

# **Verkehrskreisel**

## **Treibstoffverbrauch, Schadstoffemissionen, Durchfahrtszeiten**

### **MAMA-Messprojekt**

**Projektleiter**  
Peter Züger

**Leiter Technik und Umwelt**  
Burch Daniel

Verteiler:

P. Riedwyl  
D. Burch  
A. Porchet  
P. Züger

Emmen, Dezember 2000, PEZ (22941190)

## Verkehrskreisel

### Treibstoffverbrauch, Schadstoffemissionen, Durchfahrtszeiten

Bei der Renovation bestehender oder bei neuen Kreuzungen ist der Verkehrskreisel fast immer eine Alternative. Die Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses sowie geringere Unterhaltskosten (vor allem als Ersatz von Lichtsignalanlagen) sprechen für diese Lösung.

Messungen mit der **Mobilen AbgasMessAnlage (MAMA)** des TCS an fünf Verkehrsknoten vor und nach dem Umbau auf Kreisverkehr zeigen positive wie auch negative Auswirkungen bezüglich Treibstoffverbrauch, Schadstoffemissionen und Durchfahrtszeit.

Die absoluten Unterschiede sind klein und haben auch bei hohen Verkehrsfrequenzen nur geringe Auswirkungen auf die Immissionsbelastung oder die gesamte Fahrzeit.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Anhangverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>	<b>6</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>7</b>
<b>Résumé</b>	<b>11</b>
<b>1 Messvorhaben</b>	<b>12</b>
1.1 Einleitung	12
1.2 Auftrag	12
1.3 Ziele	12
<b>2 Die Mobile AbgasMessAnlage (MAMA)</b>	<b>13</b>
2.1 Methodik	13
2.2 Übertragbarkeit der MAMA-Ergebnisse	13
<b>3 Allgemeines zu Verkehrskreiseln</b>	<b>14</b>
3.1 Bedeutung von Messungen an Verkehrskreiseln	14
3.2 Vorteile von Verkehrskreiseln	14
3.3 Nachteile von Verkehrskreiseln	15
<b>4 Messbedingungen</b>	<b>15</b>
4.1 Messorte	15
4.2 Messstrecken	17
4.3 Fahrweise	17
4.4 Messparameter der MAMA	18

<b>4.5</b>	<b>Messablauf</b>	<b>19</b>
<b>4.6</b>	<b>Datum der Messfahrten</b>	<b>19</b>
<b>4.7</b>	<b>Tageszeit der Messungen</b>	<b>19</b>
<b>4.8</b>	<b>Übrige Messbedingungen</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Messprogramm</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>Anzahl der Messfahrten</b>	<b>20</b>
<b>5.2</b>	<b>Gültigkeit/Ungültigkeit einer Messfahrt</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>21</b>
<b>6.1</b>	<b>Sihlbrugg (Kanton Zug)</b>	<b>22</b>
<b>6.2</b>	<b>Emmenbrücke (Kanton Luzern)</b>	<b>28</b>
<b>6.3</b>	<b>Winterthur (Kanton Zürich)</b>	<b>37</b>
<b>6.4</b>	<b>Uttwil (Kanton Thurgau)</b>	<b>46</b>
<b>6.5</b>	<b>Bülach (Kanton Zürich)</b>	<b>59</b>
<b>6.6</b>	<b>Offensiver Fahrer (Kreisel Emmenbrücke)</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>Erkenntnisse</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b>	<b>73</b>

## Anhangverzeichnis

- Anhang 1 Die **Mobile AbgasMessAnlage** (MAMA)
- Anhang 2 Zusammenfassung aus «Die **Mobile AbgasMessAnlage** – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark»
- Anhang 3 Ergänzungen zum Kreisel Sihlbrugg
- Anhang 4 Ergänzungen zum Kreisel Emmenbrücke
- Anhang 5 Datum der Messfahrten
- Anhang 6 Messergebnisse Sihlbrugg: Zug–Zürich, Zürich–Zug
- Anhang 7 Messergebnisse Sihlbrugg: Zug–Hirzel, Hirzel–Zug
- Anhang 8 Messergebnisse Emmenbrücke: Rothenburg–Erlenstrasse, Erlenstrasse–Rothenburg
- Anhang 9 Messergebnisse Emmenbrücke: Rothenburg–Benziwil, Benziwil–Erlenstrasse
- Anhang 10 Messergebnisse Emmenbrücke: Erlenstrasse–AMP, AMP–Rothenburg
- Anhang 11 Messergebnisse Winterthur: Romanshorn–Winterthur, Winterthur–Romanshorn
- Anhang 12 Messergebnisse Winterthur: Romanshorn–Bäckerei, Bäckerei–Winterthur
- Anhang 13 Messergebnisse Winterthur: Winterthur–Bahnhof, Bahnhof–Romanshorn
- Anhang 14 Messergebnisse Uttwil: Dozwil–Schaffhausen, Schaffhausen–Dozwil, Schaffhausen–Bahnhof
- Anhang 15 Messergebnisse Uttwil: Bahnhof–Schaffhausen, Romanshorn–Bahnhof, Bahnhof–Romanshorn
- Anhang 16 Messergebnisse Uttwil: Romanshorn–Dozwil, Dozwil–Romanshorn
- Anhang 17 Messergebnisse Uttwil: Schaffhausen–Romanshorn, Romanshorn–Schaffhausen
- Anhang 18 Messergebnisse Bülach: Basel–Kreisel, Kreisel–Basel, Basel–Bülach
- Anhang 19 Messergebnisse Bülach: Bülach–Kreisel, Kreisel–Kaserne, Kaserne–Basel
- Anhang 20 Messergebnisse Emmenbrücke, offensiver Fahrer: Erlenstrasse–Rothenburg, Rothenburg–Benziwil, AMP–Rothenburg
- Anhang 21 Mitglieder der Begleitkommission

## Verzeichnis der Abkürzungen

### Verbände, Institutionen

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
Astra	Bundesamt für Strassen
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
bfu	Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
ITEP	Institut des Transports et de Planification
IVT	Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau
TCS	Touring Club Schweiz
UBA	Umweltbundesamt (Deutschland)
VSS	Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute

### Lufthygiene

CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
HC	Kohlenwasserstoffe
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid

### Diverses

DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
Fz.	Fahrzeug
Lw.	Lastwagen
MAMA	<b>M</b> obile <b>A</b> bgas <b>M</b> ess <b>A</b> nlage
Pw	Personenwagen

## Kurzfassung

### Übersicht

Der Verkehrskreisel steht in der Gunst der Verkehrsplaner sehr hoch. Wurden in der Vergangenheit die Verkehrsflüsse auf sich kreuzenden Strassen mittels Lichtsignalanlage (LSA) gesteuert, so installiert man heute an diesen Stellen Verkehrskreisel. Aber auch anstelle von Kreuzungen mit Vortrittsregelung ohne Lichtsignalanlage wird heute oft dem Kreisel der Vorzug gegeben. In den meisten Fällen führen Erwartungen wie Zunahme der Verkehrssicherheit, Verbesserung des Verkehrsflusses und günstigere Unterhaltskosten zum Kreisel.

Dies wurde zum Anlass genommen, ein Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strassen (Astra) zum Einfluss dieser Art der Verkehrssteuerung und -lenkung auf die Schadstoffemissionen, den Treibstoffverbrauch und die Durchfahrtszeiten der durchfahrenden Personewagen durchzuführen.

Fragen zur Verkehrssicherheit, zum Lärm und zu andern wichtigen Aspekten sind nicht Teil dieser Studie. In der Forschungsarbeit geht es ebenfalls nicht darum, einen umfassenden Überblick zum Thema Verkehrskreisel zu geben. Im Zentrum stehen die mit der Mobilien **AbgasMessAnlage** (MAMA) durchgeführten Messungen.

Nachdem fünf geeignete Kreuzungen ausgewählt worden waren, wurden die Messfahrten zur Situation vorher, d.h. «Kreuzung», absolviert. Einige Monate nach dem Umbau zum Verkehrskreisel wurden analoge Messfahrten zur Situation nachher, d.h. «Kreisel», durchgeführt.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt keine eindeutige Tendenz der Auswirkungen des Umbaus von einer Kreuzung zu einem Kreisel. Auswirkungen des Umbaus einer Kreuzung zu einem Kreisel auf Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch, Schadstoffemissionen usw. hängen stark von lokalen Faktoren wie Verkehrsaufkommen, Häufigkeit der Unterbrechung des Verkehrsflusses durch Fussgänger, Verhältnis der Verkehrsfrequenzen der einzelnen Äste zueinander usw. ab. Da die Verkehrsfrequenzen über den Tag bei den meisten Kreiseln stark variieren, kann sich ein Kreisel zu bestimmten Tageszeiten positiv, zu andern Zeiten hingegen negativ auf die genannten Grössen auswirken.

Wird eine mittels Lichtsignalanlage gesteuerte Kreuzung durch einen Kreisel ersetzt, sind die Auswirkungen positiv. Hingegen sind die Auswirkungen eines Kreisels, welcher eine Kreuzung ohne Lichtsignalanlage ersetzt, auf Verbrauch und Schadstoffemissionen oftmals negativ, weil eine vormals gleichförmige Fahrweise durch den Kreisel gestört wird. Das durch den Kreisel erzwungene (und für die Verkehrssicherheit erwünschte) Verzögern und Wiederbeschleunigen führt zu höherem Verbrauch und zu höheren Schadstoffemissionen.

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 Personewagenparks übertragen werden.

Unterschiede in Prozenten können ein Ergebnis in gänzlich anderem Licht darstellen als Unterschiede in Absolutwerten. Die Emissionen und absoluten Emissionsunterschiede eines Autos mit Katalysator sind bei den im Rahmen dieses Forschungsprojektes gefahrenen Geschwindigkeiten und den dabei vom Motor verlangten Leistungen sehr gering. Die Unterschiede in Prozenten ausgedrückt können hingegen beträchtlich sein.

Die Auswirkungen auf die Immissionen sind deutlich geringer als die relativen Unterschiede bei den Emissionen der Personewagen. Der Ersatz einer Kreuzung durch einen Kreisel hat allenfalls einen geringen Einfluss auf die lokale Immissionssituation. Regionale Auswirkungen sind nicht feststellbar.

### Messorte mit Kurzcharakteristik

Charakteristikum	Sihlbrugg	Emmenbrücke	Winterthur	Uttwil	Bülach
<b>Verkehrsfrequenz (max. stündlicher Verkehr über alle Äste)</b>	Mehr als 1'500 Fahrzeuge	Mehr als 1'500 Fahrzeuge	Weniger als 1'000 Fahrzeuge	1'000 bis 1'200 Fahrzeuge	Mehr als 1'500 Fahrzeuge
<b>Lage</b>	Ausserorts	Innerorts	Innerorts	Innerorts	Innerorts
<b>Lichtsignalanlage</b>	Keine	Keine	Keine	Vorher	Keine
<b>Anzahl Äste</b>	3	4	4	4	4
<b>Äusserer Kreisel-durchmesser [m]</b>	42	25/27 (Oval)	26	31	28
<b>Spuren im Kreisel</b>	2	1	1	1	1

### Ergebnisse

Parameter (Hauptfahrrichtung kursiv)	Durchfahrtszeit	Treibstoffverbrauch	CO-Emissionen	NOx-Emissionen	CO2-Emissionen	Stillstand
<b>Sihlbrugg</b>						
<i>Zug-Zürich</i>	-	-	-	-	-	0
<i>Zürich-Zug</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Zug-Hirzel</i>	-	-	-	+	-	-
<i>Hirzel-Zug</i>	+	+	+	+	+	+
<b>Emmenbrücke</b>						
<i>Rothenburg-Erlenstr.</i>	-	-	-	+	-	0
<i>Erlenstr.-Rothenburg</i>	-	+	+	+	+	+
<i>Rothenburg-Benziwil</i>	+	-	-	+	-	+
<i>Benziwil-Erlenstrasse</i>	+	-	-	+	-	+
<i>Erlenstrasse-AMP</i>	0	+	+	-	+	+
<i>AMP-Rothenburg</i>	+	+	+	+	+	+
<b>Winterthur</b>						
<i>Romanshorn-Wintert.</i>	-	+	+	0	+	0
<i>Winterthur-Romansh.</i>	0	0	+	0	+	+
<i>Romanshorn-Bäckerei</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Bäckerei-Winterthur</i>	+	+	+	-	+	+
<i>Winterthur-Bahnhof</i>	0	+	+	-	+	+
<i>Bahnhof-Romanshorn</i>	+	+	+	-	+	+

Parameter (Hauptfahrrichtung kursiv)	Durch- fahrtszeit	Treibstoff- verbrauch	CO- Emissio- nen	NOx- Emissio- nen	CO2- Emissio- nen	Stillstand
<b>Uttwil</b>						
Dozwil–Schaffhausen	+	+	+	–	+	+
Schaffhausen–Dozwil	+	+	+	+	+	+
Schaffhausen–Bahnh.	+	+	+	+	+	+
Bahnhof–Schaffhaus.	+	+	+	+	+	+
Romanshorn–Bahnhof	+	+	+	+	+	+
Bahnhof–Romanshorn	+	+	+	+	+	+
Romanshorn–Dozwil	+	+	–	+	+	+
Dozwil–Romanshorn	+	+	+	–	+	+
<i>Schaffhausen–Roman.</i>	–	–	–	0	–	0
<i>Romanshorn–Schaffh.</i>	–	–	–	–	–	0
<b>Bülach</b>						
<i>Basel–Kreisel</i>	–	–	–	0	–	–
<i>Kreisel–Basel</i>	–	–	–	–	–	0
Basel–Bülach	+	+	+	+	+	+
Bülach–Kreisel	+	+	+	+	+	+
Kreisel–Kaserne	+	0	–	+	–	+
Kaserne–Basel	+	+	+	–	+	+

- + Besser bei Situation «Kreisel» (nachher)
- 0 Kein Unterschied zwischen Situation «Kreuzung» und «Kreisel»
- Schlechter bei Situation «Kreisel» (nachher)

## Fazit

- Die Auswirkungen des Umbaus von einer Kreuzung zu einem Kreisel auf Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch, Schadstoffemissionen usw. hängen stark von lokalen Faktoren wie Verkehrsaufkommen, Häufigkeit der Unterbrechung des Verkehrsflusses durch Fussgänger, Verhältnis der Verkehrsfrequenzen der einzelnen Äste zueinander usw. ab. Einzelne Fussgänger, welche den Fussgängerstreifen kurz nacheinander überqueren, können den Verkehrsfluss stark stören.
- Diese Auswirkungen können durch ihre Abhängigkeit von der Verkehrsfrequenz auch über den Tag unterschiedlich sein. Während den Rush-hour-Zeiten können die Auswirkungen negativ, dazwischen aber auch positiv sein.
- Wird eine mittels einer verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlage geregelte Kreuzung durch einen Kreisel ersetzt, sind die Auswirkungen positiv. Noch grösser sind die Vorteile, wenn es sich um eine festzeitgesteuerte Lichtsignalanlage handelt.

- Oftmals sind die Auswirkungen eines Kreisels auf Verbrauch und Schadstoffemissionen negativ, weil eine vormals gleichförmige Fahrweise durch den Kreisel gestört wird. Das durch den Kreisel erzwungene (und für die Verkehrssicherheit vorteilhafte) Verzögern und Wiederbeschleunigen führt zu höherem Verbrauch und zu höheren Schadstoffemissionen.
- Wird bei der häufigen Standardsituation «gerade Hauptachse mit zwei oder drei Seitenästen» die Kreuzung durch einen Kreisel ersetzt, so führt das aus dem vorgenannten Grund oft zu einer Erhöhung von Verbrauch und Schadstoffemissionen. Sind dabei noch Steigungen zu überwinden, kann dieser Effekt noch verstärkt auftreten.
- Bei Verkehrssituationen mit einer Hauptachse und zwei oder mehr Nebenachsen sind die Auswirkungen auf Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen auf der Hauptachse oft negativ, auf den Nebenachsen positiv. Eine Gesamtbetrachtung kann je nach Verkehrsstärke und andern Parametern positiv oder negativ ausfallen.
- Ist der Verkehrsfluss auf den Nebenachsen deutlich geringer (Faktor fünf bis zehn), sind durch den Kreisel eher negative Auswirkungen zu erwarten.
- Ersetzt ein Kreisel eine vierarmige Kreuzung ohne Lichtsignalanlage mit einer Hauptachse, hängen die Unterschiede zwischen Kreuzung und Kreisel stark vom partnerschaftlichen Verhalten der Automobilisten ab. Klein sind die Unterschiede, wenn die vortrittsberechtigten Automobilisten ihre Partner einmünden oder abbiegen lassen.
- Zweispurige Kreisel mit einem Aussendurchmesser von rund 40 m führen nicht zu einem wesentlich grösseren Verkehrsdurchsatz. Die Bereitschaft der Automobilisten, auf die innere Spur zu wechseln, ist gering.
- Der Ersatz einer Kreuzung durch einen Kreisel hat allenfalls einen Einfluss auf die lokale Immissionsituation. Regionale Auswirkungen sind nicht feststellbar.
- Es sind keine generellen Aussagen zu den Auswirkungen des Ersatzes einer Kreuzung durch einen Kreisel möglich. Im konkreten Fall muss unter den hier enthaltenen Kreiseln der ähnlichste herausgesucht werden. Die entsprechenden Ergebnisse sind dann je nach Ähnlichkeit in ihrer Tendenz übertragbar.

## Résumé

Pour les planificateurs de la circulation routière, les giratoires tiennent le haut du pavé. Si, par le passé, la régulation du trafic aux carrefours se faisait à l'aide de feux de circulation, de nos jours les giratoires ont pris leur place. Mais aujourd'hui, même aux carrefours avec priorité et sans feux de circulation, les giratoires ont souvent la préférence. Dans la plupart des cas, ce sont des demandes pour une plus grande sécurité routière, une amélioration du flux du trafic et des frais d'entretien plus avantageux qui poussent à recourir au giratoire.

C'est état de choses a eu pour effet qu'un projet de recherche, en collaboration avec l'Office fédéral des Routes (OFROU), a été mis sur pied pour déterminer quelle est l'influence de ce type de régulation du trafic sur les émissions polluantes, la consommation de carburant et les heures de passage des voitures particulières qui y circulent.

Toutefois, des questions sur la sécurité routière, sur le bruit et sur encore bien d'autres aspects importants ne font pas partie de cette étude. Le propos de ce travail de recherche n'est pas non plus de donner une vue d'ensemble complète sur le thème des giratoires. Il s'agit avant tout d'effectuer des mesures au moyen de la station mobile de mesures des gaz d'échappement (**Mobile AbgasMessAnlage**) appelée MAMA.

Après avoir sélectionné cinq carrefours adéquats, des parcours de mesure correspondant à la situation avant – c.-à-d. «carrefour» – ont été effectués. Quelques mois après la modification du carrefour en giratoire, des parcours de mesure identiques correspondant à la situation après – c.-à-d. «giratoire» – ont été réalisés.

L'évaluation des résultats démontre qu'il n'y a aucune propension manifeste à modifier un carrefour en giratoire. Les répercussions de la transformation d'un carrefour en giratoire sur les heures de passage, la consommation de carburant, les émissions de polluants, etc. sont fortement dépendantes de facteurs individuels comme le volume de trafic, la fréquence de l'interruption du flux du trafic par les piétons, le rapport des fréquences du trafic sur les axes routiers entre eux, etc. Etant donné que la fréquence de trafic pendant la journée varie fortement pour la plupart des giratoires, il en résulte qu'un giratoire peut avoir des incidences positives à certaines heures mais par contre des incidences négatives à d'autres.

Si un carrefour doté de feux de circulation est remplacé par un giratoire, les répercussions seront positives. En revanche, si le giratoire remplace un carrefour sans feux de circulation, les répercussions sur la consommation et les émissions de polluants seront le plus souvent négatives car le giratoire perturbera un mode de conduite auparavant homogène. Les ralentissements et les accélérations forcés (et voulus pour la sécurité routière) par le giratoire génèrent une plus grande consommation et des émissions de polluants plus élevées.

Le véhicule tracteur de la station mobile de mesure MAMA était une seule et unique voiture. Les conclusions faites lors des mesures exécutées avec la station mobile de mesure MAMA peuvent être extrapolées de manière relative à une grande partie du parc automobile suisse.

Des divergences en pourcentage peuvent donner un résultat tout autre que des divergences en valeurs absolues. Lors des vitesses parcourues dans le cadre de ce projet de recherche et des performances exigées au moteur, les émissions et les différences des émissions absolues d'un véhicule avec catalyseur sont très faibles. Les divergences exprimées en pourcentage peuvent par contre être considérables.

Les répercussions sur les immissions sont nettement moins importantes que les différences relatives lors des émissions des voitures particulières. Le remplacement d'un carrefour par un giratoire a tout au plus une influence minimale sur la situation des immissions au niveau local. Des répercussions au niveau régional ne sont pas constatables.

# 1 Messvorhaben

## 1.1 Einleitung

Der Verkehrskreisel steht in der Gunst der Verkehrsplaner sehr hoch. Wurden in der Vergangenheit die Verkehrsflüsse auf sich kreuzenden Strassen mittels Lichtsignalanlagen (LSA) gesteuert, so installiert man heute an diesen Stellen Verkehrskreisel. Aber auch anstelle von Kreuzungen mit Vortrittsregelung ohne Lichtsignalanlage wird heute oft dem Kreisel der Vorzug gegeben.

Eine Abkehr vom Verkehrskreisel als Lösung für Verkehrsknotenpunkte ist vorderhand nicht absehbar. In den meisten Fällen führen die folgenden Erwartungen zu einer Kreiselvariante: Zunahme der Verkehrssicherheit, Verbesserung des Verkehrsflusses, günstigere Unterhaltskosten.

Das Konzept der Kreiselmessungen war mit verschiedenen Fachleuten der Eidgenössischen Technischen Hochschulen, Zürich und Lausanne, der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf, und der Beratungsstelle für Unfallverhütung diskutiert worden.

Die hier beschriebenen Messungen zeigen den Einfluss dieser Art der Verkehrssteuerung auf die Schadstoffemissionen und den Treibstoffverbrauch des Personenwagenverkehrs auf. Auch Fragen zu Durchfahrtszeiten und Geschwindigkeitsverläufen wurden untersucht.

Fragen zur Verkehrssicherheit, zum Lärm und zu andern wichtigen Aspekten sind nicht Teil dieser Studie. In der Forschungsarbeit geht es ebenfalls nicht darum, einen umfassenden Überblick zum Thema Verkehrskreisel zu geben. Im Zentrum stehen die mit der Mobilen AbgasMessAnlage (MAMA) durchgeführten Messungen.

Die MAMA ermöglicht die Messung des Verbrauchs und der Schadstoffemissionen direkt im Verkehr. Dieser einzigartigen Möglichkeit bedient man sich, um zur Klärung der Frage der Unterschiede der verschiedenen Gestaltungen von Verkehrsknotenpunkten beizutragen. Mit Hilfe der MAMA kann ein direkter Vergleich der Verhältnisse bei Kreuzungen und bei Verkehrskreiseln realisiert werden.

## 1.2 Auftrag

Mit der Mobilen AbgasMessAnlage wurden auf fünf verschiedenen Verkehrsknotenpunkten Messfahrten durchgeführt. Diese wurden vor und nach dem Umbau zu Verkehrskreiseln absolviert. Die Ergebnisse müssen in einer Art aufbereitet werden, dass sie für die Praxis von grösstmöglichem Nutzen sind. Sie sollen nicht nur bei Ämtern und Institutionen, sondern auch bei Politikern und Privaten mehr Klarheit geben zur Frage der Umweltrelevanz von Verkehrskreiseln gegenüber Kreuzungen mit oder ohne Lichtsignalanlagen.

## 1.3 Ziele

Mit einer zielgerichteten Untersuchung und gesicherten Messergebnissen sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie verhalten sich die Emissionen an Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlenwasserstoffen (HC) und Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) bei Fahrten über einen Knotenpunkt, einmal ausgebildet als Kreuzung, geregelt mittels Lichtsignalanlage oder mit Vortrittsregelung ohne Lichtsignalanlage, einmal ausgebildet als Kreisel?
- Wie verhält sich der Treibstoffverbrauch bei diesen Fahrten?
- Wie gross ist der Einfluss der Art der Kreuzung (konventionell oder Verkehrskreisel) auf die Durchfahrtszeiten?
- Wie verändert sich das Fahrverhalten in Abhängigkeit von der Art der Kreuzung (konventionell oder Verkehrskreisel)? Das Fahrverhalten 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 lassen sich dank einer sekundlichen Aufzeichnung der kinetischen Parameter Geschwindigkeits-/Zeit- und Geschwindigkeits-/Weg-Diagramme erstellen.

- Wie gross ist der Einfluss des Verkehrsaufkommens auf die betrachteten Parameter?
- Welche Bedeutung und Auswirkungen hat das Verhältnis der Verkehrsströme der einzelnen Äste zueinander?

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

## 2 Die Mobile AbgasMessAnlage (MAMA)

### 2.1 Methodik

Die **Mobile AbgasMessAnlage** (MAMA) besteht aus drei Teilen. Beim Teil 1 handelt es sich um das Trägerfahrzeug. Für die Messfahrten war es ein VW Golf, ausgerüstet mit einem 1.8-l-Motor, geregelter Einspritzung und Dreiwegkatalysator. Die Anlage kann auch in ein anderes Fahrzeug eingebaut werden. Eine genauere Beschreibung dieser exklusiven Anlage ist im Anhang 1 enthalten.

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.

Der Rechner ist Teil 3. Zusammen mit den genauen Angaben über die Geschwindigkeit und den Verbrauch errechnet er die gewünschten Daten auf der Basis der von der Analyseinheit 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.

### 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 Schadstoffemissionsmessungen 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 Fahrzeugparks 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 Schadstoffemissionen (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 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 usw. 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 **Mobile AbgasMessAnlage** eignet sich besonders für Vergleichs-Untersuchungen.

Trotz gewisser Einschränkungen (siehe Anhang 2 beziehungsweise Bericht «Die **Mobile Abgas-MessAnlage** – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark» [3]) 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 Allgemeines zu Verkehrskreiseln

#### 3.1 Bedeutung von Messungen an Verkehrskreiseln

Die Verkehrslenkung und -steuerung mittels Verkehrskreiseln hat in England («roundabout») und Frankreich («giratoire, rond-point») eine lange Tradition. In der Schweiz wurde diese Art der Kreuzung erst in den letzten Jahren wiederentdeckt. Umso beliebter ist der Verkehrskreisel nach wie vor bei den Verkehrsplanern.

Verkehrsplaner und öffentliche Institutionen sehen sich immer wieder mit der Frage der Auswirkungen von Verkehrskreiseln auf die Abgasemissionen und den Treibstoffverbrauch konfrontiert.

Bezüglich Verkehrssicherheit, Lärm, Durchfahrtszeiten und anderen Kriterien sind in der Literatur zum Teil unterschiedliche Hinweise zu finden. Bezüglich der Auswirkungen auf die Schadstoffemissionen und den Treibstoffverbrauch besteht ein grosser Mangel an Informationen. Es wird zwar im Allgemeinen angenommen, dass sich der Verkehr über einen Verkehrskreisel anstelle einer Kreuzung mit oder ohne Lichtsignalanlage nicht nur flüssiger, sondern auch mit geringeren Schadstoffemissionen und geringerem Treibstoffverbrauch abwickelt. Es liegen aber keine exakten Untersuchungsergebnisse vor.

#### 3.2 Vorteile von Verkehrskreiseln

Zum Thema Verkehrskreisel liegen zahlreiche Publikationen vor. Eine eingehende Literaturrecherche aller verfügbaren Quellen zu allen möglichen Aspekten rund um Verkehrskreisel bedarf eines grossen Aufwands. Bei diesem Forschungsauftrag geht es um die Aspekte Schadstoffe, Treibstoffverbrauch und Durchfahrtszeiten. Aus einer einfachen Recherche ergaben sich die folgenden allgemeinen Vor- und Nachteile.

- Weniger und weniger schwere Verkehrsunfälle (geringere Geschwindigkeiten)
- Tiefere Unfallkosten
- Geringere Wartezeiten vor dem Einfahren in den Kreisel
- Weniger Lärm, da Bremsen und Beschleunigen reduziert werden
- Mehr gestalterische Freiheiten im Ortsbild
- Geringerer Flächenbedarf als Kreuzung mit Abbiegespuren
- Geringere Baukosten
- Geringere Unterhaltskosten im Vergleich zu Lichtsignalanlagen
- Meistens höhere Verkehrskapazität, jedoch situationsabhängig
- Erhöhtes Fahrroutenangebot durch mögliche vollständige Kehrtwendung, auch von Bus und Lastwagen

- Knotenformen können an die örtlichen Bedingungen angepasst werden, z.B. für zusätzlichen Strassenanschluss
- Weniger Verkehrssignale notwendig als für Verzweigungen mit Lichtsignalanlagen
- Hervorhebung des Übergangs ausser- zu innerorts (Torwirkung) möglich
- Aufwertung des Ortsbilds

### 3.3 Nachteile von Verkehrskreisel

- Eingeschränkte Möglichkeit der Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs oder von Feuerwehr- und Ambulanzfahrzeugen (trotzdem möglich mittels Busspur oder Spur, welche tangential am Kreisel vorbeiführt, oder mittels Lichtsignalanlage)
- Keine Möglichkeit der Verkehrsbeeinflussung («grüne Welle»)
- Erhöhtes Gefahrenpotential für Radfahrer und Fussgänger durch weniger klare Trennung der Verkehrsräume
- Keine Lichtsignalregelung für Fussgänger
- Für die Passagiere in Bussen des öffentlichen Verkehrs unangenehm bei (zu) kleinem Kreiseldurchmesser
- Teilweise Behinderung für den Schwerverkehr
- Begrenzte Leistungsfähigkeit, insbesondere bei zweispurigen Kreiseln

## 4 Messbedingungen

### 4.1 Messorte

#### 4.1.1 Auswahl der Messorte

Bei der Auswahl der Messgebiete sind Kompromisse unvermeidlich. Selten ist das optimale Messgebiet zu finden. So kann zum Beispiel auch eine Kreuzung ausserorts bei extremen Verkehrsverhältnissen durch eine andere Kreuzung in der Nähe beeinflusst werden.

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.

Mittels einer telefonischen Umfrage im Sommer 1997 bei kantonalen und städtischen Tiefbauämtern wurde eine Liste möglicher Messorte erstellt. Zur Beschränkung des Aufwandes sowohl bei der Umfrage als auch bei der Durchführung der Messungen legte man sich auf die Kantone fest, deren mögliche Messorte nicht weiter als eine Autostunde von Luzern entfernt liegen.

Die Realisierung eines Verkehrskreisels ist von den Entscheidungen verschiedener politischer Gremien abhängig. Für viele Kreisel in der Liste war deshalb nicht definitiv sicher, dass sie auch wirklich gebaut würden. Oft wird auch unmittelbar nach dem definitiven Entscheid für einen Kreisel mit dem Umbau der Kreuzung begonnen.

Aus der Menge der potentiellen Messorte konnten die passenden Kreuzungen, welche die gewünschten Bedingungen am besten einhielten, erst kurz vor dem Beginn der Messfahrten ausgewählt werden.

Die Messstrecken mussten so ausgewählt werden, dass sie bis zu einem gewissen Grad repräsentativ sind für Kreuzungen und Kreisel des schweizerischen Verkehrsnetzes.

Der Auswahl der Messstrecken liegen die folgenden Anforderungen zugrunde.

#### 4.1.2 «Vorher-Nachher-Messungen»

Das Optimum bilden «Vorher/Nachher»-Messungen an derselben Stelle. Dabei werden zuerst Messungen mit oder ohne Lichtsignalsteuerung durchgeführt. Nach dem Umbau werden wieder Messungen absolviert, jetzt aber im Kreisverkehr. Dies bedingt, dass entsprechende Projekte zum Umbau von konventionellen Kreuzungen zu Verkehrskreiseln und passende Messbedingungen vorliegen.

Der Vergleich von Messergebnissen, die auf einer Kreuzung und auf einem ähnlichen Verkehrskreisel (der in keiner Beziehung steht zur Kreuzung) erhoben werden, führt nicht zum Ziel, da sich schon kleine Unterschiede stark auf die Schadstoffemissionen und den Verbrauch auswirken. Für die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführten Messungen wurden deshalb nur Verkehrsknoten ausgewählt, welche Vorher-Nachher-Messungen ermöglichten.

#### 4.1.3 Verkehrsfrequenzen

Verkehrsfrequenzen spielen bei der Projektierung von Verkehrskreiseln eine grosse Rolle. Verkehrskreisel eignen sich auch nicht gleich gut für verschiedene Verkehrsfrequenzen. Überschreiten die Verkehrsfrequenzen einen bestimmten Wert, sind die Verkehrsströme mit einer Lichtsignalanlage besser zu beherrschen. Es wurden Messorte mit unterschiedlichen Verkehrsfrequenzen ausgewählt.

Bezüglich der Höhe der Verkehrsfrequenz ist für die Messfahrten mit der MAMA nicht der Tageswert von Bedeutung, denn die stündlichen Werte können sich stark voneinander unterscheiden. Für die Festlegung der Randbedingungen der MAMA-Messfahrten müssen deshalb Stundenwerte zu Grunde gelegt werden. Es sind die entsprechenden Normen [4, 5] zu beachten.

Bei der Interpretation der Messergebnisse ist auch das Verhältnis der Verkehrsfrequenzen der einzelnen Äste zueinander zu beachten. Das Verhältnis zwischen Hauptfahrrichtung und der oder den Nebenfahrrichtungen ist von grosser Bedeutung für die beim Bau eines Kreisels erwarteten Auswirkungen [6]. Die Norm der «Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute» (VSS) für Kreisel [32] schlägt vor, dass eine Kreuzung nur durch einen Kreisel ersetzt wird, wenn der Nebenstrom mindestens 20 % des Hauptstroms ausmacht.

#### 4.1.4 Lage des Kreisels

Die Lage des Kreisels kann auf die Untersuchungsergebnisse einen Einfluss haben. In einem Dorf, einer Stadt oder auf einem freien Feld herrschen unterschiedliche Randbedingungen. So können das Vorhandensein von Fussgängerstreifen, die Verkehrszusammensetzung (Velos, Mofas, Roller) oder die Übersichtlichkeit einen Einfluss auf die Messergebnisse haben.

#### 4.1.5 Dimensionierung von Kreisel und Mittelinsel

Aufgrund der vorliegenden Häufigkeitsverteilungen der Aussendurchmesser von Verkehrskreiseln sind Ausserortskreisel mit einem Durchmesser zwischen 32 bis 40 m auszuwählen. Als Stellvertreter für die Innerortskreisel sind Kreisel mit 24 bis 32 m Aussendurchmesser auszuwählen. Minikreisel mit einem Aussendurchmesser von weniger als 24 m werden nicht berücksichtigt.

Die Mittelinseln sollen so konstruiert sein, dass sie nicht überfahren werden können und die Automobilisten durch die nötige Richtungsänderung zu einer Verminderung der Geschwindigkeit auf rund 35 km/h bewegen (Ablenkungswinkel  $\beta$  zwischen 20° und 40° [7]).

#### 4.1.6 Fahrrichtung über den Kreisel

Meistens weisen Verkehrskreisel drei bis fünf Äste auf. Die Verkehrsfrequenzen über die einzelnen Äste können sehr unterschiedlich sein. Es kann beispielsweise sein, dass der grösste Anteil der passierenden Fahrzeuge in gerader Richtung über den Kreisel fährt («180°»). Es kommt aber auch vor, dass der Hauptanteil nach links weiter fährt («270°»).

Die Auswirkungen auf den Hauptstrom sind meist grösser als auf den Nebenstrom, da der Hauptstrom vorher meist ungehindert fliessen konnte oder bei der Verkehrslenkung bevorteilt wurde. Es ist unter gewissen Randbedingungen vorstellbar, dass für einen Nebenstrom die Auswirkungen des Umbaus deutlicher sind als für den Hauptstrom über den Kreisel. Automobilisten des Nebenstroms, die vorher dank Lichtsignalanlage problemlos in die Kreuzung einfahren konnten, können möglicherweise kaum mehr in den Kreisel einmünden, weil sich im Hauptstrom keine Lücken ergeben.

Bei den ausgewählten Kreiseln wird deshalb nicht nur die Richtung des Hauptstromes untersucht, sondern auch die Fahrrichtungen der Nebenströme werden betrachtet.

## 4.2 Messstrecken

### 4.2.1 Länge der Messstrecken

Die Messstrecken müssen so lang sein, dass die Auswirkungen der Kreuzung oder des Kreisels (Kolonnenbildung) auf den Verkehrsstrom durch die Messfahrt erfasst werden können. Sie dürfen aber nicht zu lang sein, weil sonst die Auswirkungen der Gestaltung des Knotenpunktes auf den Verkehr nicht mehr feststellbar sind. Sind die Messstrecken zu lang, kann es auch sein, dass der Einfluss eines benachbarten Fussgängerstreifens oder einer Einmündung grösser ist als jener der Umwandlung von der Kreuzung zum Kreisel.

## 4.3 Fahrweise

Bei den geplanten Messungen geht es um die Unterschiede zwischen Fahrten über eine Kreuzung mit oder ohne Lichtsignalanlage und Fahrten über einen Verkehrskreisel.

Massgebend für die Fahrgeschwindigkeit ist die Tachoanzeige und nicht die effektiv gefahrene Geschwindigkeit, denn der «normale» Fahrer muss sich auch nach der Tachoanzeige richten ohne die genaue Geschwindigkeit zu kennen.

Für dieses Messprojekt ist die Fahrweise nicht von ausschlaggebender Bedeutung. Es genügt deshalb, wenn die Fahrweise mit «defensiv» umschrieben wird. «Defensiv» soll derjenigen Fahrweise entsprechen, die von der Mehrheit der Autofahrerinnen und Autofahrer praktiziert wird.

Es soll weder besonders sparsam noch speziell zügig gefahren werden. Bei Beschleunigungen soll zwischen 2'500 und 3'000 Umdrehungen pro Minute geschaltet werden und bei Konstantfahrten soll diejenige Gangstufe gewählt werden, die ein ruckfreies Dahinrollen ermöglicht.

Bei Überholvorgängen (vor oder nach der Kreuzung oder dem Kreisel) von Velos und andern langsameren Fahrzeugen oder in Gefällen wurde ein Toleranzbereich von 10 % gegen oben akzeptiert. Eine Fahrweise 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. Zudem entspricht ein solcher Fahrstil nicht der Realität.

Um den Einfluss der Fahrweise untersuchen zu können, wurden einige Messfahrten zusätzlich von einem zweiten Fahrer absolviert. Dieser Fahrer kam nur auf dem Kreisel in Emmenbrücke zum Einsatz.

Der Hauptfahrer («Fahrer 1») ist stellvertretend für die defensiv fahrenden Automobilisten. Der zweite Fahrer («Fahrer 2») für die offensiv fahrenden. Unter offensiver Fahrweise versteht man das nahe Aufschliessen auf das vorausfahrende Fahrzeug und das starke Bremsen und Beschleunigen beim Halten. Die defensive Fahrweise beinhaltet entsprechend langsames Bremsen und Beschleunigen. Es wird demzufolge von einem defensiven Fahrer und von einem offensiven Fahrer gesprochen.

Für den offensiven Fahrer wurden die Vorgaben insofern angepasst, als für ihn die Grundgeschwindigkeit gemäss Tacho um maximal 10 % über der signalisierten Höchstgeschwindigkeit liegt. Bei diesem Fahrer wurden bei speziellen Fahrzuständen (Gefällstrecken, Überholmanöver usw.) Überschreitungen der signalisierten Höchstgeschwindigkeit um maximal 20 % toleriert. Dabei sind möglicherweise selbst nach Abzug der Messtoleranz des Radargerätes Geschwindigkeitsüberschreitungen möglich, welche bei einer Verkehrsüberwachung eine Busse nach sich ziehen. Die Durchführung von Messfahrten in Anwesenheit der Polizei ist grundsätzlich zu vermeiden, da deren Einfluss auf die Messergebnisse störend ist.

Dass für den offensiven Fahrer die Vorgaben bezüglich der einzuhaltenden Höchstgeschwindigkeit anders sind als beim defensiven Fahrertyp, basiert auf Beobachtungen unter anderem der Polizei. Denn wer zügig und offensiv fährt, neigt auch eher dazu, die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit zu überschreiten.

Meistens wurde bei Tempo 50 km/h im dritten Gang gefahren. Selten, etwa bei leichtem Gefälle oder ganz gerader Strassenführung, wurde der vierte Gang eingelegt. Bei Tempo 60 km/h (Sihlbrugg) wurde mehr im 4. Gang gefahren. Der offensive Fahrer wählt tiefere Gänge.

Bei Halten vor Rotlicht wird der Motor nicht abgestellt; damit werden die beobachteten Gepflogenheiten berücksichtigt.

Wichtig ist, dass beide Fahrer für die Fahrten bei verschiedenen signalisierten Höchstgeschwindigkeiten ihre Fahrweise beibehalten.

Der Hauptfahrer absolviert den überwiegenden Anteil der Messfahrten. Die Fahrten des zweiten Fahrers, des offensiven Fahrers, dienen der Abklärung, ob die auf der Basis der Fahrten des ersten Fahrers gewonnenen Resultate von der Fahrweise abhängen oder auch für den zweiten Fahrer gelten. Der zweite Fahrer fährt nicht alle Strecken unter allen Bedingungen wie der Hauptfahrer.

#### 4.4 Messparameter der MAMA

Die MAMA, die **Mobile AbgasMessAnlage**, 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<sub>2</sub>) in g/km
- Emissionen an Kohlenwasserstoffen (HC) in g/km
- Emissionen an Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) in g/km
- Prozentuale Zeitanteile (d.h. Fahrverhalten) an den vier Betriebszuständen «Stillstand» (Geschwindigkeit  $\leq 0.5$  km/h), «Beschleunigung» (Geschwindigkeitszunahme  $> 0.1$  m/s<sup>2</sup>), «Verzögerung» (Geschwindigkeitsabnahme  $> 0.1$  m/s<sup>2</sup>) und «Konstantfahrt» (Geschwindigkeitsänderung  $< 0.1$  m/s<sup>2</sup>)
- Geschwindigkeitsverteilung (prozentuale Verteilung auf die Geschwindigkeitsbereiche von 0–0.5 km/h, 0.5–5 km/h, 5–15 km/h usw.)
- Stillstandszeit des Motors während der Messfahrt
- Anzahl der Motorstarts
- Startzeit
- Messzeit
- Messstrecke
- Mittlere Geschwindigkeit
- Über die Messfahrt gemittelte Konzentrationen der Komponenten NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>

Ein spezielles Auswertungsprogramm ermöglicht überdies die Darstellung ausgewählter Parameter (Geschwindigkeit, Drehzahl, Gaskonzentrationen usw.) für jede Sekunde einer Messfahrt. All diese Parameter erlauben die genaue Charakterisierung einer Messfahrt.

## 4.5 Messablauf

In einer ersten Phase wurden die Messfahrten auf den ausgewählten Strecken mit der aktuellen Verkehrsführung (Kreuzung) absolviert.

Nach dem Umbau der Kreuzung zu einem Verkehrskreisel wurde gewartet, bevor mit den Messfahrten über den Verkehrskreisel begonnen wurde. Diese Wartezeit nach dem Umbau dient der Angewöhnung der Automobilisten an die neue Verkehrsführung. Wenn der zu messende Kreisel nur ein weiterer Kreisel in einer Umgebung ist, in welcher es schon viele Kreisel gibt, genügt ein Monat als Wartezeit bis zum Beginn von «Nachher-Messungen». Ist der zu messende Kreisel aber der erste Kreisel in einer Region, hat die Wartezeit mindestens zwei Monate zu betragen. Diese Fristen wurden mit den zuständigen Mitarbeitern der Tiefbauämter festgelegt.

Während der Messungen wird mit der MAMA in verschiedenen Richtungen über die Kreuzung bzw. über den Kreisel gefahren.

## 4.6 Datum der Messfahrten

Die «Vorher-Messungen» wurden zwischen Dezember 1998 und März 1999 durchgeführt. Vom Dezember 1999 bis März 2000 wurden die Kreiselmessungen realisiert (Anhang 5).

## 4.7 Tageszeit der Messungen

Die Messungen wurden zwischen 7'00 und 9'30 h, zwischen 11'30 und 13'30 h und zwischen 16'00 und 18'00 h durchgeführt. Diese Zeiten wurden so festgelegt, damit auch bei dichtem Verkehr gemessen werden kann (Pendlerstunden).

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.

## 4.8 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 [8].

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.

Um den Einfluss des Wetters auszuschalten, wurde nicht bei extremem Regen, bei Glatteis, bei Schnee oder bei anderen seltenen meteorologischen Bedingungen gemessen.

## 5 Messprogramm

### 5.1 Anzahl der Messfahrten

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

Daher variiert die Zahl der pro Strecke und zu den bestimmten Messvorgaben durchgeführten Messfahrten. Je nach Streuung der Messergebnisse wurden mehr oder weniger Fahrten in einer bestimmten Richtung über die Kreuzung oder den Kreisel absolviert. Ein weiteres Kriterium für die Häufigkeit der Messfahrten pro Richtung ist, ob wesentliche Unterschiede zwischen der Situation «Vorher» und «Nachher» zu erwarten sind. So ist die Auswirkung auf den rechtsabbiegenden Einmündeverkehr sicher geringer als auf den linksabbiegenden Einmündeverkehr. Wurden grössere Auswirkungen erwartet, wurde häufiger gefahren.

### 5.2 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 (Landwirtschaftstraktor, Pannenfahrzeug usw.)
- 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 Messprogramms kam es nicht zu Behinderungen, die zu einer Eliminierung von Messfahrten führten.

## 6 Ergebnisse

Für jeden ausgewählten Verkehrsknoten folgt nun ein separates Kapitel. Zuerst wird der Verkehrsknoten charakterisiert. Dann folgt das Fazit aus den Ergebnissen. Ein Lageplan und ein Situationsplan zeigen die Position des Verkehrsknotens in der Landschaft. Eine Übersicht über die ausgewählten Verkehrsknoten mit ihren Charakteristika ist in der Zusammenfassung enthalten.

Es folgen dann die Unterkapitel mit den Ergebnissen zu den verschiedenen Fahrrichtungen über die Kreuzung und den Kreisel in Diagrammform.

Bei den Ergebnissen wird zur Veranschaulichung der Verteilung der Messwerte um den Mittelwert in den Tabellen jeweils noch ein Streubereich angeführt. Die Tabellen befinden sich im Anhang. Der Streubereich 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. Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, wird der Streubereich in den Diagrammen weggelassen.

Überdies ist zu beachten, dass es sich in den Diagrammen und Tabellen um gerundete Zahlen handelt. Auf den ersten Blick als falsch erscheinende Streubereiche oder Prozentzahlen lassen sich dadurch erklären. Eindeutig im Vordergrund stehen die Messungen mit dem defensiven Fahrer. Deshalb werden zuerst diese Ergebnisse präsentiert.

Damit die Daten besser untereinander vergleichbar sind, werden die Messwerte in Gramm pro Kilometer angegeben. Bei der Angabe in Gramm pro Test würden die Vergleiche über verschieden lange Strecken gemacht.

Die Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen sind zu gering, um Unterschiede zwischen den Fahrten über die Kreuzung und jenen über den Kreisel feststellen zu können. Die HC-Emissionen werden deshalb in den folgenden Kapiteln nicht berücksichtigt. Auch bei den Stickoxidemissionen ist zu beachten, dass es sich um absolut gesehen sehr geringe Emissionsmengen handelt. Deshalb sind prozentual grosse Unterschiede mit der richtigen Relation zu bewerten.

Die folgenden Kapitel enthalten jeweils die aus den Messfahrten resultierenden Erkenntnisse. Die Messergebnisse sind in einem Diagramm zusammengestellt. Die detaillierten Messwerte der Fahrten mit der MAMA sind im Anhang enthalten. Die Erkenntnisse aus den Messfahrten enthalten einerseits messbare Resultate, welche sich direkt aus den Messwerten der Fahrten mit der MAMA ableiten lassen. Unter «Bemerkungen» werden weitere während der Messfahrten gemachte Feststellungen genannt, welche teilweise nicht durch Zahlen zweifelsfrei belegt werden können, jedoch für Spezialisten, welche mit Verkehrskreisel zu tun haben, trotzdem interessant sein können.

Die Zusammenfassung am Anfang des Berichts enthält eine Übersicht über die messbaren Ergebnisse.

## 6.1 Sihlbrugg (Kanton Zug)

### 6.1.1 Charakterisierung der Messstrecke

- Hohe Verkehrsfrequenz (stündlicher Verkehr über 1'500 Fahrzeuge über alle Äste; jedes Fahrzeug wird nur einmal gezählt, nicht bei Ein- und Ausfahrt; Anhang 3)
- Komplexe Kreuzung, hauptsächlich bestehend aus drei Ästen und weiteren Abzweigern zu Tankstellen und Restaurants
- Ohne Lichtsignalanlage
- Fussgängerstreifen auf Ast Zug
- Zweispurige Zufahrten von Zug und Zürich, einspurig vom Hirzel
- Zweispuriger Kreisel
- Geringe Höhendifferenzen
- Im Zentrum einer Ansammlung von Tankstellen und Restaurants
- Vortrittsberechtigter Hauptstrasse in der Achse Zürich–Zug mit Abzweigung zum Hirzel und weiteren Abzweigern zu Tankstellen und Restaurants ohne Vortritt (Situation Kreuzung)
- Keine Änderung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit zwischen Situation Kreuzung und Situation Kreisel
- Äusserer Durchmesser des Kreisels: 42 m
- Streckenlänge 1.5 bis 2 km. Damit man bei den Messfahrten die Beeinträchtigungen durch die langen Rückstaus erfassen konnte, mussten die Messstrecken bei diesem Kreisel bedeutend länger ausfallen als bei den übrigen.
- Messfahrten in allen Richtungen:
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Zug: Firmenschild «Jansen-Cilag»
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Hirzel: rechtwinklige Kurve vor Kreuzung Sihlbrugg
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Zürich: Kurve mit Kurvenschild, Bach und kleinem Parkplatz

### 6.1.2 Fazit Kreisel Sihlbrugg

- Die Auswirkungen des Umbaus von der Kreuzung zum Verkehrskreisel variieren stark von einer Fahrtrichtung zu einer anderen.
- Der Kreisel führt dazu, dass alle Äste gleichberechtigt sind.
- Für die Achse Zug–Zürich führt das zu einer Verminderung der Fahrgeschwindigkeit und zu einer Unterbrechung der vormals kontinuierlichen Fahrt mit den entsprechenden Auswirkungen auf Emissionen und Treibstoffverbrauch.
- In geringerem Ausmass gilt das auch für die Richtung Zug–Hirzel. Auch hier sinkt die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Fahrt wird durch die erzwungene Bremsung weniger gleichförmig.
- Ausgesprochen positiv sind die Auswirkungen auf die Richtung Hirzel–Zug. Die Durchschnittsgeschwindigkeit liegt beim Kreisel fast doppelt so hoch wie vorher bei der Kreuzung.
- Auch die wenigen vom Hirzel kommenden und in Richtung Zürich weiterfahrenden Autos können sicher bedeutend störungsfreier passieren.

### 6.1.3 Lageplan

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (Zeichen und Nummer)

### 6.1.4 Situationsplan (Auszug aus «Verkehrsanlage Sihlbrugg» [33])



### 6.1.5 Richtung Zug–Zürich (Anhang 6)

#### Kurzcharakterisierung

- Gleichbedeutende Hauptachse wie Zug–Hirzel

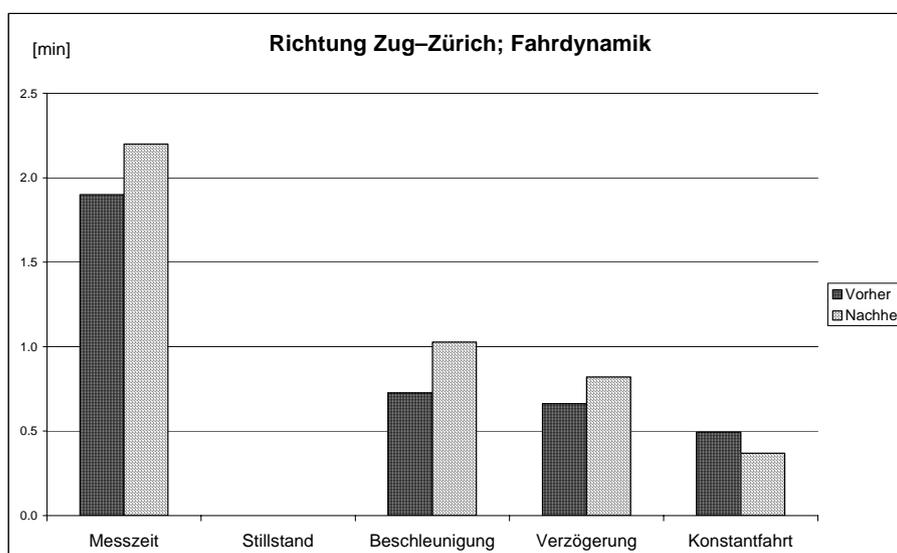
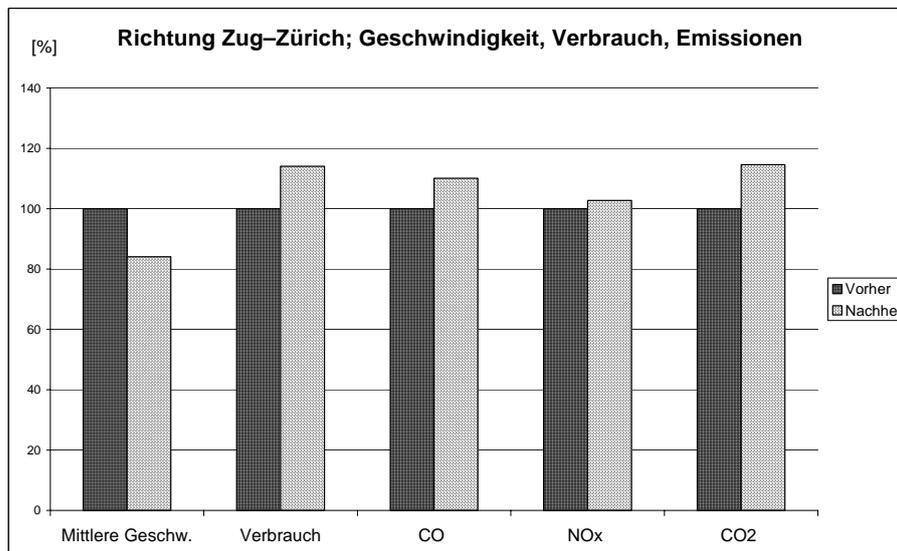
#### Messbare Ergebnisse

- In Richtung des Verkehrsstroms, der vor dem Umbau vortrittsbegünstigt war, führt der Kreisel zu einer Erhöhung von Durchfahrtszeit, Verbrauch, CO- und CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die Phasen von Beschleunigung und Verzögerung nehmen zu.
- Der Anteil an Konstantfahrt nimmt ab.
- Auf die sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen ist der Einfluss klein.

#### Bemerkung

- Die Richtungen Zürich–Hirzel und Hirzel–Zürich wurden nicht untersucht, da das Verkehrsaufkommen in diesen Richtungen sehr gering ist und auch die zu erwartenden Auswirkungen auf die untersuchten Parameter gering sind.

#### Diagramme



### 6.1.6 Richtung Zürich–Zug (Anhang 6)

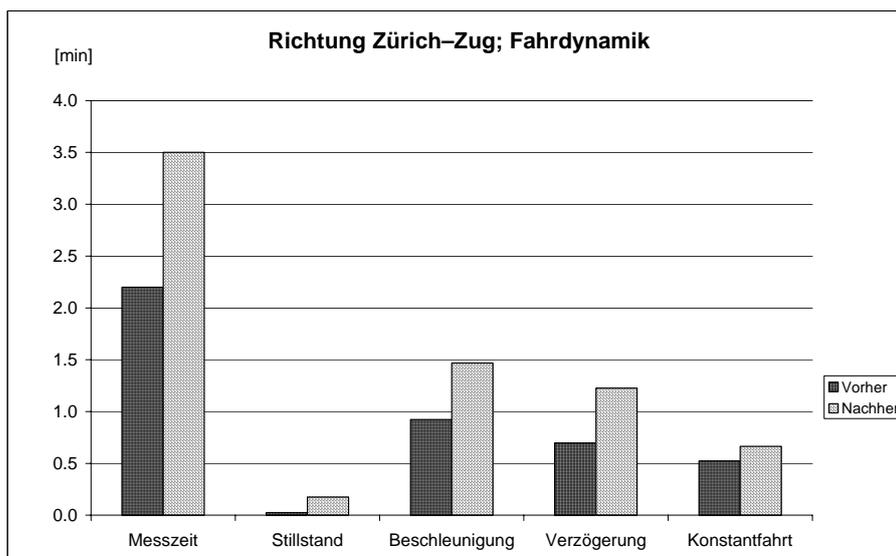
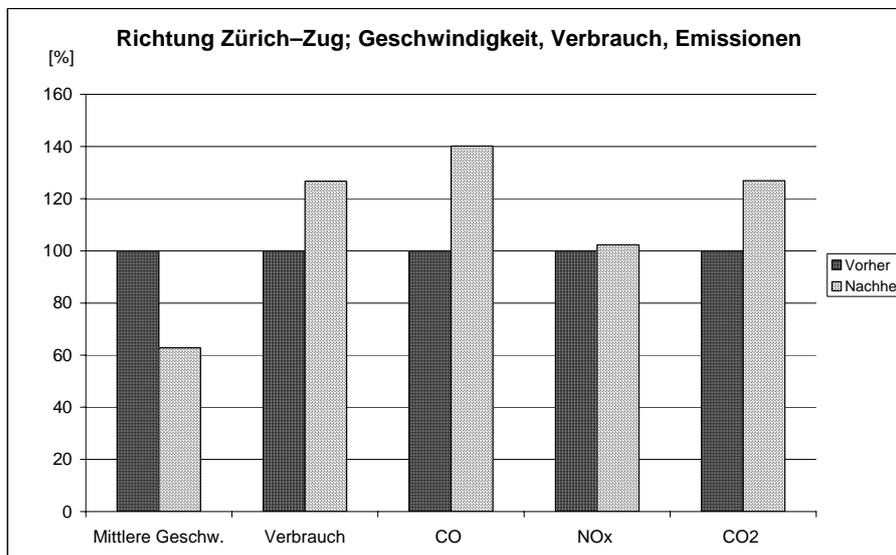
#### Kurzcharakterisierung

- Gleichbedeutende Hauptachse wie Zug–Hirzel

#### Messbare Ergebnisse

- Analog verhält es sich in der Gegenrichtung. Die Auswirkungen in Richtung Zug sind noch deutlicher. In der Richtung des Verkehrsstroms, welcher vor dem Umbau vortrittsbegünstigt war, führt der Kreisel erwartungsgemäss zu einer Erhöhung von Durchfahrtszeit, Verbrauch, CO- und CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Der Anteil der Stillstandszeit nimmt zu.

#### Diagramme



### 6.1.7 Richtung Zug–Hirzel (Anhang 7)

#### Kurzcharakterisierung

- Gleichbedeutende Hauptachse wie Zug–Zürich

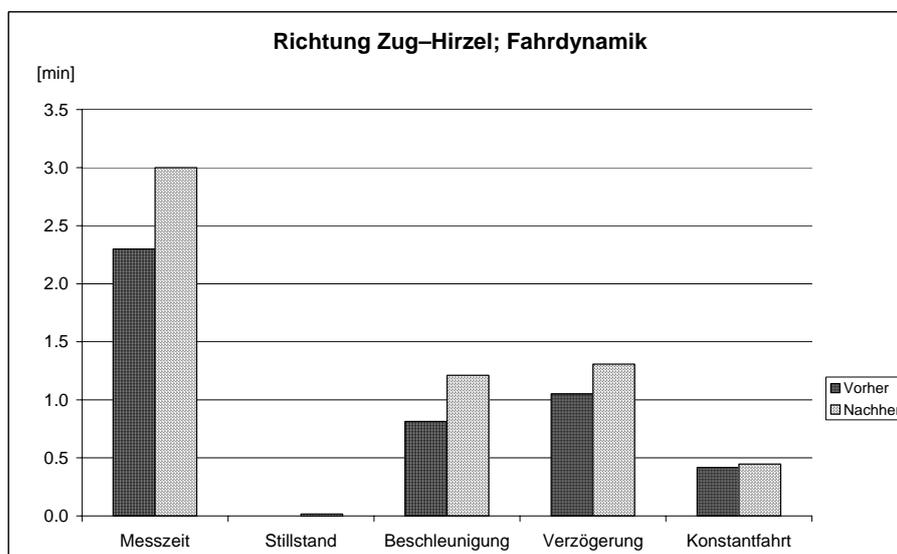
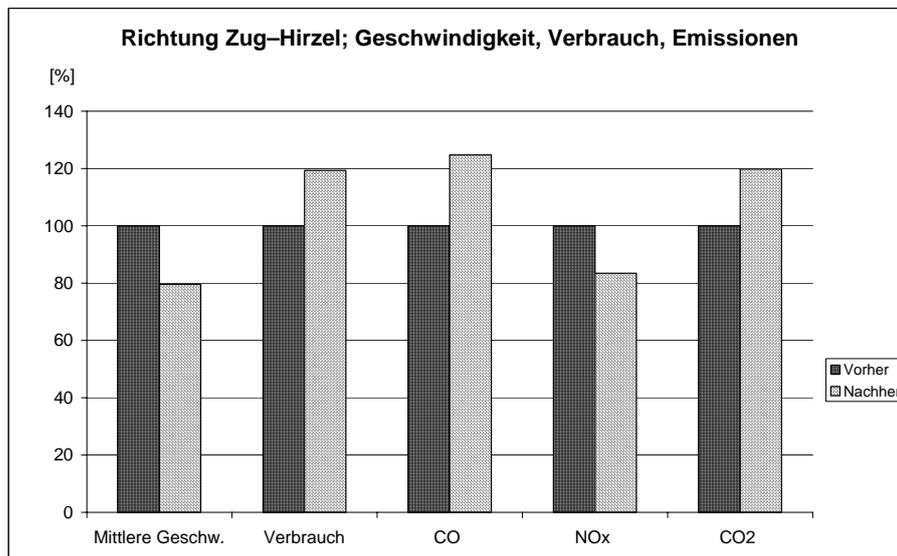
#### Messbare Ergebnisse

- Kreisel führt zu Erhöhung der Fahrzeit, des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die Auswirkungen auf die fahrdynamischen Parameter (Stillstand, Beschleunigung, Verzögerung, Konstantfahrt) sind gering.
- Die sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen nehmen ab.

#### Bemerkungen

- Vor dem Umbau zum Kreisel konnten die Automobilisten mit nur kleiner Tempoverminderung in Richtung Hirzel abbiegen.
- Der Umbau zum Kreisel führt dazu, dass diese Automobilisten nun teilweise bis zum Stillstand abbremsen, eventuell warten und nachher wieder beschleunigen müssen.

#### Diagramme



## 6.1.8 Richtung Hirzel–Zug (Anhang 7)

### Kurzcharakterisierung

- Gleichbedeutende Hauptachse wie Zug–Zürich

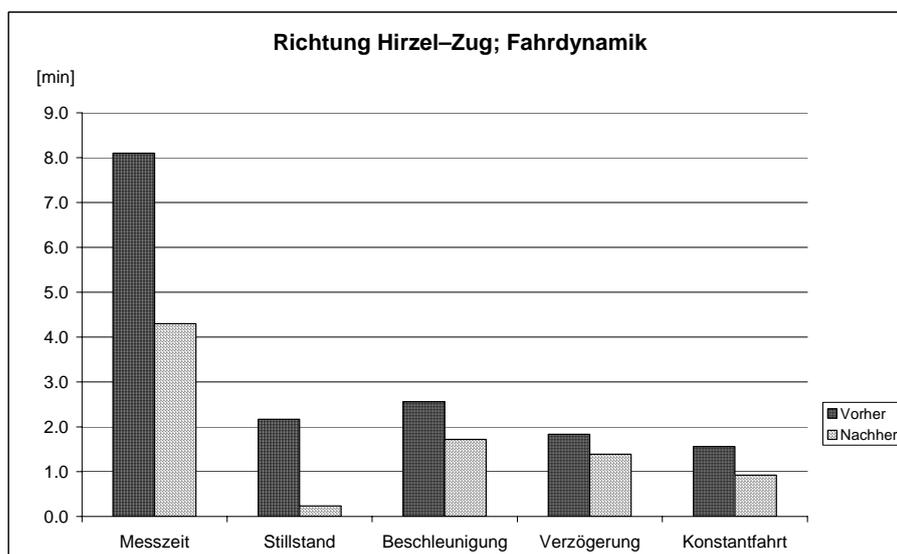
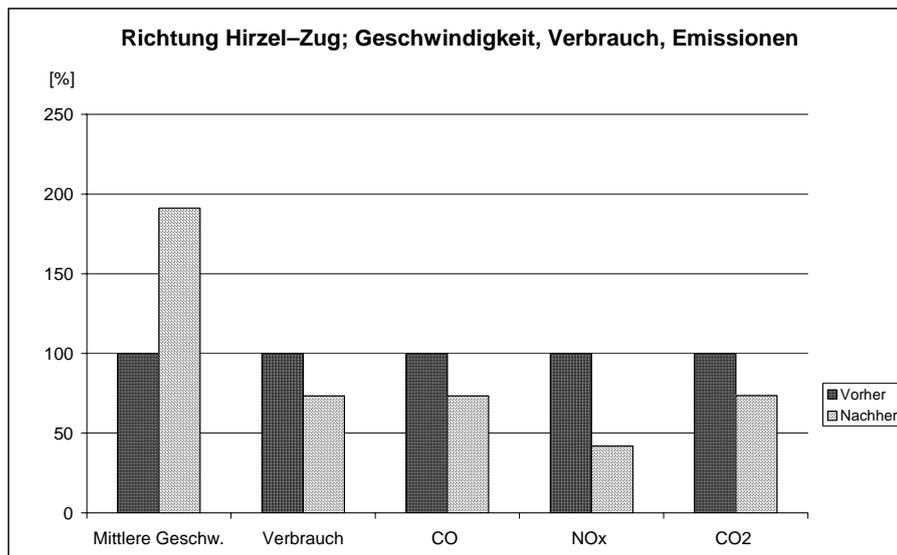
### Messbare Ergebnisse

- Kreisel führt zu einer deutlichen Verminderung der Fahrzeit, des Anteils der Stillstandszeit, des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### Bemerkungen

- Der Umbau zum Kreisel führt dazu, dass die vom Hirzel kommenden Automobilisten gegenüber den von Zürich kommenden vortrittsberechtigt sind.
- Die Bereitschaft der vom Hirzel kommenden und in Richtung Zug weiterfahrenden Automobilisten, auf die innere Spur des Kreisels zu wechseln, ist nicht vorhanden.
- Grosse Vorteile sind auch für die vom Hirzel kommenden und in Richtung Zürich weiterfahrenden Automobilisten zu erwarten.

### Diagramme



## 6.2 Emmenbrücke (Kanton Luzern)

### 6.2.1 Charakterisierung der Messstrecke

- Hohe Verkehrsfrequenz (stündlicher Verkehr über 1'500 Fahrzeuge über alle Äste; jedes Fahrzeug wird nur einmal gezählt, nicht bei Ein- und Ausfahrt; Anhang 4)
- Kreuzung Rothenburgstrasse/Schürstrasse, Benziwilstrasse; beim Restaurant St. Christoph
- Kreuzung mit vier Ästen
- Hauptachse mit zwei weniger wichtigen Nebenästen
- Ohne Lichtsignalanlage
- Einspurige Zufahrten (mit Busbeschleunigungsspur bei Situation «Kreisel»)
- Fahrspuren mit Fussgängerstreifen
- Geringe Höhendifferenzen
- Innerorts
- Vortrittsberechtigte Hauptstrasse (Rothenburgstrasse) mit senkrechten Einmündungen («Kein Vortritt»)
- Keine Änderung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit zwischen Situation Kreuzung und Situation Kreisel
- Äusserer Durchmesser des Kreisels: 25/27 m (Oval)
- Streckenlängen 0.3 bis 0.5 km
- Messfahrten in alle Richtungen:
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Emmen: Occasionshändler unmittelbar nach Autobahnausfahrt
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Rothenburg: Einmündung der Kapfstrasse
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Benziwil: rechtwinklige Kurve nach Fussgängerstreifen
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung AMP: Schild mit Spurensignalisation vor Eingang zum AMP

### 6.2.2 Fazit Kreisel Emmenbrücke

- Die Auswirkungen dieses Kreisels auf Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen sind unterschiedlich.
- Die Auswirkungen in der Hauptverkehrsachse sind gering.
- Das partnerschaftliche Verhalten der Automobilisten beim Einmünden- oder Abbiegenlassen führt dazu, dass die Vorteile des Kreisels (erleichtertes Einmünden und Abbiegen) weniger deutlich oder nicht zu erkennen sind.

### 6.2.3 Lageplan



#### 6.2.4 Situationsplan



## 6.2.5 Richtung Rothenburg–Erlenstrasse (Anhang 8)

### Kurzcharakterisierung

- Hauptachse

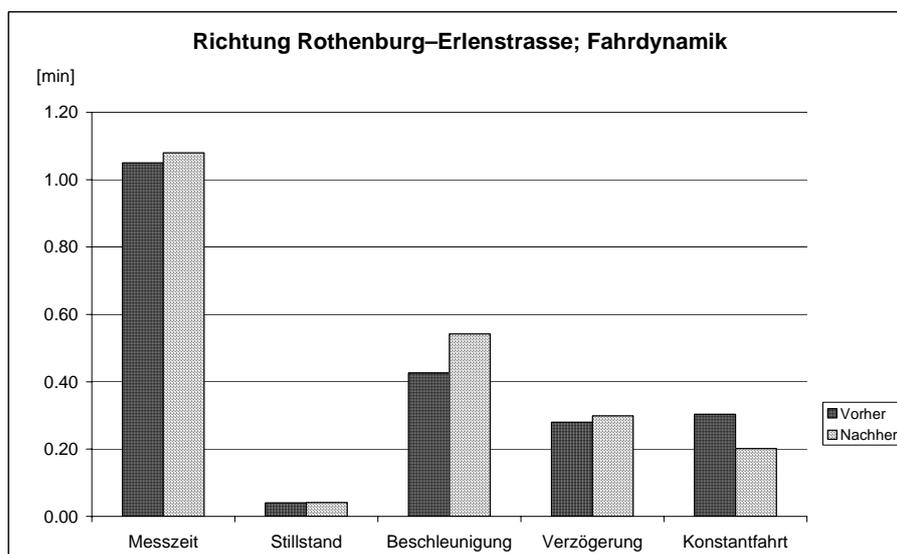
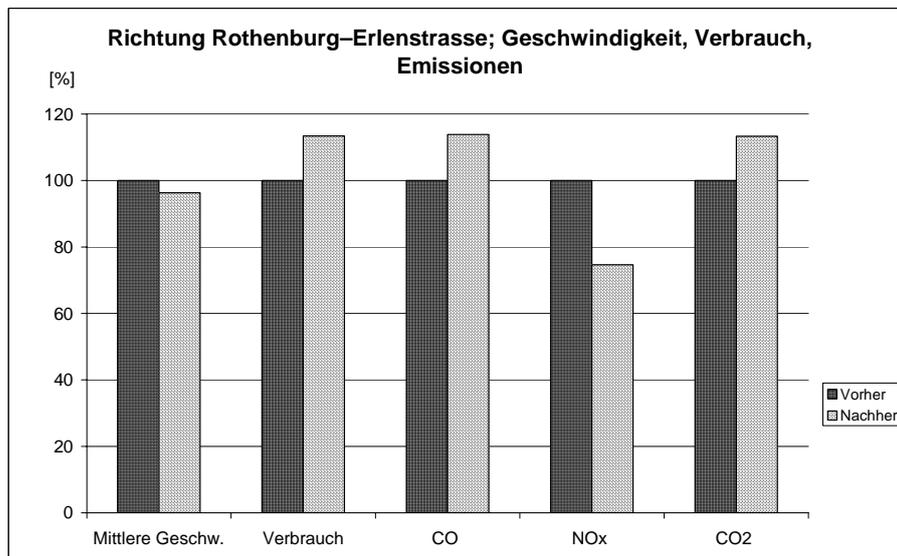
### Messbare Ergebnisse

- In der Richtung des Hauptverkehrsstromes sind die Unterschiede gering.
- Der Kreisel führt zu einer Zunahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Dagegen nehmen die NO<sub>x</sub>-Emissionen und der Anteil der Konstantfahrt ab.

### Bemerkungen

- In der Hauptverkehrssrichtung führt der Kreisel zu einer Bremsung und Wiederbeschleunigung des vormals mit konstanter Geschwindigkeit rollenden Verkehrs.
- Dass die Unterschiede nicht noch deutlicher zu Gunsten der Kreuzung herausgekommen sind, liegt daran, dass die Messungen bei viel Verkehr durchgeführt wurden. Bei viel Verkehr bewegen sich die Autos mit Durchschnittsgeschwindigkeiten um 35 anstelle der erlaubten 50 km/h.

### Diagramme



## 6.2.6 Richtung Erlenstrasse–Rothenburg (Anhang 8)

### Kurzcharakterisierung

- Hauptachse

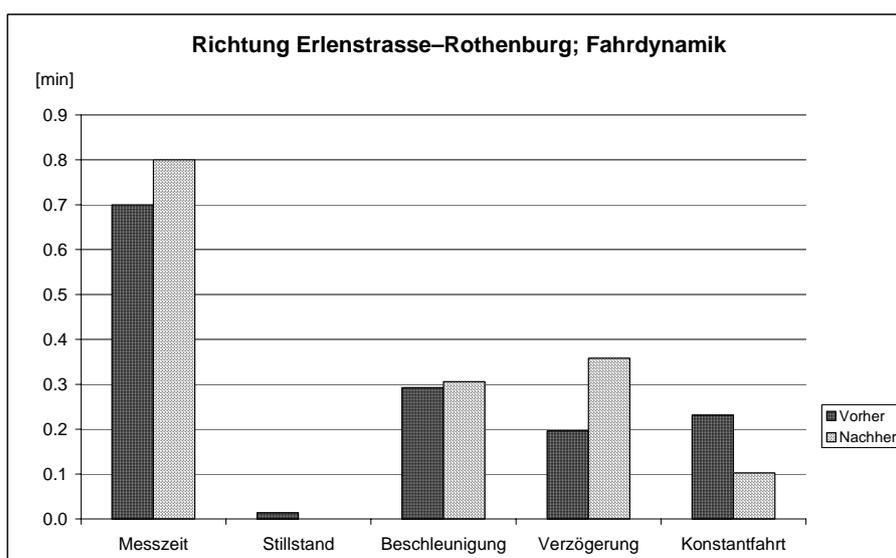
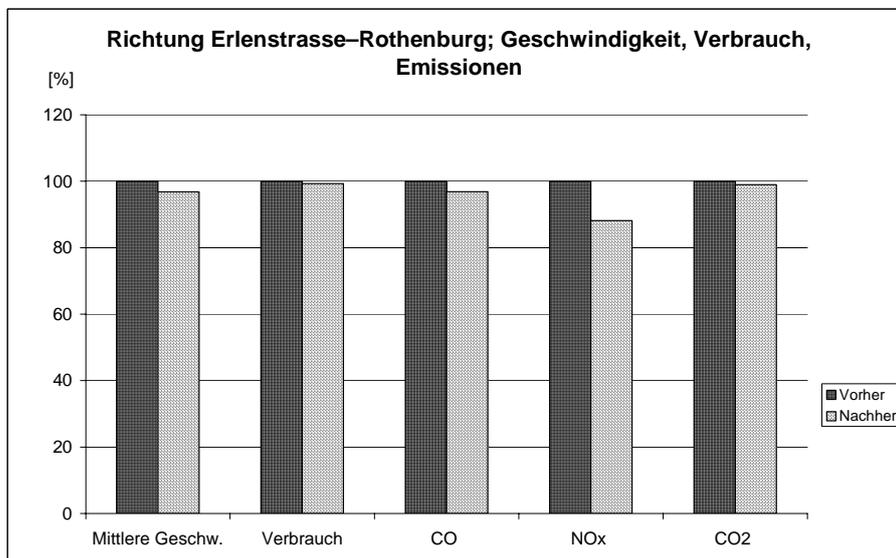
### Messbare Ergebnisse

- In der Gegenrichtung sind die Unterschiede noch geringer.
- Die grössten Unterschiede sind bei den fahrdynamischen Parametern Verzögerung und Konstantfahrt festzustellen.

### Bemerkung

- Auch in der Gegenrichtung wirkt der Kreisel als «Störfaktor». Aus einer gleichförmigen Fahrt wird eine Fahrt mit Verzögerung und Beschleunigung.

### Diagramme



## 6.2.7 Richtung Rothenburg–Benziwil (Anhang 9)

### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger aus Hauptachse in Seitenast

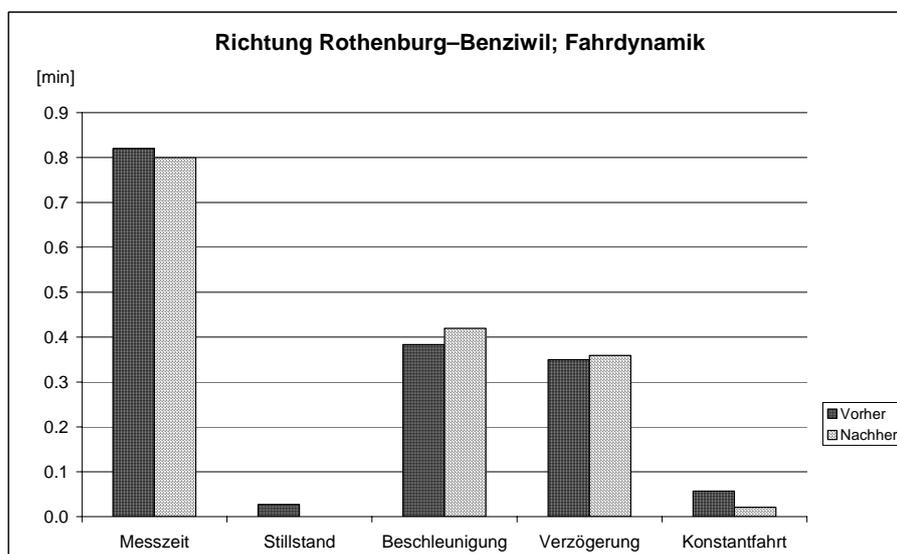
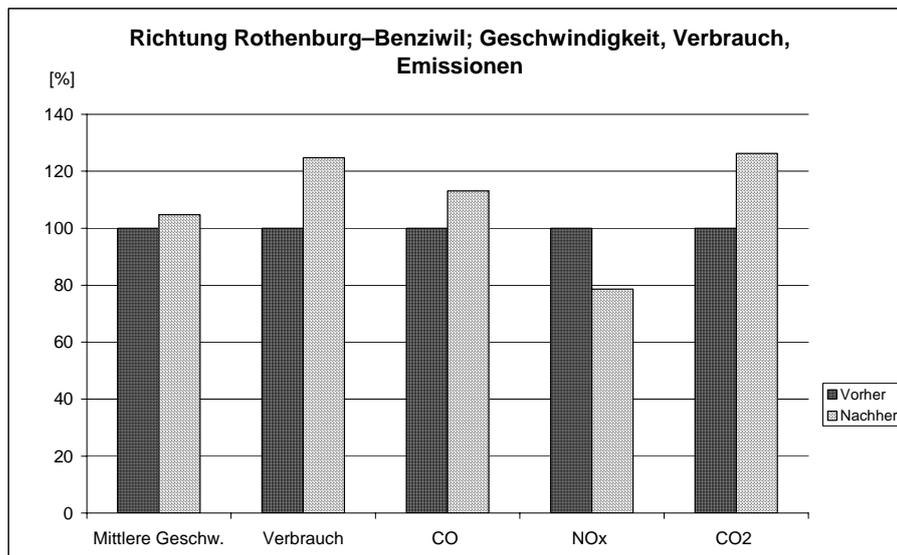
### Messbare Ergebnisse

- Bei den Linksabbiegern in Richtung Benziwil führt der Kreisel zu einer Erhöhung des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die sehr geringen Stickoxidemissionen nehmen ab.
- Bei den fahrdynamischen Parametern sind keine grossen Auswirkungen feststellbar.

### Bemerkung

- Während der Messfahrten fiel auf, dass es immer wieder entgegenkommende Automobilisten gibt, welche anhalten, um das Abbiegemanöver nach kurzer Wartezeit zu ermöglichen. Dadurch kommt der Vorteil des Kreisels, welcher Linksabbiegern das Abbiegen erleichtert, weniger oder überhaupt nicht zum Tragen.

### Diagramme



## 6.2.8 Richtung Benziwil–Erlenstrasse (Anhang 9)

### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse

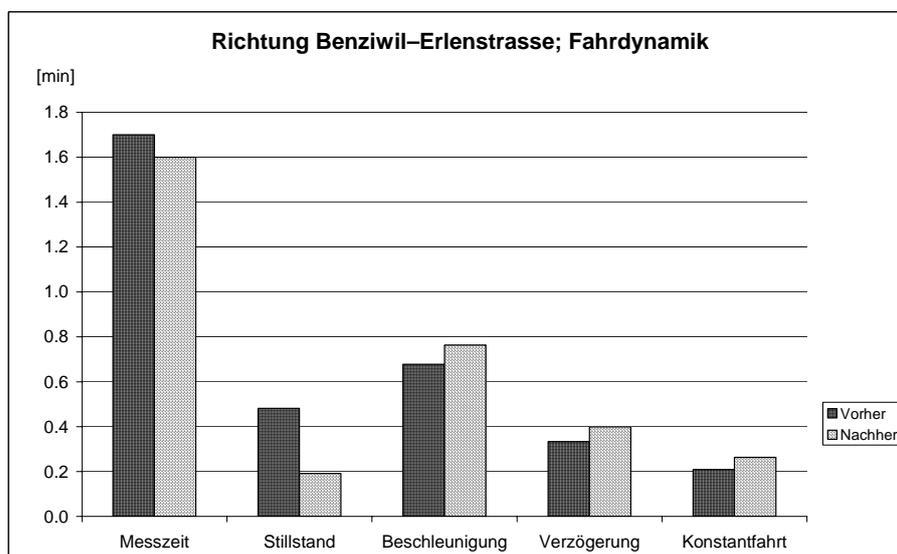
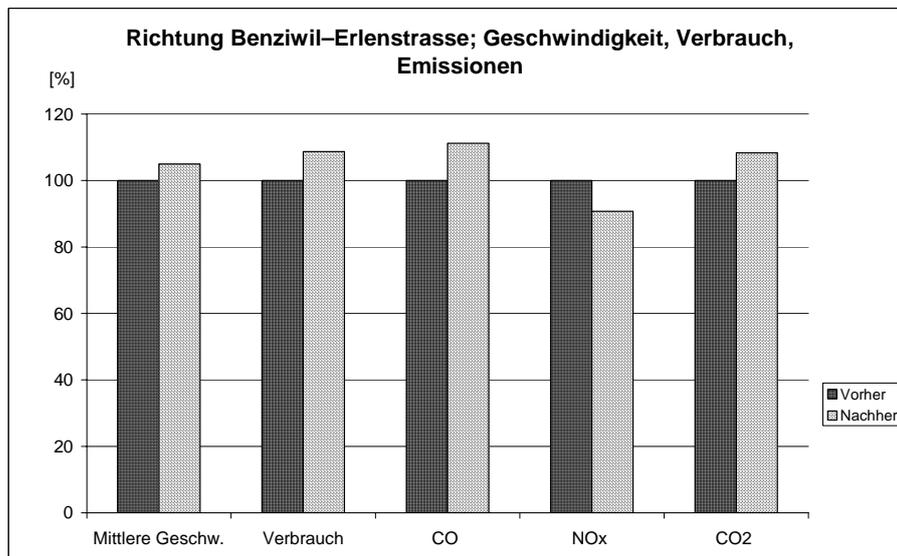
### Messbare Ergebnisse

- Bei den einmündenden Fahrzeugen von Benziwil her führt der Kreisel zu einer Erhöhung des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die geringen Stickoxidemissionen und die Stillstandszeit nehmen ab.

### Bemerkungen

- Steigung von Benziwil her führt zu hohem Verbrauch und hohen CO- und CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Automobilisten auf der Hauptachse halten an, um das Einmünden zu ermöglichen. Dadurch kommt der Vorteil des Kreisels, welcher das Einmünden erleichtert, weniger zum Tragen.
- Fahrzeuge von links auf Hauptachse gegenüber den einmündenden auch beim Kreisel im Vortritt.

### Diagramme



## 6.2.9 Richtung Erlenstrasse-AMP (Anhang 10)

### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger von Hauptachse in Seitenast

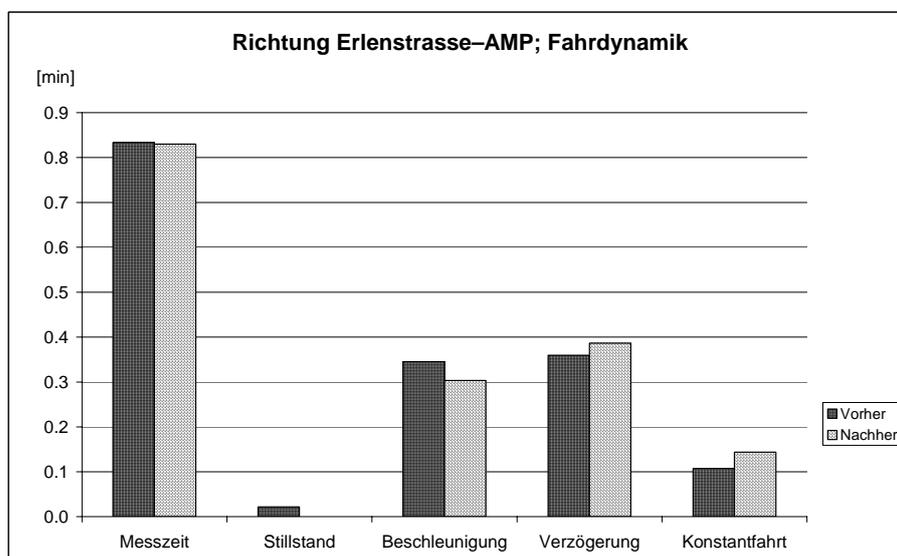
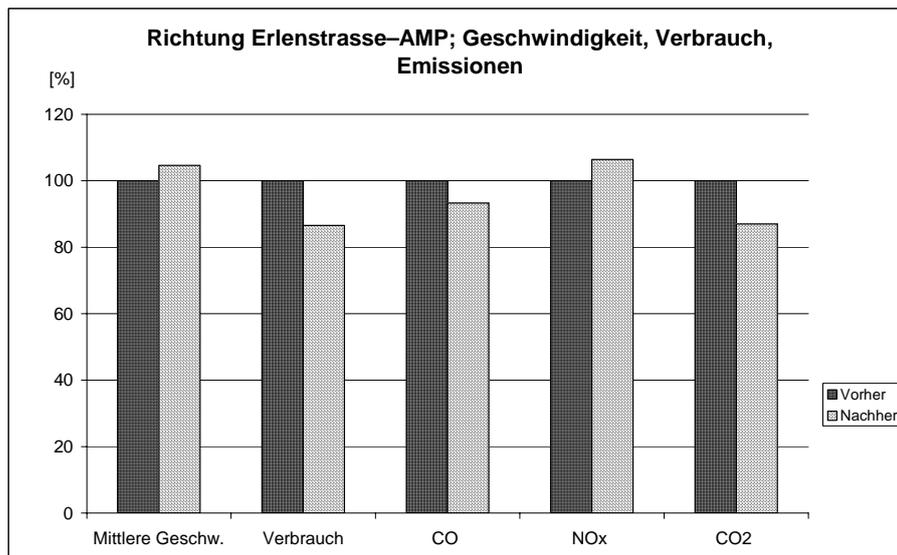
### Messbare Ergebnisse

- Bei den nach links abbiegenden Fahrzeugen von Emmenbrücke her führt der Kreisel zu einer Verminderung des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die geringen Stickoxidemissionen nehmen leicht zu.
- Die Auswirkungen auf Stillstands-, Beschleunigungs-, Verzögerungs- und Konstantfahrtszeit sind gering.

### Bemerkung

- Hier sind die Linksabbieger in der Kreuzung darauf angewiesen, dass sie bei viel Verkehr von entgegenkommenden Automobilisten durchgelassen werden. Das klappt aber meistens erstaunlich gut.

### Diagramme



## 6.2.10 Richtung AMP–Rothenburg (Anhang 10)

### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links von Seitenast in Hauptachse

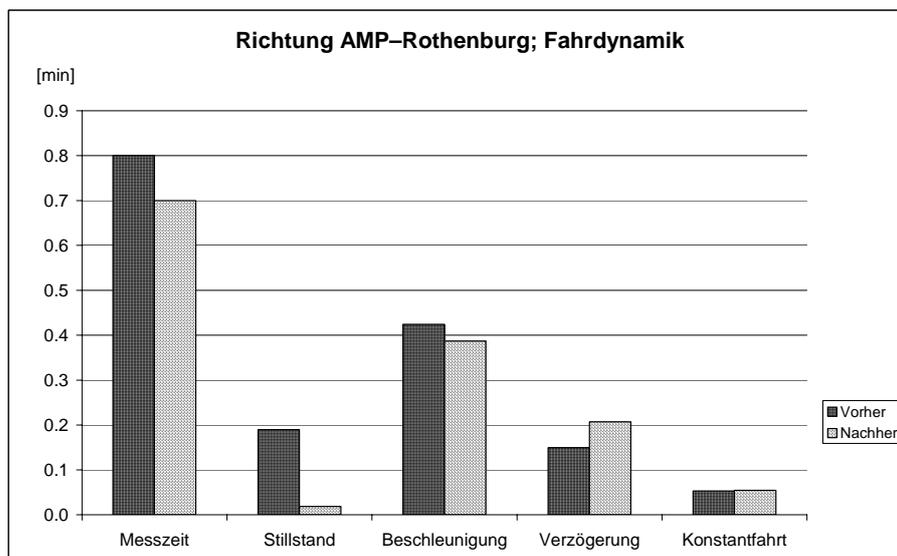
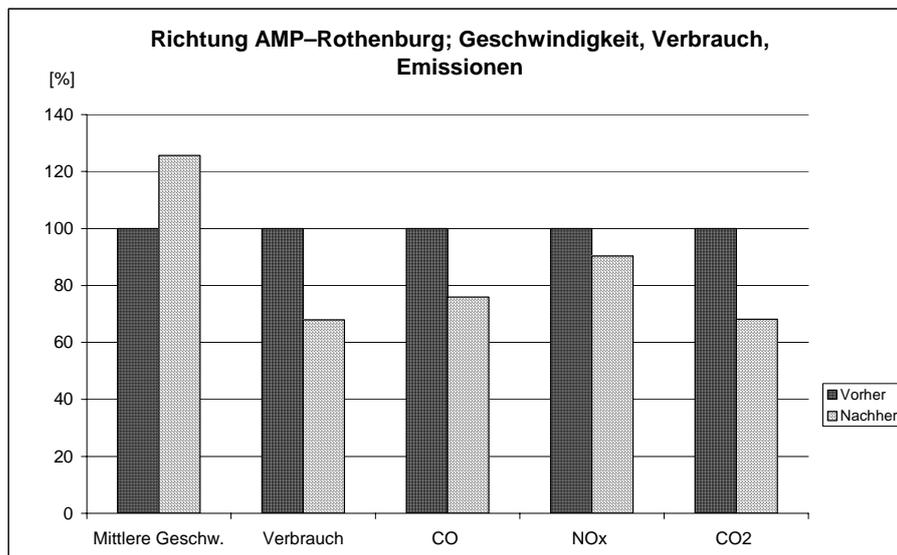
### Messbare Ergebnisse

- Bei den nach links einmündenden Fahrzeugen vom AMP her führt der Kreisel zu einer deutlichen Verminderung der Durchfahrtszeit, des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die geringen Stickoxidemissionen nehmen auch leicht ab.
- Dem Kreisel ist auch die deutliche Abnahme beim Anteil der Stillstandszeit zu verdanken.
- Die gefahrene Durchschnittsgeschwindigkeit nimmt signifikant zu.

### Bemerkung

- Dank Kreisel kann oft ohne anzuhalten direkt weitergefahren werden. Das Anhalten und Beschleunigen fällt weg.

### Diagramme



### 6.3 Winterthur (Kanton Zürich)

- Tiefe Verkehrsfrequenz (stündlicher Verkehr unter 1'000 Fahrzeuge über alle Äste; jedes Fahrzeug wird nur einmal gezählt, nicht bei Ein- und Ausfahrt)
- Kreuzung Kanzleistrasse/Landvogt Waser-Strasse
- Kreuzung mit vier Ästen
- Hauptachse mit zwei weniger wichtigen Nebenästen
- Ohne Lichtsignalanlage
- Fussgängerstreifen auf allen Achsen
- Einspurige Zufahrten
- Geringe Höhendifferenzen
- Innerorts
- Vortrittsberechtigte Hauptstrasse (Landvogt Waser-Strasse) mit senkrechten Einmündungen («Kein Vortritt»)
- Keine Änderung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit zwischen Situation Kreuzung und Situation Kreisel
- Äusserer Durchmesser des Kreisels: 26 m
- Streckenlänge 0.4 bis 0.5 km:
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Winterthur: Fussgängerstreifen in Ebene nach Neubau
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Romanshorn: Unterführung
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Bäckerei: Bäckerei
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Bahnhof: Platz vor Bahnhof

#### 6.3.1 Fazit Kreisel Winterthur

- In fast allen untersuchten Richtungen führt der Kreisel zu einer Abnahme von Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen.
- Bei diesem Kreisel haben die Fussgänger einen grossen Einfluss auf den Verkehrsfluss in den verschiedenen Richtungen über den Kreisel.

### 6.3.2 Lageplan



### 6.3.3 Situationsplan



### 6.3.4 Richtung Romanshorn–Winterthur (Anhang 11)

#### Kurzcharakterisierung

- Vortrittsberechtigte Hauptachse

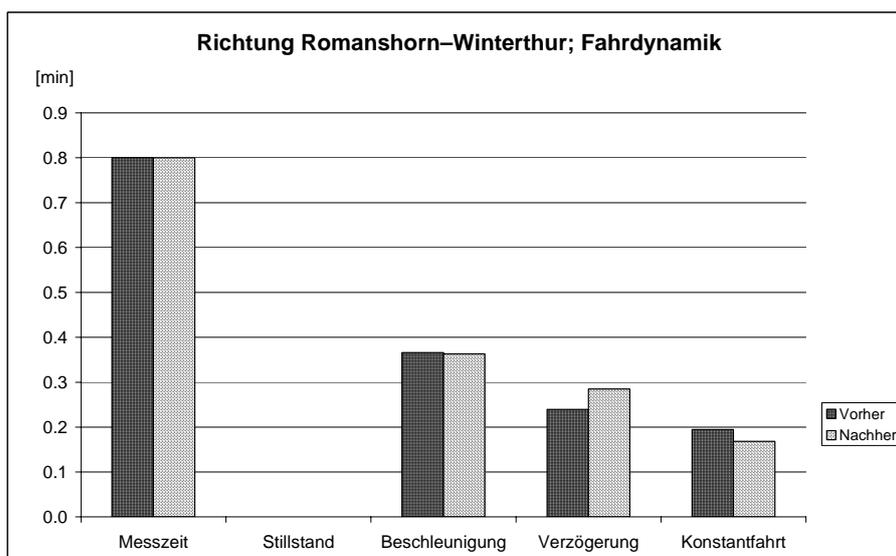
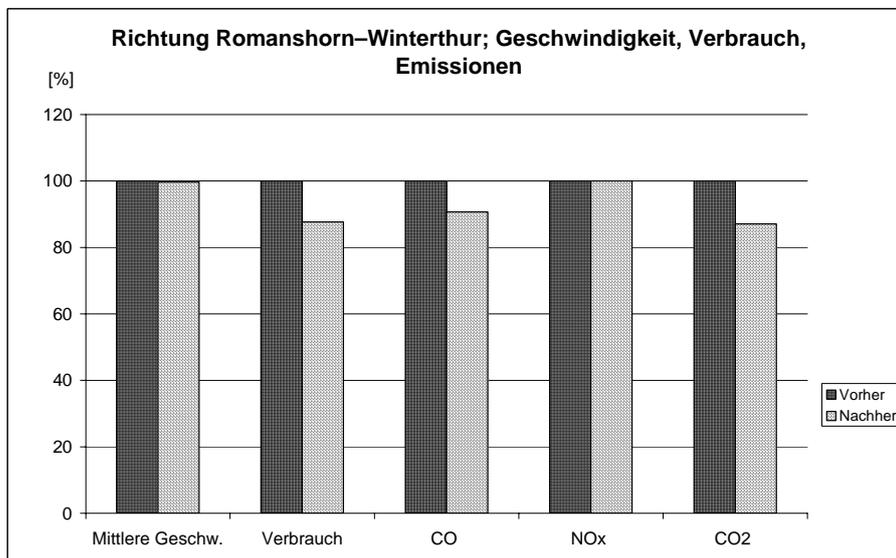
#### Messbare Ergebnisse

- In der Richtung des Hauptverkehrsstromes sind die Unterschiede gering.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Auf die sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen sind keine Auswirkungen feststellbar.

#### Bemerkung

- In dieser Richtung weist die Messstrecke ein Gefälle auf. Deshalb sind Emissionen und Treibstoffverbrauch tiefer als in der Gegenrichtung.

#### Diagramme



### 6.3.5 Richtung Winterthur–Romanshorn (Anhang 11)

#### Kurzcharakterisierung

- Vortrittsberechtigte Hauptachse

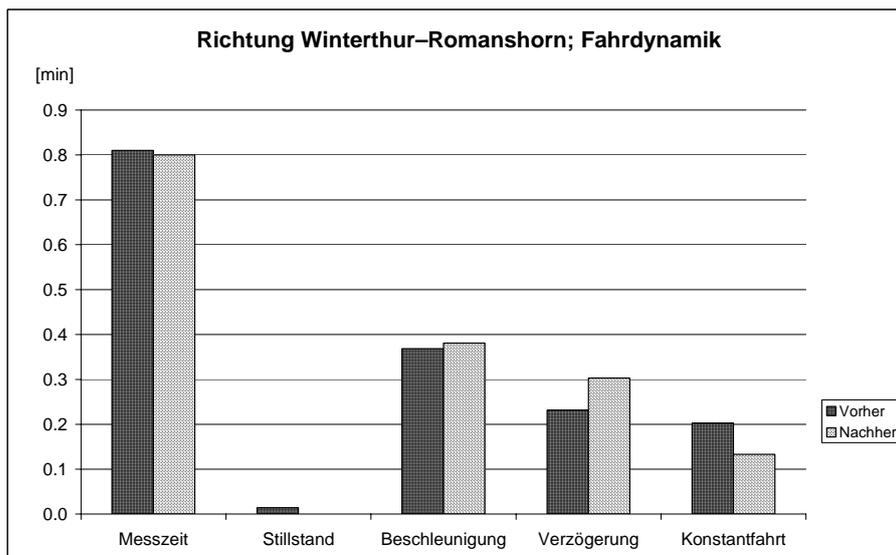
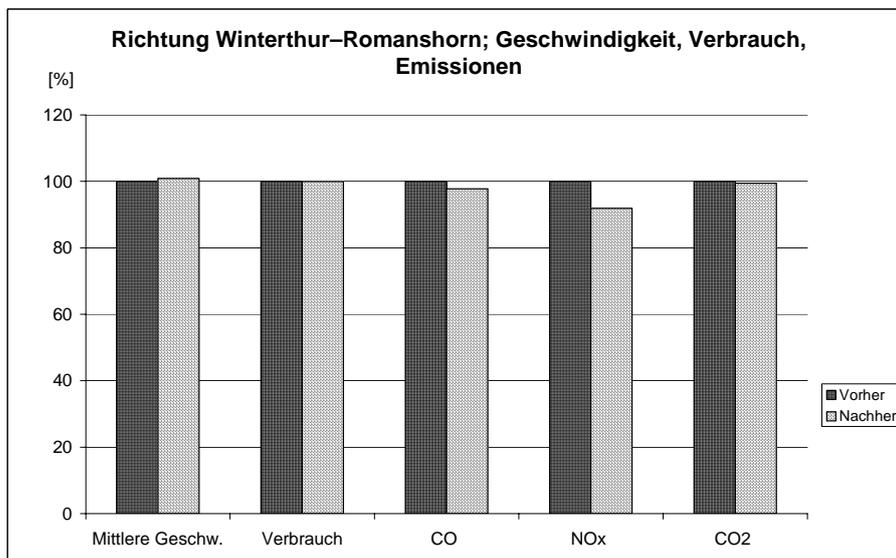
#### Messbare Ergebnisse

- In dieser Richtung des Hauptverkehrsstromes sind nur geringe Unterschiede feststellbar.

#### Bemerkung

- In dieser Richtung weist die Messstrecke eine Steigung auf. Deshalb sind Emissionen und Treibstoffverbrauch höher als in der Gegenrichtung.

#### Diagramme



### 6.3.6 Richtung Romanshorn-Bäckerei (Anhang 12)

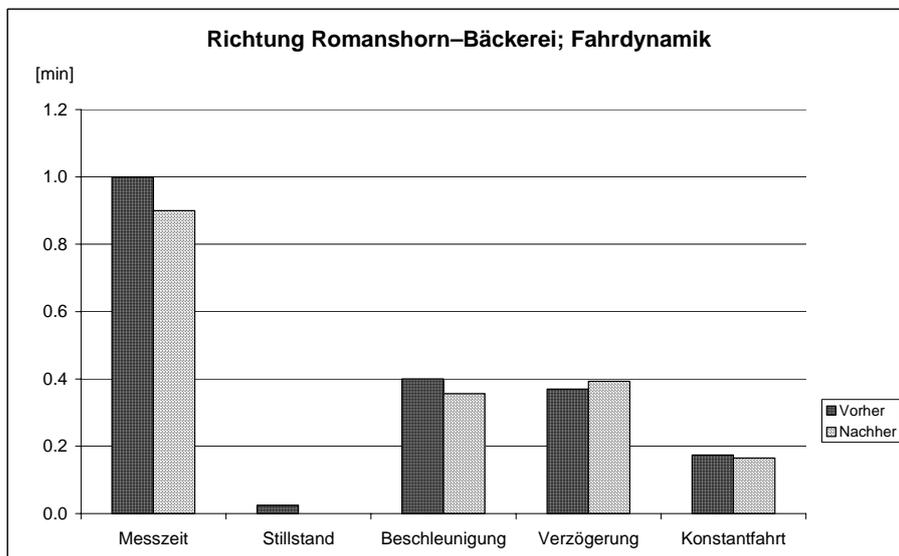
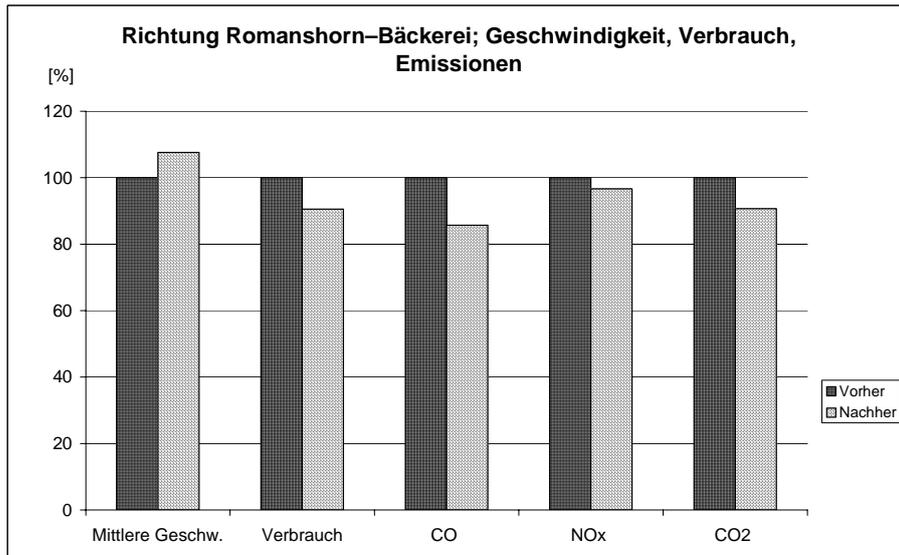
#### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger aus Hauptachse in Seitenast

#### Messbare Ergebnisse

- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO2-Emissionen.

#### Diagramme



### 6.3.7 Richtung Bäckerei–Winterthur (Anhang 12)

#### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse

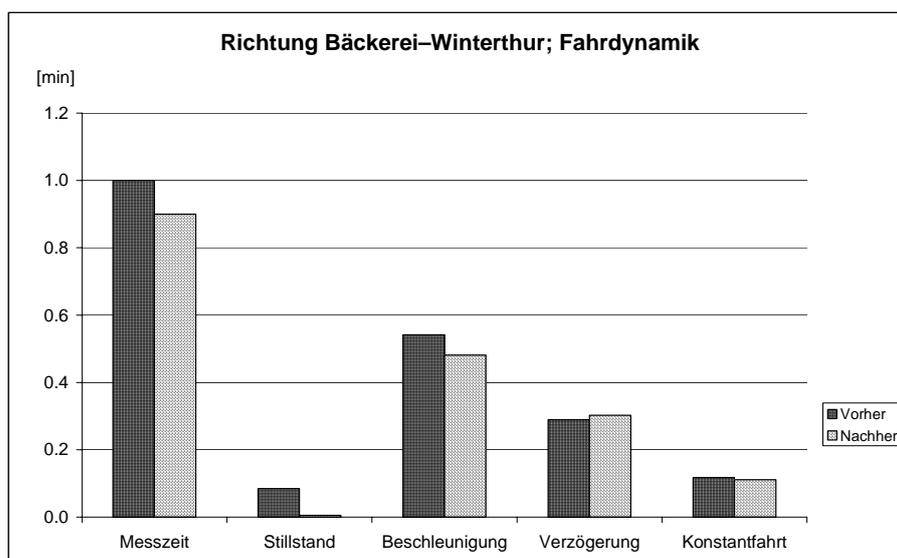
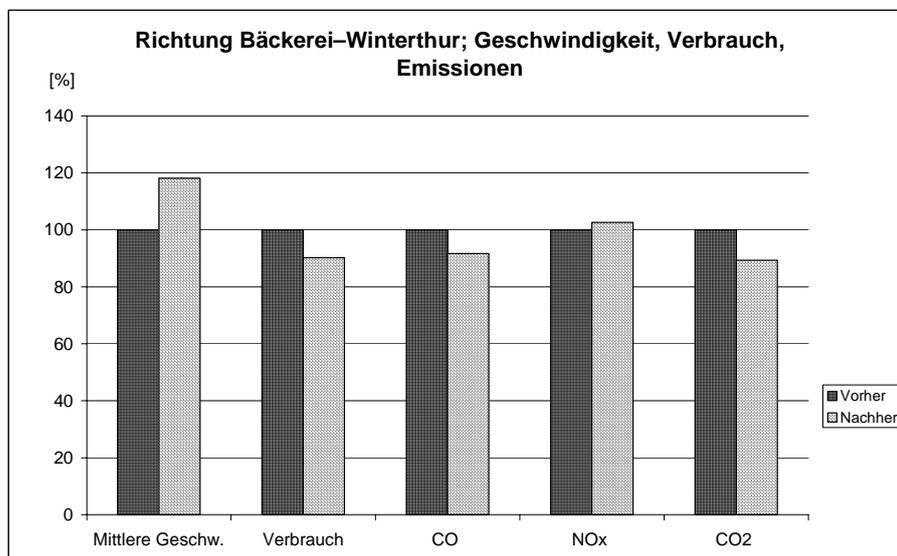
#### Messbare Ergebnisse

- Bei den einmündenden Fahrzeugen von der Bäckerei her führt der Kreisel zu einer Abnahme der Durchfahrtszeit, des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die geringen Stickoxidemissionen nehmen leicht zu.
- Die bereits bei der Kreuzung geringe Stillstandszeit wird durch den Kreisel noch mehr verkürzt.

#### Bemerkungen

- Der Kreisel führt zu einer gleichmässigeren Fahrt mit weniger Stillstandszeit.
- Bei diesem Kreisel hat die Zahl der Fussgänger einen grossen Einfluss auf den Verkehrsfluss.

#### Diagramme



### 6.3.8 Richtung Winterthur-Bahnhof (Anhang 13)

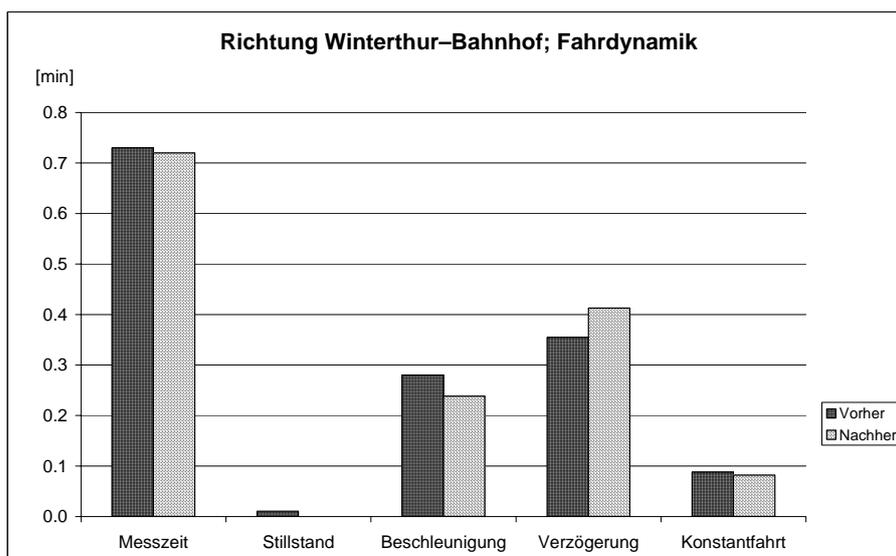
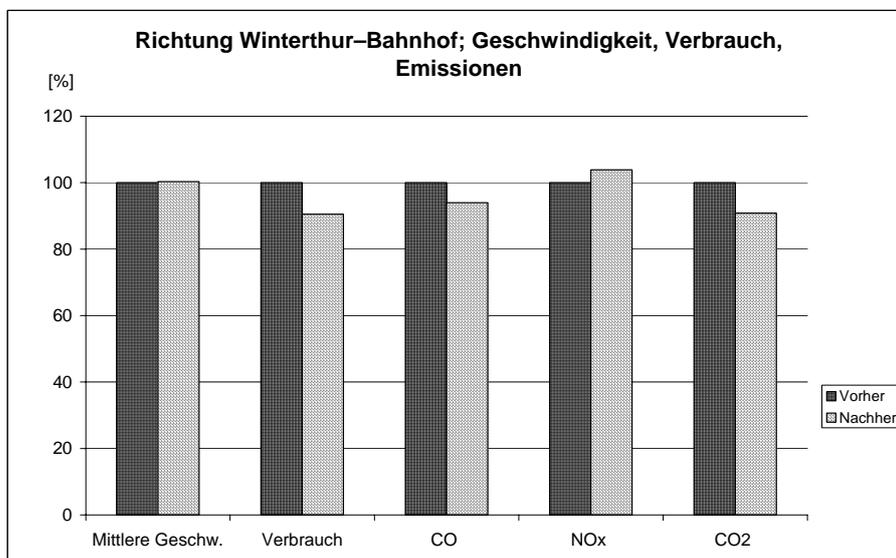
#### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger aus Hauptachse in Seitenast

#### Messbare Ergebnisse

- Bei den in Richtung Bahnhof abbiegenden Fahrzeugen führt der Kreisel zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die geringen Stickoxidemissionen nehmen leicht zu.
- Der Umbau von der Kreuzung zum Kreisel hat auf Stillstands-, Beschleunigungs-, Verzögerungs- und Konstantfahrtszeit nur einen geringen Einfluss.

#### Diagramme



### 6.3.9 Richtung Bahnhof–Romanshorn (Anhang 13)

#### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse

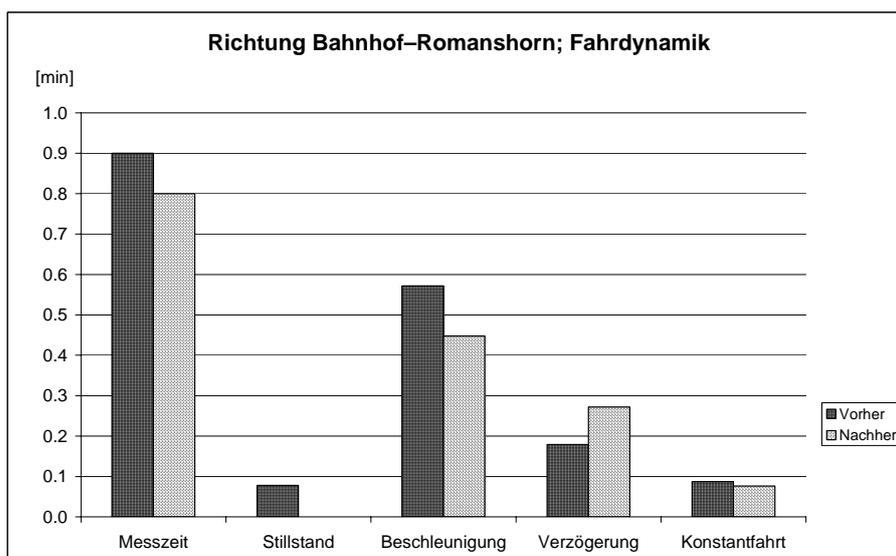
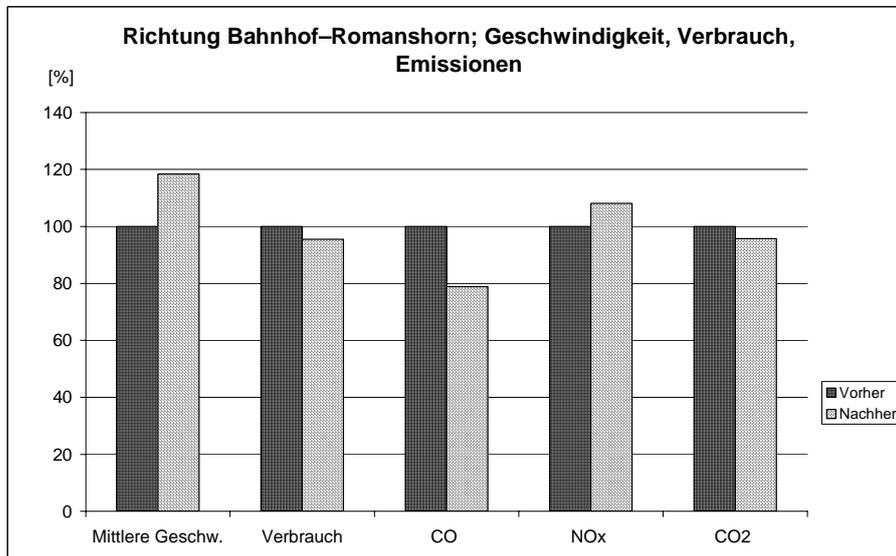
#### Messbare Ergebnisse

- Bei den einmündenden Fahrzeugen vom Bahnhof her führt der Kreisel zu einer Abnahme der Durchfahrtszeit, des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die geringen Stickoxidemissionen nehmen leicht ab.
- Die Stillstandszeit wird durch den Kreisel verkürzt.

#### Bemerkung

- Der Kreisel führt zu einer gleichmässigeren Fahrt mit weniger Stillstandszeit.

#### Diagramme



## 6.4 Uttwil (Kanton Thurgau)

- Mittlere Verkehrsfrequenz (stündlicher Verkehr zwischen 1'000 und 1'200 Fahrzeugen über alle Äste; jedes Fahrzeug wird nur einmal gezählt, nicht bei Ein- und Ausfahrt)
- Kreuzung mit vier Ästen
- Hauptachse mit zwei weniger wichtigen Nebenästen
- Verkehrsabhängig gesteuerte Lichtsignalanlage
- Fussgängerstreifen auf allen Achsen
- Ein- oder zweispurige Zufahrten bei Situation «Kreuzung»; bei «Kreisel» nur noch einspurige Zufahrten
- Geringe Höhendifferenzen
- Innerorts
- Keine Änderung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit zwischen Situation Kreuzung und Situation Kreisel
- Äusserer Durchmesser des Kreisels: 31 m
- Streckenlänge 0.4 bis 0.5 km
- Messfahrten in alle Richtungen:
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Schaffhausen: Schild «Ende Veloweg»
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Romanshorn: Antiquitätenladen
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Bahnhof: Parkplatz vor violetten Garagen
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Dozwil: ehemaliges Geschäft mit Schild «Meccarillos»

### 6.4.1 Fazit Kreisel Uttwil

- Der Umbau von einer Kreuzung mit Lichtsignalregelung auf einen Kreisel wirkt sich auf Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen sehr positiv aus.
- In fast allen untersuchten Richtungen führt der Kreisel zu einer Verbesserung bezüglich Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen.
- Nachteilig ist bei einer Kreuzung mit Lichtsignalanlage, dass oft verzögert oder angehalten werden muss, obwohl kein anderes Fahrzeug in der Kreuzung steht. Je besser die Steuerung der Lichtsignalanlage, desto geringer ist die Zahl dieser unnötigen Halte.
- Bei Messfahrten kann es passieren, dass die Ampel überdurchschnittlich oft auf grün steht, und dass deshalb die Vorteile des Kreisels weniger deutlich hervortreten, als sie tatsächlich sind.

## 6.4.2 Lageplan

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (Zeichen und Nummer)



### 6.4.3 Situationsplan



#### 6.4.4 Richtung Dozwil–Schaffhausen (Anhang 14)

##### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse
- Verkehr auf der Kreuzung wurde mittels Lichtsignalanlage geregelt

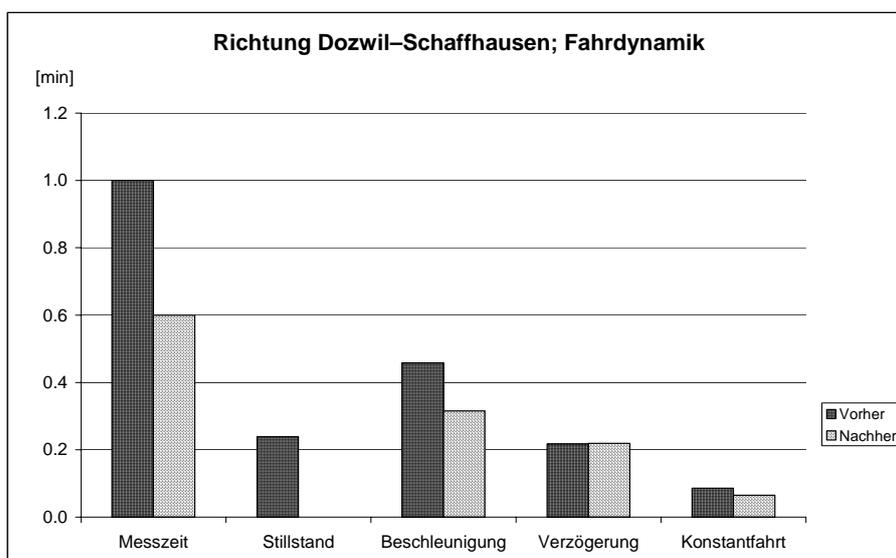
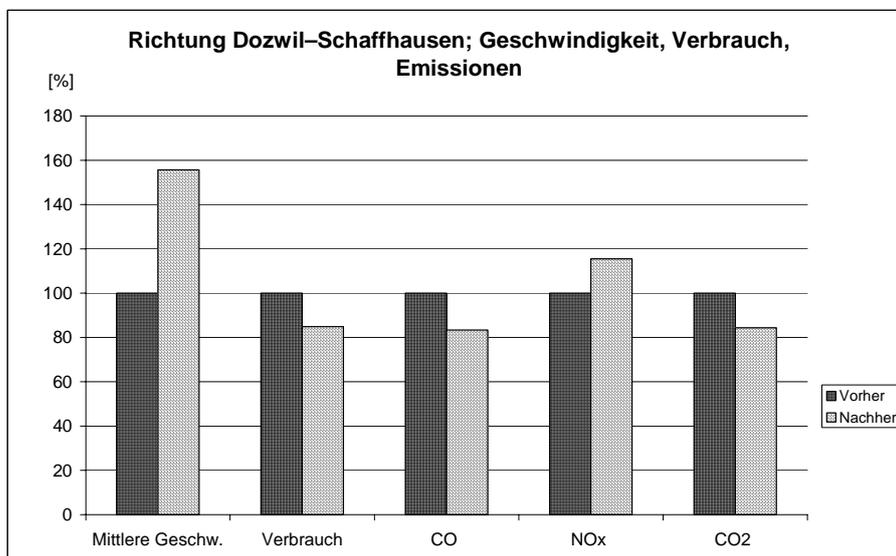
##### Messbare Ergebnisse

- Kreisel führt zu Abnahme von Fahrzeit, Verbrauch, CO- und CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen nehmen zu.
- Die Stillstandszeit reduziert sich auf 0. Es kann ohne anzuhalten gefahren werden.

##### Bemerkungen

- Im Vergleich mit der verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel sehr positiv aus.

##### Diagramme



## 6.4.5 Richtung Schaffhausen–Dozwil (Anhang 14)

### Kurzcharakterisierung

- Rechtsabbieger aus Hauptachse in Seitenast

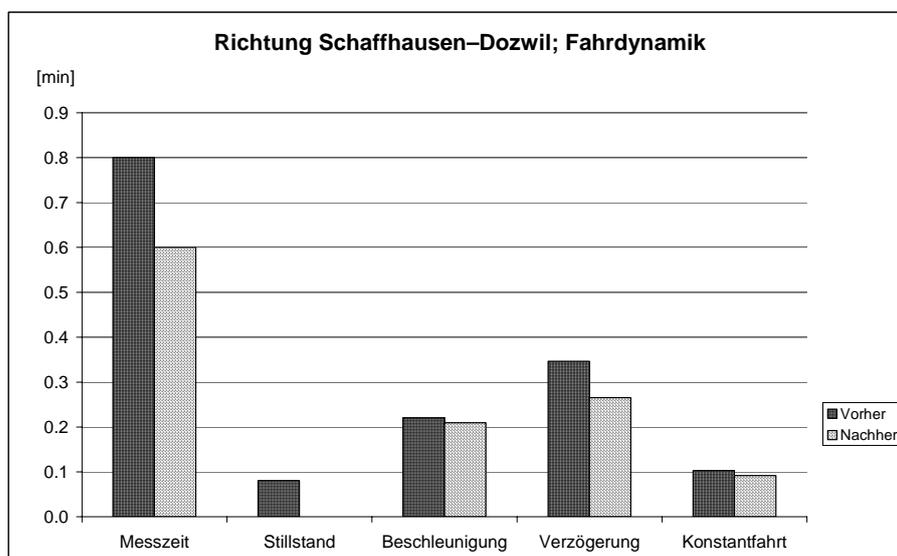
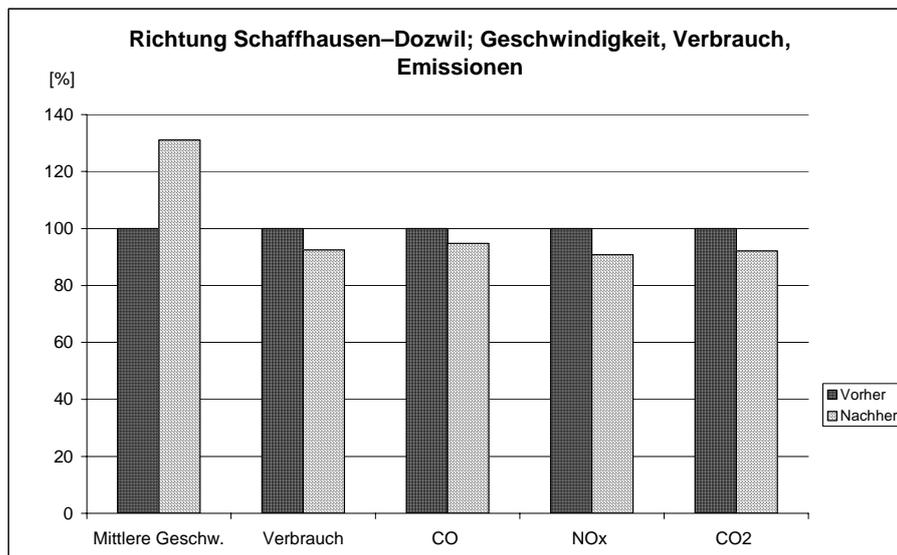
### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist signifikant geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO2-Emissionen.
- Die Stillstandszeit wird auf 0 reduziert.

### Bemerkungen

- Auch die rechtsabbiegenden Fahrspuren wurden untersucht, da bei einer mittels Lichtsignalanlage geregelten Kreuzung auch in dieser Richtung Auswirkungen zu erwarten sind.
- Im Vergleich mit der geregelten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel sehr positiv aus.

### Diagramme



#### 6.4.6 Richtung Schaffhausen–Bahnhof (Anhang 14)

##### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger aus Hauptachse in Seitenast

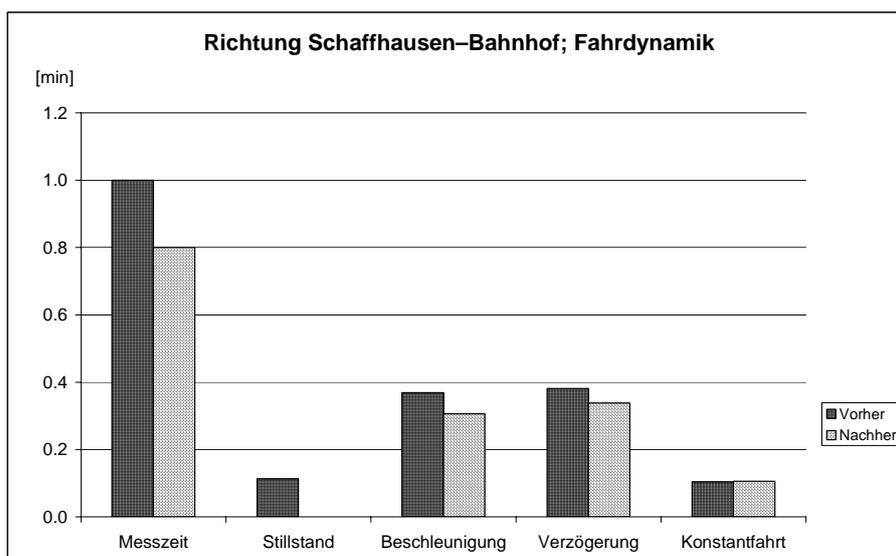
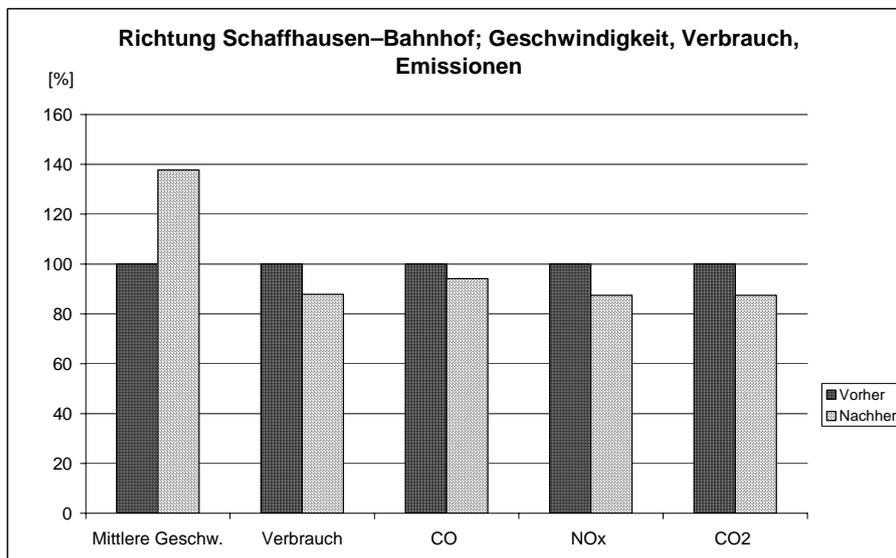
##### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist signifikant geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO2-Emissionen.
- Die Stillstandszeit wird auf 0 reduziert.

##### Bemerkung

- Im Vergleich mit der geregelten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel sehr positiv aus.

##### Diagramme



### 6.4.7 Richtung Bahnhof–Schaffhausen (Anhang 15)

#### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach rechts aus Seitenast in Hauptachse

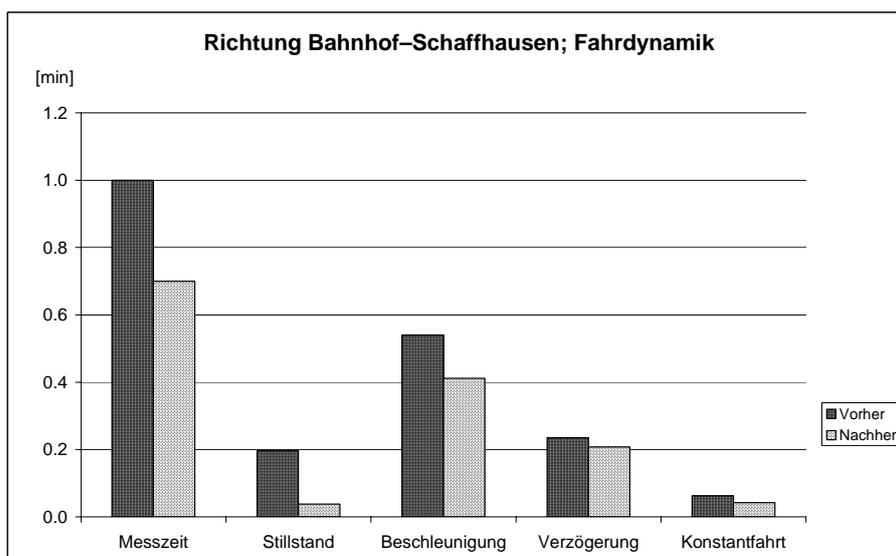
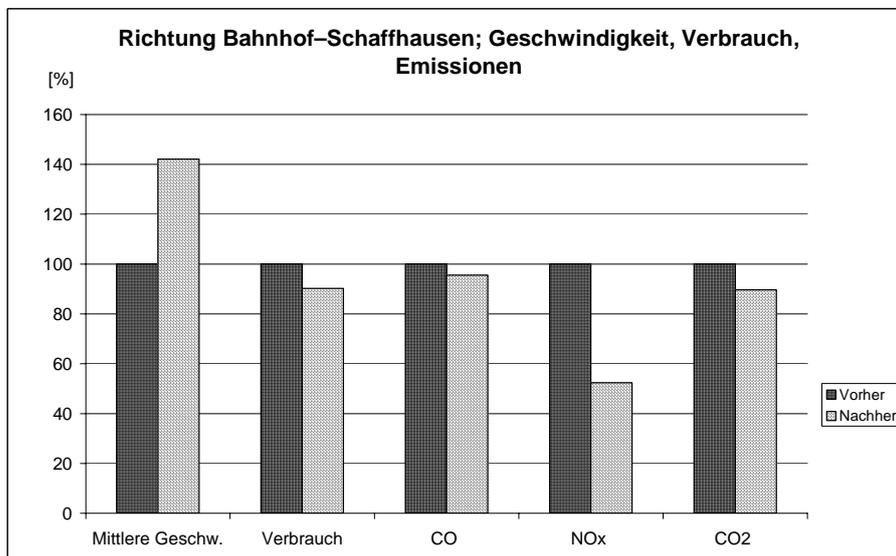
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist signifikant geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO2-Emissionen.
- Die Stillstandszeit wird stark reduziert.

#### Bemerkung

- Im Vergleich mit der geregelten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel sehr positiv aus.

#### Diagramme



#### 6.4.8 Richtung Romanshorn–Bahnhof (Anhang 15)

##### Kurzcharakterisierung

- Rechtsabbieger von Hauptachse in Seitenast

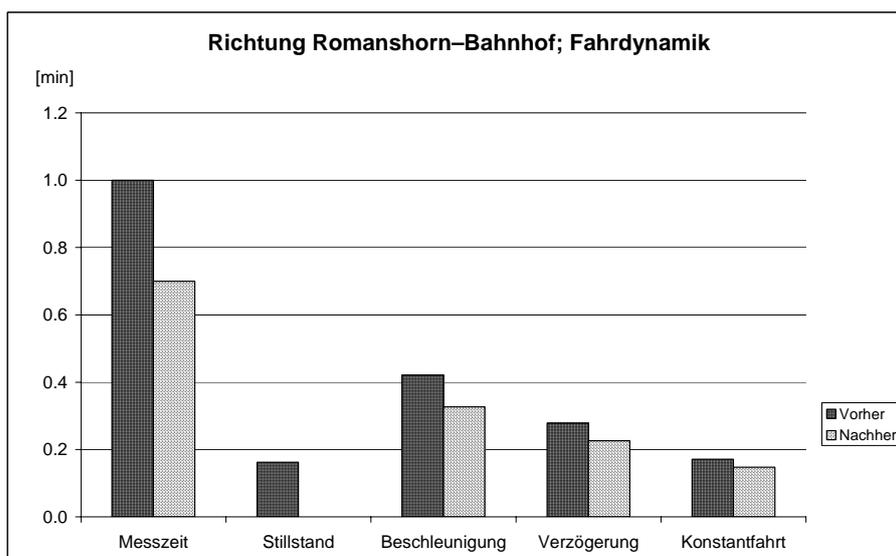
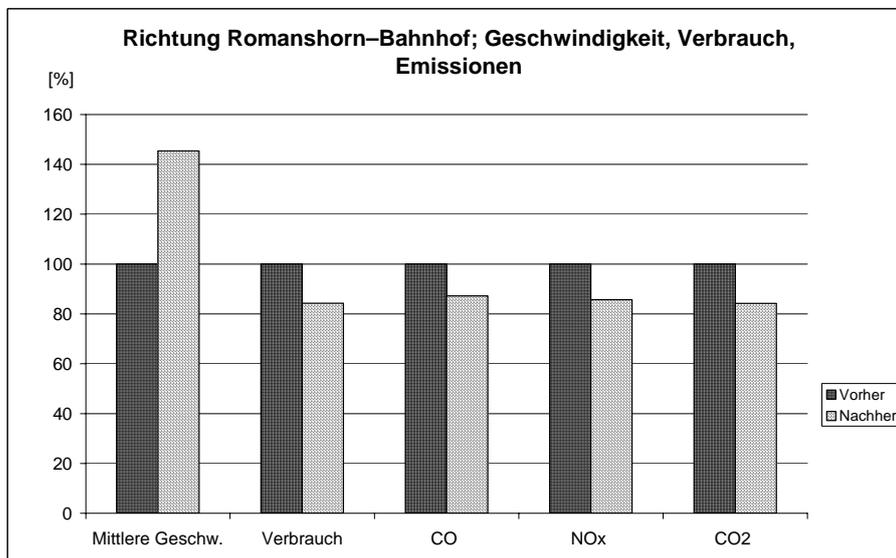
##### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist signifikant geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO2-Emissionen.
- Die Stillstandszeit wird auf 0 reduziert.

##### Bemerkung

- Im Vergleich mit der geregelten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel sehr positiv aus.

##### Diagramme



#### 6.4.9 Richtung Bahnhof–Romanshorn (Anhang 15)

##### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse

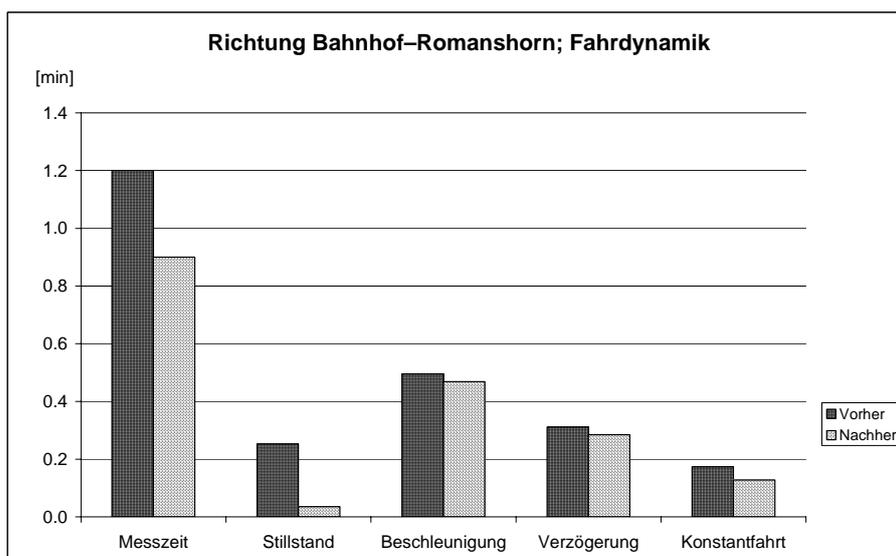
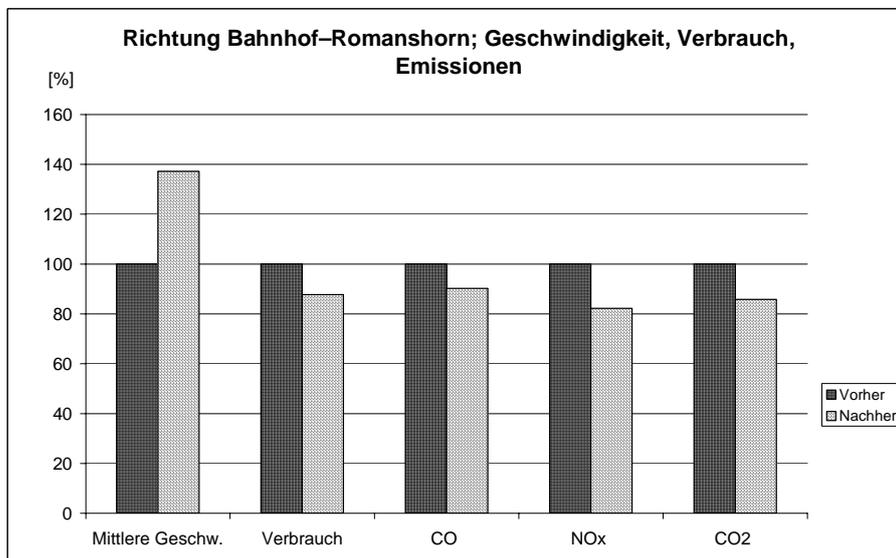
##### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist signifikant geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO2-Emissionen.
- Die Stillstandszeit wird stark reduziert.

##### Bemerkung

- Im Vergleich mit der geregelten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel sehr positiv aus.

##### Diagramme



### 6.4.10 Richtung Romanshorn–Dozwil (Anhang 16)

#### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger von Hauptachse in Seitenast

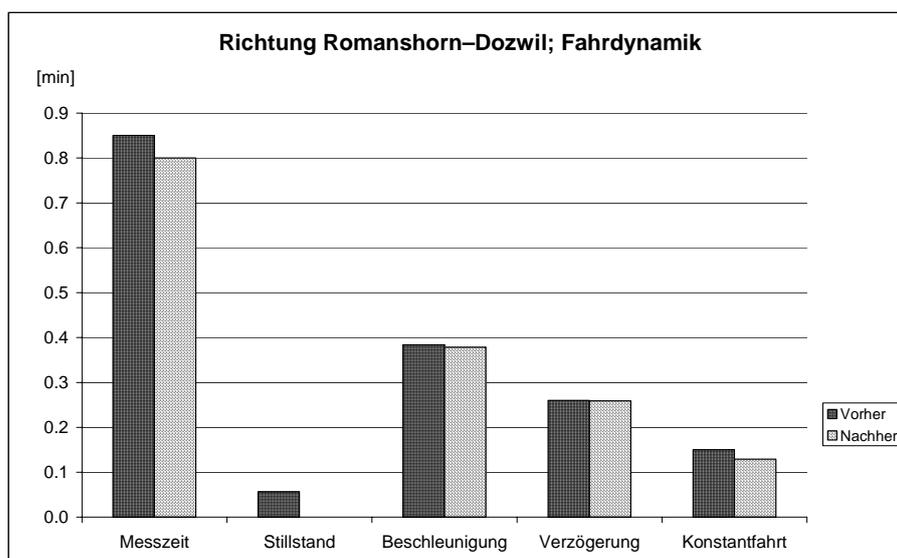
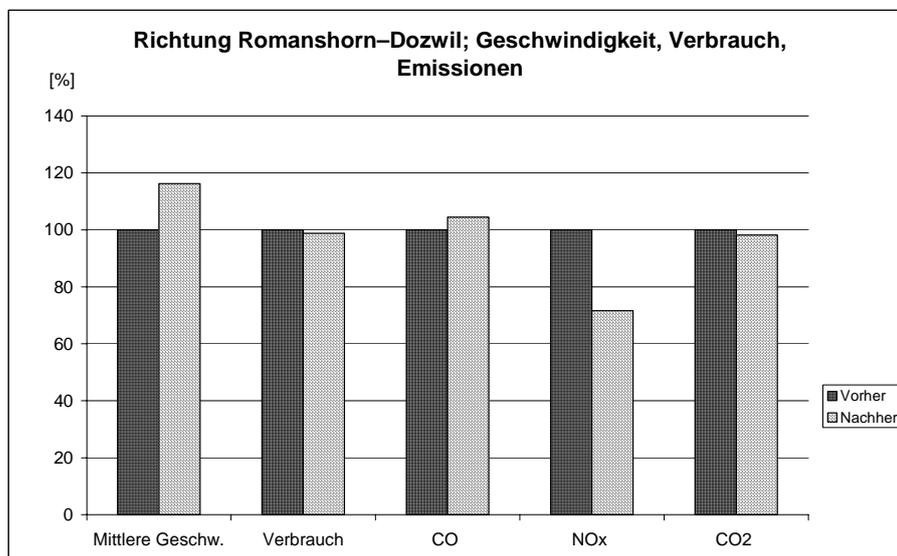
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen.
- Die Auswirkungen auf Verbrauch, CO- und CO<sub>2</sub>-Emissionen sind gering.
- Die Stillstandszeit wird auf 0 reduziert.

#### Bemerkung

- Im Vergleich mit der geregelten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel positiv aus.

#### Diagramme



### 6.4.11 Richtung Dozwil–Romanshorn (Anhang 16)

#### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach rechts aus Seitenast in Hauptachse

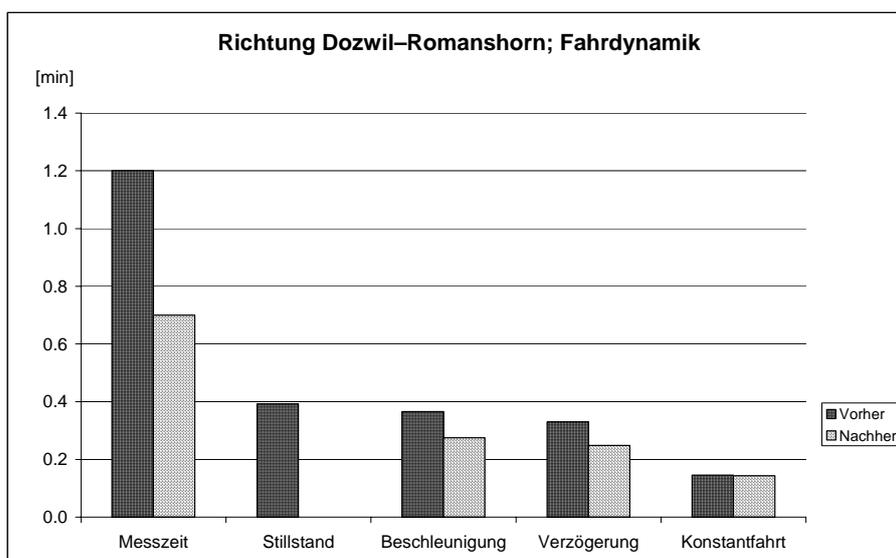
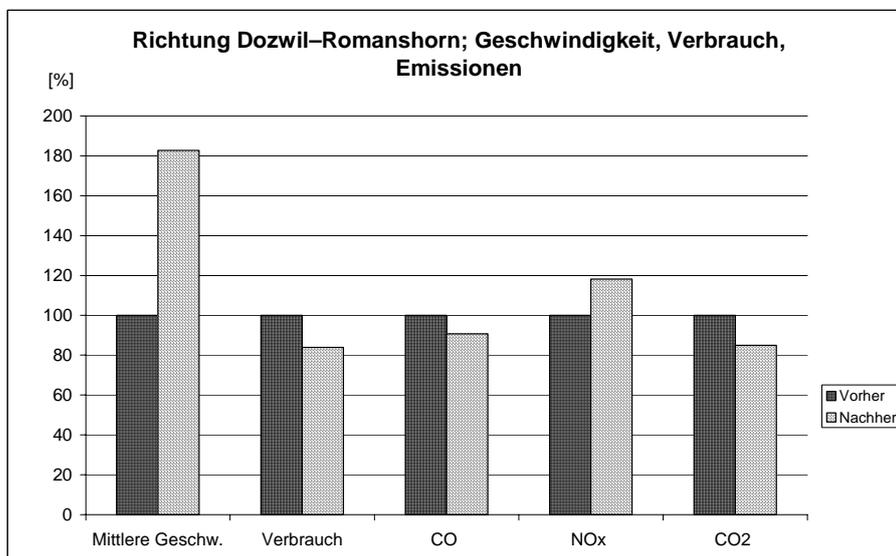
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist viel geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen nehmen zu.
- Die Stillstandszeit wird auf 0 reduziert.

#### Bemerkung

- Im Vergleich mit der geregelten Lichtsignalanlage, welche trotzdem oft Halte erzwingt, wirkt sich der Kreisel sehr positiv aus.

#### Diagramme



### 6.4.12 Richtung Schaffhausen–Romanshorn (Anhang 17)

#### Kurzcharakterisierung

- Hauptachse

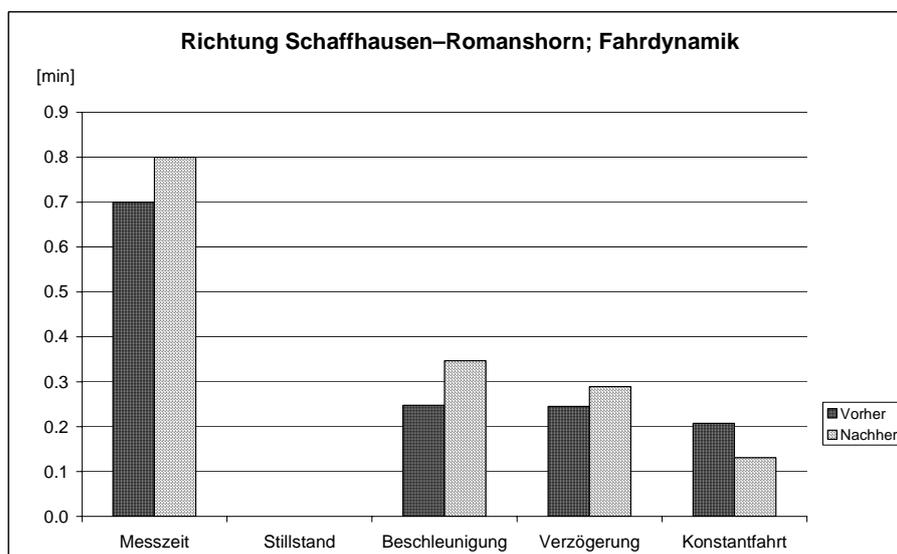
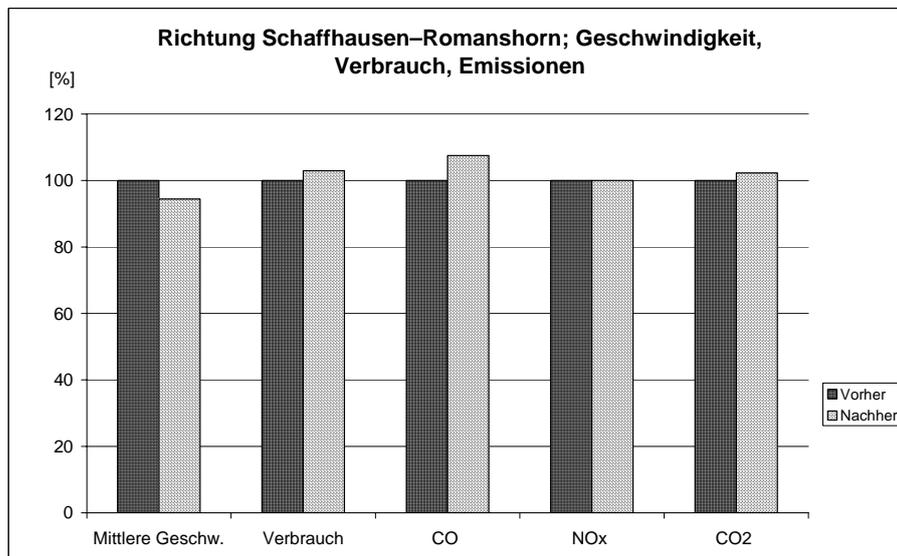
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist grösser als über die Kreuzung.
- Kreisel führt zu geringer Zunahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die Stillstandszeit wird auf 0 reduziert.

#### Bemerkungen

- Auf der Hauptachse sind die Unterschiede zwischen Kreuzung und Kreisel sehr gering.
- Muss eine Situation mit Lichtsignalanlage gemessen werden, so ist der Einfluss der Lichtsignalanlage unberechenbar. Erst bei einer sehr grossen Zahl von Messfahrten verschwindet dieser Einfluss. Das kann dazu führen, dass die Vorteile des Kreisels weniger deutlich hervortreten, als sie sind.

#### Diagramme



### 6.4.13 Richtung Romanshorn–Schaffhausen (Anhang 17)

#### Kurzcharakterisierung

- Hauptachse

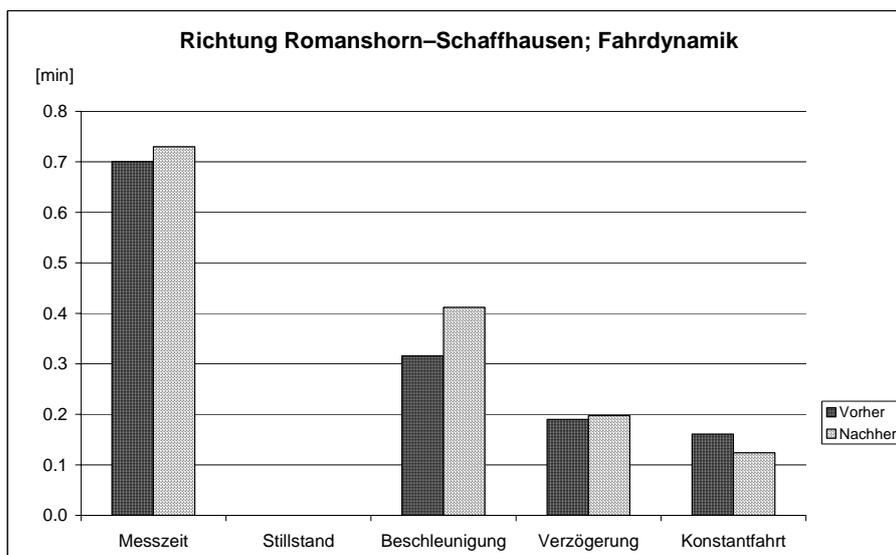
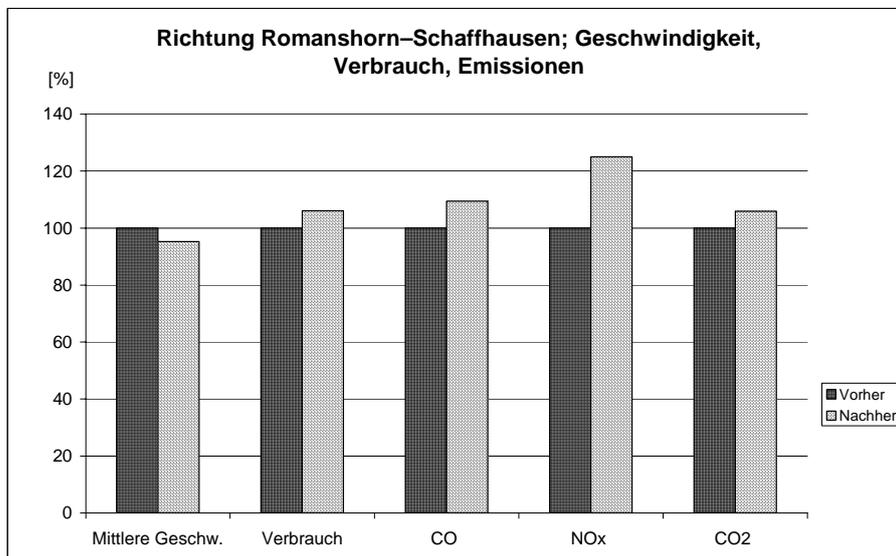
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist grösser als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer geringen Zunahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen nehmen zu.

#### Bemerkung

- Auf der Hauptachse sind die Unterschiede zwischen der Situation mit Kreuzung und jener mit Kreisel gering.

#### Diagramme



## 6.5 Bülach (Kanton Zürich)

- Kreuzung Poststrasse/Kasernenstrasse
- Hohe Verkehrsfrequenz (stündlicher Verkehr über 1'500 Fahrzeuge über alle Äste; jedes Fahrzeug wird nur einmal gezählt, nicht bei Ein- und Ausfahrt)
- Kreuzung mit vier ähnlich wichtigen Ästen
- Ohne Lichtsignalanlage
- Fussgängerstreifen auf allen Achsen
- Einspurige Zufahrten
- Geringe Höhendifferenzen
- Innerorts
- Vortrittsberechtigte Hauptstrasse (Poststrasse) mit senkrechten Einmündungen («Stoppstrassen»)
- Keine Änderung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit zwischen Situation Kreuzung und Situation Kreisel
- Äusserer Durchmesser des Kreisels: 28 m
- Streckenlänge 0.4 km
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Basel: Unterführung
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung bestehender Kreisel: Telefonkabine bei bereits bestehendem Kreisel
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Kaserne: zweiter Fussgängerstreifen vor Gefälle
  - Start und Ende der Messung des Astes Richtung Bülach: Fussgängerstreifen vor rechteckiger Kurve

### 6.5.1 Fazit Kreisel Bülach

- In Richtung der vortrittsbegünstigten Hauptachse führt der Kreisel zu einer Störung der gleichförmigen Fahrt und dadurch zu einer Erhöhung von Emissionen und Verbrauch. Das zeigt sich auch in der Abnahme des Anteils an Konstantfahrt.
- Bei den übrigen Fahrrichtungen wirkt sich der Kreisel positiv auf Emissionen und Verbrauch aus.

## 6.5.2 Lageplan

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (Zeichen und Nummer)



### 6.5.3 Situationsplan



### 6.5.4 Richtung Basel-Kreisel (Anhang 18)

#### Kurzcharakterisierung

- Vortrittsbegünstigte Hauptachse

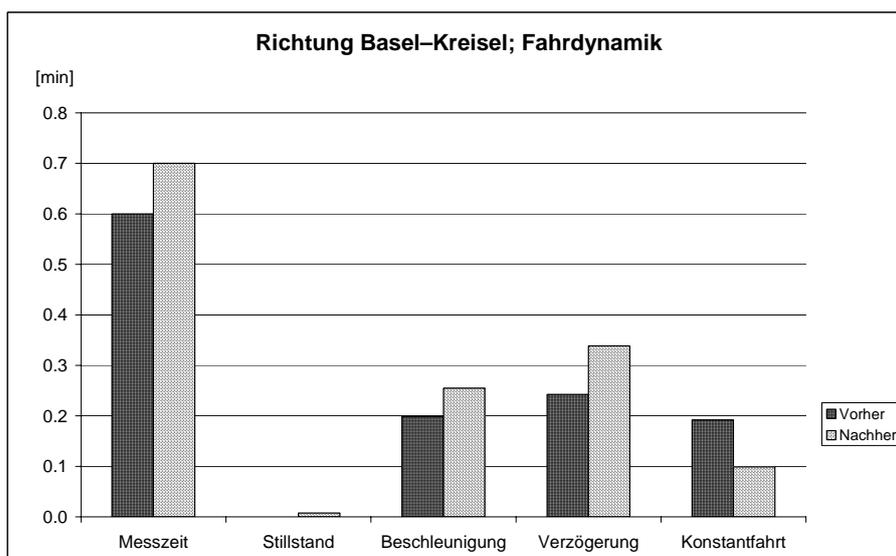
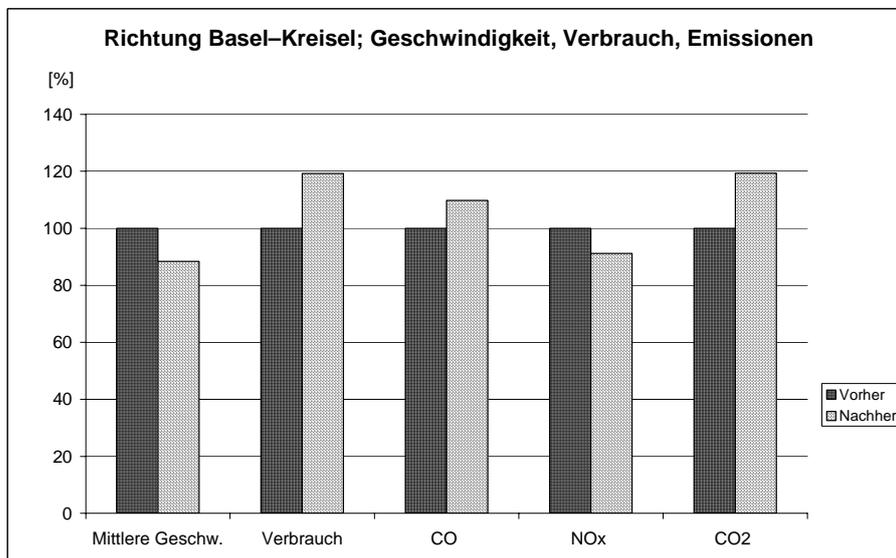
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist grösser als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Zunahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen nehmen leicht ab.

#### Bemerkung

- Auf der Hauptachse führt der Kreisel dazu, dass die vor dem Umbau gleichförmige Fahrt nun durch den Kreisel unterbrochen wird.

#### Diagramme



### 6.5.5 Richtung Kreisel–Basel (Anhang 18)

#### Kurzcharakterisierung

- Vortrittsbegünstigte Hauptachse

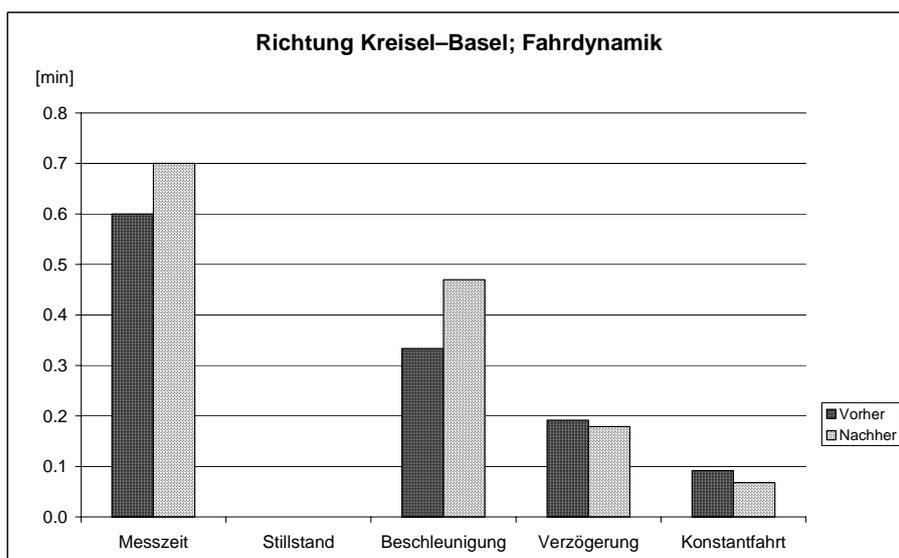
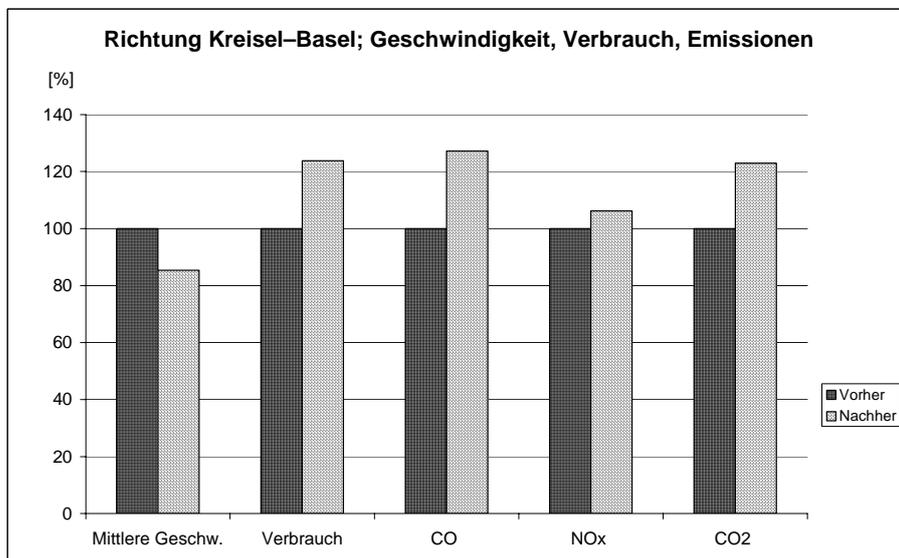
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist grösser als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Zunahme des Verbrauchs, der CO-, der NO<sub>x</sub>- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

#### Bemerkung

- Auf der Hauptachse führt der Kreisel dazu, dass die vor dem Umbau gleichförmige Fahrt nun durch den Kreisel unterbrochen wird.

#### Diagramme



### 6.5.6 Richtung Basel-Bülach (Anhang 18)

#### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger aus Hauptachse in Seitenast

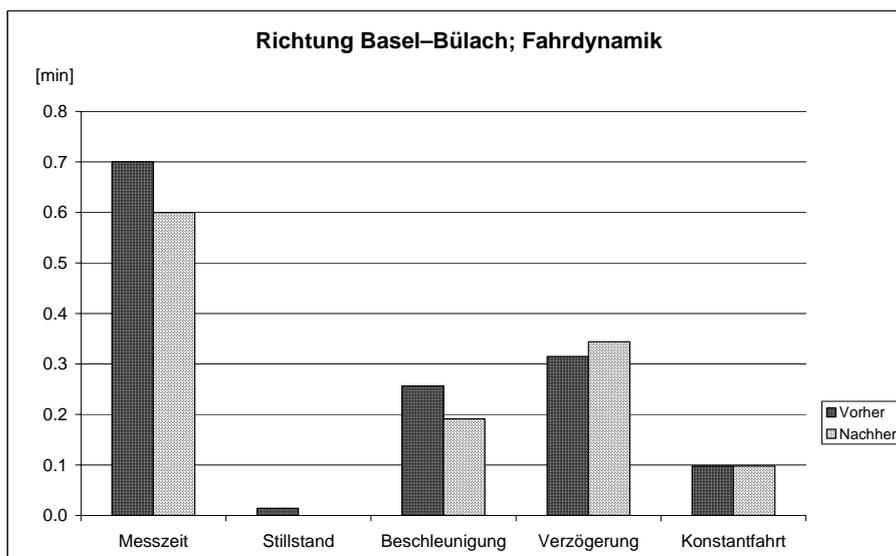
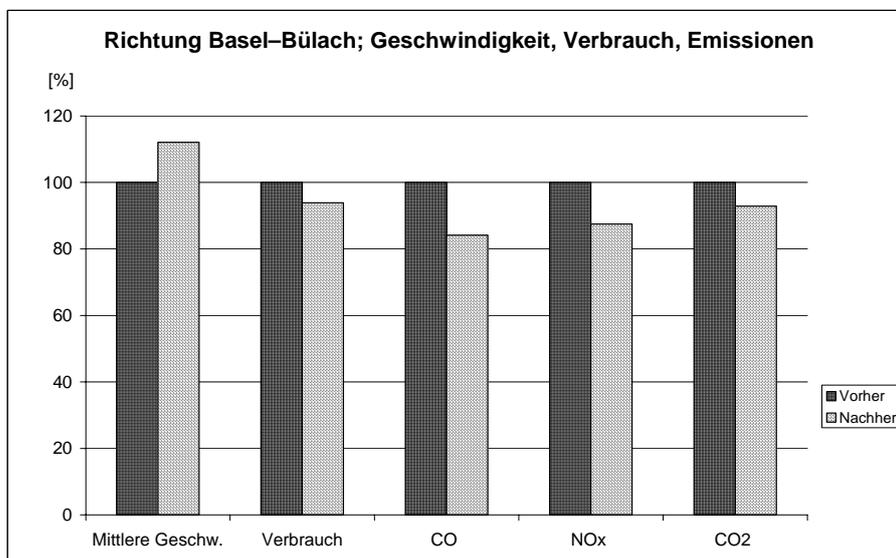
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, der NOx- und der CO2-Emissionen.

#### Bemerkung

- Dank Kreisel fällt die Wartezeit beim Abbiegen von der Hauptachse in den Seitenast weg.

#### Diagramme



### 6.5.7 Richtung Bülach–Kreisel (Anhang 19)

#### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse

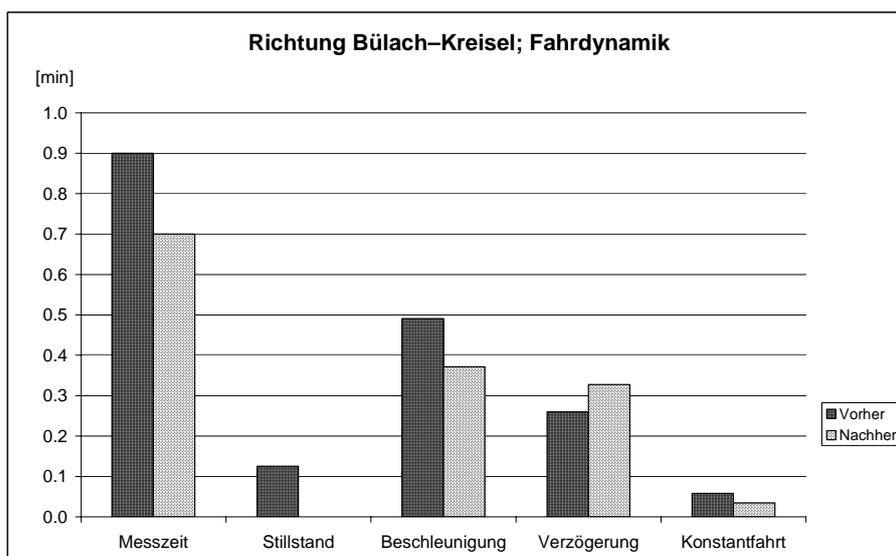
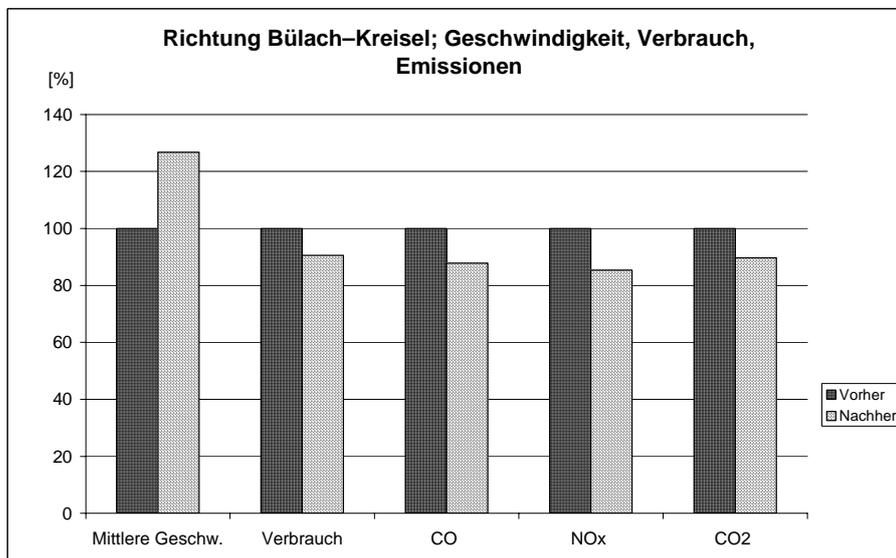
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, der NOx- und der CO2-Emissionen.
- Die Stillstandszeit reduziert sich auf 0.

#### Bemerkung

- Dank Kreisel fällt die Wartezeit beim Einmünden vom Seitenast in die Hauptachse weg.

#### Diagramme



### 6.5.8 Richtung Kreisel–Kaserne (Anhang 19)

#### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger aus Hauptachse in Seitenast

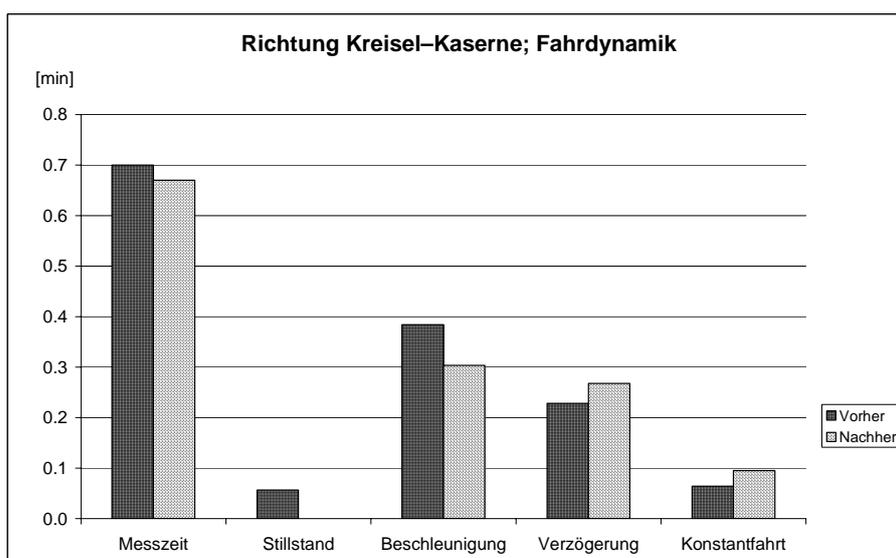
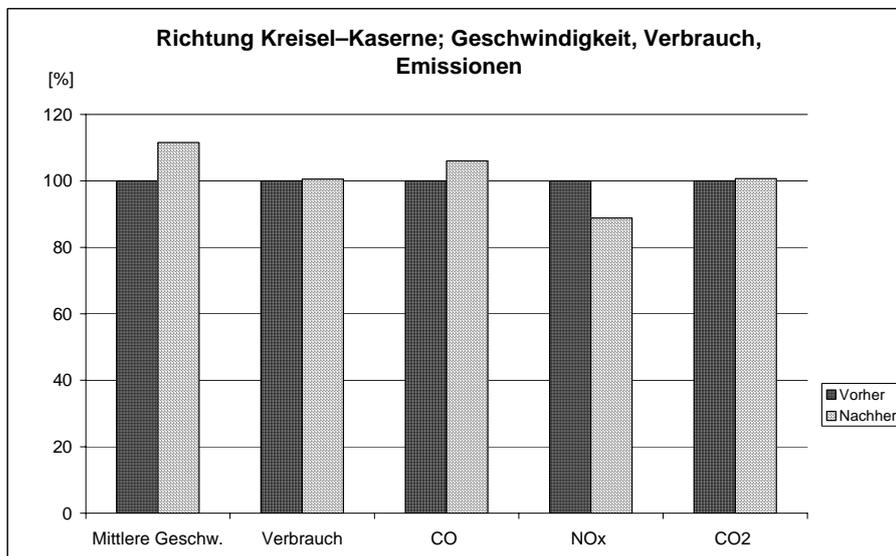
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Zunahme der CO-Emissionen.
- Die NOx-Emissionen nehmen leicht ab.
- Die Stillstandszeit reduziert sich auf 0.

#### Bemerkung

- Dank Kreisel fällt die Wartezeit beim Einmünden vom Seitenast in die Hauptachse weg.

#### Diagramme



### 6.5.9 Richtung Kaserne–Basel (Anhang 19)

#### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse

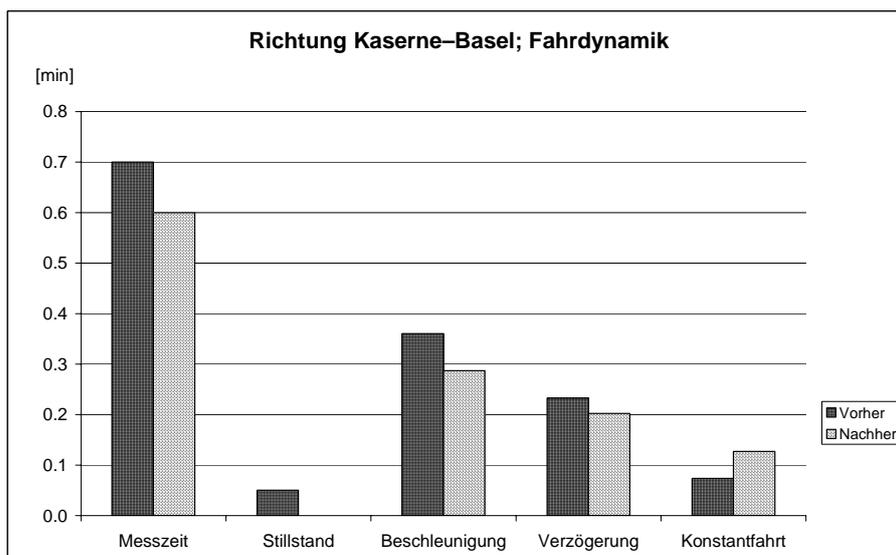
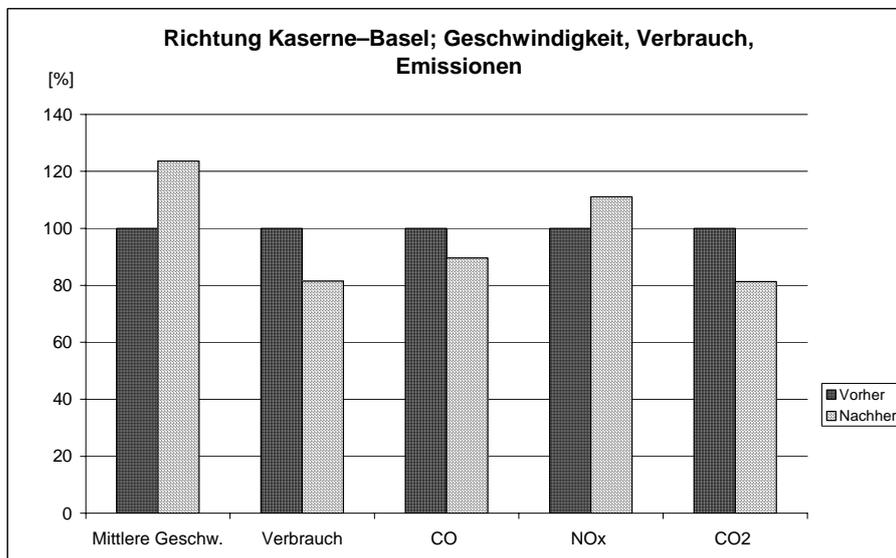
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen nehmen zu.
- Die Stillstandszeit reduziert sich auf 0.

#### Bemerkung

- Dank Kreisel fällt die Wartezeit beim Einmünden vom Seitenast in die Hauptachse weg.

#### Diagramme



## 6.6 Offensiver Fahrer (Kreisel Emmenbrücke)

### 6.6.1 Fazit offensiver Fahrer

- Die Tendenz beim zweiten (offensiven) Fahrer ist gleich wie beim ersten (defensiven).
- Die postulierte offensive Fahrweise kann bei viel Verkehr nur schwierig in vernünftiger Weise angewendet werden.

### 6.6.2 Richtung Erlenstrasse–Rothenburg (Anhang 20)

#### Kurzcharakterisierung

- Vortrittsbegünstigte Hauptachse

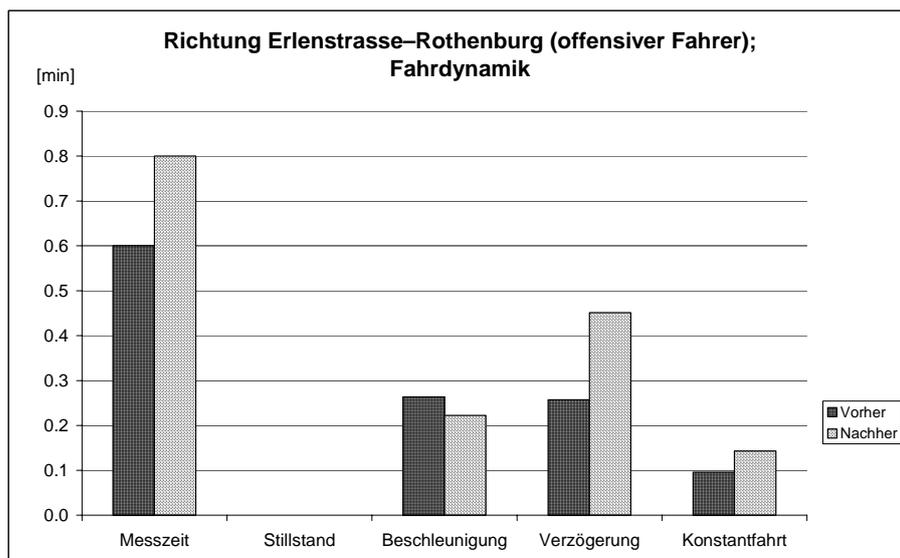
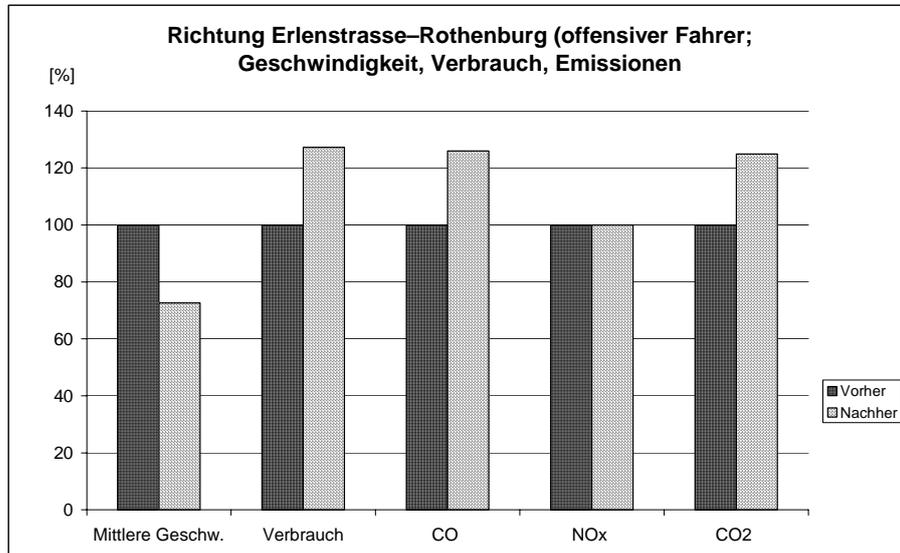
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist grösser als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Zunahme des Verbrauchs, der CO-, NOx- und der CO2-Emissionen.

#### Bemerkungen

- Im Gegensatz zum defensiven Fahrer resultieren beim offensiven Fahrer grössere Unterschiede zwischen Kreuzung und Kreisel. Je mehr Verzögerungs- und Beschleunigungsvorgänge absolviert werden, desto stärker wirkt sich der offensive Fahrstil aus.
- Verbrauch, CO- und CO2-Emissionen sind beim offensiven Fahrer grösser als beim defensiven.

## Diagramme



### 6.6.3 Richtung Rothenburg–Benziwil (Anhang 20)

#### Kurzcharakterisierung

- Linksabbieger aus Hauptachse in Seitenast

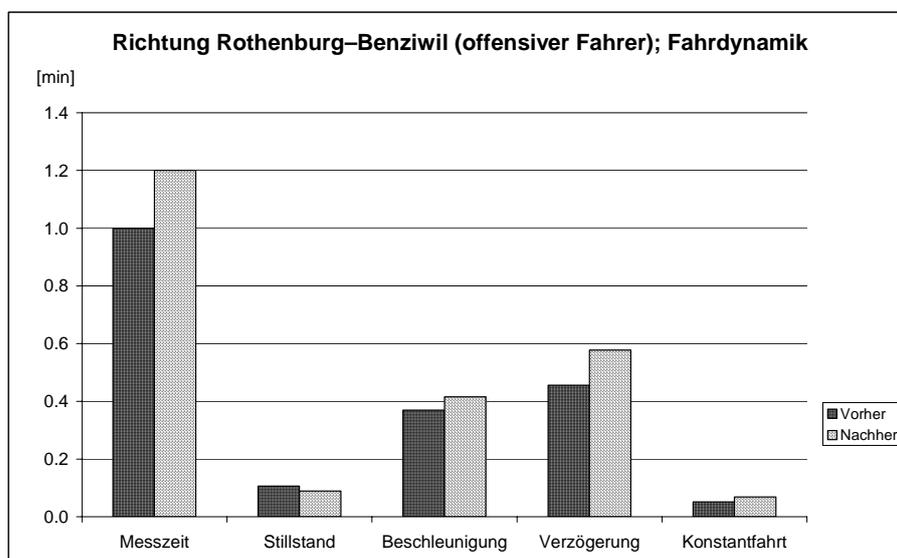
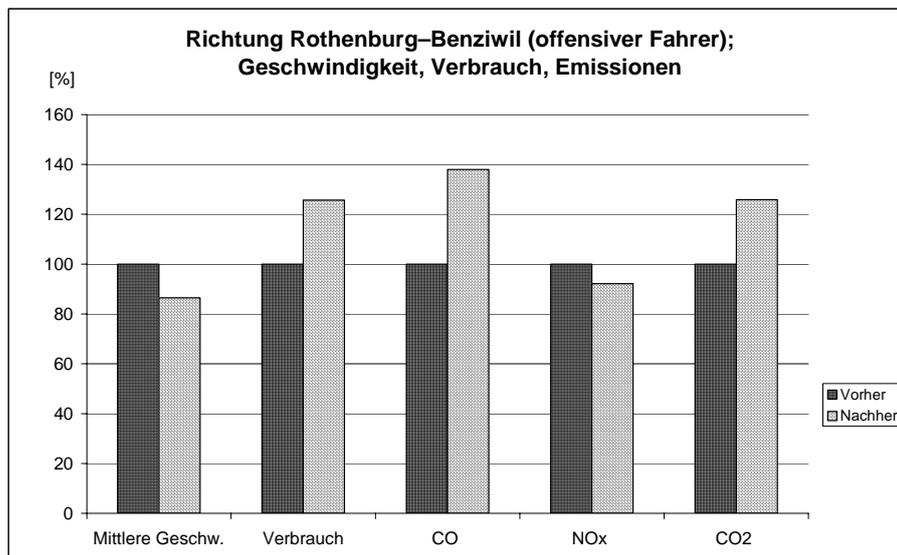
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist grösser als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Zunahme des Verbrauchs, der CO- und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen nehmen leicht ab.

#### Bemerkungen

- Wie beim defensiven Fahrer führt der Kreisel auch beim offensiven Fahrer zu höheren Emissionen und zu höherem Verbrauch.
- Verbrauch, CO-, NO<sub>x</sub>- und CO<sub>2</sub>-Emissionen sind beim offensiven Fahrer grösser als beim defensiven.

#### Diagramme



### 6.6.4 Richtung AMP–Rothenburg (Anhang 20)

#### Kurzcharakterisierung

- Einmündung nach links aus Seitenast in Hauptachse

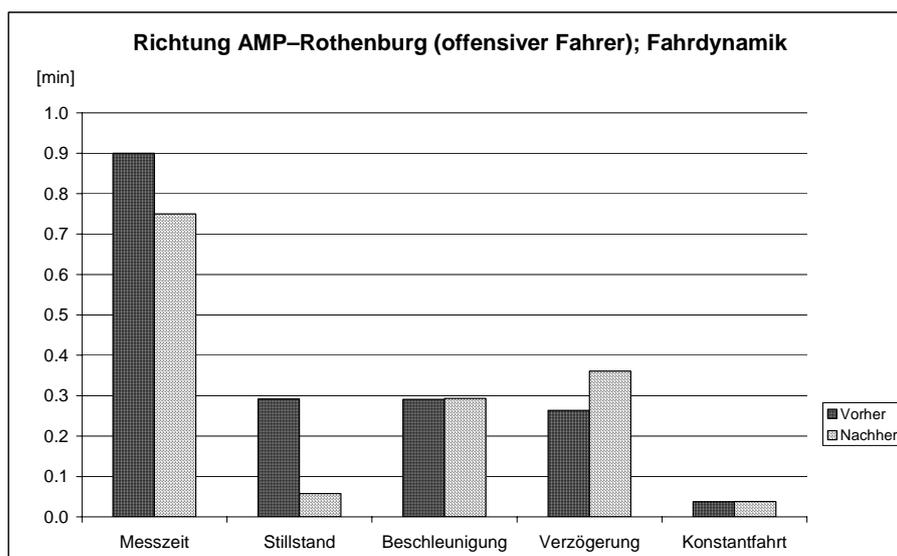
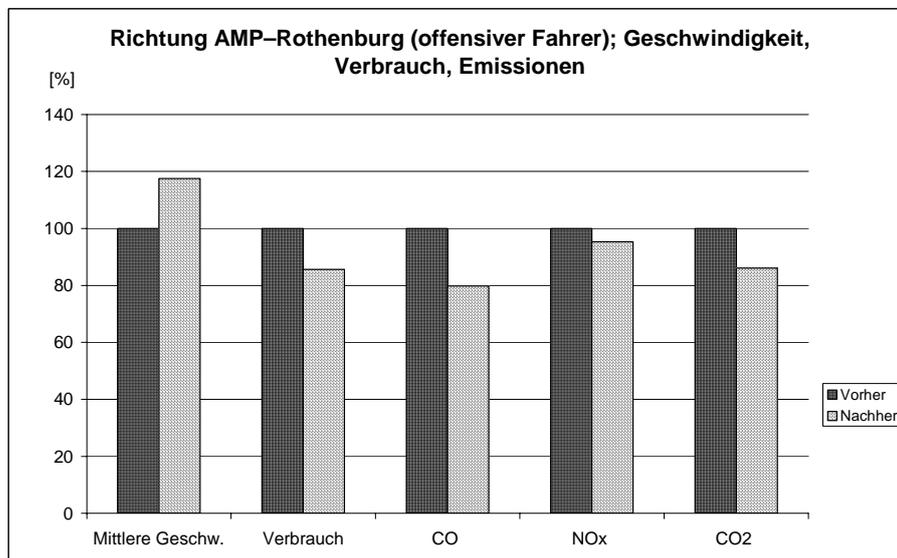
#### Messbare Ergebnisse

- Der Zeitbedarf für die Fahrt über den Kreisel ist geringer als über die Kreuzung.
- Der Kreisel führt zu einer Abnahme des Verbrauchs, der CO-, der NOx- und der CO2-Emissionen.
- Die Stillstandszeit nimmt bedeutend ab.

#### Bemerkung

- Aus dem Vergleich der Werte ist dieselbe Tendenz herauszulesen wie beim defensiven Fahrer.

#### Diagramme



## 7 Erkenntnisse

Starke Schwankungen im Verkehrsaufkommen führten dazu, dass von Messfahrt zu Messfahrt sehr verschiedene Verkehrsbedingungen herrschten. Das schlug sich in grossen Streubereichen für die einzelnen gemessenen Parameter auch bei Messzeiten nieder, die auf einen engen Bereich begrenzt waren (z.B. zwischen 16 und 18 h). Innerhalb von nur 5 Minuten konnte sich das Verkehrsaufkommen sehr stark verändern.

Die Messfahrten zu diesen Untersuchungen führen generell zu sehr geringen Emissionen, denn bei den gefahrenen Geschwindigkeiten werden vom Motor nur sehr geringe Leistungen verlangt. Eine gut funktionierende Abgasreinigungsanlage kann deshalb die Schadstoffemissionen auf ein Minimum vermindern. Umso grösser sind demzufolge die Anforderungen an die Messtechnik, bei diesen sehr geringen Konzentrationen die Unterschiede zwischen den Fahrten «Vorher» (Situation Kreuzung) und den Fahrten «Nachher» (Situation Kreisel) auszuweisen. Aus diesem Grunde dürfen Unterschiede zwischen den Werten «Kreuzung» und «Kreisel» im Bereich bis rund 10 % nicht überbewertet werden.

Abhängig vom Verkehrsaufkommen kann sich ein Kreisel anstelle einer Kreuzung ohne Lichtsignalanlage positiv oder negativ auf Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen auswirken. Bei wenig Verkehr wird der in der Hauptrichtung fließende Verkehr an einer gleichförmigen Fahrt gehindert. Bei viel Verkehr vermindert der Kreisel die Wartezeiten der aus den Nebenästen einmündenden Automobilisten. Ersetzt ein Kreisel eine Kreuzung mit Lichtsignalanlage, so sind die positiven Auswirkungen viel ausgeprägter.

## 8 Fazit

- Die Auswirkungen des Umbaus von einer Kreuzung zu einem Kreisel auf Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch, Schadstoffemissionen usw. hängen stark von lokalen Faktoren wie Verkehrsaufkommen, Häufigkeit der Unterbrechung des Verkehrsflusses durch Fussgänger, Verhältnis der Verkehrsfrequenzen der einzelnen Äste zueinander usw. ab. Einzelne Fussgänger, welche den Fussgängerstreifen kurz nacheinander überqueren, können den Verkehrsfluss stark stören.
- Diese Auswirkungen können durch ihre Abhängigkeit von der Verkehrsfrequenz auch über den Tag unterschiedlich sein. Während den Rush-hour-Zeiten können die Auswirkungen negativ, dazwischen aber auch positiv sein.
- Wird eine mittels einer verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlage geregelte Kreuzung durch einen Kreisel ersetzt, sind die Auswirkungen positiv. Noch grösser sind die Vorteile, wenn es sich um eine festzeitgesteuerte Lichtsignalanlage handelt.
- Oftmals sind die Auswirkungen eines Kreisels auf Verbrauch und Schadstoffemissionen negativ, weil eine vormals gleichförmige Fahrweise durch den Kreisel gestört wird. Das durch den Kreisel erzwungene (und für die Verkehrssicherheit vorteilhafte) Verzögern und Wiederbeschleunigen führt zu höherem Verbrauch und zu höheren Schadstoffemissionen.
- Wird bei der häufigen Standardsituation «gerade Hauptachse mit zwei oder drei Seitenästen» die Kreuzung durch einen Kreisel ersetzt, so führt das aus dem vorgenannten Grund oft zu einer Erhöhung von Verbrauch und Schadstoffemissionen. Sind dabei noch Steigungen zu überwinden, kann dieser Effekt noch verstärkt auftreten.
- Bei Verkehrssituationen mit einer Hauptachse und zwei oder mehr Nebenachsen sind die Auswirkungen auf Durchfahrtszeiten, Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen auf der Hauptachse oft negativ, auf den Nebenachsen positiv. Eine Gesamtbetrachtung kann je nach Verkehrsstärke und andern Parametern positiv oder negativ ausfallen.
- Ist der Verkehrsfluss auf den Nebenachsen deutlich geringer (Faktor fünf bis zehn), sind durch den Kreisel eher negative Auswirkungen zu erwarten.

- Ersetzt ein Kreisel eine vierarmige Kreuzung ohne Lichtsignalanlage mit einer Hauptachse, hängen die Unterschiede zwischen Kreuzung und Kreisel stark vom partnerschaftlichen Verhalten der Automobilisten ab. Klein sind die Unterschiede, wenn die vortrittsberechtigten Automobilisten ihre Partner einmünden oder abbiegen lassen.
- Zweispurige Kreisel mit einem Aussendurchmesser von rund 40 m führen nicht zu einem wesentlich grösseren Verkehrsdurchsatz. Die Bereitschaft der Automobilisten, auf die innere Spur zu wechseln, ist gering.
- Der Ersatz einer Kreuzung durch einen Kreisel hat allenfalls einen Einfluss auf die lokale Immissionsituation. Regionale Auswirkungen sind nicht feststellbar.
- Es sind keine generellen Aussagen zu den Auswirkungen des Ersatzes einer Kreuzung durch einen Kreisel möglich. Im konkreten Fall muss unter den hier enthaltenen Kreiseln der ähnlichste herausgesucht werden. Die entsprechenden Ergebnisse sind dann je nach Ähnlichkeit in ihrer Tendenz übertragbar.

## 9 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] **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
- [2] **Schadstoffemissionen bei verschiedenen Geschwindigkeiten, Teilbericht Etappe 2: 100/120 km/h**; Forschungsauftrag 63/92 auf Antrag des ASB; Touring Club Schweiz; P. Züger, D. Burch, A. Porchet, P. Riedwyl; Bern, November 1996
- [3] **Die Mobile AbgasMessAnlage – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark**; Touring Club Schweiz; P. Züger; Emmen, Januar 1998
- [4] **Schweizer Norm SN 641 140: Massgebender Verkehr**; Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); Zürich, Mai 1970
- [5] **Schweizer Norm SN 641 230a: Ganglinien und durchschnittlicher täglicher Verkehr**; Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); Zürich, Mai 1990
- [6] **Bundesbeiträge gestützt auf die Luftreinhalteverordnung**; J. Koch; strasse und verkehr, Nr. 11, November 1995 (enthält Zitat aus «Minirondellers effekter pa hastighet, tidsförbrukning, bensinförbrukning och avgasutsläpp»; Studie von Andras Varhelyi an der University of Lund, Schweden)
- [7] **Unfallgeschehen und Geometrie der Kreiselanlagen**; Forschungsauftrag 17/93 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); Nr. 382; F. Bühlmann, P. Spacek; Zürich, März 1997
- [8] **Wege der Schweizer, Ergebnisse des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 1994**; GVFBericht 2/96; Bern, Mai 1996
- [9] **Einfluss eines Kreisels auf die Luftbelastung in Strassennähe**; P. Künzler, G. Nejedly; strasse und verkehr, Nr. 1, Januar 1997
- [10] **Verkehrsbeeinflussung an Kreiseln, erste Erfahrungen**; SNZ-Notizen Nr. 451; SNZ Ingenieurbüro AG, Dörflistr. 112, 8050 Zürich
- [11] **Der Kreisverkehr**; TCS; Gland, Februar 1994
- [12] **Berechnung der Emission im Kreiselverkehr General-Guisan-Platz, Biel**; Ingenieurschule Biel, Abgasprüfstelle, 2560 Nidau; J. Czerwinski, Th. Mosimann, Ph. Wili; Bundesamt für Strassenbau; April 1996
- [13] **Kreisverkehr senkt Unfallgefahr und Lärm**; ADAC; Nachrichten der ADAC-Pressestelle; 3. August 1995
- [14] **Les giratoires en Suisse: on ne les compte plus!**; publication «strasse und verkehr; route et traffic», Nr. 11/95; P. Bovy, N. Henderson; Institut des transports et de planification, EPFL
- [15] **Kreisverkehrstechnik, die Bieler Versuche**; R. Leisi; Leisi + Partner, Biel; strasse und verkehr, Nr. 9, September 1996
- [16] **Kreisel**; strasse und verkehr, Nr. 3, 1991
- [17] **Kreisel**; strasse und verkehr, Nr. 11, 1995
- [18] **Langsamer und flüssiger fahren, Niedriggeschwindigkeitsszenarien und ihre Wirkungen**; Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Abteilung nationale Forschungsprogramme; W. Hüsler, R. Häfliger, I. Schmid, E. Willi; Zürich, 1994



- [19] **Umweltrelevanz von Verkehrsmassnahmen, Untersuchung der Umweltauswirkungen von Knotenumgestaltungen in Heimberg**; Balzari und Schudel AG; Koordinationsstelle für Umweltschutz des Kantons Bern; Bern, 28. Februar 1993
- [20] **Guide suisse des giratoires; Fonds für Verkehrssicherheit**; H. Bovy, K. Dietrich, A. Harman; Lausanne, Februar 1991
- [21] **Carrefours giratoires**; Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, département de génie civil; P. de Aragao; Lausanne, September 1988
- [22] **Die Kreisel im kantonalen Strassennetz, Verwirklichungen seit 10 Jahren 1985 - 1995**; Strassen- und Brückendepartement, Freiburg, Oktober 1995
- [23] **Sicherheit von Kreiselanlagen, Erfahrungen und vorläufige Empfehlungen, Pilotstudie**; C. A. Huber, F. Bühlmann; Bern, Dezember 1994
- [24] **Unfallgeschehen und Geometrie der Kreiselanlagen**; Forschungsauftrag 17/93 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); Nr. 382; F. Bühlmann, P. Spacek; Zürich, März 1997
- [25] **Empfehlungen zum Einsatz und zur Gestaltung kleiner Kreisverkehrsplätze**; Freistaat Sachsen; Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit; Dresden, Januar 1994
- [26] **Accidents at roundabouts in Kent: Kent County Council**; Highway & Transportation; Januar 1994
- [27] **Sicherheit von Verkehrskreisel; Informationstagung vom 12. Oktober 1993**; Aus der Sicht des motorisierten Benutzers; Schweizerischer Verkehrssicherheitsrat; Bern, November 1993
- [28] **Integrales Simulationsmodell für Kreisverkehr, LogSim**; Leisi + Partner; Biel, 1996
- [29] **Grundlagen zur Beurteilung von Kreiseln bei Autobahnanschlüssen**; Auszug aus «Kreiseln bei Autobahnanschlüssen im Kanton Freiburg»; IVT, bfu, Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon; Freiburg, Dezember 1994
- [30] **Nachführung der Emissionsgrundlagen Strassenverkehr**; EMPA, Abteilung Verbrennungsmotoren/Feuerungen; T. Schweizer; Dübendorf, April 1998
- [31] **Schweizer Norm SN 640 251: Knoten**; Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); Zürich, Oktober 1997
- [32] **Schweizer Norm SN 640 263; Knoten, Knoten mit Kreisverkehr**; Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); Zürich, Dezember 1999
- [33] **Verkehrsanlage Sihlbrugg**; Baudirektion des Kantons Zug; Baar, 1999

## Anhänge

- Anhang 1 Die Mobile AbgasMessAnlage (MAMA)
- Anhang 2 Zusammenfassung aus «Die Mobile AbgasMessAnlage – Ein Vergleich mit dem Schweizer Personenwagenpark»
- Anhang 3 Ergänzungen zum Kreisel Sihlbrugg
- Anhang 4 Ergänzungen zum Kreisel Emmenbrücke
- Anhang 5 Datum der Messfahrten
- Anhang 6 Messergebnisse Sihlbrugg: Zug–Zürich, Zürich–Zug
- Anhang 7 Messergebnisse Sihlbrugg: Zug–Hirzel, Hirzel–Zug
- Anhang 8 Messergebnisse Emmenbrücke: Rothenburg–Erlenstrasse, Erlenstrasse–Rothenburg
- Anhang 9 Messergebnisse Emmenbrücke: Rothenburg–Benziwil, Benziwil–Erlenstrasse
- Anhang 10 Messergebnisse Emmenbrücke: Erlenstrasse–AMP, AMP–Rothenburg
- Anhang 11 Messergebnisse Winterthur: Romanshorn–Winterthur, Winterthur–Romanshorn
- Anhang 12 Messergebnisse Winterthur: Romanshorn–Bäckerei, Bäckerei–Winterthur
- Anhang 13 Messergebnisse Winterthur: Winterthur–Bahnhof, Bahnhof–Romanshorn
- Anhang 14 Messergebnisse Uttwil: Dozwil–Schaffhausen, Schaffhausen–Dozwil, Schaffhausen–Bahnhof
- Anhang 15 Messergebnisse Uttwil: Bahnhof–Schaffhausen, Romanshorn–Bahnhof, Bahnhof–Romanshorn
- Anhang 16 Messergebnisse Uttwil: Romanshorn–Dozwil, Dozwil–Romanshorn
- Anhang 17 Messergebnisse Uttwil: Schaffhausen–Romanshorn, Romanshorn–Schaffhausen
- Anhang 18 Messergebnisse Bülach: Basel–Kreisel, Kreisel–Basel, Basel–Bülach
- Anhang 19 Messergebnisse Bülach: Bülach–Kreisel, Kreisel–Kaserne, Kaserne–Basel
- Anhang 20 Messergebnisse Emmenbrücke, offensiver Fahrer: Erlenstrasse–Rothenburg, Rothenburg–Benziwil, AMP–Rothenburg
- Anhang 21 Mitglieder der Begleitkommission