Schadstoff-Emissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten

Emissions nocives à différentes vitesses

Etappe 2: 100/120 km/h

Die Schadstoff-Emissionen und der Benzinverbrauch wurden in Abhängigkeit von der signalisierten Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen (100 oder 120 km/h) untersucht.

Mit der Mobilen AbgasMessAnlage (MAMA) wurden auf zwei Messstrecken auf der A14/A4 zwischen Emmen und Cham mit zwei verschiedenen Fahrern Messfahrten bei Tempo 120 und 100 km/h absolviert.

Tempo 100 führt zu einer Verminderung der Schadstoff-Emissionen (ausser Kohlenwasserstoffe), des Verbrauchs und der CO_2-Emissionen und zu einem gleichmässigeren Fahrstil.

Die absoluten Unterschiede sind klein und haben auch bei hohen Verkehrsfrequenzen nur geringe Auswirkungen auf die Immissionsbelastung (Abnahme der NO_2-Konzentration im Nahbereich der Autobahn 1 - 3 µg/m³).

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Anhänge 5

Verzeichnis der Abkürzungen 6

Kurzfassung 7

Résumé 8

1. Messvorhaben 9

1.1 Einleitung 9
1.2 Auftrag 10
1.3 Zielsetzung 11

2. Die Mobile AbgasMessAnlage (MAMA) 12

2.1 Methodik 12
2.2 Übertragbarkeit der MAMA-Ergebnisse 12

3. Messbedingungen 14

3.1 Messgebiete/Messorte 14
3.2 Messstrecken 17
3.3 Verschiedene Temporegimes 18
3.4 Fahrweise/Anzahl Fahrer 19
3.5 Messparameter der MAMA 20
3.6 Tageszeit der Messungen 20
3.7 Übrige Messbedingungen 21

4. Messprogramm 22

4.1 Anzahl der Messfahrten 22
4.2 Gültigkeit/Ungültigkeit einer Messfahrt 22
4.3 Zeitplan 23

5. Ergebnisse 24

5.1 Verbrauch 25
5.2 Kohlendioxid-Emissionen 27
5.3 Stickoxid-Emissionen 29
5.4 Kohlenmonoxid-Emissionen 31
5.5 Kohlenwasserstoff-Emissionen 33
5.6 Mittlere Geschwindigkeiten 35
5.7 Verteilung der Betriebszustände 37
5.8 Verlauf Geschwindigkeit über Zeit 39
5.9 Gangwahl 39
5.10 Zusätzlicher Fahrer 39
5.11 Ohne Katalysator 41
5.12 Abschätzung der Emissionsreduktion pro Tag 45

6. Zusammenfassung der Ergebnisse 46

7. Diskussion 48

7.1 Allgemeines 48
7.2 Abschätzung der absoluten Auswirkung 49

8. Fazit 55

9. Literatur- und Quellenverzeichnis 56

Verzeichnis der Anhänge

			Seite
Anhang	1	Auszug aus «Luft-Programm 1996» (ATAL, Zürich)	58
Anhang	2	Die**M**obile**A**bgas**M**ess**A**nlage (MAMA)	59
Anhang	3	Auszug aus «Die **M**obile **A**bgas**M**ess**A**nlage – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark»	61
Anhang	4	Ergebnisse der Zählstelle «Ebikon Tunnel Rathausen»	64
Anhang	5	Ergebnisse der Zählstelle «Gunzgen (AB)»	65
Anhang	6	Messstrecke 1: Emmen – Gisikon (eben)	66
Anhang	7	Messstrecke 2: Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)	67
Anhang	8	Anzahl der Messfahrten pro Temporegime etc.	68
Anhang	9	Zusammenstellung der Messtage	70
Anhang	10	Verlauf Geschwindigkeit über Zeit	71
Anhang	11	Mitglieder der Begleitkommission	73

Verzeichnis der Abkürzungen

Verbände, Institutionen

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
ASB	Bundesamt für Strassenbau
ATAL	Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
EVED	Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bern
GS EVED	Generalsekretariat EVED
GVF	Dienst für Gesamtverkehrsfragen
TCS	Touring Club Schweiz
UBA	Umweltbundesamt (Deutschland)
VSS	Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute

Lufthygiene

CO	Kohlenmonoxid
CO_2	Kohlendioxid
HC	Kohlenwasserstoffe
NO_x	Stickoxide
NO_2	Stickstoffdioxid

Diverses

DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
Fz	Fahrzeuge
Lw	Lastwagen
MAMA	MobileAbgasMessAnlage
Pw	Personenwagen

Kurzfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes «Schadstoff-Emissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten» wurde die zweite Etappe (100/120 km/h) realisiert.

In vielen kantonalen Massnahmenplänen wird vorgeschlagen, durch die Reduktion der Höchstgeschwindigkeit von 120 auf 100 km/h auf bestimmten Autobahnen die Schadstoff-Emissionen zu vermindern.

Mit der**M**obilen**A**bgas**M**ess**A**nlage (MAMA) wurden mit zwei Fahrern auf zwei verschiedenen Messstrecken Messfahrten zu Benzinverbauch, CO_2- und Schadstoff-Emissionen unter zwei Temporegimes (T 120 und T 100) durchgeführt. Andere Aspekte wie Lärm, Verkehrssicherheit etc. sind nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

Die erste Messstrecke diente den Messfahrten bei viel und wenig Verkehr. Die zweite Messstrecke wurde befahren, um den Einfluss von Steigungen und Gefällen auf die Unterschiede zwischen 120 und 100 zu untersuchen (beide Strecken auf A14/A4 zwischen Emmen und Cham).

Bei den Messfahrten betrug die tatsächliche Differenz zwischen T 120 und T 100 ca. 19 km/h. Die effektiven Unterschiede zwischen 100 und 120 sind allerdings geringer. Auf dem Schweizer Autobahnnetz beträgt die durchschnittliche Differenz nur rund 13 km/h.

Beim Wechsel vom Temporegime T 120 zu T 100 nehmen der Benzinverbrauch, die CO_2- und die Schadstoff-Emissionen (ausser Kohlenwasserstoffe) ab. Die Unterschiede mit/ohne Katalysator sind bedeutend grösser als jene zwischen 100 und 120 km/h.

Die Erhöhung des zeitlichen Anteils des Betriebszustandes «Konstantfahrt» und die entsprechende Abnahme bei «Beschleunigung» und «Verzögerung» sind Ausdruck eines gleichmässigeren Fahrstils.

Es handelt sich beim Trägerfahrzeug der MAMA um ein einziges Auto. Die Erkenntnisse aus den Messungen mit der MAMA können in ihrer relativen Bedeutung tendenziell auf einen Grossteil des Schweizer Personenwagenparks übertragen werden.

Unterschiede in Prozenten können ein Ergebnis in gänzlich anderem Licht darstellen als Unterschiede in Absolutwerten. Die Emissionen und Emissionsunterschiede eines Autos mit Katalysator sind auch bei diesen Autobahn-Geschwindigkeiten sehr tief. Die Unterschiede in Prozenten ausgedrückt können hingegen beträchtlich sein.

Die Auswirkungen von Tempo 100 auf die NO_2-Immissionen sind deutlich geringer (im Nahbereich der Autobahn 1 - 3 µg/m³ oder 5 - 10 % des Immissionsgrenzwertes) als die relativen Unterschiede bei den Emissionen der Personenwagen.

Résumé

La deuxième étape (100/120 km/h) du projet de recherches «Emissions nocives à différentes vitesses» est achevée.

On trouve, dans bien des plans cantonaux de mesures, des propositions visant à diminuer les émissions nocives sur certaines autoroutes en réduisant la vitesse maximale de 120 à 100 km/h.

La consommation de carburant et les émissions ont été mesurées avec la station mobile de mesure des gaz d'échappement (MAMA pour «**M**obile **A**bgas**M**ess**A**nlage»). Ces mesures ont été réalisées par deux conducteurs sur deux parcours situés sur la A14/A4 entre Emmen et Cham et ce, à deux régimes de vitesse (100 et 120 km/h). D'autres aspects tels que bruit, sécurité routière etc. ne font pas l'objet de la présente étude.

Le premier parcours a permis d'effectuer les courses de mesure en circulation dense et moins dense. Sur le deuxième parcours, il s'agissait de déterminer l'influence des montées et des descentes sur les différences entre les deux régimes de vitesse 120 et 100.

Lors des courses de mesures, la différence de vitesse réellement mesurée entre les régimes 120 et 100 était de 19 km/h environ. Cependant, les différences effectives entre 100 et 120 sont plus faibles. Sur le réseau suisse d'autoroutes, la différence moyenne est de 13 km/h seulement.

En passant du régime de vitesse 120 à 100 km/h, la consommation d'essence et les émissions diminuent (excepté pour les hydrocarbures). Les différences avec/sans catalyseur sont nettement plus élevées que celles constatées entre 100 et 120 km/h.

L'augmentation de la part «vitesse constante» du temps de fonctionnement et la réduction correspondante des «accélérations» et «ralentissements» sont le reflet d'une conduite plus régulière.

Le véhicule porteur de la MAMA est une voiture unique. Les résultats des mesures obtenues avec cette voiture permettent toutefois de dégager une tendance relative pouvant être reportée sur une grande partie du parc automobile suisse.

Des différences en pour-cent peuvent éclairer un résultat de manière complètement différente que des différences en valeur absolue. Pour une voiture catalysée, les émissions et les différences d'émissions sont, à ces vitesses autoroutières également, très faibles. Par contre, exprimées en pour-cent, les différences peuvent être considérables.

Les effets de la vitesse 100 sur les immissions de NO_2 sont nettement plus faibles (à proximité de l'autoroute, 1 à 3 µg/m³ ou 5 à 10 % de la valeur limite d'immission) que les différences relatives dans les émissions des voitures de tourisme.

1. Messvorhaben

1.1 Einleitung

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um die zweite Etappe des Forschungsprojektes «Schadstoff-Emissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten». Im Zentrum dieser zweiten Etappe stehen die Autobahn-Geschwindigkeiten von 100 und 120 km/h.

Die erste Etappe befasste sich mit den Innerorts-Geschwindigkeiten von 30 und 50 km/h. Die Ergebnisse der Untersuchung zu diesen Geschwindigkeiten wurden als Messbericht vom Bundesamt für Strassenbau (ASB) in analoger Form zum vorliegenden Bericht veröffentlicht [14]. Die Nummer in eckigen Klammern bezieht sich auf das Literaturverzeichnis in Kapitel 9. Das Forschungsprojekt zu Schadstoff-Emissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten sieht als dritte Etappe Messungen beim Geschwindigkeitspaar 80/100 km/h und als vierte Etappe Messungen bei den Geschwindigkeiten von 60 und 80 km/h vor [13].

Im Zusammenhang mit der Einrichtung und der wissenschaftlichen Beobachtung von Autobahnteilstücken, auf welchen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h begrenzt ist, sind Aussagen zum Geschwindigkeitspaar 100/120 km/h hochaktuell. Die Diskussion um die entsprechenden Vor- und Nachteile ist noch lange nicht abgeschlossen. Es geht dabei um die Aspekte Luftreinhaltung, Verkehrssicherheit und Lärm.

Diese Forschungsarbeit beleuchtet das Thema aus dem Blickwinkel der **Auswirkungen auf die Schadstoff-Emissionen und den Verbrauch.** Weitere Aspekte wie **Sicherheit, Lärm etc. sind nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.**

In der Forschungsarbeit geht es ebenfalls nicht darum, einen umfassenden Überblick zum Thema Tempo 100 zu geben. Im Zentrum stehen die mit der **M**obilen **A**bgas**M**ess**A**nlage (MAMA) durchgeführten Messungen.

Mehr und mehr werden globale Emissionsbeurteilungen durch lokale Betrachtungen ergänzt, weil Überschreitungen des NO_2-Grenzwertes vor allem in städtischen Gebieten zu verzeichnen sind. Die weitere Verbesserung der Luftqualität in Städten und Agglomerationen wird deshalb durch Emissionsverminderungen in diesen Gebieten angestrebt.

Die Autobahngeschwindigkeiten stehen vor allem dann im Zentrum der Diskussionen, wenn es um Stickoxide und Ozon geht, oder wenn die Autobahnen Agglomerationen durchqueren.

Mit dem Ziel einer Verminderung der Ozonbelastung wurde während der Monate Juli und August 1991 folgender Versuch [1] durchgeführt: Auf von den Kantonen individuell festgelegten Autobahnstücken galt eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h für Personenwagen und eine solche von 70 km/h für Lastwagen (ausgenommen Gesellschaftswagen). Im Rahmen dieser Untersuchung wurden aber keine Emissionsmessungen durchgeführt, sondern die Verminderung der Schadstoff-Emissionen wurde aufgrund von gemessenen Geschwindigkeiten und bekannten Emissionsfaktoren errechnet.

Eine Verminderung der heute gültigen Höchstgeschwindigkeiten auf siedlungsnahen Autobahnen um 20 km/h sowohl für Personenwagen als auch für Lastwagen ist als Massnahme auch im «Luft-Programm 1996» für den Kanton Zürich enthalten (Anhang 1) [10].

Die Auswirkungen von Tempo 100 anstelle von 120 wurden schon in verschiedenen Untersuchungen dargestellt. Der Bericht der umfangreichen Studie «Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950–2010» [11], durchgeführt vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und vom deutschen Umweltbundesamt (UBA), enthält Informationen zu diesen Geschwindigkeiten.

Der Bericht des BUWAL und das dazugehörende Handbuch auf Disketten [3] dokumentieren den Ablauf der Untersuchungen und die Ergebnisse ausführlich.

Den Emissionsfaktoren, die in diesem Programm verwendet werden, liegen Prüfstandsfahrten auf gesetzlichen und anderen Zyklen zu Grunde. Die Messergebnisse dieser Fahrten werden so aufbereitet, dass man die Emissionswerte für gewünschte Verkehrssituationen erhält.

Die **M**obile **A**bgas **M**ess **A**nlage (MAMA) des TCS ermöglicht die Messung des Verbrauchs und der Schadstoff-Emissionen direkt im Verkehr. Dieser einzigartigen Möglichkeit bedient man sich, um zur Klärung der Frage der Unterschiede der verschiedenen Autobahn-Geschwindigkeiten beizutragen. Mit Hilfe der MAMA kann ein direkter Vergleich der Verhältnisse bei den beiden Höchstgeschwindigkeiten realisiert werden.

Im Sinne einer sachgerechten Information muss stets die Bedeutung der relativen und absoluten Unterschiede klar aufgezeigt werden.

1.2 Auftrag

Mit der **M**obilen **A**bgas **M**ess **A**nlage wurden auf zwei verschiedenen Messstrecken Messfahrten unter zwei verschiedenen Temporegimes durchgeführt. Die Ergebnisse müssen in einer Art aufbereitet werden, dass sie für die Praxis von grösstmöglichem Nutzen sind. Nicht nur bei Ämtern und Institutionen, sondern auch bei Politikern und Privaten sollen sie mehr Klarheit geben zur Frage der Umweltrelevanz von Tempo 100 gegenüber Tempo 120.

1.3 Zielsetzung

Oberziele

Mittels der **M**obilen **A**bgas**M**ess**A**nlage soll eine Grundlage für eine fachlich korrekte Beurteilung der in vielen kantonalen Massnahmenplänen vorgeschlagenen Einführung von niedrigeren Höchstgeschwindigkeiten geschaffen werden. Die Messbedingungen müssen in einer Art und Weise definiert werden, dass die Messergebnisse eine Beantwortung der – bereits im Kreditbegehren genannten – folgenden Fragen ermöglichen:

- Wie verhalten sich die Emissionen an Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO_2), Kohlenwasserstoffen (HC) und Stickoxiden (NO_x) bei Regimes mit einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 100 beziehungsweise 120 km/h?
- Wie verhält sich der Benzinverbrauch bei Regimes mit einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 100 beziehungsweise 120 km/h?

Unterziele

Zusätzlich soll auch eine Antwort gesucht werden auf die Frage, wie sich der Fahrstil in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ändert. Der Fahrstil wird ausgedrückt durch die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Verteilung der Fahrzeit auf die vier Betriebszustände Stillstand, Konstantfahrt, Beschleunigung und Verzögerung und die Verteilung der gefahrenen Geschwindigkeiten. Zusätzlich können Geschwindigkeits-Zeit- oder Geschwindigkeits-Weg-Diagramme zur Dokumentation des Fahrstils herangezogen werden.

Weitere Aspekte wie zum Beispiel Verkehrssicherheit und Lärm, die für die Beurteilung tieferer Geschwindigkeiten ebenfalls von Bedeutung sind, sind nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

2. Die Mobile AbgasMessAnlage (MAMA)

2.1 Methodik

Die **M**obile **A**bgas**M**ess**A**nlage (MAMA) besteht aus drei Teilen. Beim Teil 1 handelt es sich um das Trägerfahrzeug. Zur Zeit ist es ein VW Golf, ausgerüstet mit einem 1.8 l-Motor, geregelter Einspritzung und Dreiwegkatalysator. Die Anlage kann auch in ein anderes Trägerfahrzeug eingebaut werden.

Als Teil 2 kann man die Analyseanlage bezeichnen. Die vier Bausteine dieser Anlage erlauben eine sehr präzise Analyse der während der Fahrt anfallenden Abgase des Trägerfahrzeugs.

Teil 3 bildet der Computer. Zusammen mit den genauen Angaben über die Geschwindigkeit und den Verbrauch errechnet er die gewünschten Daten auf der Basis der von der Analyseeinheit zur Verfügung gestellten Emissionskonzentrationen.

Während der Fahrt auf einem sorgfältig anhand verschiedener Kriterien ausgewählten Messparcours werden permanent der Verbrauch gemessen und die Abgase analysiert. Am Ende einer Messfahrt liegen die Werte für die einzelnen Parameter in der gewünschten Form vor. Nach statistischen Gesichtspunkten wird entschieden, wie oft der ausgewählte Parcours zu absolvieren ist.

Eine genauere Beschreibung dieser exklusiven Anlage ist einerseits im Anhang 2, anderseits in einzelnen der im Literaturverzeichnis genannten Quellen [4, 5, 13] enthalten.

2.2 Übertragbarkeit der MAMA-Ergebnisse

Bei der MAMA handelt es sich um eine Messanlage im Wert von CHF 500'000.–. Diese sehr exklusive Anlage (in Europa existiert nur noch eine einzige derartige Anlage mit gleich hohem technischem Entwicklungsstand bei Volkswagen in Wolfsburg) macht Schadstoff-Emissionsmessungen **direkt** im Verkehr möglich. Bisher waren solche Messungen mit vertretbarem Aufwand nur mittels Simulation auf dem Prüfstand möglich.

Im Hinblick auf eine genaue und exakte Aussage für den gesamten schweizerischen Personenwagenpark wäre es optimal und wünschenswert, dass man 30 oder 40 solcher Fahrzeuge hätte, von denen jedes eine Kategorie des schweizerischen Fahrzeugparkes repräsentieren könnte.

Da dies mit immensen Kosten verbunden wäre, gilt es, die Möglichkeiten der einzigen zur Verfügung stehenden Anlage optimal zu nutzen. Bereits bei der Beschaffung dieser Anlage wurde viel Wert darauf gelegt, als Trägerfahrzeug dasjenige Auto auszuwählen, das am ehesten geeignet ist, als einzelner Personenwagen den schweizerischen Fahrzeugpark zu vertreten.

Vergleiche von Ergebnissen der MAMA mit solchen von verschiedenen Fahrzeugkollektiven haben gezeigt, dass die mobile Anlage bezüglich der absoluten Werte für den Benzinverbrauch und die Kohlendioxid-Emissionen als gutes Abbild der Autos mit Katalysator gelten kann.

Stellt man die Resultate der MAMA für die Schadstoff-Emissionen (Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid) den Resultaten der Vergleichskollektive gegenüber, so wird deutlich, dass sich die absoluten Niveaus je nach Messbedingungen zum Teil deutlich unterscheiden. Es lassen sich auch keine eindeutigen und allgemein gültigen Faktoren für das Verhältnis zwischen Emissionswerten der MAMA und solchen des Fahrzeugparks definieren.

Bei bestimmten Messbedingungen lassen sich die absoluten Emissionswerte der MAMA, abgestützt auf umfangreiche Vergleichsmessungen, näherungsweise auf den gesamten Park übertragen.

Im vorliegenden Fall und in allen bisherigen Messprojekten geht, beziehungsweise ging, es nicht um eine Betrachtung der absoluten Niveaus, sondern um den Vergleich verschiedener Werte.

Unabhängig von Zylinderzahl, Hubraum und anderen technischen Daten gelten heute für alle Autos die gleichen Schadstoffgrenzwerte, die bei Autos mit Benzinmotor einen Katalysator zur Bedingung machen. Die physikalischen Randbedingungen wie Luftwiderstand, Rollwiderstand etc. gelten für alle Autos in gleicher Art und Weise. Aufgrund dieses Sachverhaltes können relative Unterschiede zum Beispiel zwischen zwei verschiedenen Temporegimes wie im vorliegenden Fall in ihrer Tendenz auf den Personenwagenpark übertragen werden.

Die **M**obile **A**bgas**M**ess**A**nlage eignet sich besonders für Vergleichs-Untersuchungen.

Trotz gewisser Einschränkungen (siehe Anhang 3 beziehungsweise Bericht «Die **M**obile **A**bgas**M**ess**A**nlage – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark» [4]) wird aus den zur Verfügung stehenden Mitteln das Maximum herausgeholt, um für die Entscheidungen zugunsten einer Verminderung der Luftbelastung durch die Personenwagen auf direkt im Verkehr erhobenen Zahlen basieren zu können.

3. Messbedingungen

3.1 Messgebiete/Messorte

Optimal ist es, wenn man auf der gleichen Strecke sowohl bei der signalisierten Geschwindigkeit von 120 km/h als auch bei 100 km/h messen kann («Vorher-/Nachher-Messungen»). Um die Messungen auf diese Art innerhalb einer vernünftigen Zeitdauer durchführen zu können, bedarf es Strecken, die von 120 auf 100 km/h umsignalisiert werden oder umgekehrt.

Solche Strecken konnten keine gefunden werden.

Es wurden dann umfangreiche Abklärungen für Messungen auf zwei verschiedenen Autobahnstücken durchgeführt. Diesen Abklärungen lag die Idee zugrunde, zuerst auf einem Autobahnstück bei signalisierten 120 km/h bei dieser Geschwindigkeit zu messen. Auf einem in den wesentlichen Parametern ähnlichen Stück Autobahn mit der signalisierten Geschwindigkeit von 100 km/h sollte zum Vergleich mit 100 km/h gemessen werden.

Es wurden in der ganzen Schweiz Autobahnteilstücke, die mit der Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h signalisiert sind, gesucht. Aus der Gesamtheit der zur Verfügung stehenden Strecken wurden Autobahnstücke am Walensee und auf der Umfahrung von St.Gallen ausgewählt.

Mit der **M**obilen **A**bgas**M**ess**A**nlage (MAMA) wurden auf diesen Autobahnstücken Probemessungen absolviert.

Es zeigte sich, dass es sehr schwierig ist, zwei Autobahnstücke zu finden, die sich in den wesentlichen Kriterien ähnlich sind. Schon eine geringe Änderung der Längsneigung führt zu anderen Werten für den Verbrauch und die Emissionen.

Demzufolge musste auf diese Messkonzeption verzichtet werden.

Als weitere Möglichkeit bot sich an, auf demselben Autobahnstück bei verschiedenen Geschwindigkeiten zu messen. Mit der Zustimmung der Begleitkommission wurde schliesslich nach dieser Variante verfahren.

Es wird einerseits bei der gesetzlich erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h gemessen. Auf demselben Strassenstück werden aber auch Messfahrten mit der Geschwindigkeit von 100 km/h absolviert.

Der Auswahl der Messstrecken liegen die folgenden Anforderungen zugrunde:

Verkehrsfrequenzen

Es ist vorstellbar, dass bei diesem Geschwindigkeitspaar der Einfluss des übrigen Verkehrs gross ist. Deshalb soll bei dichtem und bei wenig Verkehr gemessen werden.

Um Messungen bei viel oder bei wenig Verkehr durchführen zu können, genügt es nicht, eine Stelle des Strassensystems auszuwählen, die einen hohen Wert für den «Durchschnittlichen Tagesverkehr» (DTV; Durchschnitt des 24-Stundenverkehrs aus alien Wochentagen) aufweist. Es ist notwendig, dass man den Verlauf der Verkehrsfrequenzen über den Tag kennt. Nur so können Messfahrten wirklich bei dichtem Verkehr absolviert werden.

Die kantonale Zählstelle 167 «Ebikon, Rathausen (AB)» (Anhang 4) weist für den Juni 1995 einen Wert von 38'708 Fahrzeugen für den DTV auf. Die Zählstelle 060 des Bundesamtes für Strassenbau, «Gunzgen (AB)» (Anhang 5), übertrifft diesen Wert mit 68'793 Fahrzeugen deutlich.

Betrachtet man dagegen die morgendlichen stündlichen Werte, so liegen jene der Autobahn bei Gunzgen in einer Richtung bei rund 2'700 Fahrzeugen. Auf der Autobahn zwischen Luzern und Zug liegen die Werte bei rund 2'400 Fahrzeugen. Der Unterschied ist viel geringer als zwischen den beiden DTV.

Steigungen/Gefälle

Speziell für die Schweiz ist es wichtig, dass Messstrecken ausgewählt werden, die auch Antworten auf die Frage des Einflusses von Steigungen und Gefällen auf die Unterschiede zwischen Tempo 120 und Tempo 100 zulassen.

Das schweizerische Autobahnnetz weist eine Länge von rund 1'500 km auf. Gemäss Auskunft des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements (GVF/EVED) weisen 67 Prozent dieses Netzes Neigungen zwischen Null und einem Prozent auf. Rund 24 Prozent beträgt der Anteil der Strecken mit einer Neigung zwischen einem und zwei Prozent. In der Generalisierung des digitalen Strassennetzes GVF werden nur durchschnittliche Neigungen für längere Strecken ausgewiesen. Deshalb werden über- oder unterdurchschnittliche Neigungen, die nur für kurze Teilstücke gelten, nicht erfasst.

Die restlichen neun Prozent verteilen sich auf Neigungen und Gefälle bis vier Prozent. Ausnahmsweise kommen bei Autobahnen auch noch stärkere Neigungen vor. Autostrassen mit 100 km/h Höchstgeschwindigkeit weisen Neigungen bis sechs Prozent auf, solche mit 80 km/h Höchstgeschwindigkeit Neigungen bis acht Prozent. Diese Grenzen sind in den Normen der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) festgelegt.

Die schliesslich ausgewählte Messstrecke zwischen Gisikon und Cham weist Neigungen zwischen Null und drei Prozent auf. Sie eignet sich demzufolge, um den Einfluss von Steigungen und Gefällen auf die Unterschiede zwischen Tempo 100 und 120 zu untersuchen.

Bei der Auswahl der Messgebiete sind Kompromisse unvermeidlich. Selten ist das optimale Messgebiet zu finden. So kann zum Beispiel auch ein Messgebiet in der Ebene leichte Steigungen aufweisen, oder eine kleine Baustelle kann zu eventuellen Störungen führen.

Das lässt sich bei Messungen direkt im Verkehr nicht verhindern, denn gerade der Einbezug der Realität mit ihren «Unsicherheiten» ist ein Vorteil dieses Messprinzips. Für Prüfstandsmessungen können die Randbedingungen sehr genau und reproduzierbar festgelegt werden. Deshalb eignen sich solche Messungen für Emissionshochrechnungen. Sie sind aber für Detailuntersuchungen nur beschränkt geeignet.

Aufgrund dieser Randbedingungen wurden zwei Autobahnstücke in der Umgebung von Luzern als Messgebiete ausgewählt.

Viel/wenig Verkehr bei ebener Autobahn:
Zwischen Einfahrt/Ausfahrt Emmen-Süd
und Einfahrt/Ausfahrt Gisikon, Autobahn A14

Mit Steigungen und Gefällen:
Zwischen Einfahrt/Ausfahrt Gisikon und
Einfahrt/Ausfahrt Cham, A14 und A4



Die MAMA an ihrem Stützpunkt

3.2 Messstrecken

In den folgenden Tabellen werden die beiden Strecken auf den Autobahnen A14 und A4 genau charakterisiert.

Die Messfahrten wurden jeweils sowohl in Richtung Zug als auch in Richtung Luzern absolviert. Dadurch konnten richtungsspezifische Einflüsse wie Wind etc. eliminiert werden.

Messstrecke 1: Emmen – Gisikon (Eben, viel/wenig Verkehr; Anhang 6)	
Kriterium	**Charakteristik**
Geographische Lage	Zentralschweiz, zwischen Zug und Luzern
Streckenlänge	6.3 km
Start	Unterführung unter Kantonsstrasse Inwil – Buchrain
Ende	Kantonsschild Ende Luzern nach Ausfahrt Gisikon
Topographie	Nur geringe Steigungen und Gefälle
Höhe über Meer	Ca. 410 m
Anzahl Fahrspuren pro Richtung	2 plus Pannenstreifen
Signalisation	120 km/h durchgehend

Messstrecke 2: Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle; Anhang 7)	
Kriterium	**Charakteristik**
Geographische Lage	Zentralschweiz, zwischen Zug und Luzern
Streckenlänge	7.2 km
Start	Kantonsschild Ende Luzern nach Ausfahrt Gisikon
Ende	Brücke über Kantonsstrasse nach Ausfahrt Cham
Meereshöhe Start	ca. 400 m
Meereshöhe Kulmination	ca. 465 m
Meereshöhe Ende	ca. 430 m
Max. Steigung/Gefälle	3 %
Anzahl Fahrspuren pro Richtung	2 plus Pannenstreifen
Signalisation	120 km/h durchgehend

3.3 Verschiedene Temporegimes

Bei den vorliegenden Messungen geht es um die Unterschiede zwischen Fahrten mit einer maximal erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 120 und solchen mit einer maximal erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Im weiteren Verlauf spricht man demzufolge von den beiden folgenden Temporegimes:

- ❑ Temporegime T 120: Maximal erlaubte Höchstgeschwindigkeit 120 km/h
- ❑ Temporegime T 100: Maximal erlaubte Höchstgeschwindigkeit 100 km/h

Es ist strikte zu unterscheiden zwischen «Temporegime» und «Fahrweise». Mit der Fahrweise befasst sich das folgende Kapitel.

Das Fahren exakt nach Tacho ist der Verkehrssicherheit abträglich (weil man dann die Augen auf den Tacho statt auf die Strasse richtet) und führt zu einem dauernden Gasgeben und Bremsen.

Massgebend für die während der Messfahrten zu fahrende Geschwindigkeit ist die auf dem Fahrzeugtacho angezeigte und nicht die effektiv und genau gefahrene Geschwindigkeit. Der Automobilist muss sich auch am Tacho orientieren.

Beim Temporegime T 120 gilt grundsätzlich die Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h. Bei Überholvorgängen oder in Gefällen wurde ein Toleranzbereich von 10 % gegen oben akzeptiert. Dies entspricht der Realität, wie Beobachtungen gezeigt haben.

Für das Temporegime T 100 gilt die analoge Regelung.

3.4 Fahrweise/Anzahl Fahrer

Kein Automobilist fährt genau gleich wie der andere. Und selbst der gleiche Automobilist fährt mal so und mal so.

Analog zur ersten Etappe, bei der es um Innerorts-Geschwindigkeiten ging, wurden auch bei der hier vorliegenden zweiten Etappe Messfahrten mit zwei verschiedenen Fahrern durchgeführt.

Nach den ersten Fahrten des zweiten Fahrers (Fahrweise offensiv gegenüber normaler Fahrweise des hauptsächlichen Fahrers) zeigte sich, dass sich dessen Ergebnisse von jenen des hauptsächlichen Fahrers bezüglich des absoluten Niveaus unterscheiden. Die relativen Unterschiede zwischen den beiden Geschwindigkeiten hingegen bleiben gleich (siehe dazu auch Kapitel 5 «Ergebnisse»).

Da von den Fahrten mit dem zweiten Fahrer bei den gewählten Versuchsbedingungen keine zusätzlichen Erkenntnisse zu erwarten waren, absolvierte er nur eine geringe Anzahl Messfahrten. Der zweite Fahrer beziehungsweise die Messergebnisse seiner Fahrten werden nur zur Ergänzung hinzugezogen.

Die Fahrweise des ersten Fahrers kann mit «normal» umschrieben werden. Bei den hier vorgegebenen Geschwindigkeiten sollte immer im fünften Gang gefahren werden. Überholmanöver sollten ohne übermässiges Beschleunigen absolviert werden.

Mit der Thematik des Fahrverhaltens auf Autobahnen beschäftigt sich auch der Bericht «Fahrverhalten von Personenwagen in der Schweiz» [8], der im Rahmen der Fortschreibung der Emissionsfaktoren erarbeitet wurde.

Mit «Fahrweise» wird die Vorgabe an den Messwagenfahrer, ob normal, defensiv oder offensiv, umschrieben.

Der Fahrstil dagegen bezeichnet das Resultat, d.h. wie während der Messfahrten gefahren wurde. Der Fahrstil kann beschrieben werden durch die Verteilung der Betriebszustände (Beschleunigung, Konstantfahrt etc.) oder der Geschwindigkeiten.

3.5 Messparameter der MAMA

Die MAMA, dieMobileAbgasMessAnlage, ermöglicht die Bestimmung der folgenden Parameter direkt im Verkehr:

- Benzinverbrauch in l/100 km (Liter pro 100 km)
- Emissionen an Kohlenmonoxid (CO) in g/km (Gramm pro Kilometer)
- Emissionen an Kohlendioxid (CO_2) in g/km
- Emissionen an Kohlenwasserstoffen (HC) in g/km
- Emissionen an Stickoxiden (NO_x) in g/km
- Prozentuale Zeitanteile an den vier Betriebszuständen «Stillstand», «Beschleunigung», «Verzögerung» und «Konstantfahrt» (d.h. Fahrverhalten)
- Geschwindigkeitsverteilung (prozentuale Verteilung auf die Geschwindigkeitsbereiche von 0 - 0.5 km/h, 0.5 - 5 km/h, 5 - 15 km/h etc.)
- Stillstandszeit des Motors während der Messfahrt
- Anzahl der Motorstarts
- Startzeit
- Messzeit
- Messstrecke
- Mittlere Geschwindigkeit
- Über die Messfahrt gemittelte Konzentrationen der Komponenten NO_x, HC, CO, CO_2

Ein spezielles Auswertungsprogramm ermöglicht überdies die Darstellung ausgewählter Parameter (Geschwindigkeit, Drehzahl, Gaskonzentrationen etc.) für jede Sekunde einer Messfahrt.

All diese Parameter erlauben die genaue Charakterisierung einer Messfahrt.

3.6 Tageszeit der Messungen

Die Werte der Zählstelle «Ebikon Tunnel Rathausen» sind ein Indiz für den Verlauf der Verkehrsfrequenzen über den Tag auf den ausgewählten Messstrecken (Anhang 4).

Im Monat Juni wird in Richtung Zug das Tagesmaximum zwischen 7 und 8 Uhr morgens erreicht. Auch zwischen 6 und 7 und zwischen 8 und 9 Uhr morgens sind die Werte überdurchschnittlich hoch.

Die abendliche «rush hour» spielt sich zwischen 16 und 19 Uhr ab. Der abendliche Verkehrsspitzenwert wird zwischen 17 und 18 Uhr erreicht.

In Richtung Luzern wird das Tagesmaximum am Abend erreicht, zwischen 17 und 18 Uhr. Der morgendliche Spitzenwert fällt zwischen 7 und 8 Uhr an.

Demzufolge werden die Messungen zu «Viel Verkehr» zu den folgenden Zeiten durchgeführt:

7.00 h bis 9.00 h
16.00 h bis 19.00 h

Die Messungen zu «Wenig Verkehr» werden während der übrigen Stunden, d.h. zwischen 9 und 16 h absolviert.

Bei der Auswahl der Wochentage wurde vor allem darauf Wert gelegt, dass nicht während Ferien-, Feier- oder sonst speziellen Tagen gemessen wird. Abgesehen davon wurden alle Werktage als gleich betrachtet.

Die Messfahrten auf der Strecke mit Steigung/Gefälle werden auch bei viel und wenig Verkehr zu den entsprechenden Zeiten durchgeführt.

3.7 Übrige Messbedingungen

Die Ausrüstung des Trägerfahrzeugs mit den komplizierten Mess- und Auswertungsapparaturen führt dazu, dass das Fahrgewicht des Messfahrzeugs ohne Fahrer rund 1'200 kg beträgt. Das Leergewicht liegt bei ca. 1'000 kg.

Der durchschnittliche Besetzungsgrad der Personenwagen in der Schweiz beträgt über alle Tage und alle Fahrtzwecke 1.6 Personen pro Auto [20].

Das zusätzliche Gewicht der MAMA gegenüber einem durchschnittlich besetzten Auto kommt vor allem in topographisch anspruchsvollem Gelände zum Tragen. Da es sich um Vergleichsmessungen handelt und es bei den Messergebnissen nicht primär um das absolute Niveau von Emissionen und Verbrauch geht, ist der Einfluss der zusätzlichen Last von untergeordneter Bedeutung.

Bei den Messfahrten hat die Beladung des Messfahrzeugs ausser der messtechnischen Ausrüstung samt Peripheriegeräten nur den Fahrer umfasst. Weitere Passagiere wurden nicht transportiert.

Bei den Versuchsfahrten mit einem andern Fahrer war neben diesem zusätzlich der für die Anlage Verantwortliche an Bord.

4. Messprogramm

4.1 Anzahl der Messfahrten

Einerseits hängt die Genauigkeit und die statistische Schärfe (Grösse der Streubereiche) von Messergebnissen sehr stark von den Messbedingungen und der Anzahl Messungen ab. Anderseits hängt die Anzahl der Messungen, die nötig ist für eine sinnvolle und genaue Aussage, wiederum von der Streuung der Messergebnisse ab.

Da grundsätzlich möglichst viele Messfahrten zu absolvieren sind, wurden auch Überführungsfahrten zwischen der einen und der andern Messstrecke für Messungen genutzt.

Aufgrund dieser Überlegungen variiert die Zahl der pro Strecke und zu den bestimmten Messvorgaben durchgeführten Messfahrten.

Für die verschiedenen Temporegimes, Fahrer und Messstrecken ergaben sich die im Anhang 8 genannten Zahlen der absolvierten Messfahrten.

Die Messstrecken wurden jeweils in beiden Richtungen befahren. Damit konnten richtungsspezifische Einflüsse (Wind etc.) eliminiert werden.

Um Aussagen für Autos ohne Katalysator ergänzen zu können, wurde eine geringe Anzahl Messfahrten mit demontiertem Katalysator durchgeführt.

4.2 Gültigkeit/Ungültigkeit einer Messfahrt

Soll mit 10 oder 20 oder auch 30 Messfahrten auf einer bestimmten Messstrecke unter für diese ausgewählte Messstrecke repräsentativen Verkehrsbedingungen gemessen werden, so ist damit zu rechnen, dass gewisse Einzelfahrten nicht verwendet werden können.

Von einer Verwendung ist dann abzusehen, wenn ein während einer Messfahrt auftretendes Ereignis als nicht repräsentativ bezeichnet werden muss.

Solche Ereignisse können sein:

- Behinderung durch Unfall
- Behinderung durch andere Verkehrsteilnehmer
- Behinderung durch Umleitung
- Behinderung durch Baustelle

Das Kriterium für die Nichtverwendung einer Messfahrt ist deren Dauer. Wenn diese sich signifikant von der Mehrheit der übrigen Messfahrten unterscheidet, so wird auf eine Verwendung verzichtet.

Bei der Durchführung des vorliegenden Messprogrammes kam es nicht zu Behinderungen, die zu einer Eliminierung von Messfahrten führten.

4.3 Zeitplan

Die Messungen wurden zwischen dem 13. Dezember 1995 und dem 12. Juni 1996 durchgeführt. Nebst anderen Gründen führten die zwischendurch vorgenommenen Abklärungen bezüglich der Eignung der Messstrecken zu dieser langen Zeitdauer.

Der Anhang 9 gibt im Detail Auskunft darüber, an welchen Tagen wieviele Messfahrten absolviert wurden.

Die Mobile AbgasMessAnlage des TCS



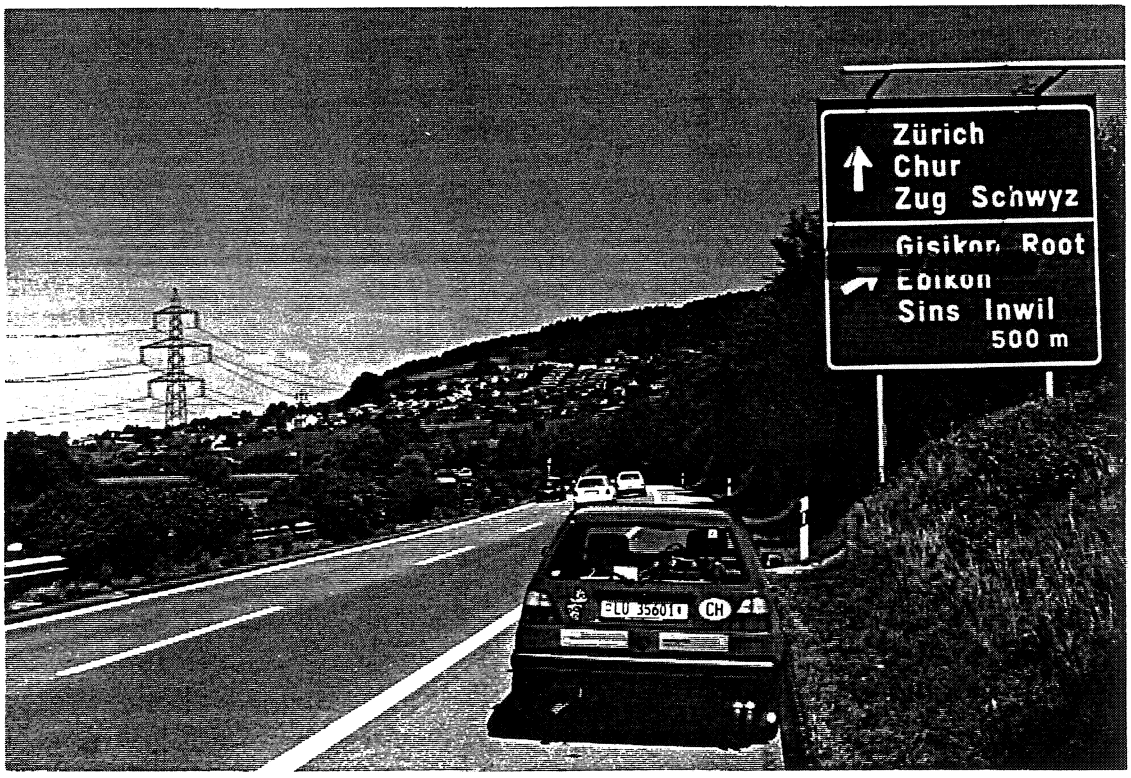
5. Ergebnisse

Bei den Ergebnissen wird zur Veranschaulichung der Verteilung der Messwerte um den Mittelwert jeweils noch ein Streubereich angeführt. Dieser Bereich errechnet sich aus der Subtraktion und der Addition der Standardabweichung vom beziehungsweise zum Mittelwert. Es wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Daten der Messfahrten die Stichprobe einer Grundgesamtheit darstellen.

Überdies ist zu beachten, dass es sich in den folgenden Tabellen um gerundete Zahlen handelt. Auf den ersten Blick als falsch erscheinende Streubereiche lassen sich dadurch erklären.

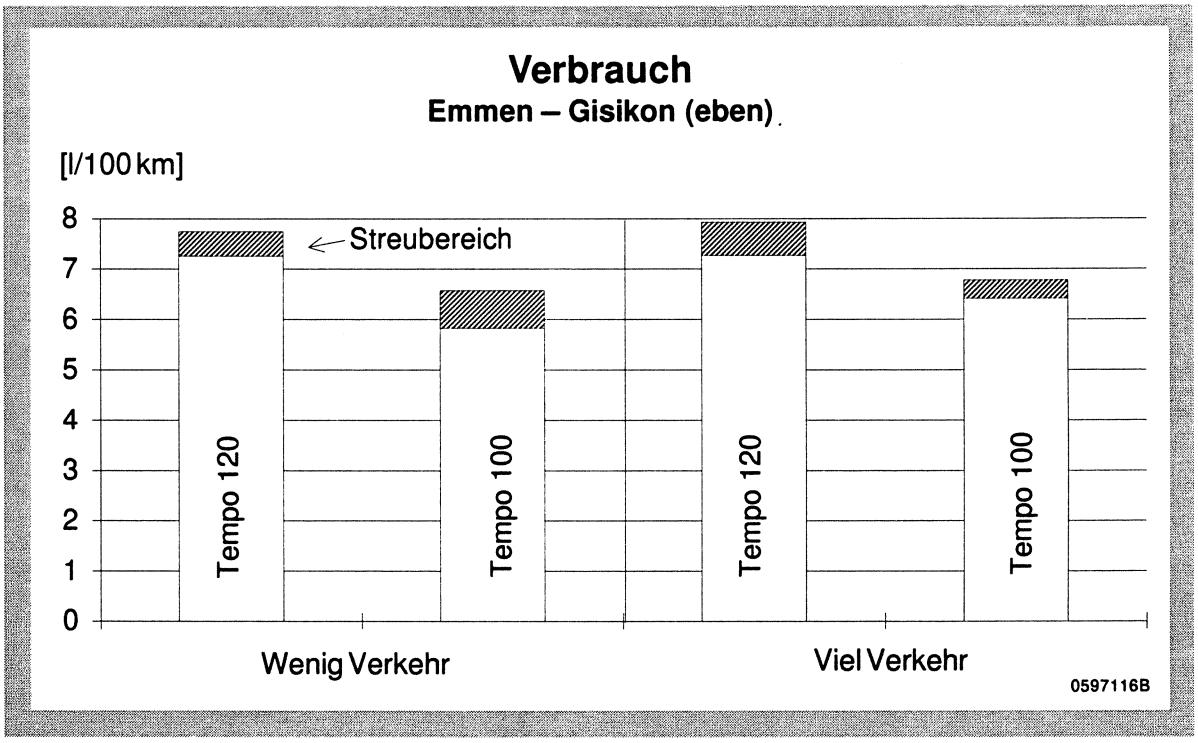
Eindeutig im Vordergrund stehen die Messungen mit dem Fahrer 1 und mit Katalysator. Deshalb werden zuerst diese Ergebnisse präsentiert.

Die Messstrecke

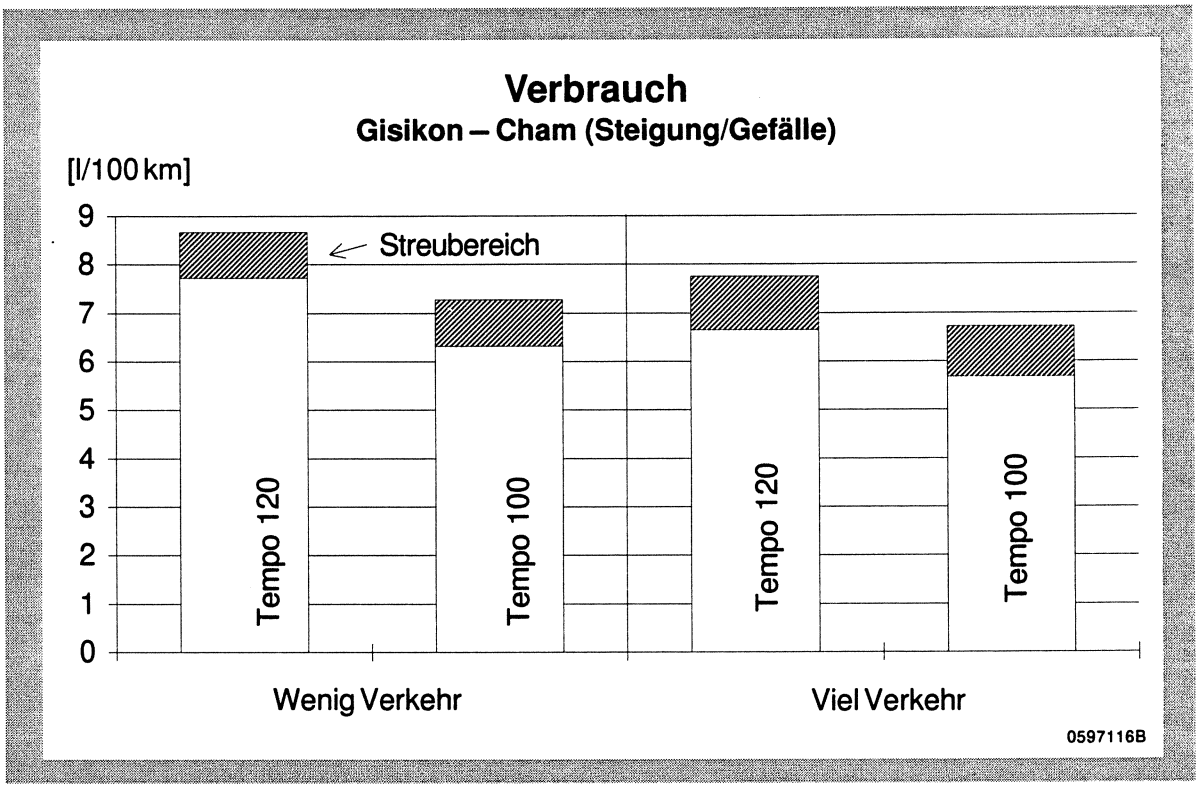


5.1 Verbrauch

Verbrauch, Emmen – Gisikon (eben)				
	Temporeg. 120 [l/100 km]	Temporeg. 100 [l/100 km]	Differenz abs. [l/100 km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	7.5	6.2	- 1.3	- 17
Standardabw.	0.24	0.37	–	–
Streubereich	7.26 - 7.74	5.83 - 6.57	–	–
Viel Verkehr	7.6	6.6	- 1.0	- 13
Standardabw.	0.33	0.18	–	–
Streubereich	7.27 - 7.93	6.42 - 6.78	–	–



Verbrauch, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)				
	Temporeg. 120 [l/100 km]	Temporeg. 100 [l/100 km]	Differenz abs. [l/100 km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	8.2	6.8	- 1.4	- 17
Standardabw.	0.47	0.48	–	–
Streubereich	7.73 - 8.67	6.32 - 7.28	–	–
Viel Verkehr	7.2	6.2	- 1.0	- 14
Standardabw.	0.55	0.52	–	–
Streubereich	6.65 - 7.75	5.68 - 6.72	–	–

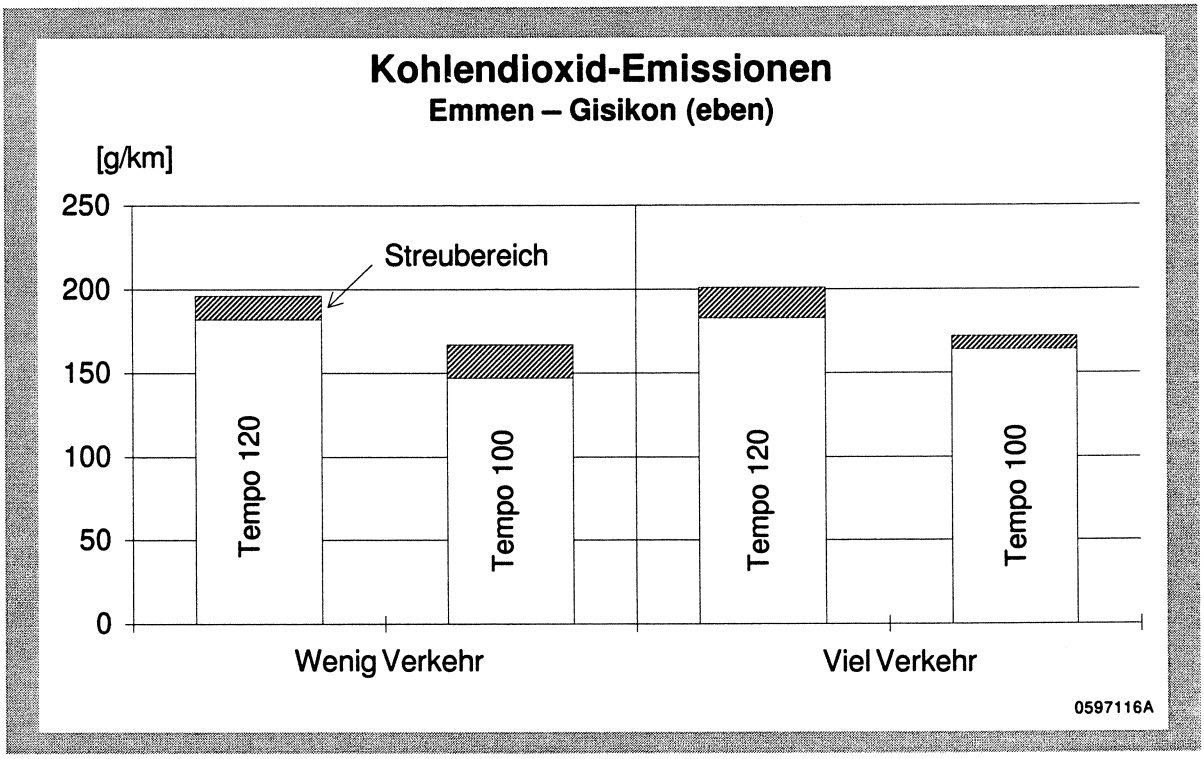


Feststellungen zum Verbrauch

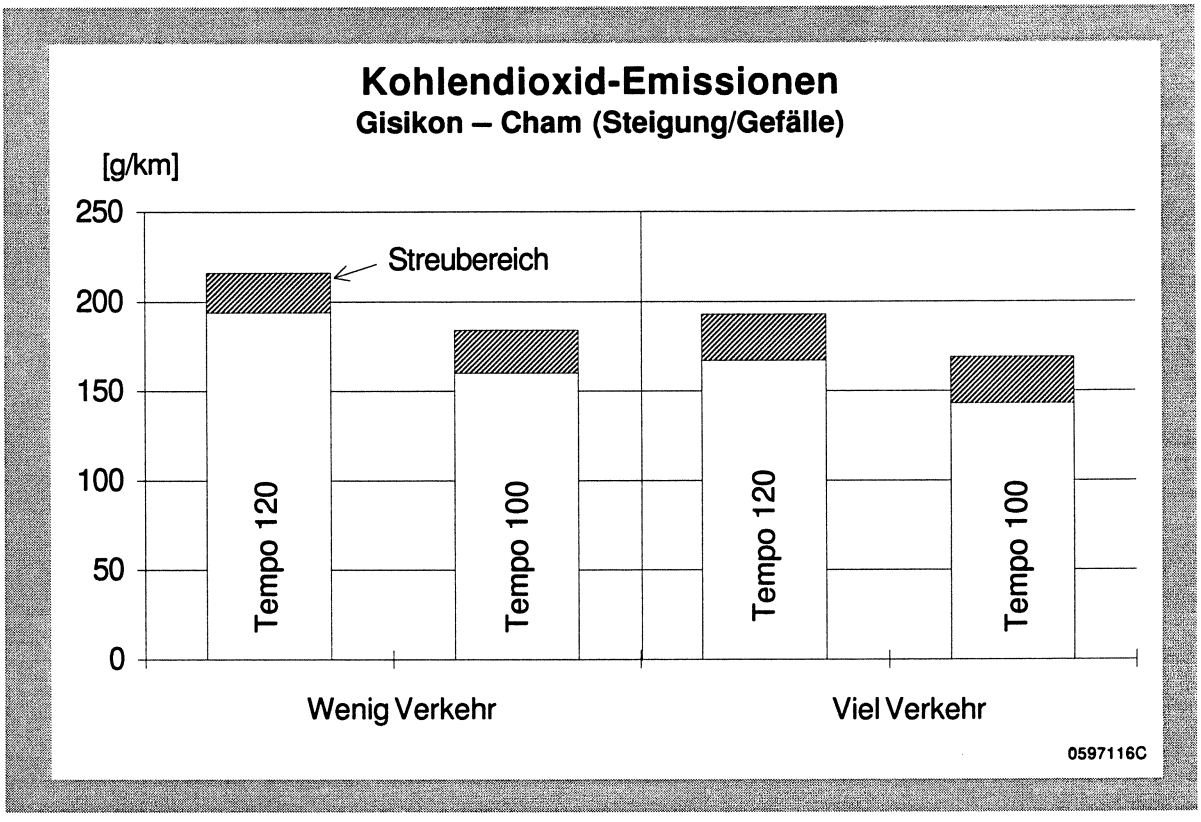
- Beim Temporegime T 100 liegt bei den hier festgelegten Randbedingungen («Viel/wenig Verkehr»; «eben» oder «Steigung/Gefälle») der Verbrauch tiefer als beim Regime T 120.
- Bei ebener Fahrbahn liegt der Wert für «Viel Verkehr» höher als jener bei wenig Verkehr. Bei «Steigung/Gefälle» ist es umgekehrt. Diese und ähnliche Detailunterschiede wurden nicht zusätzlich untersucht.

5.2 Kohlendioxid-Emissionen

CO_2-Emissionen, Emmen – Gisikon (eben)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	189	157	- 32	- 17
Standardabw.	7	10	–	–
Streubereich	182 - 196	147 - 167	–	–
Viel Verkehr	192	168	- 24	- 13
Standardabw.	9	4	–	–
Streubereich	183 - 201	164 - 172	–	–



CO_2-Emissionen, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	205	172	- 33	- 16
Standardabw.	11	12	–	–
Streubereich	194 - 216	160 - 184	–	–
Viel Verkehr	180	156	- 24	- 13
Standardabw.	13	13	–	–
Streubereich	167 - 193	143 - 169	–	–

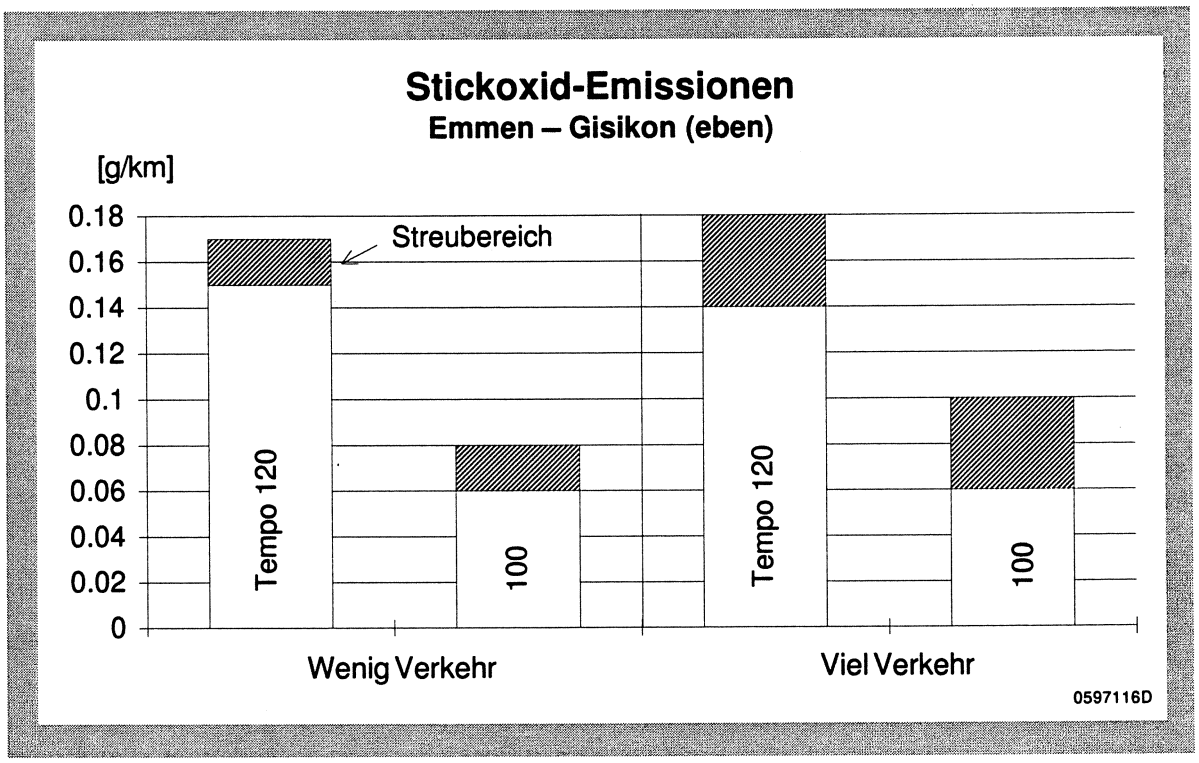


Feststellung zu den CO_2-Emissionen

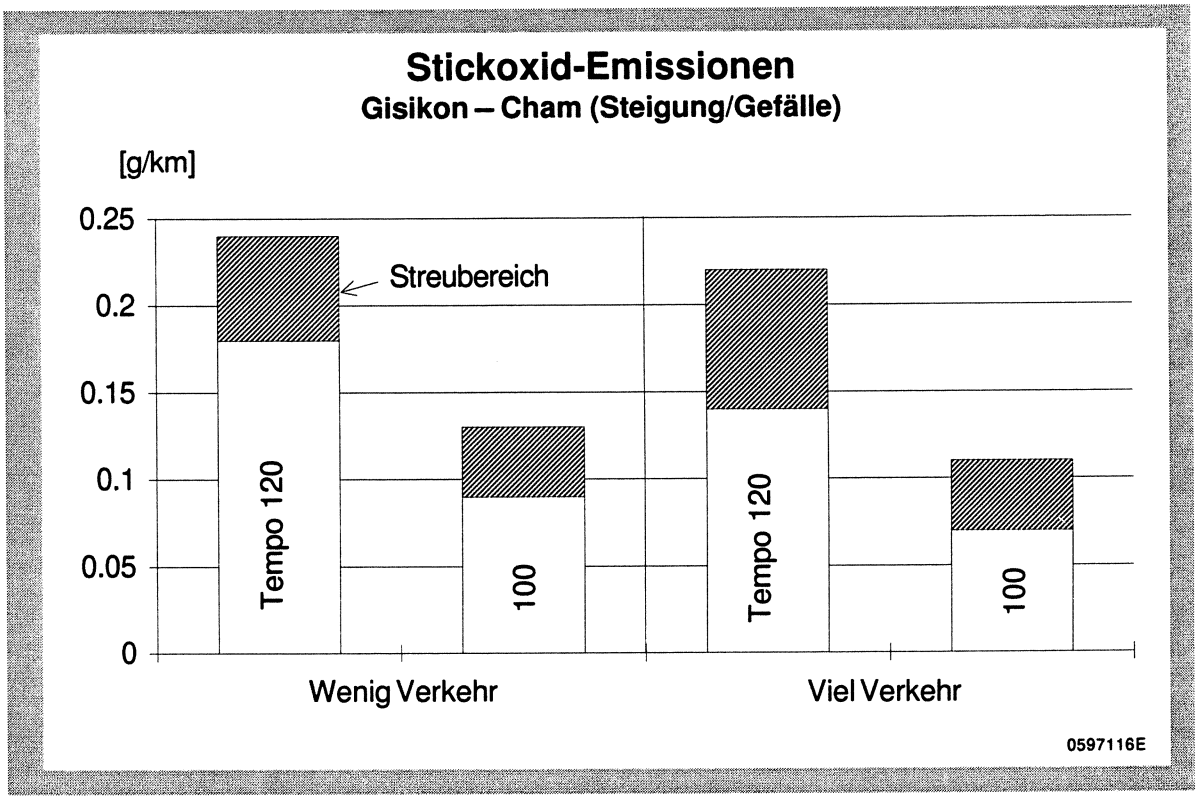
- Die Emissionen an Kohlendioxid verhalten sich proportional zum Benzinverbrauch. Die für den Verbrauch gemachten Aussagen gelten demzufolge sinngemäss.

5.3 Stickoxid-Emissionen

NO_x-Emissionen, Emmen – Gisikon (eben)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	0.16	0.07	- 0.09	- 56
Standardabw.	0.01	0.01	–	–
Streubereich	0.15 - 0.17	0.06 - 0.08	–	–
Viel Verkehr	0.16	0.08	- 0.08	- 50
Standardabw.	0.02	0.02	–	–
Streubereich	0.14 - 0.18	0.06 - 0.10	–	–



NO_x-Emissionen, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr Standardabw. Streubereich	0.21 0.03 0.18 - 0.24	0.11 0.02 0.09 - 0.13	- 0.10 – –	- 48 – –
Viel Verkehr Standardabw. Streubereich	0.18 0.04 0.14 - 0.22	0.09 0.02 0.07 - 0.11	- 0.09 – –	- 50 – –

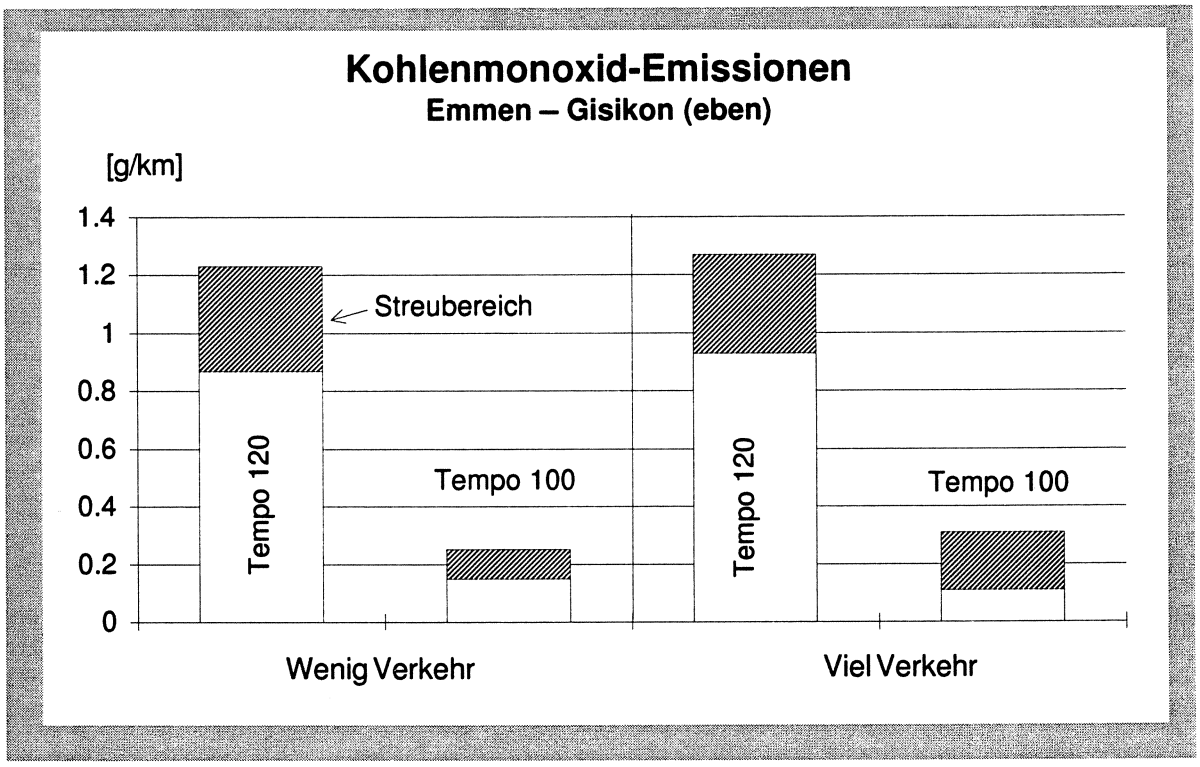


Feststellungen zu den NO_x-Emissionen

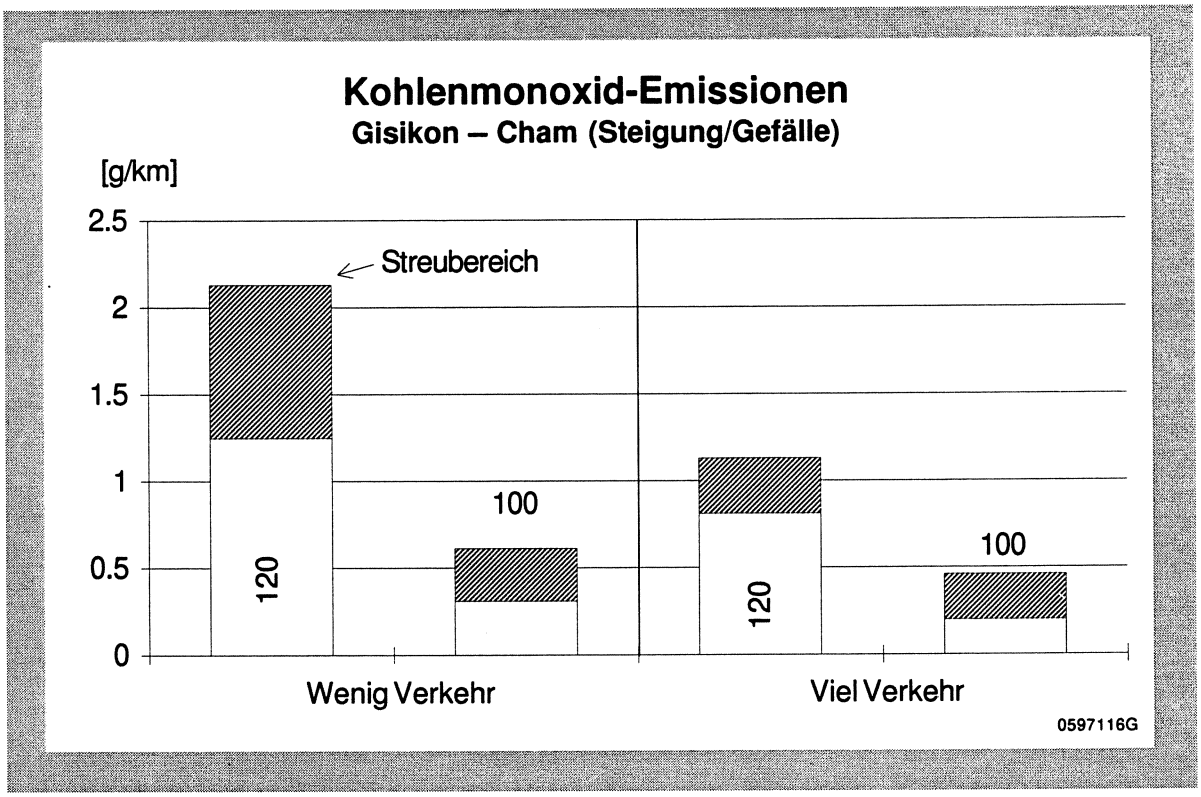
- Bei Temporegime T 100 liegen die Stickoxid-Emissionen deutlich tiefer.
- Der Einfluss des Verkehrsaufkommens («Viel/Wenig Verkehr») ist gering.
- Die Fahrt auf der Strecke mit Steigung/Gefälle verursacht höhere Stickoxid-Emissionen pro Kilometer.

5.4 Kohlenmonoxid-Emissionen

CO-Emissionen, Emmen – Gisikon (eben)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr Standardabw. Streubereich	1.05 0.18 0.87 - 1.23	0.20 0.05 0.15 - 0.25	- 0.85 – –	- 81 – –
Viel Verkehr Standardabw. Streubereich	1.10 0.17 0.93 - 1.27	0.21 0.10 0.11 - 0.31	- 0.89 – –	- 81 – –



CO-Emissionen, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	1.69	0.46	- 1.23	- 73
Standardabw.	0.44	0.15	–	–
Streubereich	1.25 - 2.13	0.31 - 0.61	–	–
Viel Verkehr	0.97	0.33	- 0.64	- 66
Standardabw.	0.16	0.13	–	–
Streubereich	0.81 - 1.13	0.20 - 0.46	–	–



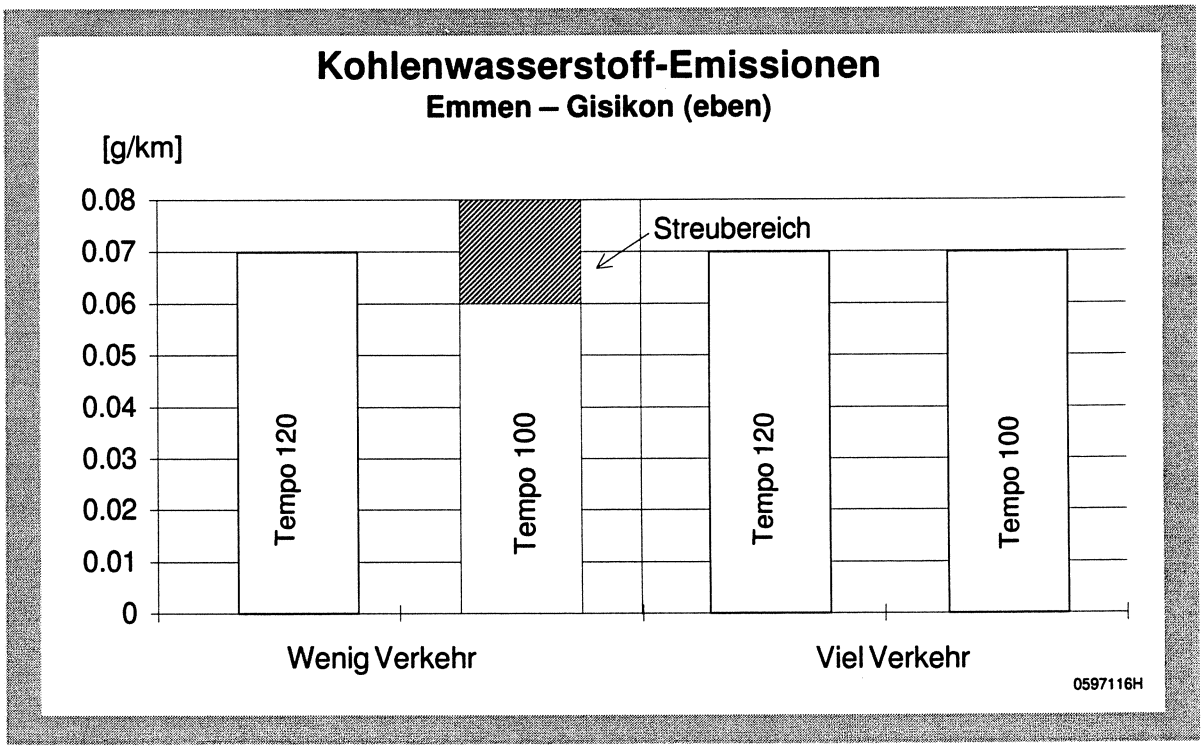
Feststellungen zu den CO-Emissionen

- Beim Temporegime T 100 liegen die Kohlenmonoxid-Emissionen deutlich tiefer.
- Die Werte für viel Verkehr liegen bei der Strecke mit Steigung/Gefälle unterhalb der Werte für wenig Verkehr.
- Auf der Strecke mit Steigung/Gefälle resultieren höhere Kohlenmonoxid-Emissionen als auf der ebenen Strecke.

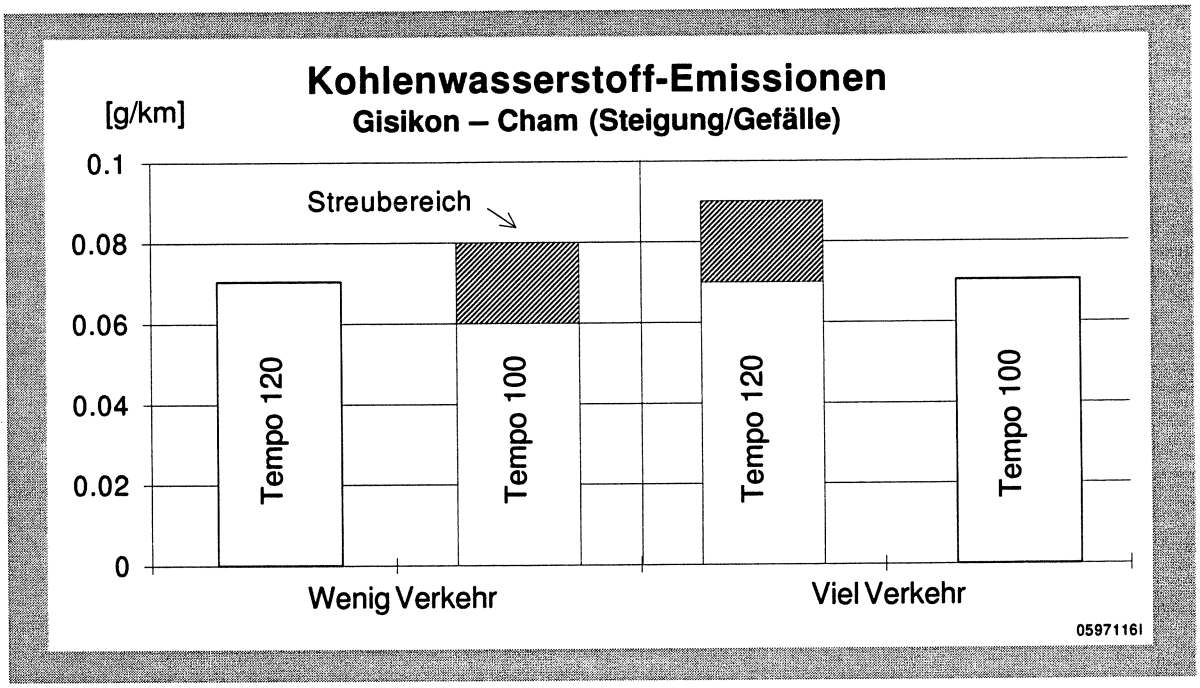
5.5 Kohlenwasserstoff-Emissionen

Bei den gewählten Geschwindigkeiten sind die HC-Emissionen sehr gering. Die Rundung auf zwei Stellen nach dem Komma führt deshalb teilweise zu einer Standardabweichung mit dem Wert Null.

HC-Emissionen, Emmen – Gisikon (eben)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr Standardabw. Streubereich	0.07 0 –	0.07 0.01 0.06 - 0.08	0 – –	0 – –
Viel Verkehr Standardabw. Streubereich	0.07 0 –	0.07 0 –	0 – –	0 – –



HC-Emissionen, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)				
	Temporeg. 120 [g/km]	Temporeg. 100 [g/km]	Differenz abs. [g/km]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr Standardabw. Streubereich	0.07 0 –	0.07 0.01 0.06 - 0.08	0 – –	0 – –
Viel Verkehr Standardabw. Streubereich	0.08 0.01 0.07 - 0.09	0.07 0 –	- 0.01 – –	- 13 – –

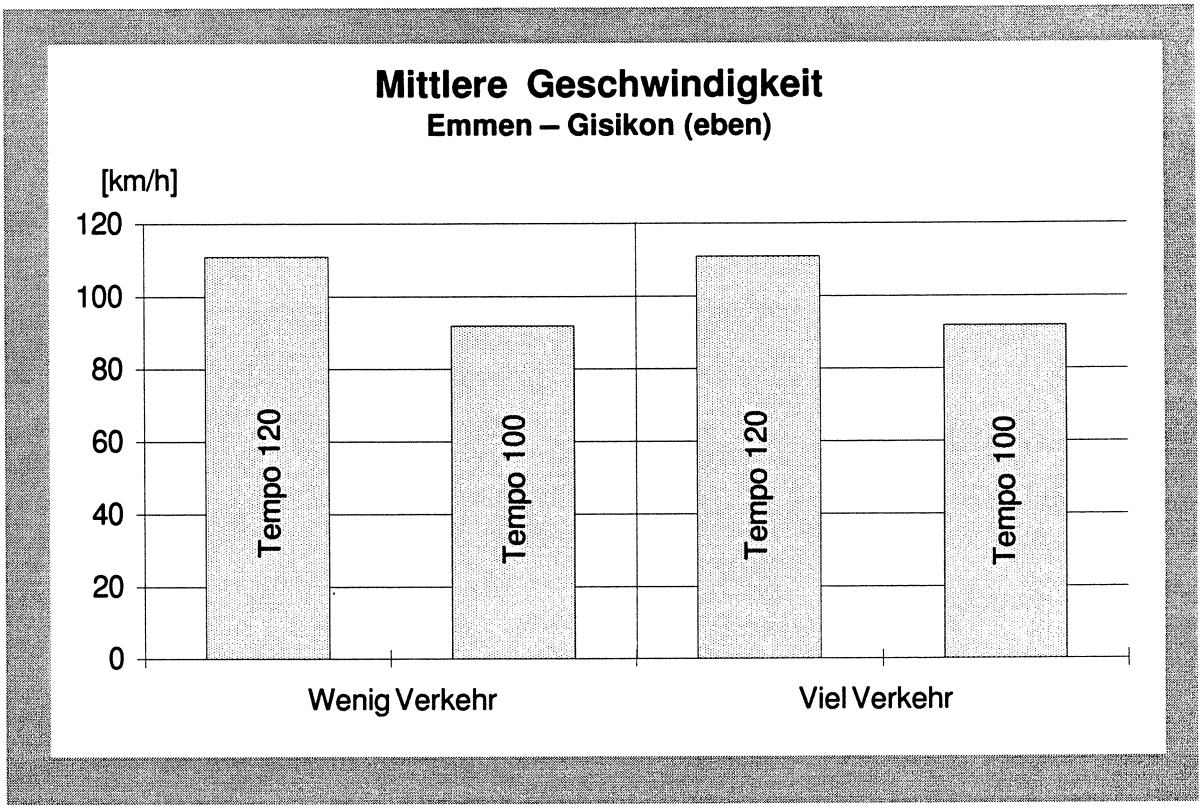


Feststellungen zu den HC-Emissionen

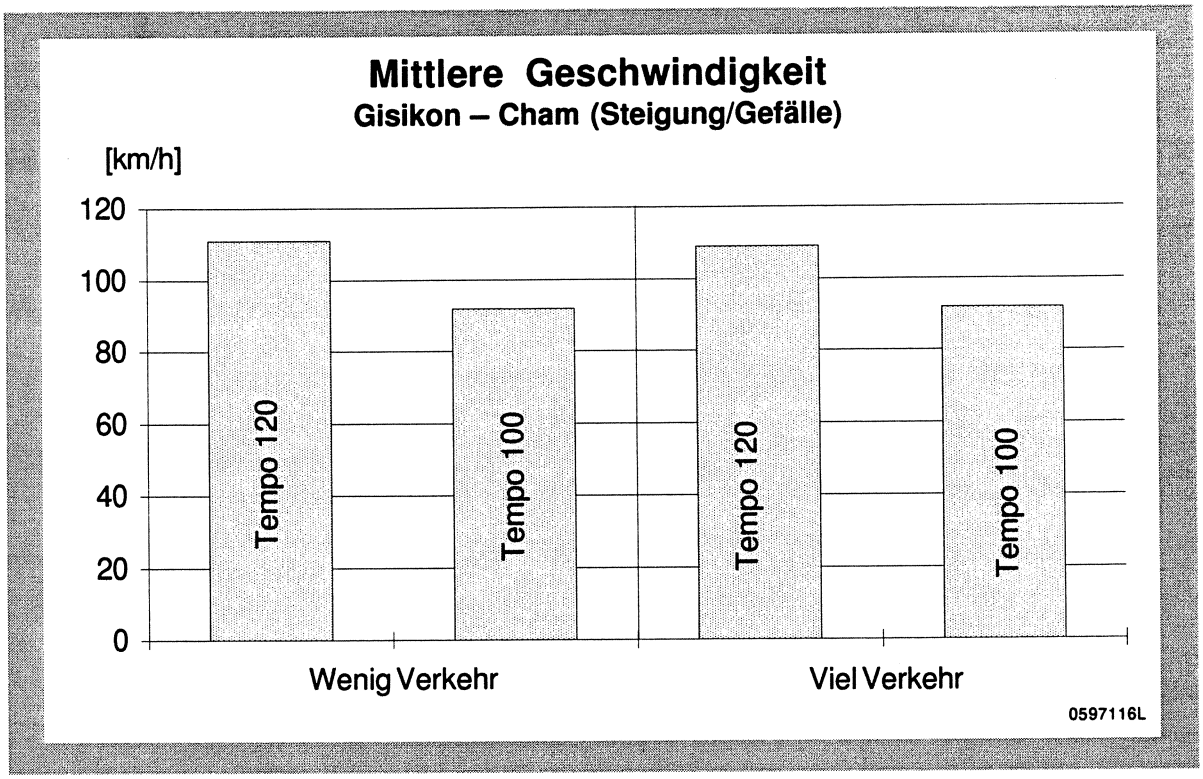
- Die Emissionswerte der Kohlenwasserstoffe sind mit Unsicherheiten behaftet, da die bei diesen Geschwindigkeiten emittierten Konzentrationen bei Autos mit Katalysator ausserordentlich gering und schwierig zu messen sind.
- Zwischen den zwei verschiedenen Geschwindigkeitsregimes sind keine Unterschiede festzustellen.

5.6 Mittlere Geschwindigkeiten

Mittlere Geschwindigkeit, Emmen – Gisikon (eben)				
	Temporeg. 120 [km/h]	Temporeg. 100 [km/h]	Differenz abs. [km/h]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	111	92	- 19	- 17
Viel Verkehr	111	92	- 19	- 17



Mittlere Geschwindigkeit, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)				
	Temporeg. 120 [km/h]	Temporeg. 100 [km/h]	Differenz abs. [km/h]	Differenz in % [%]
Wenig Verkehr	111	92	- 19	- 17
Viel Verkehr	109	92	- 17	- 16

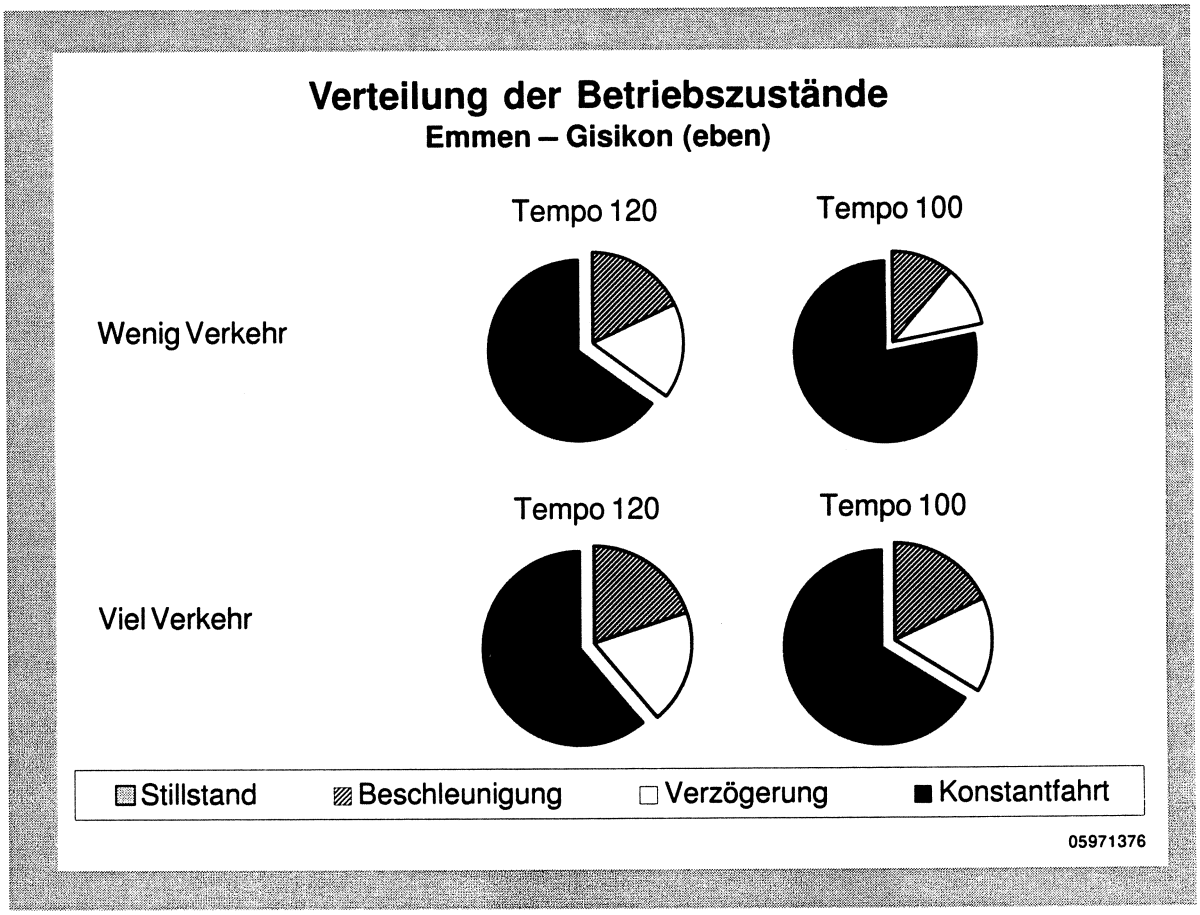


Feststellungen zu der Mittleren Geschwindigkeit

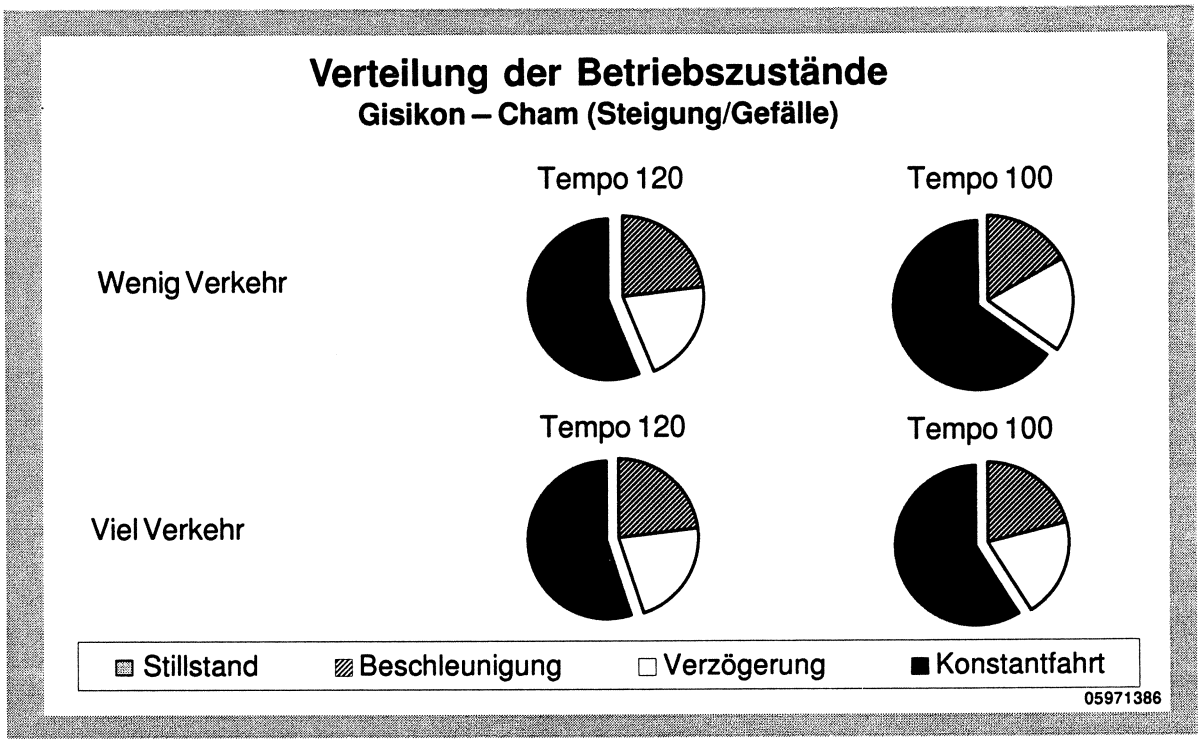
- Aus mathematischen Gründen wird für die mittlere Geschwindigkeit auf die Angabe eines Streubereiches verzichtet. Die Mittelung von mittleren Geschwindigkeiten führt zu falschen Resultaten.
- Wie auf Seite 19 erwähnt, ist während der Messfahrten der Tacho im Messfahrzeug massgebend. Die hier genannten Geschwindigkeiten basieren auf einer genaueren Messmethode.
- Die Abnahme der mittleren Geschwindigkeit entspricht der Vorgabe bei Änderung des Temporegimes von 120 auf 100 km/h.
- Auch bei viel Verkehr kann auf den gewählten Strecken das gewünschte Tempo gefahren werden.

5.7 Verteilung der Betriebszustände

Verteilung der Betriebszustände, Emmen – Gisikon (eben)			
Wenig Verkehr	Temporegime 120 [%]	Temporegime 100 [%]	Differenz abs. [%]
Stillstand	0	0	0
Beschleunigung	18	11	- 7
Verzögerung	17	11	- 6
Konstantfahrt	65	78	+ 13
Viel Verkehr	Temporegime 120 [%]	Temporegime 100 [%]	Differenz abs. [%]
Stillstand	0	0	0
Beschleunigung	20	18	- 2
Verzögerung	19	16	- 3
Konstantfahrt	61	66	+ 5



Verteilung der Betriebszustände, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)			
Wenig Verkehr	Temporegime 120 [%]	Temporegime 100 [%]	Differenz abs. [%]
Stillstand	0	0	0
Beschleunigung	23	17	- 6
Verzögerung	21	18	- 3
Konstantfahrt	56	65	+ 9
Viel Verkehr	Temporegime 120 [%]	Temporegime 100 [%]	Differenz abs. [%]
Stillstand	0	0	0
Beschleunigung	23	21	- 2
Verzögerung	22	20	- 2
Konstantfahrt	55	59	+ 4



Feststellungen zur Verteilung der Betriebszustände

- Die obigen Tabellen und Diagramme enthalten die Werte zur Verteilung der Zeitdauer einer Messfahrt auf die verschiedenen Betriebszustände.

- Auf beiden Messstrecken geht der Wechsel vom schnelleren zum langsameren Temporegime mit einer Zunahme beim Anteil der Konstantfahrt und einer entsprechenden Abnahme bei den Beschleunigungen und Verzögerungen einher. Oder anders gesagt, der Fahrstil wird gleichmässiger.
- Die Fahrten auf der ebenen Strecke weisen höhere Anteile an konstanter Geschwindigkeit auf als jene auf der Strecke mit Steigung und Gefälle.

5.8 Verlauf Geschwindigkeit über Zeit

Ein spezielles Computerprogramm erlaubt die detaillierte Auswertung der während der Messfahrten aufgezeichneten Daten.

Der Anhang 10 enthält für je eine Fahrt bei 120 und bei 100 km/h den Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf.

Diese Diagramme zeigen noch deutlicher, was bereits aus der Verteilung der Betriebszustände hervorgeht. Wird mit der Geschwindigkeit nach Tacho, im einen Fall 100 km/h, im andern Fall 120 km/h, gefahren, handelt es sich um Fahrten mit fast gleichbleibender Geschwindigkeit.

5.9 Gangwahl

Sowohl bei der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h als auch bei derjenigen von 100 km/h konnte immer im fünften Gang gefahren werden.

5.10 Zusätzlicher Fahrer

Die Messungen der ersten Etappe zu Innerortsgeschwindigkeiten waren mit zwei Fahrern durchgeführt worden. Der eine Fahrer legte die Messstrecken in einem defensiven Fahrstil zurück. Der zweite Fahrer fuhr offensiv. Damit konnte ein grosser Bereich möglicher Fahrweisen abgedeckt werden.

Zwischen den Ergebnissen der Messfahrten der beiden Fahrer waren wohl Unterschiede in der Höhe der absoluten Werte, nicht aber in der relativen Beziehung der Ergebnisse der verschiedenen Messfahrten untereinander festzustellen.

Aus diesem Grunde wurde auch für die hier vorliegende zweite Etappe versuchsweise ein zusätzlicher zweiter Fahrer eingesetzt.

Es zeigte sich schon bald, dass der Einsatz eines zweiten Fahrers mit offensivem Fahrstil bei den vorgegebenen Randbedingungen keine zusätzlichen Aussagen ermöglicht.

In der folgenden Tabelle werden in Kürze die Ergebnisse der Fahrten des zweiten Fahrers auf der Messstrecke Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle) bei wenig Verkehr wiedergegeben.

Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle; Fahrer 1/2; wenig Verkehr)				
Wenig Verkehr	Temporeg. 120	Temporeg. 100	Differenz abs.	Differenz in %
Verbr. [l/100 km]				
Fahrer 1	8.2	6.8	- 1.4	- 17
Fahrer 2	*7.3*	*6.1*	*- 1.2*	*- 16*
CO_2-E. [g/km]				
Fahrer 1	205	172	- 33	- 16
Fahrer 2	*180*	*153*	*- 27*	*- 15*
NO_x-E. [g/km]				
Fahrer 1	0.21	0.11	- 0.10	- 48
Fahrer 2	*0.17*	*0.09*	*- 0.08*	*- 47*
CO-E. [g/km]				
Fahrer 1	1.69	0.46	- 1.23	- 73
Fahrer 2	*0.97*	*0.27*	*- 0.70*	*- 72*
HC-E. [g/km]				
Fahrer 1	0.07	0.07	0	0
Fahrer 2	*0.07*	*0.08*	*+ 0.01*	*+ 14*
Mittl. G. [km/h]				
Fahrer 1	111	92	- 19	- 17
Fahrer 2	*110*	*92*	*- 18*	*- 16*
Fahrer 1				
Stillstand [%]	0	0	0	–
Beschleunig. [%]	23	17	- 6	–
Verzögerung [%]	21	18	- 3	–
Konstantfahrt [%]	56	65	+ 9	–
Fahrer 2				
Stillstand [%]	*0*	*0*	*0*	–
Beschleunig. [%]	*15*	*13*	*- 2*	–
Verzögerung [%]	*15*	*13*	*- 2*	–
Konstantfahrt [%]	*70*	*74*	*+ 4*	–

Fahrer 1: Hauptsächlicher Fahrer, normale Fahrweise
Fahrer 2: Zusätzlicher Fahrer, offensive Fahrweise

Feststellungen zum zusätzlichen Fahrer

- Aus dem Vergleich der oben genannten Zahlen mit den in den vorangegangenen Kapiteln gewonnenen Erkenntnissen geht hervor, dass sich aus den zusätzlichen Fahrten des Fahrers 2 keine neuen Feststellungen ergeben.
- Relativ gesehen sind die Ergebnisse des hauptsächlichen Fahrers und des zusätzlichen Fahrers gleich. Absolut betrachtet gibt es Unterschiede zwischen den Werten des hauptsächlichen Fahrers und jenen des zusätzlichen Fahrers. Sie liegen im Bereich der Unterschiede zwischen wenig und viel Verkehr. Die Werte für den offensiven Fahrer liegen aber tiefer als jene des Fahrers mit der normalen Fahrweise.

Die innerorts und die auf Autobahnen praktizierte offensive Fahrweise sind sehr verschieden. Im Gegensatz zu Innerortsstrecken kommt auf Autobahnen das stärkere Beschleunigen und Verzögern, das Teil der offensiven Fahrweise ist, kaum zum Tragen.

Es ist denkbar, dass die offensive Fahrweise mit längerem Verbleib auf der linken Fahrspur und gezielterem Ein- und Ausscheren zu einem gleichmässigeren Fahrstil führt. Folgen davon sind ein tieferer Benzinverbrauch und geringere Schadstoff-Emissionen.

Überdies haben kurzzeitige Schwankungen des Verkehrsaufkommens sowohl bei normaler als auch bei offensiver Fahrweise einen Einfluss.

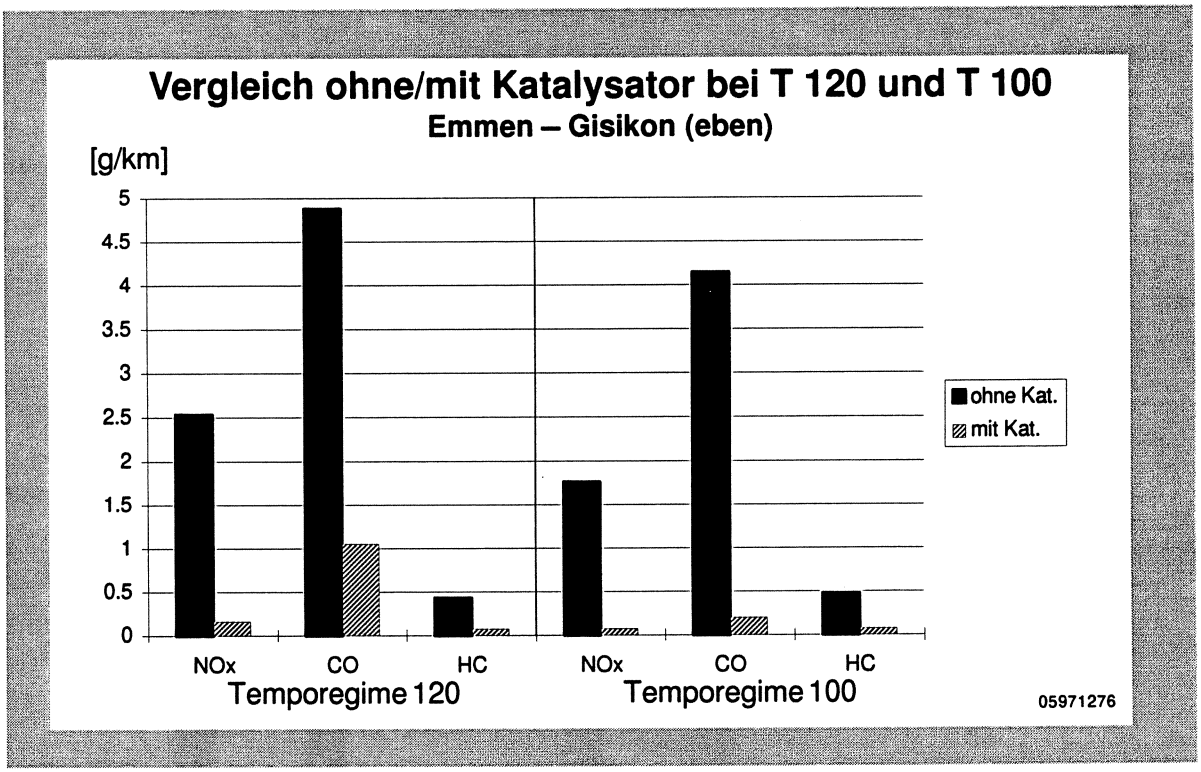
5.11 Ohne Katalysator

Ebenfalls als Ergänzung zu den im Vordergrund stehenden Messungen mit Katalysator wurden noch Messfahrten ohne Katalysator absolviert. Dabei ist man sich durchaus bewusst, dass aus einem Auto mit der aktuellen Abgasreinigungstechnologie (Dreiweg-Katalysator, geregelte Einspritzung, Lambda-Sonde) durch Demontage des Katalysators nicht ein «Auto ohne Katalysator» wird. Die Abgaswerte sind in diesem Fall immer noch günstiger als bei einem Auto aus der Zeit vor dem Katalysator.

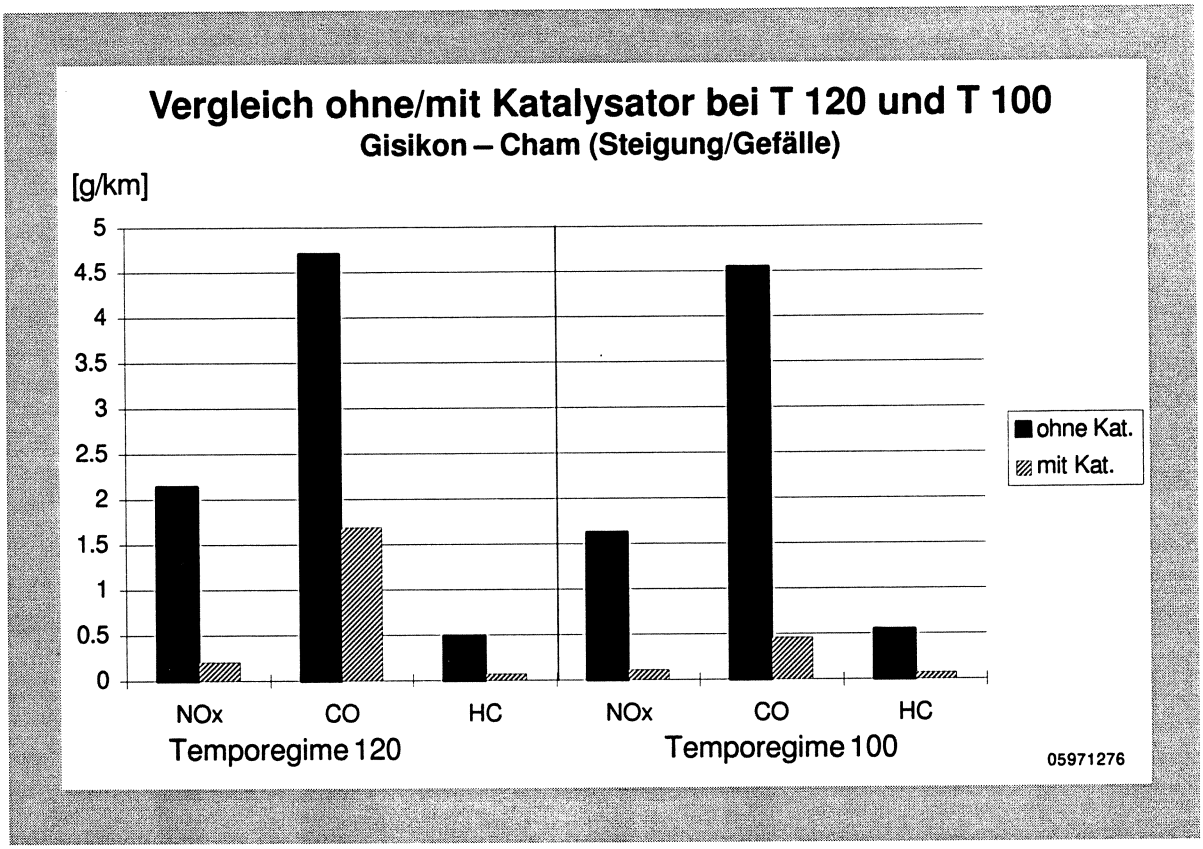
Es geht bei diesen Zusatzmessungen um das Definieren der Grössenordnung der Schadstoff-Emissionen der Autos ohne Katalysator. Ende 1996 verfügen rund drei Viertel der Autos in der Schweiz über einen Katalysator. Die noch zirkulierenden Autos ohne Katalysator sind noch immer für einen grossen Teil der Schadstoff-Emissionen der Personenwagen verantwortlich.

Da jeweils nur zwei bis vier Messfahrten pro Messanordnung («Viel/wenig Verkehr», «Steigung/Gefälle» oder «eben», 100/120 km/h) absolviert wurden, wird auf die Formulierung von Streubereichen verzichtet.

Vergleich ohne/mit Katalysator, Emmen – Gisikon (eben; wenig Verkehr)						
Wenig Verkehr	**Temporegime 120**			**Temporegime 100**		
	Ohne Kat.	Mit Kat.	Faktor ohne/mit	Ohne Kat.	Mit Kat.	Faktor ohne/mit
NO_x-E. [g/km]	2.54	0.16	16	1.76	0.07	25
CO-E. [g/km]	4.88	1.05	5	4.15	0.20	21
HC-E. [g/km]	0.43	0.07	6	0.48	0.07	7



Vergleich ohne/mit Katalysator, Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle; wenig Verkehr)						
Wenig Verkehr	**Temporegime 120**			**Temporegime 100**		
	Ohne Kat.	Mit Kat.	Faktor ohne/mit	Ohne Kat.	Mit Kat.	Faktor ohne/mit
NO_x-E. [g/km]	2.14	0.21	10	1.63	0.11	15
CO-E. [g/km]	4.71	1.69	3	4.55	0.46	10
HC-E. [g/km]	0.49	0.07	7	0.55	0.07	8



Feststellungen zu den Fahrten mit/ohne Katalysator (Faktoren)

- Die Werte des normal ausgerüsteten Messfahrzeugs (mit Katalysator) liegen für die Stickoxide um den Faktor 10 bis 25 tiefer. Auch für die Kohlenmonoxid-Emissionen beträgt der Faktor bis 21. Für die Kohlenwasserstoff-Emissionen liegt er bei rund 7.
- Der absolute Unterschied zwischen den NO_x-Emissionen bei T 120 und T 100 bei einem Auto mit Katalysator ist sehr klein (minus 0.09 g/km in der Ebene), verglichen mit dem Unterschied zwischen den Emissionen eines Autos ohne Katalysator und einem mit Katalysator (minus 2.38 g/km bei T 120 in der Ebene).

Trotz des geringen Zahlenmaterials wird hier der Vergleich zwischen Temporegime T 100 und T 120 ohne Katalysator dargestellt, um eine Grössenordnung der Unterschiede zu erhalten.

Emmen – Gisikon (eben; ohne Katalysator)					
Wenig Verkehr	Tempor. 120	Tempor. 100	Diff. abs.	Diff. in %	Mit Kat. in %
NO_x-E. [g/km]	2.54	1.76	- 0.78	- 31	- 56
CO-E. [g/km]	4.88	4.15	- 0.73	- 15	- 81
HC-E. [g/km]	0.43	0.48	+ 0.05	+ 12	0

Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle; ohne Katalysator)					
Wenig Verkehr	Tempor. 120	Tempor. 100	Diff. abs.	Diff. in %	Mit Kat. in %
NO_x-E. [g/km]	2.14	1.63	- 0.51	- 24	- 48
CO-E. [g/km]	4.71	4.55	- 0.16	- 3	- 73
HC-E. [g/km]	0.49	0.55	+ 0.06	+ 12	0

Feststellungen zu den Fahrten ohne Katalysator (Vergleich 100/120 km/h)

- Bei Temporegime T 100 liegen die Stickoxid- und die Kohlenmonoxid-Emissionen tiefer, die Kohlenwasserstoff-Emissionen höher als bei T 120.
- Werden die Messstrecken ohne Katalysator absolviert, so sind die resultierenden prozentualen Unterschiede zwischen 100 und 120 km/h geringer als mit Katalysator.
- Die absoluten Unterschiede zwischen T 120 und T 100 sind bei den Stickoxiden und bei den Kohlenwasserstoffen ohne Katalysator grösser, beim Kohlenmonoxid kleiner.

Da die wenigen ohne Katalysator durchgeführten Messfahrten nur der Darstellung der Grössenordnung dienen, wird nicht mehr weiter auf diese Messungen eingegangen.

5.12 Abschätzung der Emissionsreduktion pro Tag

In den vorhergehenden Kapiteln sind jeweils die Messwerte von einem Auto dargestellt.

Um eine Idee von der absoluten Grössenordnung der Unterschiede zwischen Tempo 120 und Tempo 100 zu bekommen, werden in diesem Kapitel die Unterschiede beim Verbrauch und den Abgas-Emissionen von einem Auto auf die innerhalb von 24 Stunden an der Zählstelle der Messstrecke («Ebikon Tunnel Rathausen») vorbeifahrende Menge von Autos hochgerechnet.

Da in den Werten der Zählstelle alle Fahrzeuge enthalten sind, wird der Anteil der Personenwagen abgeschätzt.

Am Donnerstag, 8. Juni 1995, fuhren innerhalb von 24 Stunden rund 40'000 Fahrzeuge in beiden Richtungen an der Zählstelle vorbei. Für die Hochrechnung wird von 35'000 Personenwagen ausgegangen.

Es wird angenommen, dass es sich nur um Autos mit Katalysator handelt.

Es wird mit den Werten für wenig Verkehr gerechnet. Viel Verkehr herrscht nur während bestimmten Stunden des Tages.

Hochrechnung auf einen Kilometer und Tag				
Wenig Verkehr	Temporeg. 120	Temporeg. 100	Diff. abs.	Diff. [%]
Verbr. [l]	2'625	2'170	- 455	- 17
CO_2-E. [t]	6.6	5.5	- 1.1	- 17
NO_x-E. [t]	0.0056	0.0025	- 0.0031	- 55
CO-E. [t]	0.037	0.007	- 0.030	- 81

Die prozentualen Unterschiede mit Werten bis 81 % sind bedeutend. Die Abschätzung auf der Basis der MAMA-Werte zeigt aber, dass sich die absoluten Unterschiede bei den Schadstoff-Emissionen an der ausgewählten Autobahn während eines Tages nur auf einige Kilogramme summieren.

Im Kapitel 7.2 wird noch einen Schritt weiter gegangen. Auf der Basis der Emissionsfaktoren des BUWAL [3, 11] wird eine Abschätzung der Bedeutung der Verminderung der Emissionen der Personenwagen für die Emissionen des gesamten motorisierten Verkehrs auf der Autobahn durchgeführt.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Messungen mit der **M**obilen **A**bgas**M**ess**A**nlage haben ergeben, dass die Herabsetzung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 120 auf 100 km/h (T 120 zu T 100) die folgenden Auswirkungen auf den Benzinverbrauch, die Kohlendioxid-Emissionen, die Schadstoff-Emissionen, die mittlere Geschwindigkeit und die Anteile an den Betriebszuständen hat.

Die Verwendung nur der prozentualen Unterschiede ist irreführend. Für eine korrekte Darstellung der Auswirkungen von tieferen Geschwindigkeiten auf die Lufthygiene ist es unerlässlich, dass auch die absoluten Werte betrachtet werden (siehe dazu Kapitel 7.2, Seite 49).

Diese Ergebnisse gelten nur für Personenwagen mit Katalysator. Der motorisierte Strassenverkehr auf Autobahnen setzt sich aber zusammen aus Autos mit und ohne Katalysator, Autos mit Dieselmotor, Lieferwagen, Lastwagen, Gesellschaftswagen und Motorrädern.

Eben, wenig Verkehr

○ Benzinverbrauch	- 1.3 l/100 km	- 17 %
○ Kohlendioxid	- 32 g/km	- 17 %
○ Stickoxide	- 0.09 g/km	- 56 %
○ Kohlenmonoxid	- 0.85 g/km	- 81 %
○ Kohlenwasserstoffe	0 g/km	0 %
○ Mittl. Geschwindigkeit	- 19 km/h	- 17 %
○ Anteil Konst.-Fahrt	Zunahme um 13 % (von 65 auf 78 %)	
○ Anteil Beschleunigung	Abnahme um 7 % (von 18 auf 11 %)	
○ Anteil Verzögerung	Abnahme um 6% (von 17 auf 11 %)	

Eben, viel Verkehr

○ Benzinverbrauch	- 1.0 l/100 km	- 13 %
○ Kohlendioxid	- 24 g/km	- 13 %
○ Stickoxide	- 0.08 g/km	- 50 %
○ Kohlenmonoxid	- 0.89 g/km	- 81 %
○ Kohlenwasserstoffe	0 g/km	0 %
○ Mittl. Geschwindigkeit	- 19 km/h	- 17 %
○ Anteil Konst.-Fahrt	Zunahme um 5 % (von 61 auf 66 %)	
○ Anteil Beschleunigung	Abnahme um 2 % (von 20 auf 18 %)	
○ Anteil Verzögerung	Abnahme um 3 % (von 19 auf 16 %)	

Steigung/Gefälle, wenig Verkehr

○ Benzinverbrauch	- 1.4 l/100 km	- 17 %
○ Kohlendioxid	- 33 g/km	- 16 %
○ Stickoxide	- 0.10 g/km	- 48 %
○ Kohlenmonoxid	- 1.23 g/km	- 73 %
○ Kohlenwasserstoffe	0 g/km	0 %
○ Mittl. Geschwindigkeit	- 19 km/h	- 17 %
○ Anteil Konst.-Fahrt	Zunahme um 9 % (von 56 auf 65 %)	
○ Anteil Beschleunigung	Abnahme um 6 % (von 23 auf 17 %)	
○ Anteil Verzögerung	Abnahme um 3 % (von 21 auf 18 %)	

Steigung/Gefälle, viel Verkehr

○ Benzinverbrauch	- 1.0 l/100 km	- 14 %
○ Kohlendioxid	- 24 g/km	- 13 %
○ Stickoxide	- 0.09 g/km	- 50 %
○ Kohlenmonoxid	- 0.64 g/km	- 66 %
○ Kohlenwasserstoffe	- 0.01g/km	- 13 %
○ Mittl. Geschwindigkeit	- 17 km/h	- 16 %
○ Anteil Konst.-Fahrt	Zunahme um 4 % (von 55 auf 59 %)	
○ Anteil Beschleunigung	Abnahme um 2 % (von 23 auf 21 %)	
○ Anteil Verzögerung	Abnahme um 2 % (von 22 auf 20 %)	

7. Diskussion

7.1 Allgemeines

Aus den Messergebnissen geht hervor, dass beim Wechsel vom Temporegime T 120 zum Temporegime T 100 der Benzinverbrauch, die Kohlendioxid- und die Abgas-Emissionen (ausser Kohlenwasserstoffe) prozentual deutlich abnehmen. Absolut betrachtet sind die Differenzen wesentlich geringer.

Die Änderung der Fahrweise ist ohne Einfluss auf die relativen Resultate. Die Messfahrten des zusätzlichen Fahrers mit offensivem Fahrstil zeigten, dass die offensive Fahrweise mit öfterem und längerem Verharren auf der linken Fahrbahn und gezielterem Ein- und Ausscheren zu tieferen Verbauchs- und Emissionswerten führen kann.

Gemäss Festlegung der Messbedingungen wurden die Messfahrten unter dem Regime von 100 km/h und unter jenem von 120 km/h durchgeführt. Bei wenig und bei viel Verkehr sank die mittlere Geschwindigkeit bei den Messungen um den entsprechenden Wert.

Bei der Durchführung der Messungen wurde bei Tempo 100 nach Tacho um 20 km/h langsamer gefahren als bei Tempo 120 km/h. Die gefahrene Geschwindigkeit lag bei 100 um wirkliche 19 km/h tiefer als bei 120. Aus dem Bericht «Fahrverhalten von Personenwagen in der Schweiz» [8] geht hervor, dass auf dem schweizerischen Autobahnnetz die Differenz der gefahrenen Geschwindigkeit zwischen Strassen mit der Signalisation 120 km/h und solchen mit der Signalisation 100 km/h nur rund 13 km/h beträgt.

Um zu den hier erhaltenen Resultaten analoge Ergebnisse für ein grösseres Fahrzeugkollektiv erhalten zu können, müssten die Automobilistinnen und Automobilisten bei T 120 tatsächlich 120 km/h und bei T 100 effektiv 100 km/h fahren. Da die Geschwindigkeitsdifferenz in der Realität kleiner ist, sind auch die Verbrauchs- und Emissionsunterschiede geringer.

Bei der tieferen Geschwindigkeit ist der Anteil an Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit geringfügig grösser, der Fahrstil gleichmässiger. Der Unterschied ist zwar nicht so gross wie bei der ersten Etappe (30/50 km/h), aber die Tendenz von weniger Beschleunigungen und Verzögerungen ist bei viel und wenig Verkehr, auf der ebenen Messstrecke und auf jener mit Steigung und Gefälle zu beobachten.

Wohl handelt es sich beim Trägerfahrzeug der MAMA nur um ein einziges Automobil. Die Erkenntnisse aus den Messungen mit der MAMA können in ihrer relativen Bedeutung mit entsprechenden Einschränkungen auf einen Grossteil des Schweizer Personenwagenparks übertragen werden (siehe Kapitel 2.2). «In ihrer relativen Bedeutung» meint, dass nicht das absolute Niveau von Emissionen und Verbrauch auf einen Grossteil der anderen Fahrzeuge übertragen werden kann, sondern das Verhältnis der einzelnen Parameter bei den zwei verschiedenen Temporegimes.

Es ist demzufolge davon auszugehen, dass alle Fahrzeuge, die im Hubraum- und Leistungsbereich der MAMA liegen (gleiche gesetzliche Schadstoffgrenzwerte, praktisch gleiche Treibstoffaufbereitung und Abgasnachbehandlung), ein ähnliches Verhalten aufweisen, und daher ebenfalls unter dem Temporegime T 100 geringere Emissionen und ein geringerer Verbrauch resultieren.

Aus dem Bericht «Die **M**obile **A**bgas**M**ess**A**nlage – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark» [4] geht ebenfalls hervor, dass sich die andern Autos mit Katalysator in der Tendenz relativ gleich verhalten wie die MAMA.

Auf den Autobahnen werden rund 30 %, auf Ausserortsstrassen rund 38 % und auf Innerortsstrassen rund 32 % der Fahrleistung auf Schweizer Strassen erbracht [11].

Für die Beurteilung der Zweckmässigkeit von Tempo 100 anstelle von 120 km/h auf bestimmten Autobahnabschnitten ist der Umweltaspekt nur einer von vielen. Andere Aspekte, die die Wohn- und Lebensqualität in unmittelbarer Nähe von Autobahnen beeinflussen, wie Verkehrssicherheit, Lärm, Einfluss auf den Verkehrsfluss (Ausweichverkehr) etc. sind ebenso zu berücksichtigen.

7.2 Abschätzung der absoluten Auswirkung

Die Ergebnisse der ersten Etappe, Vergleich Tempo 30 zu Tempo 50, waren in den Medien oft in der Weise verzerrend wiedergegeben worden, als dass die relativen Emissionsunterschiede (Angabe in Prozenten) ins Zentrum gestellt wurden. Prozentuale Angaben können ein Ergebnis in gänzlich anderem Licht darstellen als absolute Angaben. Die Angabe nur von Prozentwerten, wie es sehr oft gemacht wird, stellt demzufolge eine unvollständige Information dar.

Für eine korrekte Darstellung der Auswirkung von tieferen Geschwindigkeiten auf die Lufthygiene ist es unerlässlich, dass auch die absoluten Werte betrachtet werden. Im Sinne einer sachgerechten Information muss die Bedeutung der relativen und absoluten Unterschiede klar aufgezeigt werden.

Relativ gesehen ergaben die Messfahrten bedeutende Emissions- und Verbrauchsunterschiede von 0 bis über 80 %. Absolut gesehen bewegt man sich aber bei einem Auto mit Katalysator auf einem sehr geringen Emissionsniveau. Die Unterschiede bewegen sich zum grossen Teil im Bereich von Hundertsteln von einem Gramm pro Kilometer. Man muss diese sehr kleinen Mengen zwingend auch in Beziehung zu den gesamten Emissionsmengen und andern Emittenten setzen.

Vergleicht man die obigen Emissionswerte mit den Schadstoff-Emissionen von einem Personenwagen ohne Katalysator, so wird man unschwer feststellen können, dass die Emissionen dieser Fahrzeuge an Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid um den Faktor 3 bis 25 grösser sind. Der Unterschied zwischen einem Auto mit Katalysator und einem Auto ohne Katalysator ist also um ein Mehrfaches grösser als jener zwischen T 120 und T 100 für ein Auto mit Katalysator.

Nochmals bedeutend höher liegen die Emissionen eines Lastwagens. Mit Werten für die Stickoxide um 10 g/km liegen die Lastwagen-Emissionen rund 30mal höher als die Emissionen eines Autos mit Katalysator.

Der motorisierte Strassenverkehr auf Autobahnen besteht neben Autos mit Katalysator noch aus vielen anderen Fahrzeugkategorien: Autos ohne Katalysator, Autos mit Dieselmotor, Lieferwagen, Lastwagen, Gesellschaftswagen, Motorrädern. Massnahmen nur bei den Autos wirken sich demzufolge deutlich abgeschwächt auf die gesamten Emissionen des motorisierten Strassenverkehrs aus. Die Betrachtung dieses Aspektes ist bei der Beurteilung von Massnahmen beim Personenwagenverkehr unerlässlich. Ein Blick in die Zukunft zeigt die Entwicklung, wenn die Zahl der Autos ohne Katalysator weiter abnimmt.

Die folgenden Tabellen zeigen Abschätzungen der absoluten Bedeutung der Änderung des Temporegimes bei der Betrachtung aller Strassenfahrzeuge. Für diese Abschätzung werden die Stickoxid-Emissionsfaktoren, auch für Personenwagen, dem Bericht «Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950–2010» [11] und dem dazugehörenden Handbuch [3] entnommen. Für diese Abschätzung wird die effektive Differenz zwischen T 120 und T 100 von nur 13 km/h verwendet (gegenüber 19 km/h bei den Messfahrten). Der Abschätzung liegen die folgenden Annahmen zugrunde:

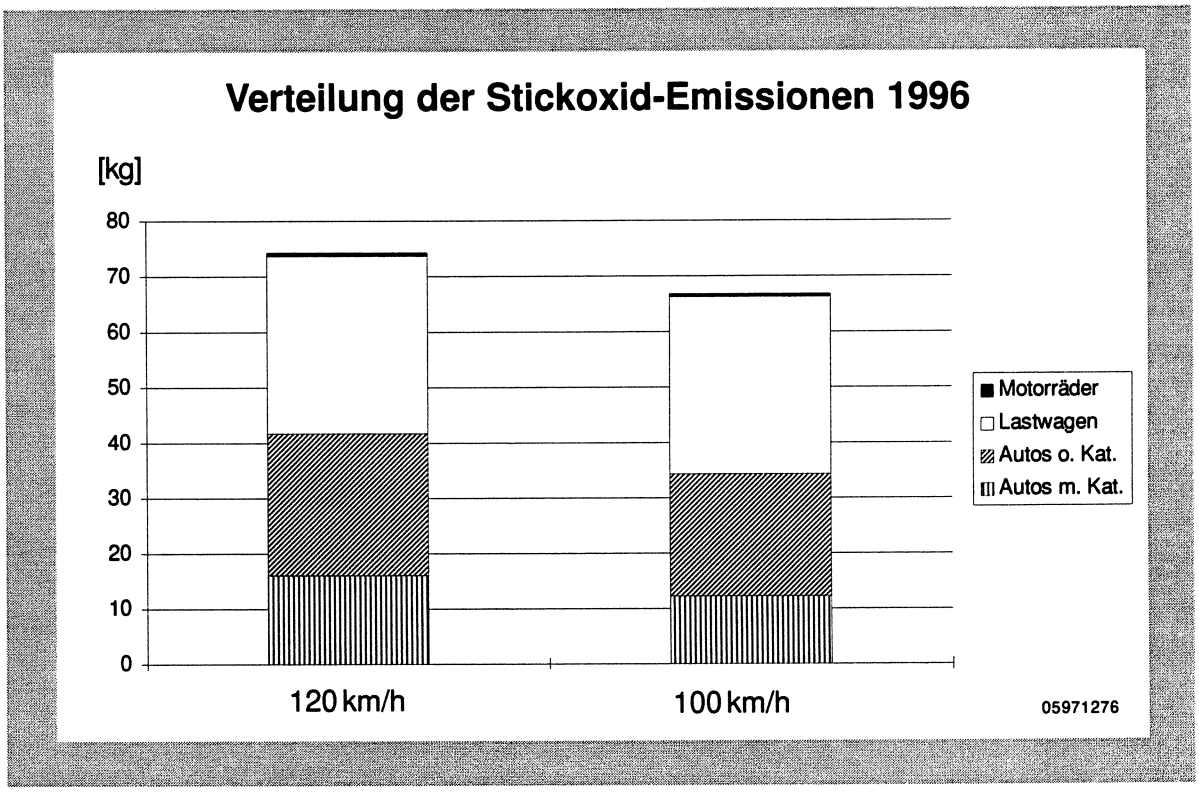
Annahmen für alle drei Szenarien

- Strecke: 1 km
- Zählstelle: Ebikon Tunnel Rathausen
- Tagesverkehr: 40'000 Fahrzeuge in beiden Richtungen
- Anteil der Personenwagen am Tagesverkehr: 35'000 Pw
- Bestandesanteile werden anhand der altersabhängigen Jahresfahrleistung (neue Autos werden mehr gefahren als alte) auf Fahrleistungsanteile umgerechnet [20].
- Es werden die NO_x-Emissionsfaktoren des BUWAL verwendet. Für Pw «AB 120» und «AB 100», bei 100/120: Pw mit Kat. 0.44 bzw. 0.58 g/km, Pw ohne Kat. 3.0 bzw. 3.5 g/km.
- Anteil der Schweren Motorwagen: 4000 Fz
- Anteil der Motorräder: 1000 Fz
- Temporegime 100 km/h gilt auch für Zweiräder. Es werden folgende Emissionsfaktoren verwendet: bei 120: 0.55 g/km, bei 100: 0.50 g/km [6].
- Keine Verkehrszunahme bis 2005. Bei einem Personenwagenpark, der aus lauter Autos mit Katalysator besteht, spielt eine kleine Verkehrszunahme keine grosse Rolle.
- Das Jahr 2005 wird exemplarisch genommen für die Zeit, in welcher der Personenwagenpark nur noch aus Autos mit Katalysator besteht.

Spezielle Annahmen	1996	2000	2005
Anteil von Autos mit Kat. am Pw-Bestand [%]	75	85	100
Anteil von Autos ohne Kat. am Pw-Bestand [%]	25	15	0
Anteil von Autos mit Kat. an Pw-Fahrleistung [%]	79	88	100
Anteil von Autos ohne Kat. an Pw-Fahrleistung [%]	21	12	0
Emissionsfaktor für Schwere Motorwagen bei Autobahntempo T 80 [g/km]	8	7	6

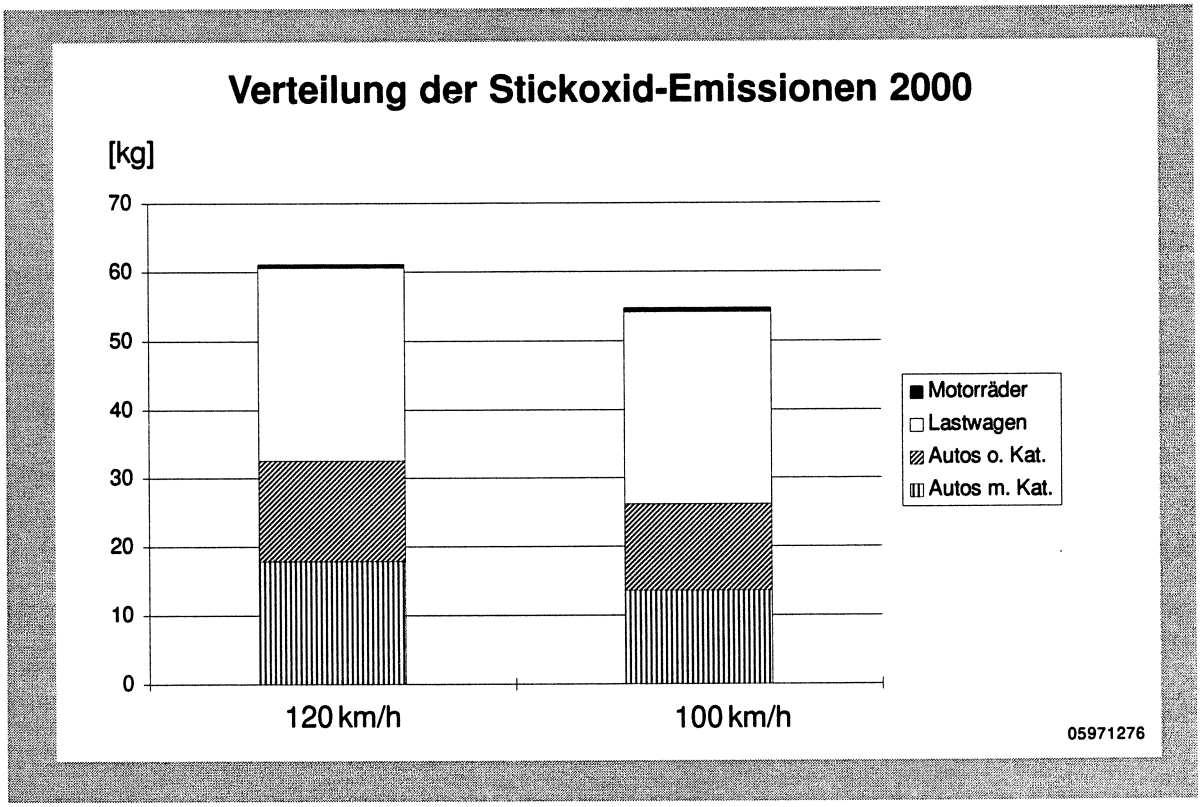
Anteile der Stickoxid-Emissionen (NO_x) pro Kilometer und Tag, Jahr 1996

1996	Temporeg. 120	Temporeg. 100	Differenz absolut	Differenz [%]
Autos m. Kat.	16.0 kg	12.2 kg	- 3.8 kg	- 24 %
Autos o. Kat.	25.7 kg	22.1 kg	- 3.6 kg	- 14 %
Alle Autos	41.7 kg	34.3 kg	- 7.4 kg	- 18 %
Lw	32 kg	32 kg	0 kg	0 %
Motorräder	0.55 kg	0.5 kg	- 0.05 kg	- 9 %
Total	74.25 kg	66.8 kg	- 7.45 kg	- 10.0 %



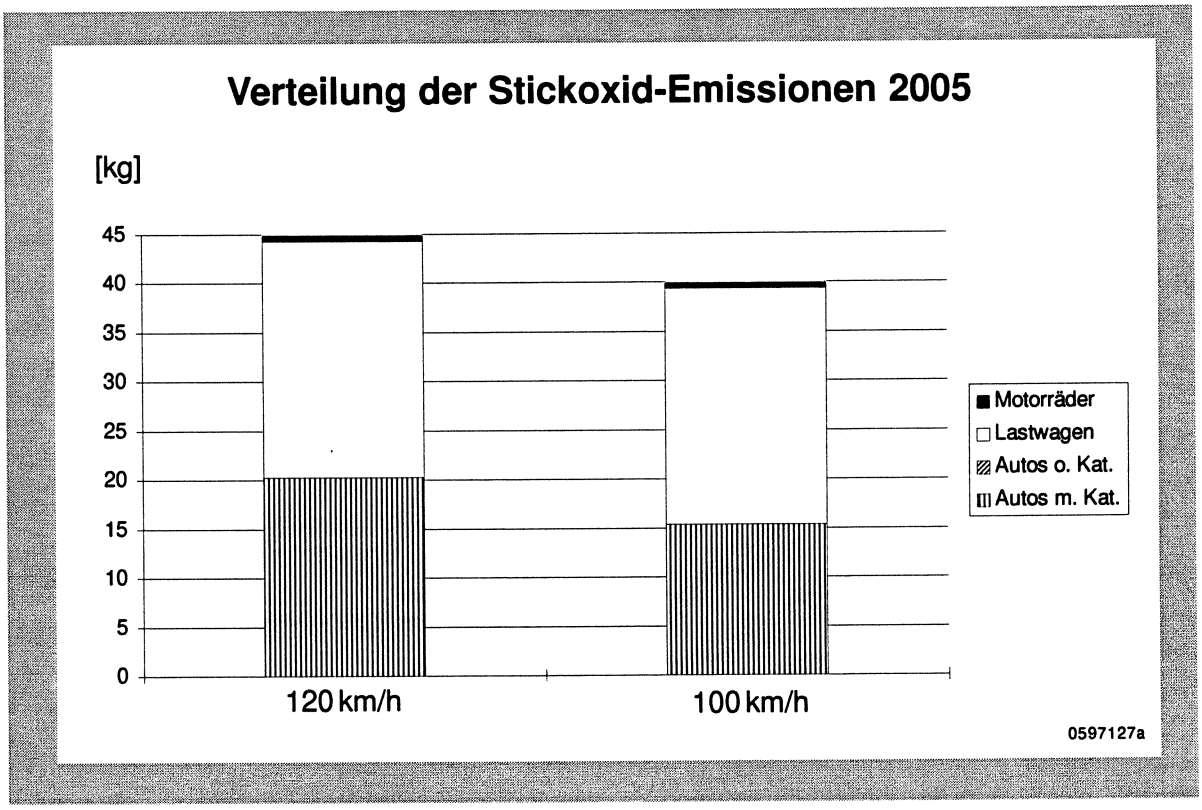
Anteile der Stickoxid-Emissionen (NO_x) pro Kilometer und Tag, Jahr 2000

2000	Temporeg. 120	Temporeg. 100	Differenz absolut	Differenz [%]
Autos m. Kat.	17.9 kg	13.6 kg	- 4.3 kg	- 24 %
Autos o. Kat.	14.7 kg	12.6 kg	- 2.1 kg	- 14 %
Alle Autos	32.6 kg	26.2 kg	- 6.4 kg	- 20 %
Lw	28 kg	28 kg	0 kg	0 %
Motorräder	0.55 kg	0.50 kg	- 0.05 kg	- 9 %
Total	61.15 kg	54.7 kg	- 6.45 kg	- 10.5 %



Anteile der Stickoxid-Emissionen (NO_x) pro Kilometer und Tag, Jahr 2005

2005	Temporeg. 120	Temporeg. 100	Differenz absolut	Differenz [%]
Autos m. Kat.	20.3 kg	15.4 kg	- 4.9 kg	- 24 %
Autos o. Kat.	0 kg	0 kg	0 kg	0 %
Alle Autos	20.3 kg	15.4 kg	- 4.9 kg	- 24 %
Lw	24 kg	24 kg	0 kg	0 %
Motorräder	0.55 kg	0.50 kg	- 0.05 kg	- 9 %
Total	44.85 kg	39.90 kg	- 4.95 kg	- 11 %



Aus den in diesen Tabellen enthaltenen Zahlen geht deutlich hervor, dass die grossen prozentualen Unterschiede zwischen Tempo 120 und Tempo 100 bei der Betrachtung einer Autobahnsituation mit Schweren Motorwagen und Motorrädern ein anderes Gewicht erhalten.

Auf der Basis der Emissionswerte des BUWAL beträgt der Unterschied zwischen Temporegime 120 und T 100 für Personenwagen für den gesamten Verkehr auf der Autobahn heute und auch in zehn Jahren 10 bis 11 % .

Die Unterschiede der gesamten Emissionen einer Autobahn sind also deutlich geringer als die prozentualen Emissionsunterschiede bei einem einzelnen Fahrzeug.

Durch die Ausmusterung von Autos ohne Katalysator sinkt bei unverändertem Tempo 120 der Stickoxid-Ausstoss aller Autos im Zeitraum 1996 bis 2000 von 41.7 kg auf 32.6 kg oder um rund 22 %. Damit wird eine grössere Wirkung erzielt als mit T 100 (Abnahme 1996 bei Autos mit und ohne Katalysator um rund 18 %).

Auswirkung auf die Immissionen

Für die Auswirkung auf die Immissionssituation sind die gesamten Emissionen massgebend [2, 12, 17].

In der offiziellen Expertise zu «Beschwerden gegen den Regierungsrat des Kantons Luzern wegen Tempobeschränkungen auf Streckenabschnitten der N2 und N14» [2] steht dazu:

> *Aufgrund von Modellrechnungen kann aber angenommen werden, dass im Jahresdurchschnitt im Siedlungsgebiet nördlich von Luzern in 100 m Entfernung zur Nationalstrasse mit der Reduktion der Geschwindigkeit auf 80/60 (Anmerkung: T80 für Pw, T60 für Lw) die Immissionen um 2 - 3 µg NO_2/m^3 gesenkt werden konnten, mit dem Regime 80/80 um 1 - 2 µg NO_2/m^3. Mit zunehmender Distanz zur Autobahn wird der Einfluss rasch kleiner.*

Dabei ging es um die Absenkung der Höchstgeschwindigkeit für Personenwagen von 120 auf 80 km/h. Dies galt für 1991 und einen DTV von 34'300 Fahrzeugen (Zählstelle: Emmenbrücke, Riffig). Im Jahre 1996 sind die absoluten Emissionsunterschiede deutlich kleiner, der DTV dafür etwas höher. Die Verminderung der NO_2-Immissionen ist deshalb ebenfalls geringer und beträgt einige Prozent des Immissionsgrenzwertes von 30 µg/m^3.

Diese Beurteilung stimmt weitgehend überein mit den Aussagen des Luft-Programms 1996 des Kantons Zürich [10], welches für ähnliche Massnahmen eine Reduktion der NO_2-Immissionen um 2 - 3 µg NO_2/m^3 angibt.

Die Auswirkungen von Tempo 100 auf die NO_2-Immissionen sind deutlich geringer (im Nahbereich der Autobahn 1 - 3 µg/m^3 oder 5 - 10 % des Immissionsgrenzwertes) als die relativen Unterschiede bei den Emissionen der Personenwagen. Gründe dafür sind die zusätzlichen Emittenten auf der Autobahn sowie luftchemische und ausbreitungstechnische Gegebenheiten.

8. Fazit

Die folgenden Aussagen basieren auf den durchgeführten Messungen und gelten für Personenwagen mit Katalysator.

⇨	**Tempo 100 führt zu einer Verminderung des Benzinverbrauchs und der Kohlendioxid-Emissionen gegenüber Tempo 120.**
⇨	Tempo 100 führt zu einer Verminderung der Schadstoff-Emissionen (ausser Kohlenwasserstoffe) gegenüber Tempo 120.
⇨	**Bei Autos mit Katalysator sind die absoluten Emissionen bei den betrachteten Geschwindigkeiten gering (Bruchteile eines Gramms). Die relativen Unterschiede (in Prozent) zwischen Tempo 100 und Tempo 120 können bis 80 % ausmachen.**
⇨	Die Auswirkungen von Tempo 100 auf die NO_2-Immissionen sind deutlich geringer (im Nahbereich der Autobahn 1 - 3 µg/m³ oder 5 - 10 % des Immissionsgrenzwertes) als die relativen Unterschiede bei den Emissionen der Personenwagen. Gründe dafür sind die zusätzlichen Emittenten auf der Autobahn sowie luftchemische und ausbreitungstechnische Gegebenheiten.
⇨	**Bei Tempo 100 ist der Anteil an Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit höher, der Fahrstil ist gleichmässiger.**
⇨	Andere Aspekte wie Lärm, Verkehrssicherheit etc. spielen bei der Beurteilung von Tempo 100 ebenfalls eine Rolle.

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] **Begleituntersuchung zum Tempoversuch 70/100, zusammenfassender Schlussbericht;** Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG; Zürich, 24. Dezember 1991

[2] **Beschwerden gegen den Regierungsrat des Kantons Luzern wegen Tempobeschränkungen auf Streckenabschnitten der N2 und N14, Expertise ;** H.U. Wanner, H.J. Bernath; Zürich, 7. Oktober 1994

[3] **Datenbank, Handbuch der Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 1980–2010;** 1995 Version 1.1; BUWAL (auf Disketten)

[4] **Die Mobile AbgasMessAnlage – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark;** Touring Club Schweiz; Peter Züger; Emmen, September 1995

[5] **Dokumentation über Mobile Abgas-Messungen;** Touring Club Schweiz; Peter Züger; Emmen, 1992

[6] **Emissionsfaktoren von motorisierten Zweirädern in der Schweiz;** Schlussbericht; Umwelt-Materialien Nr. 39, Luft; BUWAL; Bern, 1995

[7] **Emissionsfaktoren von Schweren Motorwagen in der Schweiz;** Schlussbericht; Umwelt-Materialien Nr. 38, Luft; BUWAL; Bern, 1995

[8] **Fahrverhalten von Personenwagen in der Schweiz;** Schlussbericht; Umwelt-Materialien Nr. 40, Luft; BUWAL; Bern, 1995

[9] **Langsamer und flüssiger fahren, Niedriggeschwindigkeitsszenarien und ihre Wirkungen;** Nationales Forschungsprogramm Stadt und Verkehr; W. Hüsler, R. Häfliger, I. Schmid, E. Willi; Zürich, 1994

[10] **Luft-Programm 1996, Luft;** Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich (ATAL); Zürich, 10. Juni 1996

[11] **Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950–2010;** Schriftenreihe Umwelt Nr. 255, Luft; BUWAL; Bern, 1995

[12] **N1, Ausbau der Grauholzautobahn, Umweltverträglichkeitsbericht;** Baudirektion des Kantons Bern, Tiefbauamt; Bern, September 1988

[13] **Schadstoffemissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten;** Kreditbegehren für Forschungsarbeiten; Touring Club Schweiz; Peter Züger; Emmen, Mai 1992

[14] **Schadstoffemissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten, Teilbericht Etappe 1: 30/50 km/h;** Forschungsauftrag 63/92 auf Antrag des ASB; Touring Club Schweiz; P. Züger, D. Burch, P. Riedwyl, A. Porchet; Bern, September 1995

[15] **Temporeduzierung im Autoverkehr: Vorteile für alle! Ein Materialienband für Tempo 30/70/100;** Herausgeber Arbeitskreis Verkehr, Cheruskerstrasse 10, D-1000 Berlin 62, 1984

[16] **Tiefere Tempolimiten zur Reduktion der Stickoxidbelastung**; P. Pitzinger; strasse und verkehr, Nr. 3; Zürich, März 1995

[17] **Über den Einfluss geschwindigkeitsbegrenzender Massnahmen auf die Reduzierung der NO_2- und Benzolemissionen neben Schnellstrassen;** TÜV Rheinland; P. Jost, P. Leisen; Bundesministerium für Verkehr; J. Ullrich; Köln, Bonn, 1992

[18] **Verkehrsverhalten in der Schweiz 1994;** Bundesamt für Statistik; GS EVED, Dienst für Gesamtverkehrsfragen; Bern, 1996

[19] **Verminderung der Umweltbelastung durch verkehrsorganisatorische und verkehrstechnische Massnahmen**; Metron Verkehrsplanungs- und Ingenieurbüro; W. Hüsler; Windisch, August 1987

[20] **Wege der Schweizer, Ergebnisse des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 1994;** GVF-Bericht 2/96; Bern, Mai 1996

Auszug aus «Luft-Programm 1996» (ATAL, Zürich)

Geschwindigkeitsreduktion auf Nationalstrassen

Massnahmenbeschrieb/Auftrag

Auf Nationalstrassenstücken in Gebieten mit stark übermässigen Immissionen (> 50 µg/m³) sind die Höchstgeschwindigkeiten neu folgendermassen festzusetzen:

a) 100 km/h für Personenwagen, 80 km/h für Lastwagen
   - N 1 Anschluss Winterthur-Töss bis Oberwinterthur
   - N 20 Anschluss Zürich-Seebach bis Zürich-Affoltern

b) 80 km/h für Personen- und Lastwagen
   - N 1 Brüttiseller Kreuz bis Zürich-Aubrugg
   - N 20 Verzweigung N 11 bis Zürich-Seebach
   - N 20 Anschluss Zürich-Affoltern bis Limmattaler Kreuz (Gubristtunnel)
   - N 11 Zürich-Aubrugg bis Flughafen
   - N 1 Limmattaler Kreuz bis Zürich-Hardturm
   - N 3 Anschluss Zürich-Wollishofen bis Sihlhölzli
   - N 1 Zürich-Letten bis Zürich-Aubrugg (stadtauswärts)

c) 60 km/h für Personen- und Lastwagen
   - N 1 Zürich-Aubrugg bis Zürich-Letten (stadteinwärts)

Entsprechende Massnahmen sind auch auf der kantonalen Oberlandautobahn (K 53) vorzusehen.

Auswirkungen

Reduktion der Luftschadstoff-Belastung in übermässig belasteten Zentrums- und Agglomerationsgebieten. Dazu kommen Verbrauchseinsparungen bzw. CO_2-Reduktionen sowie Lärmreduktionen. Die NO_2-Immissionen in der nahen Umgebung der betreffenden Strassenabschnitte werden um 2–3 µg/m³ reduziert.

Emissionsreduktion/Bezugsjahr	2000	2005	2010
Stickoxide (NOx)	110 t/a	90 t/a	90 t/a
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	2 t/a	2 t/a	3 t/a

(Berechnungen mit Verkehrsmodell des Kantons Zürich und Emissionsfaktoren aus BUWAL-Bericht 255 mit Wachstumsprognose ATAL)

Rechtslage/Zuständigkeit/Hinweise zur Realisierung

- Art. 32 Abs. 3 SVG
- a) und c) 1990 beim Bund beantragt, 1992 gemäss geänderter Zuständigkeitsordnung durch PD verfügt, seither durch Rekurse an Regierungsrat und Bundesrat blockiert.
  b) Genehmigung durch EJPD ausstehend.
- – –

Termine/Fristen

Drei Rekurse mit aufschiebender Wirkung sind beim Bundesrat pendent seit Mitte 1994. Bei den übrigen Teilstücken ist die Genehmigung des EJPD ausstehend.

Beurteilung

Massnahme mit günstigem Kosten/Nutzen-Verhältnis. Bestandteil eines der wirksamsten Massnahmenpakete im Bereich Verkehr. Rasch realisierbar und reversibel, d.h. kann bei Erreichen der Immissionsziele ganz oder teilweise aufgehoben werden.

MIETBEDINGUNGEN
CONDITIONS DE LOCATION

- ✗ Für private und öffentliche Hand
  Pour des projets privés ou publics
- ✗ Überall in der Schweiz
  Partout en Suisse
- ✗ Vorabklärungen kostenlos
  Etudes préliminaires gratuites
- ✗ Fr. 3500.– pro Messtag
  Fr. 3500.– par jour de mesure
- ✗ Fr. 1200.– pro Auswertetag
  Fr. 1200.– par jour d'évaluation
- ✗ Vom Vorprojekt bis zum fertigen Bericht
  De l'avant-projet au rapport terminé
- ✗ Rabatt für längere Aufträge
  Rabais pour des projets de longue durée

Die Mobile Abgas-Messanlage (MAMA) misst die Emissionen an HC, NO_x, CO und CO_2 und den Verbrauch des Trägerfahrzeugs. Am Ende erfolgt die Ausgabe in Gramm pro Kilometer bzw. Liter pro 100 Kilometer.

La Station mobile de mesure des gaz d'échappement (MAMA) mesure les émissions de HC, NO_x, CO et CO_2 ainsi que la consommation du véhicule porteur. A la fin, les résultats sont donnés en grammes par kilomètre resp. en litres par 100 kilomètres.

Technik + Umwelt
Technique + environnement

Oktober 1992
octobre 1992

EINSATZ-MÖGLICHKEITEN
POSSIBILITÉS D'UTILISATION

- ✗ Kaltstart
  Démarrage à froid
- ✗ Mit/ohne Motor abstellen
  Avec/sans arrêt du moteur
- ✗ Mit/ohne Katalysator
  Avec/sans catalyseur
- ✗ Tempo / *Vitesse* 30/50
  Tempo / *Vitesse 80/100*
- ✗ Umfahrung
  Contournement
- ✗ Autobahn
  Autoroute
- ✗ Kreuzung
  Carrefour
- ✗ Tunnel
  Tunnel
- ✗ Kreisel
  Giratoire
- ✗ Parkhaus
  Garage à étages

Eine exklusive Dienstleistung des
Un service exclusif du

pour notre environnement.
für unsere Umwelt.

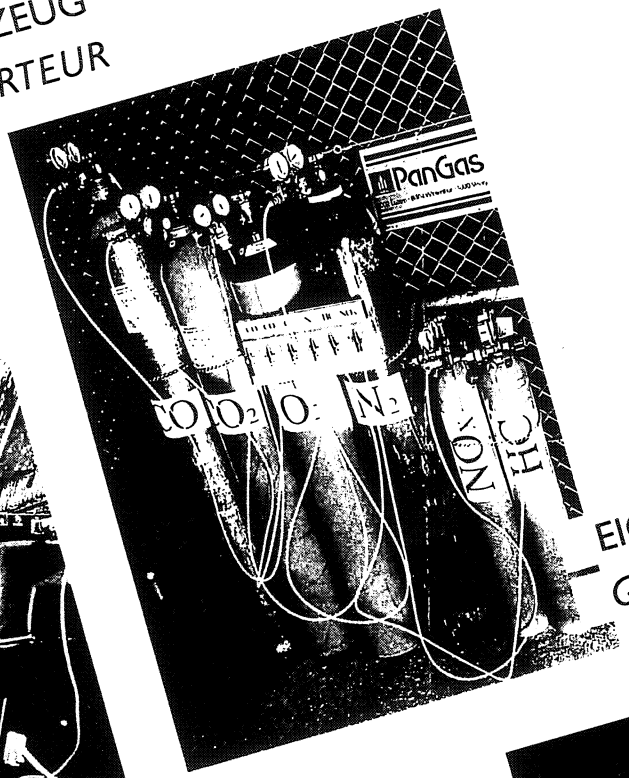
MOBILE ABGAS-MESSAN
STATION MOBILE DE MI DES GAZ D'ÉCHAPPEME



TOURING CLUB DER SCHWEIZ
TOURING CLUB SUISSE



TRÄGERFAHRZEUG
VÉHICULE PORTEUR



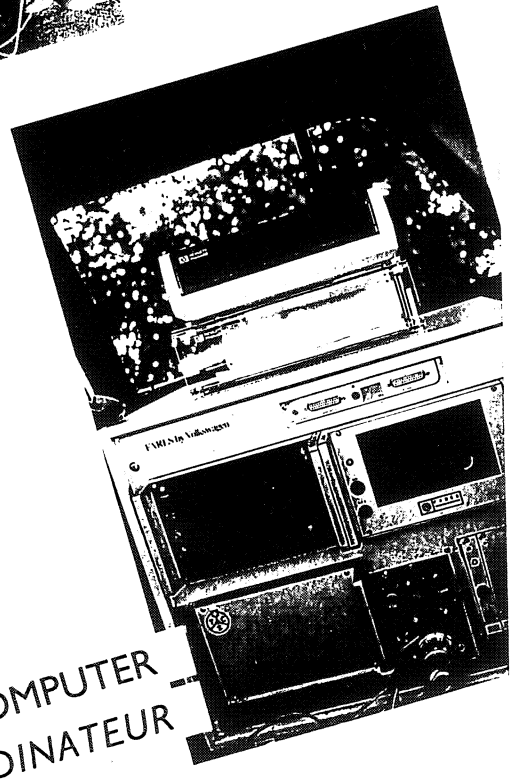
EICHGASE
GAZ D'ÉTALONNAGE



BILDSCHIRM/TASTATUR
ÉCRAN ET CLAVIER



ANALYSEANLAGE
INSTALLATION D'ANALYSE



COMPUTER
ORDINATEUR

Auszug aus «Die Mobile AbgasMessAnlage – ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark»

Zusammenfassung Die Mobile AbgasMessAnlage des TCS (MAMA) ist ein einziges Auto. Damit sollen Messungen durchgeführt werden, deren Ergebnisse zu Aussagen über den gesamten schweizerischen Fahrzeugpark führen.

Dieser Bericht zeigt, auf welchen Grundlagen und Schlussfolgerungen basiert wird, damit die MAMA diese Anforderung erfüllen kann.

So wird untersucht, wie gross die Werte für den Benzinverbrauch und die Schadstoffemissionen der mobilen Anlage im Vergleich zu verschiedenen Fahrzeugkollektiven sind.

Die MAMA ist mit dem Ziel konstruiert worden, Schadstoffemissionsmessungen direkt im Verkehr durchführen zu können. Dafür bedarf es dreier Komponenten: Trägerfahrzeug, Analyseanlage, Computer.

Als Trägerfahrzeug für die mobile Anlage kommt jeder Personenwagen in Frage. Als "Vertreter" des Schweizer Personenwagenparks eignet sich ein VW Golf am besten.

Das ausgewählte Trägerfahrzeug verfügt über eine geregelte Einspritzung und einen Dreiweg-Katalysator, die heutzutage bei Autos mit Benzinmotor einzige mögliche Abgasreinigungstechnologie, um die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte einhalten zu können.

Die Vergleiche von Verbrauch und Emissionen werden anhand von Zyklenwerten und Werten von Fahrten bei konstanten Geschwindigkeiten durchgeführt.

Als Vergleichskollektive wurden vor allem Fahrzeuggruppen ausgewählt, die im Rahmen der Fortschreibung der Emissionsfaktoren gemessen (Projekt TÜV/BUWAL) wurden und solche, die beim TCS getestet wurden.

Bezüglich des Benzinverbrauchs und analog bezüglich der Kohlendioxid-Emissionen kann die MAMA als gutes Abbild des Personenwagenparks der Autos mit Katalysator ab Inverkehrssetzungsdatum 1988 gelten.

Bezüglich der übrigen Schadstoffemissionen sind Hochrechnungen nur mit Einschränkungen möglich. Je nach Art der Messstrecke muss mit einem anderen Faktor gerechnet werden.

Die Stärke der MAMA liegt bei Vergleichsmessungen.

9. Rekapitulation

Bezüglich des Benzinverbrauchs und analog bezüglich der Kohlendioxid-Emissionen kann die **M**obile **A**bgas**M**ess**A**nlage als gutes Abbild des Personenwagenparks der Autos mit Katalysator ab Inverkehrssetzungsdatum 1988 gelten.

Bei den Stickoxiden liegt die MAMA deutlich unter den Werten der für den Vergleich herangezogenen Kollektive. Dieses Verhalten zeigt sich sowohl bei den Werten für Zyklen als auch bei den Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit.

Der für die Vergleiche ebenfalls herangezogene VW Golf aus dem Katalysator-Langstrekkentest zeigte dasselbe Phänomen.

Bezüglich der Kohlenmonoxidemissionen ist keine eindeutige Tendenz festzustellen. Auf dem FTP 75-Zyklus emittiert die MAMA vergleichsweise wenig, bei den andern Modi, liegt die MAMA jeweils höher als das Vergleichskollektiv.

Bei den Kohlenmonoxid-Emissionen verhält sich die MAMA deutlich anders als die Autos der Vergleichskollektive. Die Emissionen der MAMA sind aber immer grösser als diejenigen der ausgewählten Vergleichskollektive.

Die zum Vergleich herangezogenen Fahrzeugkollektive waren auch untereinander oft sehr verschieden.

Die ebenfalls berücksichtigten Werte eines baugleichen VW Golf, der beim TCS in einem Langstreckentest lief, lagen fast immer auf dem gleichen Nineau wie die MAMA-Werte.

10. Schlussfolgerungen

Bei den bisher durchgeführten Messprojekten mit der MAMA ging es nur um Vergleichsmessungen. So zum Beispiel um Fragen wie, ob bei einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 30 oder einer solchen von 50 km/h mehr Schadstoffe emittiert werden, oder wie sich eine bestimmte Fahrweise auf Verbrauch und Emissionen auswirkt.

Der absolute Aspekt steht nie im Vordergrund.

Das soll aber keineswegs heissen, dass der absolute Aspekt völlig unwichtig ist. Geht es nämlich um die Beurteilung einer bestimmten Massnahme im Verkehr, so muss auf jeden Fall berücksichtigt werden, auf welch tiefem Emissionsniveau man sich bei Autos mit Katalysator befindet.

Aus den hier durchgeführten Vergleichen sind die folgenden Erkenntnisse für die weiteren Messprojekte mit der **M**obilen **A**bgas**M**ess**A**nlage zu beachten:

- ☞ Bezüglich Benzinverbrauch und Kohlendioxidemissionen können die Werte der MAMA für Hochrechnungen auf den Personenwagenpark ab 1988 verwendet werden.
- ☞ Bezüglich der Stickoxidemissionen sind Hochrechungen ebenfalls möglich, aber mit Einschränkungen. Je nach Art der gefahrenen Strecke muss mit einem entsprechenden Faktor gerechnet werden.
- ☞ Bezüglich der Kohlenwasserstoff- und der Kohlenmonoxidemissionen sind Hochrechungen nur mit grossen Einschränkungen möglich. Je nach Art der Messstrecke muss mit einem anderen Faktor gerechnet werden.
- ☞ Die Stärke der MAMA liegt eindeutig bei Vergleichsmessungen.
- ☞ Vergleicht man verschiedene Vergleichskollektive untereinander, so sind auch dort grosse Unterschiede auszumachen.

Ergebnisse der Zählstelle «Ebikon Tunnel Rathausen»

Seite 1 96/01/09 Kant. TBA Luzern Abt.Verkehrstechnik Verkehrsanalyse : TRANSPAC Version 5.0

Zählstelle : 1670 Ort : Ebikon Tunnel Rathausen Querschnitt R1+R2

Stündlicher Verkehr für Juni 1995

		Stundenbeginn																		
Tag		00-05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	TOTAL
DO	1	1389	2063	3607	2698	1963	1865	1819	1757	2096	2089	2397	3023	3853	3061	1948	1145	977	958	707	39415
FR	2	1426	1954	3416	2581	1932	1942	1984	1875	2357	2571	2796	3599	4228	3604	2643	1652	1275	1002	853	43690
SA	3	2199	589	1125	1768	2121	2479	2640	2298	2465	2401	2282	2570	2387	1984	1518	1246	1099	998	971	35140
SO	4	2311	171	333	649	1109	1761	2126	1927	2025	2142	2025	2152	2348	2390	1923	1524	1252	1193	874	30235
MO	5	1463	209	346	602	926	1429	1789	1844	2386	2339	2359	2589	2712	2540	2271	1696	1336	1029	653	30518
DI	6	1348	2343	3976	2678	1948	1913	1870	1676	2123	2155	2164	2979	3853	3095	1837	1039	826	850	541	39214
MI	7	1179	2133	3781	2724	2012	1901	1941	1786	2198	2230	2364	3196	4034	3169	1946	1161	949	833	697	40234
DO	8	1423	2114	3748	2845	2115	1924	1839	1752	2245	2231	2493	3306	3894	3256	1984	1198	1004	894	733	40998
FR	9	1398	2014	3531	2681	1999	1944	1970	1925	2359	2492	2820	3672	4051	3577	2503	1573	1281	1097	944	43831
SA	10	2555	563	1454	1956	2312	2440	2639	2642	2837	2583	2446	2985	2820	2316	1776	1307	1047	1103	1094	38875
SO	11	3266	274	463	940	1231	1648	1910	1723	1936	2104	1950	2474	2761	2425	2100	1677	1214	994	673	31763
MO	12	1417	2283	3887	2783	2051	1830	1843	1620	2070	2098	2123	2868	3819	2830	1662	971	739	733	514	38141
DI	13	1050	2093	3715	2735	1934	1760	1884	1685	2091	2170	2286	3077	3864	3201	1941	1056	911	979	637	39069
MI	14	1363	2172	3689	2826	2048	2015	1985	1933	2301	2458	2659	3515	3862	3021	2044	1301	1061	956	872	42031
DO	15	2011	863	1438	1657	1876	2136	2067	1770	1831	1831	1893	2239	2620	2355	1958	1321	1031	854	717	32468
FR	16	1346	1557	2961	2421	2056	2167	2113	1922	2307	2443	2721	3228	3537	3109	2209	1525	1101	945	807	40475
SA	17	2073	630	1349	1939	1929	2388	2498	2495	2647	2264	2259	2493	2439	2130	1587	1243	1105	1089	930	35487
SO	18	2803	319	593	1042	1397	1818	1985	1859	2098	2198	2151	2552	3114	2956	2662	1960	1427	1083	655	34672
MO	19	1482	2294	3935	2728	2102	1934	1791	1584	1958	1970	2086	2800	3759	2986	1636	1053	889	771	516	38274
DI	20	1182	2129	3758	2881	2069	1991	1890	1647	2090	2037	2281	3088	3988	3072	1787	1041	940	901	630	39402
MI	21	1296	2107	3606	2776	1974	1863	1999	1779	2280	2168	2346	3121	3953	2943	2019	1123	893	865	725	39836
DO	22	1357	2203	3827	2797	2064	1949	1861	1721	2205	2205	2386	3181	4049	3192	1960	1290	1018	960	774	40999
FR	23	1561	2007	3452	2822	2049	1924	2065	1986	2446	2587	2976	3718	4265	3614	2542	1579	1206	1042	953	44794
SA	24	2336	645	1378	1896	2139	2596	2678	2710	2832	2736	2515	2723	2549	2208	1828	1514	1142	1083	1078	38586
SO	25	3326	314	536	1057	1461	2022	2200	1953	2066	2034	2095	2617	3038	2926	2566	2104	1730	1239	659	35943
MO	26	1479	2277	3673	2781	2077	1963	1828	1641	2094	2080	2139	3046	3859	3008	1751	1036	974	897	553	39156
DI	27	1166	2204	3757	2700	2143	2021	1925	1669	1982	2074	2212	3124	3952	3071	1882	1155	982	968	767	39754
MI	28	1468	2191	3690	2729	2140	2087	2014	1862	2169	2275	2342	3312	4008	3109	1971	1216	959	898	805	41245
DO	29	1471	2160	3726	2883	2215	2106	1931	1888	2250	2276	2388	3186	4075	3077	2071	1245	1162	1056	810	41976
FR	30	1671	2030	3542	2650	2181	2105	2096	1947	2338	2544	2832	3627	4151	3459	2669	1646	1275	1135	1088	44986
Schnitt Werktag		1407	1973	3412	2590	1994	1944	1932	1785	2190	2242	2412	3159	3836	3107	2056	1274	1036	937	741	40025
Schnitt 7 Tage		1727	1564	2743	2274	1919	1997	2039	1896	2236	2260	2360	3002	3528	2923	2040	1353	1094	980	774	38708

Merke: Fehlende Daten = -1

Durchschnitte inkl. Feier- und Spezialtage

Ergebnisse der Zählstelle «Gunzgen (AB)»

ASB-Forschungsauftrag – Schadstoff-Emissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten

BUNDESAMT FUER STRASSENBAU
OFFICE FEDERAL DES ROUTES

AUTOMATISCHE STRASSENVERKEHRSZAEHLUNG
COMPTAGE AUTOMATIQUE DE LA CIRCULATION ROUTIERE

TABELLE / TABLEAU : D
SEITE / PAGE : 1
ERZ-BV : 15.11.95

TABELLE / TABLEAU : D

DURCHSCHNITTLICHE TAGESERGEBNISSE
RESULTATS JOURNALIERS MOYENS

ZAEHLER COMPTEUR	ZAEHLSTELLE (ORT) POSTE DE RECENSEMENT	KANTON CANTON	RICHTUNG 1 DIRECTION 1	RICHTUNG 2 DIRECTION 2	T STR G RTE	EIGENTUEMER PROPRIETAIRE	MONAT MOIS	JAHR ANNEE	ZAEHLER COMPTEUR
060	GUNZGEN (AB)	SOLOTHURN	ZUERICH	BERN	N 1	ASF, N-STR.	06	1995	060

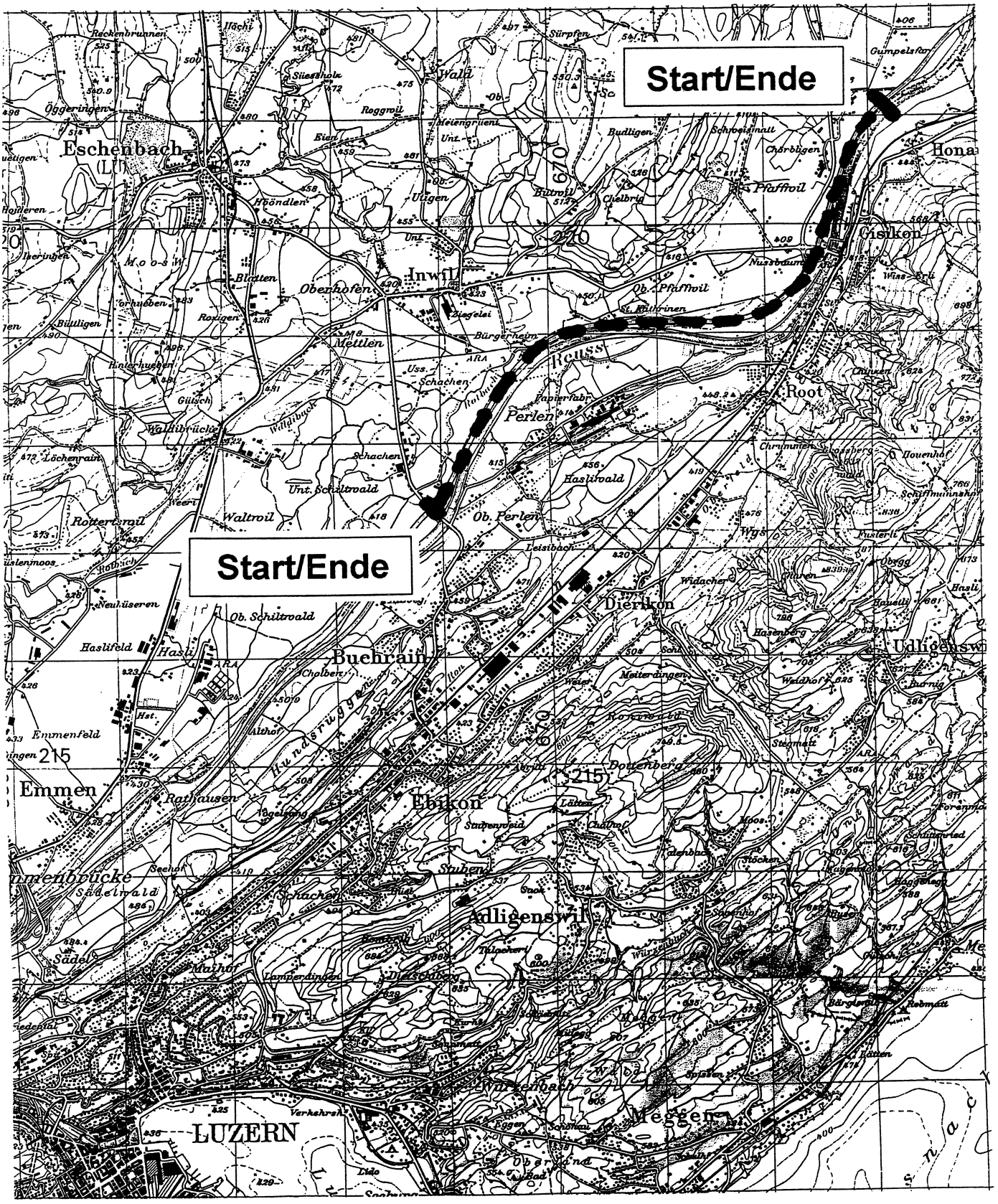
TOTAL (RICHTUNG / DIRECTION 1 + 2)

ZAEHLSTUNDE HEURE DE REC.	MO LU	% VON/ DE 24H	DI MA	% VON/ DE 24H	MI ME	% VON/ DE 24H	DO JE	% VON/ DE 24H	FR VE	% VON/ DE 24H	SA SA	% VON/ DE 24H	SO DI	% VON/ DE 24H
00	637		520		521		646		648		1286		1427	
01	370		287		272		376		382		872		1033	
02	257		184		178		241		263		668		784	
03	215		177		160		221		239		530		501	
04	329		288		270		317		365		644		430	
05	1499		1299		1206		1268		1262		1079		490	
06	3610		3268		3067		3092		2957		1630		694	
07	5234		5140		5008		4951		4595		2817		1268	
08	4856		4837		4846		4899		4460		3918		2036	
09	4197		3985		3946		4119		4086		4481		2774	
10	3746		3664		3769		3959		4087		5008		3897	
11	3618		3400		3618		3743		4111		5069		4154	
12	3295		3274		3551		3605		4136		4741		3685	
13	3627		3663		3848		3956		4583		4750		3757	
14	3621		3835		4036		4217		5024		4734		4002	
15	3825		4027		4389		4545		5533		4460		4247	
16	4346		4679		5048		5170		6187		4647		4667	
17	4730		5197		5558		5660		5910		4718		5274	
18	3947		4275		4662		4641		5690		3938		5343	
19	2616		2753		3104		3309		4783		2980		4574	
20	1807		1789		2110		2267		3310		2313		3869	
21	1300		1355		1522		1637		2317		1874		3062	
22	1031		1105		1281		1321		1840		1737		2322	
23	815		878		1100		1067		1753		1697		1380	
24 STD/H	63528	100.0	63874	100.0	67068	100.0	69225	100.0	78522	100.0	70588	100.0	65671	100.0
14 STD/H	53465	84.2	54516	85.3	57490	85.7	59041	85.3	66496	84.7	58573	83.0	53548	81.5
10 STD/H	10063	15.8	9359	14.7	9578	14.3	10185	14.7	12027	15.3	12015	17.0	12123	18.5
5 STD/H	19465	30.6	20930	32.8	22760	33.9	23325	33.7	28102	35.8	20741	29.4	24106	36.7

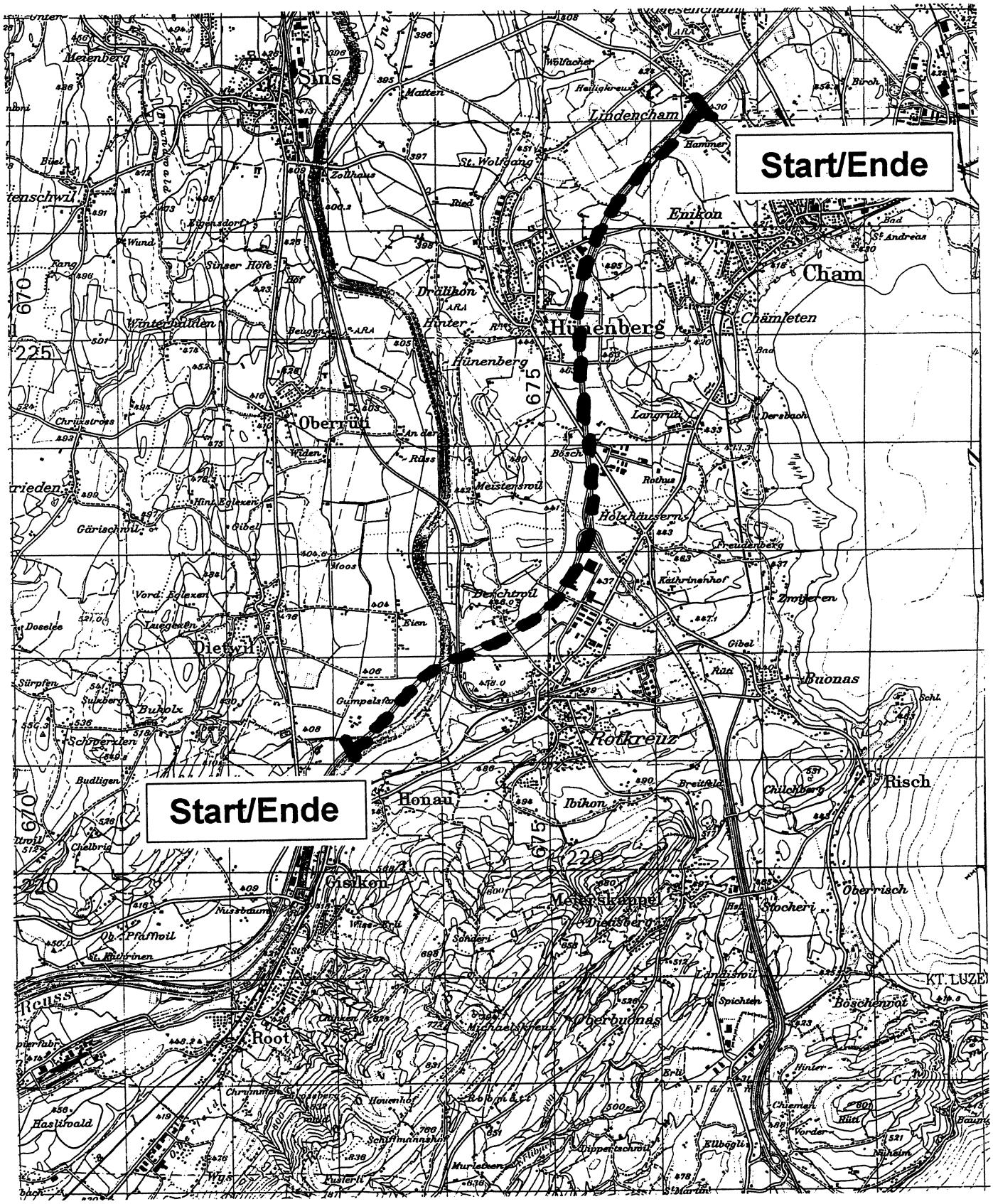
ZAEHLSTUNDE HEURE DE REC.	MITTEL DI-DO MOYEN MA-JE	*) %	MITTEL MO-FR MOYEN LU-VE	*) %	MITTEL SA MOYEN SA	*) %	MITTEL SO MOYEN DI	*) %	MITTEL MO-SO MOYEN LU-DI	*) %
24 STD/H	66915	97.3	69195	100.6	70588	102.6	65671	95.5	68793	100.0
14 STD/H	57171	98.7	58862	101.6	58573	101.1	53548	92.4	57938	100.0
10 STD/H	9744	89.8	10333	95.2	12015	110.7	12123	111.7	10856	100.0
5 STD/H	22414	96.9	23347	101.0	20741	89.7	24106	104.2	23126	100.0

*) = VERGLEICH ZU WOCHENTAGSMITTEL
IN %
POURCENTAGE DE LA
MOYENNE PAR JOUR
DE LA SEMAINE

Messstrecke 1: Emmen – Gisikon (eben)



Messstrecke 2: Gisikon – Cham (Steigung/Gefälle)



ASB-Forschungsauftrag – Schadstoff-Emissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten

Anzahl der Messfahrten pro Temporegime etc.: Messstrecke 1, eben

	Temporegime T 120	Temporegime T 100
Emmen – Gisikon Wenig Verkehr Fahrer 1 Mit Katalysator	8	9
Emmen – Gisikon Viel Verkehr Fahrer 1 Mit Katalysator	11	12
Emmen – Gisikon Wenig Verkehr Fahrer 1 Ohne Katalysator	4	4

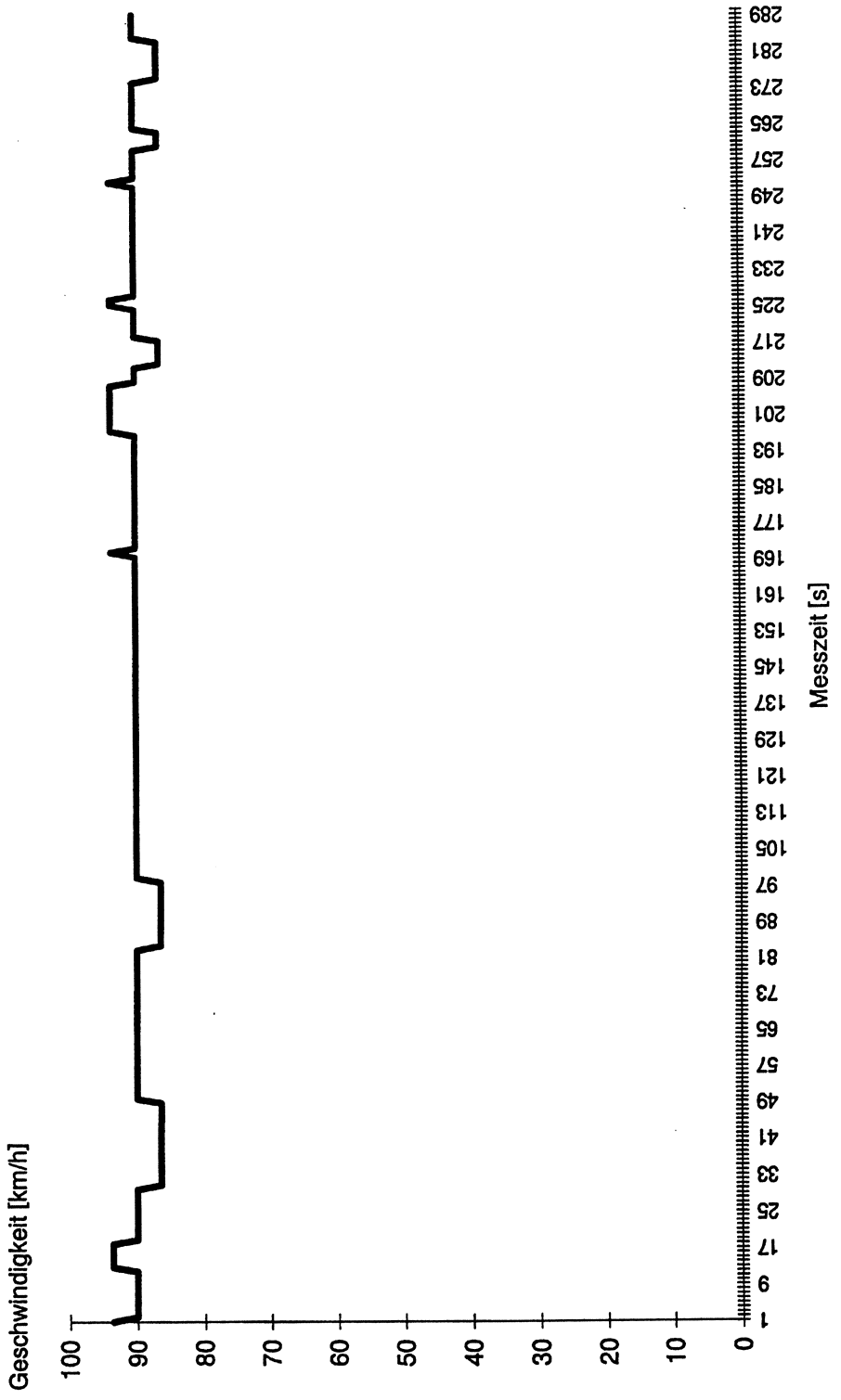
Anzahl der Messfahrten pro Tempo-regime etc.: Messstrecke 2, Steigung/Gefälle

	Temporegime T 120	Temporegime T 100
Gisikon – Cham Wenig Verkehr Fahrer 1 Mit Katalysator	12	12
Gisikon – Cham Viel Verkehr Fahrer 1 Mit Katalysator	12	9
Gisikon – Cham Wenig Verkehr Fahrer 2 Mit Katalysator	6	6
Gisikon – Cham Wenig Verkehr Fahrer 1 Ohne Katalysator	2	2

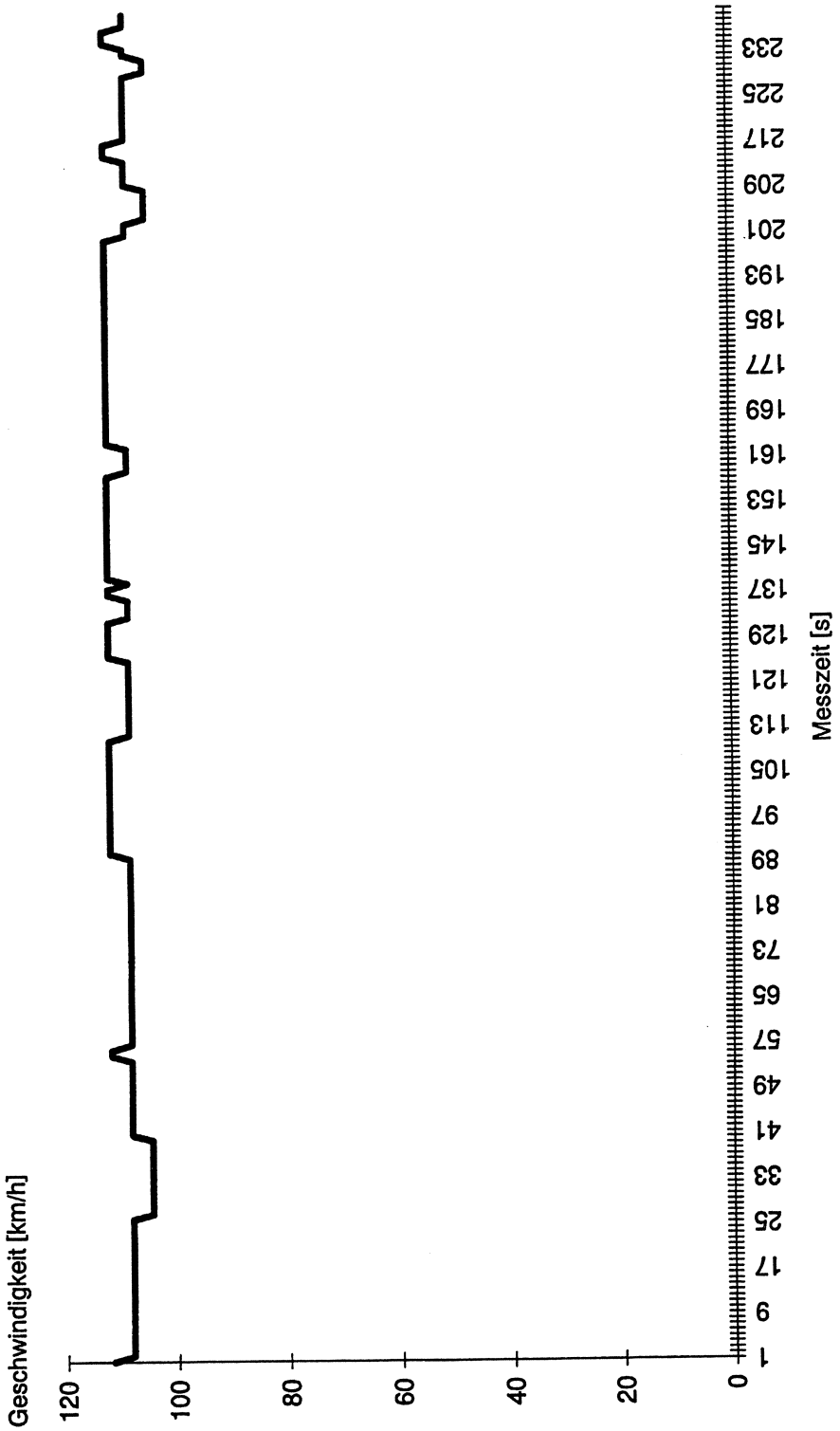
Zusammenstellung der Messtage

Mittwoch	13. Dezember 1995	11 Messfahrten
Freitag	15. Dezember 1995	22 Messfahrten
Montag	18. Dezember 1995	20 Messfahrten
Montag	3. Juni 1996	17 Messfahrten
Dienstag	4. Juni 1996	12 Messfahrten
Mittwoch	5. Juni 1996	15 Messfahrten
Mittwoch	12. Juni 1996	12 Messfahrten

Verlauf Geschwindigkeit über Zeit bei 100 km/h
Messstrecke 2, Steigung/Gefälle



Verlauf Geschwindigkeit über Zeit bei 120 km/h
Messstrecke 2, Steigung/Gefälle



Mitglieder der Begleitkommission

Firma Firmazusatz Abteilung	AnPerson Vorname Name Position/Beruf	Postadresse Strasse Land / PLZ / Ort	Telefon Geschäft Fax Geschäft Telefon Direkt/Natel
Abay & Meier Verkehrsplanung und -ökonomie **Vorsitz**	Herrn Dr. Eugen Meier	Ceresstrasse 10 8008 Zürich	G 01 / 381 46 87 F 01 / 381 49 80 D
Amt für technische Anlagen und Lufthygiene ATAL	Herrn Dr. Hansjörg Sommer	Stampfenbachstrasse 12 8090 Zürich	G 01 / 259 30 53 F 01 / 259 42 80 D
ASTAG Schweizerischer Nutzfahrzeugverband	Herrn Armin Lehmann	Postfach 538 Weissenbühlweg 3 3007 Bern	G 031 / 370 85 85 F 031 / 370 85 89 D 031 / 370 85 60
Bundesamt für Polizeiwesen Hauptabteilung Strassenverkehr Sektion Typenprüfung	Herrn Jürg Stauffer Sektionschef	 3003 Bern	G 031 / 323 42 40 F 031 / 323 43 01 D
BUWAL Abteilung Luftreinhaltung	Herrn Felix Reutimann	Sektion Verkehr 3003 Bern	G 031 / 322 54 91 F 031 / 382 15 46 D
Generalsekretariat EVED	Herrn Kurt Infanger Dienst für Gesamtverkehrsfragen	Bundeshaus Nord 3003 Bern	G 031 / 322 55 55 F 031 / 322 78 06 D 031 / 322 55 60
Stadtpolizei Bern	Herrn E. Stadtmann	Postfach 158 Waisenhausgasse 32 3000 Bern 7	G 031 / 321 42 34 F 031 / 321 49 89 D 031 / 321 42 04
Strassenverkehrs- und Schiffahrtsamt des Kantons St. Gallen	Herrn Werner Vetterli	Oberer Graben 32 9001 St. Gallen	G 071 / 229 36 57 F 071 / 229 39 98 D
VCS Verkehrsclub der Schweiz	Frau [1] Anja Pauling	Postfach Aarbergergasse 61 3000 Bern 2	G 031 / 328 82 00 F 031 / 328 82 05 D

1) Ab 1.1.'97: Herr Dr. Jürg Tschopp