STREUSALZ, EIN WICHTIGER ASPEKT DER STADTÖKOLOGIE

Von Alfred Stampler, Graz

ABSTRACT

Deicing salt, an important aspect in urban ecosystems. - In: Menschliche Siedlungsräume in pflanzen- und tierökologischer Sicht, Tagungsbericht, Ludwig Boltzmann-Institut, Graz, 1977, p.
First, some amounts of salt, used for road maintenance are given for different countries and cities. The influence of Na^+ and Cl^- ions partly on the soil, partly on the plant cells is discussed as well as the problem of the salt tolerance of Non-Halophytes.

1. EINLEITUNG

Das Problem der Schadwirkung von Salzen auf den Haushalt von Pflanzen stellt ein zentrales Problem der Pflanzenphysiologie dar, und war deshalb von jeher ein Interessensgebiet vieler Pflanzenphysiologen. Nun hat in jüngerer Zeit für die Pflanzen ein Salz an Bedeutung gewonnen, das unter natürlichen Wachstumsbedingungen eine eher untergeordnete Rolle spielt, nämlich das Natriumchlorid. Von den Halophyten muß dabei abgesehen werden, da sie von Natur aus mit diesem Streßfaktor konfrontiert sind.

Es ist hin und wieder noch immer die Meinung zu finden, bei den Streusalzschäden handle es sich um jahreszeitlich bedingte und damit begrenzte Schädigungen. Der Einfluß des Salzes beschränkt sich jedoch nicht auf den Winter, sondern spielt mit dem Beginn der Vegetationsperdiode erst recht eine Rolle. Im Winter wird das Salz lediglich dem Boden zugeführt. Mit dem Beginn des Saftstromes gelangt es zusammen mit dem Wasser in die Pflanze und erzeugt aus später noch näher zu besprechenden Gründen charakteristische Schadsymptome, wie Blattrandnekrosen. Im Herbst mit dem Laubfall gelangt zumindest der in den Blättern gespeicherte Teil des Salzes wieder in den Boden und wird dort gelöst und ausgewaschen. Außerdem wird durch Streuung dem Boden wieder neues Salz zugeführt. So steht in der nächsten Wachstumsperiode der Pflanze ein erhöhtes Salzangebot im Boden zur Verfügung. Der ganze Vorgang stellt einen Kreisprozeß dar, der durch die winterlichen Salzzugaben immer wieder verstärkt wird. Bei der Betrachtung eines solchen Kreisprozesses muß allerdings auch die Auswaschung und Abschwemmung der meist hochgradig löslichen Salze berücksichtigt werden. Diese bedingt aber nur eine lokale Verschiebung der Salzkonzentration, die schädigende Wirkung tritt dann an einer anderen Stelle zutage.

Nun ist von primärem Interesse, wie Salze allgemein, in unserem Fall speziell das Kochsalz, welches ja das wichtigste Streusalz darstellt, auf die Pflanze wirken. Zuerst aber sei hier ein kleiner Überblick über die jährlich verwendeten Streusalzmengen an Hand einiger Zahlen gegeben.

2. JÄHRLICH VERWENDETE STREUSALZMENGEN

KAMPL 1975 gibt für das Jahr 1973 allein für das Stadtgebiet von Graz 569 Tonnen als Streusalz verwendetes Kochsalz an. Im relativ schneearmen Winter 1974 wurden immer noch 169 Tonnen Kochsalz gestreut.

Einen Überblick über die Salzkonzentrationen des Schmelz- und Abflußwassers geben einige Werte aus eigenen Untersuchungen (STAMPLER 1976). In den Jahren 1975 und 1976 fanden sich im Schmelzwasser bis zu 3 Stunden nach dem Streueinsatz durchschnittlich etwa 3 g/l NaCl, in Extremfällen bis zu 15 g/l. HOIGNE 1974 gibt als Grenzkonzentration für Trinkwasser als Vergleich dazu 0,3 g/l NaCl an.

Laut HOIGNE 1974 werden in der Schweiz je nach Höhenlage, Witterungsverhältnissen, usw. 4-20 Tonnen Salz pro Kilometer Fahrbahnspur in einem Winter gestreut.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 1969 sogar 33 Tonnen Auftausalz pro Kilometer Bundesautobahn verbraucht (RÜGE 1972).

Eine interessante Untersuchung für die Schweiz stammt von ZULAUF 1964. In einer umfassenden Arbeit berechnete er die für verschiedene Klimagebiete der Schweiz zu erwartenden Streusalzmengen unter Berücksichtigung von 13 Parametern. ZULAUF stellte eine Kartenskizze auf, einer Niveauflächenkarte ähnlich, welche die Flächen gleicher zu erwartender Streusalzmengen pro Quadratmeter und pro Winter ausweist.

Wie die Verhältnisse in England aussehen, möge an Hand von Abbildung 1 nach WILLIAMSON 1968 dargestellt werden. Die verwendeten Streusalzmengen für Großbritannien durchlaufend von 1956 bis 1973 werden gezeigt, wobei 1970 ein Maximum von 1,7 Millionen Tonnen erreicht wurde.

3. DIE ROLLE DER NATRIUMIONEN

Grundsätzlich kann man zweierlei Wirkungsspektren der Ionen unterscheiden, einmal den Einfluß auf den Boden und damit indirekt auf den Pflanzenhaushalt, zum anderen kann eine direkte Aufnahme der Ionen aus dem Boden in die Leitungsbahnen und weiter in die Zellen der Pflanzen erfolgen.

Bei den Untersuchungen salzgeschädigter Pflanzen wurde immer wieder eine erhöhte Na-Ionenkonzentration in den Geweben der Pflanzen festgestellt. In Relation zur Anreicherung der Chloridionen scheint eine Na-Anreicherung jedoch nicht so signifikant zu sein. Das Natriumion spielt für die Ernährung der Pflanze eine untergeordnete Rolle, bei entsprechendem Angebot kann es aber in größeren Mengen aufgenommen und sogar gespeichert werden. Es verdrängt dabei andere und wichtigere Nährstoffe und bedingt dadurch eine Störung des Ionengleichgewichtes. Zudem kann es bei höheren Konzentrationen die physiologischen Funktionen des Kaliums teilweise übernehmen.

Abbildung 2 zeigt zwei Diagramme aus einer Arbeit von SMITH 1970. Der Na^+-Gehalt der Zweige und Nadeln von White Pine (*Pinus strobus*) wird in Relation zur Entfernung vom Straßenrand gesetzt. Diagramm A zeigt die Verhältnisse im Norden und Diagramm B die Verhältnisse im Süden der Straße. Der Na^+-Gehalt ist jeweils in % der Trockensubstanz angegeben, die Entfernung in Metern. Außerdem wurde noch zwischen straßenzugekehrter Seite (ausgezogene Linie) und

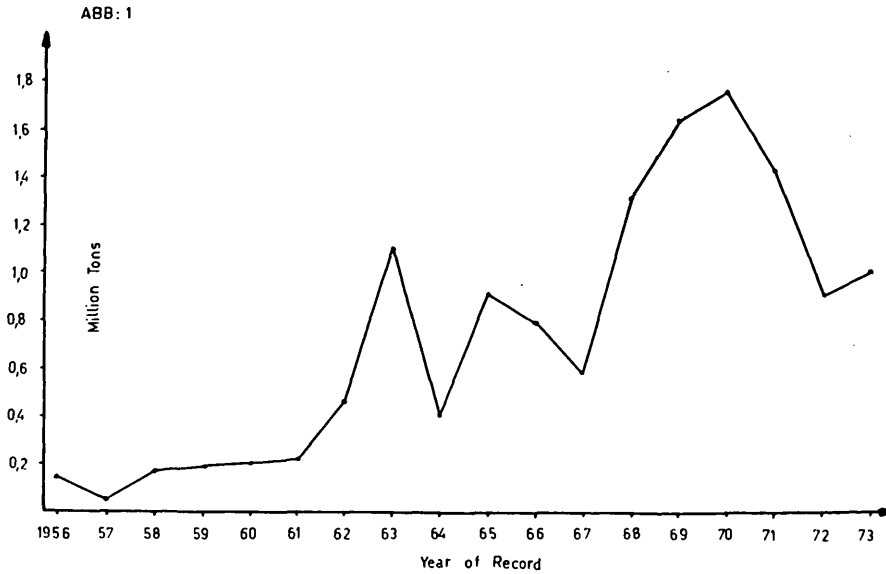

Abb. 1: Jährlich verwendete Streusalzmenge in Großbritannien von 1956 bis 1973 (nach WILLIAMSON 1968)

straßenabgewandter Seite (strichlierte Linie) unterschieden. Einerseits ist eine absolute Abnahme der Na^+-Konzentration mit der Entfernung vom Straßenrand zu erkennen, andererseits ein signifikanter Unterschied zwischen zugekehrter und abgewandter Seite, der eher auf äußerlich, durch etwaiges Spritzwasser verfrachtete Salze zurückzuführen ist.

Dieses Beispiel zeigt stellvertretend für ähnliche Untersuchungsergebnisse, daß auch das Natriumion durch Streusalzanwendung in erhöhten Konzentrationen in der Pflanze vorkommt und auch bei der Schädigung eine Rolle spielt.

Von wesentlich größerer Bedeutung für das Pflanzenwachstum ist das Na-Ion auf indirektem Wege durch lokale Bodenveränderungen. Natrium wird sehr leicht an Bodenkolloide gebunden und verdrängt andere wichtige Nährstoffe; der Boden wird für die Pflanze nährstoffarm, vor allem arm an den wichtigen Kationen wie Kalium, Kalzium und Magnesium. Hand in Hand mit diesem Ionenaustausch geht eine zu-

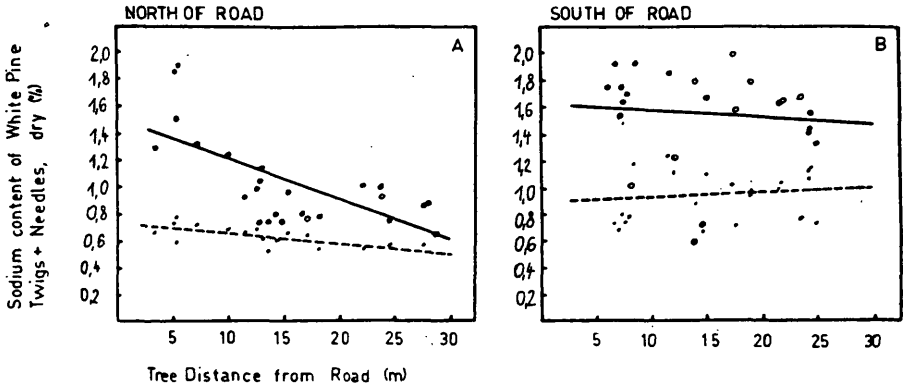

Abb. 2: Natriumgehalt der Zweige und Nadeln von *Pinus strobus* (mehrjährig). Proben von Bäumen in verschiedener Entfernung nördlich (A) und südlich (B) der Interstate 95 in Connecticut. 0 ———— 0 Proben der straßenzugekehrten Seite. 0 ------- 0 Proben der straßenabgewandten Seite der Bäume (SMITH 1970)

nehmende Verdichtung des Bodens durch Verlust der Krümelstruktur. Die Konzentration der freien Salze nimmt ab, dadurch wird auch die Leitfähigkeit der Bodenlösung herabgesetzt.

Außerdem kann es durch Hydrolyse zur Bildung von Natronlauge kommen (DAUBENMIRE 1974). Diese greift die Humusschicht des Bodens an und erhöht den pH-Wert der Lösung sehr stark. Gelöster Humus steigt in Trockenzeiten mit dem Verdunstungswasser an die Oberfläche und bildet eine rote bis schwarze Kruste. Im englischen Sprachraum hießt dieser Bodentyp, der auch in natürlich versalzten Gebieten auftreten kann, "black alkali soil". Bei uns spricht man von alkalischen Böden, wenn mehr als 15% aller Kationen durch Na^+ oder K^+ ersetzt sind. Untersuchungen hinsichtlich des Natriumgehaltes werden heute durchwegs auf dem Wege der Flammenphotometrie gemacht. In einer solchen Untersuchung von TRIPP und NADEAU 1974 (Abbildung 3), wurde der Natriumgehalt verschiedener Bodenproben in Abhängigkeit zur Entfernung einer Straße gesetzt. Die Ionenkonzentration wird in ppM angegeben, die Entfernung von der Straße in Metern. Man kann direkt am Straßenrand einen Konzentrationsschatten beobachten, in etwa 1 bis 2 Metern wird das Konzentrationsmaximum erreicht, das dann nach einem sehr starken Abfall in einen ausgleichenden Teil bis etwa 8 m übergeht.

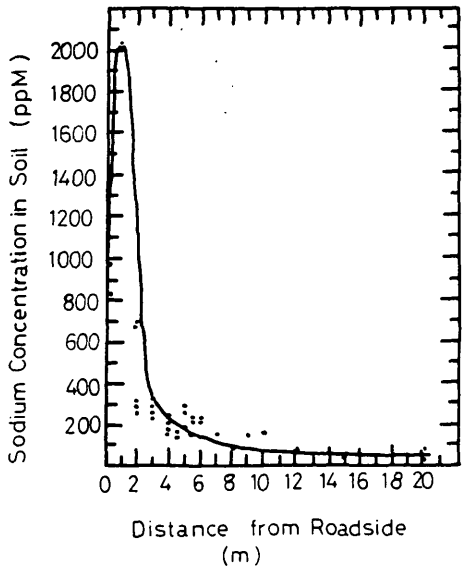

Abb. 3: Profil der Natriumkonzentration von Bodenproben in Abhängigkeit von der Entfernung zur Straße. Sammelort eine Meile südlich von Presque Isle, Maine, an der U.S. Nr. 1 (TRIPP T.B. & NADEAU J.L., 1974)

4. DIE ROLLE DER CHLORID-IONEN

Chlorid-Ionen werden im Gegensatz zu den Natrium-Ionen von der Pflanze sehr leicht aufgenommen. Diese Aufnahme erfolgt in erster Linie aktiv im Zuge der Anionenatmung. Bei sehr hohen Konzentrationen in der Nährlösung kann jedoch auch die passive Aufnahme eine Rolle spielen. Stehen wahlweise verschiedene Ionen zur Verfügung, so werden die Cl-Ionen wegen ihres geringen Ionendurchmessers (der Radius beträgt 1,81 Å) bevorzugt aufgenommen.

Da die Cl-Ionen in den Stoffwechsel der Pflanzen nicht einbezogen werden, liegen sie innerhalb der Zellen zum Großteil als freie Ionen vor. Durch eine Speicherung solcher freier Anionen müssen zusätzlich Kationen aufgenommen werden, um die negativen Anionen elektrisch abzusättigen. Das Ionenverhältnis zwischen freien und gebundenen Ionen verschiebt sich zugunsten der freien Ionen. Da die freien Ionen für das osmotische Verhalten der Pflanzen verantwortlich sind, erfolgt durch Cl-Konzentrationserhöhung eine Änderung der os-

motischen Verhältnisse in den Pflanzenzellen. STROGONOV 1973 beschreibt eine Zunahme des osmotischen Wertes im Zusammenhang mit erhöhter Chloridkonzentration, zusätzlich aber auch eine Erhöhung des Viskositätsgrades des Plasma. Außerdem wird die Transpiration herabgesetzt, während die Wasseraufnahme der Wurzel durch das Cl-Ion begünstigt wird.

Ein Übermaß an freien Ionen beeinflußt auch die Photosynthese ungünstig; so treten als erste Erscheinungen erhöhter Chloridkonzentrationen Chlorosen an den Blättern auf (GLATZEL 1973).

Von weiterem Interesse sind die Grenzkonzentrationen. EVERS 1974 unterscheidet bei der Untersuchung von Fichtennadeln zwischen einjährigen und mehrjährigen Nadeln, wobei einjährige Nadeln schon bei einer Cl-Konzentration von 3% Chlorid in der Trockensubstanz Schäden aufweisen. Bei älteren Fichtennadeln liegen die Grenzwerte zwischen 4,5 und 10% Chlorid. Ähnlich sehen die Verhältnisse bei Laubgehölzen aus. Als Beispiel möge eine Untersuchung von LEH 1974 dienen, wobei hier lediglich die Roßkastanie herausgegriffen wird. *Aesculus hippocastanum* zeigt bis etwa 10 mg/g Chlorid der Trockensubstanz (dies wäre direkt vergleichbar mit oben erwähnten %o Chlorid) keine Schädigungen, zwischen 10 und 20 mg/g Chlorid treten bereits leichte bis schwerere Schädigungen auf, bei noch höheren Chloridkonzentrationen in den Blättern wurde diese als extrem geschädigt bezeichnet.

Ein weiterer Einfluß der Chloridionen macht sich auf das Sproßwachstum geltend, wie wir aus Abbildung 4 nach SHORTLE et al. 1972 ersehen können. An Hand des Sproßwachstums von Zuckerahorn (*Acer saccharum*) wird die Abhängigkeit von der Cl-Konzentration der Blätter gezeigt. Höhere Konzentration in den Blättern zeigt naturgemäß ein verringertes Wachstum der Sprosse an, wobei auf den Anstieg der Kurve zwischen 6000 und 8000 ppM im Artikel nicht Bezug genommen wird.

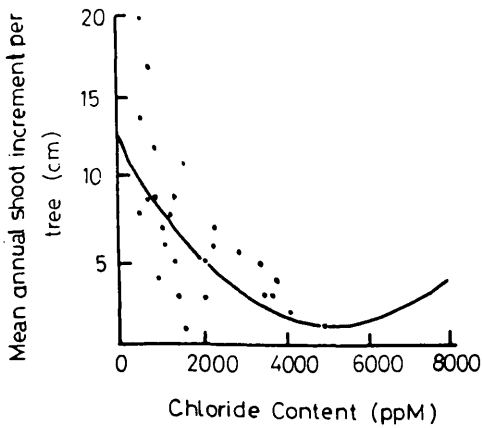

Abb. 4: Abhängigkeit zwischen dem jährlichen Durchschnittswachstum der Sprosse und dem Chlorid-Gehalt der Blätter für eine Wachstumsperiode. Korrelationskoeffizient r = 0,66 (SHORTLE W.C. et al. ,1972)

Böden, die durch Salzanreicherung charakterisiert sind, bezeichnet man allgemein als salin. Im englischen Sprachraum spricht man von "white alkali soil", da in Trockenzeiten die Salze, vorwiegend Chloride oder Sulfate, ausgefällt werden und an der Oberfläche eine weiße Kruste bilden. Eine Cl-Anreicherung wirkt sich vor allem auf den pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung aus. Ebenso erfolgt eine Änderung des osmotischen Potentials, was wiederum einen wesentlichen Einfluß auf die Hydratur der Pflanze hat. Zeigt die Pflanze, und hier speziell die Wurzel, eine geringere Zellkonzentration als die Bodenlösung, so ist die Wasserversorgung gehemmt; man spricht in diesem Fall von physiologischer Trockenheit saliner Böden. Die Pflanze ist, trotz ausreichender Durchwässerung des Bodens, nicht in der Lage, dieses Wasser aus dem Boden aufzunehmen. DAUBENMIRE 1974 gibt hiefür Grenzwerte an. Aus Böden mit einer Leitfähigkeit unter 4 Millisiemens/cm kann ohne Schwierigkeit Wasser aufgenommen werden. Steigt die Leitfähigkeit auf über 4 mS/cm bis 15 mS/cm an, so ist die Wasserversorgung gehemmt. Steigt die Leitfähigkeit noch weiter an, so können nur mehr Halophyten diesen Boden besiedeln.

Abbildung 5 zeigt, wie stark die Steigerung der Leitfähigkeit durch Auftausalze sein kann. In zwei Diagrammen nach WENTZEL 1973 werden einerseits die elektrische Leitfähigkeit, andererseits der Chloridgehalt der Bodenlösung in Abhängigkeit zur Entfernung von verschiedenen Straßentypen in der Bundesrepublik Deutschland gesetzt.

5. TOLERANZUNTERSCHIEDE

Eine ganze Reihe von Autoren haben versucht, das Problem der Baumschäden durch Streusalz durch die Pflanzung resistenter Arten zu lösen. Wie problematisch es aber ist, Resistenzgruppen aufzustellen, möge daraus ersichtlich werden, daß für einige Pflanzenarten die Berichte hinsichtlich ihrer Salztoleranz grundlegend abweichen. So wird *Acer pseudoplatanus* und *Acer platanoides* von einem Autor als sehr empfindlich, von einem anderen aber als sehr tolerant bezeichnet. WENZEL 1973 führt die Uneinigkeit in den Resistenzstudien darauf zurück, daß voreilig, an Hand von zufällig am Straßenrand gefundenen Arten Schlüsse gezogen werden, ohne den Standort näher zu berücksichtigen.

DAUBENMIRE 1974 gibt eine mögliche Erklärung für das Zustandekommen der Salztoleranz an. Die Salzverträglichkeit hängt nach seinen Berichten davon ab, inwieweit einige Arten die Möglichkeit haben, das osmotische Potential ihrer Zellen selbst zu regulieren oder nicht. Dies erfolgt auf dem Wege der Umwandlung von Stärke in freie Zucker. Halophyten setzen ihr osmotisches Potential dagegen durch Aufnahme freier Salze in ihre Zellen herab.

Als Basis für eine Aufstellung von Artenlisten hinsichtlich ihrer Salzempfindlichkeit werden durchwegs äußerlich erscheinende Schadsymptome verwendet, wobei die graduellen Unterschiede nicht einheitlich sind. So geht die Reihe von der einfachen zweistufigen Skala (gesund - krank) bis zu einer fünfstufigen Einteilung, die noch zusätzliche Erscheinungssymptome als Einteilungskriterien berücksichtigt.

Einige heimische Pflanzenarten, die unter Berücksichtigung verschiedener Angaben eher zu den empfindlichen Arten zu zählen sind:

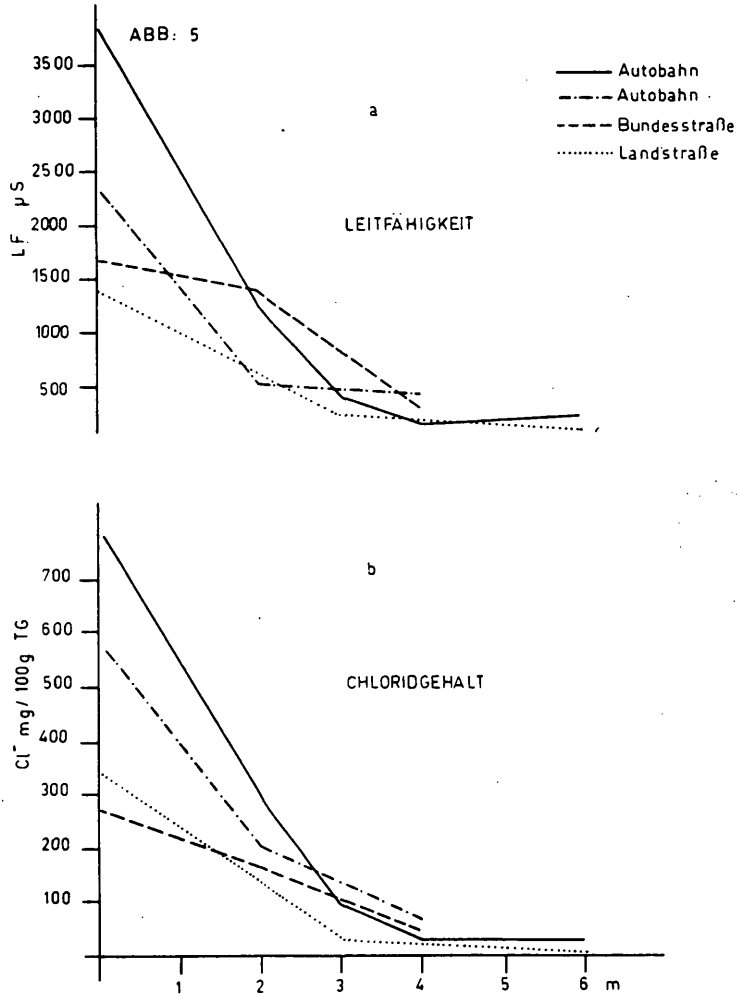

Abb. 5: a) Elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung verschiedener Straßentypen in verschiedener Entfernung vom Straßenrand

b) Chloridgehalt der Böden verschiedener Straßenränder in verschiedener Entfernung (WENTZEL 1973)

Aesculus hippocastanum, Tilia cordata, Carpinus betulus, Fagus silvatica, die meisten *Prunus*-Arten und *Ulmus glabra*.

Tolerantere Arten wären z.B.: *Quercus robur* und *rubra* (wobei *Quercus rubra* zumindest von einem Autor als sehr empfindlich bezeichnet wurde), *Robinia pseudacacia, Populus alba* und *P. tremula, Sophora japonica*.

Generell ist es aber schwierig, absolute Toleranzunterschiede anzugeben, da man eigentlich bei jedem Individuum speziell die Wachstumsbedingungen, Standort, Alter und viele andere Parameter berücksichtigen müßte. So wird sicherlich ein etwa durch schlechten Standort geschwächter Baum anfälliger gegen zusätzliche Belastungen sein, als ein gesunder auf normalem Standort.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Das Problem der Schadwirkung von Streusalzen wird an Hand einiger Überlegungen diskutiert, wobei zuerst einige Mengenangaben über verwendete Streusalzmengen verschiedener Staaten bzw. Städte gemacht werden. Dann wird die Rolle der einzelnen Ionen (Na^+ und Cl^-) sowohl auf den Boden als auch direkt auf die Pflanze behandelt. Zum Schluß wird kurz auf die Problematik der Salztoleranz verschiedener Pflanzenarten, hauptsächlich Laubbäume, eingegangen.

7. SCHRIFTTUM

DAUBENMIRE R.F., 1974: Plants and Environment. - New York,London, Sidney,Toronto.

EVERS F.H., 1974: Fernwirkung abgeschwemmter Auftausalze im Inneren von Waldbeständen. - Eur. J. For. Path., 4:46-48.

GLATZEL G., 1973: Analytische Methoden zum Nachweis der Schädigung von Pflanzen durch Auftausalze. - Ref. Arbeitstagung: Salzschäden an der Vegetation, 19.10.1973, Birmensdorf, Schweiz.

HOIGNE J., 1974: Auswirkung der Straßensalzung auf die Gewässer. - Eidg. Anst. f. Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf, Schweiz.

KAMPL A., 1975: Streusalzschäden an Straßenbäumen im Stadtgebiet von Graz. - Hausarbeit Botanik, Graz.

LEH H., 1974: Untersuchungen über Toleranzunterschiede von Straßenbäumen gegenüber Auftausalz. - Bund deutscher Baumschulen. Pinneberg, Bundesrepublik Deutschland.

RUGE U., 1972: Ursache des Straßenbaumsterbens und mögliche Gegenmaßnahmen. - Garten und Landschaft 10.

SHORTLE W. C. et al., 1972: Effect of Salt Injury on Shoot Growth of Sugar Maple - Acer saccharum. - Plant Disease Reporter, 56: 1004-1007.

SMITH W. H., 1970: Salt Contamination of White Pine Planted Adjacent to an Intersate Highway. - Plant Disease Reporter, 54: 1021-1025.

STAMPLER A., 1976: Über die Salzbelastung künstlicher und natürlicher Ökosysteme. - Hausarbeit Botanik, Graz.

STROGONOV B. P., 1973: Structure and Functions of Plant Cells in Saline Environments. - Jerusalem London.

TRIPP T. B. u. NADEAU J. L., 1974: Roadside Salt Pollution and the Absorption - Emission Spectra of Sodium. - J. of Chem. Education, 51:130.
WENTZEL K.F., 1973: Salzstaub- und Salzspritzwasserschäden an Straßenrändern. - Der Forst- und Holzwirt 28 (22):445-449.
WILLIAMSON P. J., 1968: Are Bituminous Roads Damaged by Salt. - Road Res. Lab. Rep. LR 148, Crowthorne.
ZULAUF R., 1974: Zur Frage der in den verschiedenen Klimagebieten der Schweiz zu erwartenden Streusalzmengen pro Winter und Quadratmeter Nationalstraße. - Straße und Verkehr, 50:23-27.

Anschrift des Verfassers: Mag. Alfred STAMPLER
A-8010 Graz
Leonhardstraße 131

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Monografien Landschaften und Ökologie

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: MLO5

Autor(en)/Author(s): Stampler Alfred

Artikel/Article: Streusalz, ein wichtiger Aspekt der Stadtökologie. 129-138