

Ökologische Gesamtbilanz zum
Winterdienst der Stadt Salzburg



ÖKOLOGISCHE GESAMTBILANZ ZUM WINTERDIENST DER STADT SALZBURG

Monika Paar
Holger Heinfellner
Katharina Lenz
Helga Lindinger
Christian Nagl
Monika Tulipan

REPORT
REP-0826

WIEN 2022

Projektleitung Monika Paar

Autor:innen Monika Paar
Holger Heinfellner
Katharina Lenz
Helga Lindinger
Christian Nagl
Monika Tulipan

Lektorat Ira Mollay

Layout Thomas Lösli

Umschlagfoto © Land Salzburg

Dank an Stefan Schindler
David Paternoster
Maria Stejskal-Tiefenbach
Günther Nowotny (Amt der Salzburger Landesregierung)

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2022

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-652-4

VORWORT

Wieviel Salz verträgt die Stadt?

Frisches, winterliches Weiß auf Wegen und Straßen taucht die Stadt in eine zauberhafte Stimmung – und aktiviert die Teams des städtischen Winterdiensts. Sobald es richtig kalt ist, stürmt und schneit, wird im Schichtbetrieb rund um die Uhr gearbeitet, damit alle Salzburgerinnen und Salzburger die Straßen und Wege sicher benutzen können – egal sie ob zu Fuß, per Rad, im Bus oder Auto unterwegs sind. Rund 200 Mitarbeiter:innen stehen dann auf 450 Straßen- und über 180 Geh- und Radwegkilometern in der Stadt Salzburg im Schneeräumeinsatz. Dabei wird vor allem auf Streusplitt gesetzt, denn in der ganzen Stadt gilt im Sinne des Umwelt- und Naturschutzes ein grundsätzliches Salzstreuverbot. Nur auf Hauptstraßen mit Obus-Linien darf Salz bzw. Sole eingesetzt werden.

Mit einem Radverkehrsanteil von über 20 Prozent ist Salzburg auch Radhauptstadt. Auf den Radwegen wird im Winter geräumt und Splitt gestreut. Regelmäßig wird aber mehr Salz- bzw. Soleeinsatz gefordert.

Auf der Suche nach einer fachlich fundierten Entscheidungsgrundlage sind Stadt und Land Salzburg an das Umweltbundesamt herangetreten, um die Auswirkungen des Winterdienstes auf die Umwelt darzustellen und zu bewerten. Nun liegt eine ökologische Gesamtschau vor, in die umfassende Daten von Stadt und Land eingeflossen sind und die auch für andere Städten und Gemeinden wichtige Informationen liefern kann.

Zusammengefasst: Jeder Einsatz von Salz und Sole bedeutet Stress und Beeinträchtigung für das ökologische Gleichgewicht. Daher gibt es kein ökologisch begründetes Argument, den Einsatz von Salz/Sole auszuweiten.

LH-Stv. Heinrich Schellhorn – Land Salzburg
Stadträtin Martina Berthold – Stadt Salzburg

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	6
2	ZUSAMMENFASSUNG	7
3	DATEN UND FAKTEN ZUM WINTERDIENST IN DER STADT SALZBURG	11
4	ÖKOLOGIE, BODEN UND VEGETATION	14
4.1	Boden	14
4.2	Vegetation	19
4.2.1	Mechanismus der Aufnahme von Streusalz (NaCl) durch Pflanzen.....	19
4.2.2	Nachweis von Salzsäden	20
4.2.3	Toxizität von NaCl und anderen Streumitteln	20
4.2.4	Einfluss des Streusalzes auf die Bäume in der Stadt Salzburg.....	21
4.2.5	Streusalz und Neophyten.....	25
4.2.6	Streusalz und Haustiere	27
4.2.7	Streusalzeinsatz in anderen Staaten (Schweiz, Deutschland)	28
4.2.8	Winterdienst unter Einfluss des Klimawandels	29
4.3	Empfehlungen	30
5	EMISSIONEN DER STREUFahrzeuge	32
5.1	Empfehlungen	34
6	LUFTQUALITÄT	37
6.1	Beitrag des Winterdiensts zur Luftqualitätsbelastung in Salzburg	37
6.1.1	Ausgangssituation	37
6.1.2	Vorliegende Daten.....	38
6.2	Empfehlungen	40
7	ABWASSER	42
7.1	Eintragungspfade in die Umwelt	42
7.1.1	Diffuse Versickerung	42
7.1.2	Örtlich konzentrierte Versickerung.....	43
7.1.3	Gefasste Straßenentwässerung.....	43
7.2	Streusalz in Niederschlagswassereinleitungen der Trennkanalisation	44
7.3	Streusalz in der Kläranlage	44

7.4	Streusalz in Oberflächengewässer	46
7.5	Ergebnisse für die Stadt Salzburg	47
7.5.1	Abschätzung des Eintrags in die aquatische Umwelt	47
7.5.2	Chloridkonzentration auf der Kläranlage	48
7.5.3	Chloridbelastung im Oberflächengewässer	50
7.6	Zusammenfassung und Empfehlung	54
8	GRUNDWASSER	56
8.1	Eintragspfade	57
8.2	Studien zu Streumitteln und zu Auswirkungen der Salzstreuung auf das Grundwasser	59
8.3	Leitfäden	60
8.4	Studien im Untersuchungsgebiet	61
8.5	Datenauswertung	61
8.5.1	Konzentrationsniveaus und allfällige Konzentrationsänderungen im zeitlichen Verlauf.....	62
8.5.2	Chloridkonzentrationen im Vergleich mit Prüfwerten.....	67
8.6	Zusammenfassung und Empfehlungen	68
9	LITERATUR	70
10	RECHTSNORMEN UND LEITLINIEN	76

1 EINLEITUNG

Die Altstadt von Salzburg wurde im Jahre 1996 in die Liste des Welterbes der UNESCO aufgenommen und umfasst die Altstadt links und rechts der Salzach, das Innere Nonntal, das Innere Mülln, Mönchsberg, Festungsberg und Kapuzinerberg mit einer Fläche von 236 ha (<https://www.unesco.at/kultur/welterbe/unesco-welterbe-in-oesterreich/historisches-zentrum-der-stadt-salzburg>).

Neben eindrucksvollen Bauten und Gartenanlagen sind auch die von langen Alleen gesäumten Ausfallstraßen, welche vom inneren Stadtbereich in das Umland führen, ein wichtiger Bestandteil der Stadtlandschaft (vgl. Nowotny, 2012).

Bereits im Sommer braun gefärbtes Laub von Straßenbäumen war auch für Lai:innen seit den 70er und 80er Jahren auffällig und als Schädigung erkennbar (vgl. Nowotny, 2012). Zu einem erheblichen Anteil ist Streusalz dafür verantwortlich, das der Winterdienst in Erfüllung der gesellschaftlichen Forderung nach Freihaltung der Verkehrsflächen von Schnee und Eis in über die Jahre zunehmend größeren Mengen ausbrachte (Lötsch in Nowotny, 2012).

Diese Entwicklung hält trotz einer 1983 erlassenen und bis heute gültigen „Auf-taumittelverordnung“ (Amtsblatt, 1983) ungebrochen an (Nowotny, 2012).

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden im Auftrag von Stadt und Land Salzburg die Auswirkungen des Winterdienstes auf die Umwelt dargestellt und bewertet. Die Ergebnisse dieser Zusammenschau sollen den Auftraggebern eine Anregung für die künftige ökologisch verträgliche, nachhaltige Gestaltung des Winterdienstes in der Landeshauptstadt geben.

Das Projekt umfasste die interdisziplinäre Untersuchung des Einflusses des Winterdienstes auf die Umweltmedien Luft, Boden und Wasser sowie die Auswirkungen auf die Vegetation. Im Detail wurden die Auswirkungen auf Stadtbäume, die Ausbreitung salztoleranter Neophyten, Veränderungen im Boden sowie Emissionen durch die Streufahrzeuge und der Einfluss auf Luftqualität, Abwasser und Grundwasser behandelt. Anhand der vorliegenden Daten zum Winterdienst, beigelegt durch die Stadt und das Land Salzburg, sowie mittels Literaturrecherche wurde eine ökologische Bilanz der Auswirkungen erstellt. Diese soll der Stadt, die weltweit für Kunst und Kultur in Verbindung mit einer einzigartigen Naturkulisse bekannt ist, eine Hilfestellung für eine möglichst umweltschonende Umsetzung des Winterdienstes bieten.

2 ZUSAMMENFASSUNG

Der Winterdienst hat, wie in allen Städten, zweifellos Auswirkungen auf Lebensräume und Umweltmedien, so auch in der Stadt Salzburg.

Boden Die von den Auswirkungen des Winterdienstes betroffenen Straßenbegleitflächen der Stadt Salzburg wurden oft im Zuge von Bautätigkeit geschaffen. Auf diesen Standorten sind die Böden daher zumeist stark anthropogen beeinflusst und weisen keine natürliche Bodenstruktur und stark eingeschränkte natürliche Bodenfunktionen auf. Diese für Pflanzenstandorte problematischen Voraussetzungen, werden durch die Ausbringung von Streusalz noch verschärft. Ein Übermaß an Natrium führt zur Alkalisierung des Bodens, d. h. zu einer Anhebung des pH-Wertes. Dadurch ändern sich Bindungseigenschaften von Stoffen, das Kationengleichgewicht und damit die Verfügbarkeit von Nährstoffen wie Magnesium (Mg), Phosphor oder Kalzium (Ca) in der Bodenlösung. Zusätzlich bewirken Natrium und Chlorid die Auswaschung von Calcium und Magnesium aus dem Boden, was ebenfalls zu einem Verlust an pflanzenverfügbaren Nährstoffen führt. Die Nährstoffaufnahme bzw. der Transport in die Pflanze wird eingeschränkt und so zu einem ernährungsphysiologischen Problem für die Straßendrandbäume. Die zunehmende Salzkonzentration wirkt negativ auf die Bodenstruktur und den Wasserhaushalt des Bodens, was dazu führen kann, dass die Aufnahme von Wasser in die Pflanze eingeschränkt wird. Die Folge sind Trockenschäden an den Pflanzen. Durch verschiedene technische Maßnahmen können sowohl die Bodenbedingungen für die Bepflanzung verbessert als auch eine Verminderung von Schädwirkungen durch Auftausalze insbesondere im Bereich der Baumscheibe und des unmittelbaren Baumumfeldes erreicht werden.

Stadtbäume Die Stadtbäume Salzburgs spiegeln die Umwelteinflüsse, denen sie ausgesetzt sind, deutlich wider. Wesentliche Stressfaktoren sind Luftschadstoffe, Bodenverdichtung, Bodenversiegelung, Trockenheit, mechanische Schädigung und Streusalz. Diese Faktoren können sich teilweise in ihren Wirkungen synergistisch verstärken oder antagonistisch hemmen. So sind Bäume, die bereits durch Trockenheit oder Salzeinfluss geschädigt sind, besonders anfällig für Schädlinge und Krankheiten. Im Rahmen einer langjährigen Untersuchungsreihe zum Zustand der Salzburger Stadtbäume wurden rund 7.000 Bäume in regelmäßigen Abständen nach ihrer Vitalität bewertet. In der vorliegenden aus dem Jahr 2012 stammenden Erhebung wird die Belastung durch Streusalzeinfluss als weiter zunehmend bezeichnet. Vor allem bei empfindlichen Baumarten schreitet daher die Schädigung durch Streusalz, die sich u. a. durch Blattrandnekrosen äußert, weiter voran (Nowotny, 2014). Maßnahmen wie eine Reduktion der Salzstreuung auf bereits stark geschädigten Standorten sowie für die Verminderung des Eintrags von Salz in das System Boden–Pflanze sollten für die Erhaltung der Bäume ergriffen werden – dies auch unter dem Aspekt, dass großkronige, ältere Bäume eine besondere Funktion für die Lebensqualität einer Stadt besitzen und so gut wie möglich geschützt und erhalten bleiben sollten.

Neophyten Entlang einiger stark von Streusalz oder Sole beeinflusster Standorte, vor allem entlang der Autobahn im Norden der Stadt, wird das Vorkommen salztoleranter

Neophyten beobachtet. Dazu zählen der Salzschwaden, eine Grasart, verschiedene Melden und die Salz-Schuppenmiere. Diese salztoleranten Arten, die auf Salzstandorten der Küste oder auf Binnensalzstandorten natürlich vorkommen, sind nur auf Böden mit hohem Salzgehalt konkurrenzfähig. Eine Ausbreitung auf andere Standorte der Stadt ist daher nicht zu beobachten und auch nicht zu erwarten.

Haustiere Auch Haustiere sind dem Einfluss der winterlichen Salzausbringung ausgesetzt. Aus der tierärztlichen Praxis in Salzburg wird von einem vermehrten Auftreten von Entzündungen an der Ballenhaut der Pfoten von Hunden im Winter, hervorgerufen durch Salzkristalle, berichtet. Darüber hinaus können Hunde und andere Tierarten auch durch das Ablecken des Salzes an den Pfoten gesundheitlichen Schaden nehmen.

Verkehrsemissionen Die Länge der winterdienstlich betreuten Straßen, Geh- und Radwege im Stadtgebiet von Salzburg beläuft sich derzeit auf rund 647,7 km. Für die Betreuung dieses Streckennetzes wurden in den vergangenen zehn Jahren durchschnittlich rund 1.000 t Salz, 2.700 t Splitt und 187.600 l Sole eingesetzt. Aus den durchschnittlichen Mengen je Streumittel wurde eine Gesamtfahrleistung der Streufahrzeuge von 9.800 km abgeschätzt. Demnach wird das gesamte Streckennetz theoretisch ungefähr 15 Mal in einer Saison befahren. Die Emissionen der Streufahrzeuge wurden aufbauend auf der ermittelten Fahrleistung und entsprechenden Emissionsfaktoren für Lastkraftwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 7,5 t bis 12 t auf 19,4 kg Stickstoffoxide (NO_x), 0,3 kg Feinstaub aus der Kraftstoffverbrennung (PM_{exh}) und 3.811 kg Kohlenstoffdioxid (CO₂) abgeschätzt. Diese Werte liegen im Normalbereich der zugrundeliegenden Fahrleistung und machen einen nur sehr geringen Bruchteil der gesamten Verkehrsemissionen in der Stadt Salzburg aus. Dennoch könnte man diese Emissionen durch Elektrifizierung, d. h. den Einsatz von Elektrofahrzeugen im Winterdienst, reduzieren und dadurch auch eine Vorbildwirkung erzeugen.

Luftqualität Splitt- und Salzstreuung können in den Wintermonaten und im Frühjahr an einzelnen Tagen in einem relevanten Ausmaß zur Belastung durch Feinstaub (PM₁₀, particulate matter < 10 µm) beitragen (Technical Working Group on Particles, 1997). Von Stadt und Land Salzburg wurden Daten zur Salz- und Splittstreuung sowie zur PM₁₀-Belastung übermittelt. Die EU-Luftqualitätsrichtlinie (Richtlinie 2008/50/EG) sieht eine Ausnahmeregelung für Überschreitungen des PM₁₀-Grenzwertes aufgrund von Streusand oder -salz auf Straßen im Winterdienst vor. Generell wurde nach 2011 keine Überschreitung des Grenzwertkriteriums¹ gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) bei PM₁₀ in Salzburg registriert. Vom Land Salzburg wurde in den Jahren 2010 bis inkl. 2013 der Beitrag aus Salz- und Splittstreuung zur PM₁₀-Belastung bewertet und einzelne Überschreitungstage in Abzug gebracht. Die Analysen zeigen, dass an einzelnen Tagen im Winter der Anteil von NaCl an der PM₁₀-Belastung in Salzburg an verkehrsbelasteten Standorten bis zu 16 % betragen hat. Aus Analysen in anderen Städten kann von Anteilen im PM₁₀ von 1 % bis 5 % ausgegangen werden. Auch wenn das PM₁₀-

¹ Der Grenzwert für den Tagesmittelwert von PM₁₀ beträgt 50 µg/m³, wobei gemäß IG-L 25 Überschreitungen zulässig sind, gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie 35 Überschreitungen.

Grenzwertkriterium in Salzburg seit einigen Jahren nicht mehr überschritten wird, ist dennoch aus Sicht der Luftqualität ein möglichst sparsames Ausbringen von Streumittel empfehlenswert.

Abwasser Bei der Beurteilung der Auswirkungen des Streusalzeinsatzes der Stadt Salzburg auf das Abwasser wurde davon ausgegangen, dass der Großteil des aufgebracht Salzes mit dem Oberflächenabfluss der Straßen in die öffentliche Kanalisation eingebracht wird. Von dort gelangt rund ein Drittel (284 t/a NaCl) über Niederschlagswassereinleitungen in die aquatische Umwelt, während rund zwei Drittel (633 t/a NaCl) entweder über einen Mischwasserkanal zur Kläranlage RHV Siggerwiesen (mind. 339 t/a NaCl) bzw. über Mischwasserentlastungen (max. 325 t/a NaCl) direkt in die Gewässer gelangen. Nachdem Chlorid weder durch Bodenfilteranlagen noch durch die biologische Abwasserreinigung aus dem Abwasser entfernt wird, gelangt der Großteil des eingesetzten Streusalzes in die Gewässer. Die Beurteilung von Chloridspitzenbelastungen in Oberflächengewässern aufgrund von Streusalzeinfluss waren aufgrund der verfügbaren Daten nicht abzuschätzen. Die Auswertung der Chloridkonzentrationen an jenen Messstellen in Salzburg, wo Messungen vorlagen, zeigte keine Überschreitung der Richtwerte der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG) (Jahresdurchschnittswert: 150 mg/l Cl, zulässige Höchstkonzentration: 600 mg/l Cl); die Messwerte lagen zwischen 1,3 mg/l Cl und 35 mg/l Cl. Es muss jedoch angemerkt werden, dass diese Messungen immer nur eine Momentaufnahme darstellen und mögliche Spitzenbelastungen im Gewässer durch die regulären Messungen nur im Ausnahmefall erfasst werden. Chloridspitzen zeigten sich in den Gewässern vorwiegend in den Wintermonaten während der Streuperiode.

Eine Reduktion der Auswirkungen des Streusalzeinflusses auf Oberflächengewässer lässt sich vor allem durch die Auswahl der Einleitestelle in den Vorfluter erreichen, unabhängig davon, ob das Streusalz die Gewässer über Niederschlagswassereinleitungen aus der Trennkanalisation, den Ablauf der Kläranlage oder Mischwasserentlastungen erreicht. Bei Berücksichtigung der Vorgaben rechtlicher und technischer Regelwerke für die Bewilligung der Einleitung von chloridbelasteten Straßenabwässern ist von einer lokalen Minimierung der Belastung der aquatischen Umwelt auszugehen.

Grundwasser Mögliche Auswirkungen der Salzstreuung des Winterdienstes der Stadt Salzburg auf das Grundwasser wurden basierend auf den von der Stadt Salzburg übermittelten Informationen zu den Salztouren und den im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) erhobenen Grundwasserqualitätsdaten geprüft. Der Verlauf der Chloridkonzentrationen für den Mittelwert der Gruppe der 13 Messstellen in einer Entfernung bis zu 300 m der Winterdienst-Salztouren zeigt bis etwa 2006 steigende und seither leicht rückläufige Konzentrationen bei etwa 35 mg/l, wobei kein statistisch signifikanter Trend vorliegt. Jene Gruppe der fünf Messstellen, die innerhalb 50 m des Salztourennetzes liegt, zeigt im Mittel mit rund 80 mg/l Chlorid ein deutlich höheres Konzentrationsniveau als die Gruppe der Messstellen, die zwischen 50 und 300 m entfernt liegen, mit rund 25 mg/l. Die Prüfung der einzelnen Messstellen zeigt, dass eine

der 13 innerstädtischen Messstellen einen signifikant steigenden Trend aufweist. Ergänzend wurden Messstellen mit hohen Maximalkonzentrationen geprüft. Von den innerstädtischen Messstellen liegt kein Chloridmesswert über dem Schwellenwert der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW) von 180 mg/l vor. Es ist hervorzuheben, dass für die Auswertungen seit 2009 überwiegend nur jeweils zwei Chloridmessungen pro Jahr (2. Quartal und 4. Quartal) vorliegen. Es wurden keine Ursache–Wirkungsanalysen durchgeführt. Neben dem Winterdienst durch die Stadt Salzburg gibt es auch andere potenzielle Eintragspfade von Chlorid in das Grundwasser. Es ist anzuraten, bei Messstellen mit signifikant positivem Trend bzw. auffälligen Konzentrationen die Ursache zu klären. In einigen Jahren sollte die weitere Entwicklung der Chloridkonzentration erneut geprüft werden. Die Ausbringung von Splitt und Streusalz unter Gewährung der Straßensicherheit ist weiterhin entsprechend dem aktuellen Stand der Technik basierend auf den in den letzten Jahren zahlreich durchgeführten Forschungsprojekten umzusetzen.

3 DATEN UND FAKTEN ZUM WINTERDIENST IN DER STADT SALZBURG

Zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit bei winterlichen Witterungsverhältnissen werden in der Regel Streusplitt (abstumpfende Streumittel) und Auftausalz (auftauende Streumittel) auf die Verkehrswege aufgebracht, wobei abstumpfende Streumittel eher im niederrangigen und auftauende eher im hochrangigen, stark befahrenen Straßennetz (z. B. Autobahnen) angewandt werden (Flesch, 2020).

abstumpfende Streumittel **Abstumpfende Streumittel** umfassen alle zur Verbesserung der Griffigkeit aufgestreuten Splitt (gebrochenes Gestein). Die Anforderungen an den Streusplitt sind in den „Richtlinien Streusplitt“ des Güterschutzverbandes der Österreichischen Kies-, Splitt und Schotterwerke (GSV) sowie in den Richtlinien für das Straßenwesen (RVS) der Forschungsgesellschaft Straße–Schiene–Verkehr (FSV), RVS 12.04.16 definiert (Hoffmann et al., 2012).

Vorteile der Splittstreuung Die Vorteile der Splittstreuung liegen in der unmittelbaren Wirksamkeit nach der Streuung und der Erhöhung der Griffigkeit auch auf bereits festgefahrenen Schneedecken, da sich der Splitt beim Überfahren der Schneedecke durch die Kraftfahrzeuge in den Schnee bzw. in das Eis eindrückt. Auftauende Streumittel benötigen hingegen eine gewisse Zeit (rund 5 bis 60 Minuten), um ihre Wirkung im lockeren Schnee zu entfalten. Auf festgefahrenen Schneedecken oder auf Eisflächen dauert es in der Regel deutlich länger, bis auftauende Streumittel Wirkung zeigen bzw. muss mehr auftauendes Streumittel aufgebracht werden.

Nachteile der Splittstreuung Die Nachteile der Splittstreuung sind zum einen, dass sie bei erhöhtem Verkehrsaufkommen (mehr als etwa 1.000 Kfz/24 h) nicht zu empfehlen ist, da sich nach etwa 400 Überfahrten kein Splitt mehr auf der Fahrbahn befindet (Wehner, 1960, Hoffmann et. al., 1984). Zum anderen verbleibt der ausgebrachte Streusplitt nach der Winterperiode in den Randbereichen der Fahrbahn und in den Auffangwannen der Kanalschächte und muss vom Straßenbetreiber von dort entfernt werden. Die Anteile des Splitts, die nicht in den Auffangwannen verbleiben, werden in der Kläranlage im Sandfang sowie im Vorklärbecken abgeschieden. Nur ein geringer Teil gelangt in die biologische Stufe der Kläranlage und dient dort als Adhäsions- und Sedimentationshilfe für die Schlammflocken (Flesch, 2020).

auftauende Streumittel **Auftauende Streumittel** senken den Gefrierpunkt von Wasseraggregaten unter die Fahrbahntemperatur und verhindern so die Eisbildung auf den Verkehrswegen. Es handelt sich hier um Salze, die auf die Fahrbahn aufgebracht werden und mit Regen, Schnee, Reif- bzw. Tau eine Lösung bilden (Hoffmann et al., 2012). Die meistverwendeten Salze sind Natriumchlorid (NaCl), Calciumchlorid (CaCl₂), Magnesiumchlorid (MgCl₂) und Kaliumchlorid (KCl). Aufgrund des Preisunterschiedes zwischen NaCl und CaCl₂ von über 400 % wird vermehrt auf NaCl gesetzt (Österreichische Gesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2012).

Vor- und Nachteile auftauender Streumittel Die Vorteile auftauender Streumittel liegen in der langen Wirksamkeit bei hoher Verkehrsdichte, der guten Dosiermöglichkeit und geringen Kehrkosten. Als Nachteile lassen sich die Einsetzbarkeit in einem begrenzten Temperaturbereich (bis etwa -10 °C) und negative Umweltauswirkungen bei schlechter Dosierung anführen.

Mengeneinsatz Die jährliche Produktion von Salz beträgt in Österreich rund 1,1 Mio. t, die maximale Tageskapazität liegt bei 3.350 t. Davon wurden in den Jahren 2004–2011 im Mittel rund 271.000 t/a (20.900 t/a aus dem Bundesland Salzburg) für den Winterdienst verwendet (Hoffmann et al., 2012). Quellen geben die jährliche Menge an Streusalz in Österreich mit bis zu 260.000 t an, die sich zu 90 % (also 234.000 t) auf NaCl und zu 10 % auf andere Streumittel wie CaCl₂ aufteilen (Wolf und Giuliani, 2009).

In der Stadt Salzburg gelangt neben Streusplitt hauptsächlich Natriumchlorid sowie in deutlich geringeren Mengen Calciumchlorid zum Einsatz (Tabelle 1). Des Weiteren wird auch Sole (Salzlösung aus Wasser und NaCl mit einer Konzentration zwischen 10 % und 23 %) eingesetzt.

Tabelle 1:
Einsatz von Streumitteln
in der Stadt Salzburg
(persönliche Mitteilung
Christian Bleibler, Stadt
Salzburg).

	NaCl [t]	CaCl ₂ [kg]	Splitt [t]	Sole [L]	NaCl in Sole* [t]
2010	3.194,6	-	5.932,1	176.280	29,1
2011	753,9	400,0	1.414,0	103.493	17,1
2012	1.385,0	650,0	5.031,8	122.736	20,3
2013	1.840,2	-	3.694,3	153.394	25,3
2014	478,0	-	1.064,3	114.268	18,9
2015	795,2	-	2.571,0	213.591	35,2
2016	928,5	-	2.425,0	249.113	41,1
2017	1.405,9	125,0	4.650,0	323.991	53,5
2018	847,4	125,0	1.846,2	216.253	35,7
2019	1.117,3	375,0	2.233,5	202.510	33,4
2020	330,8	200,0	1.273,0	100.376	16,6
2021	1.088,8	300,0	2.155,5	179.614	29,6
jährl.Ø 2012–2021	1.021,7	177,5	2.694,5	187.585	31,0

* unter Annahme einer Konzentration von durchschnittlich 16,5% NaCl (Berechnung Umweltbundesamt)

Regelung des Einsatzes von Auftaumitteln

Die Salzstreuverordnung der Stadt Salzburg regelt den Umgang mit Auftaumitteln (Auftaumittelverordnung 1983, LGBl. Nr. 48/1984). Salz kommt aus Umweltschutzgründen – abgesehen von verordneten Ausnahmen – nur auf Hauptstraßen mit Obus-Linien zum Einsatz. Obwohl der Einsatz von Streusalz bei privaten Schneeräumungen grundsätzlich verboten ist, muss von einer alljährlichen unerlaubten Salzstreuung durch Privatpersonen ausgegangen werden. Da dazu keine Daten vorliegen, wurden im vorliegenden Bericht nur jene Salzmen-

berücksichtigt, die durch den Winterdienst der Stadt Salzburg aufgebracht werden.

**Aufbringungsformen
von Streusalz**

Streusalz wird im privaten Anwendungsbereich in der Regel als reines Salz in pulverisierter Form aufgebracht. Beim Einsatz im Straßenverkehr hingegen wird das reine Salz auf dem Streuteller des Streufahrzeugs mit Sole befeuchtet, um einerseits ein gleichmäßigeres Streubild zu erreichen und andererseits geringere Verluste durch Aufwirbelung und Windverwehung zu erreichen.

4 ÖKOLOGIE, BODEN UND VEGETATION

4.1 Boden

Beschaffenheit urbaner Böden

Wenn man im urbanen Raum von „Boden“ spricht, muss bewusst sein, dass i.d.R. von anthropogen veränderten „Böden“ auszugehen und in den wenigsten Fällen von „Boden“ im eigentlichen bodenkundlichen Sinne zu sprechen ist. Natürlich gewachsene Bodenstrukturen sind meist nur an unveränderten Standorten wie alten Parks, Naturdenkmälern u. ä. vorhanden, an denen nicht von einer Belastung durch Auftausalze auszugehen ist. Bei Straßenbegleitflächen, die von Auswirkungen des Winterdienstes betroffen sind, handelt es sich meist um Standorte, die im Zuge von Bautätigkeit eingerichtet wurden: straßennahe Begleitflächen, Bankette, Haltestellenbereiche. Dazu werden diese im Zuge der Gestaltung durch Aufschüttungen aus strukturstarke Baureststoffen (Beton-schutt, Kies u. ä.) bzw. mit Bodenaushub oder Substrat – im besten Fall annähernd – einem für Bepflanzung geeigneten Aufbau nachempfunden. An diesen Standorten liegt i.d.R. nur eine sehr eingeschränkte bis keine Erfüllung der natürlichen Bodenfunktionen vor, und sie können aufgrund ihrer unterschiedlichen Gestaltung, Historie und Nutzung eine hohe Variabilität zeigen. Dies spiegelt sich auch in der Eignung als Pflanzenstandorte wider.

In Salzburg entstand aufgrund der Lage im Randbereich der Kalkalpen sowie von Bautätigkeit im Laufe der Siedlungstätigkeit an vielen Baumstandorten ein humusarmer, grobskelettreicher Untergrund aus Bauschutt, Schotter, Sand und Lehm mit eher basischer Bodenreaktion (Nowotny, 1986).

Salzburger Bodenschutzgesetz

Für das Bundesland Salzburg gilt das „Salzburger Bodenschutzgesetz“ (Gesetz vom 4. Juli 2001 zum Schutz der Böden vor schädlichen Einflüssen (Bodenschutzgesetz), StF: LGBl Nr: 80/2001 (Blg LT 12. GP: RV 784, AB 871, jeweils 3. Sess; i.d.g.F.). Ziele des Gesetzes sind, die Erhaltung und der Schutz von Böden und der Bodenfunktionen, die Verbesserung und Wiederherstellung der Bodenfunktionen und die Verhinderung von Bodenerosion und Bodenverdichtung. Der Anwendungsbereich gemäß §2 erstreckt sich neben landwirtschaftlichen Flächen auf alle nicht versiegelten Böden, die tatsächlich oder potenziell Träger von natürlichem oder anthropogenem Pflanzenbewuchs sind, einschließlich Flächen mit abgezogener Humusdecke. Die umfasst u.a, auch Straßenbegleitflächen.

bodenkundliche Grundlagen

Insbesondere hinsichtlich der gemeinsamen Betrachtung mit straßenbegleitender Vegetation und der Schaffung von Standorten, die auch als Lebensgrundlage für Pflanzen geeignet sind, ist ein Verständnis für „Boden“ mit seinen natürlichen Funktionen eine wesentliche Voraussetzung. Der Boden dient als Lebensraum für Bodenorganismen (Tiere, Pflanzen, Pilze, Bakterien) und als Lebensgrundlage für den Menschen. Boden ist Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere in Bezug auf die Wasser- und (Nähr-)Stoffkreisläufe und hat als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium in diesen Kreisläufen wichtige Regelungsfunktionen. Dazu gehören das Puffervermögen für Säuren, die Ausfilterung von Stoffen aus dem Niederschlags-, Sicker- und Grundwasser, das Speichervermögen

für Wasser, Nähr- und Schadstoffe, das Recycling von Nährstoffen, die Detoxifikation von Schadstoffen u.v.m. Weitere wesentliche Bedeutung kommt Boden durch seine ausgleichende Wirkung auf den Wasserhaushalt im Sinne der Reduktion von Hochwasser- und Erosionsrisiken zu sowie der Klimaregulation gegen Hitzentwicklung oder im Rahmen des Kohlenstoffhaushalts (CO₂-Speicherung). (Bodenfunktionsbewertung: Anleitung zur Methodischen Umsetzung der ÖNORM L1076, Gemeinsame Arbeitsgruppe des Fachbeirats für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz im Lebensministerium und des Österreichischen Normungsinstituts)

Fokus auf NaCl und Sole

Grundsätzlich wird der Fokus in dem gegenständlichen Kapitel auf die Einträge von Auftausalz NaCl sowie dessen Sole gelegt, da diese auch in Salzburg hauptsächlich zur Anwendung kommen und Natrium (Na⁺)- und Chlorid (Cl⁻)-Konzentrationen die höchste Relevanz für schädliche Auswirkungen auf den Boden bzw. durch die Aufnahme von Pflanzen zeigen.

Einträge erfolgen direkt über Oberflächenabfluss bzw. Versickerung (0 bis 2 m neben dem Fahrbahnrand) oder durch Spritzwasser (2 bis 10 m neben dem Fahrbahnrand) bzw. via Luftfracht/Aerosol/Salzstaub (bis zu 60 m) insbesondere bei trockenen Witterungsbedingungen (bis zu 200 m abseits des Fahrbahnrandes) (Tegethof, 1998 in: Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg, Streusalzmonitoring).

Abnahme des Sauerstoffgehalts

Bodenverdichtung, Versiegelung (durch z. B. Überbauung), Änderungen in der Textur (z. B. durch Verschlammung, Störungen im Bodenaufbau oder strukturelle Mängel) führen durch verminderte Poren zu einem verminderten Gasaustausch im Boden und damit zu einer Abnahme des Sauerstoffgehaltes in der Bodenluft. Diese Faktoren beschränken die Wurzelatmung der Pflanzen. Zusätzlich wird die Aufnahme von Niederschlag vermindert bzw. verhindert (Brod, 1991, Nowotny, 2013).

Auswirkungen auf Bodenwasser- verhältnisse

Hinsichtlich der Wasserverhältnisse (Niederschlagsmenge, Bodenfeuchte, Durchlässigkeit des Bodens) zeigt sich, dass hohe Niederschläge und hohe Wassersättigung im Boden eine Auswaschung der Salze fördern, trockene Bedingungen hingegen begünstigen einen Konzentrationsanstieg im Oberboden. So zeigen sich in strengen Wintern mit hohen Ausbringungsmengen auch hohe Gehalte an Natrium und Chlorid im Boden, nach starken Niederschlagsperioden durch erfolgte Auswaschung ein Abfall der Konzentrationen (BSU, 2012).

Mit zunehmender Salzkonzentration steigt der osmotische Wert des Bodens, was dazu führen kann, dass die Aufnahme von Wasser in die Pflanze durch die Saugkraft des Bodens eingeschränkt wird. Die Folge sind Trockenschäden an den Pflanzen.

Chlorid im Boden

Chlorid ist im Boden weniger ein Problem, da es zum Großteil wasserlöslich ist und ausgewaschen und praktisch nicht adsorbiert wird. An Pflanzen ruft Chlorid durch die Aufnahme über die Wurzeln jedoch z. T. massive Schäden hervor (BSU, 2012).

Auswirkungen auf Ionenhaushalt des Bodens und Stabilität der Bodenstruktur

Der Stoffhaushalt im Boden wird über die Bindung von Ionen an der Oberfläche von Bodenpartikeln gesteuert (Ad-/Desorptionsprozesse). Ein Übermaß an Na^+ führt zur Alkalisierung des Bodens, d. h. zu einer Anhebung des pH-Wertes. Damit ändert sich das Kationengleichgewicht und die Verfügbarkeit von Nährstoffen wie Magnesium, Phosphor oder Calcium in der Bodenlösung. Natrium und Chlorid fördern einerseits die Auswaschung von Calcium und Magnesium aus dem Boden, was zu einem Verlust an pflanzenverfügbaren Nährstoffen führt. Andererseits erfolgt, insbesondere unter trockenen Bedingungen, eine Destabilisierung der Bodenstruktur. Es kommt zu Verschlammung, Verdichtung und weiterführend zu Störungen in der Bodendurchlüftung sowie des Wasserhaushalts und des Wurzelraumes. Dies schafft ungünstige Vegetationsbedingungen: Die Nährstoffverfügbarkeit und -aufnahme in die Pflanze wird eingeschränkt und führt so zu einem ernährungsphysiologischen Problem für Pflanzen. Mangelerscheinungen sind die Folge (Schinner und Sonnleitner, 2013). Auch kann durch die veränderten Sorptionsbedingungen eine Mobilisierung von Schadstoffen wie Schwermetallen in die Bodenlösung erfolgen.

Bodenbelastungsfaktoren durch Auftausalze

Wesentliche Komponenten im Zusammenhang mit der Belastung von Böden mit Auftausalzen sind somit:

- Eingesetzte Menge Auftausalz
- Anzahl Fahrspuren, Art der Fläche (z. B. Haltestellenbereiche stärker belastet als fahrbahnahe Grünflächen)
- Änderungen der Bodenparameter durch den Eintrag von Natrium und Chlorid: Textur/Bodenstruktur, Porengröße, Ionenaustausch, Verfügbarkeit von Stoffen (Sorptions- und Desorptionsvorgänge, mobile H_2O -lösliche Anteile), N, Chlorid, Nährstoffe, Ammonium, Vorliegen von Humus/Huminstoffen zur Bindung von Stoffen an Ton-Humus-Komplexe, pH-Wert
- Wasserhaushalt (Feldkapazität, Bodenfeuchte, Wasserdynamik)

beispielhafte Darstellung

Konkrete Aussagen zur Belastung von Standorten mit Auftausalzen für die Stadt Salzburg sind nur auf Basis von Messwerten möglich (Erhebung von Bodenparametern wie Ionen- und Nährstoffgehalte, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Humusanteil, Bodenstruktur/Bodenaufbau). Deshalb erfolgt hier eine beispielhafte Darstellung auf Grundlage anderer Untersuchungen.

So zeigen sich beispielsweise bei den Ergebnissen des Streusalzmonitorings in Hamburg (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg, 2012) deutlich die Belastungen von salzbeeinflussten Standorten im Vergleich zu nicht belasteten Standorten.

Tabelle 2:
Mediane und Mittelwerte
der „Null“- und „Salz“-
Standorte (alle Proben).
Quelle: Streusalzmonito-
ring Hamburg

Para- meter (Einheiten siehe Tab. 2)	„Null“-Standorte				„Salz“-Standorte				Quotient Mittel Salz/ Mittel Null
	Median	Mittel- wert	n gültig		Median	Mittel- wert	n gültig		
			Median	Mittelw.			Median	Mittelw.	
Leitf.	146	195	139	139	238	271	1202	1202	1,4
pH-Wert	6,0	6,0	139	139	7,3	7,2	1202	1202	1,2
Na_ef	14,0	14,1	139	139	30,4	48,2	1202	1201	3,4
Na_a	11,8	12,8	139	139	37,0	69,9	1202	1201	5,4
K_ef	7,2	14,8	139	136	11,8	17,9	1202	1192	1,2
K_a	46,2	72,6	139	139	72,2	90,0	1202	1202	1,2
Ca_ef	28,7	49,1	139	138	46,7	56,4	1202	1200	1,1
Ca_a	441	824	139	139	1110	1133	1202	1201	1,4
Mg_ef	3,8	5,3	139	136	3,9	5,4	1202	1146	1,0
Mg_a	35,2	50,1	139	139	50,8	58,5	1202	1201	1,2
Eq_Kat	2,5	3,7	139	139	4,8	5,4	1202	1202	1,4
Cl_ef	5,6	8,9	139	120	9,7	22,1	1202	1140	2,5
Cl_a	4,7	8,9	139	91	8,8	23,0	1202	1017	2,6
SO4_ef	33,9	39,2	139	139	28,8	36,7	1202	1200	0,9
SO4_a	23,2	37,2	139	139	19,2	26,7	1202	1202	0,7
Eq_An	0,9	1,0	139	139	0,9	1,4	1202	1202	1,3

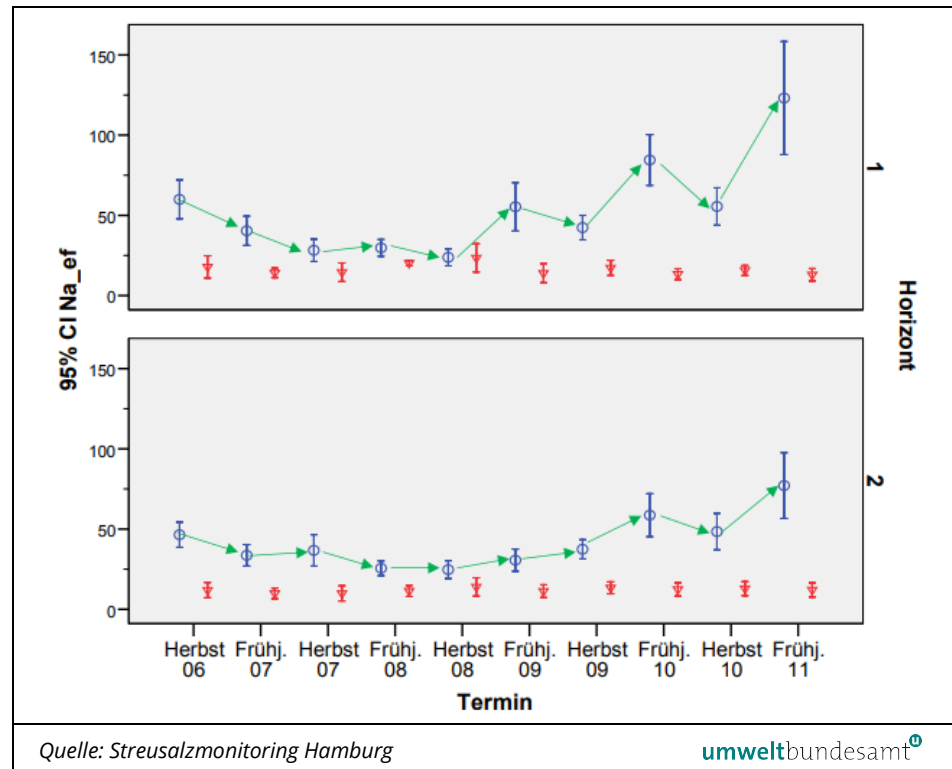
**Konzentrationen
im Boden**

Na und Chlorid sind jene Ionen, die die höchste Anreicherung zeigen und somit auch als Indikatoren dienen können. Im Mittel liegen die Konzentrationen um das Drei- bis Vierfache höher als an unbelasteten Standorten. Die im Rahmen des Bodenmonitoring Hamburg gemessenen Konzentrationen liegen bei rund 48 bzw. 70 mg/kg. Die Anreicherung von Na konnte (hoch)signifikant nachgewiesen werden und spiegelt somit den Streusalzeinsatz im Boden wider.

jahreszeitlicher Verlauf

Auch im jahreszeitlichen Verlauf sind Spitzen von Na und Chlorid zu den Zeiten, in denen die Ausbringung von Auftausalz massiv erfolgt, im Oberboden deutlich, aber auch im tieferliegenden Bodenhorizont sichtbar. (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1:
Mittelwerte und
Konfidenzbereiche
(95 %-Niveau) der Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) der beiden Bodenhorizonte zu den verschiedenen Untersuchungsterminen, differenziert für „Salz“-Standorte (blauer Kreis) und „Null“-Standorte (rotes Dreieck).



Maßnahmen für bessere Bedingungen

Durch verschiedene Maßnahmen können sowohl die Bodenbedingungen für die Bepflanzung verbessert als auch eine Verminderung von Schädwirkungen durch Auftausalze, insbesondere im Bereich der Baumscheibe und des unmittelbaren Baumumfeldes, erreicht werden. Im Rahmen von Studien zu neuen Verfahrenstechniken (Abschlussbericht Monitoring der Versuchsstandorte Jägerhausgasse, Ringstraße und Sonnwendviertel von 2015 bis 2018 mit dem „Wiener Baumsubstrat“) hat sich gezeigt, dass durch die Verwendung von geeigneten Substraten und durch entsprechende Pflanzkonzepte für die Schaffung von ausreichend Wurzelraum – sowohl für offene als auch überbaute Pflanzgruben – die folgenden positiven Ergebnisse erreicht werden können: hohe Luftkapazität für den Gasaustausch, ausreichend Infiltrationsvermögen und Wasserdurchlässigkeit zur Vermeidung von Stauwasser, eine hohe Wasserkapazität und nutzbare Feldkapazität zur Wasserversorgung sowie die Auswaschung von Auftausalzen („leaching“). Die zusätzliche Einbringung von Splitt, Sand und Feinsediment sowie Kompost schafft Stabilität, vermehrte Poren und Tongehalte und verbessert die Nährstoffversorgung.

4.2 Vegetation

4.2.1 Mechanismus der Aufnahme von Streusalz (NaCl) durch Pflanzen

Auftausalze, im wesentlichen NaCl, werden in der Stadt Salzburgs in kristalliner Form oder als Lösung (Sole) aufgebracht. Sobald Salz auf die Fahrbahn oder den Gehsteig gelangt, wird es durch den darüberfahrenden Verkehr in feinere Partikel zermahlen oder durch Niederschläge aufgelöst. Die Salzlösung kann dann trocknen und einen Salzfilm hinterlassen.

Die Aufnahme durch die Pflanzen hängt im Wesentlichen von den Aufnahmepfaden ab, die NaCl und andere Streusalze nehmen.

Aufnahme durch den Boden

Gehalt im Boden

Ein erhöhter Gehalt in den Substraten (Boden, Bodenwasser, ab rinnendes Wasser) ergibt sich infolge der Bewegung der Salzpartikel im Straßenverkehr. In Untersuchungen wurde festgestellt, dass ein erhöhter Gehalt von Auftausalzen im Boden in Entfernungen bis zu 20 m von der Fahrbahn auftreten kann (Hofstra und Smith, 1984; Hutchinson und Olson 1967 in Cain et al., 2001).

Aufnahme durch die Luft

Pflanzenschäden über die Luft

Die Aufnahme von Salzen durch die Luft tritt auf, wenn vorbeifahrende Fahrzeuge das Salzwasser oder getrocknetes Salz bzw. Salzkristalle durch das Vorbeifahren aufwirbeln und die Salzkristalle durch Wind verfrachtet werden.

Sichtbare Schäden an Pflanzen durch Salzsprühnebel oder erhöhte Salzkonzentrationen in holzigen Pflanzengeweben sind bis zu einem Abstand von 40 m bis 100 m vom Fahrbahnrand erkennbar. Das Ausmaß der Schädigung oder die Entfernung, bei der eine Wirkung stattfindet, hängt von der Empfindlichkeit der Art, der Topographie des Standorts und der vorherrschenden Windrichtung am Standort ab (Backman und Folkesson, 1995; Hall et al., 1972; Hofstra und Hall, 1971; Northover, 1987; Sucoff, 1975 in Cain et al., 2001).

Jahreszeitliche Effekte

Sobald das Pflanzenwachstum im Frühjahr einsetzt, sind Bäume und Sträucher, aber auch krautige Pflanzen dem Salz über die Aufnahme durch die Wurzel ausgesetzt. Oberirdische Pflanzenteile sind dem Salz darüber hinaus direkt über die Luft ausgesetzt, wenn im Rahmen des Winterdienstes im Spätherbst, Winter und zeitigen Frühjahr Streusalz auf die Straßen ausgebracht wird.

Abnahme während der Vegetationsperiode

Erhöhte Na- und Chlorid-Konzentrationen im Boden nehmen im Allgemeinen im Laufe der Vegetationsperiode ab, da die Ionen durch Niederschlag und Abfluss ausgewaschen werden. Bodenmessungen im Sommer oder Herbst deuten auf einen Rückgang der Bodenwerte hin, nachdem die Werte im Frühjahr erhöht waren (Hutchinson und Olson, 1967; Hofstra und Smith, 1984 in Cain et al., 2001).

4.2.2 Nachweis von Salzschäden

chemische Analyse als Indiz

In den Literaturstudien von Brod (1993, 1995) werden eine Vielzahl von Arbeiten ausgewertet, die eine große Variationsbreite in der Konzentration von Natrium und Chlorid in verschiedenen Pflanzengeweben dokumentieren (Quack et al., 2004). Die natürlichen Chloridgehalte schwanken bei Laubbäumen zwischen 0,7 mg/g und 17 mg/g Trockengewicht. Die Folgen von Wasser- und Salzstress sind nach Brod aber schwer zu unterscheiden, da ähnliche physiologische Prozesse ablaufen, sodass nur ein in den Pflanzen durch chemische Analyse bestimmter erhöhter Natrium- bzw. Chloridgehalt ein sicheres Indiz für Streusalzschäden ist (Quack et al., 2004).

Hinzu kommt, dass der Chloridgehalt oftmals mit der Vegetationsperiode zunimmt, sodass nach Brod (1993) von sichtbaren Tausalzschäden ausgegangen werden kann, wenn der Chloridgehalt im Mai/Juni über 10 mg/g Trockengewicht liegt (Quack et al., 2004).

4.2.3 Toxizität von NaCl und anderen Streumitteln

Bedarf von Pflanzen

Mikronährstoffe

Chlor ist ein Mikronährstoff, der in geringen Mengen für das Pflanzenwachstum benötigt wird. Eine durchschnittliche Konzentration im Pflanzengewebe liegt bei etwa 100 ppm. Kalzium ist ein Makronährstoff, der in größeren Konzentrationen für das Pflanzenwachstum benötigt wird. Eine übliche Konzentration im Pflanzengewebe liegt bei 5.000 ppm. Natrium ist zwar kein essentielles Element, ist aber häufig in Pflanzen enthalten. Geringe Mengen dieser Elemente wirken sich positiv auf das Pflanzenwachstum aus, wenn sie jedoch in zu großen Mengen im Boden oder im Pflanzengewebe vorhanden sind, können sie toxisch sein. (Cain et al., 2001).

Mechanismus von Streusalz (nach Cain et al., 2004)

Schadwirkungen auf Pflanzen

Erhöhte Mengen von Na und/oder Chlorid im Boden oder im Pflanzengewebe haben folgende negative Auswirkungen auf Pflanzen:

- Hemmung der Wasser- und Nährstoffaufnahme aufgrund osmotischer Ungleichgewichte, was zu einem verringerten Trieb- und Wurzelwachstum und trockenheitsähnlichen Symptomen führt
- Nährstoffungleichgewichte aufgrund von Störungen der Aufnahme anderer Nährstoffe
- langfristige Wachstumshemmung
- Phytotoxizität, welche sich in Blattverbrennungssymptomen bis hin zum Gewebetod und in der Folge dem Absterben ganzer Blätter zeigt
- Verschlechterung der Bodenstruktur, was sich negativ auf den Keimlingsaufgang und das Wurzelwachstum auswirkt

Stadtbäume mit Salzschiäden weisen typische Symptome auf. Dazu zählen späterer Austrieb im Frühjahr, kleinere Blattoberflächen, Nekrosen an Blatträndern und -spitzen, frühere Braunfärbung und Blattverlust im Spätsommer/Herbst.

4.2.4 Einfluss des Streusalzes auf die Bäume in der Stadt Salzburg

Zustand der Salzburger Stadtbäume

Seit 1983 werden in periodischen Abständen Erhebungen zur Vitalität von rund 7.000 Stadtbäumen durchgeführt. Diese dokumentieren die Entwicklung für einen repräsentativen Teil des Salzburger Baumbestandes. Insgesamt wurden 106 Baumarten und -sorten registriert, von denen Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*), Winter-Linde (*Tilia cordata*), Stiel-Eiche (*Quercus robur*), Spitz-Ahorn (*Acer platanoides*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) am häufigsten vorkommen. Es wird angeführt, dass Verjüngung des Bestandes und Neupflanzungen in den vergangenen zwei Jahrzehnten zu Veränderungen führten, die sich beispielsweise in einem Rückgang des Anteils der Rosskastanie äußerten. In Bezug auf die Vitalität der untersuchten Bäume kam es von 1983 bis 1994 zu einer kontinuierlichen Verschlechterung, danach verbesserte sich der Zustand bis etwa auf das Ausgangsniveau. Die Baumvitalität wird von einem Faktorenkomplex beeinflusst, in dem Bodenverhältnisse, klimatische Einflüsse, Parasiten und Schadstoffe sowie andere anthropogene Eingriffe und Pflegemaßnahmen maßgebliche Bedeutung besitzen. Im Lauf der Untersuchungsreihe traten Stressoren teilweise neu auf (z. B. Rosskastanien-Miniermotte, Eschentriebsterben), während andere Schwankungen unterlagen (z. B. Streusalz) (Nowotny, 2013).

Hauptbelastungen

Als maßgebliche Belastungen für die städtischen Bäume wird neben den Einschränkungen der Baumscheiben, Bodenverdichtung und der Schadstoffe durch den Verkehr, das Streusalz aus dem Winterdienst hervorgehoben (Nowotny, 2013). Aber auch Parasitenbefall (z. B. Blattbräune-Krankheiten, Rosskastanien-Miniermotte, Eschentriebsterben) sowie sommerlicher Trockenstress setzen den Bäumen in der Stadt stark zu. Diese Einflussfaktoren können sich teilweise in ihren Wirkungen auch synergistisch verstärken, sodass z. B. durch Trockenstress oder Bodenverdichtung geschädigte Bäume besonders empfindlich auf die Salzstreuung reagieren.

Empfindlichkeit nach Baumart

Zerstreutporige Baumarten wie Linden- und Ahornarten, Rosskastanie und Platane, die zu den klassischen Alleebäumen zählen, reagieren besonders empfindlich auf Streusalzeinfluss. Sie besitzen besonders englumige Wasserleitungsbahnen (Poren), die gleichmäßig über den gesamten Jahrring verteilt sind. Ringporige Baumarten wie die Eichenarten, Esche, Robinie und Ulme sowie Pionierbaumarten wie die Birke reagieren hingegen weniger empfindlich auf Salzbelastung.

Erholung nur langsam

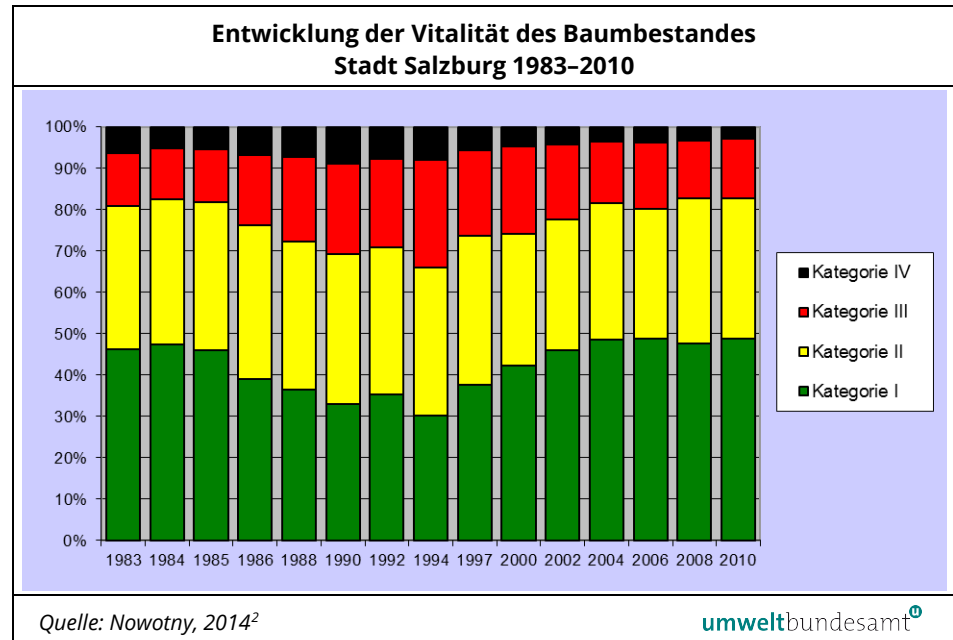
Auswaschung aus abgestorbenen Blattteilen und Speicherung in den pflanzlichen Geweben sorgen dafür, dass das Chlorid-Ion lange im System Boden – Baum verbleibt, sodass ein Konzentrationsabfall und damit eine Erholung der Bäume nur sehr langsam erfolgt (siehe Nowotny, 2013).

Vor allem Kastanienbäume mit bereits im Hochsommer braunen Blättern werden von der Öffentlichkeit wahrgenommen. An der vorzeitigen Verbraunung des Rosskastanienlaubs sind neben der Streusalzwirkung aber auch die Rosskastanien-Miniermotte und die Blattbräune-Krankheit wesentlich beteiligt (Nowotny 1999b in Nowotny, 2013).

Im Rahmen einer langjährigen Untersuchungsreihe zum Zustand der Salzburger Stadtbäume werden rund 7.000 Bäume in regelmäßigen Abständen nach ihrer Vitalität bewertet. Die Erfassung des Zustands der Bäume erfolgte in vier Kategorien in Form einer visuellen Bewertung ihrer Vitalität (Kategorie I–IV, siehe Abbildung 2). Außerdem wurde der Zustand des Gesamtbestandes des jeweiligen Standorts (Straßenzüge, Plätze, Alleen etc.) auf Grundlage der Einzelbaumbewertungen einer der vier Kategorien (A bis D) zugeordnet, wobei D, die schlechteste Kategorie, also sehr stark geschädigte Standorte umfasst.

Kategorie	Beurteilung	Schädigungsgrad
I	gesund	maximal 10 %
II	gering bis mäßig geschädigt	11–30 %
III	stark geschädigt	31–50 %
IV	sehr stark geschädigt bis abgestorben	> 50 %

Abbildung 2:
Entwicklung der prozentuellen Gesamtanteile der Vitalitätskategorien I bis IV in der Stadt Salzburg in den Untersuchungsjahren von 1983 bis 2010.



² Skala für die visuelle Bewertung der Vitalität von Stadtbäumen in Salzburg (Nowotny, 1984, adaptiert nach den Richtlinien des ÖBIG, vgl. z. B. Ruzicka et al., 1981, in Nowotny, 2014)

4.2.4.1 Auswertung der Straßen mit Salzstreuung (Salztouren des Winterdienstes) und Zustandsbewertung der Salzburger Stadtbäume

geschädigte Standorte

Nachfolgend wurde die Liste der Salztouren (143 Straßen mit Salzstreuung durch den Winterdienst), beige stellt durch die Magistratsabteilung 6/04 Straßenbauregie und Reinigung, mit den Standorten der Zustandserhebung der Salzburger Stadtbäume (Nowotny, 2014) verglichen.

53 der in den 143 Salztouren aufgelisteten Straßen werden auch in der Zustandserhebung der Salzburger Stadtbäume erfasst und lassen Schlüsse auf den Einfluss der Salzstreuung auf die Baumvitalität zu. 22 von 53, der untersuchten Straßen und Plätze mit Streusalzausbringung durch den Winterdienst, weisen laut Zustandserhebung Streusalzeinfluss und damit Schäden an den Bäumen auf.

Schäden Kategorien C und D

Davon sind neun Standorte stark geschädigt (Zustandsbewertung C) und sehr stark geschädigt (D):

- Ferdinand-Hanusch-Platz D (Salzschäden)
- Imbergstraße C (Salzschäden)
- Max-Otto-Platz D (Salzschäden)
- Paracelsusstraße C (Salzschäden)
- Rainerstraße C (Salzschäden)
- Saint-Julien-Straße C (Salzschäden)
- Schwarzstraße C (Salzschäden)
- Sterneckstraße D (Salzschäden)
- Südtiroler Platz C (Salzschäden)

Diese Standorte weisen bereits stark bis sehr stark beeinträchtigte Baumbestände auf. Sie sollten daher vom Salzeinfluss befreit werden bzw. sollte dieser auf ein verkehrsbedingtes Minimum reduziert werden.

Schäden Kategorien B

Weitere 13 Standorte im Netz des städtischen Winterdienstes weisen Zustandsbewertung B (gering bis mäßig geschädigt), aber ebenfalls Schäden durch Streusalz auf:

- Bürglsteinstraße B
- Franz-Josef-Straße B
- Friedensstraße B
- Gniglerstraße B
- Hellbrunner Straße A-B
- Innsbrucker Bundesstraße B
- Kajetanerplatz B
- Klessheimer Allee B
- Leopoldskroner Allee B
- Leopoldskronstraße B
- Moosstraße B

- Müllner Hauptstraße B
- Rudolfskai B

Auch auf diesen Standorten wäre darauf zu achten, dass die Schäden durch Streusalz nicht weiter zunehmen.

Straßen mit Winterdienst (Salztouren) ohne visuelle Salzschiäden laut Zustands-
erhebung

keine Salzschiäden

Bei dem Vergleich Salzstreuung und Salzschiäden an den Baumbeständen wurden für 31 Standorte mit Salzstreuung keine visuellen Schäden durch Salzeinfluss angeführt:

- Aighofstraße, jedoch Blattnekrosen
- Akademiestraße – Parkplatz
- Alpenstraße
- Bayerhamerstraße
- Clemens-Krauss-Straße, nekrotisches Laub weist ev. auf Salz hin (Zustand D)
- Dr.-Franz-Rehrl-Platz, nekrotisches Laub (Zustand D)
- Eberhard-Fugger-Straße
- Erzabt-Klotz-Straße
- Firmianstraße
- Fürstenweg
- Gabelsbergerstraße, nekrotische Blätter
- Gaisbergstraße
- Gebirgsjägerplatz
- Giselakai
- Haunspurgstraße
- Haydnstraße
- Hofhaymer Allee
- Jahnstraße
- Josef-Preis-Allee
- Lindhofstraße
- Makartplatz
- Maria-Cebotari-Straße
- Markus-Sittikus-Straße, Blattnekrosen
- Michael-Pacher-Straße
- Neutorstraße
- Nonntaler Hauptstraße
- Reichenhallerstraße
- Schallmooser Hauptstraße
- Sinnhubstraße
- Versorgungshausstraße

- Weiserstraße

Bei den oben angeführten Standorten können in einigen Fällen hohe Bordsteinanten und Gehsteige (Alpenstraße, Hofhaymer Allee, Lindhofstraße) und/oder salzunempfindliche Baumarten (z. B. Eiche) der Grund sein, dass bei den Erhebungen vor Ort keine direkten Salzschäden beobachtet wurden (Nowotny, mündliche Mitteilung 2021). An einigen Standorten befinden sich Bäume mit Blattnekrosen, welche möglicherweise durch die Kombination von Trockenstress und Salz entstanden sind.

Salzschäden ohne Winterdienst

Daneben sind in der Zustandserhebung der Salzburger Stadtbäume auch einige Standorte mit Streusalzbelastung beschrieben, die nicht in der Liste der Salztouren des städtischen Winterdienstes aufscheinen.

Für folgende 11 Standorte wurden Schäden durch Streusalz beschrieben, obwohl sie nicht in den Salztouren des Winterdienstes der Stadt aufscheinen:

- Dr.-Karl-Renner-Straße
- Elisabethkai
- Faberstraße
- Ferdinand-Porsche-Straße
- Franz-Hinterholzer-Kai
- Franz-Josef-Kai
- Hubert-Sattler-Gasse
- Ignaz-Rieder-Kai
- Mühlbacherhofweg
- Otto-Holzbauer-Straße
- Zaunergasse

In den meisten Fällen ist hier von Salzeinträgen durch Kfz-Verkehr auszugehen. Autos die zwischen den Bäumen parken, verlieren den anhaftenden, mit Salz vermischten Schnee, der dann mit dem Schmelzwasser in den Wurzelraum eindringen kann (Nowotny, mündliche Mitteilung). Aber auch private, nicht erlaubte Salzstreuung könnte Ursache für die beobachteten Salzschäden an den Bäumen dieser Standorte sein.

4.2.5 Streusalz und Neophyten

Auswirkungen auf Neophyten

In Österreich wurden bislang rund 1.300 Neophyten (gebietsfremde Pflanzenarten) nachgewiesen (www.neobiota-austria.at). Dies entspricht einem Anteil von etwa 30 % an der Gesamtflora (www.neobiota-austria.at). Gemäß dem Aktionsplan Neobiota aus dem Jahr 2004 gelten 35 Neophyten in Österreich als naturschutzfachlich problematisch. 14 davon verursachen bedeutende wirtschaftliche Schäden in der Land- und Forstwirtschaft, der Gewässerinstandhaltung und im Gesundheitswesen. (www.neobiota-austria.at). Aus Sicht des Naturschutzes

sind Neophyten vor allem in naturnahen Biotopen wie Auwäldern, flussbegleitenden Hochstaudenfluren oder Pionierstandorten problematisch (www.neobiota-austria.at).

Durch die winterliche Salzstreuung entstanden vor allem an den Rändern höherrangiger Straßen Böden, die einen erhöhten Salzgehalt aufweisen und nun das Vordringen von bisher auf Küstenabschnitte und sonstige Salzlebensräume beschränkten Arten ermöglichen (Pilsel et al., 2008).

**salztolerante
Neophyten**

Durch den Einsatz von Streusalz und die damit verbundene Anreicherung im Boden wurde die Ausbreitung einiger salztoleranter Neophyten im Stadtgebiet von Salzburg gefördert (Pilsel et al., 2008). Dazu zählen

- *Puccinellia distans* (Ruderal-Salzschwaden)
- *Atriplex*-Arten: *A. micrantha* (Verschiedensamige Melde, Kleinblütige Melde), *A. prostrata* (Spieß-Melde), *A. sagittata* (Glanz-Melde), *A. oblongifolia* (Langblatt-Melde)
- *Spergularia salina* (Salz-Schuppenmiere)

Salzschwaden

Die nachfolgenden Informationen stammen aus der 2008 veröffentlichte Studie Neophyten der Stadt Salzburg. Der Ruderal-Salzschwaden, eine Art aus der Familie der Süßgräser, kommt schwerpunktmäßig entlang der Autobahn im Norden der Stadt vor. Mit ihm vergesellschaftet ist oft die Salzmelde, die ebenfalls entlang der Verkehrsrouten vorkommt.

**Erklärungen für
Neophyten-
Vorkommen**

Die oben genannten Pflanzen werden als fakultative Halophyten bezeichnet, da sie offensichtlich durch den hohen Salzgehalt der Standorte profitieren. Unklarheit herrscht laut den Autoren jedoch über die Quelle der Salze. So wurde nahe-liegenderweise immer das Streusalz als Grund für das Auftreten dieser Arten genannt. Eine andere Erklärung des Phänomens könnte das von den Pkw abgegebene Ammoniak darstellen, das sich mit den emittierten Stickoxiden zu Ammoniumnitrat verbindet (Frahm, 2005 in Pilsel, 2008) und somit nicht nur ein Nährstofflieferant ist, sondern auch ein Salz darstellt und als solches wirkt.

Melden

Die Standorte der Verschiedensamigen Melde finden sich ebenfalls entlang der Autobahnen. Dabei kommt ihr auch eine gewisse Salztoleranz zugute, da ja besonders entlang der Autobahnen durch die winterliche Salzstreuung eine entsprechende Versalzung der Böden auftritt.

Das Vorkommen der Spieß-Melde wird an der Autobahnböschung in Lehen knapp westlich der Brücke über die Salzach beschrieben. Auch hier wird der Einfluss der Autobahn deutlich, insbesondere der Einfluss von Streusalz und die Anreicherung von Stickstoff durch die Autoabgase.

Das Vorkommen der Glanz-Melde beschränkt sich auf einige Exemplare auf Rändern und offenen Ruderalstellen im Nahbereich der Westautobahn.

Die Langblatt-Melde umfasst einen Bestand von rund 20 Exemplaren unter der Autobahnbrücke über der Carl-Zuckmayer-Straße und dürfte somit ebenfalls über die Autobahn eingewandert sein. Auch hier wird ein gewisser Salzeinfluss für ihr Vorkommen als wahrscheinlich erachtet.

Die Salz-Schuppenmiere wird ebenfalls im Randbereich der Autobahn an der Salzburger Stadtgrenze beschrieben: Sie wächst hier auf einem Parkplatz zwischen Pflastersteinen, aber auch am Schotterrand der Ausfahrt vom Parkplatz zur Autobahn in großer Menge.

mögliche Ausbreitung

Im Hinblick auf mögliche Ausbreitungstendenzen der oben beschriebenen Melde-Arten, Salzschwaden und Salz-Schuppenmiere wird davon ausgegangen, dass diese auf die autobahnnahen Standorte beschränkt bleiben und sich nicht weiter im Stadtgebiet ausbreiten werden. Es ist daher nicht mit einer Gefährdung der heimischen Vegetation durch eine invasive Ausbreitung dieser salztoleranten Arten zu rechnen (mündliche Mitteilung Pils, 2021).

4.2.6 Streusalz und Haustiere

Streusalz kann negative Auswirkungen auf Pfoten von Haustieren, insbesondere Hunden, haben. Zu dieser Thematik wurde mit der Veterinärmedizinischen Universität Wien, Abteilung für Dermatologie, sowie der AGES (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH) Kontakt aufgenommen. Die Thematik war bekannt, aber es zeigte sich, dass weder die Veterinärmedizinische Universität noch die AGES Studien oder Untersuchungen in ihrem Wirkungsbereich dazu durchführen oder in der Vergangenheit durchgeführt haben. Daher konnten diese beiden Stellen keine weiterführenden Informationen zum Einfluss von Streusalz auf Haustiere geben.

Entzündungen der Pfoten

Eine Anfrage bei einer Salzburger Tierärztin ergab, dass Streusalz im Winter in ihrer tierärztlichen Praxis durchaus ein Thema ist. Sie berichtete, dass im Winter in ihrer Praxis vermehrt Fälle von Entzündungen an Hundepfoten behandelt werden müssen. Diese entstehen durch den Kontakt der Tiere mit Streusalzkristallen, die eine Rissigkeit der Ballenhaut und in der Folge Entzündungen hervorrufen. Außerdem besteht das Risiko, dass Streusalz von den Pfoten abgeleckt wird und Haustiere und auch Wildtiere dadurch geschädigt werden. Hundebesitzer:innen wird daher empfohlen, die Pfoten nach jedem Spaziergang auf gestreuten Wegen abzuwaschen und auch einzucremen.

Der Einsatz von Auftaumitteln ist gemäß ortspolizeilicher Verordnung des Gemeinderates (Auftaumittelverordnung 1983) bei der privaten Schneeräumung verboten. Möglicherweise trägt auch hier die unerlaubte Salzstreuung zu einer Verschärfung der Problematik bei Hunden und anderen Haustieren bei.

Obwohl eine ortspolizeiliche Verordnung die Verwendung von Streusalz bei der privaten Schneeräumung untersagt, wird dieses Verbot, wie alljährlich zu beobachten ist, regelmäßig missachtet (Nowotny, 2013).

4.2.7 Streusalzeinsatz in anderen Staaten (Schweiz, Deutschland)

Schweiz

NaCl zulässig

In der Schweiz ist Natriumchlorid ein zulässiges Auftaumittel im Sinne von Anhang 2.7 Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, SR 814.81). Vorgaben für seine Verwendung im öffentlichen Winterdienst finden sich in Ziffer 3.3 Absätze 1 und 2 dieses Anhangs:

1. Soweit zweckmäßig, sind schneebedeckte Straßen mechanisch zu räumen, bevor Auftaumittel eingesetzt werden.
2. Auftaumittel dürfen im öffentlichen Winterdienst:
 - a. nur verwendet werden, wenn bei der maschinellen Streuung Geräte eingesetzt werden, welche die zu behandelnden Flächen mit einer gleich bleibenden Menge pro Flächeneinheit bestreuen;
 - b. nur bei kritischen Wetterlagen und nur auf Nationalstraßen sowie an exponierten Stellen vorbeugend verwendet werden.

Laut Absatz 3 obliegt es in der Schweiz den Kantonen dafür zu sorgen, dass für öffentliche Straßen, Wege und Plätze festgelegt wird, wann, wo und wie Auftaumittel verwendet werden oder andere Verfahren zur Bekämpfung von Glätte und Schneeglätte zum Einsatz kommen (schriftliche Mitteilung des Bundesamts für Umwelt, Urs von Arx, stellvertretender Sektionschef, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Industriechemikalien).

Deutschland

In vielen Gemeinden ist der private Einsatz von Streusalz explizit verboten und mit einem Bußgeld verbunden. Ausnahmen betreffen meist Treppen und andere kritische Bereiche. Eine einheitliche Regelung auf Bundes- oder Länderebene existiert hingegen nicht (<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/streumittel-streusalz#hintergrund>).

Beispiel München:

Winterdienst München

Grundsätzlich wird der Winterdienst seit dem 1. November 2000 nur noch in Salzstreustrecken (schwarzes Netz) und Räumstrecken (weißes Netz) eingeteilt. Splitt wird auf Fahrbahnen nur in absoluten Ausnahmefällen und nur auf besondere Anordnung ausgebracht. Sonst wird Splitt nur auf Gehbahnen, an Übergängen, auf Sicherungsflächen und in Fußgängerzonen gestreut. Gemäß Beschluss des Stadtrates ist dort wiederum der Gebrauch von Streusalz untersagt. Der ausgebrachte Streusplitt wird im Frühjahr in einer einmaligen Kehraction aufgesammelt und teilweise einer Wiederverwertung zugeführt.

Streckenlänge Winterdienst

Die Straßenlänge im Unterhalt der Stadt beträgt 2.162 km, daraus ergibt sich eine Räumspurlänge von 6.600 km. Die gesamte Straßenlänge im Stadtgebiet

München wird von Schnee geräumt; mit Salz werden 760 km Straße gestreut. Letztere umfassen das Netz der Hauptverkehrsstraßen und alle Straßen mit öffentlichem Personennahverkehr. Die Gehbahnen innerhalb des Vollanschlussgebiets (851,7 km Streckenlänge mit 4,72 km Fußgängerzone) werden mit Splitt gestreut. Das Radwegenetz beläuft sich auf 934 km und wird außer an Gefahrenstellen nur auf besondere Anweisung mit Splitt gestreut. Das Straßennetz enthält 255 Gefahrenstellen (Salzstreuung), 2.100 Bus- und Tramhaltestellen und 6.922 Fußgängerüberwege. Im Stadtgebiet gab es 1998/1999 acht Glättemeldeanlagen; mittlerweile sind es 16 Stück an glättegefährdeten Stellen im Straßennetz. Es werden keine Temperatursensoren an den Fahrzeugen verwendet (Ökobilanz des Winterdienstes in den Städten München und Nürnberg, Stadt München, Institut für angewandte Ökologie).

Beispiel Hamburg:

Tausalz und tausalzhaltige Mittel dürfen laut dem Hamburgischen Wegegesetz nur auf Fahrbahnen und nicht auf Gehwegen verwendet werden. Trotz des Verbots ist es aber häufig Praxis, Tausalz auf Gehwegen zu verwenden (Streusalzmonitoring Hamburg).

technische Lösungen

Die Stadtreinigung Hamburg hat durch Investition in Glättemeldeanlagen kombiniert mit Wärmebildkameras und mit modernen Streuautomaten an den Streufahrzeugen, welche rechnergestützt punktgenaue und bedarfsgerechte Streumengendosierungen vornehmen, den Salzverbrauch pro Einsatz und Quadratmeter reduziert (Streusalzmonitoring Hamburg).

4.2.8 Winterdienst unter Einfluss des Klimawandels

kürzere Winter

Langzeit-Klimabeobachtungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) untermauern, dass die Winter in der alpinen Region in den letzten Jahrzehnten Änderungen erfahren haben. Der Kernwinter ist heute im Wesentlichen auf die Monate Jänner und Februar begrenzt, wohingegen die Winter in den 1950er Jahren noch von Anfang November bis April gedauert haben. Auch der Schneefall in Tallagen unter 1.500 m ist entsprechend um 40 % zurückgegangen. Die Durchschnittstemperaturen im Winter sind hingegen durchschnittlich in den letzten 70 Jahren um 2 °C von -4 °C auf -2 °C gestiegen (Wert für Zell/See, <http://www.zamg.ac.at/histalp/>).

verkürzte Winterdienste

Unter diesen Aspekten kann davon ausgegangen werden, dass die Einsatzdauer des Winterdienstes in Zukunft weniger lang und weniger intensiv ausfallen wird. Aber auch in einem wärmeren Klima können nach wie vor schneereiche und kalte Winter auftreten, da kalte Luft von Polargebieten bei entsprechender Wetterlage den Weg in unsere Breiten finden wird (M. Butschek, ZAMG, mündliche Mitteilung).

4.3 Empfehlungen

- Reduktion des Streusalzes auf den Standorten, die bereits stark geschädigte Baumbestände aufweisen (Straßenzüge der Kategorien C und D). Obwohl es einige Zeit dauert, bis das Salz aus dem System Boden–Pflanze ausgewaschen wird und sich Bäume erholen, wäre es sinnvoll, auf Standorten, die mit C oder D bewertet wurden, den Streusalzeinsatz zu reduzieren.
- Investition in Glättemeldealagen an glättegefährdeten Stellen im Straßennetz und Temperatursensoren an den Fahrzeugen, um die Salzmenge punktgenau und bedarfsorientiert auszubringen und dadurch zu reduzieren.
- Erhöhung der Bewässerung in den Sommermonaten, um Salz verstärkt aus dem Boden auszuwaschen; vor allem das Chlorid-Ion ist sehr mobil und wird gut ausgewaschen (Streusalzmonitoring 2007–12 Hamburg). Die Bewässerung müsste jedoch kontinuierlich erfolgen, um Bäumen, die an die Bewässerung gewöhnt sind, zusätzlichen Trockenstress zu ersparen, der bei Verringerung oder Einstellung der Bewässerung entstehen würde.
- Mechanischer Schutz vor Salzeintrag in den Boden, wie beispielsweise hohe Bordsteinkanten oder temporärer Schutz durch Schürzen aus Folie an stark befahrenen Straßen, um Spritzwassereintrag auf die Baumscheiben zu vermindern; dadurch kann das direkte Eindringen des Salzes in den Wurzelraum der Bäume etwas aufgehalten werden.
- Sensibilisierung der Bevölkerung in Hinblick auf die Auswirkungen der privaten Salzstreuung. Die ortspolizeiliche Verordnung zum Salzstreuverbot wurde seit den frühen 80er Jahren nur einmal im strengen Winter 2005/06 aufgehoben. Trotzdem findet alljährlich unerlaubte Salzstreuung durch Private statt. Vielfach ist es in der breiten Öffentlichkeit gar nicht bekannt, dass damit gegen das Gesetz verstoßen wird (mündliche Mitteilung G. Nowotny).
- Anpassung der Fahrtechnik an die Witterungsverhältnisse, Senkung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit bei Schneefall, z. B. wie in nordischen Ländern um 20 km/h bei Schneefahrbahnen (<https://orf.at/stories/3147903/>).
- Neupflanzung von Straßenbäumen mit geeigneten Baumarten: Die deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) führte eine Beurteilung der Baumarten und -sorten für ihre Verwendung im städtischen Straßenraum durch. Bei Neupflanzungen im innerstädtischen Bereich sollten daher Arten und Sorten nach der Klima-Arten-Matrix (Roloff et al., 2008a, 2008b, 2008c in Nowotny, 2014) und der GALK-Straßenbaumliste ausgewählt werden (Nowotny, 2014).
- Um Belastungen des Bodens mit Auftausalzen für die Stadt Salzburg konkret zu erfassen, wird empfohlen, im Rahmen eines Untersuchungsprogramms Boden- und Blattanalysen an repräsentativen Standorten durchzuführen. Die so gewonnen gemeinsamen Daten wären zu einer Gesamtbewertung der Standorte zusammenzuführen, um auf dieser Basis einen Maßnahmenplan nach Stand der Technik abzuleiten. Im diesem Rahmen

sollten auch die Bodenmerkmale erfasst werden („Bodenprofil“ – soweit möglich), um den Zustand der Böden hinsichtlich der natürlichen Bodenfunktionen beurteilen und die Voraussetzungen für aktuelle und künftige Bepflanzung optimieren zu können.

5 EMISSIONEN DER STREUFahrZEUGE

Die Gesamtemissionen aus dem Streudienst errechnen sich als Produkt der erbrachten Fahrleistung und der spezifischen Emissionen der eingesetzten Fahrzeuge. Die Fahrleistung wurde in der gegenständlichen Untersuchung aus den eingesetzten absoluten Streumittelmengen, der mittleren Streumenge und der Länge der winterdienstlich betreuten Straßen, Geh- und Radwege im Stadtgebiet von Salzburg abgeleitet.

Berechnung der Streumittelmengen

Nachfolgende Tabelle 3: Absolute (gem. Angabe Auftraggeber) und mittlere Streumittelmenge je Flächeneinheit (Ecotech 2020) und betreute Fläche je eingesetztem Streumittel. zeigt eine Auflistung der absoluten durchschnittlichen Streumittelmengen der vergangenen zehn Jahre gemäß Informationen des Auftraggebers, die mittleren Streumittelmengen je Flächeneinheit (Ecotech, 2020) und die sich daraus ergebenden Gesamtflächen, die mit dem jeweiligen Streumittel betreut wurden.

Tabelle 3: Absolute (gem. Angabe Auftraggeber) und mittlere Streumittelmenge je Flächeneinheit (Ecotech 2020) und betreute Fläche je eingesetztem Streumittel.

	Ø Streumittelmenge pro Jahr (gem. Auftraggeber)	Mittlere Streumittelmenge (Ecotech, 2020)	Betreute Fläche
Sole	187.600 l	35 ml/m ²	5,36 km ²
Splitt	2.700 t	180 g/m ²	15,00 km ²
Salz	1.000 t	30 g/m ²	33,33 km ²

Ermittlung der Streckenlänge

Die Länge der winterdienstlich betreuten Straßen, Geh- und Radwege im Stadtgebiet von Salzburg beläuft sich derzeit auf rund 647,7 km. Davon werden laut Information des Auftraggebers 95 km mit Salz bestreut. 67 der 95 km entfallen auf Gemeindestraßen mit O-Bus-Linienbetrieb. Aufgrund fehlender weiterführender Informationen wurde die Annahme getroffen, dass auch die restlichen 28 km auf das Gemeindestraßennetz entfallen. Eine Aufteilung des gesamten betreuten Streckennetzes auf Straßenkategorien, ergänzt um durchschnittliche Fahrbahnbreiten zur Überrechnung der betreuten Fläche in erbrachte Fahrleistung, kann Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4:
Betreutes Streckennetz je Straßenkategorie (gem. Angabe Auftraggeber) und angenommene durchschnittliche Fahrbahnbreite.

Straßenkategorie	Streckenlänge	Ø Fahrbahnbreite
Gemeindestraßen	392,1 km	6,0 m
Landesstraßen	24,1 km	6,5 m
Landesstraße B	26,5 km	7,0 m
Privatwege, Güterwege, Wege auf Stadtbergen	20,0 km	4,0 m
Geh- und Radwege	185,0 km	1,5 m
SUMME	647,7 km	

Abschätzung der Fahrleistung

Weiters wurde für die Abschätzung der Fahrleistung die Annahme getroffen, dass das übrige Gemeindestraßennetz abseits der 95 km mit Salzbestreuung ebenso wie das Netz der Landesstraßen, der Privatwege, Güterwege und Wege auf Stadtbergen sowie der Geh- und Radwege mit Splitt bestreut werden. Für die Solestreuung wird angenommen, dass diese auf dem Netz der Landesstraßen B erfolgt. Auf diese Weise wurde eine gerundete Fahrleistung je Wintersaison von 800 km mit Solestreuung, 3.400 km mit Splittstreuung und 5.600 km mit Salzstreuung, in Summe 9.800 km, abgeschätzt. Diese Fahrleistung verteilt sich rechnerisch wie folgt auf die in Tabelle 5 dargestellten Straßenkategorien.

*Tabelle 5:
Berechnete winterdienstlich betreute Streckenlänge je Straßenkategorie*

Straßenkategorie	Fahrleistung
Gemeindestraßen	8.239 km
Landesstraßen	232 km
Landesstraße B	800 km
Privatwege, Güterwege, Wege auf Stadtbergen	118 km
Geh- und Radwege	411 km
SUMME	9.800 km

Art der eingesetzten Fahrzeuge

Die spezifischen Emissionen der eingesetzten Fahrzeuge ergeben sich aus der Art und Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge und deren Altersverteilung und damit der Verteilung der Emissionsklassen. Typischerweise eingesetzte Fahrzeuge sind klassische Lastkraftwagen für den Winterdienst mit entsprechenden Anbauten zur Schneeräumung sowie zur Streumittelaufbringung. Darüber hinaus kommen auf unwegsamem Gelände mit viel Rangierbedarf oftmals Traktoren zur Anwendung und auf engen Infrastrukturelementen wie Geh- und Radwegen Spezialfahrzeuge mit geringerer Fahrzeugmasse und reduzierter Spurbreite, speziell für den kommunalen Einsatz.

Annahmen zu Emissionsfaktoren

Traktoren weisen im Vergleich zu lastoptimierten Lastkraftwagen ein höheres, die genannten Spezialfahrzeuge (insbesondere aufgrund des niedrigeren Fahrzeuggewichtes) ein niedrigeres Emissionsniveau auf als Lastkraftwagen. In der gegenständlichen Studie ist die exakte Verteilung der eingesetzten Fahrzeuge nicht bekannt. Deshalb wurde für die Abschätzung der Emissionen der Streufahrzeuge die Annahme getroffen, dass die höheren bzw. niedrigeren Emissionswirkungen der Traktoren bzw. Spezialfahrzeuge einander aufheben und es wurden für die gesamte Emissionsberechnung Emissionsfaktoren für Lastkraftwagen eingesetzt.

Auswertung der Emissionsfaktoren

Die Auswertung der Emissionsfaktoren erfolgte mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs in der aktuellsten Version (4.1) und die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 6 aufgelistet. Sämtliche Emissionsfaktoren gelten für den Agglomerationsraum und Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 7,5 t bis 12 t. Es wurde die durchschnittliche österreichische Fahrzeugflotte herangezogen, wobei die einzelnen Emissionsklassen nach ihrem jeweiligen Flottenanteil gewichtet wurden. Ausgewertet wurden die durchschnitt-

liche Fahrgeschwindigkeit (\bar{v} in km/h) sowie die spezifischen Stickoxidemissionen (NO_x), die Feinstaubemissionen aus der Kraftstoffverbrennung (PM_{exh}) und die Kohlenstoffdioxidemissionen (CO_2), jeweils in g/km.

Tabelle 6:
Emissionsfaktoren für
die Berechnung der
Emissionen der Streu-
fahrzeuge (HBEFA, 2019).

Verkehrssituation	\bar{v}	NO_x	PM_{exh}	CO_2
Erschließungsstraße, Tempo 30	25 km/h	2,05 g/km	0,03 g/km	391 g/km
Sammelstraße, Tempo 40	33 km/h	1,39 g/km	0,02 g/km	380 g/km
Hauptverkehrsstraße, Tempo 50	38 km/h	1,33 g/km	0,02 g/km	371 g/km

**Ermittlung der
Gesamtemissionen**

Für die abschließende Abschätzung der gesamten Emissionen der Streufahrzeuge wurden die Fahrleistungen gemäß Tabelle 5 mit den Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 6 multipliziert. Dabei wurden für die Gemeindestraßen, Privatwege, Güterwege, Wege auf Stadtbergen und Geh- und Radwege die Emissionsfaktoren für Erschließungsstraßen, für Landesstraßen die Emissionsfaktoren für Sammelstraßen und für Landesstraßen B die Emissionsfaktoren für Hauptverkehrsstraßen angewendet. Auf diese Weise wurden folgende gerundete Gesamtemissionen der Streufahrzeuge je Wintersaison ermittelt:

- 19,4 kg NO_x
- 0,3 kg PM_{exh}
- 3.811 kg CO_2

5.1 Empfehlungen

alternative Antriebe

Die ermittelten Werte liegen im Normalbereich der zugrundeliegenden Fahrleistung und betragen einen nur sehr geringen Anteil gemessen an den gesamten Verkehrsemissionen der Stadt Salzburg. Ungeachtet dessen können die Emissionen des Winterdienstes durch den Einsatz alternativer Antriebstechnologien reduzieren werden. Insbesondere bei Kleinfahrzeugen ermöglicht eine Elektrifizierung des Antriebsstranges einen lokal emissionsfreien Winterdienstbetrieb und stärkt die Vorbildwirkung der öffentlichen Verwaltung. Alternativ dazu können die betreffenden verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeuge (insbesondere schwere und mittelschwere Nutzfahrzeuge) ausschließlich mit flüssigen Kraftstoffen biogenen Ursprunges betrieben werden. Dies ermöglicht einen CO_2 -neutralen Fahrzeugbetrieb; die Luftschadstoffemissionen werden dadurch aber nicht nennenswert reduziert.

Radverkehr

Mit der angestrebten Klimaneutralität bis spätestens 2040 hat sich die österreichische Bundesregierung im Regierungsprogramm 2020-2024 ein ambitioniertes Ziel gesetzt. Radfahren ist eine gesundheitsfördernde, ressourceneffiziente

und vor allem emissionsfreie Fortbewegungsform und die angestrebte Anhebung des bundesweiten Radverkehrsanteils auf 13 % leistet einen wichtigen Beitrag zur Erreichung dieses Ziels. In den österreichischen Städten muss dieses Ziel signifikant übererfüllt werden, um die ländliche Regionen mit traditionell niedrigeren Radverkehrsanteilen zu kompensieren. Dabei ist auch die ganzjährige Befahrbarkeit der Radverkehrsinfrastruktur aus folgenden Gründen von zentraler Bedeutung.

- In jeder Stadt gibt es einen Anteil von sogenannten unverlierbaren (Englisch: captive) Radfahrer:innen. Das sind Personen, deren Mobilität ohne Fahrrad unvorstellbar ist. Deren Sicherheit als verletzte Verkehrsteilnehmer:innen ist vorrangig hochzuschätzen und entsprechend in der Verkehrsplanung, -politik und -verordnung zu gewährleisten.
- Unabhängig davon ist Radfahren unvergleichlich klimaverträglicher und ressourceneffizienter als der Autoverkehr, aber auch der ÖV. Nicht nur für die einzelnen Nutzer:innen, sondern auch für die öffentliche Hand und das gesamte Verkehrssystem, ist Radfahren das wirtschaftlichste Verkehrsmittel bei gesamtheitlicher Betrachtung von Geschwindigkeit, Null-Emissionen, Platz- und Energieverbrauch, Material- und Arbeitskosten.
- Daher soll das städtische Verkehrssystem anstreben, den potenziellen Anteil an Wegen, die mit dem Fahrrad zurückgelegt werden können, auszuschöpfen.
- Geeignete Infrastruktur ist eine Voraussetzung für die Ausschöpfung dieses Potenzials. Die infrastrukturelle Ermöglichung des Radfahrens ist zwar keine hinreichende, aber sehr wohl eine notwendige Bedingung, damit Personen für die Nutzung dieses Verkehrsmittel entscheiden.
- Radfahrer:innen sind im Vergleich zu Nutzer:innen motorisierter Verkehrsmittel sehr stark gegen räumliche und andere äußere Faktoren empfindlich. Daher lässt sich im Radverkehr eine starke Elastizität bezüglich Wetterbedingungen nachweisen.
- Statistisch gesehen ist die „Radfahrpyramide“ folgendermaßen strukturiert (von unten nach oben):
 - Radfahren **ausschließlich** auf Fahrradwegen (z.B. im Urlaub, als Sport)
 - Radfahren bei schönem Wetter nur zu Freizeitzwecken
 - Radfahren bei schönem Wetter auch zu anderen Zwecken
 - Radfahren in besonderen Situationen (Lasten- oder Kindertransport)
 - Radfahren bei kaltem Wetter
 - Radfahren bei Regenwetter
 - Radfahren bei Schnee
- Die Empfindlichkeit gegen äußere Faktoren ist von der Qualität und Instandhaltung der Infrastruktur abhängig. Bei geeigneter Infrastruktur wachsen die Anteile der oberen Stufen in der Pyramide elastisch.
- Das motorisierte öffentliche Verkehrssystem ist im Vergleich zum motorisierten Individualverkehr klimaverträglicher und ressourceneffizienter, allerdings für die öffentliche Hand sehr kostenintensiv. Die Kostenintensität definiert sich durch die Abdeckung des Höchstbedarfs zu Spitzenzeiten.

Zudem sinkt die Servicequalität des öffentlichen Verkehrs mit steigender Belastung. Aus verkehrssystemischer Sicht sollen daher die Spitzenzeiten minimiert werden. Zu den Spitzenzeiten gehören Zeiten (bzw. Tage/Stunden) mit schlechtem Wetter.

Aus all diesen Gründen ist es wichtig, anstrebenswert bzw. notwendig, das Radfahren auch bei Schneewetter in den Wintermonaten zu ermöglichen. Städte in Österreich, der Schweiz, Deutschland, den Niederlande, Dänemark und weltweit machen das teilweise sehr vorbildlich.

Wenn Salzstreuung oder der Einsatz von Sole zur winterdienstlichen Betreuung eines Radweges aus ökologischen Gründen nicht möglich oder gewünscht sind, wird die Einrichtung temporärer Radwege, beispielsweise anstelle von Parkspuren oder Fahrstreifen für den Kfz-Verkehr empfohlen. Solche temporären Radwege wurden und werden beispielsweise auch bei geänderter Verkehrsnachfrage (z.B. während der Pandemie), bei Bautätigkeiten auf Radwegen oder anderen notwendigen Umleitungen errichtet. Splittstreuung auf Radwegen ist aus Gründen der Verkehrssicherheit abzulehnen.

6 LUFTQUALITÄT

Feinstaubbelastung Splitt- und Salzstreuung können in den Wintermonaten und im Frühjahr an einzelnen Tagen in einem relevanten Ausmaß zur Belastung durch Feinstaub (PM₁₀, particulate matter < 10 µm) beitragen (Technical Working Group on Particles, 1997). Umfangreiche Untersuchungen dazu liegen aus skandinavischen Ländern, besonders aus Finnland, vor, wo es in der Vergangenheit im Frühjahr nach Auftrocknen der Straßen in Kombination mit Spikereifen zu hohen PM₁₀-Konzentrationen gekommen ist (Umweltbundesamt, 2008). Die EU-Luftqualitätsrichtlinie (Richtlinie 2008/50/EG) sieht daher in Artikel 21 eine Ausnahmebestimmung für Überschreitungen von Grenzwerten aufgrund von Streusand oder -salz auf Straßen im Winterdienst vor.

Berechnung gemäß IG-L In Österreich wurden diese Bestimmungen im Immissionsschutzgesetz-Luft sowie detaillierte Festlegungen in der IG-L-Winterstreuerordnung umgesetzt. Diese Festlegungen beruhen auf dem Commission Staff Working Paper SEC(2011) 207 final. Demnach sind aufgrund von Überschreitungen, die ohne Beiträge aus der Aufwirbelung von Partikeln nach Ausbringung von Streusalz oder Streusplitt auf Straßen im Winterdienst nicht aufgetreten wären, keine Statuserhebung und kein Luftqualitätsprogramm zu erstellen. Konkret bedeutet das, dass weniger als die zulässige Anzahl von 25 Überschreitungen des Grenzwertes für den Tagesmittelwert von PM₁₀ von 50 µg/m³ aufgetreten wären, wenn an einer ausreichenden Anzahl an Überschreitungstagen nach Abzug des Beitrags aus der Winterstreuung der Konzentrationswert unter 50 µg/m³ liegt. Die detaillierte Art der Berechnung und die notwendigen Analysen sind in der IG-L-Winterstreuerordnung beschrieben. In der Vergangenheit wurde diese Ausnahmebestimmung vereinzelt in Salzburg und der Steiermark angewandt.

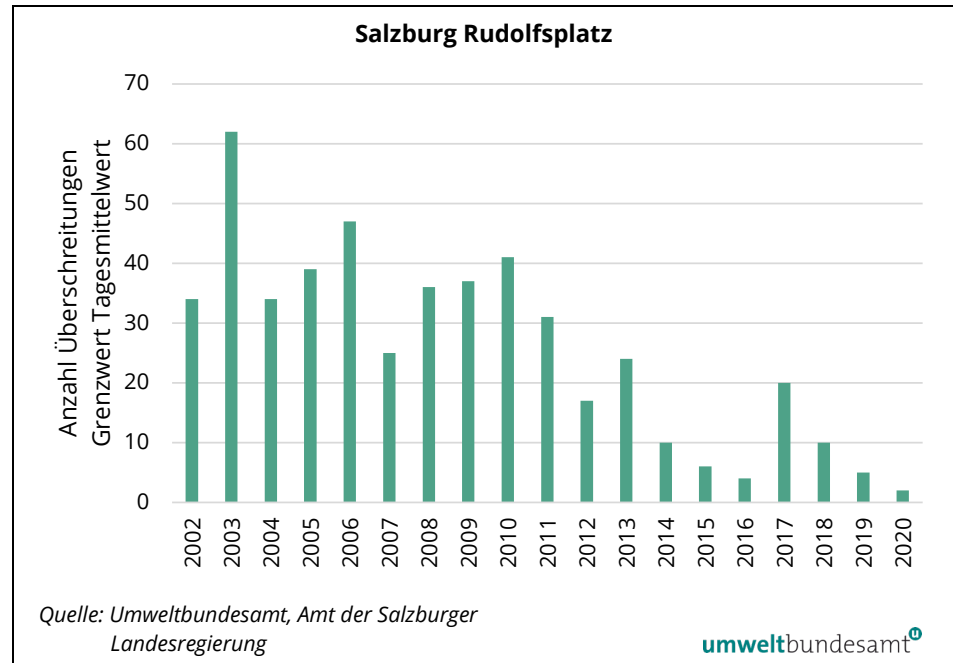
6.1 Beitrag des Winterdiensts zur Luftqualitätsbelastung in Salzburg

6.1.1 Ausgangssituation

Überschreitungstage Die Winterstreuung ist bei der Bewertung des Beitrags zur PM₁₀-Belastung vor allem an einzelnen Tagen von Relevanz und daher weniger beim Jahresmittelwert. Betrachtet wird daher die Anzahl der Überschreitungen des Grenzwertes für den Tagesmittelwert von PM₁₀ und dessen Entwicklung in Stadt und Land Salzburg. Mit den PM₁₀-Messungen wurde in Österreich um das Jahr 2000 herum begonnen, davor wurde die Konzentration an Gesamtschwebstaub erfasst. Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Überschreitungen an der Messstelle Salzburg Rudolfsplatz. Diese Messstelle befindet sich im Zentrum von Salzburg an

einem stark verkehrsbelasteten Standort³ und zeigt zumeist die höchsten Konzentrationswerte der städtischen Messstellen in Salzburg. Zuletzt wurde das Kriterium für den Tagesmittelwert – 25 zulässige Überschreitungen des Grenzwerts von 50 µg/m³ – im Jahr 2011 überschritten.

Abbildung 3:
Anzahl der Überschreitungen des Grenzwertes für den Tagesmittelwert von PM₁₀ an der Messstelle Salzburg Rudolfsplatz 2002 bis 2020.



6.1.2 Vorliegende Daten

6.1.2.1 Bewertung in den Luftgüte-Jahresberichten

Überschreitungstage durch Streuung

Das Land Salzburg hat in den Jahresberichten⁴ zur Luftgüte seit 2010 den Beitrag aus Salz- und Splittstreuung zur PM₁₀-Belastung bewertet. Einzelne Überschreitungstage wurden bis inkl. 2013 in Abzug gebracht⁵. Die nachfolgende Tabelle 7 zeigt die Anzahl der Überschreitungstage, die durch Salz- oder Splittstreuung an der Messstelle Salzburg Rudolfsplatz verursacht wurden.

Tabelle 7:
Anzahl der Überschreitungstage, die durch Salz- oder Splittstreuung an der Messstelle Salzburg Rudolfsplatz verursacht wurden

Jahr	Anzahl Tage Salzstreuung	Anzahl Tage Splittstreuung
2010	0	4
2011	3	7
2012	0	0
2013	1	0

³ <https://www.salzburg.gv.at/themen/umwelt/luft/luftberichte/luftguetemessnetz>

⁴ https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser_/Seiten/luftberichte.aspx

⁵ Da ab 2011 das Grenzwertkriterium für den Tagesmittelwert für PM₁₀ eingehalten wurde, bestand keine Notwendigkeit mehr, den Beitrag des Winterdienstes weiterhin zu bewerten.

Relevant war diese Bewertung vor allem im Jahr 2011; in diesem konnte das Kriterium für den Tagesmittelwert-Grenzwert gemäß IG-L nach Abzug der durch den Winterdienst verursachten Tage eingehalten werden. In allen anderen Jahren hatte dies keine Auswirkungen.

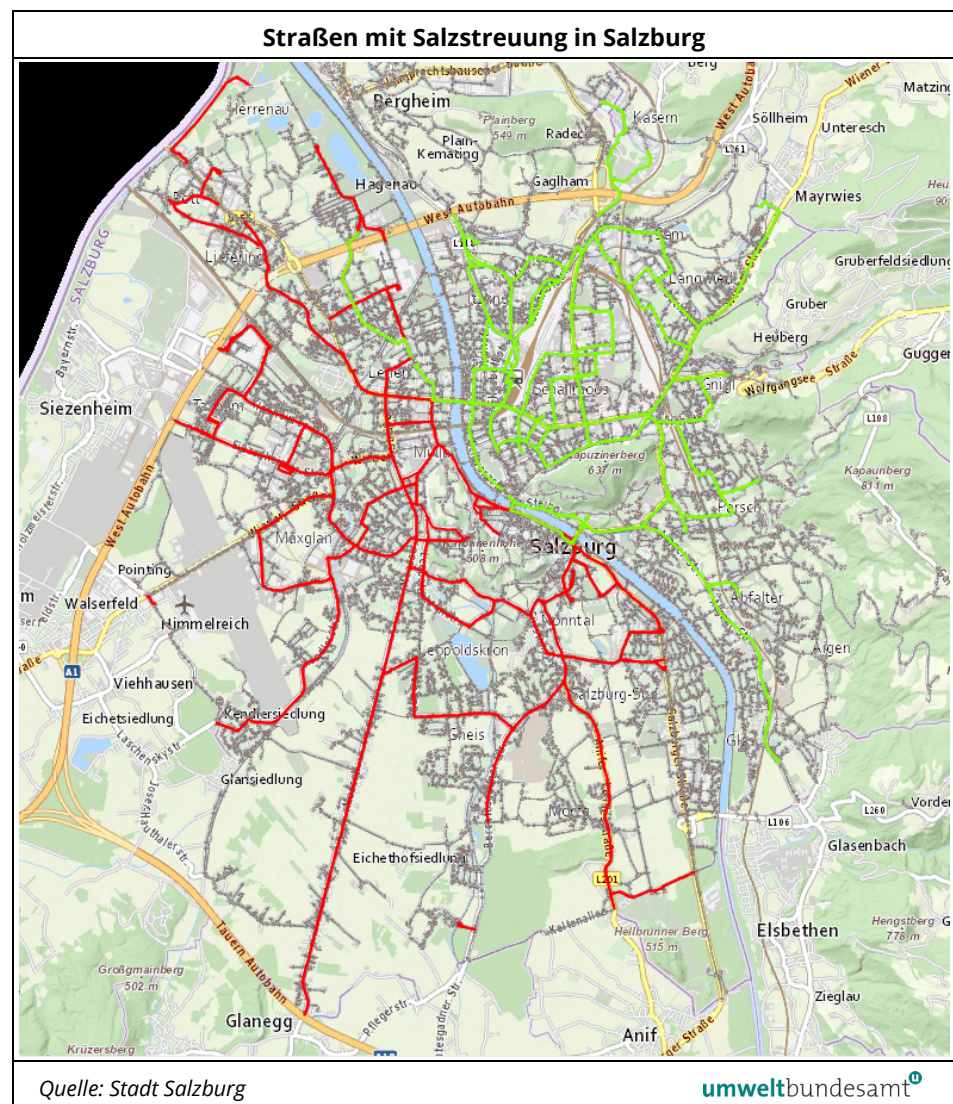
6.1.2.2 Salz- und Splittstreuung in der Stadt Salzburg

zur Verfügung gestellte Unterlagen

Von der Stadt Salzburg wurden dem Umweltbundesamt verschiedene Daten und Informationen zur Winterstreuung zur Verfügung gestellt:

- Statistik der winterdienstlich betreuten Straßen, Geh- und Radwege im Stadtgebiet Salzburg
- Verbrauch an Streumaterialien in den Jahren 2010 bis 2021
- Auftaumittelverordnung 1983.
- Karte der Straßen mit Salzstreuung (siehe Abbildung 4)
- Detaillierte Liste der Straßen mit Salzstreuung

Abbildung 4:
Straßen mit Salzstreuung in der Stadt Salzburg (die unterschiedlichen Farben der Straßen haben in diesem Zusammenhang keine Bedeutung).



Demnach wurden in der Stadt Salzburg in den Jahren 2010 bis 2021 im Durchschnitt jährlich etwa 1.300 t Streusalz, etwa 190 kg Calcium, 3.200 t Streusplitt und knapp 200.000 Liter Sole ausgebracht.

Gemäß der Auftaumittelverordnung 1983 dürfen Auftaumittel im Allgemeinen nicht verwendet werden, nur auf ausgewählten Straßen (siehe Abbildung 4) und bei außergewöhnlichen Ereignissen. Auf den anderen Straßen muss mit Streusplitt gestreut werden. Die Strecke, auf denen Salz oder Sole⁶ ausgebracht wird, beträgt ca. 95 km der insgesamt knapp 650 km Straßen in der Stadt Salzburg, auf denen es einen Winterdienst gibt.

Anteile NaCl an PM₁₀

Aus der Karte und der detaillierten Liste der Straßen geht hervor, dass auch um die Messstelle Salzburg Rudolfsplatz Auftausalze ausgebracht werden. Analysen von PM₁₀-Proben stehen für einzelne Tage aus den Jahren 2011 bis 2013 für die Messstellen Salzburg Rudolfsplatz und Hallein B159 zur Verfügung. Die PM₁₀-Konzentrationen an den untersuchten Tagen betrug durchwegs knapp über 50 µg/m³, die NaCl-Konzentrationen schwankten zwischen 4 % und 16 %. Im Mittel über die untersuchten vier Tage an der Messstelle Salzburg Rudolfsplatz betrug der Anteil 10 % bei einer PM₁₀-Konzentration von 53 µg/m³, in Hallein 7 % bei 52 µg/m³.

Diese Anteile sind vergleichsweise hoch, an anderen Standorten wurden Anteile um 5 % erhoben; allerdings zeigen chemische Analysen von PM₁₀ während winterlicher Belastungsepisoden vergleichbar hohe Werte (Umweltbundesamt, 2003, TU-Wien, 2006).

Anteil Streusplitt

Eine Abschätzung des Beitrags aus Streusplitt ist für insgesamt elf Tage für die Station Salzburg Rudolfsplatz für die Jahre 2010 und 2011 verfügbar. An diesen Tagen, an denen die PM₁₀-Konzentration zwischen 51 und 65 µg/m³ betrug, wurde ein Anteil von durchschnittlich knapp 30 % anhand der IG-L Winterstreuverordnung errechnet. Dies sind ähnliche Anteile wie sie in der Steiermark mit einer leicht abgewandelten Methode für die Jahre 2010 bis 2013 ermittelt wurden (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2011, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2012, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2013, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2014).

6.2 Empfehlungen

An einzelnen Tagen im Winter beträgt der Anteil von NaCl an der PM₁₀-Belastung in Salzburg an verkehrsbelasteten Standorten bis zu 16 %; Durchschnittswerte über die Wintersaison liegen nicht vor; aus Analysen in anderen Städten kann von Anteilen im PM₁₀ von 1 % bis 5 % ausgegangen werden. Zwar wurde die letzte Überschreitung des Grenzwertkriteriums gemäß IG-L bei PM₁₀

⁶ Sole ist in der Regel eine Salzlösung aus Wasser und NaCl mit einer Konzentration zwischen 10 % und 23 %.

in Salzburg im Jahr 2011 registriert (Messstelle Salzburg Rudolfsplatz); auch zeigt sich ein – mit Unterbrechungen – abnehmender Trend. Ebenso werden die aktuellen – und deutlich niedrigeren – Richtwerte für PM₁₀ der Weltgesundheitsorganisation im Jahr 2020 nur knapp überschritten (WHO, 2021). Dennoch ist auch aus Sicht der Luftqualität ein möglichst sparsames Ausbringen von Streumittel empfehlenswert.

In der Steiermark wurde aufgrund der hohen Feinstaubbelastung ein differenzierter Winterdienst eingeführt, ein Leitfaden⁷ veröffentlicht sowie Maßnahmen in den Luftreinhalteprogrammen⁸ und in der Stmk. Luftreinhalteverordnung⁹ 2011 vorgesehen. Für den differenzierten Winterdienst wurde zunächst eine genaue Erfassung der Straßenkategorien durchgeführt; bei der Streuung sind drei Stufen vorgesehen:

- Stufe 1: Untergeordnetes Verkehrsnetz - Bergstraßen: Basalt
- Stufe 2: Untergeordnetes Verkehrsnetz - eben: Verstärkte Räumung, Nullstreuung wenn erforderlich ergänzend Salz / Feuchtsalz
- Stufe 3: Hauptverkehrswege (öffentl. Verkehrsmittel), Radwege: ausschließlich Feuchtsalz

Es sollte überprüft werden, inwieweit die Erkenntnisse der Steiermark auf Salzburg übertragen werden können.

⁷ https://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10469604_12709418/1cea7bef/Winterdienstleitfaden.pdf

⁸ https://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10087223_2054533/2a8b4726/ABT15-Luftbericht%202019_4C_OnlineV.pdf,
<https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/12709558/69765542/>

⁹ <https://ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000971>. Die Maßnahmen umfassen eine Beschränkung auf bestimmte Streumittel sowie die Verpflichtung, die ausgebrachten Streumittel wieder zu reinigen, sobald dies möglich und die Streumittel nicht mehr notwendig sind.

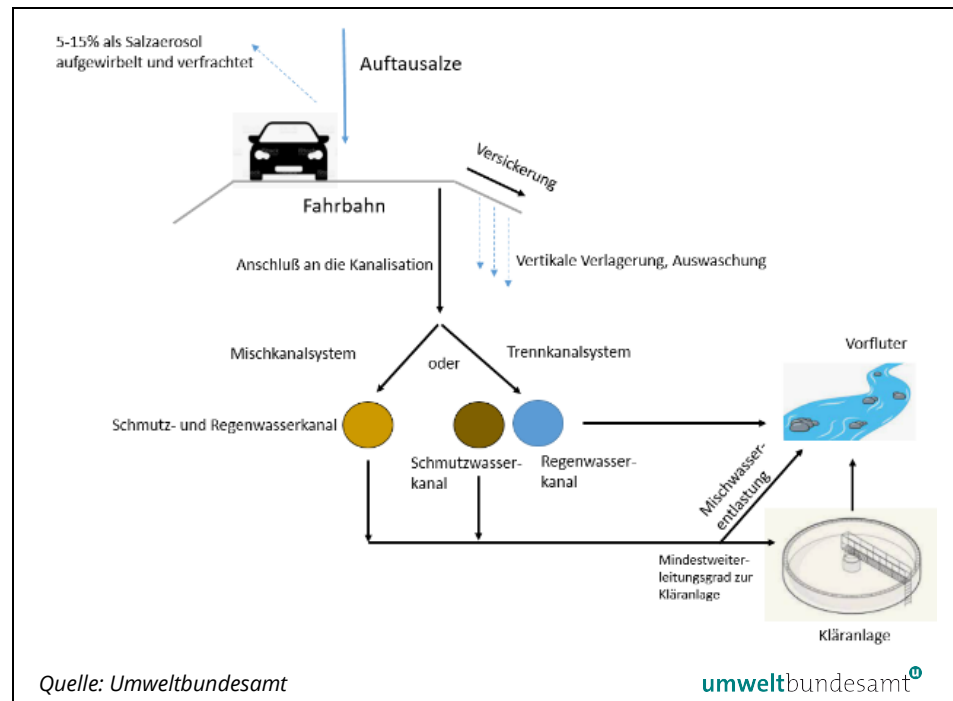
7 ABWASSER

7.1 Eintragspfade in die Umwelt

Eintrag in die Umwelt

Gemäß der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung (BGBl. Nr. 186/1996 i.d.g.F., AAEV) sind alle durch den Winterstreudienst chloridbelasteten Straßenoberflächenwässer als Abwasser zu qualifizieren. Nach der Aufbringung der Salzstreuung auf die Verkehrsflächen kann Streusalz über drei mögliche Eintragspfade in die aquatische Umwelt gelangen, die in Abbildung 5 dargestellt sind. Im vorliegenden Projekt wurde versucht, die Anteile des Streusalzes, die über die unterschiedlichen Eintragspfade in die aquatische Umwelt gelangen, zu quantifizieren (siehe Kapitel 7.5).

Abbildung 5:
Eintragspfade des
Streusalzes in die
aquatische Umwelt.



7.1.1 Diffuse Versickerung

Versickerungsmengen

Ein Teil des aufgebrachtene Streusalzes wird über Spritzwasser oder Verwehungen an den Randbereich der Straßen und auf anliegende Flächen verfrachtet. Die Höhe dieses Anteils hängt von zahlreichen Faktoren, wie etwa der Bauweise und Lage der Straße, dem Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer:innen und den aufgebrachtene Mengen, ab und kann dementsprechend in einem weiten Bereich von 2,5 % bis 63 % schwanken (Braun et al., 2019). Flesch zitiert für den innerstädtischen Bereich einen Wert von ca. 5 %–15 % der ausgebrachten Streumenge (Flesch, 2020). In weitere Folge kann dieser Anteil des Streusalzes durch Niederschlag und Versickerung ins Grundwasser gelangen.

7.1.2 Örtlich konzentrierte Versickerung

gezielte Versickerung

Das von der Straße abfließende Schmelzwasser wird gezielt versickert und kann nach einer Bodenpassage bis ins oberflächennahe Grundwasser gelangen. Die Versickerung kann punktuell über Versickerungsbecken oder linienhaft straßenbegleitend (z. B. Bankette oder Straßengräben) erfolgen.

Die gezielte Versickerung von Straßenwässern bedarf der wasserrechtlichen Bewilligung nach § 32 des Wasserrechtsgesetzes (BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F., WRG) und sollte sich an den Vorgaben des ÖWAV-Regelblatt 45 – Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund (ÖWAV, 2015) orientieren. Immissionsseitig müssen die Vorgaben der QZV Chemie GW eingehalten werden. Die Auswirkungen des im Winterdienst eingesetzten Chlorids werden im Regelblatt jedoch nicht explizit nicht behandelt.

7.1.3 Gefasste Straßenentwässerung

Misch- und Trennsystem

Salzhaltiges Schmelzwasser wird ebenso wie Straßenabflüsse aus Niederschlagsereignissen in die Kanalisation eingeleitet. Das Kanalisationssystem kann grundsätzlich als Mischsystem (gemeinsame Ableitung von kommunalem Schmutzwasser und Niederschlagswasser) oder als Trennsystem (separate Ableitung von kommunalem Schmutzwasser und Niederschlagswasser) ausgeführt sein. In Trennsystemen gelangt das Abwasser aus dem Schmutzwasserkanal auf die Kläranlage und erfährt dort eine Reinigung, während das Niederschlagswasser nach den Vorgaben der AAEV einer Vorreinigung unterzogen und einem Oberflächengewässer zugeführt wird. Gelangt das Schmelzwasser in ein Mischsystem, so wird ein Großteil des Abwassers zur Kläranlage weitergeleitet, während ein kleinerer Teil bei Mischwasserabflussspitzen über Mischwasserentlastungen in ein Oberflächengewässer abgeleitet wird. Von einer Mischwasserabflussspitze spricht man, wenn der Abfluss zur Kläranlage durch Regenabflüsse stark erhöht ist. Der erforderliche Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung bei Mischsystemen stellt eine wesentliche Planungsgröße bei der Dimensionierung von Kanalisationssystemen und Kläranlagen dar und wird aus der Ausbaugröße der Kläranlage sowie einem maßgeblichen Bemessungsregen $r_{D=720\text{min}, n=1}$ im Einzugsgebiet der Kläranlage ermittelt. Die Mischkanalisation ist in Österreich in den innerstädtischen älteren Bereichen die häufigste Art der Siedlungsentwässerung.

7.2 Streusalz in Niederschlagswassereinleitungen der Trennkanalisation

Niederschlagswassereinleitungen aus der Trennkanalisation setzen sich aus dem Oberflächenabfluss von Dach- und Verkehrsflächen zusammen und unterliegen zum einen der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht nach dem WRG und zum anderen der AAEV, die die Einleitung von Abwasser und Niederschlagswasser in Fließgewässer und in die Kanalisation regelt. Gemäß der AAEV muss Niederschlagswasser mit anthropogenen Verunreinigungen aus Abschwemmungen von Flächen in Siedlungsgebieten mit Trennkanalisation sowie von stark frequentierten Verkehrsflächen nach dem Stand der Technik gereinigt und so in einen Vorfluter eingeleitet werden, dass die ökologische Funktionsfähigkeit des Gewässers erhalten bleibt. Die AAEV enthält für die Einleitung von Chlorid in Fließgewässer keinen festgelegten Emissionsgrenzwert, sondern begrenzt die Einleitung von Chlorid im Bedarfsfall über die Algentoxizität (GA), die Bakterientoxizität (GL) und die Daphnientoxizität (GD).

Reinigung von Einleitungen

Bei der Einleitung von Niederschlagswassereinleitungen aus der Trennkanalisation ist das ÖWAV-Regelblatt 35 zu berücksichtigen (ÖWAV, 2019). Je nach Zusammensetzung des Niederschlagswassers und der Beschaffenheit des Vorfluters kann eine Ableitung ohne Reinigung, mit mechanischer Reinigung, mit Reinigung über einen Boden- oder einen technischen Filter erfolgen. Für die Reinigung von Straßenabwässern gilt eine Bodenfilterpassage als Stand der Technik, wobei Chlorid jedoch als wasserlöslicher Stoff nicht im Bodenfilter rückgehalten wird (BMLFUW, 2014; BMVIT, 2019).

Durch Verdünnung kann bei Niederschlagswassereinleitungen eine tolerierbare Einwirkung von Chlorid auf ein Gewässer erreicht werden. Der Leitfaden *Einleitung chloridbelasteter Straßenwässer in Fließgewässer* (BMVIT, 2019) zeigt Ansätze auf, um die Möglichkeit der Einleitung in ein Gewässer im Anlassfall zu beurteilen. Eingangsparmeter der Beurteilung sind dabei die Mindestwasserführung in Abhängigkeit von der Größe der Verkehrsfläche, die aufgebrachtene Chloridmengen und die Hintergrundkonzentration im Gewässern während der Winterperiode.

7.3 Streusalz in der Kläranlage

Einfluß des Streusalz auf die biologische Abwasserreinigung

In kommunalem Abwasser sind Chloridgehalte in der Größenordnung von 80–90 mg/l üblich. Bei stärkerem industriellen Einfluss (z. B. Abwasser aus Lebensmittelbetrieben) oder durch salzbelastete Tauwasserzuflüsse können auch wesentlich höhere Konzentration (bis zu 1.000 mg/l) auftreten. Gelegentliche Schwierigkeiten bei der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung im Winter dürften allerdings vorwiegend auf den Temperaturrückgang im Abwasser zurückzuführen sein, da die biologischen Abbauvorgänge im Allgemeinen erst bei höheren Salzkonzentrationen gestört werden (LAWA, 1976). Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (1999) erwähnt beispielsweise eine Umstellung

der Biozönose erst bei Chloridkonzentrationen von über 2.000 mg/l, während Koppe davon ausgeht, dass ein negativer Einfluss auf die biologische Behandlung in der Kläranlage erst ab einer Chloridkonzentration von rund 5.000 mg/l zu erwarten ist (Koppe et al., 1998). Salvadó und Aslan gehen davon aus, dass saline Zuflüsse ab Konzentrationen von 10 g/l NaCl zu einer Hemmung der Organismen und einer Verminderung der Reinigungsleistung auf Kläranlagen führen (Salvadó et al., 2001), Aslan et al., 2012), während Flesch in einer Versuchskläranlage bereits bei Konzentrationen ab 1.000 mg/l NaCl (\approx 600 mg/l Chlorid) anhand der Atmungsmessung eine verringerte Aktivität der Organismen im Belebungsbecken feststellte (Flesch, 2020). Die Bandbreite der in der Literatur angegebenen Konzentrationen, ab denen eine Beeinflussung der Reinigungsleistung stattfindet, zeigt, dass neben der Salinität des Zuflusses auch weitere Einflussfaktoren (z. B. Temperatur, Betriebsweise der Kläranlage, Schlammalter, Einsatz salzadaptierter Organismen) eine Rolle spielen.

**Regelungen für
Abwasserqualität**

Wie bereits in Kapitel 7.2 erwähnt, regelt die AAEV die Einleitung von Abwasser und Niederschlagswasser in Fließgewässer oder in die Kanalisation. Vorgaben für die Qualität von Abwasser, das in kommunalen Kläranlagen gereinigt wurde, werden in der 1. AEV für kommunales Abwasser (BGBl. Nr. 210/1996, i.d.g.F.) definiert, wobei diese Verordnung keine Vorgaben zu Chlorid enthält. Aus diesem Grund können zur Definition der Qualitätsanforderungen des Kläranlagenablaufs in Hinblick auf Chlorid im Anlass Fall die Vorgaben der AAEV herangezogen werden (siehe Kapitel 7.2).

Chloridkonzentrationen in Kläranlagen

Das Chlorid im Zulauf kommunaler Kläranlagen unterliegt in der Kläranlage keiner Sorption und keiner Kumulierung im biologischen Material. Das bedeutet, dass Chloride in der Kläranlage nicht zurückgehalten werden. Das zeigten auch Untersuchungen in der Pilotkläranlage der Entsorgungsbetriebe Simmering (EbS), die im Mittel Chloridkonzentrationen von 79 mg/l im Zulauf und von 97 mg/l im Ablauf der Kläranlage nachweisen konnten (Umweltbundesamt, 2000). Im Projekt SCHTURM (BMLFUW, 2014) wurden ebenfalls Chloridgehalte im Zu- und Ablauf von Kläranlagen gemessen (Trockenwetterabfluss, d. h. nur Schmutzwasser ohne Regenabflüsse), wobei die Werte im Zulauf zwischen 68 und 110 mg/l und im Ablauf zwischen 62 und 98 mg/l lagen.

**dokumentierte
Salzereignisse**

Flesch untersuchte das Vorkommen von Salzereignissen aufgrund der Salzstreuung im Zulauf von drei großtechnischen Kläranlagen (Ausbaukapazität Kläranlage A: 4 Mio. EW₆₀, Kläranlage B: 1 Mio. EW₆₀ und Kläranlage C: 110.000 EW₆₀) und konnte aus den Betriebsdaten und der Dokumentation der untersuchten Anlagen keine Betriebsbeeinträchtigungen, wie vermindertes Absetzverhalten oder verminderte Reinigungsleistung, feststellen.

Anhand von Leitfähigkeitsmessungen wurde für Kläranlage A (vorwiegend häusliches Abwasser) eine Chlorid-Grundlast während der Sommermonate (April bis Oktober) von 400 mg/l NaCl festgestellt, was in etwa einer Konzentration von 240 mg/l Chlorid entspricht. Im Untersuchungszeitraum eines Jahres konnten im Zulauf dieser Kläranlage zehn Salzereignisse festgestellt werden, wodurch sich eine maximale zusätzliche NaCl-Konzentration im Zulauf von 1.000 mg/l NaCl und somit eine maximale Gesamtkonzentration von 1.400 mg/l ergab. Das

Abwasser von Kläranlage B zeichnet sich durch einen deutlichen Industrieanteil aus; die aus Chloridmessungen ermittelte Grundlast lag bei 500 mg/l NaCl (= 300 mg/l Chlorid). Im Untersuchungszeitraum eines Jahres (Jänner 2018 bis Dezember 2018) wurden sechs Salzereignisse festgestellt, wodurch sich eine maximale zusätzliche NaCl-Konzentration im Zulauf von 500 mg/l NaCl und somit eine maximale Gesamtkonzentration von 1.000 mg/l ergab. Kläranlage C behandelt vorwiegend Abwasser kommunalen Ursprungs mit wenig gewerblichem oder industriellem Einfluss. Die Chlorid-Grundlast wurde anhand von täglichen Chloridmessungen mit 85,1 mg/l (140 mg/l NaCl) angegeben, wobei die Wintermonate Jänner, März und Dezember aufgrund bereits erhöhter streusalzbedingter Chloridkonzentrationen nicht in der Ermittlung der Grundlast berücksichtigt wurden. Im Untersuchungszeitraum eines Jahres (Jänner 2018 bis Dezember 2018) wurden neun Salzereignisse festgestellt, wodurch sich eine maximale zusätzliche Chloridkonzentration im Zulauf von 479 mg/l und somit eine maximale Gesamtkonzentration von rund 900 mg/l NaCl ergab.

7.4 Streusalz in Oberflächengewässer

festgelegte Höchstkonzentrationen

In der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (BGBl. II Nr. 99/2010 i.d.g.F, QZV Ökologie OG) finden sich in Anlage H7 zulässige Chloridkonzentrationen als Richtwerte für die Qualitätskomponente Salzgehalt. Neben einem Jahresmittelwert von 150 mg/l Chlorid zur Berücksichtigung chronischer Belastungen wird auch eine zulässige Höchstkonzentration von 600 mg/l Chlorid für die Berücksichtigung akuter Belastungen festgelegt.

durchschnittlicher Salzgehalt

Der Salzgehalt in den österreichischen Oberflächengewässern variiert über einen weiten Bereich und liegt bei sehr elektrolytarmen Gewässern bei wenigen mg/l, während durchschnittliche mitteleuropäische Fließgewässer einen Gesamtsalzgehalt von rund 100 mg/l aufweisen. Im Wassergüte-Jahresbericht 2016–2018 wurden an insgesamt 90 Oberflächengewässermessstellen mittlere Chloridkonzentrationen von < 0,5 mg/l bis 124 mg/l berichtet (BMLRT, 2020a). Für den Leitfaden *Einleitung chloridbelasteter Straßenabwässer in Fließgewässer* (BMVIT, 2019) wurden die Ergebnisse von rund 389 Messstellen in 313 Fließgewässern in ganz Österreich im Zeitraum 2010 bis 2015 ausgewertet (Jahresmittelwerte und Mittelwerte der Chloridkonzentrationen während der Streuperiode). In vier von 389 Messstellen (Grieselbach, Hochleitenbach, Petersbach und Pulkau) wurde der in der QZV Ökologie OG festgelegte Grenzwert von 150 mg/l im Jahresmittel überschritten. Bei Betrachtung der Einzelwerte lagen 123 Messwerte (1,3 %) über 150 mg/l Chlorid. Die höchste Konzentration betrug 506 mg/l (Pulkau, Industrieabwässer).

Erhöhte Chloridkonzentrationen in der kalten Jahreszeit sind in der Regel ein Indiz für eine Belastung aus der winterlichen Salzstreuung.

7.5 Ergebnisse für die Stadt Salzburg

7.5.1 Abschätzung des Eintrags in die aquatische Umwelt

Abschätzung der Mengen	Für die Abschätzung wurden die durchschnittlich eingesetzten Mengen an NaCl aus der Trockensalzstreuung und der Sole-Anwendung (Tabelle 1) pro Jahr herangezogen und berücksichtigt, dass im innerstädtischen Bereich im Mittel 10 % der aufgebrauchten Salzmenge als Aerosol aufgewirbelt und verfrachtet werden. Somit ergibt sich eine gesamte Streusalzmenge von 947 t/a NaCl, die über den Oberflächenabfluss von Straßen in die aquatische Umwelt gelangt.
Anschlussgrad an Kanalisation	Ausgehend von einer Straßenfläche in der Stadt Salzburg von 6.298.961 m ² (Digitale Katastralmappe, Stand 2016) und einem Jahresniederschlag von 1.346,2 mm im Jahr 2016 (Hydrographisches Jahrbuch, Messstelle Salzburg-Freisaal), wurde ein jährlicher Oberflächenabfluss von Straßenflächen von 8.478.401 m ³ /a berechnet. Für diese Abschätzung wurden alle Straßenflächen der Stadt Salzburg herangezogen und nicht nur jene, wo O-Busse geführt werden. Da konkrete Daten zum Anschlussgrad der Straßenflächen an den Kanal nicht vorliegen, wurde vereinfachend ein pauschaler Anschlussgrad von 100 % angenommen, da im urbanen Gebiet zum einen grundsätzlich von hohen Anschlussgraden der Straßen an den Kanal ausgegangen werden kann, und zum anderen in der Stadt Salzburg Streusalz ausschließlich auf Hauptstraßen eingesetzt wird.
Mengenberechnung	Gemäß Geschäftsbericht des Reinhaltverbandes Großraum Salzburg (RHV Großraum Salzburg, 2020) ist das gesamte Stadtgebiet von Salzburg an die Abwasserreinigungsanlage (ARA) Siggerwiesen angeschlossen. Im Einzugsgebiet dieser Kläranlage sind 30 % des Kanalsystems als Trennsystem und 70 % als Mischsystem ausgeführt. Für die Bestimmung des erforderlichen Mindestwirkungsgrades gemäß ÖWAV-Regelblatt 19 (2007) wurde die Ausbaupazität der Kläranlage Siggerwiesen (680.000 EW ₆₀) und die charakteristische Niederschlagshöhe $r_{D=720\text{min}, n=1}$ aus dem Bemessungsniederschlagsnetz des BMLRT (2020) herangezogen (Gitterpunkt: 3472, Bemessungsniederschlag: 47,9 mm), wodurch sich ein Mindestweiterleitungsgrad von 51,05 % ergab. Das Ergebnis der Berechnung ist in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8:
Berechnung der Streusalzfracht (NaCl), die in die Kläranlagen eingebracht wird (Quelle: Umweltbundesamt)

Straßenflächen [m²]	6.298.961		
mittlerer Jahresniederschlag [mm]	1.346		
	Abfluss [m³]	Abfluss [%]	NaCl [t]
Oberflächenabfluss von Straßen	8.478.401	100%	947
Anschlussgrad Straße: 100 %	8.478.401	100%	947
- davon 30 % in Trennkanal	2.543.520	30,0%	284
- davon 70 % in Mischkanal	5.934.881	70,0%	663
- davon mind. 51,05 % weitergeleitet zur ARA	3.029.757	35,7%	339
- davon entlastet über Mischwasser-Entlastung	2.905.124	34,3%	325
Versickerung (Oberflächenabfluss gesamt minus Anschlussgrad Straße)	0	0,0%	0

kaum Rückhalt in Kläranlagen

Aus der Salzstreuung auf den Straßen der Stadt Salzburg gelangen laut Berechnung in Tabelle 7 mindestens 339 t/a NaCl (= 203 t/a Chlorid) auf die Kläranlage. In niederschlagsarmen Jahren, in denen ein größerer Anteil des im Mischwasserkanal erfassten Abwassers zur Kläranlage geleitet wird, kann dieser Wert theoretisch auf bis zu 663 t/a NaCl (398 t/a Chlorid) ansteigen. Rund 284 t/a NaCl werden über Niederschlagswassereinleitungen aus Trennkanälen in die Gewässer eingeleitet und bis zu 325 t/a NaCl über Mischwasserentlastungen. Da Chloride als gut wasserlösliche Stoffe weder in der Kläranlage noch bei der Reinigung von Niederschlagswasser in Retentionsfilterbecken einen Rückhalt erfahren, muss davon ausgegangen werden, dass der Großteil der auf die Straßen Salzburgs aufgebrauchten Salzmenge in die Oberflächengewässer eingetragen wird.

7.5.2 Chloridkonzentration auf der Kläranlage

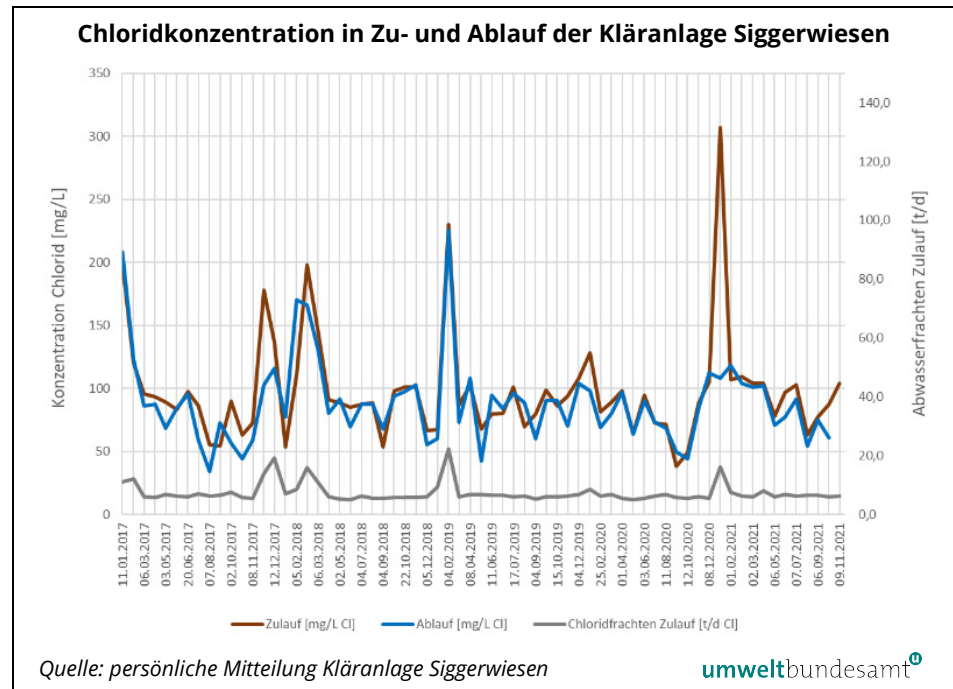
Chloridmesswerte Siggerwiesen

Auf Anfrage wurden von der ARA Siggerwiesen Informationen zu Chloridmessungen im Zu- und Ablauf der Kläranlage (Fremdüberwachung, 12 Messwerte pro Jahr) sowie zum Abwasseranfall an den Probenahmetagen und zum Jahresabwasseranfall zur Verfügung gestellt. Abbildung 6 stellt die Chloridkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage, sowie die berechneten Zulauffrachten an Chlorid grafisch dar. Insgesamt lagen aus dem Untersuchungszeitraum 2017–2021 67 Messungen vor, wobei die Messwerte zwischen 77,4 mg/l Chlorid und 104 mg/l Chlorid (25 %-Perzentil, 75 %-Perzentil, Median: 89,4 mg/l Chlorid) lagen. Der Maximalwert von 307 mg/l Chlorid wurde im Jänner 2021 gemessen. Somit lagen alle gemessenen Zulaufwerte unterhalb jener Konzentrationen, die in der Literatur als das Belebtschlammverfahren beeinträchtigend beschrieben werden (\approx 600 mg/l Chlorid).

Die Daten bestätigen, dass Chlorid in der Kläranlage kaum zurückgehalten wird; eine Ausnahme zeigte sich bei einer Chloridspitze im Jänner 2021. Betrachtet man die Frachten im Zulauf, so zeigten sich Chloridspitzen bei den Messungen

in den Monaten Dezember 2017, Februar 2018, Februar 2019 sowie Jänner 2021, also in der Winter- und Streuperiode.

Abbildung 6:
Chloridkonzentrationen
im Zu- und Ablauf der
Kläranlage Siggerwiesen
in den Jahren 2017–2021
(Werte aus der Fremd-
überwachung) sowie Ab-
wasserfrachten [t/d].



**höherer Beitrag durch
Streusalz**

In einem weiteren Schritt wurden die in Kapitel 7.5.1 abgeschätzten jährlichen Chloridfrachten, die durch den Einsatz von Streusalz in die Kläranlage gelangen (203 t/a–398 t/a), in Relation zur gesamten jährlichen Chloridfracht im Zulauf der Kläranlage gesetzt (Tabelle 9). Es zeigte sich, dass rund 6 %–16 % der gesamten jährlichen Chloridfracht im Zulauf der Kläranlage auf den Einsatz von Streusalz in der Stadt Salzburg zurückzuführen sein dürften. Da die Kläranlage Siggerwiesen neben der Stadt Salzburg noch zahlreiche Umlandgemeinden entsorgt (RHV Goßraum Salzburg, 2020), ist davon auszugehen, dass der Einsatz von Streusalz im Einzugsgebiet der Kläranlage einen höheren Beitrag zur Chloridbelastung des Zulaufs liefert als in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 9:
Jährliche Chloridfracht
im Zulauf der Kläranlage
Siggerwiesen (Quelle:
persönliche Mitteilung
Kläranlage Siggerwie-
sen).

Jahre	mittlere Kon- zentration im Zulauf [mg/l Chlorid]	Jahresabwasser- menge [m³/a]	Jahresfracht im Zulauf [t/a Chlorid]	Anteil Chlorid aus Streusalz an der Jahresfracht [%]
2017	100,9	31.373.470	3.167	6 % - 13 %
2018	97,6	28.920.929	2.824	7 % - 14 %
2019	96,7	31.824.152	3.076	7 % - 13 %
2020	81,7	29.887.180	2.443	8 % - 16 %
2021	111,7	28.957.102*	3.235	6 % - 12 %

* berechnet anhand der durchschnittlichen Tagesabwassermenge *365

Auf Rückfrage bei der Kläranlage Siggerwiesen konnten in den Wintermonaten bislang keine Schwierigkeiten bei der Abwasserreinigung festgestellt werden, die explizit auf den Einsatz von Streusalz oder Streusplitt zurückzuführen sind. Auch von dieser Kläranlage wurde bestätigt, dass mögliche Schwierigkeiten in den Wintermonaten auf die geringeren Abwassertemperaturen zurückzuführen sind (persönliche Mitteilung Kläranlage Siggerwiesen).

7.5.3 Chloridbelastung im Oberflächengewässer

Einleitung von Chlorid

Aufgrund von Einleitung von Niederschlagswässern aus der Trennkanalisation bzw. aus Retentionsfilterbecken zur Reinigung von Straßenabwasser kann es zu einer Erhöhung der Chloridkonzentrationen in straßennahen Oberflächengewässern kommen. Gewässerschutzanlagen (wie z. B. Retentionsfilterbecken) reduzieren die Chloridkonzentrationen im Straßenabwasser nicht (Geiger-Kaiser et al., 2005); Untersuchungen eines Retentionsfilterbeckens zur Reinigung von Abwässern einer Landesstraßenbrücke in Vorarlberg zeigten sogar erhöhte Chloridkonzentrationen im Ablauf des Retentionsfilterbeckens, die vermutlich von Ausschwemmungen aus dem Bodensubstrat herrühren (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2007).

Chloridkonzentrationen im Jahresverlauf

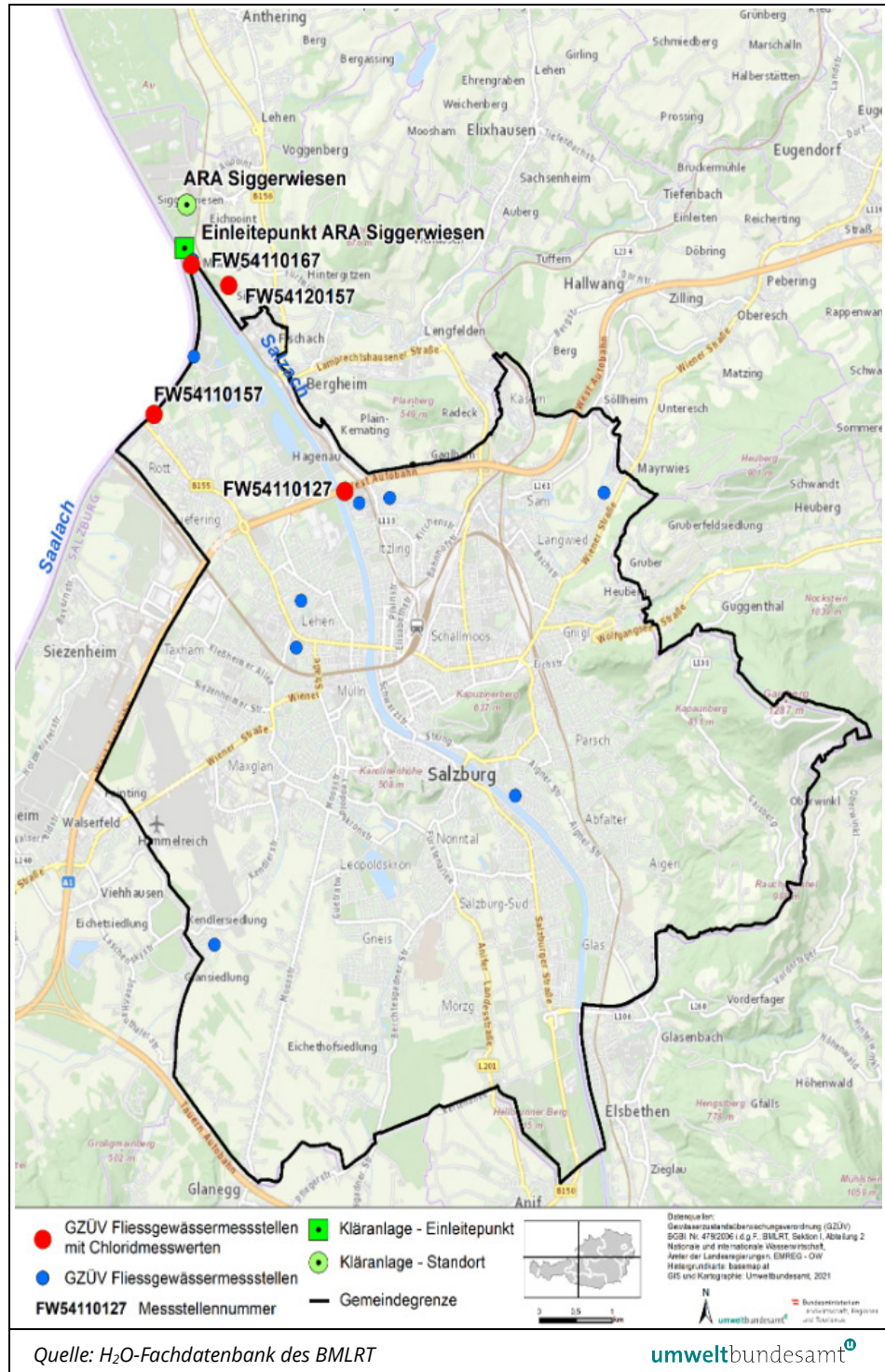
Im vorliegenden Projekt wurden Chloridkonzentrationen an Oberflächengewässermessstellen der Stadt Salzburg sowie an der Messstelle unterhalb der Einmündung der Kläranlage Siggerwiesen im Jahresverlauf untersucht. Als Grundlage für die Datenauswertung wurden die im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) erhobenen Wasserqualitätsdaten herangezogen. Diese werden in der H₂O-Fachdatenbank vorgehalten und sind öffentlich verfügbar (<https://wasser.umweltbundesamt.at/h2odb>).

Nur an insgesamt vier der Messstellen lagen in den letzten 30 Jahren Chloridmessungen vor. Einen Überblick zu den Oberflächengewässermessstellen sowie jenen Messstellen, an denen Chloridmessungen vorliegen, gibt Abbildung 7, einen Überblick zu den gemessenen Chloridkonzentrationen gibt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Chloridkonzentrationen an jenen Messstellen, an denen seit 1992 Chloridmessungen durchgeführt wurden (Quelle: H₂O-Fachdatenbank des BMLRT).

GZÜV-ID	FW54110127	FW54110157	FW54110167	FW54120157
Name	Salzburg Autobahnbrücke		Saalach-Mündung	Fischach-Mündung
Flussname	Salzach	Saalach	Saalach	Fischach
Messperiode	1992–2003	1992–1993	2003–2006	2013, 2016, 2019
Anzahl der Messungen	121	25	52	39
Min. [mg/l]	1,3	5	2,23	7,89
Max. [mg/l]	32,2	35	18	34,9
mittlere jährl. Konz. [mg/l Chlorid]	4,5–8,0	16,7–20,0	4,9–7,1	11,2–15,7

Abbildung 7:
Oberflächengewässer-
messstellen in der Stadt
Salzburg sowie Messstel-
len mit Chloridmessungen
(rot hinterlegt).

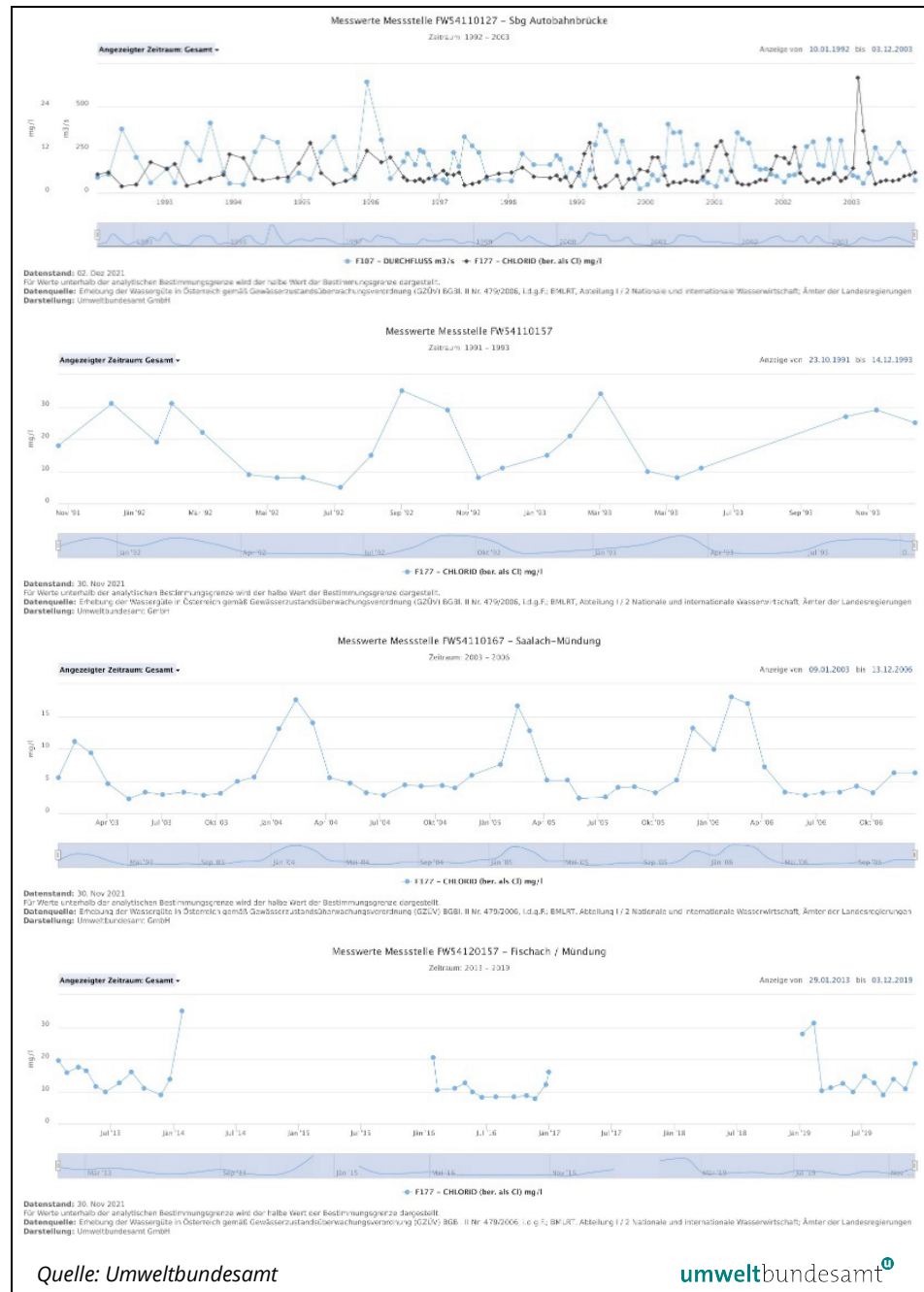


**Chloridspitzen
im Winter**

Betrachtet man die einzelnen Messstellen im Jahresgang (Abbildung 8), so zeigen alle Messstellen Chloridspitzen in den Wintermonaten. Diese sind durch den Einsatz von Streusalzen bedingt, können aber auch durch niedrige Abflüsse im Gewässer während der Wintermonate verstärkt werden. Aus diesem Grund empfiehlt sich ein Vergleich von Chloridfrachten im Gewässer, der bei Vorhandensein von Abflussdaten an der Messstelle durchgeführt werden kann.

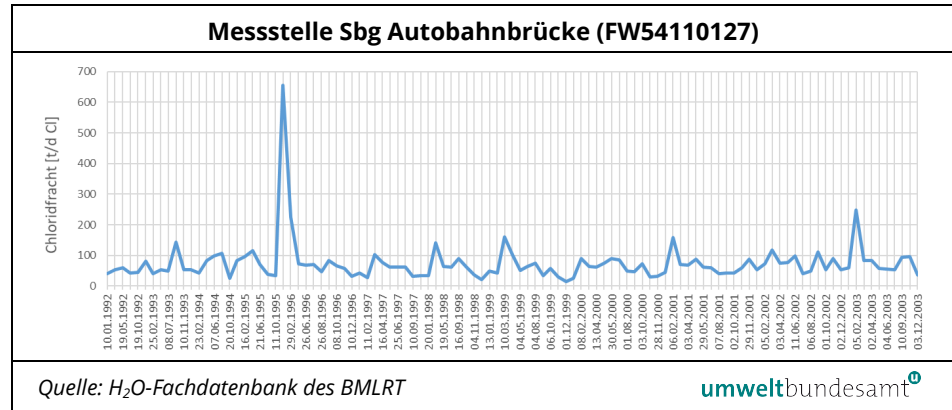
- Chloridspitzen an den Messstellen** An der Messstelle Salzburg Autobahnbrücke (FW54110127) wurde im Beobachtungszeitraum die höchste Chloridkonzentration am 5. Februar 2003 (32,2 mg/l Chlorid) gemessen, die zweithöchste am 6. Februar 2001 (14,5 mg/l). An dieser Messstelle lagen auch Abflussdaten vor (m³/s) und es konnten Chloridfrachten im Gewässer berechnet werden (Abbildung 9). Die Messstelle FW54110157 zeigt ebenfalls in den Wintermonaten erhöhte Chloridkonzentrationen (z. B. 34 mg/l Chlorid am 2. März 1993), wobei diese Messstelle auch eine erhöhte Konzentration im September aufwies (35 mg/l Chlorid am 1. September 1992). Deutlicher sind die Chloridspitzen an der Messstelle Saalach-Mündung (FW54110167). Hier zeigten sich die höchsten Chloridkonzentrationen am 9. Februar 2006 (18 mg/l Chlorid), am 11. Februar 2004 (17,6 mg/l Chlorid) und am 8. März 2006 (17,0 mg/l Chlorid). An der Messstelle Fischach-Mündung (FW54120157) wurde die höchste Chloridkonzentration im Untersuchungszeitraum am 26. Jänner 2014 (34,9 mg/l) gemessen, gefolgt von einer weiteren erhöhten Konzentration am 11. Februar 2019 (31,3 mg/l Chlorid) und am 28. Jänner 2016 (20,6 mg/l).
- keine Überschreitungen der Richtwerte** An keiner der untersuchten Messstellen zeigte sich eine Überschreitung der Richtwerte aus der QZV Ökologie OG hinsichtlich Jahresmittelwert oder zulässiger Höchstkonzentration. Es muss allerdings angemerkt werden, dass die Probenahmen immer nur eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Probenahme darstellen und weitere Chloridspitzen im Gewässer nicht ausgeschlossen werden können.

Abbildung 8:
Chloridkonzentrationen
ausgewählter Messstel-
len im Jahresgang (an
der Messstelle
FW54110127 inklusive
Abflussdaten).



Betrachtet man die täglichen Chloridfrachten an der Messstelle Salzburg Autobahnbrücke (FW54110127) (Abbildung 9), so zeigten sich die höchsten Frachtwerte tendenziell öfter in der Streuperiode (Dezember bis März). Insgesamt wurden im Beobachtungszeitraum 13 Tagesfrachten > 100 t/d Chlorid beobachtet, von denen acht in den Monaten Dezember bis März auftraten.

Abbildung 9:
Tägliche Chloridfrachten
[t/d Chlorid] an der
Messstelle Salzburg
Autobahnbrücke
(FW54110127).



7.6 Zusammenfassung und Empfehlung

Eintragspfade

Während Streusplitt nach der Winterperiode vom Straßenrand und den Auffangwannen der Kanalschächte eingesammelt werden muss und daher von einem geringen Eintrag ins Gewässer ausgegangen werden kann, gelangt Streusalz über unterschiedliche Eintragspfade in die aquatische Umwelt. In Abhängigkeit vieler Faktoren kann ein Teil des aufgebrauchten Streusalzes in den Boden versickern, in Oberflächengewässer eingeleitet oder einer Kläranlage zugeführt werden, in der jedoch kaum ein Rückhalt des Chlorids erreicht wird.

eingetragene Mengen

Bei der Beurteilung der Auswirkungen des Streusalzeinsatzes der Stadt Salzburg auf das Abwasser wurde davon ausgegangen, dass der Großteil des aufgebrauchten Salzes mit dem Oberflächenabfluss der Straßen in die öffentliche Kanalisation eingebracht wird. Von dort gelangt rund ein Drittel (284 t/a NaCl) über Niederschlagswassereinleitungen in die aquatische Umwelt, während rund zwei Drittel (663 t/a NaCl) über einen Mischwasserkanal zur Kläranlage RHV Siggerwiesen (mind. 339 t/a NaCl) bzw. über Mischwasserentlastungen (max. 325 t/a NaCl) direkt in die Gewässer gelangen. Nachdem Chlorid weder durch Bodenfilteranlagen noch durch die biologische Abwasserreinigung aus dem Abwasser entfernt wird, gelangt der Großteil des eingesetzten Streusalzes in die Gewässer.

Beispiel Siggerwiesen

In der Kläranlage Siggerwiesen beträgt der Anteil des Streusalzes aus der Stadt Salzburg an der Chlorid-Jahresfracht im Zulauf der Kläranlage (2.443 t/a bis 3.253 t/a in den Jahren 2017–2021) rund 6 %–16 % (in Abhängigkeit davon, wieviel Abwasser aus der Mischwasserkanalisation in den Vorfluter entlastet wird). Im Untersuchungszeitraum 2017–2021 wurde bei Messungen der Fremdüberwachung eine maximale Zulaufkonzentration von 307 mg/l Chlorid (Jänner 2021) gemessen; generell lagen die Messwerte zwischen 77,4 mg/l Chlorid und 104 mg/l Chlorid (25 %-Perzentil, 75 %-Perzentil). Somit lagen alle gemessenen Zulaufwerte unterhalb jener Konzentrationen, die in der Literatur als das Belebtschlammverfahren beeinträchtigend beschrieben werden (≈ 600 mg/l Chlorid). Auf Rückfrage bei der Kläranlage wurde bestätigt, dass Schwierigkeiten

bei der Abwasserreinigung im Winter eher auf niedrige Abwassertemperaturen als auf Chloridbelastung zurückzuführen sind. Die Daten der Kläranlage zeigten weiters, dass es in den Wintermonaten im Zulauf zu Chloridspitzen kommt und dass Chlorid in der Kläranlage kaum zurückgehalten wird.

Das Ausmaß von Chloridspitzenbelastungen in Oberflächengewässern aufgrund von Streusalzeinfluss war aufgrund der verfügbaren Daten nicht abzuschätzen. Die Auswertung der Chloridkonzentrationen an jenen Messstellen in Salzburg, wo Messungen vorlagen, zeigte keine Überschreitung der Richtwerte der QZV Ökologie OG (Jahresdurchschnittswert: 150 mg/l Chlorid, zulässige Höchstkonzentration: 600 mg/l Chlorid); die Messwerte lagen zwischen 1,3 mg/l Chlorid und 35 mg/l Chlorid. Es muss jedoch angemerkt werden, dass diese Messungen immer nur eine Momentaufnahme darstellen und mögliche Spitzenbelastungen im Gewässer durch die regulären Messungen nur im Ausnahmefall erfasst werden. Chloridspitzen zeigten sich in den Gewässern vorwiegend in den Wintermonaten während der Streuperiode.

Auswahl der Einleitestellen

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass sich eine Reduktion der Auswirkungen des Streusalzeinflusses auf die aquatische Umwelt vor allem durch die Auswahl der Einleitestelle in den Vorfluter erreichen lässt, unabhängig davon, ob das Streusalz die Gewässer über Niederschlagswassereinleitungen aus der Trennkanalisation, den Ablauf der Kläranlage oder Mischwasserentlastungen erreicht. Die rechtlichen Regelungen in Österreich (WRG 159, AAEV, 1. AEV, QZV Ökologie OK, Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (BGBl. II Nr. 96/2006, i.d.g.F.) geben klare Vorgaben, nach welchen Gesichtspunkten die Bewilligung solcher Einleitungen zu erfolgen hat. Darüber hinaus werden die Einleitungen von Niederschlagswässern aus der Trennkanalisation und aus Mischwasserentlastungen in Leitfäden und Regelblättern beschrieben (ÖWAV, 2019, ÖWAV, 2007, BMVIT, 2019). Bei Berücksichtigung der Vorgaben dieser Regelwerke bei der Bewilligung von chloridbelasteten Straßenabwässern ist von einer Minimierung der Belastung der aquatischen Umwelt auszugehen.

8 GRUNDWASSER

Vergleich NaCl-Sole und CaCl-Sole

In Österreich kommt hauptsächlich Natriumchlorid als Auftausalz zum Einsatz. Die Aufbringung erfolgt als befeuchtetes NaCl mit differenziertem Soleanteil oder als reine NaCl-Sole. Die Umstellung der präventiven Taumittelaufbringung auf den zunehmenden Einsatz von NaCl-Sole (statt CaCl-Sole) mit einem Soleanteil von mindestens 70 % seit etwa 2010 bringt nicht nur eine Kostenersparnis, sondern auch eine Verringerung der ausgebrachten Salzmenge. Straßensalzung mit Natriumchlorid wird noch immer als die wirtschaftlichste und ökologischste Methode des Winterdienstes an Straßen beurteilt (EAWAG, 2016). Ein Streuleitfaden und die Streuempfehlungen stehen seit dem Winter 2011/12 zur Verfügung (Hoffmann et al., 2012). Durch die Ausbringung von NaCl-Sole wird einerseits die Verwehung des Salzes während des Streuvorganges verhindert, andererseits bewirkt das Anhaften des Streustoffes auf der Straße eine wesentlich längere Liegedauer im Vergleich mit Trockenstreuung, und der Einsatz des weniger umweltverträglichen CaCl_2 wird vermindert. NaCl-Sole soll künftig auch bei Schneefall eingesetzt werden (Atanasoff et al., 2019).

Im Stadtgebiet von Salzburg wurden im Winterdienst im Zeitraum 2010 bis 2020 jährlich durchschnittlich 3.200 Tonnen Streumittel (Splitt) und an Auftaumitteln 1.300 Tonnen Salz und rund 200.000 Liter Sole ausgebracht, siehe Tabelle 1.

Einsatz und Menge NaCl

Das eingesetzte Salz besteht laut Analytik (K-UTECH Salt Technologies) zu 99,93 % aus NaCl (ÖNORM ISO 6227) und enthält 3,01 mg/kg Hexacyanoferrat (bei 1300 Tonnen NaCl rund 3,9 kg). Die verwendete Sole ist in der Regel eine Salzlösung aus Wasser und NaCl mit einer Konzentration zwischen 10 % und 23 %. Rund 95 km (15 %) der von der Stadt Salzburg insgesamt betreuten 647 Straßenkilometer sind Salzstreustrecken, 74 km davon liegen im innerstädtischen Bereich (Bleibler, e-mail 27.8.2021). Für die Autobahnmeisterei Lieferung ergeben bundesweite Auswertungen der Chloridstremengen von 2007 bis 2018 einen Bemessungswert der spezifischen Chloridmenge von 1,41 kg/(m²*p) zur Berechnung der Chloridimmissionen in das Grundwasser (Atanasoff et al., 2019).

Die Auswirkung der eingesetzten Mittel auf das Grundwasser wird im folgenden Kapitel dargestellt. Dabei wird der Eintrag von NaCl betrachtet, da dieses vorrangig eingesetzt wird. In Kapitel 8.5.2 werden Richtwerte angeführt, die eine Gegenüberstellung mit den im Grundwasser detektierten Chloridkonzentrationen ermöglichen.

8.1 Eintragspfade

Die meisten Chloride weisen eine hohe Wasserlöslichkeit auf. Im Grundwasser sind Chlorid-Ionen sehr mobil, da sie keiner nennenswerten Adsorption unterliegen. In Verbindung mit anderen geeigneten Parametern kann Chlorid als Indikator für anthropogene Verschmutzungen von Wasser herangezogen werden (Brielmann et al., 2018).

Eintrag von Straßenabwässern

Im Wesentlichen ist der Eintrag von salzhaltigen Straßenabwässern vom oberflächigen Abtransport und dem Versickerungspotenzial abhängig. Je nach Ausbau der Straßenentwässerung und hydrogeologischem Untergrund wird ein Teil des Chlorids über Vorfluter abtransportiert, ein Teil erreicht jedoch das Grundwasser. Der Eintrag von Chlorid in die ungesättigte Bodenzone erfolgt durch räumlich konzentrierte Versickerung (z. B. Bankette, Straßengraben) oder diffus durch die Versickerung von Salzverwehungen mit der natürlichen Grundwasserneubildung aus Niederschlag (Braun et al., 2019). Bei der Versickerung salzhaltiger Straßenabwässer gelangt aufgrund geringer Retardation im Boden ein konzentrierter Salzstrom durch die ungesättigten Bodenschichten ins Grundwasser. Der Transport läuft in Abhängigkeit vom Flurabstand, der Aquifermächtigkeit, der Grundwasserfließrichtung und –abstandsgeschwindigkeit sowie der nutzbaren Porosität deutlich langsamer ab als über Oberflächengewässer (BMLFUW, 2014).

Räumlich konzentrierter Eintrag über Niederschlagswasserableitungen von außerurbanen befestigten Flächen (z. B. Straßen oder Parkplätzen)

Versickerung

Die Abwässer des höherrangigen Straßennetzes (Autobahnen, Schnellstraßen, Bundesstraßen) werden zumeist punktuell in Versickerungsbecken oder linienhaft entlang der Straße versickert, teilweise breitflächig über die Böschungsschulter. Sie stellen den überwiegenden Anteil des Frachteintrags von Schadstoffen aus Abwässern von außerurbanen Flächen in das Grundwasser dar.

Vor der Versickerung kann eine Niederschlagswasserbehandlung in einer Gewässerschutzanlage erfolgen. Die Straßenwässer können auch in Entwässerungskanälen gesammelt und direkt in ein Gewässer geleitet werden (BMLFUW, 2014). Durch vorgeschaltete Bodenkörperfilter erfolgt nahezu kein Rückhalt des Salzes. Winterliche Salzfrachten werden beim Trockenfallen des Bodenkörperfilters vermehrt im Filterbereich auskristallisiert und nach der Frostperiode durch Niederschlagswasser zeitverzögert wieder ausgewaschen (Land Salzburg, 2005).

zeitlich variabler Stoffeintrag

Aus den Modellberechnungen des Tausalzrückhalts von Braun ergeben sich bei der Versickerung von salzhaltigem Abwasser aus Straßengraben oder Versickerungsbecken deutlich höhere Versickerungsraten als beim Eintrag über die natürliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Advective Prozesse treten gegenüber dispersiven Transportprozessen in den Vordergrund und die zeitliche Dämpfung der Chloridkonzentrationen wie auch die Verdünnungseffekte in der ungesättigten Zone spielen eine geringe Rolle. Dadurch findet ein zeitlich variabler Stoffeintrag in den gesättigten Grundwasserbereich statt. Saisonale Schwankungen des Chlorideintrages sind dann zu berücksichtigen, wenn die

Eintragsquelle nahe am betrachteten Gewässer liegt (Braun et al., 2019). Im Nahbereich des Emittenten, bei einer Entfernung von < 150 m sind bei Flurabständen < 5 m kurzzeitige Konzentrationsspitzen (impulsförmige Einzelereignisse) zu erwarten. Hervorgerufen werden sie durch Starkregen- oder Tauereignisse, die eine rasche Verfrachtung des Chlorids in das Grundwasser zur Folge haben. Bei Distanzen von > 150 m vom Emittenten und einem Flurabstand von > 20 m ist ein gleichmäßiger Eintrag von Chlorid in den Aquifer anzunehmen (Atanasoff et al., 2019).

langsamer Eintrag in ungesättigte Zone

Diffuse Versickerung – Eintrag über Sprühnebel

Bis zu 25 % des ausgebrachten Streusalzes bzw. der Sole werden den auf großen Bandbreiten beruhenden Schätzungen zufolge mit dem Sprühnebel in die Straßenrandböden transportiert. Rund 90 % davon werden innerhalb der ersten 10 m deponiert. Durch Niederschlag und anschließende Versickerung gelangt das Chlorid in das Grundwasser. Der Eintrag von Chlorid aus diffusen Quellen wie Sprühnebel erfolgt aufgrund des vergleichsweise langsamen Eintrages über die ungesättigte Zone zeitlich relativ konstant (Atanasoff et al., 2019). Für den Eintrag von Chlorid aus diffuser Versickerung (aus Spritzwasser, Verwehungen usw.), der über die natürliche Grundwasserneubildung durch Niederschlag weiter transportiert wird, kann daher für die Modellrechnung eine zeitlich konstante Eintragsfunktion mit einer mittleren Konzentration verwendet werden. (Braun et al., 2019).

geringe Frachten

Eintrag über Niederschlagswasserableitungen aus Kanalisationen durch Leckagen

Gefasste Straßenabwässer werden entweder in einem Mischsystem über eine Kläranlage dem Vorfluter zugeführt oder bei einem Trennsystem über ein Regenklär- bzw. -rückhaltebecken in die Gewässer geleitet. Der Eintrag in das Grundwasser erfolgt in Siedlungsgebieten vor allem bei Entwässerungen mit Trennsystem, bei dem nur ein Teil der gesammelten Niederschläge über Niederschlagswasserkanäle direkt in die Gewässer gelangt. Die Frachten sind jedoch im Vergleich zu den Frachten von außerurbanen Verkehrsflächen gering. Sie sind abhängig vom Anschlussgrad der abflusswirksamen Flächen an die Niederschlagswassersammler (BMLFUW, 2014). Das mit und ohne Vorbehandlung gesammelte und abgeleitete Straßenabwasser kann auch durch Leckagen in der Infrastruktur in das Grundwasser gelangen.

8.2 Studien zu Streumitteln und zu Auswirkungen der Salzstreuung auf das Grundwasser

Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen der Salzstreuung im außerurbanen Raum. Untersuchungen der Auswirkung speziell für innerstädtische Gebiete, bei denen anzunehmen ist, dass die Straßenentwässerung über den Kanal erfolgt, können nicht angeführt werden.

jahreszeitliche Auswirkungen

Bereits in den 90er Jahren (Brod, 1993) wurde ein Überblick zum Einfluss von Streusalz auf Grund-, Oberflächen- und Abwasser gegeben und Trinkwasserversorgungsanlagen mit anthropogen bedingten, auffälligen Chloridgehalten wurden ausgewiesen. 2005 bis 2007 wurde der Einfluss der Salzstreuung auf Boden und Grundwasser an einem stark befahrenen Autobahnabschnitt der A 3 im Süden von Wien untersucht (Unterköfler et al., 2009). Während der Wintersaison wurden mehrere Intensitätsspitzen der Salzkonzentration im autobahnnahen Grundwasser nachgewiesen, während die Auswaschung des im Boden akkumulierten Streusalzes bis zum Sommer belegt werden konnte. Untersuchungen zu den Auswirkungen straßenabwasserrelevanter Inhaltsstoffe auf das Grundwasser im Autobahnknoten Wels (Brunthaler, 2016) zeigen dagegen die höchsten Chloridwerte Ende des Frühlings bzw. zu Sommerbeginn und erreichen im Winter ein Minimum.

Entfernung von der Emissionsquelle

Durch jahreszeitliche Konzentrationsunterschiede bedingte Spitzen sind unmittelbar neben der Straße messbar. Mit zunehmender Entfernung von der Emissionsquelle nimmt die Schwankungsbreite der Chloridkonzentrationen ab (Brunthaler, 2016). Die Grenze, wo Konzentrationsspitzen noch messbar sind, wird je nach Autor in einer Entfernung von 100 m oder 150 m angegeben (Atanasoff et al. 2011).

Grundwasser Belastung

Untersuchungen im Kanton St. Gallen (eawag, 2016) zeigen deutlich höhere Konzentrationen in der Talgrundwasserfassung im Vergleich zu einer unbelasteten Quelfassung. Aufgrund des verzögerten Transportweges zeigen sich Konzentrationsspitzen im Frühjahr. Ein Konzentrationsanstieg in den Jahren 2004 bis 2006 lässt sich auf höheren Streusalzverbrauch zurückführen. Dass Grundwasserkörper ein Reservoir für Chlorid darstellen können und ganzjährig erhöhte Chloridwerte aufweisen, zeigen Untersuchungen in den USA (Cooper et al., 2014). Das in der ungesättigten Zone vorhandene Chlorid kann selbst in Trockenzeiten zu einem Konzentrationsanstieg im Grundwasser führen, wie Untersuchungen im Kanton St. Gallen für die Trockenperioden 2003/2004 und 2018/2019 zeigten. Vermutet wird ein Zusammenhang mit erhöhten Verdunstungsraten und Anreicherung im Boden (Pfenninger, 2020).

Forschungsprojekte

Zur Thematik der im Winterdienst eingesetzten Streumittel, der Optimierung ihres Einsatzes und dessen Auswirkungen hinsichtlich eines effizienten und umweltschonenden Winterdienstes wurden in den letzten Jahren einige Forschungsprojekte durchgeführt.

Feuchtsalzstreuung Mit den Untersuchungen zur Optimierung der Feuchtsalzstreuung (Hoffmann et al., 2012) und dem Nachweis der Wirkung wurde der Beginn für die situationsbezogene variable gemischte Ausbringung von Sole und Trockensalz gelegt. Unter weiterer Gewährleistung der Sicherheit kann dadurch Salz eingespart werden. In einem Folgeprojekt wurden Eignungskriterien für auftauende Streumittel im Winterdienst (Müller, 2014) unter Berücksichtigung von Umweltauswirkungen und Wirtschaftlichkeit sowie Berechnungsmöglichkeiten für die Tauleistung von Streumitteln erarbeitet. Mit dem im Auftrag der österreichischen Bundesländer, der ASFINAG und des BMVIT durchgeführten Forschungsprojektes „Wirkmodell Streuung, Räumung und Restsalz“ (TU Wien, 2019) wurden die Tauleistungen von Feuchtsalz mit höheren Soleanteilen (FS50 und FS70) untersucht und die Qualität der Schneeräumung in Abhängigkeit von Schneeflugtyp und Straßenzustand analysiert.

Gewässerschutz Der Wissensstand zu gewässerschutzrelevanten Wirkungen von Chlorid, die Transportpfade und das Verhalten von auf Straßen ausgebrachtem Tausalz wurde in einem Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (Braun et al., 2019) festgehalten. Ziel war es, mittels numerischer Modellierung jene Versickerungs- und technischen Entwässerungsreinrichtungen bzw. Betriebsweisen zu identifizieren, die die Konzentrationen von Tausalz in Gewässern unterschiedlicher Größe auf ein verträgliches Maß reduzieren können.

8.3 Leitfäden

Im Jahr 2006 hat das Amt der Steiermärkischen Landesregierung einen Leitfaden zur Reduktion der Feinstaubbelastung bei der Straßenstreuung erstellt und die Vor- und Nachteile der einzelnen Streuarten dargestellt (Amt der Stmk. LR, 2006).

Versickerung ins Grundwasser Das im Auftrag des BMVIT durchgeführte Forschungsprojekt „Chloride“ hat im Jahr 2019 einen Leitfaden zur Versickerung chloridbelasteter Straßenabwässer in Grundwasseraquifereen erstellt (Atanasoff et al., 2019). Dieser gilt für Straßen (ausgenommen Tunnel) mit einer jahresdurchschnittlichen Verkehrsstärke (JDTV) von über 15.000 Kfz/24 h. Der Leitfaden enthält neben gesetzlichen Regelungen Beurteilungsgrundlagen und Berechnungsverfahren für den möglichen Eintrag von Chlorid aus Auftausalzen ins Grundwasser und für dessen Ausbreitung im Grundwasser.

8.4 Studien im Untersuchungsgebiet

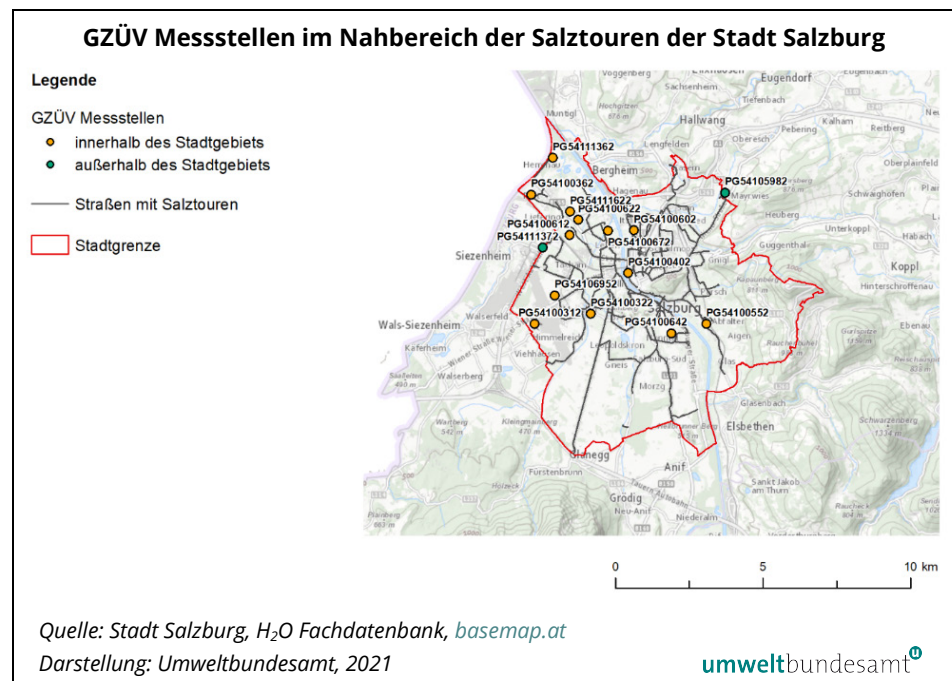
- Messungen nach Hochwasser** Im Jahr 2002 wurde in Salzburg nach dem Hochwasserereignis ein Sondermessprogramm durchgeführt. Bei der drei Wochen später durchgeführten Probenahme zeigten rund 10 % der Messstellen noch um etwa 40 % erhöhte Grundwasserstände. In Abhängigkeit der lokalen Verhältnisse trat entweder eine Zunahme der Salzkonzentration, die teilweise noch bis September anhielt, oder eine Verdünnung auf. Die Messstellen mit signifikanten Konzentrationszunahmen von Chlorid befinden sich vielfach im Einflussbereich von stark frequentierten Verkehrswegen (BMLFUW, 2005).
- Spurenstoffe** 2014 wurden im für das Untersuchungsgebiet relevanten Grundwasserkörper GK100006 Unteres Salzachtal [DBJ] im Rahmen der Untersuchung von Siedlungsgebieten und Verkehrsflächen auf Spurenstoffe (BMLFUW, 2014) die Grundwassermessstellen PG54100342 an der B 155 und PG53100172 als eine von Straßenabwässern unbeeinflusste Messstelle untersucht. Aufgrund der geringen Anzahl an Untersuchungen konnte nur festgestellt werden, dass viele der Spurenstoffe aus den Straßenabwässern in einzelnen Grundwasserproben vorkommen. Zwar konnte der Frachtanteil der Spurenstoffe, der zur Versickerung gelangt, ermittelt werden, aber aufgrund fehlender Kenntnisse des Verhaltens der Bodenpassage konnte der ins Grundwasser gelangende Frachtanteil nicht abgeschätzt werden.

8.5 Datenauswertung

- H₂O-Fachdatenbank** Als Grundlage für die Datenauswertung werden die im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) erhobenen Wasserqualitätsdaten herangezogen. Diese werden in der H₂O-Fachdatenbank vorgehalten und sind öffentlich verfügbar (<https://wasser.umweltbundesamt.at/h2odb>).
- Beschreibung Grundwasserkörper** Das Stadtgebiet von Salzburg liegt innerhalb des Grundwasserkörpers GK100006 Unteres Salzachtal [DBJ], einem oberflächennahen Einzelgrundwasserkörper. Die mittlere Mächtigkeit des Grundwasserkörpers beträgt 25 m bei einem Flurabstand von 5 m. Die Deckschichten sind durchschnittlich 1 m mächtig, fehlen aber großteils. Die mittlere hydraulische Durchlässigkeit beträgt 0,003 m/s (stark durchlässig) (H₂O Fachdatenbank). Zur Auskunft über die Reaktionsgeschwindigkeit bzw. -trächtigkeit des Grundwasserkörpers wurden die mittleren Verweilzeiten des Grundwassers (Grundwasseralter) ermittelt. Demnach wird der überwiegende Anteil der Messstellen vorwiegend durch die Versickerung lokaler Niederschläge oder Infiltration von Oberflächengewässern geprägt (Kralik et al., 2011).
- einbezogene Messstellen** Für die Auswertung der Konzentrationsniveaus von Chlorid wurden alle in der H₂O-Datenbank verfügbaren GZÜV-Messstellen und Landesmessstellen innerhalb des Salzburger Gemeindegebietes abgefragt und um jene außerhalb des Stadtgebietes gelegenen Messstellen im Nahbereich (bis zu 300 m Entfernung)

der Salztouren, die in Abbildung 10 dargestellt sind, ergänzt. Die Lage der gewählten Grundwassermessstellen wurde mit dem von der Stadt Salzburg übermittelten Netz der Salztreuungstouren verschnitten und die Distanz der Grundwassermessstellen zum Salztourennetz ermittelt. Von den 25 innerhalb des Stadtgebietes liegenden Grundwassermessstellen wurden die acht Landesmessstellen aufgrund zu geringer Datendichte sowie die zwei Quellen und jene zwei Messstellen, die weiter als 300 m vom Salztourennetz entfernt liegen, nicht in die weiteren Auswertungen miteinbezogen. Von den verbleibenden 13 Messstellen liegen fünf innerhalb von rund 50 m Distanz zum Salztourennetz, acht innerhalb von 300 m.

Abbildung 10:
Darstellung der Lage der GZÜV-Messstellen im Nahbereich der Salztouren.



Datenverfügbarkeit

Basierend auf dem GZÜV-Messprogramm liegen von 1991 bis 2010 im Regelfall vier Messwerte pro Jahr vor, ab 2010 mit Ausnahme der Jahre 2013 und 2019 jeweils Werte für das zweite und das vierte Quartal. Die Jahre 2013 und 2019 gelten im Sinne der GZÜV als Erstbeobachtungsjahr, daher erfolgen hier drei Probenahmen im Jahr. Abgefragt wurde der Parameter Chlorid für den gesamten Beobachtungszeitraum, also von 1991 bis 2020.

8.5.1 Konzentrationsniveaus und allfällige Konzentrationsänderungen im zeitlichen Verlauf

Hintergrundkonzentration

Die Chlorid-Hintergrundkonzentrationen aller im Projekt GEOHINT (Brielmann et al., 2018) in Österreich untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa 17,3 mg/l bis 89,7 mg/l. Das Stadtgebiet von Salzburg liegt im Bereich der Geologischen Klasse C09, den Quartären Sedimenten – Talfüllungen entlang der Flüsse Inn, Salzach und Mattig, in der Konzentrationsklasse von > 20 mg/l bis ≤ 40 mg/l. Vier Messstellen (PG54105982, PG54100602, PG54106932,

PG54111372) weisen lokal erhöhte Chloridwerte für den Zeitraum 1997 bis 2017 im relevanten Grundwasserkörper auf. Neben dem Eintragspfad durch Straßenabwässer kann Chlorid durch in der Landwirtschaft häufig verwendete Gärfuttersäfte und Kalidünger eingetragen werden, aber auch durch Deponiesickerwässer. In der Papier- und Zellstoffindustrie finden Chlorverbindungen ebenfalls Verwendung.

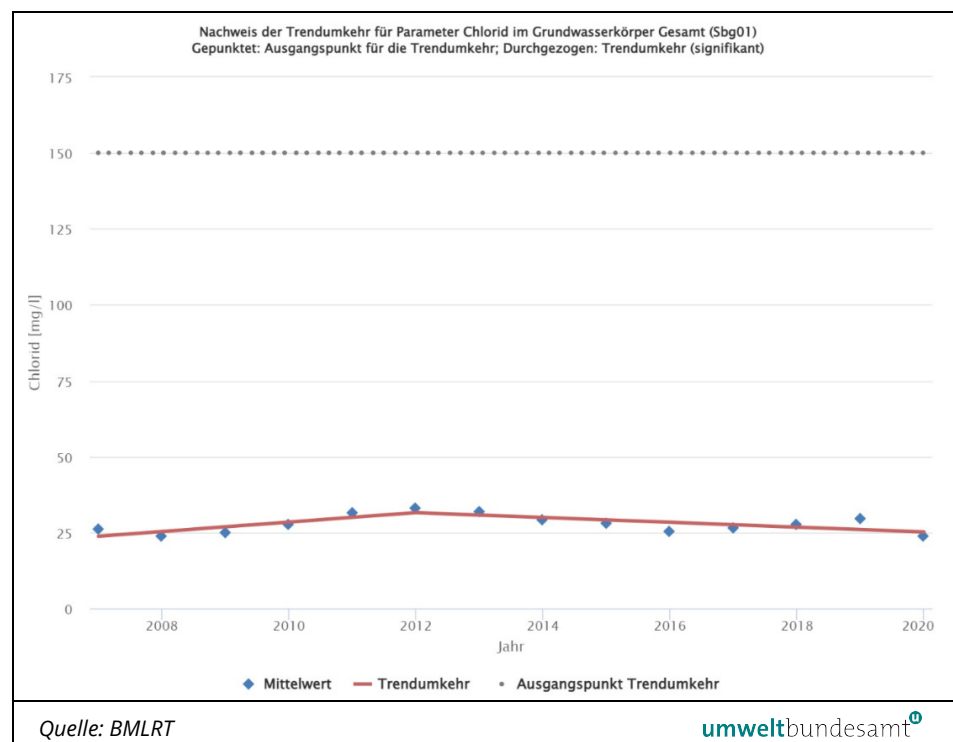
8.5.1.1 Konzentrationsniveaus über die Jahre

Um eine Aussage zum Konzentrationsniveau von Chlorid im flächig vorhandenen Grundwasser treffen zu können, wurde einerseits eine Trendauswertung für den gesamten GK100006 Unteres Salzachtal [DBJ] entsprechend der QZV Chemie GW § 11 durchgeführt, andererseits eine Auswertung mit nur jenen GZÜV-Messstellen, die im Nahbereich des Salztourennetzes des Winterdienstes liegen.

Gesamter Grundwasserkörper

Für den gesamten Grundwasserkörper mit 44 von 59 auswertbaren Messstellen ergibt sich kein signifikanter Trend des um die 30 mg/l liegenden Konzentrationsniveaus (-12,1 %). Die Trendlinie überschreitet zu keinem Zeitpunkt den für Grundwasserkörper gültigen und in Relation zum Schwellenwert von 180 mg/l definierten Ausgangspunkt für die Trendumkehr von 150 mg/l gemäß QZV Chemie GW. Ab 2012 wird eine signifikante Trendumkehr mit minus 20,3 % ausgewiesen, siehe Abbildung 11. Das bedeutet, dass nach einem Anstieg der Schadstoffkonzentrationen eine Trendumkehr statistisch auf einem Signifikanzniveau von 5 % durch den 2-section-Test festgestellt worden ist. Lag der Mittelwert der Chloridkonzentration 2012 noch bei 33,04 mg/l, so lag er 2019 bei 29,62 mg/l und 2020 bei 23,95 mg/l.

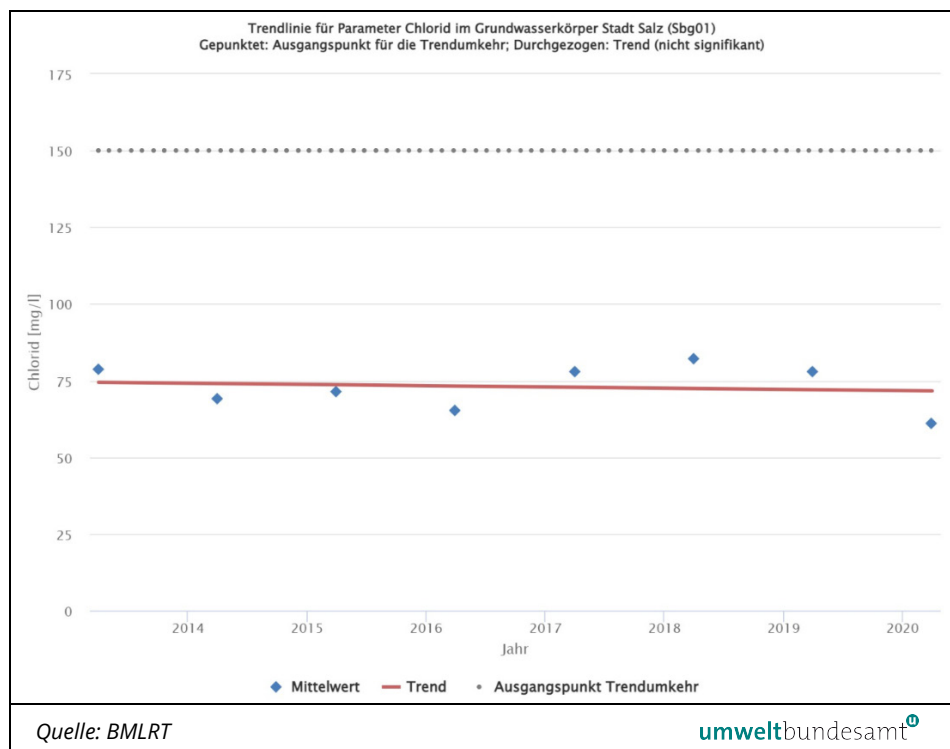
Abbildung 11:
Trendumkehr – alle
Messstellen im Grund-
wasserkörper GK100006.



Entfernung der Messstellen

Im Vergleich dazu wurde die Trendauswertung mit den innerhalb der Gemeinde Salzburg liegenden Messstellen, die bis zu rund 50 m vom Salztourennetz entfernt sind, durchgeführt. Von diesen fünf Messstellen konnten drei ausgewertet werden. Es wird weder ein signifikanter Trend noch eine Trendumkehr des über den natürlichen Hintergrundwerten liegenden Konzentrationsniveaus von rund 80 mg/l Chlorid ausgewiesen, siehe Abbildung 12. Für jene acht Messstellen mit einer Entfernung bis zu 300 m liegt das Konzentrationsniveau bei rund 20 mg/l und weist ebenfalls weder einen signifikanten Trend noch eine Trendumkehr auf. Bei einer weiteren Trendauswertung, die noch zwei weitere Messstellen inkludiert, die bis zu 600 m von den Salztouren entfernt liegen, ergibt sich ein ähnliches Bild.

Abbildung 12:
Trendlinie – Messstellen
< 50 m Distanz zu den
Salztouren.



Die Trendauswertung für alle 13 innerhalb des Stadtgebietes liegenden Messstellen (elf konnten ausgewertet werden) ergab ebenfalls keinen signifikanten Trend. Dabei wurden mittlere Chloridkonzentrationen von 39,59 mg/l für 2013, 39,12 mg/l für 2019 und 31,69 mg/l für 2020 ausgewiesen. Der Konzentrationsverlauf über den gesamten Zeitraum der vorhandenen Messwerte lässt von 1991 bis 2006 steigende Konzentrationen erkennen, die seither leicht zurückgegangen sind.

Trendauswertung Einzelmessstellen

Ergänzend wurden Man-Kendall-Trendauswertungen mit einem 95 % Signifikanzkriterium für die Chloridkonzentration auf Ebene der einzelnen Messstellen im Nahbereich der Salztouren durchgeführt. Als Grundlage wurden die Messdaten der letzten 15 Jahre, also von 2006 bis 2020, herangezogen. Von den 13 innerhalb des Stadtgebietes liegenden Messstellen wiesen drei nicht genügend Messwerte auf, fünf zeigten keinen signifikanten Trend, vier einen signifikant

negativen und eine einen signifikant positiven Trend (PG54100402). Von den außerhalb des Stadtgebietes im Nahbereich der Salztouren gelegenen Messstellen wies eine einen signifikant positiven Trend (PG54105982) auf.

8.5.1.2 Änderungen zwischen den Jahreszeiten

zweites vs. viertes Quartal

Basierend auf den seit 1991 vorliegenden Datenreihen wurde für die 13 innerhalb der Gemeinde im Nahbereich der Salztouren liegenden Messstellen eine Auswertung der Mittelwerte für das zweite Quartal (März/April/Mai) der Jahre und für das vierte Quartal (Oktober/November/Dezember) der Jahre durchgeführt.

Die Auswertungen ergaben für die zweiten Quartale im Zeitraum 1991 bis 2020 eine mittlere Chloridkonzentration von 32,25 mg/l und für die vierten Quartale eine mittlere Konzentration von 27,31 mg/l.

8.5.1.3 Konzentrationsniveau ausgewählter Messstellen

Im Folgenden werden Messstellen (Tabelle 11), die hinsichtlich ihrer Konzentration Auffälligkeiten zeigen bzw. einen positiven Trend der Chloridkonzentration aufweisen, detaillierter dargestellt. Die Erstellung einer Ursache-Wirkungsbeziehung ist aufgrund fehlender lokaler Detailinformationen bei den einzelnen Messstellen nicht möglich. Neben den Messstellen im Gemeindegebiet wurden dabei auch Messstellen außerhalb des Gebietes berücksichtigt.

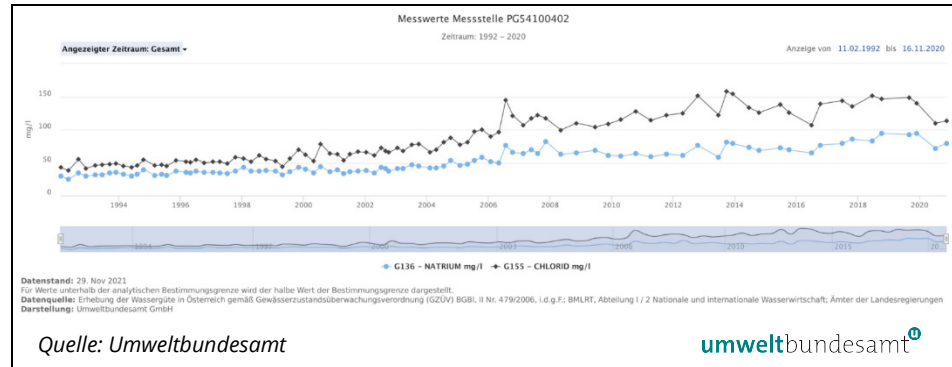
Tabelle 11: Konzentrationsniveau von Messstellen mit signifikant positivem Trend bzw. Messstellen mit hohen Konzentrationen für den Auswertzeitraum 1991 bis 2020 (H2O Fachdatenbank).

GZÜV-ID	Lage Gemeindegebiet	Chlorid MW 91–20 mg/l	Chlorid Median 91–20 mg/l	Chlorid Min 91–20 mg/l	Chlorid Max 91–20 mg/l
PG54100402	innerhalb	84,55	71,05	38,30	158,00
PG54105982	außerhalb	58,12	55,70	19,10	196,00
PG54111372	außerhalb	158,82	114,50	76,00	559,00

Messstelle PG54100402

Die Messstelle PG54100402 zeigt eine Minimumkonzentration von Chlorid von 38,30 mg/l und ein Maximum von 158 mg/l, das im dritten Quartal 2013 gemessen wurde, siehe Abbildung 13.

Abbildung 13:
Konzentrationsverlauf
der Messstelle
PG54100402

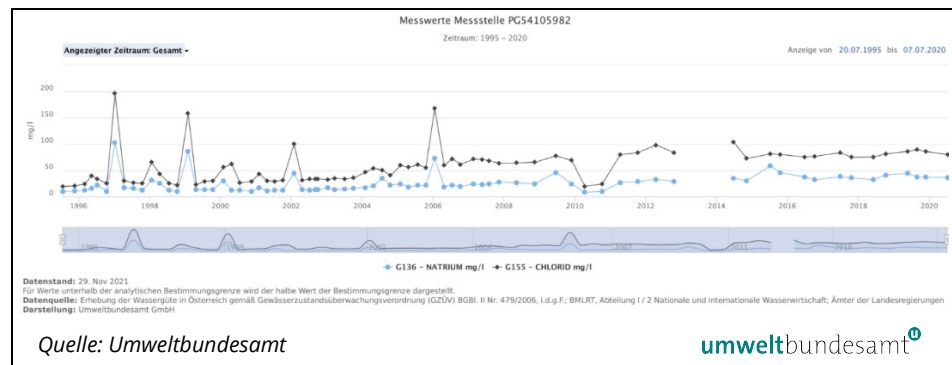


Die im Folgenden angeführten Messstellen liegen zwar außerhalb des Stadtbereiches von Salzburg, aber im Nahbereich des Salztourennetzes des Winterdienstes der Stadt Salzburg.

Messstelle PG54105982

Messstelle PG54105982 liegt mitten in einem Betriebsareal. Der Maximalwert von 196 mg/l wurde im ersten Quartal 1996 gemessen, siehe Abbildung 14. Weitere Konzentrationsspitzen von über 150 mg/l traten noch bis 2006 auf. Die Messstelle wird bereits in GEOHINT mit erhöhten Konzentrationen ausgewiesen. Im SAGIS online sind in diesem Bereich einige Versickerungen verzeichnet.

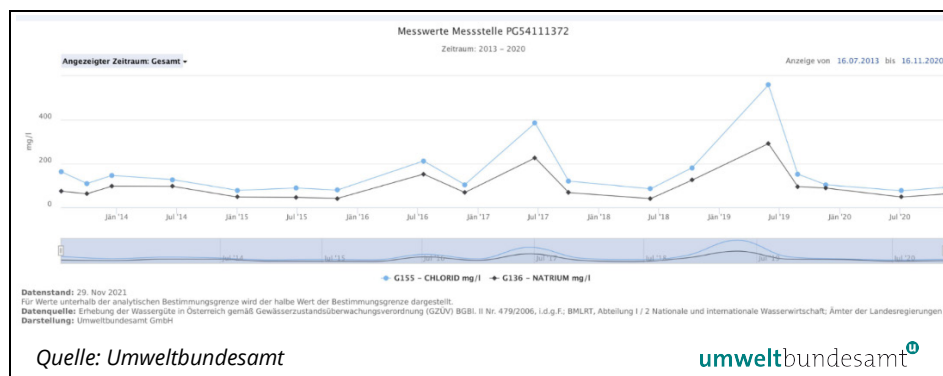
Abbildung 14:
Konzentrationsverlauf
der Messstelle
PG54105982.



Messstelle PG54111372

Aufgrund einer zu kurzen Zeitreihe mit Messwerten konnte die direkt an der Westautobahn gelegene Messstelle PG54111372 nicht in die messstellenbezogene Trendauswertung miteinbezogen werden. Sie zeigt aber hohe Konzentrationen an Chlorid, siehe Abbildung 15, die bereits bei GEOHINT ausgewiesen werden. Der Höchstwert von 599 mg/l Chlorid wurde im zweiten Quartal 2019 gemessen. Auswertungen der GZÜV-Daten für den Beurteilungszeitraum 2016 bis 2018 ergeben eine Gefährdung der Messstelle für den Parameter Chlorid (BMLRT, 2020).

Abbildung 15:
Konzentrationsverlauf
der Messstelle
PG54111372.



8.5.2 Chloridkonzentrationen im Vergleich mit Prüfwerten

Schwellenwerte

Der gute chemische Zustand im Grundwasser wird durch Schwellenwerte, die gemäß § 4 QZV Chemie GW in Anlage 1 festgesetzt sind, festgelegt. Für Chlorid gilt ein Schwellenwert von 180 mg/l und ein Ausgangspunkt für die Trendumkehr von 150 mg/l, siehe Tabelle 12.

Die Beschaffenheit des Grundwassers an einer Messstelle gilt gemäß § 5 (2) QZV Chemie GW hinsichtlich eines Schadstoffes als gefährdet, wenn das arithmetische Mittel der Jahresmittelwerte für den Beurteilungszeitraum von drei Jahren den zugehörigen Schwellenwert überschreitet. Auswertungen dazu werden regelmäßig im Rahmen der Jahresberichte zur Wassergüte in Österreich¹⁰ durchgeführt.

auffällige Messwerte

Innerhalb des Gemeindegebietes von Salzburg liegen im Zeitraum 1991 bis 2020 für zwei Messstellen (PG54100402, PG54100602 (wird auch bei GEOHINT ausgewiesen)) mit je rund 90 Messwerten insgesamt sechs Chloridmessungen > 150 mg/l < 180 mg/l vor. Außerhalb des Gemeindegebietes, aber im Nahbereich der Winterdienst-Salztouren, weisen zwei Messstellen fünf Messwerte > 180 mg/l auf, eine Messstelle davon zwei Werte > 250 mg/l.

Tabelle 12:
Prüfwerte für Chlorid im
Grundwasser.

Richtlinie	Art des Prüfwertes	Richtwert	Anmerkung
QZV Chemie GW i.d.g.F	Schwellenwert	180 mg/l	
QZV Chemie GW i.d.g.F	Ausgangspunkt für Trendumkehr	150 mg/l	Bezieht sich auf den Grundwasserkörper
Trinkwasser-Richtlinie (TW RL)	Indikatorparameter	250 mg/l	Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken
Trinkwasser-ordnung (TWW)	Parameter mit Indikatorfunktion (Indikatorparameter)	200 mg/l	Das Wasser sollte nicht korrosiv wirken

¹⁰ https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/wasserqualitaet/jahresbericht_2016-2018.html

Schwellenwert: Die Umweltqualitätsnorm zur Beschreibung des guten chemischen Zustands im Grundwasser, ausgedrückt als die Konzentration eines bestimmten Schadstoffs, einer bestimmten Schadstoffgruppe oder eines bestimmten Verschmutzungsindikators im Grundwasser, der aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes nicht überschritten werden darf (QZV Chemie GW i.d.g.F.).

Ausgangspunkt für Trendumkehr: Ein signifikanter und anhaltend steigender Trend ist jener Trend für einen Grundwasserkörper hinsichtlich der Konzentrationen für einen Schadstoff gemäß Anlage 1, der vorliegt, wenn der Anstieg statistisch signifikant ist und die Trendlinie den gemäß Anlage 1 Spalte 2 der QZV Chemie GW festgelegten Ausgangspunkt für die Trendumkehr überschreitet (QZV Chemie GW i.d.g.F.).

Indikatorparameter: Werte von Indikatorparametern stellen Konzentrationen an Inhaltsstoffen, Mikroorganismen, Radioaktivität oder Strahlendosen dar, bei deren Überschreitung die Ursache zu prüfen und festzustellen ist, ob bzw. welche Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer einwandfreien Wasserqualität erforderlich sind. Natürliche Gehalte sind, auch wenn sie weit unter dem jeweiligen Wert liegen, vor unerwünschten Veränderungen zu schützen (TWV i.d.g.F.).

8.6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Zur Ermittlung der Auswirkungen des Winterdienstes auf das Grundwasser wurden die von der Stadt Salzburg übermittelten Daten zu Streumengen und Salztouren mit den im Rahmen der GZÜV erhobenen Grundwassermessdaten verschnitten und ausgewertet. Die vorliegenden Studien zu den Auswirkungen des Winterdienstes auf das Grundwasser konzentrieren sich hauptsächlich auf außerurbane Räume und nicht auf den innerstädtischen Bereich.

Um die Ausbringung und die Gewährleistung der Straßensicherheit möglichst effizient umzusetzen, erfolgt eine stetige Adaptierung des Winterdienstes an den Stand der Technik basierend auf den Ergebnissen der Forschungsprojekte. Eine wesentliche Änderung im Winterdienst ist seit etwa 2010 der vermehrte Einsatz von NaCl-Sole. Dies bietet den Vorteil, dass weniger Salzmenge ausgebracht wird, was sich nicht nur positiv auf die Kosten, sondern auch auf die Umwelt auswirken kann.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Eintrag von chloridbelastetem Straßen- und Niederschlagswasser in das Grundwasser überwiegend als räumlich konzentrierter Eintrag über Niederschlagswasserableitungen von außerurbanen befestigten Flächen erfolgt. Zudem geht man davon aus, dass rund 25 % des ausgebrachten Tausalzes als Sprühnebel diffus versickert in das Grundwasser eingetragen wird.

Im innerstädtischen Bereich ist anzunehmen, dass der Großteil der Straßenwasser gefasst und über eine Trenn- oder Mischkanalisation abgeführt wird.

Der Verlauf der Chloridkonzentrationen für den Mittelwert der Gruppe der 13 Messstellen in einer Entfernung bis zu 300 m von den Winterdienst-Salztouren zeigt bis etwa 2006 steigende und seither leicht rückläufige Konzentrationen um die 35 mg/l, wobei kein statistisch signifikanter Trend vorliegt. Jene Gruppe der fünf Messstellen, die innerhalb 50 m des Salztourennetzes liegt, zeigt im Mittel mit rund 80 mg/l Chlorid ein deutlich höheres Konzentrationsniveau als die Gruppe der Messstellen, die zwischen 50 m und 300 m entfernt liegt, mit rund 25 mg/l. Die Prüfung der einzelnen Messstellen zeigt, dass eine der 13 innerstädtischen Messstellen einen signifikant positiven Trend aufweist. Ergänzend wurden Messstellen mit hohen Maximalkonzentrationen geprüft. Von den innerstädtischen Messstellen liegt kein Chloridmesswert über dem Schwellenwert der QZV Chemie GW von 180 mg/l vor. Es ist hervorzuheben, dass für die Auswertungen seit 2009 überwiegend nur jeweils zwei Chloridmessungen pro Jahr (zweites und viertes Quartal) vorliegen.

Die Auswertungen der Verläufe der Chlorid- und der Natriumkonzentrationen zeigen für die Messstellen mit signifikant positivem Trend bzw. mit hohen Einzelkonzentrationen korrelierende Werte. Es wurden keine Ursache-Wirkungsanalysen durchgeführt. Neben dem Winterdienst durch die Stadt Salzburg gibt es auch andere potenzielle Eintragspfade von Chlorid in das Grundwasser.

Damit können folgende Aussagen getroffen werden: Für das gesamte Stadtgebiet ist der Verlauf der mittleren Chloridkonzentration von 13 Messstellen seit 2006 leicht rückläufig (statistisch nicht signifikant) bei einer Konzentration von etwa 35 mg/l Chlorid. Die Gruppe der Messstellen innerhalb 50 m weist ein höheres Niveau auf, wobei auch andere Ursachen als der Winterdienst in Betracht zu ziehen sind.

Es ist anzuraten, bei Messstellen mit signifikant positivem Trend bzw. auffälligen Konzentrationen die Ursache zu klären. In einigen Jahren sollte die weitere Entwicklung der Chloridkonzentration geprüft werden.

Eine Abschätzung der möglichen Änderung der Chloridkonzentration durch hohe Salzeinträge ist auch bei bereits bestehenden Straßennetzen anzuraten. Dafür kann der Leitfaden zur Versickerung chloridbelasteter Straßenabwässer (Atanasoff et al., 2019) herangezogen werden. Dem Winterdienst sollten genaue Daten der Streuung wie auch der infrastrukturellen Gegebenheiten des Straßennetzes und weiterer relevanter Aspekte, wie hydrogeologische Verhältnisse, vorliegen, sodass die möglichen Belastungen gut abgeschätzt werden können. Prioritär sollte das für jene Bereiche umgesetzt werden, die hohe Chloridkonzentrationen zeigen oder einen signifikant positiven Trend aufweisen. Gegebenfalls sollen Maßnahmen hinsichtlich Adaptierung der Salzausbringung und/oder der Ableitung von Straßenabwässern umgesetzt werden.

Die Ausbringung von Splitt und Streusalz unter Gewährleistung der Straßensicherheit ist weiterhin entsprechend dem aktuellen Stand der Technik, basierend auf den in den letzten Jahren zahlreich durchgeführten Forschungsprojekten, umzusetzen.

9 LITERATUR

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2011. *Luftgütemessungen in der Steiermark. Jahresbericht 2010* [online]. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz. Lu-06-2011 [Zugriff am: 29. Oktober 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/11585180/19221910/>
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2012. *Luftgütemessungen in der Steiermark. Jahresbericht 2011* [online]. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz. Lu-05-2012 [Zugriff am: 29. Oktober 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/11754098/19221910/>
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2013. *Luftgütemessungen in der Steiermark. Jahresbericht 2012* [online]. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz. Lu-08-2013 [Zugriff am: 29. Oktober 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/11921526/19221910/>
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2014. *Luftgütemessungen in der Steiermark. Jahresbericht 2013* [online]. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Graz. Lu-06-2014 [Zugriff am: 29. Oktober 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/12102413/19221910/>
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2006. *Winterdienstleitfaden. Wege zur Feinstaubreduktion bei der Straßenstreuung*. Dazu gäbe es auch einen Link: https://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10469604_12709418/1cea7bef/Winterdienstleitfaden.pdf
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2007. *Retentionsfilterbecken L202. Abwasser- und Bodenuntersuchungen*. Verfügbar unter: <https://vorarlberg.at/documents/302033/472447/Retentionsfilterbecken+L202+-+Abwasser-+und+Bodenuntersuchungen.pdf/af494dce-f585-ece1-38df-67b3acd651c4?t=1616163731604>
- ASLAN, S. und E. SIMSEK, 2012. *Influence of salinity on partial nitrification in a submerged biofilter*. *Bioresource Technology*, **118**, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.057>
- ATANASOFF K., M. KÜHNERT, B. LINDNER, W. STUNDNER und Ch. WOLF, 2019. *Leitfaden Versickerung chloridbelasteter Straßenwässer*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1999. Merkblatt Nr. 3.2/1. *Salzstreuung – Auswirkungen auf die Gewässer*
- BEHÖRDE FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT HAMBURG, 2012. *Streusalzmonitoring 2007–12*. Hamburg, Bericht, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg, U21 Bodenschutz/Altlasten; 2012

- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014: *Chlorid. Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna, mit besonderer Berücksichtigung der Biologischen Qualitätselemente im Sinne der EU-WRRL*.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014. *Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. Verfügbar unter:
<https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/Spurenstoffemissionen-aus-Siedlungsgebieten-und-von-Verkehrsflaechen.html>
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2005: *Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2004*. Herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in Zusammenarbeit mit der Umweltbundesamt GmbH.
- BMLRT – Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. *Hydrographisches Jahrbuch*. Verfügbar unter:
<https://wasser.umweltbundesamt.at/hydjb/search/search.xhtml>
- BMLRT – Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2020. *Bemessungsniederschlag 2020*. Verfügbar unter:
<https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/wasser-oesterreich/hydrographie/der-weg-zu-den-daten/bemessungsniederschlag-2020.html>
- BMLRT – Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 2020a. *Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2016–2018*. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien. Verfügbar unter:
https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/wasserqualitaet/jahresbericht_2016-2018.html
- BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2019. *Leitfaden Einleitung chloridbelasteter Straßenabwässer in Fließgewässer*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien. Verfügbar unter:
<https://www.bmk.gv.at/themen/verkehr/strasse/umwelt/studien/chlorid.html>
- BRAUN, Ch., M. KLUTE, Ch. REUTER, S. RUBBERT, 2019. *Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden. Modellberechnungen*. Bericht zum Forschungsprojekt: FE 09.0156/2011/LRB. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Verkehrstechnik Heft V 313. Verfügbar unter: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/start/5/rows/25/sortfield/score/sortorder/desc/searchtype/simple/query/Tausalz/docId/2143>

- BRIELMANN, H., P. LEGERER, G. SCHUBERT, U. WEMHÖNER, R. PHILIPPITSCH, F. HUMER, I. ZIERITZ, T. ROSMANN, C. SCHATNER, A. SCHEIDLER, J. GRATH und E. STADLER, 2018. *Hydrochemie und Hydrogeologie der österreichischen Grundwässer und deren natürliche Metall- und Nährstoffgehalte* (Update Geohint 2018). Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.
- BROD, H.G., (1993). *Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt*. Bericht zum Forschungsprojekt 9.9125. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, V, Verkehrstechnik – 2
- BRUNTHALER, A., 2016: *Auswirkungen straßenabwasserrelevanter Inhaltsstoffe auf das Grundwasser im Autobahnknoten Wels, Oberösterreich*. Diplomarbeit.
- CAIN, N. P., B. HALE, E. BERKALAAR und D. MORIN, 2001. *Review of Effects of NaCl and Other Road Salts on Terrestrial Vegetation in Canada*, Environment Canada
- EAWAG, 2016. *Häufig gestellte Fragen zur Straßensalzung*. BOLLER, M., A. BRYNER. Eawag.
- ECOTECH, 2020. Die Solefibel, Version 1. Verfügbar unter:
https://www.ecotech.at/wp-content/uploads/2020/04/Solefibel_D_2020_web.pdf
- FLESCHE, B., 2020. *Auswirkungen salzhaltiger Straßenabwässer auf die Funktion und den Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen mit dem Belebtschlammverfahren*. Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur. Universität für Bodenkultur, Wien. Verfügbar unter:
https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset_id=21266&property_id=107
- GALK, 2013. *GALK-Straßenbaumliste 2012. Beurteilung von Baumarten für die Verwendung im städtischen Straßenraum*. GALK e.V. – Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz, Arbeitskreis Stadtbäume.
<https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste>
- GEIGER-KAISER, M., P. JÄGER, 2005. *Reinigung von Straßenabwässern. Wirksamkeit von Retentionsfilterbecken zur Reinigung von Straßenabwässern*. Salzburg.
- H2O FACHDATENBANK, *Grundwasserkörper Datenblatt* [online]. [Zugriff am: 22. November 2021]. Verfügbar unter
<https://wasser.umweltbundesamt.at/h2odb/>
- HBEFA, 2019. *Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 4.1 / 10.09.2019*
- HOFFMANN, G., J. DAMES, J. BERGMANN, 1984. *Untersuchungen zum Einsatz von mineralischen Streumitteln beim Straßenwinterdienst in Berlin*. Berlin, 1984.
- HOFFMANN, H., R. BLAB, N. NUTZ, 2012. *Optimierung der Feuchtsalzstreuung* Band **015**. Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds. Verfügbar unter:
https://www.bmk.gv.at/themen/verkehr/strasse/verkehrssicherheit/vsf/forschungsarbeiten/15_feuchtsalzstreuung.html

- KOPPE, P., A. STOZEK, 1998. *Kommunales Abwasser – seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktion im Reinigungsprozeß einschließlich Klärschlämme*. Vulkan-Verlag GmbH
- KRALIK, M., F. WENTER, F. HUMER, J. GRATH, 2011. *Grundwasseralter ausgewählter Grundwasserkörper 2009-2010. Grazer Feld, Jauntal, Leibnitzer Feld, Rheintal, Unteres Salzachtal, Wulkatal*. Im Auftrag des Lebensministeriums, Wien.
- K-UTECH. *Salt Technologies*: Prüfbericht 20-1023-1
- LAND SALZBURG, 2005. *Reinigung von Straßenabwässern. Wirksamkeit von Retentionsbecken zur Reinigung von Straßenoberflächenwässern*. In: Reihe Gewässerschutz, Band **11**, 2005
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser), 1976. *Gewässergefährdung durch Auftausalze*. Bericht der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Wiesbaden, Dezember 1976
- LINDINGER H., Ch. HOLLER, R. NEUNTEUFEL, J. GRATH, H. BRIELMANN, A. SCHÖNBAUER, I. GATTRINGER, Ch. FORMANEK, M. BROER, T. ROSMANN, M. SZERENCSITS, N. SINEMUS, M. GRUNERT und V. GERMANN, 2021. *Wasserschatz Österreichs. Grundlagen für nachhaltige Nutzungen des Grundwassers*. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus
- MÜLLER C., 2014. *Eignungskriterien für auftauende Streumittel im Winterdienst*. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades einer Diplomingenieurin unter der Leitung von Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab und Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko. Institut für Verkehrswissenschaften. Forschungsbereich für Straßenwesen. Eingereicht an der Technischen Universität Wien. Fakultät für Bauingenieurwesen
- NOWOTNY, G., 1999a. *Der Zustand der Salzburger Stadtbäume. Ergebnisse der Untersuchungen 1994 und 1997*. Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 16 – Umweltschutz (Hrsg.: O. GLAESER), 98 pp., 15 Tab., 3 Abb.
- NOWOTNY, G., 1999b. *Braunes Rosskastanienlaub im Sommer – Ursachen und Wirkungen*. Natur-Land Salzburg, 6. Jg., Heft 4: 22–26
- NOWOTNY, G., 1999c. *Streusalz – erlebt ein Schadstoff eine verhängnisvolle Renaissance?* Natur und Land, 85. Jg., Heft 4/5: 26–29
- NOWOTNY, G., 2013. *Stadtbäume in Salzburg (Österreich) 1983–2010, Ergebnisse langjähriger Untersuchungen zu Bestandsveränderungen, Vitalität und Wuchsbedingungen*, Urban trees in the city of Salzburg (Austria) 1983–2010 Results of long-time surveys to inventory changes, vitality and growth conditions, CONTUREC 5 (2013). 67–84
- NOWOTNY, G. M., Ch. EICHBERGER und I. EICHBERGER, 2014. *Der Zustand der Salzburger Stadtbäume, Erhebung 2012*, Gutachten im Auftrag von Stadt und Land Salzburg, Grödig (2014)

- ÖSTERREICHISCHE GESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN, 2012.
Factsheet Salzstreuung. Verfügbar unter: <https://gsv.co.at/wp-content/uploads/FACT%20SHEET%20SALZSTREUUNG%20WEB.pdf>
- ÖWAV, 2007. ÖWAV-Regelblatt 19. *Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen*. Verfügbar unter:
<https://www.oewav.at/Publikationen?current=293771&mode=form>
- ÖWAV, 2019. ÖWAV-Regelblatt 35. *Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächengewässer*. 2. vollständig überarbeitete Auflage
- PFENNINGER P., 2020. *Spezialauswertung Nitrate und Chloride im Grundwasser in und nach den Trockenjahren 2003 und 2018. Grundwasseruntersuchungen im Kanton St. Gallen*. Kanton St. Gallen Baudepartement. Amt für Wasser und Energie
- PILSL, P., Ch. SCHRÖCK, R. KAISER, S. GEWOLF, G. NOWOTNY und O. STÖHR, 2008. *Neophytenflora der Stadt Salzburg (Österreich)*. Dorfbeuern: Just, 2008, 597 pp (Sauteria. 17.)
- QUACK, D., M. MÖLLER, S. GARTISER, 2004. *Ökobilanz des Winterdienstes in den Städten München und Nürnberg*, Stadt München, Endbericht; Öko-Institut e.V. Freiburg; im Auftrag der Stadt München
- REINHALTEVERBAND (RHV) GROSSRAUM SALZBURG, 2020. *Geschäftsbericht 2020*. Verfügbar unter:
https://www.umweltschutzanlagen.at/rhv_geschaeftsberichte
- SALVADÓ, H., M. MAS, S. MENÉNDEZ und P. GRACIA, 2001. *Effects of Shock Loads of Salt on Protozoan Communities of Activated Sludge*. Acta Protozool, 40, 177–185. Verfügbar unter:
https://www.researchgate.net/publication/228558902_Effects_of_shock_loads_of_salt_on_protozoan_communities_of_activated_sludge
- TECHNICAL WORKING GROUP ON PARTICLES, 1997. *Ambient Air Pollution by Particulate Matter. Position Paper* [online]. Technical Working Group on Particles [Zugriff am: 29. Oktober 2021]. Verfügbar unter:
https://ec.europa.eu/environment/archives/air/pdf/pp_pm.pdf
- TU WIEN – Technische Universität Wien, 2006. *Endbericht für das Projekt "AQUELLA" Kärnten/Klagenfurt. Aerosolquellenanalysen für Kärnten PM10 – Filteranalysen nach dem „AQUELLA-Verfahren“*. US-Zahl: 436/1699/04. Technische Universität Wien. Wien
- TU Wien – Technische Universität Wien, 2019. *Endbericht Forschungsprojekt Wirkmodell Streuung, Räumung und Restsalz*. Projektnummer: 786704. Im Auftrag der österr. Bundesländer, ASFINAG und BMVIT
- UMWELTBUNDESAMT, 2000. *Abwasser- und Klärschlammuntersuchungen in der Pilotkläranlage Simmering (EbS)*. Monographien Band **121**, Wien, März 2000

- UMWELTBUNDESAMT, 2003. *Statuserhebung betreffend Überschreitungen des IG-L-Grenzwertes für PM10 an der Messstelle „Klagenfurt-Völkermarkterstraße“ im Jahr 2001. Erstellt im Auftrag des Amtes der Kärntner Landesregierung.* Umweltbundesamt. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT, 2008. *Working material for a guidance document on winter-sanding and -salting. Final report.* Umweltbundesamt. Wien.
- UNTERKÖFLER, J., M. GREGORI, C. KUHN, W. PISTECKY und C. SCHOLLER, 2009 *Auswirkung der Salzstreuung auf Boden und Grundwasser;* In: Schriftenreihe Strassenforschung, Nr. 583
- WEHNER, B., 1960. *Griffigkeitsmessungen auf winterglatten Fahrbahnoberflächen.* Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Neue Folge, Heft **40**, Bad Godesberg, 1960.
- WHO, 2021. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide* [online]. Geneva. ISBN 9789240034228 [Zugriff am: 22. September 2021]. Verfügbar unter: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
- WOLF, C., G. GIULIANI, 2009. *Auftaumittel im Porengrundwasser – Ermittlung von Auftaumittelfrachten und Evaluierung bestehender Rechenansätze im Nahbereich übergeordneter Straßennetze am Beispiel des Grundwasserfeldes im Abstrom der A3 bei Guntramsdorf.* Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 74 pp. Verfügbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:58d860b2-064d-433e-a9a9-db57123c2b3d/studie_auftaumittel.pdf

10 RECHTSNORMEN UND LEITLINIEN

Auftaamittelverordnung 1983: Salzstreuverbot. 9. Ortspolizeiliche Verordnung des Gemeinderates (Auftaamittelverordnung 1983). Gemeinderatsbeschluss vom 21. November 1983 (kundgemacht im Amtsblatt Nr. 22/1983), sowie des Gemeinderatsbeschlusses vom 14. Dezember 1984 (Amtsblatt Nr. 1/1985) in der Fassung der (Aufhebungs-)Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 8. Juni 1984, LGBl. Nr. 48/1984.

Commission Staff Working Paper SEC(2011) 207 final: Establishing guidelines for determination of contributions from the re-suspension of particulates following winter sanding or salting of roads under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe. [Zugriff am: 29. Oktober 2021]. Verfügbar unter:
https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/sec_2011_0207.pdf

EU-Luftqualitätsrichtlinie (Richtlinie 2008/50/EG): Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. ABl. Nr. L 152/1.

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustands von Gewässern.

IG-L – Winterstreuverordnung (BGBl. II Nr. 131/2012): 131. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, betreffend die Kriterien für die Beurteilung, ob eine PM₁₀-Grenzwertüberschreitung auf Aufwirbelung von Partikeln nach Ausbringung von Streusalz oder Streusplitt zurückzuführen ist.

Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L, BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.): Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe.

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers.

Trinkwasserrichtlinie – Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung).

Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV) StF: BGBl. Nr. 186/1996, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 332/2019.

- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser) StF: BGBl. Nr. 210/1996, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 128/2019.
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG) StF: BGBl. II Nr. 99/2010, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 128/2019.
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des Zielzustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer – QZV Chemie OG) StF: BGBl. II Nr. 96/2006, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 128/2019
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser – QZV Chemie GW) StF: BGBl. II Nr. 98/2010, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 248/2019.
- Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG; BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F.): Kundmachung der Bundesregierung vom 8.9.1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird.

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Die Länge der winterdienstlich betreuten Straßen, Geh- und Radwege im Stadtgebiet von Salzburg beläuft sich auf rund 650 km. Für die Betreuung dieses Streckennetzes wurden in den vergangenen zehn Jahren durchschnittlich rund 1.000 t Salz, 2.700 t Splitt und 187.600 l Sole pro Jahr eingesetzt. Um die Auswirkungen des Winterdienstes auf die Umwelt zu bewerten, beauftragten Stadt und Land Salzburg 2021 das Umweltbundesamt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie dienen als Entscheidungsgrundlage für eine ökologisch verträgliche Gestaltung des Winterdienstes in der Landeshauptstadt Salzburg.

Im Rahmen der Studie wurde der Einfluss des Winterdienstes auf die Umweltmedien Luft, Boden und Wasser sowie die Auswirkungen auf die Vegetation untersucht. Daten wurden durch Stadt und Land Salzburg bereitgestellt und durch eine Literaturrecherche ergänzt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Publikationen des Umweltbundesamtes, Wien](#)

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: [REP_826](#)

Autor(en)/Author(s): Paar Monika, Heinfellner Holger, Lenz Katharina, Lindinger Helga, Nagl Christian, Tulipan Monika

Artikel/Article: [ÖKOLOGISCHE GESAMTBILANZ ZUM WINTERDIENST DER STADT SALZBURG 1-79](#)