

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	104 (1986)
<b>Heft:</b>	27-28
<b>Artikel:</b>	Immissions-Prognose: Berechnungen für das Reppischtal mit dem geplanten Landikonerdreieck
<b>Autor:</b>	Pelli, Tiziano
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-76194">https://doi.org/10.5169/seals-76194</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

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

# Immissions-Prognose

## Berechnungen für das Reppischtal mit dem geplanten Landikonerdreieck

Von Tiziano Pelli, Zürich

Diese Studie im Auftrag der Arbeitsgruppe Reppischtal zeigt die Luftreinhalteprobleme auf, die der Bau der Verknüpfung zwischen den Autobahnen N4 und N20 im Reppischtal – das sogenannte Landikonerdreieck, westlich von Zürich – verursachen würde. Um das Ausmass der zu erwartenden Luftbelastung zu quantifizieren, werden als Beispiel die NO<sub>2</sub>-Immissionen für den Zeitraum 1992 bis 1995 prognostiziert.

### Übersicht

Die Immissionen lassen sich berechnen, wenn die Emissionen, die Transportvorgänge und die chemischen Umwandlungen in der Luft bekannt sind. Die Emissionen sind im vorliegenden Fall mit Hilfe von Angaben über die Verkehrsfrequenzen, die Verkehrszusammensetzung, die Länge der Verkehrswege, die Fahrgeschwindigkeiten und die Emissionsfaktoren ermittelbar.

Windmessungen von März 1984 bis Februar 1985 haben gezeigt, dass das Reppischtal sehr windarm ist. Die durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit beträgt ein Drittel der bei andern Messstellen im Mittelland gemessenen Werte. Während 10% der Zeit ist die Windgeschwindigkeit kleiner als 0,42 m/s. Bei schwachen Winden (unter 1 m/s) sind Instabilitäten in der Richtung zu beobachten (in einem Tal wird der Wind meistens in die beiden Talrichtungen kanalisiert), mit Umkippen innerhalb einer oder zwei Stunden.

In dieser Studie werden die Verkehrsfrequenzen anhand von Simulationsberechnungen des Ingenieurbüros *Jenni und Gottardi* [2] geschätzt. Die angenommene Verkehrszusammensetzung von in- und ausländischen Personenwagen, Lastwagen und Motorrädern und die Fahrgeschwindigkeiten entsprechen den heute bei ähnlichen Verhältnissen aus Zählungen ermittelten Werten. Die Prognose der Emissionsfaktoren (Emissionsmengen pro km und pro Fahrzeugkategorie bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit) wird unter Berücksichtigung der Abgasreduktionsprogramme der Schweiz (US-Grenzwerte 83 ab 1987) und der EG-Mitgliedsländer durchgeführt.

Mit Hilfe der geschätzten Emissionen für den Zeitraum 1992 bis 1995 und unter weiteren mit Vorsicht getroffenen Annahmen wird zuerst der Jahresdurchschnitt der zu erwartenden NO<sub>2</sub>-Immissionen berechnet und mit dem Langzeit-Grenzwert der Luftreinhalteverordnung [16] verglichen. Der Ver-

gleich zeigt, dass der Langzeit-Grenzwert in der Ortschaft Landikon und in einem Teil von Sellenbüren überschritten wird.

In einem zweiten Schritt werden die Immissionsspitzenwerte geschätzt. Obwohl die dazu nötigen Ausgangswerte sehr vorsichtig geschätzt wurden (besonders in bezug auf die Verkehrsintensitäten, auf den ausländischen Anteil an Personenwagen und auf die Umwandlungsrate zwischen NO und NO<sub>2</sub>), zeigen die Berechnungsresultate, dass für ein grösseres Gebiet um das geplante Autobahnkreuz sowohl die schweizerischen wie die deutschen Kurzzeit-Grenzwerte wesentlich überschritten werden.

Aus dieser Studie resultiert, dass der Bau eines offenen Landikonerdreiecks im Reppischtal grosse Luftreinhalteprobleme aufwerfen würde. Dabei geben nicht so sehr die durchschnittlichen Immissionen zu grosser Sorge Anlass, sondern die Spitzenwerte. Grund dafür ist das Zusammenwirken einer Reihe ungünstiger Faktoren, wie die Enge des Tales, die daraus resultierende Kanalisierung der belasteten Luft, die Inversionszustände, der sehr schwache Wind, das Hin- und Herpendeln der Luftmassen und der starke Verkehr.

### Ziel und Vorgehen

Ziel der Studie ist, abzuklären, ob die Luftschaadstoffemissionen im geplanten Landikonerdreieck (Autobahnkreuz zwischen der Umfahrung von Zürich und der Autobahn N4) zu Immissionen im Reppischtal führen werden, welche die Kurzzeit- oder Langzeitgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung überschreiten.

Die Luftreinhalteproblematik bei der Realisierung des Landikonerdreiecks im Reppischtal wird quantifiziert anhand einer groben Berechnung der zu erwartenden Immissionen eines wichtigen Schadstoffes (NO<sub>2</sub>). Die prognostizierten Immissionswerte werden dann

mit den im Entwurf der Luftreinhalteverordnung enthaltenen Grenzwerten verglichen.

### Vorgehen

Zuerst wird die geographische Situation des Reppischtales dargestellt, gefolgt von einer kurzen Beschreibung des geplanten Landikonerdreiecks und einer allgemeinen Beschreibung der Luftströmungsvorgänge in einem Tal.

Sodann werden die Windverhältnisse im Reppischtal mit Hilfe der Auswertungen [1] der vom Ingenieurbüro *Schindler und Haerter* im Auftrag des Tiefbauamtes durchgeföhrten Windmessungen analysiert.

Die Berechnung der NO<sub>x</sub>-Emissionen umfasst die unter anderem anhand einer Studie von *Jenni und Gottardi* [2] prognostizierten Verkehrsfrequenzen sowie die Bestimmung der Emissionsfaktoren und die eigentlichen Emissionsberechnungen.

Bei der anschliessenden Berechnung der im Reppischtal zu erwartenden NO<sub>2</sub>-Immissionen werden sowohl die durchschnittlichen Immissionen wie die Spitzenwerte für mehrere Empfängerlagen geschätzt.

Die geschätzten Immissionen werden mit den im Entwurf der Luftreinhalteverordnung vorgeschlagenen NO<sub>2</sub>-Grenzwerten verglichen. Aus diesem Vergleich werden dann Schlussfolgerungen über die Luftreinhalteprobleme gezogen, welche eine Realisierung des Landikonerdreiecks mit sich bringen würde.

### Das Reppischtal und das Landikonerdreieck

Im Bild 1 ist der uns interessierende Teil des Reppischtales mit dem geplanten Autobahndreieck abgebildet.

Die Reppisch fliesst in einem flachen, etwa 20 km langen Tal zwischen dem Türlersee und Dietikon, das einen Niveauunterschied von 250 m aufweist. Die seitlichen Hügelketten sind relativ niedrig. Ihre Höhen über dem Talgrund variieren zwischen 70 und 350 m. Die rechte Seite (mit dem Uetliberg) ist fast überall höher als die linke. Ausgehend vom Türlersee weist das Tal in nördlicher Richtung, der Talgrund ist etwa 500 m breit. Bis Stallikon weist das Tal einige enge Kurven auf. Von Stallikon bis Birmensdorf wird das Tal enger und biegt nach Westen. In Birmensdorf mündet der Würibach und der Lunnenbach in die Reppisch. Nach Birmensdorf fliesst die Reppisch in einem sehr engen Talquerschnitt nach Nordwesten.



Bild 1. Reppischtal, Landikonerdreieck und Hauptwindrichtungen

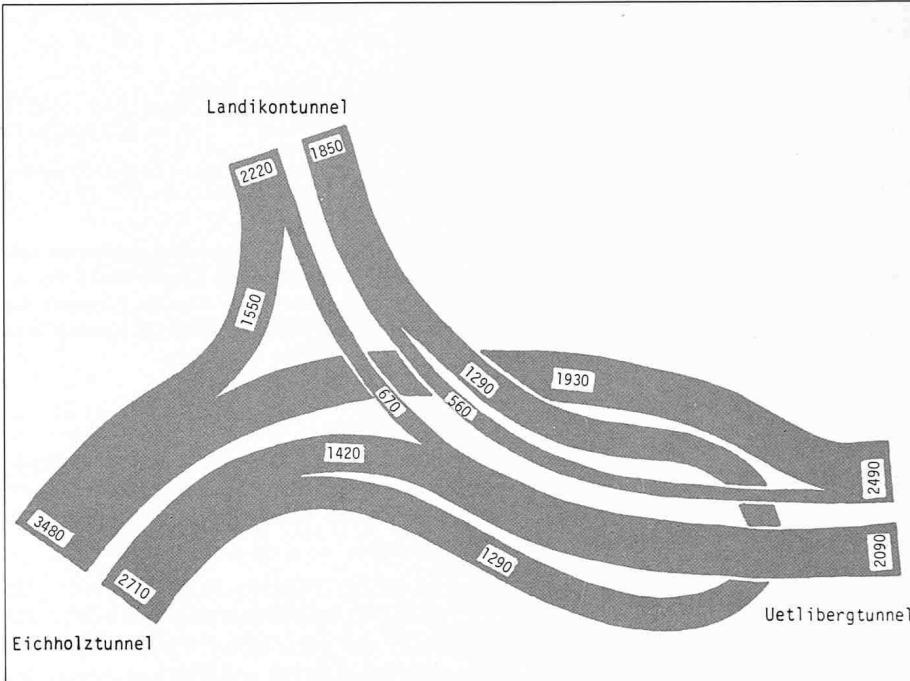


Bild 2. Verkehrsbelastungen im Landikonerdreieck, ZNUP-Modellrechnung «1985», Variante HR1

Die Autobahnen N4 und N20 erreichen den Talgrund durch drei Tunnels, den Landikontunnel, den Eichholztunnel und den Uetlibergtunnel. Für die zwei erstenen Tunnels ist natürliche Belüftung geplant; für den Uetlibergtunnel ist eine künstliche Belüftung während der Spitzenverkehrzeiten vorgesehen. Die einzelnen Autobahnabschnitte im Dreieck selbst sind nicht überdeckt.

### Luftströmungsvorgänge im Tal

Die Ausbreitung und Verdünnung von emittierten Schadstoffen werden hauptsächlich von den Luftströmungsvorgängen bestimmt. Bei der Beschreibung der Windverhältnisse in einem Tal werden zunächst zwei Situationen unterschieden:

- Es herrscht ein bedeutender grossräumiger Wind: Die Luftströmungen im Tal werden massgebend von diesem Wind beeinflusst und bestimmt;
- Es ist kein grossräumiger Wind vorhanden, und im Tal sind ausschliesslich die thermischen Winde wahrnehmbar.

Zwischen diesen Situationen kommen Grenzfälle vor, bei welchen sowohl übergeordnete wie thermische Winde von Bedeutung sind. Die thermischen Winde sind im allgemeinen viel schwächer als die von der übergeordneten Druckverteilung verursachten. Sie zu kennen ist für die Berechnung der Schadstoffimmissionen von grösster Bedeutung. Die thermischen Winde

eines Tales waren in der Vergangenheit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Zu erwähnen ist als Beispiel jene von *Defant* (in den 40er Jahren) [3], von *Thyer* [4, 5] und – neueren Datums – von *Whiteman* [6, 7]. Grob zusammengefasst verhalten sich die Winde in einem Tal wie folgt:

- Leicht vor oder nach Sonnenuntergang setzt der sogenannte Bergwind ein. Er fliesst in Richtung des Wasserflusses von den höheren zu den tieferen Talregionen.
- Der Bergwind ist oft von über die Seitenhänge abfließenden Luftströmungen begleitet (Hangwinde).
- Nach Sonnenaufgang steigen vom Boden erwärmte Luftströmungen den besonnten Hängen entlang auf. Diese lösen die talabwärts fliessenden stabilen Schichten langsam auf.
- Einige Zeit nach Sonnenaufgang wird der Bergwind vom Talwind, der in entgegengesetzter Richtung weht, graduell ersetzt, zuerst in Bodennähe, dann im oberen Teil des Talquerschnittes.
- Der Talwind ist im allgemeinen stärker als der Bergwind.

Die Modellvorstellungen von *Defant* [3] sehen eine Luftzirkulation innerhalb des Talquerschnittes vor. Diese Zirkulation ist von späteren Untersuchungen nicht oder nur in Ansätzen bestätigt worden. Sie soll, wenn überhaupt, nur in breiteren Tälern vorkommen. *Whiteman* unterstreicht die Bedeutung des Vorganges der Auflösung der nächtlichen stabilen Schicht und des Einsetzens des Talwindes [6, 7].

*Thyer* stellte in seinen Untersuchungen das Vorhandensein von Rückwinden oberhalb der seitlichen Berggräte fest [4, 5].

Da die thermischen Winde von den Temperaturunterschieden der lokalen Luftmassen abhängen, die ihrerseits von den Bodenflächentemperaturen beeinflusst werden, ist zu erwarten, dass die Stärke der thermischen Winde von den vorhandenen Niveauunterschieden und Besonnungsintensitäten abhängig ist. Je grösser der Niveauunterschied zwischen Talanfang und -ende sowie zwischen Talgrund und den Gräten der seitlichen Bergketten, desto stärker sind die vorkommenden Berg- und Talwinde. Zudem ist zu bemerken, dass sich der Berg- und Talwind auch bei bedecktem Himmel bildet, wenn auch in schwächerer Form.

### Die Windverhältnisse im Reppischtal

Die enge und kurvenreiche Form des Reppischtales bremst das Eindringen von grossräumigen Windströmungen. Es ist zu erwarten, dass letztere in wesentlich schwächerer Form als z.B. im Limmattal auftreten. Auch die thermischen Winde können sich, wegen der relativ kleinen Niveauunterschiede, nur schwach entwickeln. Es ist sogar zu erwarten, dass sie unter dem Einfluss von Windströmungen in benachbarten Räumen leicht umkippen.

Um die Verdünnung der Emissionen

des geplanten Autobahndreiecks und der dazu führenden Tunnels vorauszuberechnen, führte das erwähnte Ingenieurbüro *Schindler und Haerter* an verschiedenen Standorten Windmessungen durch. Einer dieser Mess-Standorte liegt im Reppischtal an der Stelle des geplanten Autobahndreiecks zwischen Landikon und Sellenbüren (vgl. Bild 1). Bei dieser Messstelle befindet sich der Anemometer 25 m über dem Talgrund. In [1] sind die Auswertungen der Messresultate zwischen März 1984 und Februar 1985 enthalten.

Für die Untersuchung der Verdunstungswirkung und den Vergleich zwischen prognostizierten Immissionen und Grenzwerten sind sowohl die durchschnittliche Windsituation wie die ungünstigen Wetterlagen von Bedeutung. Erstere bestimmt zusammen mit der Intensität der Emissionen und der Lage des Empfängers die zu erwartenden jährlichen Immissionsdurchschnittswerte. Letztere stehen in enger Verbindung mit den sogenannten Spitzentwerten. Die in [1] dargelegten Auswertungsergebnisse der Windmessungen erlauben folgende Feststellungen:

- Infolge des Kanalisationseffektes des Tales und der thermischen Winde herrschen im Reppischtal hauptsächlich Winde aus NW und SE;
- Die SE-Richtung (80° bis 190°) tritt etwas häufiger auf als die NW-Richtung (230° bis 340°) (45,3% bzw. 36,5% der Stundenwerte);
- Die mittleren Geschwindigkeiten aus NW sind etwas höher (5,6 km/h) als aus SE (4,7 km/h);
- Während 10,6% der Stunden war die Windrichtung unbestimmt und die Geschwindigkeit kleiner als 1,5 km/h (0,42 m/s).
- Die mittlere Windgeschwindigkeit über ein Jahr beträgt 5 km/h (1,39 m/s);
- Die mittlere Geschwindigkeit ist saisonbedingt: Sie ist am grössten im Frühling (1,55 m/s) und am kleinsten im Winter (1,27 m/s). Im Dezember 1984 war sie besonders tief: 0,97 m/s; aber auch im August 1984 war sie sehr schwach: sie betrug 1,19 m/s;

- Bei schwachen Winden (unter 1 m/s) können häufige Instabilitäten in der Richtung beobachtet werden, mit Umkippen der Windrichtung innerhalb einer oder zwei Stunden.

Die Ergebnisse der Windmessungen bestätigen die am Anfang des Abschnittes geäusserten Vermutungen.

In der Tabelle 1 ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Reppischtal mit jener anderer Messstationen (ANETZ-Stationen) des Mittellandes verglichen, welche alle wesentlich höhere Werte aufweisen, obwohl die Anemometerhöhe über Grund oder Oberdächer im Reppischtal höher liegt.

## Zu erwartende Emissionen

### Verkehr

Das Büro *Jenni-Gottardi AG* hat in [2] die Spurenspitzenfrequenzen der Verknüpfung N20.1-N4.1 berechnet (vgl. Bild 2). Die angegebenen Fahrfrequenzen gelten für den «Zustand 1985» (d.h. beim heutigen Verkehrsangebot und bei der heutigen Verkehrsnachfrage) und unter der Annahme, dass sowohl die N4 wie die SN3 (Sihltiefstrasse) fertig ausgebaut sind. Im «Zustand 2000» sollten die angegebenen Frequenzen ein Viertel höher liegen [2, S. 21]. Aufgrund von [9] lässt sich für die untersuchte Verknüpfung schätzen, dass die durchschnittlichen stündlichen Fahrfrequenzen (über ein Jahr) ungefähr *ein Drittel der Werte der Spitzentstunde* betragen.

Für die Berechnung der zukünftigen NO<sub>x</sub>-Emissionen ist die Kenntnis des Anteils sowohl der ausländischen Fahrzeuge wie der Lastwagen (Fahrzeuge mit mehr als 3,5 t Gesamtgewicht) wichtig. Wir schätzen sie aus [8] und erhalten für beide einen durchschnittlichen Betrag von etwa 10%. Für die Berechnung der Emissionen anhand der Emissionsfaktoren müssen noch die mittleren Fahrspurgeschwindigkeiten ermittelt werden. Vereinfachend sind diese wie in Tabelle 2 geschätzt.

### NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren

Die Emissionen werden für den Zeitraum 1992 bis 1995 (also in sieben bis zehn Jahren) prognostiziert. Zuerst schätzen wir die Entwicklung der Emissionsfaktoren (Emissionen pro km) der inländischen Fahrzeuge. Diese Entwicklung wird sowohl durch das Inkrafttreten der neuen Abgasvorschriften AGV 86 wie durch die spätere weitere Reduktion der Emissionen auf das Niveau der US 83-Vorschriften bestimmt, die wesentlich strenger sind. Nach den Berechnungen des Bundesamtes für Umweltschutz [10] emittierten die inländischen Personenwagen im Jahre 1984 bei 70 km/h rund 2,5 g/km NO<sub>x</sub> (als NO<sub>2</sub> ausgedrückt). Die Vorschriften AGV 86 sehen beim US-Zyklus FTP 72 einen Höchstwert von 1,2 g/km vor, die US-Grenzwerte 83 dagegen nur einen Ausstoss von höchstens 0,6 g/km für den etwas veränderten Zyklus FTP 75.

Wir prognostizieren, dass die inländischen Personenwagen im Zeitraum von 1992 bis 1995 unabhängig von der Geschwindigkeit von 60 oder 85 km/h im Durchschnitt 1 g/km emittieren werden.

In unseren Nachbarländern Italien, Frankreich und Deutschland ist die vorgesehene Reduktion der Emissionen wesentlich schwächer (ECE-Vorschriften). Wir schätzen für ihre Fahrzeuge, immer für den Zeitraum 1992 bis 1995, einen durchschnittlichen Ausstoss von 2 g/km.

Für die Berechnung der Emissionsfaktoren der Lastwagen verfügen wir über:

- Messungen an Saurer-Fahrzeugen 1977 [11],
- Messungen an Fahrzeugen des deutschen Lastwagenparkes (vgl. [12], diese Untersuchung ist sehr ausführlich).

Bei unseren Berechnungen haben wir die Einflüsse folgender Faktoren berücksichtigt:

- Zusammensetzung des schweizerischen Lastwagenparkes nach Marke;

Tabelle 1. Durchschnittliche Windgeschwindigkeit an einzelnen Messstandorten im Mittelland (Jahr 1984)

Station	mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	Höhe der Messstelle	
		Meter ü. Boden	Meter ü. Dach
44 Zürich SMA	4,2	31	10
58 Zürich Rechenholz	3,8	13	-
32 Zürich Kloten	4,6	10,7	-
57 Tänikon	3,6	14,4	-
56 Wädenswil	2,6	30	10
55 Gösgen	3,3	10	-
41 Luzern	2,8	41	10 Turmkaserne
Landikon	1,4	25	-

Tabelle 2. Geschätzte mittlere Fahrspurgeschwindigkeiten

Innerhalb der Tunnels	85 km/h
Westumfahrung-Knonaueramt (N4)	60 km/h
Knonaueramt (N4)-Westumfahrung	60 km/h
Uetliberg-Westumfahrung	85 km/h
Westumfahrung-Uetliberg	85 km/h
Uetliberg-Knonaueramt (N4)	85 km/h
Knonaueramt (N4)-Uetliberg	60 km/h

- Zusammensetzung des schweizerischen Lastwagenparkes nach Gesamtgewicht;
- Zustand, beladen oder unbeladen;
- Mit oder ohne Anhänger.

Wir wollen im Rahmen dieses Berichtes nicht auf Einzelheiten dieser Berechnungen eingehen. Die Resultate lauten:

- Durchschnittliche Emissionen pro Lastwagen bei 60 km/h: 13,7 g/km;
- Durchschnittliche Emissionen pro Lastwagen bei 85 km/h: 15,8 g/km. Es ist nicht zu erwarten, dass sich diese Emissionsfaktoren bis zum Zeitraum 1992-1995 wesentlich verändern werden.

### Emissionsberechnung

Hier beschränken wir uns auf die Berechnung der durchschnittlichen Emissionen. Wir nehmen an, dass die Verkehrs frequenzen jenen des Zustandes 1985 entsprechen. Von den natürlich belüfteten Tunnels werden ins Reppischtal nur die Abgase jener Tunnelröhren ausgestossen, deren Fahrzeuge in Richtung Landikonerdreieck fahren. Die Emissionen werden berechnet, indem für jede Stunde die Fahrzeugfrequenzen der einzelnen Fahrzeugkategorien (inländische Personenwagen, ausländische Personenwagen und Lastwagen) mit der Länge der Strecke und mit den Emissionsfaktoren multipliziert werden. Man erhält die Gesamtemissionen im Landikonerdreieck als Summe über alle Strecken und alle Fahrzeugkategorien. Die Berechnungsschritte und die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 dargestellt.

Die prognostizierten Gesamtemissionen lauten:

Tabelle 3. Zukünftige  $NO_x$ -Emissionen (1992-1995) im Landikoner Dreieck, durchschnittliche Fahrzeugfrequenzen

Strecke	Länge in km	Durchschn. Fahrzeugfrequenz in Fz/h	Geschw. in km/h	Emissionsfakt. (g/km)			Emissionen (g/h)		
				PKW inkl. ausl.	PKW ausl.	LKW	PKW inkl.	PKW ausl.	LKW
Westumfahrung-N4	0,45	520	60	1	2	13,7	187,2	46,8	320,6
N4-Westumfahrung	1,2	430	60	1	2	13,7	412,8	103,2	706,9
Westumfahrung-Uetlibergtunnel	0,65	220	85	1	2	15,8	114,4	28,6	225,9
Uetlibergtunnel-Westumfahrung	0,60	190	85	1	2	15,8	91,2	22,8	180,1
Uetlibergtunnel-N4	0,75	640	85	1	2	15,8	384,0	96,0	758,4
N4-Uetlibergtunnel	0,75	470	60	1	2	13,7	282,0	70,5	482,9
Landikontunnel	1,15	740	85	1	2	15,8	680,8	170,2	1344,6
Eichholztunnel	0,8	900	85	1	2	15,8	576,0	144,0	1137,6
Uetlibergtunnel	3,0	830	85	1	2	15,8	1992,0	498,0	3934,2
Total (mit Uetlibergtunnel)							4720,4	1180,1	9091,2
alle Fahrzeugkategorien									14991,7

- ohne künstliche Belüftung des Uetlibergtunnels: 14 991,7 g/h oder 4,2 g/s;
- mit künstlicher Belüftung: 8567,5 g/h oder 2,4 g/s.

### Berechnung der $NO_2$ -Immission

#### Durchschnittliche $NO_2$ -Immissionswerte

Bei unserer Berechnung nehmen wir zuerst an, dass die Lüftungszentrale des Uetlibergtunnels ständig in Betrieb ist. Diese Emissionen sind daher nicht zu berücksichtigen. Die Gesamtemissionen betragen in diesem Fall 2,4 g/s.

Wir idealisieren unsere Emissionsquelle als Emissionsband von einer Länge von 300 m quer durch das Tal. Der Wind weht somit senkrecht zu diesem Band. Nach [1] beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit 1,39 m/s. Die Messungen werden aber in 25 m Höhe über dem Talgrund durchgeführt, was uns für die Berechnung der Ausbreitung in Bodennähe als zu hoch erscheint. Für eine Ausbreitung in Bodennähe wäre eine niedrigere durchschnittliche Windstärke wahrscheinlich realistischer. Wir bleiben trotzdem bei 1,39 m/s und nehmen an, dass ein Drittel der Ausbreitung in 5 m Höhe, ein Drittel in 10 m Höhe und ein Drittel in 15 m Höhe erfolgt. Die Berechnungen werden anhand der Suttonschen Formel [13] für eine unendlich lange Emissionsquelle mit Wind senkrecht zur Quelle und Empfänger auf Bodenhöhe durchgeführt. Die Annahme einer unendlich langen Quelle erlaubt, die Kanalisationswirkung im Tal und die Reflexionen an den Talwänden zu berücksichtigen.

Die erwähnte Formel (1) lautet:

$$\chi(x) = \frac{2q}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z \cdot u} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H}{\delta_z} \right)^2 \right]$$

wobei:

$\chi$  = Konzentration in g/m<sup>3</sup>  
(Immission)

$x$  = Entfernung von der Quelle in m  
 $q$  = Emissionsstärke pro m in g/s·m  
(in unserem Fall ist  $q = 2,4/300 = 8,0 \cdot 10^{-3}$  g/s·m)

$u$  = Windgeschwindigkeit in m/s (in unserem Fall 1,39 m/s)

$H$  = Emissionshöhe in m (in unserem Fall 5; 10; 15 m)

$\sigma_z$  = Dispersionskoeffizient in z-Richtung, senkrecht zum Boden, in m [vgl. 13];  $\sigma_z$  ist eine Funktion von  $x$ .

Es wird weiter angenommen, dass die Wetterlage neutral ist, nämlich Klasse D [13, S.9].

Wir haben die Berechnungen für Empfänger in 300 m, 500 m, 1000 m, 2000 m und 5000 m Entfernung vom Emissionsband durchgeführt. In der Tabelle 4 sind die Berechnungsschritte und die Resultate aufgeführt. In den ersten drei Spalten sind die Berechnungen unter der Annahme durchgeführt, dass alle Emissionen entweder in 5 m, 10 m oder 15 m Höhe erfolgen. Wir haben die Resultate dann wie oben angegeben gewichtet (je ein Drittel) und aufsummiert. Das Ergebnis ist in der 4. Spalte unter «Mix» enthalten.

Beim Vergleich mit den Grenzwerten interessieren hauptsächlich die Konzentrationen von Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ). Aus den Auspuffen wird eigentlich NO ausgestossen, das aber – besonders unter Sonneneinstrahlung – in  $NO_2$  oxidiert wird. Aus Erfahrung und mit [14] nehmen wir vereinfachend an, dass von den  $NO_x$ -Immissionen:

- bei 300 m Entfernung 40% aus  $NO_2$  bestehen,
- bei 500 m Entfernung 42% aus  $NO_2$  bestehen,
- bei 1000 m Entfernung 45% aus  $NO_2$  bestehen,
- bei 2000 m Entfernung 50% aus  $NO_2$  bestehen,
- bei 5000 m Entfernung 60% aus  $NO_2$  bestehen.

Wenn die vom Wind transportierte Luft die Emissionsquelle erreicht, ist sie im allgemeinen schon vorbelastet. Diese Vorbelastung besteht in unserem Falle aus zwei Komponenten:

- Aus der allgemeinen Grundlast im Mittelland, die wir anhand der Messresultate der NABEL-Messstationen für den Zeitraum 1992 bis 1995 vorsichtig auf 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $NO_x$  prognostizieren;

- Aus der spezifischen Vorbelastung des Reppischtales, die von der Kanalisationswirkung und vom Hin- und Herpendeln der Luftmassen im Tal herrührt. Wir schätzen auch sie vorsichtig auf  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$ .

Bei der Berechnung der durchschnittlichen Immissionswerte soll berücksichtigt werden, dass der Wind nur während etwa der Hälfte der Zeit von der Emissionsquelle zum Empfänger weht. Während der anderen Hälfte der Zeit bläst er in umgekehrter Richtung, beim Empfänger weist er daher nur die Vorbelastung von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$  auf.

Weiter oben wurde gezeigt, dass der Wind aus SE häufiger auftritt als jener aus NW. Zudem ist seine Geschwindigkeit kleiner. Dieser Unterschied wird wahrscheinlich durch die Tatsache kompensiert, dass die Verkehrsfrequenzen im Durchschnitt niedriger sind, wenn der Wind aus SE weht (Bergwind, unter anderem nachts). Wir nehmen daher als Annäherung an, dass die Verdünnungswirkung in beiden Richtungen etwa gleich ist.

Ausgehend von den Ausbreitungsresultaten in der Tabelle 4 und unter Berücksichtigung der obenerwähnten Gegebenheiten sind wir jetzt in der Lage, die durchschnittlichen Immissionswerte zu prognostizieren. Sie lauten:

- In 300 m Entfernung  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 500 m Entfernung  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 1000 m Entfernung  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 2000 m Entfernung  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 5000 m Entfernung  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$

Bei unseren Berechnungen haben wir die Depositionseffekte [15] nur indirekt berücksichtigt, indem wir eine nur schwache talbedingte Vorbelastung angenommen haben. Die prognostizierten  $\text{NO}_2$ -Immissionen liegen natürlich höher, wenn die Lüftungszentrale des Uetlibergtunnels nur bei starkem Verkehr in Betrieb steht.

Unter der Annahme, dass ein Drittel der Emissionen aus dem Uetlibergtunnel auch in das Gebiet des Landikonerdreiecks gelangen, erhalten wir eine Gesamtemission von:  $10\,708,9 \text{ g}/\text{h}$  oder  $3,0 \text{ g}/\text{s}$ . Die entsprechenden  $\text{NO}_2$ -Immissionswerte betragen unter Berücksichtigung der Vorbelastung:

- In 300 m Entfernung  $74 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 500 m Entfernung  $63 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 1000 m Entfernung  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 2000 m Entfernung  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 5000 m Entfernung  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$

Es ist ferner möglich, dass die morgendliche Auflösung der Inversion zu einer Verräucherungswirkung der in den stabilen Schichten liegenden Abgase aus dem Abluftkamin der Lüftungszentrale führt. Wir können jedoch in der vorlie-

genden Studie nicht auf dieses Problem eingehen.

### Spitzenimmissionen

Im Rahmen dieser Studie kann die Schätzung der Spitzenimmissionen nur sehr approximativ erfolgen. Für diese Berechnungen treffen wir folgende Annahmen:

- Die Fahrfrequenzen betragen die Hälfte der Spitzenwerte;
- Die durchschnittliche Windschwindigkeit beträgt  $0,6 \text{ m}/\text{s}$ ;
- Die Windrichtung kippt um. Die Immissionen werden nach dem Umkippen berechnet;
- Die Immissionen werden nur für Empfänger berechnet, die bezüglich des Emissionsbandes talabwärts liegen, wenn der Wind nach dem Umkippen aus SE weht oder talaufwärts im umgekehrten Fall;
- Als Immissionsspitzenwert wird der Durchschnitt der Immissionen der Stunde mit der maximalen Belastung nach dem Umkippen bezeichnet;
- Die Ausbreitungsberechnungen werden mit der Stabilitätsklasse E [vgl. 13] durchgeführt.

Wir berechnen zuerst die Immissionskonzentrationen ohne Berücksichtigung der Vorbelastung (die normale Vorbelastung und die Vorbelastung durch das Umkippen). Auch in diesem Fall werden die Emissionen des Uetlibergtunnels nicht berücksichtigt.

Die Emissionen lauten:

$$2,4 \text{ g}/\text{s} \cdot 3/2 = 3,6 \text{ g}/\text{s}$$

$$(q = 3,6/300 \text{ g}/\text{s} \cdot \text{m} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ g}/\text{s} \cdot \text{m})$$

Die Resultate der Ausbreitungsberechnungen sind in der Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Windmassen, die das Emissionsband überschreiten, legen im Durchschnitt während der Stunde vor dem Umkippen  $0,6 \times 3600 \times 1/2 = 1080 \text{ m}$  zurück.

Nach dem Umkippen erreichen diese Luftmassen das Emissionsband wieder nach durchschnittlichen  $1080 \text{ m}$ . Die Berechnung der Vorbelastung erfolgt daher unter der Annahme, dass die emittierten Schadstoffe im Durchschnitt  $2160 \text{ m} + xm$  zurückgelegt haben. Die Größe  $x$  bezeichnet hier, wie in den Tabellen 4 und 5, den Abstand zwischen Empfänger und Emissionsquelle (die zentrale Linie des Emissionsbandes). Mit der Ausbreitungsformel des vorangehenden Abschnittes lassen sich jetzt die Vorbelastungen berechnen. Sie lauten:

$x \backslash H$	5	10	15	Mix
300	0,351	0,271	0,175	0,266
500	0,239	0,214	0,179	0,221
1000	0,144	0,138	0,130	0,137
2000	0,091	0,090	0,088	0,090
5000	0,051	0,051	0,050	0,051

Tabelle 4. Ausbreitungsresultate der Emissionen im Landikoner Dreieck. Durchschnittliche Situation, ohne Vorbelastung.  $\text{NO}_x$ -Werte in  $10^{-3} \text{ g}/\text{m}^3$  ausgedrückt als  $\text{NO}_2$

Tabelle 5. Ausbreitungsresultate der Emissionen im Landikoner Dreieck. Durchschnittliche Situation, ohne Vorbelastung.  $\text{NO}_x$ -Werte in  $10^{-3} \text{ g}/\text{m}^3$  ausgedrückt als  $\text{NO}_2$

$x \backslash H$	5	10	15	Mix
300	1,55	0,953	0,425	0,976
500	1,14	0,916	0,632	0,896
1000	0,709	0,656	0,576	0,647
2000	0,479	0,463	0,437	0,460
5000	0,290	0,286	0,280	0,285

- In 300 m Entfernung  $0,406 \text{ mg}/\text{m}^3$
- In 500 m Entfernung  $0,388 \text{ mg}/\text{m}^3$
- In 1000 m Entfernung  $0,358 \text{ mg}/\text{m}^3$
- In 2000 m Entfernung  $0,308 \text{ mg}/\text{m}^3$
- In 5000 m Entfernung  $0,236 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

Grob vereinfachend nehmen wir die gleiche Abhängigkeit zwischen dem Verhältnis  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  und der Entfernung  $x$  wie im vorangehenden Abschnitt an. Mit den Berechnungsergebnissen der Tabelle 5 und den Vorbelastungen lassen sich jetzt die zu erwartenden Spitzenimmissionen bestimmen.

Sie lauten:

- In 300 m Entfernung:  $550 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 500 m Entfernung:  $540 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 1000 m Entfernung:  $450 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 2000 m Entfernung:  $380 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$
- In 5000 m Entfernung:  $310 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ .

Bei unseren Berechnungen wurden die trockene und nasse Deposition nicht berücksichtigt. In den von uns untersuchten Fällen sollten sie prozentual nur eine untergeordnete Rolle spielen.

### Vergleich mit Grenzwerten und Schlussfolgerungen

Nach [16] lauten die heute in der Schweiz gültigen Grenzwerte wie folgt:

- $\text{NO}_2$ -Langzeit-Grenzwert (Jahresmittelwert):  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ ,

- NO<sub>2</sub>-Kurzzeit-Grenzwert (95-Percentil der Verteilung der 1/2-h-Messwerte eines Jahres): 100 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>.

Nach [17] lauten die entsprechenden deutschen Grenzwerte (TA-Luft):

- NO<sub>2</sub>-Langzeit-Grenzwert: 80 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>,
- NO<sub>2</sub>-Kurzzeit-Grenzwert (98-Percentil der Verteilung der 1/2-h-Messwerte eines Jahres): 300 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>.

Nach dem Bild 1 weisen die einzelnen interessierenden Ortschaften im Reppischtal folgende Entfernungen von der Emissionsquelle auf:

- Landikon 500–700 m
- Sellenbüren 1000–2000 m
- östlicher Teil Birmensdorf 1800–2200 m
- Stallikon 3000 m
- Ägerlen 4000 m

Der Vergleich zwischen Berechnungsresultaten und Grenzwerten zeigt:

- Die prognostizierten *durchschnittlichen* Immissionswerte liegen für Landikon, Sellenbüren und für den östlichen Teil Birmensdorf *höher* als der *Grenzwert* von 30 µg/m<sup>3</sup>, für Stallikon und Ägerlen knapp darunter. Wenn die Lüftungszentrale Diefenbach teilweise ausser Betrieb ist, wird auch in diesen Ortschaften der Langzeit-Grenzwert überschritten;
- Die prognostizierten *Spitzenwerte* liegen *viel höher* als der vorgeschlagene *schweizerische Kurzzeit-Grenzwert*. Sie sind auch *wesentlich höher* als der *deutsche Kurzzeit-Grenzwert* von 300 µg/m<sup>3</sup>.

Es ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich, zu bestimmen, wie genau die vorliegenden Berechnungen sind. Wir

## Literatur

- [1] Steinmann U., Schindler und Haerter AG. Windmessungen Landikon, erste Auswertungen für die einjährige Messperiode von März 1984 bis Februar 1985. Tiefbauamt des Kantons Zürich, Mai 1985, Zürich.
- [2] Gottardi, G., Jenni & Gottardi. Überprüfung der Verknüpfung im Landikonerdreieck. Gemeinde Stallikon, Juni 1984 Zürich.
- [3] Defant, F. Zur Theorie der Hangwinde, nebst Bemerkungen zur Theorie der Berg- und Talwinde. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. I (A), S. 421–450 (1949).
- [4] Buetner, K.J.K. und Thyer, N.H. Valley Winds in the Mount Rainier Area. Arch. Met. Geoph. Biokl. B, 14, H. 2.
- [5] Thyer, N.H. A Theoretical Explanation of Mountain and Valley Winds by a Numerical Method. Arch. Met. Geoph. Biokl. A, 15, H. 3–4.
- [6] Whiteman, C.D. Breakup of Temperature Inversions in Deep Mountain Valleys: Part I, Observations. Journal of Applied Meteorology, Vol. 21.
- [7] Whiteman, C.D., McKee, T.B. Breakup of Temperature Inversions in Deep Mountain Valleys: Part II, Thermodynamic Model. Journal of Applied Meteorology, Vol. 21
- [8] Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Straßenbau. Schweizerische Straßenverkehrszählung. Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 700, Bern 1983.
- [9] Bundesamt für Straßenbau und Bundesamt für Statistik. Automatische Straßenverkehrszählung 1979–1980.
- [10] Bundesamt für Umweltschutz. Geschwindigkeitsreduktion und Schadstoffausstoss. Schriftenreihe Umweltschutz, Nr. 22, 1984, Bern.
- [11] A. Saurer AG. Technologischer Stand und künftige Entwicklung von Lastwagen und Bussen hinsichtlich Energieverbrauch, Abgas und Lärm. GVK-CH, 1977, Bern.
- [12] Umweltbundesamt. Das Abgas-Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1980. Erich Schmidt Verlag Berlin. Berichte 11/83, Berlin 1983.
- [13] Turner, D.B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. EPA, 1973, North Carolina.
- [14] Bundesamt für Umweltschutz. Luftbelastung 83, Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 30, 1984, Bern.
- [15] Wesely, M.L., Eastman, J.A., Stedman, D.H., Yalvac, E.D. An Eddy-Correlation Measurement of NO<sub>2</sub> Flux to Vegetation and Comparison to O<sub>3</sub>-Flux. Atmos. Environ. Vol. 16, No. 4.
- [16] Eidgenössisches Departement des Innern. Luftreinhalte-Verordnung (LRV). 1986, Bern.
- [17] Umweltbundesamt. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Berlin 1983.

wollen auch nicht der Frage nachgehen, ob der prognostizierte Spitzenwert näher zum 95%- oder zum 98%-Percentil zu liegen kommt.

Aus dieser Studie resultiert, dass der Bau eines *offenen* Landikonerdreiecks im Reppischtal grosse Luftreinhalteprobleme aufwerfen würde. Dabei sind nicht so sehr die durchschnittlichen Immissionen, die zu grosser Sorge Anlass geben, sondern die *Spitzenwerte*: Die

Enge des Tales, die daraus resultierende Kanalisierung der belasteten Luft, die Inversionszustände, der sehr schwache Wind, das Hin- und Herpendeln der Luftmassen und der starke Verkehr sind Faktoren, die im Reppischtal zu hohen Spitzenwerten führen würden.

Adresse des Verfassers: Dr. Tiziano Pelli, BMP, Splügenstr. 3, 8027 Zürich.

## Neue Bücher

### Buchbesprechung

#### Ingenieurbiologie – Handbuch zum natürlichen Wasser- und Erdbau

Begemann, W., Schiechtal, H.M. Ingenieurbiologie – Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau. 216 S., 290 Abb. Bauverlag Wiesbaden und Berlin, DM 88.–.

Ingenieurbiologie ist biologisch ausgerichtete Ingenieurbautechnik. Diese naturnahen Bauweisen werden seit alters her aufgrund von Erfahrung angewendet.

«Dieses Buch ist für die Praxis geschrieben und soll eine Gebrauchsleitung für ingenieurbiologische Planungen und Bauausführungen sein.» Das von den Autoren umrissene Ziel wird leider nicht erreicht. Vereinfachungen werden bewusst in Kauf genommen, um «der praktischen Ausführbarkeit willen». Die Beschreibung der handwerkli-

chen Fertigkeiten steht in keinem Verhältnis zu dem den Planenden vermittelten Wissen. Ausserdem werden erfahrungsgemäss bei vielen Massnahmen der Problemstellung angepasste Varianten ausgeführt. Eine derartige Vielfalt kann kaum von einem Handbuch abgedeckt werden. Das Werk ist über weite Strecken nicht leicht verständlich oder setzt beim Leser eigene Erfahrung und Fachwissen voraus. Diesen Eindruck verstärkt der schwer durchschaubare Aufbau. Das umfangreiche Bildmaterial ist grossenteils aus früheren Veröffentlichungen der Autoren bekannt oder ausgeliehen. Ausserdem ist die Entwicklung der letzten 2–3 Jahre kaum mehr berücksichtigt. Dadurch wären auch inhaltliche Ergänzungen notwendig.

Gesamthaft bleibt die von den Autoren zitierte Frage «Ja, wie macht man's denn?» unbeantwortet. Ein leicht verständliches Unterrichts- und Nachschlagewerk fehlt auf dem Gebiet der Ingenieurbiologie weiterhin.

Thomas Weibel, Horgen

### Das Wiener Modell

Herausgeber: K. Freisitzer und J. Maurer. Compress Verlag, Wien 1985, 160 Seiten, etwa 200 teilweise farbige Illustrationen. Preis S 560.

Nächstes Jahr wird im Wiener Donauraum ein Grossvorhaben (Gesamtinvestitionen 4 Mia sFr.) fertiggestellt, bei dem es ausgehend von der zentralen Aufgabe des Hochwasserschutzes gelungen ist, mit der Neuen Donau und einer über 20 km langen Erholungsinsel quer durch Wien hindurch gleichsam die Riviera der Wiener zu schaffen.

Nach Ansicht der massgeblich daran beteiligten Fachleute beruht der Erfolg auf einer international wohl einmaligen Verfahrensinnovation. Das angewandte «Wiener Modell» sah den Einsatz einer zeitlich befristeten, die öffentliche Verwaltung ergänzenden Projektorganisation vor. Der Hauptzweck lag darin, durch die Schaffung einer Art Drehscheibe für die interdisziplinäre Auseinandersetzung das intellektuelle Potential