



Verkehrs- und Schadstoffmessungen 2002 im Gubristtunnel

August 2003

Auftraggeber: Ostluft,
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
(AWEL)

Auftragsnummer: US 89 - 16

Bericht: US 89 - 16 – 11

Bezug: Download oder E-Mail-Bestellung unter www.ostluft.ch
oder
OSTLUFT, Geschäftsleitung, Postfach, 8090 Zürich
Tel. 043 259 30 18 Fax. 043 259 51 78
E-Mail: bestellungen@ostluft.ch

Verkehrs- und Schadstoffmessungen 2002 im Gubristtunnel

Wollerau/Lenzburg, 28. August 2003

US 89-16-11 Gubrist Messungen 2002.doc

US+FZ

Haustechnik · Tunnellüftung · Energie · Umwelt

Beratende Ingenieure

Urs Steinemann

Schwalbenbodenstrasse 15
CH-8832 Wollerau
Telefon 01 / 784 53 65
Telefax 01 / 784 53 66

Franz Zumsteg

Bahnhofstrasse 13
CH-5600 Lenzburg
Telefon 062 / 892 88 02
Telefax 062 / 892 88 04

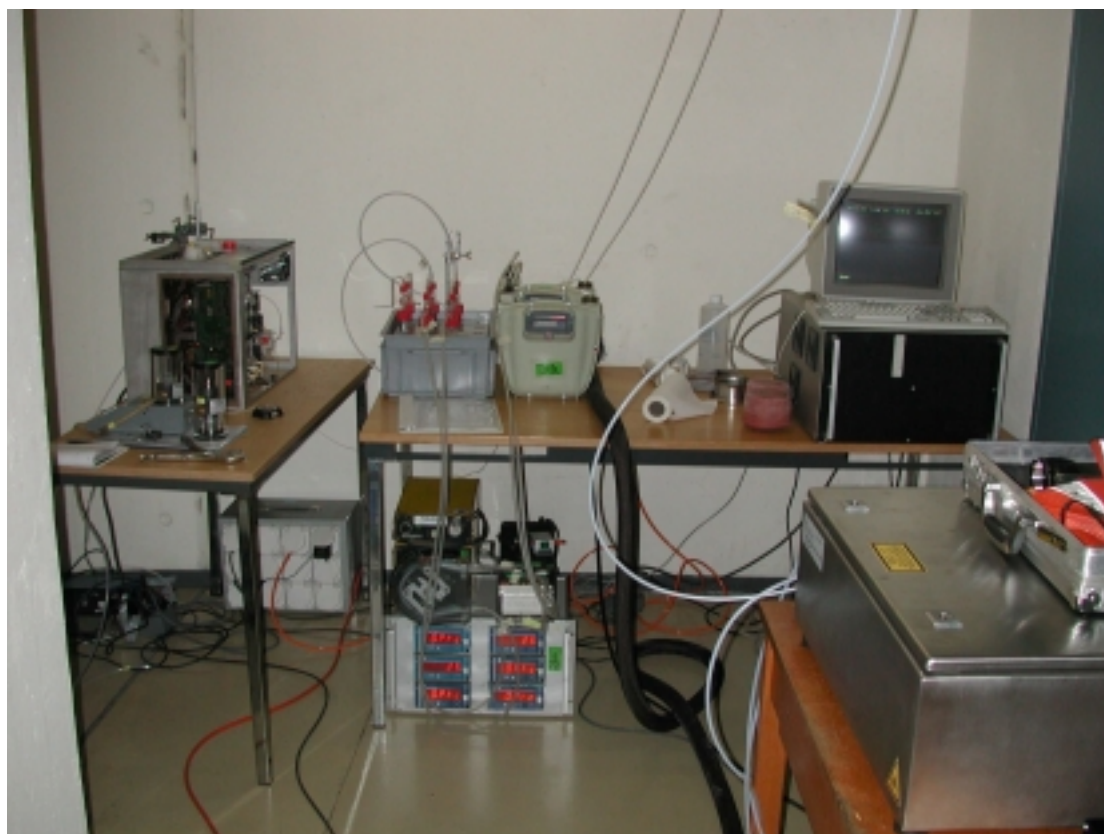
Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	I
1. Einleitung	1
2. Tunneldaten	2
3. Tunnellüftungssystem	3
4. Lage der Messgeräte im Tunnel	4
5. Verkehrszählungen	5
5.1 Automatische Verkehrsdatenerfassung	5
5.2 Eichzählungen	5
6. Ergebnisse der Messungen	6
6.1 Allgemeines Prinzip von Messung und Auswertung	6
6.2 NH₃-Messungen	7
6.3 NO_x-, CO- und TVOC-Messungen	7
6.4 Passivsammler-Messungen der apolaren VOC (aVOC)	10
6.5 Feinstaub PM10- und Gesamtkohlenstoff TC-Messungen (HiVol)	11
6.6 Messungen der Sichttrübung	14
7. Beurteilung	17
7.1 Vergleich mit früheren Messkampagnen	17
7.2 Vergleich mit den Unterlagen des BUWAL	20
8. Literaturverzeichnis	22
9. ANHANG	23
9.1 NH₃-Messung	24
9.2 NO_x-, CO- und TVOC-Messungen	27
9.3 Messung der Sichttrübung	32
Lage der Messorte	33

1. EINLEITUNG

Seit 1988 werden vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) im Gubristunnel regelmässig Messungen durchgeführt, die zur Bestimmung der realen Emissionsfaktoren der Motorfahrzeuge dienen und deren zeitliche Entwicklung aufzeigen [1].

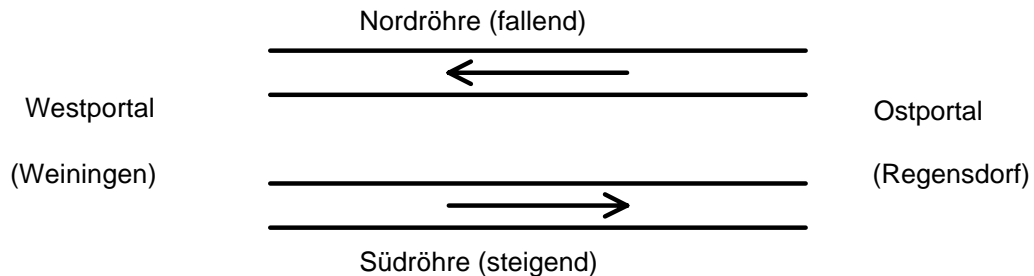
Die Messungen im Jahr 2002 erfolgten vom 9. September bis 10. Oktober 2002 in der Südröhre (steigende Röhre, Fahrrichtung St. Gallen). Gemessen wurden die gasförmigen Schadstoffkonzentrationen an Ammoniak NH_3 , Stickstoffmonoxid NO , Stickstoffdioxid NO_2 , Stickoxiden NO_x , Kohlenmonoxid CO , die flüchtigen organischen Verbindungen als TVOC, die Feinstaubkonzentration PM_{10} und die Sichttrübung. Ergänzend zu den Schadstoffmessungen erfasste man die Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel. Vom Gesamtverkehr wurden die mittlere Fahrgeschwindigkeit sowie die Fahrzeuganzahl, differenziert in drei verschiedenen Längensklassen, aufgezeichnet. Die Längensklassen grösser 6 m umfassen die Lastwagen. Zusätzlich wurden in der Zeit vom 4. März 2003 bis 14. April 2003 die Sichttrübungswerte der im Tunnel installierten Messgeräte abgegriffen und ausgewertet, um den Einfluss der Tunnelreinigung zu überprüfen.



Figur 1.1 **Messapparatur zur Bestimmung der NH_3 -Konzentrationen**

2. TUNNELDATEN

Der Gubristunnel ist Bestandteil der vierstreifig Nordumfahrung von Zürich. Er besitzt zwei zweispurige Tunnelröhren, welche normalerweise im Richtungsverkehr befahren werden.

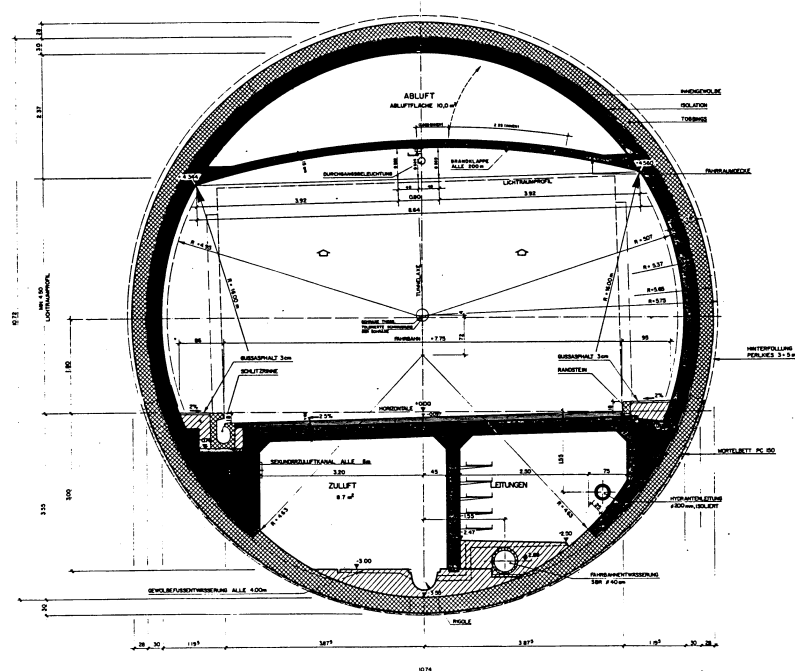


Tunnel Daten:	Länge Nordröhre	=	3'278 m
	Länge Südröhre	=	3'268 m
	lichter Fahrraumquerschnitt	=	48 m ²
	Neigung Nordröhre	=	- 1.275 % (fallend)
	Neigung Südröhre	=	+ 1.292 % (steigend)

Das Normalprofil des Gubristunnels ist in Figur 2.1 dargestellt.

Die Messungen im Jahr 2002 beschränkten sich auf die steigende Südröhre mit dem Verkehr Richtung St. Gallen. Der Tunnel wurde an den folgenden Tagen gereinigt:

03. bis 05.04.2002	vor den Schadstoffmessungen
28. bis 30.10.2002	unmittelbar nach den Schadstoffmessungen
24. bis 28.03.2003	während zusätzlicher Sichttrübungsmessungen



Figur 2.1 Normalprofil des Gubristunnels

3. TUNNELLÜFTUNGSSYSTEM

Der Gubristtunnel besitzt eine Halbquer-Querlüftung. Zur Vermeidung von Portalabluft besteht zudem die Möglichkeit, die Tunnelluft kurz vor den Ausfahrtsportalen über grosse Deckenöffnungen abzusaugen und über das Abluftkamin zu leiten.

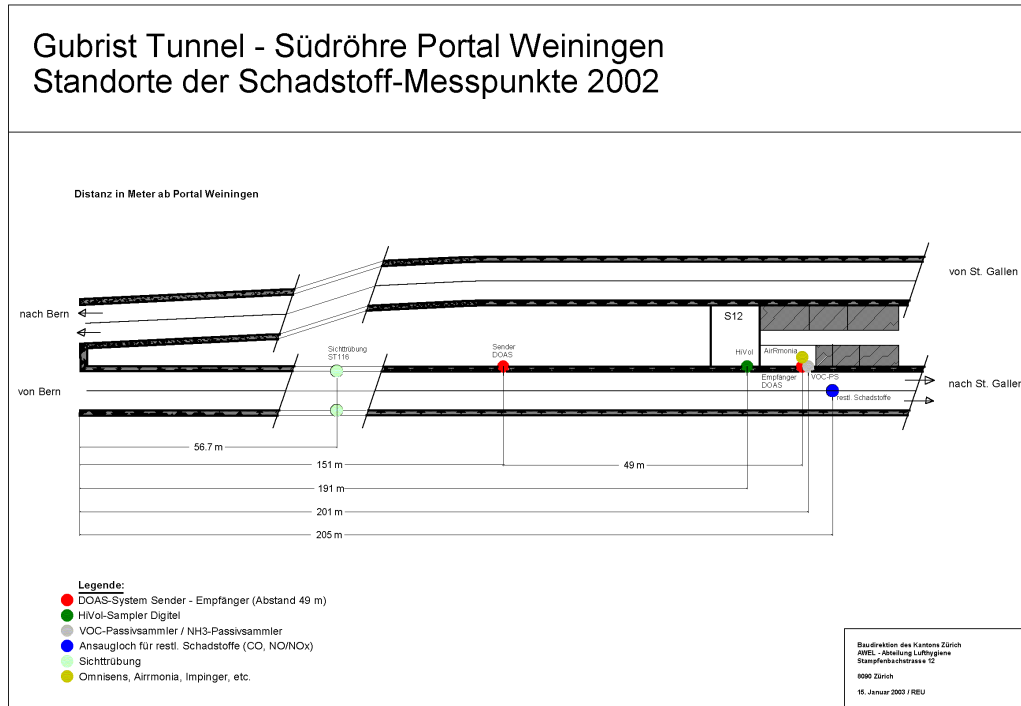
Bei flüssigem Richtungsverkehr ist aus Lüftungstechnischer Sicht nur in Ausnahmefällen ein Betrieb der Tunnelventilation erforderlich, da durch die Kolbenwirkung der durchfahrenden Fahrzeuge meist eine genügend starke Längsströmung verursacht wird. Die Inbetriebnahme der Tunnelventilation erfolgt automatisch aufgrund kontinuierlicher Messungen der Sichttrübung im Tunnel. Die ebenfalls installierte Überwachung der CO-Konzentration im Tunnel ist heute für die Lüftungssteuerung nicht mehr relevant.

Während der Schadstoffmessungen des AWEL war die grosse Deckenöffnung kurz vor dem Ausfahrtsportal durchgehend geöffnet. Ohne Betrieb der Tunnellüftung waren die Abschlussklappen bei den Abluftventilatoren jedoch geschlossen, so dass keine Rückströmung über den Abluftkamin möglich war.

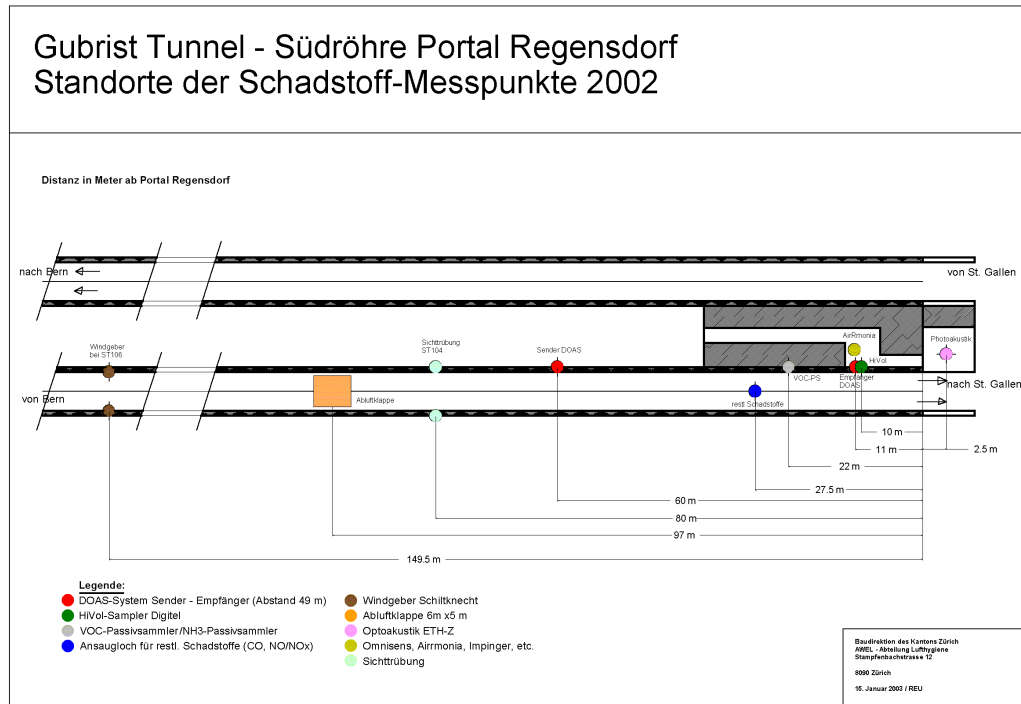
Für die Zeit der hier beschriebenen Messkampagne bestand die Vorgabe, dass die Tunnellüftungsanlage möglichst nicht in Betrieb genommen wurde. Selbstverständlich war sie aber immer betriebsbereit und musste während einigen Ausnahmesituationen auch freigegeben werden. Die Schadstoffmessungen während Zeiten mit Betrieb der Tunnellüftung sind als ungültig deklariert und in der Auswertung nicht berücksichtigt worden.

4. LAGE DER MESSGERÄTE IM TUNNEL

Die Messungen 2002 erfolgten ausschliesslich in der Südröhre. Die Lage der Messgeräte im Tunnel ist aus den Figuren 4.1 und 4.2 resp. Seiten 34 und 35 ersichtlich.



Figur 4.1 Lage der Messgeräte beim Portal Weiningen (Einfahrtsportal)



Figur 4.2 Lage der Messgeräte beim Portal Regensdorf (Ausfahrtsportal)

5. VERKEHRSZÄHLUNGEN

5.1 Automatische Verkehrsdatenerfassung

Im Bereich des Gubristtunnels befinden sich zur Erfassung der Verkehrsdaten verschiedene Messstellen, welche von der Kantonspolizei betrieben und ausgewertet werden. Bei den früheren Messkampagnen wurden diese Rohdaten verwendet. Da sich bei den letzten Messkampagnen verschiedene Probleme mit diesen Messungen ergaben, wurde vom AWEL für die Messkampagne 2002 (und folgende) eine eigene Verkehrszählung ca. 150 m ausserhalb des Portals Regensdorf (unter der Brücke Affolternstrasse) eingerichtet. Der Vergleich mit den früheren Messungen ist durch die Eichzählungen gemäss Abschnitt 5.2 sichergestellt.

Die neuen Verkehrszählungen liefern für beide Fahrspuren vor der Ausfahrt Regensdorf die Mittelwerte über jeweils 5 Minuten von Gesamtverkehr, Lastwagenverkehr sowie Fahrgeschwindigkeit.

5.2 Eichzählungen

Vom Planungsbüro Jud sind bei der Messkampagne des Jahres 2002, wie schon früher mehrmals, Eichzählungen vorgenommen worden zur Überprüfung der 1 h-Werte der automatischen Registrierungen des Gesamtverkehrs und des Lastwagenverkehrs [2]. Die Erhebungen erfolgten auf der Basis von Videoaufzeichnungen beim Portal Regensdorf von der Brücke Affolternstrasse aus. Erfasst wurde der Querschnitt der Fahrriichtung St. Gallen zu folgenden Zeiten:

Donnerstag, 16. Mai 2002, 05.00 bis 13.00 Uhr
Sonntag, 23. Juni 2002, 08.00 bis 16.00 Uhr

Bei der Videoerhebung wurden die Motorfahrzeuge nach den folgenden Fahrzeugkategorien unterschieden:

MR	Motorrad
PW	Personenwagen
LI	Lieferwagen, Kleinbus
PW/LI Anh	Personenwagen, Lieferwagen oder Kleinbus mit Anhänger
LW	Lastwagen (>3.5 Tonnen)
LZ/SZ	Lastenzug (Lastwagen mit Anhänger, Sattelzug)

Bei den automatischen Verkehrszählungen erfolgt die Unterscheidung der Fahrzeugkategorien aufgrund der Fahrzeuglänge. Es werden dabei drei Längensklassen gemäss folgender Tabelle unterschieden.

Aus den Eichzählungen ergaben sich die folgenden Eichfaktoren:

Annäherung	Längensklasse	Mo – Sa
PW + LI + MR	< 6 m	1.033
PW/LI Anh + LW	6 - 12.5 m	0.7184
LZ/LS	>12.5 m	1.1061

6. ERGEBNISSE DER MESSUNGEN

6.1 Allgemeines Prinzip von Messung und Auswertung

- Mechanische Tunnelventilation vollständig ausser Betrieb (Abschlussklappen der Ventilatoren geschlossen), natürliche Längslüftung durch die Kolbenwirkung der Fahrzeuge. Zeiten mit Ventilationsbetrieb werden in der Auswertung nicht berücksichtigt.
- Messung der Tunnelluftkonzentrationen kurz nach dem Einfahrtsportal und vor dem Ausfahrtsportal der Südröhre (Differenzmessung). Die Tunnelluft enthält alle im Tunnel angefallenen Abgasemissionen.
- Berechnung des Luftvolumenstroms aus der Messung der Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel.
- Bestimmung der massgebenden Verkehrsdaten, dabei wird die Zeitverzögerung durch die ausserhalb des Tunnels liegende Verkehrszählstelle berücksichtigt.
- Berechnung der mittleren Emissionsfaktoren pro Fahrzeug. Die Daten der Schadstoffkonzentration werden aufgrund der Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel und der gefahrenen Fahrzeuggeschwindigkeit durch bestmögliche Annäherung den Verkehrsdaten zugeordnet (siehe dazu Ort-Zeit-Diagramme im Anhang).
- Die Umrechnung von volumen- auf massenbezogene Einheiten erfolgt bei Emissionsmessungen an Fahrzeugen nach der Verordnung über die Abgasemissionen leichter Motorwagen (741.435.1 / FAV 1 vom 22. Oktober 1986, Stand am 4. August 1998) auf den Normzustand bei 0°C/1013.25 hPa. Diese Umrechnung ist auch Basis für die Emissionsfaktoren des BUWAL (HBEFA Vers. 1.2). Für die Kalibrierung der Kohlenwasserstoffmessgeräte im Gubristunnel wurde Propan verwendet, in der Auswertung wurde deshalb äquivalent die Normdichte für Propan berücksichtigt. Die TVOC*-Emissionsfaktoren des BUWAL sind entsprechend der Zusammensetzung des Treibstoffes als C₁H_{1.85}-Äquivalent definiert. Für die in diesem Bericht ausgewerteten Schadstoffe wurden folgende Normdichten (ρ bei 0°C/1013.25 hPa) verwendet:

ρ_{CO} : 1.249 kg/m³

ρ_{NO_x} 2.052 kg/m³ (NO₂-Äquivalent)

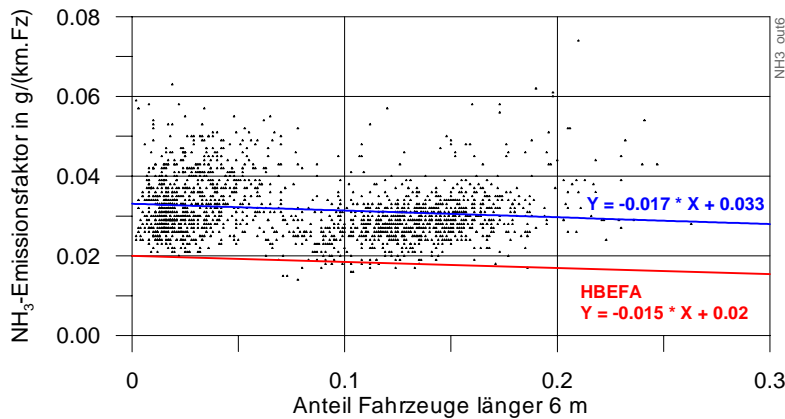
ρ_{TVOC} 1.860 kg/m³ (C₃H₈-Äquivalent)

ρ_{TVOC^*} 0.619 kg/m³ (C₁H_{1.85}-Äquivalent)

ρ_{NH_3} 0.7275 kg/m³

NH₃-Messungen

Der Anhang enthält verschiedene Darstellungen zu den NH₃-Messungen. Die NH₃-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Anteil der Fahrzeuge mit einer Länge über 6 m (Lastwagen) sind zudem in der Figur 6.1 aufgezeichnet.



Figur 6.1 NH₃-Emissionsfaktor

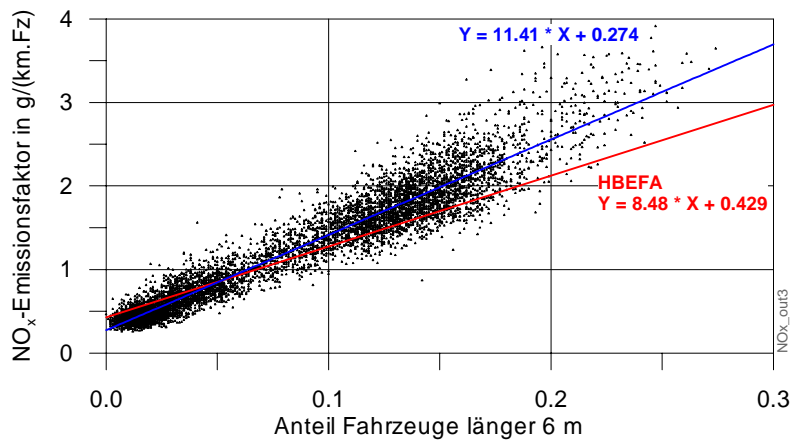
Die NH₃-Messungen lieferten 1'800 gültige 10-Minuten-Sequenzen. Die Emissionsfaktoren in g/(km.Fz) sind:

		PW	SNF
Blau	linearer Fit	0.033	0.016
Rot	HBEFA [5]	0.020	0.005

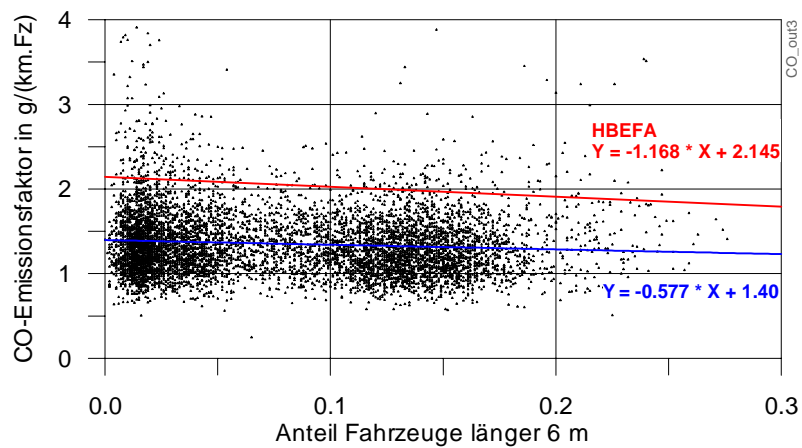
NH₃ (n = 0.7275 kg/m ³)	
Auswertezeitraum (gültige Sequenzen)	09.09.2002, 11:55 bis 07.10.2002, 09:52
Anzahl gültiger 10 Minuten-Sequenzen	1'800
Anzahl Fahrzeuge in gültigen Sequenzen	
gesamt	759'975
< 6 m	697'475
> 6 m	62'500 (= 8.22 %)
Mittlere Fahrgeschwindigkeit (Standardabweichung)	91.2 km/h (2.7 km/h)
Mittlere Geschwindigkeit der Luft (Standardabw.)	7.08 m/s (1.08 m/s)
Mittlerer NH ₃ -Emissionsfaktor	0.0318 g/(km.Fz)

6.2 NO_x-, CO- und TVOC-Messungen

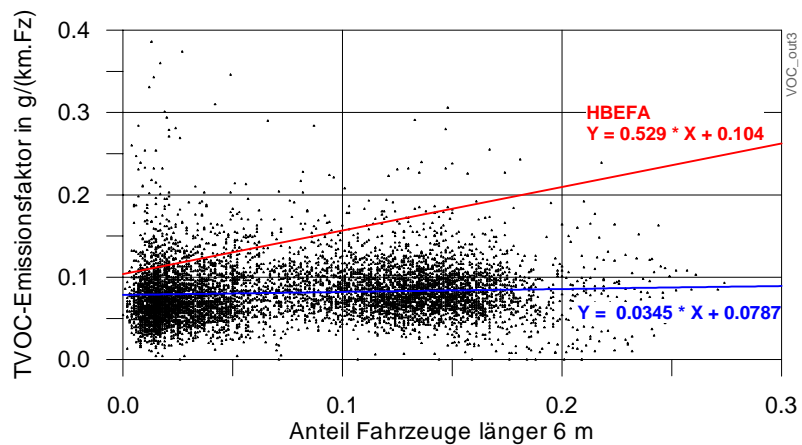
Die Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Anteil der Fahrzeuge mit einer Länge über 6 m (Lastwagen) sind in den Figuren 6.2 bis 6.4 aufgezeichnet. HBEFA bezeichnet die Angaben gemäss dem BUWAL Handbuch Emissionsfaktoren Version 1.2 [5]. Der Anhang enthält unter 9.2 zudem verschiedene Darstellungen zu den NO_x-, CO- und TVOC-Messungen.



Figur 6.2 NO_x-Emissionsfaktor



Figur 6.3 CO-Emissionsfaktor



Figur 6.4 TVOC-Emissionsfaktor

NO_x (n = 2.052 kg/m ³)	
Auswertezeitraum (gültige Sequenzen)	4.9.2002 05:10 bis 23.10.2002 12:15
Anzahl gültiger 5 Minuten-Sequenzen	7'205
Anzahl Fahrzeuge in gültigen Sequenzen	
gesamt	1'534'146
< 6 m	1'411'692
> 6 m:	122'454 (= 7.98 %)
Mittlere Fahrgeschwindigkeit (Standardabweichung)	91.6 km/h (2.7 km/h)
Mittlere Geschwindigkeit der Luft (Standardabw.)	7.08 m/s (1.08 m/s)
Mittlerer NO _x -Emissionsfaktor	1.21 g/(km.Fz)

CO (n = 1.249 kg/m ³)	
Auswertezeitraum	4.9.2002 05:10 bis 23.10.2002 12:15
Anzahl gültiger 5 Minuten-Sequenzen	7'236
Anzahl Fahrzeuge in gültigen Sequenzen	
gesamt	1'541'456
< 6 m	1'418'054
> 6 m:	123'402 (= 8.01 %)
Mittlere Fahrgeschwindigkeit (Standardabweichung)	91.6 km/h (2.7 km/h)
Mittlere Geschwindigkeit der Luft (Standardabw.)	7.08 m/s (1.08 m/s)
Mittlerer CO-Emissionsfaktor	1.35 g/(km.Fz)

TVOC (n = 1.860 kg/m ³)	
Auswertezeitraum	4.9.2002 05:10 bis 23.10.2002 12:15
Anzahl gültiger 5 Minuten-Sequenzen	7'286
Anzahl Fahrzeuge in gültigen Sequenzen	
gesamt	1'552'074
< 6 m	1'427'205
> 6 m:	124'869 (= 8.04 %)
Mittlere Fahrgeschwindigkeit (Standardabweichung)	91.6 km/h (2.7 km/h)
Mittlere Geschwindigkeit der Luft (Standardabw.)	7.09 m/s (1.08 m/s)
Mittlerer TVOC-Emissionsfaktor	0.081 g/(km.Fz)

6.3 Passivsammler-Messungen der apolaren VOC (aVOC)

6.3.1 Einleitung

Die Passivsammler wurden in 5 Messperioden von jeweils einer Woche nach dem Einfahrtsportal Weiningen und vor dem Ausfahrtsportal Regensdorf exponiert. Die Ergebnisse der zweiten Messperiode ist wegen zeitweisen Malerarbeiten im Tunnel nicht brauchbar für die Auswertung.

6.3.2 Auswertung der Messdaten

Die Auswertung für die apolaren VOC erfolgte für die 7 Tage Mittelwerte. Die Aufbereitung der Daten für den Verkehr und die Luftströmung durch die Tunnelröhre wurde manuell durchgeführt. Fehlende Daten für die Luftströmung durch den Fahrraum wurden mit dem Mittelwert der vorhandenen Werte ergänzt (Perioden 1,3 und 5) und dessen Zulässigkeit abgeschätzt.

- Skalieren der Verkehrsdaten nach den Angaben in Abschnitt 5.2
- Bestimmen des Anteils der Fahrzeuge > 6 m (als Schwerverkehrsanteil betrachtet)
- Berechnen des mittleren Emissionsfaktors

$$EFA = \frac{V_L \cdot \Delta t \cdot (c_{\text{Regensdorf}} - c_{\text{Weiningen}})}{n_{Fz} \cdot L_{\text{Mess}}} \quad [\text{g}/(\text{km} \cdot \text{Fz})]$$

V_L	Mittlerer Volumenstrom in m^3/s durch den Fahrraum über die Mittelungszeit
Δt	Mittelungszeit (je nach Messperiode 602'400 bis 605'400 Sekunden)
$c_{\text{Regensdorf}}$	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vor Ausfahrtsportal
$c_{\text{Weiningen}}$	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nach Einfahrtsportal
n_{Fz}	Gemittelte Anzahl Fahrzeuge über Expositionsdauer
L_{Mess}	Abstand der PS-Messorte Weiningen und Regensdorf in m (3'045 m)

6.3.3 Ergebnisse

Die Kenndaten der Passivsammler-Messungen und die Emissionsfaktoren der apolaren VOC sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Messwoche	Anzahl Fz [Fz/ 7 Tage]	Anteil Fz > 6 m [%]	$V_{F,\text{mittel}}$ [km/h]	$V_{L,\text{mittel}}$ [m/s]	EFA-aVOC [g/(km.Fz)]
2.9.2002, 10:20 - 9.9.2002, 11:30	333'160	7.58	91	5.66	0.0232
16.9.2002, 10:25 - 23.9.2002, 09:55	325'631	7.59	90	5.67	0.0247
23.9.2002,09:55 - 30.9.2002, 09:15	365'242	6.69	89	5.67	0.0195
30.9.2002, 09:15 - 7.10.2002, 09:10	349'317	6.98	90	5.91	0.0209
Gesamtmittel	1'353'350	7.19	90	5.73	0.0220

Der Vergleich der apolaren VOC mit den gesamten TVOC ergibt sich aus der Figur 6.4 und den Darstellungen im Anhang. Die apolaren VOC machen rund 25 % der gesamten TVOC-Emissionen des Verkehrs aus.

6.4 Feinstaub PM10- und Gesamtkohlenstoff TC-Messungen (HiVol)

6.4.1 Einleitung

Die PM10-Messungen wurden an 7 Tagen während 24 Stunden durchgeführt. Die Filter nach dem Einfahrtsportal Weiningen wurden 12 Stunden exponiert, jene am Ausfahrtsportal Regensdorf 3 Stunden. Aus den Messergebnissen von zwei weiteren Tagen wurde der Kohlenstoffanteil analysiert. Bei diesen Messungen waren die Filter von 3 Uhr bis 11 Uhr während jeweils 2 Stunden exponiert. Die Messergebnisse beziehen sich somit auf die Gesamtheit der Fahrzeuge, die den Tunnel in Richtung St. Gallen passiert haben. Eine Filterung der Daten nach Mindestgeschwindigkeiten der Fahrzeuge und der Luft im Fahrraum ist deshalb nicht zulässig.

6.4.2 Auswertung der Messdaten

Die Auswertung der PM10-Messungen erfolgte für die 24 Stunden Mittelwerte, jene für TC für 2 Stunden-Mittelwerte. Die Aufbereitung der Daten für den Verkehr und die Luftströmung durch die Tunnelröhre wurde manuell durchgeführt. Fehlende Daten für die Luftströmung durch den Fahrraum wurden ergänzt (für 20.9.2002 und 21.9.2002).

- Skalieren der Verkehrsdaten nach den Angaben in Abschnitt 5.2
- Bestimmen des Anteils der Fahrzeuge > 6 m (als Schwerverkehrsanteil betrachtet)
- Berechnen des mittleren Emissionsfaktors

$$EFA = \frac{V_L \cdot \Delta t \cdot (c_{\text{Regensdorf}} - c_{\text{Weiningen}})}{n_{Fz} \cdot L_{\text{Mess}}} \quad [\text{g}/(\text{km} \cdot \text{Fz})]$$

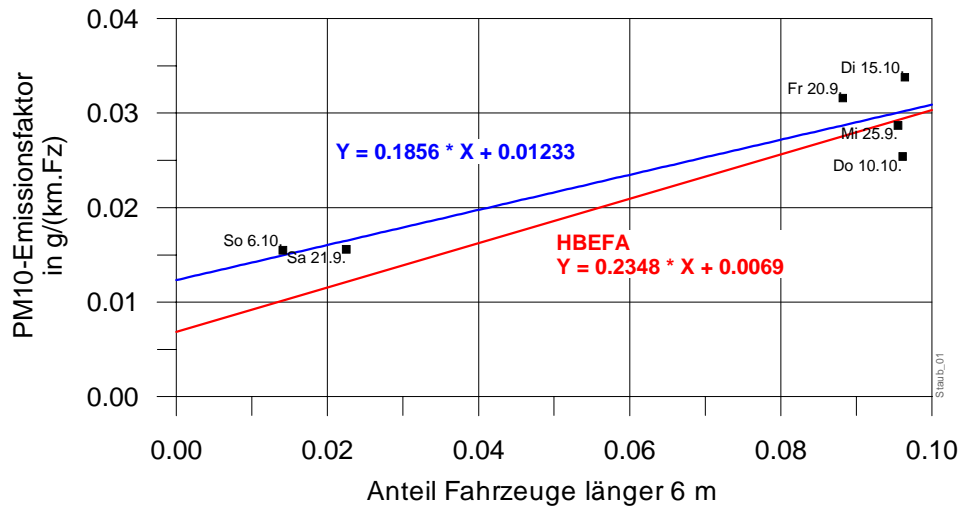
V_L	Mittlerer Volumenstrom in m^3/s durch den Fahrraum über die Mittelungszeit
Δt	Mittelungszeit (für PM10: 24 Stunden, für TC: 2 Stunden)
$c_{\text{Regensdorf}}$	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vor Ausfahrtsportal
$c_{\text{Weiningen}}$	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nach Einfahrtsportal
n_{Fz}	Gemittelte Anzahl Fahrzeuge über Mittelungszeit
L_{Mess}	Abstand der Messorte Weiningen und Regensdorf in m (3'067 m)

6.4.3 Ergebnisse

6.4.3.1 Feinstaub PM10

Die Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Anteil der Fahrzeuge mit einer Länge über 6 m (Lastwagen) sind in der Figur 6.5 dargestellt. HBEFA bezeichnet die Anga-

ben für Partikel gemäss dem BUWAL Handbuch Emissionsfaktoren Version 1.2 [5] (bei 1.3 % Steigung; PW: Basiswerte, SNF: 40t/Euro3,4,5/Gesamtverkehr).



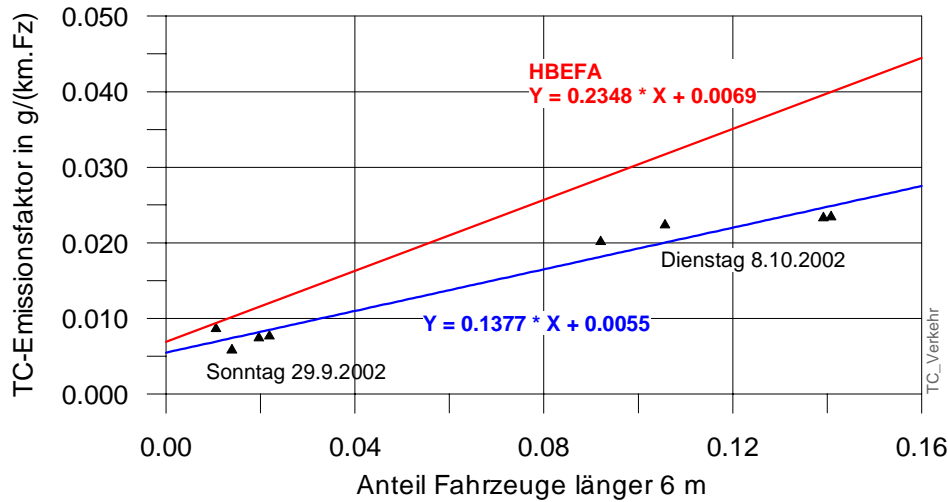
Figur 6.5 *PM10-Emissionsfaktoren*
Vergleich mit den Angaben für Partikel aus dem Handbuch Emissionsfaktoren

Feinstaub PM10	
Auswertezeitraum	Fr, 20.9.2002 bis Di, 15.10.2002
Anzahl gültiger Messungen	24 h-Mittelwerte von 6 Tagen
Mittlerer PM10-Emissionsfaktor	0.0256 g/(km.Fz)

Messtag	Anzahl Fz Fz/24 h	Anteil Fz > 6 m %	V _{F,mittel} km/h	V _{L,mittel} m/s	EFA-PM10 [g/(km.Fz)]
Fr 20.09.2002	51'762	8.82	88	5.85	0.0316
Sa 21.09.2002	45'665	2.25	93	5.34	0.0156
Mi 25.09.2002	49'035	9.55	83	5.82	0.0287
So 06.10.2002	37'260	1.41	91	4.86	0.0155
Do 10.10.2002	49'239	9.61	92	5.79	0.0254
Di 15.10.2002	47'920	9.64	91	6.14	0.0338

6.4.3.2 Gesamtkohlenstoff TC

Die Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Anteil der Fahrzeuge mit einer Länge über 6 m (Lastwagen) sind in der Figur 6.6 aufgezeichnet. Zum Vergleich bezeichnet HBEFA die Angaben für Partikel gemäss dem BUWAL Handbuch Emissionsfaktoren Version 1.2 [5] (bei 1.3 % Steigung; PW: Basiswerte, SNF: 40t/Euro3,4,5/Gesamtverkehr).



Figur 6.6 TC-Emissionsfaktoren
Vergleich mit den Emissionsfaktoren für Partikel aus dem Hand-
buch Emissionsfaktoren

TC	
Auswertezeitraum	So, 29.9.2002 und Di, 8.10.2002
Anzahl gültiger Messungen	Mittelwerte von 8 Sequenzen à 2 h
Mittlerer TC-Emissionsfaktor	0.0167 g/(km.Fz)

Im Mittel beträgt der TC-Anteil an den PM10-Emissionsfaktoren rund 65 %. Bei den PW sind es 45 %, bei den Lastwagen 72 %.

Messzeit	Anzahl Fz Fz/24 h	Anteil Fz > 6 m %	V _{F, mittel} km/h	V _{L, mittel} m/s	EFA-TC [g/(km.Fz)]
So 29.09.2002					
03:05 - 05:00	946	1.1	94	2.68	0.00862
05:05 - 07:00	1'220	2.0	96	3.30	0.00744
07:05 - 09:00	2'332	2.2	95	4.46	0.00765
09:00 - 11:00	4'523	1.4	94	5.67	0.00582
Di 08.10.2002					
03:05 - 05:00	407	10.6	94	2.57	0.0223
05:05 - 07:00	4'383	14.1	91	7.24	0.0234
07:05 - 09:00	7'249	9.2	87	7.77	0.0201
09:00 - 11:00	4'958	13.9	89	7.98	0.0233

6.5 Messungen der Sichttrübung

6.5.1 Einleitung

Die Sichttrübung der Luft im Fahrraum von Strassentunneln stellt heute das Hauptkriterium für die Auslegung der Lüftungen bei Normalbetrieb, d.h. frei fliessendem Verkehr, stockender Verkehr und Verkehrsstau, dar. Die Messung der Sichttrübe dient als hauptsächliche Regelgrösse für den Betrieb der Fahrraumlüftung bei diesen Verkehrszuständen. Die Sichttrübe setzt sich aus Partikeln des motorischen Verbrennungsprozesses und aus weiteren Partikeln zusammen. Die nicht-motorischen Partikel stammen von Abrieb (Bremsen, Reifen) und Resuspension (wieder aufgewirbelten Feinststaubteilchen. Durch vor einigen Jahren begonnene und für die kommenden Jahre weiter vorausgesagte Verminderung der motorischen Partikel erlangt der nicht motorische Anteil ab dem Jahr 2010 eine zentrale Bedeutung. Allerdings ist von den Prüfstandmessungen über die Sichttrübe-Emission der Motoren mehr bekannt als über die Anteile aus Abrieb und Resuspension. Allerdings ist auch bezüglich des Zusammenhangs zwischen den gravimetrischen Werten aus den Prüfstandsergebnissen und der opazitiven Wirkung im Tunnel heute noch einiges unklar. Aus diesen Gründen ist es von Interesse aus Vergleichen von Tunnelmessungen mit den Prüfstandmessungen Hinweise auf die nicht-motorischen Anteile an der Sichttrübung in Tunneln zu erhalten.

Zur Definition der Sichttrübung wird in [3] folgendes angeführt: Ein Lichtstrahl durchtrübe Luft verliert über seine Lauflänge an Intensität.

$$I = I_o \cdot e^{-K \cdot L} \quad \text{und} \quad K = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{I}{I_o}$$

wobei

I	Lichtintensität nach einer Lauflänge L
I _o	Lichtintensität an der Quelle
K	Extinktionskoeffizient in m ⁻¹
L	Lauflänge in m

Bei der Tunnellüftung hat sich der Extinktionskoeffizient *K* als Mass für die Sichttrübung eingebürgert. Die entsprechende Richtlinie des Bundesamtes für Strassen [4] gibt für die Auslegung der Fahrraumlüftung bei Normalbetrieb einen Wert *K*_{lim} = 0.005 m⁻¹ oder 5 mE/m (Milli-Extinktion pro Meter) vor. Bei einer Sichttrübung von 12 mE/m muss der Tunnel für den Verkehr geschlossen werden. Die heute in den Tunneln eingebauten Geräte geben die Sichttrübung in % an. 100 % entspricht in der Regel (auch im Gubrist-Tunnel) 15 mE/m.

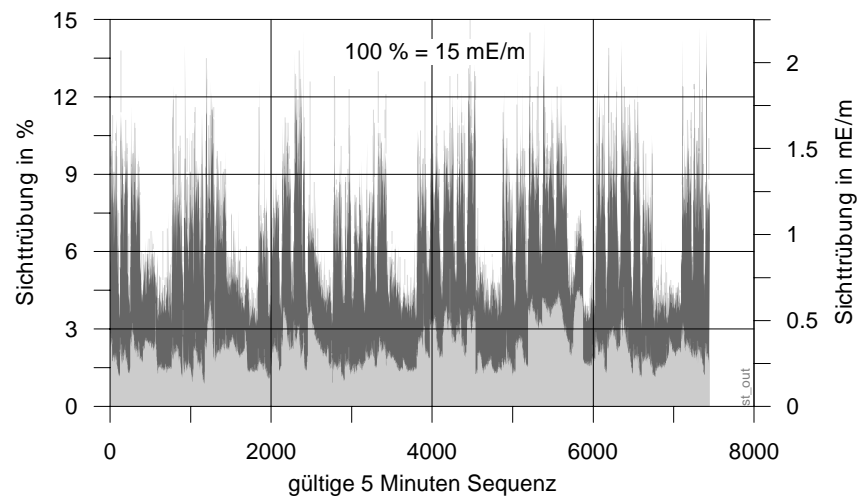
Für die Auslegung der Fahrraumlüftungen wird die Sichttrübe-Emission *E*_{ST} in m²/(h.Fz) angegeben. Der erforderliche Frischluftbedarf *FLB* für die Einhaltung des Dimensionierungswertes *K*_{lim} ist:

$$FLB = \frac{n_{FZ} \cdot E_{ST}}{K_{lim}} \quad [m^3/s]$$

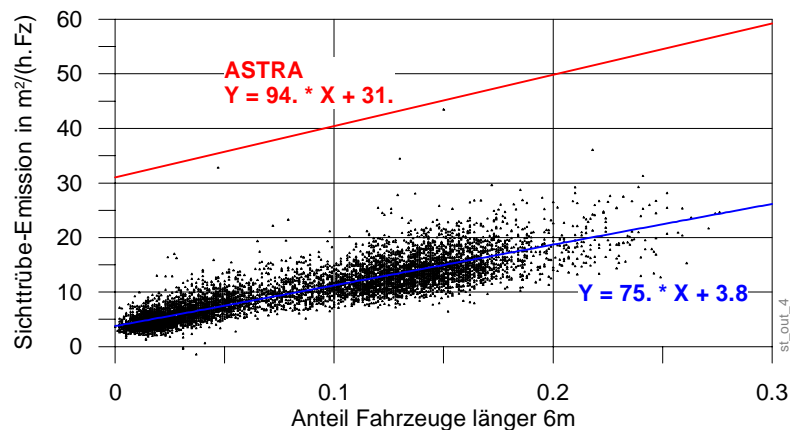
wobei *n*_{FZ} die durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge im betrachteten Abschnitt bedeutet.

6.5.2 Ergebnisse

6.5.2.1 Emissionsfaktoren der Sichttrübung



Figur 6.7 Sichttrübung der gültigen Sequenzen am Einfahrtsportal (hellgrau) und am Ausfahrtsportal (dunkelgrau)

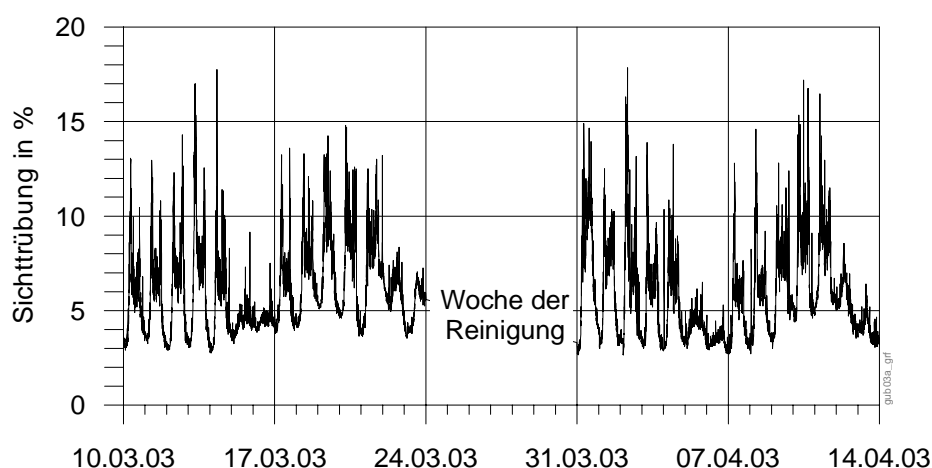


Figur 6.8 Sichttrübe-Emissionsfaktor und Vergleich mit den Angaben in der ASTRA-Richtlinie [4]

Sichtrübung	
Auswertezeitraum (gültige Sequenzen)	4.9.2002 05:10 bis 23.10.2002 12:15
Anzahl gültiger 5 Minuten-Sequenzen	7'449
Anzahl Fahrzeuge in gültigen Sequenzen	
gesamt	1'586'663
< 6 m	1'457'152
> 6 m	129'511 (8.16 %)
Mittlere Fahrgeschwindigkeit (Standardabweichung)	91.6 km/h (2.6 km/h)
Mittlere Geschwindigkeit der Luft (Standardabw.)	7.11 m/s (1.08 m/s)
Mittlerer Sichttrübe-Emissionsfaktor	10.00 m ² /(h.Fz)

6.5.2.2 Einfluss der Tunnelreinigung auf die Sichttrübung im Tunnel

In der Woche vom 24. bis zum 30. März 2003 wurde der Gubrist-Tunnel gewaschen. Mit einem Vergleich der Sichttrübe-Werte vor und nach der Reinigung wurde deren Wirkung auf die Sichttrübung geprüft.



Figur 6.9 5 Minuten-Mittel der Sichttrübe-Werte jeweils 2 Wochen vor und nach der Woche mit der Tunnelreinigung

Woche	Fz gesamt	Fz < 6 m	Fz > 6 m	ST _{mittel} in %
10.03. – 16.03.	313'015	285'152	27'863	5.49
17.03. – 23.03.	312'547	283'742	28'805	6.64
24.03. – 30.03.	Woche mit Reinigung, keine Auswertung			
31.03. – 06.04.	318'631	289'288	29'343	5.52
07.04. – 13.04.	320'055	290'864	29'191	6.03

Die Messung lässt die Aussage zu, dass die Tunnelreinigung zu keiner messtechnisch nachweisbaren Minderung der Sichttrübung führt.

7. BEURTEILUNG

7.1 Vergleich mit früheren Messkampagnen

Die Resultate der Messungen von 2002 im Gubristtunnel sind in Kapitel 6 beschrieben. Aus der Darstellung des Emissionsfaktors in Abhängigkeit des Lastwagenanteils lässt sich der Emissionsfaktor für Personenwagen (Lastwagenanteil 0 %) und Lastwagen (Lastwagenanteil 100 %) ableiten.

Während die Bestimmung des mittleren Emissionsfaktors der Motorfahrzeuge sehr zuverlässig möglich ist, ist die Zuordnung der Emissionsfaktoren für Personenwagen und Lastwagen mit grösseren Unsicherheiten verbunden. Eine Ursache dieser Problematik ist die Kategorisierung der Fahrzeuge aufgrund deren Länge, wobei insbesondere der zunehmende Anteil an Lieferwagen mit Dieselmotor kritisch ist. Hinzu kommt, dass die Verkehrszusammensetzung generell bei gleichem Lastwagenanteil je nach Tageszeit und Wochentag unterschiedlich sein kann. Schliesslich ist zu bedenken, dass mit zunehmender Strenge der Abgasvorschriften der Einfluss des individuellen Fahrzeugzustandes zunimmt und einzelne Fahrzeuge in schlechtem Zustand sehr dominant werden können. So bewirkt z.B. der Ausfall des Dreiwegkatalysators bei einem Personenwagen mit Benzinmotor einen Anstieg des Schadstoffausstosses je nach Abgaskomponente um einen Faktor 100 bis 400.

In der Tabelle 7.1 sind die Hauptergebnisse der Messungen 2002 zusammengestellt und mit jenen der früheren Messkampagnen verglichen. Zudem zeigt die Tabelle 7.2 die Resultate der früheren Messungen in der Nordröhre. Es zeigt sich, dass die NO_x-, CO- und TVOC-Emissionsfaktoren der Motorfahrzeuge seit Beginn der Messungen deutlich zurückgegangen sind. Besonders markant ist der Rückgang bei den Personenwagen als Folge der Katalysatortechnik.

Kenngrösse	1990	1991	1992	1993 ²⁾	1994 ²⁾	1995 ²⁾	1997 ^{2,3)}	2000 ^{2,3,4)}	2002 ^{2,3,5)}
Anzahl gültig erfasster Fahrzeuge									
- für NO _x -Messung	403'071	556'110	802'563	1'047'696	944'974	1'119'958	678'568	371'406	1'534'146
- für CO-Messung	403'071	677'033	799'935	1'045'273	944'974	1'125'240	703'443	371'406	1'541'456
- für TVOC-Messung	-	677'033	806'275	1'047'696	944'974	1'126'350	708'534	369'728	1'552'074
- für PAH-Messung	-	-	-	-	627'420	1'127'791	705'717	-	-
- für NH ₃ -Messung	-	-	-	-	-	-	-	-	759'975
Lastwagenanteil [%]									
- bei gültigen NO _x -Messungen	7.3	8.6	7.8	8.9 ¹⁾	7.3	7.3 ¹⁾	7.4 ¹⁾	3.7	8.0
- bei gültigen CO-Messungen	7.3	8.2	7.7	8.9 ¹⁾	7.3	7.3 ¹⁾	7.8 ¹⁾	3.7	8.0
- bei gültigen TVOC-Messungen	-	8.2	7.8	8.9 ¹⁾	7.3	7.3 ¹⁾	7.8 ¹⁾	3.7	8.0
- bei gültigen PAH-Messungen	-	-	-	-	7.7	7.3 ¹⁾	7.7 ¹⁾	-	-
- bei gültigen NH ₃ -Messungen	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2
NO _x -Emissionsfaktor [g/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	3.08	3.65	3.12	3.00	2.44	2.09	1.99	0.94	1.21
- pro Personenwagen	2.0 – 2.5	1.8 – 3.3	1.6 – 2.9	1.2 – 2.5	1.0 – 2.0	0.8 – 1.6	0.6 – 1.8	0.3 – 1.0	0.2 – 0.45
- pro Lastwagen	14 - 18	12 - 21	12 - 21	12 - 18	12 – 18	10 - 18	10 - 18	10 – 14	8 - 15
CO-Emissionsfaktor [g/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	7.39	6.16	5.82	5.18	4.52	3.93	3.41	2.72	1.35
- pro Personenwagen	6.7 – 8.9	5.0 – 8.7	5.0 – 8.7	4.4 – 7.5	3.7 – 6.9	2.5 – 6.2	1.9 – 4.4	1.6 – 4.0	0.8 – 2.0
- pro Lastwagen	ca. 5.6	unsicher	unsicher	< 3.7	< 3.7	< 3.7	1.9 – 7.5	< 3.7	0.5 - 1.5
TVOC-Emissionsfaktor [g/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	-	1.08	1.04	0.91	0.84	0.78	0.28	0.17	0.08
- pro Personenwagen	-	0.7 – 1.5	0.7 – 1.5	0.7 – 1.4	0.6 – 1.4	0.4 – 1.4	0.09 – 0.37	0.06 – 0.32	0.03 – 0.12
- pro Lastwagen	-	unsicher	unsicher	0.7 – 2.8	0.7 – 2.8	0.7 – 2.8	0.09 – 1.5	< 0.4	0.06 - 0.16
PAH-Emissionsfaktor [µg/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	-	-	-	-	732	480	577	-	-
- pro Personenwagen	-	-	-	-	150 - 550	100 - 400	100 - 500	-	-
- pro Lastwagen	-	-	-	-	4700-7300	3000-5000	3500-5000	-	-
NH ₃ -Emissionsfaktor [g/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	-	-	-	-	-	-	-	-	0.032
- pro Personenwagen	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02 – 0.05
- pro Lastwagen	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005-0.02

- 1) Eichzählungen des Vorjahres verwendet.
- 2) Seit 1993 stehen die Rohdaten der Verkehrszählungen als Mittelwerte über 2½ Minuten zur Verfügung. Vor 1993 waren es lediglich 1-Stunden-Mittelwerte.
- 3) Seit 1997 stehen neben den Schadstoffmessungen beim Ausfahrtsportal erstmals auch Messungen beim Einfahrtsportal zur Verfügung (Differenzmessung).
- 4) Die Verkehrszählungen lieferten im Jahr 2000 unbrauchbare Werte für Zeiten mit grösserem Lastwagenverkehr (siehe Abschnitt A 3.3 in [1]). Die Aussagen zu den Emissionsfaktoren der Lastwagen sind darum sehr unsicher.
- 5) Neue Verkehrszählungen ausserhalb des Portals Regensdorf

Tabelle 7.1 Kennwerte der Abgasmessungen in der Südröhre des Gubristunnels (Fahrrichtung in der Steigung)

$$\rho_{NOx} = 2.052 \text{ kg/m}^3, \rho_{CO} = 1.249 \text{ kg/m}^3, \rho_{TVOC} = 1.860 \text{ kg/m}^3, \\ \rho_{NH_3} = 0.7275 \text{ kg/m}^3$$

Kenngrösse	1990	1991	1992	1993 ²⁾	1994 ²⁾	1995 ²⁾	1997 ^{2,3)}	2000 ^{2,3)}	2002 ^{2,3,4)}
Anzahl gültig erfasster Fahrzeuge									
- für NO _x -Messung	658'733	532'998	681'110	1'009'311	1'127'793	1'286'772	-	-	-
- für CO-Messung	658'733	534'718	686'621	1'009'311	1'127'793	1'296'050	-	-	-
- für TVOC-Messung	-	534'718	686'621	1'009'311	1'127'793	913'457	-	-	-
- für PAH-Messung	-	-	-	-	759'502	1'296'050	-	-	-
Lastwagenanteil [%]									
- bei gültigen NO _x -Messungen	9.2	7.7	7.1	9.8 ¹⁾	8.4	8.1 ¹⁾	-	-	-
- bei gültigen CO-Messungen	9.2	7.8	7.0	9.8 ¹⁾	8.4	8.2 ¹⁾	-	-	-
- bei gültigen TVOC-Messungen	-	7.8	7.0	9.8 ¹⁾	8.4	8.3 ¹⁾	-	-	-
- bei gültigen PAH-Messungen	-	-	-	-	8.6	8.2 ¹⁾	-	-	-
NO _x -Emissionsfaktor [g/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	1.58	1.66	1.29	1.13	0.88	0.94	-	-	-
- pro Personenwagen	1.0 – 1.6	1.0 – 2.0	0.8 – 1.8	0.6 – 1.4	0.4 – 1.0	0.4 – 1.0	-	-	-
- pro Lastwagen	3.1 – 5.1	4.1 – 6.2	4.1 – 6.2	3.7 – 5.8	3.5 – 5.5	3.7 – 5.5	-	-	-
CO-Emissionsfaktor [g/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	5.08	4.36	3.60	3.41	2.80	2.81	-	-	-
- pro Personenwagen	4.5 – 6.7	3.7 – 7.5	2.5 – 6.2	2.5 – 5.6	1.9 – 5.0	1.9 – 5.0	-	-	-
- pro Lastwagen	ca. 5.6	unsicher	unsicher	< 3.7	< 3.7	< 3.7	-	-	-
TVOC-Emissionsfaktor [g/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	-	0.97	0.84	0.84	0.82	0.78	-	-	-
- pro Personenwagen	-	0.7 – 1.5	0.65 – 1.3	0.65 – 1.3	0.56 – 1.3	0.47 – 1.3	-	-	-
- pro Lastwagen	-	unsicher	unsicher	2.2 – 3.7	2.2 – 3.7	1.9 – 3.7	-	-	-
PAH-Emissionsfaktor [µg/(km.Fz)]									
- pro Fahrzeug	-	-	-	-	299	275	-	-	-
- pro Personenwagen	-	-	-	-	100 - 350	100 - 350	-	-	-
- pro Lastwagen	-	-	-	-	1200-2000	1000-2000	-	-	-

¹⁾ Eichzählungen des Vorjahres verwendet.

²⁾ Seit 1993 stehen die Rohdaten der Verkehrszählungen als Mittelwerte über 2½ Minuten zur Verfügung. Vor 1993 waren es lediglich 1-Stunden-Mittelwerte.

³⁾ Seit 1997 stehen neben den Schadstoffmessungen beim Ausfahrtsportal erstmals auch Messungen beim Einfahrtsportal zur Verfügung (Differenzmessung).

⁴⁾ Neue Verkehrszählungen ausserhalb des Portals Regensdorf

Tabelle 7.2 Kennwerte der Abgasmessungen in der Nordröhre des Gubristunnels (Fahrrichtung im Gefälle)

(Bei der Messkampagne von 1997, 2000 und 2002 wurden nur in der Südröhre Schadstoffmessungen durchgeführt).

$$\rho\text{NO}_x = 2.052 \text{ kg/m}^3, \rho\text{CO} = 1.249 \text{ kg/m}^3, \rho\text{TVOC} = 1.860 \text{ kg/m}^3$$

7.2 Vergleich mit den Unterlagen des BUWAL

Anfang 1999 ist vom BUWAL das Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs erschienen (HBEFA Version 1.2). In diesen BUWAL-Unterlagen stehen die Emissionsfaktoren für die folgenden Fahrzeugkategorien zur Verfügung:

- PW: Personenwagen
- LI: Lieferwagen (< 3.5 t), leichtes Nutzfahrzeug
- SNF: Schwere Nutzfahrzeuge (LW + LZ + SZ)
 - LW: Lastwagen, Lastkraftwagen
 - LZ: Lastzug, Anhängerzug
 - SZ: Sattelzug
- R Bus: Reisebus
- L Bus: Linienbus (= ÖV-Bus)
- Mofa: Motorfahrrad
- MR: Motorrad

Bei den im vorliegenden Bericht beschriebenen Messungen im Gubristtunnel werden die beiden Hauptkategorien leichte Motorfahrzeuge (PW + LI) und schwere Motorfahrzeuge (SNF + R Bus) unterschieden. Die Unterscheidung erfolgt bei den automatischen Verkehrszählungen aufgrund der Fahrzeuglänge, womit die Abgrenzung nicht in jedem Fall klar gegeben ist. Im vorliegenden Bericht wird vereinfacht die Kategorie der leichten Motorfahrzeuge als Personenwagen und der Anteil der schweren Motorfahrzeuge am Gesamtverkehr als Lastwagenanteil bezeichnet.

Der Fahrzeugbestand im Kanton Zürich entspricht gut 17 % des gesamtschweizerischen Bestandes. Der Anteil der dieselbetriebenen Personen- und Lieferwagen mit einer Länge kleiner 6 Meter lag im Kanton Zürich am 30. September 2002 bei rund 7.5 %. Der Anteil der immatrikulierten Personenwagen mit Dieselmotor allein betrug 4.8 %, derjenige der Lieferwagen ganze 43.3 %. Beim Verkauf von Neuwagen (Personenwagen und Lieferwagen) besteht ein starker Trend zu Fahrzeugen mit Dieselmotor.

Bei den Personenwagen und Lieferwagen gilt gemäss BUWAL-Handbuch im Bezugsjahr 2002 die Basisentwicklung mit den Abgasvorschriften EURO 3 + 4. Bei den Reisebussen gilt die 28 t-Limite mit EURO 3, 4, 5 als massgebendes Szenario, währenddem bei den schweren Nutzfahrzeugen die 40 t-Limite mit EURO 3, 4, 5 (Gesamtverkehr) als massgebend betrachtet wird.

Die Verkehrssituation im Gubristtunnel ist im Sinne der BUWAL-Unterlagen als Autobahn-Regelsituation mit Tempo 100 zu betrachten. Die durchschnittliche Verkehrssituation in der Südröhre des Gubristtunnels bedeutet - bei einer kaum wahrnehmbaren Steigung von 1.29 % - dass Personenwagen eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von 103 km/h aufweisen, während schwere Nutzfahrzeuge durchschnittlich mit 86 km/h unterwegs sind.

Für das Bezugsjahr 2002 werden in den Grafiken des Anhangs die NH_3 -, NO_x -, CO - und TVOC-Emissionsfaktoren des BUWAL-Handbuches HBEFA Version 1.2 mit jenen gemäss der Messungen im Gubristtunnel verglichen.

Bei den NH_3 -Emissionsfaktoren ergeben sich aus den Messungen 2002 im Gubristtunnel für die Personenwagen deutlich höhere Emissionsfaktoren als nach dem BUWAL-Handbuch.

Bei den NO_x -Emissionsfaktoren ergeben die Messungen für die Personenwagen rund 30 % tiefere Werte als nach den Angaben des BUWAL. Für die Lastwagen resultieren andererseits aus den Gubristmessungen etwa 30 % höhere NO_x -Emissionsfaktoren als gemäss den BUWAL-Unterlagen.

Bei den CO -Emissionsfaktoren liegen die Messwerte 2002 im Gubristtunnel sowohl für Personenwagen wie für Lastwagen deutlich unter den Angaben im BUWAL-Handbuch, wobei in der Hauptkategorie Personenwagen die Lieferwagen nach den Angaben des BUWAL deutlich höhere Emissionsfaktoren aufweisen als die Personenwagen.

Bei den früheren TVOC-Messungen im Gubristtunnel ergaben sich deutlich höhere TVOC-Emissionsfaktoren für die Motorfahrzeuge als gemäss den BUWAL-Unterlagen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass früher die Schadstoff-Konzentrationen nur bei den Ausfahrtsportalen gemessen worden sind. Seit 1997 stehen die Resultate von gleichzeitigen Schadstoffmessungen beim Einfahrtsportal und beim Ausfahrtsportal der untersuchten Tunnelröhre zur Verfügung (Differenzmessung). Da vor allem bei den TVOC-Emissionen die Vorbelastung resp. Hintergrundbelastung durch andere Quellen nicht zu vernachlässigen ist, führte die Berechnung für die Jahre vor 1997 auf zu hohe TVOC-Emissionsfaktoren der Motorfahrzeuge.

Bei den TVOC-Emissionsfaktoren liegen die Messergebnisse im Gubristtunnel für die Personenwagen rund 25 % unter den Angaben des BUWAL. Bei den Lastwagen sind die Angaben des BUWAL mehr als ein Faktor 5 über den im Gubristtunnel gemessenen Werten. Die Passivsammler-Messungen der schweren flüchtigen apolaren VOC (mit Siedepunkt > Siedepunkt Toluol) haben ergeben, dass diese rund 25 % der gesamten TVOC-Emissionen des Verkehrs ausmachen.

Bei den PM_{10} -Emissionsfaktoren zeigt sich insgesamt eine gute Übereinstimmung mit den Angaben des BUWAL, wobei die PM_{10} -Emissionsfaktoren der PW eher etwas höher, die PM_{10} -Emissionsfaktoren der Lastwagen eher etwas tiefer sind als gemäss dem BUWAL-Handbuch. Der Kohlenstoffanteil beträgt bei den Emissionsfaktoren der Personenwagen 45 %, bei den Emissionsfaktoren der Lastwagen 72 %.

Die Sichttrübungswerte sind vor allem für die Auslegung und den Betrieb der Tunnelöffnung von Interesse. Die mittleren Sichttrübe-Emissionsfaktoren im Gubristtunnel sind deutlich tiefer als die heute gültigen Dimensionierungswerte in [4]. Die Tunnelreinigung hat keinen Einfluss auf die Sichttrübung im Gubristtunnel.

Alle Angaben beziehen sich auf die Situation im Gubristtunnel, welche im Sinne der BUWAL-Unterlagen als Autobahn-Regelsituation mit Tempo 100 zu betrachten ist.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Verkehrs- und Schadstoffmessungen 2000 im Gubristtunnel
Bericht US 89-16-10 von US + FZ Beratende Ingenieure, Juni 2001
- [2] Eichzählungen Gubristtunnel
Bericht des Planungsbüro Jud, September 2002
- [3] Weltstrassen-Verband (AIPCR), Strassentunnel - Komitee: Emissionen, Lüftung, Umwelt, 1995
- [4] Bundesamt für Strassen ASTRA: Richtlinie Lüftung der Strassentunnel, Entwurf
Version 6.1, August 2001
- [5] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL: Handbuch Emissionsfaktoren, Version 1.2, Januar 1999