

Ammoniakmessungen im Gubristtunnel



Wir forschen und prüfen für Sie

Vergleich verschiedener Analysemethoden

Januar 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Beteiligte Institutionen und Auftraggeber	3
3	Messverfahren und Probenahme	4
	3.1 Messverfahren	4
	3.2 Probenahme und Datenintervall	5
4	Zeitplan und Einsatz der Messgeräte	5
5	Datenaufbereitung	6
6	Resultate und Diskussion	6
	6.1 Regensdorf	6
	6.2 Weiningen	8
7	Schlussfolgerungen	10
8	Literatur	10
	Anhang 1 – Resultate kontinuierliche Messgeräte	11
	Anhang 2 – Tages- und Wochenmittelwerte	14
	Anhang 3 – Tagesmittelwerte, relativ zu Impinger	16
	Anhang 4 – Verfügbarkeit der Geräte	17
	Anhang 5 – Ereignis - und Stauprotokoll	18

1 Einleitung

Im Gubristtunnel werden seit 1987 regelmässig Luftschadstoffmessungen durchgeführt. Das Programm der Messkampagne 2002 beinhaltet auch Ammoniak. Da dieses messtechnisch schwierig zu erfassen ist, wurden verschiedene Methoden in einer Vormessung parallel verwendet. Dabei wurden im wesentlichen folgende Ziele verfolgt: (i) Vergleich kontinuierlicher Messgeräte mit anreichernden (Referenz-)Verfahren, (ii) gute Abstützung der Resultate durch unabhängige Messprinzipien, (iii) Beurteilung der praktischen Anwendbarkeit verschiedener Messkonzepte.

Der vorliegende Bericht behandelt schwerpunktmässig die für den Methodenvergleich erhobenen Daten vom 2. – 11. September 2002. Die Messdaten der gesamten Messkampagne sind nur soweit dokumentiert, wie dies für die Methodenevaluation sinnvoll erscheint.

2 Beteiligte Institutionen und Auftraggeber

MESSKAMPAGNE

EMPA, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik.

B. Buchmann, L. Emmenegger, P. Honegger, J. Mohn, K. Zeyer

ETHZ, Labor für Laserspektroskopie und Umweltanalytik

D. Marinov, M. Sigrist

OSTLUFT, AWEL, Abteilung Lufthygiene

K. Büchi, R. Eugster, M. Meier, U. Schaufelberger, Hj. Sommer

FUB, Forschungsstelle für Umweltbeobachtung

L. Thöni, E. Seidler

AUFTRAGGEBER

OSTLUFT Projektleitung „Tunnelmessungen Verkehrsemissionen“

M. Meier, AWEL, Abteilung Lufthygiene

FINANZIERUNG

OSTLUFT, BUWAL, EMPA

BERICHT

EMPA, L. Emmenegger, P. Honegger

Ein spezieller Dank geht an Herrn G. Eisler, Fachstelle Lärmschutz (FALS) und an den Unterhalts- und Elektrodienst (Werkhof Urdorf) des Tiefbauamtes des Kantons Zürich, sowie an alle weiteren Personen, welche die Messkampagne unterstützt haben.

3 Messverfahren und Probenahme

3.1 MESSVERFAHREN

Eine Uebersicht über die verwendeten Verfahren gibt Tabelle 1. Die Absorption in einer verdünnten Schwefelsäure-Lösung (Impinger) ist in der Schweiz das Referenzverfahren zur Bestimmung von Ammoniak und Ammoniumverbindungen stationärer Anlagen. Bei allen anderen eingesetzten Messverfahren wird grundsätzlich nur das gasförmige Ammoniak bestimmt. Allerdings können durch die Verwendung von Filtern bei der Probenahme sowohl Adsorption, als auch Verflüchtigung von Ammoniumverbindungen eine Rolle spielen. Darauf wird bei der Diskussion der Resultate näher eingegangen.

Tabelle 1: Messverfahren

	Typ	Verantwortlich	Standort	Messverfahren
Impinger	anr.	EMPA	Reg Wei	Absorption von (gasförmigem) NH_3 und partikulären NH_4^+ - Verbindungen in verd. H_2SO_4 . Bestimmung von NH_4^+ mittels IC [1].
Passiv-sammler (PS)	anr.	Betrieb: AWEL Analytik: FUB	Reg Wei	Diffusion von NH_3 durch eine Teflonmembrane, Absorption in verd. HCl und Bestimmung von NH_4^+ mittels IC [8].
Denuder	anr.	Beschichtung: FUB Betrieb: EMPA Analytik: EMPA	Reg Wei	Absorption von NH_3 an einer mit Zitronensäure beschichteten Glasröhre. Eluierung mit Wasser und Bestimmung von NH_4^+ mittels IC [3].
Airmonia	kont.	EMPA	Reg Wei	Diffusion von NH_3 durch eine Teflonmembrane und Absorption in einer Hydrogensulfat-Lösung. Erhöhung des pH mit NaOH , selektive Diffusion, Absorption in H_2O und Bestimmung der Leitfähigkeit [4].
ETH-PAS	kont.	ETHZ	Reg	Anregung von NH_3 in einer Langweg-Zelle durch einen CO_2 -Laser. Detektion mittels Photoakustik [5,6].
Omnisens-PAS	kont.	EMPA	Reg Wei	Anregung von NH_3 durch einen CO_2 -Laser. Detektion mittels Photoakustik [7].
FTIR	kont.	EMPA	Reg	Messung der IR-Absorption der Probe mittels Fourier Transform Infrarotspektroskopie (FTIR) in einer Langweg-Zelle. Quantifizierung der Gaskomponenten durch Referenzspektren und classical-least-square (CLS) – Algorithmus [2].
DOAS	kont.	Geräte: FAL Betrieb: AWEL	Reg Wei	DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) der Firma OPSIS. Aus der UV-Absorption über eine Strecke von ca. 50 m werden die für NH_3 charakteristischen Banden herausgefiltert und quantifiziert.

anr. = anreicherndes Messverfahren; kont. = kontinuierliches Messverfahren

Wei = Weiningen (Tunneleingang); Reg = Regensdorf (Tunnelausgang)

PAS = Photoacoustic Sensor. Das System der ETH ist in einem Messwagen untergebracht und für Forschungszwecke optimiert. Beim Gerät von Omnisens handelt es sich um ein kommerzielles, sehr empfindliches und schnelles Gerät zur Analyse von Ammoniak, insbesondere für den Einsatz in der Halbleiterindustrie. Die Anwendung als Ammoniak Monitor für Immissionsmessungen wird zur Zeit an der EMPA evaluiert.

3.2 PROBENAHME UND DATENINTERVALL

Die Probenahmestellen befanden sich ca. 200 m nach dem Einfahrtsportal (Weiningen), bzw. 20 m vor dem Ausfahrtsportal (Regensdorf). Die wichtigsten Parameter der Probenahme sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Probenahme

	Filter ²⁾	Schlauch	Volumenstrom	Datenintervall
Impinger	-	PTFE, ~2 m	2 l/min	24 h Sammelproben
Passivsammler	-	-	-	7 d Sammelproben
Denuder	-	-	2 l/min	24 h Sammelproben
Airrmonia	ja	PTFE, ~2 m	1 l/min ³⁾	10 min
ETH-PAS	ja	PTFE, ~20 m	~ 1.5 l/min	10 min
Omnisens- PAS	ja	PTFE, ~6 m	~ 2 l/min ¹⁾	10 min
FTIR	ja	PTFE, ~6 m	~ 2 l/min	10 min
OP SIS	-	-	-	2.5 min

1) Bypass; primär ca. 10 l/min.

2) 37 mm teflonbeschichtete Glasfaserfilter (Pall) in PS Filterhalter (Millipore).

3) Beim Portal Regensdorf wurde die Probe durch Zugabe von aufbereiteter Umgebungsluft mittels MFC ca. 1:10 verdünnt. Der genaue Verdünnungsfaktor (9.4 – 10.2) wurde regelmässig durch Messung der Volumenströme von Probe und Verdünnungsluft bestimmt und beim Vergleich der Tagesmittelwerte berücksichtigt.

Die Filter wurden aufgrund von Vorversuchen so gewählt, dass Druckabfall und NH₃-Adsorption möglichst minimal sind. Der Druckabfall wurde beim Omnisens-PAS konstant gemessen und blieb, trotz grossem Volumenstrom, immer unter 10 mbar. Aehnliche Werte wurden bei Airrmonia und FTIR stichprobenweise gefunden. Filter und Schläuche wurden am Ende der Vergleichsmessungen gewechselt, mit verd. H₂SO₄ eluiert und der Ammoniumgehalt mittels Ionenchromatographie analysiert. Die so bestimmte Menge entsprach bei allen Proben deutlich weniger als 1 % des über die gesamte Verwendungsdauer mit dem kontinuierlichen Messverfahren bestimmten Ammoniaks.

4 Zeitplan und Einsatz der Messgeräte

Der Methodenvergleich war vom 2. – 9. September geplant. Dieser Termin war für verschiedene Messverfahren sehr kurzfristig angesetzt und erlaubte deshalb für die kontinuierlichen Messgeräte kaum Vorversuche. Im Interesse der gesamten Messkampagne, welche vor dem 28.10.02 abgeschlossen sein musste, wurde jedoch daran festgehalten. Dank grossem Engagement aller Beteiligten konnten alle Methoden, zumindest zeitweise, eingesetzt werden.

Da sich die Möglichkeit bot, das Omnisens-Gerät zusätzlich vom 9. – 11. September in Weiningen einzusetzen, wurde der Messplan leicht angepasst. Dadurch konnte ein kurzer Methodenvergleich auch bei den um eine Grössenordnung tieferen Konzentrationen am Tunneleingang durchgeführt werden.

Einige Messgeräte (ETH-PAS, DOAS, Airrmonia), sowie Impinger und PS wurden zeitweise im Verlauf der weiteren Messkampagne eingesetzt. Auch wenn diese Daten nicht für den eigentlichen Methodenvergleich bestimmt waren, so werden sie – soweit sinnvoll – im vorliegenden Bericht besprochen.

5 Datenaufbereitung

Die Messdaten wurden so in den Bericht aufgenommen, wie sie von den jeweiligen Instituten der EMPA geliefert wurden. Die DOAS und Passivsammler Messwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) wurden unter Berücksichtigung von Druck und Temperatur im Tunnel in ppb umgerechnet. Offensichtliche Fehlmessungen des DOAS-Systems, z.B. während der Wartung der Instrumente, wurden von der EMPA, nach Absprache mit dem AWEL, bereinigt.

Für die Berechnung der Tagesmittelwerte aus den kontinuierlichen bestimmten Daten wurde dasjenige Zeitintervall verwendet, welches der Impinger-Probenahme entsprach. Die Verfügbarkeit der entsprechenden Daten wird im Anhang 4 begründet.

6 Resultate und Diskussion

Die Ergebnisse der verschiedenen Messverfahren wurden auf die Resultate der Impinger-Messung (100%) bezogen (Abb. 1). Folgende Gründe waren für die Wahl ausschlaggebend: (i) die Verwendung von Impingern ist das Referenzverfahren für stationäre Quellen in der Schweiz, (ii) dank Doppelbestimmungen kann eine Aussage über die Wiederholbarkeit gemacht werden, (iii) das Verfahren hat sich unter zahlreichen Bedingungen bewährt, (iv) die Datenreihe ist, bezogen auf den Messplan, beinahe vollständig, (v) die Resultate, wie sie unten dargestellt sind, scheinen plausibel.

6.1 REGENSDORF

Die Konzentrationen der Tagesmittelwerte sind in Anhang 2 dargestellt. Diese absoluten Werte wurden auf die Impingermessungen bezogen und als Graphik in Anhang 3 zusammengefasst. Aus den relativen Tagesmittelwerten lässt sich dann die in Abbildung 1 gezeigte Uebersicht erstellen.

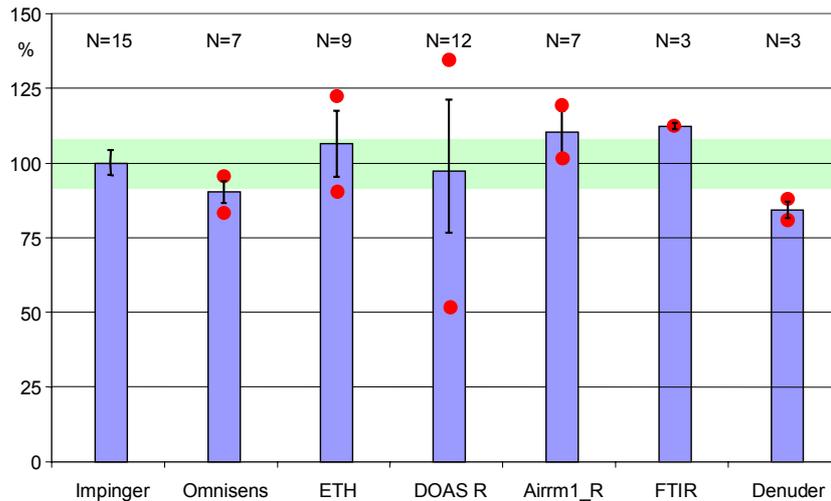
Mit Ausnahme der Denuder sind die Abweichungen vom Referenzwert im Mittel kleiner als 13 %. Dies ist erstaunlich, wenn man die sehr verschiedenen Messverfahren und deren unterschiedliche Kalibration berücksichtigt. Aus der Graphik ist aber auch ersichtlich, dass die Streuung der Tagesmittelwerte sehr unterschiedlich ist. Während Omnisens-PAS und FTIR eine kleine Streuung aufweisen, so ist diese bei Airrmonia und ETH-PAS erheblich grösser. Am stärksten streut das DOAS. Aufgrund der geringen Anzahl Tagesproben und der Annahme einer Normalverteilung muss die Standardabweichung sehr vorsichtig interpretiert werden. Das qualitative Bild wird jedoch durch die kontinuierlichen Daten (Anhang 1) gut unterstützt.

Bei den Messungen mit Omnisens-PAS wurde die Kalibrierung des Herstellers verwendet. Zur Kontrolle wurde am 9.9.02 ein Kalibriergas (1 % H_2O , 189 ppb NH_3) vor Ort mittels Verdampfung einer Ammoniaklösung in ein Trägergas (N_2) hergestellt. Unter Berücksichtigung dieser Kalibration würde die Differenz zwischen Omnisens-PAS und Impinger nur mehr ca. 1 % betragen.

Die Denudermessungen liegen systematisch tiefer als die anderen Messwerte. Im Mittel beträgt der Unterschied zum Impinger 14 %. Dies kann tendenziell erwartet werden, da mit Denudern nur gasförmiges NH_3 erfasst wird, während mit dem Impinger auch partikelförmige Ammoniumverbindungen gemessen werden. Der Unterschied würde also auf einen gewissen Anteil (ca. 14%) partikelförmiger Ammoniumverbindungen hinweisen. Allerdings ist es dann erstaunlich, dass die kontinuierlichen Messgeräte – nach Filtration – nicht systematisch

tiefere Werte ergeben als der Impinger, und dass auf den Filtern keine wesentlichen Mengen von Ammoniumverbindungen zu finden waren. Grundsätzlich ist auch denkbar, dass Aerosole zeitweise auf dem Filter zurückgehalten, und zu einem späteren Zeitpunkt verflüchtigt werden. Dies würde erklären, weshalb die kontinuierlichen Verfahren nicht systematisch tiefere Werte ergeben als die Impinger. Beim DOAS sind natürlich solche Ueberlegungen nicht sinnvoll, da diese Open-Path Methode – und das ist ein potentieller Vorteil – keine Probenvorbereitung beinhaltet.

Abbildung 1: Vergleich der Tagesmittelwerte (Regenstorf)



Alle Tagesmittelwerte sind auf den Impinger bezogen. N = Anzahl der verfügbaren Werte (siehe auch Anhang 4). Die Balken sind die Mittelwerte aller vorhandenen Tagesmittelwerte. Der Fehlerbalken für den Impinger wurde berechnet aus der Standardabweichung der Einzelwerte, bezogen auf den Mittelwert der jeweiligen Doppelstimmung. Bei den anderen Methoden stellen die Fehlerbalken die Standardabweichung der auf die Impinger normierten Mittelwerte dar. Die roten Punkte sind die Maxima, bzw. Minima. Der grüne Bereich ist der 95% Vertrauensbereich, berechnet aus der Standardabweichung der Impinger-Messung, wobei keine systematischen Abweichungen berücksichtigt werden.

Für die Gegenüberstellung mit den Werten der Passivsammler wurden die Wochenmittelwerte aus den bereinigten Daten für DOAS und Airrmonia berechnet. Für die anderen kontinuierlichen Messgeräte waren zu wenige vollständige Datensätze verfügbar, um einen sinnvollen Vergleich zu ermöglichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Resultate von Airrmonia und DOAS liegen systematisch tiefer als jene der Passivsammler. Im Mittel betragen die Abweichungen 20 % (DOAS) bzw. 26 % (Airrmonia). Die Tagesmittelwerte der Passivsammler können mit DOAS, Impingern und Airrmonia verglichen werden, wobei die Werte gut mit jenen der Wochenmittel übereinstimmen (Abbildung 3).

Abbildung 2: Vergleich der Wochenmittelwerte

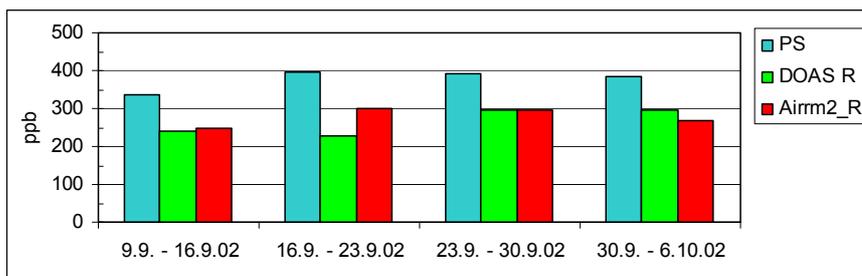
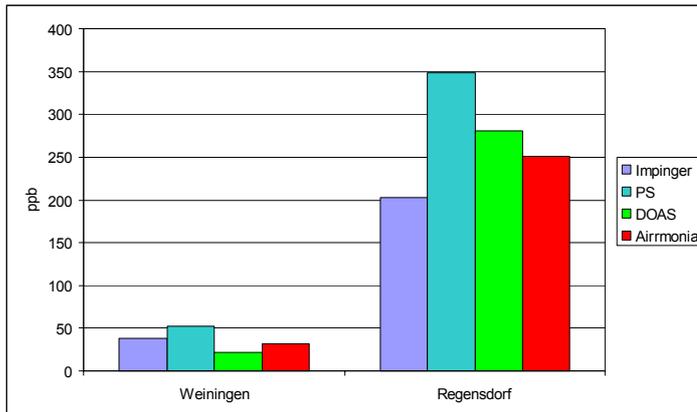


Abbildung 3: Vergleich der Tagesmittelwerte



6.2 WEININGEN

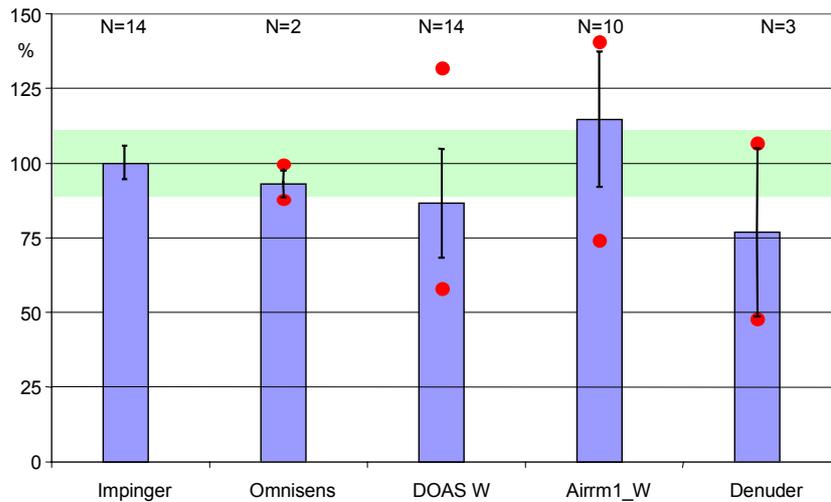
Die Daten aller verfügbaren Tagesmittelwerte sind in Anhang 2 dargestellt. Diese wurden auf die Impingermessungen bezogen und als Graphik in Anhang 3 zusammengefasst. Aus den relativen Tagesmittelwerten lässt sich dann die in Abbildung 4 gezeigte Uebersicht erstellen.

Die Abweichung der Mittelwerte aller kontinuierlichen Messverfahren vom Referenzverfahren betragen maximal 15 %, wobei die absolute Differenz beim DOAS (-14%) ähnlich gross ist wie beim Airmonia (+15%). Bei anreichernder Probenahme mit den Denudern wurden deutlich tiefere Werte bestimmt, die im Mittel 23 % unter jenen der Impinger liegen (Abb. 4).

Auffallend ist die sehr gute Uebereinstimmung und kleine Streuung von Omnisens-PAS. Leider stand das Gerät nur noch zwei Tage zur Verfügung, weshalb das Verhalten über einen längeren Zeitraum nicht beurteilt werden kann.

Die Bedeutung der Aerosole und die möglichen Auswirkungen bei Probenahme und Analytik wurde bereits in Kapitel 6.1 diskutiert. Diesbezüglich sind noch Fragen offen, welche aber im Rahmen dieser Untersuchungen nicht beantwortet werden können. Das relative Verhältnis der Tagesmittelwerte der einzelnen Messverfahren zueinander, auch bei den um einen Faktor 10 tieferen Konzentrationen, ist sehr ähnlich wie beim Tunnelausgang.

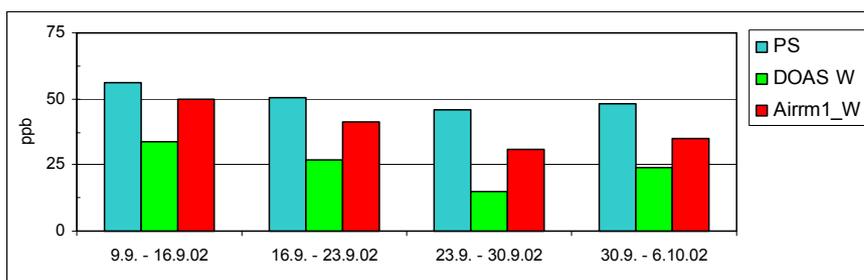
Abbildung 4: Vergleich der Tagesmittelwerte



Alle Tagesmittelwerte sind auf den Impinger bezogen. N = Anzahl der verfügbaren Werte (siehe auch Anhang 4). Die Balken sind die Mittelwerte aller vorhandenen Tagesmittelwerte. Der Fehlerbalken für den Impinger wurde berechnet aus der Standardabweichung der Einzelwerte, bezogen auf den Mittelwert der jeweiligen Doppelstimmung. Bei den anderen Methoden stellen die Fehlerbalken die Standardabweichung der auf die Impinger normierten Mittelwerte dar. Die roten Punkte sind die Maxima, bzw. Minima. Der grüne Bereich ist der 95% Vertrauensbereich, berechnet aus der Standardabweichung der Impinger-Messung, wobei keine systematischen Abweichungen berücksichtigt werden.

Für die Gegenüberstellung mit den Werten der Passivsammler wurden die Wochenmittelwerte aus den bereinigten Daten für DOAS und Airrmonia berechnet. Für die anderen kontinuierlichen Messgeräte waren zu wenige vollständige Datensätze verfügbar, um einen sinnvollen Vergleich zu ermöglichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. Im Mittel liegen die Resultate von Airrmonia 22 %, jene von DOAS 45 % unter den Werten der Passivsammler. Diese Abweichungen scheinen systematisch, und widerspiegeln auch das Verhältnis von DOAS und Airrmonia, welches in Abbildung 4 dargestellt ist. Dieselbe Tendenz wird auch durch den einzigen Tagesmittelwert der Passivsammler bestätigt (vgl. Abb. 3).

Abbildung 5: Vergleich der Wochenmittelwerte



7 Schlussfolgerungen

Auf Grund der sehr geringen Ammoniakkonzentrationen im Tunneleingang sind für die Bestimmung von Emissionsfaktoren vor allem die absoluten Werte am Tunnelausgang entscheidend. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung aller verwendeten kontinuierlichen Verfahren mit der Impinger-Methode.

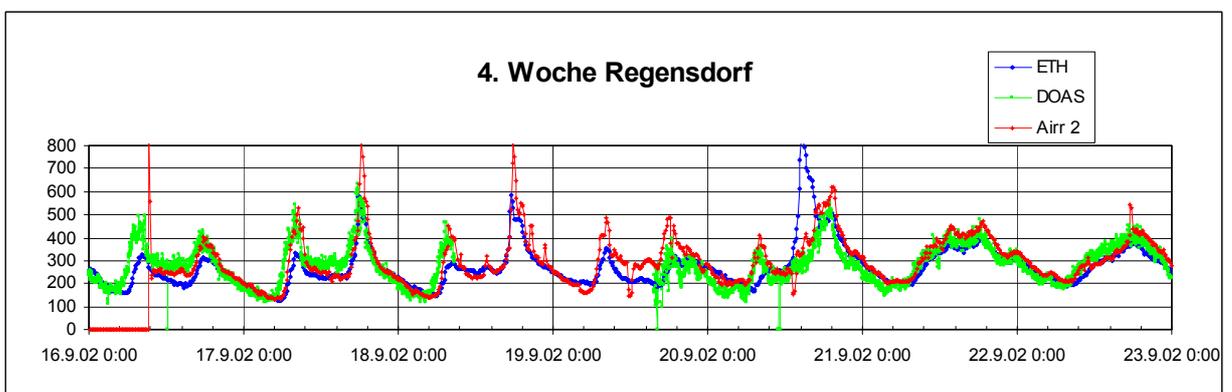
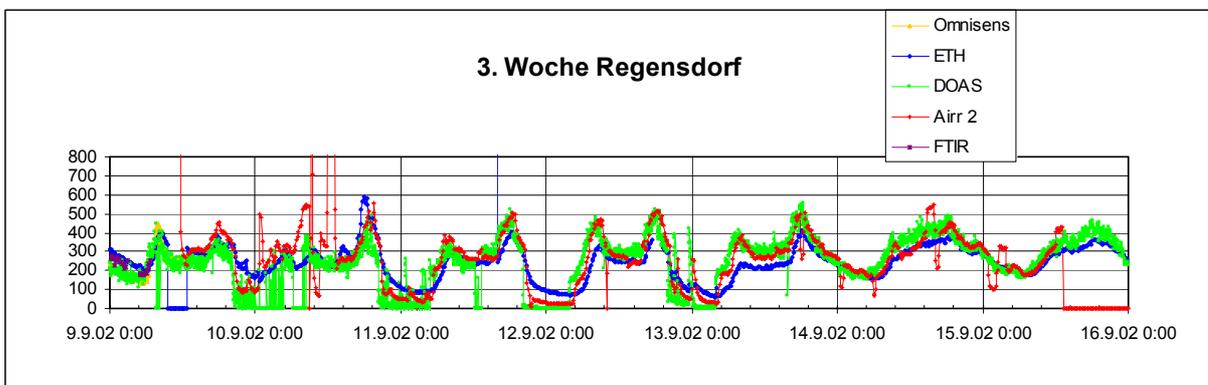
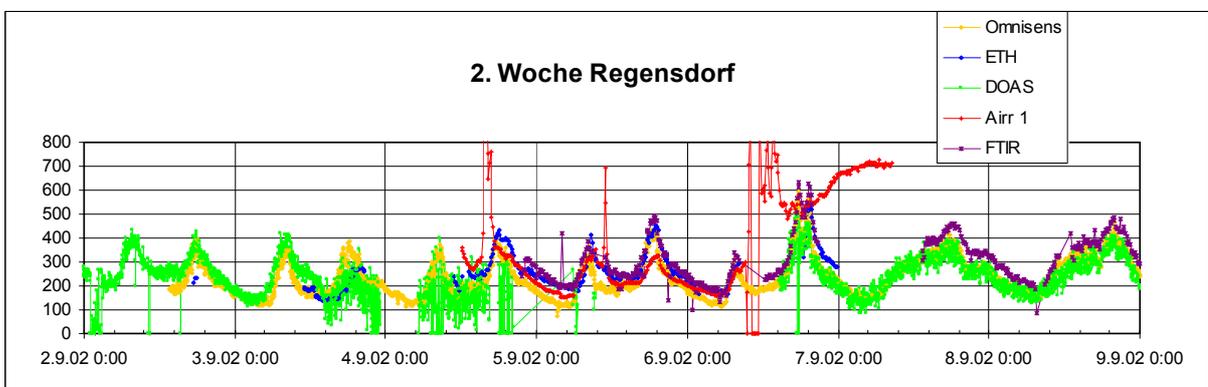
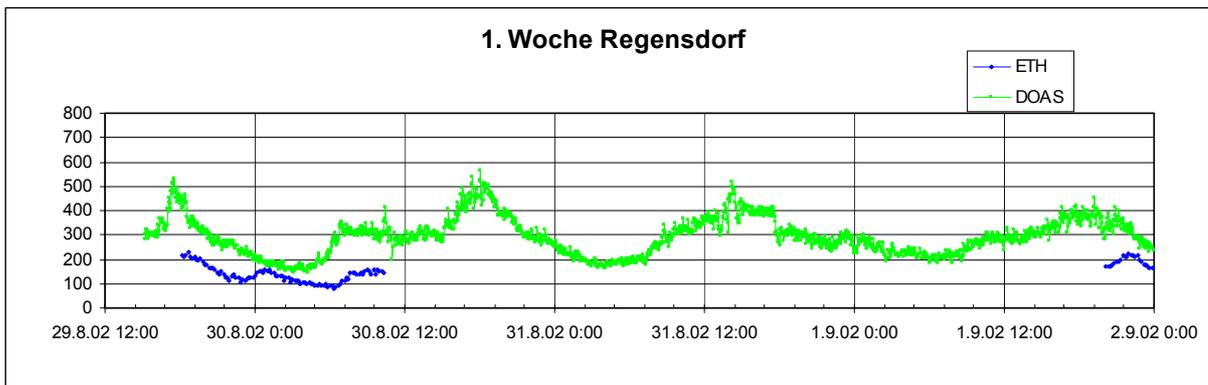
Grosse Schwankungen waren am Tunnelausgang beim DOAS zu verzeichnen, was wahrscheinlich teilweise auf das sehr aggressive Umfeld im Innern des Tunnels zurückzuführen ist. Besonders gut reproduzierbar waren Omnisens-PAS (Eingang & Ausgang) und FTIR (Ausgang). Omnisens-PAS ist ein kommerziell erhältliches Gerät, das sehr einfach in Installation und Betrieb ist. FTIR Spektroskopie ermöglicht nötigenfalls auch die Quantifizierung weiterer Substanzen. Allerdings ist der Einsatz von extraktivem FTIR auf Grund der Nachweisgrenze auf den Tunnelausgang beschränkt. Der Einsatz des ETH-PAS bedingt eine relativ grosse Infrastruktur, ergibt jedoch vergleichbare Resultate, und hat den wesentlichen Vorteil, dass damit auch weitere Komponenten bestimmt werden können. Für den Betrieb des Airrmonias ist am Tunnelausgang eine Verdünnung nötig. Diese konnte nach einigen Anfangsschwierigkeiten so eingestellt werden, dass auch dieses Gerät stabile Werte innerhalb des Messbereichs lieferte.

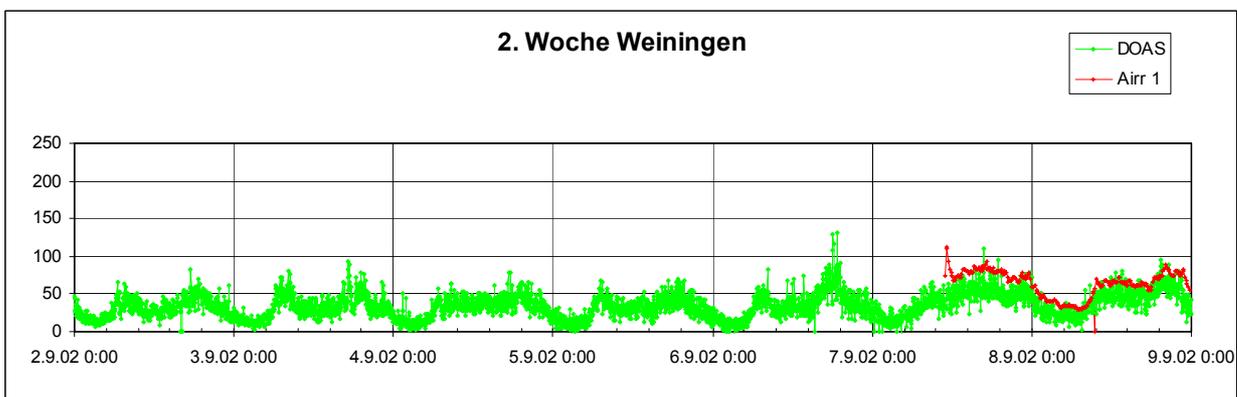
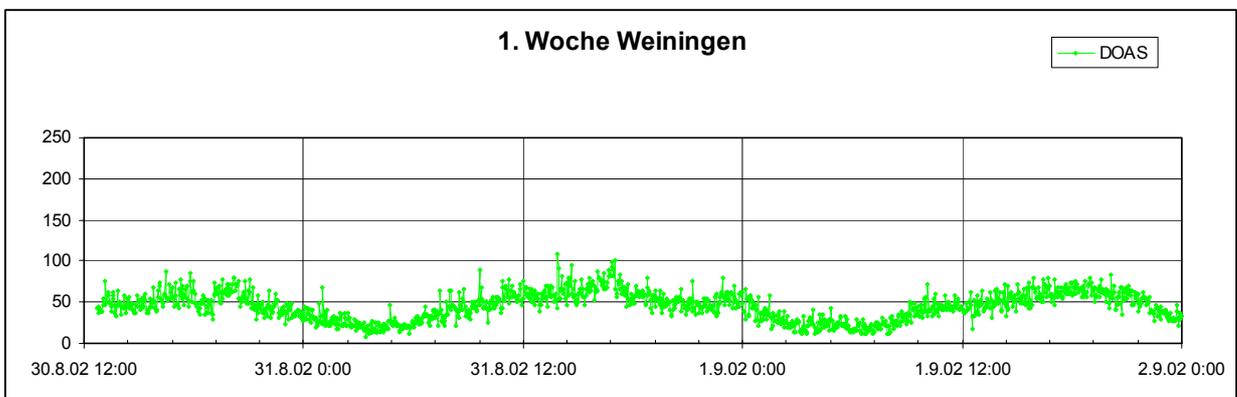
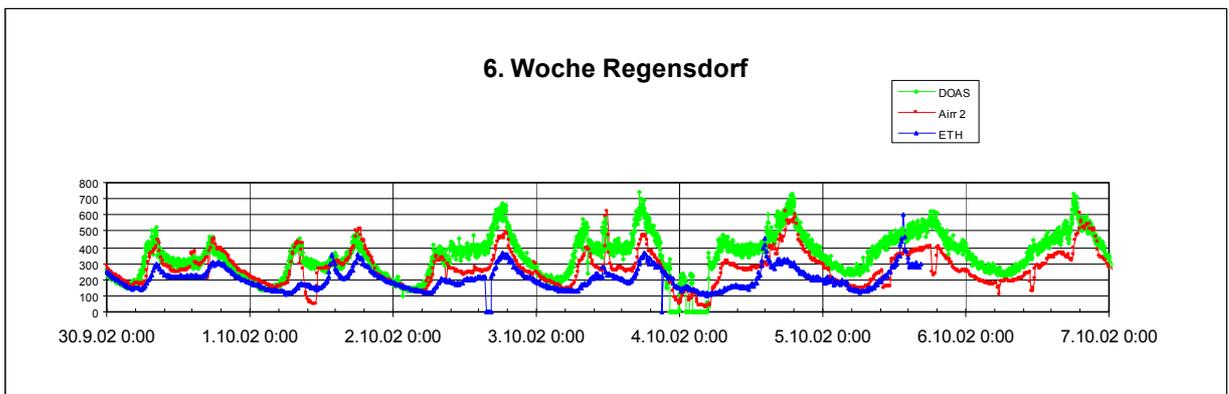
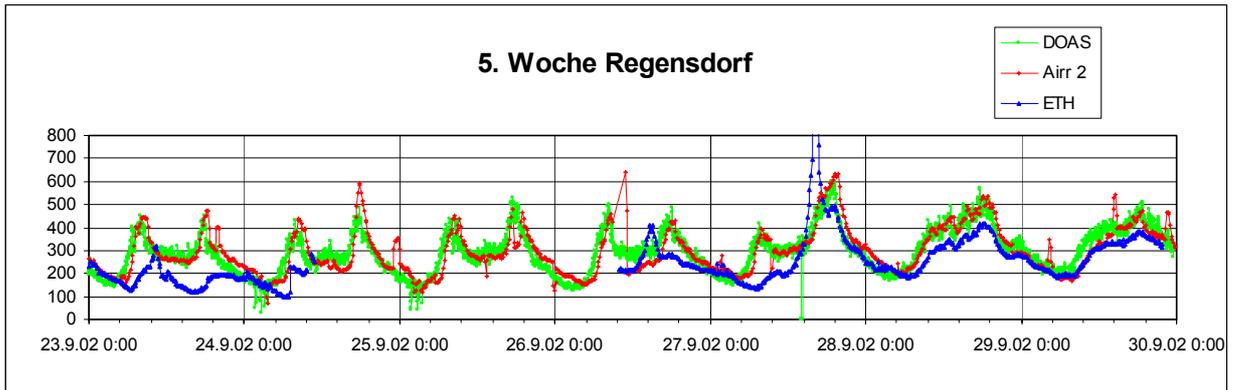
Für die weitergehende Auswertung der Messdaten schlagen wir vor, die Daten der Airrmonia am Tunneleingang und –Ausgang ab dem 13.9.02, d.h. nach den verschiedenen Episoden mit Gegenverkehr, zu verwenden. Diese Datensätze sind praktisch vollständig und für beide Tunnelenden mit derselben analytischen Methode verfügbar.

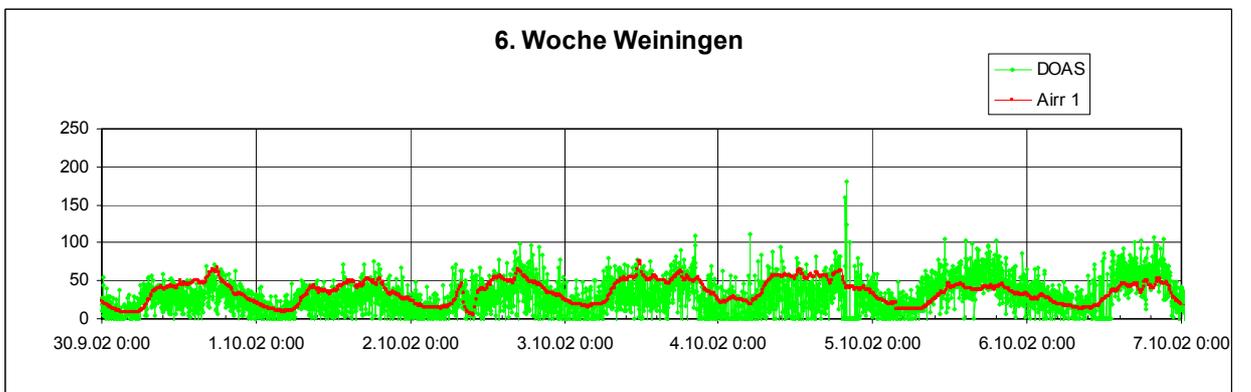
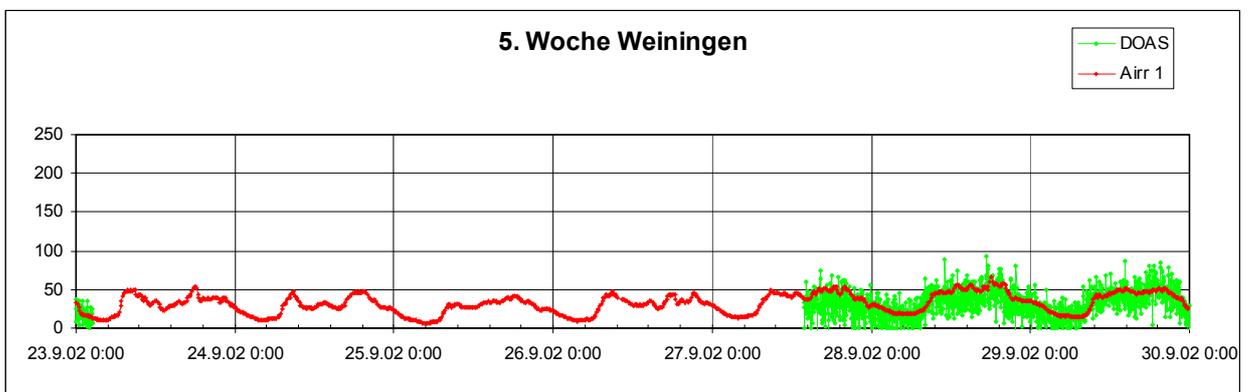
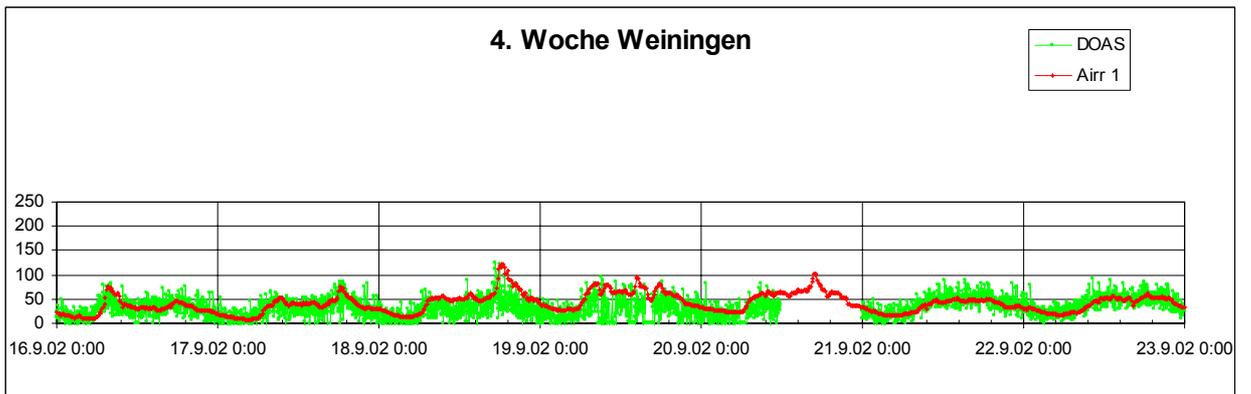
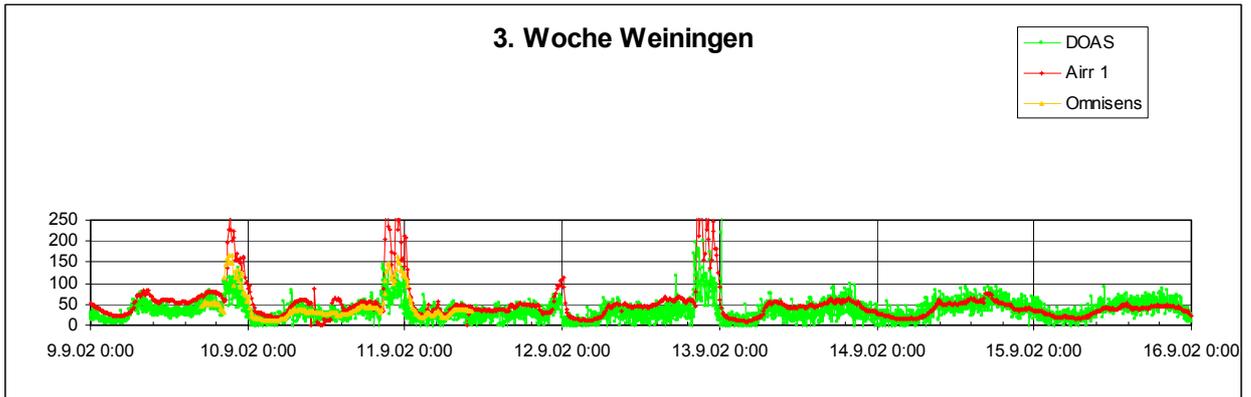
8 Literatur

- [1] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2002), Empfehlungen über die Emissionsmessung von Luftfremdstoffen bei stationären Anlagen, Bern.
- [2] EPA (1999), Method 320-Measurement of vapor phase organic and inorganic emissions by extractive Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, p. 109.
- [3] Fischer-Riedmann, A. (1995), Atmosphärische Konzentration und Deposition von N-haltigen Komponenten im Wald des hydrologischen Einzugsgebietes Erlenbach im Alpental, Diss ETH Nr. 11035, Zürich.
- [4] Mechatronics (2002), Airrmonia Operation and Technical Manual, Hoorn, Netherlands.
- [5] Moeckli, M. A., M. Fierz, et al. (1996). Emission factors for ethene and ammonia from a tunnel study with a photoacoustic trace gas detection system, *Environmental Science & Technology* 30(9): 2864-2867.
- [6] Nagele, M., M. W. Sigrist (2000), Mobile laser spectrometer with novel resonant multi-pass photoacoustic cell for trace-gas sensing, *Applied Physics B-Lasers and Optics* 70(6): 895-901.
- [7] Omnisens (2001), Technical Note: Photoacoustic Spectroscopy for trace gas Detection, Lausanne, Switzerland, Version 1.1.
- [8] Thöni, L., E. Seitler (2002), Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 und 2001, Forschungsstelle für Umweltbeobachtung (FUB).

Anhang 1 – Resultate kontinuierliche Messgeräte (ppb)







Anhang 2 – Tages- und Wochenmittelwerte

Tabelle 3: Tagesmittelwerte Weiningen

Impinger von	Weiningen nach	ppb Impinger	ppb Omnisens	ppb ETH	ppb DOAS	ppb Airm1	ppb FTIR	ppb Denuder
2.9.02 9:35	3.9.02 9:35	32			31			25
3.9.02 9:50	4.9.02 11:00	24			31			25
4.9.02 11:10	5.9.02 10:00	37			32			17
5.9.02 10:10	6.9.02 10:20	36			30			
6.9.02 10:30	7.9.02 11:05	46			36			
7.9.02 11:15	8.9.02 9:00	48			42	62		
8.9.02 9:10	9.9.02 10:20	47			41	58		
9.9.02 10:30	10.9.02 9:30	49	48		38	69		
10.9.02 9:40	11.9.02 9:25	53	47		37	65		
11.9.02 9:35	12.9.02 8:20	30			23	39		
16.9.02 9:45	17.9.02 9:00	21			26	27		
21.9.02 9:15	22.2.09 8:35	46			40	34		
26.9.02 9:40	27.9.02 9:30	43				30		
1.10.02 9:15	2.10.02 8:00	38			21	33		
6.10.01 10:10	7.10.02 10:15	41			28	41		

Tabelle 4: Tagesmittelwerte Regensdorf

Impinger von	Regensdorf nach	ppb Impinger	ppb Omnisens	ppb ETH	ppb DOAS	ppb Airm1	ppb FTIR	ppb Denuder
2.9.02 9:30	3.9.02 9:05	232	212		247			
3.9.02 9:15	4.9.02 9:15	255	212		132			
4.9.02 9:30	5.9.02 9:30	235	213	265				
5.9.02 9:40	6.9.02 9:00	240	217	253		255	267	
6.9.02 9:10	7.9.02 9:30	273	242					240
7.9.02 9:45	8.9.02 10:05	286	265		249		321	235
8.9.02 10:15	9.9.02 9:30	301	286		259		341	263
9.9.02 9:40	10.9.02 8:30	222		259	154			
10.9.02 8:40	11.9.02 8:30	193		236	182			
11.9.02 8:40	12.9.02 9:30	184		214	202	218		
16.9.02 9:00	17.9.02 9:00	224		219	264	259		
21.9.02 9:55	22.9.02 9:55	301		297	303	320		
26.9.02 9:00	27.9.02 9:00	252		227	282	255		
1.10.02 8:55	2.10.02 8:55	202		198	274	241		
6.10.02 9:20	7.10.02 9:45	286			316	300		

Tabelle 5: Passivsammler Regensdorf

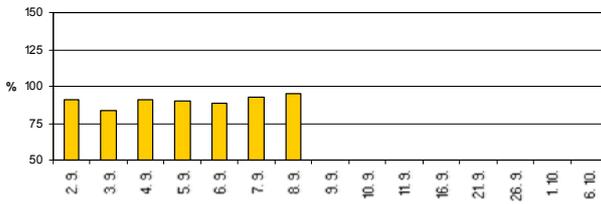
von	bis	Impinger	PS	DOAS	Airm	
9.9.02 11:30	16.9.02 10:25		338	241	247	Wochenmittel
16.9.02 10:25	23.9.02 10:00		394	226	299	Wochenmittel
23.9.02 10:00	30.9.02 9:20		394	296	297	Wochenmittel
30.9.02 9:20	7.10.02 9:10		383	294	270	Wochenmittel
1.10.02 7:45	2.10.02 9:10	202	348	281	247	Tagesmittel

Tabelle 6: Passivsammler Weiningen

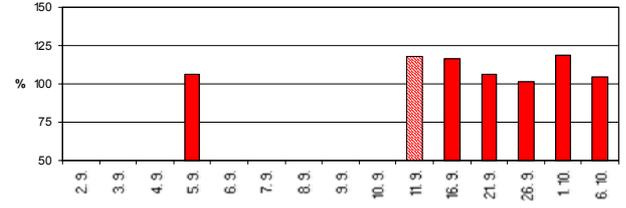
von	bis	Impinger	PS	DOAS	Airm	
9.9.02 10:00	16.9.02 10:55		56	34	50	Wochenmittel
16.9.02 10:55	23.9.02 11:50		50	27	41	Wochenmittel
23.9.02 11:50	30.9.02 10:40		46	15	31	Wochenmittel
30.9.02 10:40	7.10.02 10:05		48	24	35	Wochenmittel
1.10.02 8:30	2.10.02 10:45	38	53	22	31	Tagesmittel

Anhang 3 – Tagesmittelwerte, relativ zu Impinger

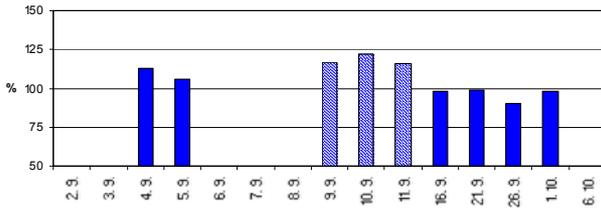
Regensdorf, Omnisens
 Impinger = 100%



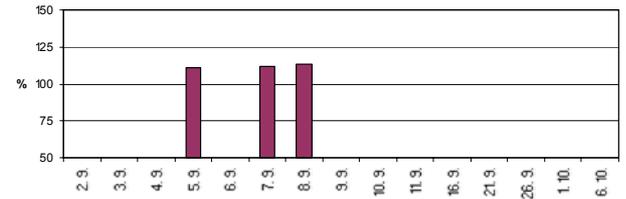
Regensdorf, Airrmonia
 Impinger = 100%



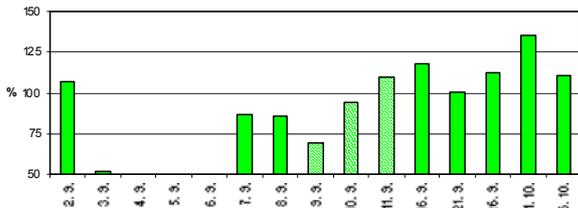
Regensdorf, ETH-PAS
 Impinger = 100%



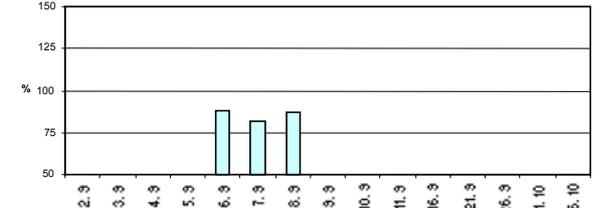
Regensdorf, FTIR
 Impinger = 100%



Regensdorf, DOAS
 Impinger = 100%

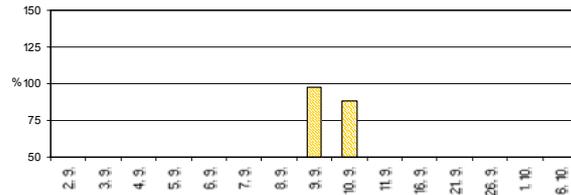


Regensdorf, Denuder
 Impinger = 100%

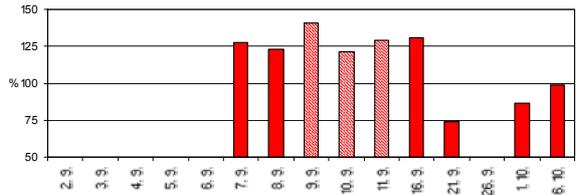


Legende: Die helleren Säulen sind Messwerte die während Arbeiten im Tunnel aufgenommen wurden. (siehe dazu Ereignis- und Stauptrotkoll im Anhang 5)

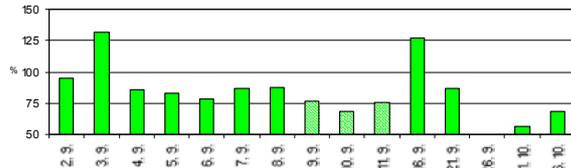
Weiningen, Omnisens
 Impinger = 100%



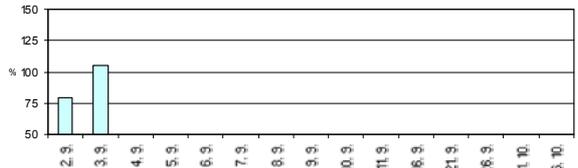
Weiningen, Airrmonia
 Impinger = 100%



Weiningen, DOAS
 Impinger = 100%



Weiningen, Denuder
 Impinger = 100%



Legende: Die helleren Säulen sind Messwerte die während Arbeiten im Tunnel aufgenommen wurden. (siehe dazu Ereignis- und Stauptrotkoll im Anhang 5)

Anhang 4 – Verfügbarkeit der Geräte

Tabelle 7: Verfügbarkeit der Geräte - Regensdorf

Datum	Impinger	Denu-der	Airrmo-nia	ETH-PAS	Omnis-sens	FTIR	DOAS	Legende:
2. Sept.	✓	1)	2)	u.D.	✓		✓	✓ Messung i.O.
3. Sept.	✓	1)	3)	u.D.	✓		u.D.	k.M. keine Messwerte
4. Sept.	✓	1)	u.D.	✓	✓		u.D.	u.D. unvollständiger Datensatz
5. Sept.	✓	1)	✓	✓	✓	✓	u.D.	leer Messgerät nicht (mehr) verfügbar
6. Sept.	✓	✓	u.D.	u.D.	✓	u.D.	u.D.	1) Volumenstromregelung defekt
7. Sept.	✓	✓	4)	k.M.	✓	✓	✓	2) Software defekt → neu programmiert
8. Sept.	✓	✓	4)	k.M.	✓	✓	✓	3) Kondenswasser in Verdünnungsluft
9. Sept.	✓ 5)		u.D. 5)	✓			✓ 5)	4) Verdünnungseinheit def.
10. Sept.	✓ 5)		u.D. 5)	✓			✓ 5)	5) Arbeiten im Tunnel (Anhang 5)
11. Sept.	✓		✓	✓			✓	
16. Sept.	✓		✓	✓			✓	
21. Sept.	✓		✓	✓			✓	
26. Sept.	✓		✓	✓			✓	
1. Okt.	✓		✓	✓			✓	
6. Okt.	✓		✓	k.M.			✓	

Tabelle 8: Verfügbarkeit der Geräte - Weiningen

Datum	Impinger	Denu-der	Airrmo-nia	Omnis-sens	DOAS	Legende:
2. Sept.	✓	✓			✓	Messung i.O.
3. Sept.	✓	✓			✓	k.M. keine Messwerte
4. Sept.	✓	✓			✓	leer Messgerät nicht mehr verfügbar
5. Sept.	✓				✓	u.D. unvollständiger Datensatz
6. Sept.	✓				✓	5) Arbeiten im Tunnel (Anhang 5)
7. Sept.	✓		✓		✓	6) Ausreisser
8. Sept.	✓		✓		✓	
9. Sept.	✓ 5)		✓ 5)	✓	✓ 5)	
10. Sept.	✓ 5)		✓ 5)	✓	✓ 5)	
11. Sept.	✓		✓	u.D.	✓	
16. Sept.	✓		✓		✓	
21. Sept.	✓		✓		✓	
26. Sept.	✓ 6)		✓		u.D.	
1. Okt.	✓		✓		k.m.	
6. Okt.	✓		✓		✓	

Anhang 5 – Ereignis - und Stauprotokoll

Tabelle 9: Ereignis- und Stauprotokoll

Datum:	FB SG Südröhre (linke) Überholspur	FB SG Südröhre rechte Spur	Bemerkungen:
09.09.2002/ 10.09.2002	Gegenverkehr	Gegenverkehr	20-23:30 Uhr (Nordröhre FB BE gesperrt)
09.09.2002/ 10.09.2002	kein Verkehr	kein Verkehr	23:30 Uhr --> FB SG gesperrt bis 05:00 Uhr
10.09.2002/ 11.09.2002	Gegenverkehr	Gegenverkehr	20:00 - 05:00 Uhr (Nordröhre FB BE gesperrt)
11.09.02/ 12.09.2002	kein Verkehr	kein Verkehr	20:00 Uhr --> FB SG gesperrt bis 05:00 Uhr
12.09.02/ 13.09.2002	Gegenverkehr	Gegenverkehr	20-23:30 Uhr (Nordröhre FB BE gesperrt)
12.09.02/ 13.09.2002	kein Verkehr	kein Verkehr	23:30 Uhr --> FB SG gesperrt bis 05:00 Uhr
18.09.02	Unfall		Stau von ca. 08:00 - 09:00Uhr
19.09.02			ab 20:00 bis ca. 23:00 Uhr --> Unterhaltsarbeiten an Lüftungsgitter, Lüftung vermutlich auf niederer Stufe eingeschaltet
24.09.02			Frischlüftventilator von 07:50 bis 07:55 eingeschaltet, infolge Brandfehlalarm FB Bern. Überholspur von 22:00 bis ca. 01:00 Uhr (25.9.) gesperrt (--> einspurige Verkehrsführung).
03.10.02	kein Verkehr	kein Verkehr	von 20:30 bis 05:30 Uhr infolge Reparaturarbeiten:

FB SG Fahrbahn Richtung St'Gallen
 FB BE Fahrbahn Richtung Bern