

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 109 (1991)  
**Heft:** 42

**Artikel:** Emissionsfaktoren: Fahrzyklen und Emissionen von Entsorgungsfahrzeugen  
**Autor:** Bürgin, Toni / Steinemann, Urs  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-86030>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 13.03.2025

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

**Literatur**

- [1] *Dall'O, A.* (1990): Gebietsniederschläge im Thurgebiet in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. Diplomarbeit ausgeführt am Geogr. Inst. der ETH Zürich, 95 pp.
- [2] *Menzel, L.* (1990): Wasserhaushaltsstudien im Einzugsgebiet der Thur (Ostschweiz). Diplomarbeit ausgeführt an der Abt. für Hydrologie des Geogr. Inst. der ETH Zürich, 207 pp.
- [3] *Zeller, J. und Geiger, H.* (1977): Starkniederschläge des Schweizer Alpen- und Alpenrandgebietes, Band 2. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- [4] *Grebner, D.; Jensen, H.; Kobelt, F.; Lang, H. und Näf* (1989): Untersuchungen über extreme Gebietsniederschläge und Hochwasser im Gebiet der Thur. Interner Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 55 pp.
- [5] *Grebner, D. und Richter, K.G.* (1989): Gebietsniederschlag; Zwischenbericht. Meteorologische Analysen zum Sommer 1987, im Rahmen des Forschungsprojekts «Ursachenanalyse Hochwasser 1987». Zürich, 240 pp.
- [6] *Grebner, D. und Richter, K.G.* (1990): Gebietsniederschlag; Abschlussbericht. Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen für Starkniederschläge in der Schweiz.

mer 1987 wurde vom Bundesrat das interdisziplinäre Untersuchungsprojekt «Ursachenanalyse der Hochwasser 1987» veranlasst. Das Geographische Institut der ETH-Z ist in diesem Zusammenhang mit Untersuchungen zum Fragenkomplex «Gebietsniederschlag» beauftragt. Dieses Projekt umfasst die Themenbereiche «Meteorologische Analysen zum Sommer 1987» [5] und «Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen für Starkniederschläge in der Schweiz»

[6]. Methodisch ist die Ausführung des zweiten Themenbereiches auf die wahre Ausdehnung der Niederschlagsfelder in der nord-alpinen Schweiz, d.h. nicht auf Einzugsgebiete begrenzt, abgestützt. Mit den in der Diplomarbeit durchgeführten, hier beschriebenen Untersuchungen von Gebietsniederschlägen im Thurgebiet wird die Verbindung zu Abminderungscharakteristiken in einem hydrologisch begrenzten Gebiet hergestellt. Entstehende Un-

**Verdankung**

Eine wesentliche Grundlage zu dieser Untersuchung war die räumlich-zeitliche Interpolation der Niederschlagsereignisse. Die Programme dafür stammen von Dr. K.G. Richter aus dem Projekt «Gebietsniederschlag». Wir danken ihm herzlich für die Anpassung der Programmpakete und die Berechnung der Gitterpunktwerte.

Prof. Dr. A. Ohmura, Geographisches Institut ETH Zürich, sei herzlich für die Durchsicht des Artikels gedankt.

terschiede zwischen den auf das Niederschlagsfeld und auf das Einzugsgebiet bezogenen Ergebnissen sind insbesondere unter dem Aspekt kurzer Referenzperioden von Bedeutung. Im weiteren eignet sich der feste Gebietsbezug für verschiedene Analysen zur Frage der Stationsrepräsentativität, zu deren Ergebnissen die vorgestellten Schätzformeln für Gebietsniederschläge zählen.

Adresse des Verfassers: *Anita Dall'O*, dipl. sc. nat. ETH, c/o Geos Research AG, Mühleggstrasse 15, 8047 Zürich, und *Dietmar Grebner*, dipl. Meteorologe, c/o Geographisches Institut ETH, Abt. Hydrologie, 8057 Zürich.

## Emissionsfaktoren

### Fahrzyklen und Emissionen von Entsorgungsfahrzeugen

**Im Herbst 1990 wurden erstmals die genauen Fahrabläufe eines Entsorgungsfahrzeuges erhoben. Mit einem Datenerfassungsgerät wurden die wesentlichsten Kenndaten in Sekundenschritten aufgezeichnet. Ausgehend von diesen Daten konnte der spezifische Ausstoss an Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) berechnet werden.**

Im Kanton Zürich sind im Jahr 1989 insgesamt 546 283 Tonnen Abfall eingesammelt worden [1]. Dies bedeutet ge-

mehrten Wiederverwertung separat gesammelter Abfälle, anhalten und zusammen mit der Vermeidung von überflüssigem Abfall zu einer spürbaren Reduktion der anfallenden Mengen führen.

VON TONI BÜRGIN, ZÜRICH,  
UND URS STEINEMANN,  
WOLLERAU

### Fahrmodi und NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren von Lastwagen

Die gegenwärtig in der Schweiz verwendeten Emissionsfaktoren für Lastwagen basieren immer noch auf dem Bericht des deutschen Umweltbundesamtes aus dem Jahr 1983 [2]. Diese Daten beziehen sich auf das Abgasverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bundes-

republik Deutschland mit dem Bezugsjahr 1980. Bei diesen Untersuchungen musste in Ermangelung spezifischer Fahrzyklen auf diejenigen von Personwagen zurückgegriffen werden. Da die bestandesgewichteten Emissionsfaktoren für Lastwagen zwischen 1980 und 1990 praktisch unverändert geblieben sind, lassen sich die deutschen Angaben auch für schweizerische Lastwagen der entsprechenden Massenklasse

gegenüber dem Vorjahr eine Zunahme der Abfallmenge um 0,8%. Gleichzeitig konnte infolge verstärkter Anstrengungen im Bereich der Separatsammlungen eine Zunahme von 4% bei den rezyklierbaren Stoffen ausgewiesen werden; dadurch verringerte sich im Laufe eines Jahres der Anteil der grösstenteils zu verbrennenden Siedlungsabfälle von 82 auf 78%. Dieser Trend dürfte auch in Zukunft, insbesondere mit der vom Bezugsjahr 1990 verwenden. Gegenwärtig erarbeitet das Buwal in Zusammenarbeit mit dem TÜV Rheinland eine Studie über die Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs in der Schweiz 1990–2010. Ziel dieser Untersuchung, welche Anfang 1993 als Expertenbericht vorliegen soll, ist die Aktualisierung und Weiterführung des im November 1986 publizierten Berichtes «Schadstoffberechnungen des privaten Strassenverkehrs 1950–2000» und seiner beiden Ergänzungen [3].

Anlass zur vorliegenden Studie war eine vergleichende Betrachtung von zentralem vs. dezentralem Kompostieren und der Umweltbilanz von organisierten Grünabfuhrungen. Es ergab sich damit die Möglichkeit, bestehende Lücken

bei den Fahrmodi und den Emissionsfaktoren von Sammelfahrzeugen, welche auch vom laufenden Grossversuch nicht abgedeckt werden, zu schliessen. Zur Berechnung der NO<sub>x</sub>-Emissionen wurde der zwischen Treibstoffverbrauch und den NO<sub>x</sub>-Emissionen bestehende direkte Zusammenhang gemäss Tabelle 5.6 in [2] verwendet. Die quadratische Regression der verfügbaren Daten führt mit einem Bestimmtheitsmass von r<sup>2</sup>=0,99866 auf den folgenden Zusammenhang:

$$q_{NO_x} = \frac{m_{Tr}}{21} + \frac{m_{Tr}^2}{1357}$$

$$q_{NO_x} = \text{NO}_x\text{-Emissionen [kg/h]}$$

$$m_{Tr} = \text{Treibstoffverbrauch [kg/h]}$$

**Beschreibung der durchgeführten Messungen**

Im Rahmen des vorliegenden Projektes [4] ist ein *Kehrriechwagen* der Firma Isler Transporte, Pfäffikon ZH, mit einer Datenerfassungsanlage zur Registrierung von Fahrweg, Motordrehzahl und Treibstoffverbrauch ausgerüstet worden. Die Firma Isler Transporte ist im Auftrag der Kehrriechverwertung Zürcher Oberland (KEZO) in verschiedenen Gemeinden des Zürcher Oberlandes für die Kehrriech- und Grünabfuhr zuständig. Der Kehrriech wird jeweils zur Kehrriechverbrennungsanlage Hinwil geführt, während das Grünmaterial bei der zentralen Kompostieranlage Be-reuter (Gemeinde Volketswil) abgeladen wird.

Beim verwendeten Fahrzeug handelt es sich um einen Mercedes Benz 2429, Baujahr 1990, mit 5-Stufen-Automat. Sein 8-Zylinder-Motor verfügt über 15 Liter Hubraum und leistet 213 kW (290 PS). Das Leergewicht des Fahrzeugs liegt bei 13,8 Tonnen; das zulässige Gesamtgewicht beträgt 22 Tonnen. Der Kilometerstand nach Abschluss der Messkampagne am 19. Oktober 1990 betrug rund 19 073 km.

Zur Ermittlung des Fahrweges wurde der geeichte Tachometer abgegriffen (9,05 Impulse pro Meter). Die Motordrehzahl wurde durch Abgriff des Tourenzählers (300 Impulse pro 1000 U/min) und der Treibstoffverbrauch durch eine AIC-Durchflussmessenheit (963 Impulse pro Liter) bestimmt. Die Datenerfassung und -aufzeichnung erfolgte im 1-Sekunden-Schritt mit einem Delta-Logger. Die Daten wurden jeweils täglich auf einen portablen Personalcomputer übertragen und später ausgewertet (Bild 1).

Im Verlauf der Monate September und Oktober 1990 wurden insgesamt drei

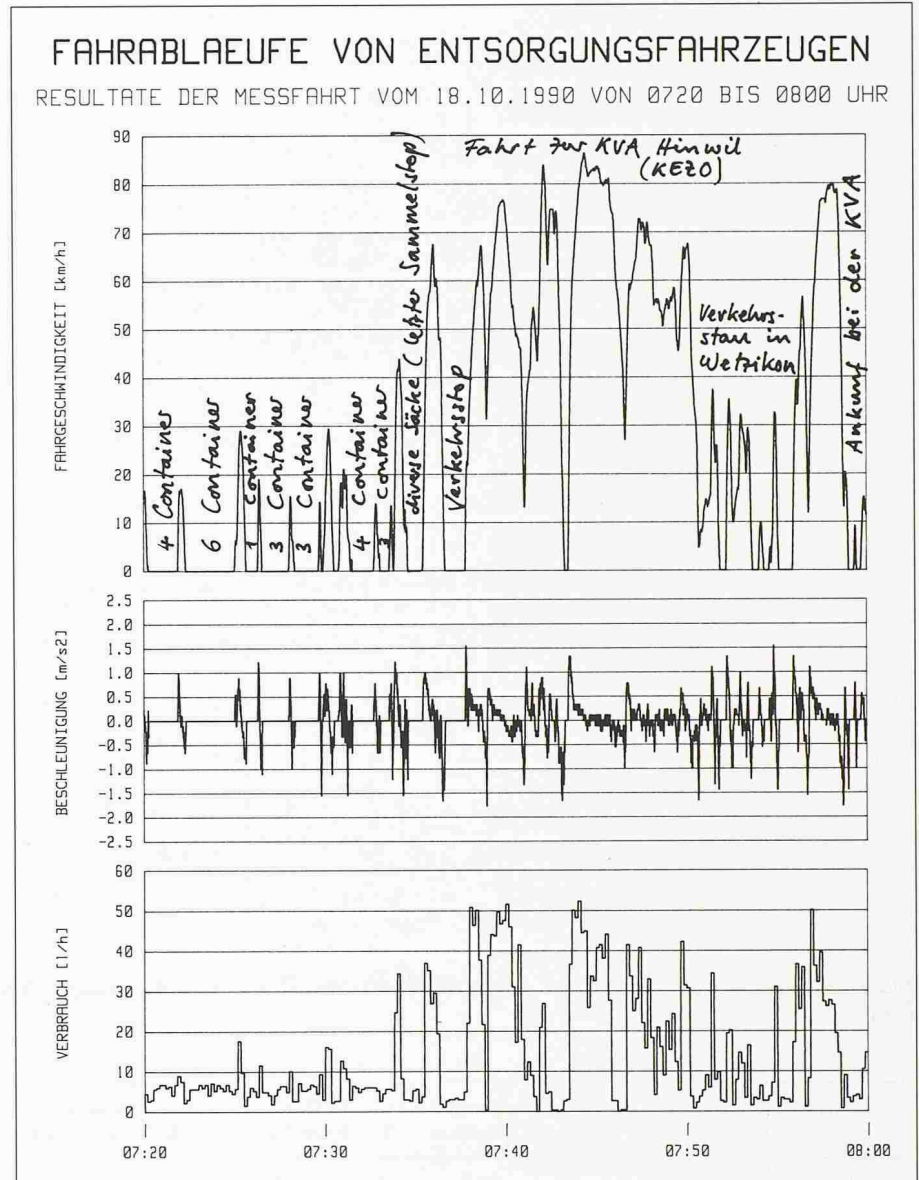


Bild 1. Ausschnitt aus der Datenerfassung vom 18. Oktober 1990

begleitete und zwei unbegleitete Fahrten aufgezeichnet. Eine davon diente der Grünabfuhr, während bei den übrigen Siedlungsabfälle entsorgt wurden. Am Ende der jeweiligen Fahrt wurde zusätzlich zur automatischen Datenerfassung und deren Kontrolle jeweils die Gesamtmenge der gesammelten Abfälle, der gesamte Fahrweg und der totale Treibstoffverbrauch notiert und damit die Menge an ausgestossenen Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) ermittelt. Ausgehend von diesen Angaben konnten tägliche Kennwerte über Fahrweg, Treibstoffverbrauch und NO<sub>x</sub>-Emissionen pro Tonne Sammelgut erstellt werden (Tabelle 1).

**Besonderheiten von Entsorgungsfahrzeugen**

Um die Fahrabläufe zu charakterisieren, wurden die Fahrten aus Gründen

der Übersichtlichkeit bei der Erfassung jeweils in 10-Minuten-Abschnitte unterteilt und dabei die Mittelwerte für die Anzahl der Stopps pro Kilometer und für den Anteil der Standzeit in Abhängigkeit von der Reisegeschwindigkeit (inkl. Leerlaufzeit) aufgetragen. Obwohl die Fahrabläufe bei einem Entsorgungsfahrzeug stark variieren, zeigt sich, dass die Anteile an Stops und Standzeit etwa den TÜV-Fahrzyklen (Bild 2) entsprechen. Zu beachten ist, dass bei Sammeltouren die Reisegeschwindigkeit arbeitsbedingt im tiefen Bereich liegt, während bei den TÜV-Fahrzyklen M5-M7 stockender bis zähflüssiger Stadtverkehr dafür verantwortlich ist.

Auch die Messungen des Dieserverbrauchs wurden als 10-Minuten-Mittelwerte aufgetragen. Daraus wird mit Hilfe des oben erläuterten Zusammenhanges zwischen Treibstoffverbrauch und NO<sub>x</sub>-Emissionen die Emis-

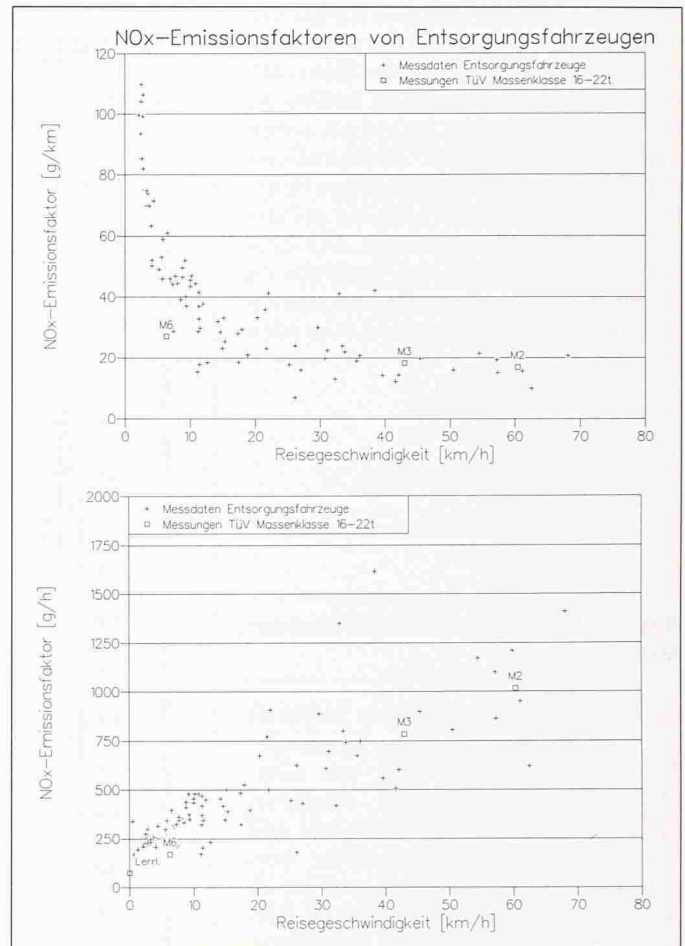
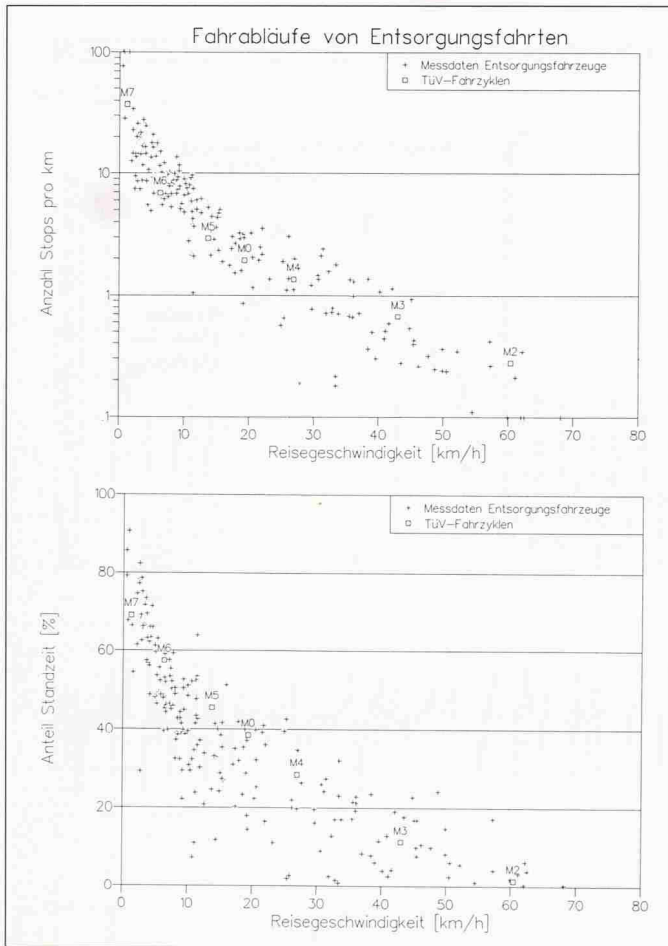


Bild 2. Vergleich der empirischen Fahrabläufe mit den TÜV-Zyklen

Bild 3. Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren mit den TÜV-Daten

	Kehricht in Tonnen	Fahrweg in Kilometern	Treibstoff in Liter Diesel	Stickoxide in Kilogramm NO <sub>x</sub>
19.09.90*	9,6	71,8	43,5	2,05
19.09.90	15,14	114,1	68,8	3,28
21.09.90	14,23	139,3	69,7	3,36
18.10.90	14,34	119,7	67,5	3,22
19.10.90	13,7	141,8	69,6	3,32
Total	67,01	586,7	319,1	15,23
Mittel pro t Kehricht		10,4	5,1	0,24

\* Grünabfuhr

Tabelle 1. Tägliche und mittlere Kennwerte der fünf erfassten Fahrten

Emittentengruppen	NO <sub>x</sub> -Emissionen 1990 (Tonnen)	in %
Feuerungen	3 900	18
Spezialfeuerungen	500	2
Kehrichtverbrennungen	1 300	6
Holzfeuerungen	400	2
Luftverkehr	960	5
Motorfahrzeugverkehr		
- PW	8 580	41
- LW	5 520	26
Total	21 160	100

(Quelle: Luftprogramm für den Kanton Zürich [5])

Tabelle 2. Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Kanton Zürich

sionsfaktoren berechnet; 1 Liter Diesel ergibt etwa 50 g NO<sub>x</sub>. Diese können wiederum mit den TÜV-Emissionsfaktoren für Solofahrzeuge der Massenkategorie 16–22 Tonnen verglichen werden (Bild 3). Ausser bei sehr kleinen Reisegeschwindigkeiten, bei welchen die Stundzeitanteile gross sind und häufige hydraulische Pressvorgänge stattfinden (mit erhöhter Drehzahl im Leerlauf), entsprechen die aus den Messungen abgeleiteten NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren gut den UBA-Messungen und damit auch den Angaben des Buwal [2, 3]. Es ist jedoch wiederum zu beachten, dass Entsorgungsfahrzeuge häufig im kleinen Geschwindigkeitsbereich arbeiten, welcher im normalen Verkehrsgeschehen nur bei Stausituationen auftritt.

### Diskussion

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die Fahrabläufe von Entsorgungsfahrten in einer ersten Annäherung mit den Fahrzyklen des TÜV beschrieben werden können. Trotzdem sind die Emissionsfaktoren von Entsorgungsfahrzeugen vor allem bei den kleinen Fahrgeschwindigkeiten höher als diejenigen des schweizerischen Lastwa-

**Literatur**

- [1] Statistische Berichte des Kantons Zürich, 40. Jahrgang, Heft 2/1990, S. 14-20.
- [2] Das Abgasemissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1980, Berichte 11/83, Umweltbundesamt, Berlin 1983.
- [3] Schadstoffemissionen des privaten Strassenverkehrs 1950-2000. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 55, Bwul, Bern 1986, Nachträge September 1988 und Mai 1990.
- [4] Fahrabläufe und Emissionen von Entsorgungsfahrzeugen. Ingenieurbüro U. Steinemann im Auftrag des Amtes für technische Anlagen und Lufthygiene, Wollerau, März 1991.
- [5] Luftprogramm für den Kanton Zürich. Massnahmenplan Lufthygiene. Direktion der öffentlichen Bauten. Amt für technische Anlagen und Lufthygiene. Zürich, April 1990.

genkollektivs. Erklärungen dafür sind einerseits die Gesamtmasse des verwendeten Fahrzeugs, welche über dem Durchschnitt des schweizerischen Kollektivs liegt, und andererseits die periodischen Pressvorgänge zur Kompaktierung des Sammelgutes. Inwieweit sich die Geländetopographie auswirkt, ist aufgrund der durchgeführten Studie schwierig abzuschätzen. Es ist aber anzunehmen, dass die vielen Beschleunigungsvorgänge an Steigungen zu einer Zunahme der Emissionen führten.

Die wenigen durchgeführten Messungen können zwar nicht unbedingt als

repräsentativ betrachtet werden, die gefundenen Kennwerte erlauben aber doch eine grobe Abschätzung der mit dem Abfalltransport im Kanton Zürich verbundenen Belastungen. So ergibt sich aus der durchschnittlichen Wegstrecke von 8,8 Kilometern pro Tonne Sammelgut eine Gesamtfahrleistung von 4,8 Millionen Fahrzeugkilometern. Im Vergleich dazu betragen die Kurskilometer der Dieselse auf dem Netz des Zürcherischen Verkehrsverbundes im Fahrplanjahr 1989/1990 28 Millionen Kilometer (Angaben ZVV, Febr. 1991). Der Treibstoffverbrauch von gemittelt 4,8 Liter pro Tonne Sammelgut entspricht etwa 2,6 Millionen Liter im Jahr (bei einem geschätzten Dieserverbrauch 1989 von etwa 110 Millionen Litern im Kanton Zürich). Somit lassen sich im Kanton Zürich gegenwärtig jährlich etwa 125 Tonnen Stickoxide auf die Emissionen von Kehrlichfahrzeugen zurückführen. Bei berechneten Gesamtemissionen 1990 von über 21 000 Tonnen (Tabelle 2) und einem durch Lastwagen verursachten Anteil von 5520 Tonnen [5] liegen die Emissionen der Entsorgungsfahrzeuge bei 2% des Lastwagenanteils und bei etwa 0,6% der Gesamtemissionen.

Am 1. Oktober 1991 tritt in der Schweiz die zweite Stufe der FAV 2 (Verordnung über die Abgasemissionen schwerer Motorwagen) in Kraft, was gegenüber der ersten Stufe zu einer Reduktion des  $\text{NO}_x$ -Emissionsfaktors von etwa 38% führt (FAV 2-1: 14,49  $\text{NO}_x/\text{kWh}$ ; FAV 2-2: 9,09  $\text{NO}_x/\text{kWh}$ ). Gegenwärtig erfüllen rund 16% des

**Verdankung**

Die Anregung für diese Studie ging von Herrn Dr. Meyer, KEZO Hinwil, aus; ihm und Dr. Perret sowie den Herren Eichhorn und Meili, Abfuhrwesen der Stadt Zürich, sei für die Gastfreundschaft und die Diskussionsbereitschaft herzlich gedankt. Die Organisation und Installation der Datenerfassung erfolgte durch Herrn Mayer von der Gabathuler AG in Diessenhofen. Ihm und allen an den Messungen beteiligten Personen sei an dieser Stelle herzlich für die angenehme Zusammenarbeit gedankt. Ein besonderer Dank gilt Herrn Isler und seinen Mitarbeitern für die kooperative und geduldige Unterstützung während der Messfahrten.

Schweizerischen Parks an schweren Motorwagen die Auflagen der ersten FAV-Stufe, in welcher 1987 erstmals ein Grenzwert für die  $\text{NO}_x$ -Emissionen festgelegt wurde. Fahrzeuge, welche die verschärfte, neue Norm erfüllen, sind erst wenige im Einsatz. Wegen den Personenwagen, wo durch den Bestand an Katalysatorfahrzeugen – im Kanton Zürich gegenwärtig 50% – der prozentuale Anteil der  $\text{NO}_x$ -Emissionen innerhalb des Motorfahrzeugverkehrs abgenommen hat, fallen die Emissionen der Lastwagen daher in Zukunft immer stärker ins Gewicht.

Adressen der Verfasser: Dr. Toni Bürgin, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene, Kasernenstr. 49, 8090 Zürich, und Urs Steinemann, Ingenieurbüro für Energie- und Umweltfragen, Schwalbenbodenstr. 15, 8832 Wollerau

## Dämmdicken für Gebäudehüllen

**Vor einem Vierteljahrhundert wurden auf ein Flachdach üblicherweise 4 cm dicke Korkplatten verlegt. Heute führen Energieverordnungen zu 10, 12 oder noch dickeren Wärmedämmschichten. Zu welchen Werten gelangen wir, wenn wir uns die Aufgabe stellen, ein Gebäude sei so zu dämmen, dass der gesamte Energieaufwand – für Gebäude-Beheizung wie auch für Herstellung und Transport usw. der Wärmedämmung – während dessen Nutzungszeit minimal sei?**

**Tauwasserschutz**

Das war einst – bis vor etwa 20 Jahren – das Hauptkriterium: Die Wärmedämmung musste so bemessen werden, dass

VON WALTER BAUMANN,  
WINTERTHUR

Oberflächen-Kondensation mit Sicherheit vermieden wurde (Oberflächen-Kondensation ist ein Thema, das heute

mit dem Aufkommen luftdichter Gebäudehüllen wieder sehr aktuell ist!). Die Dicke der Wärmedämmung war demzufolge abhängig von Aussentemperatur, Taupunkttemperatur der Raumluft, Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs sowie innerem und äusserem Wärmeübergangskoeffizient. Für den Wohnungsbau in unserm Mittelland ergaben sich so k-Werte, die ein 32 cm dickes Backstein-Mauerwerk garantierte. Zusätzliche wärmedämmtechnische Massnahmen drängten sich noch nicht auf.

**Wirtschaftliche Dämmdicke**

Grundgedanke der wirtschaftlichen Dämmdicke ist die Minimalisierung der Gesamtkosten, die sich aus den Wärmeschutzkosten und den Wärmeverlustkosten zusammensetzen. Der Begriff der «wirtschaftlichen Isolierdicke» wurde wahrscheinlich erstmals im Jahre 1919 geprägt, und zwar vom Schweizer Heizungsingenieur M. Hottinger. Dieser gab in der deutschen Fachzeitschrift «Gesundheitsingenieur» innerhalb der umfangreichen Abhandlung über das Thema «Theoretische Betrachtungen praktischer Beispiele aus der Lüftungs- und Wärmetechnik» eine grafische Methode zur Ermittlung der «günstigsten Isolierdicke» bekannt. Dieses zeichnerische Verfahren wurde dann zwei Jahre später von M. Gerbel durch die mathematische Methode (Differentialrechnung, Bestimmung von Maxima/Minima) ergänzt.