydroxyanisol	5,1	2,9	16	31
2,4-Diisobutyl-phenol	15	2,9	39	63
x,y-n-Alkyl-Propansäure	82	11	202	125
Brenztraubensäure	31	80	107	131
Oxalsäure	153	528	273	414
Malonsäure	15	81	58	80
Isoglutarsäure	5,1	13	13	26
Bernsteinsäure	53	164	133	192
Glutarsäure	5,1	11	11	17
Adipinsäure	8,3	4,7	18	18
Phthalsäure	<	<	<	<
Pimelinsäure	10	5,8	12	22
Korksäure	12	6,7	14	26
Azelainsäure	116	30	60	104
Fumarsäure	<	<	<	11
Maleinsäure	<	<	<	<
Summe	1375	1031	3268	1782
mögliche Probenahmeartefakte				
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione-	24	18	54	82
2,6-diisobuthylphthalat				
Dimethylphthalat	<	<	34	184
Diethylphthalate	22	12	26	47
Diisobutylphthalat	436	459	427	367
Dibutylphthalat	1378	106	397	77

< ... Konzentration unterhalb des Limits of Quantification

Die Summe der pro EGW emittierten polaren organischen Aerosole beträgt je nach Belebungsstufe und Betriebsweise 1 bis 3 µg. Höhere Emissionen wurden vor allem für die ungesättigten Säuren Octadecen- und Tetradecensäure gefunden, aber auch für die Hexadecan- und Octadecansäure, die Nonansäure, sowie für die Brenztraubensäure, die Oxalsäure und die Azelainsäure (Tabelle 30).

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND VERGLEICH DER EMISSIONSFAKTOREN **ERMITTELT AN UNTERSCHIEDLICHEN KLÄRANLAGENTYPEN**

Ziel des vorliegenden Projekts war zu untersuchen, inwiefern Kläranlagen als potente Quellen für die Emissionen von ozonbildenden und klimarelevanten Spurengasen in die Atmosphäre in Betracht gezogen werden müssen. Weiters ergab sich durch den gesetzlich vorgeschriebenen Einsatz der Denitrifizierung auch die Frage, ob nicht in zunehmendem Maße NO_x und N_2O aus den Denitrifizierungsstufen emittiert werden. Aus diesem Grund wurden die Emissionen der Pilotkläranlage Simmering, die im Maßstab 1:10 000 dem geplanten Ausbau der Hauptkläranlage Simmering (1. und 2. Belebungsstufe) nachgebaut ist, hinsichtlich der klimarelevanten und ozonbildenden Komponenten bestimmt. Die Untersuchungen fanden bei zwei verschiedenen Betriebszuständen statt, wobei beim Hybridverfahren das gesamte Abwasser in die 1. Belebungsstufe geleitet wird. Beim Bypassverfahren wird je nach Kläranlagenbelastung und Temperatur 10 bis 40% des vorgeklärten Abwassers direkt in die 2. Belebungsstufe geleitet.

Bezüglich Klimarelevanz wurden die Gase Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) untersucht, wobei die "Klimawirksamkeit" von Methan um den Faktor 21 bzw. von Lachgas um den Faktor 310 höher ist als die "Klimawirksamkeit" von Kohlenstoffdioxid (Global Warming Potential für 100 - jährige Betrachtung). Die Methan-Emissionen aus dem Raum Wien sind nach den Ergebnissen des ersten Projekts an der Versuchskläranlage der Universität für Bodenkultur (Schmid et al., Projekt MA22-4309/97) relativ bedeutsam mit 0,6-1% der Wiener Gesamt-emissionen. Bei einem Vergleich mit früheren Ergebnissen zeigt sich, dass die Methanemissionen der VK Simmering zwischen den Emissionen der Versuchs-kläranlage mit intermittierender Belüftung (VK BOKU) und den Emissionen der Biofilmanlage (VK Blumental) liegen (Tabelle 31 und Tabelle 32). Bei einer Hochrechnung mit einem Einwohnergleichwert für Wien von 3,4 Millionen (Kainz und Hofstetter, 1996) beträgt der Anteil der Kläranlagen an den Wiener Gesamt-methan-emissionen daher 0,2-0,4% (Tabelle 33). Die Methanemissionsfaktoren sind mit 0,09-0,18 g/EGW deutlich geringer als der Literaturwert von 0,82 g/EGW (McInnes, 1996).

Wesentlich höher ist der Beitrag der Kläranlagen zu den Gesamtlachgasemissionen in Wien. Die Messungen an der VK Simmering ergaben je nach Betriebsweise einen Anteil an 3-8% an den Wiener Gesamt-emissionen. Die im vorliegenden Projekt ermittelten Emissionsfaktoren von 0,019-0,048 $\text{gN}_2\text{O}/\text{EGW}$ sind im guten Einklang mit der Literaturangabe von 0,055 $\text{g N}_2\text{O}/\text{EGW}$ (McInnes, 1996).

Eine Reduktion der Emissionen von NMHC und NO_x ist aufgrund des Mitwirkens bei der

Bildung des bodennahen Ozons anzustreben. Die Emissionsfaktoren für NMHC betragen 0,014g/EGW für beide Betriebszustände und sind somit deutlich geringer als die der VK BOKU (Tabelle 31). Die Angaben für NMHC Emissionsfaktoren in der Literatur sind sehr widersprüchlich und reichen über mehrer Größenordnungen (Namkung und Rittmann, 1987; Bell et al., 1993; Zhu et al., 1999). Im Emissionshandbuch der Europäischen Umweltagentur sind keine Emissionsfaktoren für NMHC enthalten (McInnes, 1996).

Die Emissionsfaktoren für NO_x sind zwar mit 0,65-2,8 gNO₂/EGW geringfügig höher als die der anderen Anlagen, die NO_x Emissionen aus Kläranlagen tragen aber trotzdem einen vernachlässigbaren Anteil zu den Wiener Gesamtemissionen bei (Tabelle 33). In der Literatur waren bis zu dieser Studie keine Emissionsfaktoren für NO_x Emissionen aus Kläranlagen erhältlich.

Die Emissionen an polaren organischen Aerosolen (POC) waren deutlich höher als bei den anderen Kläranlagen, wobei höhere Emissionen vor allem für die ungesättigten Säuren Octadecen- und Tetradecensäure aber auch für die Hexadecan- und Octadecensäure, die Nonansäure, sowie für die Brenztraubensäure, die Oxalsäure und die Azelainsäure gefunden wurden. Absolut betrachtet sind die Aerosolemissionen mit 3-4 Tonnen pro Jahr relativ gering.

Die Ergebnisse zeigen also, dass die bisher prognostizierten Anteile der Kläranlagen an den NMVOC- und CH₄-Emissionen in Österreich bei weitem zu hoch sind und dass Reduktionsmaßnahmen im Sinne des Ozongesetzes (BGBl. 210/1992, BGBl. 309/1994) vorerst nicht an dringlichster Stelle stehen. Nicht zu vernachlässigen sind jedoch die Emissionen von N₂O.

Tabelle 31 Vergleich der Emissionsfaktoren bezogen auf Einwohnergleichwerte ermittelt an drei unterschiedlichen Versuchskläranlagen

	N₂O	CO₂	NO	NO_x	CH₄	NMHC	POC
Anlage	gN ₂ O /EGW	gCO ₂ /EGW	mg NO /EGW	mgNO ₂ /EGW	gCH ₄ /EGW	gC /EGW	mgC /EGW
intermittierende Belüftung (VK BOKU)	-	94	2,0	-	0,4-0,7	0,1-0,4	0,25
Biofilmanlage (VK Blumental)	0,2	73	0,87	-	0,014	0,012*	0,018
Hybridbetrieb (VK Simmering)	0,048	153	2,4	2,8	0,18	0,014	2,3
Bypassbetrieb (VK Simmering)	0,019	85	0,97	0,65	0,085	0,014	3,0

* berechnet aus der Differenz TVOC-CH₄

Tabelle 32 Vergleich der Emissionen bezogen auf relative Emissionsfaktoren [g/gCO₂] ermittelt an drei unterschiedlichen Versuchskläranlagen

	N ₂ O	NO	NO _x	CH ₄	NMHC	POC
Anlage						
intermittierende Belüftung (VK BOKU)	-	2,1 10 ⁻⁵	-	4-8 10 ⁻³	1,2 10 ^{-5*}	2,7 10 ⁻⁶
Biofilmanlage (VK Blumental)	2,7 10 ⁻³	1,2 10 ⁻⁵	-	2,0 10 ⁻⁴	1,6 10 ^{-4**}	2,5 10 ⁻⁷
Hybridbetrieb (VK Simmering)	3,2 10 ⁻⁴	1,5 10 ⁻⁵	1,7 10 ⁻⁵	1,4 10 ⁻³	1,1 10 ⁻⁴	1,8 10 ⁻⁵
Bypassbetrieb (VK Simmering)	2,1 10 ⁻⁴	1,1 10 ⁻⁵	7,6 10 ⁻⁶	1,1 10 ⁻³	1,8 10 ⁻⁴	3,3 10 ⁻⁵

* Kohlenwasserstoffe (C1-C7)

** berechnet aus der Differenz TVOC-CH₄

Tabelle 33 Jährliche Gesamtemissionen an Luftschadstoffen aus Kläranlagen in Wien. Vorläufige Hochrechnung auf Grund der Messungen an der VK Simmering; Wien: 3,4 Mio. EGW (Kainz und Hofstetter, 1996); Wiener Gesamtemissionen aus „Umweltbundesamt Wien, Die Bundesländer Luftschadstoff- Inventur 1995“ bzw. ¹ Pucher und Rüdiger, 1987

	jährliche Gesamtemission in Wien [Tonnen/Jahr]	Anteile der Kläranlagen an Wiens Gesamtemission [%]
N ₂ O	24-60	3-8
CO ₂	105 000–190 000	1-2
NO _x	1-3	0,004–0,02
Methan	110-220	0,2–0,4
NMHC	17	0,04
POC	10000 ¹	0,03-0,04

DANKSAGUNG

An dieser Stelle wollen wir uns für die freundliche Unterstützung und die Kooperation der MitarbeiterInnen der Entsorgungsbetriebe Simmering bedanken, vorallem bei Herrn Dipl.-Ing. Franz Klager, Frau Ing. Henriette Zutz, Herrn Ing. Franz Fraißl, Herrn Herbert Minichshofer und dem gesamten Team an der Kläranlage.

LITERATUR

Bell, J., Melcer, H., Monteith, H., Osinga, I., Steel, P., 1993. Stripping of volatile organic compounds at full-scale municipal wastewater treatment plants. *Water Environment Research* 65, 708-716

Kainz, H., Hofstetter, H., 1996. Adaption of the main wastewater treatment plant in Vienna to meet Austrian emission regulations. *Water Science and Technology* 33, 65-72

Kroiss, H., Albert, C., Müller-Rechberger, H., Nowak, O., Svoldal, K., Wandl, G., Winkler, S., 2000. Bericht über die Pilotversuche und die Entwicklung eines dynamischen Simulationsmodells für die HKA 2. Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft

McInnes, G., 1996. Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. European Environment Agency, Copenhagen

Namkung, E., Rittmann, B. E., 1987. Estimating volatile organic compound emissions from publicly owned treatment works. *Journal - Water Pollution Control Federation* 59, 670-678

Pucher, E., Rüdiger, H. W., 1997. Unsere Luft 1980 bis 2010. Publikation der ÖAMTC AKADEMIE, Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club, Vienna

Schmid, H., Bauer, H., Sree, U., Ellinger, R., König, G., Limbeck, A., Kraxner, Y., Fuerhacker, M., Zibuschka, F., Puxbaum, H., 1999. VOC- und POC- Emissionen von Kläranlagen- Ermittlung von Emissionsfaktoren und Fingerprints. Endbericht zum Projekt MA22-4309/97

Schmid, H., Bauer, H., Ellinger, R., Fuerhacker, M., Sree, U., Puxbaum, H., 2000. Emissions of NO, TVOC, CO₂, and aerosols from a pilot scale wastewater treatment plant with intermittent aeration. *Atmospheric Environment*, in press

Umweltbundesamt Wien, 1995. Die Bundesländer Luftschadstoff-Inventur (Inventory of Austrian Federal States – BLI 95).

Zhu, H., Keener, T. C., Bishop P. L., Orton, T. L., Wang, M., 1999. Temporal and longitudinal characteristics of volatile organic compound emissions from aeration units of publicly owned treatment works. *Journal of the Air and Waste Management Association* 49, 434-443

ANHANG

ABWASSERPARAMETER

POLARE ORGANISCHE VERBINDUNGEN