

Salzwirkungen, Salzschäden und Salztoleranz

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich**

Band (Jahr): **74 (1981)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

2. Salzwirkungen, Salzschäden und Salztoleranz

2.1. Streusalz und Boden

In einem Strassenrandstreifen von ca. 5 m Breite muss - je nach den winterlichen Witterungsverhältnissen - mit einer jährlichen Salzzufuhr von 500-1000 g/m² gerechnet werden (KREUTZER 1974), was 25 Einzelstreuungen mit der empfohlenen Höchstmenge von 40 g pro Einsatz entspricht (AHLBRECHT 1966, RUGE 1978). Aufgrund dieser hohen, wenn auch nur vorübergehenden Salzzufuhr kann das Natriumion in erheblichen Mengen gegen andere an Bodenkolloide sorbierte Ionen ausgetauscht werden. Dies geschieht bei einem geringen Anteil von Kalzium- und Magnesiumsorptionskomplexen im Boden in zunehmendem Ausmass (KREUTZER 1974), was zur weiteren Nährstoffverarmung der ohnehin schlecht versorgten Böden im Stadtgebiet führt.

Zusätzlich bewirkt die grosse Hydrationshülle des Natriumions eine Veränderung der Bodenstruktur. Die Kolloide zerfallen, was in einer geringen Durchlüftung und kapillaren Leitfähigkeit resultiert (BERNSTEIN und PEARSON 1956, KREUTZER 1974, DAVISON 1971).

Im Gegensatz zum Natriumion wird das Chloridion kaum gebunden, so dass es frei in der Bodenlösung bleibt und nach kurzer Zeit ausgewaschen wird. Wegen der durch Natrium induzierten Veränderungen der Bodenstruktur, mit welchen Verwässerung und Denitrifikation einhergehen, wird der Abfluss des chloridhaltigen Schmelzwassers verlangsamt. Die Chloridionen bleiben so länger in den oberen Bodenschichten, wo sie von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden können/müssen (RUGE 1978).

Die Intensität der Salzwirkung ist je nach Bodenart unterschiedlich; die geringsten Effekte wurden in Sandböden festgestellt. Tonig-schluffige Böden sind wesentlich stärker betroffen (WESTING 1969, LEH 1975, EVERS 1976). Die Auswaschung des Salzes ist im sandigen Boden im Frühjahr annähernd vollständig erfolgt, an andern Standorten ist sie erst im Juni komplett (KREUTZER 1974).

Als Gegenmassnahmen zur Natrium-bedingten Verschlechterung der Bodenstruktur und der Nährstoffversorgung wurden Düngergaben empfohlen (RUGE 1971, LEH 1972). Spätere Untersuchungen von LEH (1975) zeigten aber, dass die nachteiligen Effekte von Natrium allein damit nicht aufgehoben werden können.

2.2. *Spritzschäden an Fernstrassen*

Die durch das Einwirken des Streusalzes auf Schnee/Eis entstandene Salzlösung wird durch die Turbulenzen hinter schnell fahrenden Autos aufgewirbelt und kann mit dem Wind über grössere Strecken transportiert werden, bis sie an den oberirdischen Teilen der Gehölze haften bleibt. Die Salzionen werden aufgenommen und es kommt zu Schäden. Hinsichtlich der artspezifischen Empfindlichkeit finden sich beträchtliche Unterschiede, welche von BUSCHBOHM (1968) besprochen werden. Spritzschäden finden sich hauptsächlich an Fernstrassen (HOFSTRA und LUMIS 1975, EVERS 1971), wobei charakteristisch ist, dass in der Hauptwindrichtung die Schadsymptome in grösserer Entfernung von der Strasse als in den anderen Richtungen auftreten und Einzelbäume stärker beschädigt sind als gleich weit von der Strasse entfernte Bäume im Bestand (HOFSTRA und HALL 1971).

Parallel dazu werden Schäden durch im Sicker- und Abflusswasser enthaltenes Natriumchlorid in oft beträchtlicher Entfernung von der bestreuten Strasse gemeldet, an Laubbäumen von HOLMES (1961, 1966) und WALTON (1969), an Koniferen von HOFSTRA und HALL (1971) und EVERS (1971, 1976). Schäden durch Magnesiumchlorid werden von BEHM und KESSLER (1971) belegt.

Zunächst wurden Schäden dieser Art oft als Trockenschäden qualifiziert (WESTING 1966, WESTING 1969, RHEINHEIMER 1959). Dem widerspricht, dass die Symptome öfter in Senken (feuchter Standort) als auf Höhen (trockener Standort) beobachtet wurden (RUGE 1978). Eine Nachuntersuchung zu RHEINHEIMER (1959) ergab, dass Streusalz die beobachteten Symptome verursacht hatte (RUGE 1978).

In der Krautschicht scheinen sichtbare Schäden nicht aufzutreten. Da die Vitalität empfindlicher Arten beeinträchtigt wird, kann es zu einer Verschiebung des Artenspektrums kommen (DAVISON 1971). So wurde ein vermehrtes Auftreten halophiler Arten an Strassenrändern häufig beobachtet (ADOLPHI 1980, KRACH und KOEPFF 1980).

2.3. *Veränderungen der Mineral- und Inhaltsstoffe bei Pflanzen*

Ueber die Veränderungen der Mineral- und Inhaltsstoffe der Pflanzen durch Natriumchlorid liegen zahlreiche Untersuchungen vor, so auch über diejenigen bei Strassenbäumen (ZOLG 1979, ERNST und FELDERMANN 1975, LEH 1972, 1973,

1975, BEHM und KESSLER 1971, WALTON 1969, WESTING 1969, RUGE 1968, RUGE und STACH 1968).

ZOLG (1979) untersuchte parallel zu dieser Arbeit die Mineral- und Inhaltsstoffe der gleichen Bäume. In ihrer Arbeit werden die Ergebnisse der älteren Untersuchungen berücksichtigt, so dass hier ihre Ergebnisse ausführlich dargestellt werden sollen.

In ihrer Dissertation gelangt ZOLG (1979) zum Ergebnis, dass *Aesculus* und *Tilia* am salzbelasteten Standort in erhöhtem Ausmass Chlorid und - in nicht äquivalenter Menge - Natrium aufnehmen. Am Blattrand treten Nekrosen auf. Die Analysen wurden nur an Blättern durchgeführt, die Wurzeln konnten aus einsichtigen Gründen nicht untersucht werden. *Quercus* nimmt keines der beiden Ionen vermehrt auf, *Platanus* erhöht nur den Chloridgehalt. Aeusserliche Schäden konnten bei diesen Arten nicht festgestellt werden.

Auch auf die anderen Inhaltsstoffe wirkt sich die Salzbelastung artspezifisch aus. So erhöht *Aesculus* den Gehalt an Kalium, Magnesium, Nitrat, löslichen organischen Stickstoffverbindungen, Zellwandsubstanzen und Asche; der Anteil der höher polymerisierten Kohlehydrate und des Chlorophylls wird geringer. *Tilia* weist einen extrem hohen Kaliumgehalt auf, auch der Gehalt an Nitrat und löslichen organischen Stickstoffverbindungen ist erhöht. Oligo- und Polysaccharide, Saccharose und Stärke sind jedoch in geringer Menge vorhanden. *Platanus* weist wie die beiden ersten Baumarten einen erhöhten Gehalt an Nitrat und löslichen organischen Stickstoffverbindungen auf; der Saccharose- und Stärkeanteil ist zwar geringer als bei der Kontrolle, doch ist der Anteil der Oligo- und Polysaccharide erhöht. *Quercus* akkumuliert Kalium und die höher polymerisierten Kohlenhydrate.

ZOLG (1979) interpretiert einen Verlust an höher polymerisierten Kohlenhydraten in Verbindung mit einem Anstieg der löslichen organischen Stickstoffverbindungen und des Nitrats als Anzeichen einer Schädigung. Die Anreicherung von Kalium und höher polymerisierten Kohlenhydraten wird von ihr als positive Kompensation beurteilt. Sie kommt zu folgender Beurteilung der Reaktion der Arten auf die Salzbelastung:

- *Quercus* weist nur positive Kompensationen auf
- *Platanus* kommt mit den veränderten Bedingungen zurecht, die Verschiebungen in den Anteilen der Inhaltsstoffe sind teils positiv, teils negativ zu beurteilen, eine Beeinträchtigung der Photosynthese ist nicht auszuschliessen

- *Tilia* und *Aesculus* weisen zwar auch positive Kompensationsmerkmale auf, doch überwiegen die negativen Effekte, da beide Arten vor allem Chlorid in grossen Mengen aufnehmen. Es fehlt eine herbstliche Mobilisierungsphase der Kohlenhydrate, die Proteine werden nicht abgebaut und zurückverlagert, die löslichen organischen Stickstoffverbindungen nehmen im Verlauf der Vegetationsperiode ab oder bleiben konstant.

ZOLG (1979) kommt zum Schluss, dass im Gegensatz zu *Quercus* und *Platanus* bei *Tilia* und *Aesculus* eine pathologische Veränderung des Alterungsvorganges auftritt, welche durch die Salzbelastung verursacht worden sein muss.

2.4. Morphologische und ultrastrukturelle Wirkungen

Salinität kann Xeromorphie (STROGONOV 1962, zitiert nach POLJAKOFF-MAYBER 1975) induzieren, doch scheint Sukkulenz der häufigere Effekt zu sein (KREEB 1974, 1975). MEIRI und POLJAKOFF-MAYBER (1967) fanden bei *Phaseolus vulgaris* eine Zunahme der Blattdicke um 25 %, als deren Ursache sie eine Volumenzunahme der Mesophyll-Zellen und des Palisadengewebes angab. Da sie gleichzeitig eine Abnahme der Blattfläche gemessen hatten, folgerten sie, dass die Zellteilung stärker als das Zellwachstum durch Salinität beeinträchtigt wurde.

Zellorganellen wurden unterschiedlich beeinflusst. Der Durchmesser der Chloroplasten nahm ab (NIEMANN und POULSEN 1971), doch ihr intralamellares System schwoll an (POLJAKOFF-MAYBER 1975) und ihr Chlorophyllgehalt nahm ab (ROZEMA 1976). MÜLLER und SANTARIUS (1978) fanden eine reversible Veränderung der Lipidzusammensetzung der Chloroplasten von *Hordeum vulgare*, was sie als mögliche Ursache der Salztoleranz dieser Art interpretierten.

Die Mitochondrien schwellen in Gegenwart von Chlorid stark an und zeigten reduzierte oxidative Phosphorylierung (MILLER et al. 1975, UDOVENKO et al. 1970, zitiert nach POLJAKOFF-MAYBER 1975); da aber ihre Anzahl zunimmt, kommt es insgesamt zu keiner Erniedrigung der Atmung (HECHT-BUCHHOLZ et al. 1971).

Weitere Effekte von Natriumchlorid waren:

- eine grössere Zahl von Polysomen (HECHT-BUCHHOLZ et al. 1971)
- dickere Zellwände im Xylemparenchym (YEO et al. 1977)
- angeschwollene Golgi-Apparate (POLJAKOFF-MAYBER 1975)
- Zunahme des endoplasmatischen Retikulums (HECHT-BUCHHOLZ et al. 1971)

- veränderte Membranstrukturen und damit veränderte Permeabilität der Wurzeln (STUIVER et al. 1978)

POLJAKOFF-MAYBER (1975) fasst zusammen, dass weder eine definitive Aussage über salzinduzierte morphologische und ultrastrukturelle Veränderungen gemacht noch beurteilt werden kann, ob es sich bei den beobachteten Veränderungen um positiv zu bewertende Anpassungen oder um Anzeichen von Schädigungen handelt.

2.5. Salz und Stoffwechsel

Viele Arbeiten beschäftigen sich mit den physiologischen Wirkungen von Natriumchlorid. Dabei wird zwischen Effekten toxischer und solchen osmotischer Art unterschieden. Eine Interpretation der Fakten wird erschwert durch die Tatsache, dass die Folgen von Wasserstress und Salzstress nur schwer zu unterscheiden sind:

- Anstieg des Prolingehaltes (HUBER 1974, JÄGER und PRIEBE 1975, EDER 1977, ROZEMA 1978)
- Zunahme der Abscisinsäurekonzentration (MIZRAHI et al. 1971)
- Reduktion des Proteingehaltes (KAHANE und POLJAKOFF-MAYBER 1968, BEN-ZIONI et al. 1967, JÄGER und PRIEBE 1975)

Eine Einschränkung der Photosynthese und der Atmung wurden nur selten gefunden. Dabei könnte es sich auch um einen indirekten Effekt der Stomatabewegungen handeln (KREEB 1974).

Hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber Natriumchlorid unterscheiden sich die Enzyme salztoleranter Arten nicht von denen der nichttoleranten Arten (WEIMBERG 1970), so dass der Begriff "salztolerant" keine echte "tolerance", sondern vielmehr eine "avoidance" beinhaltet. FIELD (1976) entwirft hierzu folgendes Modell: die überschüssigen Ionen werden in der Vakuole abgelagert und zum Erreichen des osmotischen Ausgleichs synthetisiert die Pflanze Mikromoleküle mit unschädlichem/protektivem Effekt wie z.B. Prolin. Im Gegensatz hierzu fanden HUBER (1974) und PRIEBE und JÄGER (1978), dass Enzyme unterschiedlich empfindlich auf Natriumchlorid reagieren. Sie erklärten ihre Ergebnisse durch die Annahme einer unterschiedlichen strukturellen Flexibilität der untersuchten Proteine.

Über die Auswirkungen von Natriumchlorid auf den pflanzlichen Metabolismus liegen also keine einheitlichen Ergebnisse vor. Nach JENNINGS (1976) wird oft nicht genügend zwischen toxischen und osmotischen Effekten unterschieden,

obwohl die Arbeiten STROGONOV und LAPINA (1964), LAGERWERFF (1969) u.a. auf die Unerlässlichkeit von Kontrollversuchen mit isoosmotischen Konzentrationen verschiedener Stoffe hinweisen. Auch die Möglichkeit des Entstehens von Artefakten infolge einer durch zunehmende Salzkonzentrationen verbesserten Extraktion der Pflanzensubstanzen wird nicht immer genügend beachtet.

2.6. Salz und Wasserhaushalt

Der Nachweis einer osmotischen Anpassung an die Salzkonzentration im Substrat nicht nur in den Blättern, sondern auch in den Wurzeln durch BERNSTEIN (1961, 1963) ist seither oft bestätigt worden (z.B. SLATYER 1961, BOYER 1965, KIRKHAM et al. 1972, COOPER und DUMBROFF 1973). Damit ist die grundsätzliche Richtigkeit der während über 50 Jahren vorherrschenden Lehrmeinung einer salzinduzierten "physiologischen Trockenheit", wie sie von SCHIMPER (1898) postuliert wurde, widerlegt. Da die osmotische Anpassung nicht bei allen Arten vollständig erfolgt, kann die SCHIMPER'sche Theorie für einzelne Arten wie z.B. *Allium cepa* trotzdem gelten (GALE et al. 1967).

Die aktive/passive Aufnahme von Salzionen bewirkt ein Absinken des osmotischen Potentials. Dem entspricht eine nicht immer äquivalente - Abnahme des Wasserpotentials, so dass kaum Schwierigkeiten mit dem Erhalten der zur Wasserversorgung notwendigen Potentialdifferenz zwischen Wurzel und Substrat auftreten (HOFFMANN und RAWLINS 1971, ACEVES-NAVARRO et al. 1975). Infolgedessen bleibt das Druckpotential konstant oder nimmt sogar zu. Die unter Einwirkung von Natriumchlorid gefundene Wachstumsreduktion kann also nicht analog zu derjenigen bei Wasserstress durch einen reduzierten Turgor erklärt werden (GALE et al. 1967, KIRKHAM et al. 1972b). OERTLI (1976) entwirft folgendes Modell: Die neu gebildeten Zellen müssen osmotisch angepasst werden. Dabei kommt es zu Versorgungsengpässen mit den benötigten Ionen (Wachstum erfolgt grob linear, Ionenaufnahme aber gemäss den Regeln einer Sättigungskinetik). So verursachte geringere Teilungsraten führen trotz ausreichender Turgidität zu einer Wachstumsreduktion.

Der durch Natriumchlorid erhöhte Widerstand gegen die Wasseraufnahme der Wurzeln hat nur geringe Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, da gleichzeitig ein Stomataschluss induziert wird, so dass der Wasserverbrauch sinkt (SHALHEVET und BERNSTEIN 1968, KIRKHAM et al. 1972a, 1974). Es folgt, dass alle

die Transpiration erhöhenden Faktoren die Salzwirkungen nachhaltig verstärken. Besonders eindrücklich wurde dies durch NIEMANN und POULSEN (1967) und HOFFMANN und RAWLINS (1971) für niedrige Luftfeuchtigkeit nachgewiesen.

Der salzinduzierte Stomataschluss und die durch Natriumchlorid verringerte Löslichkeit von Kohlendioxid in wässrigen Lösungen (RATCLIFF und HOLDCROFT 1963) beeinträchtigen die Photosynthese, weil dadurch die Versorgung der Chloroplasten mit Kohlendioxid eingeschränkt wird. Ein reduzierter Turgor kommt als Ursache für den Spaltenschluss nicht in Frage (GALE et al. 1967).

Ob die Wirkungen von Natriumchlorid osmotischer oder toxischer Art sind ist ungeklärt. In der Literatur finden sich widersprüchliche Angaben (vgl. 2.5 und OERTLI 1976); es scheint allerdings, als ob sich die Annahme, dass die toxischen Wirkungen die osmotischen dominieren, in neuerer Zeit durchsetzt. Dazu sei auf die Arbeiten von SLATYER (1961), STROGONOV und LAPINA (1964), GALE et al. (1967), KIRKHAM et al. (1974) und MÜLLER und SANTARIUS (1978) hingewiesen.

2.7. Salztoleranz von ausgewählten Gehölzen

Tabelle 1 gibt die Einstufung der untersuchten Baumarten, welche zu den in West-Berlin zahlenmässig am stärksten vertretenen gehören (KLUIKE 1976, MAHLER 1976), nach ihrer Salztoleranz wieder. Die manchmal unterschiedliche Einstufung gleicher Arten könnte durch die unterschiedlichen Methoden der jeweiligen Autoren erklärbar sein. Die Salztoleranz wurde ermittelt durch Einlegen von Sprosssteilen in Salzlösungen (BUSCHBOHM 1968), Literaturangaben (ZULAUF 1966b), Fragebögen an Gartenämter (RUGE 1975), Mineralstoffanalysen (LEH 1973) und Analysen anderer Inhaltsstoffe (vgl. 2.3 und ZOLG 1979).

Tab. 1. Salztoleranz ausgewählter Gehölze

	BUSCHBOHM	ZULAUF	RUGE	LEH	ZOLG
<i>Quercus robur</i>	-	+	+	+	+
<i>Aesculus hippocastanum</i>	+	+	-	-	-
<i>Tilia x euchlora</i>	-	-*	-	-	-
<i>Platanus acerifolia</i>	-	-	+	o	o

+ salztolerant
o mässig tolerant
- nicht salztolerant

* Angaben nur für *Tilia cordata*