

PLANUNGSHILFE ERFAHRUNGEN IM UMGANG MIT TAUSALZ

EIN AUSZUG AUS DER
TOOLBOX BLUEGREENSTREETS 2.0
„ESSENTIALS FÜR DIE UMSETZUNG“
DEZEMBER 2024

ANNETTE ESCHENBACH
MICHAEL RICHTER

MIT ZUARBEIT VON:
CARLO BECKER,
WOLFGANG DICKHAUT,
SVEN HÜBNER,
MATTHIAS PALLASCH,
HARALD SOMMER



10.3 PLANUNGSHILFE ERFAHRUNGEN IM UMGANG MIT TAUSALZ

EINFÜHRUNG

Eine schädliche Wirkung von Tausalzen auf Bäume - insbesondere Straßenbäume - ist seit langem detailliert untersucht und nachgewiesen. Die Schadwirkungen treten durch direkte Schädigung des Baumes auf sowie indirekt durch eine Beeinträchtigung der Böden. Hohe Salzgehalte in Boden und Bodenwasser führen zu typischen Schadsymptomen der Bäume (Chlorosen, Nekrosen, Laubabwurf, bis hin zum Absterben).

Tausalze wurden und werden im Winterdienst der Städte eingesetzt. Deren Aufwandsmengen und Bereiche sind in den letzten Jahrzehnten oft deutlich verringert worden. Positiv wirken sich hier optimierte Streutechniken sowie die Durchführung eines differenzierten Winterdienstes aus. Auch ist heute in den meisten Städten der Einsatz von Streusalz auf Gehwegen verboten (z. B. Hamburg, München, Berlin). Allerdings werden diese Verbote durch Privathaushalte und private Räumdienste immer wieder ignoriert (z.B. Däumling & Doobe (2022), Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (2022)). Dadurch gelangen zum Teil - insbesondere wenn keine Dosierungshilfen eingesetzt werden - große Mengen an Streusalz in den Verkehrsraum und in das angrenzende Stadtgrün. Der zunehmende Anspruch einer uneingeschränkten Nutzung aller Verkehrswege während des ganzen Jahres, insbesondere auch der Geh- und Radwege, wirkt aktuell der Reduktion der Salzeinträge entgegen. Bei Ausbau der Radwegeinfrastruktur führt die Forderungen nach ganzjähriger Schnee- und Eisfreiheit durch einen intensiven Winterdienst vielerorts in den Kommunen zu einer kontroversen Diskussion und Neubewertung des Einsatzes von Streusalz auf Rad- und Gehwegen. Es steht zu befürchten, dass Tausalze oder Sole-Mischungen vermehrt eingesetzt werden und auf Stadtbaumstandorte gelangen.

Streusalz, Feuchtsalz oder Sole werden insbesondere bei Wetterlagen um den Gefrierpunkt bei Gefahr von Glatteis eingesetzt. Die Tausalze gelangen über Spritz- oder Tauwasser in und an die Bäume bzw. Baumstandorte. Bei Betrachtung von Szenarien muss unterschieden werden, ob das belastete Tauwasser direkt auf die Baumscheibe gelangen kann oder durch bauliche Maßnahmen (erhöhte Kanten, Bordsteine etc.) am Eindringen in den Baumstandort gehindert und über die Kanalisation abgeleitet wird. Eine weitere Belastungsquelle an Standorten kann geräumter Schnee, der direkt in Grünstreifen oder Baumscheiben abgelagert wird, darstellen.

AUSWIRKUNGEN VON STREUSALZ AUF BAUM UND BODEN

Eine direkte Schadwirkung von Tausalzen besteht bei direktem Kontakt der Salze mit Gewebestrukturen des Baumes über die Epidermis, die Spaltöffnungen oder auch Baumrinde am Stamm. Hohe Salzgehalte in Boden und Bodenwasser beeinträchtigen die Nährstoffversorgung und Wasserverfügbarkeit für den Baum und führen zu den typischen Schadsymptomen (Benk et al. 2020, Däumling et al. 2012).

Die bodenverändernden Eigenschaften von NaCl als typischer Tausalz-Wirkstoff in Form von Trockensalz, Feuchtsalz oder bei Sole-Gabe umfassen unter anderem eine Erhöhung des pH-Wertes und eine Beteiligung der einzelnen Ionen an den chemischen Austauschprozessen im Boden. Dies führt zur erhöhten Mobilisierung, und damit zur verstärkten Auswaschung von wichtigen Pflanzennährstoffen wie Kalium, Magnesium, Stickstoff und Phosphor. Dieser Effekt und auch eine veränderte Aufnahme in die Pflanzenwurzel kann zu den beschriebenen Nährstoffmangel-Erscheinungen der Bäume wie Nekrosen, Chlorosen an den Blättern und zu eingeschränktem Wachstum führen.

Das Chlorid-Ion wird in der Regel in der ungesättigten Zone nur in geringem Ausmaß zwischengespeichert. Ein Rückhalt der Chlorid-Ionen durch Sorptionsprozesse in der Bodenschicht ist auch bei der Sickerwasserbehandlung in Mulden oder Rigolen nicht zu erwarten, sondern sie werden mit dem Sickerwasser verlagert. Gemäß DWA-A 138 kann das Chlorid in keiner Behandlungsanlage zurückgehalten werden; eine Konzentrationsminderung erfolgt nur über die Verdünnung im Grundwasser (DWA-A 138, S.22). Durch erhöhte Infiltration (Regen- oder Tauwetter) kann es in stark durchlässigen Böden innerhalb weniger Tage ausgewaschen werden und gelangt so in den Grundwasserkörper. Allerdings können Restkonzentrationen von NaCl auch noch während Jahrzehnten in der ungesättigten Zone verbleiben (Brod 1995). In stark verdichteten Böden – wie sie im Bereich von Stadtbäumen häufig vorkommen – bleiben Na⁺ und Cl⁻ wesentlich länger in der Bodenlösung und können sich aufsummieren und liegen auch langfristig angereichert vor.

Des Weiteren führt ein, wie in Becker & Eschenbach (2022) ausgeführt, erhöhter NaCl Eintrag in Böden zu Strukturverschlechterungen, zu verringerter Aggregatbildung und Aggregatstabilität - also einer verringerten Gefügebildung, was in Verschlammung und Bodenverdichtung resultiert, und so den Bodenwasser- und Lufthaushalt zusätzlich beeinträchtigt. Darüber hinaus führen hohe NaCl-Gehalte im Boden zu verringerter Stoffwechsellaktivität, Exo-Enzymaktivität, Biomasseproduktion und Wachstumsraten bei Mikroorganismen und beeinträchtigen dadurch die biogeochemischen Stoffkreisläufe (Rousk et al. 2011, Tripathi et al. 2006). Eine „physiologische Trockenheit“ wird durch die Erhöhung des osmotischen Potenzials in der Bodenlösung verursacht und führt zu einer verringerten Wasseraufnahmefähigkeit der Vegetation und potenziellem Trockenstress für die Bäume (Bryson & Barker 2002).

Darüber hinaus sind komplexe Interaktionsprozesse bei der Bewertung der Tausalze am Straßenstandort zu berücksichtigen. So wurde in mehreren Untersuchungen durch Tausalze eine

Mobilisierung von Schwermetallen in das Sickerwasser aufgezeigt (Bäckström et al. 2004; Green et al. 2008). Dieser Effekt ist insbesondere bei Versickerung von Straßenablaufwasser an Baumstandorten zu berücksichtigen.

Für den Einsatz von Natriumchlorid als Streustoff sind aus der Literatur zahlreiche Auswirkungen auf die Straßenrandvegetation bekannt. Dies umfasst die Bildung von Chlorosen und Nekrosen, Wurzelschädigung sowie das Absterben von assoziierten Ektomykorrhiza, spontanen Blattabwurf, Wachstumshemmung, bis hin zum Absterben der Bäume (Hootman et al. 1994, Czerniawska-Kusza et al. 2004; Däumling et al. 2012; Zuber 2013; Equiza et al. 2017).

Ab welchen Salzgehalten im Boden mit Schäden zu rechnen ist, schwankt je nach Baumart, da diese unterschiedliche Toleranzen gegen Streusalz aufweisen können (Mc Dobson 1991 in Benk et al. 2020). Es wird ausgeführt, dass Gehalte von Natrium und Chlorid von > 250 mg kg⁻¹ als schädlich für die meisten Baumarten angesehen werden (Hootmann et al., 1994). In anderen Studien wird von einem Na-Gehalt ab 100 mg kg⁻¹ Boden berichtet, der Schäden (Nekrosen, Wachstumsdepressionen) bei Bäumen verursacht (BSU 1988, Streckenbach & Schröder 2014). Eine Ausbringungsmenge von 150 g cm⁻² bei der Verwendung chloridhaltiger Streumittel wird als generell schädlich für Bodenmikroorganismen angesehen (Gerasimov & Chugunova 2021).

In der Vergangenheit waren straßennahe Stadtbaumstandorte durch Spritzwasser, Tauwasser und Abfluss so hoch belastet, dass Baumschäden, Baumfällungen und Sanierungsmaßnahmen mit Bodenaustausch in Millionenhöhe erforderlich waren. Allein in Hamburg wurden zwischen 1979 und 1986 10,3 Mio. DM für die Sanierung der durch Streusalzeinwirkung geschädigten Bäume eingesetzt. Eine räumliche Abschirmung der Stadtbaumstandorte durch Bordsteinkanten - so dass Straßenablaufwässer nur im geringeren Ausmaß auf die Baumscheibe gelangen und in der Kanalisation abgeleitet werden - sowie eine Reduktion der

STOFFLICHE BELASTUNGEN

Salzbelastung durch Einschränkung des Einsatzes von Tausalzen haben Wirkung gezeigt und die Salzbelastungen der Böden und die Baumschädigung in den vergangenen Jahren reduzieren können (Däumling et al. 2012 und GALK 2022).

EINFLUSS KLIMABEDINGTER ENTWICKLUNGEN

Klimafreundliche Verkehrsarten wie der Radverkehr gewinnen in den Städten an Bedeutung, so dass vermehrt sichere Radspuren, Radstreifen oder Velorouten angelegt werden, die zwischen Straßenbegleitgrün- und Baumstandorten oftmals keine bauliche Trennung etwa durch Hochborde aufweisen. Wenn, wie in verschiedenen Städten diskutiert, für eine uneingeschränkte ganzjährige Nutzung Tausalze oder Sole auf Radwegen zum Einsatz kommen, kann dies in Zukunft wieder zu einer deutlichen Zunahme der Belastung des Stadtbaumbestands führen, wenn die Praxis nicht verändert wird und auf den Flächen auf die Verwendung von Tausalz bzw. Sole verzichtet wird.

Der Klimawandel wird sich abhängig von der Region unterschiedlich auf die Anzahl der Tage mit Schneefall und Frosttage auswirken und folglich auch auf den Tausalzeinsatz. Untersuchungen des LfU Brandenburg zur Anzahl der Eistage zeigen beispielsweise für die Region Brandenburg/Berlin auf, dass aktuell nur noch 10-15 Mal im Jahr Eistage mit Temperaturen unter 0 Grad auftreten. In der Prognose bis 2060 geht die Zahl der Eistage pro Jahr auf 10 Tage zurück und halbiert sich noch einmal bis zum Jahr 2100. Andererseits ist in der Zukunft laut Klimaprognosen in weiten Teilen Deutschlands mit einer Erhöhung der Winterniederschläge sowie zum Teil mit bis in das Frühjahr hineinreichenden Frösten zu rechnen, so dass bei Temperaturen um den Gefrierpunkt dann mit einer erhöhten Gefahrenlage zu rechnen ist. Gerade im Mittelgebirge mit Gefällegagen könnte es dadurch zu einer Zunahme des Einsatzes von Tausalz kommen. Bei Schnee und beständigen Frosttemperaturen ist hingegen ein Salzeinsatz in der Regel

nicht erforderlich und der normale Winterdienst ausreichend (weißer Winterdienst).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass auch wenn sich die jährlich ausgebrachten Mengen von Tausalz regional verringern könnten, das Problem Streusalz relevant bleiben wird. Gemäß Umweltbundesamt wurden in den letzten zehn Jahren in Deutschland im Mittel jährlich etwa 1,5 Millionen Tonnen Streusalz gestreut. In harten Wintern kann die Menge auf über vier Millionen Tonnen steigen (UBA 2024).

LÖSUNGSANSÄTZE

Vorrangiges Ziel muss die Vermeidung der Einleitung von mit Salz belastetem Tau- und Niederschlagswasser in Baumstandorte sein. Wenn Niederschlagswasser von Verkehrsflächen in Baumstandorte eingeleitet wird, ist somit der Anschluss von nicht salzbelasteten Flächen (z. B. auch Dächer) die beste Lösung zur Vermeidung. Hierfür ist in der Planungsphase eine systematische Überprüfung der Möglichkeiten vorzunehmen, den Tausalzeintrag in Baumstandorte zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

Mögliche Ansätze hierfür sind ein/eine:

- **Differenzierter Winterdienst / weißer Winterdienst** durch zurückhaltendes Räumen und Verzicht auf den Einsatz von Salz im Winterdienst auf Nebenstrecken, z. B. in Wohnstraßen bzw. eine vollständige Räumerung von Schnee (Schwarzräumen) vor dem Streusalzeinsatz. Dies reduziert die Salzmengen erheblich. Der differenzierte Winterdienst wird bereits von zahlreichen Kommunen genutzt (z. B. Berlin, Hamburg).
- **Konsequente Aufklärung zum Verbot der Tausalzverwendung im privaten Bereich:** Dieses Verbot gibt es bereits in vielen Kommunen und Städten wie z. B. in Hamburg, München und Berlin (UBA 2024). Es wird aber in der Ausführung oft nicht eingehalten. Eine konsequente Aufklärung und Überprüfung

der Einhaltung dieser Regel von Nutzern ist notwendig.

- **Intelligenter Streusalzeinsatz:** Minimieren der Salzmenge und optimierte Methoden der Streusalzausbringung, Überprüfung und Reduktion der Aufwandmengen pro m². Dies wird in den meisten Städten und Kommunen bereits realisiert.
- **Abstumpfende Mittel:** Einsatz von alternativen Streumaterialien wie Sand, Splitt, Granulat oder fein gebrochenem Blähton auf möglichst vielen Verkehrsflächen.
- **Alternative Taustoffe:** Der Einsatz von alternativen Taumitteln sollte erst nach Bestätigung von deren Unschädlichkeit gegenüber Baum, Boden und Grundwasser zum Einsatz kommen.

Die Diskussion um die Verwendung von Sole wird oft irreführend unter der Begrifflichkeit eines alternativen Taustoffes geführt. Als Sole wird aber eine flüssige Form mit gelösten Salz-Ionen bezeichnet. Bei der Feuchtsalzstreuung wird je nach Mischungsverhältnis der Sole unterschieden, so bezeichnet man die Mischung als FS30 wenn 70% Trockensalz und 30% Sole, bzw. als FS100 wenn 100% Sole eingesetzt werden. Oft wird dieser Sole auch CaCl₂ beigefügt, welches Eis bei bis zu -20°C Lufttemperatur noch auftauen kann bzw. dafür sorgt, dass die Sole im Tank des Streufahrzeuges nicht während der Streufahrt friert. Die



Belastung durch Cl⁻ Ionen wird durch die CaCl₂ Verwendung nicht verändert. Darüber hinaus wird berichtet, dass die Mischung wesentlich phytotoxischer wirkt als das NaCl alleine (Zuber 2013).

Bei Einhaltung der vorab aufgeführten Ansätze können Flächen wie Nebenstraßen, Geh- und Radwege frei vom Tausalzeinsatz bleiben und wären damit für eine ganzjährige Einleitung von Niederschlagswasser von diesen Flächen in Baumstandorte geeignet. Demgegenüber steht der in vielen Kommunen diskutierte Wunsch nach komfortablem Radverkehr auch in Wintermonaten und die damit verbundene Nutzung von Tausalz auf z. B. ausgewiesenen Velorouten.

TECHNISCHE LÖSUNGSANSÄTZE - MASSNAHMENBEISPIELE

Vorrangiges Ziel ist es, die direkte Zuleitung von salzhaltigen Tauwässern zu Baumstandorten möglichst zu vermeiden bzw. weitgehend zu reduzieren. Als Maßnahmen werden z. B. eine Abdichtung der Fugen von Bordsteinkanten empfohlen, um so das Eindringen von Salzwasser zu reduzieren (Streckenbach & Schröder 2014).

Eine weitere technische Lösung ist die Trennung von Winter und Sommerbetrieb. Um die Zuläufe zu Baumgruben im Winter weitgehend zu verschließen, gibt es verschiedene aktive und passive Systeme. Dabei werden die Einläufe nach der Vegetationsperiode bzw. vor Frostperioden



Abb.: 103 Beispiele aktiver manueller Systeme zur Trennung von Sommer- und Winterbetrieb. Links: Einlauf in der Giessereistraße Zürich im Sommerbetrieb (Foto: Michael Richter). Im Winterbetrieb werden die Lamellen geschlossen und das Niederschlagswasser wird in den Straßenablauf geleitet. Rechts: Aufsatz zur Abtrennung Winter-/Sommerbetrieb. Im abgebildeten Zustand wird Niederschlagswasser am Ablauf vorbei in das Pflanzbeet geleitet. Im Winterbetrieb wird der Aufsatz umgedreht und die Abflüsse werden in die Kanalisation geleitet (Foto: DND Landschaftsplanung ZT KG).

STOFFLICHE BELASTUNGEN

geschlossen, um die Zuleitung von mit Tausalz belastetem Niederschlagswasser zu verhindern bzw. zu minimieren. Beim aktiven Prinzip werden Fließwege durch Randsteine, Schieber, oder andere Bauteile, automatisch oder manuell geschlossen bzw. geöffnet (siehe Abb. 103).

Bei passiven Systemen führt ein Rückstau dazu, dass erst ab einer gewissen Zuflussmenge Wasser in die Baumstandorte eintritt. Damit wird der sogenannte „first flush“ abgetrennt, der die meisten Schadstoffe beinhaltet. Es besteht bei diesen Systemen jedoch keine Garantie für die Abtrennung von Streusalz. Ein Vorteil gegenüber manuell gesteuerten Systemen liegt in dem geringen Unterhaltungsaufwand von passiven Systemen. Bei den manuellen Systemen ist für den richtigen Winterbetrieb ein relativ hoher personeller und logistischer Aufwand erforderlich, um die Unterhaltung und das Öffnen und Schließen der Anlagen zu gewährleisten.

Als weitere Ansätze werden Maßnahmen diskutiert, die aus dem Bereich der Standortrevitalisierung und -sanierung stammen. Diese sind als Maßnahmen zur Eindämmung akuter Schäden geeignet, aber als Strategien bei der Planung von Baumstandorten umstritten.



Abb.: 104 Beispiel eines aktiven automatisierten Systems zur Trennung von Sommer- und Winterbetrieb über automatischen Verschluss des Zulaufs über einen Temperatursensor (Foto: www.schwammstein.at).

Beim Durchspülen der Baumstandorte im Frühjahr (vor Austrieb) kann ein großer Teil der winterlichen Tausalzeinträge als Chlorid-Ionen aus Baumstandorten ausgetragen werden. Das Spülen kann durch natürliche Niederschläge passieren (Bedingung sind große Regenmengen im Frühjahr) oder manuell erfolgen, was einen erheblichen Aufwand bedeutet. Der Durchspülungseffekt gilt vor allem für Standorte mit extern angeschlossenen Flächen (z. B. Versickerungsmulden). Allerdings muss beachtet werden, dass durch diese Maßnahme eine Verlagerung der Ionen mit dem Sickerwasser in den Untergrund bzw. das Grundwasser betrieben wird.

Auch die gezielte Verdünnung des anfallenden Straßen- oder Gehwegabflusses, z. B. durch Nutzung von zusätzlichem Dachwasser wird diskutiert. Die Verdünnungsraten müssen unter Berücksichtigung der genutzten Taumittelkonzentrationen berechnet werden und die resultierenden Konzentrationen bedürfen der vegetationstechnischen Bewertung. Die Verdünnung bietet jedoch kaum eine Lösung, da die Frachten am Standort insgesamt gleichbleiben.

Als weitere Option wird eine Bedeckung der Baumstandorte mit Mulch diskutiert, an der die



Abb.: 105 Duales Tiefbeet zur Abtrennung von u. a. Tausalz durch Rückstau über Bodenfilter (Foto: Anna Zeiser).

Salz-Ionen gebunden werden sollen und die nach dem Winter am Standort abgeräumt werden müsste.

Bei potenziellem Eintrag von Tausalz in Baumstandorte kann die Nutzung resilienterer Baumarten bzw. von Arten, die eine größere Toleranz gegen Tausalz aufweisen, sinnvoll sein. Das Problem der Verlagerung der Chlorid-Ionen mit dem Sickerwasser in den Untergrund bleibt trotzdem bestehen.

ERPROBUNG VON MASSNAHMEN

Diese Ansätze zum Umgang mit Tausalzen an Standorten, bei denen die Nutzung durch den Winterdienst nicht ausgeschlossen ist bzw. in Kauf genommen wird, werden derzeit in unterschiedlichen Pilotprojekten erprobt.

Im Rahmen des BGS Pilotprojekts Horstweg in Potsdam (vgl. Umbau Horstweg, Kapitel 2.3.1) sollen zukünftig Maßnahmen erprobt werden, um die mögliche Gefahr von Wurzelschäden an den Bäumen in Mulden trotz Tausalznutzung zu minimieren:

- Der Horstweg wird Modellstraße für baumbestandene Mulden an vielbefahrenen Straßen.
- Die Bauweise der Mulden soll einen schnellen Wasserdurchsatz in den oberen 50 cm und eine Entleerung spätestens nach einem Tag (Verdünnung) sicherstellen.
- Die Neupflanzung erfolgt als gemischter Baumbestand indem abschnittsweise verschiedene salztolerante Baumarten gepflanzt werden, die für ein ruhiges Gesamtbild einen ähnlichen Habitus aufweisen sollen.
- Muldenzuläufe werden mittig zwischen den Bäumen angeordnet, damit die höchste Salzkonzentration möglichst weit entfernt von den Baumstandorten liegt.
- Es sollen ausreichend groß dimensionierte Wurzelgruben mit Baums substrat hergestellt werden.

Es wird wichtig sein, weitere Erfahrung mit solchen Piloten zu sammeln und weitere Vermeidungsstrategien des Eindringens von Tausalzen an Baumstandorte zu entwickeln.

BEWERTUNG DER SALZKONZENTRATION AN DEN INSTRUMENTIERTEN BAUMSTANDORTEN IN HAMBURG.

Im Rahmen von BGS wurden an zwei Hamburger Baumstandorten mit Zufluss von Niederschlagswasser von befestigten Flächen Salze als Chlorid-Ionen im Schacht bzw. im Pegelrohr der Baumstandorte zu verschiedenen Zeitpunkten in den Jahren 2022 und 2023 erfasst. In der Hölertwiete erfolgt eine Zufuhr von Niederschlagswasser von Dachflächen und Am Beckerkamp wird Niederschlagswassers von der Straße zugeführt, welche als wichtige Hauptverkehrsstraße mit Buslinienverkehr mit Feuchtsalz behandelt wird.

Die Analyse der Salze zeigt eine deutliche jahreszeitliche Abhängigkeit. Die Konzentration der Cl-Ionen ist in den Beprobungen im Jahr 2022 und

im Jahr 2023 vor Wintereinbruch unauffällig. Sie weisen an beiden Standorten Chloridionen im Konzentrationsbereich zwischen 1-20 mg l⁻¹ auf. Allerdings zeigte die Beprobung im Dezember 2023 nach einem Schneefallereignis und möglichem Tausalzeinsatz Am Beckerkamp deutlich erhöhte Konzentrationen. Diese überschreiten den Richtwert von 250 mg l⁻¹ um mehr als das Doppelte (vgl. Kapitel 10.1). Es ist darauf hinzuweisen, dass auch die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) in dieser Probe deutlich erhöht sind, während alle anderen erfassten Schadstoffkonzentrationen im Rahmen der vorherigen Untersuchungen liegen.

Diese Beprobung zeigt, dass die Salzkonzentration sehr dynamisch reagiert und für eine Gefahrenabschätzung insbesondere die Erfassung in den Wintermonaten bis zum Frühjahr von Bedeutung sind.

LITERATUR

- Bäckström M., et al. (2004) Mobilisation of Heavy Metals by Deicing Salts in a Roadside Environment, *Water Research*, 38:720–32.
- Becker, J.N.; Eschenbach, A. 2022: Wirkungsvoller Winterdienst für den unmotorisierten Verkehr – Bodenkundliche Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Streustoffen, E-WIN Abschlussbericht, Im Auftrag der Stadtreinigung Hamburg, AÖR
- Benk, J.; Artmann, S.; Kutscheidt, J.; Müller-Inkmann, M.; Streckenbach, M.; Weltecke, K. (2020): Praxis-handbuch Wurzelraumsprache. Boden und Baum - Bodenuntersuchung für Bäume. Arbeitskreis Baum im Boden Eigenverlag.
- Brod, H.G. (1995) Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalzen – Folgen für die Umweltmedien unter Berücksichtigung neuester Tendenzen. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen – bast. Verkehrstechnik Heft V21, 60 S.
- Bryson G. M., and Barker A. V. (2002) Sodium Accumulation in Soils and Plants along Massachusetts Roadsides, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33:67–78.
- Czerniawska-Kusza I., Kusza G., und Duzynski M. (2004) Effect of Deicing Salts on Urban Soils and Health Status of Roadside Trees in the Opole Region, *Environmental Toxicology*, 19:296–301.
- Däumling, Th, & Doobe, G. (2022): Streusalz im Winterdienst: Fluch und Segen, *Pro Baum*, 04/2022
- Däumling, Th.; Oechtering, E.; Meyer-Spasche, H.; Lichtfuss, R.; Doobe, G.; 2012: Streusalzmonitoring 2007-2011. Bericht, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt; Bodenschutz, Altlasten, Stadtbaummanagement; Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.) www.hamburg.de/boden/3904616/streusalzmonitoring/
- Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (2022): Positionspapier Einsatz von Streusalz - Konsequenzen für Straßenbäume. <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/downloads/>
- Equiza M.A., Calvo-Polanco M., Cirelli D., Señorans J., Wartenbe M., Saunders C., und Zwiazek J.J. (2017) Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada, *Urban Forestry & Urban Greening*, 21:16-28, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.003>
- Gerasimov, A., Chugunova, M., Polyak, Y., (2021) Changes in Salinity and Toxicity of Soil Contaminated with De-icing Agents during Growing Season. *Environ. Res. Eng. Manag.* 77:53–62, <https://doi.org/10.5755/j01.erem.77.2.23633>
- Green S. M., Machin R., und Cresser M.S. (2008) Effect of Long-Term Changes in Soil Chemistry Induced by Road Salt Applications on N-Transformations in Roadside Soils', *Environmental Pollution*, 152:20–31.
- Hootman R. G., Kelsey P.D., Reid R., von der Heide-Spravka K. (1994) Factors Affecting Accumulation of Deicing Salts Around Trees. *Journal of Arboriculture* 20(3): 196-201, <https://doi.org/10.48044/jauf.1994.035>
- Rousk J., Elyaagubi F.K., Jones D.L., Godbold D.L. (2011) Bacterial salt tolerance is unrelated to soil salinity across an arid agroecosystem salinity gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 43:1881–1887.
- Streckenbach, M; Schröder, K. (2014): Auftausalze in Bäumen und Böden - Grundlagen und Konzepte zur Standortsanierung. Dujesiefken, D. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2014*. Haymarket Media, Braunschweig, S. 87-101
- Tripathi S., Kumari S., Chakraborty A., Gupta A., Chakrabarti K., Bandyapadhyay B.K. (2006) Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biology and Fertility of Soils*, 42:273–277.

UBA 2024 Streumittel: Umweltschonend gegen Glätte ohne Salz internet Zugriff 17.11.2024: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/streumittel-streusalz#wie-sie-klimafreundlich-gegen-glatte-auf-gehwegen-vorgehen>

Zuber R. (2013) Streusalz: Auswirkungen auf die Stadtbäume und Gegenmassnahmen, Im Auftrag der VSSG Vereinigung Schweizerischer Stadtgärtnerinnen und Gartenbauämter, CH-8802 Kilchberg.

AUTOR:INNEN

Annette Eschenbach, Universität Hamburg
Michael Richter, HafenCity Universität

mit Zuarbeit von:

Carlo Becker, bgmr Landschaftsarchitekten GmbH
Wolfgang Dickhaut, HafenCity Universität
Sven Hübner, bgmr Landschaftsarchitekten GmbH
Matthias Pallasch, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH
Harald Sommer, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH