

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 6

Artikel: Schadstoffmessungen im Gubristtunnel
Autor: Bürgin, Toni
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85888>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Schadstoffmessungen im Gubristtunnel

Ziel und Zweck der vorliegenden Untersuchung war einerseits eine erste direkte Erfolgskontrolle der bestehenden Abgasvorschriften bei Motorfahrzeugen und der Wirksamkeit der dabei angewendeten schadstoffmindernden Technik (Katalysator) und andererseits ein Plausibilitätstest für die im Verkehrsprognosemodell des Kantons Zürich verwendeten Emissionsfaktoren von Motorfahrzeugen bei hohen Durchschnittsgeschwindigkeiten (85-115 km/h).

Das Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich (ATAL) führt seit 1987 jährlich jeweils

VON TONI BÜRGIN,
ZÜRICH

mehrwöchige Schadstoffmessungen im Gubristtunnel durch [1]. Diese Messungen konzentrieren sich auf zwei wichtige Komponenten der Motorfahrzeugabgase: das Kohlenmonoxid (CO) und die Stickoxide (NO_x). Kohlenmonoxid hat eine Bedeutung als direkter Schadstoff vor allem in Strassentunnels, entlang stark befahrenen Strassenschluchten und an verkehrsreichen Plätzen in den Stadtzentren. Es entfaltet aber auch eine Wirkung in der Troposphäre, wo es in Gegenwart von Stickstoffmonoxid zu Kohlendioxid oxidiert und dabei indirekt zur Ozonbildung beiträgt. Die Stickoxide, welche heute noch zu über 50% von den Motorfahrzeugen emittiert werden, finden sich in übermässiger Konzentration meist in dicht besiedelten Gebieten und entlang stark befahrener Strassen. Sie stehen einerseits als Reizgase und andererseits als Mitverursacher saurer Niederschläge und Vorläuferschadstoffe des Ozons im Brennpunkt der Anstrengungen, die der Kanton Zürich im Rahmen seines Massnahmenplanes, des sogenannten Luft-Programms, betreibt.

Durch die besondere Situation des Tunnels kann man davon ausgehen, dass sich hier Veränderungen bezüglich der Schadstoffemissionen des Motorfahrzeugverkehrs deutlicher zeigen als etwa im Freien, wo erstens die Abgase schneller und stärker verdünnt werden und zweitens der Anteil der übrigen Schadstoffquellen an der Belastung der Luft natürlich viel grösser ist. Der Strassentunnel wird also in dieser Weise als grossmassstäbliches Messlabor benutzt und liefert so wichtige Daten zur Entwicklung der Schadstoffmengen in Abhängigkeit von der Verkehrszusammensetzung und -dichte bei einem bekannten Geschwindigkeitsintervall.

Methodik

Der Gubristtunnel

Der Gubristtunnel, mit je einer zweispurigen, im Richtungsverkehr betriebenen Nord- und Südröhre, befindet sich als Teil der Nordumfahrung Zürichs (N20) auf dem Gebiet der Gemeinden Weiningen, Unterengstringen und Regensdorf und verbindet das Limmat- mit dem Furttal (Bild 1). Bei einem lichten Fahrraum-Querschnitt des Tunnels von je 48 m² fällt die Nordröhre um 1,3% ab, während die Südröhre um denselben Betrag ansteigt. Das aufwendige Lüftungssystem des Gubristtunnels enthält in jeder der beiden Röhren zwei unterschiedliche Abschnitte: Die Einfahrtshälfte ist längsbelüftet, während die Ausfahrtshälfte eine Halbquerlüftung aufweist. An den Austrittsportalen und in der Tunnelmitte kann die Abluft abgesaugt werden und gelangt durch den Kamin in die oberirdische Lüftungszentrale, wo sie abgeblasen wird (weitere, detaillierte Angaben zu Planung, Bau und Tech-

nik des Gubristtunnels finden sich in [2]).

Verkehrszählungen

Zur Verkehrszählung standen inner- und ausserhalb der Tunnelröhren vier automatische Verkehrszählstellen der Kantonspolizei Zürich zur Verfügung. Eine 1989 durchgeführte Eichzählung des Planungsbüros Jud (Zürich) ergab, dass die automatischen Zählstellen den Gesamtverkehr mehr oder weniger zuverlässig erfassen. Hingegen herrschen bei der automatischen Bestimmung des Lastwagenanteils relativ grosse Unsicherheiten; die Aufwertungsfaktoren vom Mittelwert betragen hier 10-40%.

Messprogramm

Das erste Messprogramm wurde am 6. Juni 1987 gestartet. Dabei wurde die Tunnelluft jeweils 30 Meter vor dem Ende der Ausfahrtsportale mittels eines Teflonschlauches abgesogen und in den ausserhalb des Tunnels stehenden Messwagen geführt. Hier wurde sie kontinuierlich auf ihren Gehalt an Kohlenmonoxid und Stickoxiden untersucht und deren Höhe als ½-h-Mittelwerte aufgezeichnet. Bei den Schadstoffmessungen im Bereich der Ausfahrtsportale wurden nur die Daten verwendet, welche bei ausgeschalteter Tunnelventilation erhoben wurden, so dass die natürliche Längslüftung durch die Kolbenwirkung der Fahrzeuge zustande kam. Da die in der Nähe der Ausfahrtsportale austretende Tunnelluft alle im Tunnel anfallenden Abgasemissionen enthält, lassen sich zusam-

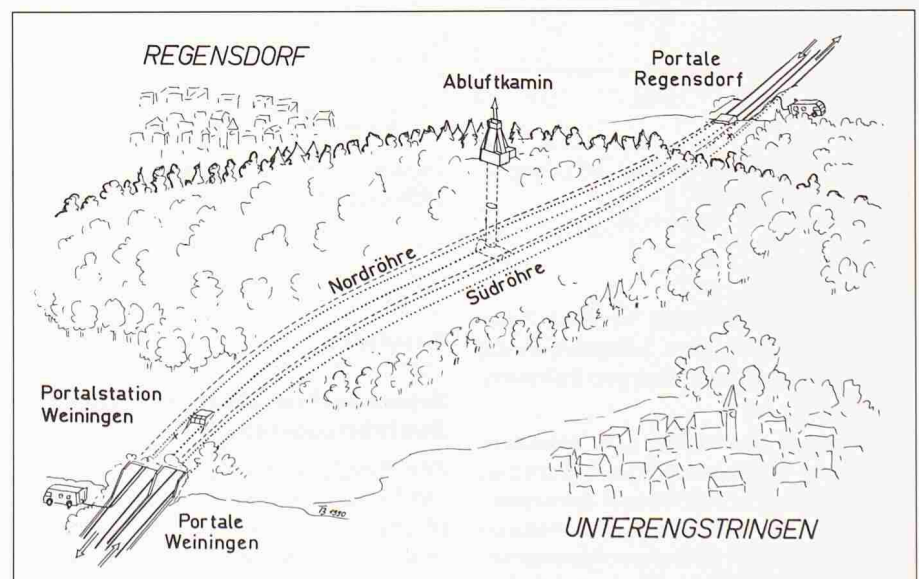


Bild 1. Der Gubristtunnel, schematische Darstellung, Nordröhre 3267 m, Südröhre 3250 m (verändert nach [2])

Kenngrösse	Nordröhre (fallend)	Südröhre (steigend)
Anzahl gültig erfasster Fz	368 213	441 263
Lastwagenanteil (%)	6,9	4,4
NO _x -Emiss. pro Fz (dm ³ /km)	0,82	2,05
CO-Emiss. pro Fz (g/km)	3,90	6,88

Tabelle 1. Kennwerte der Messungen 1988

Kenngrösse	Nordröhre (fallend)	Südröhre (steigend)
Anzahl gültig erfasster Fz	294 567	143 401
Lastwagenanteil (%)	11,0	5,3
NO _x -Emiss. pro Fz (dm ³ /km)	0,72	1,86
- pro Personenwagen	ca. 0,6-0,7	ca. 1,6-1,9
- pro Lastwagen	ca. 1,0-1,5	unsicher
CO-Emiss. pro Fz (g/km)	4,81	7,92
- pro Personenwagen	ca. 5-6	ca. 8-10
- pro Lastwagen	< 5	< 5

Tabelle 2. Kennwerte der Messungen 1989

Kenngrösse	Nordröhre (fallend)	Südröhre (steigend)
Anzahl gültig erfasster Fz	4900	19 337
Lastwagenanteil (%)	8,5	2,1
NO _x -Emiss. pro Fz (dm ³ /km)	0,76	1,23
CO-Emiss. pro Fz (g/km)	5,45	7,37

Tabelle 4. Kennwerte der Messungen 1989 im Abluftkamin

men mit den erhobenen Verkehrsdaten und der berechneten Längsströmung die mittleren Emissionen pro Fahrzeug ermitteln.

1989 wurde zusätzlich der Volumenstrom und die Schadstoffkonzentration im zentralen Abluftkamin gemessen, wobei die mechanische Tunnelventilation bei maximal zulässiger Absaugekapazität in Betrieb war. Dies ermöglichte somit die Erfassung aller im Tunnel angefallenen Abgasemissionen.

TAGESMITTELWERTE					
Messort: Gubristtunnel Nordröhre (fallend) Westportal (Heiningen)			Zeitraum: 13.7.1989 - 28.7.1989		
Datum	Schadstoffkonzentrationen		Verkehrsdaten		
	NO _x [ppm]	CO [mg/m ³]	M-tot [Fz/24h]	PW [PW/24h]	LW [LW/24h]
13. 7.89 DO 1)	*	*	34744	30522	4221
14. 7.89 FR 1)	2,0	11,2	37498	33448	4050
15. 7.89 SA 1)	,2	1,3	28952	28171	782
16. 7.89 SO 1)	,2	1,0	25968	25799	169
17. 7.89 MO 1)	2,3	12,9	31126	26924	4202
18. 7.89 DI	2,3	13,2	30280	26193	4088
19. 7.89 MI	2,4	13,8	31071	26876	4195
20. 7.89 DO	2,6	14,8	31469	27645	3823
21. 7.89 FR	2,6	17,0	33371	29767	3604
22. 7.89 SA	2,1	18,1	25581	24890	691
23. 7.89 SO	2,0	17,9	23768	23614	154
24. 7.89 MO	2,2	14,7	28465	25006	3458
25. 7.89 DI	2,0	14,5	28525	25059	3466
26. 7.89 MI	2,2	14,8	29262	25707	3555
27. 7.89 DO	2,2	15,5	29873	26646	3226
28. 7.89 FR	*	*	32935	29823	3112
Mittelwert ohne 1)	2,3	15,4	29509	26475	3034

* keine gültigen Messdaten
1) Absaugbetrieb von 13.7.89 ca.15 Uhr bis 17.7.89 ca.15 Uhr

TAGESMITTELWERTE					
Messort: Gubristtunnel Südröhre (steigend) Ostportal (Regensdorf)			Zeitraum: 28.7.1989 - 23.8.1989		
Datum	Schadstoffkonzentrationen		Verkehrsdaten		
	NO _x [ppm]	CO [mg/m ³]	M-tot [Fz/24h]	PW [PW/24h]	LW [LW/24h]
28. 7.89 FR	*	*	30524	27700	2823
29. 7.89 SA	5,4	25,5	23668	23230	438
30. 7.89 SO	4,8	24,5	21226	20940	287
31. 7.89 MO	6,0	21,2	25517	23157	2360
1. 8.89 DI	4,6	17,8	18218	17544	674
2. 8.89 MI	7,1	21,8	30999	28132	2876
3. 8.89 DO 1)	4,2	11,0	30230	27434	2796
4. 8.89 FR 1)	,5	1,4	30315	27511	2804
5. 8.89 SA 1)	,1	,9	24815	24356	459
6. 8.89 SO 1)	,1	,4	23707	23387	320
7. 8.89 MO 1)	*	*	28244	25631	2613
8. 8.89 DI	*	*	29687	26391	3295
9. 8.89 MI	*	*	30597	27767	2830
10. 8.89 DO	*	*	30863	28008	2855
11. 8.89 FR	*	*	32709	29683	3026
12. 8.89 SA	5,5	29,4	26970	26471	499
13. 8.89 SO	5,4	29,2	25773	25425	348
14. 8.89 MO	6,8	24,5	30809	27959	2850
15. 8.89 DI	6,7	24,4	31291	28396	2894
16. 8.89 MI	6,9	25,7	31029	27585	3444
17. 8.89 DO	7,1	23,5	*	*	*
18. 8.89 FR	7,3	24,8	*	*	*
19. 8.89 SA	5,8	28,6	27520	27011	509
20. 8.89 SO	5,5	28,3	25872	25523	349
21. 8.89 MO	6,8	23,4	30801	27952	2849
22. 8.89 DI	*	*	30842	27419	3424
23. 8.89 MI	*	*	32073	28513	3560
Mittelwert ohne 1)	6,1	24,8	28349	26240	2109

* keine gültigen Messdaten
1) Absaugbetrieb von 3.8.89 ca.14 Uhr bis 7.8.89 ca.14 Uhr

Tabelle 3. A: Tagesmittelwerte 1989 Gubristtunnel Nordröhre B: Tagesmittelwerte 1989 Gubristtunnel Südröhre

Resultate

Schadstoffmessungen bei den Ausfahrtsportalen

Die Resultate der ersten Messperiode 1987 sind durch verschiedene Gründe (Eichung/ unterschiedliches Eichgas) in ihrer Aussagekraft beschränkt, und es wird daher darauf verzichtet, sie hier detailliert wiederzugeben. 1988 wurden die Messungen wiederholt (Tabelle 1),

wobei aber noch keine Eichzählungen für die automatische Verkehrerhebung zur Verfügung standen.

Während der Messungen 1989 wurden jeweils Eichzählungen an beiden Röhren vorgenommen sowie die Selbstlüftung der Tunnelröhren berechnet. Bei der Verwendung der Daten mit Selbstlüftungswerten (Q_{SL}) > 250 m³/s und Fahrzeuggeschwindigkeiten (V_F) zwischen 85 und 115 km/h ergeben sich die in Tabelle 2 stehenden Kennwerte.

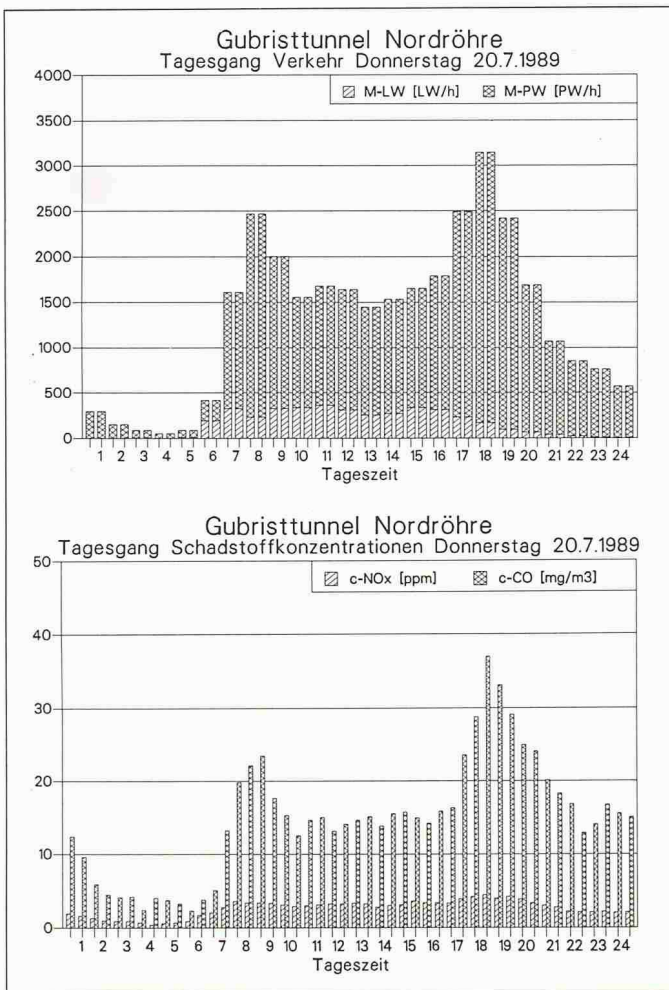


Bild 2. Tagesgang Gubristunnel Nordröhre, Werktag

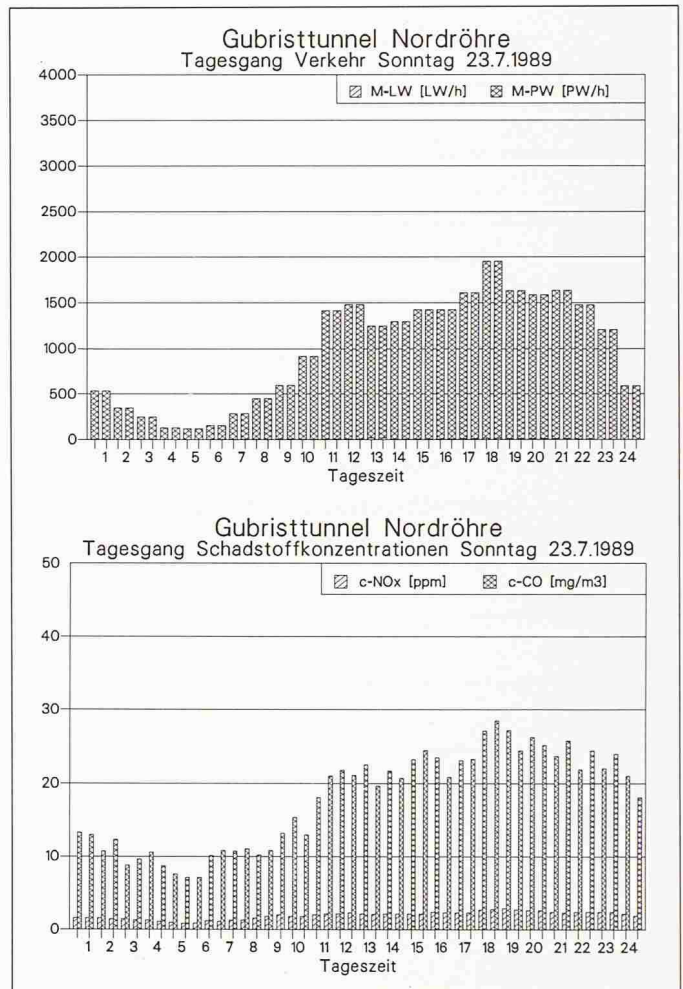


Bild 3. Tagesgang Gubristunnel Nordröhre, Sonntag

Messungen in der Gubristunnel-Südröhre ergaben eine recht konstante Längsströmung mit einer mittleren Geschwindigkeit von $8,5 \pm 1 \text{ m/s}$ ($Q_{SL} 408 \pm 50 \text{ m}^3/\text{s}$). Dieser Wert stimmt gut mit den unter verschiedenen verkehrsbedingten, meteorologischen und thermodynamischen Regimes berechneten Werten überein.

Die Tagesmittelwerte der Schadstoffkonzentrationen bei den Ausfahrtsportalen und die in der entsprechenden Tunnelröhre summierten Verkehrszahlen sind in Tabelle 3 zusammengestellt (die Verkehrsdaten wurden dabei gemäss den Eichzählungen korrigiert).

Anhand der Diagramme in den Bildern 2 und 3 sollen jeweils ein typischer Tagesgang des Verkehrs- und Schadstoffaufkommens an einem Werktag und an einem Sonntag gezeigt werden. Sie zeigen die an Werktagen markanten Spitzenwerte des Berufsverkehrs am Morgen zwischen 7 bis 9 Uhr und am Abend zwischen 17 und 19 Uhr. Der Schwerverkehr zeigt einen recht konstanten Verlauf und eine gewisse Tendenz zur Vermeidung der Spitzenzeiten beim Personenwagenverkehr. Die CO-Emissionen bei Personen- und bei Lastwagen unterscheiden sich weniger stark

voneinander, weshalb auch der Verlauf der CO-Konzentration sich in starkem Mass an den prozentual höheren PW-Verkehr anlehnt. Der Kurvenverlauf der NO_x -Konzentration widerspiegelt an Werktagen, bedingt durch den höheren NO_x -Austoss bei Lastwagen, einen etwas ausgeglicheneren Tagesgang.

Schadstoffmessungen beim Abluftkamin

Bei der Schadstoffmessung am Abluftkamin wurden der Abluftvolumenstrom und die Abluftkonzentration der Tunnelluft bei maximal zulässiger Absaugekapazität der Ventilatoren gemessen. Dadurch konnte mit Hilfe der Verkehrsbestimmung die mittlere Emission pro Fahrzeug berechnet werden. Die Kennwerte der gültigen Daten bei den ausgeführten Messungen am Abluftkamin sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Auswertung und Diskussion

Die Auswertung der Messwerte und die durch die Verkehrszählung ermittelte jeweilige Menge an Personen- und Lastwagen erlauben theoretisch eine lineare Darstellung zwischen dem Emissions-

faktor (siehe Kästchen) pro Fahrzeug und dem Lastwagenanteil. Der Wert für einen Lastwagenanteil von 0% entspricht dabei dem mittleren Emissionsfaktor eines Personenwagens und bei einem Anteil von 100% dem mittleren Emissionsfaktor eines Lastwagens.

Die vorliegenden Messdaten zur CO-Emission im Tunnel (Bild 4) ergeben allerdings aus der linearen Regression keine gesicherten Aufteilung der Emissionsfaktoren nach Personen- und Lastwagen. Dies hängt damit zusammen,

Emissionsfaktor (EF)

Der Emissionsfaktor gibt die pro Wegstrecke von einem Fahrzeug emittierte Masse einzelner Abgasbestandteile an (Einheit g/km). Er ist abhängig vom Motortyp (Otto/Diesel), vom Fahrzeug (Kategorie/Baujahr/Masse/Luftwiderstand) und der Fahrweise (Geschwindigkeit/stationär/instationär). Der mittlere EF wird aufgrund einer repräsentativen Auswahl von Fahrzeugen bestimmt; dabei berücksichtigt wird auch die Altersverteilung des Kollektivs. Eine detaillierte Darstellung zur Berechnung der Emissionsfaktoren finden sich in Literatur [3] und [4].

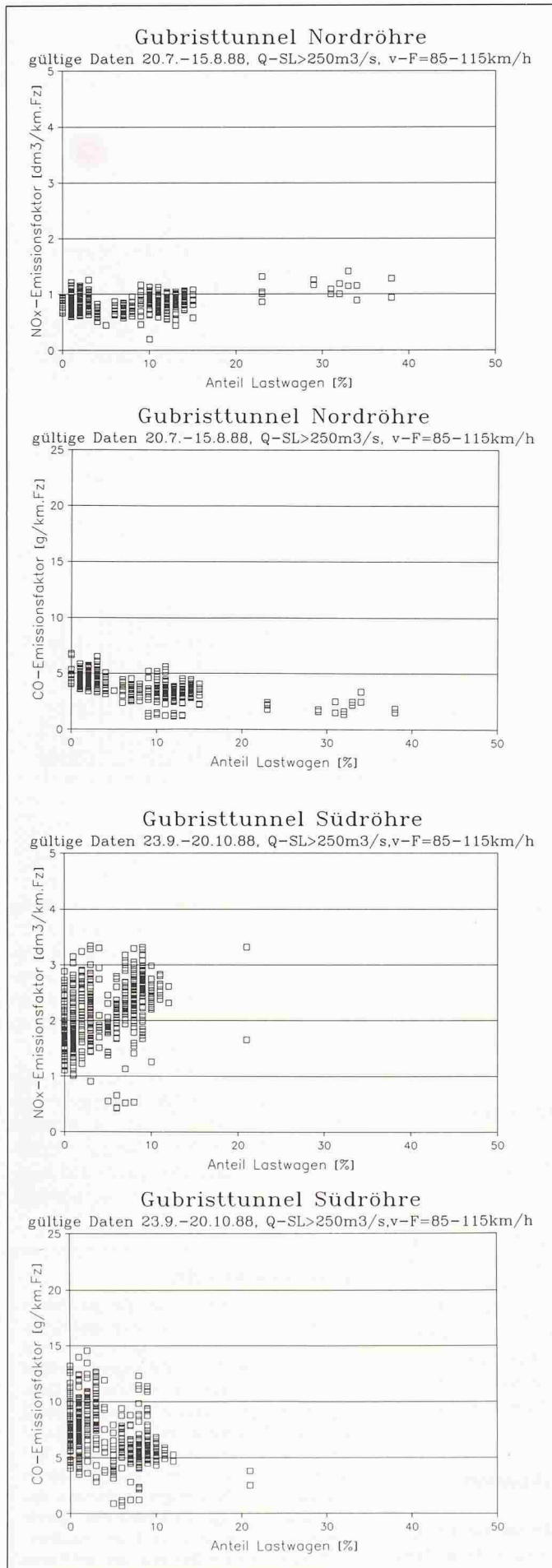


Bild 4. Resultate der Messungen 1988. A: Nordröhre. B: Süd- röhre

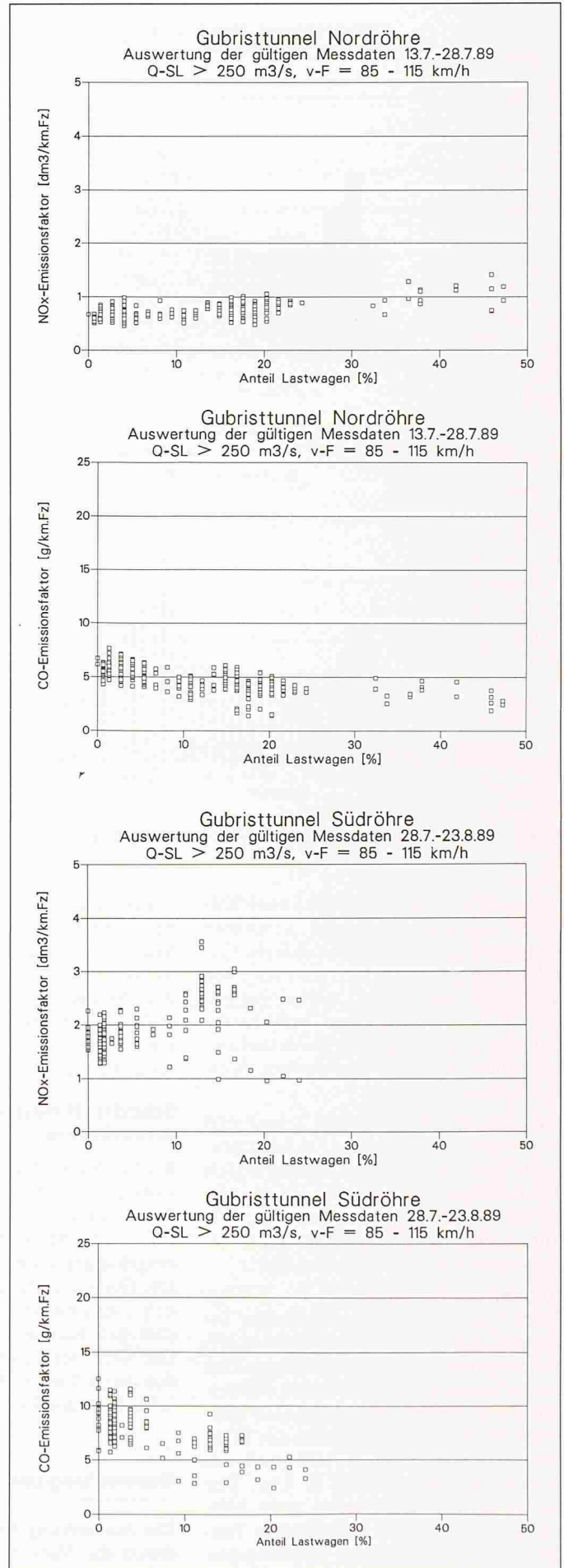


Bild 5. Resultate der Messungen 1989, Q-SL > 250 m³/s. A: Nordröhre. B: Süd- röhre

Literatur

- [1] Steinemann, U.: Verkehrs- und Schadstoffmessungen 1989 im Gubristtunnel. Studie im Auftrag des Amtes für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, Wollerau 1990
- [2] Schmid, A.: Übersicht über das Projekt des Gubristtunnels.- Schweizer Ingenieur und Architekt (1985), Heft 23/85, S. 3-6.
- [3] Bundesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Schadstoffemissionen des privaten Strassenverkehrs 1950-2000, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 55, Bern, 1986 und Nachtrag 1988.
- [4] Moussiopoulos, N., Öhler, W. & Zellner, K.: Kraftfahrzeugemissionen und Ozonbildung. Springer-Verlag, Berlin & New York, 1989.

dass die automatische Erfassung des prozentualen Lastwagenanteils mit grossen Unsicherheiten verbunden ist und dass vermutlich auch der Fahrablauf vom Fahrzeugkollektiv abhängig ist. Weiter machen sich individuelle Unterschiede im Abgasverhalten der Fahrzeuge vor allem in der steigenden Südröhre stark bemerkbar. Um den Effekt instationärer Einflüsse bei kleinem Verkehrsaufkommen auszuschliessen, wurden 1989 Diagramme mit Längsströmen von über 250 m³/s gesondert betrachtet (Bild 5).

Beim Vergleich der Resultate aus den Portalmessungen mit jenen am Abluft-

kamin und bei Berücksichtigung der Streubreite der Emissionsfaktoren und der unterschiedlichen Lastwagenanteile der verwendeten Daten, ergibt sich eine recht gute Übereinstimmung der Ergebnisse aus den beiden Messkonzepten.

Ziel der Schadstoffmessungen im Gubristtunnel war es, eine Erfolgskontrolle für die gegenwärtig wirksamen Vorschriften zur Abgasbegrenzung von Motorfahrzeugen vorzunehmen. Seit der Einführung der Verordnung über die Abgasemissionen leichter Motorwagen (FAV I) ist der Anteil der mit Katalysator ausgerüsteten Personen- und Lieferwagen deutlich gestiegen. So betragen diese Anteile im Kanton Zürich gegenwärtig etwa 50% bei den Personenwagen und etwa 25% bei den Lieferwagen und Kleinbussen (Angaben des Strassenverkehrsamtes des Kantons Zürich).

Die bei den Messungen in der Zeit zwischen 1987 und 1989 festgestellte leichte Abnahme der NO_x-Emissionsfaktoren (Tabellen 1 und 2) kann als Hinweis auf die Wirksamkeit emissionsseitiger Massnahmen (Katalysator an leichten Motorfahrzeugen) interpretiert werden. Ähnliche Hinweise in dieser Richtung erbrachte auch eine 1989 vom Gesundheitsinspektorat der Stadt Zürich durchgeführte Untersuchung am Milchbuck-Tunnel (Emissionsmessungen im Abluftkamin). Wenn man davon ausgeht, dass die Emissionen eines mit Katalysator bestückten Personen-

wagens pro gefahrenen Kilometer – je nach Schadstoff – etwa sieben bis zwölfmal niedriger sind [3, 4], so erstaunt eigentlich die nur geringe, festgestellte Abnahme des NO_x-Emissionsfaktors. Eine mögliche Erklärung dafür wäre der stetig zunehmende Anteil der schweren Motorwagen (Tabellen 1 und 2) im Tunnelverkehr, welche durch ihre hohen NO_x-Emissionen den Katalysator-Effekt der leichten Motorwagen überlagern.

Eine Erklärung für den Anstieg des CO-Emissionsfaktors bedarf noch weiterer Abklärungen und neuer Messungen.

Erste qualitative Auswertungen der Messungen vom Herbst 1990 zeigen in der steigenden Südröhre eine Abnahme des NO_x-Emissionsfaktors und damit weitere Anzeichen für die Wirksamkeit emissionsmindernder Massnahmen bei Personenwagen. Der Vergleich mit den Emissionsfaktoren des BUWAL [3] zeigt für den untersuchten Geschwindigkeitsbereich von 85-105 km/h eine gute Übereinstimmung. Dieses Resultat stützt somit auch die im Verkehrs-Prognosemodell des Kantons Zürich ermittelten Werte zur Luftbelastung.

Adresse des Verfassers: Dr. Toni Bürgin, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich (ATAL), Kasernenstrasse 49, 8090 Zürich.

Frühindustrielle Wasserkraftanlagen

Sanierung und Erhaltung solcher Werke im Zürcher Oberland
(Teil 2)

Am Standort des Industrie-Ensembles Neuthal soll die Wasserkraft schon im Mittelalter genutzt worden sein. Das heute wieder in den meisten Teilen ablesbare Wasserkraftsystem stammt hingegen aus der Zeit der frühindustriellen Entwicklung und ist mit dem Namen des legendären Adolf Guyer-Zeller verbunden. Als neuester Inhaber dieses Wasserrechts Nr. 137 (Bezirk Hinwil) hat der Kanton Zürich erfahren, dass die Unterhalts- und periodischen Wiederinstandstellungsarbeiten aufwendig, aber zugleich unerlässlich für dessen Fortbestehen sind, auch wenn die Kraft des Wassers nicht mehr genutzt wird.

Die ehemalige Wasserkraftanlage Neuthal bei Bäretswil

Geschichtliches

Am Standort der Fabrikanlage Neuthal zwischen Bäretswil und Bauma soll die

Wasserkraft schon im Mittelalter genutzt worden sein. Eine urkundliche Bestätigung des ersten Wasserrechtes hingegen stammt aus dem Jahre 1781 und berichtet von einem Mühlegewerbe, umfassend Mühle, Säge, Stampfe und Reibe. Im Jahre 1825 kaufte die

Der erste Teil dieses Beitrages erschien in Heft 3/91 vom 17.1.1991, Seite 40.

Firma Geilinger, Blum & Cie. die Mühle und das zugehörige Wasserrecht. Der Mühlebetrieb bestand aus einem grossen Mühlegebäude mit zwei 18 Fuss hohen Wasserrädern; die Wasserspeisung erfolgte über einen Zuleitungskanal vom Äusseren Weiher, wel-

VON HEINZ KASPAR UND
HEINZ WILLI WEISS,
ZÜRICH

cher mit dem Wasser vom Kringelbach und mit einem künstlichen Kanal vom Wissenbach gefüllt wurde. Bis zum Jahre 1838 wurden im Auftrag der neuen Fabrikbesitzer, der Herren Reinhard und Guyer, zwei ungefähr 40 Fuss hohe und 4,5 Fuss breite Wasserräder über-