

Wettbewerbsjahr: **2018**
Bundesland: **Niedersachsen**
Sparte: **Jugend forscht**
Fachgebiet: **Geo- und Raumwissenschaften**
Projektbetreuer: **Dr. Katja Steinmetz, Amandus-Abendroth-Gymnasium**
Dierk Müller, Amandus-Abendroth-Gymnasium
Erstellungsort des Projekts: **Amandus-Abendroth-Gymnasium, 27474 Cuxhaven (Gymnasium)**
Patentanmeldung: **nein**
Arbeiten mit Tieren: **nein**
Projektnummer: **152005**
Zul. hochgeladen: **15.01.2018 22:02**
Name Regionalw.: **Emden**

Projekttitel: **Untersuchung des Salzeintrags durch Regen und Wind von der Nordsee ins Binnenland**

1. Teilnehmer

Vorname: **Christoph Joris**
Name: **Geest**
Geb.-Datum: **16.12.2002**
E-Mail: **christoph.j.geest@gmail.com**
Schule/Betrieb/Uni: **Amandus-Abendroth-Gymnasium (Gymnasium)**

Kurzfassung:

Sowohl in Cuxhaven als auch in vielen anderen Landkreisen und Städten ist bei Schneefall im Winter das Streuen mit Salz verboten, aufgrund der aggressiven Eigenschaften des Stoffes, die sich auf die Vegetation negativ ausüben, das Grundwasser verschmutzen etc.. Doch was ist mit Küstenstädten wie Cuxhaven, die direkt am Meer gelegen sind? Wird nicht über Niederschlag ganzjährig Salz aus z. B. der Nordsee in küstennahe Regionen getragen, was die Pflanzen und Böden also ohnehin belastet?

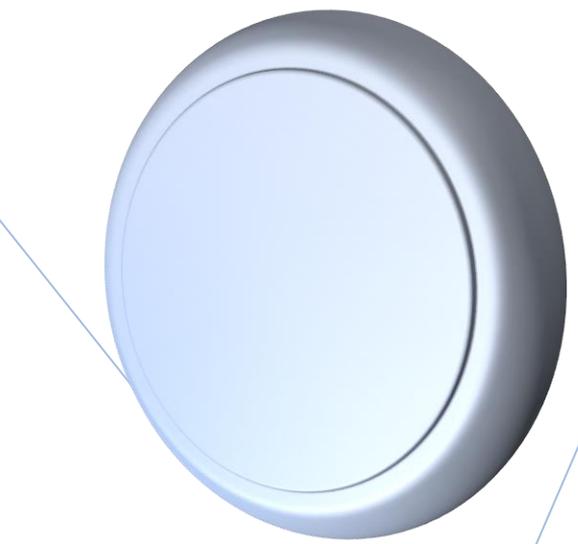
Um den Einfluss der Küstennähe auf den Salzgehalt im Regenwasser zu beurteilen, wurden vier Stationen in immer höherem Abstand zur Küste aufgestellt, wobei die maximale um die 90 km beträgt. Mithilfe von vor Verunreinigung des Regenwassers schützenden Auffangbehältern können bei jedem Regenguss Wasserproben genommen werden, deren Salinität dann per Leitfähigkeitsmessung herausgefunden und verglichen wird. Auch Bodenproben aus direkter Nähe der Stationen werden im Hinblick auf ihre Salinität untersucht.

Untersuchung des Salzeintrags durch Regen und Wind von der Nordsee ins Binnenland

Christoph Geest

Vogelsand 44, 27476 Cuxhaven, christoph.j.geest@gmail.com

**Jugend forscht Regionalwettbewerb, Sparte: Geo & Raum
15.01.2018**



Inhaltsverzeichnis

1 Abstract.....	S. 1
2 Einleitung.....	S. 3
3 Material und Methoden.....	S. 5
3.1 Positionen der Probenahmestandorte.....	S. 5
3.2 Organisation der Probenahme.....	S. 5
3.3 Regenwasser-Probenahme.....	S. 5
3.4 Messung der Leitfähigkeit der Wasserproben.....	S. 6
3.5 Bodenprobenahme.....	S. 6
3.6 Aufbereitung der Bodenproben.....	S.7
3.7 Messung der Leitfähigkeit der Bodenproben.....	S. 7
4 Ergebnisse.....	S. 7
4.1 Leitfähigkeitswerte Regenwasser.....	S. 7
4.2 Leitfähigkeitswerte aufgeschlammte Bodenproben.....	S. 9
5 Diskussion/Auswertung.....	S. 11
5.1 Eintrag von Salz über das Regenwasser von der Küste ins Binnenland.....	S. 11
5.2 Eintrag von Salz in den Boden von der Küste ins Binnenland.....	S. 13
6 Schlussfolgerung.....	S. 16
7 Literaturangaben.....	S. 17

1 Abstract/(Kurzzusammenfassung)

Sowohl in Cuxhaven als auch in vielen anderen Landkreisen und Städten ist bei Schneefall im Winter das Streuen mit Salz nicht erlaubt, aufgrund der aggressiven Eigenschaften des Stoffes, die sich auf die Vegetation negativ ausüben, das Grundwasser verschmutzen etc.. Doch was ist mit Küstenstädten wie Cuxhaven, die direkt am Meer gelegen sind? Wird nicht der Niederschlag durch Phänomene wie *Sea spray* ganzjährig mit Salz angereichert und dieses Salz aus z. B. der Nordsee in küstennahe Regionen des Binnenlands getragen, was Pflanzen und Böden also ohnehin belastet? Um den Einfluss der Küstennähe und der auf Regengebiete wirkenden Windrichtungen auf den Salzgehalt im Regenwasser zu beurteilen, wurden vier Stationen in immer höherem Abstand zur Küste aufgestellt, wobei die maximale um die 90 km betrug. Mithilfe von vor Verunreinigung des Regenwassers schützenden Auffangbehältern konnten bei jedem Regenereignis Wasserproben genommen werden, deren Salinität dann per Leitfähigkeitsmessung bestimmt und verglichen wurde. Auch Bodenproben aus direkter Nähe der Stationen wurden im Hinblick auf ihre Salinität untersucht. Es zeigte sich ein höherer Salzgehalt in den küstennahen Standorten Cuxhaven und Bremerhaven und geringere Werte in den küstenferneren, binnenländischen Standorten Wingst und Bremen. Der Salzeintrag war am höchsten bei Wind aus nördlichen Richtungen und am niedrigsten bei Wind aus südlichen Richtungen. Bodenproben der beiden küstennahen Standorte zeigten zudem einen höheren

Salzgehalt als die der beiden küstenferneren. Somit konnte die Hypothese des Salzeintrags von der Nordsee in Richtung Binnenland bestätigt werden.

2 Einleitung

Es ist Winter. In der ganzen Stadt liegt Schnee, auch vor der eigenen Haustür. Man hat wenig Zeit und möchte ihn schnell beseitigen, auch um seiner Pflicht als Bürger nachzugehen und sein Grundstück von z. B. verkehrsbehinderndem Schnee freizuhalten. Und auf dem Bürgersteig direkt vor der Haustür hat sich auch noch eine rutschige Eisschicht gebildet. Nun Sand oder Kiew draufschütten, warten, bis das Eis geschmolzen ist und der ganze Dreck vor der Haustüre beseitigt werden muss? Und auch noch Schnee schippen? Mangels Zeit und Willenskraft wirft man einfach eine große Menge Streusalz vor's Haus. Schnell haben sich beide Probleme gelöst.

Sowohl im Landkreis Cuxhaven als auch in vielen Bundesländern ist es allerdings nicht erlaubt, Schnee und Glätte im Winter mit Streusalz zu beseitigen, es sei denn in Spezialfällen. Die Gründe für diese Vorschriften werden im Gesetzestext, der eher eine Vorschrift als eine Begründung darstellt, nicht wirklich ausformuliert:

„Zur Beseitigung von Eis und Schnee darf **Streusalz nur a) in Ausnahmefällen**, wenn mit anderen Mitteln und zumutbarem Aufwand die Glätte nicht ausreichend beseitigt werden kann, und b) an Gehwegen einschl. gemeinsamer Rad- und Gehwege, Treppen, Rampen, Brückenauf- oder abgängen, starken Gefälle- oder Steigungsstrecken oder ähnlichen Gehwegabschnitten verwendet werden. Im **Bereich von Bäumen, Hecken und straßenbegleitendem Grün darf nicht mit Streusalz gestreut** und salzhaltiger Schnee nicht gelagert werden.“

- Verordnung über Art, Maß und räumliche Ausdehnung der Straßenreinigung in der Samtgemeinde Am Dobrock vom 17. März 2016, §2 Abs. (7); geltend auch für andere Teile des Landkreises Cuxhaven

Doch es lässt sich herauslesen, dass Streusalz nur in Einzelfällen zu benutzen ist (an anderer Stelle wird die Nutzung von Sand und Kies gegen Glätte empfohlen). Nicht zu diesen gehören Areale, in denen verschiedenste Formen von Pflanzen wachsen. Eine nachvollziehbare Argumentation, da Übermengen an Salz, wenn von Pflanzen über den Boden aufgenommen, die Proteinbildung in ihnen verhindern. Dies führt dazu, dass sie absterben. Ebenfalls kann Grundwasserversalzung eine Folge übermäßiger Salznutzung sein [2.1]. Auch würden Hundepfoten und sogar Beton durch das Streusalz angegriffen, so zu lesen in einem Artikel der Zeitung Die Welt aus dem Jahre 2013. [2.2]

„Handelsübliches Streusalz besteht zu großen Teilen aus Kochsalz oder Steinsalz (NaCl – Natriumchlorid). Als natürliche Begleitstoffe können bis zu einigen Prozent unlösliche Bestandteile wie Ton und andere Salze wie Calciumsulfat (Ca^{2+}), Magnesiumsulfat (Mg^{2+}) bzw. Gips enthalten sein. Manchmal werden als spezielle Auftaumittel wie Calciumchlorid (CaCl_2), Magnesiumchlorid (MgCl_2) oder das Mineral Kainit hinzugefügt.“, [2.3] so die Auskunft der Web-Seite salz247.de, die sich rigoros mit dem Thema Salz beschäftigt.

Besonders in küstennahen Regionen wie eben Cuxhaven findet allerdings aufgrund der direkten Nähe zum (aus Salzwasser bestehenden) Meer ein kontinuierlicher Eintrag von Salz in das Grundwasser und damit auch die Böden statt. Dieser Vorgang heißt Salzwasserintrusion [2.4] und wird durch den Dichteunterschied des Salzwassers im Meer und des Süßwassers im Grundwasser verursacht. Der Druckunterschied verursacht einen Fluss vom weniger dichten bis zum dichteren Medium bis zum Ausgleich.

Sogar die Luft enthält in Meernähe weitaus mehr Salz als im Binnenland, aufgrund des sogenannten *Sea Spray*-Aerosols. Es entsteht in zwei Fällen:

1. Beim Platzen von Wasserblasen auf der -oberfläche gelangen Kleinst-Partikel Salzwasser in die Luft, die dann vom Wind ins Binnenland getragen werden.

2. Weisen Niederschläge, die aus nördlicher Windrichtung kommen, eine höhere Salinität auf als solche aus anderen Windrichtungen?
3. Inwieweit wird das Salz ins Binnenland getragen?
4. Hat dieser Salzeintrag einen Einfluss auf den Salzgehalt des Bodens von Küstenregionen und küstennahem Binnenland?

Wirkt nämlich das gesamte Jahr über eine **weitaus** höhere Salzmenge als in z. B. Baden-Württemberg, dann könnte das einmaligen, stärkeren Salzgebrauch im Winter relativieren.

3. Material & Methoden

3.1 Positionen der Probenahmestandorte

Um beide Aspekte der Fragestellung abzudecken, wurden 4 Regenwasserauffangstationen in direkter Nähe der Städte Cuxhaven, Bremerhaven, Bremen und der Gemeinde Wingst aufgestellt. Die



Abbildung 3.1: Positionen der Regenwasserauffangstationen (Google.earth) [3.1]

ungefähren Positionen sind in Abbildung 3.1, einem genordneten Satellitenbild, als gelbe Stecknadeln ersichtlich. In Cuxhaven befindet sich die küstennächste Station, die ob ihrer Position sowohl von Westwind, als auch Nord- und Nord-West-Wind vom Meer aus direkt betroffen wäre, wenn die Hypothese sich bewahrheitet, dass Windrichtungen Einfluss auf den Salzgehalt im Regenwasser hätten. Als zweitküstennächste Station ist die in Bremerhaven zu nennen, welche vor allem von Nord-West- und Westwind beeinflusst würde. Darauf folgt die Station in der Wingst, die nicht mehr in direkter Küstennähe liegt und ebenfalls vor allem von West- und u. U. noch von Nord-West-Wind Einfluss von Meer-Seite bekommt. Die letzte Station in Bremen liegt im Vergleich in höchster Entfernung zur Küste, im Binnenland. Den höchsten Einfluss könnte, wenn überhaupt, Nord- bis Nord-West-Wind auf die Werte ihrer Proben ausüben.

3.2 Organisation der Probenahme

Wurde Niederschlag aus bestimmten Windrichtungen vorhergesagt, dann konnten mit den Stationen sofort Wasserproben genommen werden. Es war nötig, Informationen zur Niederschlagswahrscheinlichkeit vorab einzuholen, um einen ähnlichen Probenumfang aus unterschiedlichen Windrichtungen herzustellen. Daten zur Vorhersage von Regengebieten und ihrer Bewegung wurden dem Regenradar von wetteronline.de entnommen [3.2], solche zur



Abbildung 3.2: Aufbau der Wasserauffangstation

Windgeschwindigkeit von der offiziellen Web-Seite des Deutschen Wetterdienstes [3.3].

Die Utensilien und Anweisungen zur Probenahme erhielten neben dem Initiator des Projekts jeweils drei Lehrkräfte, die, wie ersterer, den heimischen Garten dafür nutzten.

3.3: Regenwasser-Probenahme

Die Wasserauffangstationen wurden auf eine Art und Weise gebaut, die eine unkomplizierte, schnelle Probenahme mit Einsetzen eines Fläschchens in den die Auffangvorrichtung tragenden Bottich ermöglichte. Die Auffangvorrichtung selbst bestand größtenteils aus

einem Trichter, dessen Höchstdurchmesser mit einem Hundekratzschutz erweitert wurde, um die Menge an aufgefangenem Regenwasser zu erhöhen. Im Trichter befand sich ebenfalls ein Gitter, das grobe Verunreinigungen des Probenwassers verhinderte. Die Auffangvorrichtung mit dem Auffangbehälter verband ein Plastikrohr (s. Abb. 3.2).

3.4 Messung der Leitfähigkeit der Wasserproben

Um dem Defekt unseres Salinitätsmessgerätes zu begegnen, wurde die Stromstärke der Proben gemessen, da die Höhe dieser bei immer gleicher Spannung von 3 Volt direkt mit der des Salinität des Wassers in Verbindung steht. Dies rührt daher, dass mit mehr Salz(en) bzw. Ionenverbindungen mehr Ionen als Ladungsträger vorhanden sind. Somit sinkt der Widerstand, der sich als Quotient von Spannung und Stromstärke errechnen lässt, mit der Höhe der gemessenen Stromstärke. Mit sinkendem Widerstand steigt wiederum die Leitfähigkeit.

Um die folglich benötigten Werte zur Stromstärke und Spannung zu ermitteln, wurden ein Voltmeter

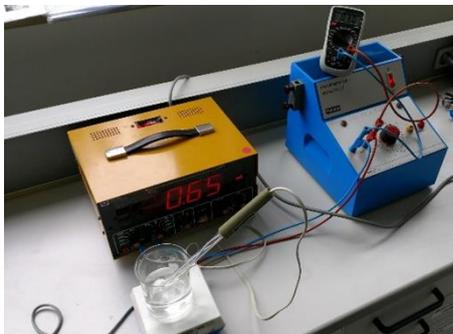


Abbildung 3.3: Messung der Leitfähigkeit – Versuchsaufbau

der Firma Voltcraft, Modell VC150, und ein Ampere- bzw. PH-meter der Firma impa Electronics, Modell D2223, an eine Elektrode Multitip 230 und eine Stromquelle mitsamt Experimentier-Schaltpult Mavo 30 der Firma Mauer mit einer Höchstleistung von 220 V und 50 Hz angeschlossen, mit welchem die benötigte Spannung reguliert wurde. Die Geräte stammten bis auf das Amperemeter aus Deutschland, jenes stammte aus Dänemark. Alle sind Eigentum des Landkreises Cuxhavens.

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3.3 zu sehen. Hierbei ist anzumerken, dass im Gegensatz zu herkömmlichen Salinitätsmessmethoden die Elektrode nicht unter

Wechselspannung stand, dazu später mehr.

Mithilfe des Voltmeters wurde sichergestellt, dass sich die Spannung im Stromkreis während der Messungen nicht veränderte. Die Stromstärke wurde in der Einheit mA gemessen. Da allerdings alle Werte unter 1 Milliampere lagen, wurde zur Steigerung der Messwertgenauigkeit die Anzeige auf drei Stellen hinter dem Komma eingestellt. Das Voltmeter zeigte ganze, gerundete Volt an. Während der Messung wurden die einzelnen Wasserproben mit der Elektrode vorsichtig gemischt, um eine möglichst homogene Salzverteilung zu erhalten. Zwischen den Messungen wurde wiederum die Elektrode sorgfältig mit destilliertem Wasser und Papier gereinigt, wobei darauf geachtet wurde, dass vor der nächsten Messung der angezeigte mA-Wert wieder 0 betrug. Die Messungen wurden alle bei einer Temperatur von ca. 18°C durchgeführt. Nach jeder Messung wurden die Probenbehälter mit destilliertem Wasser ausgespült, um Salzreste vor der nächsten Probenahme zu entfernen.

Beim Messen der letzten 5 Proben stand ein nicht defektes Salinitätsmessgerät, das WinLab Dataline Conductivity Meter mit einer Standardleitfähigkeitselektrode und einer Zellkonstante von $K=0,549$, zur Verfügung. Es wurden sowohl die tatsächliche Leitfähigkeit in μS als auch die abgeleitete Leitfähigkeit des eigenen Versuchsaufbaus parallel gemessen.

3.5 Bodenprobenahme

Parallel zu den Stationen und Probefläschchen wurden an die Probennehmer luftdicht verschließbare Plastiktüten und durchlöcherter Konservendosen mit einem Volumen von 250 ml ausgeteilt.

Bei jeder Wasser-Probenahme wurde parallel mithilfe der Dose eine Probe Erdboden entnommen, indem sie in den Boden gerammt wurden. Die Dosen wurden durchlöcherter, um in der Dose enthaltener Luft dabei das Entweichen zu ermöglichen. Mithilfe der Bodenproben wurde geprüft, wie hoch der

Einfluss des Regenwassers auf den Salzgehalt des Bodens in geringer Tiefe (bis max. 12 cm) ist. Die Proben entstammen den Gärten der Probennehmer.

3.6 Aufbereitung der Bodenproben

Die Bodenproben wurden in luftdichten Tüten zum Messort in der Schule transportiert. Dort wurden sie in Bechergläser umgefüllt, deren Gewicht in Gramm zuvor auf zwei Stellen hinter dem Komma genau gemessen wurde. Mit dem Gewicht der Probe mitsamt des Glases ließ sich dann per Subtraktion das Gewicht der feuchten Bodenprobe ermitteln. Die umgefüllten Proben wurden entsprechend der Zeit, des Datums und des Ortes ihrer Erhebung beschriftet und mindestens eine Woche in einem Trockenschrank bei 40°C getrocknet. Mithilfe des Glasgewichts wurde dann das Trockengewicht der Probe ermittelt.

Die Trocken-Proben wurden alle in gleichem Maße aufgeschlämmt, d.h. jede mit der 2/3fachen Masse an Wasser ausgehend von ihrem eigenen Gewicht. Die genutzte Masse an Wasser unterschied sich dabei bei einigen Proben um bis zu 2 Gramm vom errechneten Wert. Aufgrund der großen Menge benötigten Wassers wurde Leitungswasser zum Aufschlännen verwendet, sein Leitfähigkeitswert lag bei 3V:0,62mA. Da dieses Wasser allerdings bei allen Proben genutzt wurde, sollte der Faktor bei Unterschieden zwischen den Proben sich nicht ändern. Da dieser Faktor einen höheren Stellwert zum tatsächlichen Salzgehalt der Bodenproben bei Beantwortung der Fragestellungen einnimmt, ist das also zu vernachlässigen. Von den Werten auf die tatsächliche Salinität zu schließen, ist deshalb aber nicht möglich.

3.7 Messung der Leitfähigkeit der Bodenproben

Die aufgeschlännten Bodenproben wurden mit demselben Versuchsaufbau untersucht, der schon bei den Wasserproben verwendet und beschrieben wurde (s. Abbildung 3.3). Allerdings war Rühren mit der Elektrode hier nicht möglich, da dies diese beschädigen oder allzu stark verunreinigen hätte können. Um eine ähnliche Erdmassenverteilung im Wasser-Erde-Gemisch herzustellen, wurde also mit einem Glasstab gerührt.

Da während des Rührens keine Messung möglich war, veränderten sich die Konzentrationsverhältnisse im Gemisch direkt nach dem Rühren wieder stark. Entsprechend der Dichte sammelte sich ein Großteil der nicht gelösten Erde am Boden des Gefäßes. Die sehr stark schwankenden Werte im Gemisch glichen sich in nur einer Hinsicht in jeder Probe: Der Tiefstwert an Leitfähigkeit befand sich am Boden des Becherglases. Teilweise war er niedriger als der des reinen Leitungswassers, das zum Aufschlännen genutzt wurde. Der Höchstwert ließ sich im obersten Bereich des Becherglases bestimmen, wo ein partikelfreies Erd-Wasser-Gemisch vorlag. Werte aus anderen Bereichen des Gemisches lagen bei den ersten 12 untersuchten Proben immer zwischen beiden Werten, weshalb später auf weitere Prüfung der dazwischenliegenden Ebenen weitestgehend (!) verzichtet wurde.

Letztlich wurde Mittelwert aus dem Höchstwert und dem Tiefstwert für die weitere Auswertung verwendet.

3.8 Datenauswertung

Zur Auswertung der Ergebnisse wurden die Versionen 2010 und 2016 des Tabellenkalkulationsprogrammes Microsoft Excel genutzt.

4. Ergebnisse

4.1 Leitfähigkeitswerte Regenwasser

4.1.1 Umfang der Probenahme

Die 56 gemessenen Regenwasserproben wurden im Zeitraum vom 18.11.2017 bis 14.12.2017 genommen. Es wurden insgesamt 14 Proben aus der Windrichtung Nordwesten, 24 aus der Windrichtung Westen, 17 aus der Windrichtung Süden und eine einzelne Probe aus der Windrichtung

Südwesten genommen. 13 Proben wurden in der Cuxhavener Station genommen, 22 in der Station Bremerhaven, 11 in der Wingst und 10 in der Bremer Station.

4.1.2 Höchst- und Tiefstwerte der Proben aller Stationen unter Einbezug der Windrichtung

Die Messwerte wurden der Einfachheit halber in mA angegeben, die noch in Widerstand umgerechnet werden müssten. Da allerdings ein höherer Stromstärkewert im Widerstand diesen verringert, ist eine gemessene höhere Stromstärke im Umkehrschluss ein Zeichen für höhere Leitfähigkeit. Deswegen wurde auf diese Umrechnung verzichtet.

Cuxhaven

Der höchste Wert konnte in Cuxhaven bei einer Probe vom 9.12.17 um 16:02 h bei Westwind gemessen werden. Er betrug 0,324 mA. Der niedrigste betrug 0,074 mA und konnte bei einer Probe vom 26.11.17 ebenfalls bei Westwind gemessen werden (Uhrzeit fehlend).

Bremerhaven

Der höchste Wert konnte in Bremerhaven am 19.11.17 um 8 Uhr bei Westwind gemessen werden und lag bei 0,370 mA. Der niedrigste betrug bei der Probe vom 12.12.17 um 17 Uhr bei Südwind 0,026 mA, der Niederschlag hatte die Form von Schneeregen. In Bremerhaven sind allgemein starke Schwankungen der Leitfähigkeitswerte zu verzeichnen.

Wingst

Der höchste Wert konnte in der Wingst bei einer Probe vom 20.11.17 von 16 Uhr bei Westwind gemessen werden und betrug 0,210 mA. Der niedrigste Wert betrug am 26.11.17 um 19 Uhr bei Westwind 0,029 mA.

Bremen

Der höchste Wert konnte in Bremen bei einer Probe vom 19.11.17 um 13 Uhr mit Nordwestwind gemessen werden. Er betrug 0,213 mA. Der niedrigste Wert von 0,029 mA wurde bei einer Probe vom 18.11.17 um 13 Uhr bei Nordwestwind gemessen.

4.1.3 Vergleich der Mittelwerte der Stromstärke der Wasserproben aus allen verfügbaren Windrichtungen aller Stationen

Ein Vergleich der mittleren Leitfähigkeiten der Regenwasserproben der verschiedenen Probenahmestellen zeigt, dass an allen vier Orten die Leitfähigkeit bei Südwind am geringsten ist, bei Nordwind am höchsten (Abb. 4.1). Die hohen Standardabweichungen verdeutlichen sehr hohe Schwankungen der Werte an jeder Probenahmestelle auch bei gleicher Windrichtung.

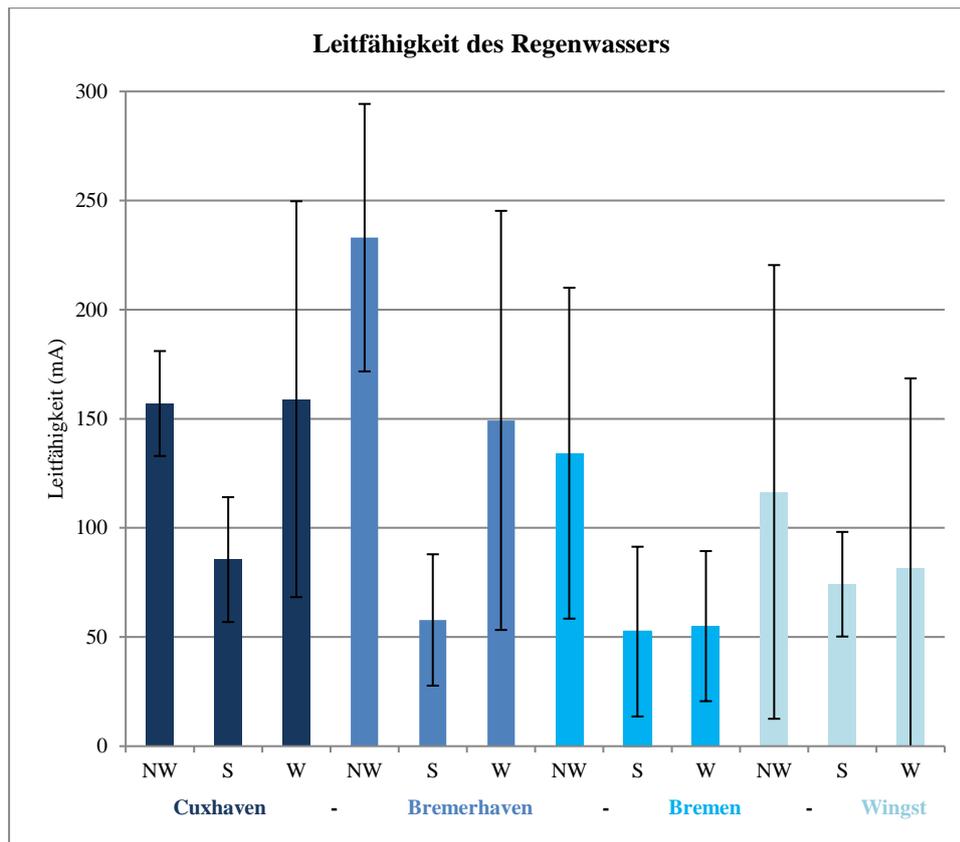


Abb. 4.1: Stromstärke in $0,1 \text{ mA}$ bei Anlegen von 3 V in Regenwasserproben aus Cuxhaven (dunkelblau, Bremerhaven (mittelblau), Bremen (türkis-blau) und Wingst (hellblau). Die Proben wurden bei unterschiedlichen Windrichtungen genommen: NW (nordwest), S (sü d), W (west), $MW \pm SD$, $n = 2-11$

4.2 Leitfähigkeitswerte aufgeschlammte Bodenproben

4.2.1 Umfang der Probenahme

Es wurden Bodenproben aus dem Zeitraum vom 18.11.2017 bis 14.12.2017 untersucht. Insgesamt wurden 43 Bodenproben genommen, womit sich zeigt, dass nicht zu jeder Wasserprobe eine Bodenprobe genommen wurde, was z. T. an mehrfacher Wasserprobenahme an einzelnen Tagen liegt, zu denen keine Bodenproben parallel genommen wurden.

Es wurden 10 Proben in direkter Nähe zur Cuxhavener, 15 in ebensolcher zur Bremerhavener, 11 in direkter Nähe zur Wingster und schließlich 7 Proben nahe der Bremer Station entnommen.

4.2.2 Höchst- und Tiefstwerte der Bodenproben aller Stationen unter Einbezug der Windrichtung und der Wassermenge in der Feuchtprobe

Cuxhaven

Die höchsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 23.11.2017, 16:30 Uhr, gemessen, auf die zur Zeit der Probenahme Südwind-Regen wirkte. Die Probe wog feucht $104,32 \text{ g}$, wobei der Wasseranteil $29,48 \text{ g}$ betrug. Die Messwerte schwankten zwischen $2,1 \text{ mA}$ und $3,14 \text{ mA}$.

Die niedrigsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 3.12.17, 11:41 Uhr, bei Westwind gemessen. Sie wog feucht $345,15 \text{ g}$, wobei der Wasseranteil $62,99 \text{ g}$ betrug. Die Messwerte schwankten zwischen $0,444 \text{ mA}$ und $0,818 \text{ mA}$.

Bremerhaven

Die höchsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 18.11.17, 16:00 Uhr, gemessen, auf die zur Zeit der Probenahme Westwind-Regen wirkte. Die Probe wog feucht 371,53 g, wobei der Wasseranteil 114,74 g betrug. Die Messwerte schwankten zwischen 0,895 mA und 1,017 mA.

Die niedrigsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 19.11.17, 16:30 Uhr, gemessen, auf die zur Zeit der Probenahme Nordwestwind-Regen wirkte. Die Probe wog feucht 270,47 g, wobei der Wasseranteil 88,51 g betrug. Die Messwerte schwankten zwischen 0,586 mA und 0,704 mA.

Wingst

Die höchsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 20.11.17, 16:00 Uhr, bei Westwind gemessen. Die Probe wog feucht 73,18 g, wobei der Wasseranteil 13,86 g betrug. Die Messwerte schwankten zwischen 0,644 mA und 0,851 mA.

Die niedrigsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 12.12.17, 16:00 Uhr, gemessen, auf die zur Zeit der Probenahme Südwind-Regen wirkte. Die Probe wog feucht 226,89 g, wobei der Wasseranteil 59,67 g betrug. Die Messwerte schwankten zwischen 0,436 mA und 0,471 mA.

Bremen

Die höchsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 21.11.17, 17:00 Uhr, bei Südwind gemessen. Die Probe wog feucht 238,04 g, wobei der Wasseranteil 89,14 g betrug. Die Messwerte schwankten zwischen 0,589 mA und 0,801 mA.

Die niedrigsten Stromstärkewerte wurden bei einer Probe vom 9.12.17, 19:00 Uhr, gemessen, auf die zur Zeit der Probenahme Westwind-Regen wirkte. Die Probe wog feucht 242,44 g, wobei der Wasseranteil 80,76 g betrug. Die Messwerte schwankten zwischen 0,337 mA und 0,45 mA.

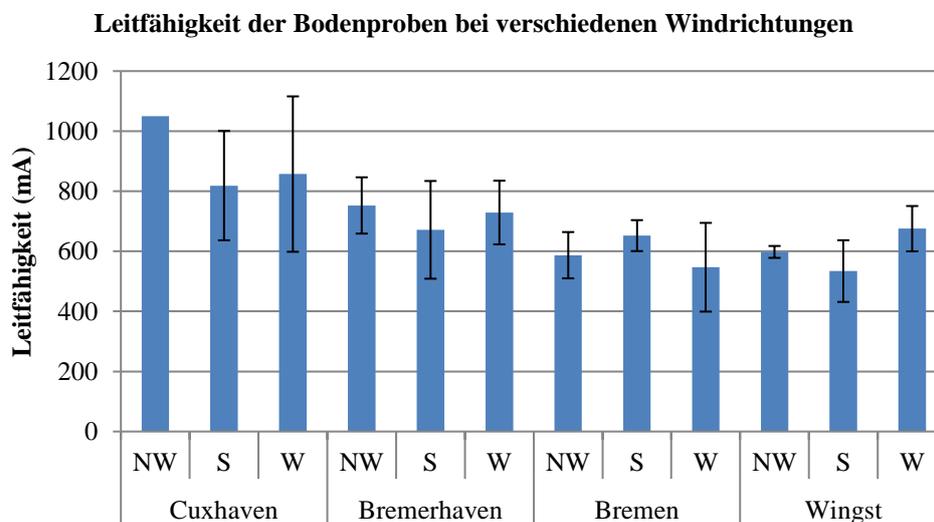


Abbildung 4.2: Vergleich der Leitfähigkeit der Bodenproben in 0,x mA bei unterschiedlichen Windrichtungen getrennt nach Station

Die Leitfähigkeiten der Bodenproben der verschiedenen Standorte zeigen keinen klaren Zusammenhang mit der Windrichtung (Abb.4.2). Generell schienen die Leitfähigkeitswerte und damit der Salzgehalt des Boden in Cuxhaven am höchsten, in Bremerhaven etwas niedriger und in Bremen und Wingst am geringsten (Abb. 4.2).

Aufgrund der Komplexität der Auswertung sind weitere Ergebnisse erst in den Diagrammen der Diskussion dargestellt.

5. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit sollte ermittelt werden, ob die Küstennähe und Windrichtung einen Einfluss auf den Salzgehalt im Regenwasser haben, wie sich dieser verhält, wie sich die zwei genannten Faktoren auf den Salzgehalt im Boden auswirken und inwieweit der durch *Sea spray* salzhaltige Regen ins Binnenland getragen wird.

5.1 Eintrag von Salz über das Regenwasser von der Küste ins Binnenland

5.1.1 Vergleich der Mittelwerte der Stromstärke der Wasserproben aus allen verfügbaren Windrichtungen aller Stationen

Die geringen Leitfähigkeiten der Regenwasserproben der verschiedenen Probenahmestellen (Abb. 4.1) bei Südwind und hohen Werte bei Nordwind (bzw. Nordwest) bestätigen die Hypothese, dass der von Nordseeseite kommende Regen mit Meersalz angereichert wird und durch den Wind an die Küsten verbracht wird. Dies wird zudem bestätigt durch das Ergebnis, dass die Leitfähigkeitswerte der weiter im Landesinneren genommenen Proben, aus Bremen und Wingst, generell niedriger sind, da der Salzeintrag mit der Entfernung zur Küste unwahrscheinlicher wird.

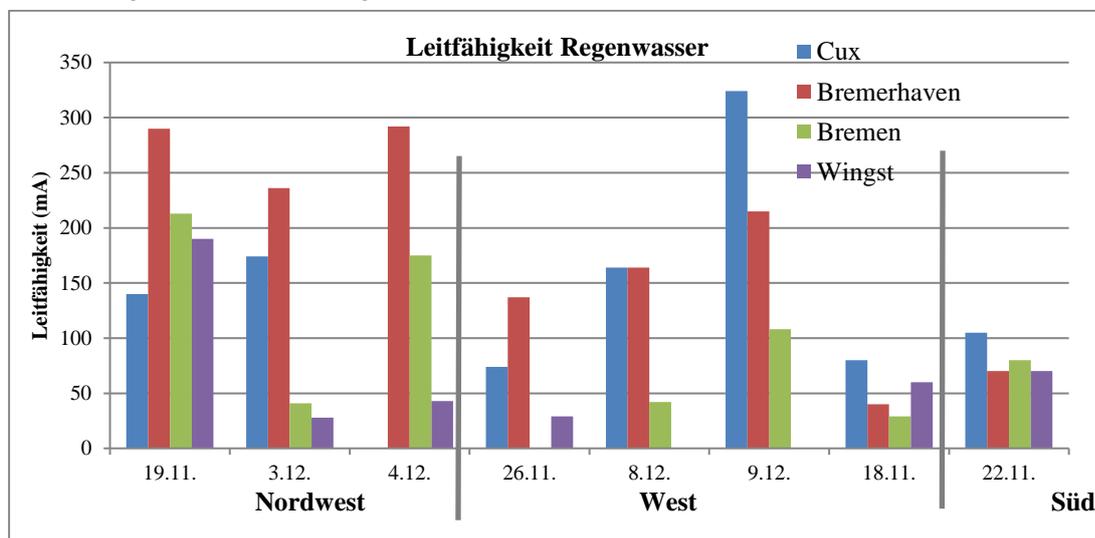


Abb. 5.1: Vergleich der Leitfähigkeit in 0,x mA bei Anlegen von 3 V in Regenwasserproben aus Cuxhaven (blau, Bremerhaven (rot), Bremen (grün) und Wingst (violett) an verschiedenen Tagen. Die Proben wurden bei unterschiedlichen Windrichtungen genommen.

Die Darstellung der Leitfähigkeit des Regenwassers der vier Probenahmestellen an verschiedenen Tagen bestätigt die generell niedrigen Werte, d.h. niedrigen Salzgehalte bei Südwind, sowie die generell höheren Werte in Proben der küstennahen Standorte Cuxhaven und Bremerhaven (Abb, 5.1).

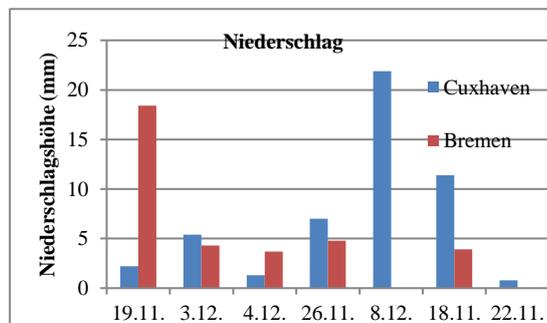
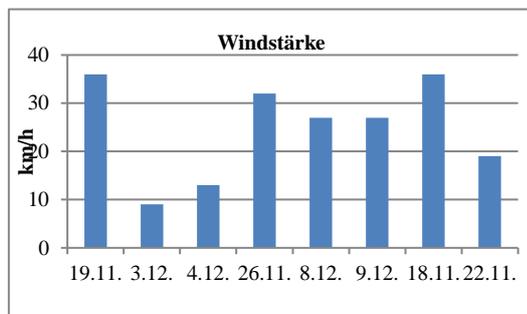


Abb. 5.2 (links): Vergleich der Windstärken in Cuxhaven bei Probenahme von Regenwasser an verschiedenen Tagen.

Abb. 5.3 (rechts) Vergleich der Niederschlagshöhen bei Probenahme an verschiedenen Tagen (Deutscher Wetterdienst [5.1]).

Generell konnten recht große Schwankungen der Leitfähigkeitswerte und damit des Salzgehalts des Regenwassers beobachtet werden, was an den großen Standardabweichungen erkennbar ist. Ursache dafür ist in einigen Fällen eine sehr niedrige Stichprobenzahl (z.B. $n = 2$ für Proben aus Wingst bei Nordwestwind, Abb. 4.1). Andererseits beruht der Wert für bei Westwind genommenen Proben aus Bremerhaven auf 11 Stichproben und weist trotz dieser hohen Zahl eine große Schwankungsbreite auf. Auch konnten bei Probenahmen an derselben Stelle am selben Tag bei gleicher Windrichtung große Unterschiede festgestellt werden, so am 4.12., als bei Nordwestwind in der in Bremerhaven um 8:00 h genommenen Probe 125 mA und um 16:30 h 292 mA bei Anlegen von 3V messbar waren. Eine mögliche Ursache für diese Schwankungen könnte in der Windstärke und/ oder in der jeweiligen Niederschlagsmenge liegen.

Dieser Vergleich verdeutlicht darüber hinaus, dass gerade bei Westwind die bereits beschriebenen Schwankungen der Werte besonders stark sind. Der Vergleich läßt außerdem erkennen, dass die Salzgehalte im Regenwasser ansteigen, wenn der Wind zwei Tage in Folge aus Nordwest (3.12./4.12.) oder West (8.12./9.12.) weht. Dies gilt auch für die küstenferneren Standorte Bremen und Wingst. Das zeigt, dass der Salzeintrag ins Landesinnere von der Nordsee unter konstanten Windverhältnissen zunimmt, weil die Wahrscheinlichkeit der Anreicherung der Regenwolken mit Salz durch *sea spray* ansteigt und die Wolken dann eine weitere Strecke ins Landesinnere transportiert werden können.

Betrachtet man die Windgeschwindigkeiten (Abb. 5.2), so sind sie für die bei Westwind genommenen Proben recht ähnlich, sie können also nicht die Ursache für die Schwankungen der Salzgehalte / Leitfähigkeiten sein. Auch bei Nordwestwind lässt sich keine Korrelation von Windstärke und Salzeintrag ins Landesinnere erkennen.

Es konnte keine Korrelation der gemessenen Leitfähigkeitswerte und der Niederschlagshöhe für die in Cuxhaven genommenen Proben festgestellt werden (nicht gezeigt, $n = 6$, $R^2 = 0,01225$ für einen linearen Zusammenhang). Die Niederschlagshöhen sind regional sehr unterschiedlich (Abb. 5.3), was die Untersuchung des Einflusses auf den Salzgehalt des Regenwassers sehr erschwert. Zudem stehen vom Deutschen Wetterdienst nur Informationen für die Orte Cuxhaven und Bremen zur Verfügung. Bei Betrachtung der Niederschlagsmengen in Cuxhaven an den verschiedenen Tagen (Abb. 5.3) lassen sich allerdings höhere Niederschläge für die drei Probenahme bei Westwind als bei den drei Probenahmen bei Nordwestwind. Das bedeutet, dass die Leitfähigkeitsunterschiede und damit der Salzeintrag bei Wind aus nördlichen Richtungen noch bedeutender sind als an den gemessenen Absolutwerten erkennbar.

5.1.2 Vergleich der Messdaten des eigenen Versuchsaufbaus mit denen eines Salinitätsmessgerätes

Die letzten 5 Proben der Station Wingst vom 3.12. bis 14.12 wurden, mit einem Salinitätsmessgerät parallel gemessen.

Datum	0,x mA		Leitfähigkeit in μS	
3.12.	28		15,9	
4.12.	43	154%	25	157%
12.12.	86	200%	49	196%
13.12.	45	-191%	27,5	-178%
14.12.	62	138%	35,4	129%

Tabelle 5.1: Messwerte des eigenen Versuchsaufbaus in 0,x mA bei einer Spannung von 3V denen eines Salinitätsmessgerätes in μS gegenübergestellt; in hellblau: Schwankungen zwischen aufeinanderfolgenden Werten in Prozent; gemessen wurden 5 Proben der Station Wingst; Negative Prozentwerte ergeben sich aus dem Abfall der Teilkurven (Abb. 5.3).

Beim Vergleich der Werte konnte nur der Faktor, mit denen sich die Messwerte der Proben untereinander unterschieden, verglichen werden, da in zwei verschiedenen Einheiten unterschiedlicher Größen gemessen wurde.

Beim Vergleich der prozentualen Unterschiede in diesem kleinen Messumfang zeigt sich: Die höchste Schwankung der Faktoren beträgt 13 % (Tab. 5.1, Abb. 5.4). Die Tatsache, dass das Salinitätsmessgerät auf eine Referenztemperatur von 25°C umrechnet, und die Messung mit dem eigenen Versuchsaufbau bei 18°C stattfand, könnte die Werteschwankungen größtenteils erklären. Die grundlegenden Änderungsfaktoren ähneln sich allerdings stark, sodass man eine Korrelation zwischen Höhe jeweils der Stromstärke im selbstermittelten Widerstand und der tatsächlichen Leitfähigkeit nicht mehr nur auf theoretischer Basis vermuten kann.

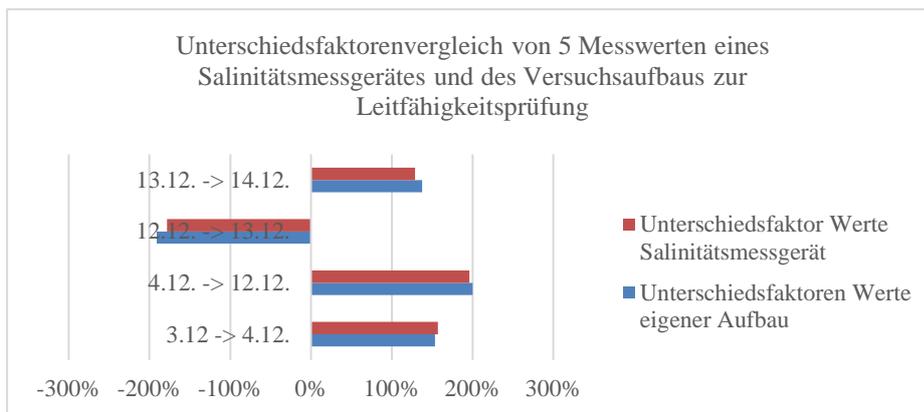


Abbildung 5.4: Vergleich der prozentualen Unterschiede von Messwert zu Messwert des Salinitätsmessgerätes (rot) und des eigenen Versuchsaufbaus (blau) aller Proben der Station Wingst im Zeitraum vom 3.12.17 bis 14.12.17

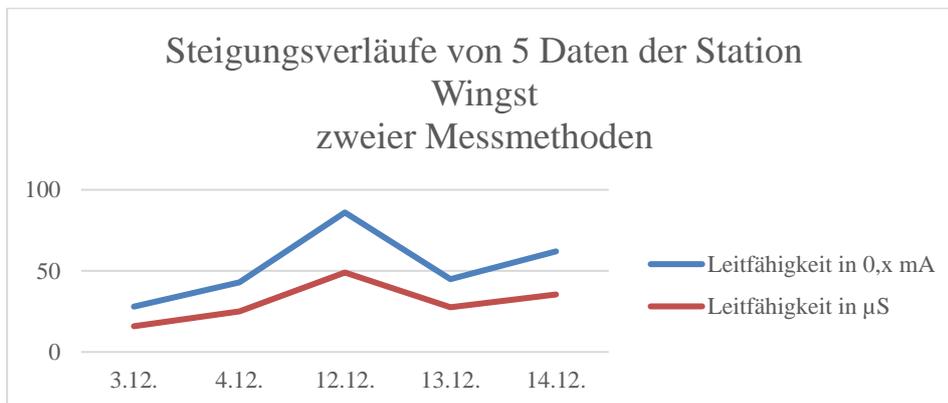


Abbildung 5.5: Vergleich der Steigungsverläufe zwischen Messwerten der Station Wingst vom 3.12.17 bis 14.12.17 eines Salinitätsmessgerätes in µS (rot) und des eigenen Versuchsaufbaus in 0,x mA (blau)

Um diese weiterhin nachzuprüfen, wird bis zum Regionalwettbewerb eine Kalibrierkurve mit selbsthergestellten Natriumchloridlösungen unterschiedlicher Konzentration erstellt.

5.2 Eintrag von Salz in den Boden von der Küste ins Binnenland

5.2.1 Prüfung der Korrelation zwischen Leitfähigkeit des Regenwassers und des Bodens

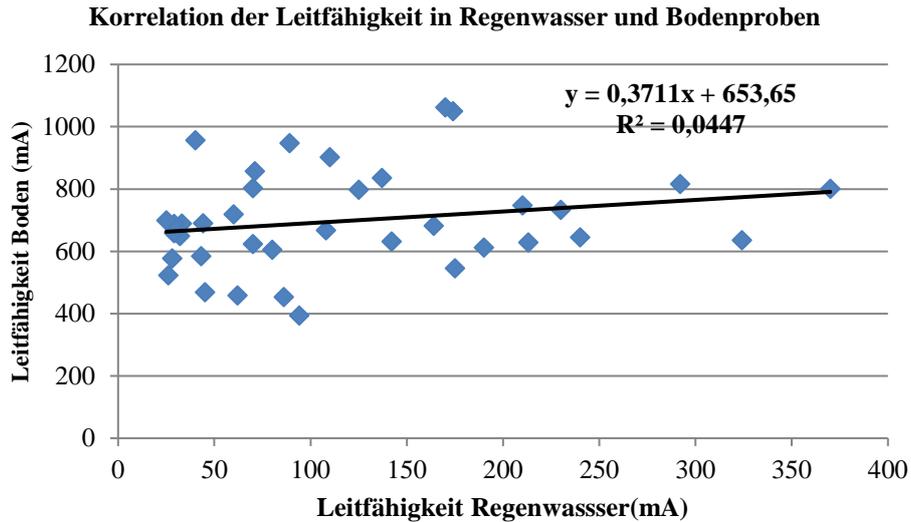


Abbildung 5.6: Korrelation der Leitfähigkeit der Regenwasserproben in 0,x mA mit der der Bodenproben in 0,xmA

Anhand der Abb. 5.6 lässt sich erkennen, dass es keine Korrelation der Leitfähigkeit der Regenwasserproben mit denen der Bodenproben gibt, die jeweils am gleichen Tag genommen wurden. Dies wird durch die statistische Auswertung für einen linearen Zusammenhang mit einem $R^2 = 0,0447$ (d.h. die Werte werden nur zu 4,47 % durch die Funktion beschrieben) bestätigt.

Eine Untersuchung der Korrelation dieser Parameter getrennt nach den jeweiligen Probestandorten (nicht gezeigt) oder ein Vergleich der Werte der verschiedenen Standorte an den einzelnen Messtagen (Abb. 5.7) liefert dasselbe Ergebnis.

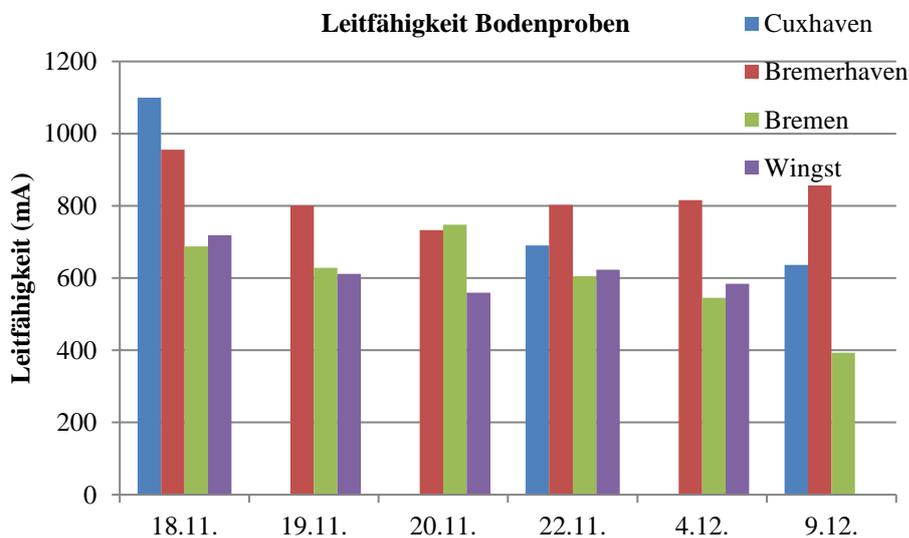


Abbildung 5.7: Leitfähigkeit der Bodenproben in 0,x an 6 unterschiedlichen Messtagen aus den 4 Stationen Cuxhaven (blau), Bremerhaven (rot), Bremen (grün) und Wingst (violett) in mA

Entsprechend der fehlenden Korrelation von Leitfähigkeit des Regenwassers und der Bodenproben (Abb. 5.6) zeigte sich im Gegensatz zu den Regenwasserproben auch kein klarer Zusammenhang der durchschnittlichen Leitfähigkeit aufgeschlämmter Bodenproben der vier Probenahmestellen bei unterschiedlichen Windrichtungen (Abb. 4.2).

Diese Ergebnisse bedeuten jedoch nicht zwangsläufig, dass der Salzeintrag von der Nordsee ins Binnenland keinen Einfluss auf den Salzgehalt im Boden hat: Die deutlich geringeren

Standardabweichungen (Abb. 4.2) der Werte zeigen wesentlich geringere Schwankungen zwischen den Leitfähigkeiten der Bodenproben als der Regenwasserproben. Vermutlich sind die Salzverhältnisse im Boden eher Langzeitfolgen der Klimaverhältnisse eines Standorts und ändern sich weniger akut mit den aktuellen Wetterverhältnissen. Daher wurden die mittleren Leitfähigkeiten aus allen Messungen einer Probenahmestelle bestimmt (Abb. 5.78)

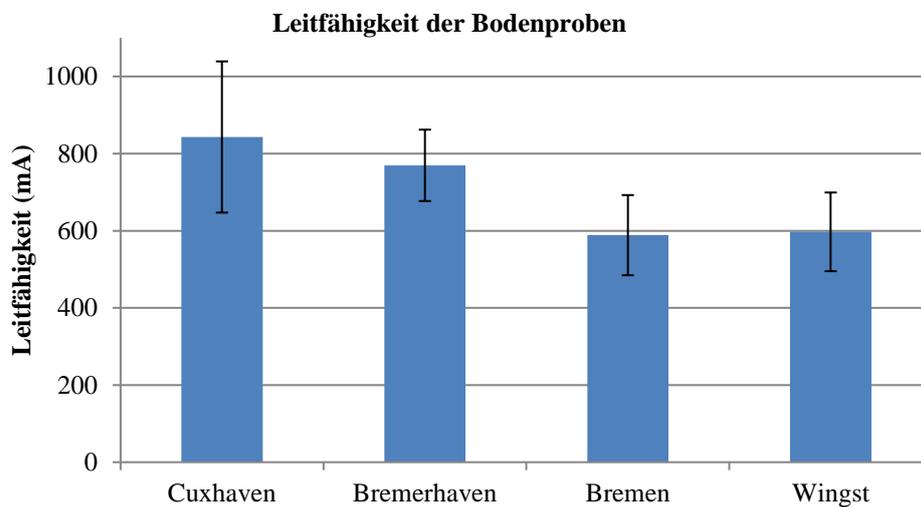


Abbildung 5.8: Mittelwerte der Leitfähigkeit aller Proben 4 einzelner Stationen in 0,x mA bei Anlegen von 3 V mit eingefügter Standardabweichung

Dabei zeigt sich (Abb. 5.8), dass die Werte und damit die Salzgehalte im Boden von Cuxhaven über Bremerhaven nach Bremen oder nach Wingst mit der Entfernung von der Küste abnehmen. Dies lässt sich trotz der fehlenden direkten Korrelation (Abb. 5.6) durchaus mit einem Salzeintrag von der Nordseeküste in Richtung Binnenland über den Regen oder auch über die Luft begründen. Somit kann die ursprünglich aufgestellte Hypothese (S. 3 - 4) als bestätigt betrachtet werden.

Boden besteht in der beprobten Tiefe hauptsächlich aus zersetztem Laub und sonstigem in Abbau befindlichen organischem Material, sowie verwitterten Mineralien, die hauptsächlich von tieferen Gesteinsschichten durch langsame Zersetzung durch einsickerndes Wasser abgetragen werden [5.2]. Aufgrund der unterschiedlichen Langzeitauswirkungen haben Böden, die derartig voneinander entfernt sind, wie die beprobten, Charakteristika entwickelt, die u. a. ebendiese Effekte widerspiegeln. Diese wurden nicht erfasst. So sind für den Salzgehalt einer Bodenprobe auch die grundlegende Zusammensetzung des Bodens und die Ladung der Bodenpartikel und damit Anziehungskräfte und Adhäsionsfähigkeit für Ionen von Salzen verantwortlich. Diese wurden in diesem Projekt nicht mit einbezogen. Eine Bestimmung der Bodentypen aller Standorte ist daher für die Zukunft geplant.

Auch ist anzumerken, dass der Boden nur in durchschnittlich bis zu 10 cm Tiefe beprobt wurde. Die Möglichkeit, dass das Wasser und zugehörige Salz erst in tiefere Erdschichten an Bodenpartikeln haften, wo sie keinen Einfluss mehr auf die Messwerte hätten, kann nicht ausgeschlossen werden. Ebenso könnte eine Versickerung ins Grundwasser dazu führen, dass ein Teil des Wassers in der Tiefe in weite Entfernung „verspült“ wird. Im Rahmen der Fragestellung ist die Untersuchung der obersten Schichten allerdings sinnvoll, da sie unmittelbar für die Versorgung der Wurzeln kleinerer Pflanzen, z. B. Gräsern und Kräutern, verantwortlich sind.

Letztendlich stellt sich dennoch die Frage, ob der erwiesene Einfluss der Küstennähe auf den Salzgehalt im Regenwasser groß genug ist, um Salznutzung im Winter zu relativieren. Zusätzlich

muss hinterfragt werden, ob es überhaupt relativierend ist, wenn ohnehin schon das gesamte Jahr eine große Menge Salz auf Pflanzen in Küstennähe wirkt und damit das Salz vielleicht schon bei geringeren Mengen schadet als im Binnenland. Hierzu müsste u. U. untersucht werden, ob eine Anpassung der Pflanzen als Reaktion auf die sie umgebenden Bedingungen stattfindet.

Die gemessenen Werte beweisen zwar eine starke Steigerung des Salzgehaltes bei Einfluss durch Windrichtung und Nähe zum Meer, aber die Messwerte lassen vermuten, dass der Salzgehalt immer noch nicht stark genug ist, um die Auswirkungen zu haben, die eine Relativierung des Salzstreuens auslösen würden. Es handelt sich bei weitem noch nicht um Salzwasser, was auch die Messwerte bestätigen.

Dabei müsste allerdings auch die Häufigkeit des Streuens einberechnet werden, u. A., weil es an der Küste aufgrund des maritimen, gemilderten Klimas vielleicht seltener schneit. Ist diese dementsprechend niedrig, dann könnte der kumulative Effekt des natürlich eingebrachten Salzes (nicht nur übers Regenwasser, sondern auch über Salzwasserintrusion und *Sea Spray*) außerhalb der Wintermonate den einmaligen, verstärkten Eingriff des Menschen tatsächlich relativieren.

6. Schlussfolgerung

Insgesamt hat sich herausgestellt, dass die Küstennähe einen signifikanten Einfluss auf den Salzgehalt im Regenwasser hat, wobei mit höherer Entfernung von der Küste der Salzgehalt sinkt und umgekehrt. Auch ist der Einfluss des Windes auf den Salzgehalt erwiesen, d. h. von Meerrichtung kommende Regengebiete, im Fall des Projektes aus Nord-West, weisen eine höhere Leitfähigkeit auf, als solche aus anderen Himmelsrichtungen. Allerdings konnte aufgrund des zu geringen Probenumfangs bei beiden Umständen keine feste Regel für Ausmaße der genannten Effekte abgeleitet werden.

Ein Einfluss der Entfernung zur Küste und besonders ein kurzfristiger Einfluss des Regens auf den Salzgehalt des Bodens in Küstennähe konnte nicht gänzlich festgestellt werden, aber zumindest in puncto Küstennähe konnten starke Indizien für einen allgemein höheren Salzgehalt von Böden in Abhängigkeit ihrer Nähe zur Küste gefunden werden. Diese lassen sich aber nicht eindeutig auf die Effekte des Regenwassers zurückführen, da sie auch die Folge grundlegenderer, längerfristiger Bedingungen sein könnten.

Mithilfe der nun vorhandenen Mittel, allen voran der Stationen, wäre eine umfassendere, langfristige Probenahme möglich, um etwaige Regelmäßigkeiten oder saisonale Änderungen der Effekte aufzudecken, die hier nachgewiesen wurden. Auch könnte untersucht werden, inwieweit Pflanzen sich den Salzbedingungen in Küstennähe anpassen, was Luft, Böden und Wasser angeht, unter Umständen auch, um den Aspekt der Relativierung des Salzstreuens besser abschätzen zu können. Die Effekte von Salzwasserintrusion und *Sea Spray* könnten für ein allgemeines Profil von Salzwassereintrag ins Land ebenfalls noch weiter untersucht werden. Grundsätzlich lassen aber bereits die vorhandenen Daten ein Profil des Salzeintrags von der Küste ins Binnenland erkennen, die aufgestellte Hypothese wurde bestätigt.

Literaturangaben:**Einleitung:****[2.1] Folgen von Streusalz für das Grundwasser:**

<https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/zu-welchen-schaeden-fuehrt-streusalz-in-gewaessern>, zuletzt abgerufen am 12.01.18, 9:10

[2.2] Folgen von Salz für Beton usw.:

<https://www.welt.de/regionales/stuttgart/article112979936/Beim-Streuen-von-Salz-droht-ein-Bussgeld.html>, zuletzt abgerufen am 12.01.18, 9:07; herausgegeben von der Deutschen Presse-Agentur

[2.3] Zusammensetzung von Streusalz:

<https://salz247.de/wirtschaft/streusalz>, Ersteller der Website: Martin Kaltwasser, zuletzt abgerufen am 14.12.2018

[2.4] Salzwasserintrusion:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Salzwasserintrusion>

[2.5] Sea Spray-Foto & -Informationen:

Präsentation „ABC's to Oceanography“, Leanne Hazard & Fabrice Veron 2007

[2.6] Bildquelle Wasserkreislauf:

<https://www.umwelt.niedersachsen.de/assets/image/736/134748>; Website des Niedersächs. Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Ersteller unbekannt

[2.7] Bericht Radiobremen „Nordsee-Salz sorgt für Stromausfälle in Bremerhaven“:

<https://www.butenunbinnen.de/nachrichten/wissen/brownout-bremerhaven100.html>; Autor: Boris Hellmer; letzte Änderung vorgenommen am 1. November 2017; zuletzt abgerufen am 15.11.2018 um 13:53

[2.8] Datenerhebung des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz zum Eintrag von Fremdstoffen (jährliche Mittelwerte):

<https://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/niederschlagswasser/depositionsmessstellen/belastungsschwerpunkte/38533.html>

Material & Methoden:**[3.1] Google Earth mit markierten Positionen der Städte & Gemeinden der einzelnen Stationen:**

https://earth.google.com/web/@53.52625551,9.59983447,55.16101574a,304721.21071782d,35y,-0h,0t,0r/data=CkgaRhJACiQweDQ3YjE1ODAzMDc2NWRmMzM6MHg0MjZjZjc3NmMwMDZIMD AZ7R9aJVTgSkAh_48SIkAqBldpbmdzdBgCIAE; zuletzt abgerufen am 15.01.2017, 20:05 Uhr

[3.2] Regengebietenbewegungsprognosen: <https://www.wetteronline.de/regenradar>, zuletzt abgerufen am 14.01.2017**[3.3] Daten zur Windstärke im Raum Cuxhaven/Bremen vom DWD:**

https://www.dwd.de/DE/wetter/vorhersage_aktuell/niedersachsen_bremen/vhs_nib_node.html#doc397946bodyText1; zuletzt abgerufen am 15.01.2017 um 14:30 Uhr

Diskussion:**[5.1] Gesamtmengen Niederschlag in mm der Station Cuxhaven vom DWD:**

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klimadatendeutschland.html;jsessionid=A3E4597F90767CC7CB51ECA3D31556A5.live21062?nn=16102>; zuletzt abgerufen am 15.01.2018

[5.2] Zusammensetzung Boden:

Biologie-Lehrbuch für 7. und 8. Klassen in Niedersachsen (G8) „Natura“ von Roman Reme und Christian Steinert