



Streusalzmonitoring 2007-2011

Bericht



Dezember 2012

Beteiligte Firmen und Personen:

<p>Projektleitung</p> <p>Dr. Thomas Däumling Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Bodenschutzplanung - U 2101</p> <p>Neuenfelder Straße 19 21109 Hamburg</p> <p>Telefon: 040-428.40.2823 Thomas.Daeumling@bsu.hamburg.de</p>	<p>Elisabeth Oechtering Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Amt für Umweltschutz Bodenschutzplanung – U210 -</p> <p>Neuenfelder Straße 19 21109 Hamburg</p> <p>Tel.: 040 42840 2508 elisabeth.oechtering@bsu.hamburg.de</p>
<p>Institut Dr. Meyer-Spasche Boden Pflanze Wasser</p> <p>Am Teeberg 5 29581 Gerdau/Bohlsen</p> <p>Tel.: 05808 605 Fax.: 05808 614 E-Mail: labor@meyer-spasche.de</p>	<p>Institut für Hygiene und Umwelt Boden und Abfalluntersuchungen Dr. Rudolf Lichtfuss HU 4220</p> <p>Marckmannstraße 129b 20539 Hamburg</p>
<p>Gerhard Doobe Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Landschafts- und Grünplanung Stadtbaummanagement – LP24 -</p> <p>Neuenfelder Straße 19 21109 Hamburg</p> <p>Tel.: 040 / 428.40-3930 gerhard.doobe@bsu.hamburg.de</p>	<p>Ing.-Büro Andreas Block-Daniel Sachverständiger für Baumpflege, Baumsanierung und Baumstatik;</p> <p>Riekestr. 19 28359 Bremen</p> <p>Tel. 0421 3784310 Fax. 0421 3784311 www.der-baumfluesterer.de info@block-daniel.de</p>
<p>MSc Biologie/Bodenkunde Arina Maarifat</p> <p>Praktikantin im Referat Bodenschutz der BSU</p>	<p>Institut für Hygiene und Umwelt</p> <p>Mareike Meyer BGV/HU4214 Marckmannstraße 129b 20539 Hamburg</p> <p>Mareike.Meyer@hu.hamburg.de</p>
<p>Grundwasser</p> <p>Dr. Jürgen Domroese Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Amt für Umweltschutz Bodenschutzplanung - U 2111</p> <p>Neuenfelder Straße 19 21109 Hamburg</p> <p>Tel.: 040 42840 5243 Juergen.Domroese@bsu.hamburg.de</p>	<p>Büro Dr. Däumling und Partner Bodenkunde</p> <p>Berliner Straße 1 b 25355 Barmstedt</p> <p>Tel.: 04123 85987 Fax: 04123 85680 E-Mail: Dr.Daeumling@yahoo.de</p>
<p>STADTREINIGUNG HAMBURG Hans Jörg Winkel Region Mitte RM 031 Administration und überregionale Dienste</p> <p>----- Telefon: 040 2576-2114 Telefax: 040 2576-2105 j.winkel@srhh.de</p>	<p>STADTREINIGUNG HAMBURG Thomas Naß Region Mitte Regionalleiter</p> <p>Telefon.: 040 2576-2101 Telefax: 040 2576-2104 t.nass@srhh.de</p>

Inhalt

1. Anlass	- 4 -
1.1 Rechtliche Grundlagen	- 5 -
1.2 Streusalz Eigenschaften	- 9 -
1.3 Streupraxis Stadtreinigung Hamburg	- 9 -
2. Auswirkungen des gestreuten Salzes auf Umwelt und Gesundheit (Literaturlauswertung)	- 11 -
2.1 Terrestrische Ökotoxizität	- 12 -
2.2 Auswirkungen auf Grund-, Oberflächen- und Trinkwasser	- 15 -
2.3 Grund- und Trinkwasser	- 15 -
2.4 Oberflächengewässer	- 16 -
2.5 Auswirkungen auf Böden	- 17 -
2.6 Auswirkungen auf Vegetation des Straßenbegleitgrüns	- 20 -
3. Material und Methoden	- 23 -
3.1 Auswahlkriterien der Untersuchungsstandorte	- 23 -
3.1.1 Standorte mit Altdaten zu Bodenuntersuchungen	- 25 -
3.1.2 Streustufen und Straßenabschnitte der Stadtreinigung Hamburg	- 26 -
3.1.3 Auswahl Hamburger Straßenbaumkataster	- 27 -
3.1.4 Extra-Standorte	- 28 -
3.1.5 Ergebnis der Standortauswahl	- 29 -
3.2 Straßenabschnittsuntersuchungen	- 32 -
3.3 Baumbiologische Schadensbewertung Methodik und Qualitätsanforderungen - 34 -	
3.3.1 Arbeitsgrundlagen	- 34 -
3.3.2 Methodik und Qualitätsanforderungen	- 34 -
3.4 Einzelbaumuntersuchung	- 39 -
3.4.1 Bodenuntersuchung	- 39 -
3.4.2 Blattanalysen	- 39 -
3.5 Bodenkartierung	- 40 -
3.6 Daten von Grundwassermessstellen	- 40 -
4. Ergebnisse	- 42 -
4.1 Klimatische Jahresverläufe	- 42 -
4.1.1 Klimatische Jahresverläufe und Streumengen	- 44 -
4.2 Bodenabschnittsuntersuchungen	- 45 -
4.2.1 Statistische Eckdaten des Gesamtdatensatzes, Streudiagramme, Plausibilitätsprüfungen	- 45 -
4.2.2 Salz-Parameter-Vergleich zwischen den Untersuchungs-Terminen .	- 54 -
4.2.3 Darstellung von Salzparametern einzelner Standorte	- 63 -
4.2.4 Einfluss von Kochsalz auf den pH-Wert von Böden	- 74 -
4.2.5 Schlussbetrachtung und Fazit	- 76 -
4.3 Einzelbaumuntersuchungen	- 78 -
4.3.1 Bodenuntersuchung	- 78 -
4.3.2 Blattanalysen	- 83 -
4.4 Baumbiologische Bewertung	- 88 -
4.4.1 Ergebnisse der visuellen Baumkontrollen	- 88 -
4.4.2 Diskussion und Zusammenfassung	- 92 -
4.5 Stadtbodenkartierung Straßenbegleitgrün	- 94 -
4.6 Daten von Grundwassermessstellen	- 100 -



4.7	Einzelstandortanalyse	- 109 -
4.7.1	ID-1 Gammerweg.....	- 111 -
4.7.2	ID-2, ID-52 Rothenhauschaussee.....	- 113 -
4.7.3	ID-82, ID-35, ID-32 Edmund-Siemers-Allee.....	- 116 -
4.7.4	ID-18 Osdorferweg.....	- 121 -
4.7.5	ID-41 Brackstraße.....	- 123 -
4.7.6	ID-53 An der Sternwarte	- 126 -
4.7.7	ID-5, ID-6, ID-28 und ID-29 Sievekingsallee	- 128 -
4.7.8	ID 69 Curslacker Heerweg	- 131 -
4.7.9	ID-67 Eißendorfer Waldweg, ID-78 Nullprobe.....	- 132 -
4.8	Einzelstandortanalyse Streustufe II	- 134 -
4.8.1	ID-125, ID-115 Marnitzstraße.....	- 134 -
4.8.2	ID-123 Neuer Weg.....	- 136 -
4.8.3	ID-116 Ritterstraße	- 139 -
4.8.3	ID-104, ID-105 Sonnenweg.....	- 142 -
5.	Zusammenfassung.....	- 144 -
5.1	Streupraxis der Stadtreinigung Hamburg	- 144 -
5.2	Witterungsverlauf und Streumengen	- 145 -
5.3	Salzbelastung der Straßenrandböden.....	- 146 -
5.3.1	Bodenproben Einzelbäume.....	- 148 -
5.4	Salzbelastungen in Blättern.....	- 149 -
5.5	Vegetationsschäden an Straßenbäumen	- 152 -
5.6	Grundwassermessstellen	- 156 -
5.7	Bodenbelastungen von Einzelstandorten	- 156 -
6.	Schlussfolgerungen.....	- 159 -
7.	Literatur.....	- 162 -
	Abbildungsverzeichnis.....	- 166 -
II	Anhang I: Standort Handbuch Streusalzmonitoring	- 170 -
III	Anhang II: Dokumentation der Analysendaten	- 170 -

Abkürzungsverzeichnis

CaCl ₂	Calciumchlorid
Cl ⁻	Chlorid
CMA	Ca-Mg-Acetat
DWD	Deutscher Wetterdienst
GMA	Glättemeldeanlagen
HWG	Hamburger Wege Gesetz
MgCl ₂	Magnesiumchlorid
Na ⁺	Natrium
NaCl	Natriumchlorid
PAKs	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
SRH	Stadtreinigung Hamburg

1. Anlass

Aufgabe des kommunalen Winterdienstes ist es, die Verkehrssicherheit von Fußgängern, Rad- und Autofahrern bei Schnee- und Eisglätte zu gewährleisten. Dazu wird in Deutschland seit den 50er Jahren Streusalz als Auftaumittel eingesetzt. Aufgrund des umfangreichen Ausbringens von Streusalz traten vermehrt Schäden an Pflanzen, Fahrzeug-Karosserien und Betonbauwerken auf und es wurden lokal erhöhte Salzgehalte in Grund- und Oberflächenwasser beobachtet. Infolgedessen wurde die Salzstreuung seit den 70er Jahren in den meisten Kommunen stark eingegrenzt und vermehrt abstumpfende Streumittel eingesetzt. Nachdem der ökologische Vorteil dieser Mittel erneut in Frage gestellt wurde, werden in jüngerer Zeit in einigen Gemeinden zur Glättebeseitigung wieder verstärkt chemische Auftaumittel eingesetzt und/oder Nebenstraßen überhaupt nicht gestreut. Aktuell werden neue differenzierte Konzepte des Winterdienstes diskutiert.

Auf Vorschlag der Stadtreinigung Hamburg (SRH) soll die Beschränkung des Tausalzeinsatzes, der in § 28 Abs. 3 Satz 3 Hamburgisches Wegegesetz (HWG) festgelegt ist, aufgegeben werden. Stattdessen sollen generell neue Konzepte des Winterdienstes zur Anwendung kommen. Anlässlich dieses Vorhabens wurden das Amt für Umweltschutz und das Amt für Landes- und Landschaftsplanung der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt in Hamburg beauftragt, die derzeitige Streupraxis der Stadtreinigung Hamburg durch ein Monitoringprogramm zu begleiten und die möglichen Auswirkungen des Streusalzeinsatzes im Winterdienst auf das Straßenbegleitgrün aufzuzeigen.

Das Untersuchungskonzept beinhaltete die Beprobung von ca. 70 sensiblen Standorten aller Hamburger Bezirke. Es wurden Straßenrandböden erfasst und hinsichtlich des Einflusses von Streusalz begutachtet. Für einen Teil der ausgewählten Standorte wurden Vitalitätsuntersuchungen der dort vorhandenen Straßenbäume durchgeführt. Ergänzend wurden an ausgewählten Bäumen Blattanalysen hinsichtlich der Salzgehalte sowie Nährstoffuntersuchungen vorgenommen.

In dem jetzt vorliegenden Untersuchungsbericht werden die Ergebnisse des 5-jährigen Streusalzmonitorings und die festgestellten Auswirkungen des Streusalzeinsatzes auf das Straßenbegleitgrün dargestellt.

1.1 Rechtliche Grundlagen

Während das Hamburgische Wegegesetz (HWG) Tausalz und tausalzhaltige Mittel nur auf Fahrbahnen zulässt, weil die von der SRH eingesetzte Technik einen umweltschonenden Einsatz gewährleistet (vgl. § 28 Abs. 3 S. 3 HWG), dürfen gemäß § 31 Abs. 2 Satz 2 HWG Tausalz und tausalzhaltige Mittel auf Gehwegen nicht verwendet werden. Bei Glätte ist mit abstumpfenden Mitteln, wenn notwendig wiederholt, zu streuen, vgl. § 31 Abs. 2 S. 1 HWG.

In einigen Städten und Kommunen ist die Verwendung von Tausalz bzw. tausalzhaltigen Mitteln auf bestimmten Flächen außerhalb der Fahrbahnen wie z.B. auf Rampen, Treppen sowie Brücken Auf- und Abgängen oder in Extremsituationen wie Blitzeis zugelassen. Der Senat hat vor dem Hintergrund des Winters 2009/2010 diese Regelungen zum Anlass genommen, solche Ausnahmebestimmungen für besondere Gefahrenlagen auch für Hamburg zu prüfen (siehe auch Antwort des Senats auf die Schriftliche Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Hochheim, Bürgerschaftsdrucksache 19/7103 v. 07.09.2010.). Ergebnis dieser Prüfung war jedoch, dass das bisher bestehende Tausalzverbot beibehalten wird.

Trotz des Verbots ist es bereits heute häufige Praxis, Tausalz auf Gehwegen zu verwenden. Der Winter 2009/2010 hat nachweislich zu deutlich höheren Salzgehalten in den Böden geführt. Auffällige Bäume in den Vorjahren sahen nach diesem Winter nochmals deutlich schlechter aus. Eine Legalisierung von Tausalz bzw. tausalzhaltigen Mitteln würde zwar abhängig vom Winterverlauf aber grundsätzlich zu weiter deutlich steigenden Salzfrachten führen.

Mit der Neufassung der Hamburgischen Bauordnung im Jahr 2005 ist das Verbot der Verwendung von Tausalz und tausalzhaltigen Mitteln auf privaten Verkehrsflächen entfallen. Begründung war, dass das Verbot im Rahmen der Fachgesetze geregelt werden müsse. Dementsprechend plant der Senat, das Verbot von Tausalz und tausalzhaltigen Mitteln auf privaten Verkehrsflächen mit der Novellierung des Hamburger Wassergesetzes zu verankern.

**Hamburgisches Wegegesetz (HWG)
in der Fassung vom 22. Januar 1974
zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 15. Februar 2011 (HmbGVBl. S.
73)**

Auszug:

**§ 28
Reinigung und Winterdienst**

(1) Soweit die Reinigung der öffentlichen Wege von Laub, Unrat und sonstigen Verschmutzungen (Wegereinigung) durch dieses Gesetz nicht den Anliegerinnen und Anliegern zugewiesen ist, obliegt sie nach Maßgabe der nachfolgenden Bestimmungen der Stadtreinigung Hamburg (Stadtreinigung). Im Hafengebiet erstreckt sich die Verpflichtung der Stadtreinigung zur Wegereinigung allein auf die Fahrbahnen und Fußgängerüberwege. Im Übrigen tritt im Hafengebiet und auf Neuwerk bei der Wahrnehmung von Aufgaben der Wegereinigung die Trägerin der Wegebaulast an die Stelle der Stadtreinigung. Die Wegereinigung durch die Stadtreinigung oder die Trägerin der Wegebaulast erfolgt, soweit es für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs erforderlich ist und ihre Leistungsfähigkeit nicht überschritten ist.

(2) Soweit die Anliegerinnen und Anlieger nicht zum Winterdienst verpflichtet sind, führt die Stadtreinigung den Winterdienst nach Maßgabe der nachfolgenden Bestimmungen durch. Ausgenommen von der Verpflichtung der Stadtreinigung zum Winterdienst sind die ausschließlich dem Fußgängerverkehr oder dem Fahrradverkehr dienenden Wegeflächen im Hafengebiet und die öffentlichen Wege auf Neuwerk. Dort tritt bei der Wahrnehmung von Aufgaben des Winterdienstes die Trägerin der Wegebaulast an die Stelle der Stadtreinigung.

(3) Bei Schnee- und Eisglätte sollen die öffentlichen Wege, soweit es sich um besonders gefährliche Stellen verkehrswichtiger Wege handelt, von der Stadtreinigung oder der Trägerin der Wegebaulast nach besten Kräften im Rahmen ihrer Leistungsfähigkeit geräumt und gestreut werden. Dabei ist die Erreichbarkeit und Funktionsfähigkeit des öffentlichen Personenverkehrs besonders zu berücksichtigen. Der Einsatz von Tausalz oder tausalzhaltigen Mitteln ist nur auf Fahrbahnen zulässig und dort so gering wie möglich zu halten; auf die Belange des Umweltschutzes ist besondere Rücksicht zu nehmen.

**§ 29
Reinigung durch die Anliegerinnen und Anlieger**

(1) Die Anliegerinnen und Anlieger sind zur Reinigung der dem Fußgängerverkehr und der dem Fahrradverkehr dienenden öffentlichen Wegeflächen in geschlossener Ortslage nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen verpflichtet.

(2) Bei juristischen Personen trifft die Verpflichtung die zur gesetzlichen Vertretung berufenen Personen, bei den Wohnungseigentumsgemeinschaften die nach den §§ 20 und 26 des Wohnungseigentumsgesetzes vom 15. März 1951 (Bundesgesetzblatt I Seiten 175, 209), zuletzt geändert am 5. Oktober 1994 (Bundesgesetzblatt I Seiten 2911, 2926), mit der Verwaltung beauftragten Personen.

(3) ¹ Eine geschlossene Ortslage ist vorhanden, wenn die Grundstücke überwiegend im räumlichen Zusammenhang bebaut sind. ² Einzelne unbebaute Grundstücke, wie Bauplätze, Lagerplätze, Gärten, Grünanlagen, unterbrechen den Zusammenhang nicht.

(4) ¹ Die Pflicht zur Reinigung nach Absatz 1 besteht nicht, soweit Wasserläufe, Bahnkörper mit Ausnahme von Bahnhöfen oder sonstigen Bahnanlagen mit Zu- und Abgangsverkehr, öffentliche Grün- und Erholungsanlagen sowie landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzte, nicht Wohnzwecken dienende Flächen an die zu reinigenden Wegestrecken grenzen. ² Befinden sich derartige Nutzungen an einer Seite des Weges, so entfällt die Reinigungspflicht der Anliegerinnen und Anlieger nur auf dieser.

§ 30

Umfang und Häufigkeit der Reinigung durch die Anliegerinnen und Anlieger

(1) Die Reinigungspflicht nach § 29 umfasst die gesamte, die Anliegereigenschaft der Reinigungsverpflichteten begründende Strecke auf folgenden Wegeflächen:

1. die dem Fußgängerverkehr oder dem Fahrradverkehr dienenden, von der Fahrbahn baulich abgesetzten Wegeanlagen (Gehwege und Fahrradwege) in voller Breite,
2. Fußgängerzonen und Wohnwege bis zur Wegemitte,
3. in verkehrsberuhigten Bereichen, wenn die Seitenbereiche von dem übrigen Straßenraum abgegrenzt sind, bis zu dieser Abgrenzung, anderenfalls bis zu 2m ab der Grundstücksgrenze.

(2) ¹ Die Reinigungspflicht umfasst die Beseitigung von Laub, Unrat und sonstigen Verschmutzungen. ² Der Kehrriech ist aufzunehmen und von den öffentlichen Wegen wegzuschaffen; er darf nicht auf oder in andere Bestandteile der öffentlichen Wege verbracht werden.

(3) Die Reinigungshäufigkeit ist den örtlichen Erfordernissen anzupassen

§ 31

Winterdienst durch die Anliegerinnen und Anlieger

(1) Die Anliegerinnen und Anlieger sind verpflichtet, die Anlagen nach § 30 Absatz 1 mit Ausnahme der ausschließlich dem Fahrradverkehr dienenden Flächen und der in § 29 Absatz 4 aufgeführten Wegestrecken von Eis und Schnee in der für den Fußgängerverkehr erforderlichen Breite, mindestens aber einen 1 m breiten Streifen zu reinigen. Auf Anlagen nach § 30 Absatz 1 Nummern 2 und 3 ist auf jeder Seite des Weges außerhalb der für den ruhenden Verkehr bestimmten Flächen zu reinigen. Bei Eckgrundstücken ist bis an den Fahrbahnrand der kreuzenden oder einmündenden Straße zu reinigen. Bei Grundstücken, vor denen sich ein Fußgängerüberweg oder eine signalisierte Fußgängerfurt befindet, ist ein Streifen bis an den Fahrbahnrand zu reinigen. Treppen sind in voller Breite zu reinigen.

(2) Bei Glätte ist mit abstumpfenden Mitteln, wenn notwendig wiederholt, zu streuen. Tausalz und tausalzhaltige Mittel dürfen nicht verwendet werden. Der Senat kann durch Rechtsverordnung die Verwendung weiterer Streumittel, die sich auf die Wegebenutzerinnen und Wegebenutzer, den Wegekörper oder auf Pflanzen, Boden oder Gewässer schädlich auswirken können, untersagen. Im Hafengebiet kann die Wegeaufsichtsbehörde Ausnahmen von Satz 2 zulassen.

(3) Schnee ist unverzüglich nach Beendigung des Schneefalls zu räumen. Glätte ist sofort nach Eintritt abzustreuen; Eisbildungen, denen nicht ausreichend durch Streuen entgegengewirkt werden kann, sind zu beseitigen. Dauert der Schneefall über 20 Uhr hinaus an oder tritt danach Schneefall, Eis oder Glätte auf, sind die Arbeiten bis 8.30 Uhr des folgenden Tages, an Sonn- und Feiertagen bis 9.30 Uhr, vorzunehmen.

(4) Der Schnee ist auf dem Außenrand der in Absatz 1 genannten Anlagen oder außerhalb der Treppen so anzuhäufen, dass der Verkehr nicht behindert wird. Dabei sind Fußgängerübergänge, Radwege, Haltestellen der öffentlichen Verkehrsmittel sowie Flächen für Abfallbehälter und Sperrmüll am Abfuhrtag in dem erforderlichen Umfang freizuhalten. Vor Hauseingängen, Einfahrten, Schaltschränken sowie an Beleuchtungs- und Lichtsignalmasten darf der Schnee nicht angehäuft werden. Über den für Feuerlöschzwecke bestimmten Unterflurhydranten und an deren rotumrandeten Hinweisschildern im Bereich der Anlagen nach Absatz 1 ist der Schnee so zu beseitigen, dass diese Einrichtungen erkennbar bleiben.

(5) Straßenrinnen sind spätestens bei Eintritt von Tauwetter von Schnee und Eis so freizumachen, dass Schmelzwasser ablaufen kann.

1.2 Streusalz Eigenschaften

Als Streusalze sind Natriumchlorid (NaCl), Magnesiumchlorid (MgCl_2), Calciumchlorid (CaCl_2) und Magnesiumchlorid-Calciumchlorid-Salzmischungen in Gebrauch. Das übliche Streusalz besteht aus Natriumchlorid, auch Steinsalz oder Kochsalz genannt, dem als Rieselhilfe Eisen- oder Kaliumhexacyanoferrat zugesetzt wird. Als natürliche Begleitstoffe kommen unlösliche Bestandteile, z.B. Ton, und andere Salze, z.B. Calciumsulfat bzw. Gips, vor. Natriumchlorid ist das preiswerteste Auftausalz und eignet sich für Temperaturen von -1 °C bis -10 °C , während bei tieferen Temperaturen Magnesium- und Calciumchlorid besser geeignet sind. Dementsprechend ist es das in Deutschland zur Eisfreihaltung von Straßen am häufigsten verwendete Streusalz. Der Durchschnittsbedarf liegt bei ungefähr 1,5 Millionen Tonnen pro Saison, schwankt jedoch je nach Stärke des Winters enorm. Feuchtsalz, das heißt die Verwendung von Calciumchlorid- oder Magnesiumchlorid-Lösungen, haftet im Gegensatz zum Natriumchlorid-Trockensalz besser auf der Straße und besitzt eine höhere Tauwirkung; dadurch ist es bei Glatteis effektiver. Durch das verminderte Verwehen von Feuchtsalz kann sich der Salzverbrauch verringern. Neben den damit verbundenen geringeren Kosten vermindert sich die Salzzufuhr in den Boden, die schädigende Wirkung auf Bäume und Pflanzen sowie auf die korrosionsgefährdeten Bauteile (Brücken, Kraftfahrzeuge). Andererseits bewirkt das besondere Haftvermögen zugleich ein längeres Verweilen auf Karosserien, Brückenbauwerken und Vegetation, so dass speziell im innerstädtischen Bereich vermehrt Kontaktschäden auftreten können. Das Streuen von Feuchtsalz findet bereits seit Jahren eine starke Verbreitung.

1.3 Streupraxis Stadtreinigung Hamburg

Die Aufgaben der Stadtreinigung Hamburg (SRH) im Winterdienst sind in § 28 Abs. 3 Hamburgisches Wegegesetz (HWG) beschrieben (s.o.):

(3) Bei Schnee- und Eisglätte sollen die öffentlichen Wege, soweit es sich um besonders gefährliche Stellen verkehrswichtiger Wege handelt, von der Stadtreinigung oder der Trägerin der Wegebaulast nach besten Kräften im Rahmen ihrer Leistungsfähigkeit geräumt und gestreut werden. Dabei ist die Erreichbarkeit und Funktionsfähigkeit des öffentlichen Personenverkehrs besonders zu berücksichtigen. Der Einsatz von Tausalz oder tausalzhaltigen Mitteln ist nur auf Fahrbahnen zulässig und dort so gering wie möglich zu halten; auf die Belange des Umweltschutzes ist besondere Rücksicht zu nehmen.

Die SRH bearbeitet in diesem Zusammenhang eine Räum- Streustrecke von insgesamt 3300 Kilometern nach Prioritäten in 2 Stufen. Rund 1550 Busbuchten und 12000 Fußgängerüberwege werden gegebenenfalls zeitgleich gesichert. Bei einem Volleinsatz kommen dabei 120 Streufahrzeuge und bis zu 1000 Einsatzkräfte zum

Einsatz. Die Gehwege der Stadt sind grundsätzlich von den Anliegern zu räumen bzw. zu streuen. Seit der Wintersaison 2010/11 wurde die Zuständigkeit der Stadtreinigung auch auf anliegerfreie Gehwege, Bushaltestellen, Zuwege zu S- und U-Bahnhaltestellen sowie wichtige Radwege erweitert.

Die Stadtreinigung Hamburg betreibt seit mehreren Jahren die technische Verbesserung der Streutechnik und hat neben dem Einsatz von FS 30 (FS 30 = Feuchtsalz der Kombination von 70 % NaCl Salz mit 30 % NaCl Lösung bzw. Mg Cl₂ Lösung), durch Investition in Glättemeldeanlagen (GMA) kombiniert mit Wärmebildkameras und modernen Streuautomaten an den Streufahrzeugen, die rechnergestützt punktgenaue bedarfsgerechte Streumengendosierungen vornehmen, den Salzverbrauch pro Einsatz und Quadratmeter reduziert. Das Anpassen der Streudichte an die aktuellen Witterungs- und Straßenverhältnisse ist von großer Bedeutung. Denn, um die gleiche Tauwirkung zu erreichen, ist es notwendig bei niedrigeren Temperaturen mehr Salz zu streuen bzw. umgekehrt. Maßgebend für die richtige Dosierung ist nicht nur die Fahrbahntemperatur, sondern auch die vorherrschende Wetterbedingung und Wetterprognose. Mit Hilfe von Punkt-Termin-Prognosen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für jeden Standort der GMA's werden Glätteprognosen für den gesamten Streustreckenverlauf ermittelt und zur Einsatzplanung benutzt. In einem weiteren Schritt werden dann während der Streufahrt die Salzmen gen ausgehend von der wetterbezogenen pauschalisierten Streustoffmenge durch Wärmebildkameras temperaturabhängig modifiziert (siehe Abbildung 1).

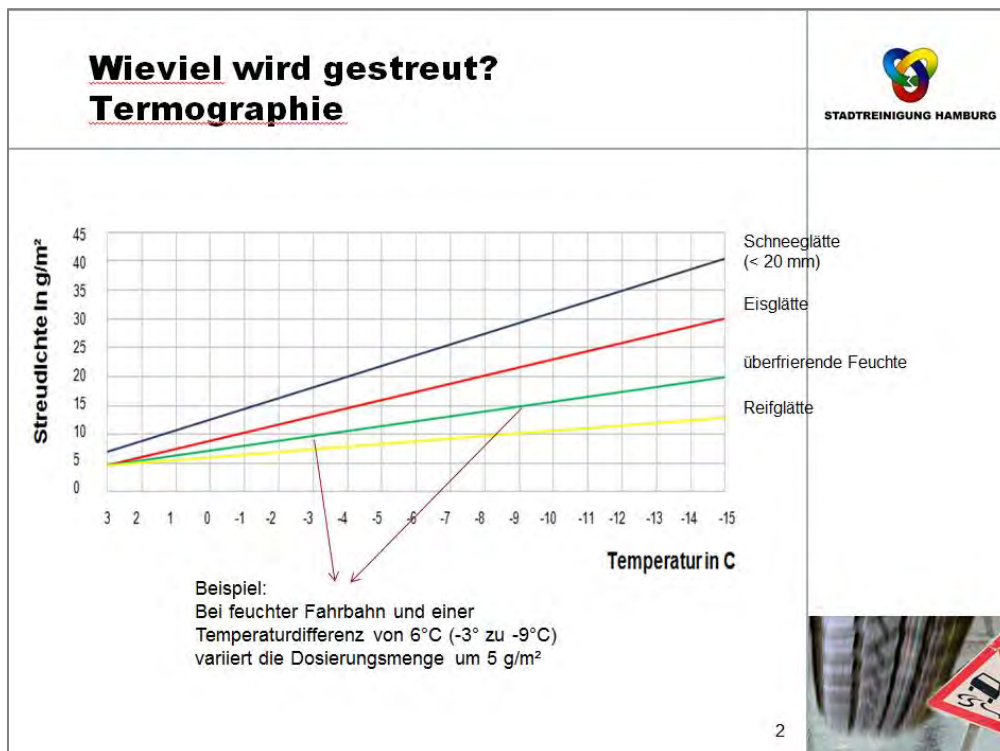


Abbildung 1: Temperaturabhängige Streustoffdosierung (aus NAB, 2010)

2. Auswirkungen des gestreuten Salzes auf Umwelt und Gesundheit (Literaturlauswertung)

Auf die Fahrbahn ausgebrachtes Streusalz bildet ein Gemisch mit Eis und Schnee. Ein Teil des Salzes geht in Lösung und wird mit dem von der Straße abfließenden Schmelzwasser in den Straßenrandbereich befördert, wo es entweder versickert und bis ins Grundwasser gelangt oder über den Vorfluter des Abflusssystems wegtransportiert wird.

Ein anderer Teil des Salzes erreicht über Spritzwasser (sog. "Verkehrsgischt") den Straßenrandbereich. Im innerstädtischen Bereich werden ca. 5 bis 15% – abhängig vom Fahrverhalten der Autofahrer – der ausgebrachten Streumenge mit der Verkehrsgischt als Salz-Aerosole aufgewirbelt und verfrachtet.

Man unterscheidet direkte Kontaktschäden durch Verspritzen der Salzlösung auf die Pflanze durch den Verkehr sowie indirekte Schäden durch Bodenversalzung: Hochkonzentrierte salzhaltige Aerosole können sich auf oberirdischen Pflanzenteilen ablagern und in die Pflanzen eindringen. Das Überangebot an Natrium und Chlorid ruft Ätz- und Verbrennungsschäden hervor. Salzgeschädigte Bäume weisen typische Symptome auf: Späterer Austrieb im Frühjahr, kleinere Blattoberflächen und Nekrosen an Blatträndern und Spitzen, frühere Verfärbung und Laubabfall im Herbst. In Deutschland gehört die Mehrzahl der Straßenbäume zu den besonders streusalzempfindlichen Arten, wie Ahorn, Linde oder Kastanie.

Im Boden kann der Einsatz von Streusalz zur Verschlammung, Verdichtung und Nährstoffauswaschung führen. Dies hat zur Folge, dass die Wasserbeweglichkeit gehemmt und die Durchlüftung verringert wird. Die freigesetzten Nährstoffe werden mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenregionen ausgewaschen und stehen somit den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung.

Gehölze nehmen am Rand von mit Salz gestreuten Straßen und Gehwegen das Tausalz auf und reichern es in ihren Blättern an. Dort wirken die Natrium- und Chlorid-Ionen toxisch auf Membranen und Zellen – salzbelastete Bäume wachsen langsamer. Oft sind ihre Blätter nur sehr klein oder sterben von den Rändern her ab. Im Boden verdrängt das Salz wichtige Pflanzennährstoffe. Außerdem verkrustet die Bodenstruktur, das erschwert die Versorgung der Wurzeln. Darüber hinaus mindert Salz die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen im Boden. Die Bäume werden anfälliger für Infektionen durch Pilze und Bakterien. Bäume im Salzstress treiben später im Frühjahr aus und verlieren zeitiger ihr Laub. Immer mehr Zweige bleiben kahl, der Baum stirbt vom Kronenrand her ab. Besonders sensibel reagieren ausgerechnet die klassischen Alleebaumarten Ahorn, Linde und Kastanie.

Eine dauerhafte Erholung von Boden und Vegetation kann nur durch vollständigen Verzicht auf Auftausalze erreicht werden. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamts haben gezeigt, dass nach mehrjährigem vollständigem Verzicht auf Tausalz im innerstädtischen Bereich sowohl die Schadsymptome als auch die

Chlorid- und Natriumkonzentrationen in Blättern und Zweigholz stark abnehmen. In Hamburg konnten hochbelastete Standorte mit Hilfe eines hier entwickelten Ionenaustauschverfahrens vollständig saniert und die Vitalität der betroffenen Bäume wieder normalisiert werden, sofern erneute Salzfrachten ausblieben.

2.1 Terrestrische Ökotoxizität

Für Natrium in Straßenrandböden gibt es keine verbindlichen Grenz- bzw. Richtwerte, ausgenommen die Richtwerte des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA zitiert in GARTISER ET AL., 2003) für landwirtschaftlich genutzte Böden (BROD 1993, VDLUFA 1999 zitiert in GARTISER ET AL., 2003). Für Chlorid gibt es hingegen keine entsprechenden VDLUFA-Werte. Mit einer erhöhten Salzaufnahme durch die Pflanzenwurzel aus der Bodenlösung und mit sichtbaren Schäden an Gehölzen muss ab Bodengehalten von 600 mg/kg Cl⁻ und 1.200 mg/kg Na⁺ gerechnet werden (Brod 1995). Bodenwerte für Natrium und Chlorid von > 250 mg/kg werden als schädlich für die meisten Baumarten angesehen (HOOTMAN ET AL., 1994). Nach VDLUFA (1991 zitiert in GARTISER ET AL., 2003) liegt der Grenzwert für eine Pflanzenschädigung durch Salz in karbonatfreien Böden bei 2000 mg/kg, in karbonatreichen Böden bei 4000 mg/kg. Die durch Tausalzanwendung bedingte Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit im Boden nimmt mit der Entfernung vom Straßenrand wieder ab, aber mit der Bodentiefe zu. Pflanzenschäden treten ab einem empirischen Wert der elektrischen Leitfähigkeit von 4 mS/cm (bei gleichem Boden:Wasser-Verhältnis) auf. Nach dem US Salinity Laboratory erfahren salzempfindliche Pflanzenarten eine erste Schädigung jedoch schon ab 2 mS/cm, weshalb die Grenze zwischen versalzten und nicht versalzten Böden bei 2 mS/cm gezogen wird (U.S. Salinity Laboratory, Riverside, CA, zitiert in: BROD, 1993).

Sowohl Chlorid als auch Natrium und Calcium gelten als pflanzliche Mikronährstoffe und werden von den Pflanzen in geringen Mengen zum Wachstum benötigt. Die eingesehene Literatur dokumentiert eine große Variationsbreite in der Konzentration von Natrium und Chlorid in verschiedenen Pflanzengeweben. Chlor ist u. a. bei der Osmoregulation und bei der Photosynthese beteiligt. Allgemein werden für Pflanzen folgende Grenzwerte (% Trockengewicht Blätter) genannt, von wo an eine Schädigung einsetzt: 0,5% Chlorid (für immergrüne Koniferen) sowie 0,5-1,5 % Chlorid und 0,1-0,8 % Natrium (für salzempfindliche Pflanzenarten) (BROD, 1993, 1995). In Gehölzen erfolgt eine Anreicherung von Chlor in der Reihenfolge: Blätter > Zweige > Winterknospen > Früchte. Zumindest in Koniferen hat man auch eine natürliche Konzentrationszunahme von Na und Ca in den Nadeln mit Alter und Wachstum festgestellt (VISKARI UND KÄRENLAMPI, 2000).

Das Straßenbegleitgrün hat v. a. innerstädtisch einen hohen ökologischen Wert, weshalb die Phytotoxizität von Tausalzen (Na⁺- und Cl⁻-Ionen) gerade innerörtlich, z. B. auf Gehwegen, kritisch zu betrachten ist. Nach Angaben von RUGE (1972) gilt eine Gesamtmenge von 1 kg/m² NaCl pro Jahr im innerörtlichen Bereich als pflanzenphysiologisch noch akzeptabel. Dieser Wert gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass nicht mehr als 10% des auf die Fahrbahn ausgebrachten Auftausalzes in den Wurzelbereich der Bäume gelangt (RUESS, 1998 zitiert nach GARTISER ET AL., 2003). Dieses sollte im innerörtlichen Bereich auch technisch

einhalten sein (BROD, 1995). Pflanzenschäden erfolgen außerörtlich v. a. durch das Verspritzen von salzhaltigem Schmelzwasser (osmotische bedingte Ätz- und Verbrennungsschäden) und, wie innerörtlich, über den Bodenabfluss.

Natürlich variieren Empfindlichkeit und Toleranz von Gehölzen gegenüber Auftausalzen auch mit dem Einfluss anderer Faktoren, wie Vitalität und Umgebungsbedingung. Gräser und Kräuter gelten allgemein als salztoleranter als Holzgewächse. Die Salztoleranz von Begleitgrün nimmt in folgender Reihenfolge ab: Gräser > Laubbäume > Nadelgehölze. Als relativ wenig gefährdet gelten die Stieleiche (*Quercus robur*), die Robinie (*Robinia pseudoacacia*), die Platane (*Platanus acerifolia*) und die Esche (*Fraxinus excelsior*) (BROD, 1995). Die Salztoleranz ändert sich aber auch im Laufe der Pflanzenentwicklung. Interessanterweise zeigen Untersuchungen außerdem ein Zunehmen salztoleranter Arten auf Straßenrandböden sowie einen Zusammenhang zwischen Schädigungsausmaß und Straßenart (Bundesautobahn > Bundesstraße > Landstraße), Verkehrsgeschwindigkeit (Aufwirbeln von salzhaltigem Spritzwasser), Entfernung zur Fahrbahn und Windrichtung bzw. -stärke (Exposition) (BROD, 1993). Physiologisch besteht die Wirkung von Auftausalzen auf Pflanzen in einer Erhöhung des osmotischen Potentials der Bodenlösung und dadurch bedingt in einer erschwerten Wasseraufnahme. Des Weiteren erfolgt eine Erhöhung der Ionengehalte in den Zellen und des Blatt-Diffusionswiderstandes, was zur Einschränkung von Transpiration, Photosynthese und Stoffproduktion führt, zu einer Störung des Mineralstoffhaushalts durch verstärkte Aufnahme von Na^+ - und Cl^- - Ionen (bis hin zu toxischen Konzentrationen), zu salzinduzierten morphologischen Wirkungen und hormonalen Veränderungen (vorzeitiges Altern) sowie zu einer negativen Beeinflussung der Teilungsaktivität des Kambiums in Straßenbäumen und damit zu einer Abnahme der Jahresringbreite. Natrium blockiert in der Bodenlösung insbesondere die Aufnahme essentieller Nährstoffe, wie Ca, Mg, und K. Bei Straßenbäumen wird auch eine kausale Beziehung zwischen der Bildung von Stresshormonen (wie Abszeinsäure, Prolin) und der Salzbelastung diskutiert. Chlorid stört nicht nur den Wasserhaushalt von Pflanzen, sondern kann auch in jungen Teilen der Wurzel die Aufspaltung von Aminosäuren blockieren (FAITH-ELL, 2000). Ein Chlorid-Überschuss in Bäumen kann die Bildung organischer Säuren hemmen und die Aufnahme essentieller Kationen (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Als einfacher Indikator für eine Baumschädigung kann das K/Cl-Äquivalenzverhältnis in den Blättern herangezogen werden. So kann es z. B. bei einem $\text{K/Cl} < 1$, trotz ausreichender Kaliumversorgung ($\text{K} > 1\%$ Trockengewicht), zu Blattrandnekrosen kommen (siehe BROD 1993, u. a. mit einem 5-stufigen Bewertungsschema für Blattschädigung). Allgemeine Schadsymptome einer NaCl-Anreicherung in Pflanzen reichen von der Hellfärbung der Blätter über chlorotische Blattränder sowie Nekrosen und Blattfall bis zum Absterben von Sprossteilen und Gesamtpflanzen (HOOTMAN ET AL., 1994). In salzgeschädigten Straßenbäumen werden beträchtliche Na^+ - und Cl^- -Anreicherungen beobachtet. Aufgrund einer internen Verlagerung im Holz ist aber oft kein direkter Zusammenhang zwischen winterlicher Streumenge und Salzgehalt und einer dadurch möglicherweise bedingten Baumschädigung erkennbar (BROD, 1993). Aufgrund des Salzkreislaufs innerhalb der Bäume (winterliche Speicherung in Knospen und Zweigen sowie Verlagerung von $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ aus Blättern in die Wurzel und wieder zurück in die Bäume) kann es über Jahre hinweg zu einer stetigen

Salzanreicherung kommen, bis hin zu letalen Konzentrationen. Einer Studie des Umweltbundesamtes (AUGUSTIN, 1981) zufolge geht man davon aus, dass ca. 1% aller registrierten Baumschäden in Deutschland durch das Ausbringen von Tausalzen verursacht werden (ca. 2 Mio. Straßenbäume).

In einer 2-jährigen Feldstudie in Finnland konnte gezeigt werden, dass die Anreicherung von Na^+ und Cl^- in Kiefernadeln sowie sichtbare Verletzungen der Nadeloberfläche (aufgrund salzhaltigen Spritzwassers) nach einer Verringerung der Tausalzanwendung in unmittelbarer Fahrbahnnähe ($< 20\text{-}30\text{ m}$) wieder zurückgingen. Andererseits nahmen die Konzentration von Na^+ und Cl^- in den Nadeln bis in den Mai/Juni hinein zu, obwohl von April an kein Salzeinsatz mehr erfolgte. Auch das Wettergeschehen, so berichten die Autoren, beeinflusste signifikant Salzakkumulation und Schädigung der Nadeln, nicht zuletzt auch aufgrund der mit den Witterungsverhältnissen einhergehenden unterschiedlichen Einsatzmengen. Die Studie kommt zum Ergebnis, dass die Salzaufnahme in Pflanzen überwiegend durch Spritzwasser und über die Blattoberfläche, und weniger über den Wurzelbereich erfolgt. Bei Einsatz von CaCl_2 konnte im Gegensatz zu NaCl keine zusätzliche Anreicherung von Ca^{2+} in den untersuchten Nadeln festgestellt werden (VISKARI UND KÄRENLAMPI, 2000).

Auch eine Studie des Umweltbundesamtes zeigt, dass im innerstädtischen Bereich, nach mehrjährigem Verzicht auf Streusalz, Schadsymptome sowie Na^+ - und Cl^- -Gehalte in Blättern und Zweigen von wenig geschädigten Bäumen wieder zurückgingen (BALDER UND NIERSTE, 1988).

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Durch das Überangebot an Chlorid und Natriumionen kann es zu osmotisch bedingten Ätz- und Verbrennungsschäden an Pflanzengewebe kommen, zu einer Anreicherung von Na^+ und Auswaschung von Nährstoffen im Boden, und damit zu einer verringerten Nährstoffaufnahme. Alkalisierete Böden hemmen schließlich die Bildung von Mykorrhizen, Bäume altern frühzeitig und zeigen einen verspäteten Austrieb, Nekrosen und kleinflächige Blätter. Chlorid hemmt das Pflanzenwachstum, trägt dazu bei, dass Blätter und Nadeln früher welken, abfallen und ganze Pflanzen vorzeitig absterben (ASSMANN, 1999). Ca-Mg-Acetat (CMA) gilt als wenig phytotoxisch. Untersuchungen mit diversen Pflanzenarten (u.a. Sonnenblume *Helianthus balsamina* und Ahorn *Acer rubra*) ergaben bei Konzentrationen um $0,5\text{ g CMA/kg}$ Boden keine negativen Effekte, die meisten Pflanzen tolerieren bis zu 1 g CMA/kg , während 4 g CMA/kg jedoch deutlich phytotoxisch wirken. Auch in Feldstudien wurden durch CMA-Applikation keine nennenswerten negativen Effekte auf terrestrische Systeme, insbesondere auf Struktur und Vegetation von Straßenrandböden beobachtet (HORNER UND BRENNER, 1992). Dennoch ist CMA gegenüber Kochsalz, das im vergleichbaren Konzentrationsbereich phytotoxisch ist, nicht grundsätzlich günstiger zu bewerten. Hinsichtlich der abstumpfenden Streumittel lassen sich keine negative Auswirkungen auf die betroffene Fauna im näheren Straßenumfeld nachweisen. Nur in Kombination mit Tausalzen können abstumpfende Mittel, z. B. auf Gehwegen, für Haustiere gefährlich werden ("Wundlaufen"). Weidendes Vieh, so wird berichtet, meidet meist an Splittstreulflächen angrenzendes Weideland (MORITZ, 1999).

2.2 Auswirkungen auf Grund-, Oberflächen- und Trinkwasser

Allgemeiner Überblick

Die Hauptbelastung von Oberflächen- und Grundwasser mit Chloridsalzen in Deutschland erfolgte jahrzehntelang durch die Ableitung von Reststoffen aus den Kaliminen und von Grubenwasser aus dem Kohlebergbau. Aufgrund des Rückgangs der Kali- und Kohlegewinnung in den letzten Jahren konnte auch eine deutliche Reduktion der Chloridgeamtfracht beobachtet werden. Die wichtigsten in der Landwirtschaft verwendeten Kalidünger enthalten neben Kaliumchlorid auch Kochsalz, so dass die Chloridkonzentration im Grundwasser insbesondere unter landwirtschaftlich genutzten Flächen in der Regel erhöht ist (KÖLLE, 2001).

Allgemein werden mit Tausalz nur jene Gewässer belastet, deren Einzugsgebiet auch direkt von Straßen tangiert wird. Auftausalze gelangen mit dem Straßenabfluss (Schmelzwasser) über das Straßentwässerungssystem (Fahrbahnkanalisation und Sickerwasserleitungen) in Oberflächengewässer (Kläranlage, Flüsse, Seen) bzw. über die Straßenrandzonen und Bodenpassage ins Grundwasser (BROD, 1995). Eine Erhöhung der Natrium- und Chloridkonzentration in Oberflächen- und Grundwasser ist letztlich auch abhängig vom natürlichen Rückhaltevermögen des Bodens und von der Abflussmenge im Einzugsgebiet. Im innerstädtischen Bereich wird der größte Teil des Auftausalzes aus dem Fahrbahnbereich direkt mit dem Schmelzwasser der Kanalisation zugeführt. Nur ein kleinerer Teil gelangt in den Randzonenbereich. Auf Fernstraßen dagegen erfolgt der Salzeintrag in Boden, Grund- und Oberflächenwässern auch über salzhaltiges Spritzwasser. Die Salzkonzentration von Fernstraßenabflüssen kann dabei Werte, in Abhängigkeit von Wetter, Ausbringungsmenge und Größe des Einzugsgebiets, bis zu 1 % NaCl erreichen und damit zu einem entsprechenden Anstieg im Vorfluter (z. B. Fließgewässer) führen. Ad- und Desorptionsvorgänge im Boden können die Verlagerung der durch Streusalz verursachten Salzfrachten verzögern. Doch trotz des starken Verdünnungseffekts beim Abfluss und bei der Bodenpassage, werden v. a. im Frühjahr aufgrund der hohen Schmelzwasserabflüsse deutlich erhöhte Salzkonzentrationen im Vorfluter beobachtet. Aus einer Tausalzapplikation von 2 t/km wurde eine mittlere Salzkonzentration im Straßenabfluss von 6 g/l Cl⁻ abgeleitet (BROD, 1993; TEGETHOF, 1998). Nach einer Berechnung von BROD (1995) würde sich der Chloridgehalt in den Oberflächengewässern durch den Einsatz von Streusalz im Mittel um 4 mg/l erhöhen, wenn der gesamte Jahresverbrauch an Streusalz im gesamten Oberflächenabfluss gelöst würde.

2.3 Grund- und Trinkwasser

Tausalze können mit dem Sickerwasserstrom ins Grundwasser gelangen und sind eine der Ursachen für eine "Aufsalzung" des Grundwassers. Die mittleren Na⁺ und Cl⁻-Gehalte im Grundwasser der Bundesrepublik Deutschland liegen bei 9-21 mg/l bzw. 21-36 mg/l. Bei einem geschätzten mittleren Jahresverbrauch von Tausalz in der BRD von 1,3 Millionen Tonnen (1968-88) und einer jährlichen Ausbringungsrate von 5,2 t Chlor pro Jahr und km², kann mit einer Erhöhung der mittleren Cl⁻Konzentration im Grundwasser um ca. 6 mg/l (entsprechend ca. 10 mg/l NaCl) gerechnet werden, d. h. mit einem Viertel des von der EU-Trinkwasserrichtlinie 88/778/EWG für Chlorid angegebenen Richtwertes für Trinkwasser von 25 mg/l (dieser Richtwert wurde jedoch nicht in die aktuelle EU-Trinkwasserrichtlinie 98/83/EG übernommen zitiert

nach GARTISER ET AL., 2003). Ab einer Chloridkonzentration von 200 - 300 mg/l ergeben sich Probleme für die Trinkwassergewinnung und die landwirtschaftliche Nutzung (siehe Tabelle 11). In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass der Salzgehalt von Grundwasser, das zu Trinkwasserzwecken genutzt wird, nahe einer Bundesautobahn, kurz nach erfolgter Salzstreuung von 20 auf 300 mg/l anstieg (ASSMANN, 1999). In den Begründungen zur Trinkwasserrichtlinie der WHO (1993, 1996) finden sich jedoch keine gesundheitlich begründeten Grenzwerte für Natrium und Chlorid, da ein Zusammenhang mit dem Bluthochdruck nicht belegt werden konnte. Die aufgestellten Richtwerte orientieren sich daher an der Geschmacksgrenze. Obwohl geschätzt wird, dass bis zur Hälfte aller Tausalze in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser gelangen, sind kaum Fälle bekannt, in denen Trinkwasserbrunnen durch Auftausalze beeinträchtigt wurden, da dies zumeist aus Tiefbrunnen gefördert wird (Ausnahme: Harnstoff). Man geht allgemein davon aus, dass die wichtigsten Grundwasserspeicher aufgrund ihrer Volumina und Durchflussraten unempfindlich gegenüber einer möglichen Salzbelastung bleiben. Ein Anstieg der Salzkonzentration im oberflächennahen Grundwasser erfolgt v. a. in Abhängigkeit von der Entfernung zu Fahrbahn und Fließrichtung. Unter bestimmten hydrogeologischen Verhältnissen (hoher Grundwasserstand, Nähe zur Straße, durchlässige Böden, geringe Durchflussrate) ist aber damit zu rechnen, dass selbst tiefere Grundwässer von Auftausalzen beeinflusst werden (BROD, 1993). Die bei der Bodenpassage durch Na^+ verdrängten Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen können lokal zu einem Anstieg der Wasserhärte im Grundwasser führen (TEGETHOF, 1998).

2.4 Oberflächengewässer

Salzhaltige Fahrbahnabwässer gelangen oftmals über Zuflüsse in Seen, wo sie aufgrund ihrer höheren Dichte sich im Tiefenwasser anreichern und eine Dichteschichtung (Chemokline) ausbilden. Diese Schichtung hemmt die saisonale Rezirkulation und Wiederbelüftung/Durchmischung des Wassers und damit die Versorgung mit Sauerstoff, was zu einer erhöhten Mortalität benthischer Organismen führen kann (Anonym 1991, Brod 1995, GOLDMANN UND LUBNOW, 1992). In Deutschland wurde das Beispiel eines Baggersees von rd. 10 ha Größe bekannt, der als Vorfluter für die Autobahntwässerung dient und der aufgrund der eingetragenen Auftausalze eine stabile Schichtung ausbildet. Diese verhindert bzw. verzögert die Durchmischung des Wassers während der Vollzirkulation im Frühjahr und Herbst, mit der Folge, dass das Tiefenwasser über mehrere Monate sauerstofffrei bleibt (HUTTERER, 1995 zitiert nach GARTISER ET AL., 2003).

Im Rahmen der eingesehenen Literatur wurden keinerlei negative Effekte auf die Wasserqualität durch abstumpfende Stoffe natürlicher Herkunft bekannt oder Hinweise auf entsprechende Untersuchungen über deren chemische Wirkung auf die Gewässergüte gefunden. Wiedereingesammeltes Streugut kann jedoch aufgrund der Belastung mit Schwermetallen und Organik aus dem Straßenverkehr nicht direkt wieder verwendet werden, sondern muss deponiert oder einer Reinigungsanlage zugeführt werden. Hierbei werden der Umwelt allerdings auch Schadstoffe des Straßenverkehrs entzogen (KNIRSCH, 2002 zitiert nach GARTISER ET AL., 2003). Inwieweit Recyclingmaterialien wie Schmelzkammergranulate, Hüttensande, Gießereireststoffe und Eisenhüttenschlacken u.a., die im Straßenbau unter

Deckschichten verwendet werden, auch als abstumpfende Streumittel eingesetzt werden (VERKEHRSWESEN 1980, 1991, 1995, 1999, 2000), ist nicht bekannt. Grundsätzlich sind diese Recyclingmaterialien aber aufgrund der Schwermetallgehalte nicht für eine offene Verwendung geeignet.

2.5 Auswirkungen auf Böden

Ein Teil der auftauenden und abstumpfenden Streumittel wird durch den Verkehr über die Fahrbahnrande hinaus durch sogenanntes Spritzwasser auf angrenzende Flächen verfrachtet. Auch durch mechanische Schneeräumung gelangen Streustoffe in den straßennahen Randbereich. Straßenrandböden gehören zu jenen verkehrsnahen Standorten, die am stärksten durch Streumittel beeinflusst werden. Unmittelbar neben der Fahrbahn handelt es sich hierbei meist um künstlich verdichtete, skelett- und kalkreiche Aufschüttungsböden (aus Zement-, Betonresten, karbonathaltigen Stäuben, Geröll, Sand, Kies, und weiteren Baureststoffen). Die Funktion dieser Böden als Lebensraum für Organismen sowie als Wurzelraum geht dadurch weitgehend verloren. Insgesamt zeichnen sich Straßenrandböden durch eine hohe und kleinräumig auftretende Variabilität von Bodenmerkmalen, wie Porenvolumen, Korngröße und Dichte aus, was v. a. bei der Beurteilung von Umwelteinflüssen zu berücksichtigen ist. Durch ihre grobe Struktur und dem hohen Sand- und Skelettanteil findet kaum eine Beeinträchtigung der Wasserbewegung durch Tausalze statt. Die ansonsten in tausalzbelasteten Böden beobachtbare Tondispersierung und die daraus folgende verminderte Strukturstabilität gilt nur bedingt für Straßenrandböden. Bei einer Breite von 9-18 m, nehmen Randstreifen bei 2-spurigen Fahrbahnen immerhin eine Fläche von 2 ha/km ein, bei einer 4-spurigen Fahrbahn 3 bzw. 6 ha/km. Sie bilden oftmals Landschaftsrasen aus Gräsern und Kräutern mit einer Fläche von 2-3 ha/km. Zusammen mit anderen verkehrsbedingten Schadstoffen gelangen Auftausalze mit dem Schmelzwasser oder Spritzwasser (als Aerosol) in den Straßenrandbereich und können dort von Pflanzen entweder direkt über die Blätter oder über Boden und Wurzel aufgenommen werden. Der Wirkungsbereich von Auftausalzen beschränkt sich jedoch i.d.R. auf einen 2-10 m breiten Fahrbahnrandbereich. Nach Abtrocknung der Fahrbahn kann Salzstaub u. U. noch weiter (bis zu 100-200 Meter) transportiert werden. Auf Fernstraßen gelangen etwa 10-15% der ausgebrachten Salze als Salzaerosole in den Straßenrandbereich (TEGETHOF, 1998). Der höchste Eintrag erfolgt durch Oberflächenwasserversickerung in einem Abstand von 0-2 m neben dem Fahrbahnrand, durch Spritzwasser in einem Bereich zwischen 2-10 m, und durch Wind verteilte Stoffe im Abstand von 10-60 m von der Fahrbahn (TEGETHOF, 1998).

Neben natürlichen Bodenparametern ist der Bodensalzgehalt letztlich abhängig von der eingesetzten Tausalzmenge, der Anzahl Fahrspuren sowie der Fläche des Straßenrandbereichs. Insgesamt liegen die Salzgehalte in Straßenrandböden deutlich über denen straßenferner Bodenstandorte und über den nach MEYER-SPASCHE (1988) zitiert in BROD (1993) tolerierbaren Werten, zeigen aber eine große Variationsbreite. Die Verlagerung von Salzen in Böden hängt daher stark von Niederschlagsmenge, Bodendurchlässigkeit und Bodenfeuchte ab. Hohe Niederschläge und Böden mit einer hohen Wassersättigung führen zur vollständigen Auswaschung der eingebrachten Salze. Hingegen kann es in trocken-warmen Perioden durch hohe Evapotranspiration zu einem Konzentrationsanstieg im

Oberboden kommen (BROD, 1993). Tausalze lagern sich in diesen Böden oberflächlich ab oder werden weiter tiefer in den Boden ausgewaschen. Damit einher geht eine zunehmende Verschlammung und Verdichtung des Bodens sowie eine verringerte Bodendurchlüftung und Wasserspeicherung, was zu einer insgesamt erschwerten Wasseraufnahme im Wurzelbereich führt. Durch den Streusalzeinsatz und den vermehrten Eintrag von Na^+ findet v. a. eine Alkalisierung des Bodens statt und damit eine erhöhte Auswaschung von Ca^{2+} und Mg^{2+} . Die damit einhergehende Dispergierung von Bodenpartikeln sowie die verminderte Gesamthydratation führt zu einer Solausflockung von Bodenkolloiden und damit zu einer insgesamt weniger stabilen Bodenstruktur. Übersteigt die Na^+ -Sättigung eines Bodens 15-20% (Sandböden) bzw. 5-10% (tonreiche Böden), dann sind Meliorationsmaßnahmen notwendig, da eine Erhöhung der Na^+ -Sättigung zur Abnahme von Krümelstabilität, Porenvolumen und Plastizitätsgrenze führt (BROD, 1993).

Eine vermehrte Auswaschung von Calcium und Magnesium erfolgt nicht nur durch Natrium, sondern auch durch die mit eingebrachten Chlorid-Ionen und die Bildung leichtlöslicher Chloridkomplexe. Hohe Calcium-Bodenwerte in Fahrbahnnähe können indes teils auch auf vorhandene Zement- bzw. Betonreste im Randboden selbst, teils auch auf normalen Fahrbahnabrieb zurückgeführt werden. Feldversuche haben jedoch gezeigt, dass in Straßenrandböden keine ähnlich starke Auswaschung von Ca und Mg durch Tausalze erfolgt wie in natürlichen Böden. Man geht davon aus, dass pH-Werte $> 8,3$ einen Einfluss von Tausalz (Na-Ionen) im Boden anzeigen. Jedoch kann einerseits ein vermehrter Eintrag von NaCl und CaCl_2 z. B. durch Hydrolyse der Na^+ und Ca^{2+} -Ionen und Dissoziation der gebildeten NaOH und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ den pH-Wert der Bodenlösung anheben, andererseits aber auch zu einer pH-Erniedrigung infolge Desorption von H^+ und Al^{3+} -Ionen durch Na^+ führen. Ein Vergleich mit den pH-Richtwerten nach MEYER-SPASCHE (1988) zeigt, dass neutrale bis alkalische Bodenreaktionen überwiegen und damit eine eingeschränkte Nährstoff- (aber auch Schwermetall-) Verfügbarkeit (Hootman, Kelsey et al. 1994). Gemessen an den Richtwerten für Phosphor und Kalium der VDLUFA-Düngeempfehlungen (nach MEYER-SPASCHE) ist der Versorgungsgrad von Straßenrandböden mit diesen Nährstoffen überwiegend gering (BROD, 1993). Die Auswaschung von Nährstoffen, der Entzug von Wasser im Wurzelbereich sowie eine zusätzliche Behinderung der Nährstoffaufnahme (P, K, N) können zu indirekten Pflanzenschädigungen führen.

Auch der verminderte Gasaustausch zwischen Luft und Boden sowie die verminderte Infiltration von Regenwasser als Folge der Verdichtung und Versiegelung, machen Straßenrandböden insgesamt zu ungünstigen Vegetationsstandorten (BROD, 1993). Salz verändert auch die Verteilung zwischen adsorbierten (ausgefällten) und gelösten Schwermetallen. Eine Auswaschung von gelösten Schwermetallen (zwischen 50-90%) erfolgt bereits mit der ersten Schmelzwasserfracht (NOVOTNY ET AL., 1998). Die Löslichkeit von Schwermetallen im Boden wird durch Austausch-(Natrium) und Komplexierungsvorgänge (Chlorid) unterschiedlich beeinflusst und kann z. B. zur Bildung von leichtlöslichen Cadmium-Chloro-Komplexen führen (BROD, 1993). Dabei gelten Ca^{2+} und Mg^{2+} als stärkere Kationenaustauscher als Na, was insbesondere hinsichtlich der Auslaugung von Cadmium eine Rolle spielen dürfte (AMRHEIN ET AL., 1992). So konnte ein Anstieg der Blei, Cadmium und Zink

Konzentration sowie von suspendiertem Material, CSB und Kohlenwasserstoffen in einem winterlichen Straßenabfluss aufgrund des Einsatzes von chloridhaltigen Tausalzen beobachtet werden (LEGRET UND PAGOTTO, 1999). Obwohl Chlorid-Ionen in Böden allgemein als weniger schädlich als Na-Ionen gelten, vermögen sie doch darin sorbierte Schwermetalle zu mobilisieren (Brod 1993).

Auslaugungsversuche an Böden mit NaCl und Ca-/Mg-Acetat (CMA) zeigten eine verstärkte Schwermetallmobilisierung (Cr, Pb, Ni, Fe, Cd, Cu) mit zunehmendem Salzgehalt aufgrund Ligandenkomplexbildung und Ionenaustausch, insbesondere aber durch die erhöhte Dispersion der organischen Bodensubstanz durch Natrium, und der damit einhergehenden Störung der ursprünglich gewachsenen Bodenstruktur. Im Gegensatz dazu führte ein Eintrag von CMA zu einer besseren Durchlässigkeit der betroffenen Böden. Aufgrund der vergleichsweise geringeren Dispersion organischer Stoffe sowie von Tonpartikeln konnte sogar eine Verbesserung des hydraulischen Leistungsvermögens in diesen Böden beobachtet werden (AMRHEIN ET AL., 1992). Ebenfalls ließ sich zeigen, dass Acetat eine stärkere Ionenpaarbindung mit Schwermetallen eingeht als Chlorid. Die Mobilisierung organischer Verbindungen (v. a. gelöster Humin- und Fulvinsäuren) bei hohen Anteilen austauschbaren Natriums und niedrigem Elektrolytgehalt trug v. a. zu einer vermehrten Auslaugung von Chrom bei. Jedoch blieb die Schwermetallkonzentration in den Auslaugungslösungen deutlich unterhalb der Grenzwerte für Trinkwasser (siehe Tabelle 9). Während die Konzentration von Cadmium, Blei und Chrom in der Bodenlösung gleichfalls unter dem Grenzwert für Süßwasserorganismen (für weiche Wässer) blieb, überschritten 78% der Proben den entsprechenden Wert für Kupfer von 6.5 µg/l. Da jedoch ein Großteil des gelösten Kupfers organisch komplexiert vorlag, konnte insgesamt von einer geringeren Toxizität ausgegangen werden. Es sei jedoch daran erinnert, dass sich das Komplexbildungsvermögen organischer Substanzen auch mit der Bodenart verändert (AMRHEIN, 1992).

Andere Untersuchungen kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Danach vermag CMA nicht mehr Metalle als NaCl einschließlich Eisen, Aluminium, Natrium und Kalium aus Straßenrandböden durch Ionenaustausch (Ca^{2+} , Mg^{2+}) zu extrahieren. Auch konnten keine negativen Auswirkungen auf Bodenstruktur und Kompaktheit festgestellt werden, sondern vielmehr eine Verbesserung von Durchlässigkeit und Produktivität der untersuchten Böden (HORNER UND BRENNER, 1992).

Auch in einer neueren schwedischen Studie wurden erhöhte Schwermetalle (Cd, Pb, Zn) im Boden etwa einen halben Meter vom Fahrbahnrand entfernt sowie in einem Infiltrationsteich gemessen. Die Gehalte überschritten den Richtwert für landwirtschaftlich genutzte Böden im Grundwasserschutzbereich. Erhöhte Gehalte von Cadmium, Zink, Blei, Kupfer und PAKs in Infiltrationsbecken mit zunehmender Tiefe legten dabei einen abwärtsgerichteten Transport dieser Schadstoffe nahe. Der Anteil an austauschbarem Natrium in diesen Böden war ausreichend (21-27%), um eine Dispergierung von Bodenkolloiden zu bewirken. In diesem Zusammenhang muss auch mit einer Auslaugung der in die Fahrbahnrandböden eingebrachten Schwermetalle durch Natrium gerechnet werden. Eine Regressionsanalyse der gewonnenen Bodendaten ergab, dass die gemessenen Na^+ -Konzentrationen ausreichen, um selbst Ca^{2+} von seinen Bodenaustauscherplätzen zu verdrängen. Die

daraus resultierenden Grundwasserwerte lagen gleichfalls über den natürlichen Hintergrundwerten. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass eine Dispergierung von Bodenkolloiden nicht nur die hydraulischen Bodeneigenschaften verändert, sondern auch eine Mobilisierung toxischer Schwermetalle bewirken kann (NORRSTRÖM UND JACKS, 1998).

2.6 Auswirkungen auf Vegetation des Straßenbegleitgrüns

Hohe NaCl-Konzentrationen in der Bodenlösung können zu ausgeprägten Krankheitssymptomen führen. Der Schadensverlauf bei Gehölzen beginnt meist mit einem etwas verspäteten und deutlich kleinflächigen Blattaustrieb. Teilweise sind die Blattflächen auffallend gekräuselt und die Blattränder verkümmern. Es entwickeln sich an Blattspitzen und -rändern Chlorosen, die dann in Nekrosen übergehen und zum Zentrum der Blattspreite hin fortschreiten, bis schließlich das Laub vorzeitig abgeworfen wird (LEH, 1971, 1973, 1977; GLATZEL UND KRAPPENBAUER, 1975). Um den Schädigungsgrad an salzempfindlichen Laub- und Nadelgehölzen festzustellen, werden visuelle Diagnosen (siehe Abbildung 2) als auch Analysen von Elementgehalten in Blättern vorgenommen.

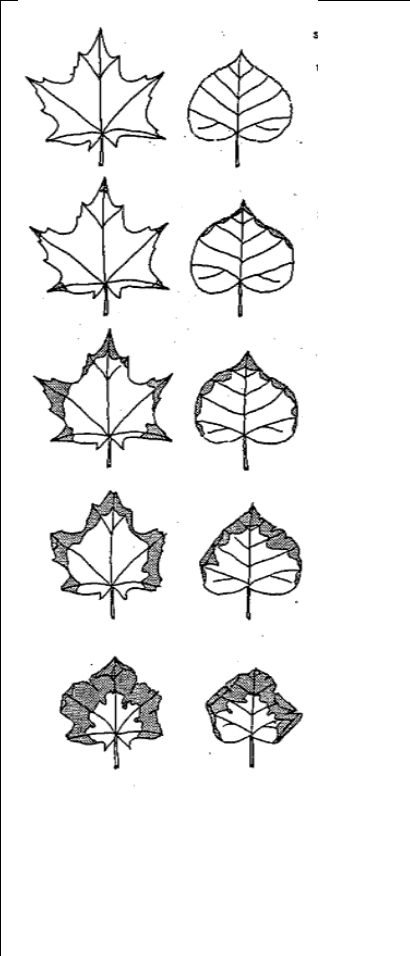
	<ol style="list-style-type: none"> 1. keine sichtbaren Schadmerkmale 2. Geringfügige Blattspitzen und Blattrandnekrosen, weniger als 5 % der Blattfläche abgestorben 3. deutlich sichtbare rotbraune Blattspitzen und Blattrandnekrosen, 5-15 % der Blattfläche abgestorben, Lebendes Blattgewebe noch dunkelgrün 4. 15 bis 50 % der Blattfläche abgestorben. Blattränder eingerissen und Blattspitzen teilweise abgebrochen, lebendes Blattgewebe häufig bronzefarben, überlaufen oder chlorotisch 5. Mehr als 50 % der Blattfläche abgestorben. Nekrotisches Gewebe teilweise erodiert, Blattränder stark eingerissen und umgerollt. Lebendes Gewebe bronzefarbig oder chlorotisch. Linde und Roßkastanie bilden nach Verlust der geschädigten Blätter häufig neue blaßgrüne Blätter aus
<p>(GLATZEL und KRAPPENBAUER 1975)</p>	

Abbildung 2: Beurteilungsschema für die Ansprache des Schädigungsgrades



Schon in ersten Studien zu Straßenbaumschäden 1968 von RUGE UND STACH werden die Krankheitssymptome von Wachstumsverringering, Blattrandnekrosen und vorzeitiger Blattfall auf die Einwirkung von Tausalz zurückgeführt. Als Hauptursache wird der Eintritt der Na- und Cl-Ionen über die Wurzeln angegeben.

Es wurde nachgewiesen, dass sich das über die Wurzeln aufgenommene Chlorid außer in den Blättern auch in den Zweigen und Ästen sowie im lebenden Splintholz anreichert. Dagegen wurde für Natrium keine dem Chlorid äquivalente Aufnahme und nur eine geringe Akkumulation in den Blättern festgestellt (RUGE, 1971). Während zwischen der Chloridkonzentration und dem Schädigungsgrad eine weitgehende Proportionalität nachgewiesen wurde, stellte man bei den Na-Gehalten beim Vorliegen einer leichten bis mittleren Schädigung nur einen geringen Anstieg fest.

LEH (1973, 1977) und BLUM (1974) konnten unter anderem nachweisen, dass bei salzgeschädigten Roßkastanien (*Aesculus hippocastanum*) in den Blättern höhere Chlorid als Natriumgehalte auftreten, die Konzentration dieser Elemente während der Vegetationsperiode Schwankungen unterworfen ist und teilweise bis September ansteigende Gehalte beobachtet werden können und die hohen Na- und Cl-Gehalte nach Blattaustrieb auch durch die Mobilisierung der im Stamm sowie in den Ästen, Zweigen und Knospen gespeicherten Reserven entstehen. Die Untersuchungen an Straßenbäumen in Berlin führten zu ähnlichen Ergebnissen wie in Hamburg. Nicht nur die Cl- sondern auch die Na-Gehalte stiegen gegenüber Vergleichsproben an. Während zwischen der Cl-Konzentration und dem Schädigungsgrad eine weitgehende Proportionalität bestand, stellte man bei den Natriumgehalten beim Vorliegen einer leichten bis mäßigen Schädigung nur einen relativ leichten Anstieg fest. Nach überschreiten einer bestimmten „Schadensschwelle“ nahmen dann die Na-Gehalte fast sprunghaft zu (LEH 1973, 1977). Krankheitssymptome zeigten sich meist ab 1 % Cl in der Trockenmasse.

In einer zusammenfassenden Literaturstudie von BROD (1993) zur Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt (BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN, 1993) werden die Ergebnisse unterschiedlicher Autoren zu Blattgehalten salzgeschädigter Baumarten dargestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Cl- und Na-Gehalte in Blättern von Straßenbäumen einiger Städte

Stadt / Land	Baumart	Probenahme-termin	Na % TM	Cl % TM	Autor
Bayreuth Vergleichswert Bayreuth	Tilia sp.	Okt. 81	0,18 0,02	1,4 0,3	Habermann (1983)
	Tilia cor.	Jun. 84	0,01	0,9	Habermann (1989)
Berlin	Aesculus hip.	Jul. 71	1,3	3,3	Leh (1973, 1975)
	Acer plat.	Aug. 71	0,2	2,1	
	Tilia cor.	Jun. 72	0,6	2,6	
Berlin	Aesculus hip.	Aug. 75	1,0	2,1	Zolg (1979)
	Tilia euchl.	Sep. 75	0,4	1,7	
	Platanus ace.	Jul. 75	0,01	0,3	
Berlin	Acer plat.	Sep. 80	0,1	1,8	Schädel (1981)
	Tilia cor.	Sep. 80	0,5	1,5	
Freiburg	Aesculus hip.	Jul. 74	1,4	2,6	Blum (1974)
Hamburg	Aesculus hip.	Sep. 67	0,6	2,4	Stach (1969)
	Tilia sp.	Sep. 67	0,6	2,4	
Hamburg	Aesculus hip.	Jul. 79	0,8	2,0	Meyer-Spasche (1979)
	Tilia sp.	Jul. 79	0,6	2,4	
Hamburg	Aesculus hip.	Jun. 81	0,8	1,1	Pfeiffer (1985)
	Aesculus hip.	Mai 84	0,5	0,34	
Hannover	Tilia tom.	Okt. 79		3,2	Meyer und Höster (1980)
	Aesculus hip.	Okt. 79		2,6	
	Platanus ace.	Okt. 79		3,2	
Hannover	Tilia cor.	Aug. 86	0,05	0,9	Brod et al. (1990)
	Tilia cor.	Aug. 89	0,09	1,0	
Münster/ Rheine Vergleichswert	Tilia cor.	Mai 72	0,16	1,3	Ernst und Feldmann (1975)
	Tilia cor.	Aug. 72	1,10	2,1	
	Tilia cor.	Aug. 72	0,03	0,5	
Saarlouis	Aesculus hip.	Aug. 75	0,2	1,9	Chrometzka (1979)

(Tabelle aus BROD, 1993)

3. Material und Methoden

3.1 *Auswahlkriterien der Untersuchungsstandorte*

Rahmenbedingungen des Untersuchungsprogrammes:

Es werden vorwiegend Standorte berücksichtigt, für die ‚Altdaten‘ aus zurückliegenden Bodenuntersuchungen der Jahre 1985 bis 2000 und begleitende baumbiologischen Untersuchungen vorliegen.

Die Probenahme bei Bäumen und Böden werden an innerstädtischen Straßen sowie an Straßen des Stadtrandbereiches vorgenommen. Nullproben von Böden ohne Streusalzeinfluss werden in das Untersuchungsprogramm einbezogen.

Die Standorte werden so gewählt, dass zusätzliche Salzfrachten beispielsweise durch Anwohner weitgehend ausgeschlossen werden können. Berücksichtigt werden z.B. die Fußwegsituation, der Abstand der Bäume und der offenen Bodenflächen zur Fahrbahn und Einfahrten sowie vorhandene Bezirksmeldungen zu besonderen Salzschäden an Bäumen.

Abbildung 3 zeigt den Ablauf der Standortauswahl im Überblick.

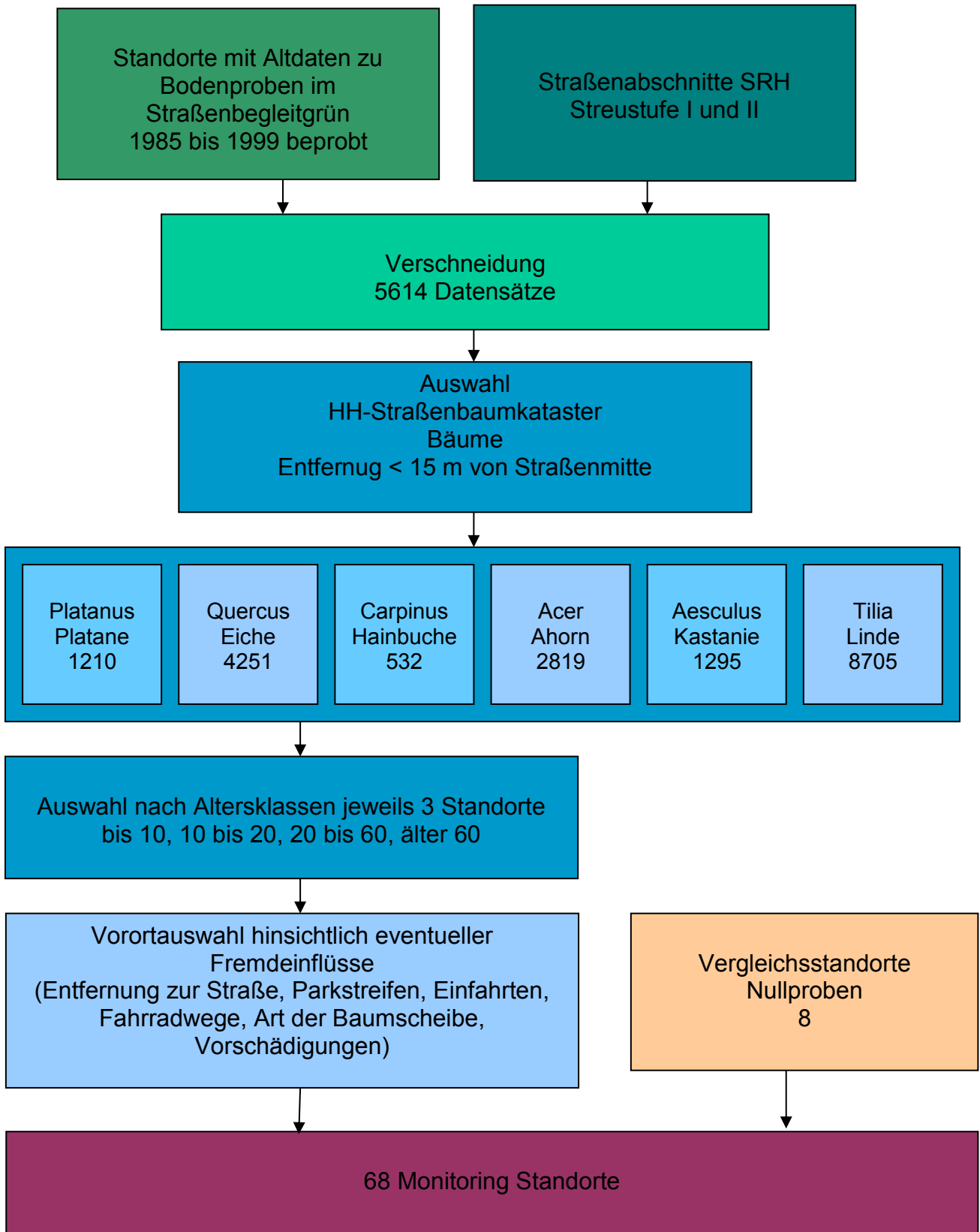


Abbildung 3: Ablaufschema der Standortauswahl

3.1.1 Standorte mit Altdaten zu Bodenuntersuchungen

Für die vorliegende Untersuchung wurden vorwiegend Standorte berücksichtigt, für die Altdaten aus zurückliegenden Bodenuntersuchungen der Jahre 1985 bis 2000 vorliegen. In den Jahren 1985 bis 2000 wurden an 43 Standorten des heutigen Untersuchungsprogramms Untersuchungen zur Streusalzbelastung von Straßenrandböden mit begleitenden baumbiologischen Untersuchungen durchgeführt (Institut Meyer-Spasche, Bohlsen). Die damals gewonnenen Bodenproben wurden als Straßenabschnitts-Mischprobe für eine Untersuchungstiefe von 10-60 cm unter Geländeoberfläche aus den Baumscheiben entnommen.

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
Wert Natrium mg/kg im CaCl ₂ -Extrakt (ICP)	43	16,3	142,0	53,2	35,7

Die damals gemessenen Bodenwerte variierten von 16 bis 142 mg/kg Natrium. Die Chloridwerte variierten von 1 bis maximal 73 mg/kg.

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
Wert Chlorid mg/kg im Cl-Titrimeter	40	1,00	73,00	27,9	19,6

3.1.2 Streustufen und Straßenabschnitte der Stadtreinigung Hamburg

Die Stadtreinigung Hamburg unterscheidet im Hamburger Straßennetz Straßenabschnitte unterschiedlicher Priorität für den Wintereinsatz und ordnet sie drei gestaffelten ‚Streustufen‘ zu. Der Einsatz in der nachgeordneten Streustufe erfolgt erst nach Räumung der prioritären Bereiche wie Hauptverkehrsstraßen und Straßen mit wichtigem Buslinienverkehr.

Übersicht Einsatzstufen, und Streckenlängen im Winterdienst



(aus Naß, 2012)

Zusatzaufgaben ab Winter 2010/11

- Winterdienst
 - auf anliegerfreien Gehwegen, öffentlichen Plätzen, Fußgängerbrücken und Zuwegen zu U-/S-Bahnhöfen
 - auf verkehrswichtigen Fußwegen in Grünanlagen und an Gewässerläufen
 - auf ausgewählten Radwegen
 - an Bushaltestellen (4400 Stück)
- = gesamte Räum-/Streustrecke bis zu 1400 Kilometer

(aus Naß, 2012)

3.1.3 Auswahl Hamburger Straßenbaumkataster

Die Auswahl der zu untersuchenden Standorte stützt sich auf das digitale Straßenbaumkataster. Dabei wurden die nachfolgend genannten Kriterien berücksichtigt:

- Die Straßen der Probenstandorte befinden sich in der Streuzuständigkeit der SRH.
- Es werden vorwiegend Standorte berücksichtigt, für die Altdaten aus zurückliegenden Bodenuntersuchungen der Jahre 1985 bis 2000 und begleitenden baumbiologische Untersuchungen vorliegen.
- Die Probenstandorte sind so zu wählen, dass zusätzliche Salzfrachten beispielsweise durch Anwohner weitgehend ausgeschlossen werden können. Berücksichtigt werden z.B. die Fußwegsituation, der Abstand der Bäume und der offenen Bodenflächen zur Fahrbahn und Einfahrten, aber auch vorhandene Bezirksmeldungen zu besonderen Salzschäden an Bäumen.

Sämtliche Standorte wurden im Anschluss vor Ort verifiziert.

3.1.4 Extra-Standorte

Als Vergleichsstandorte wurden die in Tabelle 2 dargestellten Probenorte in die Untersuchung einbezogen. Hauptkriterium für die Auswahl war eine Entfernung von mindestens 10 Metern vom Straßenrand und kein Einfluss durch Winterdienststreumaßnahmen.

Tabelle 2: Vergleichsstandorte

Monitoring ID	ID-abschni	Straßennahmen	Bezirk	Anhang Seite
68		Gammer Weg Nullprobe	Bergedorf	10
54		An der Sternwarte Nullprobe	Bergedorf	33
72		Thörls Park Nullprobe	Mitte	66
32		Edmund-Siemers-Allee 2. Baumreihe	Eimsbüttel	77
73		Vogt Kölln Straße Nullprobe	Eimsbüttel	84
75		Falkentaler Weg Nullprobe	Altona	149
78		Eißendorfer Waldweg Nullprobe	Harburg	184
115	1050	Marnitzstraße Nullprobe	Bergedorf	276

3.1.5 Ergebnis der Standortauswahl

Insgesamt wurden die in den nachfolgenden Tabellen 3 und 4 nach Streustufenzugehörigkeit differenziert dargestellten 68 Standorte für Bodenabschnittsuntersuchungen ausgewählt. Die Untersuchungsstandorte sind im Anhangband ausführlich dokumentiert. Die 44 Standorte mit Baumabschnittskontrolle sind in Tabelle 6 aufgelistet. Die 30 Standorte mit Einzelbaumanalyse sind in Tabelle 5 benannt.

Tabelle 3: Standorte der Streustufe I

Monitoring ID	ID-abschni	Straßennahmen	Bezirk	Anhang Seite
1		Gammer Weg	Bergedorf	4
68		Gammer Weg Nullprobe	Bergedorf	4
2	871	Rothenhauschaussee	Bergedorf	5
52	875	Rothenhauschaussee	Bergedorf	6
36	1043	Justus-Brinkmann-Straße	Bergedorf	7
53	1041	An der Sternwarte	Bergedorf	8
54		An der Sternwarte Nullprobe	Bergedorf	8
69		Curslacker Heerweg	Bergedorf	9
5	3091	Sievekingsallee	Mitte	10
6	3093	Sievekingsallee	Mitte	11
28	3098	Sievekingsallee	Mitte	12
29	3096	Sievekingsallee	Mitte	13
40	2923	Sievekingdamm	Mitte	14
72		Thörls Park Nullprobe	Mitte	14
66		Gorch-Fock-Wall	Mitte	15
82	213	Edmund-Siemers-Allee	Eimsbüttel	16
35	213	Edmund-Siemers-Allee	Eimsbüttel	16
32		Edmund-Siemers-Allee Nullprobe	Eimsbüttel	16
71		Vogt Kölln Straße	Eimsbüttel	17
73		Vogt Kölln Straße Nullprobe	Eimsbüttel	17
10	2393	Fuhlsbütteler Straße	Nord	18
22	2394	Fuhlsbütteler Straße	Nord	19
34	3468	Langenhorner Chaussee	Nord	20
48	2886	Wiesendamm	Nord	21
59	2888	Wiesendamm	Nord	22
57	1464	Wellingsbütteler Landstraße	Nord	23
11	258	Julius-Leberstraße	Altona	24
18	32	Osdorferweg	Altona	25
30	1946	Am Landpflegeheim	Altona	26
31	286	Rondenbarg	Altona	27
63	2240	Augustenburger Straße	Altona	28
75		Falkentaler Weg Nullprobe	Altona	29
74		Falkentaler Weg Brunnen	Altona	29
76		Ebertallee	Altona	30
77		Ebertallee	Altona	30
62	772	Ruscheweystraße	Wandsbek	31
64		Poppenbütteler Weg	Wandsbek	32
41	45	Brackstraße	Harburg	33
67		Eißendorfer Waldweg	Harburg	34
78		Eißendorfer Waldweg Nullprobe	Harburg	34

Tabelle 4: Standorte der Streustufe II

Monitoring ID	ID-Abschni	Straßennahmen	Bezirk	Anhang Seite
100	1859	Rahlau	Wandsbek	36
102	1860	Rahlau	Wandsbek	37
104	1865	Sonnenweg	Wandsbek	38
105	1865	Sonnenweg	Wandsbek	38
112	3236	Duvenstedter Triftweg	Wandsbek	39
113	3235	Duvenstedter Triftweg	Wandsbek	40
116	457	Ritterstrasse	Wandsbek	41
118	457	Ritterstrasse	Wandsbek	42
119	780	Rümkerstrasse	Nord	43
130	0	Neuberger Weg	Nord	44
121	2799	Parkallee	Eimsbüttel	45
122	3137	Oberstrasse	Eimsbüttel	46
129	0	Hagenbeckstraße	Eimsbüttel	47
109	1613	Marckmannstrasse	Mitte	48
131	0	Hein-Saß-Weg	Mitte	49
127	0	Böttcherkamp	Altona	50
128	0	Böttcherkamp	Altona	50
114	1050	Ernst-Henning-Strasse	Bergedorf	51
115	1050	Marnitzstraße Nullprobe	Bergedorf	52
125	935	Marnitzstrasse	Bergedorf	52
123	1055	Neuer Weg	Bergedorf	53
107	2137	Gannerberg	Harburg	54
108	3246	Weimarer Strasse	Harburg	55
124	841	Schlenzigstrasse	Harburg	56
134		Rostweg	Harburg	57

Tabelle 5: Standorte mit Einzelbaumanalyse

Liste der Standorte mit Einzelbaumbeprobung					
ID	BAUM_ID	BAUMART	WINKEL	RANG	Photo
2	600014113	Tilia vulgaris	0	1	
18	200010540	Tilia vulgaris	0	1	
29	100018035	Tilia vulgaris	180	1	810
30	200006373	Tilia Cordata Gr	90	1	818
31	200016038	Tilia vulgaris	270	2	817
34	400006598	Tilia cordata	270	1	
35	300021188	Tilia vulgaris	300	1	
36	600011063	Acer platanoides	0	1	806
40	100016103	Acer pseudoplatana	270	1	809
41	700027080	Tilia vulgaris	180	1	
41	700027152	Acer platanoides	180	1	
52	600014164	Tilia vulgaris	180	1	
53	600013818	Acer platanoides	270	1	807
57	400033028	Tilia cordata	270	1	831
62	500009851	Acer campestre	270	1	829
82	300022400	Tilia vulgaris	300	1	

Liste der Standorte mit Einzelbaumbeprobung					
ID	BAUM_ID	BAUMART	WINKEL	RANG	Photo
82	300022391	Tilia vulgaris	180	1	
85	200010431	Acer platanoides	90	1	824
86	200010420	Acer platanoides	270	1	822
87	200011902	Acer platanoides	270	1	827
100	500128067	Tilia vulgaris	270	1	816
104	500033967	Tilia vulgaris	270	1	813
105	500033961	Tilia vulgaris	270	1	814
109	100013627	Tilia vulgaris	0	1	833
115		Nullprobe			0
116	500001670	Tilia vulgaris	110	1	116
118	500001818	Tilia vulgaris	90	1	811
123	600007686	Acer pseudoplatana	270	2	809
125	600005765	Tilia vulgaris	90	1	
134	700041448	Acer Pseudoplatana	0	2	

Tabelle 6: Standorte mit terrestrischer Baumvitalitätskontrolle

Bezirk	Monitoring-ID	Straße	Gesamtanzahl ab 2007/2008	Davon Linde	Davon Ahorn
Mitte	28	Sievekingsallee	18	18	0
Mitte	29	Sievekingsallee	12	12	0
Mitte	40	Sievekingdamm	22	0	22
Mitte	109	Marckmannstrasse	7	7	0
Mitte	131	Hein-Saß-weg	9	9	0
Altona	0	Ebertallee	4	0	4
Altona	18	Osdorferweg	11	11	0
Altona	30	Am Landpflegeheim	19	19	0
Altona	31	Rondenbarg	4	4	0
Altona	76	Ebertallee Süd-West	23	18	5
Altona	77	Ebertalle Süd-Ost	32	1	31
Altona	85	Ebertallee Mitte-Süd	10	0	10
Altona	86	Ebertalle Mitte-Nord	20	0	20
Altona	87	Ebertallee Nord	52	0	52
Eimsbüttel	32	Edmund-Siemers-Allee	10	10	0
Eimsbüttel	35	Edmund-Siemers-Allee	15	15	0
Eimsbüttel	82	Edmund-Siemers-Allee	30	30	0
Eimsbüttel	129	Hagenbeckstrasse	28	27	1
Nord	34	Langenhorner Chaussee	15	15	0
Nord	57	Wellingsbütteler Landstrasse	4	4	0
Wandsbek	62	Ruscheweystrasse	9	0	9
Wandsbek	64	Poppenbütteler Weg	26	0	26
Wandsbek	100	Rahlau	13	13	0
Wandsbek	102	Rahlau	24	24	0
Wandsbek	104	Sonnenweg	10	10	0
Wandsbek	105	Sonnenweg	5	5	0

Bezirk	Monitoring-ID	Straße	Gesamtanzahl ab 2007/2008	Davon Linde	Davon Ahorn
Wandsbek	112	Duvenstedter Triftweg	27	27	0
Wandsbek	113	Duvenstedter Triftweg	10	10	0
Wandsbek	116	Ritterstrasse	9	9	0
Wandsbek	118	Ritterstrasse	8	8	0
Bergedorf	1	Gammerweg	47	47	0
Bergedorf	2	Rothenhauschaussee	13	12	1
Bergedorf	52	Rothenhauschaussee	5	5	0
Bergedorf	36	Justus-Brinkmann-Strasse	54	54	0
Bergedorf	53	An der Sternwarte	4	0	4
Bergedorf	123	Neuer Weg	25	16	9
Bergedorf	125	Marnitzstrasse	28	28	0
Harburg	41	Brackstrasse	25	20	5
Harburg	107	Gannerberg	14	6	8
Harburg	108	Weimarer Strasse	16	1	15
Harburg	134	Rostweg	14	14	0
Gesamt Anzahl		41	732	509	223

3.2 Straßenabschnittsuntersuchungen

Untersuchungszeitraum und Probenahme (PN)

Der 5-jährige Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Herbst 2006 bis Frühjahr 2011. Untersucht wurden die Böden an 61 straßennahen, von Streusalz beeinflussten Standorten sowie 7 „Null“-Standorten. An insgesamt 10 PN-Terminen, und zwar jeweils vor und nach der Streusalz-Saison, wurden an diesen Standorten Oberboden-Mischproben aus jeweils 2 Horizonten (0-30 cm, 30-60 cm) entnommen.

Die Proben wurden im Institut für Hygiene und Umwelt (HU4) untersucht.

Parameter und Labormethoden

Die eingelieferten Bodenproben wurden bei 30°C getrocknet und anschließend auf kleiner 2 mm abgesiebt.

Bestimmung verschiedener Salz-Parameter im 2:1-Eluat nach DIN EN 12457 sowie im Ammoniumnitratextrakt nach DIN 19730.

- Parameter im 2:1-Eluat Na, K, Ca, Mg, Chlorid und Sulfat sowie elektr. Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) und pH-Wert
- Parameter im Ammoniumnitratextrakt Na, K, Ca, Mg, Chlorid und Sulfat.

Die Elementanalytik wurde mit ICP-OES durchgeführt, wobei die Sulfat-Gehalte rechnerisch aus den Schwefel-Gehalten bestimmt wurden. Die Angabe der Ergebnisse der Elementanalytik bezogen auf die Fraktion < 2 mm des Feststoffes erfolgt in mg/kg TM.

Die für die Parameter-Kennzeichnung verwendeten Indizes „ef“ und „a“ stehen für das feststoffbezogene 2:1-Eluat bzw. für den Ammoniumnitratextrakt: z.B. Na_ef (mg/kg TM) und Na_a (mg/kg TM).

Aus den Analysendaten (nur Werte > Bestimmungsgrenze) und den Äquivalentgewichten berechnete Parameter:

- Eq_Kat (meq/kg TM) = Summe der Kationen-Äquivalente im 2:1-Eluat
- Eq_An (meq/kg TM) = Summe der Anionen-Äquivalente im 2:1-Eluat ¹
- Na_ads = Na_a - Na_ef = an der Matrix „adsorbiertes“ Natrium (grob geschätzt).

Statistische Auswertung

Die rechnerische und statistische Auswertung der Analysendaten erfolgte mit IBM SPSS Statistics V 15.

Außer bei der Berechnung von Perzentilen und Häufigkeiten wurden nur Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze verrechnet. Sämtliche Berechnungen wurden ohne irgendeine Gewichtung der Daten bezüglich ihrer Flächenrepräsentanz durchgeführt.²

Zum Nachweis von signifikanten Unterschieden von Mittelwerten wurde der „t-Test bei unabhängigen Stichproben“ (t-Test bei zwei Stichproben) verwendet und wie folgt bewertet:

t-Test einseitig; F-Test-Grenzwert für Varianzgleichheit: p < 0,1		
****	Signifikanz Niveau > 99,9 %	sehr hoch signifikant
***	Signifikanz Niveau > 99 %	hoch signifikant
**	Signifikanz Niveau > 95%	signifikant
*	Signifikanz Niveau > 90 %	schwach signifikant
--	Signifikanz Niveau < 90 %	nicht signifikant

Speziell beim Vergleich von Mittelwerten zwischen verschiedenen Terminen wäre es auch sinnvoll, den „t-Test bei gepaarten Stichproben“ (t-Test für abhängige Variablen) anzuwenden, da an den verschiedenen Terminen stets dieselben Objekte (Standorte) untersucht wurden. Mit dem paarweisen t-Test werden bei derartigen Erhebungsuntersuchungen oft eher etwas höhere Signifikanz Niveaus errechnet als mit dem t-Test bei unabhängigen Stichproben. Da hierfür jedoch eine aufwendige Umstrukturierung des Datensatzes erforderlich wäre, wurde auf diesen Test verzichtet. Der t-Test wurde Ausreißer-bereinigt durchgeführt. Vor der Mittelwertbildung wurde deshalb für jeden Parameter ein Ausreißertest nach Grubbs durchgeführt, und die Extremwerte wurden eliminiert.

¹ Eq_Kat = Na_ef/28 + Ca_ef*2/40 + Mg_ef*2/24 + K_ef/39

Eq_An = Cl_ef/35 + SO4_ef*2/96

² D.h. z.B., dass ein arithmetischer Mittelwert eines Stoffgehaltes über alle Proben lediglich eine Aussage zur mittleren Zusammensetzung der untersuchten Proben zulässt, hieraus jedoch nicht ein allgemeiner mittlerer Stoffgehalt Hamburger Straßenrandböden abgeleitet werden kann.



Plausibilitätsprüfung

Im Rahmen der Prüfung der Daten wurden u.a. graphische Darstellungen der Ergebnisse als Streudiagramme herangezogen (s. z.B. Abb. 1-4). Insgesamt 42 der 1341 Bodenproben wurden hierbei als auffällig eingestuft und wiederholt untersucht; die Ergebnisse der Wiederholungsanalysen wurden nach erneuter Prüfung ggf. in die Datensätze im LIMS (Laborinformationssystem) von HU42 übernommen. Bei 31 dieser 42 Proben wurden die Erstanalysenergebnisse im LIMS durch die Zweitergebnisse ersetzt. Bei 11 Proben konnten die Erstergebnisse dagegen bestätigt werden. Für diese 11 Proben gibt es im LIMS deshalb doppelte Datensätze. Für die statistische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse dieser 11 Proben wurde dagegen jeweils nur ein Wert verwendet, und zwar der der Erstanalyse.

3.3 Baumbiologische Schadensbewertung Methodik und Qualitätsanforderungen

3.3.1 Arbeitsgrundlagen

Als Arbeitsgrundlage dient das digitale Baumkataster Hamburg der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. Darin sind rd. 245.000 Straßenbäume und die den Bäumen zugeordneten Ergebnisse der vorgeschriebenen, regelmäßigen Baumkontrollen erfasst.

3.3.2 Methodik und Qualitätsanforderungen

Die Standorte wurden unter Berücksichtigung der Lage, Streustufe und vorhandenen Baumarten klassifiziert.

Alle Standortkollektive mit Schwerpunkt Linde – *Tilia spec.* – und Ahorn – *Acer spec.* – wurden herausgefiltert.

Alle diesbezüglichen Standorte wurden vor Ort auf Möglichkeiten der Baumansprache sowie Beprobungsmöglichkeit / Bodenproben visuell überprüft. Dafür standen folgende Parameter zur Verfügung:

Standortbeschreibung

- Keine Baumscheibe
- Baumscheibe < 6 m²
- Baumscheibe > 6 m²
- Durchgehender Grünstreifen,
- Hochbord,
- Tiefbord,
- Abstand zu Fahrbahn unmittelbar,
- Abstand zu Fahrbahn durch Parkstreifen / Radweg getrennt,

- Eintrag einseitig,
- Eintrag beidseitig

Nach der Einführungsphase in 2007 wurden ab 2008 die folgenden Untersuchungen in festgelegten Zeiträumen durchgeführt:

Wuchsleistung in Abhängigkeit vom Alter

- Altersstufen:
Bis 10 Jahre
Bis 20 Jahre
Bis 60 Jahre
über 60 Jahre

- Stammumfang
- Kronendurchmesser

Zeitpunkt/-raum des Blattaustriebs
in 5% Stufen

Zeitpunkt/-raum der Blattvergilbung
in 5% Stufen

Zeitpunkt/-raum zum Johannistrieb
In 5% Stufen

Zeitpunkt/-raum des Blattfalls
in 5% Stufen

Blatt- und Blattrandnekrosen

- Keine Blattrandnekrosen,
Blattmasse 0%
- Geringe Blattrandnekrosen,
Blattmasse bis 25%
- Mittlere Blattrandnekrosen,
Blattmasse bis 50%
- Starke Blattrandnekrosen,
Blattmasse über 50%
- Einseitig,
- Partiell,
- Untere Kronenbereiche,
- Obere Kronenbereiche,
- Ganze Krone,

Ablöseverhalten der Blätter – Vergilbung /
Blattfall

Rindenbild

Totholzbildung – auch und besonders im
Feinstbereich; Triebsterben



Bei der Baumannsprache wurde bei dem Blattaustrieb die gutachterlich anzunehmende potenzielle Gesamtblattzahl nach Austrieb als 100% gesetzt. Die hiervon abweichende, vorhandene Blattmasse wurde eingeschätzt.

Bei der Baumansprache wurde bei der Nekrosenbildung der Blätter die vorhandene Schädigung im Verhältnis zur Gesamtblattmasse eingeschätzt.

Bei der Baumansprache wurde bei der Vergilbung und dem Blattfall die gutachterlich anzunehmende potenzielle Gesamtblattzahl als 100 % gesetzt. Der jeweilige Anteil an Vergilbung bzw. Blattfall bezieht sich auf diese 100 %.

In den jährlichen Auflistungen sind die Ergebnisse der 4 Kontrollintervalle in einem Tabellenblatt zusammengefasst. Der Anteil des Blattaustriebs bezieht sich somit auf den ersten Kontrollzyklus eines Durchgangs.

Die ggf. vorhandenen Streusalzauffälligkeiten aus den anderen drei Kontrolldurchgängen akkumulieren sich in der letzten und wichtigsten Baumansprache zum Zeitpunkt des Blattfalls. Sollten in diesen Auflistungen bereits ein Blattfall zu 100 % festgestellt worden sein, so resultieren die mit hoher Sicherheit aus den ggf. vorhandenen visuell erkennbaren Streusalzschäden der Durchgänge Johannistrieb bzw. August.

Die Linden sind in den Auflistungen in Schwarz gedruckt, die Ahorn in Rot. Die gefälltten Bäume sind in den Auflistungen weiterhin vorhanden: durchgestrichen und in Blau markiert.

Im Text ist auch noch eine Tabelle „2011_Zuwachs“ vorhanden, aus der die Stammumfangzuwächse sowie ggf. Kronendurchmesserzuwächse abgelesen werden können.

Die Stammumfänge wurden bei Beginn der Kontrollen im Herbst 2007 bzw. Frühjahr 2008 in 1m Höhe gemessen und zum Ende der Kontrollen im Herbst 2011. Sie spiegeln somit einen Zeitraum von 4 Jahren wieder.

In 2007 wurden insgesamt 927 Bäume (590 Linden und 337 Ahorn) an insgesamt 63 Standorten angesprochen.

Alle Bäume wurden – je nach lokaler Möglichkeit – kontinuierlich fotografiert.

Ende 2007 wurden diese Standorte samt Baumauswahl beginnend ab 2008 auf 732 Bäume der Gattungen Acer (Ahorn – 289 Bäume) und Tilia (Linde – 443 Bäume) an 41 Standorten verifiziert.

Die nachfolgenden Standorte wurden nach der Verifizierung aufgrund bspw. zu kleiner Kollektive, vorhandene oder anstehende, umfassenden Tiefbauarbeiten, zu erwartender, hoher Streusalzeinträge über die Fußwege, wegen einer auffallend hohen Anzahl von Grundstückszufahrten etc. nicht mehr berücksichtigt:

BEZIRK	Standort	ID_ABSCHNI	Gesamtanzahl	davon Linde	davon Ahorn
1 - Mitte	Wriedestraße	827	8	8	0
1 - Mitte	Holstenwall	817	9	1	8
3 - Eimsbüttel	Holsteiner Chaussee	2062	21	21	0
3 - Eimsbüttel	Holsteiner Chaussee	2068	14	14	0
3 - Eimsbüttel	Holsteiner Chaussee	2073	16	16	0
3 - Eimsbüttel	Doormannsweg	2082	24	6	18
3 - Eimsbüttel	Fruchtallee	2080	4	1	3
3 - Eimsbüttel	Gustav-Falke-Straße	3743	23	0	23
3 - Eimsbüttel	Mittelweg	922	19	19	0
3 - Eimsbüttel	Innocentia Strasse	n. v.	11	0	11
4 - Nord	Heilwigstraße	800	19	3	16
4 - Nord	Andreasstraße	2457	2	1	1
4 - Nord	Herbert-Weichmann-Straße	2450	1	1	0
4 - Nord	Mundsburger Damm	2400	9	7	2
4 - Nord	Kleekamp	1811	3	3	0
4 - Nord	Tangstedter Landstraße	1471	9	4	5
4 - Nord	Fuhlsbüttler Straße	2399	17	17	0
4 - Nord	Fuhlsbüttler Straße	2391	4	4	0
4 - Nord	Bramfelder Straße	1621	3	2	1
4 - Nord	Alter Teichweg	785	13	13	0
5 - Wandsbek	Eilbektal	1206	12	8	4
5 - Wandsbek	Fabricsiusstraße	1211	25	25	0
5 - Wandsbek	Tegelsbarg	768	1	0	1
5 - Wandsbek	Tonndorfer Hauptstraße	1230	17	16	1
5 - Wandsbek	Bredenbekstraße	3218	19	19	0
6 - Bergedorf	Reinbeker Redder	932	2	0	2
7 - Harburg	Vogelhüttendeich	1318	18	5	13

Die folgenden Standorte wurden dauerhaft berücksichtigt:

Bezirk	Standort	Kolektiv-Nr.	Gesamtbaumanzahl 2007	davon Linde	Ahorn
1 - Mitte	Sievekingsallee	ID 28	18	18	
1 - Mitte	Sievekingsallee	ID 29	12	12	
1 - Mitte	Sievekingdamm	ID 40	22		22
1 - Mitte	Markmannstrasse	ID 109	7	7	
1 - Mitte	Hein-Saß-Weg	ID 131	9	9	
2 - Altona	Ebert-Allee	ID 0	4		4
2 - Altona	Osdorfer Weg	ID 18	11	11	
2 - Altona	Am Landpflegeheim	ID 30	19	19	
2 - Altona	Rondenbarg	ID 31	4	4	

2 - Altona	Ebert-Allee-Südwest*	ID 76	23	18	5
2 - Altona	Ebert-Allee-Südost*	ID 77	33	1	32
2 - Altona	Ebert-Allee	ID 85	10		10
2 - Altona	Ebert-Allee	ID 86	20		20
2 - Altona	Ebert-Allee	ID 87	52		52
3 - Eimsbüttel	Edmund-Siemers-Allee	ID 32	10	10	
3 - Eimsbüttel	Edmund-Siemers-Allee	ID 35	15	15	
3 - Eimsbüttel	Edmund-Siemers-Allee	ID 82	30	30	
3 - Eimsbüttel	Hagenbeckstrasse	ID 129	28	28	
4 - Nord	Langenhorner Chaussee	ID 34	15	15	
4 - Nord	Wellingsbütteler Landstrasse	ID 57	4	4	
5 Wandsbek	Ruscheweystasse	ID 62	9		9
5 Wandsbek	Poppenbütteler Weg*	ID 64	26		26
5 Wandsbek	Rahlau	ID 100	13	13	
5 Wandsbek	Rahlau	ID 102	24	24	
5 Wandsbek	Sonnenweg	ID 104	10	10	
5 Wandsbek	Sonnenweg	ID 105	5	5	
5 Wandsbek	Duvenstedter Triftweg	ID 112	27	27	
5 Wandsbek	Duvenstedter Triftweg	ID 113	10	10	
5 Wandsbek	Ritterstrasse	ID 115	9	9	
5 Wandsbek	Ritterstrasse	ID 118	8	8	
6 - Bergedorf	Gammer Weg*	ID 1	47	47	
6 - Bergedorf	Rothenhauschaussee	ID 2	13	12	1
6 - Bergedorf	Rothenhauschaussee	ID 52	5	5	
6 - Bergedorf	Justus-Brinckmann-Strasse	ID 36	54		54
6 - Bergedorf	An der Sternwarte	ID 53	4		4
6 - Bergedorf	Neuer Weg	ID 123	24	15	9
6 - Bergedorf	Marnitzstrasse	ID 125	28	28	
7 - Harburg	Brackstrasse	ID 41	25	20	5
7 - Harburg	Gannerbarg	ID 107	14	6	8
7 - Harburg	Weimarer Strasse	ID 108	16	1	15
7 - Harburg	Rostweg	ID 134	14		14
7 Bezirke	41 Kollektive		732	443	289

*Diese Kollektive wurden nach der Verifizierung ergänzend aufgenommen.

Im Verlauf des Monitorings wurden insgesamt 21 Bäume gefällt, tlw. wegen starker Defekte in der Vitalität, Verkehrssicherheit, Unfallschäden und Bauvorhaben.

Im Jahr 2008 wurden 0 Linden und 0 Ahorn gefällt.
 Im Jahr 2009 wurden 0 Linden und 0 Ahorn gefällt.
 Im Jahr 2010 wurden 6 Linden und 11 Ahorn gefällt.
 Im Jahr 2011 wurden 1 Linden und 3 Ahorn gefällt.

Die Linden (visuell Streusalzunauffällig) wurden offensichtlich aus baurechtlichen Gründen gefällt, die Ahorn offensichtlich aus Gründen der Verkehrssicherheit (mit mittleren und überwiegend starken Streusalzauffälligkeiten).

Gemäß der o.a. Standortparameter von 2008 ist die Verteilung wie folgt:

Standortparameter:	Linde	Streustufe		Ahorn	Streustufe	
		1	2		1	2
Gesamtanzahl	443	242	201	289	243	46
Keine Baumscheibe	0	0	0	4	4	0
Baumscheibe < 6 m ²	44	7	37	31	29	2
Baumscheibe > 6 m ²	16	7	9	22	0	22
Durchgehender Grünstreifen	383	228	155	232	210	22
Hochbord	331	189	142	284	238	56
Tiefbord	44	20	24	5	5	0
Kein Bord	58	25	33	0	0	0
Abstand zu Fahrbahn unmittelbar	389	188	201	271	233	38
Abstand zu Fahrbahn durch Parkstreifen getrennt	54	49	5	18	10	8
Eintrag einseitig	432	230	203	107	61	46
Eintrag beidseitig	11	11	0	182	182	0
Altersstufen:						
Bis 10 Jahre	20	13	7	17	16	1
Bis 20 Jahre	58	27	31	34	24	10
Bis 60 Jahre	257	139	118	138	112	26
über 60 Jahre	107	62	45	30	21	9

3.4 Einzelbaumuntersuchung

Aus dem Gesamtkollektiv der Bäume auf den Beobachtungsstandorten wurden 30 Bäume für Einzelbaumbewertungen mit Blattgehalts- und Nährstoffanalysen im Boden ausgewählt.

3.4.1 Bodenuntersuchung

Es wurde jedes Jahr im April eine Bodenprobe aus dem Bereich der Baumscheibe des Einzelbaumes für 10 bis 50 cm Tiefe entnommen. Die Proben wurden bis zur Untersuchung im Institut Meyer-Spasche gekühlt gelagert.

Die Proben wurden im CaCl₂- , H₂O- und CAT-Extrakt (1:10) auf ihren Gehalt an pflanzenverfügbaren Haupt- und Spurennährstoffen sowie die Streusalzkomponenten Natrium und Chlorid entsprechend VdLUFA-Methodenbuch Band I analysiert. Ergebnisangabe: mg/kg. Die Einteilung und Zuordnung der Messwerte in die jeweiligen Versorgungsstufen bzw. Schadstoffklassen wurde analog dem LUFA-LWK-Verfahren vorgenommen, nach dem die Düngebedürftigkeit von Kulturpflanzen bewertet wird (Meyer-Spasche, unveröffentl.).

3.4.2 Blattanalysen

Die Probenahme erfolgte gleichmäßig verteilt aus dem gesamten Kronenbereich, der bis ca. 6 m Höhe erreichbar war. Es wurden mindestens 200 Blätter, bzw. 12

Zweigenden je Probe genommen. Vor der Trocknung wurden die Einzelblätter von den Blattstielen getrennt.

Es wurden die Gesamtgehalte in den Blättern bestimmt. Trocknung bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C im Umlufttrockenschrank. Mahlen der Gesamtprobe auf < 100 µm in der Ultrazentrifugalmühle. Stickstoffbestimmung: Elementaranalyse DIN ISO 13878; Chlorid: H₂O-Extrakt 1:10 und Potentiometrie DIN 38405 D1-2; alle übrigen Parameter: Königswasseraufschluß nach DIN ISO 11466 und Simultanmessung mit ICP-OES nach DIN EN ISO 11885. Ergebnisangabe in % TS bzw. mg/kg TS.

3.5 Bodenkartierung

Die Erfassung der Bodenmerkmale erfolgt für jeden Bohrpunkt mit bodenkundlichen Standardmethoden gemäß den Vorschriften der KA5 (AG BODEN, 2005). Hierzu wird mit dem Spaten spatentief aufgegraben und dann mit dem Edelmanbohrer ein Bohrkern bis 1 m Tiefe gezogen. Proben zur Bestimmung des Anteils organischer Substanz und des pH-Werts werden dem Spateneinstich bzw. Bohrkern entnommen.

3.6 Daten von Grundwassermessstellen

Ziel dieser Untersuchungen ist es zu prüfen, ob in der Freien und Hansestadt Hamburg in den oberflächennahen Grundwasserkörpern Chlorid-Einträge aus der Auftausalz-Ausbringung während des Winterdienstes nachgewiesen werden können und mit welchem Ausmaß bzw. welcher Höhe dieser Belastungen ggf. gerechnet werden muss.

Um die Auswirkungen der Auftausalz-Anwendung auf oberflächennahe Grundwasserkörper bewerten zu können, wurden keine gesondert konzipierten Untersuchungen neu durchgeführt, sondern auf den vorhandenen, umfangreichen Datenbestand in der Grundwasserdatenbank im Amt für Umweltschutz der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt zurückgegriffen. Damit entstanden keine Kosten für die gesonderte Entnahme von Grundwasserproben und für deren Analysen. Die Grundwasserdatenbank enthält die Analyseergebnisse von Grundwasserproben, die an Grundwassermessstellen entnommen wurden, die

(1) für die routinemäßige Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit - z.B. im Rahmen der Monitoring-Programme für die Umsetzung der EG-Wasser-rahmenrichtlinie - oder

(2) für die Bearbeitung von Altlasten und aktuellen Schadensfällen

errichtet wurden. Während erstgenannte ca. 110 Messstellen regelmäßig mindestens einmal im Jahr beprobt werden, variiert bei der Altlastbearbeitung die Beprobungshäufigkeit in Abhängigkeit vom Einzelfall und dessen Bearbeitungsstadium stark.

Aus der Grundwasserdatenbank wurden zunächst alle Grundwassermessstellen in den Hamburger Geestgebieten mit einer Lage der Filteroberkante kleiner 35 m unter

Geländeoberkante (GOK) selektiert. Mit diesen Messstellen wird das Grundwasser im sehr oberflächennahen Bereich erfasst.

Die Hamburger Marschgebiete wurden aus den Untersuchungen ausgeklammert, weil

- (1) In den Vier- und Marschlanden der prägende Einfluss des Salzstocks Reitbrook auf die Chlorid-Konzentrationen bis in den oberflächennahen Grundwasserkörper reicht und
- (2) in den künstlichen Aufhöhungsgebieten in der Marsch - insbesondere auf den Elbinseln und in den Hafengebieten - aufhöhungsbedingte Anomalien bei den Chlorid-Konzentrationen im Stau- und Grundwasser auftreten.

Um eine hohe Datenqualität abzusichern, wurden in die Auswertung nur Messstellen, für die mindestens zwei Chlorid-Analysenwerte im Zehn-Jahres-Zeitraum 01.01.2002 bis 31.12.2011 vorlagen, einbezogen.

Chlorid-Einträge aus dem Tausalzeinsatz, die je nach Versiegelungsgrad im Straßenrandzonenbereich eine nur temporär wirkende Linienquelle und keine permanente oder großflächige, diffuse Eintragsquelle darstellen (vgl. Kapitel 1.2.1 und 1.3.2), werden nach dem Erreichen der Grundwasseroberfläche durch nachsickerndes, unbelastetes Sickerwasser und durch die Prozesse hydrodynamische Dispersion und Diffusion verdünnt. Dies kann eine Ursache dafür sein, dass Chlorid-Konzentrationen an Grundwassermessstellen im Zeitverlauf deutlich schwanken können, obwohl Chlorid im Aquifer weder Umwandlungs- noch Abbauprozessen unterliegt. Innerhalb der gemessenen Chlorid-Konzentrations-Zeitreihe an einer Messstelle ermöglicht das beobachtete Maximum die beste Beurteilung, ob an den Beprobungsterminen im o. g. Zehn-Jahres-Zeitraum eine durchwandernde, anthropogen bedingte „Salzfront“ erfasst wurde.

Die so zusammengestellten Daten wurden insbesondere an Messstellen mit Maxima größer 80 mg/L ausreißerbereinigt, um unplausible Einzelwerte, die z.B. häufig die Folge von Kommafehlern sind, zu eliminieren. Bei Messstellen mit mehr als drei Messwerten im Zehn-Jahres-Zeitraum wurde geprüft, ob der zweitgrößte Messwert mehr als 50 % kleiner als das Maximum der Zeitreihe ist. In einem solchen Fall wurde die Messstelle aus dem Datenkollektiv entfernt. Bei Messstellen mit nur zwei Analysenwerten wurde im oben genannten Fall ggf. der Mittelwert gebildet.

4. Ergebnisse

4.1 *Klimatische Jahresverläufe*

Die Wetterdaten der Station HH-Fuhlsbüttel (Abbildung 4) stellen die monatlichen Durchschnittstemperaturen und die Niederschläge pro Monat für die Jahre 2006 - 2011 vom Deutschen Winterdienst (DWD) dar.

Der erste Winter **2006/07** dieser Untersuchung war ein sehr milder Winter mit hohen Niederschlägen. Nach dem DWD (2007) war es der wärmste Winter seit Beginn des 20. Jahrhunderts und das zweit wärmste Jahr seit 1901.

Der erste Frosttag der Station HH-Fuhlsbüttel war am 01.11.2006 der letzte am 30.04.2007 die errechnete Durchschnittstemperatur bzw. der durchschnittliche Niederschlag der Wintersaison (Dezember bis einschließlich Februar) lag bei 5,4°C und 80,6 mm mit insgesamt 9 Frosttagen.

Der zweite Winter **2007/08** war ein ähnlich milder Winter mit hohen Niederschlägen wie der vorherige 2006/07, aber nicht so extrem. Nach dem DWD (2008) war es das neunte wärmste Jahr seit 1901.

Der erste Frosttag der Station HH-Fuhlsbüttel war am 20.10.2007, der letzte am 16.04.2008 die errechnete Durchschnittstemperatur bzw. -niederschlag der Wintersaison lag bei 4,2°C und 81,6 mm mit insgesamt 15 Frosttagen.

Der dritte Winter **2008/09** war nach zwei extrem milden Wintern wieder ein kälterer Winter. Wobei insbesondere der Januar kalt und trocken war. Hingegen war der Februar etwas niederschlagsreicher jedoch auch etwas milder.

Der erste Frosttag der Station HH-Fuhlsbüttel war am 31.10.2008, der letzte am 31.03.2009 die errechnete Durchschnittstemperatur bzw. -niederschlag der Wintersaison lag bei 1,4°C und 32,0 mm Niederschlag mit insgesamt 26 Frosttagen.

Der vierte Winter **2009/10** war nach dem DWD (2009) im Gebietsmittel von Deutschland der kälteste seit dem Winter 1995/96. Im Mittel gab es weniger Niederschläge, wobei ein besonders großer Anteil des Niederschlags als Schnee fiel. Die Schneedecke hielt sich meist über viele Tage (bis zu 73 Tage während im langjährigen Mittel (1961-90) nur 30 bis 40 Tage üblich sind).

Der erste Frosttag der Station HH-Fuhlsbüttel war am 14.10.2009, der letzte am 10.05.2010 die errechnete Durchschnittstemperatur bzw. -niederschlag der Wintersaison lag bei -1,3°C und 46,8mm mit insgesamt 65 Frosttagen.

Der fünfte Winter **2010/11** war ein ähnlich kalter Winter wie der im Vorjahr 2009/10, der schon im Dezember eine Schneedecke brachte und sich über den ganzen Monat hielt.

Der erste Frosttag der Station HH-Fuhlsbüttel war am 07.11.2010, der letzte am 15.04.2012 die errechnete Durchschnittstemperatur bzw. -niederschlag der Wintersaison lag bei -1,0°C und 52,1mm mit insgesamt 60 Frosttagen.

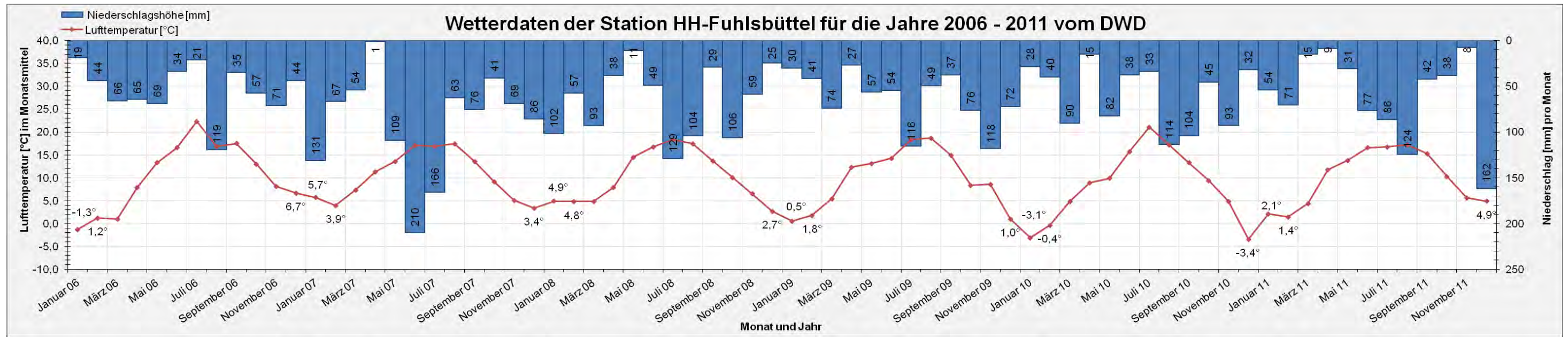


Abbildung 4: Wetterdaten der Station HH-Fuhlsbüttel für die Jahre 2006 - 2011 vom DWD

Tabelle 7: Niederschlagsmengen Jan, Feb, März

Jahr	Niederschlag				Temperatur
	Januar [mm]	Februar [mm]	März [mm]	Summe Jan+Feb+März [mm]	Durchschnitt Dez-Jan-Feb [°C]
2007	131	67	54	252	5,4
2008	102	57	93	252	4,2
2009	30	41	74	145	1,4
2010	28	40	90	158	-1,3
2011	54	71	15	140	-1,0

4.1.1 Klimatische Jahresverläufe und Streumengen

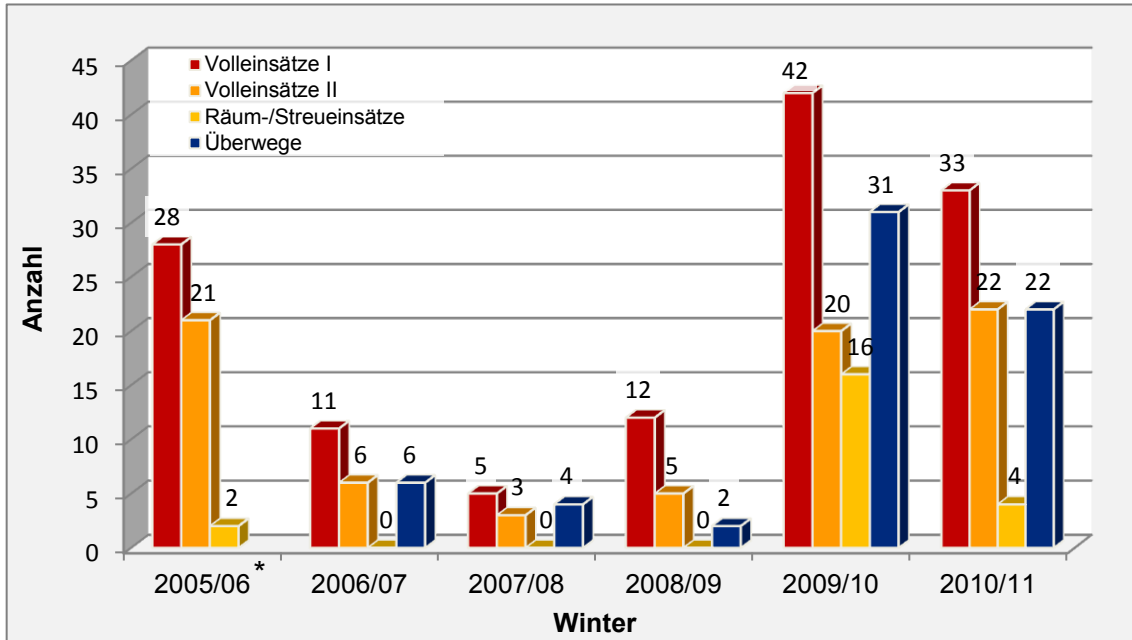


Abbildung 5: Schneemenge, Streu- und Räumereinsatz im 6-Jahres-Vergleich der SRH

*Die Überwegereinsätze liegen hier nur für das gesamte Jahr betrachtet vor. Das sind 13 Einsätze für das Jahr 2005 und 6 Einsätze für das Jahr 2006.

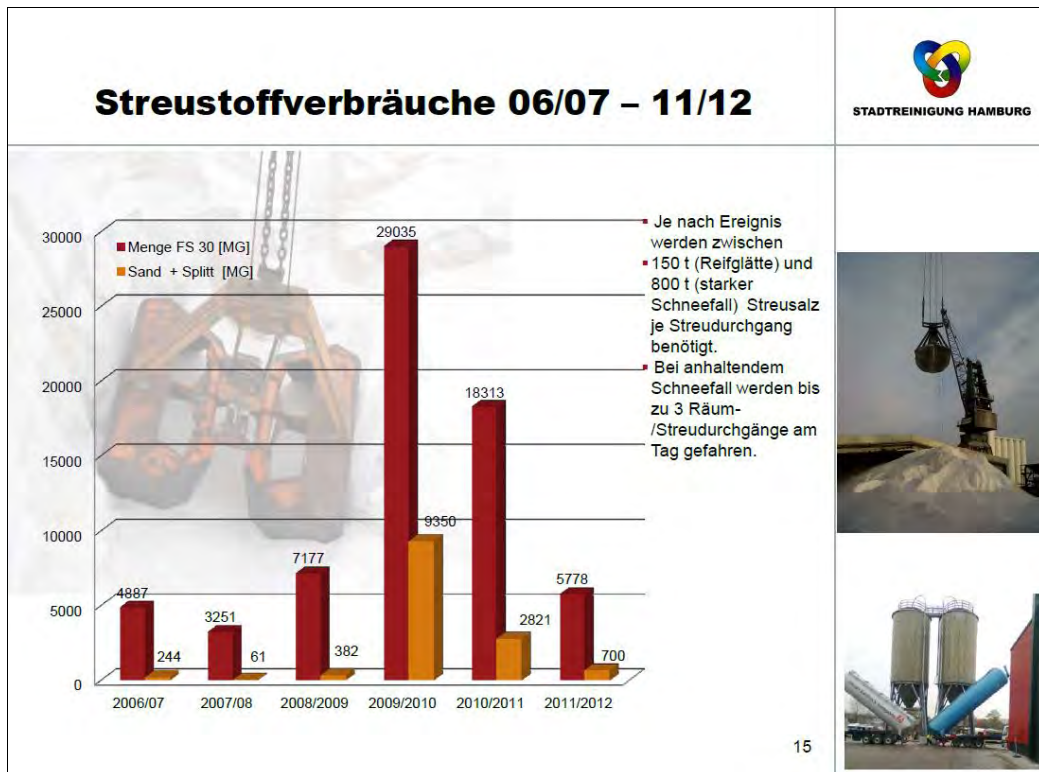



Abbildung 6: Streumittelverbrauch im 6-Jahres-Vergleich der SRH

4.2 Bodenabschnittsuntersuchungen

Die folgende Ergebnisdarstellung in Abschnitt 4.2 ist aus dem Abschlussbericht von Herrn Dr. Lichtfuß (HU4) übernommen.



Institut für Hygiene und Umwelt
Hamburger Landesinstitut für Lebensmittelsicherheit,
Gesundheitsschutz und Umweltuntersuchungen

Bereich Umweltuntersuchungen
Dr. Rudolf Lichtfuß
040/428 45 3773 - email: Rudolf.Lichtfuss@hu.hamburg.de

Sämtliche Labor-Analysendaten der 1341 Bodenproben sind in den Tabellen des Anhangs aufgeführt. Die Darstellung und statistische Betrachtung der Untersuchungsergebnisse erfolgt auf mehreren Ebenen. Zunächst geben in Kap. 4.2.1 statistische Eckdaten und Streudiagramme unter Einbeziehung aller Daten über alle Termine und Standorte, sowie differenziert nach straßennahen Standorten (Standort-Art „Salz“) und „Null“-Standorten einen ersten Überblick. Danach wird standortübergreifend der zeitliche Verlauf der mittleren Natrium-Gehalte und anderer Salzparameter dargestellt (Kap. 4.2.2). Schließlich folgt exemplarisch die Darstellung von Salzparametern für einzelne Standorte.

4.2.1 Statistische Eckdaten des Gesamtdatensatzes, Streudiagramme, Plausibilitätsprüfungen

Als grundlegende Orientierung für die Einschätzung der Größenordnung der gemessenen Parameter sind in Tabelle 8 für den gesamten Datensatz die statistischen Kenngrößen Minimum, Maximum, Mittelwert und Median³ sowie andere Perzentile aufgeführt.

4.2.1.1 Vergleich 2:1-Eluat und Ammoniumnitratextrakt

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden angewendeten Elutions-/Extraktionsverfahren: Während das 2:1-Eluat nur die rein wasserlöslichen Stoffanteile eluiert, wird im 2,5:1-Ammoniumnitratextrakt die „mobile“ Fraktion extrahiert, die neben den wasserlöslichen Verbindungen auch die an der Bodenmatrix austauschbar gebundenen Ionen sowie leicht lösliche Metallkomplexe umfasst.

Das Verhältnis zwischen „mobilem“ und rein wasserlöslichem Anteil (s. Tab. 9 und Abb. 7-8) spiegelt die charakteristischen physikochemischen Eigenschaften der Kationen und Anionen wider. So ist das einwertige Natrium im unteren Konzentrationsbereich

³ Median: Im Vergleich zum Mittelwert ein gegenüber Ausreißern unempfindliches Lagemaß; der Wert, über und unter dem jeweils die Hälfte aller Fälle liegen; das 50. Perzentil. Bei einer geraden Anzahl von Fällen ist der Median der Mittelwert der zwei mittleren Fälle, wenn diese auf- oder absteigend sortiert sind. Die Mediane sind in aller Regel niedriger als die arithmetischen Mittelwerte, da quantitative Bodenmerkmale meistens eine rechtsschiefe Verteilung aufweisen.

vollständig wasserlöslich und erreicht auch auf sehr hohem Konzentrationsniveau (z.B. 90-Perz.) lediglich einen Quotienten von 1,5. Das ebenfalls einwertige Kalium besitzt aufgrund des größeren Ionendurchmessers und damit geringerer Hydratationsenergie eine stärkere Affinität zu den Austauschplätzen der Bodenmatrix mit Quotienten zwischen 4 und 8. Die zweiwertigen Kationen sind noch deutlich stärker adsorptiv gebunden als die einwertigen, wobei Calcium mit Quotienten zwischen 16 und 32 weniger wasserlöslich ist als Magnesium (10-14).

Adsorptionsreihe von Alkali- und Erdalkali-Kationen
Ca > Mg > K > Na

Tabelle 8: Statistische Eckdaten für den gesamten Datensatz (n=1341) über alle Standorte, Horizonte und Termine

Parameter	Minimum	25-Perz.	50-Perz. (Median)	Mittelwert*	75-Perz.	90-Perz.	Maximum
Leitf. (µS/cm)	27,0	138	230	263	340	455	2300
pH-Wert	3,7	6,8	7,3	7,1	7,6	7,9	8,3
Na_ef (mg/kg TM)	<1	16,5	27,1	44,7	52,5	98,5	925
Na_a (mg/kg TM)	<1	16,7	32,2	64,0	73,5	151	1520
K_ef (mg/kg TM)	<1	5,1	11,1	17,6	23,8	40,4	115
K_a (mg/kg TM)	3,9	41,2	68,7	88,2	123	177	401
Ca_ef (mg/kg TM)	<1	22,3	45,0	55,6	75,8	108	642
Ca_a (mg/kg TM)	<2	710	1080	1101	1450	1760	4890
Mg_ef (mg/kg TM)	<1	2,2	3,9	5,4	6,4	10,5	51,7
Mg_a (mg/kg TM)	<1	30,7	49,7	57,7	74,5	108	294
Eq_Kat (meq/kg TM)	0,62	2,8	4,6	5,2	6,8	9,1	38,2
Cl_ef (mg/kg TM)	<2	5,1	9,2	20,8	17,3	36,5	1198
Cl_a (mg/kg TM)	<1	4,1	8,2	21,8	16,2	35,6	1370
SO4_ef (mg/kg TM)	<1	21,9	29,4	37,0	40,6	57,7	1912
SO4_a (mg/kg TM)	0,90	11,9	19,6	27,8	31,3	49,0	1680
Eq_An (meq/kg TM)	0,08	0,65	0,93	1,3	1,4	2,2	40,0

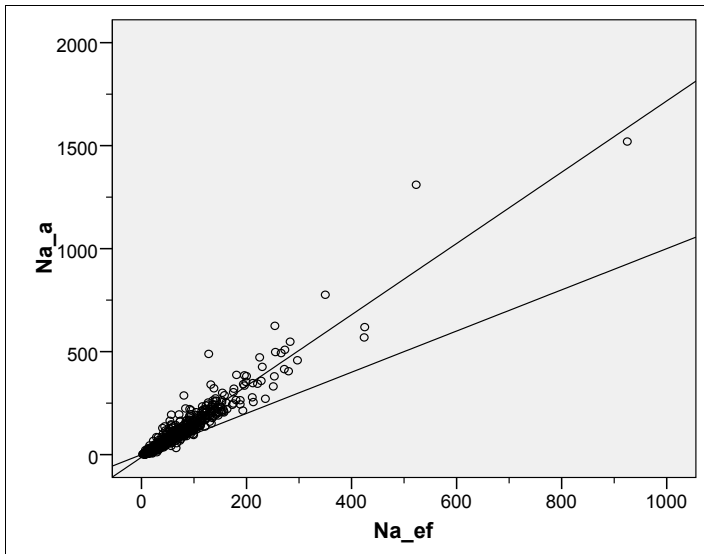
* Berechnung von arithmetischen Mittelwerten ohne Werte < Bestimmungsgrenze

Tabelle 9: Quotienten der Perzentile (Tab. 9) der Na-, K-, Mg- und Ca-Gehalte im Ammoniumnitratextrakt zu denen im 2:1-Eluat

	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄
25-P	1,0	8,0	14	32	0,8	0,5
Median	1,2	6,2	13	24	0,9	0,7
75-P	1,4	5,2	12	19	0,9	0,8
90-P	1,5	4,4	10	16	1,0	0,8

Bei den stärker zu Adsorption neigenden Kationen K, Mg und Ca nehmen die relativen adsorbierten Anteile mit zunehmender Konzentration ab; die Beziehung zwischen ihren Gehalten im Ammoniumnitratextrakt und im 2:1-Eluat zeigen deshalb in Abb. 8 den typischen Verlauf einer Sättigungskurve.

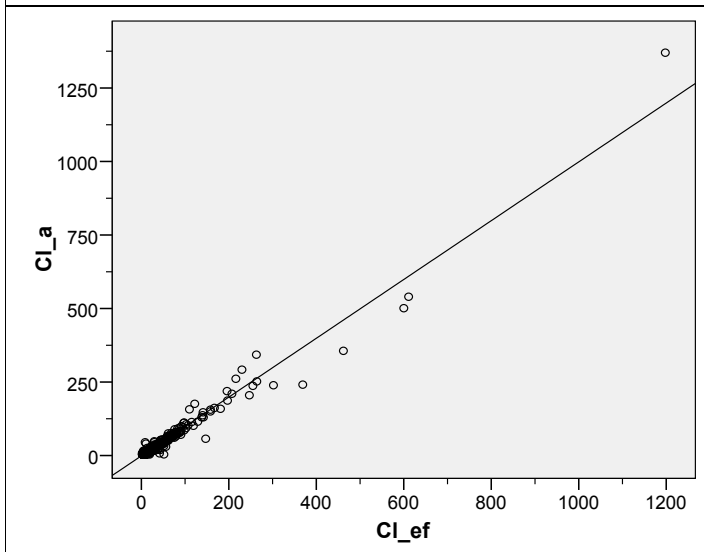
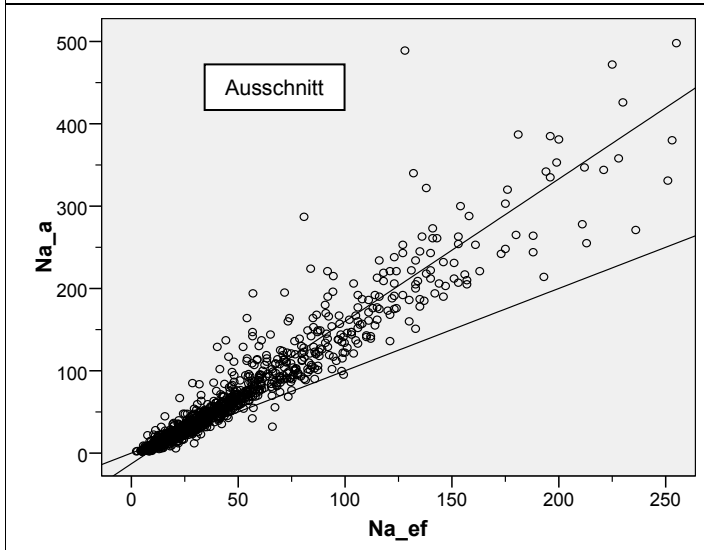
Das Anion Chlorid ist vollständig wasserlöslich und wird praktisch nicht adsorbiert (s. Abb. 7). Die aus der Beziehung zwischen Cl_a und Cl_{ef} resultierende lineare Regressionsgleichung entspricht nahezu $Y = 1,00 X$ mit einem Bestimmtheitsmaß von 96 % ($r^2 = 0,96$).



Regressionsgleichung
 $Y = 1,73 X - 13$

r^2 0,93 $n = 1340$

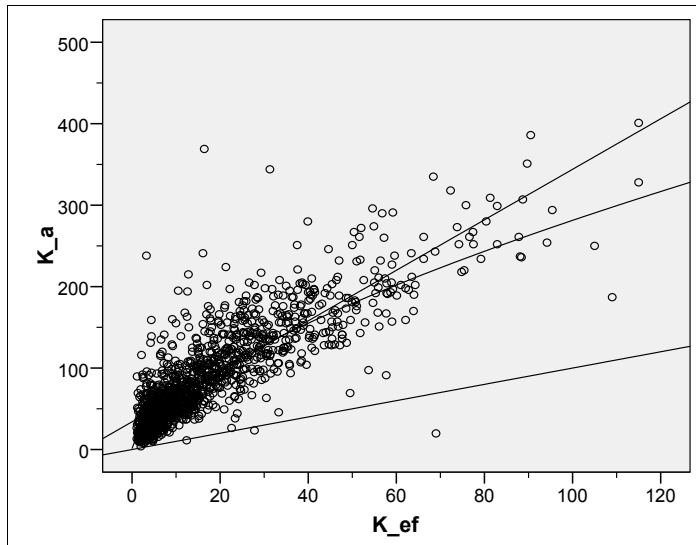
$Y = X$



Regressionsgleichung
 $Y = 1,00 X - 1,3$

r^2 0,96 $n = 1096$

Abbildung 7: Beziehung zwischen dem Natrium- und Chlorid-Gehalt (mg/kg TM) im Ammoniumnitratextrakt und im 2:1-Eluat (alle Termine und Standorte)

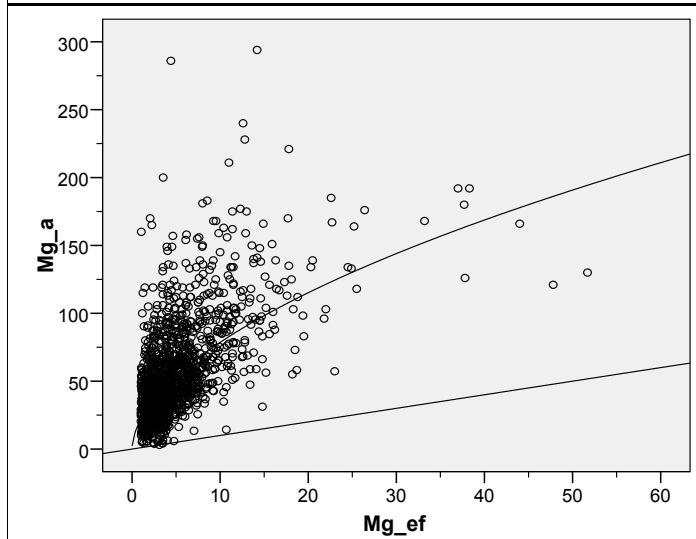


Regressionsgleichungen

$$Y = 3,1 X + 34 \quad r^2 = 0,72 \quad n = 1326$$

$$Y = 14,1 X^{0,65} \quad r^2 = 0,70$$

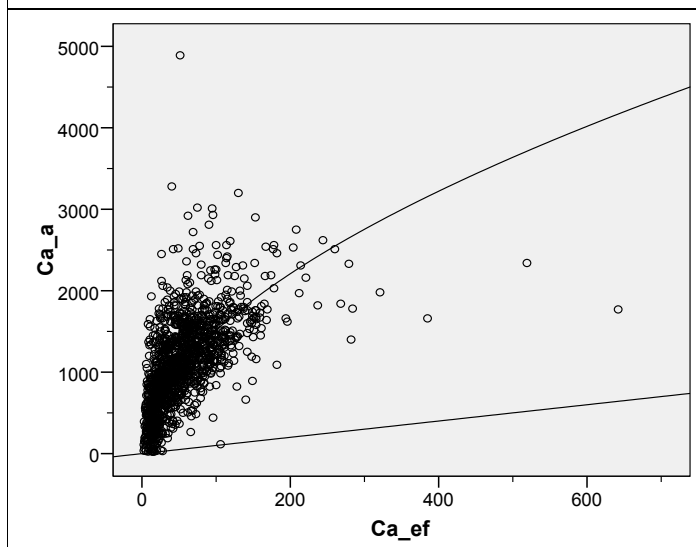
$$Y = X$$



Regressionsgleichung

$$Y = 22,1 X^{0,551} \quad r^2 = 0,34 \quad n = 1281$$

$$Y = X$$



Regressionsgleichung

$$Y = 123 X^{0,545} \quad r^2 = 0,43 \quad n = 1337$$

$$Y = X$$

Abbildung 8: Beziehung zwischen dem Kalium-, Magnesium- bzw. Calciumgehalt (mg/kg TM) im Ammoniumnitratextrakt und im 2:1-Eluat (alle Termine und Standorte)

Auch für Sulfat ist im Prinzip bis zum Löslichkeitsprodukt von Gips von einer vollständigen Wasserlöslichkeit auszugehen. Auffallend ist jedoch, dass Sulfat insbesondere im unteren Konzentrationsbereich im Mittel mit dem Wasser-Eluat stärker „extrahiert“ wird, als mit der wässrigen Ammoniumnitratlösung (vgl. Tab. 9). Die Ursache hierfür ist vermutlich die deutlich längere Elutionsdauer beim 2:1-Eluat von 24 Stunden. Die Ammoniumnitrat-Extraktion dauert dagegen nur zwei Stunden, die möglicherweise nicht ausreichen, um z.B. kleine bauschuttbürtige Gipspartikel vollständig aufzulösen.

4.2.1.2 Vergleich „Salz“- und „Null“-Standorte“

Einen ersten zusammenfassenden Vergleich zwischen „Salz“-Standorten und „Null“-Standorten bieten die in Tab. 10 dargestellten, über alle Termine, Bodenprofile und Horizonte berechneten Mediane und arithmetischen Mittelwerte der untersuchten Parameter der beiden Standortarten.

In Tab. 11 sind die arithmetischen Mittelwerte mit und ohne Ausreißer nach Grubbs aufgeführt. Der t-Test auf signifikante Unterschiede wurde mit den Ausreißer-bereinigten Mittelwerten durchgeführt.

Tabelle 10: Mediane und Mittelwerte der „Null“- und „Salz“-Standorte (alle Proben)

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

Erwartungsgemäß zeigen Natrium und Chlorid die höchsten Streusalz-bedingten Anreicherungen in den Böden der „Salz“-Standorte. Im Mittel liegen die Na- und Cl-Konzentrationen im 2:1 –Eluat der „Salz“-Standorte um das 3,4-fache bzw. 2,5-fache höher als die der „Null“-Standorte. Beim Ammoniumnitrat-extrahierbaren Na und Cl beträgt der Quotient 5,4 bzw. 2,6 (Tab. 10). Die Anreicherungen von Na ist sehr hoch signifikant (Tab. 11).

Die elektrische Leitfähigkeit, ein konventionelles Maß für den Salzgehalt von Böden, ist im Mittel dagegen in den Bodenproben der „Salz“-Standorte nur 1,4 fach höher als in denen der „Null“-

Standorte. Entsprechend breit gefächert sind deshalb auch die Streudiagramme elektr. Leitfähigkeit gegen Na_{ef} oder Ca_{ef} (s. Abb. 9 und 10). Der Grund dafür ist, dass die elektr. Leitfähigkeit das gesamte gelöste Salz widerspiegelt, also neben Natrium und Chlorid auch die löslichen Ionen aus Carbonaten, Sulfaten (u.a. Gips), Nitraten usw. Erst die Summe der Ladungsäquivalente von Na, K, Ca und Mg (Eq_Kat) zeigen eine überaus enge Beziehung zur elektr. Leitfähigkeit (s. Abb. 11). Die elektrische Leitfähigkeit und auch die Kationen-Äquivalentsummen sind in den Böden der „Salz“-Standorte statistisch hoch signifikant höher als in den „Null“-Standorten.

Damit können:

- Natrium und Chlorid als die Indikatoren für Streusalz und
- die elektr. Leitfähigkeit und Eq_Kat als Summenparameter für lösliche Salze insgesamt angesehen werden.

Tabelle 11: Mittelwerte der „Null“- und „Salz“-Standorte (alle Proben, mit und ohne Ausreißer*)

Para-meter (Einheiten siehe Tab. 2)	„Null“-Standorte				„Salz“-Standorte				t-Test	
	Mittelwert (mit Ausr.)		Mittelwert (ohne Ausr.)		Mittelwert (mit Ausr.)		Mittelwert (ohne Ausr.)		Salz/Null > 1 ↑ < 1 ↓	Signifi- kanz**
		n		n		n		n		
Leitf.	195	139	187	138	271	1202	260	1189	↑	****
pH-Wert	6,0	139	6,0	139	7,2	1202	7,2	1201	↑	****
Na _{ef}	14,1	139	13,9	138	48,2	1201	43,1	1178	↑	****
Na _a	12,8	139	12,4	137	69,9	1201	59,2	1173	↑	****
K _{ef}	14,8	136	12,5	131	17,9	1192	17,4	1185	↑	****
K _a	72,6	139	70,7	138	90,0	1202	89,2	1199	↑	***
Ca _{ef}	49,1	138	47,4	137	56,4	1200	54,0	1190	↑	*
Ca _a	824	139	794	138	1133	1201	1133	1201	↑	****
Mg _{ef}	5,3	136	4,8	133	5,4	1146	5,0	1129	---	---
Mg _a	50,1	139	48,4	138	58,5	1201	57,9	1197	↑	***
Eq_Kat	3,7	139	3,6	138	5,4	1202	5,2	1191	↑	****
Cl _{ef}	8,9	120	8,3	118	22,1	1140	14,7	1094	↑	****
Cl _a	8,9	91	8,9	91	23,0	1017	15,2	976	↑	****
SO _{4_ef}	39,2	139	38,5	138	36,7	1200	32,2	1179	↓	****
SO _{4_a}	37,2	139	30,2	133	26,7	1202	22,7	1183	↓	****
Eq_An	1,0	139	1,0	139	1,4	1202	1,1	1171	↑	*

* Ausreißer-Eliminierung nach Grubbs;

kritische Werte des Grubbs-Test: „Null“-Standorte 3,7; „Salz“-Standorte 4,5
(nach: Hartung, J., Statistik, Oldenbourg Verlag, 10. Aufl. 1995, S. 345)

** Signifikanz (1-seitig) der Unterschiede der Mittelwerte (ohne Ausreißer)
zwischen „Salz“- und „Null“- Standorten. t-Test bei unabhängigen Stichproben

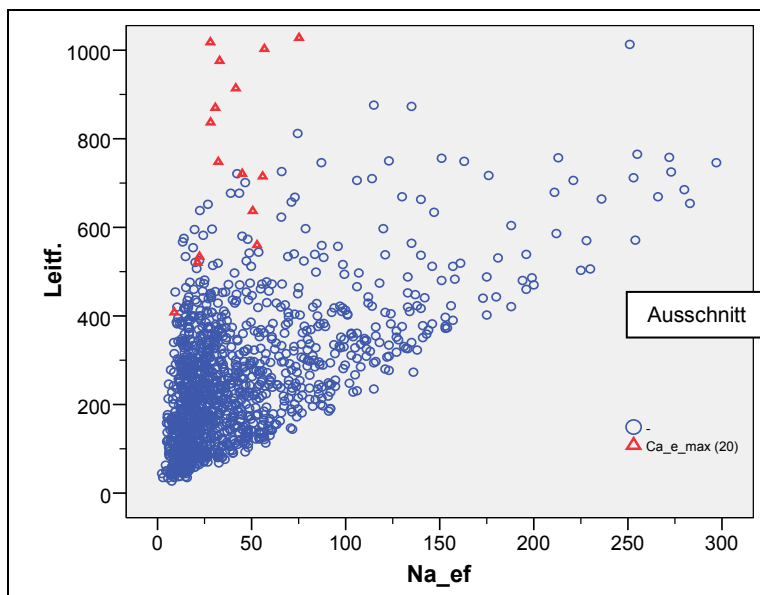
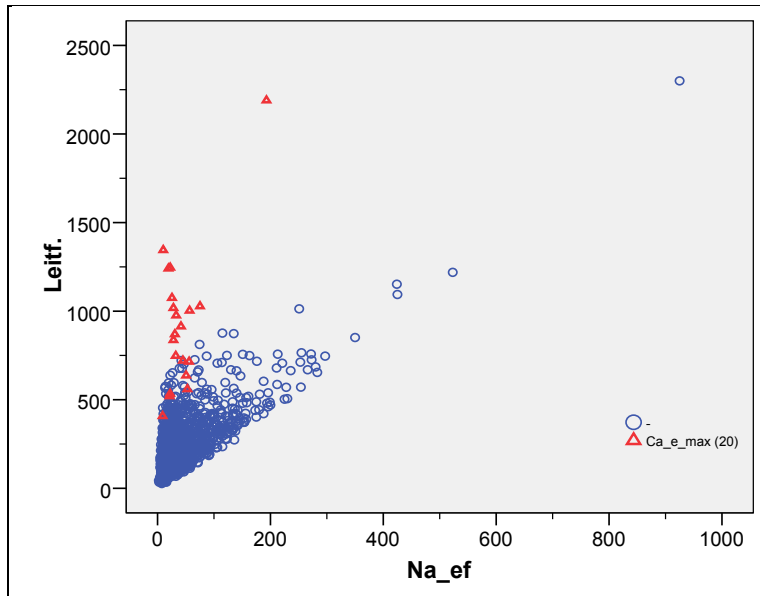


Abbildung 9: Streudiagramme elektr. Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) gegen Natrium_ef (mg/kg TM) rote Dreiecke: Proben mit den 20 höchsten Ca_{ef} -Gehalten

Ob und inwieweit die erhöhten mittleren pH-Werte, Ca-, Mg-, K- und Sulfat-Konzentrationen im Eluat der „Salz“-Standorte ebenso von Streusalzeinsatz herrühren, ist allein anhand Tab. 4 und 5 nicht abzuleiten. Es ist ja denkbar, dass die „Salz“-Standorte sich von den „Null“-Standorten auch dadurch unterscheiden, dass sie mehr anthropogene Beimengungen wie z.B. Bauschutt und Aschen enthalten. Dieser Frage kann erneut bei der zeitlichen Darstellung der untersuchten Parameter für einzelne Standorte in Kap. 3.3 nachgegangen werden.

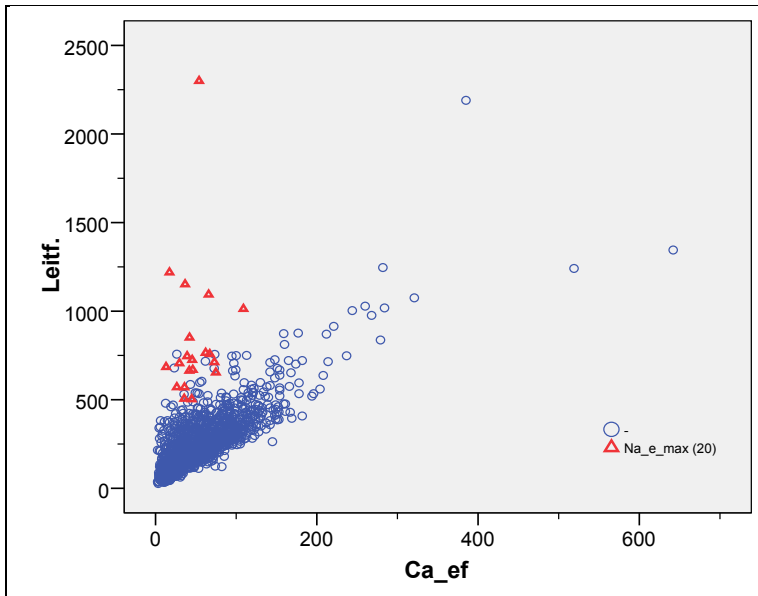


Abbildung 10: Streudiagramme elektr. Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) gegen Calcium_{ef} (mg/kg TM)
rote Dreiecke: Proben mit den 20 höchsten Na_{ef}-Gehalten

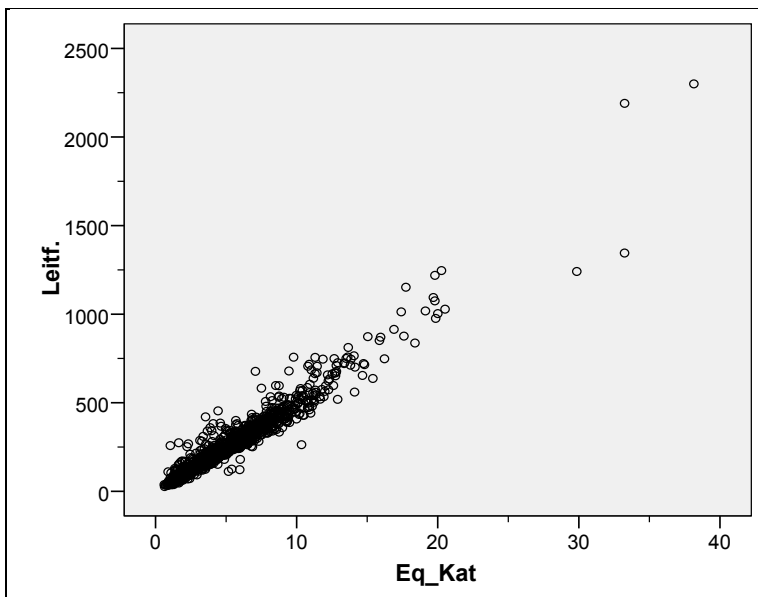


Abbildung 11: Streudiagramm elektr. Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) gegen Eq_{Kat} im 2:1-Eluat (meq/kg TM)

Die graphischen Darstellungen der Ergebnisse der verschiedenen Labor-Verfahren als Streudiagramme in Abb. 7-11 können auch im Rahmen der Prüfung der Plausibilität der Daten sehr gut verwendet werden (s. Kap. 3.2).

4.2.1.3 Vergleich Horizont 1 und Horizont 2

In Tabelle 12 sind für ausgewählte Parameter jeweils die terminübergreifenden Mittelwerte für die beiden beprobten Horizonte der „Salz“- und „Null“-Standorte aufgeführt. Sowohl die Streusalz-Parameter Na und Cl als auch allgemeine Salzparameter wie elektr. Leitfähigkeit, Eq_Kat und Ca_ef zeigen im 2. Horizont jeweils niedrigere Gehalte als im 1. Horizont. Beim pH-Wert ist dieses jedoch nicht festzustellen.

Tabelle 12: Mittelwerte in den Horizonten der „Salz“- und „Null“-Standorte (über alle Termine)

	Hor	Na_ef	Na_ads	Cl_ef	Leitf.	Eq_Kat	Ca_ef	K_ef	pH-Wert
		(mg/kg TM)			(μ S/cm)	(meq/kg TM)	(mg/kg TM)		
„Salz“- Standorte	1	54	24	23	338	6,6	68	26	7,1
	2	42	19	21	204	4,2	45	9,8	7,3
„Null“- Standorte	1	16	--*	10	244	4,6	59	20	5,8
	2	12	--*	7,4	145	2,9	39	9,5	6,2

* nicht berechnet, da < BG

Bei den Salzstandorten ist es naheliegend anzunehmen, dass nach dem Streusalz-Einsatz der vorangegangenen Winterperioden 2008/09 und 2009/10 Na (und Cl) und damit auch die streusalzbedingte Leitfähigkeit und Eq_Kat nur zum Teil im 2. Horizont angekommen ist. Da jedoch auch die „Null“-Standorte im 2. Horizont im Mittel durchweg niedrigere Gehalte aufweisen, muss es eine weitere Ursache, unabhängig vom Streusalzeinsatz, geben. Eine Erklärung hierfür wären wahrscheinlich höhere Humusgehalte und damit größere Sorptionskapazitäten im oberen Horizont.

Bezüglich des Ca-Gehaltes im Eluat kommt hinzu, dass möglicherweise die oberen Horizonte beider Standortarten und darüber hinaus die „Salz“-Standorte generell höhere Bauschuttbeimengungen enthalten.

Ob es derartige Zusammenhänge mit den Humusgehalten und Bauschuttanteilen gibt, kann vielleicht mit einem Abgleich der Ergebnisse der Bodenansprache geklärt werden.

4.2.2 Salz-Parameter-Vergleich zwischen den Untersuchungs-Terminen

4.2.2.1 Natrium, Chlorid, elektrische Leitfähigkeit

In Tabelle 13 sind für jeden Termin die gemittelten Werte der Streusalz-Parameter Na und Cl im 2:1-Eluat und des allgemeinen Salzparameters elektr. Leitfähigkeit für die beiden beprobten Horizonte der „Salz“- und „Null“-Standorte aufgeführt. Diese Daten sind in den Abb. 12-15 ebenfalls graphisch als Zeitreihe dargestellt, ergänzt durch die 95 %-Konfidenzintervalle⁴ der Mittelwerte (auch „Fehlerbalken“ genannt). Ergänzend und als Interpretationshilfe für die drei Salzparameter in diesem Kapitel sind in Kap. 4.2.2.2 weitere Parameter dargestellt.

Natrium (Tab.13, Abb. 12 und 13)

⁴ engl.: Confidence Interval (CI) (s. Abb. 12 – 18)

Zu Beginn der Untersuchung im Herbst 2006, vor der Streusalz-Periode des nachfolgenden Winters 06/07, lag der mittlere Na-Gehalt (2:1-Eluat) im 1. Horizont 0-30 cm der Salzstandorte bei 60 mg/kg TM und damit ca. 4 mal so hoch wie der „Null“-Level von 16 mg/kg TM (s. Tab.12). Hieraus ist zu schließen, dass in dem Jahr oder/und den Jahren vor 2006 nicht unerhebliche Mengen an Streusalz ausgebracht worden sind.

Tabelle 13: Mittelwerte von Na_{ef}, Cl_{ef} und elektr. Leitf. in den Horizonten der „Salz“- und „Null“-Standorte zu den einzelnen Untersuchungsterminen

Parameter	Art	Hor	Herb 2006	Früh 2007	Herb 2007	Früh 2008	Herb 2008	Früh 2009	Herb 2009	Früh 2010	Herb 2010	Früh 2011
Na _{ef} (mg/kg TM)	Salz	1	60	40	28	30	24	55	42	85	56	123
		2	46	34	37	26	25	31	37	59	48	77
	Null	1	18	14	15	20	23	14	17	13	16	13
		2	12	10	10	11	14	11	13	12	13	12
Cl _{ef} (mg/kg TM)	Salz	1	12	8,1	17	17	11	46	16	18	9,5	74
		2	24	12	17	7,0	11	34	19	31	13	34
	Null	1	12	6,7	10	12	11	17	12	6,4	7,3	4,6
		2	7,3	9,3	5,6	5,3	12	6,0	10	6,0	5,9	6,2
elektr. Leitf. (µS/cm)	Salz	1	398	371	244	331	246	419	337	334	278	424
		2	222	188	178	149	144	221	222	246	186	285
	Null	1	288	327	157	392	193	229	204	223	220	204
		2	156	162	111	129	142	150	184	143	128	146

Seit dem 1. Untersuchungstermin sinkt der Na_{ef}-Gehalt mehr oder weniger kontinuierlich ab, bis er nach 2 Jahren, im Herbst 2008, 24 mg/kg TM erreicht und damit nur noch geringfügig über dem „Null“-Level liegt. Bereits nach einem Jahr seit Beginn der Untersuchung ist der Wert im 1. Horizont von 60 auf 28 mg/kg TM gesunken, so dass hieraus grob geschätzt eine ungefähre Halbwertszeit von weniger als 1 Jahr abgeleitet werden kann.

Nach den vergleichsweise strengen Wintern 2008/09 bis 2010/11 ist der Na_{ef}-Gehalt auf 55 mg/kg TM, 85 bzw. 123 mg/kg TM angestiegen. Zwischenzeitlich, zu den Herbst-Terminen, ist infolge der Auswaschung mit dem Niederschlagswasser jeweils ein deutlicher Abfall zu verzeichnen.

Im 2. Horizont 30-60 cm zeigt Na_{ef} einen ähnlichen, aber deutlich flacheren zeitlichen Verlauf mit einem Anfangswert von 46 mg/kg TM und einem Endwert im Frühjahr 2011 von 77 mg/kg TM. Während die jährliche Streusalzmenge jeweils innerhalb einer relativ kurzen Winter-Periode auf den Boden und so in den 1. Horizont gelangt, findet der Transport in den 2. Horizont, je nach Salz-„Angebot“ im oberen Horizont und Sickerwasserrate, mehr oder weniger kontinuierlich über einen längeren Zeitraum statt. In der Folge kommt es im 2. Horizont, zu weniger ausgeprägten Spitzenwerten.

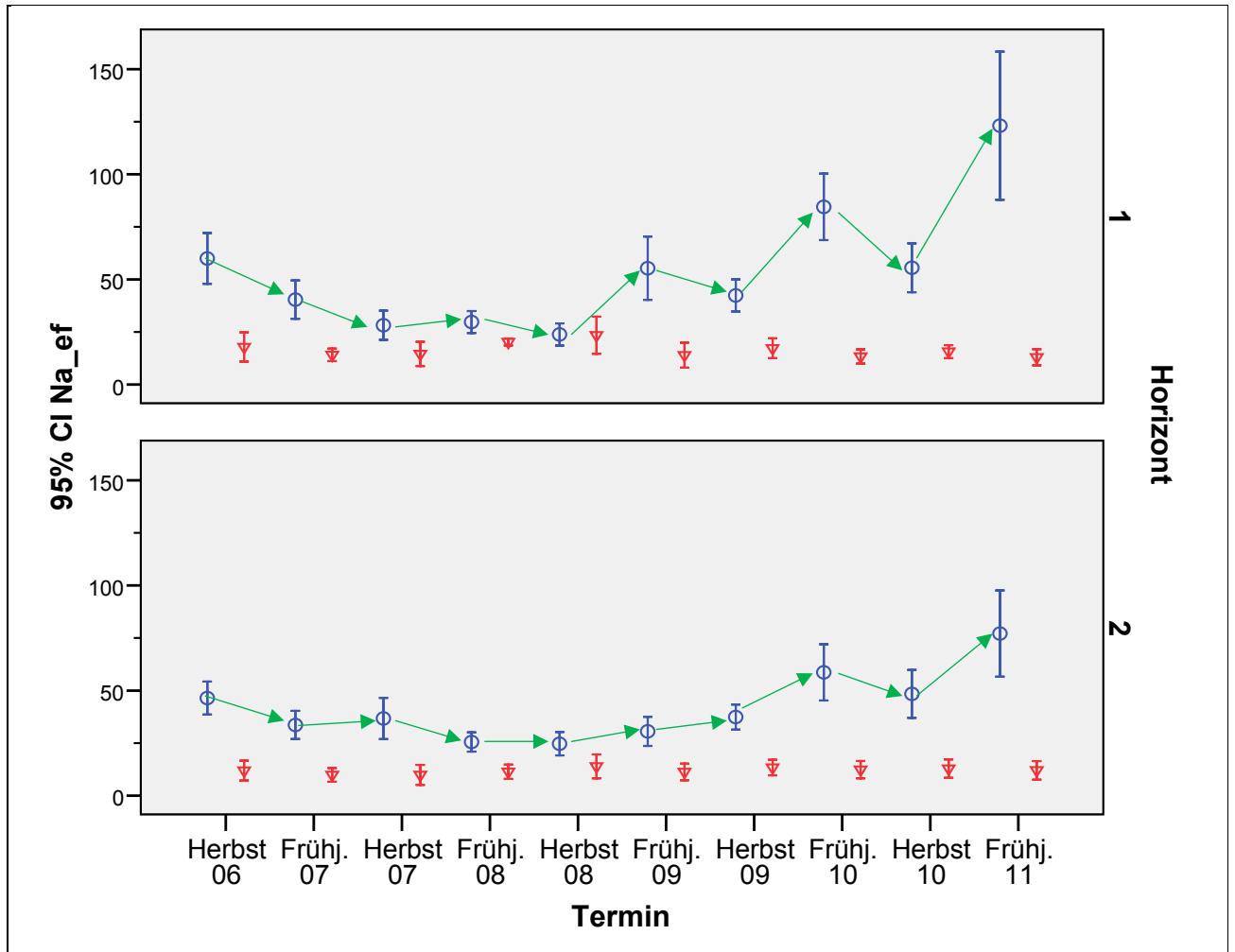


Abbildung 12: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) der Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) der beiden Bodenhorizonte zu den verschiedenen Untersuchungsterminen, differenziert für „Salz“(○)- und „Null“(▽)- Standorte

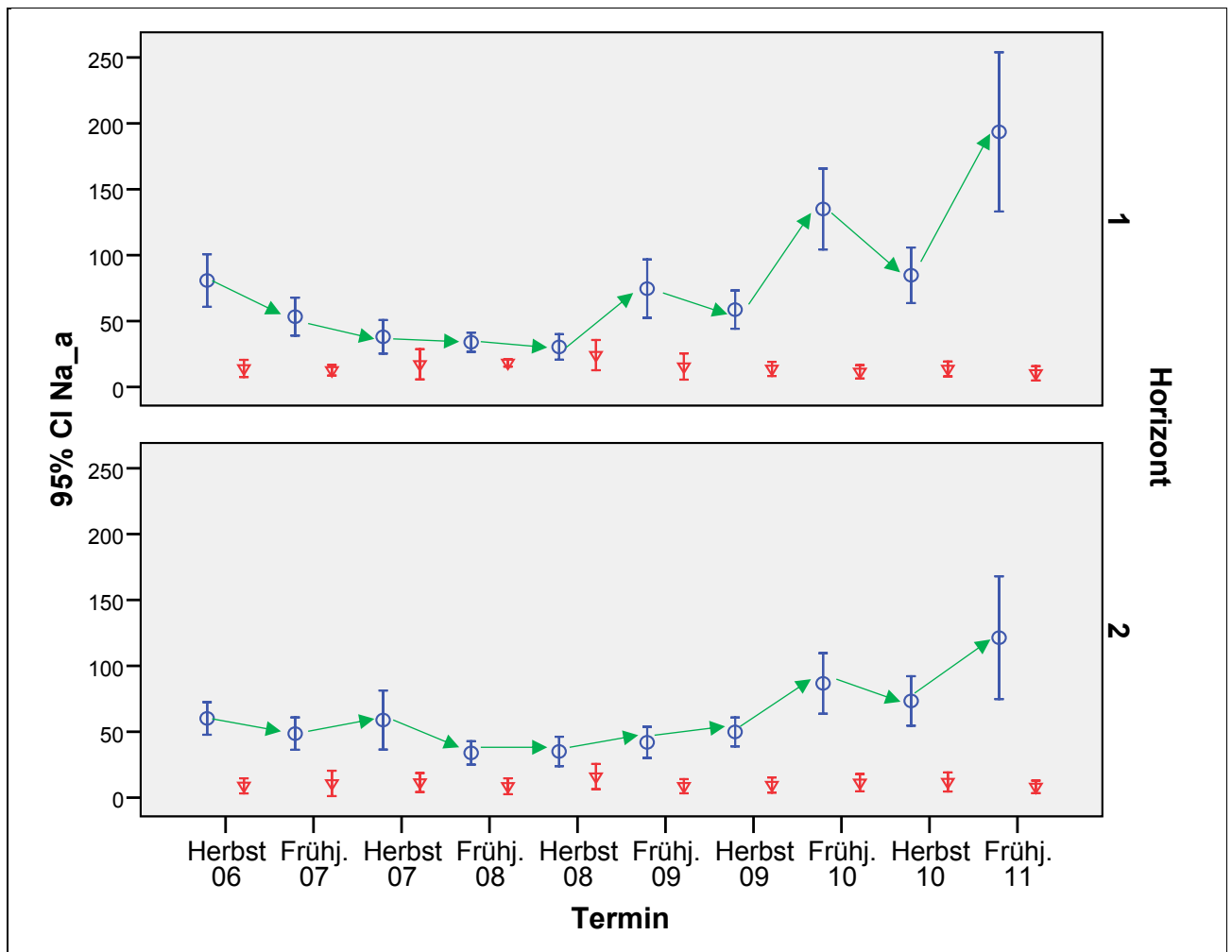


Abbildung 13: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) der Natrium-Gehalte (Ammoniumnitratextrakt), mg/kg TM) der beiden Bodenhorizonte zu den verschiedenen Untersuchungsterminen, differenziert für „Salz“(○)- und „Null“(▽)- Standorte

Chlorid (Abb. 14)

Für Chlorid im Eluat zeigt das Zeitdiagramm des oberen Horizontes lediglich an zwei Terminen hoch signifikante erhöhte mittlere Gehalte, im Frühj. 09 und 11. Hier spiegelt sich die vollständige Wasserlöslichkeit und fehlende Adsorption von Chlorid an der Bodenmatrix wider, in deren Folge das Cl sehr schnell wieder aus dem Boden ausgewaschen wird. Die Halbwertszeit für streusalzbürtiges Chlorid in Straßenrandböden dürfte je nach Sickerwassermenge und -Rate nur wenige Wochen betragen. In besonderem Maße wird dieses zum Probenahme-Termin Frühjahr 10 sichtbar, an dem vom eingetragenen Chlorid des vorangegangenen Winters kaum noch etwas im 1. Horizont vorhanden ist, dafür aber im 2. Horizont ein deutlich erhöhter Gehalt festzustellen ist.

Infolge der zeitlichen Verzögerung ist analog zum Na, auch Cl zu Beginn der Untersuchung im Herbst 08 im unteren Horizont im Mittel geringfügig angereichert.

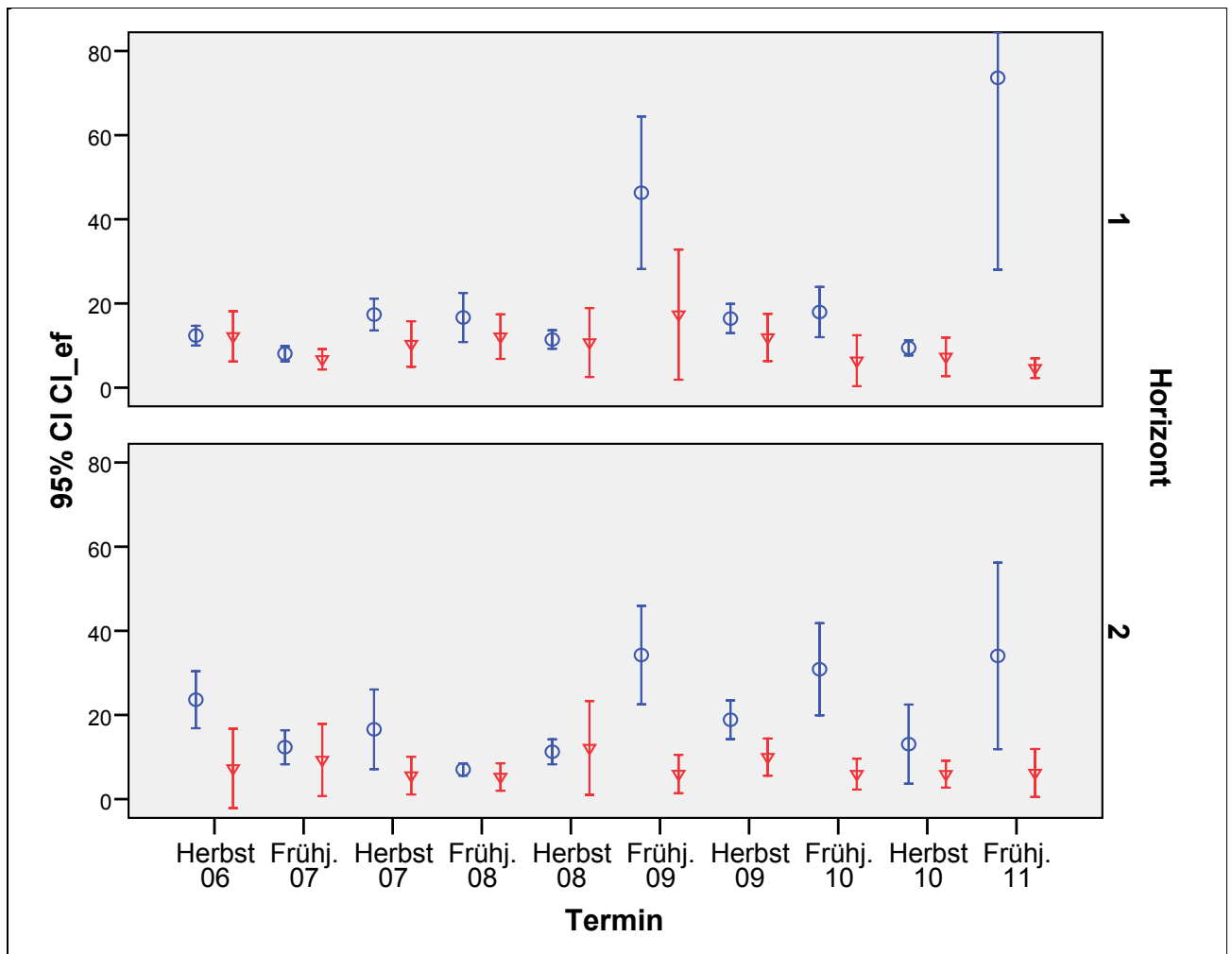


Abbildung 14: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) der Chlorid-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) der beiden Bodenhorizonte zu den verschiedenen Untersuchungsterminen, differenziert für „Salz“ (○)- und „Null“ (▽)- Standorte

Elektrische Leitfähigkeit (Abb. 15)

Auch die elektr. Leitfähigkeit im Eluat, ein summarischer Parameter für die Konzentration an löslichen Salzen im Boden, spiegelt in gewissem Maße den Streusalzeinsatz wider - allerdings offensichtlich weniger präzise als Na_{ef} -, mit einem anfänglichen Abfall der mittleren Leitfähigkeit und einem deutlichen Anstieg im Frühj. 09 und Frühj. 11. Nahezu identisch mit der Leitfähigkeit ist der zeitliche Verlauf von Eq_{Kat} (s. Abb. 18).

An zwei Zeitpunkten ist die Leitfähigkeit gegenläufig zum Na_{ef} (s. Abb. 12): Signifikante Erhöhung der Leitfähigkeit bereits im Frühjahr 08 und deutlicher Abfall zwischen Herbst 09 und Herbst 10. Diese Divergenz zwischen dem allgemeinen Salzparameter und dem „Streusalz“-Parameter Na_{ef}, auf die bereits in Kap. 3.1.2 hingewiesen wurde, ist offensichtlich vorwiegend auf die Ca-Konzentration im Eluat zurückzuführen, denn der Verlauf von Ca_{ef} an diesen Zeitpunkten ist dem der Leitfähigkeit ähnlich (s. Abb. 17).

Auffällig an dem Zeitdiagramm für die Leitfähigkeit ist auch die relativ große Streuung um die Termin-Mittelwerte der Nullstandorte; dieses hat hauptsächlich zwei, eventuell auch drei

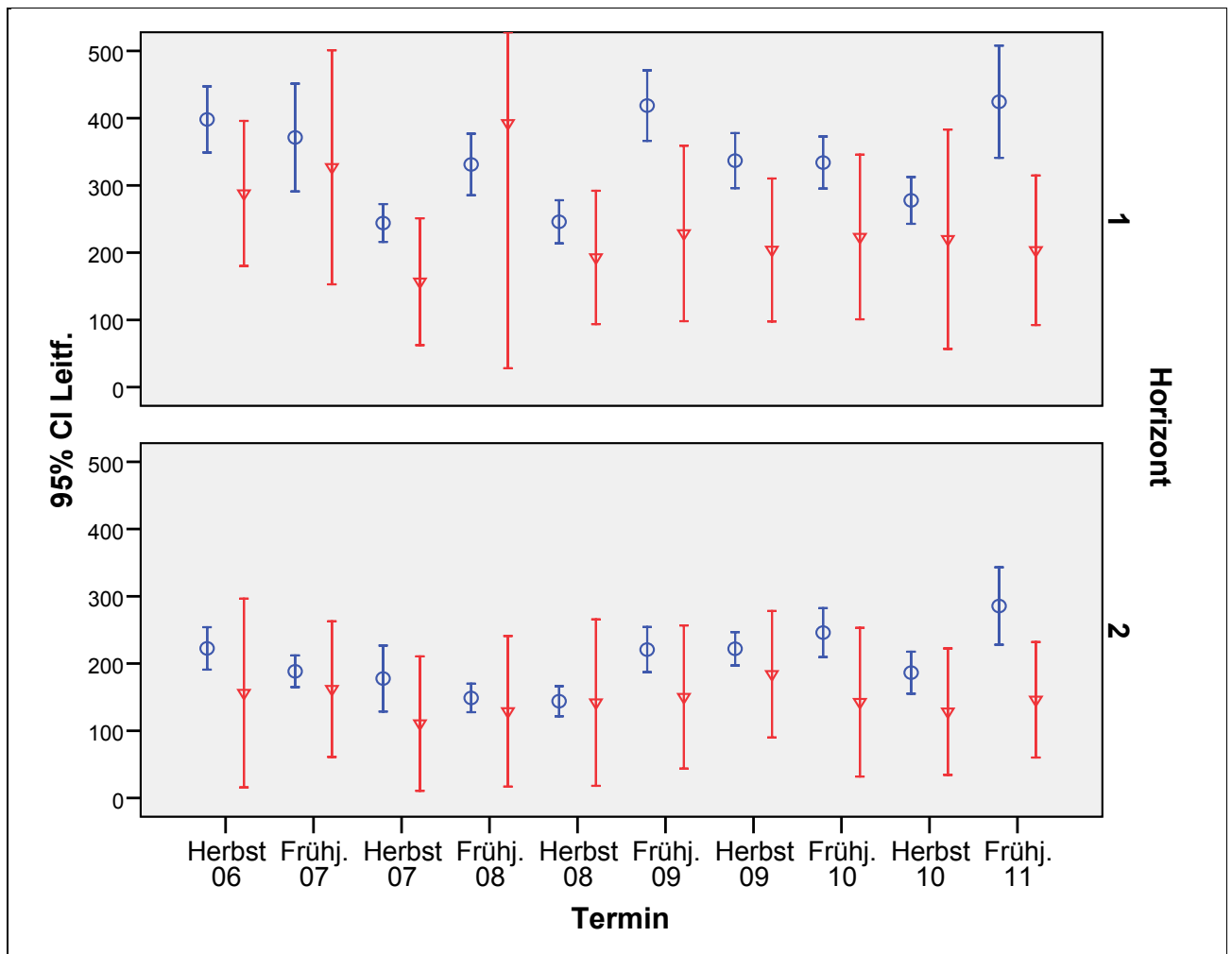


Abbildung 15: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) der elektr. Leitfähigkeit (2:1-Eluat, $\mu\text{S}/\text{cm}$) der beiden Bodenhorizonte zu den verschiedenen Untersuchungsterminen, differenziert für „Salz“ (○)- und „Null“ (▽)- Standorte

Ursachen. Der eine Grund ist rein statistischer Natur⁵; der andere sind wahrscheinlich sehr unterschiedliche Anteile an Bauschuttbeimengungen der 7 Nullstandorte, denn auch die Ca- und Sulfat-Konzentrationen im Eluat der Nullstandorte weisen im Vergleich zu den „Salz“-Standorten zu den verschiedenen Terminen eine vergleichbar große Streuung wie die Leitfähigkeit auf (s. Abb. 17).

Besonders deutlich wird der Einfluss von Ca und SO_4 auf die Höhe der Leitfähigkeit am PN-Termin Frühjahr 08. An diesem Termin treten für alle drei Parameter im 1. Horizont der Nullstandorte jeweils der höchste Mittelwert und zugleich die größte Streuung auf; außerdem sind die Mittelwerte von Ca, SO_4 und Leitf. der Nullstandorte im Frühjahr 08 jeweils höher als bei den Salzstandorten. Möglicherweise sind im Eluat gelöste Gipspartikel in den Proben einiger Null-Standorte die Ursache.

Nicht zuletzt könnten auch Mineraldünger zu erhöhten Salz-Konzentrationen im Eluat von „Null“-Standorten geführt haben (s. hierzu auch Kap. 3.2).

⁵ Die Standardabweichung von Mittelwerten ist stark abhängig von der Anzahl n. Bei ihrer Berechnung geht n als Wurzel in den Nenner ein. Anzahl „Salz“-Standorte: n = 61, „Null“-Standorte: n = 7

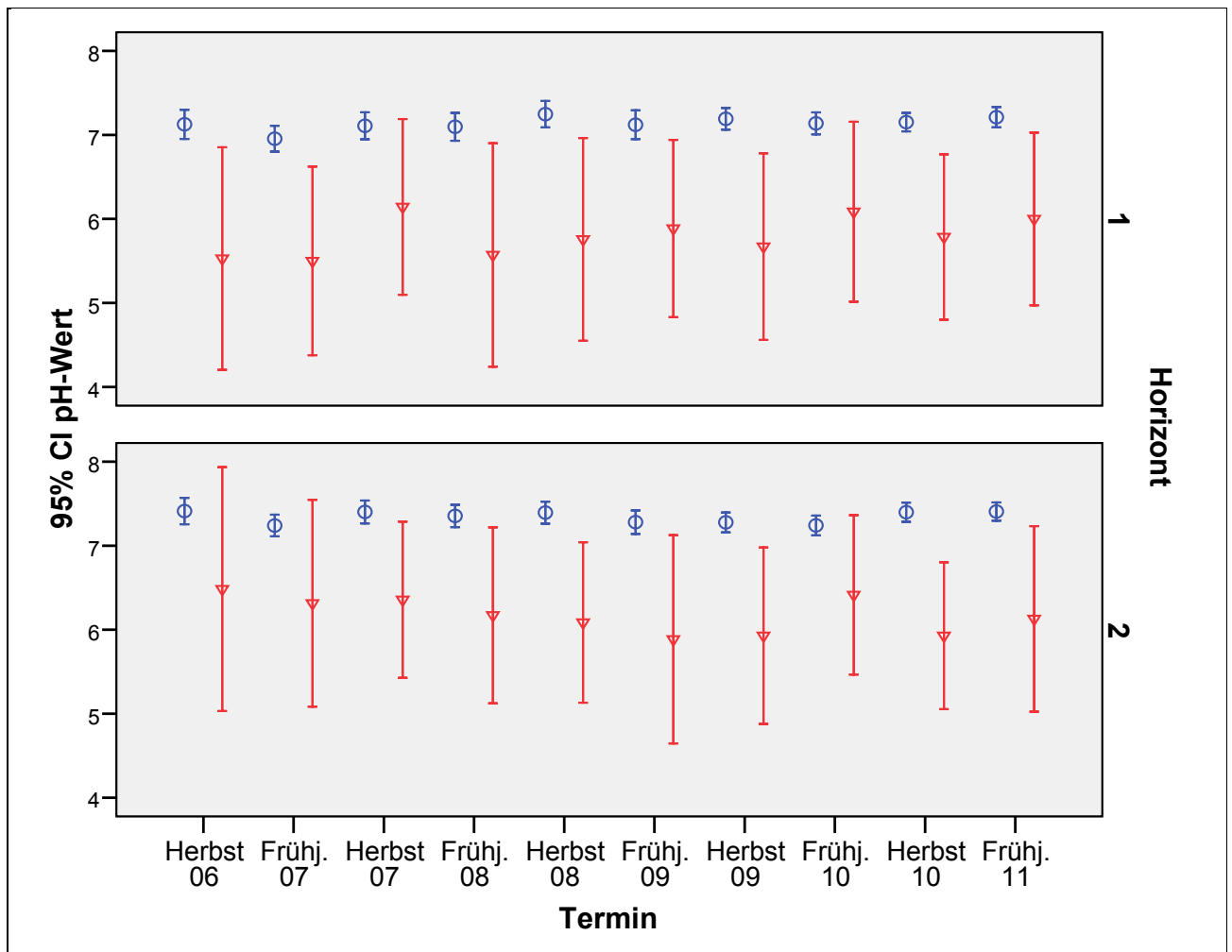


Abbildung 16: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) der pH-Werte (2:1-Eluat) der beiden Bodenhorizonte zu den verschiedenen Untersuchungsterminen, differenziert für „Salz“(○)- und „Null“(▽)- Standorte

pH-Wert (Abb. 16)

Auch die pH-Werte der „Null“-Standorte zeigen bei mittleren Werten im schwach sauren Bereich an allen Untersuchungsterminen eine sehr große Varianz, mit vermutlich den gleichen Ursachen, wie oben für die Leitfähigkeit beschrieben.

In den Böden der „Salz“-Standorte liegen die mittleren pH-Werte dagegen im neutralen bis schwach alkalischen Bereich mit einer auffallend geringen Streuung sowohl innerhalb als auch zwischen den Untersuchungsterminen. Als Ursache für die höheren pH-Werte der Böden der „Salz“-Standorte kommen sowohl anthropogene Beimengungen wie z.B. Bauschutt und Aschen als auch das Natrium des Streusalzes in Betracht. Zur Theorie des Zusammenhanges zwischen Salz und pH-Wert in Böden siehe Kap. 4.2.4.

4.2.2.2 Andere Salz-Parameter

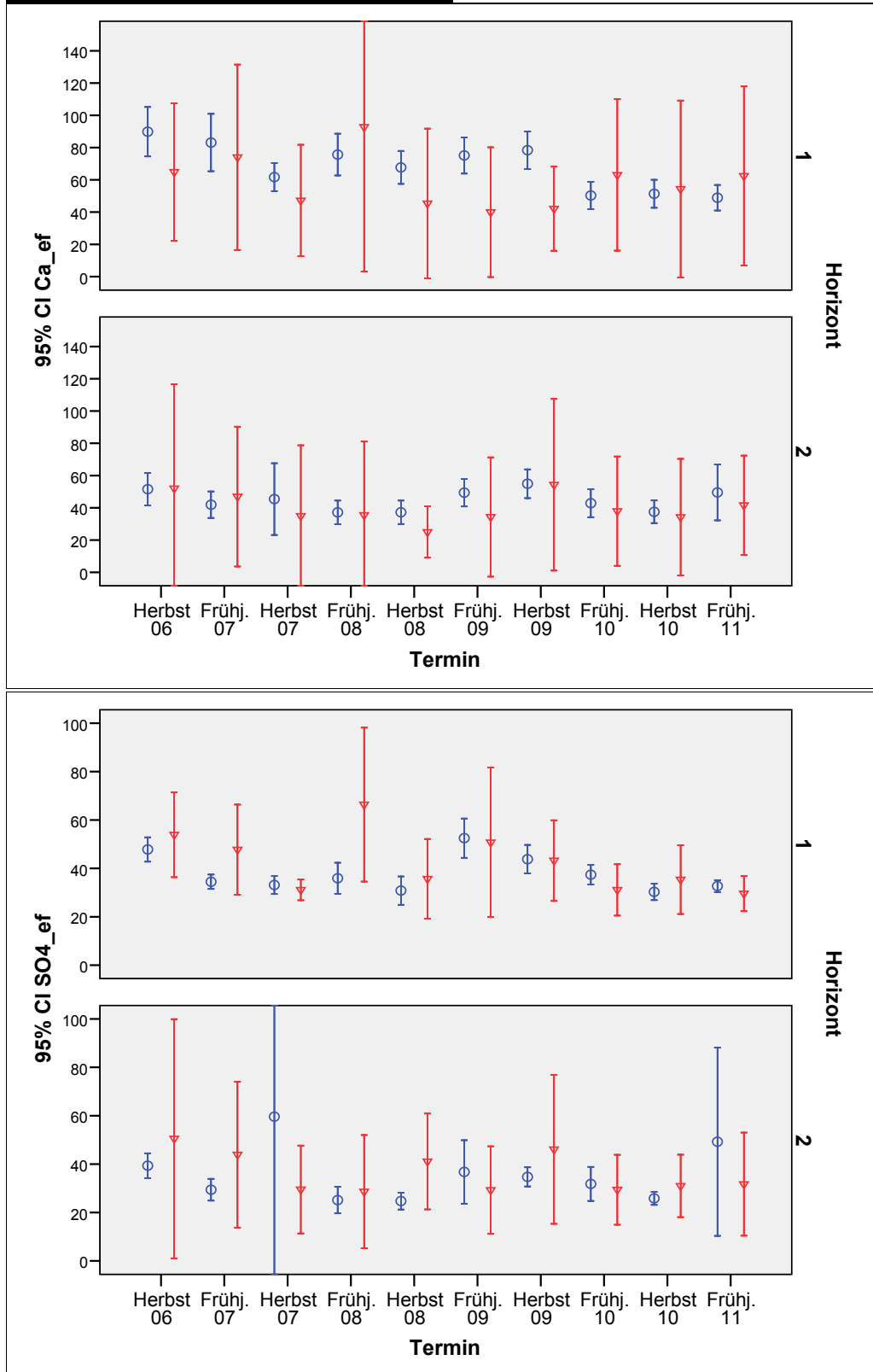


Abbildung 17: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) von Ca_{ef} (mg/kg TM) und SO_{4_ef} (mg/kg TM), differenziert für „Salz“ (○)- und „Null“ (▽)- Standorte

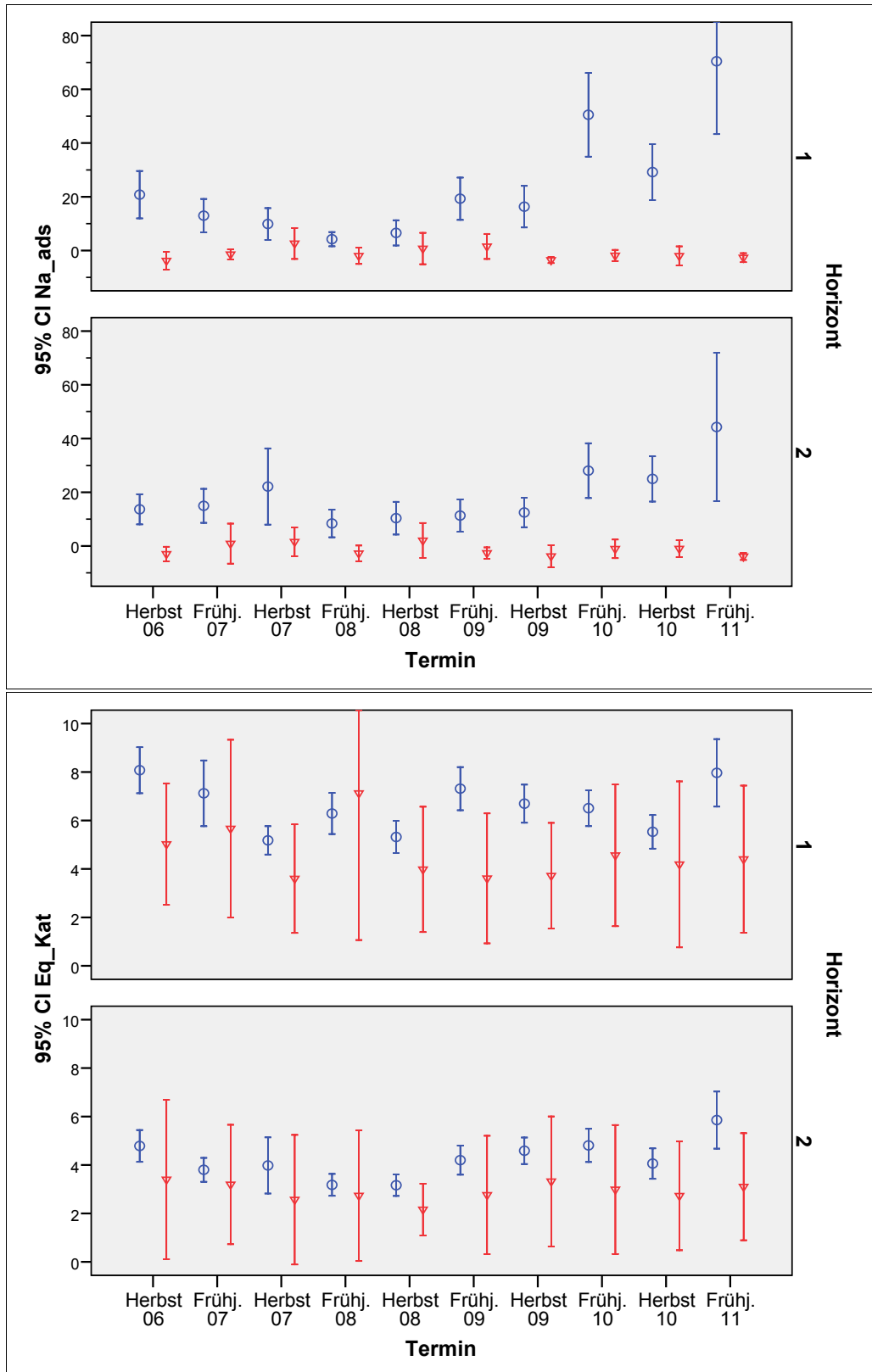


Abbildung 18: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) von Na_ads (mg/kg TM) und Eq_kat (meq/kg TM), differenziert für „Salz“(○)- und „Null“(▽)- Standorte

4.2.3 Darstellung von Salzparametern einzelner Standorte

Die Darstellung von Einzelwerten erfolgt profil-/horizontweise als Balkendiagramm. Der Skalierungsmaßstab der Y-Achse ist hierbei für beide Horizonte eines Profils jeweils gleich (s. z.B. Abb. 19 ff).

4.2.3.1 Salzstatus der „Null“-Standorte

Im vorangegangenen Kap. 4.2.2 wurde festgestellt, dass die elektrische Leitfähigkeit und auch andere Salzparameter der „Null“-Standorte zu den verschiedenen Terminen stark streuen. Der Frage nach den möglichen Ursachen soll bei der Betrachtung der einzelnen Standorte noch einmal nachgegangen werden.

In Tabelle 14 sind jeweils die mittleren Werte verschiedener Salzparameter im 1. Horizont der 7 „Null“-Profile im Vergleich zum Gesamt-Mittelwert im 1. Horizont aller „Null“-Profile dargestellt. Neben der Standardabweichung des Gesamtmittelwertes (n=70) sind in Tab. 8 auch die Standardabweichungen zwischen den Profilen (n=7) und innerhalb der Profile aufgeführt.

Tabelle 14: Salz-Parameter im 1. Horizont der „Null“-Standorte: Mittelwerte der 7 „Null“-Profile, Gesamt-Mittelwerte und Standardabweichungen (ohne Ausreißer-Eliminierung) (Einheiten der Parameter siehe Tab. 2)

Parameter	Mittelwerte in den „Null“-Profilen (jeweils über alle Termine, n=10)							Mittelwert Gesamt (n=70)	Standardabweichung		
	Profil 54	Profil 68	Profil 72	Profil 73	Profil 75	Profil 78	Profil 115		Gesamt	zwischen den Profilen	
										in	
Na_ef	13*	14	18	22*	13	19	15	16	37%	22%	30%
Leitf.	109	178	427	210	280	185	318	244	74%	43%	60%
Eq_Kat	1,8	3,4	9,2	3,3	5,7	2,7	6,0	4,6	76%	55%	53%
Mg_ef	3,0	4,5	12	5,6	8,4	5,5	8,7	6,9	93%	46%	81%
Ca_ef	16	46	122	32	83	27	85	59	93%	66%	66%
K_ef	13	9	56	17	14	7	20	20	96%	84%	46%
pH-Wert	5,2	6,8	7,3	4,9	5,9	4,4	6,1	5,8	20%	18%	8%

* rot: höchster, blau: niedrigster Mittelwert

Die mittleren Na_ef-Gehalte der 7 Profile schwanken zwischen 13 und 22 mg/kg TM; die relative Standardabweichung (S) zwischen den Profilen ist mit 22 % und innerhalb der Profile mit 30 % sowie einer Gesamt-S von 37 % vergleichsweise niedrig. Für die anderen in Tab. 14 dargestellten Salzparameter ergeben sich dagegen deutlich höhere Standardabweichungen, z.B. Gesamt-S von 74 % (Leitf.) bis 96 % (Kalium).

Für die meisten Parameter treten die höchsten mittleren Werte in Profil 72 (Thörlspark) und die niedrigsten in Profil 54 bzw. 78 auf. In Abb. 19-22 sind exemplarisch die Einzelergebnisse für Natrium, Kalium, Leitfähigkeit und pH-Wert im 2:1-Eluat von Horizont 1 der jeweils am stärksten und am geringsten „belasteten“ „Null“-Standorte (s. rote und blaue Markierung in Tab. 14) als Balkendiagramm dargestellt.

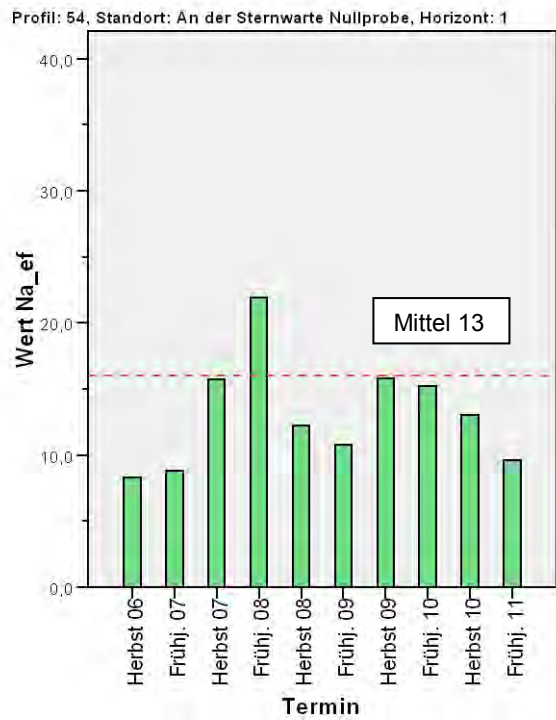
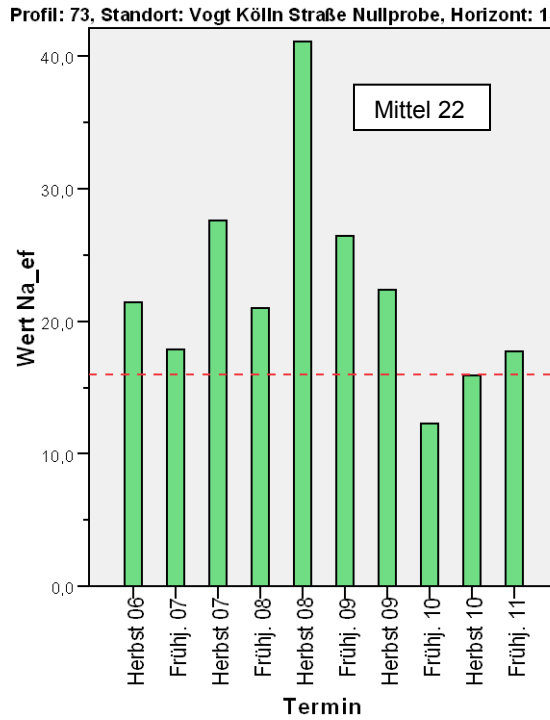


Abbildung 19: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 von Profil 73 und Profil 54 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert über alle „Null“-Proben

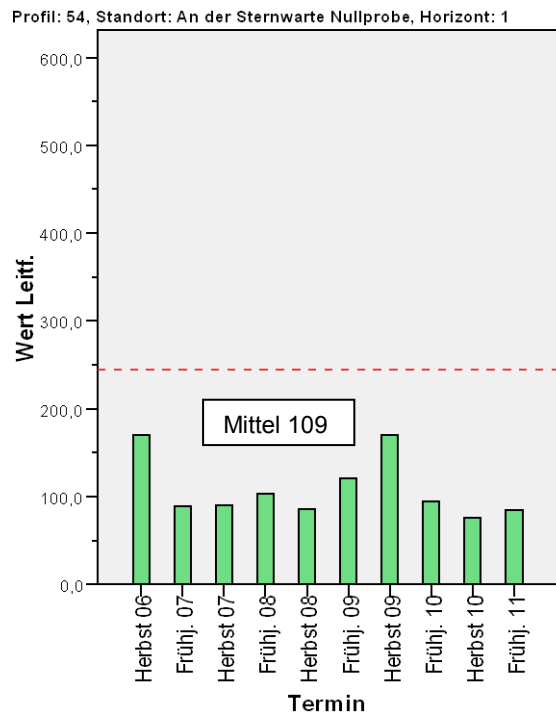
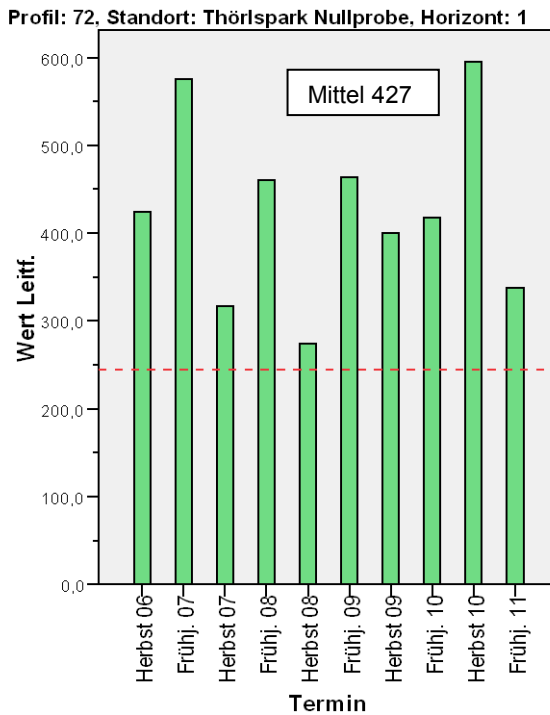
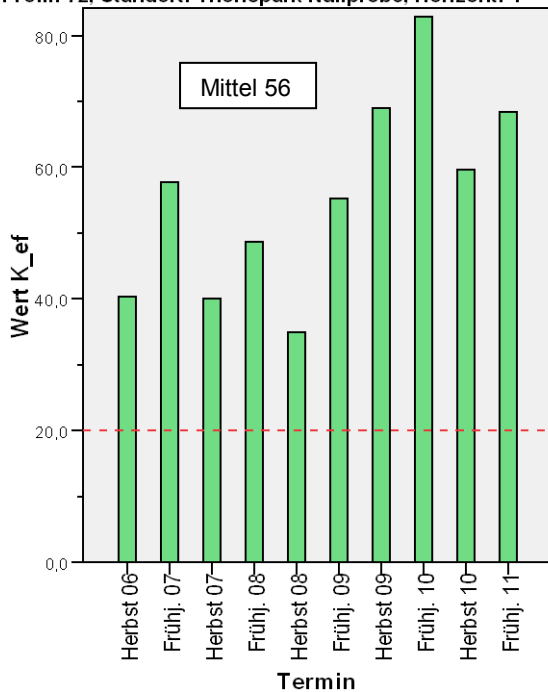


Abbildung 20: Elektrische Leitfähigkeit (2:1-Eluat, µS/cm) in Horizont 1 von Profil 72 und Profil 54 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert über alle „Null“-Proben

Profil: 72, Standort: Thörlspark Nullprobe, Horizont: 1



Profil: 78, Standort: Eißendorfer Waldweg Nullprobe, Horizo...

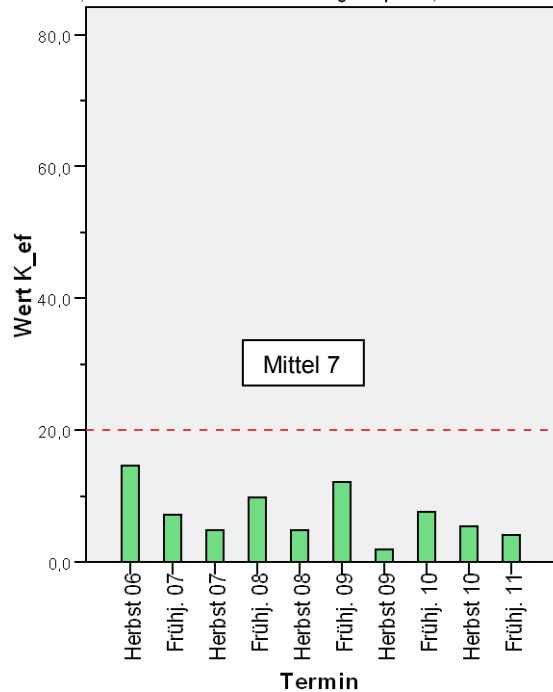
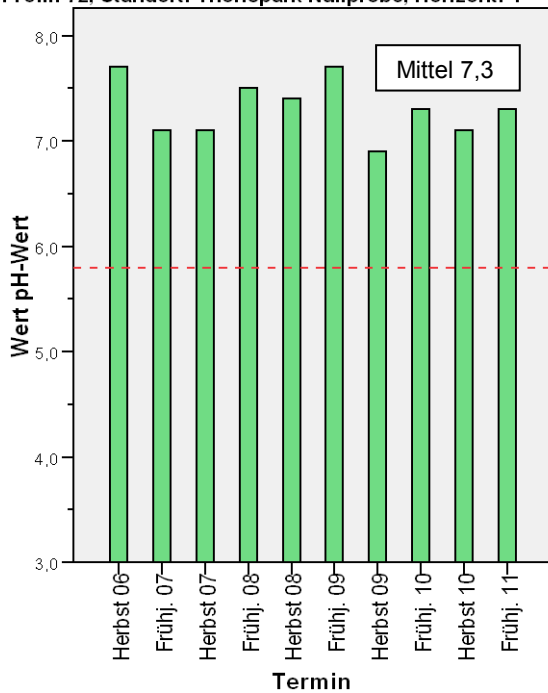


Abbildung 21: Kalium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 von Profil 72 und Profil 78 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert über alle „Null“-Proben

Profil: 72, Standort: Thörlspark Nullprobe, Horizont: 1



Profil: 78, Standort: Eißendorfer Waldweg Nullprobe, Horizo...

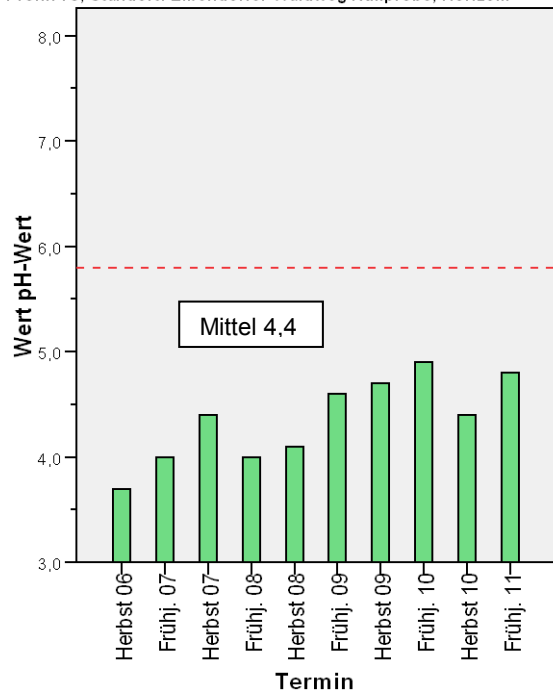


Abbildung 22: pH-Werte (2:1-Eluat) in Horizont 1 von Profil 72 und Profil 78 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert über alle „Null“-Proben

Die Diagramme in Abb. 19-22 zeigen eindrucksvoll, dass auch die Salzgehalte von „Null“-Standorten sehr unterschiedliche Niveaus erreichen können. So liegen die allgemeinen Summenparameter für lösliche Salze - elektr. Leitfähigkeit und Eq_Kat - im Nullprofil (Hor. 1) Thörlspark im Mittel mit 427 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) bzw. 9,2 (meq/kg TM) etwa so hoch wie das 90-Perzentil dieser Parameter aller Standorte (s. Tab. 8). Die Ursache hierfür ist jedoch nicht Streusalz, sondern sind sehr wahrscheinlich Mineraldünger-Salze mit K, Mg und Ca. Kalium im 2:1-Eluat kann somit als Indikator für Nährstoffdüngersalze und Calcium für Düngerkalke angesehen werden.

Das hohe Düngungsniveau dieses Bodens, siehe z.B. Kalium in Abb. 21, spiegelt sich auch in dem hohen pH-Wert von 7,3 wider, im Vergleich zu pH 5,8 im Mittel aller „Null“-Standorte (s. Abb. 22).

Während im Profil 72 (Thörlspark) durchgängig über den gesamten Untersuchungszeitraum ein sehr hohes Düngungsniveau für Kalium herrscht, gibt es andere Nullprofile mit zwar allgemein niedrigem K-Niveau, aber zeitweilig stark erhöhten K-Konzentrationen im Eluat, wie z.B. am Gammer Weg (Profil 68, s. Abb. 23)

In der Anlage 1 sind für Natrium und Kalium im 2:1-Eluat entsprechende Balkendiagramme für beide Horizonte aller 7 „Null“-Standorte zusammengestellt.

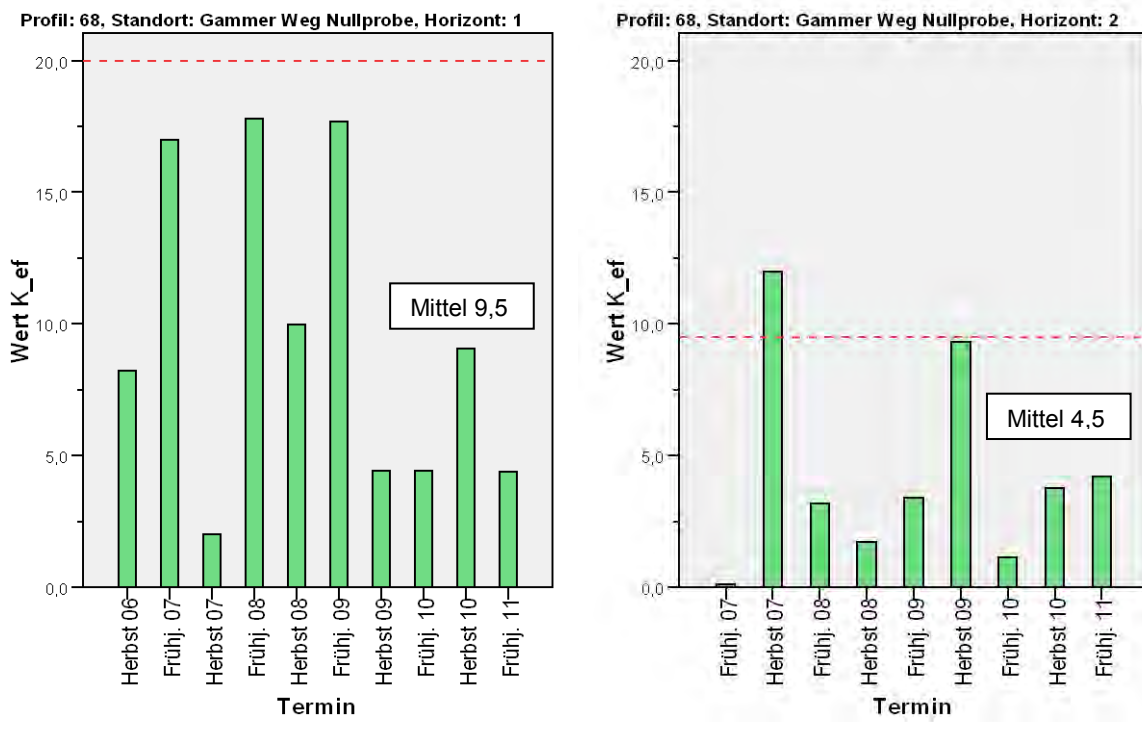


Abbildung 23: Kalium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 von Profil 68 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert über alle „Null“-Proben

4.2.3.2 Einzelergebnisse in den Böden der „Salz“-Standorte

Die Darstellung von Ergebnissen der einzelnen „Salz“-Standorte beschränkt sich auf den Streusalz-Parameter Natrium im 2:1-Eluat (Na_{ef} mg/kg TM). Die standortbezogene mittlere Na_{ef}-Belastung im oberen Horizont (über alle Untersuchungstermine) schwankt zwischen 182 mg/kg TM Na_{ef} im Bodenprofil 69 „Curslacker Heerweg“ und 16 mg/kg TM Na_{ef} im Profil 129 „Hagenbeckstraße“, einem Wert, der auf der Höhe des mittleren Gehaltes der „Null“-Standorte liegt (s. Tab. 12).

Für alle „Salz“-Standorte und -Horizonte wurden Balkendiagramme mit dem Streusalz-Parameter Na_{ef} erstellt; die insgesamt 122 Graphiken sind sortiert nach Profil-Nr. in einer PDF-Datei der Anlage 2 enthalten. In diesem Kapitel werden exemplarisch für verschiedene Belastungsniveaus und Verteilungsmuster die Balkendiagramme einiger ausgewählter Böden dargestellt. Grundlage für die Vorauswahl der Standorte ist eine Cluster-Analyse für Na_{ef} in der Kategorie Profil (s Tab.15).

Tabelle 15: Cluster-Analyse (TWOSTEP) für Na_{ef} in der Kategorie Profil, Horizont 1, „Salz“-Standorte

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	gesamt
N	256	160	185	601
% von gesamt	42,6	26,6	30,8	100
Mittelwert Na _{ef} (mg/kg TM)	28	52	94	54
Stabw (mg/kg TM)	19	37	98	65

Profil/Standort-Nr.	Anzahl Na _{ef} - Werte in		
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
5,6,32,40,57,59,64,66,71,107,108,109,113,118,124,125,127,128,129,130,134	10	-	-
85,86,87(nur 7 Probenahme-Termine)	7	-	-
28,29	9	-	1
35	7	-	3
11,22,36,48,53,63,77,102,105,112,114,116,121,122,123,131	-	10	-
1,2,10,18,30,31,34,41,52,62,67,69,74,76,82,100,104,119	-	-	10

Die folgenden Abb. 24 bis 30 zeigen die Einzelergebnisse für Natrium im 2:1-Eluat von 8 ausgewählten Salzstandorten, in der Reihenfolge von hohen zu niedrigen mittleren Gehalten im ersten Horizont. Die rot gestrichelten Linien markieren jeweils für Horizont 1 und 2 den Na_{ef}-Mittelwert der „Null“-Proben (s. Tab. 12).

Augenscheinliche Besonderheiten im zeitlichen und tiefenabhängigen Verteilungsmuster in den Graphiken werden kurz kommentiert.

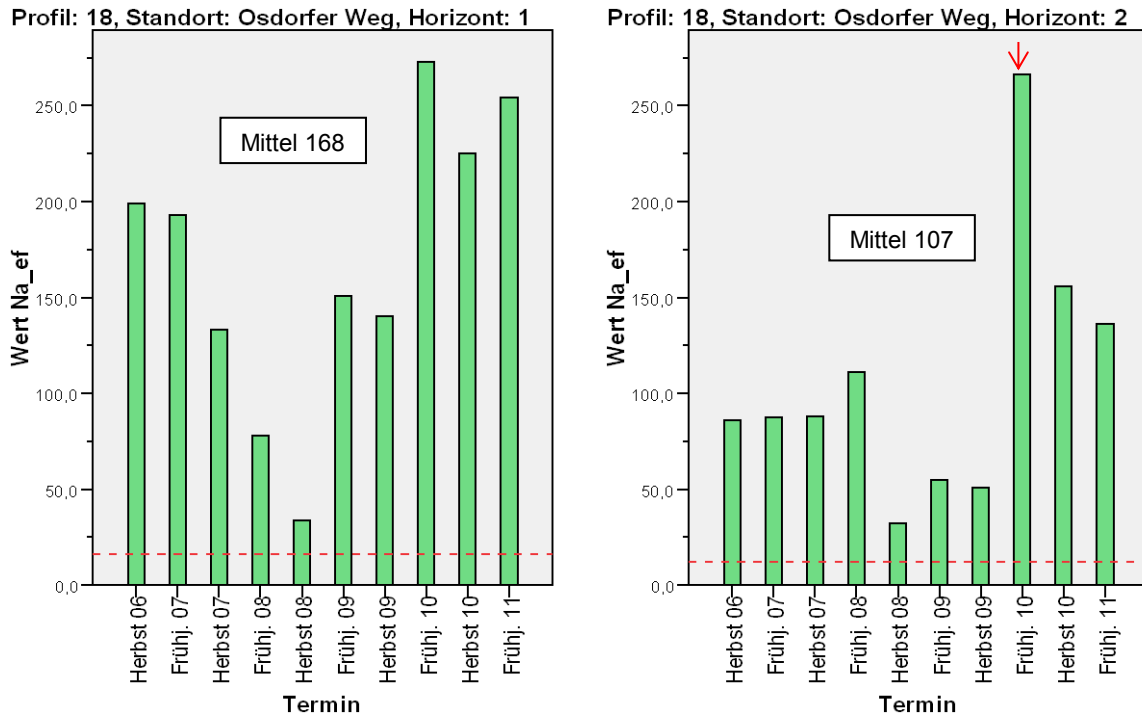


Abbildung 24: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 von Profil 18 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert für Hor. 1 u. 2 über alle „Null“-Proben

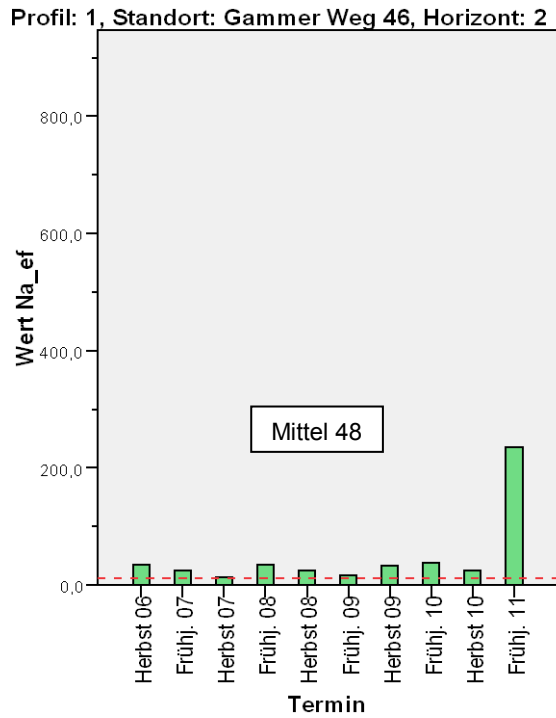
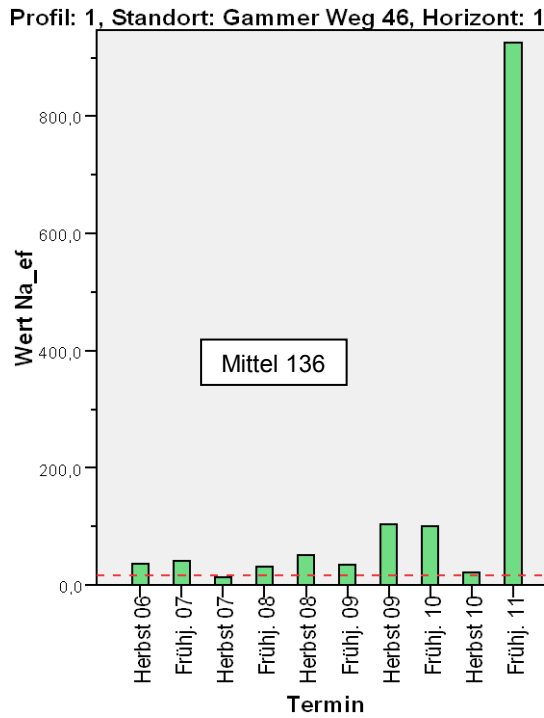
Das Profil 18 am „Osdorfer Weg“ (Abb. 24) ist im 1. Horizont mit einem Mittelwert von 168 mg/kg TM Na_{ef} der zweithöchst belastete Standort.

Das zeitliche Verteilungsmuster ist – zwar auf höherem Niveau - dem Muster der mittleren Gehalte aller Standorte (s. Abb. 12 in Kap. 4.2.2) sehr ähnlich: Am Beginn der Untersuchung im Herbst 2006, vor der Streusalz-Periode des nachfolgenden Winters 06/07, lag der Na_{ef}-Gehalt im 1. Horizont bei 200 mg/kg TM und damit ca. 12 mal so hoch wie der „Null“-Level von 16 mg/kg TM. In dem Jahr oder/und den Jahren vor 2006 müssen am Osdorfer Weg also größere Mengen an Streusalz ausgebracht worden sein.

Seit dem 1. Untersuchungstermin sinkt der Na_{ef}-Gehalt mehr oder weniger kontinuierlich ab, bis er nach 2 Jahren, im Herbst 2008, etwa 30 mg/kg TM erreicht und damit nur noch wenig über dem „Null“-Level liegt.

Nach den vergleichsweise strengen Wintern 2008/09 bis 2010/11 ist der Na_{ef}-Gehalt auf ca. 150 mg/kg TM, 270 bzw. 250 mg/kg TM angestiegen. Zwischenzeitlich, zu den Herbst-Terminen, ist infolge der Auswaschung mit dem Niederschlagswasser jeweils ein Abfall zu verzeichnen.

Auffällig an diesem Standort ist, dass zum Untersuchungstermin Frühj. 10 die Salzbelastung im 2. Horizont mit ca. 270 mg/kg TM Na_{ef} etwa gleich hoch ist wie im oberen Horizont. Es ist zu vermuten, dass der Salzeintrag hier im Winter 09/10 so hoch war, dass große Mengen in kurzer Zeit direkt in tiefere Bodenschichten verlagert wurden.



Ausschnitt

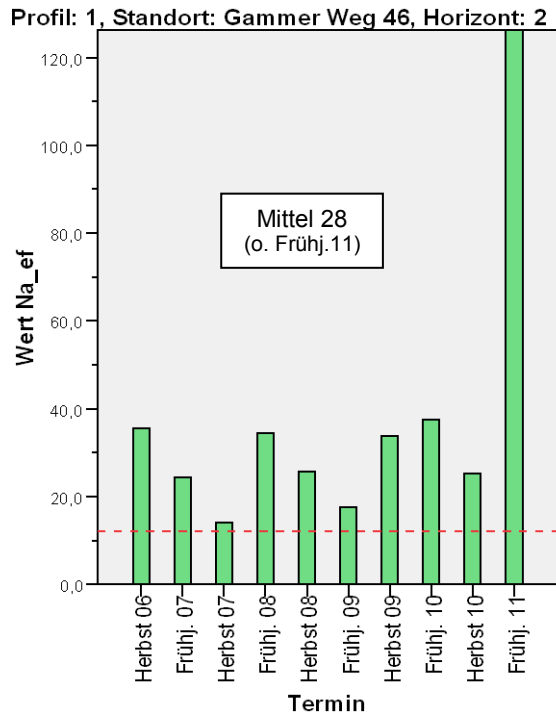
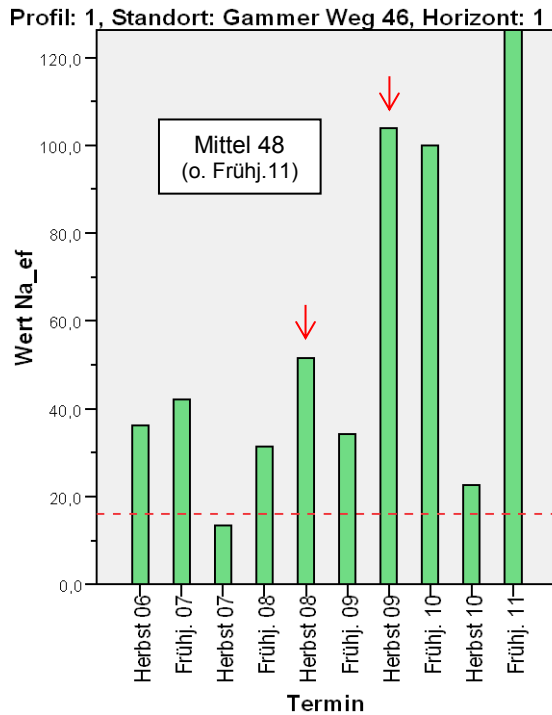


Abbildung 25: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 von Profil 1 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen

rot gestrichelte Linie: Mittelwert für Hor. 1 u. 2 über alle „Null“-Proben

Ein vergleichsweise ungewöhnliches Bild zeigt Profil 1 am „Gammer Weg 46“ (Abb. 25). Zum letzten Probenahmetermin wurde hier im 1. Horizont der maximale Na_{ef}-Gehalt der gesamten Untersuchung gemessen. Der hohe Wert von 925 mg/kg TM Na_{ef} macht diesen Boden zum dritthöchst belasteten Standort (Mittel 136); ohne den Messwert vom Frühj. 11 ergibt sich statt 136 ein Mittelwert von 46 mg/kg TM Na_{ef}.

Besonders auffällig ist, dass an den beiden Herbstterminen 08 und 09 bereits ein deutlicher Anstieg der Na_{ef}-Gehalte zu verzeichnen ist, statt wie zu erwarten zu den Frühjahrsterminen. Vermutlich ist am Gammer Weg jeweils noch nach den Probenahmeterminen im Frühjahr, oder bereits vor den Probenahmen im Herbst jeweils Salz gestreut worden. Ein derartiger Befund kann auch bei einigen anderen Standorten gemacht werden (s. Abb. 26, 28, 29 und Anlage 2). Ein Abgleich der PN-Termine mit den Streutermine der Stadtreinigung könnte diese Frage eventuell klären.

An einer der meist befahrenen Straßen Hamburgs, der „Edmund-Siemers-Allee“, wurden zwei straßennahe Bodenprofile (Profil 82 u. 35 Abb. 26) untersucht. Die beiden Parallel-Standorte zeigen ähnliche Belastungshöhen und zeitliche Verteilungen des Natriums: In der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraums vergleichsweise niedrige Salzgehalte im Bereich der „Null“-Proben bzw. nur geringfügig über dem „Null“-Level. Salzreste aus der Zeit vor der Untersuchung sind nur noch im 2. Horizont angedeutet. Erst ab Herbst 2009 steigt der Salzgehalt an, bis auf den maximalen Wert am Ende der Untersuchung von 300 bzw. 350 mg/kg TM Na_{ef}.

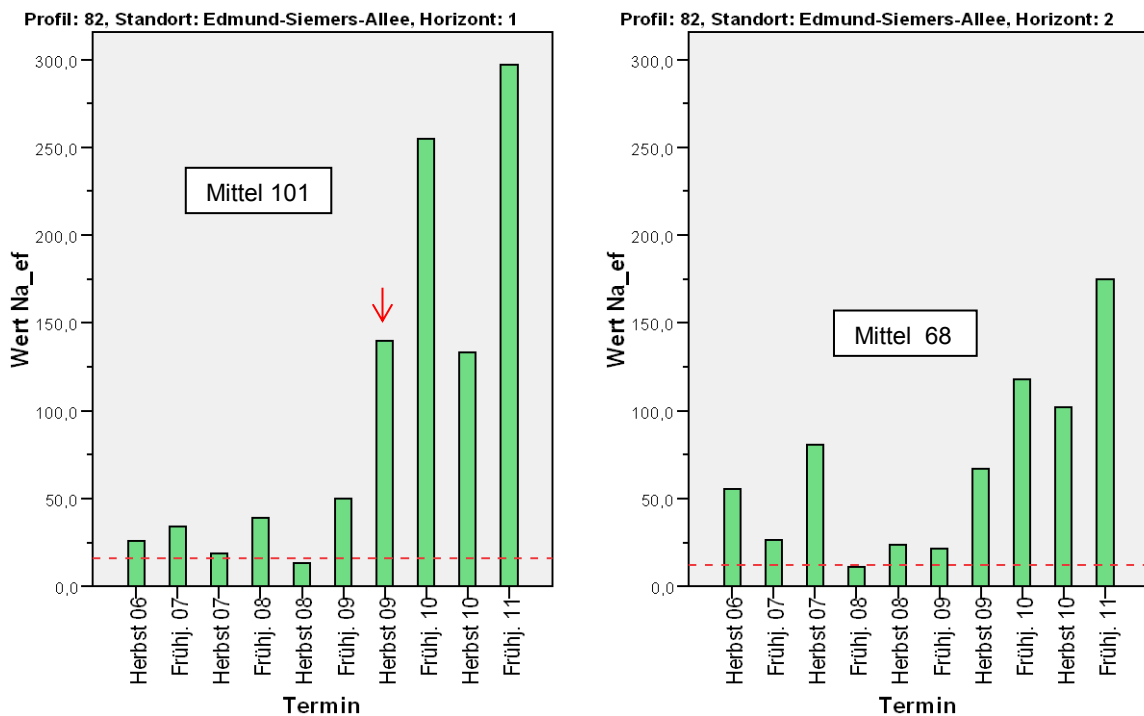


Abbildung 26 (Fortsetzung nächste Seite)

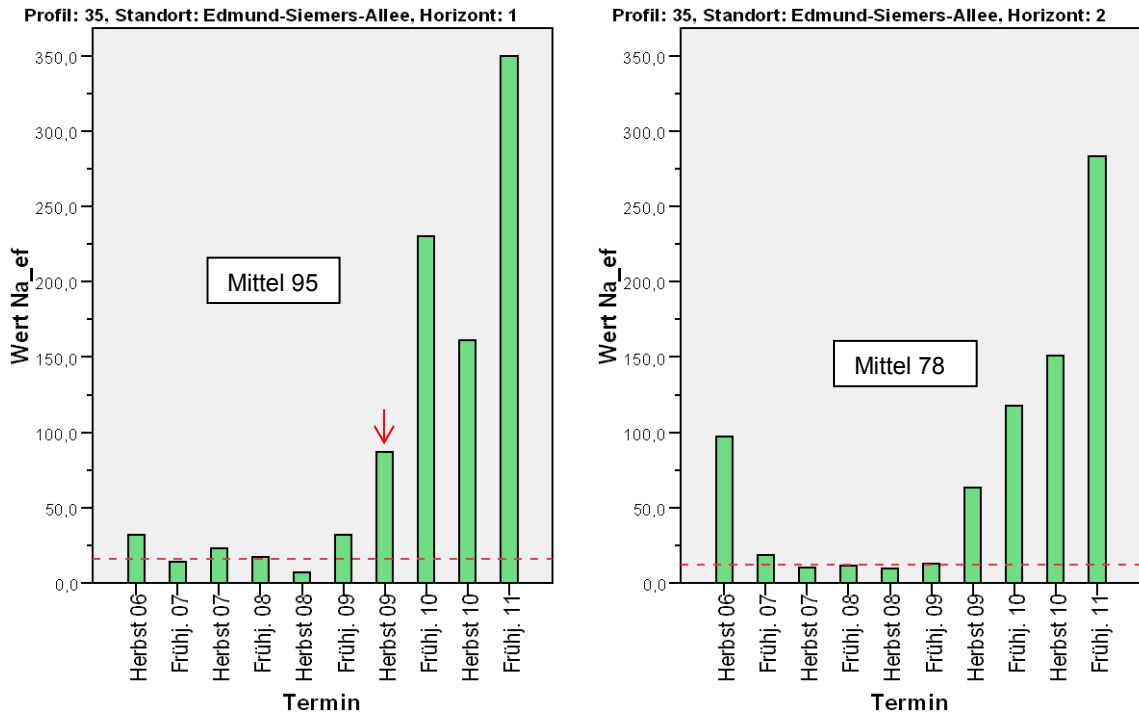


Abbildung 26: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 der beiden Böden an der Edmund-Siemers-Allee (Profile 82, 35) zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert für Hor. 1 u. 2 über alle „Null“-Proben

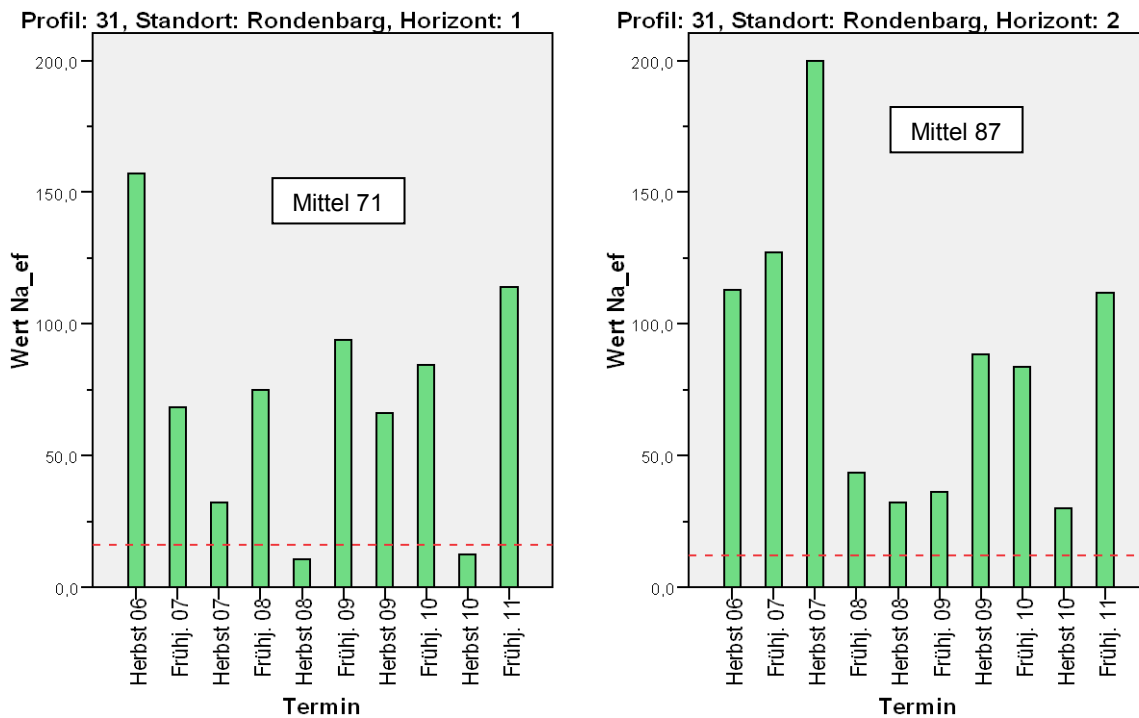


Abbildung 27: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 von Profil 31 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert für Hor. 1 u. 2 über alle „Null“-Proben

Im oberen Horizont des Bodens am Standort „Rondenberg“ (Profil 31 Abb. 27) tritt der höchste Na_{ef}-Gehalt am ersten PN-Termin auf. Auf dieser Straße wurden offenbar bereits im Winter 07/08 wieder nennenswerte Streusalzmengen ausgebracht. Auch in den folgenden Jahren ist im Frühjahr jeweils ein Anstieg und im nachfolgenden Herbst eine Absenkung der Salzgehalte festzustellen, im Herbst 08 und 10 sogar unter das „Null“-Niveau.

Auch die relativ hohen Na_{ef}-Gehalte im 2. Horizont an den ersten drei Terminen deuten darauf hin, dass vor dem PN-Termin Herbst 06 am Rondenberg größere Mengen an Streusalz ausgebracht worden sind.

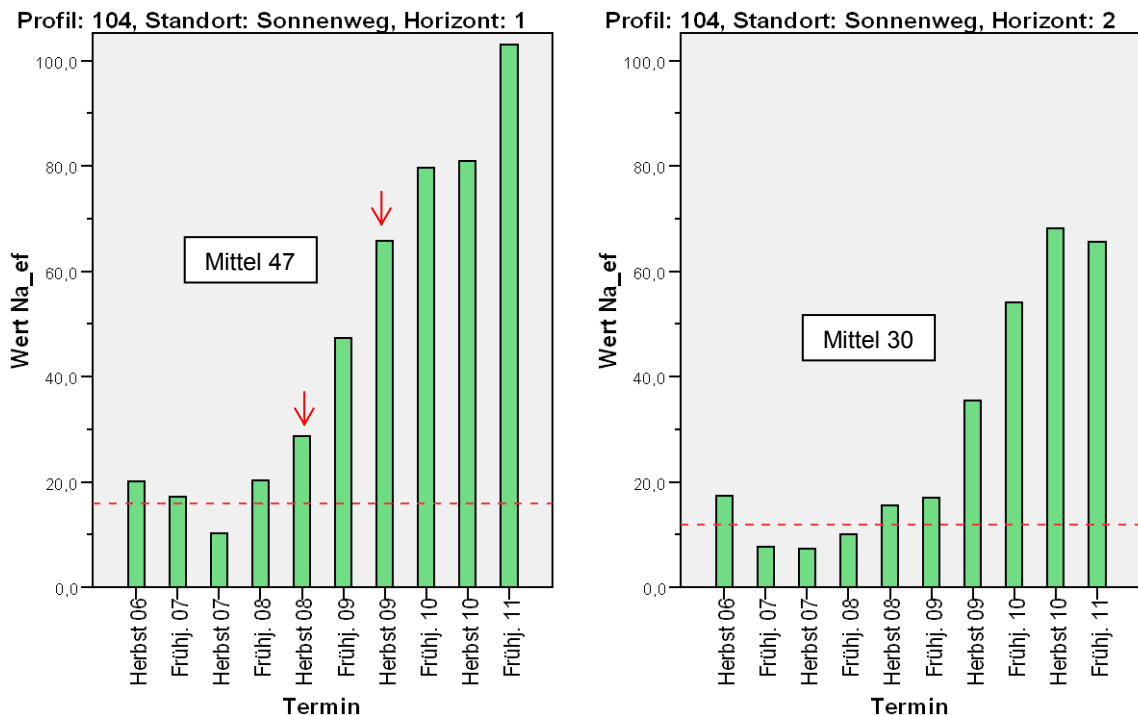


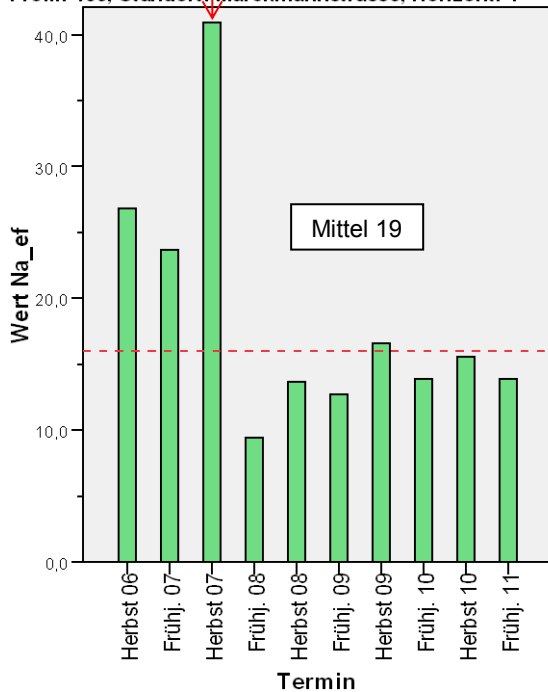
Abbildung 28: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 von Profil 104 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen

rot gestrichelte Linie: Mittelwert für Hor. 1 u. 2 über alle „Null“-Proben

Standort „Sonnenweg“ (Profil 104 Abb. 28): Bis Frühj. 08 Salzgehalte auf dem Niveau der „Null“-Standorte, danach kontinuierlicher Anstieg bis zum Ende der Untersuchung auf ca. 100 mg/kg TM Na_{ef} im Horizont 1.

Neben dem Standort „Hagenbeckstraße“ ist das Bodenprofil „Marckmannstraße“ (Profil 109 Abb. 29) insgesamt – über beide Horizonte bilanziert – der „Salz“-Standort mit der geringsten mittleren Salzbelastung: 19 mg/kg TM Na_{ef} im oberen Horizont und 11 mg/kg TM im Horizont 2. Die „Null“-Standorte enthalten im Mittel 16 bzw. 12 mg/kg TM Na_{ef} (s. Tab. 6). Lediglich die ersten Untersuchungstermine zeigen eine geringfügige Na-Anreicherung und deuten auf früheren Streusalzeinsatz hin. Seit 2008 ist dagegen kein messbarer Salzeintrag mehr erfolgt.

Profil: 109, Standort: Marckmannstrasse, Horizont: 1



Profil: 109, Standort: Marckmannstrasse, Horizont: 2

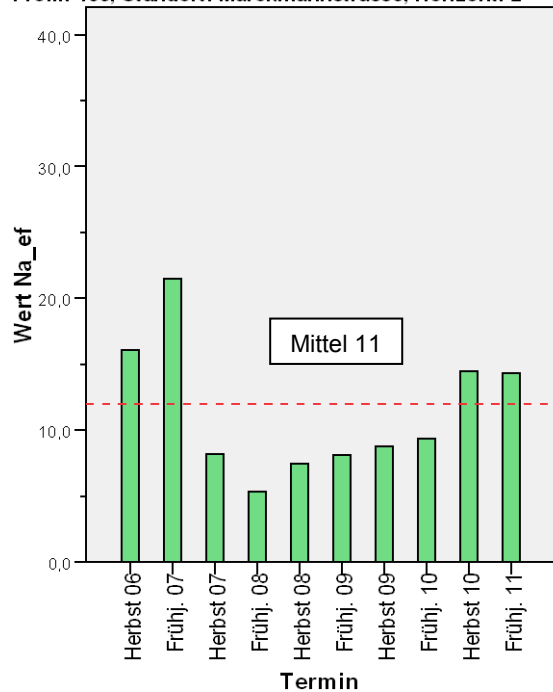
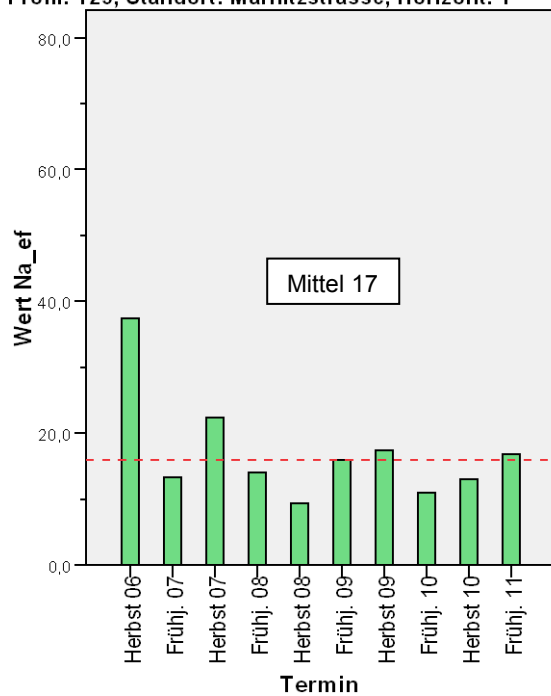


Abbildung 29: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 von Profil 109 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert für Hor. 1 u. 2 über alle „Null“-Proben

Profil: 125, Standort: Marnitzstrasse, Horizont: 1



Profil: 125, Standort: Marnitzstrasse, Horizont: 2

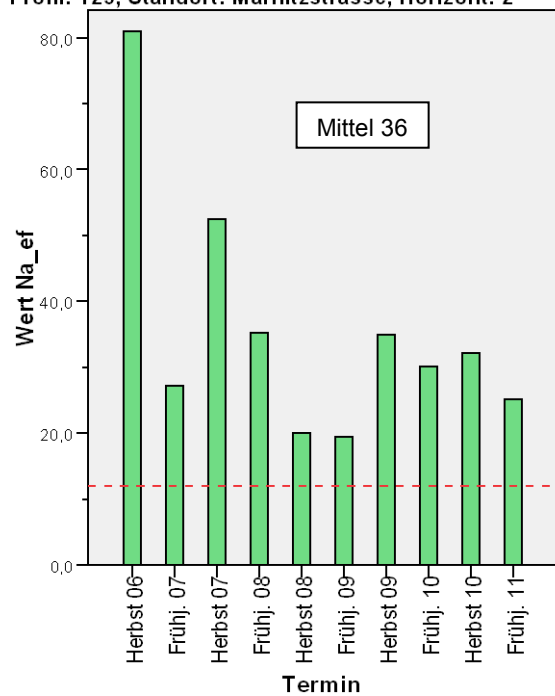


Abbildung 30: Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg TM) in Horizont 1 und 2 von Profil 125 zu den verschiedenen Untersuchungsterminen
 rot gestrichelte Linie: Mittelwert für Hor. 1 u. 2 über alle „Null“-Proben

Auch im oberen Horizont von Profil 125 (Abb. 30) „Marnitzstraße“ wurde mit 17 mg/kg TM Na_{ef} einer der niedrigsten mittleren Na_{ef}-Gehalte aller untersuchten Salz-Standorte ermittelt. Im unteren Horizont ist dagegen an allen Terminen eine signifikante Salz-Anreicherung festzustellen, im Mittel errechnet sich ein Na_{ef}-Gehalt von 36 mg/kg TM. An diesem Standort liegen offenbar besondere Sorptions- und/oder Wasserhaushaltsverhältnisse vor. Denkbar ist z.B., dass Streusalz nicht vorrangig mit dem Spritzwasser auf den Straßenrandboden gelangt ist, sondern mit dem abfließenden Oberflächenwasser durch die Fugen der Bordsteinkanten direkt in den Unterboden gewandert ist.

4.2.4 Einfluss von Kochsalz auf den pH-Wert von Böden

In den Böden der „Salz“-Standorte liegen die mittleren pH-Werte im neutralen bis schwach alkalischen Bereich und damit deutlich über den Werten der schwach sauren „Null“-Standorte (s. Abb. 16). Eine wesentliche Ursache für die höheren pH-Werte der straßennahen Böden sind sicher anthropogene basische Beimengungen wie z.B. Bauschutt und Aschen oder auch Straßenstaub, der eher alkalisch als sauer sein dürfte.

Andererseits kann auch NaCl (Kochsalz) zur Alkalisierung von Böden beitragen. NaCl ist zwar ein sogenanntes neutrales Salz (einer starken Base und starken Säure) mit einem Eigen-pH-Wert von ca. 7. Im Boden verhält sich NaCl jedoch in der Regel „nicht neutral“; denn das Kation Na⁺ wird vom Boden-Austauschersystem adsorbiert, wenn auch nur mit, im Vergleich zu anderen Bodenkationen, relativ geringer Eintauschstärke. Das adsorbierte Na⁺ wird in äquivalenten Mengen gegen andere Kationen ausgetauscht, wobei auch Protonen freigesetzt werden und damit der pH-Wert der Bodenlösung zunächst geringfügig sinkt. Das Anion Cl⁻ ist dagegen praktisch vollständig wasserlöslich und wird nicht adsorbiert (s. Abb. 7, Kap. 3.2), so dass es zusammen mit den Protonen als HCl ausgewaschen wird.

Die bevorzugte Adsorption von Natrium führt zu einer relativen Na-Sättigung am Bodenaustauscher (Tonminerale, Humusstoffe, Fe-Oxide). Nach Auswaschung der gelösten Salze verbleibt ein Teil des Na⁺ am Austauscher und es stellt sich ein entsprechendes Austausch-Gleichgewicht zwischen adsorbiertem Na⁺ und den Protonen des salzarmen Bodenwassers ein. Die hierbei sinkende Protonenkonzentration im Bodenwasser führt schließlich zu einer Erhöhung des pH-Wertes der Bodenlösung.

Mit der Höhe der Na-Sättigung steigt deshalb auch der pH-Wert des Bodens. Im Extremfall können an ariden Wüstenstandorten Natriumböden (Solonetze) mit einer Na-Sättigung > 15% und einem pH-Wert von > 8,5 - 11 entstehen.

Der maximale pH-Wert der vorliegenden Untersuchung beträgt 8,3. Ein Einfluss des Na-Gehaltes im Ammoniumnitrat-Extrakt auf die Höhe des pH-Wert im oberen Bereich ist aus Abb. 31 jedoch nicht abzuleiten. Eher zeigt die entsprechende Graphik für Ca eine gewisse, jedoch schwach ausgeprägte Abhängigkeit hoher pH-Werte vom Ca-Gehalt im Ammoniumnitrat-Extrakt: pH-Werte > 8 treten erst bei Ca_a-Gehalten > 500 mg/kg TM auf.

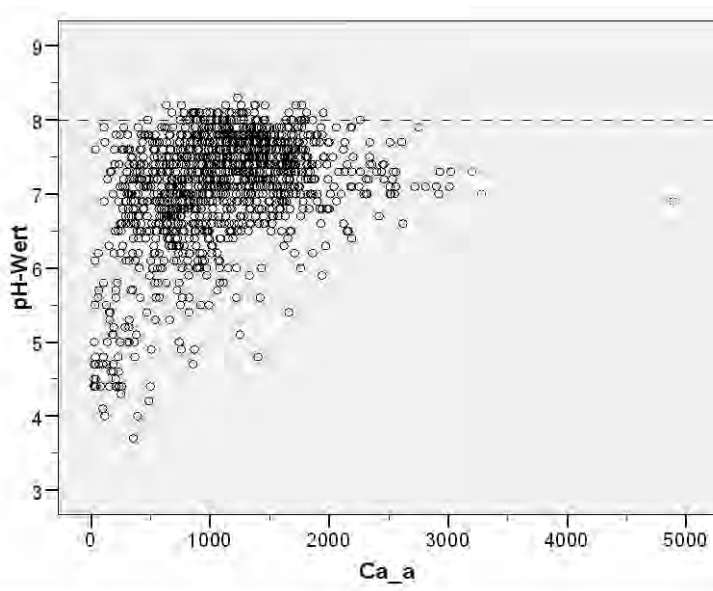
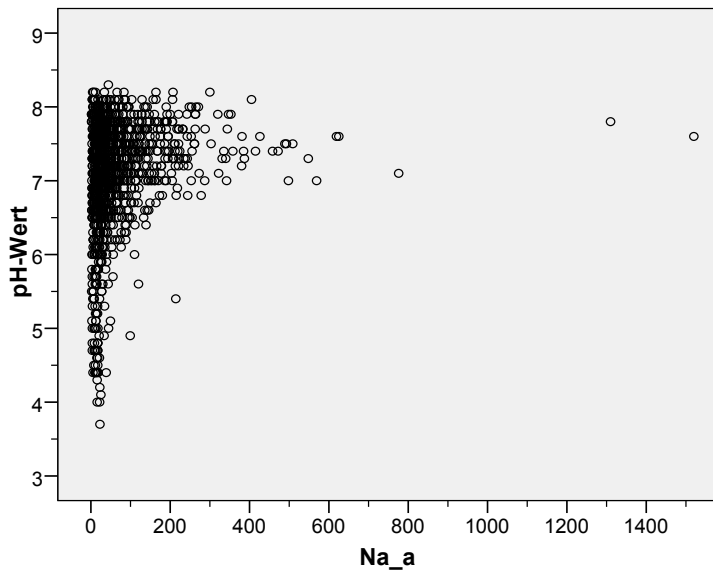


Abbildung 31: Beziehung zwischen dem pH-Wert und dem Natrium- bzw. Calcium-Gehalt (mg/kg TM) im Ammoniumnitratextrakt (alle Termine und Standorte)

4.2.5 Schlussbetrachtung und Fazit

Indikatoren für Salze

Die Darstellung der Ergebnisse auf den verschiedenen Betrachtungsebenen in Kap. 3 hat gezeigt:

- Natrium im Eluat oder im Ammoniumnitrat-Extrakt ist der aussagefähigste Indikator für die Streusalz- Belastung von Böden
- Die elektrische Leitfähigkeit, eine konventionelle Kenngröße für den Salzgehalt von Böden, ist für die spezielle Quantifizierung von Streusalz dagegen nur bedingt ein geeigneter Parameter, denn die elektr. Leitfähigkeit spiegelt neben Natrium und Chlorid auch die löslichen Ionen aus Carbonaten, Sulfaten (u.a. Gips) Nitraten usw. wider. Infolgedessen zeigt auch der berechnete Parameter Eq_Kat (Summe der Ladungsäquivalente von Na, K, Ca und Mg) eine ausgeprägte enge Beziehung zur elektrischen Leitfähigkeit.
Die elektr. Leitfähigkeit und Eq_Kat können deshalb als Summenparameter für lösliche Salze insgesamt angesehen werden
- Kalium im Eluat ist der Indikator für Mineraldünger-Salze
- Hinweise auf die Ausbringung anderer Mineral-Salze als Taumittel, wie z.B. CaCl_2 , können aus den Daten dieser Untersuchung nicht abgeleitet werden.

Halbwertszeit von Natrium in Straßenrandböden in Hamburg

Bei der Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Mittelwerte von Natrium im 2:1-Eluat (Tab. 7 und Abb. 12 in Kap. 4.2.2) wurde anhand der ersten drei PN-Termine grob geschätzt eine Halbwertszeit für Na_{ef} im 1. Horizont von weniger als 1 Jahr abgeleitet. Die Halbwertszeit für Chlorid ist noch wesentlich kürzer und dürfte nur wenige Wochen betragen (s. Abb. 14).

Eine weitergehende, eventuell genauere Abschätzung der mittleren Aufenthaltsdauer von Na_{ef} im oberen Horizont kann auch mit den Daten der einzelnen Bodenprofile vorgenommen werden. Nach einem Abgleich der PN-Termine mit den Streutermeninen der Stadtreinigung könnte man an geeigneten Standorten jeweils die Veränderung der Na_{ef} -Gehalte (im 1. Horizont) in den „streusalzfreien“ Zeiten von Frühjahr bis Herbst eines Jahres berechnen und daraus eine mittlere Halbwertszeit ableiten.

Fazit

Die VDLUFA nennt als Grenze der Schädlichkeit für Freilandkultur-Pflanzen einen Salzgehalt im Boden von 0,2 %⁶. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) gibt als Schwelle einer übermäßigen Salzaufnahme für Gehölze einen Bodengehalt von 0,06 % Cl bzw. 0,12 % Na ($\Sigma = 0,18$ % Kochsalz) an⁷.

In der vorliegenden Untersuchung erreicht lediglich die Bodenprobe mit dem maximalen Salz-Gehalt (als NaCl) von 0,21 % die Höhe dieser Schwellenwerte. In 99 % aller ersten Horizonte der „Salz“-Standorte liegt dagegen der Salz-Gehalt (als NaCl) mit < 0,05 % TM deutlich unterhalb der Beurteilungswerte von VDLUFA und BASt (s. Tab. 16).

Tabelle 16 Perzentile und maximaler Gehalt an Natrium, Chlorid und NaCl (Kochsalz) im oberen Horizont der „Salz“-Standorte

Parameter	n	„Salz“-Standorte Horizont 1				Bemerkung
		50-Perz. (Median)	90-Perz.	99-Perz..	Maximum	
Na_ef (mg/kg TM)	601	32	123	273	925	Na_ef- Maximum s. Abb.19
Cl_ef (mg/kg TM)	601	11	37	262	1198	
NaCl_ef (mg/kg TM)	591	45	156	516	2123	
NaCl_ef (% TM)	591	0,004 %	0,02 %	0,05 %	0,21 %	
VDLUFA-Grenzwert: > 0,2 g/100g Boden (0,2 %)						

⁶ VDLUFA Methodenbuch A 13.4.1, 1991

⁷ Thompson und Rutter (1986), zitiert in:

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Verkehrstechnik, Heft V 21, 1995

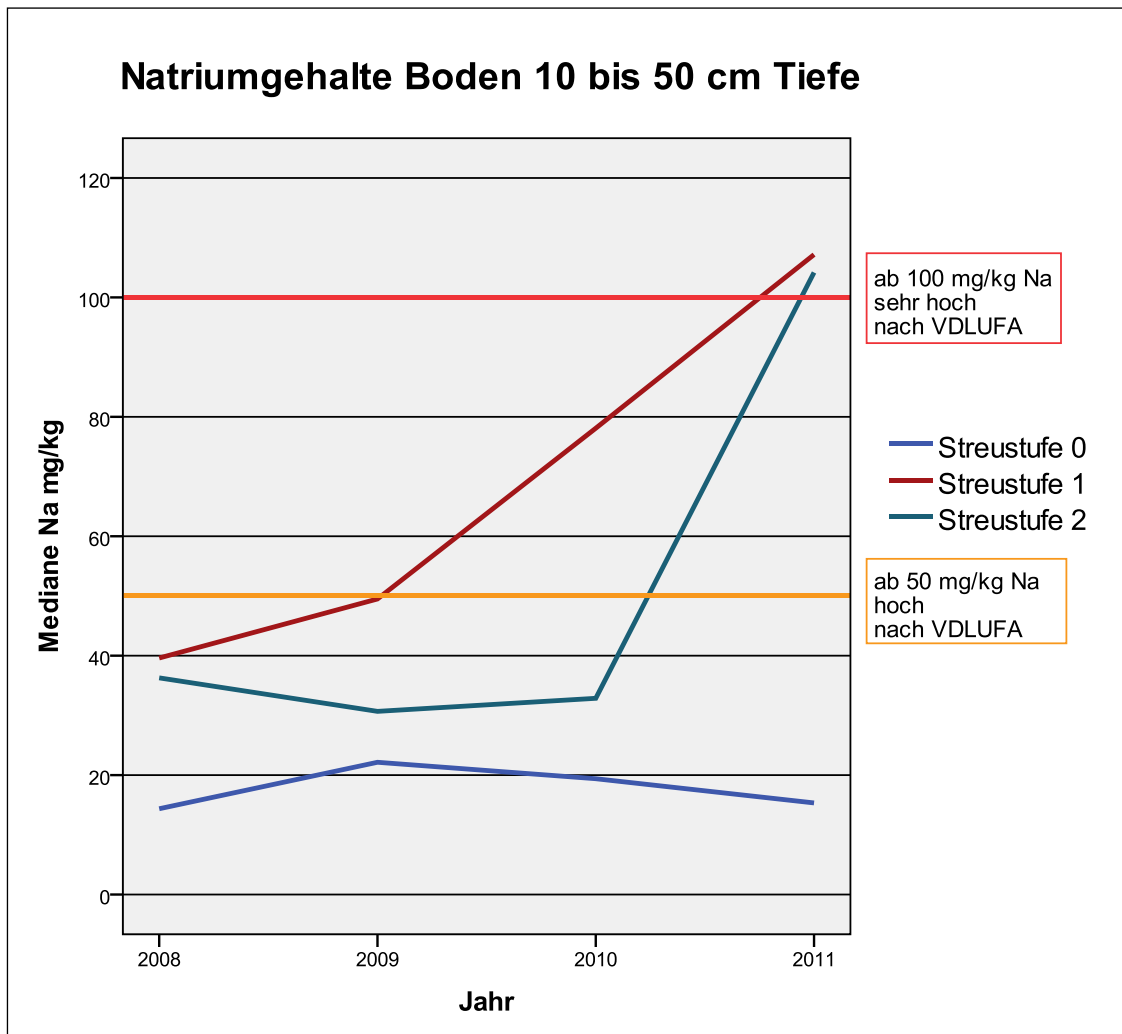


Abbildung 33: Natriumgehalte der Bodenproben 10-50 cm Tiefe

Die Mediane der Natriumgehalte der **Nullstandorte** variieren im Untersuchungszeitraum auf geringem Niveau zwischen 14 und 22 mg/kg Boden. Sie entsprechen einer geringen Natriumversorgung bezogen auf Vergleichswerte aus der Landwirtschaft.

Auf den Standorten der **Streustufe 1** ist nach leicht erhöhten Natriumgehalten in den Frühjahren der Jahre 2008 und 2009 ein deutlicher Anstieg nach dem harten Winter 2010 nachzuweisen, der sich nach dem darauffolgenden ebenfalls harten Winter bis zur Versorgungsstufe ‚sehr Hoch‘ im Frühjahr 2011 fortsetzt.

Auf den Standorten der **Streustufe 2** ist in den Jahren 2008, 2009 und 2010 ein gleichmäßiger Verbleib der Natriumgehalte im mittleren Versorgungsbereich zu beobachten. Der steile Anstieg der Natriumgehalte in der Streustufe 2 bis zur Versorgungsstufe ‚sehr Hoch‘ erfolgt im Frühjahr 2011. Die Natriumgehalte sind um Faktor 3 gegenüber dem Vorjahr erhöht. Auffällig ist, dass der Anstieg der Natriumgehalte in der Streustufe 2 erst ein Jahr später einsetzt als auf den Standorten der Streustufe 1.

Tabelle 17: Zusammenfassung von Fällungen Natriumgehalte Boden

Zusammenfassung von Fällungen Natriumgehalte Boden [mg/kg]					
Streustufe		Na_2008	Na_2009	Na_2010	Na_2011
Null- Standorte	N	3	3	3	3
	Mittelwert	19,86	17,87	15,57	13,98
	Median	14,37	22,15	19,39	15,34
	Minimum	12,80	7,33	5,94	5,17
	Maximum	32,41	24,13	21,37	21,43
1	N	18	18	18	18
	Mittelwert	52,42	83,80	100,68	140,64
	Median	39,61	49,50	78,09	107,17
	Minimum	21,31	20,81	18,27	20,51
	Maximum	141,20	335,48	290,14	453,36
2	N	9	9	9	9
	Mittelwert	40,18	56,17	65,45	101,52
	Median	36,28	30,67	32,86	104,17
	Minimum	12,41	17,95	13,42	10,11
	Maximum	77,18	131,33	132,95	266,87

Als Vergleichswerte werden die in Tabelle 18 dargestellten Angaben der landwirtschaftlichen Untersuchungskammern sowie die im Projekt ermittelten Belastungswerte der ‚Nullstandorte‘ herangezogen.

Tabelle 18: LUFA-Richtwerte für Na-Gehalte (CaCl₂-Extraktion)

Gehaltsklasse	Grünland * ¹ [mg/kg]	Acker * ² [mg/kg]
niedrig	< 15	< 25
mittel	16 - 45	26 - 50
hoch	46 - 95	51 - 100
sehr hoch	96 - 135	101 - 200

*¹ Landwirtschaftskammer Hannover 1984; *² Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein 1980

Zum weiteren Vergleich der Einzelbaumergebnisse sind in Tabelle 20 die Werte der Bodenabschnittsuntersuchungen dargestellt.

Tabelle 19: Beschreibende Statistik der Bodenabschnittsuntersuchungen der Natriumgehalte im Frühjahr (Natriumgehalt im Ammoniumnitratextrakt, mg/kg TM)

Streustufe		2007		2008		2009		2010		2011	
		Ober- boden	Unter- boden	Ober- boden	Unter- boden	Ober- boden	Unter- boden	Ober- boden	Unter- boden	Ober- boden	Unter- boden
0	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Median	14,3	7,4	17,5	5,6	12,0	9,8	11,8	11,3	12,6	11,1
	Min	3,7	2,9	14,5	2,6	6,7	2,1	4,1	2,0	3,8	1,7
	Max	15,9	31,9	22,0	17,1	38,6	18,1	21,0	20,5	17,0	13,1
1	N	34	34	37	37	37	37	37	37	37	37
	Median	47,4	39,3	24,3	24,0	35,1	28,2	105,0	64,4	141,0	77,5
	Min	11,7	10,6	8,4	1,9	13,0	3,8	14,7	12,1	16,2	13,1
	Max	300,0	253,0	142,0	186,0	344,0	221,0	509,0	493,0	1520,0	1310,0
2	N	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	Median	24,5	22,3	22,4	18,6	34,9	21,4	87,4	59,5	100,7	53,0
	Min	8,2	6,4	9,1	3,1	8,8	3,7	8,5	8,8	14,4	10,2
	Max	123,0	147,0	70,7	137,0	190,0	224,0	273,0	405,0	387,0	287,0

Chloridgehalte Boden

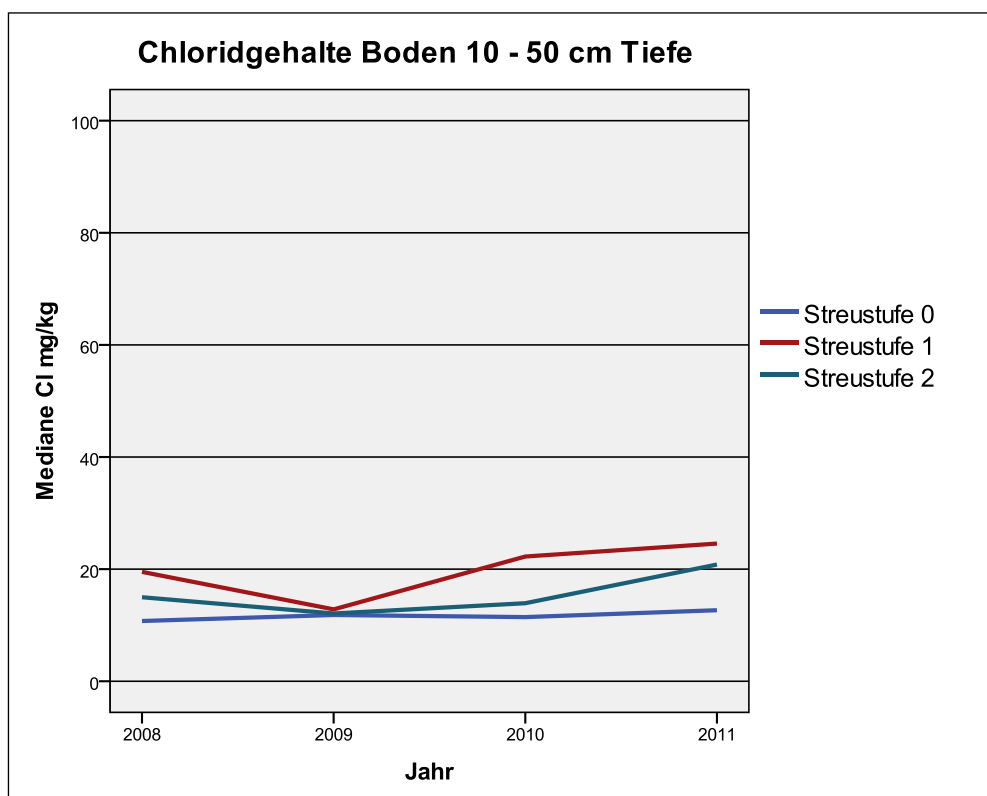


Abbildung 34: Chloridgehalte der Bodenproben 10-50 cm Tiefe

Nach SCHEFFER (2002) enthalten die Böden des humiden Klimabereichs 2 bis 200 mg/kg Chlorid. Ausnahmen bilden Salzmarschen und Böden an Salzquellen auf dem Festland, die bis zu 2 % Cl aufweisen können. Nach MEYER-SPASCHE sind die Chloridgehalte im Boden des Straßenbegleitgrüns bis 30 mg/kg als unbedenklich anzusehen, bis 50 mg/kg gering belastet, bis 70 mg/kg mittel belastet, bis 90 mg/kg hoch belastet und ab 90 mg/kg sehr stark belastet.

Die Ergebnisse der Bodenproben zeigen eine erwartungsgemäße Abstufung der Chloridgehalte bezogen auf die unterschiedlichen Streustufen (Abbildung 34). Die **Nullstandorte** zeigen gleichbleibend die geringsten Mengen. Die Standorte der **Streustufe 1** zeigen höhere Werte als in der Standortgruppe der **Streustufe 2**. Der Median der Chloridbelastung ist in allen Standorttypengruppen im Größenbereich unbelasteter Standorte. Ein Anstieg der Chloridgehalte ist erst mit dem Eintreten der harten Winter ab 2010 beobachtbar, wobei der deutliche Anstieg der Chloridgehalte in der Streustufe 2 um 1 Jahr verzögert gegenüber der Streustufe 1 auftritt.

Tabelle 20: Beschreibende Statistik Chloridgehalte Boden (Einzelbaumuntersuchung)

Zusammenfassung von Fällen Chloridgehalte Boden [mg/kg]					
Streustufe		Cl_2008	Cl_2009	Cl_2010	Cl_2011
Null- Standorte	N	3	3	3	3
	Mittelwert	14,24	12,85	14,80	13,58
	Median	10,75	11,82	11,44	12,67
	Minimum	8,53	11,00	10,25	11,09
	Maximum	23,44	15,75	22,71	16,99
1	N	18	18	18	18
	Mittelwert	25,69	21,43	41,83	31,02
	Median	19,52	12,82	22,25	24,56
	Minimum	11,37	9,29	11,97	8,47
	Maximum	95,82	58,33	139,75	103,33
2	N	9	9	9	9
	Mittelwert	16,11	13,59	16,64	33,47
	Median	14,98	12,08	13,92	20,82
	Minimum	9,40	11,40	9,05	8,27
	Maximum	30,11	19,76	29,09	87,63

4.3.2 Blattanalysen

In Blättern ist im Unterschied zu Bodengehalten der Chloridgehalt als Indikator für Salzbelastungen festzuhalten. In der nachfolgenden Abbildung sind die gemessenen Chloridgehalte nach den Baumgattungen Ahorn und Linde differenziert, bezogen auf die unterschiedlichen Streustufen im Zeitverlauf dargestellt. Es werden die Mediane der Blattgehalte pro Standorttypengruppe in der Graphik zugrundegelegt (siehe Tabelle 21-23).

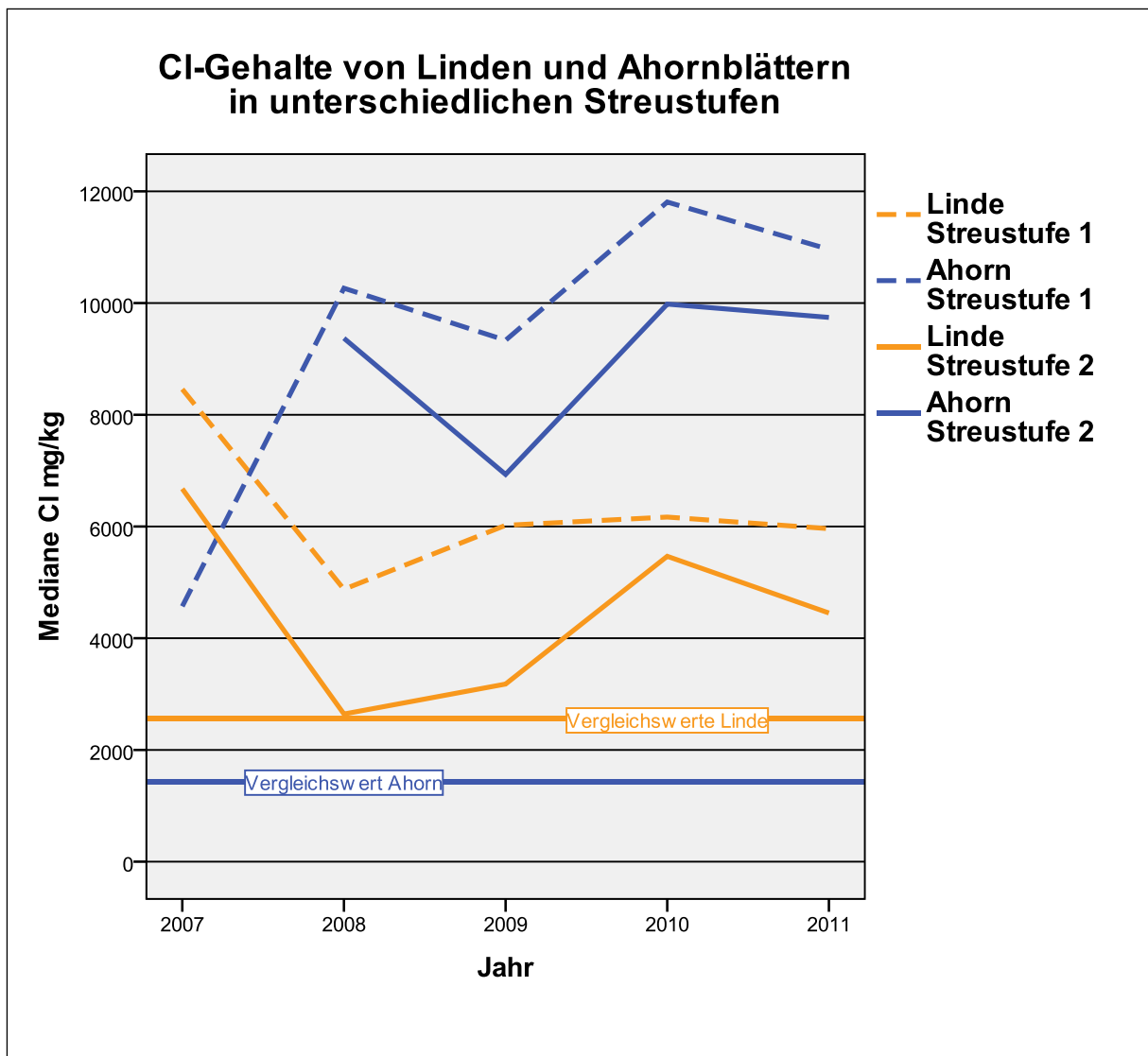


Abbildung 35: Chloridgehalte in Blättern

Die Abbildung zeigt, dass der Ahorn erheblich empfindlicher auf die Salzbelastung im Boden reagiert und verstärkt Chlorid aufnimmt. Er hat generell höhere Gehalte in den Blättern als die Linde. Während der unbelastete Vergleichsahorn geringere Werte als die Vergleichslinde aufweist, steigen die Blattgehalte beim Ahorn nach Salzaufnahme auf ein höheres Niveau.

Tabelle 21: Blattgehalte Vergleichswerte Streustufe 0

Streustufe	Baumart		Blatt	Blatt	Blatt	Blatt	Blatt
			CI_2007	CI_2008	CI_2009	CI_2010	CI_2011
Null- Standorte	Tilia	Anzahl		1	1	1	1
		CI [mg/kg]		2690	2718	2428	2444
	Acer	Anzahl		1	1	1	1
		CI [mg/kg]		2041	1516	1074	1066

Die **Vergleichsstandorte** ohne Streusalzeinfluss zeigen bei nur geringer Schwankung im Untersuchungszeitraum für die Gattung Linde einen mittleren Gehalt von 2570 mg/kg Cl an. Der Nullstandort der Gattung Ahorn weist einen ebenfalls nur gering schwankenden gemittelten Vergleichswert von 1424 mg/kg Cl auf. Die Linde hat im ‚Normalzustand‘ gegenüber dem Ahorn höhere Chloridgehalte in den Blättern.

Die Linde zeigt gegenüber den noch hohen Belastungen im Jahr 2007 aufgrund der milden Winter sowohl in der Streustufe 1 als auch in Streustufe 2 zunächst einen Rückgang der Chloridbelastung. Im Jahr 2008 wird innerhalb der **Streustufe 2** der Wert der Nullproben erreicht und steigt dann im Jahr 2009 wieder leicht an. Erst nach dem strengen Winter 2009/10 kann ein deutlicher Anstieg der Chloridgehalte in der Streustufe 2 beobachtet werden, der 2011 wieder leicht nachlässt. Bei den Linden der **Streustufe 1** zeigt sich ein ähnlicher Verlauf auf erhöhtem Niveau.

Die Ahorne zeigen einen Rückgang der Chloridbelastung in beiden Streustufen für das Jahr 2009 mit anschließend starkem Anstieg im Jahr 2010. Das Jahr 2011 zeigt einen leichten Rückgang auf weiterhin hohem Niveau. Die Werte sind gegenüber den Nullstandorten um ungefähr Faktor 5 erhöht. Die Bäume der Streustufe 1 sind erwartungsgemäß höher belastet als die Ahorne der Streustufe 2.

Tabelle 22: Beschreibende Statistik der Chloridgehalte in Blattproben Streustufe 1

Streustufe	Baumart		Blatt	Blatt	Blatt	Blatt	Blatt
			CI_2007	CI_2008	CI_2009	CI_2010	CI_2011
1	Tilia	N	5	11	11	11	11
		Mittelwert	7665	6197	6106	9227	7448
		Median	8458	4876	6021	6169	5961
		Minimum	4211	1701	1984	3942	2694
		Maximum	11300	13553	16499	19350	13436
	Acer	N	1	7	7	7	7
		Mittelwert	4570	9773	9105	12409	9499
		Median	4570	10265	9333	11808	10961
		Minimum	4570	6706	4798	8863	4718
		Maximum	4570	12702	11436	18842	12263

Tabelle 23: Beschreibende Statistik der Chloridgehalte in Blattproben Streustufe 2

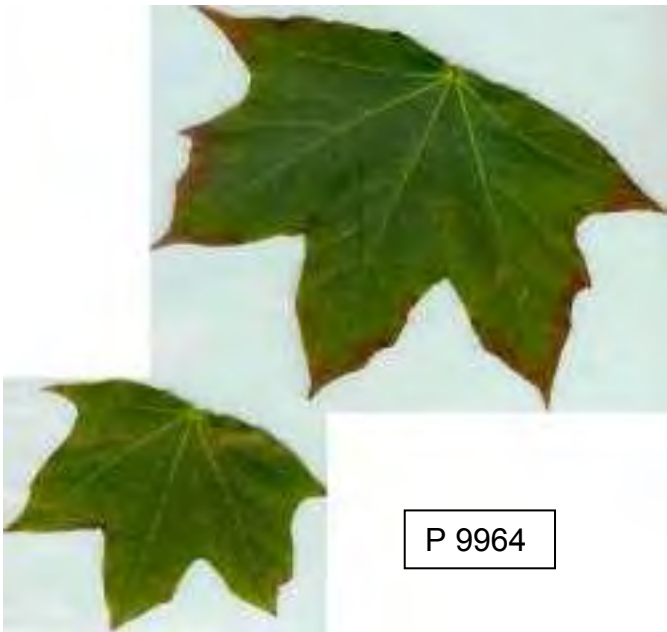
Streustufe	Baumart		Blatt Cl_2007	Blatt Cl_2008	Blatt Cl_2009	Blatt Cl_2010	Blatt Cl_2011
2	Tilia	N	2	7	7	7	7
		Mittelwert	6675	3252	3423	5120	4483
		Median	6675	2643	3179	5466	4451
		Minimum	4772	1671	1101	1969	1766
		Maximum	8578	6172	5679	7764	8384
	Acer	N		2	2	2	2
		Mittelwert		9369	6931	9981	9743
		Median		9369	6931	9981	9743
		Minimum		6739	5829	7398	8276
		Maximum		12000	8034	12563	11209

Angaben zu Natrium und Chloridgehalten von Blättern in Beziehung zu unterschiedlichen Schädigungsgraden von Linden (*Tilia cordata*) finden sich bei LEH 1973.

Tabelle 24: Na- und Cl-Gehalte (% TM) in Blättern von *Tilia cordata*

Schädigungsgrad	Tilia cordata Na % i. d. TM Blätter	Tilia cordata Cl % i. d. TM Blätter
Nicht geschädigt	0,013	0,67
Leicht geschädigt	0,107	1,14
Stark geschädigt	0,340	2,13
Extrem geschädigt	1,530	3,25

Sichtbare Blattrandnekrosen aus der Beprobung August 2011





P 9977



P 9980



Abbildung 36: Blattschädigungen

Die Streusalzbelastung ist etwa bei der Hälfte der Proben an den Blattrandnekrosen zu erkennen. Genau bei diesen Proben sind auch die Chloridgehalte deutlich erhöht. Jedoch ist nicht in jedem Fall der Zusammenhang - je höher der Chloridgehalt, umso stärker die Nekrose - gegeben. Offensichtlich spielen hier noch weitere Parameter eine Rolle, wie z.B. die Ausgewogenheit der Gesamtnährstoffversorgung, die Bodenluft und die Wasserversorgung.

Nährstoffanalysen

Stickstoff und Phosphor bewegen sich überwiegend im normalen Versorgungsbereich, in einzelnen Fällen kommen sowohl sehr niedrige als auch sehr hohe Werte vor. Die Kaliumwerte zeigen eine Tendenz zur Unterversorgung. Die Magnesiumwerte sind überwiegend gut. Die Calciumgehalte liegen fast durchgängig über dem Optimum. Die Kupfer, Mangan und Zinkwerte sind gut bis in einigen Fällen deutlich erhöht.

4.4 Baumbiologische Bewertung

Die nachfolgende Darstellung der Ergebnisse der terrestrischen Schadensansprachen der Straßenbäume ist dem Bericht des Ingenieurbüros Block Daniel entnommen.



DIPL.-ING. ANDREAS BLOCK-DANIEL
Ö.B.V. SACHVERSTÄNDIGER FÜR BAUMPFLEGE
BAUMSANIERUNG UND BAUMSTATIK

Ing.-Büro Block-Daniel
Riekestr. 19 * 28359 Bremen
Tel.: 0421/3784310 * Fax.: 0421/3784311
info@Block-Daniel.de

4.4.1 Ergebnisse der visuellen Baumkontrollen

In 2007 wurden insgesamt 927 Bäume an insgesamt 63 in den vorhergegangenen Jahren Streusalzsaniierten Standorten angesprochen.

Ende 2007/Anfang 2008 wurden diese Standorte samt Baumauswahl beginnend mit laufenden Baumansprachen (4 Kontrollen / Jahr) ab Blattaustrieb 2008 auf 732 Bäume der Gattungen 290 Ahorn (*Acer spec.*) und 442 Linden (*Tilia spec.*) an 41 Standorten verifiziert.

Im Jahr 2008 wurden 0 Linden und 0 Ahorn gefällt.
Im Jahr 2009 wurden 0 Linden und 0 Ahorn gefällt.
Im Jahr 2010 wurden 8 Linden und 12 Ahorn gefällt.
Im Jahr 2011 wurden 0 Linden und 0 Ahorn gefällt.

Die Baumansprache September 2007 zeigte bereits bei diversen Bäumen Vorschäden durch Streusalzmissionen in Form von Blattrandnekrosen auf.

Die Schwerpunkte der streusalzvorgeschädigten Bäume befinden sich in den Kollektiven der Ebert-Allee sowie in der Justus-Brinckmann-Straße.

In weiteren Kollektiven befinden sich einzelne auffällige Bäume.

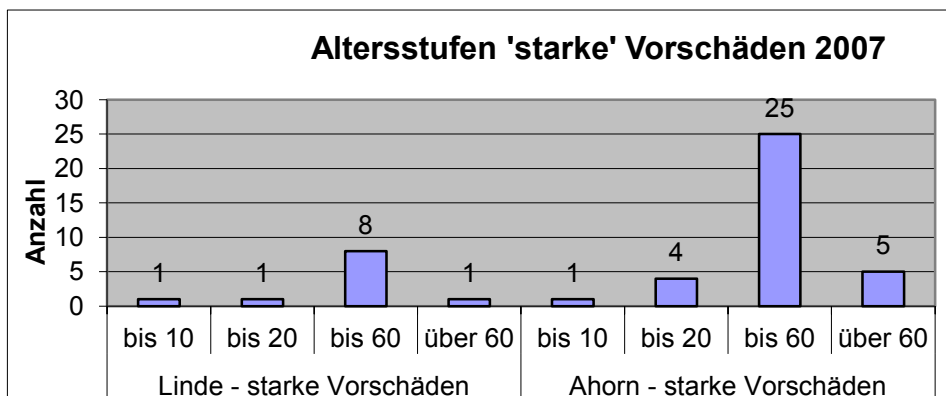
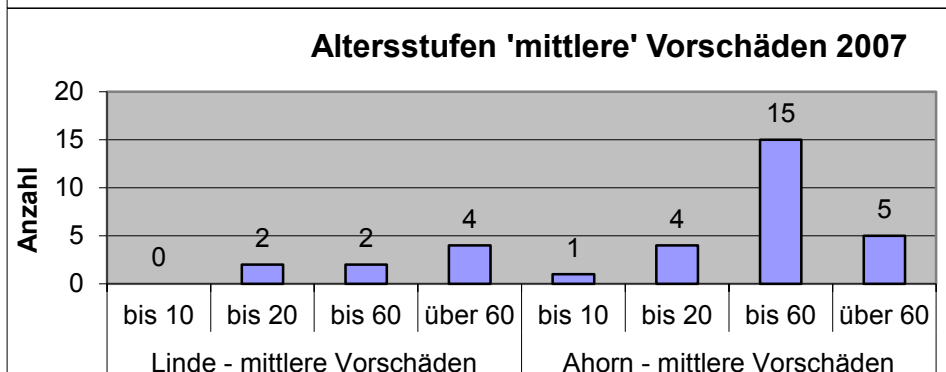
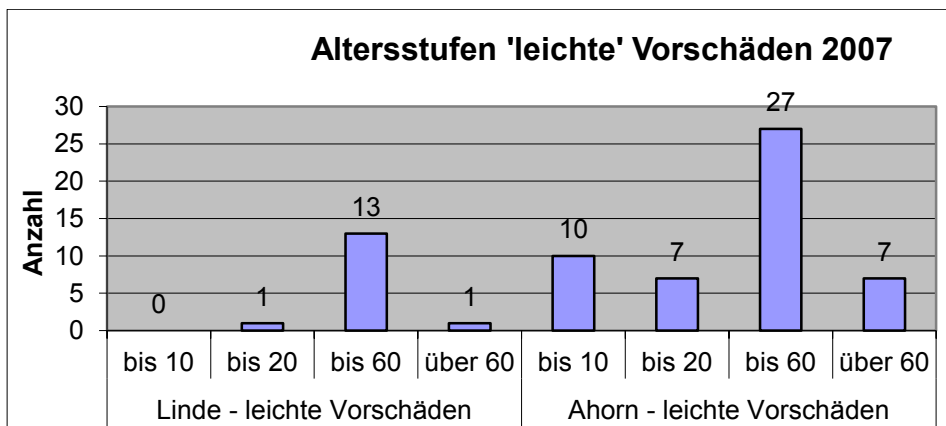
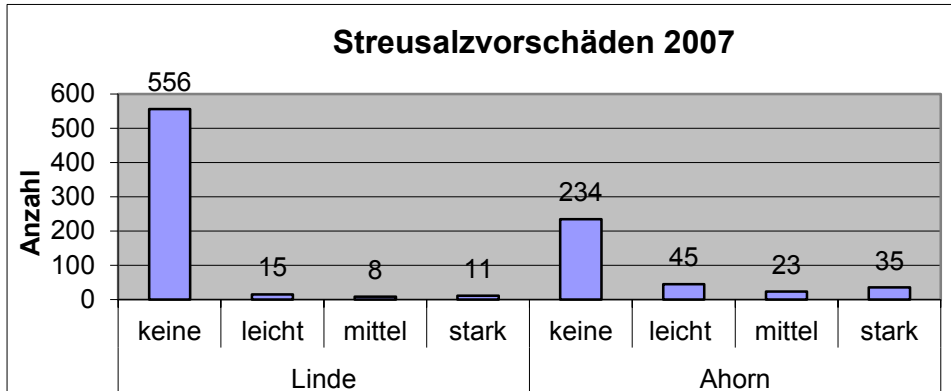


Abbildung 37: Datenblatt Vorschäden

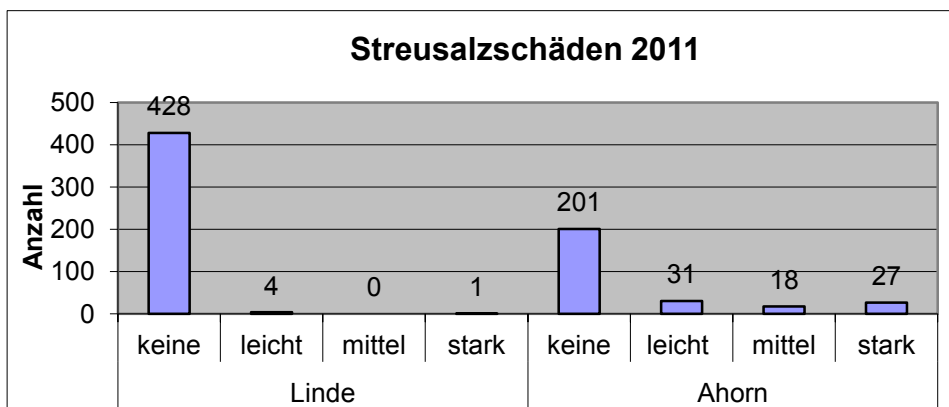
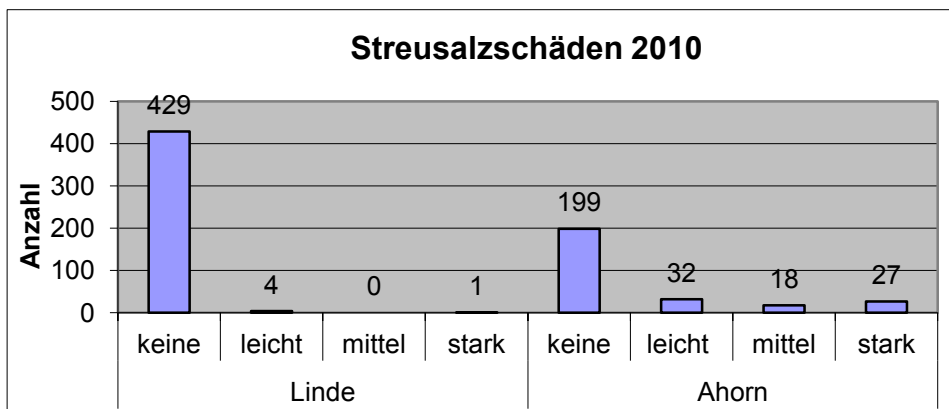
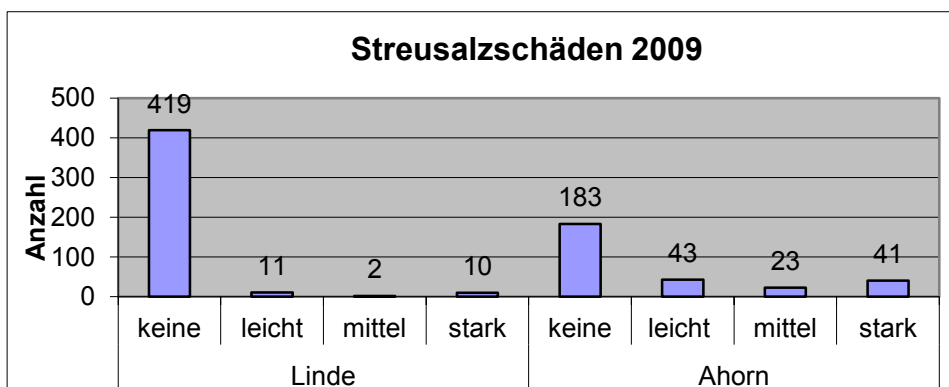
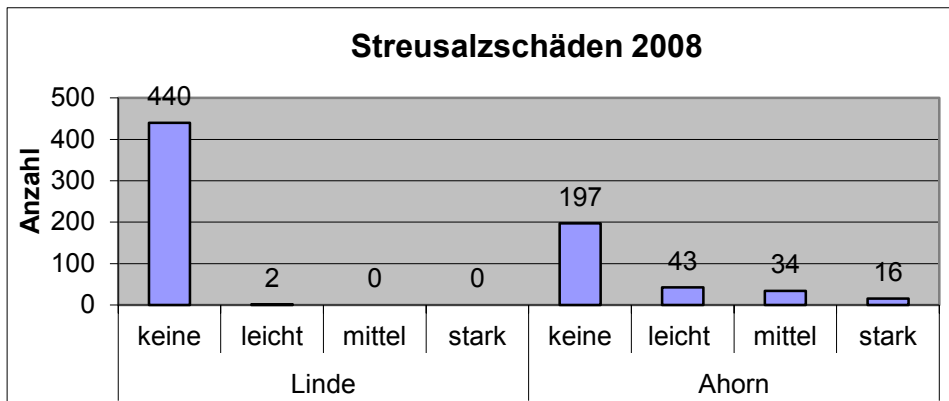


Abbildung 38: Blattschäden im Jahresverlauf

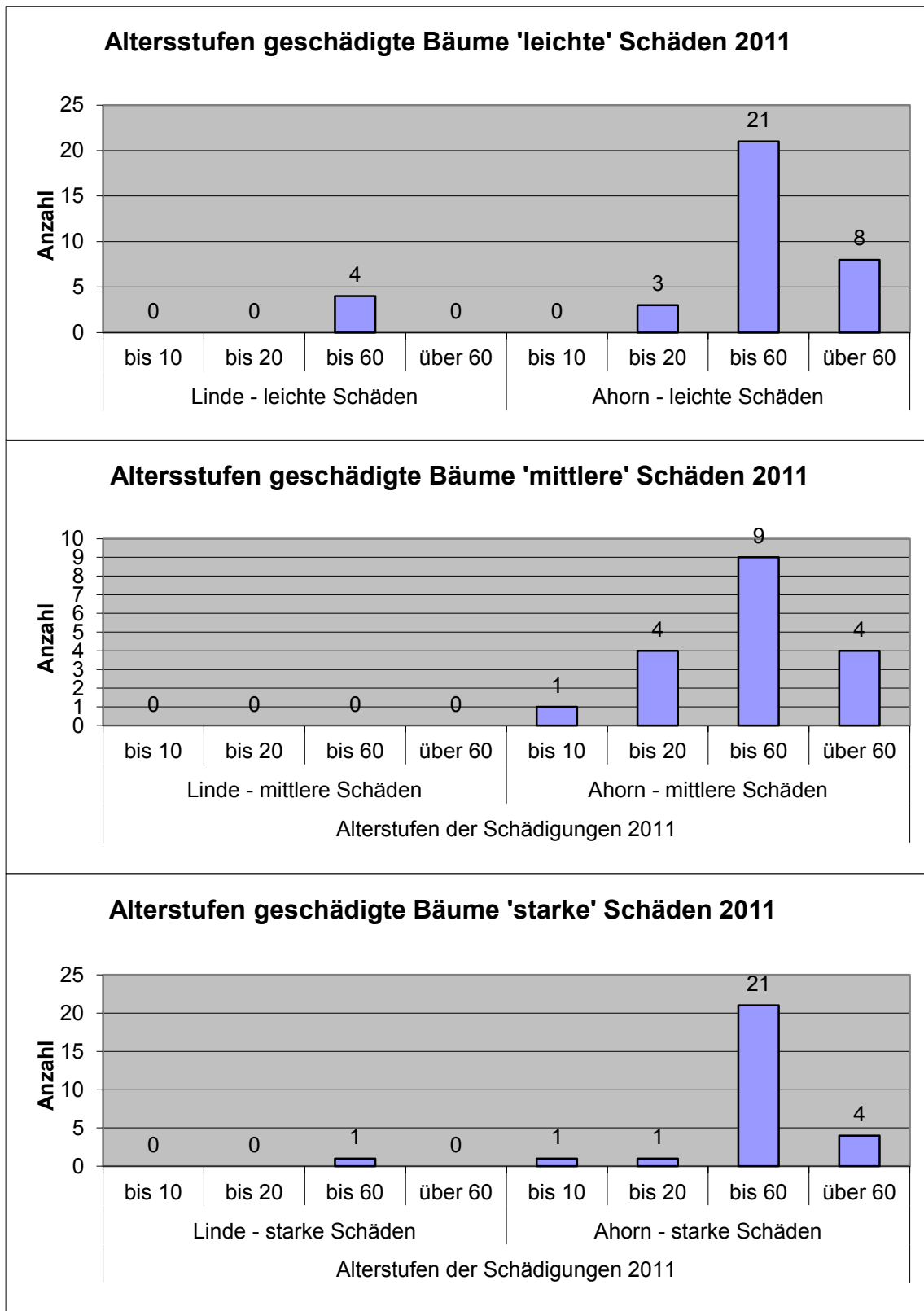


Abbildung 39: Datenblatt Baumschäden bezogen auf Altersstufen

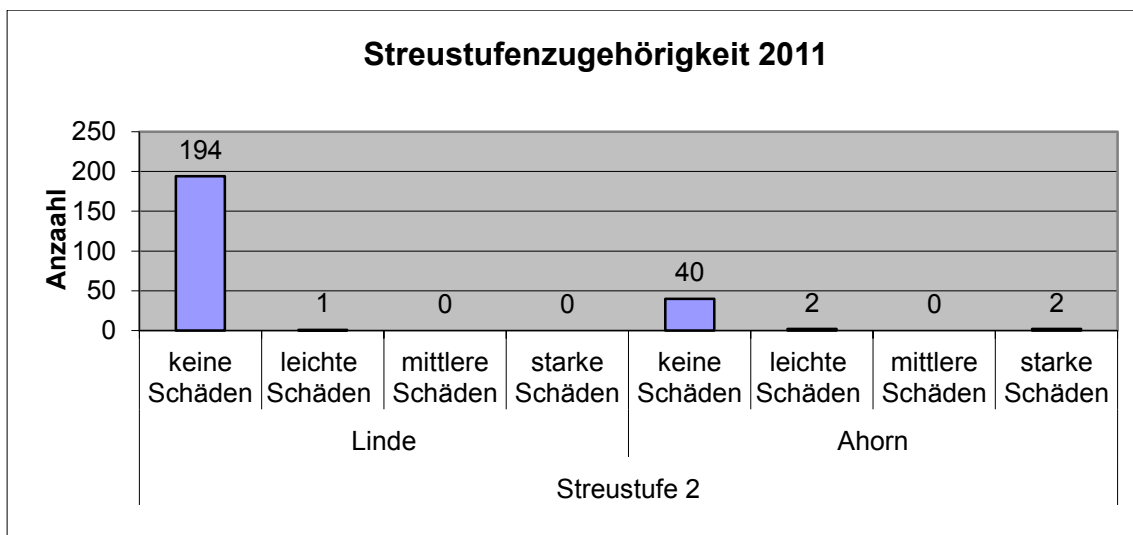
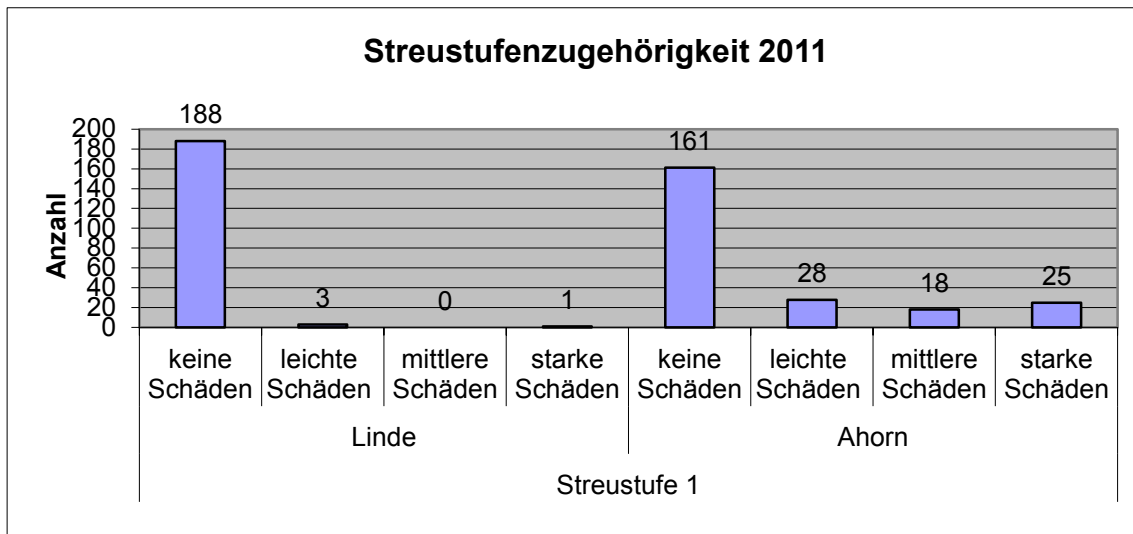


Abbildung 40: Baumschäden bezogen auf Streustufen

4.4.2 Diskussion und Zusammenfassung

Im Rahmen des Streusalzmonitoring der Hamburger Straßenbäume wurden in 2007 insgesamt 927 Bäume der Gattungen Acer (Ahorn) und Tilia (Linde) an insgesamt 63 Standorten auf potenzielle Streusalzschäden hin – primär auf Blattschäden und Blattrandnekrosen - überprüft.

Diese Vorauswahl der Untersuchungskollektive wurde Ende 2007 verifiziert und auf insgesamt 732 Kontrollbäume mit 509 Linden (*Tilia spec.*) und 223 Ahorn (*Acer spec.*) an 44 Standorte festgelegt.

Auf die Untersuchung von Kastanien wurde aufgrund der stark überlagernden Schadbilder durch den Miniermottenbefall verzichtet.



Beginnend mit 2008 wurden bis 2011 die ausgesuchten Bäume regelmäßig zum Blattaustrieb (Anfang Mai), Johannistrieb (Ende Juni), August (Mitte August) und zum Blattfall (Anfang Oktober) und unter Einhaltung umfangreicher Kriterien auf potenzielle Streusalzschäden kontrolliert.

Deutlich zeigt sich, dass die Ahorn-Arten stärker auf Streusalzimmissionen reagieren als die Linden-Arten.

Überwiegend waren die Ahorne der Altersklasse 20 – 60 Jahre betroffen, was sich bereits in den Vorschäden in 2007 zeigte. Gleiche Tendenzen – jedoch in geringerem Umfang - liegen bei Linde vor.

Durch Streusalzimmissionen geschädigte Bäume gehören bis auf vier Ausnahmen der Streustufe 1 an. Die Streustufe 2 ist bis auf die vier Ausnahmen in 2011 unauffällig.

Die Auffälligkeiten konzentrieren sich auf 2 Hauptbereiche:

- Kollektive der Ebert-Allee
- Justus-Brinckmann-Straße.

Zu den Bäumen an der Ebert-Allee ist anzumerken, dass die hier zweifelsfrei vorliegenden Streusalzschäden in Schwerpunktbereichen mit Sicherheit über einen dauerhaften, verstärkten Eintrag durch Spritzwasser aus leichten Senken mit Pfützenbildung in den Fahrbahnen relevant wurden. Vorhandene Rindenbilder bestätigen diese These (spritzwasserzugewandte Stammseite häufig grober strukturiert und tiefer gefurcht).

Zu den Bäumen der Justus-Brinckmann-Straße ist anzumerken, dass die hier zweifelsfrei vorliegenden Streusalzschäden mit Sicherheit überwiegend über die Gehwege (Anwohner, vermutlich eine beauftragte Gehwegreinigungsfirma) verursacht worden sind).

Andere auffällige Einzelbäume sind über mehrere Standorte verteilt.

An der Edmund-Siemers-Allee ist eine direkt neben dem Fußgängerüberweg zur S-Bahn stehende Linde kontinuierlich auffällig. Hier ist von einem zusätzlichen Eintrag über die Räumung / Streuung im Fußgängerüberwegsbereich auszugehen.

Im vielbefahrenen Osdorfer Weg schwanken die Auswirkungen der potenziellen Streusalzimmissionen an einzelnen Linden über den gesamten Beobachtungszeitraum.

Die Linden im Gammer Weg weisen seit 2009 starke Blatt- und Feinzweigschäden, mit hoher Sicherheit verursacht durch Herbizidabdrift aus dem angrenzenden Gemüse-/Ackerbau, auf. Eine vergleichende visuelle Baumannsprache über potenzielle Blattauffälligkeiten schied somit an diesem Standort aus.

4.5 Stadtbodenkartierung Straßenbegleitgrün

Das Bodeninventar des Straßenbegleitgrüns ist durch junge oder initiale Bodenbildungen aus anthropogen beim Straßenbau gestalteten Substraten geprägt. Bodentypologisch werden diese Böden aus anthropogenen Ablagerungen entsprechend ihrer Horizontierung den natürlichen Böden zugeordnet und auf Substratebene differenziert angesprochen. Die Standorteigenschaften dieser Böden sind noch überwiegend durch die Qualität der abgelagerten Ausgangsmaterialien der Bodenbildung, also in erster Linie durch die geologischen Eigenschaften geprägt.

In jüngerer Vergangenheit gepflanzte Straßenbäume werden großenteils in mit speziellem Bodensubstrat aufgefüllten Pflanzlöchern gepflanzt. Derartige Standorte wurden aber in dieser Untersuchung nicht erfasst.

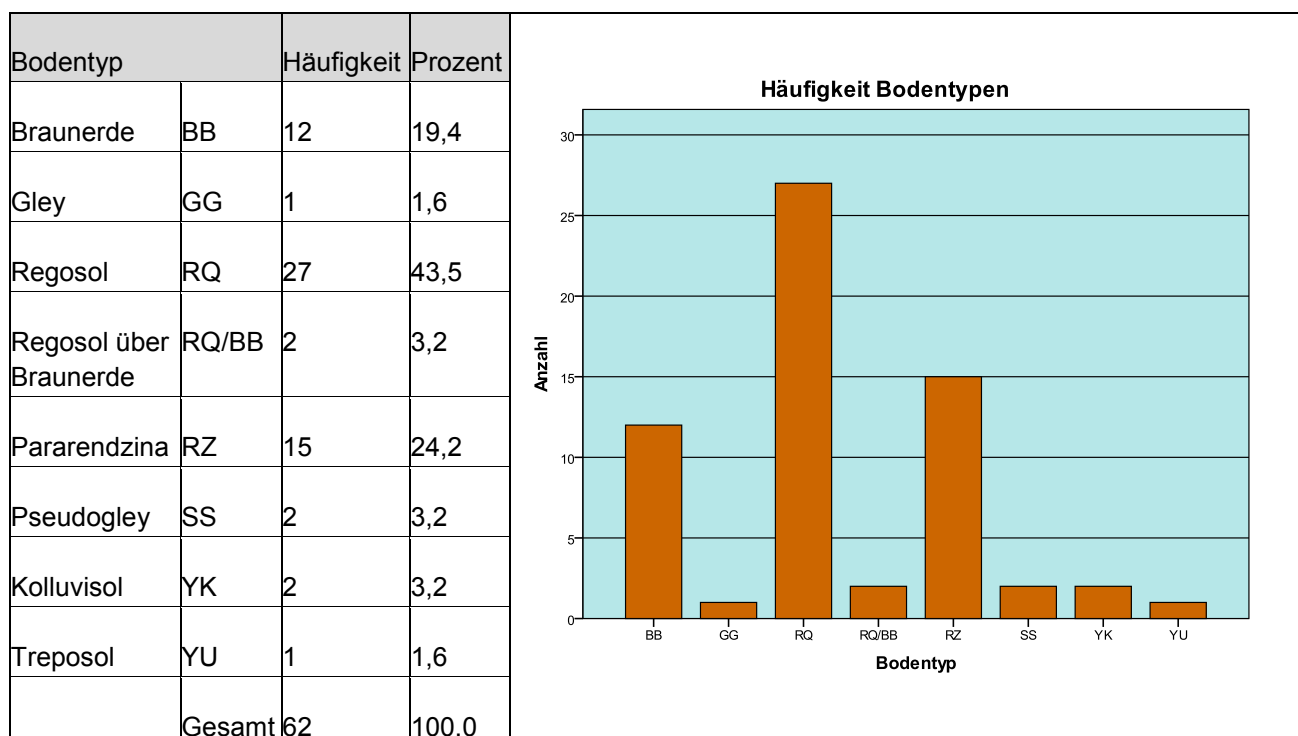


Abbildung 41: Bodentypen im Straßenbegleitgrün

Das Gesamtkollektiv der Böden wird vorwiegend durch Regosole und Pararendzinen, untergeordnet auch Braunerden aus geschütteten, Skelett führenden Sanden mit nur geringen Verlehmungsgraden geprägt. Hinzu kommen einzelne Fälle von Böden mit Grundwasser- oder Stauwassereinfluss sowie kolluviale Bodenbildungen.

Die Standorte haben in ca. 24 % der Fälle einen einschichtigen Bodenaufbau unter ca. 25 cm humosem sandigen Material. In 75 % der Fälle wurden mehrschichtige Substratabfolgen unterhalb der humosen Abdeckung kartiert. Die Substrate der Böden unterhalb der humosen Abdeckung bestehen in der Hälfte der Fälle aus Skelett führenden Sanden. Wobei 9 Standorte in der obersten Schicht einen **sehr starken** Steingehalt aufweisen. Auf 16 % der Standorte besteht der Oberboden aus sandig-lehmigen Substraten, wobei davon 4 Standorte skeletthaltig sind (siehe Abbildung 43).

In zahlreichen Fällen wurden humose Substrate bei der Schüttung der Straßenrandböden verwendet. Die Häufigkeit und Mächtigkeit der verwendeten humosen Substrate ist in Abbildung 42 dargestellt.

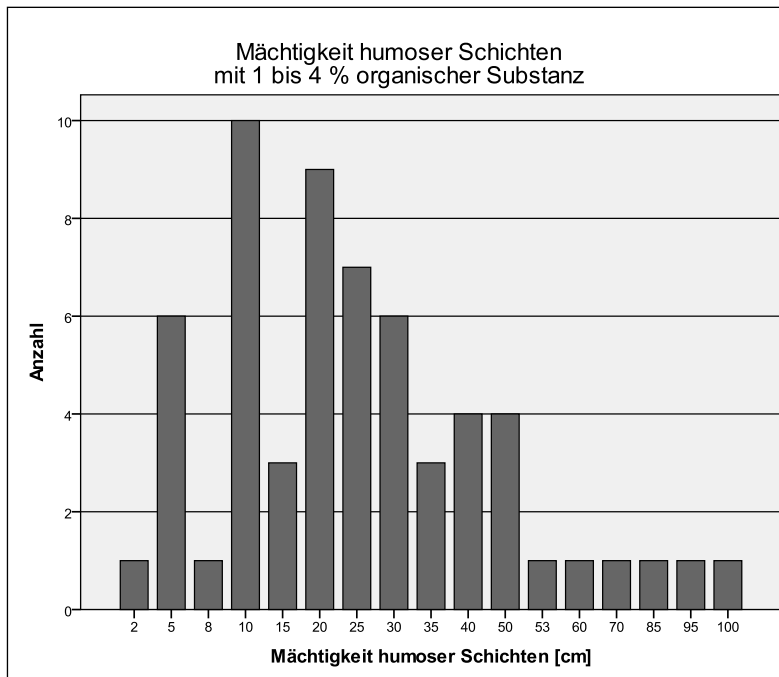
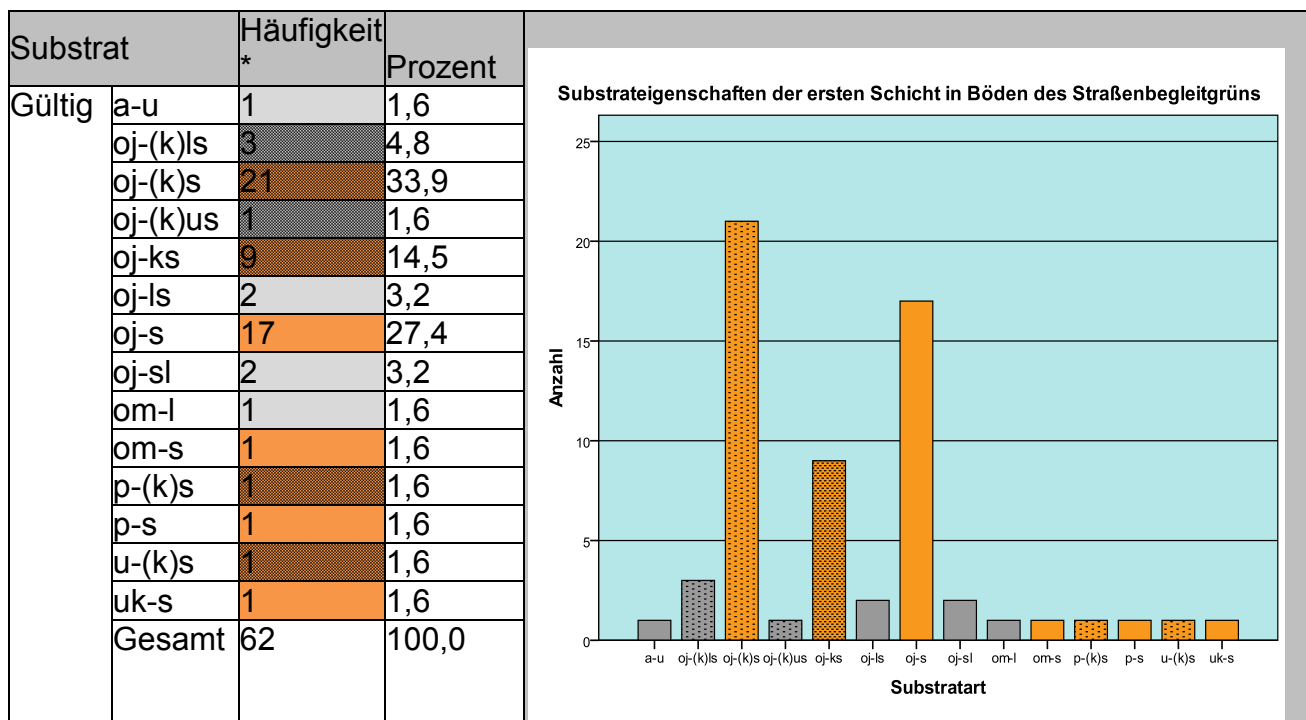


Abbildung 42: humose Schichten

Auf insgesamt 42 % der Standorte kommen anthropogene Beimengungen wie Bauschutt, Straßenaufbruch, Schlacken oder Gläser vor. Die Art der Beimengungen auf den einschichtigen und mehrschichtigen Standorten ist in Abbildung 44 dargestellt. Aufgrund des häufigen Kalkgehalts des beigemengten Bauschutts sind die Böden dieser Standorte als Pararendzinen angesprochen worden.



* braun bedeutet ‚Reinsand‘, grau bedeutet ‚lehmig‘, die Bemusterung stellt den Skelettgehalt dar
Abbildung 43: Substrate des Oberbodens

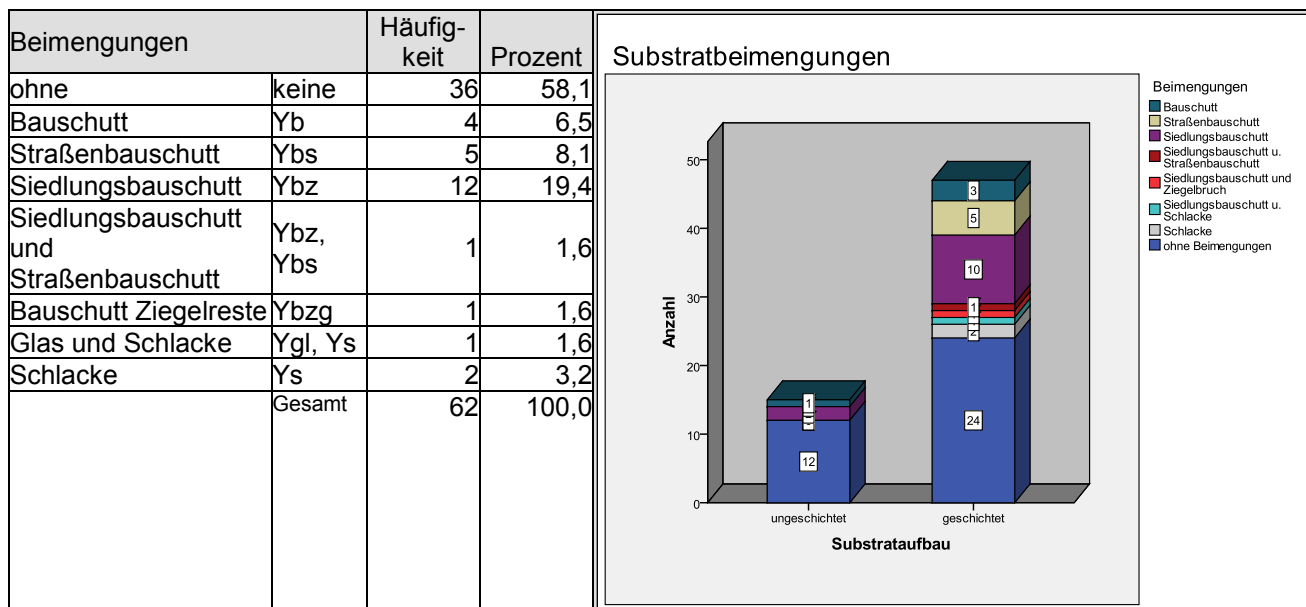


Abbildung 44: Anthropogene Beimengungen

Standorte mit besonderen Bodenverdichtungen (Bodenhorizonte mit Lagerungsdichten >3) wurden in 6 Fällen kartiert. In der Regel sind die Baumscheiben bzw. Grünstreifen im Unterschied zu den unmittelbar benachbarten Straßenabschnitten und angrenzenden Geh- oder Radwegen nicht besonders verdichtet (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25. Lagerungsdichten

Lagerungsdichte der Bodenhorizonte	Häufigkeit	Prozent
LD 2	174	78,4
LD 3	42	18,9
LD 4	6	2,7
Gesamt	222	100,0

Standorte ohne Schichtung im ersten Meter

Auf den 62 in Hamburg kartierten Standorten weisen **15 Standorte** (Tabelle 26) unter einer im Durchschnitt ca. 25 cm mächtigen humosen Abdeckung ein einheitliches Substrat auf. Von 15 Standorten sind 3 Standorte als naturnah einzustufen, da es sich hierbei in 2 Fällen um sogenannte ‚Nullstandorte‘ in 10 Meter Entfernung vom Fahrbahnrand handelt und in einem Fall um einen naturnahen Standort in unmittelbarer Fahrbahnnahe. Unter den 12 Standorten mit geschütteten Substraten dominieren die sandigen Schüttungen, wobei 3 Standorte Bauschuttbeimengungen aufweisen. Nur 2 Standorte haben lehmige Sande als Hauptbodenart.

Tabelle 26: Substrate einschichtige Standorte

Substrat	Häufigkeit	Prozent	
Standorte ohne Schichtung im ersten Meter	a-u	1	6,7
	oj-(k)ls	1	6,7
	oj-(k)s	6	40,0
	oj-ls	1	6,7
	oj-s	4	26,7
	p-s	1	6,7
	uk-s	1	6,7
	Gesamt	15	100,0

Bodentypologisch (Tabelle 27) dominieren in der Gruppe der Böden ohne besondere Substratschichtung die sauren Braunerden und Regosole. Untergeordnet kommen 3 Standorte mit Pararendzinen und ein Kolluvisol-Standort vor. Die Pararendzinen beziehen ihren Kalkgehalt aus den zugemengten Bauschuttanteilen der Substrate.

Tabelle 27: Bodentypen einschichtige Standorte

Bodentyp	Häufigkeit	Prozent	
Standorte ohne Schichtung im ersten Meter	BB	4	26,7
	RQ	7	46,7
	RZ	3	20,0
	YK	1	6,7
	Gesamt	15	100,0

Mehrschichtige Standorte

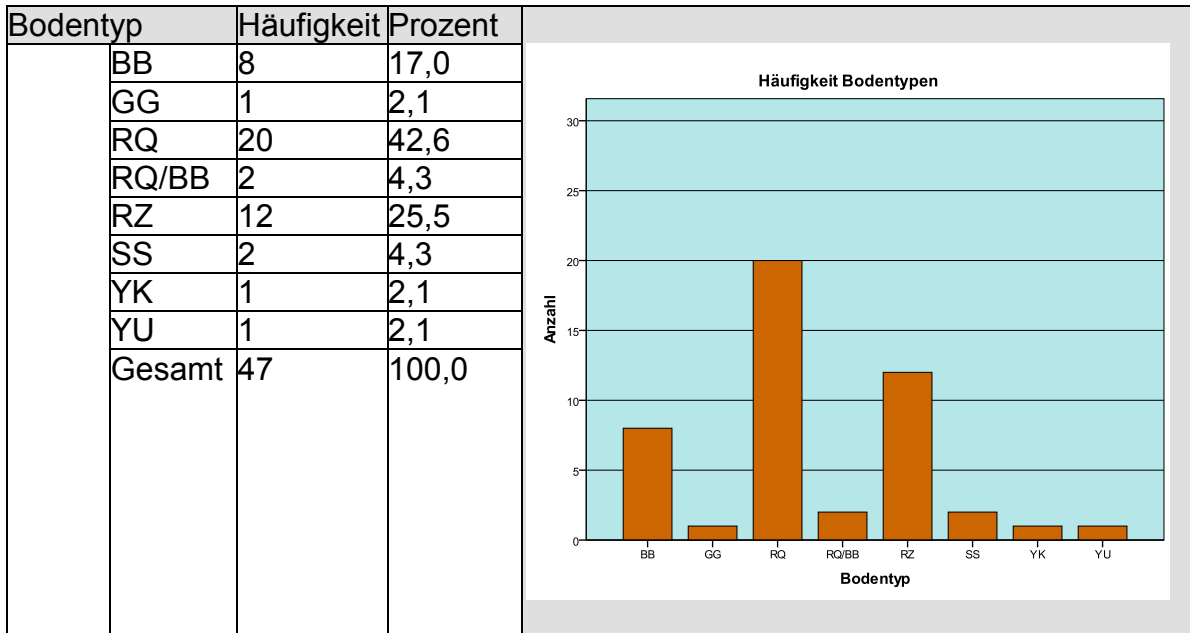
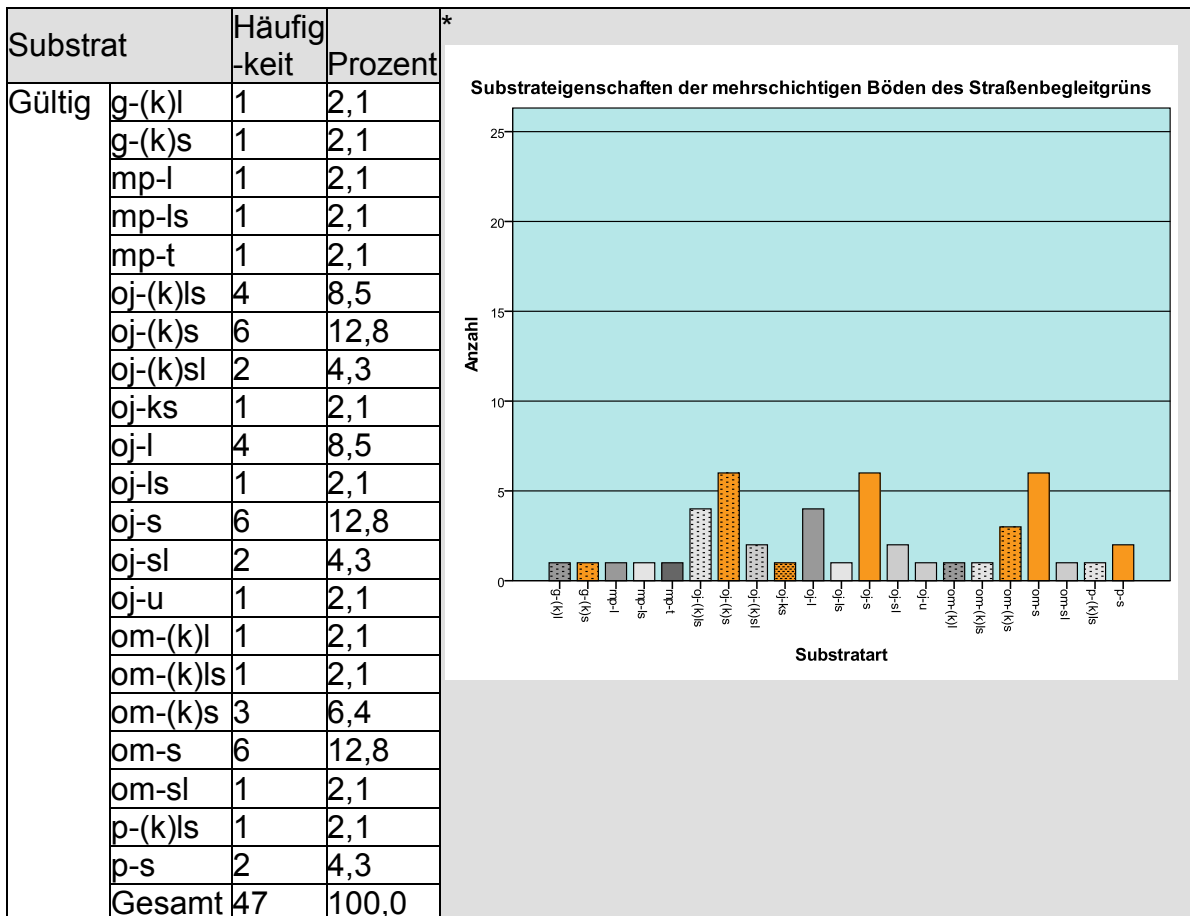


Abbildung 45: Bodentypen mehrschichtiger Substrate



* braun bedeutet ‚Reinsand‘, grau bedeutet ‚lehmig‘, die Bemusterung stellt den Skelettgehalt dar

Abbildung 46: Substrate mehrschichtige Profile

Bei 47 Standorten tauchen bereits im ersten Meter weitere Substratwechsel auf. Bei diesen Standorten mit mehrschichtigen Substraten im ersten Meter überwiegen die Regosole aus unterschiedlichen geschütteten Schichten, gefolgt von den Pararendzinen mit Bauschuttbeimengungen und Braunerden (siehe Abbildung 45).

Bei 6 Standorten handelt es sich bei den Schichtwechseln um Übergänge zu den unterlagernden naturnahen Substraten. Bei 41 Standorten handelt es sich um weitere unterschiedlich anthropogen hergestellte Substrate. Unter den Standorten mit mehrschichtig geschütteten Substraten lassen sich keine deutlichen Charakteristika erkennen. Es dominieren die sandigen Schüttungen, wobei 23 Standorte, etwa die Hälfte, Bauschuttbeimengungen wie Bauschutt, Straßenaufbruch, Schlacken oder Gläser aufweisen (Abbildung 46).

Unter dem Gesichtspunkt der Standorteigenschaften als Vegetationsstandort sind die gemischten (om) und geschütteten (oj) Substrate trotz ihres genetischen Unterschieds als ähnlich zu betrachten. Die untersuchten Standorte zeigen einen Schwerpunkt bei den nährstoffschwachen ‚Reinsand‘ Substraten, wobei ungefähr der Hälfte dieser Standorte Bauschutt oder andere Grobbodenbestandteile zugemischt sind. Lehmstandorte kommen nur in 6 Fällen (ca. 10 %) in der Untersuchung vor.

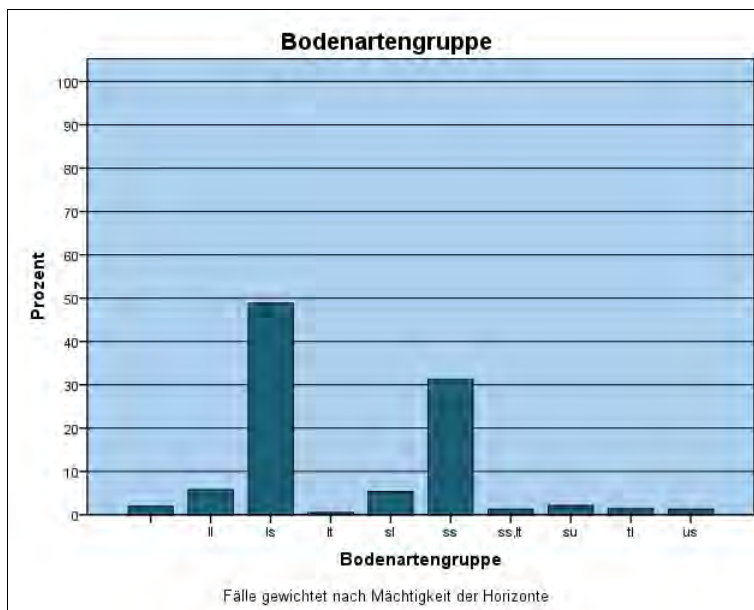


Abbildung 47: Feinbodenarten der Straßenrandböden

In Abbildung 47 werden die kartierten Feinbodenarten in den Bodenprofilenaufnahmen bis ein Meter Tiefe nach Mächtigkeit gewichtet dargestellt. Deutlich sichtbar ist der Schwerpunkt der Reinsande und lehmigen Sande. Insgesamt handelt es sich um Standorte mit geringer Sorptionskapazität. Der beigemengten organischen Substanz kommt daher eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Sorptionskraft und Nährstoffversorgung der Standorte zu. Die Basensättigung ist aufgrund der meist ‚neutralen‘ pH-Werte hoch.

4.6 Daten von Grundwassermessstellen

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse in Abschnitt 4.6 sind dem Bericht von Dr. Jürgen Domroese entnommen.

Dr. Jürgen Domroese [U2111]

Belastungen aus der Streusalz-Anwendung des Winterdienstes
im oberflächennahen Grundwasser

Das Chlorid-Ion zählt zu den natürlichen Hauptinhaltsstoffen des Grundwassers. Um anthropogene Einträge erkennen und bewerten zu können, muss deshalb die natürliche Hintergrundkonzentration im oberflächennahen Grundwasser beachtet werden. Kunkel et al. (2004) ermittelten in einem umfangreichen, vom Länderfinanzierungsprogramm „Wasser und Boden“ getragenen Forschungsvorhaben für die Sande und Kiese des norddeutschen Flachlandes eine Obergrenze der natürlichen Chlorid-Konzentration im Grundwasser zwischen 46 und 87 mg/L in Abhängigkeit von der Teufe. Die Autoren selbst schätzten ein, dass der letztgenannte, für den Teufenbereich 0 bis 10 m geltende Wert auswertungsmethodisch bedingt eine Überschätzung der natürlichen Hintergrundkonzentration beinhaltet. Sie betonten deshalb, dass es sich dabei um die natürliche, „ubiquitär überprägte“ Grundwasserbeschaffenheit handelt. Daran anlehnend wird im Folgenden davon ausgegangen, dass Chlorid-Konzentrationen größer als 80 mg/L mit hoher Sicherheit auf anthropogene Einträge in das Grundwasser schließen lassen.

Chlorid gelangt jedoch nicht nur aus dem Tausalz-Einsatz des Winterdienstes in das Grundwasser. Neben dieser Quelle wird häufig auch der mögliche Eintrag aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung sowie durch häusliches Abwasser diskutiert (z. B. Forschergruppe Kanalleckage, 2003; Kunkel et al., 2004; Schramm et al., 2006). Für die Hamburger Geestgebiete mit einem sehr geringen Anteil an landwirtschaftlich genutzten Flächen ist besonders der mögliche Eintrag aus Abwässern interessant, da Abwasserkanäle (Siele) und Grundleitungen genau dort verlaufen, wo auch Auftausalze zum Einsatz gelangen. Um zu ermitteln, ob deutlich erhöhte Chlorid-Konzentrationen größer 80 mg/L in Grundwasserproben u.U. abwasserbedingt sein können, wird für alle Messstellen des zusammengestellten Datenkollektivs der Parameter Bor herangezogen. Bor bietet den entscheidenden Vorteil, dass - abgesehen von speziellen Punktquellen (Altdeponien) - anthropogen bedingte Einträge ins Grundwasser ausschließlich aus häuslichen Abwässern möglich sind. Neben den genannten drei Eintragsquellen dürfen als Chlorid-Quelle auch Grundwasserschadensfälle mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW), die aus Altlasten bzw. Altstandorten resultieren, nicht außer Acht gelassen werden. Letztlich werden organische LCKW zu anorganischem Chlorid abgebaut. Außerdem können noch punktförmige Einträge aus nicht ausreichend gesicherten Altdeponien eine Rolle spielen.

Die Abbildung 48 gibt eine zusammenfassende Übersicht über Eintragsquellen, Obergrenzen der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit sowie Schwellenwerte für den guten chemischen Zustand von Grundwasserkörpern gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie.

	Chlorid	Bor
Obergrenze der natürlichen, (ubiquitär überprägten) Grundwasserbeschaffenheit [nach Kunkel et al., 2004]	<u>m unter GOK</u> 0 bis 10 : 87 mg/L 10 bis 25 : 76 mg/L 25 bis 50 : 46 mg/L	<u>m unter GOK</u> 0 bis 10 : 0,233 mg/L 10 bis 25 : 0,169 mg/L 25 bis 50 : 0,163 mg/L
bundesweit einheitlicher Schwellenwert gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie („guter chemischer Zustand“)	250 mg/L (abgeleitet aus den Anforderungen an Trinkwasser)	-----
anthropogene Einträge in das Grundwasser	<ul style="list-style-type: none"> ▪ durch Anwendung von Auftausalzen im Winterdienst ▪ durch die landwirtschaftliche Flächennutzung ▪ als Abbaumetabolit von LCKW ▪ aus Abwässern ▪ aus ungesicherten Altdeponien (Bauschutt) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ aus Abwässern ▪ aus ungesicherten Altdeponien (Hausmüll)

Abbildung 48: Die Grundwasserinhaltsstoffe Chlorid und Bor im Vergleich

In der Abbildung 49 sind die klassifizierten Chlorid-Konzentrationen für das Datenkollektiv, das nach den in den Kap. 3.6 beschriebenen Kriterien zusammengestellt wurde, dargestellt. Insgesamt liegen Daten für 725 Grundwassermessstellen vor. Um das Ausmaß der Chlorid-Belastungen zu verdeutlichen, wurden als obere Klassengrenzen die Obergrenze der natürlichen Beschaffenheit von 80 mg/L und der bundesweit geltende Schwellenwert gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (250 mg/L; vgl. Abb. 48) gewählt. Häufungen von Messstellen auf kleinem Raum zeigen die Schwerpunkte der Altlastbearbeitung.

In der Kartendarstellung überlagern Messstellen mit höheren Konzentrationen prinzipiell Messstellen mit niedrigeren Konzentrationen, so dass u. U. Messstellen in der untersten Konzentrations-Klasse vollständig von Messstellen in den beiden anderen Konzentrations-Klassen verdeckt werden.

Die Abbildung 49 zeigt, dass an nahezu der Hälfte der Grundwassermessstellen auffällig erhöhte Chlorid-Konzentrationen auftreten, die auf anthropogen bedingte Einträge in das Grundwasser zurückzuführen sind.

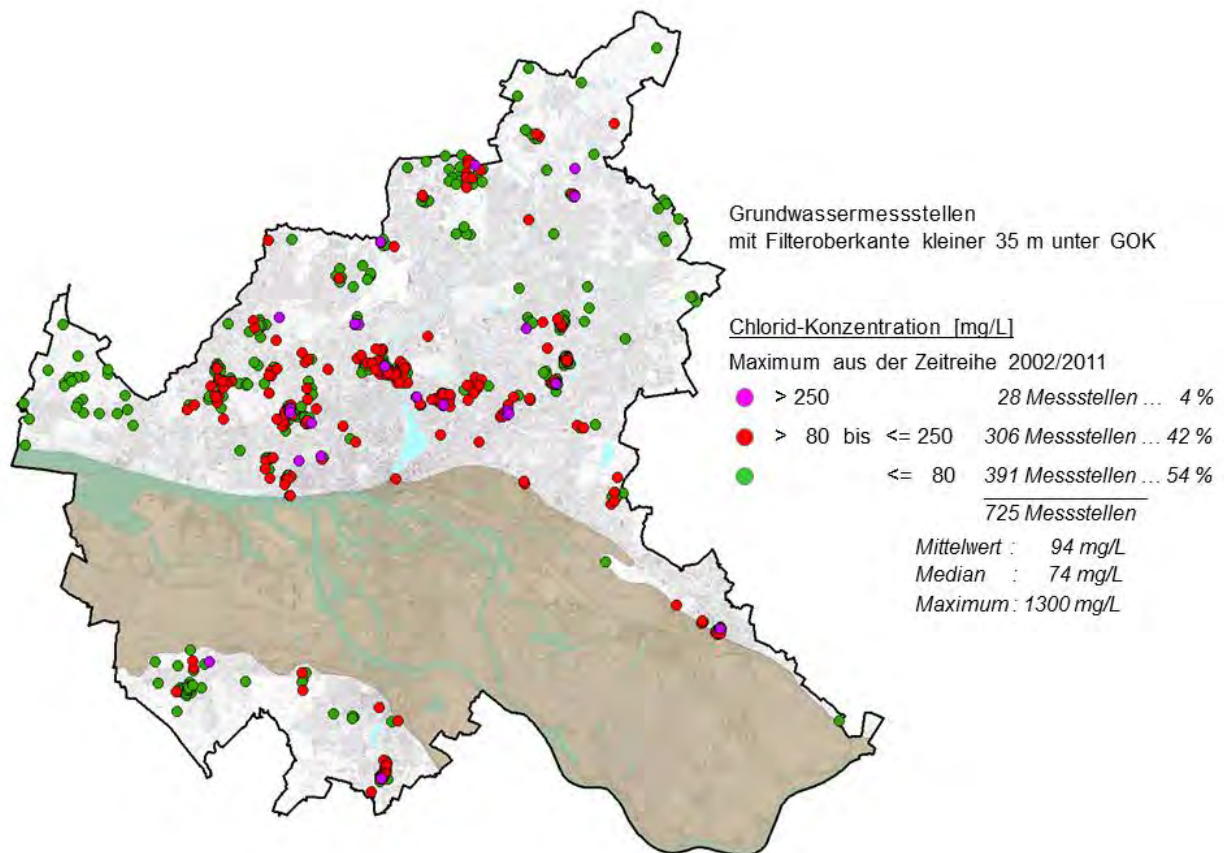


Abbildung 49: Chlorid-Konzentration an Grundwassermessstellen in den Hamburger Geestgebieten

Obwohl der Abbau von LCKW erst bei eher selten im Grundwasser auftretenden LCKW-Konzentrationen im Milligramm/Liter-Bereich eine Rolle als relevante Chlorid-Quelle spielen dürfte, wurden alle Messstellen mit einem Maximum der LCKW-Summe (Summe aus 14 Einzelstoffen) größer als 20 µg/L aus dem Datenkollektiv eliminiert. Damit werden LCKW-Grundwasserschadensfälle als Chlorid-Quelle ausgeschlossen.

Ob Chlorid-Einträge überwiegend aus der Auftausalz-Anwendung oder eher aus Abwässern resultieren, soll folgende Überlegung verdeutlichen. Trifft die letztgenannte Hypothese (Belastung aus Abwässern) zu, müsste eine enge Korrelation zwischen den Chlorid-Konzentrationen und den Bor-Konzentrationen an den einzelnen Messstellen vorliegen. Insbesondere Messstellen, an denen auffällig hohe Chlorid-Konzentrationen mit auffällig hohen Bor-Konzentrationen einhergehen, können abwasserbeeinflusst sein. Die Abbildung 50 zeigt den Vergleich der Bor- und Chlorid-konzentrationen an den oberflächennah verfilterten Messstellen der Geest für das um LCKW-Grundwasserschadensfälle bereinigte Datenkollektiv.

In der Abbildung 50 wurde der Bereich mit den natürlichen, geogen bedingten Hintergrundkonzentrationen grün markiert. An 79 Messstellen im rot markierten Bereich sind auffällig hohe Chlorid-Konzentrationen mit auffällig hohen Bor-Konzentrationen

korreliert. An dieser Stelle muss jedoch auch in Betracht gezogen werden, dass die Chlorid-Frachten im Abwasser der Siele einerseits aus menschlichen Ausscheidungen sowie Wasch- und Reinigungsmitteln, andererseits jedoch wiederum direkt aus der Ausbringung von Auftausalzen während des Winterdienstes (Abfluss als Schmelzwasser über das Straßenentwässerungssystem; siehe Kapitel 3.6) stammen können. Deshalb können die Chlorid-Einträge an den Messstellen im rot markierten Bereich durchaus auch aus der Auftausalzanwendung stammen.

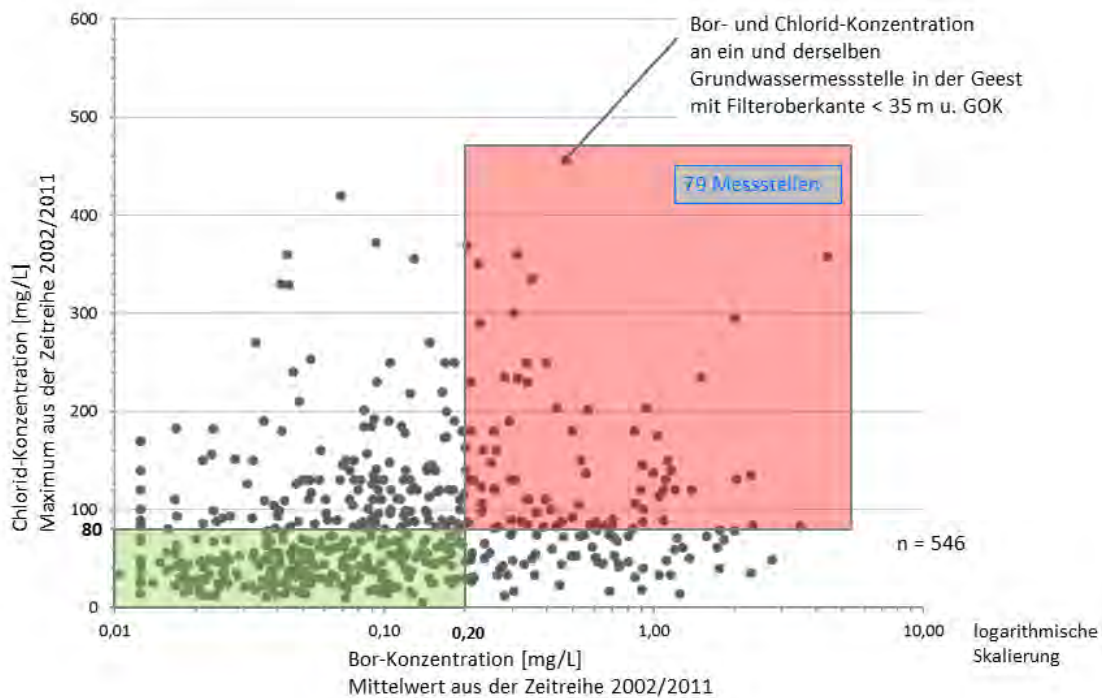


Abbildung 50: Vergleich von Chlorid- und Bor-Konzentrationen an Grundwassermessstellen in den Hamburger Geestgebieten

In einem zweiten Schritt wurden die so identifizierten 79 Messstellen mit möglichem Abwassereinfluss aus dem Datenkollektiv eliminiert. Die Kartendarstellung in Abbildung 51 zeigt das neue Datenkollektiv (bereinigter Gesamtdatensatz) nach den oben beschriebenen zwei Eliminierungsschritten.

- nach Eliminierung von
- 167 Grundwassermessstellen mit Maximum Summe LCKW > 20 µg/L sowie
 - 79 Grundwassermessstellen mit Chlorid- und Bor-Konzentrationen über dem natürlichen Hintergrund

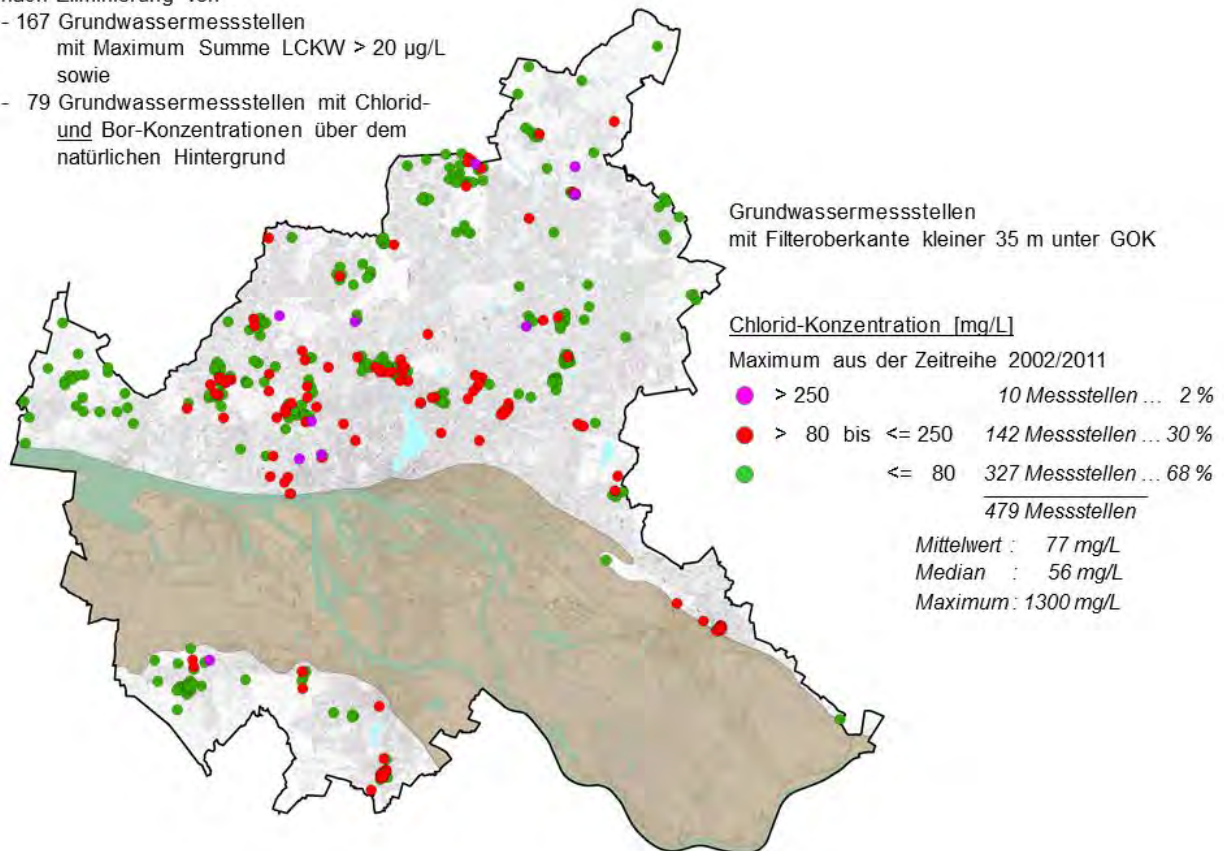


Abbildung 51: Chlorid-Konzentration an Grundwassermessstellen in den Hamburger Geestgebieten (bereinigte Daten)

Im Folgenden soll die Belastung „Streusalzanwendung des Winterdienstes“ näher lokalisiert werden. Dafür stellte die Stadtreinigung Hamburg einen Layer mit den Verkehrswegen zur Verfügung, die während des Winterdienstes den Streustufen 1 und 2 zuzuordnen sind. Außerdem wurden die Autobahnen im Stadtgebiet, die nicht von der Stadtreinigung, sondern von den Autobahnmeistereien gestreut werden, berücksichtigt. Um die Straßen mit den Streustufen 1 und 2 sowie um die Autobahnen wurde nach beiden Seiten ein 100 m - Korridor gelegt und die 479 Grundwassermessstellen in Abbildung 51 nach ihrer Lage in bzw. außerhalb dieses Korridors sortiert. Diesem Vorgehen liegt die Überlegung zugrunde, dass temporär erfolgende, linienförmige Chlorid-Einträge aus der Streusalzanwendung aufgrund der im Kapitel 2.2 beschriebenen Prozesse nur an Grundwassermessstellen in unmittelbarer Nähe der Eintragsquelle erfasst werden können. Die Auftausalzanwendung durch Private auf Gehwegen und Grundstücken wird bei diesem Vorgehen nicht erfasst.

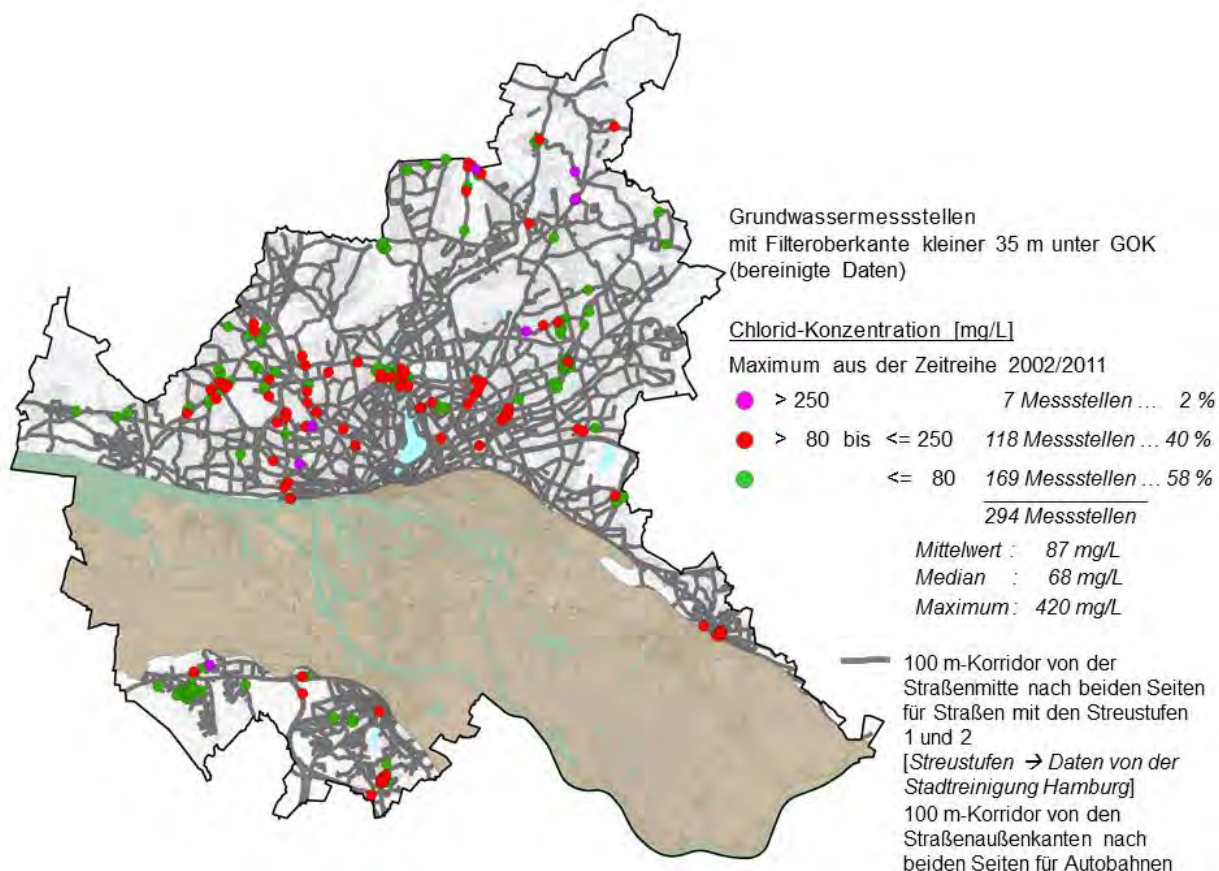


Abbildung 52: Chlorid-Konzentration an Grundwassermessstellen in den Hamburger Geestgebieten im 100 m-Korridor um Verkehrswege mit Winterdienst

Durch die oben beschriebene Sortierung der Grundwassermessstellen entstehen zwei verschiedene Teildatensätze, deren klassifizierte Chlorid-Konzentrationen in den Abbildungen 52 und 53 dargestellt sind. Außerdem wurden in die Abbildungen die Häufigkeitsverteilungen der Chlorid-Konzentrationen und wichtige statistische Kennwerte für die beiden neu entstandenen Teildatensätze integriert.

Wenig verwunderlich erscheint zunächst die Tatsache, dass auch im 100 m-Korridor an einer Vielzahl von Grundwassermessstellen die Chlorid-Konzentrations-Maxima 80 mg/L unterschreiten (siehe Abb. 52). Dafür gibt es mehrere Ursachen, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

- (1) Viele Straßenabschnitte mit den Streustufen 1 und 2 sind auch im Straßenrandzonenbereich derart versiegelt (kein Grünstreifen zwischen Straße und Geh- bzw. Radweg), dass weder Auftausalze direkt bei der Ausbringung noch spritzendes Schmelzwasser in den Boden gelangen, sondern zu nahezu 100 % über die Siele abgeführt werden. Bei dichten Sielen kann in solchen Straßenabschnitten keine Grundwasserbelastung über das Sickerwasser erfolgen.

- (2) Bei der Auswertung der Grundwasserdaten wurde die Fließrichtung des Grundwassers an den einzelnen Messstellen nicht berücksichtigt. Es ist anzunehmen, dass viele Messstellen nicht im Abstrom von Streusalzanwendungen liegen und deshalb von entsprechenden Einträgen gar nicht betroffen sein können.
- (3) Messstellen mit Positionen der Filteroberkante größer 10 m unter GOK können durch ausreichend mächtige, schwer wasserdurchlässige Deckschichten oberhalb des Filters relativ unempfindlich gegenüber anthropogenen Stoffeinträgen sein. Diese sogenannte Schutzwirkung der Deckschichten kann den Chlorid-Transport mit dem Sickerwasser nennenswert behindern.

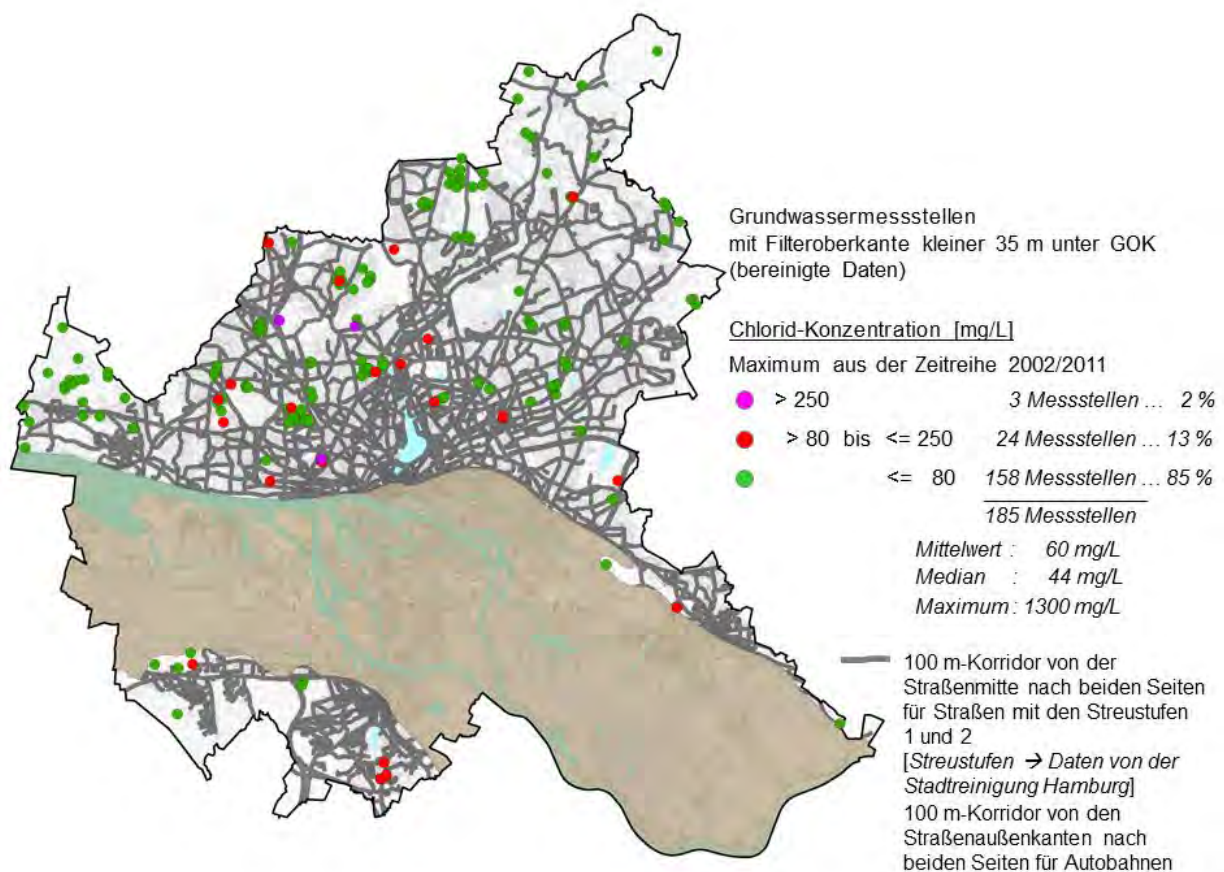


Abbildung 53: Chlorid-Konzentration an Grundwassermessstellen in den Hamburger Geestgebieten außerhalb des 100 m-Korridors um Verkehrswege mit Winterdienst

Der Vergleich der beiden Abbildungen zeigt, dass die beiden Teildatensätze sich signifikant voneinander unterscheiden. Wie die Übersicht in Abbildung 54 verdeutlicht, betrifft das sowohl die Häufigkeitsverteilungen als auch wichtige statistische Kennwerte. Während im 100 m-Korridor 42 % der Grundwassermessstellen Chlorid-Konzentrationen größer 80 mg/L aufweisen, reduziert sich dieser Anteil bei den Messstellen außerhalb des Korridors auf nur noch 15 %. Obwohl für den Teildatensatz

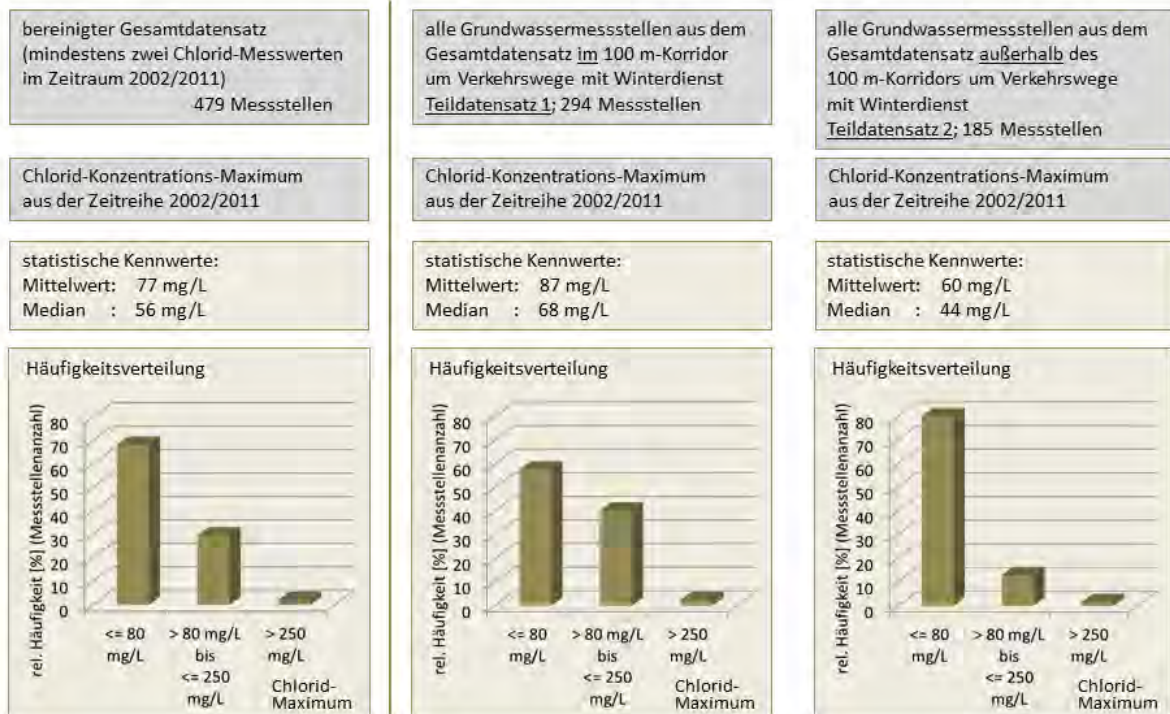


Abbildung 54: Vergleich der Teildatensätze im und außerhalb des 100 m-Korridors um Verkehrswege mit Winterdienst

außerhalb des 100 m-Korridors ein extrem hohes Maximum (1300 mg/L) ausgewiesen wird, unterscheiden sich erwartungsgemäß auch die Mittelwerte und Mediane der beiden Teildatensätze deutlich. Der Mittelwert überschreitet bei den Messstellen im 100 m-Korridor die Obergrenze für die natürliche Beschaffenheit (80 mg/L), während beide Kennwerte für den Teildatensatz außerhalb des Korridors unter dieser Obergrenze liegen.

Der Vergleich der beiden Teildatensätze unterstützt damit die These, dass es sich bei auffällig hohen Chlorid-Konzentrationen größer 80 mg/L an Grundwassermessstellen in oberflächennahen Geest-Grundwasserkörpern häufig um Einträge aus der Streusalzanwendung handelt.

Zusammenfassend wird festgestellt:

- (1) In den oberflächennahen Geest-Grundwasserkörpern in Hamburg lassen sich Salzeinträge aus der Auftausalzanwendung während Winters nachweisen.
- (2) Diese manifestieren sich in gemessenen Chlorid-Konzentrationen im Grundwasser oberhalb der natürlichen Hintergrundwerte an einer Vielzahl von

Grundwassermessstellen.

- (3) Die gemessenen erhöhten Chlorid-Konzentrationen bewegen sich im Wesentlichen unterhalb des bundesweit geltenden Schwellenwertes nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (250 mg/L), der sich an den Erfordernissen für Trinkwasser orientiert.

Literatur

Forschergruppe Kanalleckage (2003). *Gefährdungspotential von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser*. Zwischenbericht der DFG-Forschergruppe an der Universität Karlsruhe.

Kunkel, R., Hans-Jürgen Voigt, H.-J., Wendland, F., Hannappel, S. (2004). *Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. Endbericht eines FuE-Vorhabens im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser und Boden“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser*. Forschungszentrum Jülich.

Schramm, C., Gans, O., Uhl, M., Grath, J., Scharf, S., Zieritz, I., Kralik, M., Scheidleder, A., Humer, F. (2006). *Carbamazepin und Koffein - Potentielle Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunales Abwasser?* Umweltbundesamt, Wien.

4.7 Einzelstandortanalyse

Die Einzelstandorte zeigen eine durchaus unterschiedlich charakteristische Betroffenheit bezüglich der Salzbelastung.

1. Straßen im Außenbereich ohne Siel-Anschluss, gewölbt, mit tiefem oder keinem Bordstein und randlicher Grabenentwässerung



Abbildung 55: Straßen im Außenbereich

Auf diesen Standorten treten aufgrund der fehlenden Kanalisation und erhöhten Salzgischt die höchsten Salzbelastungen auf.

2. Mittelstreifen



Abbildung 56: Mittelstreifen

Auf diesen Standorten tritt eine mäßige Salzbelastung auf, da in der Regel Bordsteine vorhanden sind und die Straßenentwässerung vom Mittelstreifen weg erfolgt. Es fehlen auch zusätzliche Salzfrachten durch Fußweg- oder Radwegreinigung. Insbesondere Ahorne können hier trotzdem starke Blattrandnekrosen haben.

3. Seitliche Straßenränder



Abbildung 57: Innerstädtischer Straßenrand

Straßenränder haben gegenüber den Mittelstreifen höhere Salzbelastungen, da die Fahrbahn häufig durch leichte Neigung zum rechten Rand in Fahrtrichtung entwässert wird. Salzgicht befördernde Spurrillen befinden sich auf mehrspurigen Straßen meist in verstärkter Ausprägung am rechten Fahrbahnrand. Die meist private Gehwegs- und Radwegreinigung tritt hier häufig die Salzfracht verstärkend hinzu.

4. Sonderstandorte



Abbildung 58: Sonderstandorte

Zahlreiche Standorte können nur individuell betrachtet werden, da sie durch viele salzverstärkende Einflüsse geprägt werden. Die Wasserversorgung einzelner Straßenbäume ist durchaus individuell weitläufig und unterschiedlich. Örtlich auftretende, salzverstärkende Einflüsse sind:

- Staunässe im Untergrund
- Pfützenbildung mit verstärkter Salzgischt
- Spurrinnen
- Fahrbahnwölbung bzw. Neigung zum Straßenrand
- Radweg- und Gehwegsreinigung
- Grundstückseinfahrten
- Treppenaufgänge
- Bushaltestellen
- Verkehrsampeln und Fußgängerüberwege
- Verstopfte oder defekte Kanalisation

In der nachfolgenden Einzelbetrachtung der Standorte werden die Blattgehalte, terrestrische Schadensansprache, Einzelbaum-Bodenuntersuchungen, Boden-Abschnittsuntersuchungen unter dem Aspekt der Frühjahrsbelastungen und Streumengen betrachtet.

4.7.1 ID-1 Gammerweg



Abbildung 59: ID-1 Gammerweg

Der Standort Gammer Weg (ID-1) ist eine Lindenallee im Bezirk Bergedorf. Der Standort besteht aus geschütteten humosen Sanden über im tiefen Unterboden anstehendem Marschensediment aus Lehm. Der Grünstreifen grenzt unmittelbar an die Fahrbahn, ohne Trennung durch einen Bordstein. Es besteht kein Siel Anschluss zur Straßenentwässerung. Der Standort gehört zur Streustufe I der Region Süd Bergedorf: Auf dem benachbarten etwas tiefer gelegenen Acker wurde in 10 Meter Entfernung vom Straßenrand ein Vergleichsstandort (ID-68) gewählt. Es handelt sich dabei um einen Tiefumbruchboden in dem das ursprüngliche lehmige Marschensediment aufgesandet wurde.

Die ausgebrachten Salzfrachten pro Streu-Saison haben sich von 100 g pro Quadratmeter im Winter 2007/2008 bis 675 g pro Quadratmeter im Winter 2010/2011 gesteigert (siehe Abbildung 52). Die Salzfracht kommt im Anstieg der Natriumsättigung des Bodens deutlich zum Ausdruck (Abbildung 51). Der Vergleichsstandort (ID-68) zeigt während des gesamten Untersuchungszeitraumes keine Zunahme der Natriumsättigung.

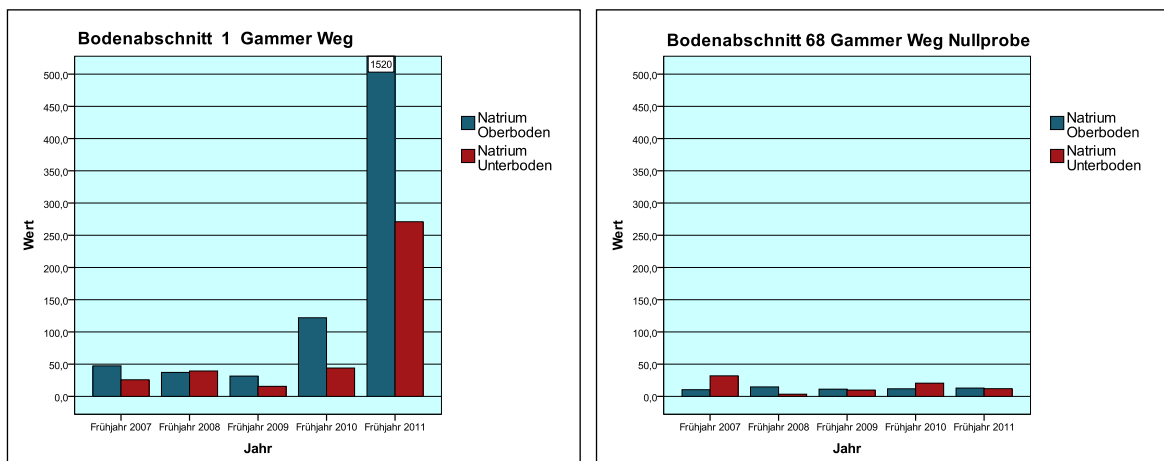


Abbildung 60: Natriumbelastung Bodenabschnitte ID-1, ID-68

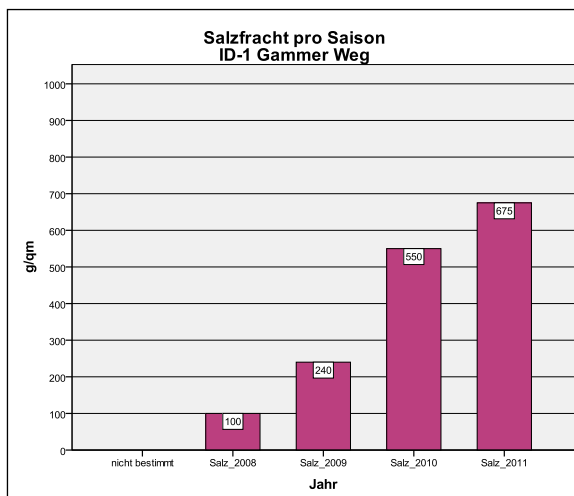
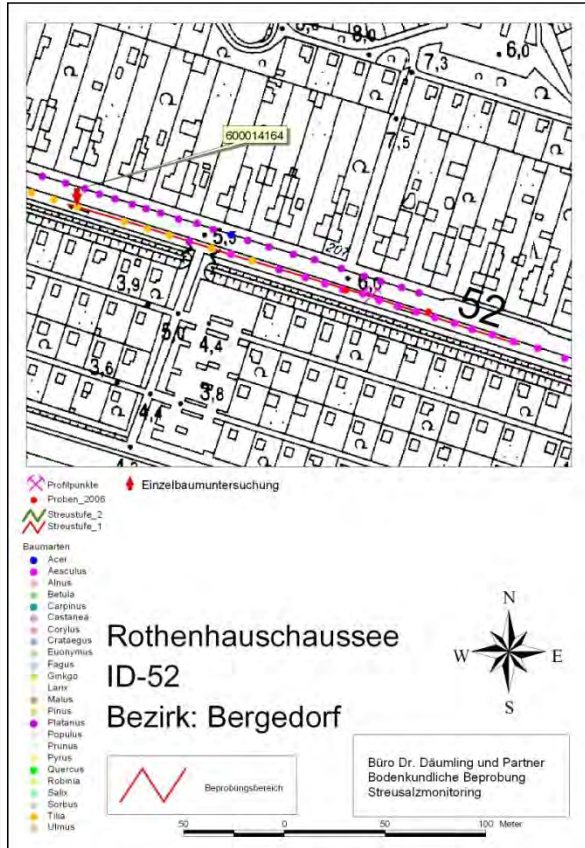
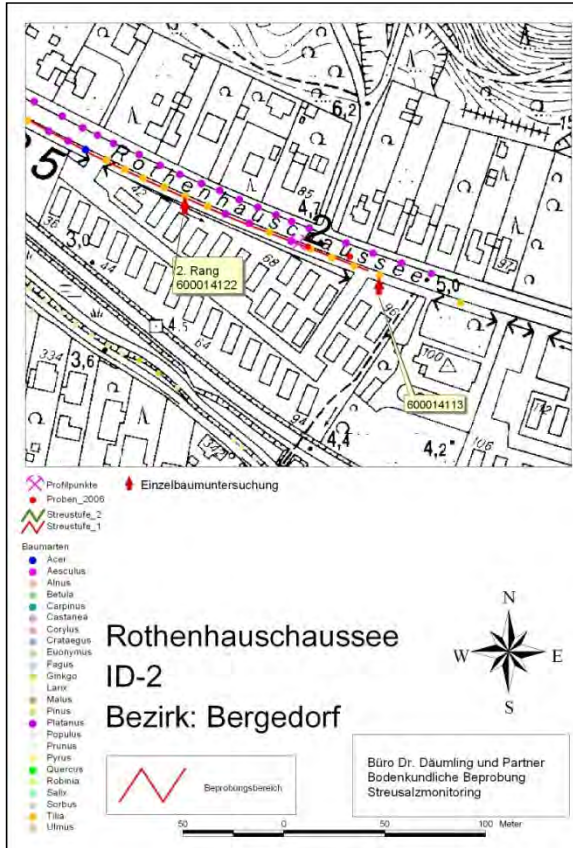


Abbildung 61: Salzfracht ID-1

4.7.2 ID-2, ID-52 Rothenhauschaussee



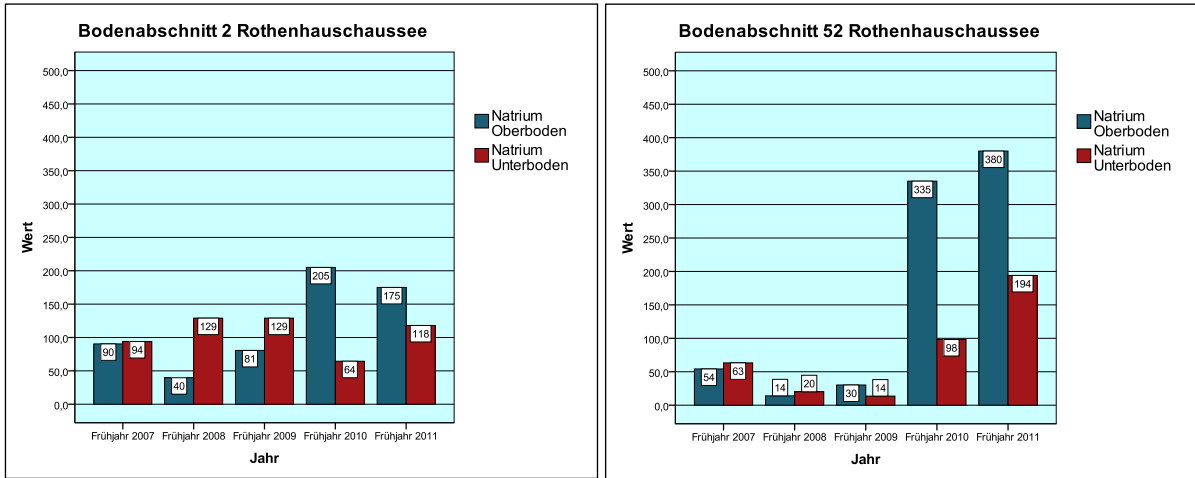


Abbildung 62: Natriumbelastung Bodenabschnitte ID-2, ID-52

Altdaten: Natrium 87,1 mg/kg Dez 1986

Natrium 90,4 mg/kg Dez 1986

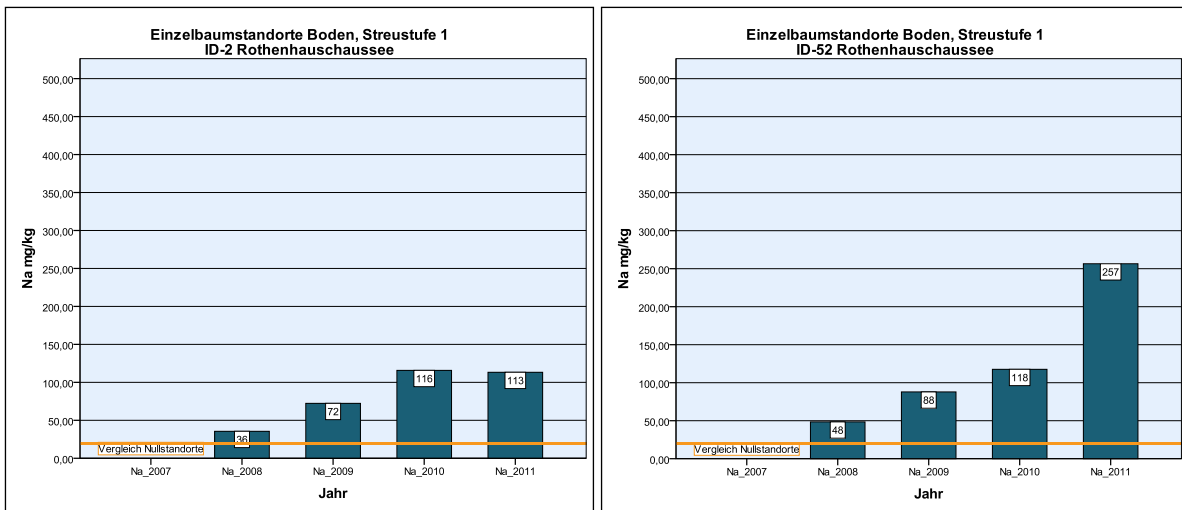


Abbildung 63: Einzelbaumstandorte Natriumbelastung Boden ID-2, ID-52

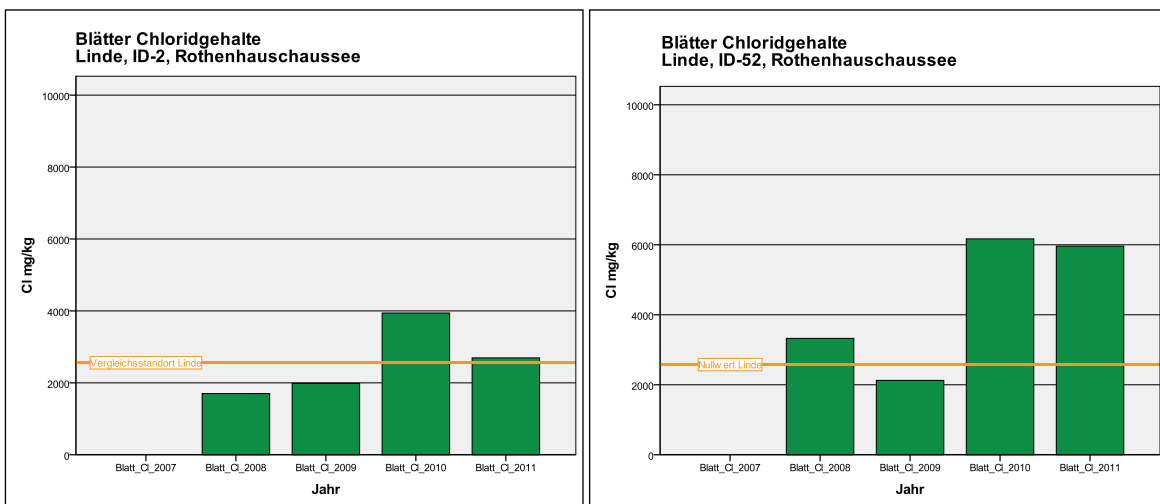


Abbildung 64: Einzelbaumstandorte Chloridbelastung Blätter ID-2, ID-52

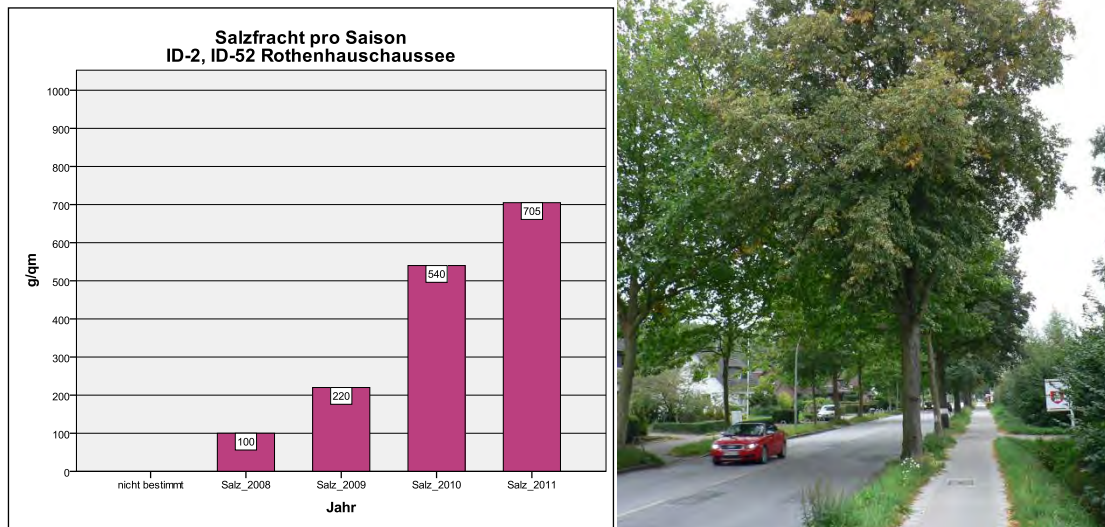


Abbildung 65: Salzfracht ID-2, ID-52

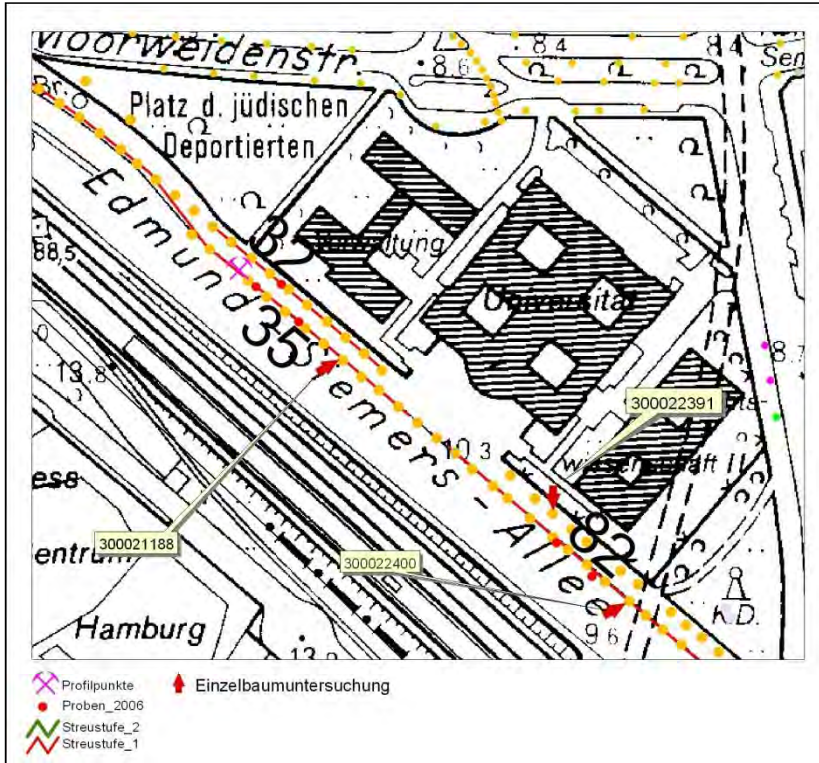
Der Standort Rothenhauschaussee umfasst die Bodenabschnitte 2 und 52 mit jeweils einer Linde als Einzelbaumuntersuchungsfall. Die Fahrbahn wird von einem durchgehenden Grünstreifen vom Fußweg getrennt in dem in regelmäßigen Abständen Linden gepflanzt sind. Die fahrbahnseitige Begrenzung bildet ein Bordstein. Das Substrat der Bodenbildung besteht in Abschnitt 2 aus einer 10 cm mächtigen humosen, sandigen Schicht mit darunter anschließend einer 20 cm mächtigen sehr stark Glas und Schlacke haltigen Schicht über geschütteten schwach lehmigen Sanden. Standort 52 besteht aus einer 5 cm mächtigen humosen sandigen Schicht mit einer darunter liegenden 55 cm mächtigen, stark bauschutthaltigen, sehr schwach humosen sandigen Schicht, die wiederum von einem schwach lehmigen Sand unterlagert wird.

Auf Standort 2 zeigen die Bodenabschnittswerte nach einer leichten Abnahme auf unter 50 mg/kg Natrium im Oberboden von Frühjahr 2007 zu Frühjahr 2008 eine Zunahme bis ca. 200 mg/kg Natrium im Frühjahr 2010 an. Die Abnahme im Oberboden ist zunächst von einer deutlichen Zunahme der Natriumgehalte im Unterboden begleitet. Eine weitere Zunahme der Natriumgehalte vom Frühjahr 2010 zum Frühjahr 2011 gemäß den gesteigerten Salzfrachten kann hier nur im Unterboden beobachtet werden.

Auf Standort 52 zeigt sich die Entwicklung der Natriumgehalte mit einem Anstieg analog der ausgebrachten Salzfrachten von ca. 20 mg/kg im Frühjahr 2008 bis zu ca. 380 mg/kg Natrium im Frühjahr 2011.

Die Chlorid Gehalte der Blätter übersteigen auf Standort 2 nur unwesentlich die Chlorid Gehalte der Vergleichslinde des Nullstandorts. Auf Standort 52 steigen die Blattgehalte von 2000 mg/kg Chlorid (unterhalb der Vergleichslinde) auf ca. 5000 mg/kg Chlorid im Sommer 2010 und 2011 an.

4.7.3 ID-82, ID-35, ID-32 Edmund-Siemers-Allee



Links 646
ID-82



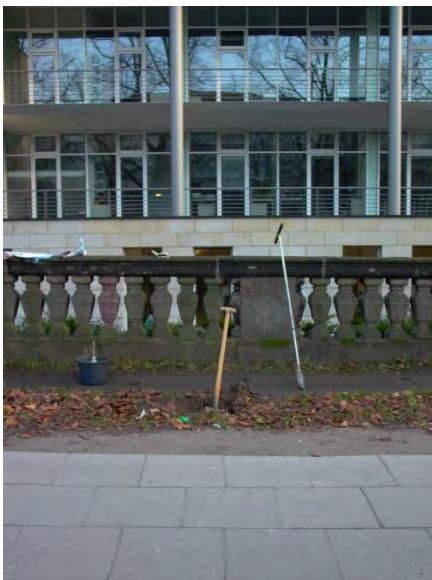
Rechts
578
ID 32



ID35,
ID82



Der Standort Edmund-Siemers-Allee umfasst zwei Straßenabschnitte unmittelbar an der Fahrbahn gelegen (ID-35 und ID-82a) mit jeweils einer Linde in der Einzelbaumbesichtigung. In den Fotos der Fahrbahn sind deutlich den Salzeinfluss verstärkende Spurrinnen zu erkennen. Zusätzlich wurde die 2. Baumreihe in ca. 6 m Entfernung zur Fahrbahn, (Bodenabschnitt ID-32) mit einem Einzelbaum beprobt, der in der Einzelbaum-Untersuchung die Kennung ID-82b bekommen hat. Die zweite Baumreihe ist durch einen breiten Rad/Fußgängerweg mit leichtem Gefälle in Richtung Straße von der ersten Baumreihe getrennt. Hinter der zweiten Baumreihe steht eine Mauer, die eine Geländestufe markiert. Die Mauer trennt die auf ungefährm Fahrbahnniveau befindlichen Grünstreifen mit Fußgänger und Radweg von dem anschließenden, tiefer gelegenen terrassenartigen, versiegelten Bereich des Gebäudevorplatzes.



ID-32, ID-35



Der Bodenaufbau besteht aus einer Pararendzina aus einer ca. 15 cm mächtigen schwach bauschutthaltigen, humosen sandigen Abdeckung, unterlagert von geschüttetem ziegelhaltigen und straßenaufbruchhaltigem Sand über bauschutthaltigem, humosem Lehmsand.

Die Werte der Bodenabschnittsuntersuchungen zeigen auf den straßennahen Grünstreifen (ID 35 und 82a) eine den ausgebrachten Salzmengen angepasste Entwicklung. Die Einzelbaumproben zeigen im Abschnitt ID-35 eine höhere Salzbelastung im Frühjahr 2008 als im Abschnitt 82a. Die Chlorid-Blattgehalte variieren auf relativ hohem Niveau, wobei insbesondere in den Sommern 2010 und 2011 eine Abnahme der Chloridgehalte in den Blättern festzustellen ist. Bemerkenswert ist der starke Anstieg der Blattgehalte der 2. Baumreihe im Sommer 2011 auf das Niveau der Linden der ersten Baumreihe in den Vorjahren. Die Bodenwerte zeigen in der 2. Baumreihe die typischen Werte von Nullstandorten mit nur geringsten Schwankungen während der Untersuchungsperiode. Dieser auffällige „Widerspruch“ ist nur damit zu erklären, dass die 2. Baumreihe keinen Wurzelraum im Bereich des versiegelten tiefergelegenen Vorplatzes des Gebäudes besitzt sondern unter dem Rad-Fußweg in

Richtung Straße wurzelt und dort Zugang zu den stark belasteten Wässern des Straßenrandes hat. Der Boden unmittelbar im Grünstreifen der 2. Baumreihe hingegen wird aufgrund des leichten Gefälles zur Straße vom Salzwasserversickerungsstrom, zumindest im ersten Meter, nicht berührt.

Im April 2011 werden an den Einzelbäumen der Bodenabschnitte mit direktem Straßenkontakt (82a und 35) die höchsten Natrium- und Chloridkonzentrationen des Vergleichskollektivs gemessen.

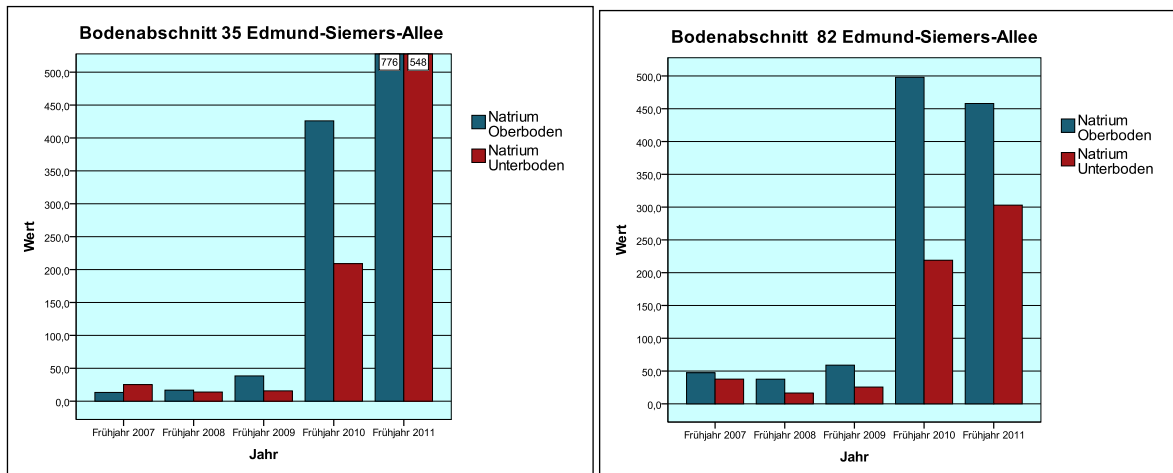


Abbildung 66: Natriumbelastung Bodenabschnitt ID-35, ID-82

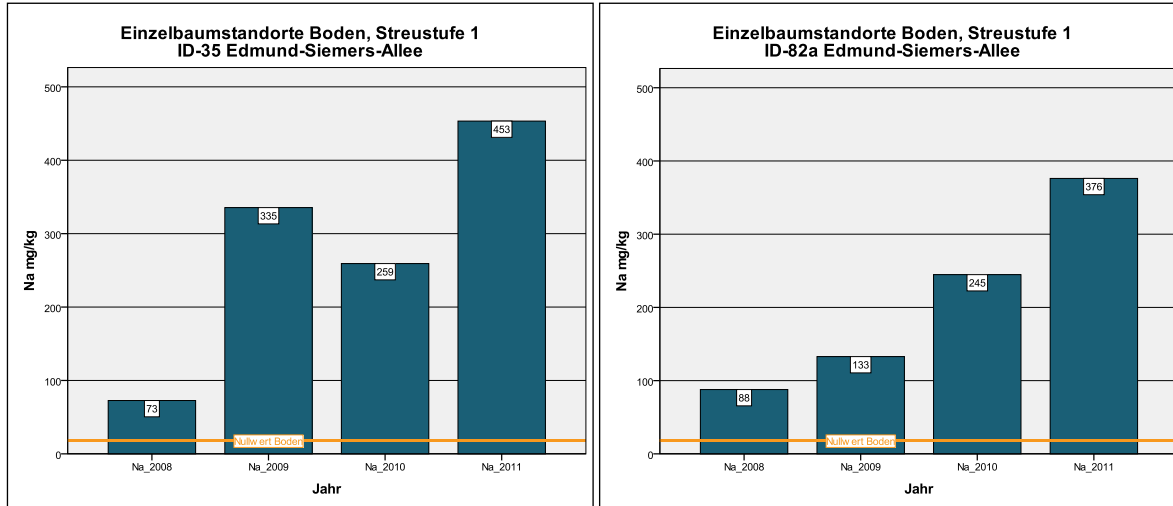


Abbildung 67: Einzelbaumstandorte Natriumbelastung Boden ID-35, ID-82a

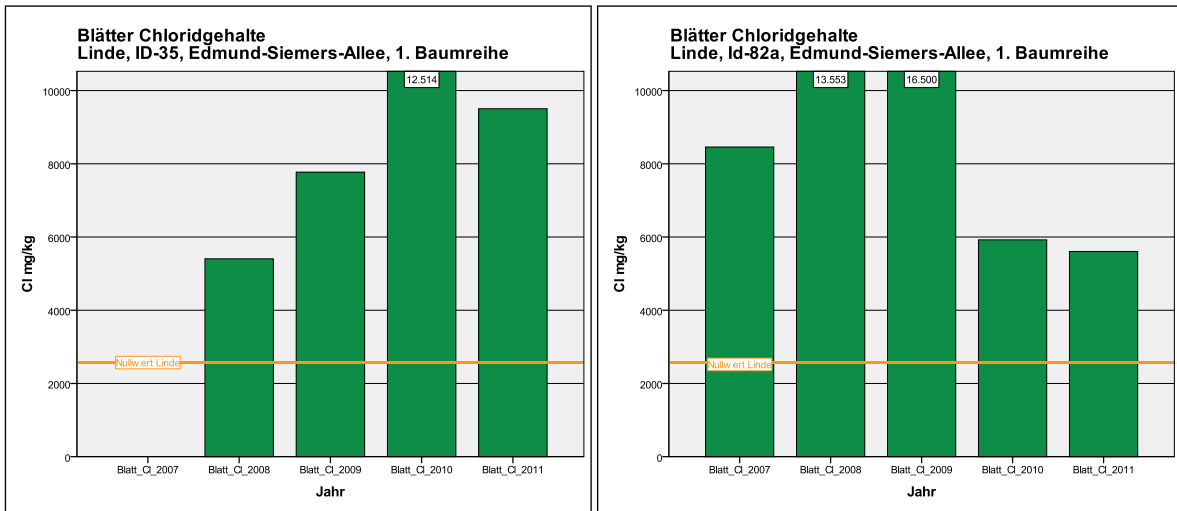


Abbildung 68: Einzelbaumstandorte Chloridbelastung Blätter ID-35, ID-82a

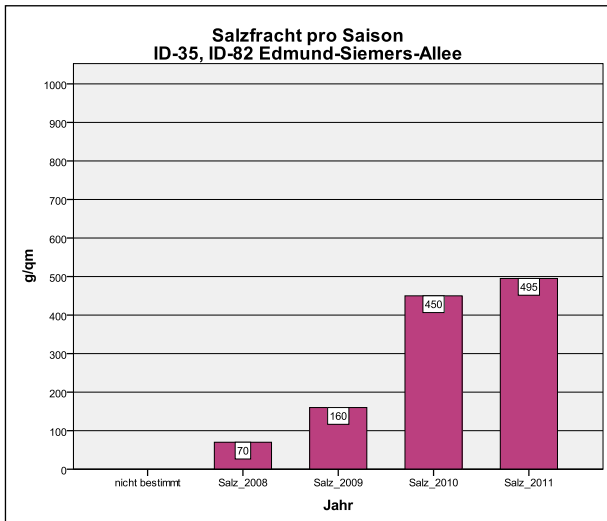


Abbildung 69: Salzfracht ID-35, ID-82a

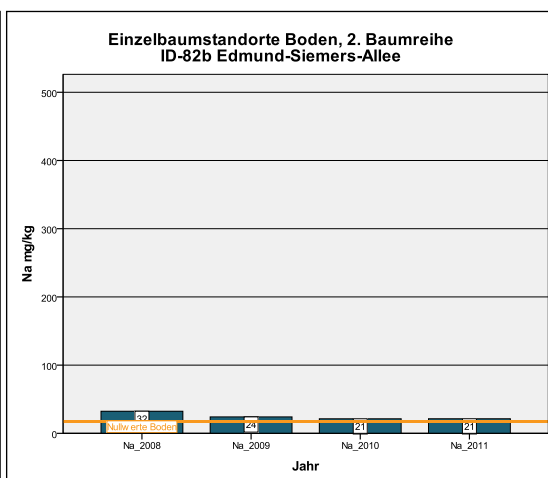
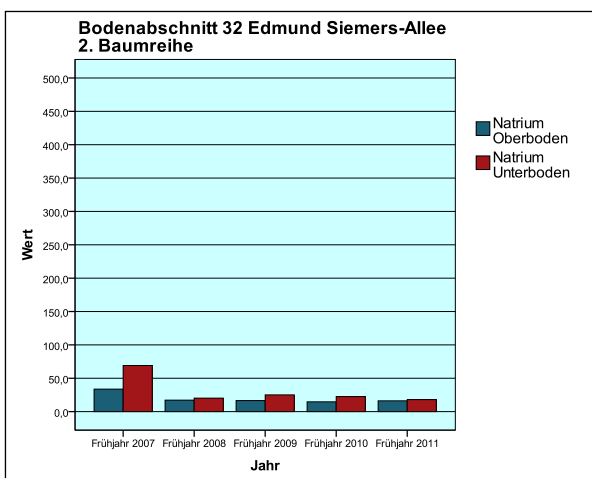


Abbildung 70: Natriumgehalte Boden ID-32, 2. Baumreihe

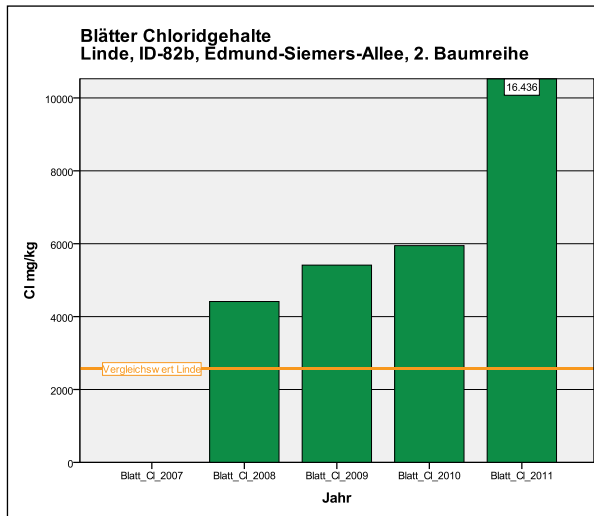
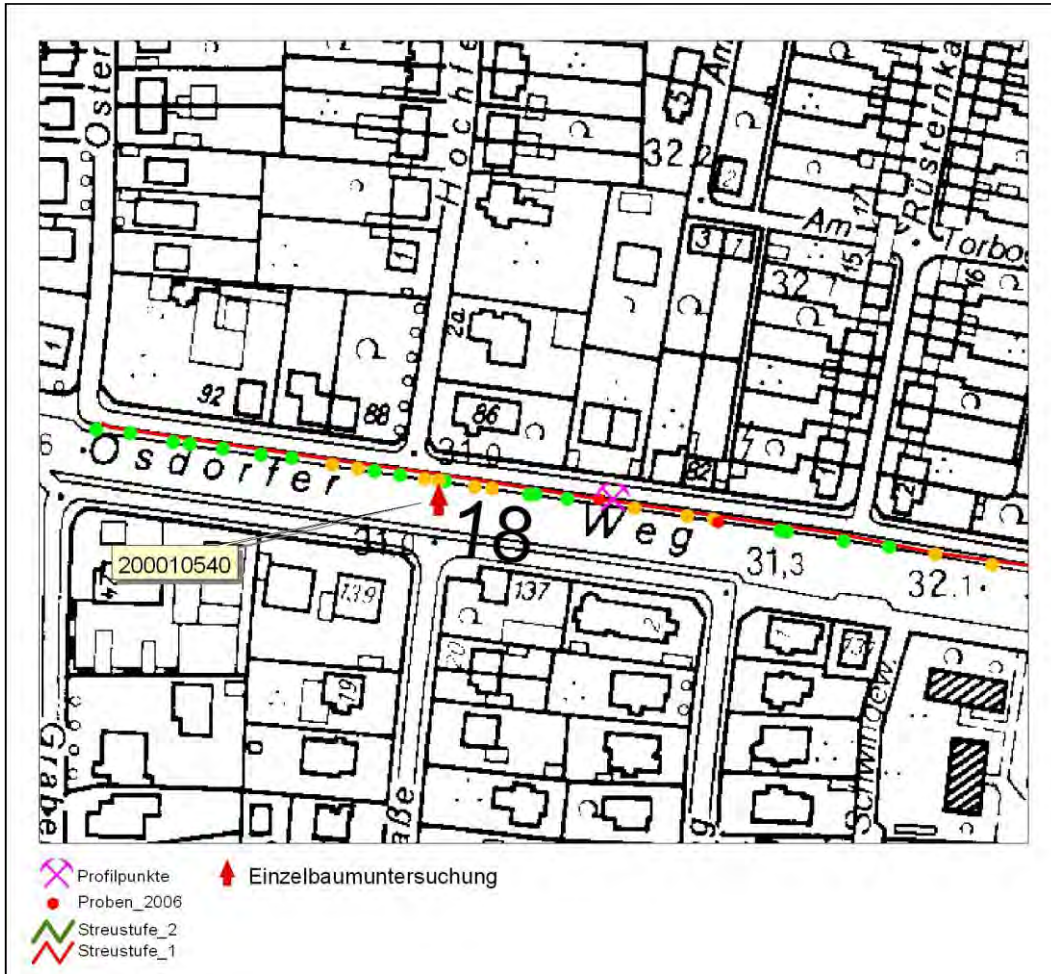


Abbildung 71: Einzelbaumstandorte ID-82b, Chloridgehalte-Blätter

4.7.4 ID-18 Osdorferweg



Links 614
ID-18



Rechts
615



Der Standort Osdorfer Weg umfasst einen Grünstreifen zwischen der vierspurigen Hauptverkehrsstraße und der kleinen parallel führenden Anwohner-Parkstraße. Der Straßenabschnitt ist unmittelbar an der Fahrbahn gelegen (ID-18) mit einer Linde in der Einzelbaumbesichtigung. Der Bodenaufbau besteht aus einem Regosol aus geschütteten schwach lehmigen Sanden mit geringem Steinanteil unter einer 25 cm mächtigen humosen Sandschicht.

Die geringen Streumengen der Winter 2007/2008 und 2008/2009 führten zur entsprechenden Abnahme der Blattgehalte bei der Linde. Im Boden ist ebenfalls eine Abnahme des Salzgehaltes im Oberboden zu beobachten, wobei die Bodenabschnittsuntersuchungen eine Verlagerung der Salzbelastung durch einen Salzanstieg im Unterboden bei Abnahme im Oberboden anzeigen. Durch die stark steigenden Streumengen der darauffolgenden Winter wurden wieder deutliche Chloridmengen in den Blättern akkumuliert. Die Bodengehalte zeichnen die gleiche Entwicklung für Natrium nach.

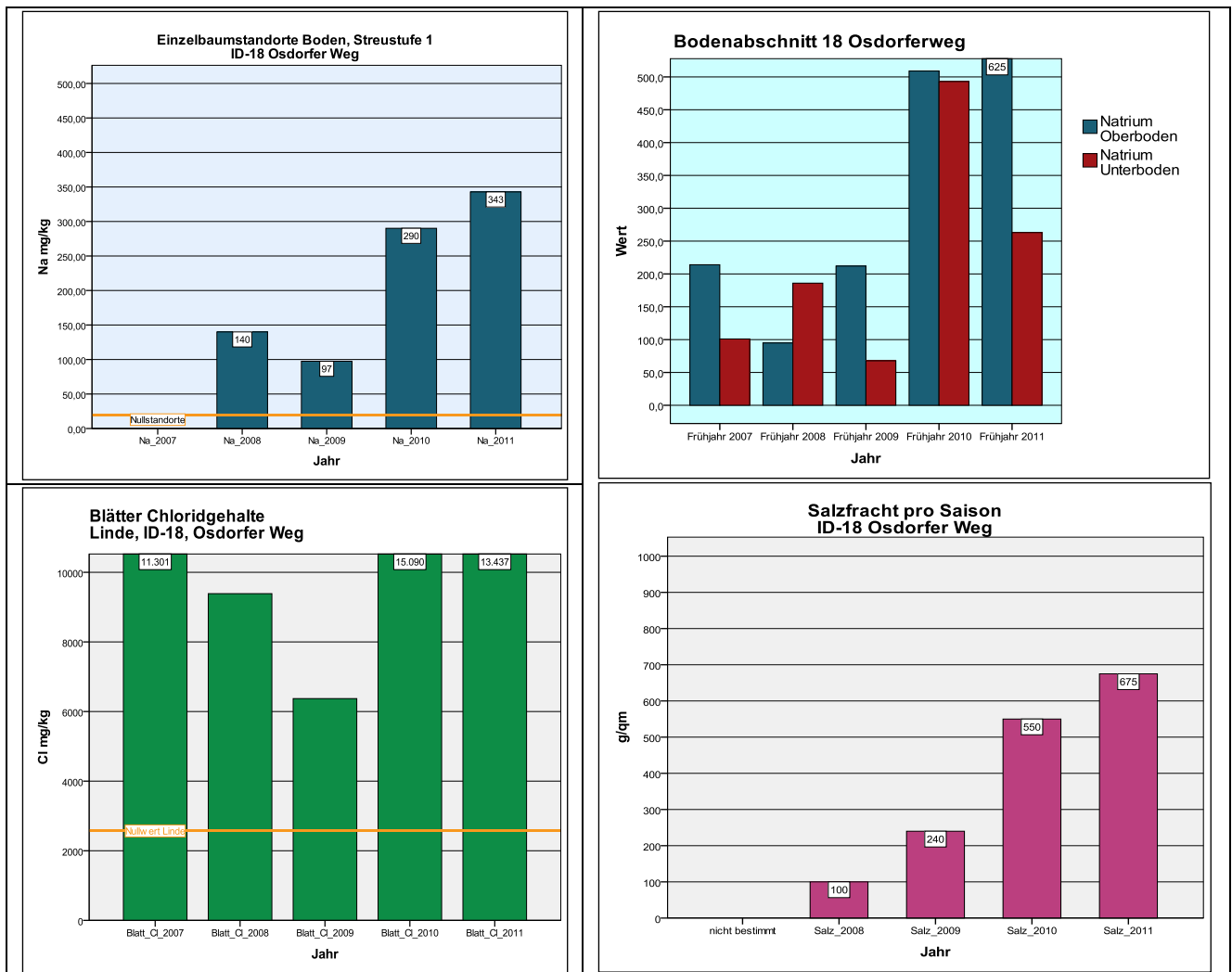


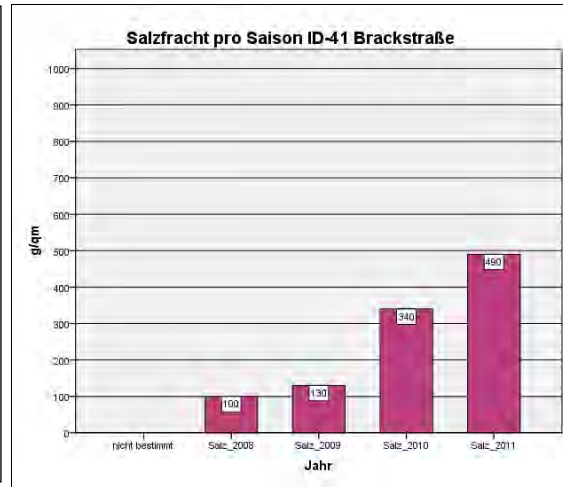
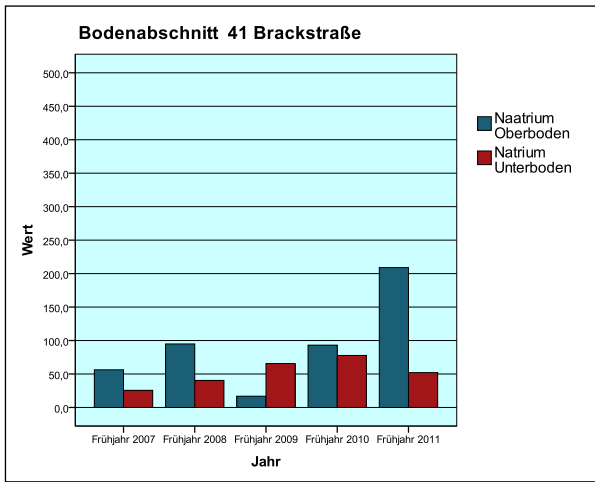
Abbildung 72: Datenblatt ID-18 Osdorfer Weg

4.7.5 ID-41 Brackstraße



Der Standort Brackstraße umfasst einen Grünstreifen zwischen Fahrbahn und Gehweg mit niederem Bordstein. Im Grünstreifenabschnitt sind eine Linde (ID-41a) und ein Ahorn (41b) in der Einzelbaumkontrolle. Der Bodenaufbau besteht aus einem Regosol aus einem 20 cm mächtigen humosem Sand über geschüttetem Sand über tiefer toniger Kleimarsch. Der Grundwassereinfluss zeigt sich im Bodenprofil ab ungefähr 80 cm Tiefe.

Die Bodenabschnittsproben zeichnen, nach einer Phase geringer Schwankungen mit einer Natriumabnahme zum Frühjahr 2009 mit Nachlauf im Unterboden, den Salz-Ausbringungsanstieg nach. Ebenfalls die Einzelbaumbeprobung veranschaulicht in Abschnitt 41a dieselbe Entwicklung. Im Teilbereich 41b zeigen sich zusätzlich im Frühjahr 2009 erhöhte Natriumgehalte in der Einzelbaumprobe. Die Blattgehalte sind während der gesamten Untersuchungsperiode relativ hoch, wobei die Dynamik der Blattgehalte sowohl bei der Linde als auch beim Ahorn nicht nur aus den ausgebrachten Salz- und korrelierenden Bodengehalten erklärt werden kann. Vermutlich ist für die Eigendynamik der Blattgehalte der Grund- oder Stauwassereinfluss des Standortes verantwortlich.



Altdaten: **Natrium 142,0 mg/kg Dez 1985**

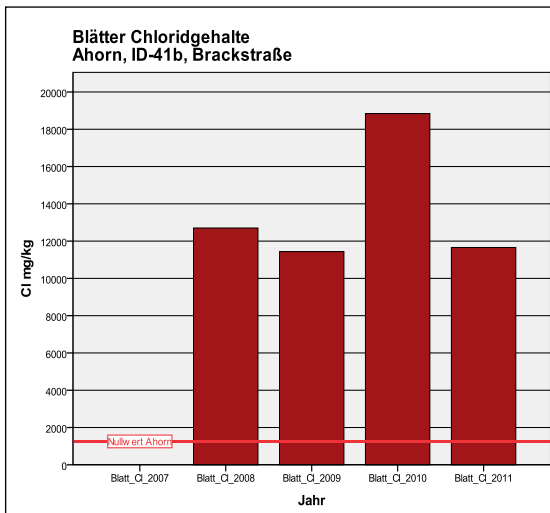
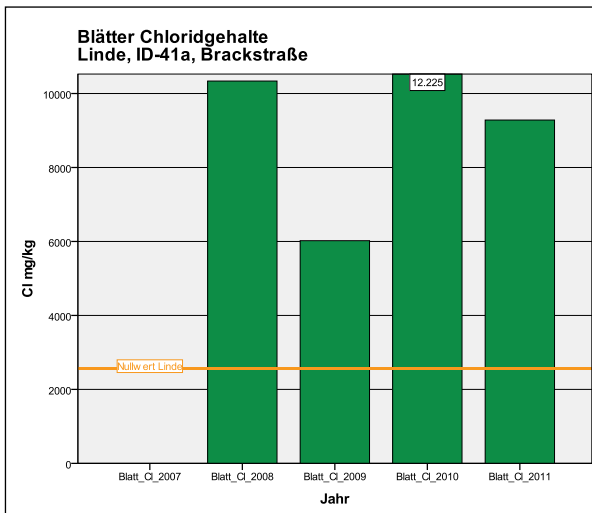
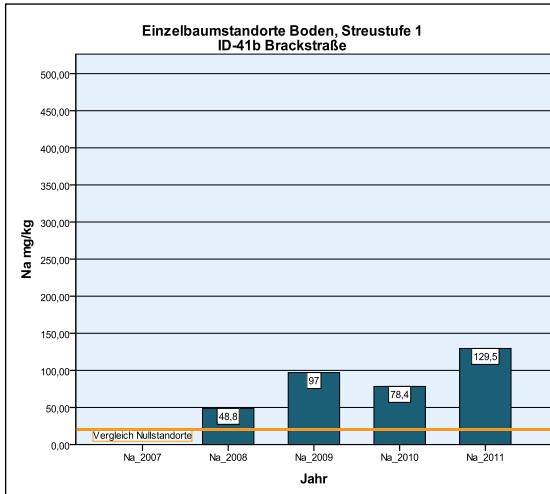
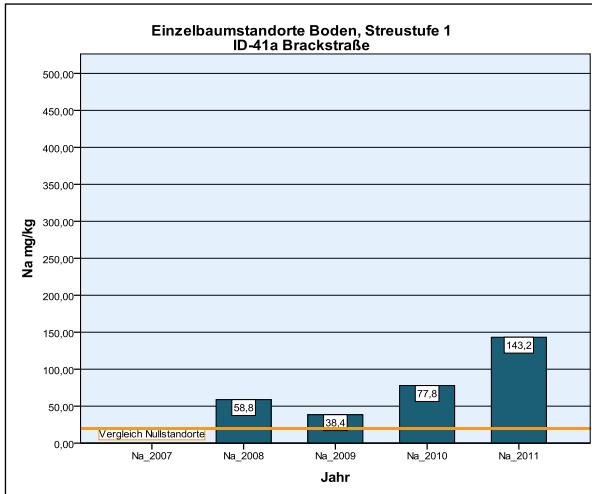
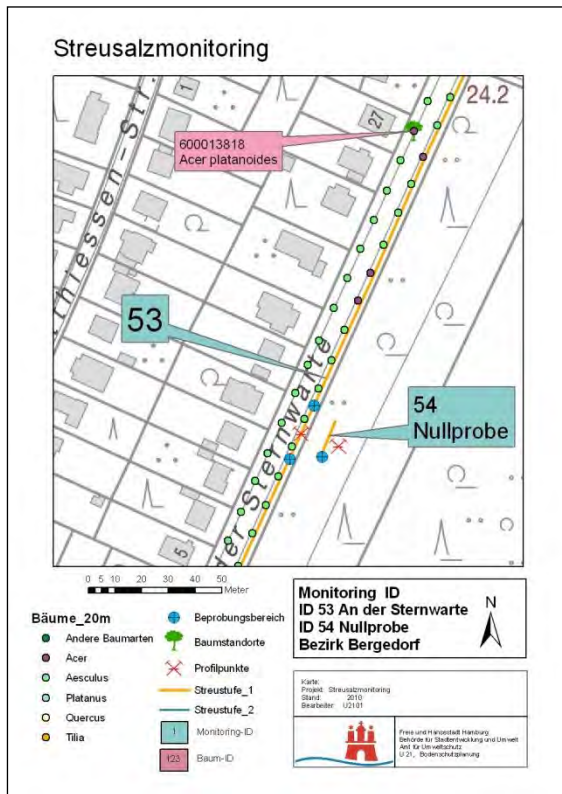


Abbildung 73: Datenblatt ID-41 Brackstraße



4.7.6 ID-53 An der Sternwarte



Der Standort ‚An der Sternwarte‘ besteht aus einem Grünstreifen am Straßenrand, der den Fußweg von der Straße trennt. Auf der gegenüberliegenden Seite des Bodenabschnitts ist ein Ahorn (Baum-ID 600013818) in der Einzelbaumanalyse. Die Verkehrssituation zeichnet sich durch ein geringes Verkehrsaufkommen bei vorhandener Buslinie aus. Der Bodenaufbau besteht aus einer Braunerde aus geschütteten Sanden mit geringem Steinanteil unter einer 20 cm mächtigen bauschutthaltigen, sandigen, humosen Deckschicht. In 15 Metern Entfernung liegt der Vergleichsstandort ID 54. Er besteht aus einer Braunerde aus Dünen sanden.

Die Natriumwerte des Bodenabschnitts sowie der Einzelbaumbeprobung korrelieren eng mit den ausgebrachten Salzfrachten. Ebenfalls die Chloridgehalte der Blätter des Ahorns zeigen eine ähnliche Dynamik.

Der Vergleichsstandort befindet sich hinsichtlich der Natriumgehalte während der gesamten Untersuchungsdauer auf gleichbleibend niedrigem Niveau.

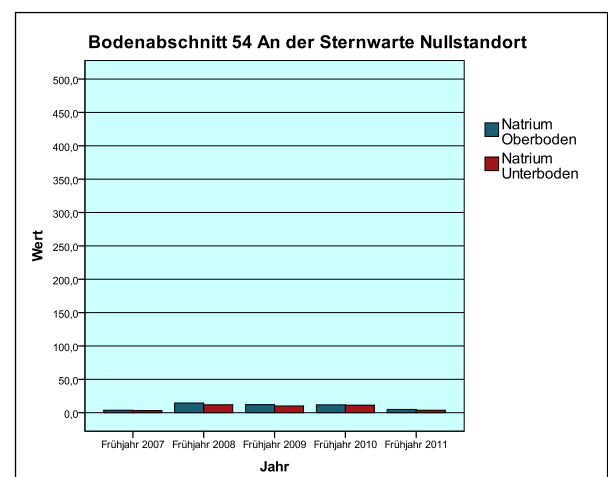
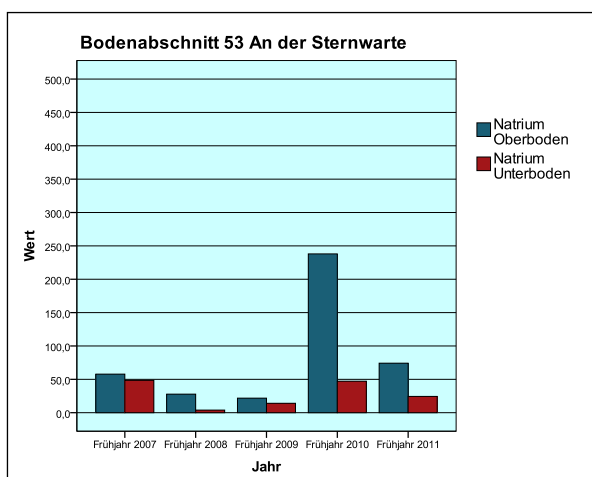
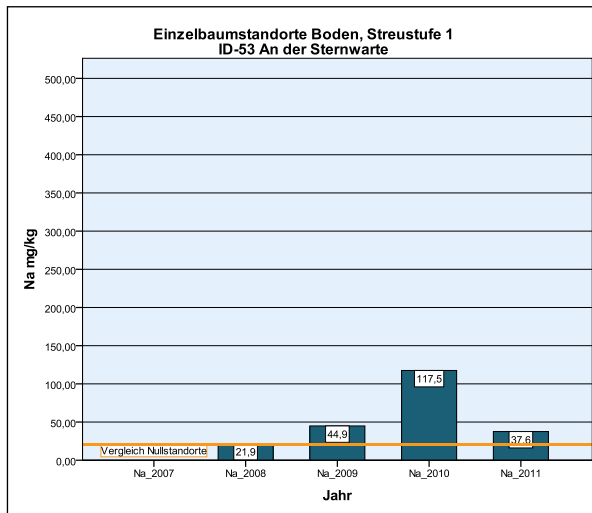
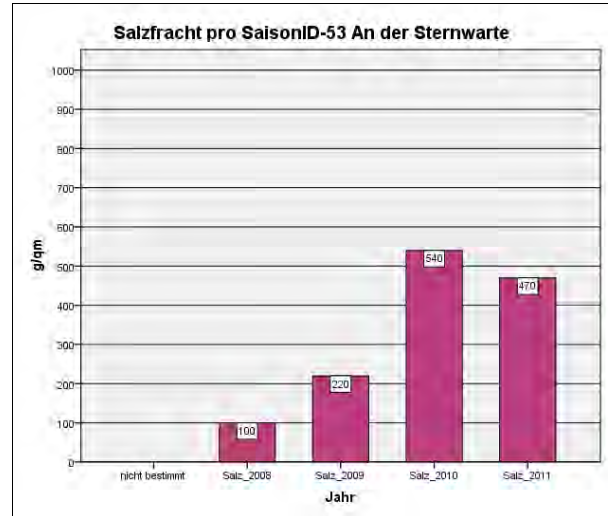
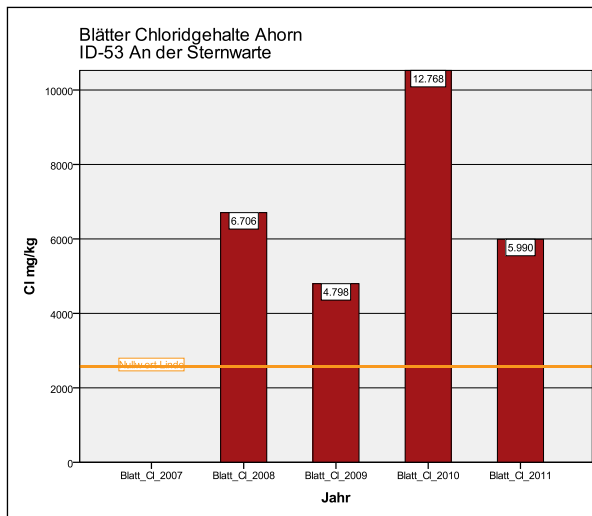


Abbildung 74: Datenblatt ID-53 An der Sternwarte

4.7.7 ID-5, ID-6, ID-28 und ID-29 Sievekingsallee

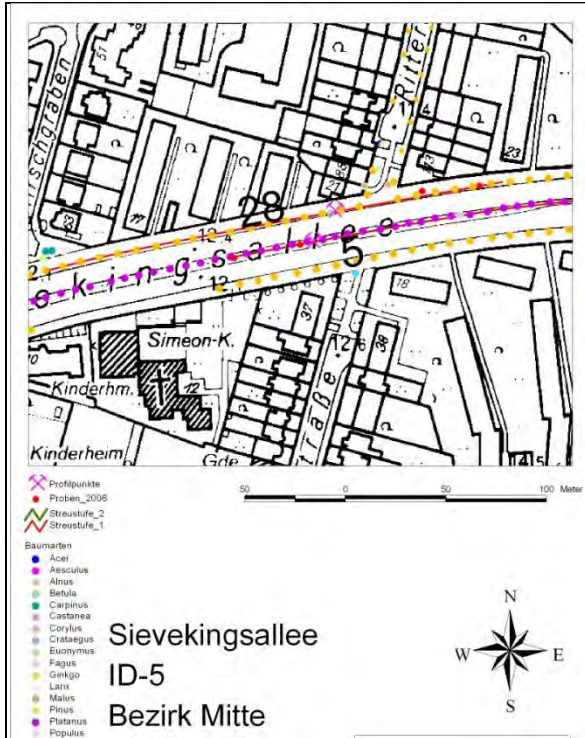
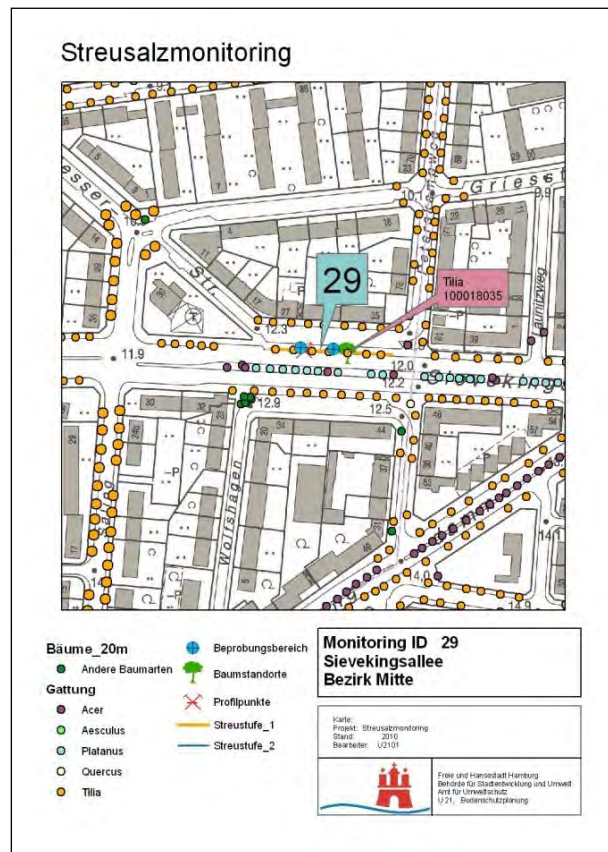
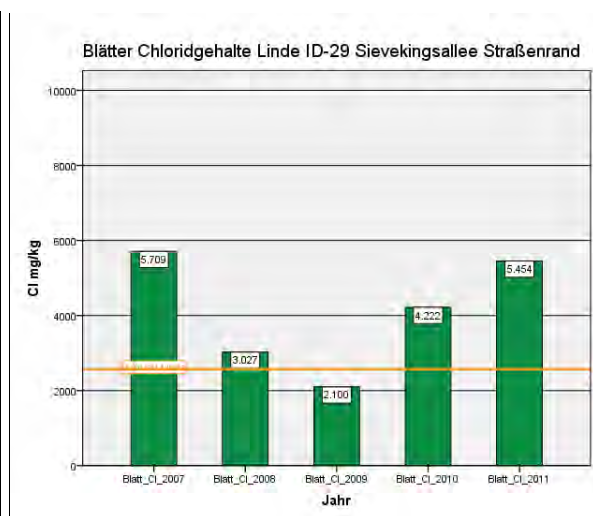
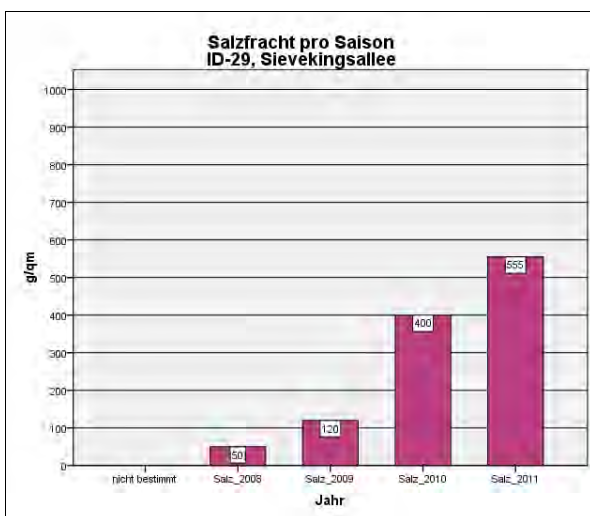
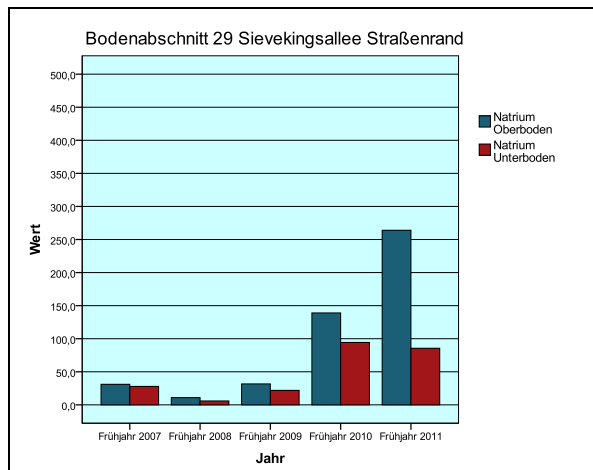
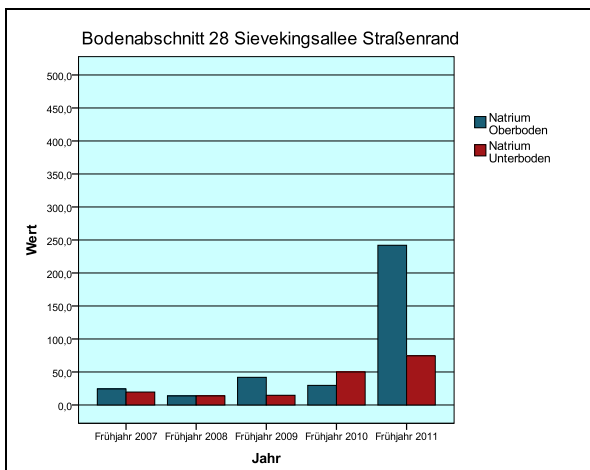
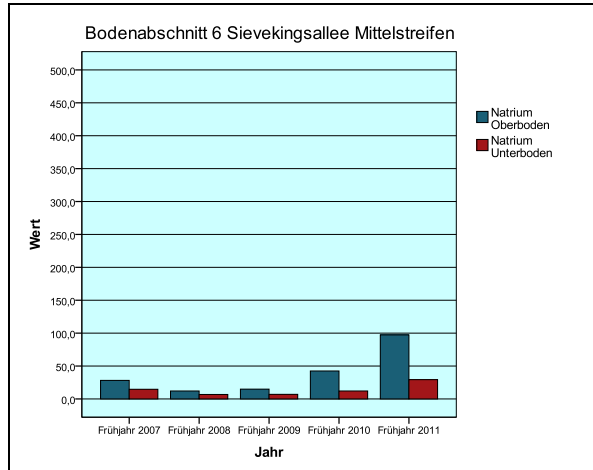
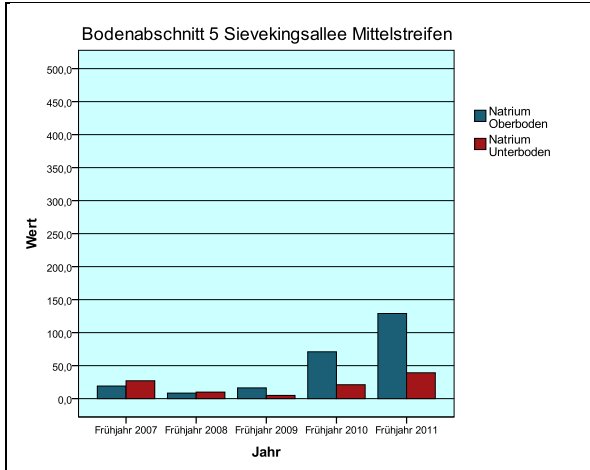


Abbildung 75: ID-5, ID-6 Mittelstreifen



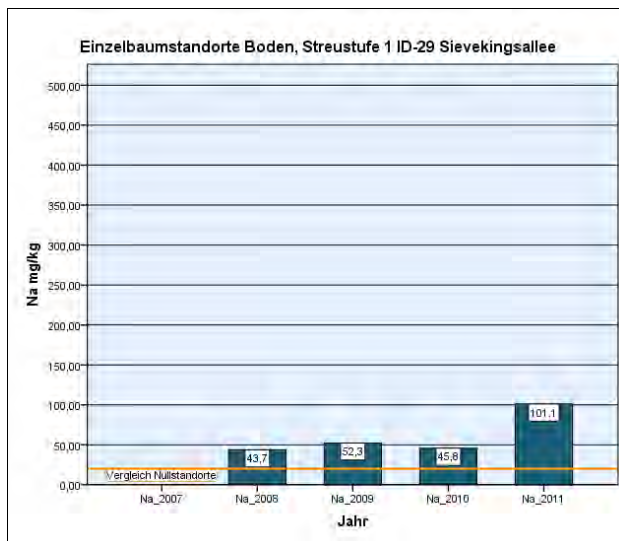
Altdaten: Natrium 21,8 mg/kg Dez 1992



Der Standort Sievekingsallee besteht aus 2 Abschnitten im Mittelstreifen (ID 5 und ID 6) und 2 Abschnitten am Straßenrand (ID 28 und ID 29). Im Bereich des Abschnittes 29 wurde eine Linde (Baum ID 100018035) im Einzelbaumuntersuchungsprogramm untersucht.

Die Böden der Mittelstreifenabschnitte setzen sich aus Regosolen aus geschüttetem Sand über skeletthaltigem Lehmsand (ID 6) und Regosolen aus geschütteten leicht humosen Reinsanden zusammen (ID 5). Die Böden der Straßenränder bestehen aus Regosolen über Braunerden aus geschütteten Sanden über geschüttetem Sandeulehm (ID 28) und bauschutthaltigen Pararendzinen (ID 29) aus geschütteten unterschiedlich kalkhaltigen kiesigen Sanden über Bauschutthaltigem gemischtem Sand über Bauschutthaltigem Sandeulehm.

Die Bodenabschnittswerte für Natrium zeigen eine deutlich geringere Belastung der Mittelstreifen Standorte gegenüber den Straßenrändern auf. Die geringen Streumengen der ersten Winter führen bei hohen Niederschlägen der sehr nassen Jahre 2007/2008 und 2008/2009 zu einer Erholung der Baumbestände. Die Chloridwerte der Linde sinken auf das Niveau der Vergleichslinde ab. Erst in den harten Wintern steigen die Blattgehalte und auch Bodengehalte wieder deutlich an. Das geringere Niveau der Mittelstreifen kann mit dem fehlenden zusätzlichen Einfluss der Radweg- und Fußweg Streuung und den auf der rechten Seite verstärkt auftretenden Spurrinnen und damit vermehrt auftretenden Salzgischt begründet werden.



4.7.8 ID 69 Curslacker Heerweg

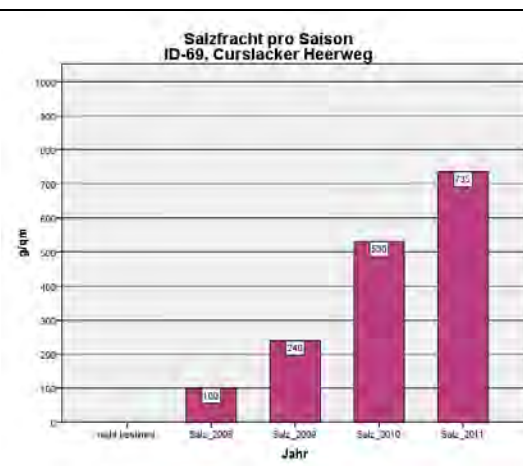
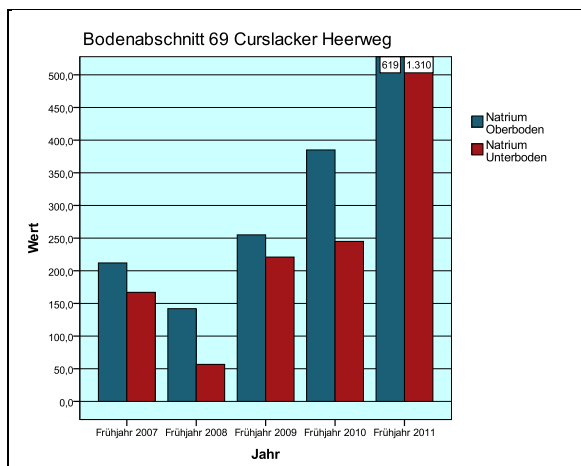
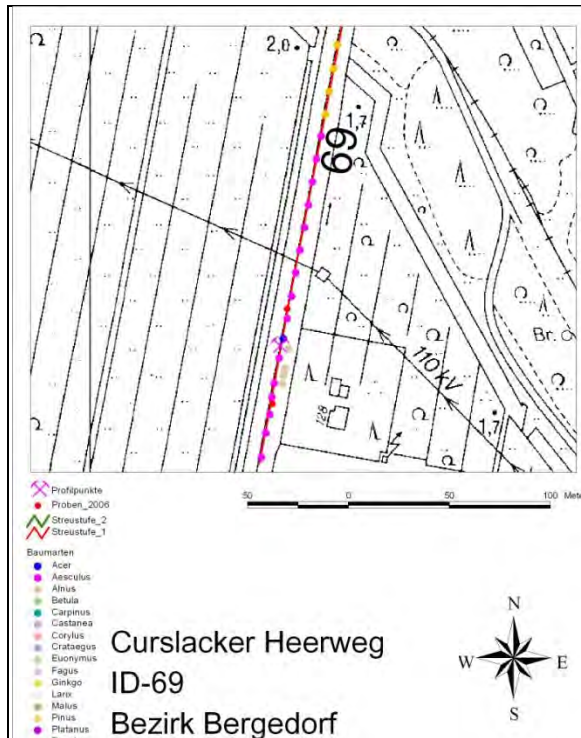
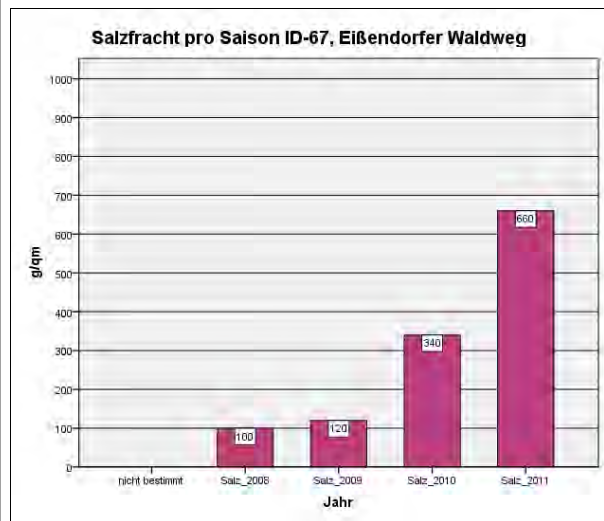
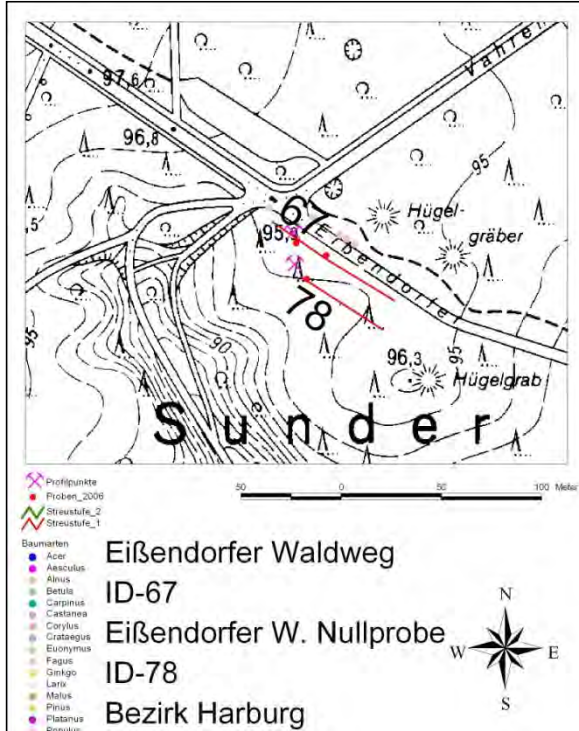


Abbildung 76: ID-69 Standort mit Grabenentwässerung

Der Standort Curslacker Heerweg (ID-69) ist eine Allee im Bezirk Bergedorf mit Bäumen der Gattung Kastanie, Linde und Ahorn. Der Standort besteht aus geschütteten Sanden über im tiefen Unterboden anstehendem Marschensediment aus tonigem Lehm. Der Grünstreifen grenzt unmittelbar an die Fahrbahn, ohne Trennung durch einen Bordstein. Es besteht kein Siel-Anschluss zur Straßenentwässerung. Die Entwässerung erfolgt durch die Baumreihe hindurch in einen parallel zur Straße führenden Straßengraben. Der Standort gehört zur Streustufe I der Region Süd Bergedorf. Die ausgebrachten Salzfrachten pro Streu-Saison haben sich von 100 g pro Quadratmeter im Winter 2007/2008 bis 735 g pro Quadratmeter im Winter 2010/2011

gesteigert. Die Salzfracht kommt im extremen Anstieg der Natriumsättigung des Bodens deutlich zum Ausdruck (Abbildung 67).

4.7.9 ID-67 Eißendorfer Waldweg, ID-78 Nullprobe



Links 622

ID-78

Rechts 623



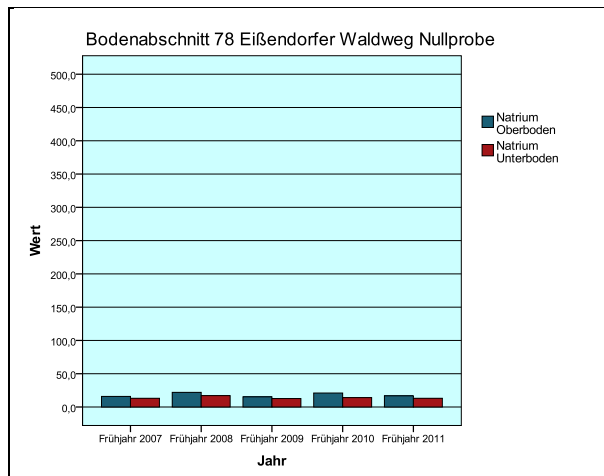
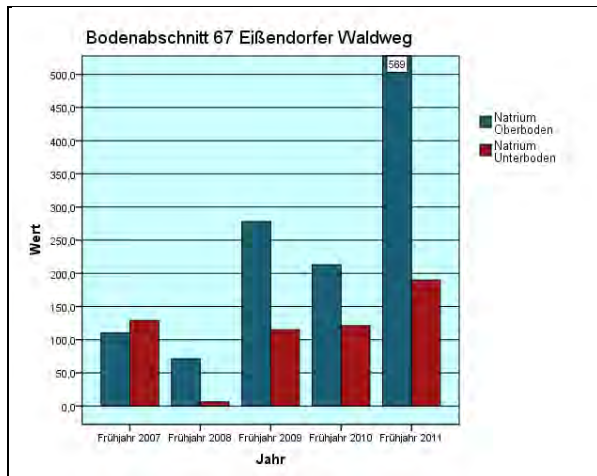
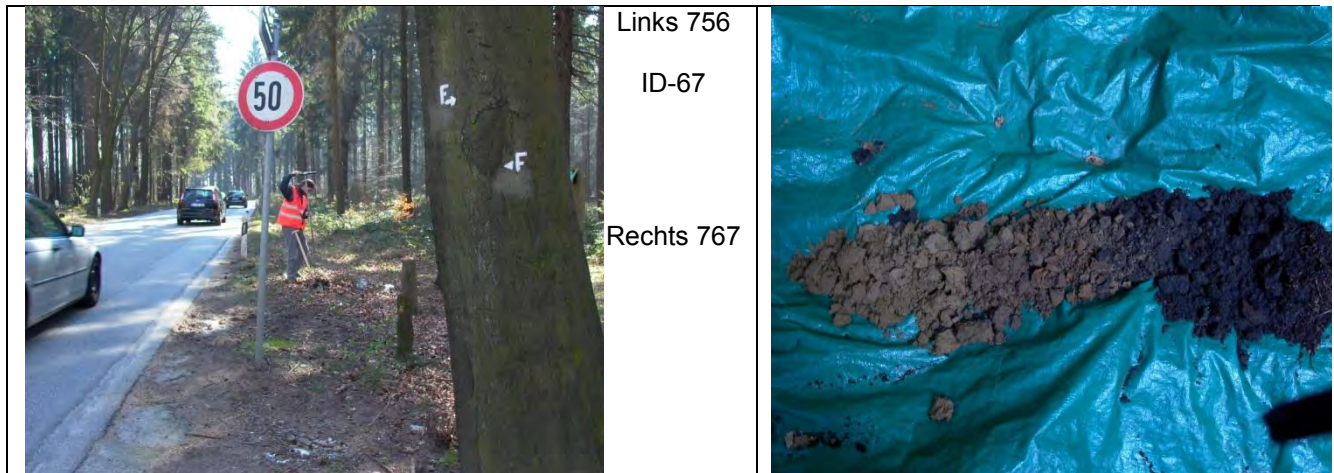


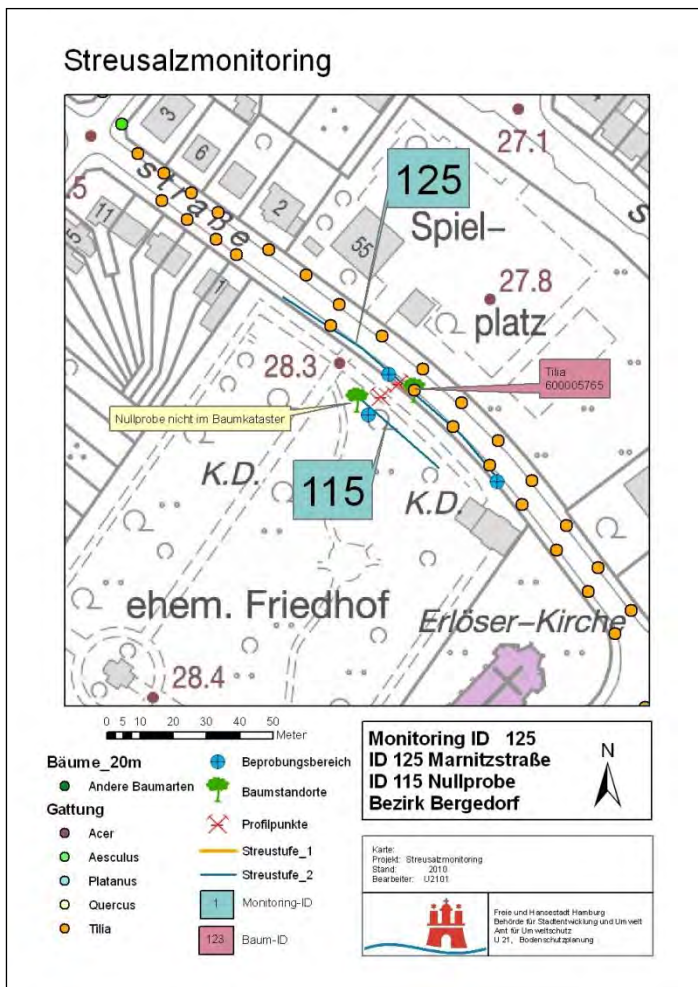
Abbildung 77: ID-67 und ID-78

Der Standort Eißendorfer Waldweg (ID-67) liegt in einer Waldpassage eines Mischwaldes. Die Straße hat in diesem Abschnitt keinen Siel-Anschluss und Bordstein. Der Standort gehört zur Streustufe I der Region Süd-Harburg der Stadtreinigung. In ca. 12 Meter Entfernung zur Straße wurde ein Vergleichsstandort (ID-78) beprobt. Der Standort besteht in Straßennähe aus geschüttetem Lehmsand über Sandlöss. Der Vergleichsstandort besteht aus einer naturnahen Braunerde aus Sandlöss. Da kein Siel-Anschluss besteht erfolgt die Entwässerung direkt in den angrenzenden Wald. Die ausgebrachten Salzfrachten pro Streu-Saison haben sich von 100 g pro Quadratmeter im Winter 2007/2008, 340 g pro Quadratmeter 2009/2010 auf 660 g pro Quadratmeter im Winter 2010/2011 gesteigert. Die Salzfracht kommt im extremen Anstieg der Natriumsättigung des Bodens deutlich zum Ausdruck (Abbildung 68). Der Vergleichsstandort in 12 Meter Entfernung ist durch die Salzfracht nicht tangiert.

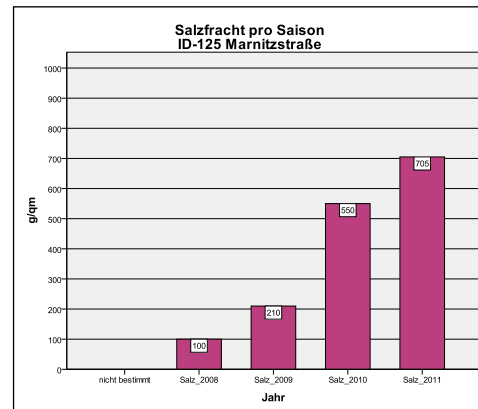
4.8 Einzelstandortanalyse Streustufe II

Die Standorte der Streustufe 2 werden erst nachrangig im Winterdienst gestreut. Dies führt zu sehr unterschiedlichen Salzbelastungen in den Straßenrandböden und im Straßenbegleitgrün. Auffällig war, dass in der Streustufe II der Belastungsanstieg erst im 2. harten Winter (2010/2011) deutlich nachweisbar ist. Dies kann auf den unterschiedlichen Verlauf der Streusaison zurückgeführt werden. Nach Auskunft der Stadtreinigung sind die Winterdienstkräfte im Winter 2009/2010 überwiegend in der prioritären Straßenabschnitten der Streustufe 1 gebunden gewesen.

4.8.1 ID-125, ID-115 Marnitzstraße



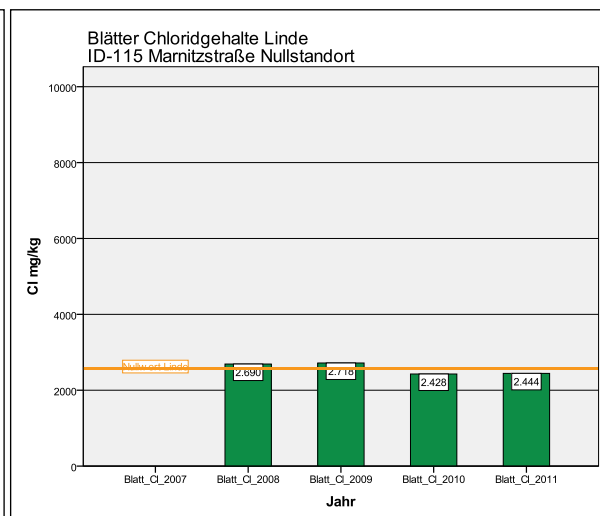
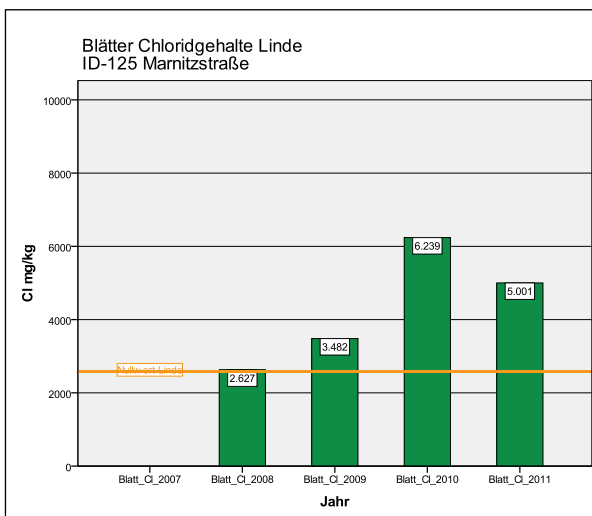
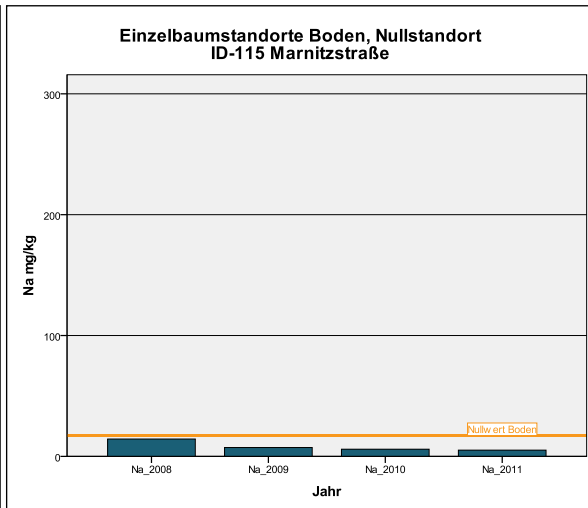
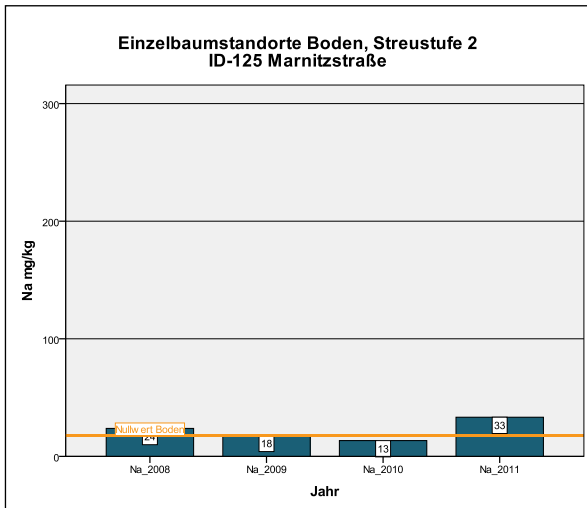
Der Streuabschnitt der SRH ist leider auf einen anderen Straßenabschnitt reduziert worden, so dass die abgebildeten Salzfrachten nicht für den Untersuchungsabschnitt gelten. Im Untersuchungsabschnitt ist von einer annähernden Nullstreuung der Stadtreinigung auszugehen.





Links 681

Rechts



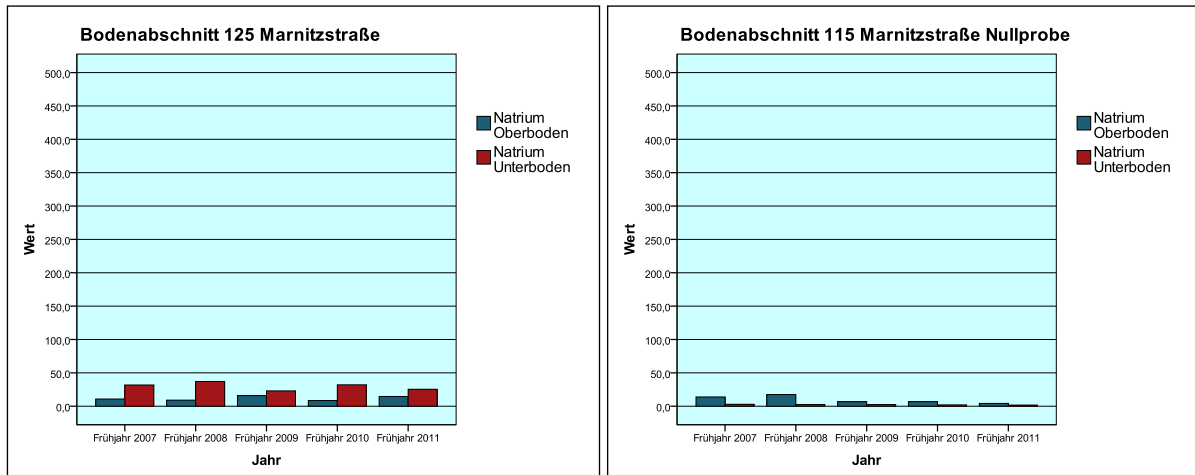
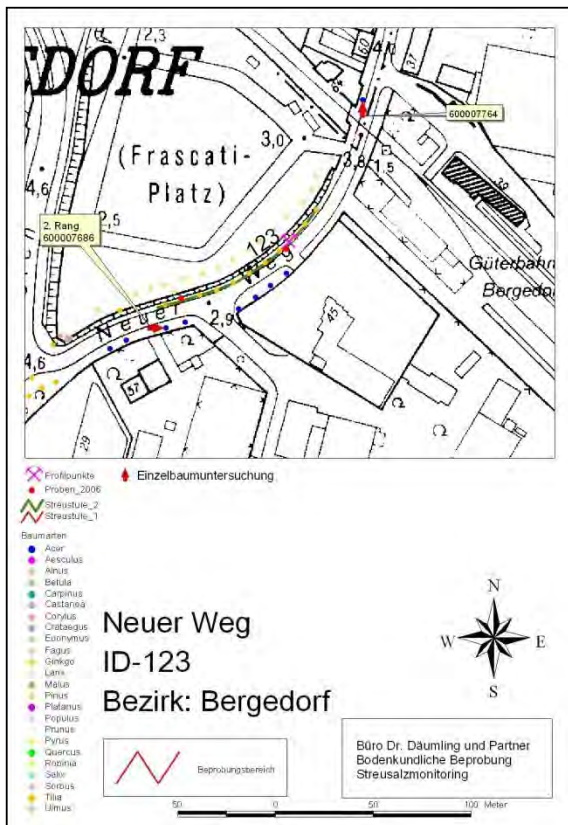


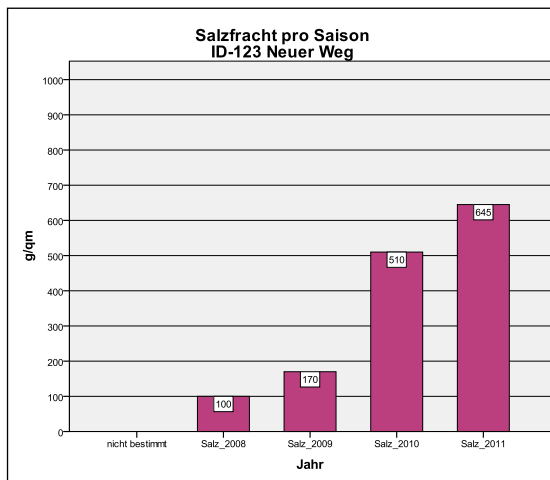
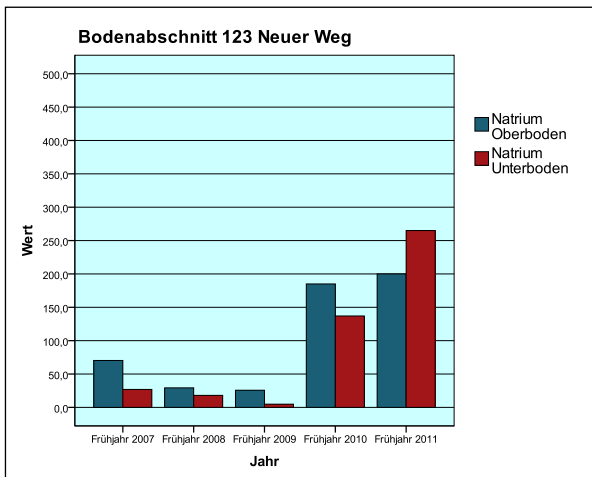
Abbildung 78: Datenblatt ID-125 und ID-115 Marnitzstraße

4.8.2 ID-123 Neuer Weg





Altdaten ID-Abschnitt 1055: Natrium 32,7 mg/kg Dez 1987



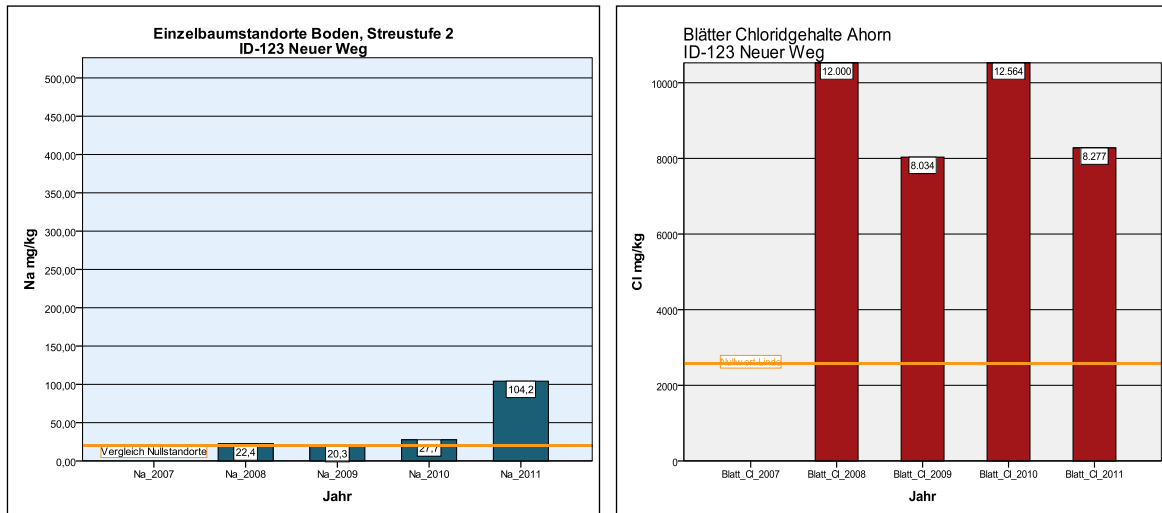
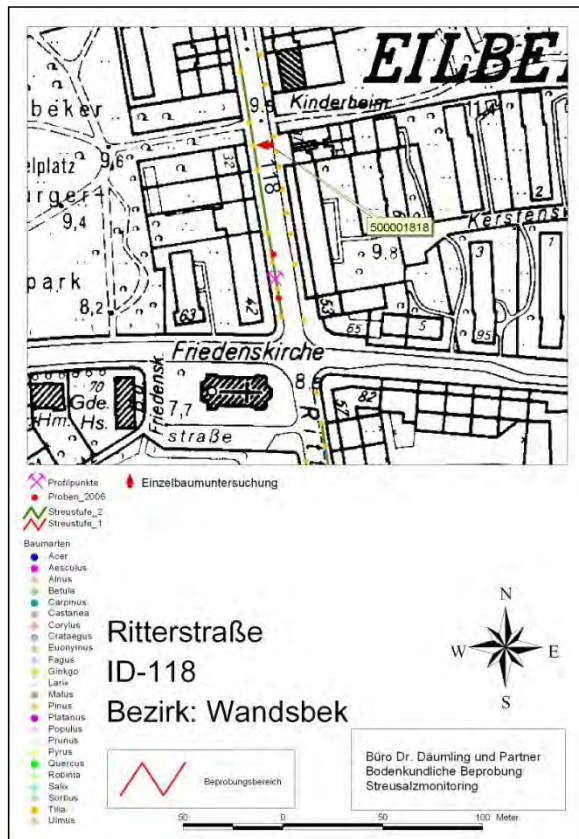
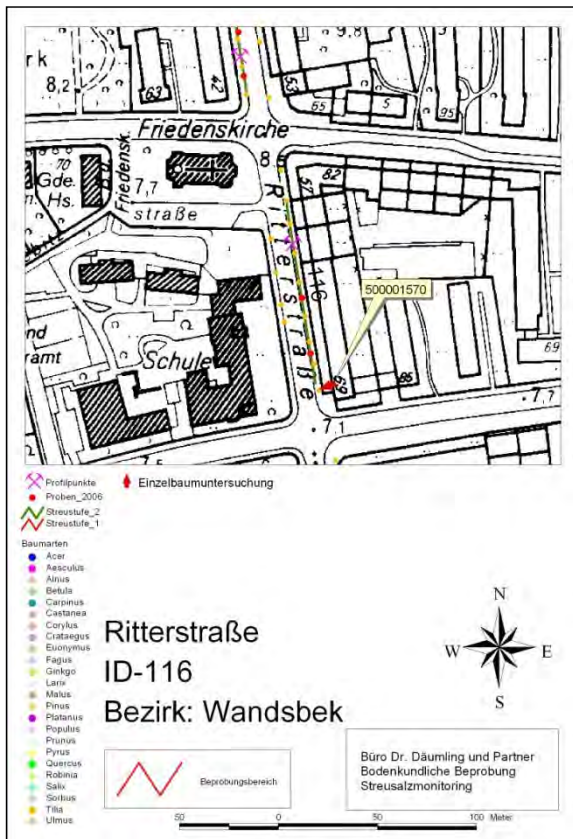


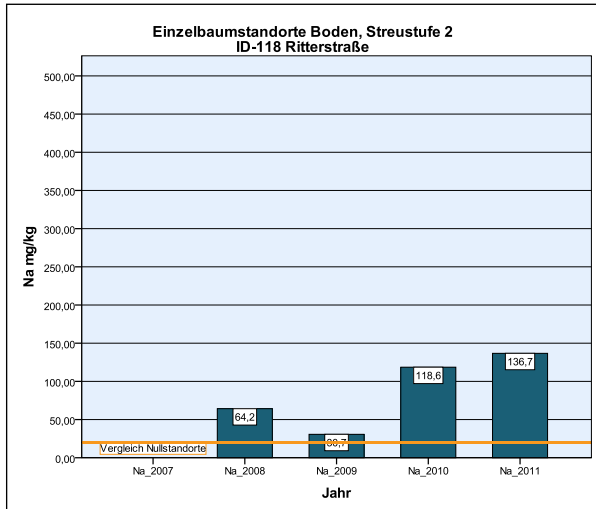
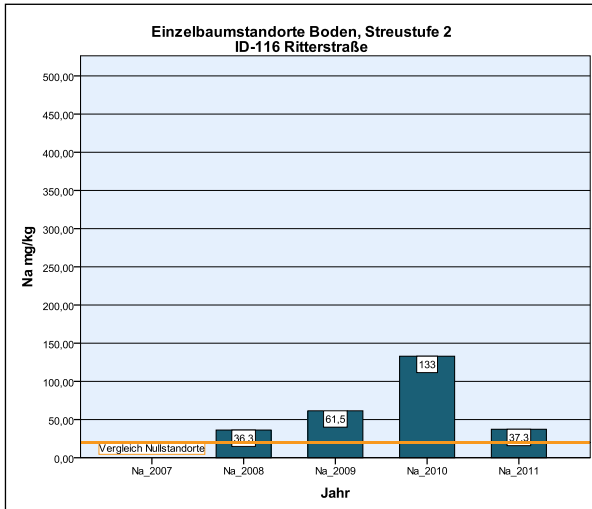
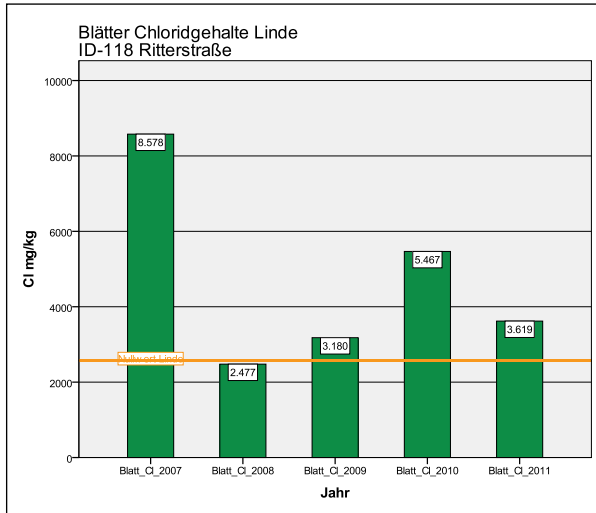
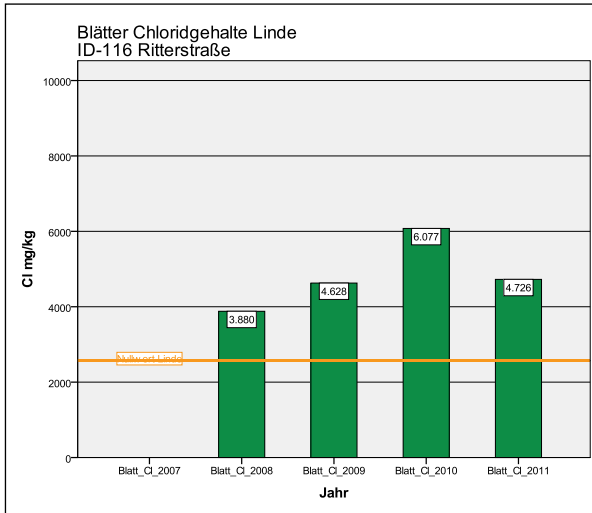
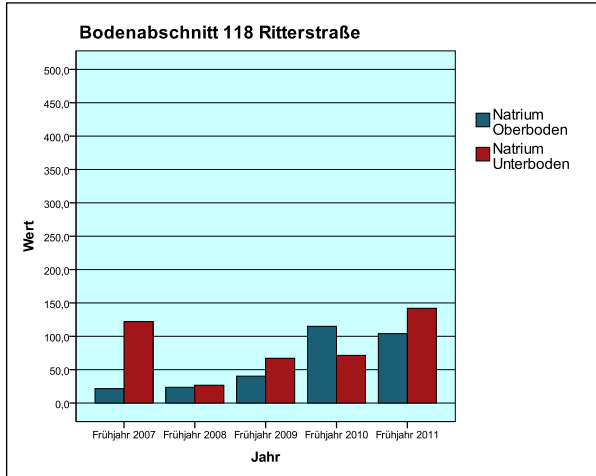
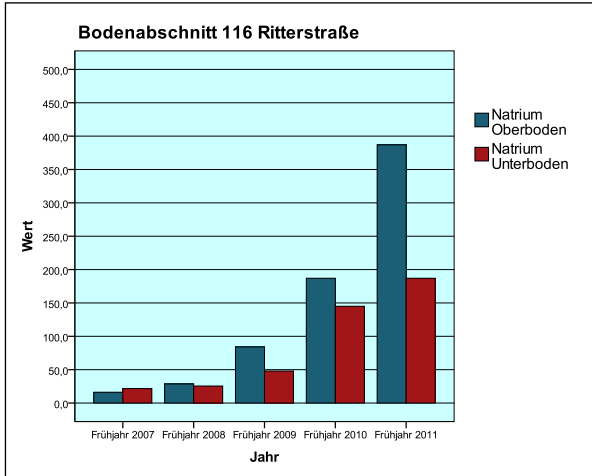
Abbildung 79: Datenblatt ID-123 Neuer Weg

Der Standort ‚Neuer Weg‘ liegt im Bezirk Bergedorf im Marschenbereich. Das Straßenbegleitgrün besteht aus mittelalten Linden und Ahornen im beidseitig unmittelbar an die Straße angrenzenden Grünstreifen. Der Bodentyp ist ein Regosol aus bauschutthaltigem Sand über geschüttetem Reinsand über tiefem Bauschuttsand, über sehr tiefer Kleimarsch. Der Standort wird Richtung Norden durch einen an den Fußweg angrenzenden Graben entwässert. Ein Ahorn (Baum-ID 600007686) gehörte zum Einzelbaumuntersuchungsprogramm.

Die ausgebrachten Salzmengen korrelieren eng mit der nachgewiesenen Natriumkonzentration des Straßenabschnitts im Boden. Die ausgebrachten Salzfrachten pro Streu-Saison haben sich von 100 g/m² im Winter 2007/2008, 510 g/m² 2009/2010 auf 645 g/m² im Winter 2010/2011 gesteigert. Auffällig ist, dass im Frühjahr 2011 die Unterbodenwerte für Natrium deutlich höher ausfallen als die Gehalte des Oberbodens. Dies ist vermutlich auf einen verstärkten Zulauf von Salz befrachtetem Wasser in Richtung nördlich angrenzendem Entwässerungsgraben begründet. Die im Abschnitt vorkommenden Linden (nördlicher Straßenrand) zeigen deutliche Blattrandnekrosen. Der auf der südlichen Straßenseite stehende Ahorn zeigt kontinuierlich hohe Chloridgehalte in den Blättern.

4.8.3 ID-116 Ritterstraße





Altdaten ID-Abschnitt 457: Natrium 40,8 mg/kg, Dez 1986

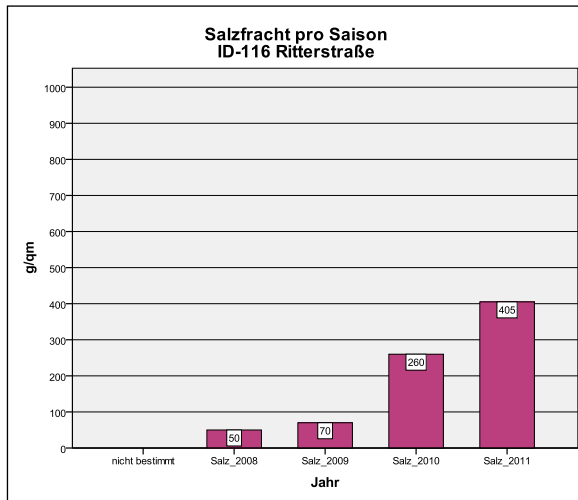
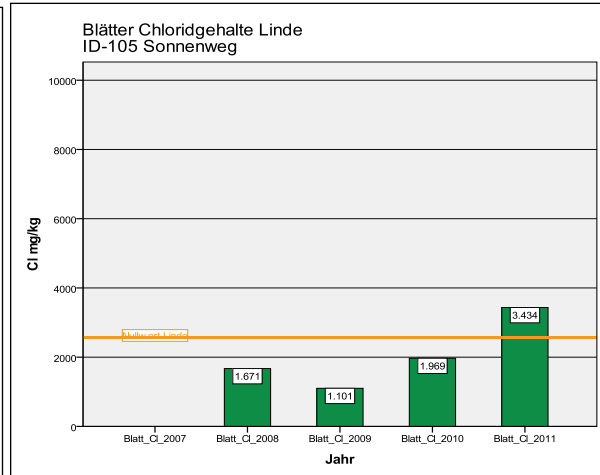
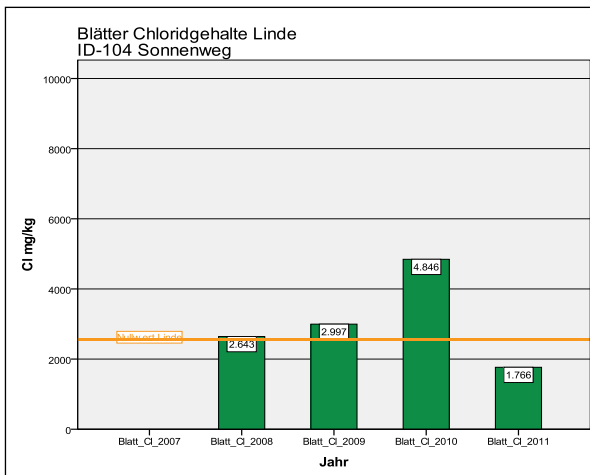
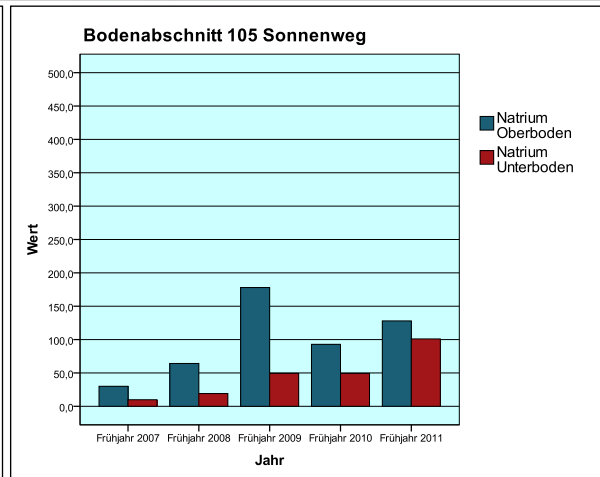
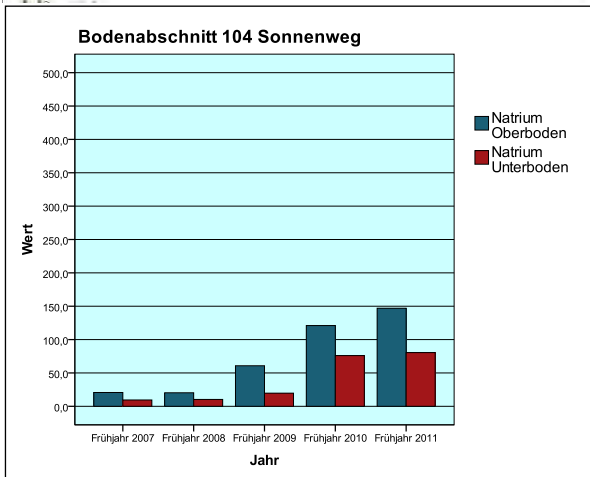
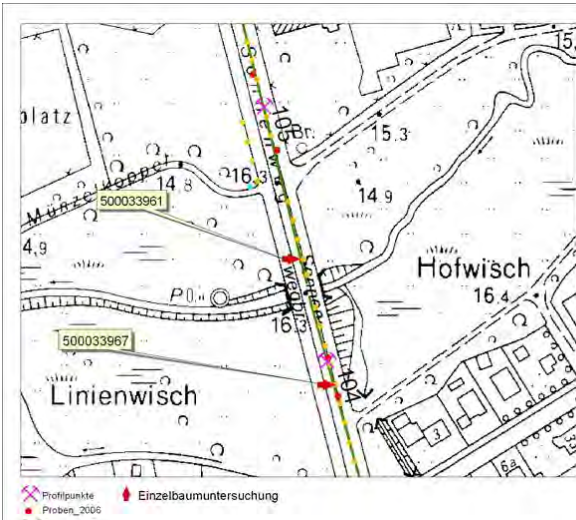


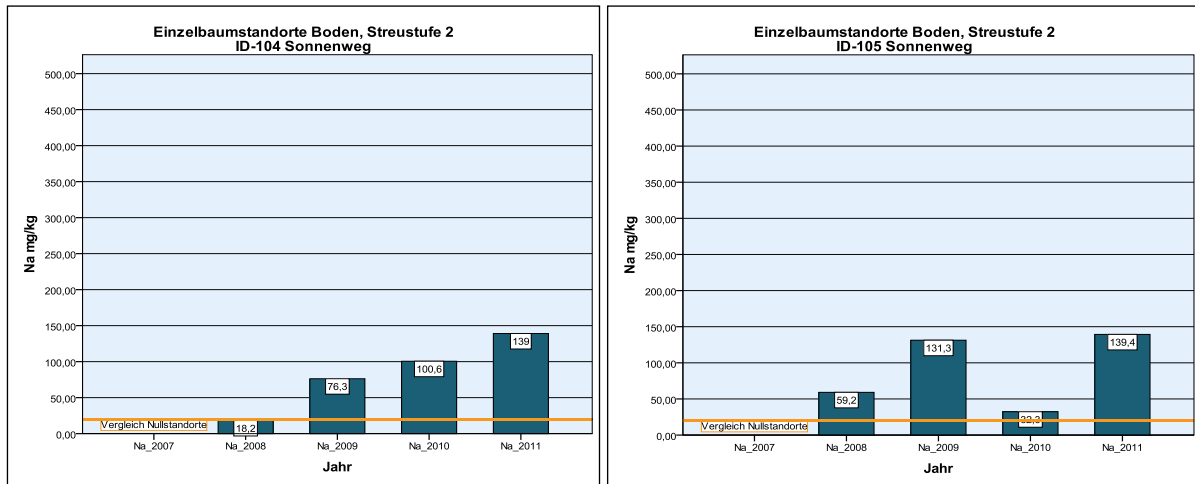
Abbildung 80: Datenblatt ID-116 und ID-118 Ritterstraße

Der Standort Ritterstraße umfasst 2 Straßenabschnitte auf gegenüberliegenden Straßenseiten mit jeweils einer Linde in der Einzelbaumbeobachtung. Eine Besonderheit stellen die relativ kleinen Baumscheiben von $< 6 \text{ m}^2$ dar. Die eigentliche Fahrbahn weist am Rand extra gekennzeichnete Radwege auf. Die Böden unterscheiden sich erheblich. Abschnitt 118 hat eine Pararendzina aus geschüttetem Sand über durchmischem sandigem Lehm mit beigemengtem Ziegelbauschutt. Abschnitt 116 besteht aus einem Regosol aus geschüttetem Reinsand über gemischtem kiesigem Sand.

Der Natriumgehalt des Bodens im Abschnitt 116 mit sandigem Substrat zeichnet die ausgebrachten Salzmengen auch entsprechend dem Witterungsverlauf nach. Im Abschnitt 118 mit dem durchmischten lehmigen Substrat sind die Natriumgehalte im Boden auf niedrigerem Niveau. Die Blattgehalte der Linden korrelieren auf dem sandigen Standort (ID-116) deutlicher mit den Bodenwerten als auf dem lehmigen Standort (ID-118). Auf beiden Standorten sind die Blattgehalte nur mäßig erhöht.

4.8.3 ID-104, ID-105 Sonnenweg





ID-104, Altdaten ID-Abschnitt 1865: Natrium 36,6 mg/kg, Dez 1988

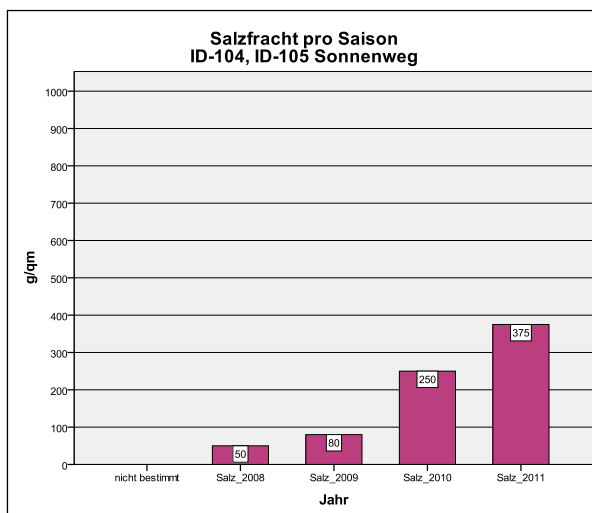


Abbildung 81: Datenblatt ID-104 und ID-105 Sonnenweg

Der Standort Sonnenweg umfasst 2 Straßenabschnitte südlich (ID-104) und nördlich der Wandse (ID-105). Der Abschnitt 104 ist als unmittelbar an die Straße angrenzender Grünstreifen ausgeprägt. Im nördlichen Abschnitt 105 sind nur ca. 6 qm große Baumscheiben angelegt. In beiden Abschnitten sind die Böden als Pararendzinen aus stark baschutthaltigen Substraten anzusprechen. Die Böden sind in beiden Abschnitten nur hinsichtlich des Baschuttanteils unterscheidbar. In beiden Abschnitten befindet sich eine Linde der Einzelbaumüberwachung.

Die Natriumgehalte der Böden zeichnen die ausgebrachten Salzmenen auch entsprechend dem Witterungsverlauf nach. Die Natriumgehalte sind auf niedrigem Niveau. Ebenfalls die Blattgehalte der Linden befinden sich auf niedrigem Niveau und unterschreiten zum Teil die Werte der Vergleichslinde ohne Salzeinfluss.

5. Zusammenfassung

Auf Beschluss der Bürgerschaft in 2006 wurde die seit der Winterperiode 1984/1985 geltende Begrenzung des Einsatzes von Tausalz auf Straßen mit Buslinienverkehr und auf Bundesstraßen sowie in Einzeleinsätzen an örtlichen Gefahrenpunkten im sonstigen Straßennetz aufgehoben. Um Bedenken der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) Rechnung zu tragen, vereinbarten die Abteilungen Bodenschutz/Altlasten, Abfallwirtschaft und Stadtgrün der BSU sowie die Stadtreinigung Hamburg dazu ein Monitoring des Tausalzeinsatzes im differenzierten Winterdienst.

Nach einer umfangreichen Literaturlauswertung erfolgte die Beobachtung des Salzstatus sensibler Straßenbäume und Straßenrandböden an ausgewählten Standorten über einen Zeitraum von 2007 bis 2011. Das Untersuchungskonzept beinhaltete die Beprobung von ca. 70 sensiblen Standorten aller Hamburger Bezirke. Es wurden Straßenrandböden erfasst und hinsichtlich des Einflusses von Streusalz begutachtet. Für einen Teil der ausgewählten Standorte wurden Vitalitätsuntersuchungen der dort vorhandenen Straßenbäume durchgeführt. Ergänzend wurden an ausgewählten Bäumen Blattanalysen hinsichtlich der Salzgehalte sowie Nährstoffuntersuchungen im Boden vorgenommen. Potentielle Salzbelastungen im ersten oberflächennahen Grundwasserleiter wurden mittels Auswertung der Daten vorhandener Grundwassermessstellen überprüft.

Die Ergebnisse dieses 5-jährigen Streusalzmonitorings, die festgestellten Auswirkungen des Streusalzeinsatzes auf das Straßenbegleitgrün werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

5.1 Streupraxis der Stadtreinigung Hamburg

Die Stadtreinigung Hamburg bearbeitet eine Räum- Streustrecke von insgesamt 3460 Kilometern nach Prioritäten in unterschiedlichen Stufen. Dies entspricht etwa 50 % des Straßennetzes der Stadt Hamburg. Rund 1550 Busbuchten und 10500 Fußgängerüberwege werden gegebenenfalls zeitgleich gesichert. Bei einem Volleinsatz kommen mehr als 110 Streufahrzeuge und bis zu 1000 Einsatzkräfte zum Einsatz. Die Gehwege der Stadt sind grundsätzlich von den Anliegern zu räumen bzw. zu streuen. Seit der Wintersaison 2010/11 wurde die Zuständigkeit der Stadtreinigung auch auf anliegerfreie Gehwege, Bushaltstellen, Zuwege zu S- und U-Bahnhaltestellen sowie wichtige Radwege erweitert. Die Stadtreinigung Hamburg betreibt seit mehreren Jahren die technische Verbesserung der Streutechnik und hat neben dem Einsatz von FS 30 an den Streufahrzeugen (FS 30 = Feuchtsalz der Kombination von 70 % NaCl Salz mit 30 % NaCl Lösung bzw. Mg Cl₂ Lösung), durch Investition in Glättemeldeanlagen (GMA) kombiniert mit Wärmebildkameras und modernen Streuautomaten an den Streufahrzeugen, den Salzverbrauch pro Einsatz und Quadratmeter reduziert. Das Anpassen der Streudichte an die aktuellen Witterungs- und Straßenverhältnisse ist von großer Bedeutung.

Die reine Quantität der ausgebrachten Streusalzmenge durch die Räumfahrzeuge der Stadtreinigung ist nur bedingt aussagefähig hinsichtlich der Menge der Salzfracht, die ein Straßenrandstandort verkraften muss. Dies ist abhängig von einer Reihe

zusätzlicher Faktoren. Als modifizierende Bedingungen sind hier der Witterungsverlauf, die Standorteigenschaften, die Straßenentwässerungssituation, Lage der Baumscheibe und Höhe der Bordsteinkanten, zusätzliche Salzfrachten durch Gehwegs- und Radwegreinigung der Anlieger sowie konzentrierende Wirkungen durch Staunässe im Unterboden zu nennen.

5.2 Witterungsverlauf und Streumengen

Die Witterungsverläufe der betrachteten winterlichen Streuperioden verliefen während des Untersuchungszeitraums durchaus unterschiedlich. Nach 2 milden Wintern mit sehr hohen Niederschlägen in den ersten Monaten des Jahres folgte ein ebenfalls milder allerdings vergleichsweise trockenerer Winter in der Streusaison 2008/2009. Die anschließenden strengen Winter 2009/2010 und 2010/2011 waren ebenfalls vergleichsweise trocken aber entscheidend kälter (siehe Tabelle 25 und Abbildung 73).

Tabelle 28: Witterungsverläufe DWD Station Fuhlsbüttel

Jahr	Niederschlag				Temperatur
	Januar [mm]	Februar [mm]	März [mm]	Summe Jan+Feb+März [mm]	Durchschnitt Dez-Jan-Feb [°C]
2007	131	67	54	252	5,4
2008	102	57	93	252	4,2
2009	30	41	74	145	1,4
2010	28	40	90	158	-1,3
2011	54	71	15	140	-1,0

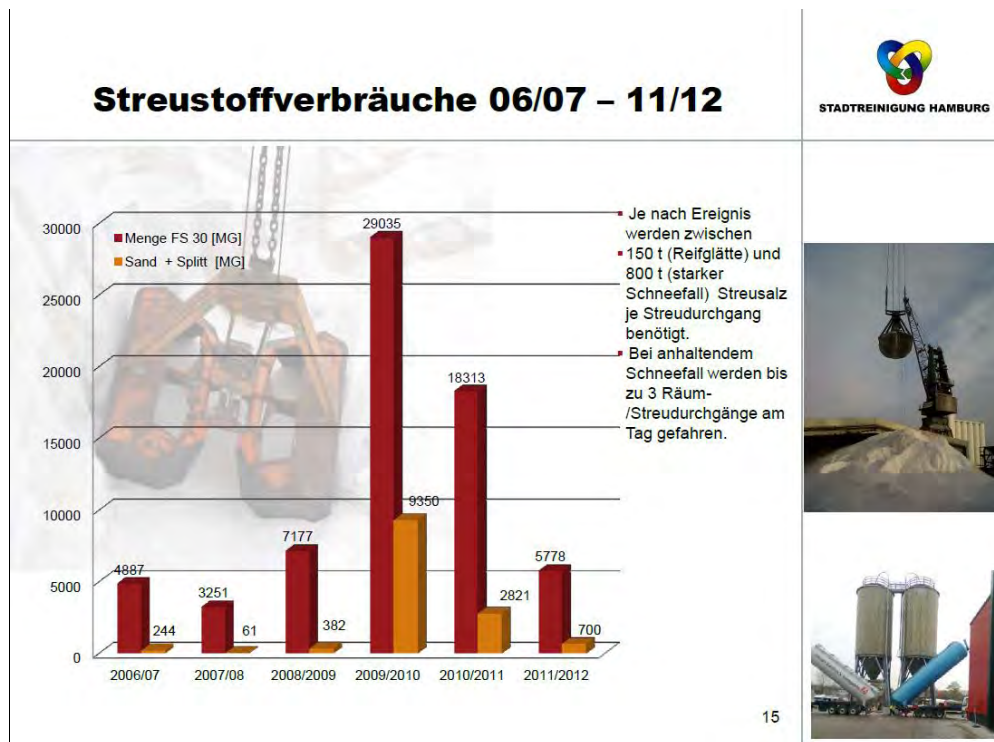


Abbildung 82: Entwicklung der Streumengen gesamt Hamburg (Quelle SRH)

Eine entscheidende Rolle für die Quantität des Salzeintrags in die Straßenrandböden hat die Gestaltung der Straßenentwässerung. Auf die Fahrbahn ausgebrachtes Streusalz bildet ein Gemisch mit Eis und Schnee. Das gelöste Salz wird mit dem von der Straße **abfließenden Schmelzwasser** in den Straßenrandbereich befördert, wo es entweder versickert und bis ins Grundwasser gelangt oder über den Vorfluter des Abflusssystemes wegtransportiert wird. Ein anderer Teil des Salzes erreicht über **Spritzwasser** (sog. "Verkehrsgischt") den Straßenrandbereich. Abhängig vom Fahrverhalten der Autofahrer (Geschwindigkeit) und der Ausformung der Straßenoberfläche (Mulden mit Pfützen Bildung, Spurrinnen etc.) wird die belastende Salzmenge modifiziert. Man unterscheidet **direkte Kontaktschäden der Vegetation durch Verspritzen der Salzlösung auf die Pflanze sowie indirekte Schäden durch Bodenversalzung**. Auf Standorten ohne Siel-Anschluss mit direkter Straßenentwässerung in den angrenzenden Grünstreifen hinein sind die höchsten Salzeinträge in den Boden nachweisbar.

5.3 Salzbelastung der Straßenrandböden

Natrium im Eluat oder Ammoniumnitrat-Extrakt sind die aussagefähigsten Indikatoren zum Nachweis der Streusalzbelastung im Boden. Die elektrische Leitfähigkeit, eine konventionelle Kenngröße für den Salzgehalt von Böden, ist für die spezielle Quantifizierung von Streusalz dagegen nur ein bedingt geeigneter Parameter, denn die elektr. Leitfähigkeit spiegelt neben den Tausalzgeigern Natrium und Chlorid auch die Anteile der löslichen Ionen aus Carbonaten, Sulfaten (u.a. Gips) und Nitraten usw. wieder (siehe Kapitel 4.2).

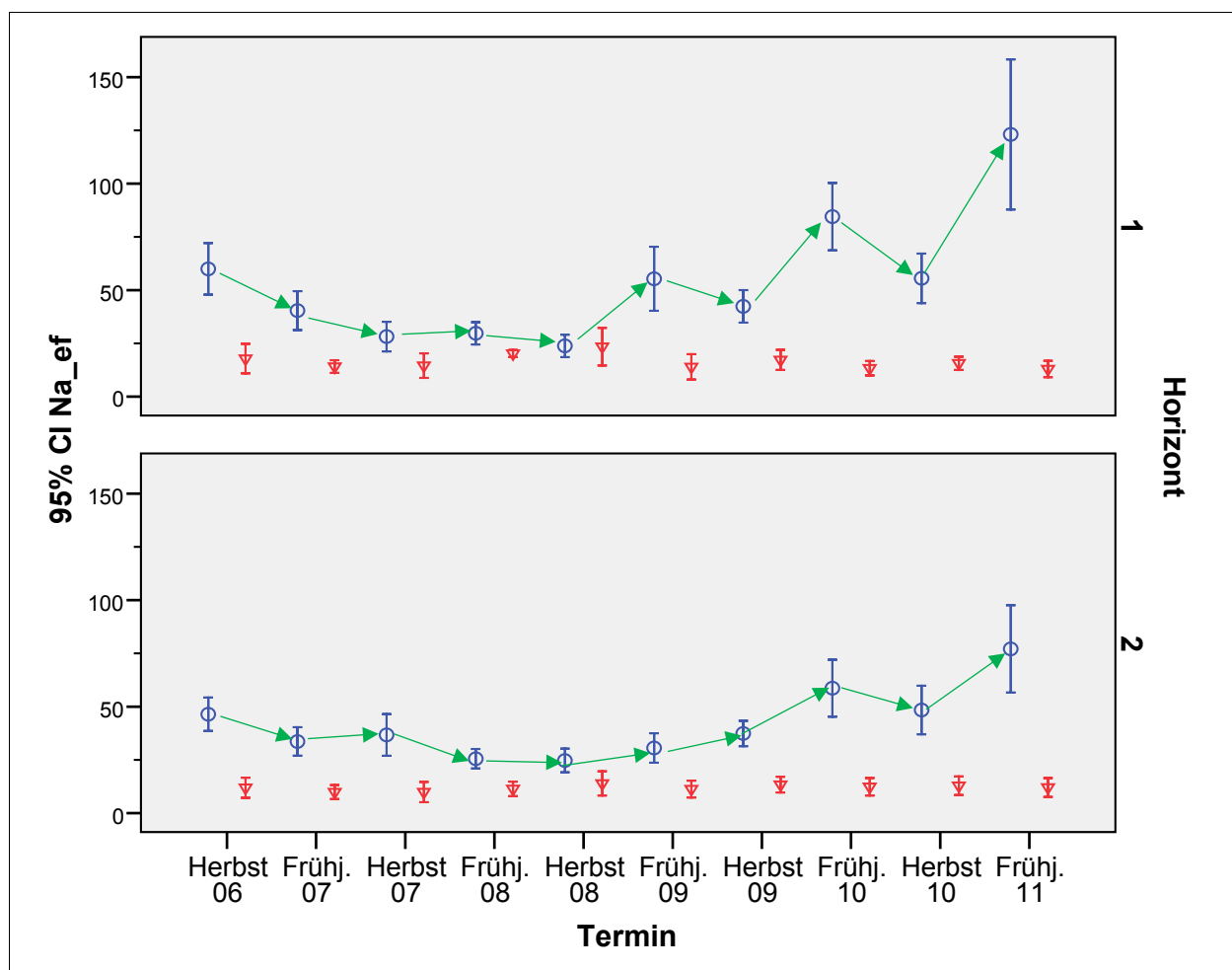


Abbildung 83: Mittelwerte und Konfidenzbereiche (95 % - Niveau) der Natrium-Gehalte (2:1-Eluat, mg/kg Trockenmasse (TM)) der beiden Bodenhorizonte zu den verschiedenen Untersuchungsterminen, differenziert für „Salz“ (○)- und „Null“ (▽)- Standorte (siehe Kapitel 4.2)

In Abbildung 74 sind die Salzgehalte der untersuchten Straßenabschnitte im Jahresverlauf den Salzgehalten der Vergleichsstandorte ohne Salzstreuung gegenüber gestellt.

Seit dem 1. Untersuchungstermin im Herbst 2006 sinkt der Natriumgehalt mehr oder weniger kontinuierlich ab, bis er nach 2 Jahren, im Herbst 2008, 24 mg/kg Trockenmasse (TM) erreicht und damit nur noch geringfügig über dem „Null“-Level liegt. Bereits nach einem Jahr seit Beginn der Untersuchung ist der Wert im 1. Horizont von 60 auf 28 mg/kg TM gesunken, so dass hieraus grob geschätzt eine ungefähre Halbwertszeit des Natrium-Verbleibs im Boden von weniger als 1 Jahr abgeleitet werden kann.

Nach den vergleichsweise strengen Wintern 2008/09 bis 2010/11 ist der Natriumgehalt auf 55 mg/kg TM, 85 bzw. 123 mg/kg TM angestiegen. Zwischenzeitlich, zu den Herbst-Terminen, ist infolge der Auswaschung mit dem Niederschlagswasser jeweils ein deutlicher Abfall zu verzeichnen.

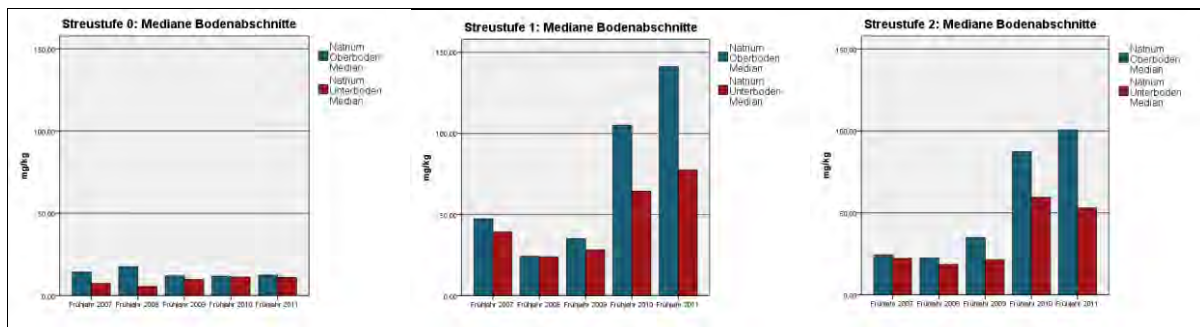


Abbildung 84: Frühjahrswerte der mittleren Salzbelastung der Straßenabschnitte nach Streustufen differenziert (Natrium im Ammoniumnitratextrakt, mg/kg TM)

In Abbildung 75 wird die Salzbelastung (Natriumgehalt im Ammoniumnitratextrakt, mg/kg TM) nach Streustufen differenziert für den fünfjährigen Untersuchungszeitraum dargestellt. Es wurden alle Proben der Frühjahrsprobenahmen in die Ergebnisdarstellung einbezogen. Die Mediane der Vergleichsstandorte variieren 17,5 mg/kg bis 11,8 mg/kg im Oberboden. Auf den Standorten der Streustufe 1 verringert sich der Salzgehalt zunächst in den nassen milden Wintern annähernd auf das Niveau der Nullstandorte. In den Folgejahren nimmt die Salzbelastung von 35 mg/kg im Jahr 2009 über 105 mg/kg in 2010 auf 141 mg/kg im Frühjahr 2011 in den Oberböden zu. In der Streustufe 2 zeigt sich ein ähnlicher Verlauf wie in der Streustufe 1 auf geringerem Niveau. Im Frühjahr 2011 werden 100,7 mg/kg im Oberboden erreicht.

Tabelle 29: Mediane der Salzgehalte nach Streustufen differenziert im Frühjahrsvergleich

		2007 [mg/kg]		2008 [mg/kg]		2009 [mg/kg]		2010 [mg/kg]		2010 [mg/kg]	
Streustufe		Oberboden	Unterboden	Oberboden	Unterboden	Oberboden	Unterboden	Oberboden	Unterboden	Oberboden	Unterboden
Mediane	0	14,3	7,4	17,5	5,6	12,0	9,8	11,8	11,3	12,6	11,1
	1	47,4	39,3	24,3	24,0	35,1	28,2	105,0	64,4	141,0	77,5
	2	24,5	22,3	22,4	18,6	34,9	21,4	87,4	59,5	100,7	53,0

5.3.1 Bodenproben Einzelbäume

Die Ergebnisse der Einzelbaumbeprobungen werden für Natrium und Chlorid in Abbildung 85 dargestellt.

Die Mediane der Natriumgehalte der **Nullstandorte** variieren im Untersuchungszeitraum auf geringem Niveau zwischen 14 und 22 mg/kg Boden. Sie entsprechen einer geringen Natriumversorgung bezogen auf Vergleichswerte aus der Landwirtschaft.

Auf den Standorten der **Streustufe 1** ist nach leicht erhöhten Natriumgehalten in den Frühjahren der Jahre 2008 und 2009 ein deutlicher Anstieg nach dem harten Winter 2010 nachzuweisen, der sich nach dem darauffolgenden ebenfalls harten Winter bis zur Versorgungsstufe ‚sehr hoch‘ im Frühjahr 2011 fortsetzt.

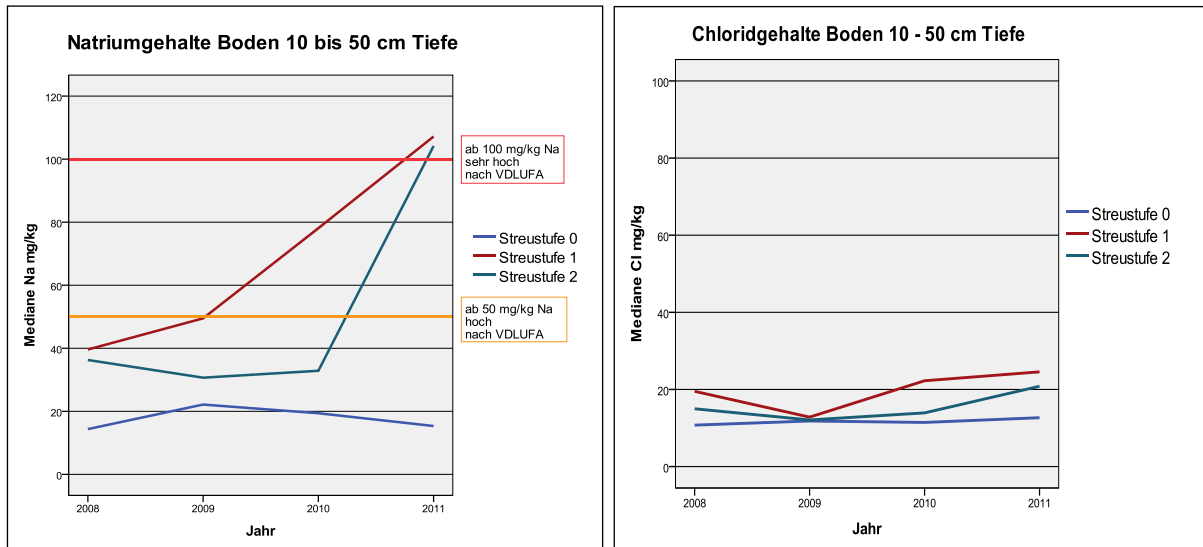


Abbildung 85: Natrium und Chloridgehalte Boden 10-50 cm Tiefe (Einzelbaumuntersuchung)

Auf den Standorten der **Streustufe 2** ist in den Jahren 2008, 2009 und 2010 ein gleichmäßiger Verbleib der Natriumgehalte im mittleren Versorgungsbereich zu beobachten. Der steile Anstieg der Natriumgehalte in der Streustufe 2 bis zur Versorgungsklasse ‚sehr hoch‘ erfolgt hier im Gegensatz zur Streustufe 1 erst ein Jahr später im Frühjahr 2011. Die Natriumgehalte sind um Faktor 3 gegenüber dem Vorjahr erhöht. Der Anstieg der Natriumgehalte auch auf ‚Stufe 2 Standorten‘ im Winter 2010/2011 hängt mit der stärkeren Salzstreuung in der Streustufe 2 zusammen, als Folge der teilweise harschen Kritik am Winterdienst des Vorjahres durch die Öffentlichkeit und Medien.

Die Chloridgehalte verhalten sich analog den Natriumgehalten auf erheblich geringerem Niveau (Abbildung 85). Die **Nullstandorte** zeigen gleichbleibend die geringsten Mengen. Die Standorte der **Streustufe 1** zeigen höhere Werte als in der Standortgruppe der **Streustufe 2**. Ein Anstieg der Chloridgehalte ist erst mit dem Eintreten der harten Winter ab 2010 beobachtbar, wobei der deutliche Anstieg der Chloridgehalte in der Streustufe 2 auch hier, wie beim Natrium, um 1 Jahr verzögert gegenüber der Streustufe 1 auftritt. Der Median der Chloridbelastung ist jedoch in allen Standorttypengruppen im Größenbereich unbelasteter Standorte. Die Ursache liegt in der geringeren Bindungsstärke der Chloridionen zu den Oberflächen der Bodenteilchen im Vergleich zu den Natriumionen, wodurch das Chlorid schneller mit dem Sickerwasserstrom aus dem Oberbodenbereich ausgewaschen wird.

5.4 Salzbelastungen in Blättern

In Blättern ist im Unterschied zum Boden der **Chloridgehalt als Indikator für Salzbelastungen** festzuhalten. Die Blattgehalte zeigen bei Ahorn und Linde im Sommer 2010 die höchsten Chloridgehalte, wobei die Ahorne um Faktor 2 höhere Chloridgehalte in den Blättern als Linden aufweisen.

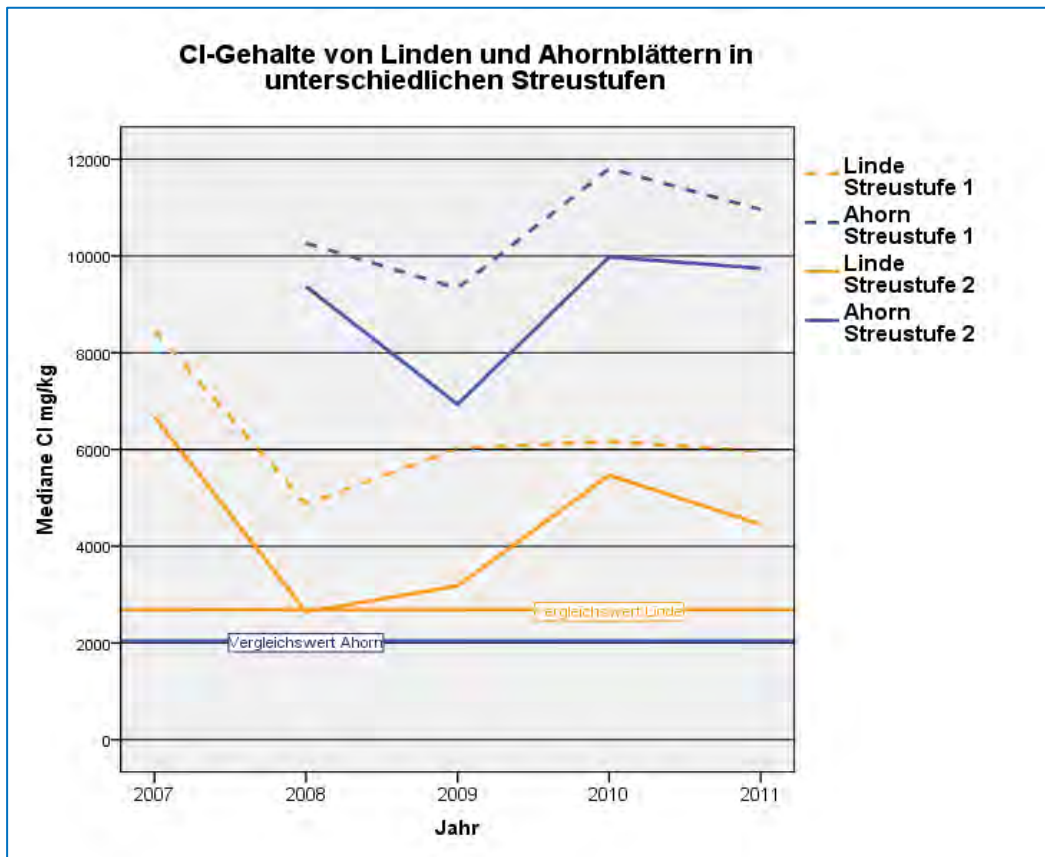


Abbildung 86: Blattgehalte Chlorid

Die Abbildung 86 und 88 zeigen, dass der Ahorn erheblich empfindlicher auf die Salzbelastung im Boden reagiert und verstärkt Chlorid aufnimmt. Er hat bei erhöhtem Salzgehalt im Boden generell höhere Chloridgehalte in den Blättern als die Linde. Während der unbelastete Vergleichsahorn geringere Werte als die Vergleichslinde aufweist, steigen die Blattgehalte beim Ahorn nach Salzaufnahme auf ein höheres Niveau.

Die Streusalzbelastung ist etwa bei der Hälfte der Probenstandorte an den Blattrandnekrosen zu erkennen. Genau bei diesen Proben sind auch die Chloridgehalte deutlich erhöht. Jedoch ist nicht in jedem Fall der Zusammenhang - je höher der Chloridgehalt, umso stärker die Nekrose - gegeben. Offensichtlich spielen hier noch weitere Parameter eine Rolle, wie z.B. die Ausgewogenheit der Gesamtnährstoffversorgung, die Bodenluft und die Wasserversorgung.



Abbildung 87: Blattrandnekrose Ahorn

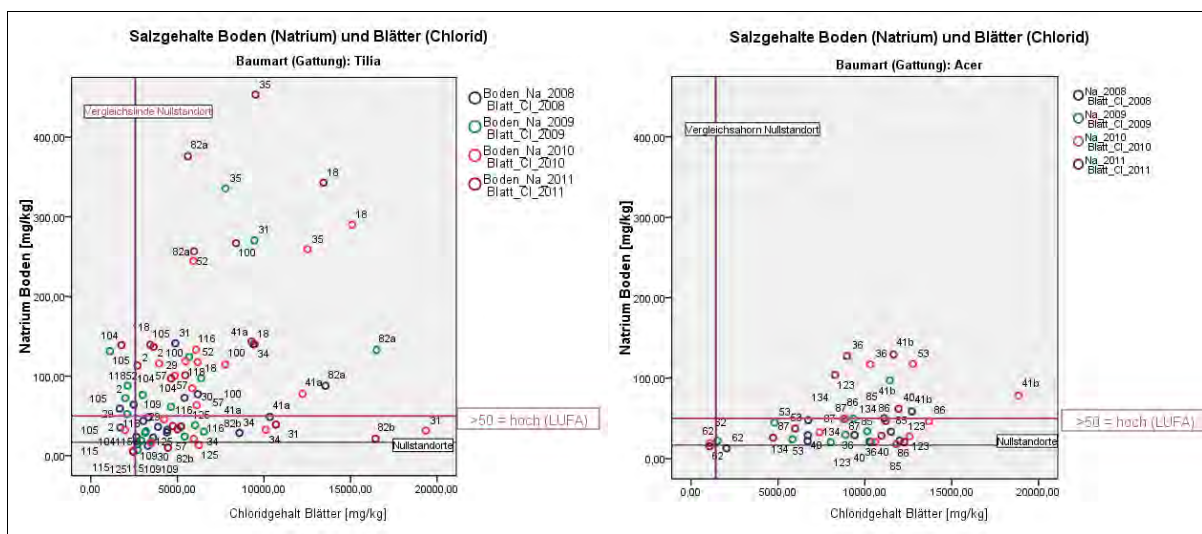


Abbildung 88: Die Beziehung zwischen Boden- und Blattgehalten, baumartspezifisch differenziert

Es zeigt sich auch, dass Ahorne gegenüber der Linde auf weniger salzexponierten Standorten gepflanzt wurden, was auf die Berücksichtigung der größeren Salzempfindlichkeit der Gattung Ahorn in der Grünplanung zurückgeht.

5.5 Vegetationsschäden an Straßenbäumen

Im Rahmen des Streusalzmonitorings der Hamburger Straßenbäume wurden in 2007 insgesamt 927 Bäume der Gattungen Acer (Ahorn) und Tilia (Linde) an insgesamt 63 Standorten auf potenzielle Streusalzschäden – primär über Blattschäden / -randnekrosen – überprüft.

Ab Ende 2007 wurde das Monitoring auf insgesamt 732 Kontroll-Bäume – 509 Linden (Tilia spec.) und 223 Ahorn (Acer spec.) – an 44 Standorten verringert und für die dauerhafte Überprüfung festgelegt.

Beginnend mit 2008 wurden die ausgesuchten Bäume regelmäßig zum Blattaustrieb (Anfang Mai), Johannistrieb (Ende Juni), August (Mitte August) und zum Blattfall (Anfang Oktober) auf potenzielle Streusalzschäden kontrolliert.

Häufigkeit und Ausmaß der Blattrandnekrosen und Läsionen bestätigen, dass die Ahorn-Arten stärker als die Linden-Arten auf Streusalz reagieren -Arten.

Überwiegend waren die Ahorne der Altersklasse 20 – 60 Jahre betroffen, was sich bereits in den Vorschäden in 2007 zeigte. Gleiche Tendenzen – jedoch in geringerem Umfang - liegen bei Linde vor.

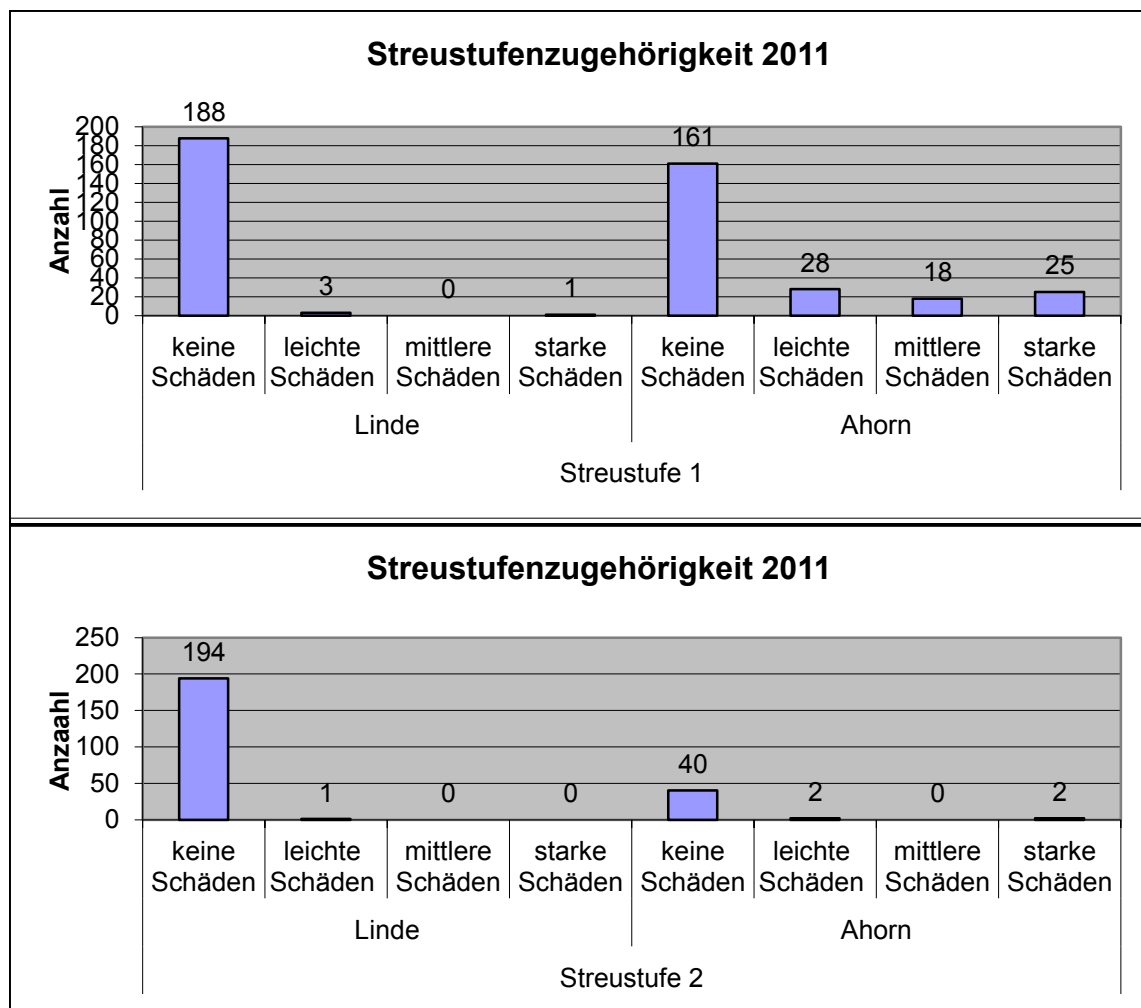


Abbildung 89: Baumschäden nach Streustufen und Baumart differenziert

Durch Streusalzmissionen geschädigte Bäume gehören bis auf vier Ausnahmen der Streustufe 1 an. Die Streustufe 2 ist bis auf die vier Ausnahmen in 2011 unauffällig.

Die auffälligen Schäden betreffen 2 Baumkollektive mit besonderen Schadensursachen.

- Kollektiv 1 ist der Kategorie Schadsymptome durch Gehwegreinigung zuzuordnen.
- Kollektiv 2 kann zweifelsfrei der Kategorie verstärkter Salz-Eintrag durch Spritzwasser aus leichten Senken mit Pfützenbildung in den Fahrbahnen zugeordnet werden.

Die baumbiologischen Tausalzuntersuchungen bestätigen die negativen Auswirkungen des Streusalzes auf das Straßenbegleitgrün eine Anreicherung in den Bäumen mit den typischen Schadbildern. Anders als die Bodendaten sind die Vegetationsschäden im Kronenbild aber sehr unterschiedlich ausgeprägt und oft kleinräumig wechselnd. Die Auswahl möglichst artenreiner Standorte sollte dem entgegenwirken. Aber auch artenreine Alleen und Baumreihen innerstädtischer Straßen sind über größere Zeiträume gewachsen und durchaus mit unterschiedlichen Sorten einer Art ergänzt worden; sie können sich in ihrer Salztoleranz deutlich unterscheiden.

Über diese Streuung hinaus bestätigen die uneinheitlich auftretenden Vegetationsschäden wie auch die baumbiologischen Ergebnisse insgesamt, dass der Einsatz von Tausalz auf Fußwegen ein ganz zentrales Problem für Baum und Boden darstellt. Quelle sind hier private Anwender, aber auch Reinigungsdienste, die u.U. sogar im Auftrag der Stadt arbeiten. Außerhalb dieser Untersuchung gelaufene Vergleichsmessungen an Bäumen, deren Standorte von einem privaten Reinigungsdienst geräumt wurden, bestätigen dies. Hier sind erhebliche Salzbelastungen gemessen worden, die den Vitalitätseinbrüchen der dort stehenden Bäume unmittelbar entsprachen.

Bereits in der konzeptionellen Phase des Monitoringprogramms hatte dies, zunächst noch als Vermutung, entscheidenden Einfluss auf die Standortauswahl. Um Streusalzfolgen nur aus dem städtischen Winterdienst bewerten zu können, sind die Standorte so gewählt worden, dass zusätzliche Salzfrachten, beispielsweise durch Anwohner, weitgehend ausgeschlossen werden konnten. Berücksichtigt wurden z.B. besondere Fußwegsituationen oder Einzugsbereich regelmäßig zu räumender Fußgängerüberwege, wo hohe Tausalzeinträge zu erwarten sind. Auch der Abstand der Bäume und ihrer offenen Bodenflächen zur Fahrbahn und zu Einfahrten spielten eine Rolle. So entfielen mehrere vorausgewählte Straßenabschnitte wegen ihrer auffallend hohen Anzahl von Grundstückszufahrten und den auch hier zu erwartenden zusätzlichen Salzfrachten. Vorhandene Bezirksmeldungen zu besonderen Salzschäden an Bäumen wurden ebenfalls berücksichtigt.

Hintergrund sind die Zutrittsmöglichkeiten des Streusalzes zu Baumscheibe und Wurzelraum, die sich an typischen Baumstandorten straßenseitig und fußwegseitig völlig unterscheiden. Während die Straße überwiegend versiegelt und mit einer mehr oder weniger hohen Bordsteinkante vom Baumstandort abgegrenzt ist, liegt die Baumscheibe in einer Ebene mit dem zu räumenden Fußweg und ist im Interesse des Baumes meist offen gehalten, um den Luft- und Wasserbedarf der Wurzeln zu verbessern. Sie stellt damit optimale Eintrittspforten auch für das gelöste Tausalz dar. Das Anhäufen salzbelasteten Schnees auf der Baumscheibe verstärkt diesen Effekt, weil mit dem Abschmelzen der Halden gelöstes Tausalz über einen längeren Zeitraum direkt in den Wurzelraum gelangt.

In dieser Untersuchung nicht geprüft, aber sicher unstrittig ist zudem die unregelmäßige und oft höhere Streusalzmenge, die je qm Fußweg ausgebracht wird, weil hier in aller Regel mit Eimer und Schaufel, aber ohne Dosierungshilfen gestreut wird. Dies ist im Ergebnis ein weiterer Grund für den kleinräumigen Wechsel zwischen visuell geschädigten und nicht geschädigten Bäumen des gleichen Kollektivs; ein Wechsel, der sich in den Bodenproben nicht im gleichen Maße abbildet, weil diese als Mischproben des gesamten Kollektivs ausgewertet werden.

Ein Beleg dafür, wie stark sich diese punktuellen Besonderheiten auf den Schadensverlauf an einzelnen Standorten auswirken können, bilden die auffällig hohen Vegetationsschäden an solchen Bäume des Monitorings, für die eine besondere Spritzwasserproblematik durch Spurrinnen und Senken in der Straßendecke bestand.

In diesen Zusammenhängen liegt begründet, warum an den sehr gezielt ausgewählten Probenstandorten die gemessenen Bodenbelastungen hinter den Befürchtungen zurückblieben, obwohl die weiträumig wahrzunehmenden Streusalzschäden im Gesamtstraßenbaumbestand etwas anderes erwarten ließen.



5.6 Grundwassermessstellen

Im Rahmen der Untersuchung wurden zahlreiche Grundwassermessstellen in näherer Umgebung von Straßen mit Streueinsatz im Vergleich zu anderen Grundwassermessstellen ausgewertet. Die Auswertung hat folgendes gezeigt:

- (1) In den oberflächennahen Geest-Grundwasserkörpern in Hamburg lassen sich Salzeinträge aus der Auftausalzanwendung während des Winters nachweisen.
- (2) Diese manifestieren sich in gemessenen Chlorid-Konzentrationen im Grundwasser oberhalb der natürlichen Hintergrundwerte an einer Vielzahl von Grundwassermessstellen.
- (3) Die gemessenen erhöhten Chlorid-Konzentrationen bewegen sich im Wesentlichen unterhalb des bundesweit geltenden Schwellenwertes nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (250 mg/L), der sich an den Erfordernissen für Trinkwasser orientiert.

5.7 Bodenbelastungen von Einzelstandorten

Die Einzelstandorte zeigen eine durchaus unterschiedlich charakteristische Betroffenheit bezüglich der Salzbelastung.

1. **Straßen im Außenbereich ohne Siel-Anschluss**, gewölbt, mit tiefem oder keinem Bordstein und randlicher Grabenentwässerung



Auf diesen Standorten treten aufgrund der fehlenden Kanalisation und erhöhten Salzgischt die höchsten Salzbelastungen auf.

2. Mittelstreifen



Auf diesen Standorten tritt eine mäßige Salzbelastung auf, da in der Regel Bordsteine vorhanden sind und die Straßenentwässerung vom Mittelstreifen weg erfolgt. Es fehlen auch zusätzliche Salzfrachten durch Fußweg- oder Radwegreinigung. Insbesondere Ahorne können hier trotzdem starke Blattrandnekrosen haben.

3. Seitliche Straßenränder



Straßenränder haben gegenüber den Mittelstreifen höhere Salzbelastungen, da die Fahrbahn häufig durch leichte Neigung zum rechten Rand in Fahrtrichtung entwässert wird. Salzgicht befördernde Spurrillen befinden sich auf mehrspurigen Straßen meist in verstärkter Ausprägung am rechten Fahrbahnrand. Die Gehwegs- und Radwegreinigung tritt hier häufig Salzfracht verstärkend hinzu.

4. Sonderstandorte



Zahlreiche Standorte können nur individuell betrachtet werden, da sie durch viele salzverstärkende Einflüsse geprägt werden. Die Wasserversorgung einzelner Straßenbäume ist durchaus individuell weitläufig und unterschiedlich. Örtlich auftretende, salzverstärkende Einflüsse sind:

- Staunässe im Untergrund
- Pfützenbildung mit verstärkter Salzgischt
- Spurrinnen
- Fahrbahnwölbung bzw. Neigung zum Straßenrand
- Radweg- und Gehwegsreinigung
- Grundstückseinfahrten
- Treppenaufgänge
- Bushaltestellen
- Verkehrsampeln und Fußgängerüberwege
- Verstopfte oder defekte Kanalisation

6. Schlussfolgerungen

Das Konzept „differenzierter Winterdienst“, das eine abgestufte Verwendung von Streustoffen nach Straßen- und Wetterlage in Hinblick auf Salzstreuung, Splittstreuung und Nullstreuung vorsieht, erscheint als geeignetes Instrument zur Optimierung des Winterdienstes. Ziel ist es, die Verwendung von Tausalz auf das notwendige Mindestmaß zu begrenzen.

Der deutliche Einfluss des Streumittleinsatzes auf den Boden und die Vegetation konnte aufgezeigt werden. In den harten Wintern 2009/10 und 2010/11 führte der flächendeckende Streusalzeinsatz zu einer generellen Chloridbelastung in den Bäumen und zu einer Natriumanreicherung in den Straßenrandböden bei gleichzeitiger Anhebung des Chloridgehaltes im Sickerwasser. Die Untersuchung zeigt aber auch das Potenzial, durch verantwortungsbewusste Maßnahmen des Winterdienstes den unnötigen Salzeinsatz zu reduzieren und die Streusalzschäden zu verringern.

Starke salzbedingte Schädigungen konnten nur an Einzelbäumen festgestellt werden. Ursächlich war in diesen Fällen der zusätzliche Salzintrag durch Streumaßnahmen im Gehwegsbereich oder andere salzkonzentrierende Einflüsse. Derartige Einflüsse sind zum Beispiel Wasserpfützen und Spurrinnen, die durch den Straßenverkehr punktuell zu einer vermehrten „Salzgischt“ führen und einen direkten zusätzlichen Salzeintrag am Stamm des Straßenbaums bewirken. Auch abgesackte Bordsteine, Straßenwölbungen und mangelhafte, defekte Straßenentwässerung sind Quellen eines überhöhten Salzeintrages.

Das Ausmaß der Schäden, die durch den offiziellen Winterdienst in Hamburg ausgelöst werden, ist nicht so hoch, wie teilweise befürchtet, und liegt deutlich unter den Ergebnissen früherer Untersuchungen. Aus der Tatsache, dass die stärksten Vitalitätsverluste der Bäume nicht abschnittsweise auftraten sondern meist nur einzelbaumbezogen beobachtet wurden, kann geschlossen werden, dass durch den flächendeckenden straßenreinigungsbedingten Streumittleinsatz in harten Wintern zwar eine hohe Grundbelastung mit Salz in den Bäumen und Böden eintritt, dass aber erst durch die kumulierende Wirkung der Belastung durch weitere unkontrollierte Salzgaben der meist privaten oder gewerblichen Gehwegreinigung, akut toxische Belastungen auftreten. Hier zeigt sich allergrößter Handlungsbedarf. Gerade fußwegseitig sind die Zutrittsmöglichkeiten des Streusalzes zum Wurzelraum optimal, weil die Baumscheiben in einer Ebene mit dem zu räumenden Fußweg liegen und zudem für die Luft- und Wasserversorgung der Wurzeln meist offen gehalten werden.

Das Anhäufen des salzbelasteten Schnees auf den Baumscheiben verstärkt diesen Effekt, weil aus den dann tagelang schmelzenden Halden eine kontinuierliche Salzzufuhr direkt in den Wurzelraum erfolgt. Private und gewerbliche Gehwegreinigung sollte zumindest dies berücksichtigen und Schnee und Eis nicht in den Einzugsbereich der Baumscheiben räumen. Dies gilt ebenso für den städtischen Winterdienst, der den geräumten Schnee stattdessen abtransportieren und an geeigneterer Stelle ablagern sollte.

Der Einsatz von Splitt und Sand auf Geh- und Radwegen ermöglicht den Schutz der angrenzenden Grünstreifen vor Streusalz, ohne dass die im Straßenverkehr bekannten negativen Eigenschaften abstumpfender Streumittel (geringere Kraftschlusswerte, höhere Streudichten, Wegschleudern an den Straßenrand durch Verkehr, Entsorgung) in größerem Umfang auftreten. Im Einzelfall kann die Verwendung abstumpfender Streumittel auch im Straßenbereich ökologisch sinnvoll sein, z.B. wenn wertvolle Baumbestände geschützt werden sollen.

Angesichts der nachgewiesenen negativen Einflüsse des Salzeinsatzes auf Straßenrandböden und Straßenbegleitgrün sind Bestrebungen zur Lockerung der gesetzlichen Regelungen des Salzverbots im Gehwegs Reinigungseinsatz klar zu verneinen.

Problematisch ist die Verwendung von Tausalz im privaten Bereich zu sehen. Auf privaten Grundstücken ist zurzeit der Einsatz von Tausalz nicht untersagt, da die entsprechende Fachgesetzgebung (Wasserrecht und Bodenschutzrecht) gegenwärtig noch keine Regelungen diesbezüglich enthalten. Zurzeit ist nur Aufklärung über die negativen Folgen für Vegetation, Boden und Grundwasser zur Förderung einer freiwilligen Beschränkung der Grundeigentümer möglich. Die Räumung von Gehwegen ist in Hamburg ohne jeglichen Einsatz von Tausalz vorzunehmen (Hamburgisches Wegegesetz). Dieses Verbot wird vielerorts nicht eingehalten.

Um die Quellen zusätzlicher Salzbelastungen durch unkontrollierten Streusalzeinsatz einzudämmen, ist es erforderlich, den Winterdienst, der durch „Fremdfirmen“, oder von zahlreichen privat beauftragten Firmen zur Gehwegsreinigung geleistet wird, zu kontrollieren und bei Verstößen gegen das Salzverbot zu sanktionieren. Gerade hier sollten sowohl Aufklärungsarbeit als auch gezielte Kontrollen ansetzen. Die Verantwortung für die Kontrollen zum Thema >Salzeinsatz in der winterlichen Räumung< sollten klar definiert werden.

Hinsichtlich der Grünplanung ist festzuhalten, dass Bäume am Straßenstandort eine intensivere Pflege mit hohen Kosten benötigen. Einflüsse, die ihre Gesundheit und Vitalität beeinträchtigen, müssen also auch aus wirtschaftlichen Gründen im besten Fall ausgeschlossen, mindestens aber auf ein Minimum reduziert werden. Zudem muss weiterhin nach Baumarten und Sorten gesucht werden, die mit den verbleibenden Salzbelastungen besser zurechtkommen. Über eine bundesweite Zusammenarbeit innerhalb der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz wird z.B. eine entsprechende Empfehlungsliste für Straßenbäume fortgeschrieben, an der sich Hamburg ebenso beteiligt, wie an langjährigen Versuchspflanzungen, um verlässliche Erkenntnisse zusammenzutragen. Auch dies ist ein wichtiger Baustein, der allerdings eher in die weitere Zukunft weist, weil in Hamburg weniger als 1% des Straßenbaumbestandes pro Jahr neu gepflanzt werden. Letztlich ist hier die Grünplanung gefordert, dies alles konsequent bei Straßenbau, Pflanzenwahl und Pflanzstandort zu berücksichtigen. Die verantwortlichen Planer sollten sich bei der Auswahl der Baumpflanzstandorte und Sorten stärker auf den Dialog mit den Unterhaltern einlassen.

Auf der Basis dieser Untersuchungen werden in Zukunft qualifizierte Diskussionen und Entscheidungen zum Umgang mit Auftausalzen möglich sein.



7. Literatur

Amrhein, C., Strong, J. E., & Mosher, P. A. (1992). Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils. *Environmental Science & Technology* , 26, S. 703-709.

Anonym. (1991). *Highway deicing - Comparing salt and calcium magnesium acetate*. TRB Special Report 235 (U.S. Transportation Research Board).

Assmann, G. (1999). Ökologie contra Glätteis." 5. Informationsdienst Wissenschaft.
Balder, H., & Nierste, J. (1988). Ökologische Auswirkungen eines tausalzfreien innerstädtischen Winterdienstes. *Texte 3/88* , 69. Berlin: Umweltbundesamt.

Blum, W. E. (1974). Salzaufnahme durch die Wurzeln und ihre Auswirkungen. *European Journal of Forest Pathology* , 4 (1), S. 41-44.

Blume, H. P. (2004). *Handbuch des Bodenschutzes* (3. Ausg.). Augsburg: ecomed Biowissenschaften.

Brod, H.-G. (1993). Bericht zum Forschungsprojekt 9.9125: Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. (B. f. Straßenwesen, Hrsg.) Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW.

Brod, H.-G. (1995). Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalzen - Folgen für die Umweltmedien unter Berücksichtigung neuester Tendenzen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - bast (Verkehrstechnik)* , Heft V 21, S. 60.

Ciglia, J.-P. (2000). Versuchsanlage zur Chlorid-Entfernung aus Trinkwasser in Colmar. *AWBR Jahresbericht 2000. Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee-Rhein* , S. 97-112.

Demers, C. L., & Sage, R. W. (1990). Effects of Road Deicing Salt on Chloride Levels in Four Adirondack Streams. *Water, Air and Soil Pollution* , 49, S. 369-373.

DWD. (2012). Wetterdaten der Station HH-Fuhlsbüttel.
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&pageLabel=dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T82002gsbDoc
Letzter Zugriff am: 10. 02. 2012

Elsass, P. (2000). Die Versalzung des Grundwassers im südlichen Elsass. *AWBR Jahresbericht 2000. Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee-Rhein* , S. 123-132.

Faith-Ell, C. (2000). Environmental management of road maintenance - with "green procurement". Stockholm, Schweden: Kungliga Tekniska Hoegskolan, Institutionen foer anlaeggning och miljoe.



Forschergruppe Kanalleckage (2003). Gefährdungspotential von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser. Zwischenbericht der DFG-Forschergruppe an der Universität Karlsruhe.

Gartiser, S. R., & Rudolf und Gensch, C.-O. (2003). Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege, in Anlehnung an die DIN EN ISO 14024, Forschungsbericht 20095308/04 UBA-FB 000404. (Umweltbundesamt, Hrsg.) Berlin.

Glatzel, G., & Krapfenbauer, A. (1975). Streusalzschäden am Baumbestand der Straßen in Wien. Wien: Institut für forstliche Standortforschung der Hochschule für Bodenkultur.

Goldman, C. R., & Lubnow, F. S. (1992). Seasonal influence of calcium magnesium acetate on microbial processes in 10 northern californian lakes. *Resources, Conservation and Recycling* , 7, S. 51-67.

GSF. (1998). *Information Umwelt, - Hintergrundinformationen-Streusalz*,. GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit.

Hootman, R. G., Kelsey, P. D., & Reid, R. (1994). Factors affecting accumulation of deicing salts around trees. *Journal of Arboriculture* , 20 (3), S. 196-201.

Horner, R. R., & Brenner, M. V. (1992). Environmental evaluation of calcium magnesium acetate for highway deicing applications. *Resources, Conservation and Recycling* , 7, S. 213-237.

Hutterer, E. (1995). Morphologie und Salzgehaltsverteilung in einem streusalzbelasteten Baggersee. *GWF - Wasser/Abwasser (Das Gas- und Wasserfach)* (136), S. 74-77.

Jülich, W. (2000). Juristisches um die Salzproblematik aus niederländischer Sicht. *AWBR Jahresbericht 2000. Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee-Rhein.* , S. 133-142.

Kölle, W. (2001). *Wasseranalysen - richtig beurteilt*. Weinheim: Wiley-VCH.

Kunkel, R., Hans-Jürgen Voigt, H.-J., Wendland, F., Hannappel, S. (2004). Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. Endbericht eines FuE-Vorhabens im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser und Boden“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Forschungszentrum Jülich.

Legret, M., & Pagotto, C. (1999). Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway. *The Science of the total Environment* , 235, S. 143-150.

Leh, H. O. (1971). Schäden an Straßenbäumen durch Auftausalze. *Gesunde Pflanzen* , 23 (11), S. 217-220.



- Leh, H. O. (1973). Untersuchungen über die Auswirkung der Anwendung von NaCl als Auftaumittel auf die Straßenbäume in Berlin. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* , 25 (11), S. 163-170.
- Leh, H. O. (1977). Zum Tag des Baumes 1977. Gefährdung des Straßenbaumbestandes in Berlin durch Einwirkung von Auftausalz. *Berliner Naturschutzböätter* , 21, S. 256-264.
- Meyer-Spasche, H. (1980). Salzsäuren an Hamburger Straßenbäumen: NaCl-Akkumulation in den Straßenrandböden und deren Auswirkungen auf die Straßenbäume (Abschlussbericht) Ordinariat für Bodenkunde der Universität Hamburg, Studie.
- Meyer-Spasche, H. (1981). Streusalzakkumulation im Boden von Straßenbäumen. *Gartenamt* , 30 (5), 368-377.
- Meyer-Spasche, H. (1988). Sanierung umweltgeschädigter Straßenbäume und Böden, sowie Ermittlung geeigneter Schutzmaßnahmen bei Neupflanzungen. Teil 1: Bodenkunde. *Naturschutz und Landschaftspflege in Hamburg* , H 21, S. 1-145.
- Moritz, K. (1999). Umweltauswirkungen abstumpfender Streustoffe im Winterdienst - Literaturanalyse. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - bast (Verkehrstechnik)* , Heft V 66, S. 83.
- Müller, U. (1997). Auswertungsmethoden im Bodenschutz - Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS).
- Norrström, A. C., & Jacks, G. (1998). Concentration and fractionation of heavy metals in roadside soils receiving de-icing salts. *The Science of the Total Environment* , 218, S. 161-174.
- Naß, T. (2010). Steuerung des Streumittel Einsatzes im Winterdienst der SRH. Hamburg. [www.ktn.gv.at/213724_DE-CMA%2B-Nass Steuerung des Streumittel Einsatzes im Winterdienst](http://www.ktn.gv.at/213724_DE-CMA%2B-Nass%20Steuerung%20des%20Streumittel%20Einsatzes%20im%20Winterdienst)
Letzter Zugriff am 06. 02. 2012
- Novotny, V., Muehring, D., Zitomer, D. H., Smith, D. W., & Facey, R. (1998). Cyanide and metal pollution by urban snowmelt: Impact of deicing compounds. *Water science and technology* , 38 (10), S. 223-230.
- Pfeiffer, E. -M. (1985). Veränderungen der Ionengehalte streusalzgeschädigter Straßenbäume durch Bodensanierung im Hamburger Stadtgebiet. 4 . Hamburger Bodenkundliche Arbeiten.
- Ruge, U. (1971). Erkennung und Verhindern von Auftausalzschäden an Straßenbäumen der Großstädte. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* , 23 (9), S. 133-137.



Ruge, U. (1972). Ursachen des Strassenbaumsterbens und mögliche Gegenmaßnahmen. *Garten und Landschaft* , 82 (10), S. 456-458.

Ruge, U., & Stach, W. (1968). Über die Schädigung von Straßenbäumen durch Auftausalz. *Angewandte Botanik* , 42, S. 69-77.

Scheffer, F. (2002). Lehrbuch der Bodenkunde/ Scheffer/Schachtschabel (15. Ausg.). Heidelberg.

Schramm, C., Gans, O., Uhl, M., Grath, J., Scharf, S., Zieritz, I., Kralik, M., Scheidleder, A., Humer, F. (2006). Carbamazepin und Koffein - Potentielle Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunales Abwasser? Umweltbundesamt, Wien.

Tegethof, U. (1998). Straßenseitige Belastungen des Grundwassers. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - bast (Verkehrstechnik) , Heft V 60, S. 34.

Viskari, E. L., & Kärenlampi, L. (2000). Roadside scots pine as an indicator of deicing salt use - a comparative study from two consecutive winters. *Water, Air and Soil Pollution* , 122, S. 405-419.

Wang, J. S., Huang, P. M., Liaw, W. K., & Hammer, U. T. (1991). Kinetics of the desorption of mercury, from selected freshwater sediments as influenced by chloride. *Water, Air, and Soil Pollution* , 56, S. 533-542.

Wichmann, K., & Grube, A. (2000). Wasserressourcen und Grundwasserversalzung in Norddeutschland. *Fachliche Berichte Hamburger Wasserwerke* , 19, S. 37-45.

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: TEMPERATURABHÄNGIGE STREUSTOFFDOSIERUNG (AUS NAß, 2010).....	- 10 -
ABBILDUNG 2: BEURTEILUNGSCHEMA FÜR DIE ANSPRACHE DES SCHÄDIGUNGSGRADES	- 20 -
ABBILDUNG 3: ABLAUFSCHEMA DER STANDORTAUSWAHL.....	- 24 -
ABBILDUNG 4: WETTERDATEN DER STATION HH-FUHLSBÜTTEL FÜR DIE JAHRE 2006 - 2011 VOM DWD	- 43 -
ABBILDUNG 5: SCHNEEMENGE, STREU- UND RÄUMEINSATZ IM 6-JAHRES-VERGLEICH DER SRH.....	- 44 -
ABBILDUNG 6: STREUMITTELVERBRAUCH IM 6-JAHRES-VERGLEICH DER SRH	- 44 -
ABBILDUNG 7: BEZIEHUNG ZWISCHEN DEM NATRIUM- UND CHLORID-GEHALT (MG/KG TM) IM AMMONIUMNITRAT-EXTRAKT UND IM 2:1-ELUAT (ALLE TERMINE UND STANDORTE).....	- 48 -
ABBILDUNG 8: BEZIEHUNG ZWISCHEN DEM KALIUM-, MAGNESIUM- BZW. CALCIUMGEHALT (MG/KG TM) IM AMMONIUMNITRAT-EXTRAKT UND IM 2:1-ELUAT (ALLE TERMINE UND STANDORTE).....	- 49 -
ABBILDUNG 9: STREUDIAGRAMME ELEKTR. LEITFÄHIGKEIT ($\mu\text{S}/\text{CM}$) GEGEN NATRIUM_EF (MG/KG TM) ROTE DREIECKE: PROBEN MIT DEN 20 HÖCHSTEN CA_EF-GEHALTEN	- 52 -
ABBILDUNG 10: STREUDIAGRAMME ELEKTR. LEITFÄHIGKEIT ($\mu\text{S}/\text{CM}$) GEGEN CALCIUM_EF (MG/KG TM) ROTE DREIECKE: PROBEN MIT DEN 20 HÖCHSTEN NA_EF-GEHALTEN	- 53 -
ABBILDUNG 11: STREUDIAGRAMM ELEKTR. LEITFÄHIGKEIT ($\mu\text{S}/\text{CM}$) GEGEN EQ_KAT IM 2:1-ELUAT (MEQ/KG TM) .-	53 -
ABBILDUNG 12: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) DER NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) DER BEIDEN BODENHORIZONTE ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN, DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(\circ)- UND „NULL“(∇)- STANDORTE	- 56 -
ABBILDUNG 13: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) DER NATRIUM-GEHALTE (AMMONIUMNITRAT-EXTRAKT), MG/KG TM) DER BEIDEN BODENHORIZONTE ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN, DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(\circ)- UND „NULL“(∇)- STANDORTE	- 57 -
ABBILDUNG 14: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) DER CHLORID-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) DER BEIDEN BODENHORIZONTE ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN, DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(\circ)- UND „NULL“(∇)- STANDORTE	- 58 -
ABBILDUNG 15: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) DER ELEKTR. LEITFÄHIGKEIT (2:1- ELUAT, $\mu\text{S}/\text{CM}$) DER BEIDEN BODENHORIZONTE ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN, DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(\circ)- UND „NULL“(∇)- STANDORTE	- 59 -
ABBILDUNG 16: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) DER PH-WERTE (2:1-ELUAT) DER BEIDEN BODENHORIZONTE ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN, DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(\circ)- UND „NULL“(∇)- STANDORTE.....	- 60 -
ABBILDUNG 17: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) VON CA_EF (MG/KG TM) UND SO4_EF (MG/KG TM), DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(\circ)- UND „NULL“(∇)- STANDORTE	- 61 -
ABBILDUNG 18: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) VON NA_ADS (MG/KG TM) UND EQ_KAT (MEQ/KG TM), DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(\circ)- UND „NULL“(∇)- STANDORTE.....	- 62 -
ABBILDUNG 19: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 VON PROFIL 73 UND PROFIL 54 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHelte LINIE: MITTELWERT ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN	- 64 -
ABBILDUNG 20: ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT (2:1-ELUAT, $\mu\text{S}/\text{CM}$) IN HORIZONT 1 VON PROFIL 72 UND PROFIL 54 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHelte LINIE: MITTELWERT ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN	- 64 -
ABBILDUNG 21: KALIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 VON PROFIL 72 UND PROFIL 78 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHelte LINIE: MITTELWERT ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN	- 65 -
ABBILDUNG 22: PH-WERTE (2:1-ELUAT) IN HORIZONT 1 VON PROFIL 72 UND PROFIL 78 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHelte LINIE: MITTELWERT ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 65 -
ABBILDUNG 23: KALIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 VON PROFIL 68 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHelte LINIE: MITTELWERT ÜBER ALLE „NULL“- PROBEN - 66 -	- 66 -
ABBILDUNG 24: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 VON PROFIL 18 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHelte LINIE: MITTELWERT FÜR HOR. 1 U. 2 ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 68 -

ABBILDUNG 25: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 VON PROFIL 1 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHELTE LINIE: MITTELWERT FÜR HOR. 1 U. 2 ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 69 -
ABBILDUNG 26: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 DER BEIDEN BÖDEN AN DER EDMUND-SIEMERS-ALLEE (PROFILE 82, 35) ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHELTE LINIE: MITTELWERT FÜR HOR. 1 U. 2 ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 71 -
ABBILDUNG 27: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 VON PROFIL 31 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHELTE LINIE: MITTELWERT FÜR HOR. 1 U. 2 ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 71 -
ABBILDUNG 28: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 VON PROFIL 104 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHELTE LINIE: MITTELWERT FÜR HOR. 1 U. 2 ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 72 -
ABBILDUNG 29: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 VON PROFIL 109 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHELTE LINIE: MITTELWERT FÜR HOR. 1 U. 2 ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 73 -
ABBILDUNG 30: NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TM) IN HORIZONT 1 UND 2 VON PROFIL 125 ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN ROT GESTRICHELTE LINIE: MITTELWERT FÜR HOR. 1 U. 2 ÜBER ALLE „NULL“-PROBEN.....	- 73 -
ABBILDUNG 31: BEZIEHUNG ZWISCHEN DEM PH-WERT UND DEM NATRIUM- BZW. CALCIUM-GEHALT (MG/KG TM) IM AMMONIUMNITRAT-EXTRAKT (ALLE TERMINE UND STANDORTE).....	- 75 -
ABBILDUNG 32: NATRIUMGEHALTE BODEN UND CHLORIDGEHALTE BLÄTTER.....	- 78 -
ABBILDUNG 33: NATRIUMGEHALTE DER BODENPROBEN 10-50 CM TIEFE.....	- 79 -
ABBILDUNG 34: CHLORIDGEHALTE DER BODENPROBEN 10-50 CM TIEFE.....	- 81 -
ABBILDUNG 35: CHLORIDGEHALTE IN BLÄTTERN.....	- 83 -
ABBILDUNG 36: BLATTSCHÄDIGUNGEN.....	- 87 -
ABBILDUNG 37: DATENBLATT VORSCHÄDEN.....	- 89 -
ABBILDUNG 38: BLATTSCHÄDEN IM JAHRESVERLAUF.....	- 90 -
ABBILDUNG 39: DATENBLATT BAUMSCHÄDEN BEZOGEN AUF ALTERSSTUFEN.....	- 91 -
ABBILDUNG 40: BAUMSCHÄDEN BEZOGEN AUF STREUSTUFEN.....	- 92 -
ABBILDUNG 41: BODENTYPEN IM STRAßENBEGLEITGRÜN.....	- 94 -
ABBILDUNG 42: HUMOSE SCHICHTEN.....	- 95 -
ABBILDUNG 43: SUBSTRATE DES OBERBODENS.....	- 96 -
ABBILDUNG 44: ANTHROPOGENE BEIMENGENGEN.....	- 96 -
ABBILDUNG 45: BODENTYPEN MEHRSCICHTIGER SUBSTRATE.....	- 98 -
ABBILDUNG 46: SUBSTRATE MEHRSCICHTIGE PROFILE.....	- 98 -
ABBILDUNG 47: FEINBODENARTEN DER STRAßENRANDBÖDEN.....	- 99 -
ABBILDUNG 48: DIE GRUNDWASSERINHALTSSTOFFE CHLORID UND BOR IM VERGLEICH.....	- 101 -
ABBILDUNG 49: CHLORID-KONZENTRATION AN GRUNDWASSERMESSTELLEN IN DEN HAMBURGER GEESTGEBIETEN.....	- 102 -
ABBILDUNG 50: VERGLEICH VON CHLORID- UND BOR-KONZENTRATIONEN AN GRUNDWASSERMESSTELLEN IN DEN HAMBURGER GEESTGEBIETEN.....	- 103 -
ABBILDUNG 51: CHLORID-KONZENTRATION AN GRUNDWASSERMESSTELLEN IN DEN HAMBURGER GEESTGEBIETEN (BEREINIGTE DATEN).....	- 104 -
ABBILDUNG 52: CHLORID-KONZENTRATION AN GRUNDWASSERMESSTELLEN IN DEN HAMBURGER GEESTGEBIETEN IM 100 M-KORRIDOR UM VERKEHRSWEGE MIT WINTERDIENST.....	- 105 -
ABBILDUNG 53: CHLORID-KONZENTRATION AN GRUNDWASSERMESSTELLEN IN DEN HAMBURGER GEESTGEBIETEN AUßERHALB DES 100 M-KORRIDORS UM VERKEHRSWEGE MIT WINTERDIENST.....	- 106 -
ABBILDUNG 54: VERGLEICH DER TEILDATENSÄTZE IM UND AUßERHALB DES 100 M-KORRIDORS UM VERKEHRSWEGE MIT WINTERDIENST.....	- 107 -
ABBILDUNG 55: STRAßEN IM AUßENBEREICH.....	- 109 -
ABBILDUNG 56: MITTELSTREIFEN.....	- 109 -
ABBILDUNG 57: INNERSTÄDTISCHER STRAßENRAND.....	- 110 -
ABBILDUNG 58: SONDERSTANDORTE.....	- 110 -
ABBILDUNG 59: ID-1 GAMMERWEG.....	- 111 -
ABBILDUNG 60: NATRIUMBELASTUNG BODENABSCHNITTE ID-1, ID-68.....	- 112 -
ABBILDUNG 61: SALZFRACHT ID-1.....	- 112 -

ABBILDUNG 62: NATRIUMBELASTUNG BODENABSCHNITTE ID-2, ID-52	- 114 -
ABBILDUNG 63: EINZELBAUMSTANDORTE NATRIUMBELASTUNG BODEN ID-2, ID-52	- 114 -
ABBILDUNG 64: EINZELBAUMSTANDORTE CHLORIDBELASTUNG BLÄTTER ID-2, ID-52	- 114 -
ABBILDUNG 65: SALZFRACHT ID-2, ID-52	- 115 -
ABBILDUNG 66: NATRIUMBELASTUNG BODENABSCHNITT ID-35, ID-82.....	- 118 -
ABBILDUNG 67: EINZELBAUMSTANDORTE NATRIUMBELASTUNG BODEN ID-35, ID-82A.....	- 118 -
ABBILDUNG 68: EINZELBAUMSTANDORTE CHLORIDBELASTUNG BLÄTTER ID-35, ID-82A.....	- 119 -
ABBILDUNG 69: SALZFRACHT ID-35, ID-82A	- 119 -
ABBILDUNG 70: NATRIUMGEHALTE BODEN ID-32, 2. BAUMREIHE	- 119 -
ABBILDUNG 71: EINZELBAUMSTANDORTE ID-82B, CHLORIDGEHALTE-BLÄTTER	- 120 -
ABBILDUNG 72: DATENBLATT ID-18 OSDORFER WEG.....	- 122 -
ABBILDUNG 73: DATENBLATT ID-41 BRACKSTRASSE.....	- 124 -
ABBILDUNG 74: DATENBLATT ID-53 AN DER STERNWARTE	- 127 -
ABBILDUNG 75: ID-5, ID-6 MITTELSTREIFEN.....	- 128 -
ABBILDUNG 76: ID-69 STANDORT MIT GRABENENTWÄSSERUNG	- 131 -
ABBILDUNG 77: ID-67 UND ID-78	- 133 -
ABBILDUNG 78: DATENBLATT ID-125 UND ID-115 MARNITZSTRASSE.....	- 136 -
ABBILDUNG 79: DATENBLATT ID-123 NEUER WEG	- 138 -
ABBILDUNG 80: DATENBLATT ID-116 UND ID-118 RITTERSTRASSE	- 141 -
ABBILDUNG 81: DATENBLATT ID-104 UND ID-105 SONNENWEG	- 143 -
ABBILDUNG 82: ENTWICKLUNG DER STREUMENGEN GESAMT HAMBURG (QUELLE SRH).....	- 145 -
ABBILDUNG 83: MITTELWERTE UND KONFIDENZBEREICHE (95 % - NIVEAU) DER NATRIUM-GEHALTE (2:1-ELUAT, MG/KG TROCKENMASSE (TM)) DER BEIDEN BODENHORIZONTE ZU DEN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN, DIFFERENZIERT FÜR „SALZ“(○)- UND „NULL“(▽)- STANDORTE (SIEHE KAPITEL 4.2)	- 147 -
ABBILDUNG 84: FRÜHJAHRSWERTE DER MITTLEREN SALZBELASTUNG DER STRAßENABSCHNITTE NACH STREUSTUFEN DIFFERENZIERT (NATRIUM IM AMMONIUMNITRAT-EXTRAKT, MG/KG TM).....	- 148 -
ABBILDUNG 85: NATRIUM UND CHLORIDGEHALTE BODEN 10-50 CM TIEFE (EINZELBAUMUNTERSUCHUNG)....	- 149 -
ABBILDUNG 86: BLATTGEHALTE CHLORID	- 150 -
ABBILDUNG 87: BLATTTRANDNEKROSE AHORN	- 151 -
ABBILDUNG 88: DIE BEZIEHUNG ZWISCHEN BODEN- UND BLATTGEHALTEN, BAUMARTSPEZIFISCH DIFFERENZIERT .	151 -
ABBILDUNG 89: BAUMSCHÄDEN NACH STREUSTUFEN UND BAUMART DIFFERENZIERT.....	- 152 -

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: CL- UND NA-GEHALTE IN BLÄTTERN VON STRAßENBÄUMEN EINIGER STÄDTE	- 22 -
TABELLE 2: VERGLEICHSSTANDORTE	- 28 -
TABELLE 3: STANDORTE DER STREUSTUFE I.....	- 29 -
TABELLE 4: STANDORTE DER STREUSTUFE II.....	- 30 -
TABELLE 5: STANDORTE MIT EINZELBAUMANALYSE	- 30 -
TABELLE 6: STANDORTE MIT TERRESTRISCHER BAUMVITALITÄTSKONTROLLE.....	- 31 -
TABELLE 7: NIEDERSCHLAGSMENGEN JAN, FEB, MÄRZ.....	- 43 -
TABELLE 8: STATISTISCHE ECKDATEN FÜR DEN GESAMTEN DATENSATZ (N=1341) ÜBER ALLE STANDORTE, HORIZONTE UND TERMINE	- 46 -
TABELLE 9: QUOTIENTEN DER PERZENTILE (TAB. 9) DER NA-, K-, MG- UND CA-GEHALTE IM AMMONIUMNITRAT-EXTRAKT ZU DENEN IM 2:1-ELUAT	- 47 -
TABELLE 10: MEDIANE UND MITTELWERTE DER „NULL“- UND „SALZ“-STANDORTE (ALLE PROBEN).....	- 50 -
TABELLE 11: MITTELWERTE DER „NULL“- UND „SALZ“-STANDORTE (ALLE PROBEN, MIT UND OHNE AUSREIßER*) ..	51 -

TABELLE 12: MITTELWERTE IN DEN HORIZONTEN DER „SALZ“- UND „NULL“-STANDORTE (ÜBER ALLE TERMINE)-	54
TABELLE 13: MITTELWERTE VON NA_EF, CL_EF UND ELEKTR. LEITF. IN DEN HORIZONTEN DER „SALZ“- UND „NULL“-STANDORTE ZU DEN EINZELNEN UNTERSUCHUNGSTERMINEN.....	55
TABELLE 14: SALZ-PARAMETER IM 1. HORIZONT DER „NULL“-STANDORTE: MITTELWERTE DER 7 „NULL“-PROFILE, GESAMT-MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN (OHNE AUSREIßER-ELIMINIERUNG) (EINHEITEN DER PARAMETER SIEHE TAB. 2).....	63
TABELLE 15: CLUSTER-ANALYSE (TWOSTEP) FÜR NA_EF IN DER KATEGORIE PROFIL, HORIZONT 1, „SALZ“-STANDORTE.....	67
TABELLE 16 PERZENTILE UND MAXIMALER GEHALT AN NATRIUM, CHLORID UND NaCl (KOCHSALZ) IM OBEREN HORIZONT DER „SALZ“-STANDORTE.....	77
TABELLE 17: ZUSAMMENFASSUNG VON FÄLLEN NATRIUMGEHALTE BODEN.....	80
TABELLE 18: LUFA-RICHTWERTE FÜR Na-GEHALTE (CaCl ₂ -EXTRAKTION).....	80
TABELLE 19: BESCHREIBENDE STATISTIK DER BODENABSCHNITTUNTERSUCHUNGEN DER NATRIUMGEHALTE IM FRÜHJAHR (NATRIUMGEHALT IM AMMONIUMNITRAT-EXTRAKT, MG/KG TM).....	81
TABELLE 20: BESCHREIBENDE STATISTIK CHLORIDGEHALTE BODEN (EINZELBAUMUNTERSUCHUNG).....	82
TABELLE 21: BLATTGEHALTE VERGLEICHSWERTE STREUSTUFE 0.....	84
TABELLE 22: BESCHREIBENDE STATISTIK DER CHLORIDGEHALTE IN BLATTPROBEN STREUSTUFE 1.....	84
TABELLE 23: BESCHREIBENDE STATISTIK DER CHLORIDGEHALTE IN BLATTPROBEN STREUSTUFE 2.....	85
TABELLE 24: Na- UND CL-GEHALTE (% TM) IN BLÄTTERN VON <i>TILIA CORDATA</i>	85
TABELLE 25. LAGERUNGSDICHTEN.....	97
TABELLE 26: SUBSTRATE EINSCHICHTIGE STANDORTE.....	97
TABELLE 27: BODENTYPEN EINSCHICHTIGE STANDORTE.....	97
TABELLE 28: WITTERUNGSVERLÄUFE DWD STATION FUHLSBÜTTEL.....	145
TABELLE 29: MEDIANE DER SALZGEHALTE NACH STREUSTUFEN DIFFERENZIIERT IM FRÜHJAHRVERGLEICH..	148

II Anhang I: Standort Handbuch Streusalzmonitoring

Im Anhang I dieses Berichtes sind die Untersuchungsstandorte dokumentiert.



III Anhang II: Dokumentation der Analysendaten



Im Anhang II sind die Analysendaten der Labormessungen dokumentiert.