

# **Ökobilanz des Winterdienstes in den Städten München und Nürnberg - Stadt Nürnberg -**

## **Endbericht**

**Im Auftrag der  
Stadt Nürnberg**

**16.03.2004**

### **AutorInnen:**

**Dr. Dietlinde Quack**

**Dipl. Ing. Martin Möller**

**Öko-Institut e.V. Freiburg**

**Dipl. Geogr./Hydrol. Stefan Gartiser**

**Hydrotox Labor für Ökotoxikologie  
und Gewässerschutz GmbH**

**Öko-Institut e.V.**  
**Geschäftsstelle Freiburg**  
Postfach 6226  
D-79038 Freiburg  
**Tel.** +49 (0) 7 61 – 45 295-0  
**Fax** +49 (0) 7 61 – 47 54 37

**Hausadresse**  
Binzengrün 34a  
D-79114 Freiburg  
**Tel.** +49 (0) 761 – 45 295-0  
**Fax** +49 (0) 761 – 47 54 37

**Büro Darmstadt**  
Elisabethenstraße 55 – 57  
D-64283 Darmstadt  
**Tel.** +49 (0) 6151 – 81 91 - 0  
**Fax** +49 (0) 6151 – 81 91 33

**Büro Berlin**  
Novallisstraße 10  
D-10115 Berlin  
**Tel.** +49 (0) 30 – 28 04 86-80  
**Fax** +49 (0) 30 – 28 04 86-88



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einführung - Überblick zum Bericht .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens .....</b>	<b>5</b>
3.1	Ziel der Studie und Gründe für die Durchführung .....	5
3.2	Untersuchtes System .....	5
3.3	Funktionen des betrachteten Systems und Festlegung der funktionellen Einheit .....	10
3.4	Systemgrenzen .....	11
3.5	Anforderungen an Daten und Datenqualität .....	13
3.6	Kritische Prüfung .....	14
<b>4</b>	<b>Methodisches Vorgehen und Datengrundlagen .....</b>	<b>14</b>
4.1	Sachbilanz .....	14
4.1.1	Datengrundlagen .....	14
4.1.1.1	Allgemeine Datengrundlagen .....	15
4.1.1.2	Spezifische Datengrundlagen zur Bilanzierung der Ausbringung .....	16
4.1.1.3	Spezifische Datengrundlagen zur Bilanzierung der Vor- und Nachketten .....	20
4.1.2	Allokationsverfahren .....	23
4.1.3	Modellierung der Ausbringung und der Straßenreinigung .....	24
4.1.4	Berechnungsverfahren und Bilanznetze .....	25
4.2	Wirkungsabschätzung .....	26
4.2.1	Ressourcen .....	27
4.2.2	Treibhauspotenzial, Versauerung von Ökosystemen, Photooxidantienbildung und Eutrophierung .....	28
4.2.3	Ausgewählte Aspekte der Ökotoxizität .....	33
4.3	Auswertung und Einschränkungen in der Belastbarkeit der Ergebnisse .....	35
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Auswertung .....</b>	<b>36</b>
5.1	Gesamtergebnis der beiden untersuchten Winterperioden .....	36
5.2	Analyse der Ergebnisse nach ausgewählten Datenkategorien und Prozessen .....	39
5.2.1	Ausbringung .....	39
5.2.1.1	Maschineller Winterdienst .....	40
5.2.1.2	Manueller Winterdienst .....	42
5.2.2	Streumittel .....	43
5.2.2.1	Blähton .....	43
5.2.2.2	NaCl-Steinsalz .....	44
5.2.2.3	CaCl <sub>2</sub> -Sole .....	44
5.3	Nachgeschaltete Ketten .....	45
5.3.1	Entwässerung .....	45

5.3.2	Salzbelastung Grundwasser .....	46
5.3.3	Oberflächengewässer .....	49
5.3.4	Abwasser.....	52
5.3.5	Baumvitalität.....	53
5.3.6	Entsorgung des Straßenkehrichts .....	55
5.3.7	Weitere bekannte Untersuchungen.....	56
5.3.8	Auswirkungen auf Bauwerke und Fahrzeuge.....	57
5.4	Prüfung von Optimierungspotenzialen .....	58
5.4.1	Erhöhung des Feuchtsalzanteils auf 90% .....	58
5.4.2	Ersatz von Blähton durch Splitt .....	59
5.4.3	Antransport der Auftaumittel per Bahn .....	59
5.4.4	Optimierung des Fahrzeugparks .....	60
5.4.5	Ersatz von CaCl <sub>2</sub> -Sole durch NaCl-Sole .....	60
5.4.6	Ersatz von Blähton durch Schwarzräumen bzw. Weißen Winterdienst .....	61
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>Literatur und Quellen .....</b>	<b>66</b>

**Abkürzungsverzeichnis**

µS .....	Micro-Siemens
a .....	Jahr
AOX .....	Absorbierbare organisch gebundene Halogene
AP .....	Acidification potential (Versauerungspotenzial)
ASN .....	Abfallwirtschaft und Straßenreinigungsbetrieb Nürnberg
BMU .....	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BstA .....	Bestattungsanstalt der Stadt Nürnberg
CaCl <sub>2</sub> .....	Calciumchlorid
CO <sub>2</sub> -Äq. ....	Kohlendioxid-Äquivalente
CSB .....	Chemischer Sauerstoffbedarf
d .....	Tag
DECHEMA .....	Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
EP .....	Eutrophierungspotenzial
Eth-Äq .....	Ethylen-Äquivalente
FS 15 .....	Feuchtsalz 15
FS 30 .....	Feuchtsalz 30
GJ .....	Giga Joule (10 <sup>9</sup> Joule)
GWP .....	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
KEA .....	Kumulierter Energieaufwand
Kh .....	Klinikum der Stadt Nürnberg
LAGA .....	Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LfU .....	Landesanstalt für Umweltschutz
MgCl <sub>2</sub> .....	Magnesiumchlorid
Milli-RZBP .....	Tausendstel-Ressourcenzielbelastungspunkte
ML .....	Marktamt und Landwirtschaftsbehörde der Stadt Nürnberg
NaCl .....	Natriumchlorid
oTS .....	organische Trockensubstanz
PO <sub>4</sub> -Äq .....	Phosphat-Äquivalente
POCP .....	Photooxidantienpotenzial ("Photosmog", bodennahes Ozon)
ppm .....	parts per million
SenA .....	Seniorenamt der Stadt Nürnberg
SO <sub>2</sub> -Äq .....	Schwefeldioxid-Äquivalente
TA-Siedlungsabfall .....	Technische Anleitung Siedlungsabfall
Tg .....	Tiergarten Nürnberg
TJ .....	Tera Joule (10 <sup>12</sup> Joule)
TOC .....	Total Organic Carbon (Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff)
TS .....	Trockensubstanz
UBA .....	Umweltbundesamt
UZBP .....	Umweltzielbelastungspunkte



# 1 Zusammenfassung

Im Juli 2003 wurde von den Städten München und Nürnberg gemeinsam ein Auftrag an das Öko-Institut e.V. und die Hydrotox GmbH für die Erstellung einer Ökobilanz des kommunalen Winterdienstes beider Kommunen erteilt. Die hier vorgelegte Studie bezieht sich auf den kommunalen Winterdienst der Stadt Nürnberg.

Die Studie verfolgte drei Ziele:

- Das zentrale Untersuchungsziel der hier vorgelegten Studie bestand darin, die mit dem kommunalen Winterdienst in der Stadt Nürnberg verbundenen Umweltauswirkungen auf der Grundlage einer Ökobilanz darzustellen und in geeigneter Form auszuwerten.
- Die Ökobilanz sollte sich exemplarisch auf zwei Winterperioden beziehen. Die Bilanz soll so strukturiert sein, dass direkte und indirekte Umweltauswirkungen unterschieden sowie besonders relevante Prozesse innerhalb der Systemgrenzen identifiziert werden können.
- Die Untersuchung sollte die Identifikation von umweltseitigen Optimierungsansätzen im kommunalen Winterdienst der Stadt Nürnberg ermöglichen. Nicht beabsichtigt ist es, dass in der zu erarbeitenden Ökobilanz unterschiedliche Methoden des Winterdienstes (etwa "Schwarzräumen" versus "Streusalz" versus "Granulat") verglichen werden.

Das Vorgehen erfolgte nach der Methode der Ökobilanz (vgl. die Norm ISO 14040ff). Einbezogen werden damit sowohl die Aufwendungen des Winterdienstes selbst (z.B. Ausbringung) als auch die damit verknüpften Vor- und Nachketten (z.B. Herstellung und Antransport Streumittel). Intern wurde eine kritische Prüfung vorgenommen. Die Nachketten wurden aufgrund der methodischen Situation und der Datenlage weitgehend qualitativ diskutiert.

Im Zusammenhang mit der funktionellen Einheit wurde im Projektverlauf festgelegt, als Bezugsgröße alle Aktivitäten des kommunalen Winterdienstes auf den Gebieten der Stadt Nürnberg während einer Winterperiode zu verwenden. Um weitreichendere Aussagen zu ermöglichen, wurde außerdem festgelegt, dass insgesamt zwei Winterperioden betrachtet werden: Bei den beiden ausgewählten Winterperioden handelt es sich zum einen um die Winterperiode 2002/2003, die nach Einschätzung der Stadt Nürnberg einen durchschnittlichen Winter darstellt. Mit der Winterperiode 2001/2002 wurde daneben auch ein als besonders hart eingeschätzter Winter ausgewählt.

Die Ergebnisse der erfolgten Untersuchungen legen folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen nahe:

Blähton-Winterstreu trägt mit etwa zwei Dritteln zu den Umweltbelastungen des kommunalen Winterdienstes der Stadt Nürnberg bei. Aus diesem Grund stellt die Substitution von Blähton einen sehr effektiven Ansatzpunkt für eine Optimierung dar. Für einen Ersatz von Blähton im Straßenwinterdienst spricht auch dessen geringe Widerstandsfähigkeit gegen Schlag, die nicht den Vorgaben der TL-Streu, Ausgabe, 2003, entspricht (FGSV 2003). Der Einsatz von Blähton sollte daher auf Geh- und Fahrradwege begrenzt bleiben:

- **Ersatz von Blähton durch Schwarzsäumen bzw. Weißen Winterdienst.** Dies stellt prinzipiell mit maximal zwei Drittel der Umweltbelastungen die größtmögliche Einsparung dar. Die Stadt Nürnberg sollte deshalb kritisch prüfen, welches Potenzial tatsächlich ausgeschöpft werden kann und die Substitution von Blähton durch Schwarzsäumen dann in den sinnvollen Bereichen konsequent umsetzen. Hinsichtlich der praktischen Umsetzung bestehen nach Aussagen der ASN hierbei allerdings Einschränkungen: U.a. aufgrund von Unebenheiten der Fahrbahnen und eines teilweise schlechten Straßenzustands besteht die Gefahr, dass bei einer Intensivierung der Räumung Räumrichtungen beschädigt werden. Zudem werden Einschränkungen aufgrund der rechtlichen Grundlagen gesehen.
- **Ersatz von Blähton durch Splitt.** Der Ersatz von Blähton durch Splitt bietet mit 30 bis 40 % Reduktion der Umweltbelastungen ebenfalls ein nicht unerhebliches Einsparpotenzial. Hier besteht aber – ähnlich wie für die vorhergehende Maßnahme Prüfbedarf, in welchen Bereichen Splitt aus Nutzensgesichtspunkten (Sturz- und Verletzungsgefahr) empfehlenswerter als Blähton ist (z.B. Fahrradwege). In der Vergangenheit wurde Splitt eingesetzt und aus verschiedenen Gründen (z.B. Lackschäden an Fahrzeugen), die nach Aussagen der ASN weiterhin Bestand haben, durch Blähton ersetzt.
- **Ersatz von Blähton durch Feuchtsalz.** Die dritte mögliche Maßnahme besteht darin, Blähton durch Feuchtsalz zu ersetzen, d.h. die Streusalzstrecken aufzuweiten. Da es nach wie vor Hinweise auf die Auswirkungen von Salz in der Nachkette des Winterdienstes gibt (z.B. auf Vegetation und Grundwasser), kann ein kompletter Wechsel von abstumpfenden Streumitteln auf Salz nicht empfohlen werden; vielmehr kann die Substitution durch Feuchtsalz nur eingeschränkt, z.B. für spez. Gefahrenstellen, befürwortet werden. Es wird darüber hinaus dringend davon abgeraten, entgegen der bisherigen Praxis privaten Haushalten im Rahmen ihrer Verantwortlichkeiten als Grundstücksanlieger das Streuen mit Salz zu erlauben.

Die Analyse der Daten hat gezeigt, dass der Feuchtsalzanteil im Winterdienst der Stadt Nürnberg mit 12 Masseprozent an der insgesamt ausgebrachten Salzmenge relativ gering ist. Hier besteht deshalb sicherlich noch Substitutionspotenzial. Der entscheidende Vorteil besteht dabei in der Reduktion der insgesamt ausgebrachten Salzmenge und damit in der Entlastung der Nachkette (z.B. Grundwasser, Vegetation).

Der Einfluss der Salzstreuung auf erhöhte Chloridkonzentrationen im Grundwasser ist für Nürnberg schwer nachzuweisen. Allerdings liegen auch nur lückenhafte Daten vor. Insgesamt erreicht die Belastung jedoch nicht den Chloridgrenzwert gemäß Trinkwasserverordnung (250 mg/l).

Aktuelle Untersuchungen zu Streusalzschäden auf die Vegetation fehlen. Da beim Auftreten von Baumschäden in der Regel mehrere Faktoren eine Rolle spielen (neben Streusalz u.a. auch die Baumart, das Alter, die Bodenbedingungen) ist der Streusalzeinfluss am eindeutigsten durch Chloridanalysen in den Blättern im Vergleich zu unbelasteten Straßen nachweisbar. Es wird angeregt, entsprechende Untersuchungen durchzuführen.

Dennoch ist der negative Einfluss des Streusalzes auf das Pflanzenwachstum in vielfachen Studien belegt. Bei einer undifferenzierten Erhöhung der Streusalzmenge ist daher mit zu-



nehmenden Schäden im Bereich des Straßenbegleitgrüns zu rechnen, so dass nicht empfohlen werden kann, die bisherige Strategie des differenzierten Winterdienstes zugunsten einer ausschließlichen Salzstreuung zu ändern.

Im Bereich des Grundwasserschutzes könnte sich künftig ein Zielkonflikt zwischen der Regenwasserversickerung zur Schonung der Grundwasserreserven und hydraulischen Entlastung des Kanalnetzes und Kläranlage einerseits und dem möglichen Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser andererseits ergeben. Aus Sicht der Anwender von Streusalz ist eine effiziente Straßenentwässerung wünschenswert.

Die Strategie des "differenzierten Winterdienstes" ist insgesamt geeignet, den Streusalzeinsatz auf das notwendige Maß zu begrenzen. Daher sollte die bisherige Strategie weiterverfolgt und nach Möglichkeit optimiert werden (s.o.). Eine undifferenzierte Erweiterung des Streusalznetzes kann nicht empfohlen werden, da dann mit zunehmenden Schäden im Bereich des Straßenbegleitgrüns zu rechnen ist. Es wird darüber hinaus dringend davon abgeraten, entgegen der bisherigen Praxis privaten Haushalten im Rahmen ihrer Verantwortlichkeiten als Grundstücksanlieger das Streuen mit Salz zu erlauben. Perspektivisch wäre ein Benchmarking-Ansatz interessant, der es Kommunen erlaubt, sich im Vergleich zu anderen Kommunen einzuschätzen.

## 2 Einführung - Überblick zum Bericht

Die Hydrotox GmbH und das Öko-Institut e.V. haben vor etwa einem Jahr im Auftrag des Umweltbundesamtes eine Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege durchgeführt<sup>1</sup>. In dieser Studie konnte u.a. gezeigt werden, dass nur durch eine ökobilanzielle Betrachtung, bei der auch die relevanten vor- und nachgelagerten Prozesse<sup>2</sup> einbezogen werden und über direkte Umwelteinwirkungen des Stoffeinsatzes hinausgehend auch indirekte Umweltauswirkungen einbezogen werden, eine verlässliche ökologische Bewertung erfolgen kann.

Vor diesem Hintergrund wurde bereits im Juni 2002 als "Pilotstudie" für weitergehende Untersuchungen dem Baureferat der Landeshauptstadt München ein Angebot für eine Studie vorgelegt. Darin war - vereinfacht ausgedrückt - eine Ökobilanz des Winterdienstes für eine exemplarische Winterperiode für das Gebiet der Stadt München vorgesehen. Das Vorhaben konnte allerdings im vorgesehenen Zeitraum nicht realisiert werden.

Mitte Mai 2003 sind die Städte München und Nürnberg gemeinsam an das Öko-Institut e.V. mit der Bitte herangetreten, das im Juni 2002 vorgelegten Angebot zu aktualisieren und auf den Winterdienst beider Städte zu erweitern. Es wurden dabei insbesondere auch die Synergismen berücksichtigt werden, die durch eine gleichzeitige Beauftragung und parallele Bearbeitung der (Teil-) Studien entstehen. Die Beauftragung auf der Basis des aktualisierten Angebots erfolgte im Juli 2003.

Der Endbericht für die Stadt Nürnberg wird hiermit vorgelegt.

In Kapitel 3 ist beschrieben, wie das Ziel und der Untersuchungsrahmen für die Studie festgelegt wurden. Hierzu gehört u.a. eine Darstellung des untersuchten Systems und die Festlegung, welche Funktionen und funktionelle Einheit dem untersuchten System zugrunde gelegt werden. Die Systemgrenzen werden definiert und Aussagen zur erforderlichen Datenqualität und zu einer kritischen Prüfung getroffen.

Kapitel 4 dient dazu, das methodische Vorgehen in der hier vorliegenden Studie zu den Schritten Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung darzustellen. Es wird u.a. auf die verwendeten allgemeinen und spezifischen Datengrundlagen eingegangen und beschrieben, wie die Bilanzierung des kommunalen Winterdienstes modelliert wird.

In Kapitel 5 sind die Ergebnisse der Studie dargestellt. Sie sind sowohl im Gesamtüberblick als auch differenziert nach Teilprozessen dargestellt. Auf die Optimierungspotenziale wird ebenfalls in Kapitel 5 eingegangen. Für die Nachketten erfolgt im Wesentlichen eine qualitative Diskussion.

---

<sup>1</sup> Gartiser, S.; Reuther, R.; Gensch, C.-O.; Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege, in Anlehnung an DIN EN ISO 14024. Abschlußbericht an das Umweltbundesamt. Freiburg 2002. Veröffentlicht als UBA-Texte 09/03.

<sup>2</sup> D.h. Herstellung der Streumittel, Transport und Ausbringung der Streumittel einschließlich der Bereitstellung von Treibstoffen etc., Entsorgung einschließlich Wiederaufbereitung von Streumitteln und v.a.m.

Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen finden sich in Kapitel 6; das Literaturverzeichnis ist in Kapitel 7.

### **3 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens**

Bei diesem Bestandteil einer Ökobilanz erfolgen auf der Grundlage einer expliziten Zieldefinition u.a. eine Beschreibung der untersuchten Systeme, die Festlegung der funktionellen Einheit als Vergleichsgrundlage, die Festlegung der Systemgrenzen sowie die Formulierung von Anforderungen an Art, Umfang und Qualität der erforderlichen Daten.

#### **3.1 Ziel der Studie und Gründe für die Durchführung**

Im Rahmen der durchgeführten Ökobilanz wurden folgende Ziele verfolgt:

- Das zentrale Untersuchungsziel der hier vorgelegten Studie besteht darin, die mit dem kommunalen Winterdienst in der Stadt Nürnberg verbundenen Umweltauswirkungen auf der Grundlage einer Ökobilanz darzustellen und in geeigneter Form auszuwerten.
- Die Ökobilanz wird für zwei Winterperioden durchgeführt. Die Bilanz soll so strukturiert sein, dass direkte und indirekte Umweltauswirkungen unterschieden sowie besonders relevante Prozesse innerhalb der Systemgrenzen identifiziert werden können.
- Die Untersuchung soll die Identifikation von umweltseitigen Optimierungsansätzen im kommunalen Winterdienst der Stadt Nürnberg ermöglichen. Nicht beabsichtigt ist es, dass in der zu erarbeitenden Ökobilanz unterschiedliche Methoden des Winterdienstes (etwa "Schwarzräumen" versus "Streusalz" versus "Granulat") verglichen werden.

Entsprechend der genannten Ziele liegt die Hauptanwendung der angebotenen Ökobilanz im Wesentlichen darin, die internen Planungen der für den Winterdienst zuständigen Behörden und Einrichtungen zu unterstützen. Ferner können im Bedarfsfall die Ergebnisse auch in andere Berichtssysteme (etwa kommunale Öko-Audit-Verfahren) mit einfließen. Zielgruppen der Ökobilanz sind damit neben den für den Winterdienst zuständigen Ämtern der Städte München und Nürnberg auch die interessierte (Fach-)Öffentlichkeit.

#### **3.2 Untersuchtes System**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der kommunale Winterdienst der Stadt Nürnberg untersucht.

Die Stadt Nürnberg umfasst bei einer Einwohnerzahl von 491.307 Einwohnern eine Fläche von 186,6 km<sup>2</sup>; die Einwohnerdichte liegt damit bei 2.633 Einwohner/km<sup>2</sup> <sup>3</sup>. Die Stadt Nürnberg befindet sich im Regierungsbezirk Mittelfranken. Die Höhenlage (über NN) beträgt 284 bis 407 m; der Hauptbahnhof liegt auf 309 m <sup>4</sup>. Nürnberg liegt am westlichen Rande der fränkischen Alb in einer sandigen Ebene.

---

<sup>3</sup> Quelle: [http://www.statistik.nuernberg.de/geoinf/fra\\_bez.htm](http://www.statistik.nuernberg.de/geoinf/fra_bez.htm), Stand: März 2003.

<sup>4</sup> Quelle: [http://www.statistik.nuernberg.de/geoinf/n\\_lage.htm](http://www.statistik.nuernberg.de/geoinf/n_lage.htm).

Die Gesamtlänge des kommunalen Straßennetzes beträgt 1.182,5 km, wobei Straßen in einer Länge von 32,8 km im Stadtgebiet Nürnberg hinzukommen, für die die Autobahnmeisterei bzw. das Staatliche Straßenbauamt verantwortlich zeichnen (vgl. auch Tabelle 1). Insgesamt beträgt die Straßenlänge im Stadtgebiet Nürnbergs damit 1.215,3 km.

Der kommunale Winterdienst ist in der Stadt Nürnberg folgendermaßen organisiert (siehe Abb. 1 und Tabelle 1):

Die Federführung im Winterdienst hat die ASN – Abfallwirtschaft und Stadtreinigungsbetrieb Nürnberg (früher: RF). Im Bereich des Zwangsreinigungsgebietes A wird der Winterdienst auf den Straßen und Radwegen sowie auf den Gehwegen im Zuge unbebauter städtischer Grundstücke von der ASN durchgeführt. Außerhalb des Zwangsreinigungsgebietes A ist der Winterdienst Aufgabe des Tiefbauamtes und der Verwaltungsämter Ost, Nord und Süd (VAO, VAN und VAS). Das Gartenbauamt sichert die Park- und Grünanlagen.

Auch das Marktamt und die Landwirtschaftsbehörde (ML), die Bestattungsanstalt (BstA), das Seniorenamt (SenA), der Tiergarten (Tg) und das Klinikum (Kh) führen den Winterdienst in ihrem Bereich durch. HVA bzw. alle hausverwaltenden Dienststellen (insbesondere Schulen) leisten Winterdienst im Rahmen ihrer Anliegerverpflichtung. Letztere werden nicht in die Bilanz mit einbezogen.

Die ASN ist für eine Straßenlänge von 494 km, d.h. etwa 41 % der Nürnberger Straßenlänge, verantwortlich. Dies entspricht einer Räum- und Streulänge der Fahrbahnen von ca. 1.000 km. Die Straßenreiniger räumen und streuen im Zwangsreinigungsgebiet A Fußgängerüberwege an den Straßeneinmündungen, Straßenbahnhaltestellen, Bushaltestellen und die Gehwege vor unbebauten städtischen Grundstücken. Für den Räum- und Streudienst sind Einsatzpläne vorhanden, in denen die Reihenfolge der Arbeiten genau festgelegt ist.

Tab. 1: Überblick über die für den kommunalen Winterdienst in der Stadt Nürnberg verantwortlichen Institutionen (Straßenlängen: Stand Winterperiode 2002/2003; Quelle: ASN Winterdienst Fahrbahn von 2002).

Verantwortliche Institution	Beschreibung	Straßenlänge [km]	Anteil
ASN	Nürnberg Mitte, div. Hauptverkehrsausfallstraßen	493,436	40,60%
Tiefbauamt	Übriges Stadtgebiet um das Zentrum	501,125	41,23%
VAN	Randgebiete im Norden	57,17	4,70%
VAO	Randgebiete im Osten	46,33	3,81%
VAS	Randgebiete im Süden	71,675	5,90%
Gartenbauamt	Park- und Grünanlagen	12,76	1,05%
Autobahnmeisterei	Autobahnreststücke im Stadtgebiet	1,4	0,12%
Staatl. Straßenbauamt	Straßenteilstücke	31,4	2,58%

Gesamtstraßenlänge	-	1215,296	100%
--------------------	---	----------	------

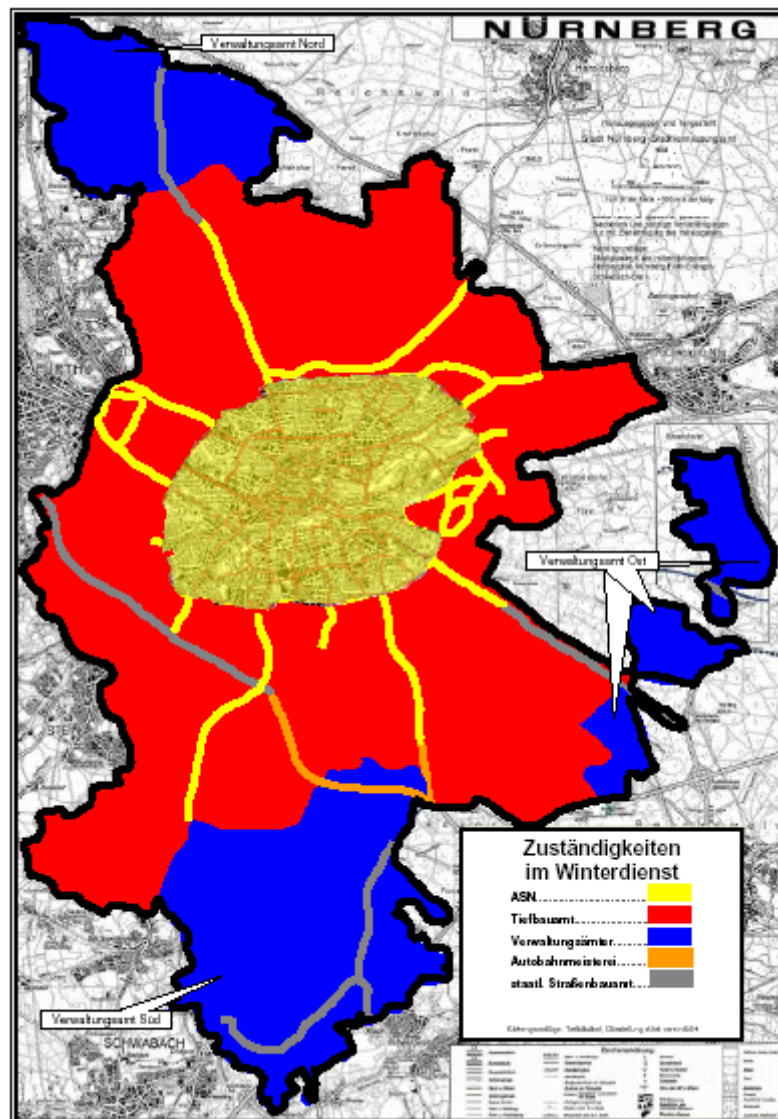


Abbildung 1: Überblick über die verschiedenen Winterdienst- und Reinigungsgebiete in der Stadt Nürnberg.

Die Praxis des Winterdienstes in der Stadt Nürnberg wird im Bürgerbrief, der nachfolgend auszugsweise dargestellt ist (Bürgerbrief für die Winterperiode 2002/2003), geschildert: Die grundsätzliche Praxis hat sich dabei gegenüber der Winterperiode 2001/2002 nicht geändert. Neu ist, dass der Einsatzleiter in besonderen Ausnahmesituationen seit 2002/2003 entscheiden kann, auch in Neben- und Wohnstraßen Salz zu verwenden. Dies war 2001/2002 so nicht möglich.

---

## **Bürgerbrief der Stadt Nürnberg für die Winterperiode 2002/2003**

---

[...]

---

### **ÖFFENTLICHE FAHRBAHNEN UND RADWEGE**

---

#### **1. Winterdienst auf Fahrbahnen**

Weil Sicherheit oberste Priorität hat, wird auf **Hauptverkehrsstraßen** mit Streusalz gegen Schnee- und Eisglätte vorgegangen. Das dient am effektivsten der Verkehrssicherheit. Wie in vielen anderen deutschen Städten wird in Nürnberg von der Stadt ein „**differenzierter Winterdienst**“ praktiziert, der auf den folgenden, kurzen Nenner gebracht werden kann:

**Streusalz so wenig wie möglich, aber so viel wie nötig.**

Das heißt im Einzelnen:

**Hauptverkehrsstraßen**, d.h. **Fahrbahnen** mit öffentlichem Personennahverkehr oder hohem Verkehrsaufkommen **und** gefährlichen Straßenabschnitten (Kreuzungen, Einmündungen) werden vorrangig vom Schnee befreit und mit Salz gestreut. Bei größeren Schneehöhen sinkt die Räumleistung erfahrungsgemäß stark ab, was dazu führt, dass auch der Verkehr auf den Hauptverkehrsstraßen stark beeinträchtigt sein kann. Das gilt auch, wenn der Räum- und Streueinsatz mit dem Einsetzen des Berufsverkehrs zusammenfällt und die Winterdienstfahrzeuge dadurch behindert werden.

In allen **anderen Straßen** wird die Räumung und Streuung grundsätzlich mit abstumpfenden Mitteln in der Reihenfolge ihrer Verkehrsbedeutung, der vorhandenen Räumkapazitäten und der örtlichen Verhältnisse vorgenommen. Fahrbahnen von Straßen mit geringer Verkehrsbedeutung, d.h. Straßen in Wohngebieten und Tempo-30-Zonen werden nicht regelmäßig gestreut. Der Winter 2001/2002 hat gezeigt, dass Situationen mit mehreren Wochen andauernden Frostperioden und einer großflächigen, anhaltenden Schneedecke auftreten können, in denen auch in Nebenstraßen mit dem Räumen und Streuen von abstumpfenden Mitteln allein keine nachhaltig befriedigenden Verhältnisse mehr hergestellt werden können. Diesen Erfahrungen hat der Umweltausschuss des Nürnberger Stadtrates mit seinem Beschluss vom 10.07.2002 Rechnung getragen und die städtischen und staatlichen Stellen im Winterdienst ermächtigt, in besonderen Ausnahmesituationen auch in Neben- und Wohnstraßen, insbesondere in verkehrsberuhigten Zonen auf der Fahrbahn und an Fußgängerüberwegen punktuell Salz zu verwenden. Die Entscheidung, ob und an welchen besonders gefährlichen Stellen in diesen Gebieten Salz eingesetzt wird, treffen die jeweiligen Einsatzleiter.

**Alle Verkehrsteilnehmer sollten sich im übrigen darauf einstellen, dass beim Auftreten von Eisglätte oder Schneefall während der Nachtzeit kein Räum- oder Streudienst stattfindet.** Während der Nachtzeit sind nach der ständigen Rechtsprechung der Gerichte weder die öffentlichen Stellen noch die Anlieger zum Räum- oder Streudienst verpflichtet.

#### **2. Winterdienst auf den Radwegen**

Bei winterlichen Wetterverhältnissen sind erfahrungsgemäß nur noch wenige Radfahrer unterwegs. Trotzdem bemühen sich die jeweils zuständigen Einrichtungen und Ämter (siehe Punkt 7), auch die Radwege zu räumen und zu streuen. Einige Radwege, die unmittelbar auf Fahrbahnen verlaufen und markiert sind, können bei größeren Schneehöhen allerdings nicht

mehr geräumt werden, weil der von der Fahrbahn weggeschobene Schnee auf ihrer Fläche abgelagert werden muss.

[...]

---

**Die Winterdienstgeschäftsanweisung ergänzt dazu:**

[...]

Der Stadtrat hat die Verwaltung beauftragt, den Tausalzeinsatz im Rahmen der gesetzlichen Verpflichtungen zu reduzieren. Als Maxime gilt, Salz so wenig wie möglich und so viel wie nötig einzusetzen, um Umweltschäden zu vermeiden.

[...]

Die Schneeräumpflicht ist stufenweise nach der Dringlichkeit auszuführen. Dazu werden Räum- und Streupläne aufgestellt, die folgende 3 Gruppen unterscheiden:

- Gruppe 1: mit Salz: Hauptverkehrsstraßen mit öffentlichem Personennahverkehr, sehr stark befahrene Straßen, gefährliche und verkehrswidrige Straßenabschnitte, ohne Salz: Fußgängerüberwege, Radwege, Fußgängerzonen
- Gruppe 2: ohne Salz: Sonstige Hauptverkehrsstraßen, Hauptverbindungsstraßen, öffentliche Parkplätze
- Gruppe 3: ohne Salz: Alle übrigen Straßen

[...]

---

Für die im Rahmen der Studie erfolgte Ökobilanzierung muss das System „kommunaler Winterdienst“ genau beschrieben werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt das System einschließlich der in der Bilanz berücksichtigten Vor- und Nachketten. Mit Vorkette sind alle Prozessschritte bis zum fertigen Streumittel am Einsatzort gemeint, z.B. die Herstellung und der Antransport von NaCl-Steinsalz, ebenso aber auch die Bereitstellung elektrischer Energie für den Dampfstrahler, der bei der Fahrzeugreinigung eingesetzt wird oder die Bereitstellung der Treibstoffe für die im Winterdienst eingesetzten Fahrzeuge. Die Nachkette umfasst den dem Winterdienst zuzurechnenden Anteil Straßenreinigung und Entsorgung Straßenkehricht (abstumpfende Streumittel). Das Vorgehen ist in Kapitel 3.1.3 genauer beschrieben. Qualitativ werden daneben aber auch die Aspekte Abwasser/Kanalisation und Beeinflussung Boden und Straßenbegleitgrün (auftauende Streumittel) betrachtet.

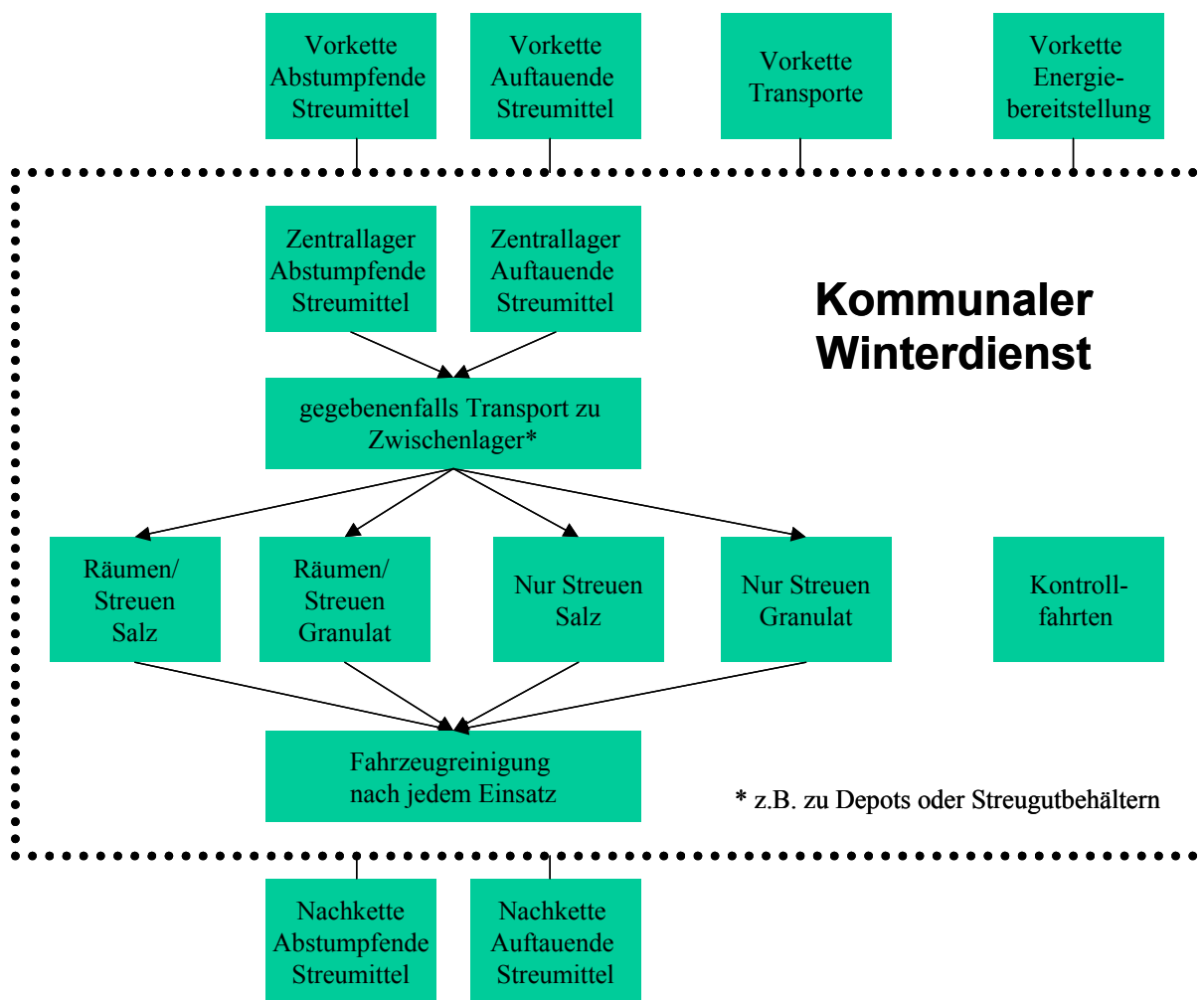


Abbildung 2: Überblick über das System kommunaler Winterdienst mit den jeweils berücksichtigten Vor- und Nachketten.

### 3.3 Funktionen des betrachteten Systems und Festlegung der funktionellen Einheit

Die Funktion des betrachteten Systems besteht darin, die Dienstleistung kommunaler Winterdienst im Stadtgebiet von Nürnberg bereitzustellen. Mit dem Winterdienst wird ein den Wetterbedingungen angepasstes, angemessenes Niveau der Verkehrssicherheit in der Winterperiode sichergestellt. Die Konkretisierung, welches Niveau erforderlich ist und wie sich der Winterdienst der Kommune von dem verantwortlicher Privatpersonen (z.B. Grundstückseigentümer, Anlieger) abgrenzt, erfolgt in den entsprechenden gesetzlichen Regelungen und Gemeindefestsetzungen (z.B. Straßenreinigungsverordnung der Stadt Nürnberg).

Im Zusammenhang mit der funktionellen Einheit wurde im Projektverlauf festgelegt, als Bezugsgröße alle Aktivitäten des kommunalen Winterdienstes auf den Gebieten der Stadt Nürnberg während einer Winterperiode zu verwenden. Um weitreichendere Aussagen zu ermöglichen, wurde außerdem festgelegt, dass insgesamt zwei Winterperioden betrachtet werden: Bei den beiden ausgewählten Winterperioden handelt es sich zum einen um die Winterperiode 2002/2003, die nach Einschätzung der Stadt Nürnberg einen durchschnitt-



lichen Winter darstellt. Mit der Winterperiode 2001/2002 wurde in Abstimmung mit der Stadt Nürnberg auch ein als besonders hart eingeschätzter Winter ausgewählt.

Tab. 2: Beschreibung der Wetterbedingungen der jeweiligen Winterperiode. Die Anzahl der Einsatztage bezieht sich auf die ASN (Quelle: Winterdienstberichte der ASN zu den Winterperioden 1999/2000 bis 2002/2003).

	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003
Anzahl Schneefalltage	44	35	28	27	20
Anzahl Tage mit Schneedecke (mehr als 1 cm)	34	31	18	33	k.A.
Anzahl Frosttage	71	80	83	92	93
Beginn Winterdienst (manuell)	k.A.	15.11.1999	12.11.2000	10.11.2001	6.11.2002
Einsatztage maschineller Winterdienst	53	40	37	46	24
Einsatztage manueller Winterdienst	k.A.	38	52	52	65

Die Festlegung der funktionellen Einheit bestimmt auch über die zu betrachtenden Referenzflüsse, z.B. die Menge ausgebrachter Streumittel. Diese sind in Kapitel 3.1.1.2 näher spezifiziert.

### 3.4 Systemgrenzen

Mit der Festlegung der Systemgrenzen wird bestimmt, welche Module in der Ökobilanz enthalten sind. Module wiederum stellen diejenigen Teile der untersuchten Systeme dar, für die zur Erstellung der Ökobilanz Daten gesammelt werden.

Grundsätzlich besteht bei der Durchführung von Ökobilanzen der Anspruch, dass der gesamte Lebensweg der untersuchten Systeme von der Rohstoffgewinnung bis zur Behandlung von Abfällen bilanziert wird. Aus Gründen der praktischen Durchführbarkeit sowie aus Zeit- und Ressourcengründen müssen jedoch Vereinfachungen getroffen und Systemgrenzen bestimmt werden. Nachstehend wird das konkrete Vorgehen in dieser Studie im Einzelnen dargestellt und begründet:

- Grundsätzlich einbezogen wurden bei der vorliegenden Studie die Herstellung der ausgebrachten Streumittel (NaCl-Steinsalz, NaCl-Sole; CaCl<sub>2</sub>-Sole und Blähton) und deren Antransport nach Nürnberg einschließlich entsprechender Vorketten (z.B. Treibstoffbereitstellung, Energiebereitstellung).
- In die Bilanzierung ist ebenfalls der eigentliche kommunale Winterdienst der Stadt Nürnberg eingeflossen. Dieser beinhaltet die Aufwendungen der Ausbringung, der Fahrzeugreinigung und der dem Winterdienst zuzurechnenden Straßenreinigung einschließlich entsprechender Vorketten (z.B. Treibstoffbereitstellung, Energiebereitstellung). Die Ausbringung ist unterteilt in den manuellen Winterdienst und den maschinellen Winterdienst. Es lagen nur detaillierte Daten zur Ausbringung von der

ASN vor. Aufgrund der vorliegenden Datensituation wurde deshalb festgelegt, die Daten zum kommunalen Winterdienst der ASN auf der Basis der jeweils zu betreuenden Straßenlängen auf die übrigen, für den Winterdienst verantwortlichen Institutionen hochzuskalieren.

- Nur unzureichend erfasst sind Transportvorgänge zur Befüllung der Streugutkästen im Stadtgebiet. Sowohl der manuelle Winterdienst als auch Privatpersonen in der Stadt Nürnberg entnehmen Streugut aus diesen Behältern.
- Der von Privatpersonen durchgeführte Winterdienst (Gehwege, Privatflächen etc.) wird nicht erfasst, da die hierzu erforderlichen Eingangsdaten nur unter einem vergleichsweise hohen Zeitaufwand erfasst werden könnten. Bei der Modellierung wurden aber die Schnittstellen für eine spätere Erhebung und Mitbilanzierung dieser Aktivitäten vorgesehen. Aus den Streugutbehältern in der Stadt Nürnberg kann auch durch Privatpersonen Streumittel entnommen werden. Aufgrund der praktisch unkontrollierten Entnahme konnte diesbezüglich keine Differenzierung vorgenommen werden; diese Streumittelmengen wurden dementsprechend in der Bilanz dem kommunalen Winterdienst zugerechnet.
- Die Entsorgung des dem Winterdienst zuzurechnenden Straßenkehrrechts wurde in die Bilanz einbezogen. Berücksichtigt wurde dabei das Einsammeln und die Verbringung auf eine Deponie. Qualitativ eingeflossen sind darüber hinaus auch Überlegungen zu den Nachketten im Bereich Abwasser/Kanalisation sowie Emissionen in die straßennahe Vegetation.
- Auswirkungen an Bauwerken oder Fahrzeugen wurden nicht bilanziert. Im Rahmen einer kurzen Sensitivätsbetrachtung unter Einbezug der einschlägigen Literatur wurde jedoch der Frage nachgegangen, ob dieser Punkt ökobilanziell bedeutsam ist und in späteren Studien berücksichtigt werden sollte (vgl. Kapitel 4.3.7).
- Edukte sowie Hilfs- und Betriebsstoffe entlang der betrachteten Prozessketten wurden im Grundsatz nur dann berücksichtigt, sofern sie bezogen auf den Output des betreffenden Bilanzmoduls einen gewichtsmäßigen Anteil von mehr als 1 % einnahmen. Um dabei mögliche Unsymmetrien der erstellten Sachbilanzen zu vermeiden, wurde als zweite Abschneideregeln festgelegt, dass die Summe der nicht berücksichtigten Edukte, bezogen auf den jeweiligen erwünschten Output des betreffenden Prozesses, nicht größer als 5 % sein darf. Damit wurden auch Edukte mit einem jeweiligen Anteil von weniger als 1 % einbezogen, bis die Summengrenze von 5 % unterschritten war.
- Das sogenannte „Capital Equipment“ (z.B. die Umweltbelastungen aus der Herstellung von Fahrzeugen) wurde generell nicht erfasst; dies entspricht der gängigen Praxis bei vielen bislang durchgeführten Ökobilanzen. Die Vernachlässigung ist beim Vergleich von ähnlichen Systemen in der Regel unkritisch.

### 3.5 Anforderungen an Daten und Datenqualität

Mit den Anforderungen an Daten und Datenqualität werden in allgemeiner Form die Merkmale der Daten festgelegt, die für die Durchführung der Ökobilanz benötigt werden. Nachstehend werden die in dieser Studie zugrunde gelegten Anforderungen zusammenfassend dargestellt:

#### **Zeitbezogener Erfassungsbereich**

In dieser Studie sollten die einbezogenen Daten zu Vor- und Nachketten den aktuellen Stand der Technik sowie die derzeitigen energie- und abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen abbilden. Bezüglich der spezifischen Daten zum kommunalen Winterdienst (z.B. Streumittelmengen, Aufwendungen der Ausbringung) wurden Daten der Winterperioden 2001/2002 und der Winterperiode 2002/2003 berücksichtigt. Es handelt sich dabei um einen durchschnittlichen Winter (2002/2003) und um einen überdurchschnittlichen Winter (2001/2002).

#### **Geografischer Erfassungsbereich**

Für die Energiebereitstellung sowie Herstellungs- und Entsorgungs- und Verwertungsprozesse wurden deutsche und mitteleuropäische Daten zugrunde gelegt. Die spezifischen Daten des kommunalen Winterdienstes (z.B. Streumittelmengen, Aufwendungen der Ausbringung) beziehen sich auf das Stadtgebiet von Nürnberg. Für die Antransporte der Streumittel wurden die spezifischen Lieferantenstrukturen der Stadt Nürnberg berücksichtigt. Teilweise (z.B. Steinsalzgewinnung) gilt dies auch für die Herstellung der Streumittel.

#### **Technologischer Erfassungsbereich**

Es wurden repräsentative Daten aktuellen Datums verwendet, die den vorhandenen technologischen Stand darstellen. Daneben wurde der in den betrachteten Winterperioden jeweils vorhandene Standard (z.B. hinsichtlich Abgaswerten und Euro-Norm) der bei der Stadt Nürnberg im Winterdienst befindlichen Fahrzeuge berücksichtigt.

#### **Datenkategorien**

Grundsätzlich wurden in dieser Studie ausschließlich stoffliche Flussgrößen sowie energetische Inputgrößen quantitativ erfasst und bilanziert, d.h. berücksichtigt wurden

- der Verbrauch an energetischen Ressourcen und
- der Verbrauch an nicht-energetischen Ressourcen und Wasser,
- atmosphärische Emissionen,
- Abwasseremissionen und
- Abfälle und Reststoffe.

Diese Vorgehensweise entspricht dem derzeitigen Praxisstand bei der Durchführung von Ökobilanzen.

### 3.6 Kritische Prüfung

DIN EN ISO 14040 sieht für Ökobilanzen, bei denen Vergleiche von Systemen vorgenommen werden und Aussagen hieraus zur Veröffentlichung vorgesehen sind, verbindlich eine sogenannte „Kritische Prüfung“ (in Fachkreisen wird hierfür überwiegend der englischsprachige Ausdruck „Critical Review“ verwandt) vor. Damit sollten insbesondere die vor einigen Jahren zu verzeichnenden Trends unterbunden werden, auf der Grundlage von nicht abgesicherten Ökobilanzen werbewirksame Aussagen über Umweltvorteile von Produkten zu veröffentlichen. Nach den Anforderungen der Norm müssen Ökobilanzen mit zu veröffentlichenden vergleichenden Aussagen verbindlich geprüft werden; dabei ist (von drei möglichen) das weitestgehende und aufwendigste Prüfverfahren anzuwenden<sup>5</sup>.

Da im Rahmen dieser Studie keine vergleichende Analyse vorgenommen wurde, ist ein externes kritisches Review nicht verbindlich vorgeschrieben. Allerdings wurde eine interne Prüfung im Hinblick auf das methodische Vorgehen und die verwendeten Daten sowie das Datenmanagement durch Carl-Otto Gensch, Koordinator des Bereichs Produkte & Stoffströme am Öko-Institut durchgeführt.

## 4 Methodisches Vorgehen und Datengrundlagen

### 4.1 Sachbilanz

#### 4.1.1 Datengrundlagen

Grundsätzlich kann bei den Datengrundlagen einer Ökobilanz zwischen allgemeinen und spezifisch ermittelten Daten unterschieden werden: Unter allgemeinen Daten werden Mittelwerte zum Energie- und Rohstoffverbrauch und zu Emissionen verstanden, das heißt Zahlenwerte, die den mittleren Stand der Technik eines bestimmten Produktionsprozesses repräsentieren. Spezifisch ermittelte Daten beschreiben hingegen die Verhältnisse an einem bestimmten Produktionsstandort. Je nach dem realisierten Stand der Technik (Effizienz von Schadstoffabscheidung oder ähnlichem) können spezifisch ermittelte Daten erheblich (nach oben und unten) von allgemeinen Daten abweichen.

Bei der hier durchzuführenden orientierenden Ökobilanz wurden sowohl allgemeine als auch spezifisch ermittelte Daten zugrunde gelegt. Das konkrete Vorgehen wird in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

---

<sup>5</sup> Dieses ist dadurch charakterisiert, dass vom Auftraggeber der Ökobilanz ein externer, unabhängiger Sachverständiger ausgewählt wird, der als Vorsitzender eines Prüfungsausschusses wirkt. Der Vorsitzende wählt auf der Grundlage des Ziels, des Untersuchungsrahmens und des für die kritische Begleitung zur Verfügung stehenden finanziellen Rahmens weitere, unabhängige Sachverständige aus.

#### 4.1.1.1 Allgemeine Datengrundlagen

Für die Bereitstellung von Rohstoffen und die Herstellung von Grundstoffen, für die Bilanzierung der Energiebereitstellung und Transportleistungen sowie für die Abfallbehandlung wurden allgemeine Daten aus Verbandsveröffentlichungen, Literaturangaben oder Datenbanken herangezogen. Hier wäre eine Erhebung spezifischer Daten, abgesehen vom damit verbundenen Aufwand, kaum sinnvoll, da diese Prozesse aufgrund der komplexen und verzweigten Produktionsstruktur nicht einzelnen Unternehmen zugeordnet werden können und die Abnehmer-/Lieferantenbeziehungen auf diesen Stufen häufig wechseln.

**Prozesse zur Energiebereitstellung** wurden auf der Basis vorhandener Bilanzmodule der Ökobilanz-Software umberto 4.1 (2003) berechnet (vgl. Tabelle 3). Diese Module basieren wiederum auf anerkannten Grundlegendaten aus Fritsche et al. (2002) und Frischknecht et al. (1996).

Tab. 3: Datengrundlagen der Sachbilanz: allgemeine Daten zur Energiebereitstellung zu Transporten und Herstellungsprozessen.

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Energiebereitstellung	Vorkette Diesel	umberto 4.1 2003	Bereitstellung von Diesel für Transportprozesse
	Vorkette Benzin	umberto 4.1 2003	Bereitstellung von Benzin für Transportprozesse
	Stromnetz BRD	umberto 4.1 2003	Durchschnittsdaten zur Strombereitstellung in Deutschland
Transporte	LKW, diverse Größenklassen	umberto 4.1 2003	Parametrisiertes Datenmodul zur Berechnung von Treibstoffverbrauch und Emissionen in Abhängigkeit von spezifischen Rahmenparametern

**Transportprozesse**, die in den Vorketten anfallen (z.B. Transport des Streusalzes vom Hersteller zum Lager), wurden auf der Grundlage von Datenmodulen der Ökobilanz-Software umberto 4.1 berechnet. Es handelt sich dabei um funktionsdefinierte Module, die den Treibstoffverbrauch sowie die Abgasemissionen in Abhängigkeit transportspezifischer Rahmenparameter abbilden. Für die Modellierung wurden Verbrauchs- und Emissionsfaktoren für LKW in der Bundesrepublik Deutschland verwendet (Hassel et al. 1995). Es wurde von einer Bestands- bzw. Fahrleistungsgewichtung zum Bezugsjahr 1990 ausgegangen. Als Straßenkategorien werden drei typische Fahrsituationen berücksichtigt:

- Autobahn (Bundesautobahn mit 83,6 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit);
- Landstraße (zweistreifige Außerortsstraße mit 64,7 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit);
- Innerorts (Straßen mit großen Knotenabständen und 27,3 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit).

Darüber hinaus werden unterschiedliche Typklassen an LKW unterschieden (vgl. nachstehende Tabelle).

Tab. 4: Berücksichtigte Typklassen an LKW zur Modellierung von Transportvorgängen.

Typ	Gewichtsklasse	maximale Zuladung
1	LKW 3,5-7,5 t	3,75 t
2	Solo-LKW 14-20 t	10,5 t
3	Solo-LKW >20 t	15,3 t
4	LKW/Sattel-Zug <32 t	20,5 t
5	LKW/Sattel-Zug >32 t	28 t

In der folgenden Tabelle sind die Datengrundlagen für die Vorkettenprodukte mit den entsprechenden Quellenangaben zusammenfassend aufgeführt.

Tab. 5: Datengrundlagen der Sachbilanz (allgemeine Daten): Vorkettenprodukte.

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Anorganische Grundstoffe	Salpetersäure	umberto 4.1 2003	Vorkette für die Herstellung von Steinsalz (Sprengstoff)
	Ammoniak	umberto 4.1 2003	Vorkette für die Herstellung von Steinsalz (Sprengstoff)
	Calciumchlorid	GaBi 3 v2	Calciumchlorid entsteht als Kuppelprodukt im Solvay-Verfahren (Soda-Herstellung)
Organische Grundstoffe und Zwischenprodukte	Heizöl S	umberto 4.1 2003	Vorkette für die Herstellung von Steinsalz (Sprengstoff)
	Schmieröl	GaBi 3 v2	

#### 4.1.1.2 Spezifische Datengrundlagen zur Bilanzierung der Ausbringung

Aufgrund der Datenlage wurde festgelegt, dass der kommunale Winterdienst (Räumen/Streuen, Kontrollfahrten etc.) mit Ausnahme der ausgebrachten Streumittelmengen anhand der Daten von der ASN modelliert werden soll. Dies bedeutet, dass der von der ASN durchgeführte maschinelle Winterdienst für bestimmte Stadtteilgebiete anhand der Straßenlängen auf das gesamte Stadtgebiet von Nürnberg hochskaliert werden. Spezifische Daten zu den jeweils von allen beteiligten Institutionen (ASN, Verwaltungsämter, Tiefbauamt, Gartenbauamt, Staatl. Straßenbauamt) ausgebrachten Streumittelmengen lagen hingegen vor und konnten entsprechend berücksichtigt werden.

Für die Bilanzierung der Ausbringung an sich - zu den Streumittelmengen und zur Fahrzeugreinigung siehe im Text weiter unten – wurden die durch die ASN in Form einer Excel-Datei zur Verfügung gestellten spezifischen Daten zum maschinellen und manuellen Winterdienst verwendet. Die Daten sind sehr detailliert und geben einen Überblick über die von einzelnen Fahrzeugen zurückgelegten Kilometer sowie den damit verbundenen Treibstoff- und Ölverbräuchen. Auf eine umfassende Darstellung dieser Daten wird im Rahmen des Berichts verzichtet. Erfasst sind Räum- und Streueinsätze sowie Kontrollfahrten. Die Modellierung der

Ausbringung, d.h. die Kombination der spezifischen mit allgemeinen Daten zu Transportvorgängen und den damit verbundenen Emissionen, ist in Kapitel 3.1.3 ausführlich dargestellt.

**Maschineller Winterdienst / Manueller Winterdienst / Fahrzeugflotte**

Es werden sowohl Wechselstreueinrichtungen als auch – auf umgebauten Müllfahrzeugen – fest installierte Streueinrichtungen verwendet. Alle Streueinrichtungen sind für Feuchtsalzausbringung eingerichtet (Behälter für trockenes Streugut, Soletank und Zuleitung zum Streuteller) und können wahlweise für Salz oder Blähton eingesetzt werden. Es gibt keine reinen Schneeräumfahrzeuge, sondern nur eine Kombination von Pflug und Streueinrichtung.



Abb. 3: Umgebautes Müllfahrzeug mit fest installierter Feuchtsalzstreueinrichtung und Pflug.



Abb. 4: Wechselstreueinrichtung für Feuchtsalz.

Es werden keine Spezialtechnologien wie Temperatursensoren an den Fahrzeugen, Glättemelder oder Spezialasphalt eingesetzt.

Seit 2002/2003 wird die Straßenwettervorhersage über MC Wetter, Berlin (Ansprechpartner Herr Schulze) abgefragt; ergänzend dazu werden auch Angaben anderer Wetterdienste aus dem Internet verwendet; davor wurde der Dienst MeteoFax verwendet.

**Ausgebrachte Streumittelmengen.** Die ausgebrachten Streumittelmengen wurden anhand der Angaben von ASN für alle beteiligten Institutionen ermittelt (siehe Tabelle 6). Ergänzend kann hier angemerkt werden, dass der Feuchtsalzanteil in der Winterperiode 2001/2002 bei 752,6 t und in der Winterperiode 2002/2003 bei 556,1 t lag. Dies entspricht in beiden Jahren nur 12 % der insgesamt ausgebrachten Salzmenge. Der Gesamtverbrauch setzt sich einerseits aus den Direktlieferungen der Streumittelhersteller an die einzelnen Institutionen als auch aus den Entnahmen aus dem zentralen Lager der ASN zusammen.



Tab. 6: Überblick über die ausgebrachten Mengen an Streumitteln in den Winterperioden 2001/2002 und 2002/2003.

	Winterperiode 2002/2003			Winterperiode 2001/2002		
Angaben in Tonnen	NaCl	CaCl <sub>2</sub> -Sole	Blähton	NaCl	CaCl <sub>2</sub> -Sole	Blähton
<b>Direktlieferung</b>						
VAN	52		10,45			
VAS	194,7	10,02	82,5	145,85	6,78	112,2
VAO	203	14	120	255	15	110
Tiefbauamt und Verwaltungsämter (Angabe ASN außer CaCl <sub>2</sub> )	1.738,11	41,31	1.270,50	2.261,49	88,18	1.188
d.h. Tiefbauamt allein	1.288,41	17,29	1.057,55	1.860,64	66,40	965,80
<b>Entnahme aus ASN-Lager</b>						
Tiefbauamt	163,75		62,43	186,4		67,65
Gartenbauamt	11,25		92,13	4,4		178,48
VAN			10,45	1,3		30,53
ASN	1971,4	102,19	1.241	2996,5	116,76	1440,19
<b>Staatliche Stellen</b>						
Straßenbauamt				181,81		
Autobahnmeisterei Fischbach						
<b>Gesamtsumme</b>	<b>4.334,21</b>	<b>167,52</b>	<b>2.889,46</b>	<b>6.032,75</b>	<b>226,72</b>	<b>3.127,05</b>

**Fahrzeugreinigung.** Die Fahrzeuge werden nach jedem Winterdiensteinsatz mit dem Dampfstrahler gereinigt. Die damit verbundenen Energie- und Wasserverbräuche werden nicht separat erfasst, können also nur anhand der üblichen Praxis, der Anzahl Winterdiensteinsätze sowie den Gerätespezifikationen des Dampfstrahlers abgeschätzt werden. Diese Abschätzung erfolgte durch die Stadt Nürnberg. Die zuzurechnenden Verbräuche sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tab. 7: Spezifische Daten für die Fahrzeugreinigung.

WP	Anzahl Fzg.	Anzahl <sup>1</sup> Reinigungen	KWh	Liter/h	Reinigungszeit [h]	Verbrauch <sup>2</sup> KWh	Verbrauch <sup>2</sup> m³ Frischwasser
<b>Maschineller Winterdienst</b>							
2001/02	23	52	2	240	0,125	299,00	35,88
2002/03	23	65	2	240	0,125	373,75	44,85
<b>Manueller Winterdienst</b>							
2001/02	17	30	51	1000	0,167	4335,00	85,17
2002/03	17	20	51	1000	0,167	2890,00	56,78

<sup>1</sup> Anzahl der Reinigungen entspricht nicht der Anzahl der Einsätze, da bei Temperaturen unter -5°C keine Fahrzeuge gewaschen werden.

<sup>2</sup> Diese Zahlen sind Schätzungen da nicht bekannt ist, ob bei jedem Einsatz alle Fahrzeuge beteiligt bzw. gereinigt wurden.

#### 4.1.1.3 Spezifische Datengrundlagen zur Bilanzierung der Vor- und Nachketten

Für die Herstellung der eingesetzten Streumittel wurden – abgesehen von CaCl<sub>2</sub>-Sole – jeweils herstellerspezifische Daten verwendet.

**NaCl.** Das als Auftausalz eingesetzte NaCl-Steinsalz wird bergmännisch gewonnen und anschließend zerkleinert. Für die dafür eingesetzte Energie sowie Hilfs- und Betriebsstoffe wie Sprengstoff etc. standen Herstellerangaben des Lieferanten der entsprechenden Winterperioden zur Verfügung. Die im Auftausalz zusätzlich verwendeten Hilfsstoffe (z.B. Anti-backmittel, Farbstoffe etc.) wurden in der Bilanzierung vernachlässigt, da sie jeweils weniger als 2 Gewichtsprozent der Gesamtmasse ausmachen<sup>6</sup>. Es wird kein Siedesalz verwendet.



Abb. 5: NaCl-Steinsalz.

<sup>6</sup> W-Stein-Auftausalz, super, K 0-5. Chem. Analyse: 98% NaCl; 0,4% CaSO<sub>4</sub>; 1,6% wasserunlöslich; 0,001% Basacidrot\* ; <200 ppm Antibackmittel (Fe(CN)<sub>6</sub>); 0,2% Feuchtigkeit; Schüttdichte: ca. 1,2t/m<sup>3</sup>; Korngröße: zwischen 0,16 und 5 mm.

**Blähton.** Der Einsatzbereich von Blähton liegt vor allem im Baubereich als Leichtzuschlag für Beton und Mörtel sowie als Schüttgut (Dämmstoff). In geringeren Mengen wird Blähton auch als Winterstreu eingesetzt. Der als Winterstreu eingesetzte Blähton wird als Überkorn aus dem normalen Produktionsprozess für Blähton ausgesondert und anschließend gebrochen (mittlere Dichte: 0,55t/m<sup>3</sup>). Es standen repräsentative Durchschnittswerte zur Blähtonherstellung von insgesamt 7 Werken eines Unternehmens zur Verfügung. Außerdem war der Energiebedarf für den Brechprozess bekannt.



Abb. 6: Blähton-Winterstreu.

Die **Transportwege aller Streumittel** wurden ebenfalls entsprechend der tatsächlichen Situation in der Berechnung berücksichtigt. Die Anfahrtswege sowie die eingesetzten Transportmittel sind in Tabelle 8 und 9 dargestellt.

Tab. 8: Überblick über die Transportwege und Transportmittel für die verwendeten Streumittel für die Winterperiode 2001/2002.

Winterperiode 2001/2002	NaCl (Steinsalz)	CaCl <sub>2</sub> -Sole		Blähton
Anteil	100 %	43,75 %	56,25 %	100 %
Transportweg, einfach	Ø 182 km	117 km	371 km	39 km
Transportmittel	LKW-Silo mit Druckentladung ca. 26 t Nutzlast und LKW-Kipperzug ca. 26 t Nutzlast	LKW-Tankzug ca. 26 t Nutzlast	LKW-Tankzug ca. 26 t Nutzlast	LKW-Silo mit Druckentladung ca. 22 t Nutzlast und LKW-Kipperzug ca. 22 t Nutzlast

Tab. 9: Überblick über die Transportwege und Transportmittel für die verwendeten Streumittel für die Winterperiode 2002/2003.

Winterperiode 2002/2003	NaCl (Steinsalz)	CaCl <sub>2</sub> -Sole	Blähton
Anteil	100 %	100 %	100 %
Transportweg, einfach	Ø 183 km	371 km	39 km
Transportmittel	LKW-Silo mit Druckentladung ca. 26 t Nutzlast und LKW-Kipperzug ca. 26 t Nutzlast	LKW-Tankzug ca. 26 t Nutzlast	LKW-Silo mit Druckentladung ca. 22 t Nutzlast und LKW-Kipperzug ca. 22 t Nutzlast

**Straßenreinigung.** Da die ausgebrachten abstumpfenden Streumittel – in diesem Fall Blähton – zu einem bestimmten Anteil während und nach dem Winter durch die Straßenreinigung entfernt und als Straßenkehricht entsorgt werden müssen, war es erforderlich hier eine Abschätzung über den dem Winterdienst zuzurechnenden Aufwand zu treffen. In Abstimmung mit der Stadt Nürnberg wurde festgelegt, dass 50 % des ausgebrachten Blähtons durch die Straßenreinigung erfasst wird und als Straßenkehricht anfällt. Die übrigen 50 % werden in die Umgebung verdriftet, als Sand vermahlen und verweht oder in die Kanalisation geschwemmt. Der Kehraufwand wurde als einmaliges Abfahren des Nürnberger Straßennetzes mit einem durchschnittlichen Fahrzeug des maschinellen Winterdienstes kombiniert mit einem einmaligen Abfahren der Gehsteige mit einem durchschnittlichen Fahrzeug des manuellen Winterdienstes modelliert. In Kapitel 4.1.3 wird näher auf die Modellierung eingegangen.

#### **Straßenkehrichtdeponie**

Der Straßenkehricht von Nürnberg wird auf der Deponie Süd, die innerhalb des Stadtgebietes liegt, deponiert. Der zusätzliche Aufwand für den Transport zur Deponie kann daher vernachlässigt werden. Der Verbrauch von Deponieraum konnte ökobilanziell nicht einbezogen werden.

#### **Abwasser, Kanalisation und Grundwasser**

Besondere Schäden der Kanalisation durch den Streustoffeinsatz sind nicht bekannt. Der Einfluss der Streusalzanwendung auf das Grundwasser kann nur qualitativ beschrieben (vgl. Kapitel 4.2.4 und 5.3) und nicht in die Ökobilanz einbezogen werden.

#### **Boden- und Straßenbegleitgrün**

Auch der Einfluss auf die Vegetation kann nur qualitativ beschrieben werden (vgl. Kapitel 4.2.4 und 5.3).

#### 4.1.2 Allokationsverfahren

Unter Allokation werden bei der Durchführung von Ökobilanzen Zuordnungsverfahren verstanden, die dann erforderlich sind, wenn bei den betrachteten Systemen mehrere verwertbare Produkte erzeugt werden bzw. wenn in betrachtete Teilprozesse Stoff- und Energieströme von anderen, nicht betrachteten Systemen einfließen. Es wurde geprüft, inwiefern die durch die Vergrößerung des Systems eine Allokation vermieden werden könnte. In der vorliegenden Studie wurde wie folgt vorgegangen:

- **Literaturdaten.** Bei einigen der aus anderen Studien übernommenen Datensätze sind bereits Allokationen vorgenommen worden. Diese werden hier nicht explizit aufgeführt, sondern können den betreffenden Quellen entnommen werden (z.B. umberto 4.1).
- **Herstellung Blähton-Winterstreu:** Blähton-Winterstreu stellt neben Leichtzuschlag, Schüttungen und Sand eines der Koppelprodukte der Blähtonherstellung dar. Da es aus dem Überkorn der Blähtonherstellung gewonnen wird, wurde im Rahmen der Studie überprüft, inwiefern es sich bei dem als Winterstreu eingesetzten Blähton um ein Produkt handelt, das i.d.R. als Abfall ohne bzw. mit nur geringem wirtschaftlichen Wert anzusehen ist. Vor diesem Hintergrund wurde im Projektverlauf überprüft, ob eine Allokation der Umweltbelastungen zu den verschiedenen Produkten des Herstellungsprozesses nach ökonomischen Kriterien erfolgen sollte. Zugrunde gelegt wurden die durchschnittlichen Beschaffungskosten der ASN für Blähton-Winterstreu der beiden Winterperioden. 2001/2002 waren dies 80,16 €/t und 2002/2003 87,44 €/t. Die Marktpreise für als Baustoff eingesetzten Blähton, z.B. als Schüttung oder Leichtzuschlag lagen in Deutschland zwischen 140 und 190 €/m<sup>3</sup> <sup>7</sup>, dies entspricht 45,50 bis 61,75 €/t bei einer Dichte von ca. 0,325 t/m<sup>3</sup>. In der Schweiz konnten Preise von 97 €/m<sup>3</sup> <sup>8</sup> und in Tschechien von 35 €/m<sup>3</sup> <sup>9</sup> recherchiert werden. Die ermittelten Daten zu Preisen von Blähton-Winterstreu und Blähton, das als Baustoff eingesetzt wird, zeigten insgesamt keine grundsätzlichen Unterschiede, so dass eine Allokation der Umweltbelastungen allein auf der Basis der Masse erfolgte.
- **Herstellung CaCl<sub>2</sub>-Sole:** Bei CaCl<sub>2</sub>-Sole handelt es sich um ein Koppelprodukt der Soda-Herstellung. Allerdings wird die im Prozess entstehende CaCl<sub>2</sub>-Sole in der Regel von den Sodaherstellern nicht verwendet, sondern mit dem Abwasser abgeführt. Eine Recherche der Marktpreise ergab in diesem Fall, dass für Soda 4 €/kg gerechnet werden müssen gegenüber 0,7 €/kg für CaCl<sub>2</sub> (umgerechnet von CaCl<sub>2</sub>-Sole auf reinen Feststoff). Es ergibt sich hier also für den Feststoff CaCl<sub>2</sub> ein Verhältnis von 0,7 : 4, welches bedeutet, dass 15 % der Umweltbelastungen dem im Solvay-Prozess entstehenden CaCl<sub>2</sub> zugeschrieben wird und 85 % dem entstehenden Soda.

<sup>7</sup> [http://www.ift.uni-karlsruhe.de/BuP/download/Semesterarbeit\\_Daemmstoffe.pdf](http://www.ift.uni-karlsruhe.de/BuP/download/Semesterarbeit_Daemmstoffe.pdf).

<sup>8</sup> [http://www.holcim.com/Upload/CH/Publications/Preisliste\\_03\\_Birsfelden.pdf](http://www.holcim.com/Upload/CH/Publications/Preisliste_03_Birsfelden.pdf).

<sup>9</sup> [http://www.sirhofman.cz/files/cerniky/cernik\\_lkk.de.xls](http://www.sirhofman.cz/files/cerniky/cernik_lkk.de.xls).

- **Straßenreinigung:** Die ausgebrachten abstumpfenden Streumittel – in diesem Fall Blähton-Winterstreu – müssen, soweit sie nicht in Kanalisation und Straßenbegleitgrün verdriftet werden, über die Straßenreinigung entfernt und entsorgt werden. Es kann keine eindeutige Zuordnung von Aufwendungen der Straßenreinigung zum Winterdienst getroffen werden, da auch den Winter über die Straßenreinigung durchgeführt wird, die neben Winterstreu den üblichen Straßenkehrsicht aufnimmt. Entsprechend musste eine Abschätzung erfolgen. In Abstimmung mit der Stadt Nürnberg wurde festgelegt, dass 50 % des ausgebrachten Blähtons auf der Straße verbleibt, von der Straßenreinigung aufgenommen und mit dem Straßenkehrsicht entsorgt wird. Für die Straßenreinigung selbst wurde definiert, dass das einmalige Abfahren des gesamten Straßen- und Gehwegernetzes der Stadt Nürnberg mit einem durchschnittlichen Fahrzeug des maschinellen resp. des manuellen Winterdienstes dem Winterdienst zugerechnet wird.
- **Private Entnahme aus den Streugutbehältern im Stadtgebiet.** Privatpersonen dürfen offiziell aus den in der Stadt Nürnberg aufgestellten Streugutbehältern Streugut entnehmen und für den privaten Winterdienst verwenden. Diese Entnahme an Streugut wird nicht als solche erfasst und fließt damit in den Gesamtverbrauch Streumittel der Stadt Nürnberg ein. Sie wird also fälschlicherweise dem kommunalen Winterdienst zugerechnet. Aufgrund der offiziellen Regelung in der Stadt Nürnberg, dass Privatpersonen im Rahmen ihrer Verantwortlichkeit als Grundstücksanlieger kein Salz streuen dürfen<sup>10</sup>, betrifft dies – zumindest theoretisch - nur die Blähton-Winterstreu.

#### 4.1.3 Modellierung der Ausbringung und der Straßenreinigung

Für die Modellierung der Ausbringung und der Straßenreinigung wurde in der Ökobilanz-Software umberto 4.1 für jedes Fahrzeug der ASN ein spezifisches Bilanzmodul angelegt.

Die Inventare für Diesel- und Motorenölverbrauch stammen dabei aus gemessenen Daten, die von der ASN in Form einer Excel-Liste zur Verfügung gestellt wurden. Die Emissionen der Fahrzeuge hinsichtlich CO<sub>2</sub> sowie der klassischen Luftschadstoffe (z.B. SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>) wurden hingegen mit generischen Daten für die jeweilige Gewichtsklasse und Euro-Norm des Fahrzeugs parametrisiert. Dazu kamen Emissionsfaktoren zum Einsatz, wie sie im „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA, Version 1.2)“ des Schweizerischen Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) zugrunde gelegt sind.

Aufgrund der unzureichenden Datenbasis bei den anderen Organisationseinheiten des Nürnberger Winterdienstes (z.B. Tiefbauamt, Verwaltungsämter) wurden deren Fahrzeugflotten mit dem Sachbilanzmodul für die Ausbringung im Zuständigkeitsbereich der ASN approximiert. Als Bemessungsgrundlage der Skalierung diente hier die Straßenlänge, für den die jeweilige Organisationseinheit zuständig ist (vgl. Tab. 1).

---

<sup>10</sup> Vgl. Bürgerbrief zum Winterdienst 2002/2003 in Nürnberg, abgerufen am 23.07.2003 unter <http://www.asn.nuernberg.de/Winterd.html>.

#### 4.1.4 Berechnungsverfahren und Bilanznetze

Zur Berechnung der Sachbilanz werden die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Module und Teilbilanzen entsprechend den jeweiligen Produktlinien zu Bilanznetzen verknüpft und anschließend unter Berücksichtigung der festgelegten funktionellen Einheit berechnet. In diesen Bilanznetzen (siehe Abbildung 7 für den gesamten kommunalen Winterdienst und Abbildung 8 für den manuellen Winterdienst) sind die Module bzw. Teilbilanzen als quadratische Zeichenelemente und die Verknüpfungen zwischen diesen Modulen als gelb umrandete Kreise dargestellt. Entnahmen (etwa von Rohstoffen) aus der Umwelt werden in den Netzen als grün gekennzeichnete Kreise, Abgaben an die Umwelt (in der Regel Emissionen) als rot gekennzeichnete Kreise abgebildet.

Dieses Bilanzierungsmodell ermöglicht Ergebnisdarstellungen der Sachbilanzen, die über globale Input/Output-Tabellen hinausgehen: so können die Ergebnisse auch nach Modulen bzw. Teilbilanzen, aber auch nach „Sammelstellen“ (z.B. alle Rohstoffe) aufgesplittet werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten diese tiefergehenden Auswertungen und Darstellungen der Ergebnisse nur exemplarisch für besonders interessierende Zusammenhänge (siehe Kapitel 4.2) vorgenommen werden.

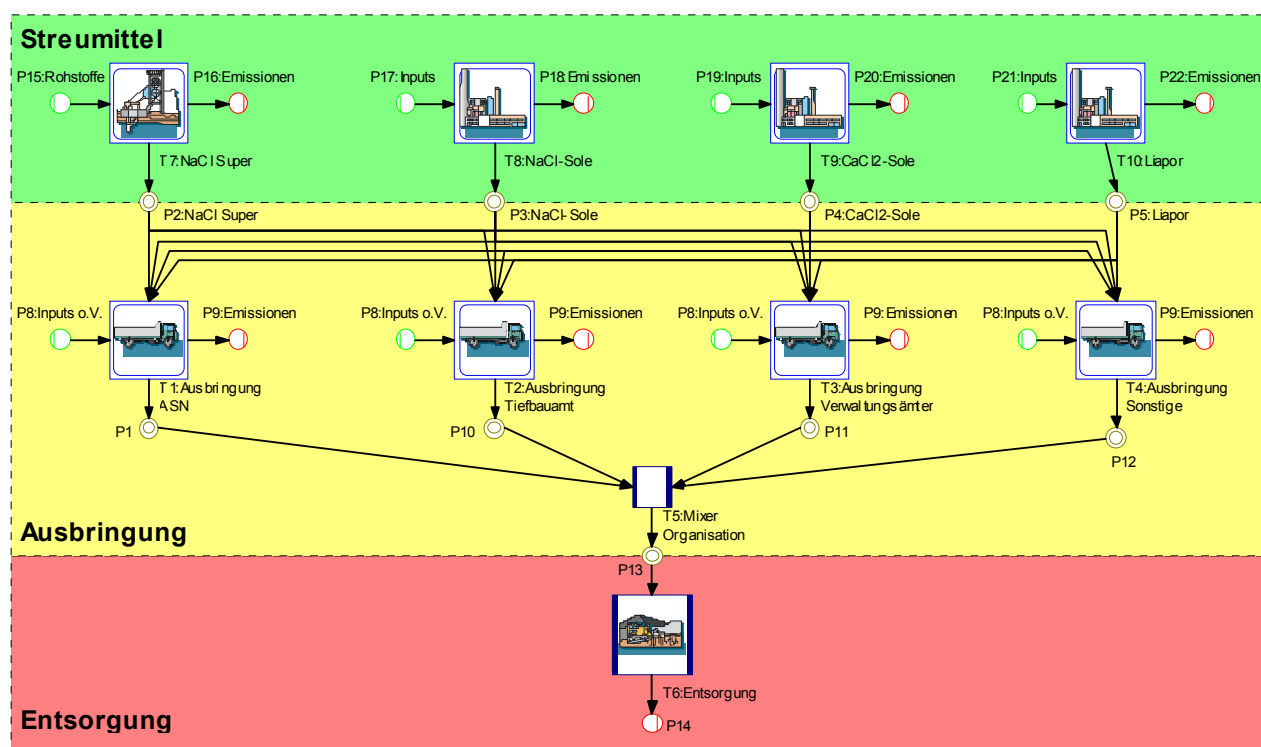


Abb. 7: Gesamtnetz zur Bilanzierung des kommunalen Winterdienstes der Stadt Nürnberg für die Winterperiode 2001/2002.

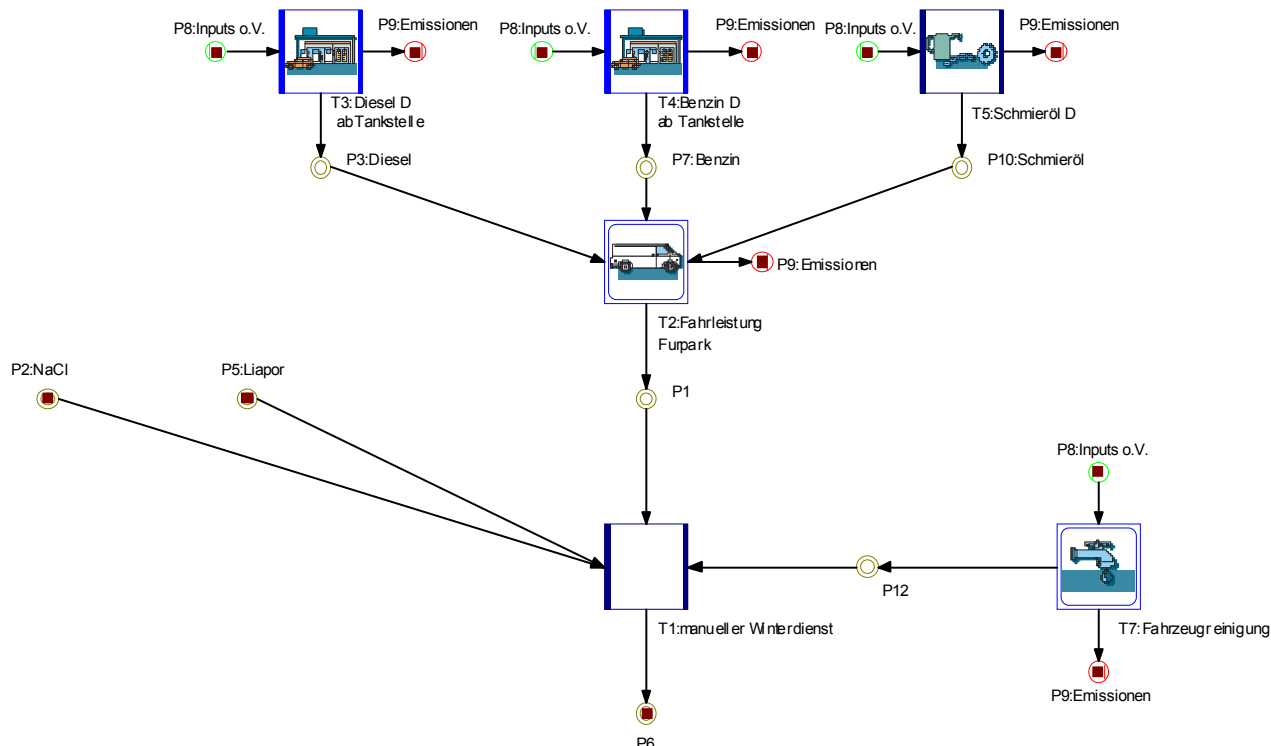


Abb. 8: Subnetz zur Bilanzierung des manuellen Winterdienstes der Stadt Nürnberg für die Winterperiode 2001/2002.

## 4.2 Wirkungsabschätzung

Allgemein wird in dieser Phase einer Ökobilanz mit Hilfe der Ergebnisse der Sachbilanz die Bedeutung der potenziellen Umweltauswirkungen dargestellt. Konkret werden dabei die Sachbilanzdaten zu Wirkungskategorien zugeordnet und charakterisiert (zum Beispiel Kohlendioxid und Methan zur Wirkungskategorie Treibhauseffekt) und wirkungsbezogen zusammengefasst. Dies führt zu einem Set an Wirkungsindikatoren, das auch als Wirkungsprofil bezeichnet wird. Im Rahmen dieses Vorhabens erfolgte im Rahmen der Wirkungsabschätzung auch eine weitergehende Transformation der Wirkungsprofile zu Umweltziel-Belastungspunkten. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass dieses weitergehende Vorgehen nach DIN EN ISO 14042 ein optionaler Bestandteil ist. Im Hinblick auf die Vermittelbarkeit der Ergebnisse ist das gewählte Vorgehen letztlich sehr vorteilhaft und durch den weitgehenden Bezug auf staatliche Umweltziele transparent und nachvollziehbar.

Insgesamt wurden in der Wirkungsabschätzung die Wirkungsprofile auf der Grundlage von Umweltzielen zu zwei Kennzahlen gewichtet und zusammengefasst:

1. Ressourcenziel-Belastungspunkte;
2. Umweltziel-Belastungspunkte als Zusammenfassung der Umweltproblemfelder Treibhauspotenzial, Versauerung von Ökosystemen und Photooxidantienbildung;

Abweichend vom Angebot wird im Rahmen der Wirkungsabschätzung nicht auf die Abfälle eingegangen. Dies hat zwei Gründe: Zum einen erwiesen sich die abfallbezogenen Beiträge



als nicht ergebnisrelevant. Zum anderen war die Datenlage nicht ausreichend, um wie ursprünglich vorgesehen einen Flächenbezug herzustellen.

In den nachstehenden Abschnitten wird das Vorgehen für die einzelnen Wirkungskategorien näher dargestellt und erläutert.

#### **4.2.1 Ressourcen**

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung für Ressourcen sollten prinzipiell folgende Rohstoffe erfasst werden:

- energetische Rohstoffe:
  - fossile Energieträger,
  - Atomenergie,
  - regenerierbare Energie (zum Beispiel Sonnenenergie, Windenergie);
- mineralische Rohstoffe:
  - metallische Rohstoffe,
  - nicht-metallische Rohstoffe;
- nachwachsende Rohstoffe;
- Fläche;
- Wasser/Grundwasser;
- Tiere, Pflanzen und Genressourcen.

In dieser Studie spielen einige der genannten Ressourcen keine oder eine geringe Rolle (zum Beispiel metallische Ressourcen, Genressourcen), die Datenlage ist unzureichend (zum Beispiel Flächenverbrauch) oder die allgemeine Bewertungsdiskussion ist zu wenig entwickelt wie bei Genressourcen. Dementsprechend wurden in der Studie nur die direkt relevanten Rohstoffe, d.h. die energetischen Rohstoffe behandelt. Der Einbezug mineralischer Rohstoffe ist im Bewertungsmodell grundsätzlich vorgesehen. Allerdings konnten für diesen Bereich keine belastbaren Daten etwa zur Reichweite erhoben werden.

##### ***Energetische Ressourcen***

Die energetischen Rohstoffe wurden mit ihrem Primärenergieinhalt bewertet (bezeichnet als kumulierter Energieaufwand, abgekürzt KEA). Dadurch können auch so verschiedene Rohstoffe und Energiequellen wie fossile Energieträger, Atomenergie bzw. Uran, nachwachsende Rohstoffe wie etwa Holz und regenerative Energien wie etwa Sonnenenergie oder Windenergie zusammengefasst werden.

Der in der Sachbilanz erhobene Primärenergieverbrauch wird auf den bundesdeutschen Primärenergieverbrauch bzw. das entsprechende Ressourcenschutzziel des BMU (Effizienzfaktor 2,0 bzw. 50 % Reduktion des Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2000) bezogen. Der bundesdeutsche Primärenergieverbrauch der Jahre 1990 bis 1997 ist in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Tab. 10: Primärenergieverbrauch (Umwelt 1998).

in PJ	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996 <sup>*)</sup>	1997 <sup>*)</sup>
Mineralöle	5.238	5.547	5.628	5.746	5.680	5.689	5.800	5.727
Steinkohlen	2.306	2.330	2.196	2.139	2.139	2.060	2.078	2.043
Braunkohlen	3.201	2.507	2.176	1.983	1.861	1.732	1.685	1.591
Naturgase	2.316	2.433	2.408	2.546	2.591	2.837	3.159	2.984
Kernenergie	1.665	1.609	1.732	1.673	1.650	1.682	1.764	1.858
Erneuerbare Energiequellen und sonstige Energieträger <sup>1)</sup>	188	184	176	219	231	296	281	287
<b>Primärenergieverbrauch<sup>2)</sup></b>	<b>14.914</b>	<b>14.610</b>	<b>14.316</b>	<b>14.306</b>	<b>14.152</b>	<b>14.296</b>	<b>14.767</b>	<b>14.490</b>

\*) Vorläufige Angaben (Stand: Januar 1998).

1) Brenn- und Abfallholz, Brenntorf, Müll, Klärschlamm, sonstige Gase und Abhitze, einschließlich Außenhandelssaldo Strom.

2) Primärenergieverbrauch berechnet auf der Basis des Wirkungsgradansatzes.

Gemäß dem allgemeinen Aufbau des Bewertungsmodells wurde der Ressourcenzielwert mit Ressourcenziel-Belastungspunkten (RZ-BP) gleichgesetzt. Der Ressourcenzielwert besteht in einer 50 %igen Reduktion des Primärenergieverbrauchs des Jahres 1995 (bis zum Jahre 2020). Der Verbrauchswert lag 1995 bei  $14.296 \cdot 10^9$  MJ. Hieraus ergibt sich der Zielwert von  $7.148 \cdot 10^9$  MJ. Dieser Wert wurde mit 333.333 Ressourcenziel-Belastungspunkten gleichgesetzt, da die Gruppen der Primärenergieträger 'metallische Rohstoffe' und 'nicht-metallische Rohstoffe' bei einer Gesamtbewertung jeweils 1:1:1 gewichtet wurden.

Zusammenfassend wird damit der Verbrauch von 1 MJ Primärenergie mit  $46,63 \cdot 10^{-6}$  Ressourcenziel-Belastungspunkten (RZ-BP) bewertet.

#### 4.2.2 Treibhauspotenzial, Versauerung von Ökosystemen, Photo-oxidantienbildung und Eutrophierung

Bei diesen Umweltproblemfeldern erfolgte zunächst die Erstellung der Wirkungsprofile; im Einzelnen wurde wie folgt verfahren:

- **Treibhauseffekt:** Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials (**Global Warming Potential, GWP**) bilanziert, das die Schadwirkung des Einzelstoffes relativ zu Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) kennzeichnet<sup>11</sup>. Als Indikator für die Emission an treibhausrelevanten Gasen wird das Gesamt-Treibhauspotenzial in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten angegeben. Die mengenmäßig bedeutendsten treibhausrelevanten Schadstoffe sind hierbei Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ , GWP = 1), Methan ( $\text{CH}_4$ , GWP = 21) und Distickstoffmonoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ , GWP = 310). Je nach Datenlage werden weitere treibhausrelevante Schadstoffe in die Bilanzierung aufgenommen werden.

<sup>11</sup> Die angegebenen Werte für das Treibhauspotenzial der Einzelstoffe beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Indirekte Effekte werden nicht mit berücksichtigt (CML 1992b).

- **Versauerung von Ökosystemen:** Schadstoffe, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials (**Azidifizierungspotenzial**, AP) bilanziert und aggregiert. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schädigung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). Als Indikator für die Gesamtbelastung wird das Gesamt-Versauerungspotenzial in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Die mengenmäßig bedeutendsten Säuren bzw. Säurebildner sind Stickoxide (NO<sub>x</sub>, AP = 0,7), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>, AP = 1), Chlorwasserstoff (HCl, AP = 0,88) und Fluorwasserstoff (HF, AP = 1,66).
- **Bildung von Photooxidantien:** Zu den Photooxidantien gehören Luftschadstoffe, die zum einen zu gesundheitlichen Schädigungen beim Menschen, zum anderen zu Schädigungen von Pflanzen und Ökosystemen führen können. Leichtflüchtigen organischen Verbindungen kommt eine zentrale Rolle in diesem Umweltproblemfeld zu, da sie Vorläufersubstanzen sind, aus denen Photooxidantien entstehen können. Zur Gruppe der leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOC, „Volatile organic compounds“) gehören sehr viele Einzelsubstanzen. Sie können hinsichtlich ihres Photooxidantienbildungspotenzials im Vergleich zu Ethylen als Bezugssubstanz charakterisiert werden. Der Einsatz dieser Gewichtung im Rahmen des Bewertungssystems setzt aber voraus, dass Messdaten zu diesen Einzelstoffen vorliegen. Das ist in vielen Fällen nicht bzw. nicht systematisch der Fall. Zur Abbildung dieses Umweltproblemfeldes wurden daher lediglich die Gesamtemission an leichtflüchtigen organischen Verbindungen und die Gesamtemission ohne Methan angegeben (NMVOC, „Non-methane-volatile organic compounds“).
- **Eutrophierung von Ökosystemen:** Die übermäßige Anreicherung von Böden und Gewässern mit Nährstoffen - meist in Form von Stickstoff- und Phosphorverbindungen - wird als Überdüngung oder Eutrophierung bezeichnet. Zur Quantifizierung wird das **Eutrophierungspotenzial** (EP) der relevanten Luft- und Wasseremissionen relativ zu demjenigen von Phosphat bewertet. Zusätzlich wird der Chemische Sauerstoffbedarf als Maß für den Eintrag organischen Kohlenstoffs benutzt. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass alle Emissionen von Nährstoffen in die Luft in den Boden gelangen und entsprechend ausschließlich die ins Wasser emittierten Nährstoffe zur aquatischen Eutrophierung beitragen. Der Anteil der über die Luft emittierten Nährstoffe, die ins Gewässer gelangen, ist nur gering (vgl. Huijbregts und Seppälä 2000), weshalb diese Vereinfachung keinen nennenswerten Fehler darstellt.

Das Ergebnis dieser Klassifizierung und Charakterisierung sind zunächst drei umweltproblemfeldbezogene Wirkungsindikatoren: das Gesamt-Treibhauspotenzial, das Gesamt-Versauerungspotenzial und das Gesamt-Photooxidantienbildungspotenzial bzw. die Gesamtemission an flüchtigen organischen Verbindungen. In einem weitergehenden Schritt erfolgte dann eine Gewichtung. Hierzu wurde auch der Entwurf eines umweltpolitischen Leitprogramms des Bundesumweltministeriums von 1998 herangezogen. Darin sind Zielsetzungen für Schadstoffe enthalten, die die nationale und internationale Diskussion auf-

greifen (BMU 1998). Die hier enthaltenen Zielwerte wurden für die ökobilanzielle Bewertung der Schadstoffe mit verwendet. Das genaue Vorgehen wird in den folgenden Abschnitten dargestellt.

### **Treibhauseffekt**

Hier enthält der o.a. Entwurf folgende einzelstoffbezogene Zielvorgaben:

- **CO<sub>2</sub>**: 25 % Reduktion bis 2010 (Bezugsjahr 1990, 1.014 Millionen t). Zielwert: 760,5 Millionen t, (BMU 1998, S. 33).
- **CH<sub>4</sub>**: Kein explizites Ziel im Umweltplan BMU, aber Verweis und Nennung Ziel Kyoto: 8 % Reduktion bis zur Zielperiode 2008/2012 (BMU 1998, S. 39, Umwelt 1998). Berechnungsgrundlagen: Bezugsjahr 1990, Emissionshöhe 5.682.000 t (UBA 1997, S. 138). Zielwert: 5.227.000 t.
- **N<sub>2</sub>O**: kein explizites Ziel im Umweltplan BMU, aber Verweis und Nennung Ziel Kyoto: 8 % Reduktion bis zur Zielperiode 2008/2012 (BMU 1998, S. 39, Umwelt 1998). Berechnungsgrundlagen: Bezugsjahr 1990, Emissionshöhe 226.000 t (UBA 1997, S. 138). Zielwert: 208.000 t.
- **Weitere Treibhausgase**: Keine Mengenangaben vorhanden, darum Berücksichtigung im Umweltziel durch Aufnahme mit 10 % der gewichteten Gesamtmenge von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

In der nachstehenden Tabelle werden diese Zielvorgaben zusammengefasst; bei einer Gleichsetzung der Zielemission von 1.000.000.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten mit 1.000.000 Umweltziel-Belastungspunkten entspricht die Emission von 1 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten 0,001 Umweltziel-Belastungspunkten.

Tab. 11: Ableitung der Gewichtungsfaktoren für treibhausrelevante Emissionen.

Schadstoff	Zielemission 2010	Treibhauspotenzial <sup>12</sup>	Zielemission in Kohlendioxid-Äquivalenten
CO <sub>2</sub>	760.500.000 t	1	760.500.000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalente
CH <sub>4</sub>	5.227.000 t	21	109.767.000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalente
N <sub>2</sub> O	208.000 t	310	64.480.000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalente
Summe CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	765.935.000 t		934.747.000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalente
andere Gase		siehe Text	93.474.700 t CO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>Summe Treibhausgase</b>			<b>1.028.221.700 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>

### **Säurebildner**

**Bei dieser Stoffgruppe enthält der Entwurf des umweltpolitischen Leitprogramms folgende Zielvorgaben:**

<sup>12</sup> Die angegebenen Werte für das Treibhauspotenzial der Einzelstoffe beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Indirekte Effekte werden nicht mit berücksichtigt (CML 1992a; CML 1992b).

- **SO<sub>2</sub>**: Ziel Umweltplan BMU: 92 % Reduktion bis 2010 (Bezugsjahr 1990, 5.263.000 t). Zielwert: 414.000 t (BMU 1998, S. 67).
- **NO<sub>x</sub>**: Ziel Umweltplan BMU: 59 % Reduktion bis 2010 (Bezugsjahr 1990, 2.654.000 t). Zielwert: 1.079.000 t (BMU 1998, S. 67).
- **NH<sub>3</sub>**: Ziel Umweltplan BMU: 58 % Reduktion bis 2010 (Bezugsjahr 1990, 759.000 t). Zielwert: 318.000 t (BMU 1998, S. 67).

Die sich hieraus ergebenden Gewichtungsfaktoren sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst. Bei einer Gleichsetzung der Zielemission von 1.943.700 t SO<sub>2</sub>-Äquivalenten mit 1.000.000 Umweltziel-Belastungspunkten entspricht die Emission von 1 t SO<sub>2</sub>-Äquivalenten 0,514 Umweltziel-Belastungspunkten.

Tab. 12: Ableitung der Gewichtungsfaktoren für Säurebildner.

Schadstoff	Zielemission 2010	Versauerungspotenzial	Zielemission in Schwefeldioxid-Äquivalenten
SO <sub>2</sub>	414.000 t	1	414.000 t SO <sub>2</sub> -Äquivalente
NO <sub>x</sub>	1.079.000 t	0,7	755.000 t SO <sub>2</sub> -Äquivalente
NH <sub>3</sub>	318.000 t	1,88	598.000 t SO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>Summe SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub></b>	<b>1.811.000 t</b>	<b>0,7-1,88</b>	<b>1.767.000 t SO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>
andere Gase			176.700 t SO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>Summe Säurebildner</b>			<b>1.943.700 t SO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>

### Photooxidantien

Der Entwurf des umweltpolitischen Leitplans sieht hier folgende Zielvorgaben vor:

**VOC:** Ziel Umweltplan BMU: 70 % Reduktion bis 2010 (Bezugsjahr 1990, 3.300 kt). Zielwert: 2.310 kt (BMU 1998, S. 33).

Zur Aufteilung der VOC nach Methan und NMVOC wurde wie folgt verfahren (Zahlenwerte nach Umweltbundesamt 1997, S. 146):

#### NMVOC:

Emission 1990: 3.155.000 t

Zielwert 2010 (-70 %): 947.000 t

POPC<sup>13</sup> (Durchschnitt) 0,432

#### Methan:

Emission 1990: 5.682.000 t

Zielwert 2010 (-70 %): 1.704.600 t

POPC (Durchschnitt) 0,007

Damit ergeben sich die in nachstehender Tabelle aufgeführten Gewichtungsfaktoren. Bei einer Gleichsetzung der Zielemission von 420.930 t Ethylen-Äquivalenten mit

<sup>13</sup> POPC: Photooxidantienbildungspotenzial.

1.000.000 Umweltziel-Belastungspunkten entspricht die Emission von 1 t Ethylen-Äquivalenten 2,38 Umweltziel-Belastungspunkten.

Tab. 13: Ableitung der Gewichtungsfaktoren für Photooxidantienbildner

Schadstoff	Zielemission 2010	Photooxidantien- bildungspotenzial	Zielemission in Ethylen-Äquivalenten
NMVOC	947.000 t	0,432	409.000 t Ethylen-Äquivalente
Methan	1.704.600 t	0,007	11.932 t Ethylen-Äquivalente
<b>Photooxidantienbildner</b>	2.651.600 t		<b>420.932 t Ethylen-Äquivalente</b>

### Wasserseitig emittierte Nährstoffe

Der Entwurf des umweltpolitischen Leitplans nimmt für die wasserseitig emittierten Nährstoffe Bezug auf die Zielsetzungen der internationalen Nordseeschutzkonferenzen. Ziel ist die Verminderung der Stickstoffeinträge über Flüsse, Direkteinträge und Atmosphäre um 50 % auf der Basis von 1985. Die ursprünglich angestrebte Umsetzung bis 1995 wurde verfehlt (BMU 1998, S. 67). 1985 wurden 1.005.000 t Stickstoff in die Nordsee über die Flüsse eingetragen (UBA 1989, S. 378). Eine Reduktion um 50 % führt zum Zielwert von 502.500 t.

Im Rahmen der integrierten ökologischen Bewertung wird die in den Umweltzielen festgelegte Freisetzung an Nährstoffen in die Luft und in das Wasser gemeinsam mit 1.000.000 Umweltziel-Belastungspunkten bewertet. Sie werden gleichgewichtet auf luft- und wasserseitig emittierte Nährstoffe verteilt. Hieraus ergibt sich für wasserseitig emittierte Nährstoffe eine Gleichsetzung der oben aufgeführten Zielemission von 502.500 t Stickstoff mit 500.000 Umweltziel-Belastungspunkten. Die Freisetzung von 1 t Stickstoff in Gewässer entspricht damit 0,995 Umweltziel-Belastungspunkten.

### 4.2.3 Ausgewählte Aspekte der Ökotoxizität

Die bisher dargestellten Wirkungsabschätzungen umfassen die anhand der Sachbilanz quantifizierbaren potenziellen Umweltauswirkungen von Herstellung, Transport und Ausbringung der Streustoffe. Bei den abstumpfenden Streumitteln lässt sich auch der Aufwand für das Wiedereinsammeln und Recycling über den Straßenkehrrikt quantifizieren.

In der öffentlichen Diskussion stehen jedoch andere potenzielle Folgen des kommunalen Winterdienstes im Vordergrund, die außerhalb der in der Bilanzierung festgelegten Systemgrenzen liegen. Dies betrifft insbesondere die Pflanzen- und Korrosionsschäden durch die Tausalanzwendung. Diese Folgewirkungen lassen sich jedoch nur bedingt quantifizieren und in der Ökobilanz integrieren. Um die Nachketten der Streumittelanwendung zumindest beschreibend einzubinden, wurden vorhandene Untersuchungen mit örtlichem Bezug ausgewertet. Ziel war es aktuelle Problemfelder und Konfliktpotenziale des Streumiteleinsatzes in Nürnberg zu erkennen und aufzuzeigen.

Der Verbleib der Streumittel in verschiedenen Umweltkompartimenten, ihre möglichen Auswirkungen und Quervernetzungen sind in Abbildung 9 schematisch dargestellt. Auftausalze gelangen mit dem Straßenabfluss über das Straßenentwässerungssystem in Oberflächengewässer (Kläranlage, Flüsse, Seen) bzw. über die Straßenrandzone und Bodenpassage ins Grundwasser. Durch den Streusalzeinsatz und den vermehrten Eintrag von Natrium findet

v. a. eine Alkalisierung von Straßenrandböden statt und damit eine erhöhte Auswaschung von Calcium und Magnesium, wodurch auch die Bodendurchlüftung, Wasserspeicherung und Wasseraufnahme im Wurzelbereich beeinträchtigt werden kann. Das Straßenbegleitgrün kann sowohl durch direkten (Gischt) als indirekten (Wasseraufnahme) Streusalzeinfluss beeinträchtigt werden. Die Meere sind die natürlichen Senken für Salze, daher ist ein möglichst rascher Transport der Streusalze über die Kanalisation und Fließgewässer zu den Meeren anzustreben, um potenziell negative Auswirkungen zu minimieren.

Abstumpfende Streumittel tragen zu einem beträchtlichen Teil zum Gesamtaufkommen des Straßenkehrschutts bei und erhöhen die Gesamtmenge der zu entsorgenden Ablagerungen in Sinkkästen, Regenrückhaltebecken, Kanalisation und Kläranlagen. Diese sogenannten Infrastrukturabfälle werden derzeit entweder aufbereitet, deponiert oder für Rekultivierungsmaßnahmen eingesetzt. Beim Ausbringen und Wiedereinsammeln abstumpfender Streumittel können zudem Staubbelastungen auftreten.

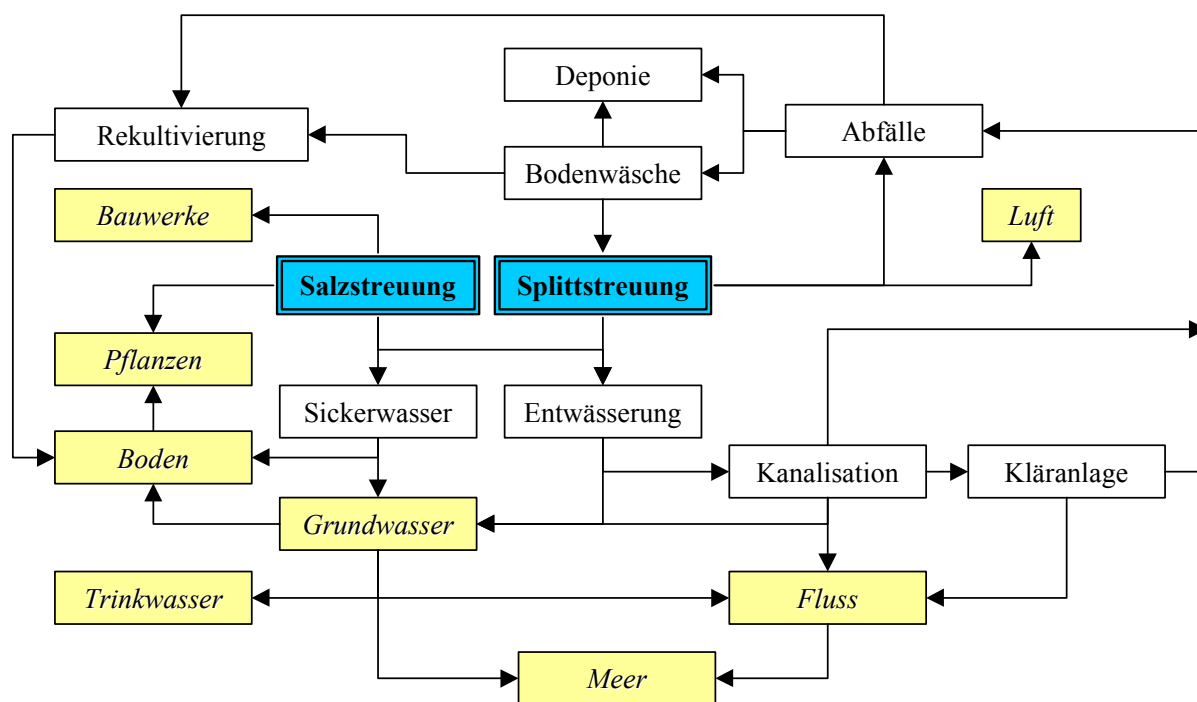


Abb. 9: Nachketten des Streumiteleinsatzes im kommunalen Winterdienst.

Im Rahmen der Studie wurde Kontakt zu Behördenvertretern der Wasserwirtschaft, der Umwelt- und Gartenbauämtern sowie der Entsorgungswirtschaft aufgenommen und aktuelle Daten zu Baumschäden, zur Grundwasserbeschaffenheit, Straßenentwässerung und Abfallentsorgung ausgewertet. Diese Arbeiten wurden mit Literatur- und Internetrecherchen zu den erkannten Problemfeldern ergänzt, wobei auf die Datengrundlage einer abgeschlossenen Studie für das Umweltbundesamt zurückgegriffen werden konnte (Gartiser et al. 2003).



### 4.3 Auswertung und Einschränkungen in der Belastbarkeit der Ergebnisse

Innerhalb dieser Phase werden allgemein die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung unter Berücksichtigung des Ziels und Untersuchungsrahmens zusammengefasst. In dieser Studie werden die Ergebnisse dieser Auswertung im nachfolgenden Kapitel 4 vorgelegt, wobei hier auch fallbezogen auf die Tragfähigkeit der Aussagen in Abhängigkeit der methodischen Herangehensweise und der Datengrundlagen eingegangen wird.

Unabhängig davon kann hier festgehalten werden, dass die für die durchgeführte Studie zugrunde gelegte Datenbasis im Hinblick auf die durchgeführte Bilanzierung des Winterdienstes von zwei Winterperioden insgesamt zweckmäßig und ausreichend ist. Der mögliche Einfluss von Unsicherheiten - zu nennen sind hier v.a. die Datenlage zur Ausbringung (hier standen nur ASN-Daten zur Verfügung) - wurde durch Beitrags- und Sensitivitätsanalysen überprüft und bei den Schlussfolgerungen und Empfehlungen berücksichtigt.

Die Datenqualität kann beim derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik bei Ökobilanzen nicht eindeutig im Sinne von Standardabweichungen oder ähnlichen Kennzahlen ausgedrückt werden. In Anbetracht der getroffenen Vereinfachungen und der zur Verfügung stehenden Datenbasis kann davon ausgegangen werden, dass bei den bilanzierten Ergebnissen beim Primärenergie- und Rohstoffverbrauch Unterschiede ab ca. 10 %, bei den übrigen Umweltbelastungen Unterschiede ab 20 % als signifikant angesehen werden können.

Daneben müssen bei der Interpretation der Ergebnisse noch nachstehende, spezifische Punkte berücksichtigt werden:

- Die Ergebnisse sind für die beschriebenen Rahmenbedingungen und Festlegungen gültig. Mit der Untersuchung von zwei unterschiedlich starken Wintern konnte ein Spektrum aufgezeigt werden, in dem sich die Umweltbelastungen für den Winterdienst der Stadt Nürnberg bewegen. Die Übertragung auf andere Winterperioden ist allerdings nicht ohne weiteres möglich. Mehr noch ist die Übertragung auf andere Kommunen nicht möglich. Allenfalls kann geprüft werden, inwiefern klimatische Ähnlichkeiten und Ähnlichkeiten in der Stadt- und Straßenstruktur eine eingeschränkte Übertragbarkeit rechtfertigen.
- Aufgrund der Datenlage wurde die Hochskalierung der Werte für den Winterdienst der ASN auf das gesamte Nürnberger Stadtgebiet erforderlich. Auch wenn diese Annäherung mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gegebenheiten gut wiedergibt, können doch institutionenspezifische Besonderheiten so nicht ausgemacht und entsprechend keine spezifischen Empfehlungen ausgesprochen werden. Es wäre aus diesem Grund wünschenswert, die Erfassung der Winterdienstdaten auch bei den anderen verantwortlichen Institutionen zumindest aber beim Tiefbauamt, das wie die ASN für 41 % des Stadtgebietes in Nürnberg verantwortlich ist (gemessen anhand der Straßenlänge), anzustreben. Ein solcher Gesamt-Winterdienstbericht böte sicherlich weitere Ansatzpunkte für Optimierungsmaßnahmen.

- Da die private Entnahme aus den Streugutbehältern im Stadtgebiet nicht separat erfasst wird, erfolgt diesbezüglich keine saubere Abgrenzung zum kommunalen Winterdienst. Dies entspricht so nicht der Zielsetzung der Stufe; der Einfluss auf das Ergebnis der Studie ist aber nach Einschätzung der AutorInnen vernachlässigbar gering.

## 5 Ergebnisse und Auswertung

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt.

### 5.1 Gesamtergebnis der beiden untersuchten Winterperioden

In den nachfolgenden beiden Tabellen sind die Gesamtergebnisse für die beiden betrachteten Winterperioden 2001/2002 und 2002/2003 dargestellt. Der gesamte kumulierte Energieaufwand für den kommunalen Winterdienst der Stadt Nürnberg inklusive Vor- und Nachketten beträgt zwischen 14 TJ (2002/2003) und 15 TJ (2001/2002). Damit wurden im verhältnismäßig harten Winter 2001/2002 etwa 9 % mehr Energie aufgewendet als im Durchschnittswinter 2002/2003. Ähnlich verhält es sich mit den Wirkungskategorien Versauerung und POCP (ebenfalls 9 % mehr), Treibhauspotenzial (10 % mehr) sowie Eutrophierung (14 % mehr); mit nur 6 % beträgt die Erhöhung vergleichsweise weniger als bei den anderen Wirkungskategorien. Bezogen auf Umweltbelastungspunkte (vgl. nachstehende Tabelle) beträgt die Erhöhung 11 %.

Tab. 14: Gesamtergebnis der Wirkungsabschätzung des Winterdienstes in der Stadt Nürnberg für die Winterperioden 2002/2003 und 2001/2002.

Bezeichnung	Einheit	Winterperiode 2003/2003	Winterperiode 2001/2002
KEA, gesamt	GJ	13.764	15.024
<i>Schadstoffe</i>			
Treibhauspotenzial	t CO <sub>2</sub> Äq	1.078	1.192
Versauerungspotenzial	t SO <sub>2</sub> Äq	7,69	8,41
Eutrophierungspotenzial	t PO <sub>4</sub> Äq	0,56	0,64
Photooxidantienpotenzial	t ETHÄq	0,57	0,62

Tab. 15: Gesamtergebnis der ökologischen Bewertung des Winterdienstes (in Umweltzielbelastungspunkten Schadstoffe) in der Stadt Nürnberg für die Winterperioden 2002/2003 und 2001/2002. Die Abkürzung milliRZ steht für Tausendstel Ressourcenzielbelastungspunkte.

Bezeichnung	Einheit	Winterperiode 2003/2003	Winterperiode 2001/2002
KEA, gesamt	milliRZ-BP	641,24	699,79
<i>Schadstoffe</i>			
Treibhauspotenzial	milliBPC02	1.078	1.192
Versauerungspotenzial	milliBPSO2	3.950	4.324
Eutrophierungspotenzial	milliBPPO4	2.298	2.639
Photooxidantienpotenzial	milliBPET	1.357	1.480
<b>Summe UZ-BP Schadstoffe</b>	<b>milliBP</b>	<b>8.683</b>	<b>9.635</b>

Ein durchschnittlicher privater Haushalt im Jahr 2001 hatte im Vergleich dazu einen Primärenergiebedarf von 220 GJ/Jahr (Quack 2003). Der Primärenergiebedarf ist auch hier einschließlich aller Vorketten für die Bereitstellung der benötigten Produkte und Dienste wie z.B. Wohnung, PKW, Lebensmittel etc. gerechnet. Der kommunale Winterdienst der Stadt Nürnberg entsprach damit dem Primärenergiebedarf von 68 Haushalten (2001/2002) bzw. von 62 Haushalten (2002/2003) für ein Jahr.

Eine Zuordnung der Umweltbelastungen zu den verschiedenen Prozessen, wie es in den nachfolgenden Abbildungen für die Winterperioden 2001/2002 und 2002/2003 gezeigt ist, lässt erkennen, dass die Blähtonherstellung für knapp zwei Drittel des kumulierten Energieaufwandes verantwortlich ist. Bezogen auf Umweltzielbelastungspunkte ist der Anteil mit 61 % etwas geringer, aber immer noch mit Abstand der wichtigste Beitrag. Mit etwa 20 % (18 % des kumulierten Energieaufwandes; 22 % der Umweltzielbelastungspunkte) ist die Ausbringung, d.h. der eigentliche kommunale Winterdienst (maschinell und manuell) der zweitwichtigste Beitrag. Das Streumittel NaCl-Steinsalz ist mit 14 % der Umweltzielbelastungspunkte bzw. 15 % des kumulierten Energieaufwandes von ähnlicher Relevanz wie die Ausbringung. Mit weniger als 2 % fallen daneben die Beiträge der übrigen Auftaumittel (CaCl<sub>2</sub>- und NaCl-Sole) sowie der Entsorgung nicht ins Gewicht. Insgesamt verursachen die Streumittel ca. 80 % des gesamten kumulierten Energieaufwandes bzw. der Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe.

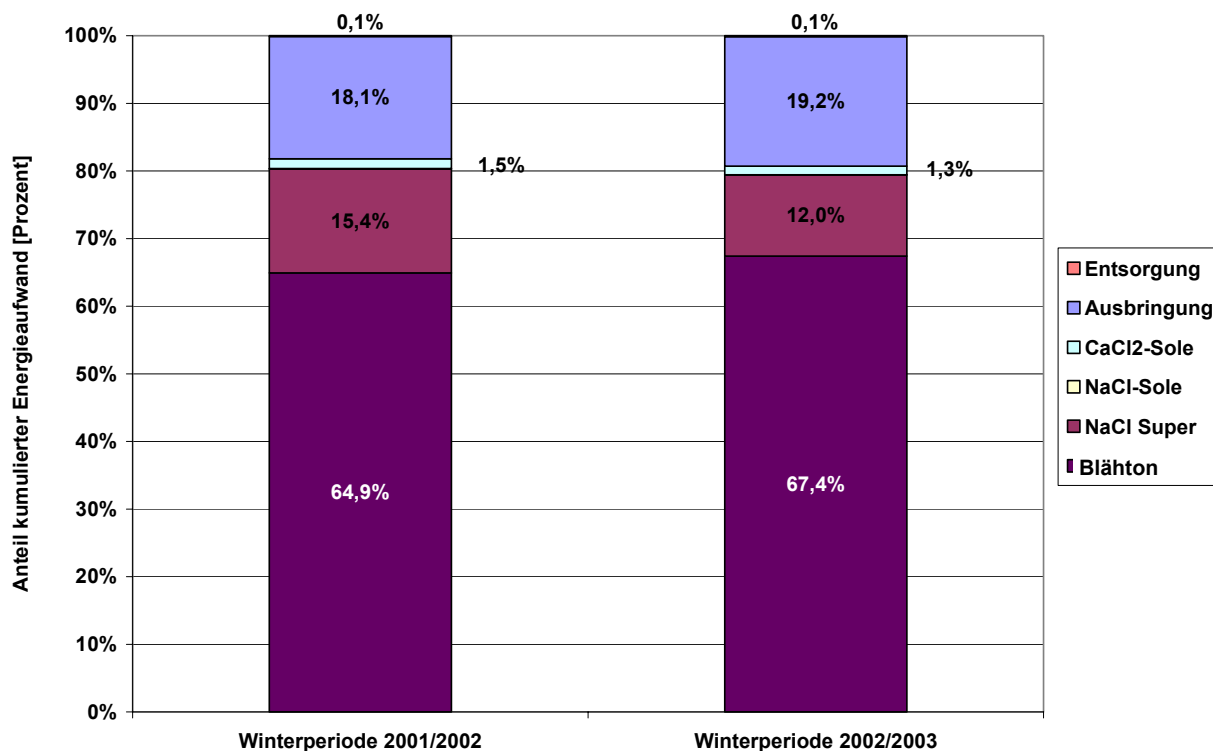


Abb. 10: Kumulierter Energieaufwand nach Verursachern für die Winterperioden 2001/2002 und 2002/2003.



Abb. 11: UZBP Schadstoffe nach Verursachern für die Winterperioden 2001/2002 und 2002/2003.

## 5.2 Analyse der Ergebnisse nach ausgewählten Datenkategorien und Prozessen

### 5.2.1 Ausbringung

Entsprechend der Verantwortlichkeiten für den Winterdienst in der Stadt Nürnberg teilen sich die Belastungen aus der Ausbringung auf die beteiligten Institutionen wie folgt auf (vgl. nachfolgende Abbildung). Mit jeweils etwa 45 % teilen sich das Tiefbauamt und die ASN 91 % der Umweltbelastungen; auf die Verwaltungsämter entfallen 5 %, das Straßenbauamt ist mit 4 % beteiligt. Diese Verhältnisse entsprechen den Straßenlängen, für die die jeweiligen Institutionen verantwortlich sind (vgl. Kapitel 5.1.1.2 und 5.1.3). Entsprechend sind von Optimierungsmaßnahmen der jeweils Verantwortlichen unterschiedliche absolute Beiträge zu erwarten.

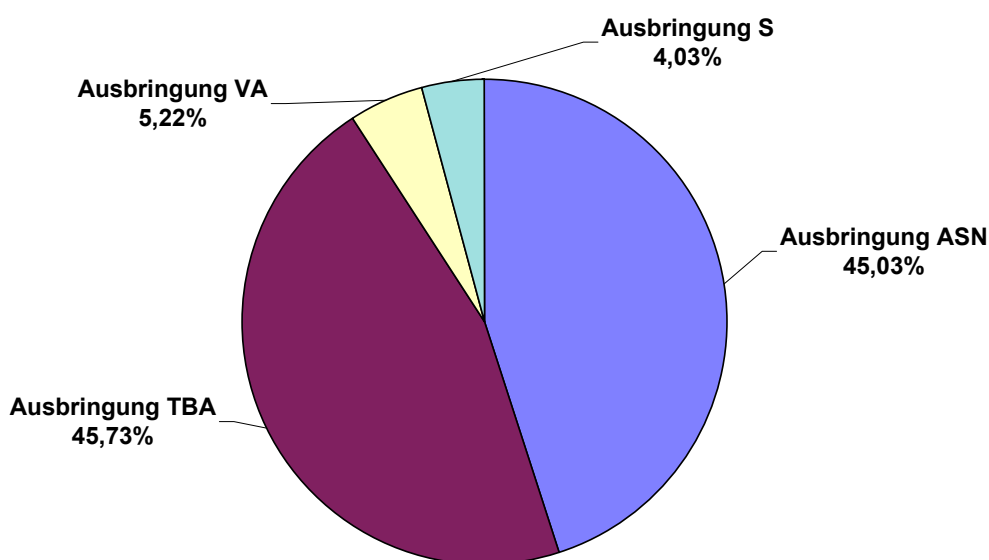


Abb. 12: Anteile der verschiedenen Institutionen in Nürnberg an den Belastungen der Ausbringung im Rahmen des Winterdienstes am Beispiel des kumulierten Energieaufwands (Abkürzungen: TBA: Tiefbauamt; VA: Verwaltungsämter; S: Straßenbauamt; ASN: Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetrieb Nürnberg).

Die Ausbringung erfolgt sowohl maschinell (maschineller Winterdienst) als auch manuell (manueller Winterdienst). Im maschinellen Winterdienst wird überwiegend Salz eingesetzt; im manuellen Winterdienst überwiegend Granulat. Der manuelle Winterdienst trägt dabei nur zu etwa einem Viertel bis einem Drittel zu den Belastungen bei. Die Anteile des maschinellen

und des manuellen Winterdienstes an der Gesamtbelastung sind bei beiden betrachteten Winterperioden etwas unterschiedlich. So ist der relative Anteil des maschinellen Winterdienstes in der Winterperiode 2001/2002 höher als in der Winterperiode 2002/2003. 2002/2003 entfallen beispielsweise zwei Drittel des kumulierten Energieaufwandes und des Treibhauspotenzials auf den maschinellen Winterdienst; demgegenüber sind es in der Winterperiode 2001/2002 71 %.

Tab. 16: Anteile des maschinellen und des manuellen Winterdienstes an der gesamte Ausbringung in einer Winterperiode (=100%).

Bezeichnung	Winterperiode 2002/2003		Winterperiode 2001/2002	
	Maschineller Winterdienst	Manueller Winterdienst	Maschineller Winterdienst	Manueller Winterdienst
KEA	66,8%	33,2%	71,2%	28,8%
Schadstoffe				
Treibhauspotenzial	66,1%	33,9%	70,5%	29,5%
Versauerungspotenzial	76,0%	24,0%	78,0%	22,0%
Eutrophierungspotenzial	78,0%	22,0%	79,5%	20,5%
Photooxidantienpotenzial	62,2%	37,8%	62,2%	37,8%

In den beiden nachfolgenden Kapiteln 5.2.1.1 und 5.2.1.2 beziehen sich die dargestellten Daten nur auf die ASN. Dies wird damit begründet, dass aufgrund der Datenlage nur Daten der ASN zur Ausbringung zur Verfügung standen, die übrigen Institutionen mittels Hochskalierung berechnet wurden (vgl. Kapitel 5.1.1.2 und 5.1.3).

### 5.2.1.1 Maschineller Winterdienst

Der maschinelle Winterdienst teilt sich auf in die Prozesse ‚Räumen/Streuen Salz‘, ‚Streuen Salz‘, ‚Räumen/Streuen Granulat‘, ‚Streuen Granulat‘, ‚Kontrollfahrten‘ und ‚Fahrzeugreinigung‘. Für beide in der nachfolgenden Abbildung am Beispiel des kumulierten Energieaufwandes dargestellten Winterperioden stellt das Streuen von Salz den größten Beitrag dar; der Beitrag von ‚Räumen/Streuen Salz‘ ist deutlich geringer, aber mit Abstand noch relevanter als die übrigen Einzelbeiträge. Gemeinsam tragen die beiden Teilprozesse zu zwei Dritteln des kumulierten Energieaufwandes bei. Die beiden Winterperioden unterscheiden sich dadurch, dass die mit Auftaumittel verbundenen Teilprozesse im Winter 2001/2002 generell auf einem um ca. 50 % höheren Niveau liegen; gleiches gilt für die Teilprozesse ‚Streuen Granulat‘ und ‚Fahrzeugreinigung‘. Im Unterschied dazu kann für ‚Räumen/Streuen Granulat‘ und die ‚Kontrollfahrten‘ das Gegenteil beobachtet werden; in beiden Fällen sind die Beiträge um 80 % geringer als in 2002/2003.

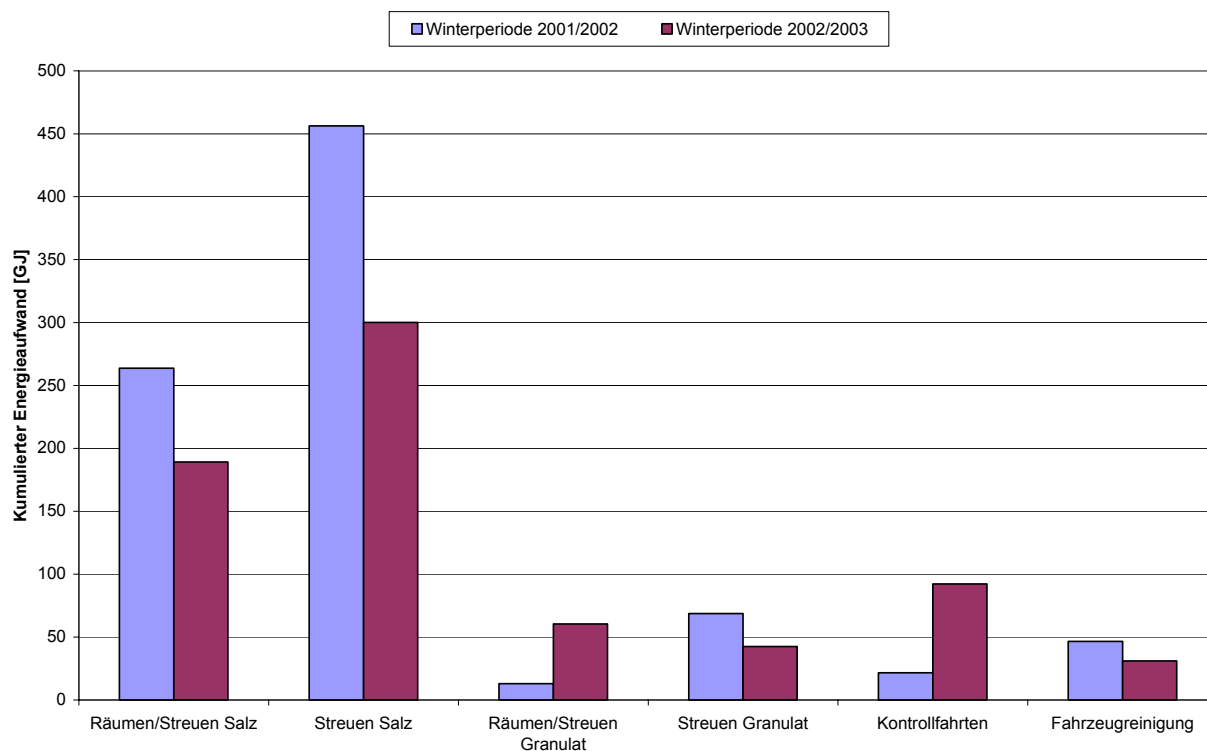


Abb. 13: Kumulierter Energieaufwand maschineller Winterdienst ASN für die Winterperioden 2001/2002 und 2002/2003.

In nachfolgender Tabelle sind die eben dargestellten Ergebnisse für die einzelnen Teilprozesse nochmals in Form von Umweltzielbelastungspunkten aufgelistet. Insgesamt sind die Belastungen aus der Ausbringung, ausgedrückt in Umweltzielbelastungspunkten Schadstoffe, in der Winterperiode 2001/2002 um 20 % höher als im Durchschnittswinter 2002/2003.

Tab. 17: UZBP Schadstoffe Maschineller Winterdienst absolut für die Ausbringung ASN.

Bezeichnung	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Räumen/Streuen Salz	milliBP	157,70	214,56
Streuen Salz	milliBP	242,06	375,22
Räumen/Streuen Granulat	milliBP	48,75	10,24
Streuen Granulat	milliBP	34,61	52,70
Kontrollfahrten	milliBP	79,54	16,56
Fahrzeugreinigung	milliBP	5,18	7,76
<b>Summe</b>	<b>milliBP</b>	<b>567,83</b>	<b>677,04</b>

### 5.2.1.2 Manueller Winterdienst

Aufgrund der vorliegenden Daten sind die Ergebnisse des manuellen Winterdienstes in anderer Weise dargestellt als für den maschinellen Winterdienst. Verfügbar war nur die Gesamtmenge Treibstoff (Diesel, Benzin) und Schmieröl sowie der Beitrag der Fahrzeugreinigung. Es konnte nicht zwischen den verschiedenen Streumitteln unterschieden werden. Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass bezogen auf den kumulierten Energieaufwand Diesel (inkl. Vorketten) für 94 % des kumulierten Energieaufwandes verantwortlich zeichnet. Die Umweltzielbelastungspunkte beziehen neben indirekten Emissionen der Vorketten auch die direkten Emissionen bei der Ausbringung selbst mit ein. Diese Emissionen sind dem Teilprozess *Fahrzeugpark* zugeordnet. Dieser Teilprozess trägt mit etwa 80 % zur Gesamtbelastung bei. Der Beitrag der Vorkette Diesel beträgt demgegenüber 17 %. Die übrigen Teilprozesse sind aufgrund ihrer geringen Relevanz praktisch vernachlässigbar.

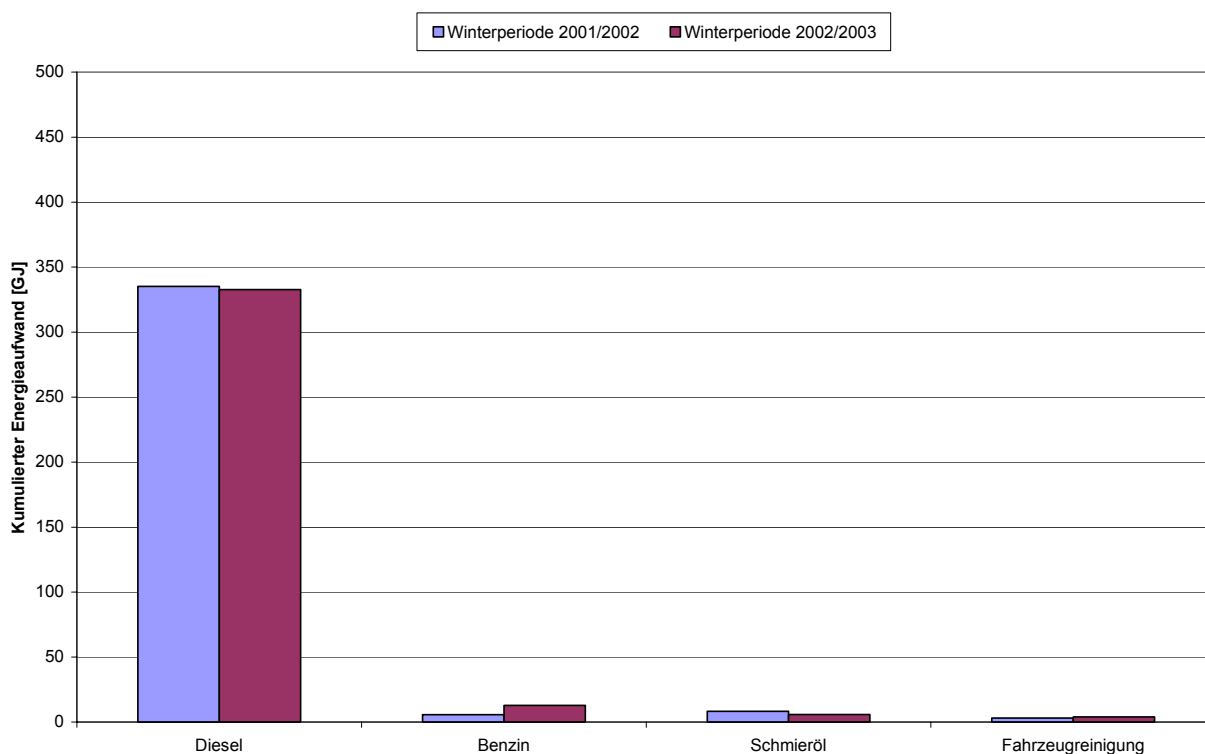


Abb. 14: Kumulierter Energieaufwand manueller Winterdienst ASN für die Winterperioden 2001/2002 und 2002/2003.

Anders als für den maschinellen Winterdienst lassen sich bezogen auf Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe für den manuellen Winterdienst nur Unterschiede von 6 % zwischen den beiden Winterperioden feststellen (vgl. nachstehende Tabelle). Betrachtet man die einzelnen Teilprozesse, so lassen sich deutliche Unterschiede erkennen: Benzin hat in der Winterperiode 2001/2002 einen um die Hälfte geringeren Beitrag, ebenso liegt der Beitrag der Fahrzeugreinigung bei nur 80%. Demgegenüber ist der Verbrauch an Schmieröl in der gleichen Winterperiode um 40 % höher als im Winter danach.



Tab. 18: UZBP Schadstoffe Manueller Winterdienst absolut für die Ausbringung ASN

Bezeichnung	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Fahrzeugpark	milliBP	174,30	187,01
Diesel	milliBP	37,14	37,40
Benzin	milliBP	2,46	1,08
Schmieröl	milliBP	1,35	1,89
Fahrzeugreinigung	milliBP	0,67	0,54
<b>Summe</b>	<b>milliBP</b>	<b>215,91</b>	<b>227,91</b>

## 5.2.2 Streumittel

### 5.2.2.1 Blähton

Die Analyse der Vorkette von Blähton-Winterstreu nach beteiligten Teilprozessen zeigt, dass die Herstellung (Brennen und Brechen) mit 98 % sowohl des kumulierten Energieaufwandes als auch der Umweltzielbelastungspunkte den absolut dominanten Beitrag leistet. Der Antransport mit LKW trägt demgegenüber nur mit 2 % bei. Bei der Herstellung wiederum erweist sich der Brennprozess mit 94 % (kumulierter Energieaufwand) bzw. 97 % (Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe) der Gesamtbelastung als der wichtigste Teilprozess. In der Winterperiode 2001/2002 wurden 5 % mehr Blähton eingesetzt, als in 2001/2002 entsprechend sind die Werte 5 % höher.

Tab. 19: Kumulierter Energieaufwand von Blähton anteilig nach Brennen, Brechen und Antransport.

KEA	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Brennen	GJ	8.758,27	9.210,22
Brechen	GJ	381,49	401,17
Antransport LKW	GJ	136,13	143,16
<b>Summe</b>	<b>GJ</b>	<b>9.275,89</b>	<b>9.754,55</b>

Tab. 20: Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe; Blähton anteilig nach Brennen, Brechen und Antransport.

UZBP	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Brennen	milliBP	5.421,77	5.701,55
Brechen	milliBP	63,53	66,80
Antransport LKW	milliBP	118,88	125,02
<b>Summe</b>	<b>milliBP</b>	<b>5.604,18</b>	<b>5.893,37</b>

### 5.2.2.2 NaCl-Steinsalz

Für das Streumittel NaCl-Steinsalz stellt sich die Situation anders dar als für Blähton-Winterstreu (vgl. nachstehende Tabellen). Bezogen auf den kumulierten Energieaufwand überwiegt der Anteil des Antransports leicht gegenüber der Herstellung (57 % gegenüber 43 %); im Falle der Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe ist sogar ein deutlicher Überhang des Antransports gegenüber den Herstellungsprozessen festzustellen (84 % gegenüber 16 %).

Da in der Winterperiode 2001/2002 insgesamt 40 % mehr NaCl-Steinsalz als in 2002/2003 eingesetzt wurde, sind die Ergebnisse für 2001/2002 um 40 % höher. Das für die Herstellung der verbrauchten NaCl-Sole benötigte NaCl-Steinsalz ist in den aufgezeigten Ergebnissen auch enthalten.

Tab. 21: Kumulierter Energieaufwand von Steinsalz anteilig nach Herstellung und Antransport.

KEA	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Herstellung	GJ	703,86	987,93
Antransport LKW	GJ	946,72	1.321,54
<b>Summe</b>	<b>GJ</b>	<b>1.650,59</b>	<b>2.309,46</b>

Tab. 22: Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe; NaCl-Steinsalz anteilig nach Herstellung und Antransport.

UZBP	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Herstellung	milliBP	156,50	219,66
Antransport LKW	milliBP	826,76	1.154,08
<b>Summe</b>	<b>milliBP</b>	<b>983,26</b>	<b>1.373,74</b>

### 5.2.2.3 CaCl<sub>2</sub>-Sole

Der Gesamtbeitrag von CaCl<sub>2</sub>-Sole an den Belastungen des kommunalen Winterdienstes der Stadt Nürnberg ist verglichen mit den anderen Streumitteln nur gering. In der Winterperiode 2001/2002 wurde etwa 50 % mehr Sole eingesetzt als im Winter danach. Der Beitrag des Teilprozesses Herstellung überwiegt im Vergleich zum Antransport im Ergebnis.

Anzumerken ist, dass der absolute Beitrag von CaCl<sub>2</sub>-Sole im Verhältnis zur eingesetzten Menge und im Vergleich zu NaCl-Steinsalz relativ groß ist.

Tab. 23: Kumulierter Energieaufwand von  $\text{CaCl}_2$ -Sole anteilig nach Herstellung und Antransport.

KEA	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Herstellung	GJ	108,88	155,49
Antransport LKW	GJ	68,35	65,52
<b>Summe</b>	<b>GJ</b>	<b>177,23</b>	<b>221,01</b>

Tab. 24: Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe;  $\text{CaCl}_2$ -Sole anteilig nach Herstellung und Antransport.

UZBP	Einheit	Winterperiode 2002/2003	Winterperiode 2001/2002
Herstellung	milliBP	69,33	99,02
Antransport LKW	milliBP	59,69	57,22
<b>Summe</b>	<b>milliBP</b>	<b>129,03</b>	<b>156,23</b>

## 5.3 Nachgeschaltete Ketten

### 5.3.1 Entwässerung

Die Entwässerung Nürnbergs erfolgt überwiegend (ca. 85% der Fläche) über eine Mischkanalisation. Lediglich 15% werden über Trennkanalisation entwässert, wobei hier die in den 70er Jahren gebaute Satellitenstadt Langwasser sowie einige im Jahr 1972 eingemeindete kleinere Kommunen in der Peripherie zu nennen sind.

Die Mischkanalisation entwässert über die Kläranlage, bei Starkniederschlägen wird das überschüssige Wasser über die Regenwasserentlastung direkt in den Vorfluter geleitet.

Bei der Trennkanalisation werden die Straßenabläufe mit Regenwasser zusammen direkt in den Vorfluter abgeleitet, eine Versickerung in das Grundwasser findet mit Ausnahme der Münchner Straße nicht statt. Nur bei letzterer wird Straßenablauf über Bankett-Grünflächen in das Grundwasser versickert. Es liegt ein Kanalnetzplan im Maßstab 1:5.000 vor, in dem sämtliche Kanäle eingezeichnet sind, aber keine detaillierteren Beschreibungen der Entwässerungssituation (persönliche Mitteilung Herr Pommer Stadtentwässerungsbetrieb Nürnberg vom 29.09.03). Auch die Stadtautobahnen (Frankenschnellweg) entwässern aufgrund der ungünstigen Vorflutersituation (Rhein-Main-Donau-Kanal) zur kommunalen Kläranlage. Die Südwest-Tangente entwässert nordwestlich des Kreuzes "Nürnberg Hafen" über Regenwassersammler direkt zur Pegnitz und südlich des Kreuzes sowohl zu Pegnitz als auch zu einem geringen Anteil über das Straßenbankett ins Grundwasser.

Gemäß der aktuellen „Satzung für die öffentliche Entwässerungsanlage der Stadt Nürnberg“ (Entwässerungs - EWS) vom 10. Juli 2003 soll das Niederschlagswasser von befestigten

Flächen vorrangig versickert werden. Generell besteht in Deutschland eine zunehmende Tendenz, Niederschlagsabflüsse auch von Straßen in das Grundwasser zu versickern. Vorteile sind die Zwischenspeicherung und Reduzierung von Hochwasserabflüssen, die hydraulische Entlastung der kommunalen Kläranlagen, die Anhebung der Grundwasserstände und damit eine Erhöhung des Niedrigwasserabflusses. Die Planung von Anlagen zur Niederschlagsversickerung erfolgt auf Basis des ATV-DVWK Arbeitsblattes A138 (2002). Hier werden Empfehlungen zur Versickerungsart (Flächen-, Mulden-, Rigolen-, Schachtversickerung in Abhängigkeit vom Untergrund und der Nutzung der zu entwässernden Fläche (u.a. durchschnittlicher täglicher Verkehr) gegeben. Allerdings wird zu Recht darauf hingewiesen, dass der Wasserhaushalt bei intensiver Versickerung deutlich verändert wird, da ein Großteil des von bewachsenen natürlichen Flächen verdunstenden Niederschlages der Grundwasserneubildung zugeführt wird. Hierdurch kann es zu einer Anhebung der Grundwasserstände bzw. zu einer Verringerung der Flurabstände kommen (Coldewey et al. 2003). Ferner ist insbesondere bei der Versickerung von Straßenabläufen eine Erhöhung der Schadstoffeinträge in das Grundwasser zu bedenken, wobei die Streusalze aufgrund ihrer Mobilität kaum im Sickerraum zurückgehalten werden.

### **5.3.2 Salzbelastung Grundwasser**

Der Nürnberger Untergrund besteht bis in etwa 300 m Tiefe aus einer Folge von Sandsteinen und lehmig/tonigen Schichten aus dem mittleren Keuper. In der Schichtfolge des oberen Grundwasserstockwerkes sind (von oben nach unten) Quartäre Ablagerungen, der Burgsandstein, der Coburger-Sandstein, der Blasensandstein, die Lehrberg-Schichten und der Schilfsandstein zu unterscheiden. Das obere Grundwasserstockwerk wird durch die Estherien-Schichten als Grundwasserstauer vom unteren Grundwasserstockwerk im Benkersandstein getrennt. Die Grundwasserfließrichtung wird im Wesentlichen von der Topographie und den drainenden Vorflutern Pegnitz und Rednitz bestimmt. Während die Fließrichtung im südlichen Stadtgebiet von SO nach NW ist, liegt sie im nördlichen Stadtgebiet von NO nach SW und im östlichen Stadtgebiet von Süd nach Nord.

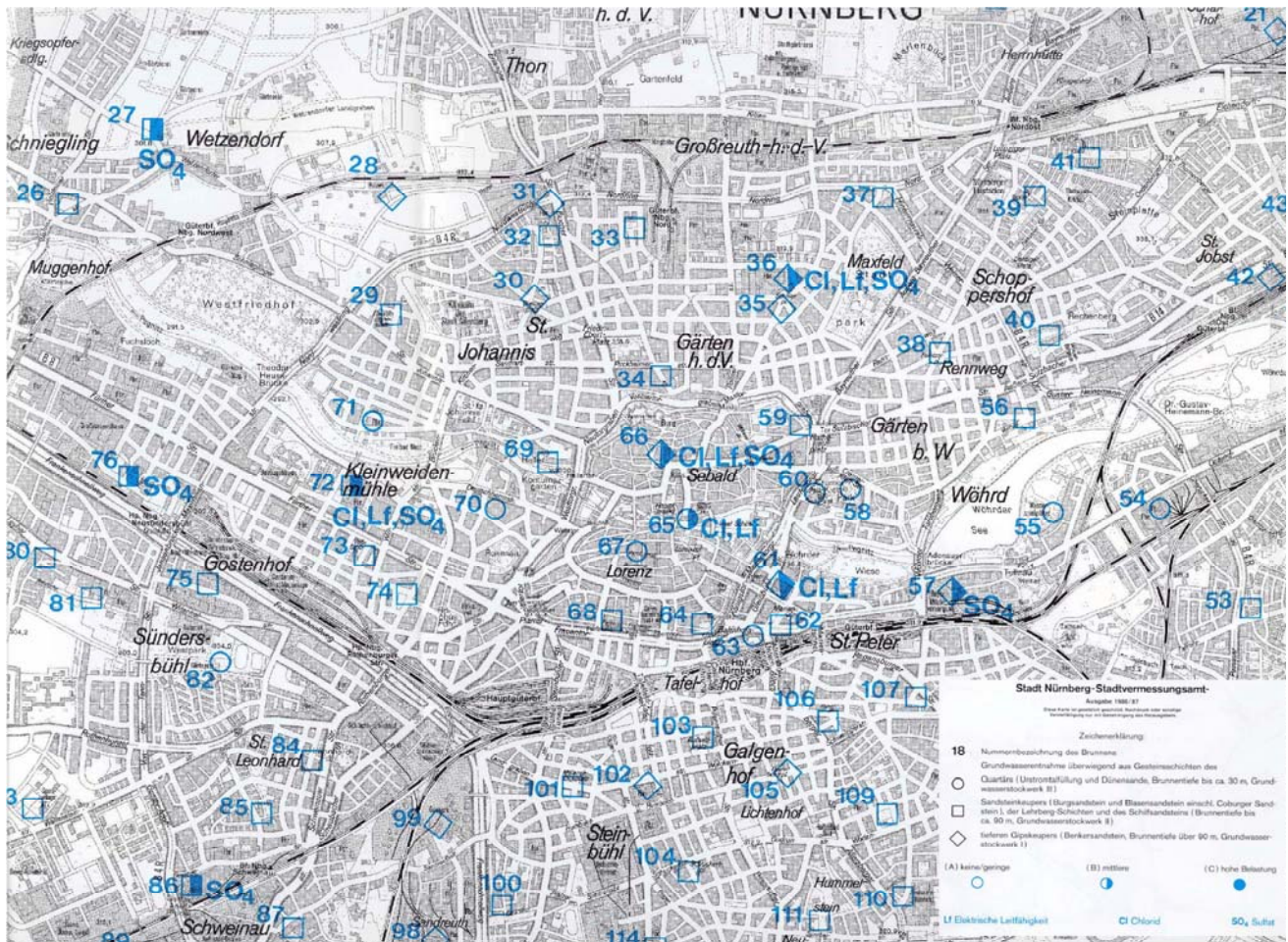


Abb. 15: Karte zur Grundwasser-Chloridbelastung in der Stadt Nürnberg (Quelle: Grundwasserbericht Nürnberg 1987).

Die geologischen Verhältnisse zeichnen sich durch kleinräumige vertikale und horizontale Wechsel aus. Im Grundwasserbericht 1987 der Stadt Nürnberg sind u.a. auch Chloridkonzentrationen für verschiedene städtische Brunnen dokumentiert. Hierbei können Brunnen bis ca. 30 m Tiefe in quartären Ablagerungen (Grundwasserstockwerk III in Urstromtäufüllungen, Dünensanden) von solchen bis 90 m Tiefe im Sandsteinkeuper (Grundwasserstockwerk II) und Brunnen über 90 m Tiefe, die bis in Gips-haltige Keupersandsteine (Grundwasserstockwerk I, Benkersandstein) reichen, unterschieden werden.

Eine Auswertung der tabellarisch zur Verfügung gestellten Daten, ergab folgendes Bild.

Tab. 25: Chloridkonzentration in Brunnen der Stadt Nürnberg (1987).

Grundwasser-stockwerk	I-II Gips- /Sandsteinkeuper	I-III Gipskeuper - Quartär	II Sandsteinkeuper	II-III Sandsteinkeuper - Quartär	III Quartär
Anzahl	12	9	38	75	9
MIN	34	5	5	5	18
Mittel	207	218	84	89	99
Median	80	142	65	59	66

MAX	1320	823	225	1170	224
-----	------	-----	-----	------	-----

Aus den Daten lässt sich ablesen, dass die minimalen Hintergrundkonzentrationen im Bereich von 5 mg/l Chlorid liegen. Tendenzmäßig weist das Grundwasser des Stockwerks II im Keupersandstein die niedrigsten Chloridwerte auf. In Verbindung mit dem Grundwasserspeicher I steigen die Werte erwartungsgemäß deutlich an, da tiefere, Gips- und Salz-haltige Schichten erreicht werden. Ein Zusammenhang zur Salzstreuung kann hier kaum angenommen werden. Auffallend ist jedoch der Anstieg an einzelnen Messstellen, die eine Verbindung zum quartären und weitgehend ungeschützten Grundwasserstockwerk III haben. Die Maximalwerte liegen hier bis 1170 mg/l Chlorid, während der Median mit dem des Grundwasserstockwerks II vergleichbar ist. Hier kann ein Einfluss der Salzstreuung nicht ausgeschlossen werden. Die Pegel der Grundwasserstockwerke III und II-III mit erhöhten Chloridkonzentrationen (>200 mg/l) liegen im Stadtzentrum (Pegel 65, 67) im Bereich Kleinschneidmühle (Pegel 70, 71, 72, nahe Fürther Straße) sowie nahe des Frankenschnellweges (Pegel 75).

Dennoch ist ein Zusammenhang von erhöhten Chloridkonzentrationen zum Straßennetz schwer nachzuweisen. Nur für die Münchner Straße ist bekannt, dass die Straßenentwässerung über die angrenzenden Bankettgrünflächen erfolgt (siehe unten). Die der Münchner Straße am nächsten gelegenen Pegel (Nr. 107, 109, 110) wiesen 1987 zwar erhöhte Konzentrationen von 42, 160 und 156 mg/l auf, insbesondere wenn man bedenkt, dass diese Pegel keinen direkten Kontakt zum quartären Grundwasserleiter haben (Grundwasserstockwerk II). Insgesamt erreicht die Belastung hier jedoch keine maximalen Werte.

Eine Abschätzung der natürlichen Hintergrundkonzentration im quartären Grundwasser liefern einmal die unbelasteten Pegel des Grundwasserstockwerks III (MIN 18 mg/l Chlorid) sowie Analysenwerte der Trinkwassergewinnungsanlagen. Das Trinkwasser Nürnbergs wird aus fünf verschiedenen Gewinnungsgebieten über Hochbehälter in das Versorgungsnetz eingespeist. Lediglich im zentralen und südöstlichen Teil wird auch Grundwasser aus dem Stadtgebiet selbst (Pegnitztal, Gewinnungsgebiet Erlenstegen) verwendet. Vergleichszahlen zur Chlorid- und Natriumkonzentration, die einen Hinweis auf die Hintergrundbelastung liefern, liegen bei 17 mg/l Chlorid und 6,6 mg/l Natrium (N-Energie AG, 2003). Von Seiten der Trinkwasserversorgungsunternehmen (N-ergie) werden ca. 100 Notbrunnen in unregelmäßigen Abständen u.a. auch hinsichtlich Chlorid untersucht. In der letzten Messserie vom Juni 2003 wurden Chloridwerte um 42 mg/l (Median, n=27) bestimmt. Der höchste Wert (980 mg/l Chlorid) wurde an einem Brunnen im Bereich des städtischen Klinikums bestimmt (persönliche Mitteilung Herr Burckardt, Aqua-Opta GmbH vom 9.12.03). Diese Daten werden auch an das Umweltamt Nürnberg weitergeleitet. Allerdings sind der räumliche Bezug aller Pegel und Vergleichsdaten aus den letzten Jahren nur mit einem hohen Aufwand bereitzustellen, da nur manuelle Aufzeichnungen bestehen. Zudem reichen die Notbrunnen in der Regel bis in die Keupersandsteine und sind gegenüber dem oberflächennahen Grundwasser abgedichtet, so dass Streusalzeinflüsse nur bedingt in Erscheinung treten. Bei dem 130 m tiefen Brunnen des Städtischen Klinikums ist ein geogener Ursprung des hohen Chloridwertes zu vermuten, da der Gipskeuper erreicht wird (persönliche Mitteilung Herr Feulner, Umweltamt Nürnberg vom 9.12.03).

### 5.3.3 Oberflächengewässer

Vom Wasserwirtschaftsamt Nürnberg werden in unregelmäßigen Abständen einige chemische Parameter an verschiedenen Pegeln bestimmt. Die verfügbaren Daten für die Pegel Lederersteg (Pegnitz), Friedhofsteg (Pegnitz), Neumühle (Rednitz) und Hüttendorf (Regnitz) in den Jahren 2000 und 2001 wurden vom Wasserwirtschaftsamt Nürnberg (Herr Scheer) freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Auswertung der Daten (ca. 2-4 Messungen je Monat) sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tab. 26: Chloridkonzentrationen in Fließgewässern 2000/2001.

	MIN	Mittel	MAX
Neumühle (Rednitz unterhalb Schwabach)	26	37	83
Lederersteg (Pegnitz oberhalb Kläranlagen)	16	26	83
Friedhofsteg (Pegnitz unterhalb Kläranlagen)	25	40	78
Hüttendorf (Regnitz Höhe Erlangen)	28	41	101

Die Daten zeigen übereinstimmend einen geringen Schwankungsbereich der Chloridkonzentrationen von rd. 25 mg/l bis 100 mg/l, also weit unterhalb des Trinkwassergrenzwertes von 250 mg/l. Allerdings lässt sich der Einfluss der Salzstreuung aufgrund der geringen Anzahl an verfügbaren Daten nur bedingt ablesen, da das Schmelzwasser innerhalb eines kurzen Zeitraums über die Kläranlagen abfließt.

Weitere chemische Untersuchungen der Abläufe der Kläranlagen und der Fließgewässer in Nürnberg werden im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft obere Regnitz, einem Zusammenschluss der vier Städte Erlangen, Fürth, Nürnberg und Schwabach ([www.gewaesserschutz-online.de/arge/...](http://www.gewaesserschutz-online.de/arge/...)) vom Chemischen Landesuntersuchungsamt Nürnberg durchgeführt (vgl. Abb. 16).



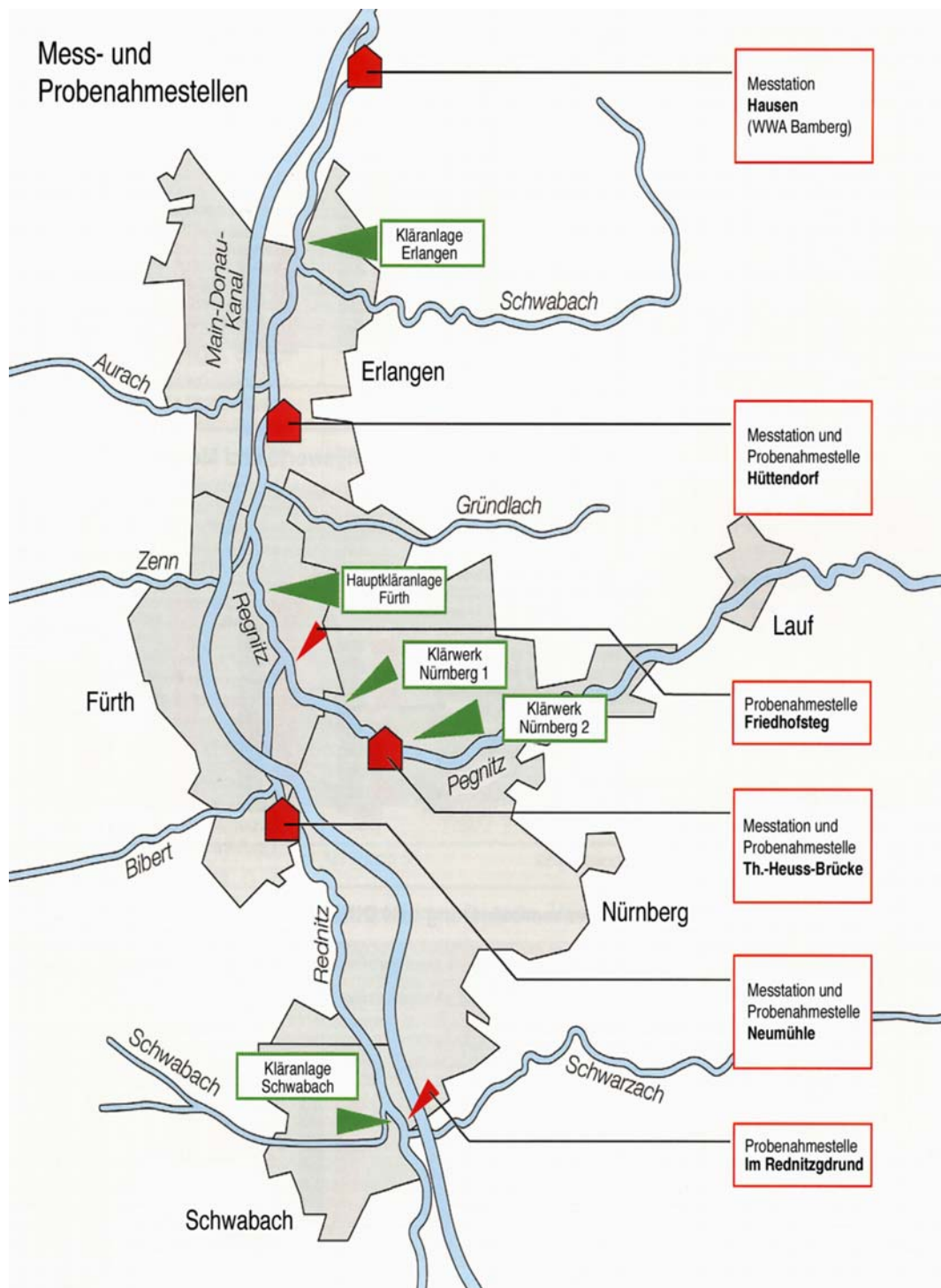


Abb. 16: Standorte der Gewässeruntersuchungsstellen (Quelle: der Arbeitsgemeinschaft obere Regnitz).

Zur Verfügung gestellt wurden die in nachfolgender Tabelle dargestellten Chlorid- und Leitfähigkeitswerte vom Juli und November der Jahre 2001-2003 sowie die an einigen Pegeln kontinuierlich gemessenen Leitfähigkeiten (Stundenmesswerte) des Winterhalbjahres 2002 (persönliche Mitteilung Herr Kotschenreuther, Arbeitsgemeinschaft obere Regnitz vom 02.02.4).



Tab. 27: Chloridkonzentrationen Juli, November 2001/03.

	MIN	MAX
Neumühle (Rednitz unterhalb Schwabach)	17	41
Theodor-Heuß-Brücke (Pegnitz oberhalb Kläranlagen)	15	27
Friedhofsteg (Pegnitz unterhalb Kläranlagen)	21	54
Hüttendorf (Regnitz Höhe Erlangen)	20	47
Ablauf KA Schwabach	100	268
Ablauf KA Nürnberg 1	45	160
Ablauf KA Nürnberg 1	42	124

Es ist kein deutlicher Unterschied zwischen den im Juli und im November gemessenen Chloridkonzentrationen erkennbar. Die Chloridkonzentrationen im Ablauf der Kläranlagen liegen in dem für kommunale Kläranlagen in der Literatur angegebenen Bereich. Auch anhand der kontinuierlich gemessenen Leitfähigkeiten im Winterhalbjahr 2002 ist kein deutlicher Streusalzeinfluss zu erkennen. Die Minima/Maxima liegen mit 409/634  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Neumühle), 455/729  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Hüttendorf) und 396/642  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Ablauf Klärwerk Nürnberg 2) in einem engen Bereich. (In erster Näherung liegt die zu erwartende Chlorid-Konzentration [mg/l] um Faktor 10-20 unter der Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]). Von besonderer Bedeutung ist der Pegel Hüttendorf unterhalb der beiden Nürnberger Kläranlagen und der Mündung der Gründach in die Regnitz, da für diesen Pegel auch Abflussdaten vorliegen (vgl. Tab 28). Die Chlorid-Werte schwanken nur im geringen Umfang. Bei einem mittleren Wert von rd. 41 mg/l werden lediglich im Januar 2001 etwas erhöhte Werte von bis zu 100 mg/l beobachtet (vgl. Abb. 17).

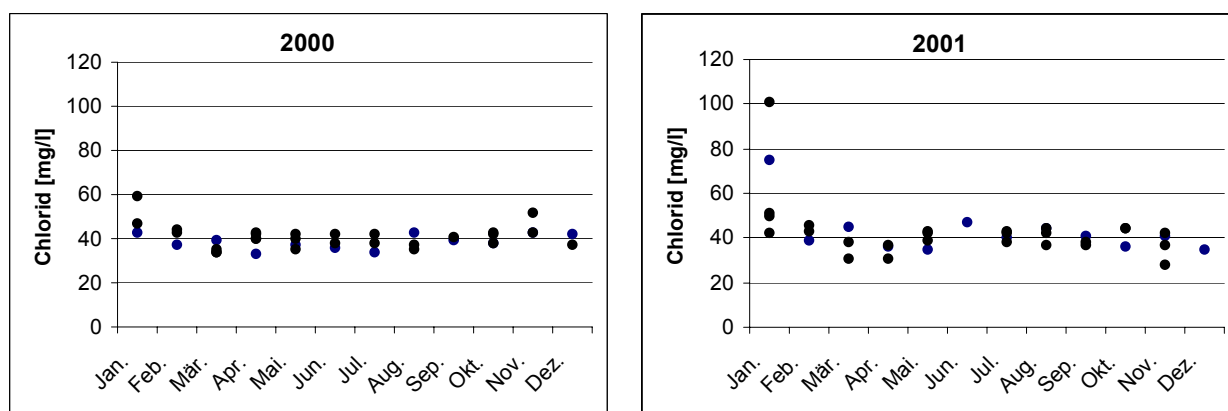


Abb. 17: Chloridkonzentrationen am Pegel Hüttendorf [mg/l].

Tab. 28: Mittlerer Abfluss (MQ) in den Wintermonaten in m<sup>3</sup>/sec (Quelle: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 1999).

Pegel	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März
Nürnberg, 1910-98 (Pegnitz)	10,5	13,0	15,2	16,9	17,2
Hüttendorf, 1953-98 (Regnitz)	24,0	32,1	33,8	38,3	39,0

Anhand einer einfachen Modellrechnung (vgl. nachstehenden Kasten) kann die Größenordnung des Streusalzeinflusses auf den Chloridgehalt der Fließgewässer in Nürnberg abgeschätzt werden. Danach liegt die berechnete Erhöhung der Chloridkonzentration durchaus im Bereich der Messbereichsschwankungen.

Im Mittel werden etwa 4000 t Streusalz je Winterperiode verbraucht. Bei im Mittel etwa 35 Einsatztagen pro Jahr werden also rd. 114 t Streusalz je Einsatztag ausgebracht. Wenn angenommen wird, dass diese Menge mit dem Schmelzwasser innerhalb eines Tages abflusswirksam wird, das Streusalz also im gesamten Oberflächenabfluss eines Tages gelöst wird, errechnet sich für Januar folgende mittlere Erhöhung der Chloridkonzentration:

\* Pegel Nürnberg: 1.313.280 m<sup>3</sup>/d, 69.170 kg Chlorid → Erhöhung um 53 mg/l Chlorid

\* Pegel Hüttendorf: 2.920.320 m<sup>3</sup>/d, 69.170 kg Chlorid → Erhöhung um 24 mg/l Chlorid

### 5.3.4 Abwasser

Das Schmelzwasser mit den gelösten Auftausalzen gelangt über die Straßenentwässerung überwiegend in die Kanäle und wird den drei Nürnberger Kläranlagen (Klärwerk 1 mit 1.4 Mio. EWG, Klärwerk 2 mit 0,23 Mio. EWG und Kläranlage Brunn mit 750 EWG) zugeleitet ([www.abwasser.nuernberg.de](http://www.abwasser.nuernberg.de)). Die Kläranlagen der Stadt Nürnberg behandeln jährlich etwa 75 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser. Hiervon sind 30 Mio. dem häuslichen und industriellen Abwasser, 8 Mio. dem Fremdwasser (Grundwasser) und 7 Mio. dem Niederschlagswasser zuzuordnen ([www.umweltdaten.nuernberg.de](http://www.umweltdaten.nuernberg.de)). Der Fremdwasseranteil ist ein Hinweis auf über undichte Kanäle eindringendes Grundwasser. Umgekehrt könnte bei niedrigerem Grundwasserstand auch Abwasser aus undichten Kanälen in das Grundwasser versickern, entsprechende Abschätzungen hierzu fehlen jedoch. Undichte Kanäle wurden als erhebliche Eintragsquellen für Chlorid, Sulfat und Stickstoffverbindungen in das urbane Grundwasser erkannt. Nach einer Umfrage der Abwassertechnischen Vereinigung sind etwa 17% der öffentlichen Kanalisation (insgesamt rd. 450.000 km) kurz- bzw. mittelfristig zu sanieren. Der Zustand der privaten Grundleitungen, deren Länge fast doppelt so hoch ist wie die der öffentlichen Betreiber, wird als deutlich schlechter eingeschätzt (Berger et al. 2002). Aus undichten Kanälen entweichen ca. 10 % der Abwassermenge oder ca. 15 Liter pro Person und Tag in den Untergrund (Eiswith et al. 1999). Die mittlere Chloridbelastung von kommunalem Abwasser kann mit rd. 100 mg/l angegeben werden, hiervon stammen rd. 35 mg/l natürlicherweise aus dem Trinkwasser, 42 mg/l aus Köpereausscheidungen und der Rest aus diffusen Quellen wie Küchenabwässern etc. (Koppe et al. 1990). In Kläranlagen werden erst bei sehr hohen Konzentrationen (ab etwa 2 g/l) schädigende Wirkungen auf die Nitrifikation

und Denitrifikation festgestellt (Wresowar et al. 2000). Die Ablaufqualität einer biologischen Versuchskläranlage (Labor-Belebtschlamm-Anlage) wurde bei einer NaCl-Konzentration von 6,25 g/l verschlechtert. Ab 20 g/l NaCl erfolgt die Hemmung des mikrobiellen Peptonabbaus, während eine vollständige Hemmung mikrobieller Aktivität bei 80 g/l NaCl einsetzt (Brod 1993).

### 5.3.5 Baumvitalität

Die in den 70er und 80er Jahren beobachteten Streusalzschäden an Straßenbäumen haben zum vermehrten Einsatz abstumpfender Streumittel und der Entwicklung des Konzeptes "Differenzierter Winterdienst" geführt. Eine aktuelle Darstellung der Baumvitalität und ein Vergleich des Streusalznetzes mit der Baumvitalität wäre daher von großem Interesse. In Nürnberg wird der Gesundheitszustand der etwa 20.000 Straßenbäume etwa alle 5 Jahre in einem Baumkataster erfasst. Zwar finden sich in entsprechenden "Memo-Feldern" der Datenbank auch Hinweise auf die Art der Schädigung (Gasschäden, Streusalzschäden ...), das Herausfiltern der entsprechenden Daten ist aber nur mit sehr großem Aufwand möglich und konnte im Rahmen des Projekts nicht vorgenommen werden. Derzeit wird das Baumkataster auf ein GIS-System umgestellt. Es gibt Hinweise, dass im Bereich der bepflanzten Mittelstreifen der Hauptverkehrsstraßen Streusalzschäden auftraten. Diese Bereiche werden nur noch bepflanzte, wenn die Breite des Mittelstreifens mindestens 5 m beträgt. Im Bereich der Münchner Straße befinden sich rd. 3500 Bäume, die jedoch teilweise auch den angrenzenden öffentlichen Grünanlagen zugerechnet werden und bisher nicht im Baumkataster erfasst sind.

Eine aktuelle Auswertung des Baumkatasters ergab folgendes Bild (persönliche Mitteilung Herr Kaiser, Gartenbauamt vom 09.10.03):

Tab. 29: Baum-Vitalitätsstufen im Nürnberger Stadtgebiet und der Münchner Straße

Vitalität	Schädigung	Beschreibung	Stadtgebiet		Münchner Str.	
			Anzahl	%	Anzahl	%
1	0-10%	Wachstum und Entwicklung arttypisch	8427	64,2	287	42,8
2	11-25%	Wachstum und Entwicklung ausreichend	3469	26,5	260	38,7
3	26-50%	Wachstum und Entwicklung gestört	1096	8,4	117	17,4
4	51-75%	Wachstum und Entwicklung empfindlich gestört	17	0,1	-	-
5	>76%	Vitalität kaum oder nicht mehr feststellbar	106	0,8	5	0,8

Hieraus ergibt sich für die Münchner Straße insgesamt ein schlechterer Zustand der Bäume als im übrigen Stadtgebiet. Ob dieser jedoch auf Streusalzeinfluss oder auf die Baumarten, das Baumalter, die Bodenbedingungen oder weitere Randbedingungen zurückzuführen ist, kann nur eine vertiefte Analyse mit unbelasteten Vergleichsstraßen zeigen, die noch erarbeitet werden sollte. Nach Auskunft des Gartenbauamtes sind solche Vergleichsstraßen jedoch nur bedingt zu benennen, da weitere Abgrenzungsfaktoren wie das Alter der Bäume oder der Versiegelungsgrad im Bereich der Baumstandorte einen erheblichen Einfluss ausüben (persönliche Mitteilung von Herrn Kaiser, Gartenbauamt vom 9.12.03). Durch das Gartenbauamt wurden in der Zeit von 1983 bis 1990 an mehreren hundert ausgewählten Baumstandorten Untersuchungen zu Streusalzschäden an Bäumen durchgeführt. Diese Untersuchungen konnten wegen der Auflösung des Projektes und der Verlagerung der darin arbeitenden Personen in neue wichtigere Projekte nicht abgeschlossen und in eine auswertbare Form gebracht werden. Aus den bestehenden Unterlagen können aber folgende Aussagen getroffen werden:

Durch die Streusalzausbringung wurden vermehrte Schäden an Jungbäumen festgestellt, die im Vergleich zu Altbaumbeständen mit gleichen Bedingungen vermehrt Rindenschäden auf der sonnenzugewandten SW-Seite durch die Kombination Streusalzkruste und Sonneneinstrahlung aufwiesen. Zudem wurde nach Streusalzausbringung eine Erhöhung des pH-Wertes auf bis zu pH 9 und eine starke Verschlämmung der Bodenstruktur festgestellt. Extrem hohe Belastungen wurden unter versiegelten Flächen im oberen Bereich ermittelt, da sich durch die Kapillarität die Salzkonzentrationen im oberen Bereich anreicherten.

Im August 1987 fand eine Blattrandnekrosenmessung durch Salzschäden statt. Ergebnis war hierbei das zwischen der Salzbelastung des Bodens und dem Ausmaß der Blattrandnekrosen kein Zusammenhang hergestellt werden konnte. Auch andere Faktoren (Baumscheibengröße, Versiegelung u.a.) hatten ebenfalls einen großen Einfluss auf die Vitalität. Diese Untersuchungen konnten aber leider nicht mehr abgeschlossen bzw. fortgeführt werden (persönliche Mitteilung von Herrn Kaiser, Gartenbauamt vom 10.12.03).

Sowohl Chlorid als auch Natrium gelten als pflanzliche Mikronährstoffe und werden von den Pflanzen in geringen Mengen zum Wachstum benötigt. In den Literaturstudien von Brod (1993 und 1995) werden eine Vielzahl von Arbeiten ausgewertet, die eine große Variationsbreite in der Konzentration von Natrium und Chlorid in verschiedenen Pflanzengeweben dokumentieren. Die natürlichen Chloridgehalte schwanken bei Laubbäumen zwischen 0,7 und 17 mg/g Trockengewicht. Die Folgen von Wasser- und Salzstress sind nach Brod schwer zu unterscheiden, da ähnliche physiologische Prozesse ablaufen, so dass nur in den Pflanzen bestimmte erhöhte Natrium- bzw.- Chloridgehalte ein sicheres Indiz für Tausalzschäden sind. Allgemein werden für Pflanzen folgende Grenzwerte (% Trockengewicht Blätter) genannt, ab denen eine Schädigung einsetzt: 5 mg/g Chlorid (für immergrüne Koniferen) sowie 5-15 mg/g Chlorid und 1-8 mg/g Natrium (für salzempfindliche Pflanzenarten). Hinzu kommt, dass der Chloridgehalt oftmals mit der Vegetationsperiode zunimmt, so dass nach Brod (1993) von sichtbaren Tausalzschäden ausgegangen werden kann, wenn der Chloridgehalt im Mai/Juni über 10 mg/g Trockengewicht liegt.

Aktuelle Angaben zu Streusalzschäden auch aus anderen Städten liegen nur sehr begrenzt vor. Im Rahmen der "Ständigen Konferenz der Gartenamtsleiter beim Deutschen Städtetag" (GALK) arbeitet ein Arbeitskreis Stadtbäume.

Im Bericht des Arbeitskreises Stadtbäume zur GALK-Tagung 1999 in Magdeburg wird festgestellt, dass in den vorangegangenen 2 bis 3 Wintern wieder stärker Salzschiäden aufgetreten sind, obwohl durch den Einsatz von Feuchtsalz die Salzmenge um ca. 20 % reduziert wurde ([http://www.galk.de/arbeitskreise/ak\\_stadtbaeume/...](http://www.galk.de/arbeitskreise/ak_stadtbaeume/)).

### 5.3.6 Entsorgung des Straßenkehrichts

Die im Winterdienst eingesetzten abstumpfenden Streumittel werden überwiegend mit dem Straßenkehricht eingesammelt und derzeit auf der Deponie Nürnberg Süd (Marthweg 201) deponiert. Das Einsammeln erfolgt im Rahmen der üblichen Straßenreinigung. Die Deponie ist nach der TA-Siedlungsabfall bzw. der Deponieverordnung in Deponieklasse 2 eingestuft und darf demzufolge Abfälle mit einem organischen Anteil des Trockenrückstandes (oTS)  $\leq 5$  Masse-% annehmen. (Der Hausmüll Nürnbergs wird bereits seit 1968 in einer mittlerweile erneuerten Verbrennungsanlage behandelt.) Die Deponie hat ein genehmigtes Volumen von 1,5 Mio. m<sup>3</sup> auf einer Fläche von 10 ha und verfügt über eine Oberflächenabdichtung (3 ha Betriebsabdichtung), Faulgas erfassung und eine Sickerwasserbehandlungsanlage mittels Fällung/Flockung. Die Restlaufzeit beträgt über 15 Jahre; nach Auskunft des Deponiebetreibers wird davon ausgegangen, dass der Straßenkehricht auch nach dem Jahr 2005 über diese Deponie entsorgt wird. Straßenkehricht zählt zu den Abfällen, die nur einen geringen Organikanteil aufweisen, im Mittel jedoch das Kriterium des oTS der TA-Siedlungsabfall überschreiten. Der in den Sommermonaten anfallende Straßenkehricht wird oftmals deponiert, der im Herbst und Winter anfallende Straßenkehricht gelangt aufgrund des erhöhten Organikanteils teilweise in die Verbrennung. Der über den Glühverlust bestimmte oTS überschätzt in der Regel den organischen Anteil, da auch der Carbonatgehalt der Probe miterfasst wird. Daher wird gefordert, den TOC-Gehalt der Probe als Kriterium für eine Deponierbarkeit heranzuziehen (Ehrig et al. 1997). Für die Deponieklasse 2 ist ein TOC der Trockensubstanz von  $< 3$  Massen % vorgegeben. Die Abfallablagerungsverordnung (2001) sieht für Deponien für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle vor, die Abbaubarkeit der organischen Restfraktion anhand der aeroben Atmungsaktivität (AT4) oder der anaeroben Gasbildung (GB21) als Kriterium heranzuziehen. Ob diese Vorgehensweise künftig auch für Straßenkehricht angewandt wird, ist noch offen. Allerdings überschreitet Straßenkehricht oftmals auch die hier vorgegebenen Kriterien (AT4  $< 5$  mg/g, GB21  $< 20$  l/kg), so dass Experten davon ausgehen, dass eine Aufbereitung des Straßenkehrichts künftig gefordert sein wird (Ehrig et al. 1997). In der TA-Siedlungsabfall wird unter 5.2.5 Straßenkehricht gefordert: "Das Granulat aus dem Winterdienst soll nach Möglichkeit vom übrigen Straßenkehricht getrennt und einer Verwertung zugeführt werden".

In den Jahren 1999 bis 2002 wurden folgende Mengen an Straßenkehricht deponiert:

Tab. 30: Abfallaufkommen an Straßenkehrriecht und Blähtonverbrauch in Nürnberg.

Jahr	1999	2000	2001	2002
Masse Straßenkehrriecht [t]	4.800	4.100	3.800	4.400
Wassergehalt 50%				
Streumittelverbrauch Blähton			3.127,05	

Die monatliche Verteilung des Straßenkehrriechtaufkommens von 1999 bis 2002 ist in nachfolgender Abbildung wiedergegeben. Deutlich zur erkennen ist das Minimum im November und die Zunahme und insgesamt größere Schwankungsbreite in den Wintermonaten von Dezember bis März, die zu einem Großteil durch den Einsatz der abstumpfenden Streumittel erklärt werden kann (persönliche Mitteilung Herr Kluike, ASN Nürnberg vom 23.09. und 15.10.03).

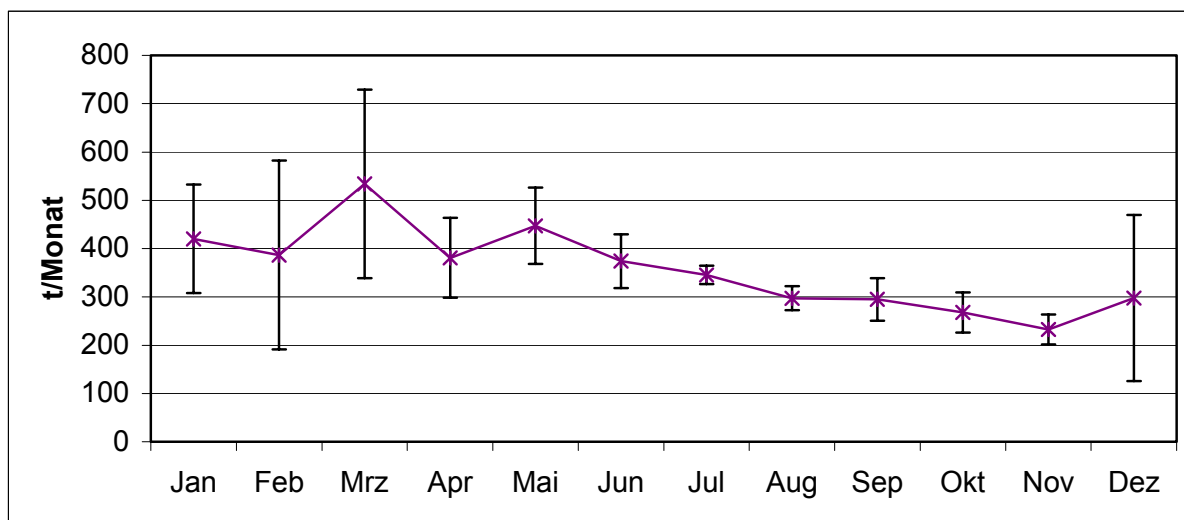


Abb. 18: Straßenkehrriechtaufkommen in Nürnberg 1999-2002.

Demnach trägt der Einsatz abstumpfender Streumittel im Mittel zu etwa der Hälfte zum Aufkommen des Straßenkehrriechts bei. Nach Literaturangaben werden nur etwa 70% der ausgebrachten Splittmenge mit dem Straßenkehrriecht wieder aufgesammelt (Moritz 1999). Aufgrund der geringen Stabilität des Blähtons wurde für Nürnberg der Anteil des von der Straßenreinigung erfassten Blähtons mit 50% noch niedriger festgelegt. Ein Teil gelangt mit der Straßenentwässerung in die Sinkkästen oder Absetzbecken der Kläranlage, der Rest in angrenzende Grünflächen.

### 5.3.7 Weitere bekannte Untersuchungen

Vor etwa 20 Jahren wurden Untersuchungen zur Qualität des Bankettschälgutes im Bereich der Münchner Straße unter Einbeziehung des Salzgehaltes durchgeführt. Hintergrund der Untersuchung war jedoch die angedachte Entsorgung/Ablagerung des Bankettschälgutes nach KlärschlammVO. Die Daten sind mit einem vertretbaren Aufwand jedoch nicht verfüg-

bar (persönliche Mitteilung Herr Hirsemann, ASB, Straßenbehörde, Baustoffbeschaffung vom 23.09.03).

### **5.3.8 Auswirkungen auf Bauwerke und Fahrzeuge**

Tausalz trägt wesentlich zu einer verstärkten Korrosion an Brücken und Gebäuden (Betonbauteilen, Parkhäuser, Stahlträgern) und Fahrzeugen bei.

Während frühere Schätzungen davon ausgingen, dass etwa 50 % der Kraftfahrzeug-Korrosion auf die Anwendung von Streusalz zurückzuführen ist (für Deutschland ca. 175 DM/Kfz und Jahr, für die Schweiz insgesamt 300 Mio. Franken/Jahr) zeigen neuere Untersuchungen, dass die Salzkorrosion bei modernen Kraftfahrzeugen aufgrund eines verbesserten Korrosionsschutzes praktisch keine Rolle mehr spielt (Kurzmann 1993). Allerdings berichten einige Fachleute von einer Zunahme neuartiger Korrosionsschäden an der Bordelektronik, die aufgrund der Weiterentwicklung von Fahrzeugen eher an Bedeutung gewinnen wird (Wallman et al. 1998).

Die chloridinduzierte Korrosion von Beton spielt eine große Rolle, auch wenn in den letzten Jahrzehnten durch verbesserte Betoneigenschaften hinsichtlich der Chlorideindringung und des elektrolytischen Widerstandes deutliche Verbesserungen erzielt wurden. Der Baustahl in Beton ist zunächst durch das alkalische Milieu in Anwesenheit von Calciumhydroxid ( $\text{pH} > 12$ ) geschützt, indem sich eine aus Eisenoxiden bestehende Schutzschicht ausbildet. Der Chloridangriff erfolgt zunächst durch Kapillar- oder Diffusionstransport der Ionen zum Stahl. Ab einer kritischen Schwellenkonzentration (rd. 0,25-0,8 M.-% Chlorid, bezogen auf den Zementgehalt) wird die Schutzschicht zerstört und eine anodische Lochfraßkorrosion eingeleitet (Raupach 2002). Die Quelle der Chloride ist zunächst nicht entscheidend, allerdings scheint unstrittig, dass Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) schneller in den Beton eindringt und daher korrosiver wirkt als Natriumchlorid.  $\text{CaCl}_2$  wird daher in Schweden nicht mehr eingesetzt (Persson und Ihs 1998). Hinsichtlich der Korrosivität von Magnesiumchlorid ( $\text{MgCl}_2$ ) liegen widersprüchliche Daten vor: Während das American Concrete Institute (1992) von einer geringeren Einwirkung gegenüber Beton als NaCl berichtet, weisen Hansson et al. (2002) auf eine deutlich höhere Korrosivität als NaCl und sogar  $\text{CaCl}_2$  hin.

Hinsichtlich möglicher Streusalzschäden an Natursteinen wie Sandstein, dem in Nürnberg eine besondere Bedeutung zukommt, liegen wenige und widersprüchliche Angaben vor. So wird einerseits von einem Streusalzangriff auf den Kalkanteil als Bindemittel unter Bildung von Calciumchlorid sowie durch Kristallisations- und Hydratationsdruck berichtet ([www.baukosten.com/stein2.htm](http://www.baukosten.com/stein2.htm) und [www.baustoffchemie.de/bauschaedliche\\_salze/](http://www.baustoffchemie.de/bauschaedliche_salze/)), andererseits gilt Sandstein mit kieseligem Bindemittel gemäß den DECHEMA-Werkstofftabellen als beständig gegen Chloride (Dechema 1990).

Höhere Chloridkonzentrationen im Trinkwasser können zu einer Korrosion des Trinkwasserleitungsnetzes führen (Jülich, 2000). Allerdings zeigen praxisnahe Versuche mit Trinkwässern unterschiedlicher Chloridkonzentration (21-112 mg/l), dass zumindest in diesem Konzentrationsbereich kein Zusammenhang zwischen der Korrosionsrate und dem

Chloridgehalt gegeben ist. Die Korrosion von Kupferleitungen wird in erster Linie durch den pH-Wert bestimmt (Thore 2003).

Es liegen verschiedene Schätzungen über die finanziellen Folgen der tausalzbedingten Korrosion von Infrastruktureinrichtungen vor. Deren Aussagen sind jedoch dadurch limitiert, dass das Ausmaß der Schäden meistens von mehreren Faktoren bestimmt wird (Konstruktionsfehler, Betonqualität, Frostwechsel, Beanspruchung durch Fahrzeuge, Carbonatisierung etc.). Im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes wurde festgestellt, dass rd. 37 % der etwa 80.000 Brückenbauwerke in Deutschland (erste) Schäden aufweisen (Woodward 2001). Die externen streusalzbedingten Kosten des Verkehrs in Deutschland werden für das Jahr 1993 mit 0,9 Mrd. DM beziffert (Anonym 1996).

Auch abstumpfende Mittel können durch Lackschäden die Korrosion von Fahrzeugen verstärken, die Laufleistung von Winterreifen verringern (Assmann 1999) oder auch direkte mechanische Schäden an Straßenbegleitgrün oder Mähgeräten verursachen. Zudem kann es zu Verstopfungen von Entwässerungsanlagen, Kanalisation und Kläranlagen kommen. Schäden an Brückenbauten oder Fahrbahndecken (Beton, Asphalt) durch abstumpfende Stoffe sind indes kaum bekannt (Moritz 1999).

Ein Kosten/Nutzen-Vergleich muss den zur Aufrechterhaltung des Winterdienstes erforderlichen Betriebskosten (Personal, Fahrzeuge, Administration sowie indirekte Kosten) den volkswirtschaftlichen Nutzen (z. B. geringerer Energieverbrauch, kürzere Reisezeiten, weniger glättebedingte Unfälle, Krankenhauskosten etc.) gegenüberstellen. Eine Reihe von Studien bestätigt den volkswirtschaftlichen Nutzen des Winterdienstes auf außerörtlichen Straßen, insbesondere aufgrund verminderter Unfallkosten (Durth 1995, Ruess 1998, Pichler 1997). Innerorts ist eine Bewertung aufgrund des zu geringen Datenumfanges derzeit nur bedingt möglich (Bark et al. 1994). In der Einbeziehung von Kosten-Nutzen Analysen für die Bewertung verschiedener Winterdienststrategien wird ein wichtiges künftiges Forschungsfeld gesehen (Burtwell et al. 2002).

## **5.4 Prüfung von Optimierungspotenzialen**

Im Folgenden ist die Analyse von Optimierungsmaßnahmen dargestellt. Sie sind im Rahmen der Untersuchung exemplarisch für die Winterperiode 2001/2002 durchgeführt wurden. Es ist damit erkennbar, welche Optimierungspotenziale für einen harten Winter möglich sind.

### **5.4.1 Erhöhung des Feuchtsalzanteils auf 90%**

In einem vereinfachten Szenario wurde angenommen, dass eine Erhöhung des Feuchtsalzanteils auf 90 % der insgesamt ausgebrachten Auftaumittelmenge zu einer Reduktion der eingesetzten Salzmenge um 25 % führt. Wird diese Maßnahme von allen verantwortlichen Institutionen durchgeführt, so führt dies zu einer Reduktion von kumuliertem Energieaufwand und Umweltzielbelastungspunkten für die Stadt Nürnberg um jeweils 4 %.

Diese zunächst gering erscheinenden Einsparpotenziale müssen vor dem Hintergrund der relativ großen Beiträge der anderen Teilprozesse, insbesondere des Beitrags von Blähton-Winterstreu, gesehen werden.



### 5.4.2 Ersatz von Blähton durch Splitt

Für die Analyse der Auswirkungen des kompletten Ersatzes von Blähton durch Splitt wurde angenommen, dass Blähton-Winterstreu entsprechend der Herstellerangaben typischerweise mit 12,5 g/m<sup>2</sup> ausgebracht wird. Demgegenüber wurde für Splitt eine Ausbringmenge von 150 g/m<sup>2</sup> festgelegt. Unter den für Splitt eher ungünstigen Rahmenbedingungen zeigten die Ergebnisse ein Einsparpotenzial von 30% (kumulierter Energieaufwand) bis 40 % (Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe).

Nicht berücksichtigt in dieser Modellierung ist bislang die unterschiedliche Entsorgung der beiden Streumittel. Allerdings ist von diesem Teilprozess kein signifikanter Beitrag zu erwarten, der das Ergebnis zu Ungunsten von Splitt wenden würde.

### 5.4.3 Antransport der Auftaumittel per Bahn

In einem weiteren Szenario wurde überprüft, welche Optimierungspotenziale durch die komplette Substitution der LKW-Antransporte durch einen Bahnantransport der Auftaumittel möglich sind. Es wurde angenommen, dass sich die Transportentfernungen in einem solchen Szenario nicht ändern würden und dass es sich um elektrisch betriebene Lokomotiven handelt. Die Berechnungen ergaben, dass ein Einsparpotenzial von 7 % (kumulierter Energieaufwand) bzw. von 12 % erreicht werden kann. Insgesamt können durch einen Wechsel zu Bahntransporten 90 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente eingespart werden. Diese relative Einschätzung ändert sich, wenn sich der Anteil der Vorkette Blähton ändert.

In nachfolgender Abbildung ist zum Vergleich dargestellt, in welcher Relation der Antransport zur Herstellung der jeweiligen Streumittel steht. Es wird deutlich, dass im Fall von Blähton-Winterstreu im Gegensatz zu den anderen Streumitteln der Antransport aufgrund seines geringen Teilbeitrags praktisch kein Optimierungspotenzial bietet.

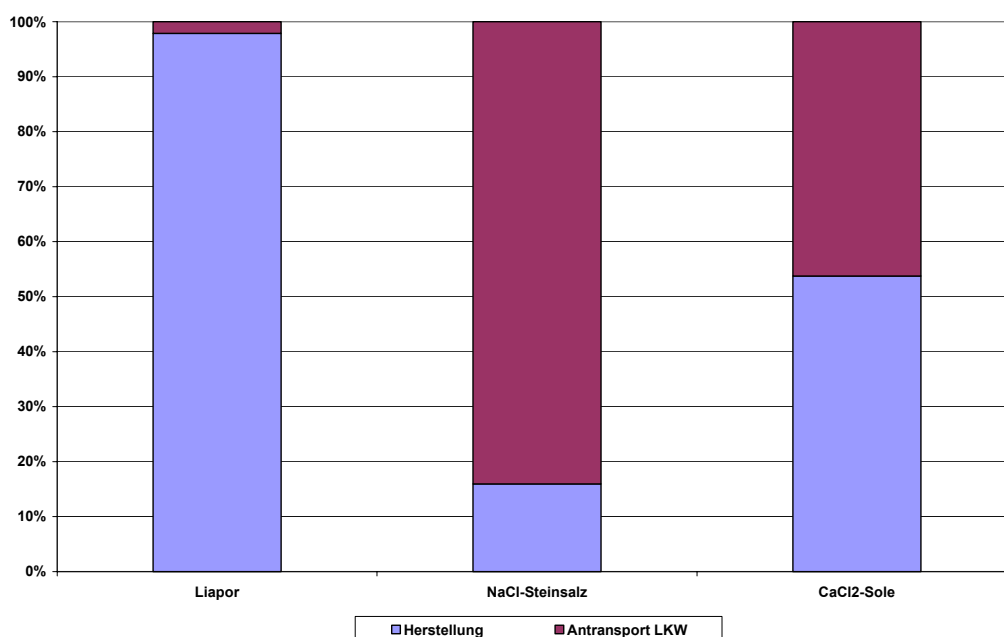


Abb. 19: UZBP Schadstoffe- Anteile Transport LKW und Herstellung für alle Streumittel (Winter 2002/2003).

#### 5.4.4 Optimierung des Fahrzeugparks

Für dieses Szenario wurde in zwei Schritten vorgegangen: im ersten Schritt erfolgte eine Optimierung nur für den Verantwortlichkeitsbereich der ASN, im zweiten Schritt wurde die Optimierung aufgeweitet auf alle verantwortlichen Institutionen in der Stadt Nürnberg.

Die Optimierungsmaßnahmen bestanden für den maschinellen Winterdienst darin, dass alle Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht zwischen 14 und 21 Tonnen auf Euro 3-Norm aufgerüstet werden. Im manuellen Winterdienst betrafen die Optimierungsmaßnahmen alle leichten Nutzfahrzeuge (LNF), die ebenfalls auf Euro 3-Norm aufgerüstet wurden.

Das Einsparpotenzial beträgt im ersten Schritt (nur ASN) 3 % (kumulierter Energieaufwand) bzw. 6 % (Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe) oder 32 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Im zweiten Schritt, bei einer Aufweitung der genannten Maßnahmen auf alle Institutionen erhöht sich das Einsparpotenzial auf 7 % (kumulierter Energieaufwand) bzw. 14 % (Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe) oder 78 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Auch in diesem Fall sollte in Betracht gezogen werden, dass sich die Gesamteinschätzung ändert, wenn sich der Teilbetrag von Blähton-Winterstreu ändern sollte.

#### 5.4.5 Ersatz von CaCl<sub>2</sub>-Sole durch NaCl-Sole

Wird die gesamte eingesetzte CaCl<sub>2</sub>-Sole durch NaCl-Sole ersetzt, so beträgt das Einsparpotenzial nur 1 % (kumulierter Energieaufwand) bzw. 2 % (Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe). Allerdings ist das Einsparpotenzial beim flächendeckenden Einsatz von Feuchtsalz bedeutend größer. Anzumerken ist, dass die Einsatzmöglichkeiten der beiden genannten Solen unterschiedlich sind; NaCl-Sole z.B. nur bis zu einer Temperatur von -8°C einsetzbar ist. Aus technischen Gründen erscheint der je nach Witterungsbedingungen wechselweise Einsatz von NaCl- oder CaCl<sub>2</sub>-Sole nicht praktikabel. Infolgedessen ist zu entscheiden, inwiefern die bisherige Praxis der Feuchtsalzbereitung mit CaCl<sub>2</sub>-Sole fortgeführt werden soll. Insbesondere dann, wenn über eine Ausweitung der Salzstreustrecken nachgedacht wird.

Calciumchlorid (CaCl<sub>2</sub>) ist stark hygroskopisch und setzt in Gegenwart von Feuchtigkeit Wärmeenergie frei, so dass der Auftauvorgang schneller eingeleitet wird. Die Auftauwirkung von Calciumchlorid ist noch bei -30°C gegeben, daher wird es bevorzugt bei sehr tiefen Temperaturen oder auch als Sole bei der Feuchtsalzmethode eingesetzt. Allerdings gilt CaCl<sub>2</sub> als betonaggressiver als Natriumchlorid (Persson and Ihs 1998). Eine vergleichende Bewertung der Wirkung von Natriumchlorid und Calciumchlorid auf Gehölze ergab, dass diese bei Applikation gleicher Mengen eine ähnliche Toxizität aufweisen, obwohl Calcium zu den Hauptnährstoffen, Natrium hingegen zu den Mikronährstoffen von Pflanzen zählt (Brod 1988). Dies ist darin begründet, dass die Phytotoxizität zum größten Teil auf das Chlorid zurückzuführen ist. Allerdings liegen auch Untersuchungen vor, in denen bei Verwendung von Calciumchlorid geringere Pflanzenschäden beobachtet wurden (Wresowar and Sieghardt

2000) und von einer Verbesserung der Kationenregulierung von Pflanzen berichtet wird (Bogemans et al. 1989). Eine Reduktion der Chlorideinträge durch die Feuchtsalztechnik unter Einsatz von Calciumchlorid ist grundsätzlich günstig zu bewerten.

Es wurde postuliert, dass die Gefahr einer Verschlechterung der bodenphysikalischen Eigenschaften bei Einsatz von Calciumchlorid geringer sei als bei NaCl. Eine hohe Na<sup>+</sup>-Sättigung des Kationenbelages von Böden kann zu einer Alkalisierung derselben, zur Dispergierung von Bodenpartikeln und damit zu einer Zerstörung der Bodenstruktur führen. Calciumionen wirken demgegenüber eher flockend und stabilisierend. Wie Natrium- verdrängen auch Calciumionen die Pflanzennährstoffe Kalium und Magnesium von den Austauscherplätzen und führen so zu einer Auswaschung von Nährstoffen. Straßenrandböden weisen, bedingt durch Beton- und Zementreste, oftmals auch ohne CaCl<sub>2</sub>-Einfluss eine hohe Ca<sup>++</sup>-Sättigung und gute Durchlässigkeit auf, so dass eine Natrium bedingte Verschlechterung der Bodenstruktur eher selten anzutreffen ist (Brod 1993, 1984).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einsatz von Calciumchlorid unter ökobilanziellen Gesichtspunkten im Vergleich zu Natriumchlorid zu keiner eindeutigen Entlastung bezüglich der nachgeschalteten Ketten führt. Aufgrund der höheren Kosten ist der Einsatz von Calciumchlorid daher nur in der Feuchtsalztechnik (FS 30) empfehlenswert.

#### **5.4.6 Ersatz von Blähton durch Schwarzüäumen bzw. Weißen Winterdienst**

Aufgrund der Tatsache, dass in der Fachwelt immer wieder argumentiert wird, dass das Streuen von Granulat (z.B. Blähton-Winterstreu) bezogen auf die Verkehrssicherheit nur einen geringfügigen oder gar keinen Effekt aufweist, wurde ein Szenario gezeichnet, bei dem nur geräumt und keine abstumpfenden Streumittel ausgebracht werden. In die Berechnung einbezogen wurde dabei nur das Entfallen der Vorketten von Blähton-Winterstreu, nicht aber die Ausbringung, da in jedem Fall geräumt werden muss. Dass dabei auch reine Streufahrten enthalten sind, wurde aufgrund des geringen Effekts vernachlässigt.

Das Einsparpotenzial beträgt 65 % (kumulierter Energieaufwand) bzw. 61 % (Umweltzielbelastungspunkte Schadstoffe) und ist damit der größtmögliche Einspareffekt der in den Sensitivitätsanalysen bislang betrachteten Maßnahmen. Einschränkend ist allerdings anzumerken, dass hier noch Prüfbedarf besteht, für welche Strecken Schwarzüäumen eine sinnvolle Alternative ist (z.B. Straßen) und für welche Strecken nicht (z.B. Gehbahnen, Fahrradwege). Es ist nicht anzunehmen, dass das volle oben skizzierte Potenzial in der Praxis ausgeschöpft werden kann.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse der Ökobilanz legen folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen nahe:

Blähton-Winterstreu trägt mit etwa zwei Dritteln zu den Umweltbelastungen des kommunalen Winterdienstes der Stadt Nürnberg bei. Aus diesem Grund stellt die Substitution von Blähton einen sehr effektiven Ansatzpunkt für eine Optimierung dar. Für einen Ersatz von Blähton im Straßenwinterdienst spricht auch dessen geringe Widerstandsfähigkeit gegen Schlag, die nicht den Vorgaben der TL-Streu, Ausgabe, 2003, entspricht (FGSV 2003). Der Einsatz von Blähton sollte daher auf Geh- und Fahrradwege begrenzt bleiben. Im Folgenden sollen die verschiedenen Substitutionsmöglichkeiten diskutiert werden, die denkbar sind:

- **Ersatz von Blähton durch Schwarzräumen bzw. Weißen Winterdienst.** Dies stellt prinzipiell die größtmögliche Einsparung dar (maximal zwei Drittel der Umweltbelastungen). Allerdings kann angenommen werden, dass diese Maßnahme nicht für alle Strecken gleichermaßen angewendet werden kann (beispielsweise Straßen und Fahrradwege). Nach Aussagen der ASN (vgl. Mitteilung ASN vom 5. Februar 2004) ist Schwarzräumen auf dem Straßennetz der Stadt Nürnberg aufgrund der Unebenheit der Fahrbahn, der Versorgungsschächte und des teilweise schlechten Straßenzustands nicht ohne Beschädigung der Räumlichkeiten oder der Straße möglich. Die ASN führt weiter aus, dass die Straßen und Gehwege des Stadtgebiets Nürnberg seit 1982 nach den Kriterien des „Differenzierten Winterdienstes“ geräumt und gestreut werden. Auf Basis der rechtlichen Grundlagen des Bayerischen Straßen- und Wegesetzes (BayStrWG) wird der „Weiße Winterdienst“ praktiziert. Eine Ausweitung sei rechtlich nicht möglich.
- **Ersatz von Blähton durch Splitt.** Der Ersatz von Blähton durch Splitt bietet mit 30 bis 40 % Reduktion der Umweltbelastungen ebenfalls ein nicht unerhebliches Einsparpotenzial. Hier besteht aber – ähnlich wie für die vorhergehende Maßnahme - Prüfbedarf, in welchen Bereichen Splitt auch aus Nutzensgesichtspunkten (Sturz- und Verletzungsgefahr) empfehlenswerter als Blähton ist (z.B. Fahrradwege). Nach Aussagen der ASN (vgl. Mitteilung vom 5. Februar 2004) wurde in Nürnberg in der Vergangenheit Splitt eingesetzt. Nachfolgend aufgeführte Nachteile des Splitts, die nach Meinung der ASN nach wie vor Gültigkeit besitzen, führten zur Umstellung auf Blähton:
  - Durch die Verwendung des scharfkantigen Splitts ist mit vermehrten Schäden an Autolack und Fahrzeugscheiben zu rechnen.
  - Splitt besitzt eine deutlich höhere Dichte als Blähton. Bei gleicher, erforderlicher Streudichte von 100 bis 150 g/m<sup>2</sup> reduziert sich der Aktionsradius der Streufahrzeuge. Häufigeres Nachladen, eine größere Anzahl von Leerfahrten und damit eine Erhöhung der Abgasemissionen sind die Folge (Anmerkung der Autoren: dieser Aspekt wurde in obiger Berechnung berücksichtigt).
  - Im Handeinsatz mit Streukarren werden die Mitarbeiter aufgrund des höheren Gewichts stärker physisch belastet.
  - Die Verletzungsgefahr von Haustieren (Schnittwunden an Pfoten) steigt.

- Der Verschleiß an Winterdienst-Streugeräten (Ausbringung) und Kehrmaschinen (Streugutaufnahme) bei Verwendung des scharfkantigen, abrasiven Splitt erhöht sich deutlich.
- **Ersatz von Blähton durch Feuchtsalz.** Die dritte mögliche Maßnahme besteht darin, Blähton durch Feuchtsalz zu ersetzen, d.h. die Streusalzstrecken aufzuweiten. Da es nach wie vor Hinweise auf die Auswirkungen von Salz in der Nachkette des Winterdienstes gibt (z.B. auf Vegetation und Grundwasser), kann ein kompletter Wechsel von abstumpfenden Streumitteln auf Salz nicht empfohlen werden. Insbesondere muss auch angemerkt werden, dass eine Ausweitung der Salzstreustrecken eine Erhöhung des Salzeintrages mit sich bringt. Aus diesem Grund kann die Substitution durch Feuchtsalz nur eingeschränkt, z.B. für spez. Gefahrenstellen, befürwortet werden. Eine Aufweitung des Salzstreuens auch auf den Winterdienst der privaten Haushalte im Rahmen der Verantwortlichkeiten der Grundstücksanlieger kann keinesfalls empfohlen werden. Hier ist die Höhe der Dosierung nicht kontrollierbar, was die Wahrscheinlichkeit für eine potenzielle Schädigung der Vegetation erhöht.

Die Analyse hat gezeigt, dass der Feuchtsalzanteil im Winterdienst der Stadt Nürnberg mit 12 Masseprozent an der insgesamt ausgebrachten Salzmenge relativ gering ist. Es sollte daher geprüft werden, inwiefern sich der Feuchtsalzanteil noch erhöhen lässt, insbesondere bezüglich des Maximalanteils besteht hierbei noch Prüfbedarf (z.B. etwaige Unterschiede zwischen maschinellem und manuellem Winterdienst). Hinsichtlich der möglichen Reduktion des kumulierten Energieaufwandes und der Umweltzielbelastungspunkte liegt, wie die Prüfung der Optimierungspotenziale gezeigt hat, in der Erhöhung des Feuchtsalzanteils nur ein relativ geringes Reduktionspotenzial. Der entscheidende Vorteil besteht in der Reduktion der insgesamt ausgebrachten Salzmenge und damit in der Entlastung der Nachkette (z.B. Grundwasser, Vegetation). Da alle Fahrzeuge mit einer Feuchtsalzstreueinrichtung ausgestattet sind, ist diese Maßnahme ohne zusätzlichen Aufwand hinsichtlich Investitionen etc. möglich. Insgesamt ist eine temperatur-, wetter- und straßenzustandsabhängige Entscheidung zugunsten des Feuchtsalzes unumgänglich (vgl. Mitteilung ASN vom 5. Februar 2004). Die ASN führt hierzu weiter aus:

*„Unzweifelhaft ist, dass Trockensalz bei Temperaturen tiefer  $-8^{\circ}\text{C}$  seine Tauwirkung verliert. In der Stadt Nürnberg wird deshalb bei Temperaturen  $< -8^{\circ}\text{C}$  ausschließlich Feuchtsalz gestreut. Feuchtsalz hat zudem den Vorteil, dass es besser auf der Fahrbahn haftet als das trockene Salz, so dass Wehverluste und Verwirbelungen durch den Verkehr wesentlich geringer sind. Deshalb ist ein größerer Teil des ausgestreuten Salzes auf der Fahrbahn auch tauwirksam. Es kann somit mit geringeren Streumengen die gleiche Wirkung erzielt werden.*

*Dieser Vorteil kommt jedoch nur im Falle von Reif- und Eisglätte zum Tragen. Bei diesen Wetterlagen und Straßenzustandsbedingungen wird in der Stadt Nürnberg Feuchtsalz eingesetzt. Bei Schneefall bzw. schneebedeckter Fahrbahn ist die mindestens erforderliche Streudichte bei Trockensalz- bzw. Feuchtsalzeinsatz gleich. Die korrosivere Wirkung des  $\text{CaCl}_2$  gegenüber  $\text{NaCl}$  veranlasst uns zudem, in solchen Wettersituationen dem Trockensalz weiterhin den Vorzug zu geben.“*

Als weitere Maßnahme können die Transportprozesse (Antransport Streumittel und Ausbringung) optimiert werden. Zum einen könnten die Antransporte der Streumittel statt mit LKW mit der Bahn erfolgen. Allein für die Auftaumittel ergaben sich – unter den der Studie zugrunde gelegten Rahmenbedingungen - in den Analysen Reduktionspotenziale von etwa 10 %. Hierbei ist allerdings einschränkend anzumerken, dass die benötigte Infrastruktur (insbesondere Gleisanschlüsse) zunehmend reduziert wird.

In ähnlicher Größenordnung wie für den Bahnantransport bewegt sich das Reduktionspotenzial bei einer Optimierung des Fahrzeugparks in allen für den Winterdienst verantwortlichen Institutionen. Die letztgenannte Maßnahme kann sicherlich nur mittel- und langfristig angestrebt werden, da sie z.T. mit nicht unerheblichen Investitionen verbunden ist.

Im Rahmen der Prüfung der Optimierungspotenziale wurde als weitere Optimierungsmaßnahme geprüft, ob ein Ersatz von  $\text{CaCl}_2$ -Sole durch  $\text{NaCl}$ -Sole sinnvoll ist. Da bei dieser Maßnahme aber weder die ökobilanzielle Analyse (z.B. kumulierter Energieaufwand und Umweltzielbelastungspunkte) noch die qualitative Betrachtung hinsichtlich etwaiger Schäden für Grundwasser, Boden und Vegetation eine eindeutige Präferenz für den Einsatz von  $\text{NaCl}$  oder  $\text{CaCl}_2$ -Sole ergeben hat, kann hier aus ökologischer Sicht keine Empfehlung für eine der beiden Soletypen gegeben werden. Die Rücksprache mit der Stadt Nürnberg (mündliche Mitteilung Herr Koch) ergab ergänzend dazu die Einschätzung, dass aufgrund der Witterungsbedingungen der letzten Winter aus Verkehrssicherheitsgründen weiterhin  $\text{CaCl}_2$ -Sole eingesetzt werden sollte. Bei der Verwendung von Feuchtsalz mit  $\text{NaCl}$ -Sole ist die Tauwirkung bei Temperaturen  $< -7^\circ\text{C}$  deutlich reduziert bzw. bei noch tieferen Temperaturen nicht mehr gegeben (vgl. Mitteilung ASN vom 5. Februar 2004).

Der Einfluss der Salzstreuung auf erhöhte Chloridkonzentrationen im Grundwasser ist für Nürnberg schwer nachzuweisen. Allerdings liegen auch nur lückenhafte Daten vor. Von wesentlichem Einfluss scheint vielmehr die Lage und Tiefe der Grundwasserpegel zu sein. Generell finden sich in Brunnen, die den Gips-haltigen Keupersandstein (Benkersandstein) erreichen, höhere Chloridkonzentrationen. Insgesamt erreicht die Belastung jedoch nicht den Chloridgrenzwert gemäß Trinkwasserverordnung (250 mg/l).

Aktuelle Untersuchungen zu Streusalzschäden auf die Vegetation fehlen. Da beim Auftreten von Baumschäden in der Regel mehrere Faktoren eine Rolle spielen (neben Streusalz u.a. auch die Baumart, das Alter, die Bodenbedingungen) ist der Streusalzeinfluss am eindeutigsten durch Chloridanalysen in den Blättern im Vergleich zu unbelasteten Straßen nachweisbar. Es wird angeregt entsprechende Untersuchungen durchzuführen.

Dennoch ist der negative Einfluss des Streusalzes auf das Pflanzenwachstum in vielfachen Studien belegt. Bei einer undifferenzierten Erhöhung der Streusalzmenge ist daher mit zunehmenden Schäden im Bereich des Straßenbegleitgrüns zu rechnen, so dass nicht empfohlen werden kann, die bisherige Strategie des differenzierten Winterdienstes zugunsten einer ausschließlichen Salzstreuung zu ändern.

Im Bereich des Grundwasserschutzes könnte sich künftig ein Zielkonflikt zwischen der Regenwasserversickerung zur Schonung der Grundwasserreserven und hydraulischen Entlastung des Kanalnetzes und Kläranlage einerseits und dem möglichen Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser andererseits ergeben. Im Vergleich zu anderen Städten werden

in Nürnberg bisher jedoch nur wenige Straßenabflüsse versickert. Aus Sicht der Anwender von Streusalz ist eine effiziente Straßenentwässerung wünschenswert.

Obwohl die Deponierung von Straßenkehrriecht nach der TA-Siedlungsabfall ab 2005 in der Regel nicht genehmigungsfähig sein dürfte, scheint die Infrastruktur für die Behandlung der jährlich in Deutschland anfallenden Menge an Straßenkehrriecht von ca. 770.000 t noch nicht vorhanden zu sein. Es wird beklagt, dass nach einer kurzen Hochphase in der Aufbereitung kommunaler Reststoffe eine Deponierung dieser Materialien, überwiegend in den neuen Bundesländern, erfolgte (Peuser, 2002) und derzeit große Mengen im Rahmen von bergrechtlich genehmigten Rekultivierungsmaßnahmen im Braunkohletagebau verwendet werden (persönliche Mitteilung Herr Peuser, AKW Apparate+Verfahren GmbH u. Co. KG, Hirschau vom 14.10.03). Es ist zu erwarten, dass künftig Verfahren zur Straßenkehrriecht-aufbereitung (Bodenwäsche) an Bedeutung gewinnen dürften.

Die Strategie des "differenzierten Winterdienstes" ist insgesamt geeignet, den Streusalzeinsatz auf das notwendige Maß zu begrenzen. Daher sollte die bisherige Strategie weiterverfolgt und nach Möglichkeit optimiert werden. Eine undifferenzierte Erweiterung des Streusalznetzes kann nicht empfohlen werden, da dann mit zunehmenden Schäden im Bereich des Straßenbegleitgrüns zu rechnen ist. Es wird darüber hinaus dringend davon abgeraten, entgegen der bisherigen Praxis privaten Haushalten im Rahmen ihrer Verantwortlichkeiten als Grundstücksanlieger das Streuen mit Salz zu erlauben<sup>14</sup>. Perspektivisch wäre ein Benchmarking-Ansatz interessant, der es Kommunen erlaubt, sich im Vergleich zu anderen Kommunen einzuschätzen.

---

<sup>14</sup> Vgl. hierzu den „Bürgerbrief zum Winterdienst 2002/2003 in Nürnberg“ unter <http://www.asn.nuernberg.de/Winterd.html>; abgerufen am 23.07.2003.

## 7 Literatur und Quellen

- AbfAbIV 2001      Abfallablagerungsverordnung-AbfAbIV: Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen vom 20. Februar 2001 (BGBl. I S. 305; 24.7. 2002, S. 2807).
- ACI 1992      American Concrete Inst. Guide for making a condition survey of concrete in service. ACI 201.2R-92 Report, 1992.
- Anonym 1996      Anonym. Mobilität um jeden Preis? Expertenworkshop zu externen Kosten des Verkehrs und den Möglichkeiten sie zu verringern, Berlin 1996.
- Assmann 1999      Assmann, G. (1999). "Ökologie contra Glatteis." Informationsdienst Wissenschaft, 5 S.
- ATV-DVWK A 138 2002      ATV-DVWK A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Ausgabe Januar 2002, 61 S.
- Bayer. LfW 2003      Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hg.). Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch - Rheingebiet, Teil II, Main 1999 (01.11.1998-31.12.1999). Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München Juni 2003
- Berger et al. 2001      Berger, Ch., Lohaus, J., Wittner, A., Schäfer, R.: Zustand der Kanalisation in Deutschland-Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001. Korrespondenz Abwasser 49, N. 3, 2001, 302-311.
- BMU 1998      BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit); Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms. Bundesumweltministerium, Bonn 1998.
- Bogemanns 1989      Bogemanns, J.; Effect of Deicing NaCl and CaCl<sub>2</sub> on Spruce (Picea abies (L.) sp.) Plant and Soil 120, 1989, 203-211.
- Brod 1984      Brod, H.-G.; Auswirkungen der Auftausalze auf physikalische, chemische und biologische Bodenparameter. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 25, 1984, 236-242.
- Brod 1988      Brod, H.-G.; Vergleichende Betrachtungen über die Wirkung verschiedener Auftausalze (NaCl, CaCl<sub>2</sub> und MgCl<sub>2</sub>) auf Gehölze. Zeitschrift für Vegetationstechnik 11, 1988, 129-133.
- Brod 1993      Brod, H.-G.; Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1993.
- Burtwell et al. 2002      Burtwell, M. e. al.; Improvements to the snow and ice control on European roads and bridges. COST 344 Documentation for the final Seminar, Ministry of Transport, Directorate of the Republik of Slovenia of roads, Ljubljana ([www.brrc.be/pdf.cost344s.pdf](http://www.brrc.be/pdf.cost344s.pdf)) 2002.
- CML 1992a      CML (Centrum voor Milieukunde); Environmental Life Cycle Assessment of Products. Band 1: Guide. Final Editor: R. Jeijungs. CML, Leiden 1992a.
- CML 1992b      CML (Centrum voor Milieukunde). 1992b. Environmental Life Cycle Assessment of Products. Band 2: Backgrounds. Final Editor: R. Jeijungs. CML, Leiden.



Coldewey et al. o.J.	Coldewey, W.G., Dierkes, C., Geiger, W.F., Göbel, P., Kories, H.: Einfluss der Niederschlagsversickerung auf den Wasserhaushalt einer Stadt. <a href="http://www.uni-muenster.de/GeoPalaeontologie/Geologie/Angewandte/mitarbeiter/html/Goe_Ver4.htm">http://www.uni-muenster.de/GeoPalaeontologie/Geologie/Angewandte/mitarbeiter/html/Goe_Ver4.htm</a>
DECHEMA 1988	Dechema (Deutsche Gesellschaft für chemische Apparate, chemische Technik und Biotechnologie) e.V.: DECHEMA-WERKSTOFF-TABELLEN, Stand Februar 1988, Frankfurt, zit. in Battelle Europa: Baustoffkorrosion bei Baumaßnahmen auf Altablagerungen und Altstandorten. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle Nr. 6, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Karlsruhe, November 1990.
DepV 2002	DepV-Deponieverordnung vom 24. Juli 2002 (BGBl. I Nr. 52 vom 29.7.2002 S. 2807; 26.11.2002 S. 441702).
Durth 1995	Durth, W.; Kosten und Nutzen des Winterdienstes. Strasse und Autobahn 46, 1995, 505-509.
Ehring et al. 1997	Ehrig, H.-J., Brinkmann, U., Höring, K., Helfer, A.; Vorbereitung und Koordination des Verbundvorhabens Deponiekörper sowie Untersuchungen zum Gefährdungspotenzial, Deponie- und Langzeitverhalten vorbehandelter und zum Teil separierter Abfälle. Abschlussbericht BMBF-Vorhaben 1460799/5, Bergische Universität-Gesamthochschule Wuppertal, Fachgebiet Abfall- und Siedlungswasserwirtschaft, Wuppertal 1997.
Eiswirth et al. 1999	Eiswirth, M. Hötzl, H.; Gefährdungspotenzial von Abwasserversickerungen. Wasser Abwasser Praxis, 1999, Heft 5, 10-15
Feulner 1987 und 2000	Feulner, M.; Grundwasserberichte 1987 und 2000. Stadt Nürnberg, Umweltreferat, Umweltamt
FGSV 2003	FGSV; Technische Lieferbedingungen für Streustoffe des Winterdienstes (TL-Streu). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit (Ausgabe 2003), 2003, 23 S.
Frischknecht et al. 1996	Frischknecht, R.; Hofstetter, P.; Knoepfel, I.; Dones, R.; Zollinger, E.; Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 3. Auflage. Bern 1996.
Fritsche et al. 1997	Fritsche, U.; Rausch, L.; Buchert, M.; Hochfeld, C.; Jenseit, W.; Matthes, F.; Stahl, H.; Witt, J.; Gesamt-Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 3.0. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. Wiesbaden 1997.
GaBi 2001	GaBi; Ökobilanzsoftware, entwickelt am Institut für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung (IKP) und der PE Europe GmbH, Version 3V2. 2001; <a href="http://www.gabi-software.de/">http://www.gabi-software.de/</a> .
Gartiser et al. 2003	Gartiser, S., Reuther, R., Gensch, C.-O.; Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege in Anlehnung an DIN EN ISO 14024. Abschlussbericht F+E-Vorhaben 200 95308/04 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Februar 2003, UBA-Texte 09/03

Hansson et al. 2002	Hansson, C. M., Laurent, A.; Magnesium Chloide De-Icing Salt. Pages 14 in Structure Standing Committee, spring meeting 2002. Transport Association of Canada 2002, Ottawa, Canada.
Hassel et al. 1995	Hassel, D. et al. ; Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin. Berlin 1995.
Huijbregts 2000	Huijbregts, M. A. J.; Seppälä, J.; Towards Region-Specific European Fate Factors for Airborne Nitrogen Compounds Causing Aquatic Eutrophication. International Journal for LCA 5(2) 2000, 65-67.
Jülich 2000	Jülich, W.; Juristisches um die Salzproblematik aus niederländischer Sicht. In: AWBR Jahresbericht 2000. Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee-Rhein, 2000; 133-142.
Koppe et al. 1990	Koppe, P., Stozek, A.; Kommunales Abwasser. Vulkan-Verlag Essen 1990, 516 S.
Kurzmann 1993	Kurzmann, P.; Fortschritte beim Korrosionsschutz, Rostschutz durch Autolacke. Polizei Verkehr+Technik, 12, 1993.
Moritz 1999	Moritz, K.; Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst - Literaturanalyse. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - bast:83. 1999.
Perssons et al. 1998	Persson, K., Ihs, A.; Kalciumklorid i vinterväghållningen. Väg- och transport- forskningsinstitutet meddelande (Sweden) 1998.
Peuser 2002	Peuser, U.; Aufbereitung kommunaler Reststoffe. Korrespondenz Abwasser 49, 2002, 1688-1692
Pichler 1997	Pichler, W.; Gedanken zu einer gesamtwirtschaftlichen Beurteilung des Winterdienstes. Straßen- und Tiefbau 41, 12, 1997, 5-8.
Quack 2003	Quack, D.; Material Flow Analysis of average Households in Germany – Starting Point for the Project EcoTopTen. Anlässlich des Workshops "Quo vadis MFA - Material Flow Analyses where do we go? Issues, Trends and Perspectives of Research for Sustainable Resource Use" am 9. und 10. Oktober 2003, Wuppertal 2003.
Raupach 2002	Raupach, M.; Auswirkungen von Chloriden im Beton, Abhängigkeit von Betoneigenschaften. in Fachsymposium "Güteüberwachte Instandsetzung von Betonbauwerken" am 19. März 2002, Wittlich 2002.
Ruess 1998	Ruess, B.; Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst. Forschungsauftrag 4/95 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute (VSS), RUS AG, Raum-Umwelt-Sicherheit, Baden, Zürich 1998.
TA 1993	TA Siedlungsabfall-Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993 (BAnz. S. 4967 und Beilage) 1993.
Thore et al. 2003	Thore, A., Dorsch, T., Johannsen, K.: Korrosionsversuche in Hausinstallationen aus Kupfer nach DIN 50931-1 mit Trinkwässern unterschiedlicher Zusammensetzung. GWF Wasser-Abwasser 144, 2003, Nr. 13, 43-48.
UBA 1989	UBA (Umweltbundesamt); Daten zur Umwelt 1988/89. Erich Schmidt-Verlag, Berlin 1989.
UBA 1997	UBA (Umweltbundesamt); Daten zur Umwelt 1997. Erich Schmidt-Verlag, Berlin 1997.

umberto 2003	umberto 4.1. ; Modulbibliothek zur Ökobilanzsoftware umberto, Version 4.1. 2003.
Umwelt 1998	Umwelt; Umweltbundesamt und Statistisches Bundesamt. Umwelt-daten Deutschland 1998. Berlin/Wiesbaden 1998.
Wallman et al. 1998	Wallman, C.-G., P. Wretling, Öberg, G.; Effects of winter road maintenance. VTI rapport 423A. Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping 1998.
Woodward et al 2001	Woodward, R. J. e. al.; Bridge management in Europe (BRIME). European Commission 4th Framework Programme, Contract No.: O-97-SC.2220 Final report D14, TRL Ltd. 2001.
Wresowar et al. 2000	Wresowar, M., Sieghardt, M.; Studie über die Auswirkung stickstoff-hältiger Aufbaumittel, Auswirkungen auf Boden und Bewuchs, Vergleich mit herkömmlichen Aufbaumitteln. Studie im Auftrag der Magistratabteilung 22 der Stadt Wien, Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur, Wien, 2000.