

Institut für Pflanzenernährung  
Fachgebiet: Rhizosphäre und Düngung  
Universität Hohenheim  
Prof. Dr. V. Römheld

**Müssen Johannisbeeren chloridfrei gedüngt werden?**  
**-Studien zur Aufnahme und Verlagerung von Chlorid durch**  
**verschiedene Johannisbeerarten**

Dissertationsschrift  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Agrarfakultät der Universität Hohenheim, Stuttgart

vorgelegt von  
Dipl. Ing. agr. Otto-Heinrich Blank  
aus Düsseldorf

Februar 2009

## **Blank, Otto-Heinrich**

Müssen Johannisbeeren chloridfrei gedüngt werden?

- Studien zur Aufnahme und Verlagerung von Chlorid  
durch verschiedene Johannisbeerarten

D 100

Dissertation der Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung, 2009

Dissertationsschrift der Universität Hohenheim, Agrarfakultät  
zur Erlangung des Doktorgrades der Agrarwissenschaften (Dr. sc. agr.)

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1. Betreuer und 1. Gutachter             | Prof. Dr. V. Römheld |
| 2. 2. Gutachter                          | Prof. Dr. J. Wünsche |
| 3. Weiterer Prüfer                       | Prof. Dr. R. Blaich  |
| 4. Studiendekan und Prüfungsvorsitzender | Prof. Dr. W. Bessei  |

Datum der mündlichen Prüfung: 30. Juni 2009

## Prolog

Reading papers nowadays we might get the impression that nothing worthwhile was done before 1990, and that plants other than *Arabidopsis* don't matter, anyway!

Emanuel Epstein

Januar 2006

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. <u>EINFÜHRUNG</u>	7
2. <u>LITERATURÜBERSICHT</u>	9
2.1. <u>Vorbemerkungen</u>	9
2.2. <u>Vorkommen von Chlorid</u>	12
2.3. <u>Essenzialität und Funktionen von Chlorid in Pflanzen</u>	13
2.4. <u>Nützliche Wirkungen von Chlorid</u>	16
2.5. <u>Toxizität von Chlorid</u>	18
2.6. <u>Genotypische Unterschiede in der Chloridempfindlichkeit</u>	20
2.6.1 Allgemein	20
2.6.2 Chloridempfindlichkeit von Beerenobst und Weinrebe	22
3. <u>VERSUCHSFRAGEN UND ARBEITSHYPOTHESEN</u>	31
4. <u>VERSUCHSANSÄTZE UND BESCHREIBUNG DER VERSUCHSSTANDORTE</u>	33
4.1. <u>Versuchsansätze</u>	33
4.1.1 Kurzeitaufnahmeversuche mit radioaktiv markiertem Chlorid ( $^{36}\text{Cl}$ ) und Natrium ( $^{22}\text{Na}$ )	33
4.1.2 Nährlösungsversuche	34
4.1.3 Gefäßversuch zur Aufnahme von Chlorid und Natrium bei Johannisbeeren	34
4.1.4 Mehrjähriger Feldversuch zur Aufnahme von Chlorid und Cadmium in Blättern und Früchten unterschiedlicher <i>Ribes</i> - Arten	35
4.1.5 Feldversuch zur Aufnahme von Chlorid (und Cadmium) in Erdbeerpflanzen	36
4.1.6 Bodensäulenversuch zur Chloridverlagerung unter Freiland- bedingungen	38
4.2. <u>Beschreibung der Versuchsstandorte</u>	39
4.2.1 Stuttgart-Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung	39
4.2.2 Bavendorf, Kompetenzzentrum (KOB)	39
4.2.3 Horb/Neckar Betrieb Walter Maier, 72160 Horb-Berta	42
4.2.4 Düsseldorf-Wittlaer, Wittlaerer Hof	42
5. <u>MATERIAL UND METHODEN (ALLGEMEIN)</u>	43
5.1. <u>Material</u>	43
5.2. <u>Methoden</u>	45
5.2.1 Bodenanalysen	45

	<u>Seite</u>
5.2.2 Pflanzenanalyse (Blätter, Holz)	47
5.2.3 Fruchtpresssaft-Analytik	48
6. <u>KURZZEITAUFNAHMEVERSUCHE MIT RADIOAKTIV MARKIERTEM CHLORID (<sup>36</sup>Cl) UND NATRIUM (<sup>22</sup>Na) BEI AUSGEWÄHLTEN RIBES-ARTEN</u>	52
6.1. <u>Problematik</u>	52
6.2. <u>Versuchsfragen und Arbeitshypothesen</u>	52
6.3. <u>Versuchsansatz und Versuchsdurchführung</u>	53
6.3.1 Versuchsbedingungen	53
6.3.2 Probenaufarbeitung	54
6.4. <u>Material und Methoden</u>	55
6.4.1 Pflanzenmaterial	55
6.4.2 Nährlösungszusammensetzung	55
6.4.3 Angebot radioaktiv markiertem NaCl ( <sup>36</sup> Cl bzw. <sup>22</sup> Na)	55
6.4.4 Ernte der Johannisbeerpflanzen am Versuchsende	55
6.5. <u>Ergebnisse</u>	56
6.5.1 Ergebnisse Radioisotopenversuch Nr. 1	56
6.5.2 Radioisotopenversuch Nr. 2	56
6.5.3 Radioisotopenversuch Nr. 3	58
6.6. <u>Diskussion</u>	58
6.7. <u>Ausblick</u>	59
7. <u>NÄHRLÖSUNGSVERSUCH ZUR AUFNAHME UND VERLAGERUNG VON CHLORID UND NATRIUM BEI UNTERSCHIEDLICHEN RIBES-ARTEN</u>	60
7.1. <u>Problematik</u>	60
7.2. <u>Versuchsfragen und Arbeitshypothesen</u>	60
7.3. <u>Versuchsansatz und Versuchsdurchführung</u>	61
7.3.1 Versuchsansatz	61
7.3.2 Versuchsdurchführung	61
7.4. <u>Material und Methoden</u>	62
7.5. <u>Ergebnisse</u>	62
7.5.1 Visuelle Beobachtungen	62
7.5.2 Trockengewichte	62
7.5.3 Mineralstoffgehalte	64
7.6. <u>Diskussion</u>	69
7.7. <u>Ausblick</u>	70

	<u>Seite</u>
8. <u>GEFÄßVERSUCH ZUR AUFNAHME VON CHLORID UND NATRIUM BEI UNTERSCHIEDLICHEN <i>RIBES</i>-ARTEN (HOHENHEIM)</u>	71
8.1. <u>Problematik</u>	71
8.2. <u>Versuchsfragen und Arbeitshypothesen</u>	71
8.3. <u>Versuchsansatz und Versuchsdurchführung</u>	72
8.4. <u>Material und Methoden</u>	77
8.5. <u>Ergebnisse</u>	77
8.5.1 Visuelle Bonitur (Toxizitätssymptome)	77
8.5.2 Allgemeines Pflanzenwachstum	82
8.5.3 Chloridkonzentrationen in Blättern und Holz	84
8.5.4 Natriumkonzentrationen in Blättern und Holz	86
8.5.5 Kaliumkonzentrationen in Blättern und Holz	87
8.6. <u>Diskussion</u>	89
8.7. <u>Ausblick</u>	90
9. <u>MEHRJÄHRIGER FELDVERSUCH ZUR AUFNAHME VON CHLORID IN BLÄTTERN UND FRÜCHTEN UNTER-SCHIEDLICHER <i>RIBES</i>-ARTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ZEITPUNKT UND HÖHE DER CHLORIDGABE</u>	91
9.1. <u>Problematik</u>	91
9.2. <u>Versuchsfragen und Arbeitshypothesen</u>	91
9.3. <u>Versuchsansatz und Versuchsdurchführung</u>	93
9.4. <u>Material und Methoden</u>	96
9.5. <u>Ergebnisse</u>	97
9.5.1 Visuelle Bewertung des Wachstums der Johannisbeer- pflanzen und deren Phänologie	97
9.5.2 Chlorid im Bodenprofil	97
9.5.3 Mineralstoffe in Blättern verschiedener Ernten	100
9.5.4 Qualitätskriterien geernteter Beeren	104
9.6. <u>Diskussion</u>	112
9.7. <u>Ausblick</u>	113
10. <u>FELDVERSUCHE ZUR AUFNAHME VON CHLORID IN ERDBEERPFLANZEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ZEITPUNKT UND HÖHE DER CHLORIDGABE</u>	115
10.1. <u>Problematik</u>	115

10.2.	<u>Versuchsfragen und Arbeitshypothesen</u>	115
		<u>Seite</u>
10.3.	<u>Versuchsansatz und Versuchsdurchführung</u>	115
10.4.	<u>Material und Methoden</u>	116
10.5.	<u>Ergebnisse</u>	117
10.5.1	Visuelle Bewertung der Erdbeerpflanzen	117
10.5.2	Chloridverteilung im Bodenprofil	125
10.5.3	Chloridkonzentrationen in den Erdbeerblättern	127
10.6.	<u>Diskussion</u>	129
10.7.	<u>Ausblick</u>	129
11.	<u>BODENSÄULENVERSUCH ZUR CHLORIDVER- LAGERUNG UNTER FREILANDBEDINGUNGEN</u>	131
11.1.	<u>Problematik</u>	131
11.2.	<u>Versuchsfragen und Arbeitshypothesen</u>	131
11.3.	<u>Versuchsansatz und Versuchsdurchführung</u>	131
11.4.	<u>Material und Methoden</u>	132
11.5.	<u>Ergebnisse</u>	132
11.6.	<u>Diskussion</u>	135
11.7.	<u>Ausblick</u>	136
12.	<u>EINFLUSS VON ERHÖHTER CHLORID-DÜNGUNG AUF AUFNAHME UND VERLAGERUNG VON CADMIUM IN JOHANNISBEEREN</u>	137
12.1.	<u>Problematik</u>	137
12.2.	<u>Versuchsfragen und Arbeitshypothesen</u>	137
12.3.	<u>Versuchsansatz und Versuchsdurchführung</u>	138
12.4.	<u>Material und Methoden</u>	138
12.5.	<u>Ergebnisse</u>	138
12.5.1	Einfluss von Cl und Na auf die Cd-Löslichkeit in Böden	138
12.5.2	Einfluss von steigendem NaCl-Angebot auf die Cd-Kon- zentration in Johannisbeerblättern	139
12.6.	<u>Diskussion</u>	144
12.7.	<u>Ausblick</u>	145
13.	<u>SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK</u>	147
13.1.	<u>Chlorid-Problematik der Johannisbeeren</u>	147
13.2.	<u>Chlorid-Toxizitätsgrenzwerte für Johannisbeeren</u>	147
13.3.	<u>Mögliche Mechanismen für unterschiedliche Chloridempfindlichkeit</u>	147
13.4.	<u>Mögliche Bedeutung von Natrium bei der unterschiedlichen</u>	148

<u>Chloridempfindlichkeit der Johannisbeeren</u>		<u>Seite</u>
13.5.	<u>Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit einer Chloridtoxizität im praktischen Johannisbeeranbau?</u>	148
13.6.	<u>Mögliche Wechselbeziehungen zwischen Chlorid und Fruchtqualität</u>	149
13.6.1	Chloridgehalte in Johannisbeerfrüchten	149
13.6.2	Wechselwirkungen zwischen Chlorid im Boden und der Cadmiumaufnahme	150
13.6.3	Bedeutung von Zink für die Fruchtqualität	150
13.7.	<u>Müssen die Johannisbeeren in der Praxis weiterhin chloridfrei gedüngt werden?</u>	151
14.	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	152
15.	<u>SUMMARY</u>	155
16.	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	158
17.	<u>TABELLARISCHER LEBENSLAUF</u>	164
18.	<u>DANKSAGUNGEN</u>	165

Liste von häufig benutzten Abkürzungen:

AFS	scheinbar freier Wurzelraum
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
Cl	Chlorid, Chlor
Cl <sub>2</sub>	Chlorgas
k.A.	keine Angaben
KOB	Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee, 88213 Ravensburg-Bavendorf
KS	Kaliumsulfat
K60	60 er Kali (Kali und Salz, GmbH)
K40	40 er Kali (Kali und Salz GmbH)
mM	Konzentrationsangabe
mmol	Mengenangabe
Na	Natrium
n.b.	nicht bestimmt
n.n.	nicht nachweisbar
o.A.	ohne Angaben
S.S.	Sommer-Semester

## 1. EINFÜHRUNG

In allen deutsch- und englischsprachigen Obstbau- und Pflanzenernährungslehrbüchern werden Johannisbeerkulturen (*Ribes*-Arten) und hier vor allem die Rote und Weiße Johannisbeere (*Ribes rubrum* L.) im Gegensatz zur Schwarzen Johannisbeere (*Ribes nigrum* L.) als besonders chloridempfindlich beschrieben (Friedrich und Fischer, 2000; Marschner, 1995; Mengel und Kirkby, 1987; Keipert, 1981; Hilkenbäumer, 1964; Bergmann, 1993).

Bei all diesen Feststellungen werden jedoch keinerlei Angaben zur experimentellen Grundlage dieser Kategorisierung der Johannisbeere als chloridempfindliche Kultur gemacht. Andererseits hat diese Charakterisierung zur Folge, dass im Gartenbau kleinfruchtige Obstarten wie Johannisbeeren, Himbeeren, Stachelbeeren, Brombeeren und Erdbeeren ausschließlich mit Kalium in Form des teuren  $K_2SO_4$  anstatt mit billigem KCl gedüngt werden (Finck, 1992; Schilling, 2000). Es gibt jedoch Hinweise, dass chloridhaltige Dünger sehr wohl bei chloridempfindlichen Kulturen in humiden Klimaten wie in Deutschland oder Westeuropa angewandt werden können, sofern sie im Herbst ausgebracht werden. Diesem Hinweis liegt die Annahme zu Grunde, dass das angeblich schädigende Chlorid über den Winter in tiefere, von den Johannisbeerwurzeln nicht mehr erreichbare Bodenschichten verlagert wird und somit während der folgenden Vegetationsperiode nicht mehr aufgenommen werden kann (Mengel and Kirkby, 1987).

Da die experimentellen Grundlagen für die Charakterisierung der Johannisbeere und der Erdbeere als chloridempfindliche Kulturarten in den oben zitierten Lehrbüchern nicht nachvollziehbar sind, sollte in der vorliegenden Promotionsarbeit mit Hilfe einer Literaturrecherche sowie verschiedenen Vegetationsversuchen das grundsätzliche Chloridaufnahmevermögen bei verschiedenen Johannisbeerarten und der Erdbeere und deren vermeintliche Chloridempfindlichkeit untersucht werden. Besonders sollte hier auf die Praxisrelevanz wie z.B. die mögliche Chloridauswaschung während der vegetationsarmen Winterzeit nach einer Herbstaubbringung als eine mögliche Vermeidungsstrategie im Vergleich zu einer Frühjahrsdüngung geachtet werden. Dies sollte z.B. auch durch einen Vergleich von einem Gefäßversuch unter kontrollierten Bedingungen (überdachte Vegetationshalle ohne Auswaschung) mit einem Freilandversuch mit Chloridauswaschungsmöglichkeiten (Versuchsstation Bavendorf; KOB) ermöglicht werden.

Diese Literaturrecherche gemeinsam mit den durchzuführenden Vegetationsversuchen sollten es ermöglichen, die Klassifizierung der

## Kapitel 1. Einführung

Johannisbeerarten als chloridempfindliche Kultur sowie die z. Zt. übliche Empfehlung chloridfreier Kaliumdünger zu verifizieren bzw. notfalls auch zu falsifizieren.

## 2. LITERATURÜBERSICHT

### 2.1. Vorbemerkungen

Bei der Anwendung von chloridhaltigen Düngern muss man sich zunächst darüber im Klaren sein, dass das Element Chlor (Cl) für alle Pflanzen lebensnotwendig ist. Jedoch ist in einem Punkt hierbei besondere Beachtung zu schenken – die ohne Zweifel notwendigen Mengen sind so gering, dass sich – zumindest auf den ersten Blick – jegliche Düngung erübrigen würde. Die Wissenschaft darf sich aber in keinem Fall mit einem so genannten „ersten Blick“ zufrieden geben – und Chlorid (Cl) scheint eben für zahlreiche Pflanzen zusätzlich ein nützlicher Mineralstoff zu sein. Besonders die salz- respektive die chloridliebenden Pflanzen – wie Wissenschaftler sie gern bezeichnen (Beta-Rüben, Spinat, Kohl, Sellerie und Palmen) benötigen Chlorid als nützlichen Mineralstoff. Für diese Pflanzen sind höhere Cl-Gehalte in der Trockensubstanz von Blättern für das Wachstum förderlich. Auch Pflanzen mit besonderen Ansprüchen – hierzu zählen bestimmte Arten von Beerenobst – können ihren Nährbedarf häufig aus dem Boden decken. Spezifische Untersuchungen hierzu, die überdies stringent nachzuweisen in der Lage sind, welche Pflanzenart, unter welchen Bedingungen wie viel Chlorid vertragen kann, fehlen zu diesem Komplex fast vollständig. Zwar enthalten die Böden – besonders in Meeresnähe – oftmals eine ständige Zufuhr von Chlorid über die Atmosphäre, genauere Analysen sind jedoch erst noch zu leisten. Chlorid wird oftmals bereits mit Kalidüngern zugeführt und dies nach allgemeiner Einschätzung, oft mehr als notwendig. Auch hier ist eine wissenschaftliche Erhellung unter Angabe exakter Zahlen und Daten dringend von Nöten.

Gegenwärtig verfährt man in der Landwirtschaft üblicherweise nach folgendem Muster: Erscheint eine zusätzliche Chloridzufuhr als wünschenswert, liegt es in der Regel nahe – bei gleichzeitig bestehendem K-Bedarf – Kaliumchlorid zu verwenden. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls der Frage nachzugehen, ob die Menge an Chlorid, die hier mit den Kalidüngern zugeführt wird, in der Tat erheblich größer ist als benötigt.

Wie Finck in seinem 1992 erschienenen Buch „Dünger und Düngung“ ausführt, geht es bei diesen Fragen um überaus klare Regelungen:

„Wenn eine zusätzliche Chlorid-Zufuhr wünschenswert erscheint, so liegt es bei gleichzeitig bestehendem K-Bedarf nahe, *Kaliumchlorid* zu verwenden. Eine Chloriddüngung in anderer Form scheint kaum erforderlich. Erwähnt werden sollten die Chloride der sog. Sulfat-Pflanzen. Für diese Pflanzen ist

## Kapitel 2. Literaturübersicht

das Chlorid zwar auch lebensnotwendig, aber bereits in relativ niedrigen Konzentrationen nachteilig (z.B. für die Stärkeverlagerung in der Kartoffelpflanze).“

Die notwendige Differenzierung mit der Chlorid- bzw. Salzgaben in wissenschaftlichen Versuchen und damit späterhin auch bei gärtnerischer und landwirtschaftlicher Nutzung gemacht wurde, ist in den vergangenen Jahrzehnten bereits überaus häufig Gegenstand wissenschaftlicher Forschung gewesen. Jedoch zeigt sich hier bereits ein Problem des gegenwärtigen Standes der Ernährungswissenschaft: Seit Anfang der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts gibt es eine unübersehbare Fülle von Einzeluntersuchungen zur chloridhaltigen Düngung auch bei Beerenobst. Eine diesen Bereich übergreifende Arbeit fehlt jedoch bislang in der wissenschaftlichen Literatur. Zugleich ist hier danach zu fragen, ob das beim entsprechenden Anbau von Obst und Gemüse mit Sicherheit im Vordergrund stehende landwirtschaftliche und damit ökonomische Element den roten Faden einer wissenschaftlichen Sichtweise nicht zuweilen behindert.

Selbstverständlich soll hier keinem naturwissenschaftlichen Purismus das Wort geredet werden, der allzu schnell vergisst, dass wissenschaftliches Arbeiten letztlich dem Menschen dienen soll. Gelegentlich aber ist auch – und dies soll keineswegs vergessen werden – eine Freiheit, und somit eine Befreiung der Wissenschaften von Sachzwängen notwendig, welche sich dann nicht zwangsläufig an den Geboten der Wirtschaftlichkeit orientieren muss.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der im Zusammenklang mit der Untersuchung von Beerenobst wichtig ist, muss die chronologische Auflistung der Forschungsergebnisse sein – wann hat wo, wer nachweisbar erstmalig mit analytischen Methoden die Auswirkungen von Chloriddüngung auf Beerenobst zu untersuchen begonnen? Bereits ein flüchtiger Überblick zeigt uns, dass schon in der zweiten Hälfte des vorletzten Jahrhunderts Untersuchungen zu diesen Fragen vorgelegen haben. Im Jahre 1867 machte der britische Wissenschaftler Voelcker – wie in späteren Jahren auch noch andere Forscher – exakte Angaben über die starke Salzresistenz und überdies weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber Cl bei den unterschiedlichsten Sorten und Varianten von *Beta vulgaris*. Über pathologische Mangelwirkungen von Cl-Ionen berichten Nobbe und Siegert (1862). Sie setzten ihre Forschungsarbeiten bis 1866 fort; Gegenstand ihrer Untersuchungen ist Buchweizen gewesen.

Überdies wiesen Rudolfs (1921) und Schuphan (1939) darauf hin, dass bei Spargelbeeten das Salzen eine lange Tradition gehabt habe. Bereits aus

dem Jahr 1922 liegt im Übrigen eine Untersuchung über die durch die Anwendung chloridhaltiger Düngemittel entstandene Überschusswirkung auf Beerenobst vor – bei der Johannisbeere kennen wir seit Stoffert (1922) eine Variante der Blattkrankheit, die sich dadurch bemerkbar macht, dass zuerst die Blattspitzen unter rostbrauner Verfärbung vertrocknen; diese Symptome breiten sich sodann über den ganzen Blattrand aus.

Hier wird bereits erkennbar, dass für die Prüfung chloridhaltiger – respektive im Gegenversuch chloridfreier – Düngemittel die Wahl geeigneter Versuchspflanzen von Bedeutung ist. Wenn wir Beerenobst an dieser Stelle einmal ausnehmen, so lassen sich Kartoffeln, Tabak und Tomaten als chloridempfindlich bezeichnen, während die Getreidearten durchweg als indifferent gelten. Beta-Rüben hingegen sind überwiegend chlorophil. Überdies nehmen die Symptome der toxischen Chloridwirkung zu, je kolloidärmer der Boden ist.

Doch auch bei Beerenobst hat man sich schon frühzeitig mit Untersuchungen befasst, die zur Grundlage eine durch erhöhte Gabe von Chlorid hervorgerufene Blattrandkrankheit der roten Johannisbeere haben. In seinem 1939 erschienenen Beitrag „Weitere Untersuchung der durch Chloride hervorgerufenen Blattrandkrankheit der Johannisbeere“ kommt Boresch zu dem Schluss, dass die im Gefolge einer stark chloridhaltigen Düngung auftretende Blattrandkrankung an sich kaliumreicher Johannisbeerblätter im chemischen Prozess durch folgende Eigenschaften charakterisiert ist: In solchen Blättern stehen den durch Kalk gedeckten, überschüssigen Chloridionen Ca-Ionen in wesentlich größerer Menge gegenüber als in noch gesunden Blättern, in denen das Chlorid durch Kalk mehr als aufgewogen wird. Diese durch Cl verursachte Stoffwechselstörung – die in ihren Symptomen der durch Kalkarmut erzeugten Blattrandkrankheit gleicht – basiert demnach auf einem K-Ca-Antagonismus. Die Versuche wurden im Übrigen nicht nur mit der roten Johannisbeere (als chlorid- und kalkempfindliche Pflanzenart), sondern auch mit der schwarzen Johannisbeere vorgenommen, die sich durch eine Verträglichkeit von hohen Kalk- und NaCl-Gaben auszeichnet.

Bereits bei der Erstellung einer Übersicht wird klar, dass die Analyse chloridhaltiger Düngung von Beerenobst, trotz scheinbarer Häufigkeit, im Gesamtzusammenhang eher sporadisch auftaucht. So urteilen Bünemann und Gruppe in einer wissenschaftlichen Untersuchung zur mineralischen Ernährung von Erdbeeren aus dem Jahre 1963:

„Von Erdbeeren liegen nur wenige Untersuchungen vor.“

In ihrer Zusammenfassung gestehen sie freilich auch ein, dass gerade die Ergebnisse in der Chlorid/Sulfat-Reihe überaus schwer zu interpretieren sind und weitere Untersuchungen geleistet werden müssen. Dieselben Autoren weisen überdies darauf hin, dass die Interaktion zwischen den einzelnen Elementen noch zu klären sein.

Der vorliegenden Promotionsarbeit bleibt es somit vorbehalten, diese Frage einer endgültigen Beantwortung zu unterziehen, in welcher Weise wissenschaftliche Forschung in Bezug auf Beerenobst von Stringenz geprägt ist, oder ob am Ende nur eine unübersehbare Fülle von Einzelinformationen vorliegt.

### 2.2. Vorkommen von Chlorid

Chlor ist ein in der Natur weitverbreitetes Nichtmetall, das im Boden und in der Pflanze nur als Chlorid-Anion ( $\text{Cl}^-$ ) vorkommt. Chloride, die Salze der Salzsäure sind, da sie nur geringe Bindungskräfte zu den Austauschern haben, leicht löslich und daher im Boden gut beweglich und somit unter humiden Bedingungen leicht auswaschbar und unter ariden Bedingung kommt es zu Anreicherungen. Chloride werden in Böden bei pH Werten größer 5 ( $> 5$ ) nur zu sehr geringen Anteilen adsorbiert. Mit sinkenden pH-Werten ( $< 5$ ) steigt die Adsorption an Eisen-Oxiden (Scheffer und Schachtschabel, 1984). Chlorid stammt aus chlorhaltigen Mineralien wie zum Beispiel dem Chlorapatit und aus den Einträgen durch die Luft (Meersalze, Verbrennungsrückstände, Industrieabgase etc.), wobei letztere bis zu 20 kg Chlorid  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  betragen kann. Da die Sorption und Ausfällung unbedeutend sind, kommt es fast ausschließlich in der Bodenlösung vor.

Der Gesamtgehalt im Boden ist sehr variabel. In Gebieten mit maritimen Ablagerungen und in manchen ariden Böden können hohe Konzentrationen enthalten sein (10 – 1.000 ppm Cl in der Bodenlösung). Eine Immobilisierung im Boden ist praktisch nicht vorhanden. Trotzdem kann festgestellt werden, dass alle Böden Europas für den lebensnotwendigen Bedarf der Pflanzen als ausreichend versorgt bezeichnet werden können. Die Chloridbilanz kann als ausgeglichen angesehen werden, da trotz hoher Auswaschungen und zum Teil beachtlichem Entzug durch die Ernte die Zufuhr durch Niederschläge und handelsübliche Dünger sich ausgleichen bzw. zur Überversorgung führt. Daher wird auch bei landwirtschaftlicher Bodenuntersuchung für die gemäßigte, humide Klimazone der Bundesrepublik dem Versorgungsgrad des Bodens mit Chlorid keine große Bedeutung eingeräumt.

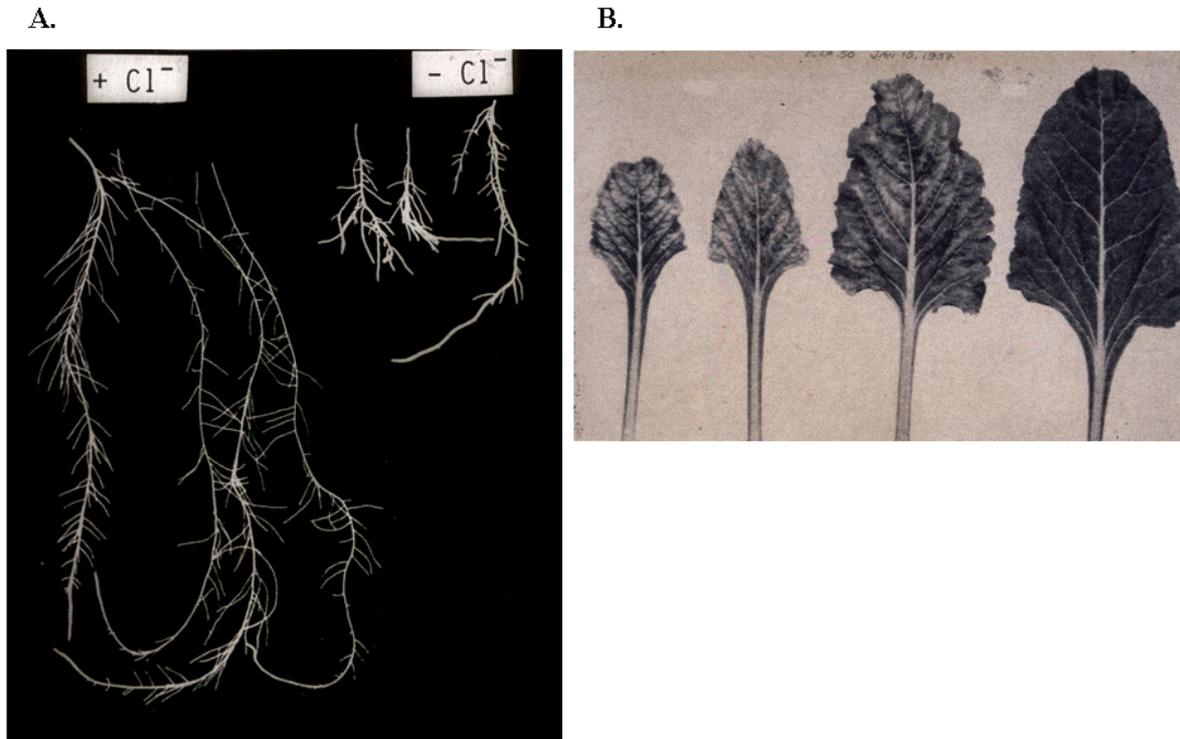
### 2.3. Essenzialität und Funktionen von Chlorid in Pflanzen

Das fast ausschließlich in der Bodenlösung vorkommende Chlorid kann von der Pflanze aktiv, d.h. entgegen einem elektrochemischen Gradienten aufgenommen werden (Gerson und Poole, 1972). In geringeren Mengen ist auch eine Aufnahme von gasförmigem Chlor über die Blätter möglich (Johnson et al., 1957). In der Pflanze ist das Chlorid gut in akropetaler und basipetaler Richtung beweglich (Marschner, 1995). Die Aufnahmerate kann so hoch sein, dass es zu beachtlichen Chloridanreicherungen im Cytoplasma und in der Vakuole kommt (Cram, 1984). Die Chloridgehalte in den Pflanzen bewegen sich zwischen 2 und 20 mg Cl / g Trockensubstanz. Auf den Wasserhaushalt der Pflanzen hat Chlorid insofern einen günstigen Einfluss, dass es den osmotischen Druck der Zelle erhöht und somit besonders unter salinen Bedingungen zur osmotischen Anpassung beiträgt. An folgenden Stoffwechselprozessen der Pflanze ist Chlorid (nach Schilling, 2000) beteiligt:

- Chlorid ist ein Co-Faktor des Manganproteins bei der  $O_2^-$  Evolution in Chloroplasten;
- Chlorid stimuliert die ATPasen am Tonoplasten. Diese ATPasen pumpen  $H^+$ - Ionen vom Cytoplasma in die Vakuole, wodurch der Protonengradient zum Cytosol aufrecht erhalten wird;
- in Pflanzen, deren Schließzellen keine Chloroplasten enthalten, spielt Cl bei der Stomataöffnung eine wichtige Rolle (z.B. in Palmen, Kiwi, Zwiebel).

Darüber hinaus ist Chlorid bei  $C_4$  - Pflanzen mit dem PEP-Carboxykinase-Typ notwendig (Burnell, 1986). Dass Chlorid essenziell für die Pflanze ist, konnte schon 1862 von Nobbe und Siegert bei der Ernährung von Buchweizen nachgewiesen werden, der nicht zur Reife kam, wenn in der Nährlösung Chlorid fehlte. Weiterhin wiesen die Arbeiten von Broyer et al. (1954), Ulrich und Ohki (1956), Johnson et al. (1957) und Broyer (1966) die Richtigkeit dieser Ergebnisse nach. Es stellte sich bei den Versuchen als sehr wichtig heraus, dass die Pflanzen in gefilterter, chlorfreier Luft kultiviert wurden, um genaue Ergebnisse aufzuzeigen. Bei ungefähr 250  $\mu$ g Chlorid /kg Blatttrockenmasse traten Mangelsymptome auf und die Pflanze begann abzusterben. Die Mangelsymptome erstreckten sich auf Wuchshemmungen der jüngsten Teile sowie Welkeerscheinungen der Blätter, besonders an den

Rändern. Ebenso war das Wurzellängenwachstum gehemmt. In Abbildung 2.1. sind typische Mangelsymptome an jüngsten

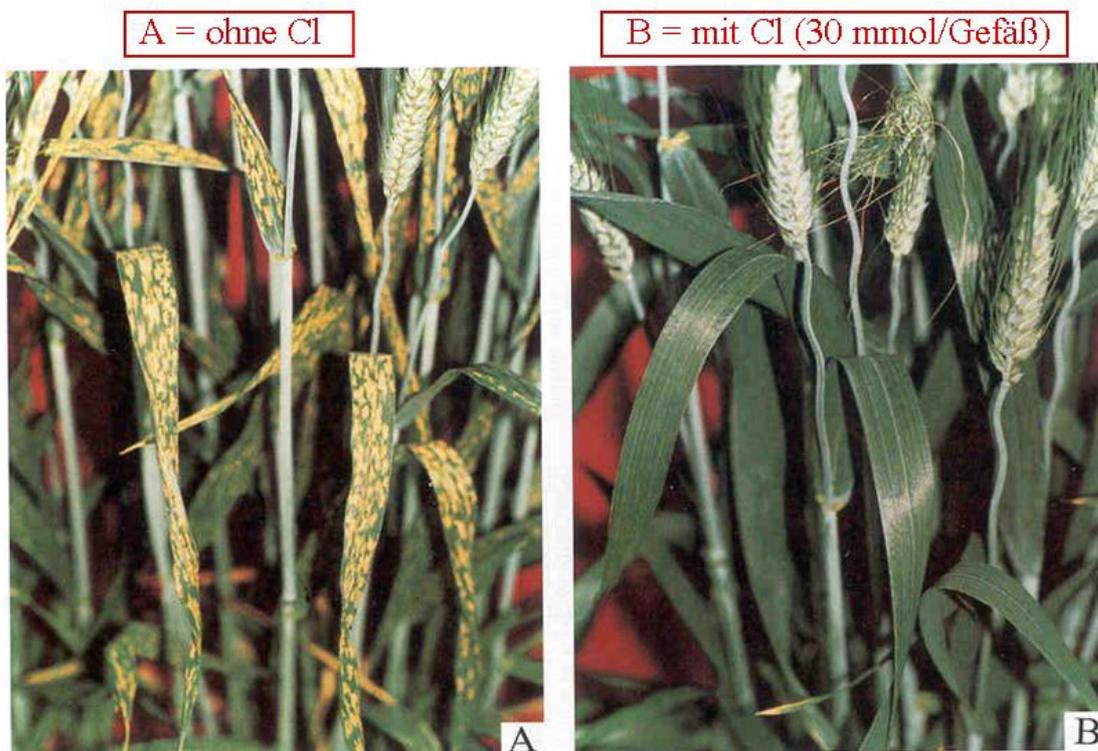


*Abb. 2.1.: Typische Chlorid-Mangelsymptome an Wurzeln bei Tomate(A.) und an Blättern bei Zuckerrübe(B.) in Nährlösungskultur mit chloridfreier (gefilterter Luft) Atmosphäre (nach Johnson et al., 1957 und Ulrich und Ohki, 1956)*

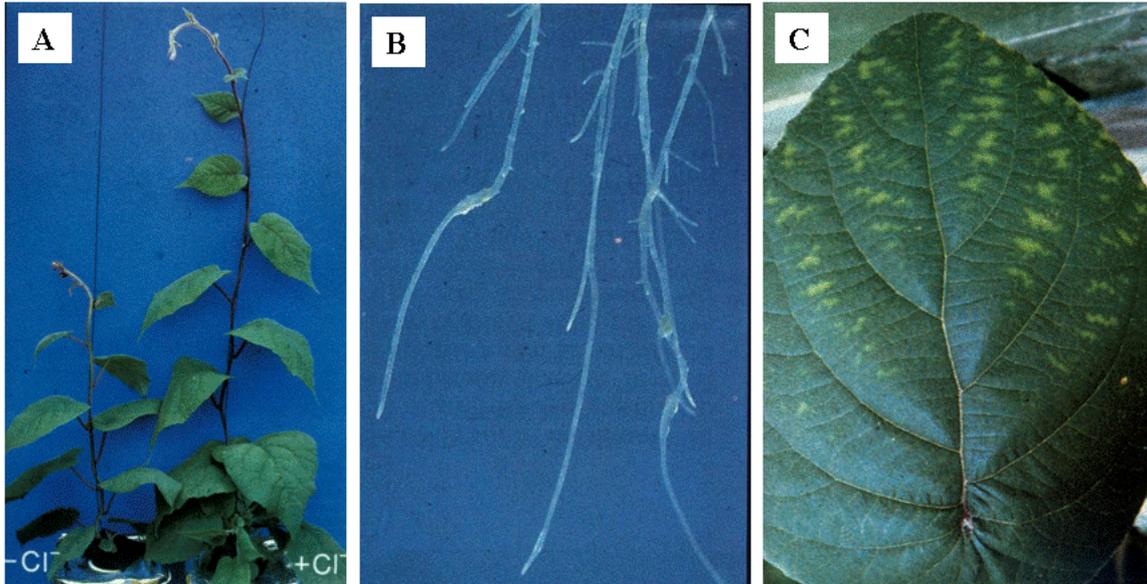
Blättern und Wurzeln von Zuckerrübe bzw. Tomate (Abb. 2.1.) unter kontrollierten Bedingungen in Nährlösung wiedergegeben. Insgesamt zeigen diese Ergebnisse, dass für diese Essenzialität nur sehr geringe Mengen an Chlorid benötigt werden. Umso überraschender ist es, dass Engel et al. (1997) das Auftreten von chlorotischen und nekrotischen Flecken an Blättern einiger Weizensorten in Montana/USA auf Chloridmangel zurückführen konnten (Abb. 2.2.). Diese vermeintlichen Chlorid-Mangelsymptome konnten die gleichen Autoren wenige Jahre später in Nährlösungskultur reproduzieren (Abb. 2.3; Engel et al., 2001). Auch bei Kiwi-Pflanzen (*Actinidia deliciosa*) konnten Smith et al. (1987) Chlorid-Mangelsymptome an Blättern und Wurzeln zeigen (Abb. 2.4), jedoch bereits bei deutlich höherem Chloridangebot.



*Abb. 2.2.: Chlorid-Mangelsymptome an Weizenblättern unter Freilandbedingungen von Montana/USA (Engel et al., 1997)*



*Abb. 2.3.: Chlorid-Mangelsymptome an Weizenblättern unter kontrollierten Bedingungen in Nährlösung ohne (A.) und mit Chlorid-Angebot (B., 30 mmol pro Gefäß) (Engel et al., 2001)*



*Abb. 2.4.: Chlorid-Mangelsymptome bei Kiwi-Pflanzen (*Actinidia deliciosa*); A. Pflanzen mit und ohne Chloridangebot; B. Wurzeln von Chlorid-Mangelpflanzen mit typischen Verdickungen; C. Blatt mit Chlorosen (Smith et al., 1987)*

Chloridüberschuss verursacht Chlorosen, häufiger Nekrosen an den Blattspitzen („tip burn“) und –rändern. Die Blätter waren bei hohen Cl-Gehalten kleiner, rollten sich ein und fielen vorzeitig ab. Die Ursache für die Symptome lag in der Zerstörung des Chlorophylls bei Cl-Überschuss. Bei sehr hohen Cl-Gehalten im Boden wird die Nitrat-Ionen-Aufnahme durch die Wurzel gehemmt (Bergmann, 1993). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Chlorid-Überschuss in seinen Auswirkungen dem Salzstress entspricht (siehe unten).

## 2.4. Nützliche Wirkungen von Chlorid

Neben der essenziellen Wirkung von Chlorid bei der Wasserspaltung innerhalb der Photosynthese und bei der Aktivierung der ATPase im Tonoplasten als Voraussetzung für Streckungswachstum kann Chlorid vor allem bei chlorophilen Pflanzen positive bzw. nützliche Wirkungen aufweisen. So berichten u.a. Huber und Wilhelm (1988) über eine krankheitsunterdrückende Wirkung von Chlorid bei Schwarzbeinigkeit und Blattrost in Zusammenarbeit mit einer Ammoniumdüngung. Dieser Zusammenhang zwischen hoher Chloridgabe und Ammoniumdüngung weisen auf einen möglichen Zusammenhang mit einer durch Chlorid gehemmten Nitrifikation

und einer versäuernden Wirkung in der Rhizosphäre hin (Golden et al., 1981), als Voraussetzung für die direkte Unterdrückung der Hyphen des Pilzes *Gäumannomyces graminis* bzw. indirekt über eine erhöhte Manganverfügbarkeit. Diese vermutete Hemmung der Nitrifikation im Boden durch Chlorid konnte K. M. Sourì (2008) in seiner Dissertation bestätigen. Darüber hinaus zeigten kürzlich Mori et al. (2008), dass Chlorid im Stoffwechsel des Halophyten *Suaeda salsa* (L.) Pall. die Nitratreduktion und damit den Einbau von N in Aminosäuren und Protein fördert. Christensen und Brett (1983) konnten weiterhin eine nützliche Funktion von Chlorid hinsichtlich eines verbesserten Wasserhaushaltes bei verschiedenen Pflanzenarten zeigen, ohne aber einen möglichen physiologischen Zusammenhang aufzuzeigen.

Die Notwendigkeit von Chlorid bei Pflanzenarten mit Schließzellen ohne Chloroplasten wie Palmen, Kiwi, oder Zwiebeln als Begleitkation für Kalium anstatt von Carboxylaten wie Malat kann in der Praxis auch als nützliche Funktion betrachtet werden. So werden bei Meer-fernen Palmen-

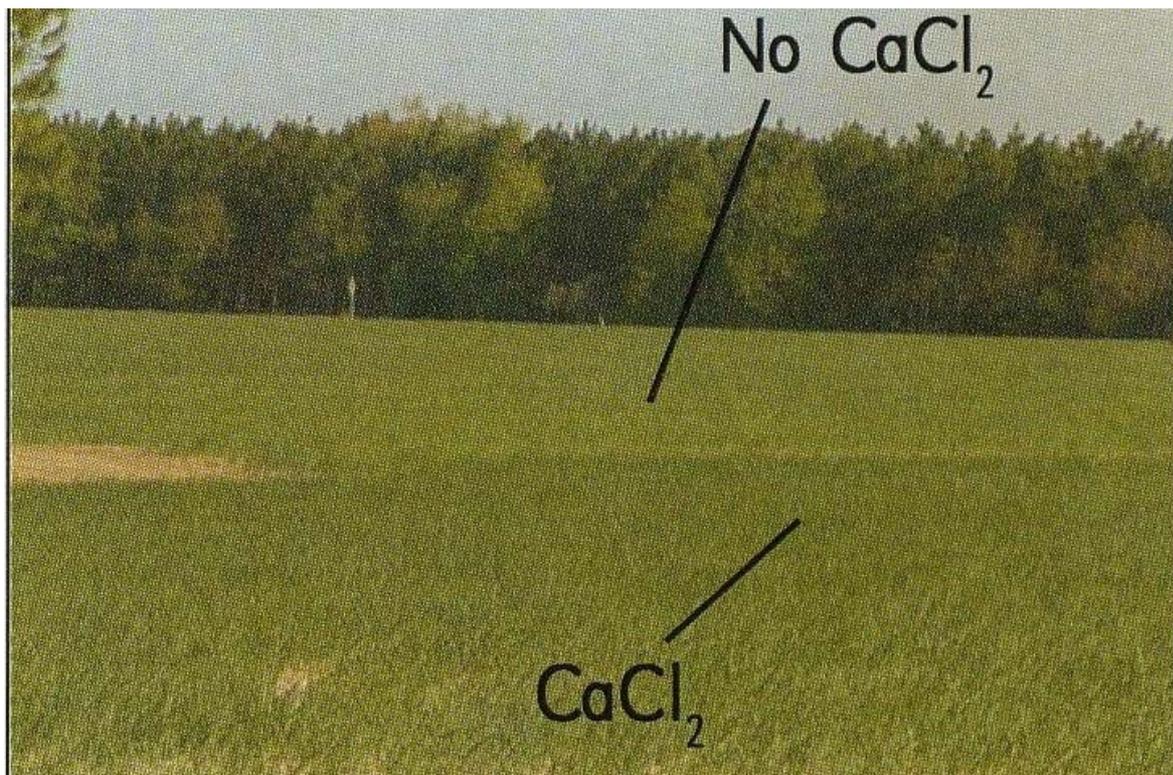


Abb. 2.5.: Chlorid als nützlicher Mineralstoff bei Zwiebelanbau in Georgia/USA. Durch Angebot von CaCl<sub>2</sub> erhalten die Sprosse eine deutlich tiefere Grünfärbung (Randle, 2004)

anlagen in Indonesien oder an der Elfenbeinküste durch Chloriddüngung als KCl oder  $\text{CaCl}_2$  Mehrerträge und bessere Nussqualitäten erzielt (Ollagnier et al., 1986). Bei Zwiebelanbau in Georgia/USA wurde durch Düngung von  $\text{CaCl}_2$  ein gesünderer und dunkler grüner Spross beobachtet (Abb. 2.5.; Randle, 2004).

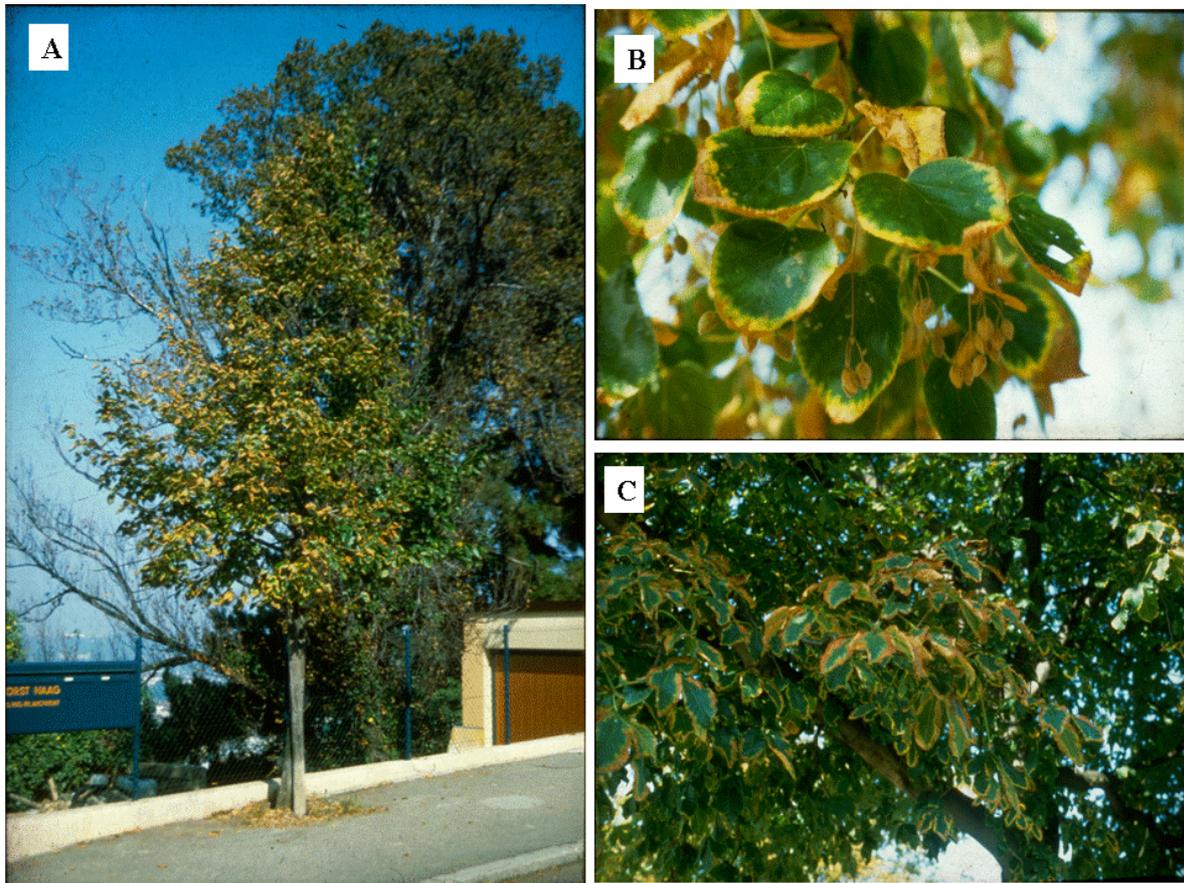
## 2.5. Toxizität von Chlorid

Im Gegensatz zu Mangelerscheinungen, die unter Praxisbedingungen mit Ausnahme von Palmen (Ollagnier et al., 1986) kaum auftreten, sind Toxizitätsprobleme wenn auch häufig selbstgemacht, ein großes Problem. Cl-Schäden sind oft in der Nähe von HCl oder  $\text{Cl}_2$ -Gas emittierenden Industriebetrieben festzustellen (Bovay, 1954). Schon ab einer Menge von  $0,3 \text{ mg Cl}_2 / \text{m}^3$  Luft kommt es bei Gramineen zu weißbraunen Verfärbungen der Blätter, die von der Blattspitze ausgehen sowie bei Laubbäumen zu Blattrandnekrosen mit bräunlich schwarzer Färbung.  $\text{Cl}_2$ -Immissionen schädigen stärker und schneller die Pflanzen als HCl dadurch, dass sie die Chloroplasten zerstören und der Wasserhaushalt der Pflanze zusammenbricht (Braun et al., 1964).

Weiterhin bestehen die Anreicherungsprobleme in schlecht drainierten Böden mit Pflugsohlen sowie in Trockengebieten. Häufig führte Chloridhaltiges Wasser in Bewässerungsbetrieben und Unterglaskulturen zu derart starken Problemen, dass erst Grenzwerte für sichere Cl-Konzentrationen in Bewässerungswasser Abhilfe brachten.

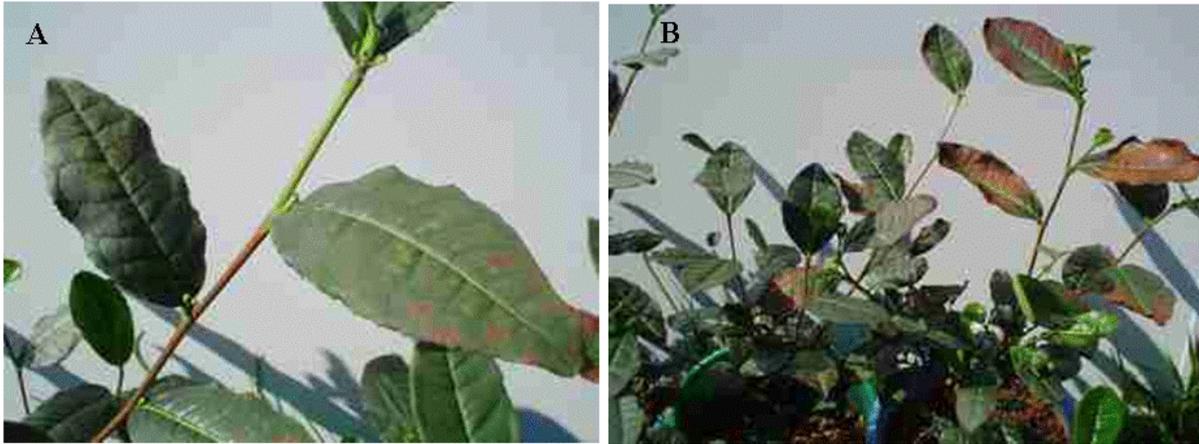
Das plastischste, da für jedermann direkt ersichtliche Toxizitätsproblem handelt sich der Mensch dadurch ein, dass er seine Wege und Straßen, Flugplätze etc. im Winter durch den starken Einsatz von Streusalz von Eis und Schnee zu befreien versucht. Meistens werden  $\text{NaCl}$ -,  $\text{MgCl}_2$ - oder  $\text{CaCl}_2$ -Salze verwendet, die durch Streuen oder Sprühen ausgebracht werden. Die toxische Wirkung kommt durch Benetzen oberirdischer Pflanzenteile oder durch versickerndes Salzwasser im Boden zustande (Leh, 1973 und 1975). Die Blätter zeigen von den Rändern her Chlorosen auf, die schnell in braune Nekrosen übergehen, was zum vorzeitigen Abwurf der Blätter führt. Die Bäume treiben zwar häufig erneut aus. In Abbildung 2.6. sind 2 Beispiele für Chloridschädigung von Straßenbäumen in Stuttgart durch Streusalz wiedergegeben. Bei wiederholter Schädigung kann es aber zum Absterben der Bäume kommen. Leh geht bei seiner Berechnung davon aus, dass 80 % - 90 % aller absterbenden Großstadtbäume Opfer des Streusalzeinsatzes waren. Nachdem seit 1981/1982 in Westberlin auf den Tausalzeinsatz verzichtet

wurde, kam es zu einer ganz wesentlichen Verbesserung des Gesundheitszustandes der Bäume.



*Abb. 2.6.: Chloridschädigung von Straßenbäumen in Stuttgart durch Winterstreusalz; Sommerlinde (A und B) und Rosskastanie (C) mit Blattrandnekrosen (Photo von Horlacher bzw. Römheld).*

Ergänzend zu den Chloridschäden an Straßenbäumen durch Winterstreusalz konnte auch Ruan (2005) an Teepflanzen (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) im Gefäßversuch durch höheres Chloridangebot Nekrosen an Blättern jüngerer Sprosse hervorrufen (Abb. 2.7.). Diese Chloridschäden wurden jedoch interessanterweise unter Feldbedingungen in Hangzhou, China, vermutlich wegen rascher Auswaschung von Chlorid durch hohe Niederschläge, nicht beobachtet.



*Abb. 2.7.: Chloridschäden an Teepflanzen im Gefäßversuch mit steigendem Chloridangebot (190, 285 und 380 mg Cl/kg Boden) ohne Möglichkeit nennenswerter ChloridAuswaschung (Ruan, 2005).*

## 2.6. Genotypische Unterschiede in der Chloridempfindlichkeit

### 2.6.1. Allgemein

Bei ihren Untersuchungen bzw. Versuchen mit Chlorid fanden die Wissenschaftler immer wieder große Unterschiede in der Empfindlichkeit der einzelnen Pflanzenarten gegenüber diesem Mineralstoff. Schon Nobbe und Siegert äußerten (1862) als erste die Ansicht, dass Chlor für das Wachstum von Buchweizen unentbehrlich sei. Mazé (1915, 1919) und Lipmann (1938) kamen zu dem Schluss, dass Chlor mit großer Wahrscheinlichkeit ein unentbehrliches Element für höhere Pflanzen ist. Gesicherte Chlormangelsymptome wurden allerdings erst viel später in Vegetationsversuchen an Tomaten hervorgerufen (Broyer et al., 1954). Es folgten dann Beobachtungen von Ulrich und Ohki (1956) an Zuckerrüben und von Gausmann et al. (1958) an Kartoffeln. Johnson et al. (1957) haben bei Bohnen, Mais, Buchweizen, Luzerne, Gerste, Zuckerrüben, Möhren, Kohl, Tomaten und Salat eine in der Reihenfolge der Aufzählung zunehmende Wirkung des Chloridmangels festgestellt. Hannemann (1964) war einer derjenigen, der sich mit dem Effekt von Chlorid auf Reben befasste.

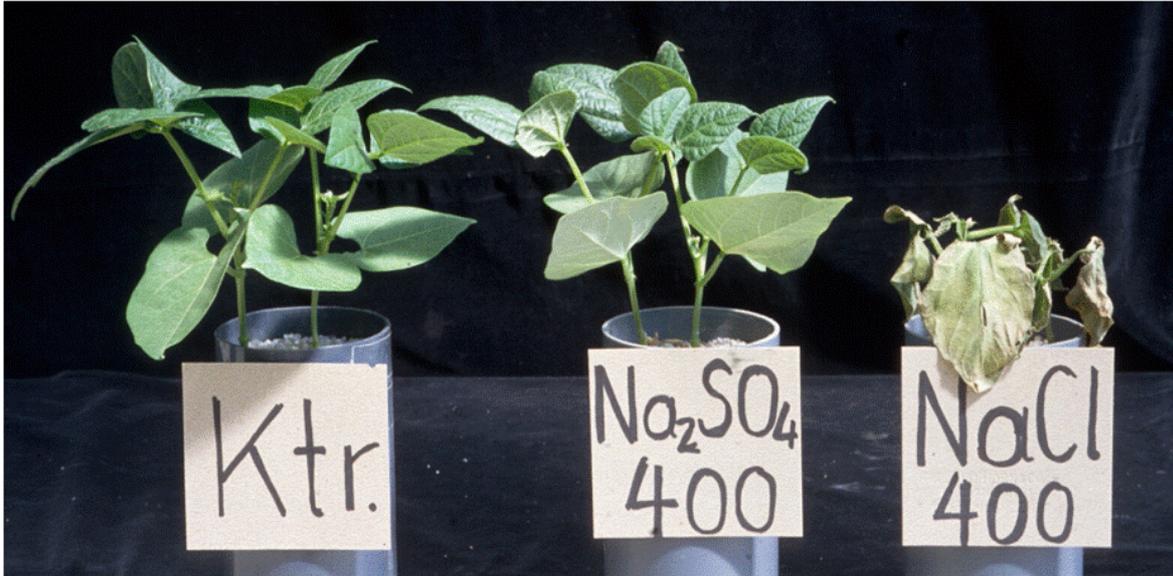
Außerdem haben Ozanne (1958) bei *Trifolium subterraneum* und Venema (1959) bei Zuckerrohr Chlormangelercheinungen beschrieben. Aus dem Weinbau liegt zwar kein Bericht über Chlormangel bei Reben vor, die Frage, ob es zweckmäßiger ist, das Kalium als Sulfat oder Chlorid zu verabreichen, wurde dagegen häufig erörtert. Einen Überblick über das Problem gibt Hannemann (1964). Den Einfluss des Chlors aus dem

Pigmentgehalt, die Trockensubstanz- und Kohlenhydratbildung sowie auf die freien Aminosäuren und das Protein bei Reben untersuchte Edelbauer (1978). Leh (1977) stufte verschiedene Bäume nach ihrer Anfälligkeit gegenüber NaCl-haltigen Auftausalzen in starkanfällige (Ahorn, Linde, Buche, Ulme etc.), mäßig anfällige (Platane, Pappel, Esche) sowie wenig anfällige Arten (Birke, Akazie, Eiche) ein. Geissler (1953) untersuchte die Wirkung von Chlorid und sulfathaltigen Düngemittel auf den Ertrag von Gemüsearten. Baumeister und Burkhardt (1972) teilten schon die Gemüsearten in chloridliebende (Spinat, Mangold, Kohlarten, Sellerie und Beta Rübren) sowie chloempfindliche (Tomate, Kartoffel, Gurke, Radieschen und Zwiebel) ein. Diese Angaben wurden später von Siegel und Bjarsh (1962) und Loch und Pethö (1993) bei der Tomate bestätigt.

Diese ausgeprägten genotypischen Unterschiede im Effekt von Chlorid lassen sich regelmäßig in den Ökologischen Übungen am Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim zeigen. Bei der Chloridempfindlichen Buschbohne führen steigende Chloridgaben zu einer starken Wachstumshemmung, wogegen das Wachstum der Zuckerrübe nicht beeinflusst (Abb. 2.8.) oder sogar gefördert wird (Hampe, 1979; Hampe und Marschner, 1982). Der unterschiedliche Effekt von NaCl und Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bei der Buschbohne ist in Abb. 2.9. wiedergegeben.



*Abb. 2.8.: Einfluss eines steigenden Chloridangebotes als NaCl auf das Wachstum der Buschbohne (Phaseolus vulgaris L.) und der Zuckerrübe (Beta vulgaris L.). Aufnahme von den Ökologischen Übungen, SS 1990.*



*Abb. 2.9.: Einfluss von hohem Angebot von NaCl und Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (ohne Salzzugabe) auf das Wachstum von Buschbohne (Phaseolus vulgaris L.). Aufnahme von den Ökologischen Übungen, SS 1994.*

## 2.6.2. Chloridempfindlichkeit von Beerenobst und Weinrebe

In dem 1943 erschienenen „Handbuch der Ernährung der gärtnerischen Kulturpflanzen“ von Becker-Dillingen bemerkt der Autor, dass die durch Chloride hervorgerufenen Blattschäden – die bislang nur bei Johannis- und Stachelbeere beobachtet wurden- besondere Aufmerksamkeit verlangen. Remy und Weiske haben – darauf weisen sie ausdrücklich hin – in ihrer bereits 1930 erschienenen Arbeit über „Die Ernährung der Pflanze“ darauf verwiesen, dass diese Blattschäden bei oberflächlicher Betrachtung zwar den Kalimangelerscheinungen zu gleichen scheinen. Jedoch unterscheiden sich Chloridschäden und Kalimangelerscheinungen überaus deutlich:

- a) Der abgestorbene und scharf abgegrenzte Blattsaum verfärbt sich durch Chlorid rostbraun, bei Kalimangel schwärzlich.
- b) Das Absterben und Abfallen der Blätter erfolgt bei Chloridzufuhr später als bei Kalimangel.
- c) Die Ertragsausfälle sind bei Kalimangel weit größer als bei Düngung mit Chloriden. Ganz ohne Rückwirkung auf den Ertrag bleiben letztere jedoch nicht. Bei Düngung mit Kaliumchlorid oder sonstigen Chloridhaltenden Kalisalzen werden Chloridschäden durch vorteilhafte Kaliumwirkungen meist so stark überwiegen, dass sie sich der Wahrnehmung leicht entziehen.

Becker-Dillingen, 1943 kommt zu der Überzeugung, dass eine reichliche Kaliversorgung für die Sicherung der Beerenobsternten ausschlaggebend ist und hält es für unumstritten, dass zumindest die Johannisbeere wie auch die Stachelbeere in größeren Mengen mit Kali in Form von schwefelsaurem Kali oder Kalimagnesia zu düngen sind.

Ein Beitrag aus dem Jahre 2000 – im „Handbuch des Obstbaus“, herausgegeben von Friedrich macht einmal besonders deutlich, wie wesentlich eine aktuelle Untersuchung zur Chloridempfindlichkeit von Beerenobst ist – auch hier wird Chlor in wenigen Zeilen für die Düngung im Obstbau als denkbar ungeeignet betrachtet:

„Chlor, oft als ein nicht notwendiges, ja sogar schädigendes Element angesehen, kommt in der Zelle als Ion, nicht jedoch in organischer Bindung vor. Chlor erhöht den Anteil des Wassers im Gewebe gegenüber der Trockensubstanz. Eine Chlordüngung im Obstbau ist jedoch weder notwendig noch erwünscht.“

In vergleichbarer Weise interpretierten Kruft et al. im Jahre 1960 die Verwendung chloridhaltiger Düngemittel bei Beerenobst; sie schrieben:

„Die richtige Düngung ist zweifellos ein sehr interessantes Gebiet. Schon wenige Wochen nach einem Fehlgriff reagiert die Pflanze hierauf, und wo man es nicht verstand, in der Wahl der Düngemittel mit richtigem Griff zu fassen, vermag ein einziger falscher Entschluss nicht nur die hängende Ernte an den Stöcken, sondern sogar die Pflanzen selbst schwer in Mitleidenschaft zu ziehen. Das trifft besonders zu für die Verwendung der Kalidünger. *Johannis- und Stachelbeeren sind sehr chloempfindlich.* Auch kleine Mengen Chlor vermögen in wenigen Tagen zu schweren Folgeschäden zu führen. Die Pflanzen schütten das Laub, und kurz danach beginnen auch die Beeren zu schmoren und abzufallen.“

An anderer Stelle dieses Buches ist das vernichtende Urteil über chloridhaltige Düngungsmittel für Beerenobst noch eindeutiger formuliert:

„Johannis- und Stachelbeeren sind in hohem Maße Kali-liebende Gewächse. Man muss deswegen um eine reichliche Kaliversorgung des Bodens bemüht sein. Da sie gleichzeitig aber chloempfindlich sind, spielt die Form, in der

## Kapitel 2. Literaturübersicht

das Kali in den Boden gelangt, eine sehr wichtige Rolle. Chlorhaltige Kalidünger sind für Johannis- und Stachelbeeren Gift.“

Eine weitere Untersuchung von Keipert (1981) – knapp 20 Jahre später über den Anbau von Beerenobst durchgeführt – bezeichnet desgleichen chloridhaltigen Kalidünger für Beerenobst als gefährlich. Besonders für die *Ribes*-Arten wird diese Gefährdung benannt, weil chloridhaltiger Dünger schwere Blattschäden hervorrufen könne. Auf der anderen Seite gesteht Keipert jedoch zu, dass sich gerade die *Ribes*-Arten als ausnehmend *kalibedürftig* erweisen; dies gelte vornehmlich für Rote Johannisbeeren – bei Kalimangel würden bei ihnen Blattrandnekrosen auftreten. Überdies, so schreibt er, sei Kalium

„... für alle Pflanzenorgane mit intensiver Zellteilung von großer *physiologischer Bedeutung*, es reguliert u.a. die *Wasserversorgung* der Zellen. Die Beerenobstfrüchte enthalten viel Kalium. Zusammen mit Phosphorsäure fördert Kali die Ausreife des Holzes im Herbst, aber auch die Festigkeit und Haltbarkeit der Früchte.“

Er bemerkt überdies, dass Chloride an Roten Johannisbeeren Blattverbrennungen erzeugen können, Schwarze Johannisbeeren seien nicht ganz so empfindlich!

Zu den nichtparasitären Schädigungen bei einigen Sorten der Roten und Weißen Johannisbeere zählt Keipert (1981) die Blattrandkrankheit, als deren Ursache für ihn in der Regel Kalimangel gilt. Schäden durch chloridhaltige Düngemittel äußerten sich in ähnlicher Weise, überdies könnten auch Trockenschäden zu Blattrandnekrosen führen.

Bereits an dieser Bewertung von chloridhaltigen Düngemitteln, wie auch an einer Vielzahl zuvor genannter Beispiele fällt auf, dass – gleichsam über Jahrzehnte hinweg – eine einhellige Auffassung über die Schädlichkeit von chloridhaltigen Düngungsversuchen zumal bei Beerenobst besteht. Einer übergreifenden, wissenschaftlichen Fragestellung für diesen Umstand fehlt jedoch nach wie vor, geschweige denn eine hiernach folgende, exakt umrissene Definition der Schädigungsarten und ihrer Ursachen.

Eine Reihe von Wissenschaftlern kommt in ihrem Beitrag „Physiologie der Obstgehölze“ Friedrich (2000) ebenso zu der Erkenntnis, die Obstarten müssten als chlorophob gelten, räumt aber auch ein, dass über die Aufgaben des Chlors in der Pflanze noch wenig bekannt sei. Das von der Pflanze aufgenommene Chlorid finde man hauptsächlich in löslicher Form im Zellsaft

– hierbei können jedoch die Gehalte in Abhängigkeit von der Pflanzenart überaus unterschiedlich sein. Bekannt ist, dass der Cl – ebenso wie die Alkali – und Erdalkaliionen – erheblichen Einfluss auf die Quellung des Plasmas hat. Überdies nimmt es eine wesentliche Funktion in der Enzymaktivität ein, im Besonderen bei der O<sub>2</sub> – Freisetzung im Photosyntheseprozess.

Die Wissenschaftler gelangen zu der Feststellung, dass Cl- Mangel sich in Form von Chlorose ausdrückt – er sei aber nur unter rigidesten Versuchsbedingungen überhaupt zu erzielen. Von Bedeutung für landwirtschaftliche und gärtnerische Praxis ist ihrer Meinung nach nur der Cl-Überschuss. Hierbei ist folgendes zu beachten: die unterschiedlichen Pflanzenarten sind gegen Überkonzentrationen auch unterschiedlich empfindlich. Obstarten gelten im Allgemeinen als chlorophob – wobei in diesem Falle anzumerken ist, dass an Baumobst erst bei vergleichsweise hohen Cl-Konzentrationen im Substrat Schäden entstehen. Für die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit ist die hohe Cl-Empfindlichkeit von Stachelbeeren, roten Johannisbeeren und Erdbeeren im übrigen überaus wichtig. Ein Cl-Überschuss trägt – unter ariden Bedingungen – außerordentlich zur Erhöhung der Salzkonzentration des Bodens bei und kann hierdurch als partielle Ursache der entstehenden Salzschaäden gelten.

Aus den siebziger Jahren stammt eine ganz andere Untersuchung, welche die Frage nach der Chloridverträglichkeit des Weinstockes zur Grundlage hat. Diese Frage, so schreibt Edelbauer ( 1976 ), sei in der Tat nicht neu. Da aber in der heutigen Zeit – zu Anfang der sechziger Jahre – wesentlich höhere Mengen an Mineraldünger eingesetzt wurden, als in früheren Zeiten, habe diese Frage für die Praxis des Weinbaus wieder eine höchst aktuelle Bedeutung.

„Bereits vor über 100 Jahren berichteten zwei Italiener, nämlich Rotondi und Galimberti über einen Düngungsversuch mit verschiedenen, damals üblichen Mineraldüngern, unter denen sich auch das Kaliumchlorid befand. Sie stellten fest, dass Kalium in Verbindung mit Chlorid den Zuckergehalt des Traubensaftes vermehrte. In der einschlägigen Literatur von heute wird der Weinstock dagegen zu den chlorophoben Pflanzen gezählt, zu jenen also, auf die höhere Chloridkonzentrationen im Boden ungünstig wirken.“

Diese überaus weit verbreitete Lehrmeinung – dass die Weinrebe eindeutig chlorophob sei – wird durch Untersuchungen aus den frühen sechziger Jahren – etwa von Siegl und Hannemann (nach Edelbauer, 1976)

gestützt. Die Wissenschaftler ermittelten in Gefäß- und Feldversuchen partiell nachteilige Folgen chloridhaltiger Kaliumdünger.

„So verminderte Chlorid im Vergleich zu Sulfat den Chlorophyllgehalt der Blätter und führte in manchen Jahren auch zu Mindererträgen. Der bekannte Fachmann auf dem Gebiet der Rebenernährung, Prof. Gärtel aus Bernkastel-Kues/Mosel, rechnet aus eigener Versuchserfahrung den Weinstock hingegen nicht zu den chloempfindlichen Kulturpflanzen. Dieser alte Streit um die Chloridverträglichkeit bzw. Chloridunverträglichkeit des Weinstockes war unter anderem auch der Anlass für die landwirtschaftlichen Versuchstationen der Kaliumdüngemittelhersteller in der Bundesrepublik Deutschland und der DDR, diese Frage in mehrjährigen Feldversuchen in verschiedenen Weinbaugebieten, bei unterschiedlichen Boden- und Klimaverhältnissen zu prüfen.“

Anhand der in der Bundesrepublik durchgeführten Versuche kam man zunächst zu dem Ergebnis, dass im Feldversuch kaum ein Unterschied zwischen den mit unterschiedlichen Kaliumformen gedüngten Parzellen festzustellen war – allenfalls eine leichte Steigerung des Ertrags bei der Anwendung von Kaliumchlorid als bei der Düngung mit Kaliumsulfat. In jedem Fall ließ – nach Edelbauer ( 1976 ) – das Ergebnis zu folgender Schlussfolgerung gelangen: auch bei einer hohen Gabe von  $480 \text{ kg K}_2\text{O} / \text{ha}^{-1}$  in Form von Kaliumchlorid ist keine nachteilige Chloridwirkung zu beobachten. Jedoch führte das höhere Düngungsniveau auch zu keiner Ertragssteigerung oder auch nur zu einer Qualitätsverbesserung.

Es erscheint angemessen, den in diesem Zusammenhang entstehenden Fragen in dieser Übersicht weitere Überlegungen anzuschließen – zählt doch immerhin die Weintraube als solche zum Beerenobst – wenngleich sie sich von anderen angebauten Arten in mancher Hinsicht erheblich unterscheidet. Diese Unterschiede – als Beispiel sei hier die spezifische Entwicklung des Traubenzuckergehaltes genannt – werden in der vorliegenden Arbeit an anderer Stelle erwähnt werden.

Zunächst einmal muss hier nach den Gründen gefragt werden, die für die dem Weinstock nachgesagte Chlorophobie maßgebend sind. Edelbauer ( 1976 ), konstatiert, dass die bisher bei der Düngung mit Stallmist verabreichte Chloridmenge der Rebe – soweit dies nach dem wissenschaftlichen Stand bis Mitte der sechziger Jahre erkennbar war – der Rebe nicht geschadet hat. Freilich hätte die notwendige Kaliumergänzung – in Form chloridischer Salze verabreicht – die begrenzte Chloridverträglichkeit der Rebe mit Sicherheit an

ihre Grenzen gebracht. Von dieser exakt zu bestimmenden Menge an chloridischen Salzen hat man den – zumindest in dieser Form – fälschlichen Schluss der Chloridunverträglichkeit der Rebe gezogen. In geringer Menge, so schreibt Edelbauer ( 1976 ), kann das Chlorid – wie seine eigenen Versuche bewiesen – sich durchaus vorteilhaft auswirken.

Selbstverständlich sind – gerade in diesem Zusammenhang – spezifische Eigenschaften der verwendeten Unterlagsreben durchaus von Bedeutung. Vor allem aus Untersuchungen in Australien wissen wir, dass verschiedene Unterlagsreben das Chlorid bei gleichem Angebot in unterschiedlicher Weise aufnehmen und verlagern (Newman and Antcliff, 1984). Die sogenannten salztoleranten Sorten enthalten ca. nur 0,05 % Chlorid in der Blatttrockensubstanz, die salzempfindlichen haben hingegen einen bis zu 15fach höheren Gehalt. Damit kommen sie bereits in einen Bereich, in dem Verbrennungen des Blattrandes durch zu hohe Chloridkonzentration erkennbar sein können. Wenig später weist Edelbauer ( 1978 ), in einer Untersuchung über Traubenertrag und den Mineralstoffgehalt von Blättern auf die Ergebnisse von Versuchen hin, nach denen an Pflanzenarten, die bisher als durchweg chloridempfindlich galten, Schäden durch Chloridmangel hervorgerufen wurden.

Der Chloridgehalt der Rebblätter hängt indessen nicht nur vom Chloridangebot im Substrat ab – er kann unter Umständen, je nach Sorte bis zum 15fachen schwanken, wie u. a. bei Kuiper ( 1968 ), nachzulesen ist. In seinen eigenen Versuchen gelangt Edelbauer zu folgenden Resultaten:

- „1) Bei hohem Chloridanteil der Nährlösung...war der Traubenertrag durchschnittlich nur etwa halb so hoch wie bei hohem Sulfatanteil...
- 2) Durch den Übergang von Chlorid- auf die Sulfatvarianten nahmen in den Blättern die Ca-, aber auch die Mg- und K-Gehalte ab. Ebenso die Fe-, Mn-, Cu- und Zn-Gehalte. Im Holz der 1-jährigen Triebe stieg der Fe-Gehalt stark an. In etwa gleichem Ausmaß verringerte sich der Zn-Gehalt. In Blättern und 1-jährigem Holz war eine negative Beziehung zwischen  $\text{Cl}^-$  - und  $\text{NO}_3^-$  - Gehalten deutlich ausgeprägt.“

Von Buchholz und Fiedler gibt es auf dem Gebiet der damaligen DDR zwar aus dem Jahre 1979 „Untersuchungen über den Einfluss langjähriger Düngung mit verschiedenen Kalidüngemitteln sowie unterschiedlichen Stickstoff- und Kalimengen auf Leistungsmerkmale von Apfelmastniederlagen an verschiedenen Standorten der DDR“, wobei es stets zu

berücksichtigen gilt, dass Kalidüngemittel nahezu immer in unterschiedlichen Mengen Chloride enthalten können. Jedoch wird aus den verschiedenen Versuchen mit Kaliumformen zu keinem Zeitpunkt ersichtlich, wie hoch der Anteil an Chloriden in der jeweiligen Versuchsanordnung ist. In einer weiteren Untersuchung von Uebel an der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der ehemaligen DDR aus dem Jahre 1982 – die u.a. langjährige Versuche mit Johannisbeeranlagen zum Inhalt haben, die bis in das Jahr 1971 zurückgehen – wird bei den verschiedenen Kaliformenversuchen zumindest ein mit Chloriden versetztes Kalidüngemittel eingesetzt.

„Kalium wurde im Kaliformenversuch als K 60 (chloridisches Kali-düngemittel, 50 % K) KS ( Kaliumsulfat, 42 % K ) bzw. KX (Kamex mit 33 % K und 2,4 % Mg) ausgebracht.“

Beim genannten Kaliformenversuch zur Johannisbeere wurde – auch bei den vorliegenden hohen Kaligehalten des Oberbodens – durchschnittliche Mehrerträge an Johannisbeeren von 7 bis 12 % nach einer mit Kalium erfolgten Düngung erzielt.

„Das chlorische, magnesiumhaltige Kalidüngemittel Kamex bewirkte einen signifikanten Ertragsanstieg um 12 % und erzielte damit den größten Effekt von allen geprüften Kalidüngemitteln. Kaliumsulfat ( KS ) bewirkte Mehrerträge von 9 % K 60 von 7 %. Während die durch Kaliumsulfatdüngung ausgelöste Ertragszunahme signifikant war, blieb der durch K 60-Düngung erreichte Ertragsanstieg infolge der großen Streuung dieses Effektes in den einzelnen Jahren im Streubereich.... K 60 war dabei dem KS nur geringfügig und nicht signifikant unterlegen.“

Auch bei der Prüfung dieser wissenschaftlichen Untersuchung gilt, dass der Wert oder Unwert chloridischer Düngung hier nur höchst mittelbar vertreten ist – spezifische notwendige Versuche zu diesem Komplex werden im Grunde nicht weiter fortgeführt. Letztlich gelangt der Autor (Uebel, 1982) bei den Kalidüngungsversuchen mit der Johannisbeersorte Rote Spätlese und der Apfelsorte Idared – in einem Versuchszeitraum von immerhin sechs Jahren – nur zu dem Schluss, dass zwischen Kaliumchlorid (K 60) und Kaliumsulfat (KS) keine wesentlichen Unterschiede bestünden (Uebel, 1982). Ein wesentlicher Schwachpunkt dieser Untersuchungen ist, dass der Nährstoff Mg und der Mineralstoff Na nicht ausreichend berücksichtigt wurden.

## Kapitel 2. Literaturübersicht

Zu Beginn der 90er Jahr gibt es eine Untersuchung von Keipert über Himbeeren aus dem Jahre 1990, in der jedoch nur empfohlen wird, auf chloridhaltige Düngemittel gänzlich zu verzichten, ohne diese Forderungen an nachprüfbar Versuchen zu beweisen. Eine der letzten größeren Arbeiten zu diesem Thema ist das 1991 erschienene Werk „Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze“ von Mengel. Dieser führt in seinem Buch in einem Abschnitt über Chloride unter anderem aus, dass Chlorid in der Natur überaus weit verbreitet sei. Im Boden sei es gut beweglich, so dass es unter humiden Bedingungen leicht ausgewaschen, bei aridem Klima in der oberen Schicht sogar angereichert wird. Weiter führt er aus, Chlorid könne von der Pflanze aktiv – d.h. entgegen einem elektrochemischen Gradienten – aufgenommen werden. Die Aufnahmeraten können nach Mengel durchaus hoch sein, und es könne so zu beträchtlichen Chloridanreicherungen im Cytoplasma und auch in der Vakuole kommen.

„Neben der Aufnahme über die Wurzel kann Cl in Form von Cl<sub>2</sub> über die Stomata in die Pflanze gelangen. Chlorid ist in der Pflanze in basipetaler und akropetaler Richtung gut beweglich.... Die Cl<sup>-</sup> - Gehalte in der Pflanze liegen in einer Größenordnung 2 bis 20 mg Cl g<sup>-1</sup> Trockenmasse und entsprechen damit Gehalten, die für Makronährstoffe zutreffen.“

In einem besonderen Kapitel über die spezifische Wirkung und Bedeutung der einzelnen Pflanzennährstoffe äußert sich Mengel (1991) über Kalidüngemittel und kommt dabei auch auf die chloridhaltigen Düngemittel zu sprechen.

„Am Verbreitetsten sind die Kalidüngemittel auf Chloridbasis ( 40 er Kali mit etwa 40 % K<sub>2</sub>O, 50er Kali mit rund 50 % K<sub>2</sub>O sowie verschiedene Mehrnährstoffdüngemittel )....Chloridhaltige Kalidüngemittel werden vorwiegend für die Düngung von Getreide, Beta-Rüben, Feldfutter, Wiesen und Weiden verwendet. Sulfathaltige Düngemittel ( Kalisulfat mit 48-52 % K<sub>2</sub>O, Kalimagnesia mit 26 – 30 % K<sub>2</sub>O und 8 – 10 % MgO ) sind die Kalidüngemittel der chloridempfindlichen Pflanzen. Hierzu zählen Tabak, Wein, Obst, Baumwolle, Zuckerrohr und Kartoffel. Von den gärtnerischen Kulturen sind nach Buchner ( 1958 ) Erdbeere, Tomate, Gurke, Zwiebel, Radieschen und Lauch chlorophob, Spinat, Salat, Sellerie, Endivien, Mangold, Wirsing sowie Rot- und Weißkohl chlorophil. .... Das Chlorid senkt hierbei weniger den Ertrag als den Stärkegehalt.“

Hier wird überdies die Frage chloridhaltiger Düngung allein nach den Kriterien landwirtschaftlicher Nutzbarkeit entschieden – die zwar legitim sind, den wissenschaftlichen Rahmen jedoch rigoros einschränken. So weist Mengel (1991) Kalimagnesia als den Kalidünger Mg-ärmerer Standorte aus; er enthalte 8 – 10 % MgO in Form von Sulfat.

„Magnesia-Kainit ist der Kalidünger der Weide. Er ist ein chloridischer Dünger und enthält neben 12 %  $K_2O$  6 % MgO und 24 %  $Na_2O$ . Bei den PK-Düngern sind Thomaskali und Phosphatkali chloridisch. Von letzterem Düngemittel gibt es auch eine Variante, deren Kali zur Hälfte aus K-Sulfat und der Rest aus KCl besteht. Schwerlösliche Kalidüngemittel finden nur im Gartenbau Verwendung.“

Bei chlorophoben Pflanzen wirkt sich die Chloriddüngung – nach Mengel (1991) – dann überaus negativ aus, sofern sie im Frühjahr erfolgt; bei Herbstdüngung oder bei Stoppeldüngung im Spätsommer werde ein großer Teil des Chlorids mit den Winterniederschlägen ausgewaschen.

Dieser Versuch einer Übersicht über die seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts bis in die Gegenwart erfolgten wissenschaftlichen Untersuchungen über die Chloridempfindlichkeit von Beerenobst und die demzufolge in überaus exakter Dosierung zu gebende chloridische Düngung lässt in der Tat sehr viele Fragen offen – zumal dieses spezifische Thema zumeist nicht in der wissenschaftlichen Breite, die es verdient hätte, dargestellt worden ist. Die Angriffsflächen von Beerenobst sind mit Sicherheit allzu lange mit der von Wissenschaftlern über Jahrzehnte hinweg durch Versuche nur unzureichend belegten Chlorophobie in Zusammenhang gebracht worden. Es ist Aufgabe der hier vorliegenden Arbeit, die Chloridempfindlichkeit von Beerenobst anhand von Nährlösungs-, Gefäß- und Feldversuchen mit diesen Obstarten nach strengen analytischen Regeln zu überprüfen. Damit soll letztlich auch die Möglichkeit geschaffen werden, den unter zahlreichen Einzelaspekten angelegten Untersuchungen zu diesem Thema auf der Grundlage einer klar strukturierten, soliden wissenschaftlichen Arbeit neue Perspektiven zu eröffnen und diese ein Stück weit entwickeln zu helfen.

### 3. VERSUCHSFRAGEN UND ARBEITSHYPOTHESEN

Aus der obigen Literaturrecherche wird ersichtlich, dass die häufig zitierte Chloridempfindlichkeit der Johannisbeere und anderen kleinfruchtigen Obstarten nur unzureichend durch Ergebnisse aus Gefäß- bzw. Feldversuchen belegt ist. Insbesondere fehlen nachvollziehbare Versuchsergebnisse, aus denen man eindeutig auf Chloridschädigungen der Johannisbeere durch eine praxisübliche Kaliumdüngung in Form von Kornkali (40 er Kali) oder sogar in Form von Kalirohsalz schließen könnte.

Hieraus ergeben sich für die geplanten Experimente folgende Versuchsfragen:

- a) In welchem Ausmaß sind die Johannisbeeren und die Erdbeeren chlorid- bzw. natriumempfindlich?
- b) Inwieweit unterscheiden sich die Roten, Weißen und Schwarzen Johannisbeersorten in der Chlorid- bzw. Natriumempfindlichkeit?
- c) Sind Chloridschäden an Blättern und Beeinträchtigung des Wachstums bei praxisüblicher Kaliumdüngung als KCl in Form von Kornkali (40 er Kali) bzw. als Kalirohsalz (ca. 4 Fach erhöhte Chloridgabe im Vergleich zu Kornkali) bei den einzelnen *Ribes*-Arten im Gefäß- oder Feldversuch nachweisbar?
- d) Inwieweit lassen sich durch eine KCl-Gabe im Herbst unter humiden Klimabedingungen die möglichen Chloridschäden als praxismögliche Vermeidungsstrategie verhindern?
- e) Kann somit auf die z.Zt. empfohlene, teure  $K_2SO_4$ -Düngung zu Gunsten von Kornkali verzichtet werden, sofern die praxisüblichen Kaliumdüngergaben jährlich ausgebracht werden und dies insbesondere im Herbst?

Dieser Promotionsarbeit liegen folgende Arbeitshypothesen zu Grunde:

- a) Johannisbeerpflanzen inkl. der offensichtlich chloridempfindlicheren roten und weißen Art (*Ribes rubrum* L.) werden bei praxisüblicher Kaliumdüngung in Form von Kornkali und auch in Form von Kalirohsalz nicht geschädigt. Nur bei wiederholten und stark erhöhten Kaliumchlorid-Düngung unter geschützten Anbaubedingungen ohne mögliche Chlorid- auswaschung oder auf Salzstandorten mit deutlich höheren Chloridkonzentrationen im Boden können Chloridschäden in Form von Blatt-

randnekrosen an älteren Blättern zum Ende der jährlichen Vegetationsperiode sowie Wachstumshemmungen beobachtet werden.

- b) Unter diesen „Worst-Case-Szenario Bedingungen“ mit erhöhter Anwendung von Kaliumchlorid in Form von Kalirohsalz können durch gezielte Herbestanwendung mit der möglichen Chloridauswaschung in tiefere Bodenschichten die Chloridschädigung vollständig als effektive Vermeidungsstrategie vermieden werden.

## 4. VERSUCHSANSÄTZE UND BESCHREIBUNG DER VERSUCHSSTANDORTE

### 4.1. Versuchsansätze

Ergänzend zu der nur sehr begrenzt ergiebigen Literaturrecherche (Kapitel 2) zur Chloridempfindlichkeit der Johannisbeere als Vertreterin von kleinbeerigen Obstarten sollte durch verschiedene Vegetationsversuche die einzelnen Versuchsfragen vom Kapitel 3 beantwortet werden. Hierzu wurden mit bis zu 8 verschiedenen Johannisbeersorten (Rote, Weiße und Schwarze Johannisbeere) Nährlösungs- und Gefäßversuche in Hohenheim und ein Feldversuch in Bavendorf durchgeführt. Bei der Erdbeere wurden ergänzend 2 Feldversuche in Wittlaer/Düsseldorf und Horb/Neckar angesetzt und analysiert. Zum Nachweis einer Chloridverlagerung in tiefere Bodenschichten wurden bodengefüllte PVC-Säulen im Freiland in Wittlaer über den Winter 1997/1998 aufgestellt und im Juni 1998 beprobt und ausgewertet (Chlorid-Auswaschungsversuch).

Darüber hinaus wurde versucht, einen möglichen Einfluss erhöhter Chloridgaben auf die Cadmiumverfügbarkeit im Boden und einer erhöhten Cadmiumaufnahme bei der Johannisbeere zu erfassen (Zusammenhang zwischen Chlorid und Cadmium).

#### 4.1.1. Kurzeitaufnahmeversuche mit radioaktiv markiertem Chlorid ( $^{36}\text{Cl}$ ) und Natrium ( $^{22}\text{Na}$ )

Aus der Literatur ist bekannt, dass unterschiedlich chloridempfindliche Kulturpflanzen (Lessani and Marschner, 1978) und Sorten von Reben (Newman und Antcliff, 1984) sich im Wurzel aufnehmenvermögen und/oder im Rückhaltevermögen der Wurzeln für Chlorid und/oder Natrium unterscheiden. Daher wurden zur besseren Charakterisierung des grundsätzlichen Chlorid-Aufnahmeverhaltens, des Rückhaltevermögens in Wurzeln und der Verlagerung in den Spross von einzelnen *Ribes*-Arten, insbesondere von der Roten, Weißen und Schwarzen Johannisbeere, Nährlösungsversuche mit radioaktiv markiertem Chlorid ( $^{36}\text{Cl}$ ) durchgeführt. Bei diesen grundsätzlichen Versuchen wurde auch Natrium als  $^{22}\text{Na}$  in die Untersuchungen einbezogen, da mit den chloridreichen Kaliumdüngern gleichzeitig größere Mengen an Natrium ausgebracht werden. Insgesamt wurden 1998 und 1999 drei solcher Kurzeitergebnisse mit Radioisotopen durchgeführt, welche im Kapitel 6 im Einzelnen beschrieben sind.

#### 4.1.2. Nährlösungsversuche

Ergänzend zu den Kurzeitaufnahmeversuchen mit Radioisotopen ( $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ) wurde mit 4 Johannisbeersorten ein Nährlösungsversuch mit jeweils zwei Chlorid- und Natriumgaben (10 und 40 mM) für 18 Tage in der Vegetationshalle des Instituts für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim durchgeführt (Kapitel 7). Dieser Versuch sollte ebenfalls Informationen über die Aufnahme und das Rückhaltevermögen von Natrium und Chlorid in den Wurzeln der ausgewählten Sorten liefern.

#### 4.1.3. Gefäßversuch zur Aufnahme von Chlorid und Natrium bei Johannisbeeren

Der im Kapitel 8 ausführlich beschriebene Gefäßversuch mit 8 Johannisbeersorten sollte neben Daten zur Aufnahme und Akkumulation von Chlorid und Natrium in Blättern und Holz vor allem Informationen über Auftreten von Chlorid- und Natriumtoxizität und Wachstumsbeeinträchtigungen geben. Dieser Gefäßversuch wurde von 1999 bis 2001 in der Vegetationshalle des Instituts für Pflanzenernährung durchgeführt. In der Abb. 4.1 wird dieser Gefäßversuch in Mitscherlich-Töpfen im Winter 2000/2001 mit Plastiktüten zum Schutz vor Chloridauswaschung gezeigt.



*Abb. 4.1.: Mehrjähriger Gefäßversuch mit verschiedenen Johannisbeer-Sorten im Drahthaus der Vegetationshalle des Instituts für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim im Winter 2000/2001. Zum Schutz vor Chloridauswaschung wurden die Mitscherlich-Töpfe mit Plastiktüten geschützt.*

#### 4.1.4. Mehrjähriger Feldversuch zur Aufnahme von Chlorid und Cadmium in Blättern und Früchten unterschiedlicher *Ribes*-Arten

Um der Praxis besser gerecht zu werden, wurde ergänzend zu dem Gefäßversuch unter kontrollierten Bedingungen ohne Auswaschungsmöglichkeiten von Chlorid ein Feldversuch auf der Versuchsstation Bavendorf, Ravensburg, des Kompetenzzentrums Obstbau Bodensee (KOB) vom Frühjahr 2002 mit 5 Johannisbeersorten und abgestuften Chloriddüngung zu zwei Zeitpunkten (Herbst versus Frühjahr) angelegt und bis Herbst 2006 durchgeführt. Dieser Feldversuch sollte ermöglichen, die z.Zt. übliche chloridfreie Kaliumdüngung zu bewerten (Kapitel 9). Zusätzlich sollte dieser Feldversuch die mögliche Auswirkung einer erhöhten Chloriddüngung auf die Cadmiumanreicherung ermöglichen (Kapitel 12). Abb. 4.2 zeigt die verschiedenen Johannisbeersorten und Behandlungen am Standort Bavendorf/Ravensburg.



*Abb. 4.2.: Übersicht von Johannisbeer-Feldversuch auf der Versuchsstation Bavendorf, Ravensburg, Kompetenzzentrum, Obstbau Bodensee (KOB)*

#### 4.1.5. Feldversuch zur Aufnahme von Chlorid (und Cadmium) in Erdbeerpflanzen

Ergänzend zu dem mehrjährigen Feldversuch mit verschiedenen Johannisbeersorten auf der Versuchsstation Bavendorf wurde in Wittlaer/Düsseldorf und Horb/Neckar ein Erdbeer-Freilandversuch mit steigender Chloriddüngung 1997 angesetzt und im Folgejahr 1998 zu zwei Terminen beprobt (Kapitel 10 und 12). In den Abb. 4.3 und 4.4 werden die beiden Standorte gezeigt.



*Abb. 4.3.: Erdbeerafeld mit steigender Chloriddüngung vom Wittlaerer Hof in Düsseldorf-Wittlaer, November 1997*



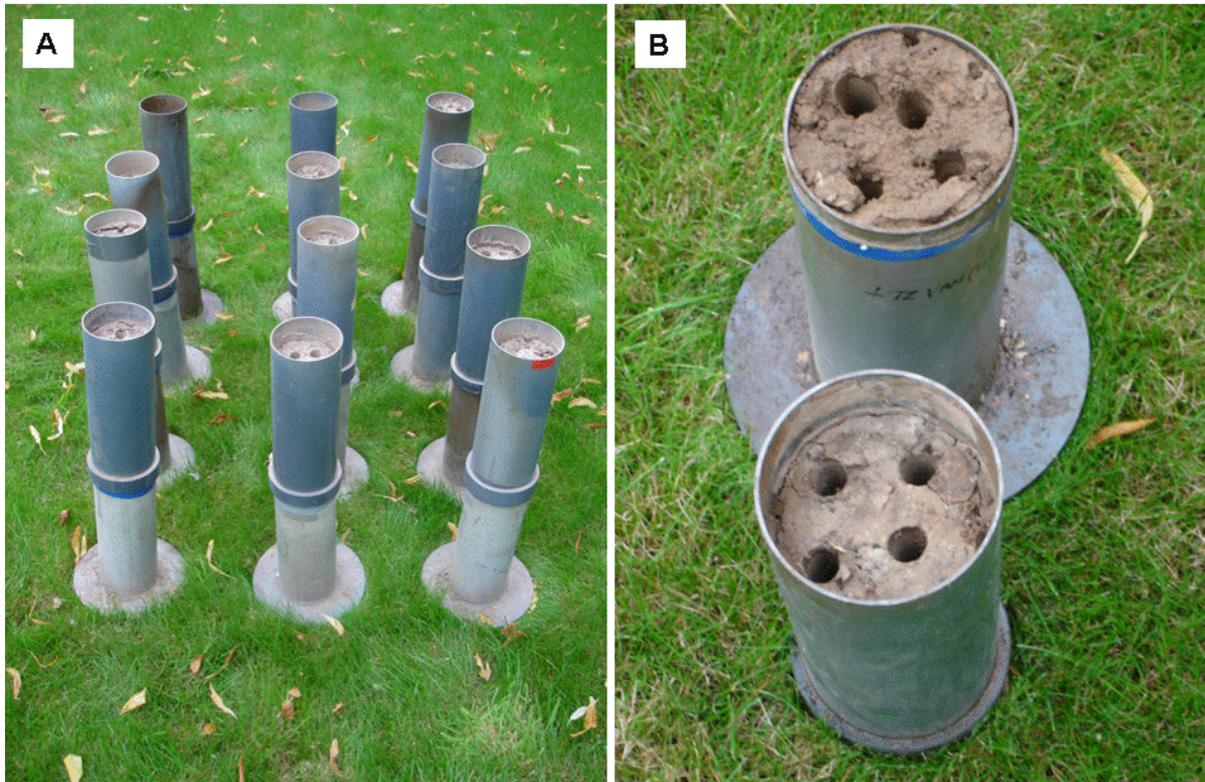
*Abb. 4.4.: Erdbeerfeld mit steigender Chloriddüngung vom Gartenbaubetrieb Obst + Beerenbau, Walter Maier in Horb-Betra im, November 1997*



*Abb. 4.5.: Standort für das Aufstellen der 2-teiligen Bodensäulen zur Bestimmung der möglichen Chlorid-Tiefenverlagerung auf dem Wittlaerer Hof 1997/1998.*

#### 4.1.6. Bodensäulenversuch zur Chloridverlagerung unter Freilandbedingungen

Zur experimentellen Untermauerung der angenommenen Chloridverlagerung in tiefere Bodenhorizonte über die vegetationsfreie Winterzeit wurden 2-teilige im November 1997 bodengefüllte PVC-Röhren im Freiland vom Wittlaerer Hof aufgestellt und im Frühsommer (Juni 1998) differenziert nach den verschiedenen Bodenhorizonten beprobt. Die Analysen auf Chlorid sollten Informationen über das Ausmaß der Chloridverlagerung unter Praxisbedingungen geben (Kapitel 11). In Abb. 4.5. ist der Standort für diese 12 PVC Bodensäulen gezeigt und in Abb. 4.6. sind Einstiche nach der Bodenprobenahme am 23.06.1998 zu erkennen.



*Abb. 4.6.: Bodengefüllte PVC-Säulen (2x25cm) unter Freilandbedingungen auf dem Wittlaerer Hof, Düsseldorf-Wittlaer zur Erfassung der Chloridbewegung im Bodenprofil in dem Zeitraum zwischen 13.11.1997 und 23.08.1998. A. Gesamtansicht der 12 Doppelröhren. B. Einzelaufnahme einer geteilten Doppelröhre nach einer wiederholten Bodenprobenahme mit dem Bohrstock für die Bodenanalyse am 23.06.1998*

## 4.2. Beschreibung der Versuchsstandorte

Im Folgenden werden die 4 Versuchsstandorte Hohenheim, Bavendorf, Wittlaer und Horb/Neckar hinsichtlich der wesentlichen Boden- und Klimadaten beschrieben.

### 4.2.1. Stuttgart-Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung

In Hohenheim wurden die einzelnen Versuche mit Johannisbeere als Nährlösungs- und Bodengefäßversuche in einer Vegetationshalle bzw. als Kurzeitenaufnahmeversuch in einer Klimakammer durchgeführt. Hierdurch erübrigt sich die Wiedergabe von Niederschlagshöhe und Verteilung, Jahresdurchschnittstemperatur und Charakterisierung der Böden der Versuchstation.

### 4.2.2. Bavendorf, Kompetenzzentrum (KOB)

Auf der Versuchstation Bavendorf (Ravensburg - Bavendorf), Kompetenzzentrum (KOB), wurde der im Kapitel 9 beschriebene langjährige Johannisbeeren - Sortenversuch mit unterschiedlicher Chloriddüngung durchgeführt. Die wichtigsten Boden- und Klimadaten sind in Tab. 4.1. und Abb. 4.7. wiedergegeben.

*Tab. 4.1.: Bodeneigenschaften der 3 Standorte mit Erdbeer- bzw. Johannisbeer-  
versuchen*

Standort	Bodenart	Humusgehalt	%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>1)</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>1)</sup>	Mg <sup>2)</sup>	Cd <sup>3)</sup>	Cd (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )
KOB, Ravensburg-Bavendorf	n.b <sup>5)</sup>	n.b	0,64	4,6	48	72	26	0,73	2,1
Horb-Betra Betrieb Maier	o.A <sup>6)</sup>	o.A <sup>6)</sup>	o.A <sup>6)</sup>	o.A <sup>6)</sup>	o.A <sup>6)</sup>	o.A <sup>6)</sup>	o.A <sup>6)</sup>	-	-
Wittlaerer Hof Düsseldorf	sL/uL/L	1,8	0,12	6,3	12	16	6	0,59	13

1) Bestimmung mithilfe der CAL Methode; mg/100g Boden;

2) Bestimmung mithilfe der MgCl-Extraktion; mg/100g Boden

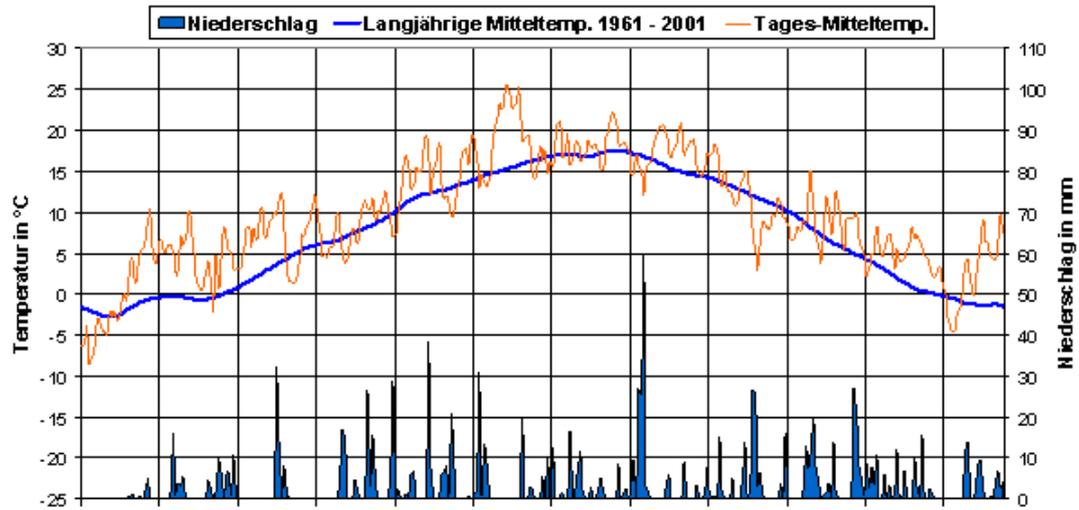
3) Gesamt Cd (mg/kg Boden)

4) NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> extrahierbares Cd (µg/kg Boden)

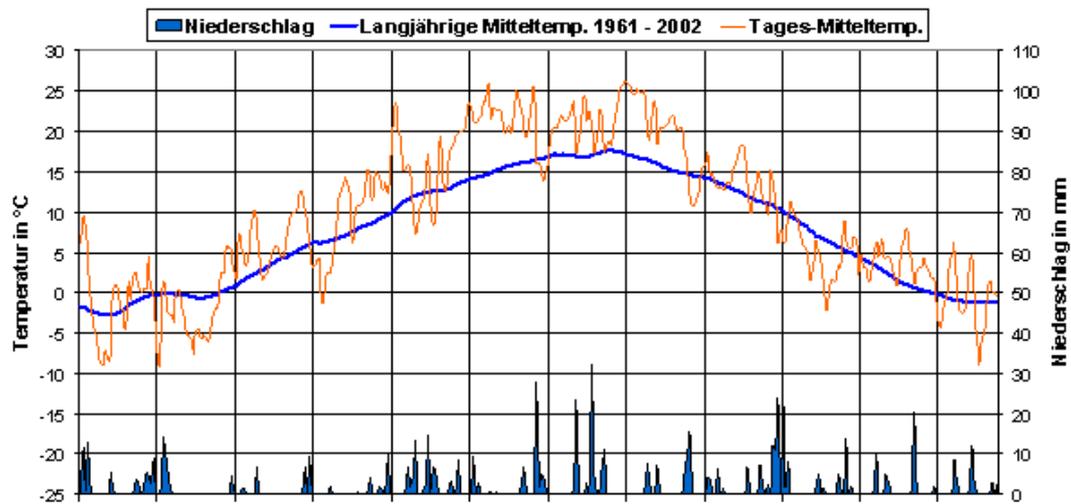
5) nicht bestimmt

6) Ohne Angaben; Betriebsauflösung

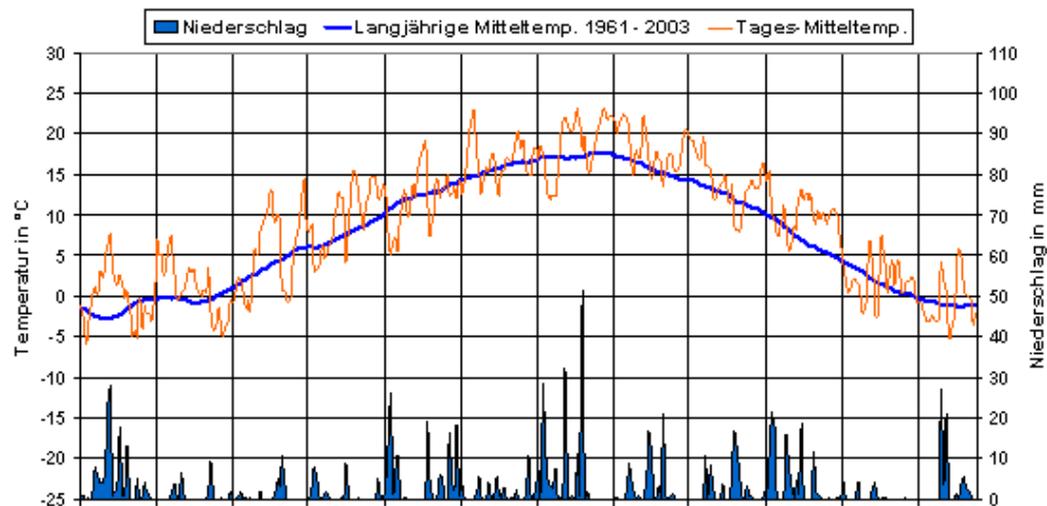
A. Wetterverlauf 2002 - Versuchsstation Bavendorf



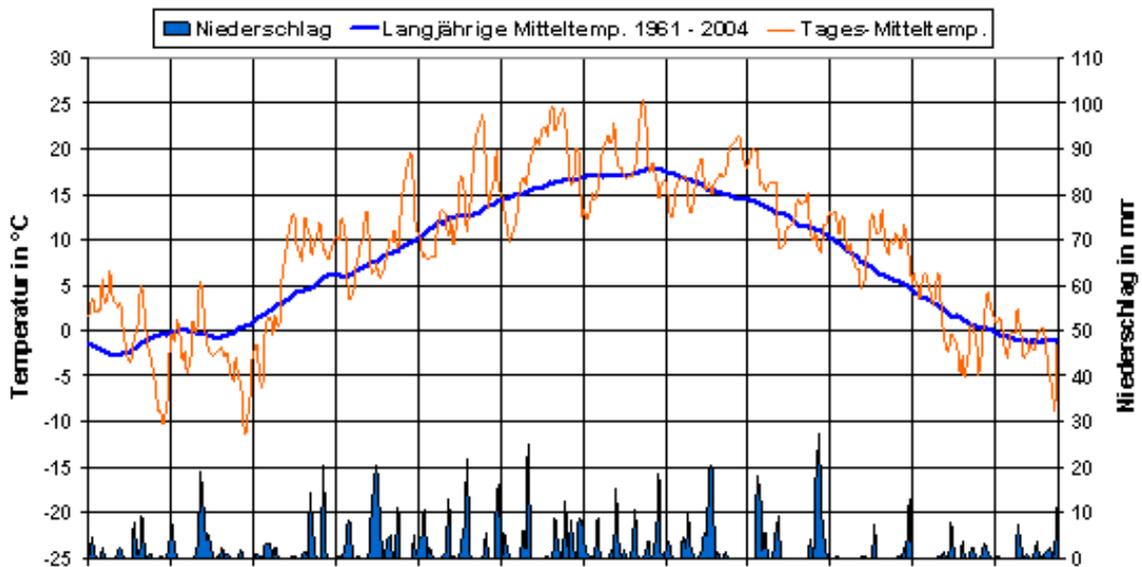
B. Wetterverlauf 2003 - Versuchsstation Bavendorf



C. Wetterverlauf 2004 - Versuchsstation Bavendorf



D. Wetterverlauf 2005 - Versuchstation Bavendorf



E. Wetterverlauf 2006 - Versuchstation Bavendorf

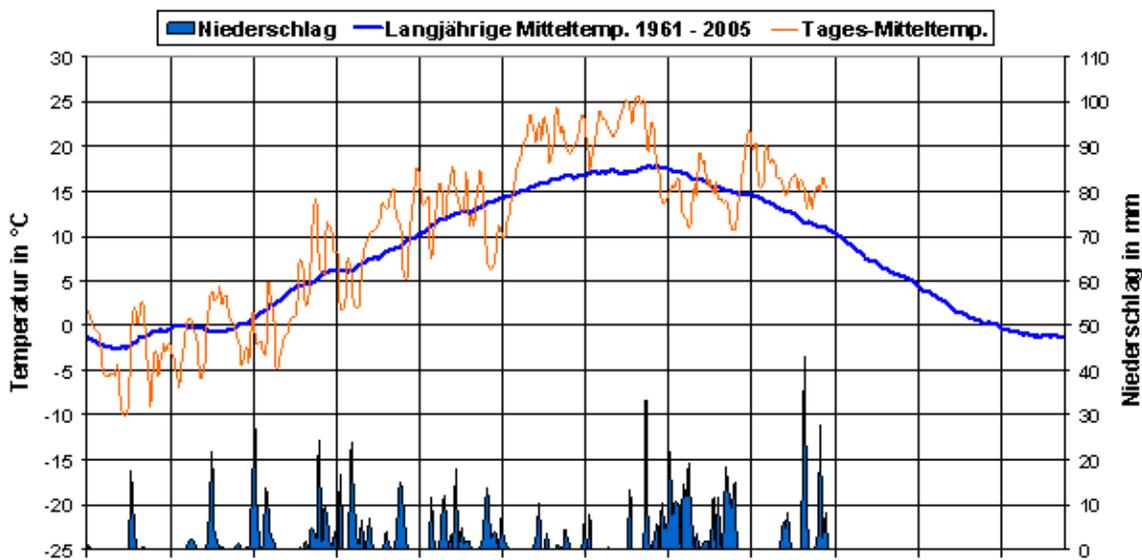


Abb. 4.7.: Wetterdaten für die Versuchstation Bavendorf (Niederschlag [mm]; Tages-Mitteltemperatur [°C] und langjährige Mitteltemperatur [°C] für die Jahre 2002 - 2006 A - E)

### 4.2.3. Horb/Neckar Betrieb Walter Maier, 72160 Horb-Berta

Auf dem Beerenobst-Betrieb Walter Maier wurde vom November 1997 bis Sommer 1998 ein Chloriddüngungsversuch (Kapitel 10) mit Erdbeeren und Himbeeren durchgeführt. Aus Zeit- und Kostengründen wurden im weiteren Verlauf die Himbeeren nicht weiter beprobt und analysiert. Die relevanten Boden- und Klimadaten sind aus Tab. 4.1 und Tab. 4.2 zu entnehmen.

*Tab. 4.2.: Aktueller Monatsniederschlag Nov. 1997 bis Juni 1998 in Wittlaer, monatliche Durchschnittsniederschlagsmenge und Durchschnittsjahresniederschlag und langjährige Jahresdurchschnittstemperatur für die Standorte Düsseldorf/Wittlaer und Horb/Neckar.*

Monat	Düsseldorf - Wittlaer		Horb-Betra
	aktueller Niederschlag 97/98	Ø Monatsniederschlag	Ø Monatsniederschlag
Nov (ab 13.11)	18.2		
Dez	76.4		
Jan	51.7	66.9	75.2
Feb	5.6	49.4	67.6
März	77.7	63.5	61.3
April	115.9	51.0	68.4
Mai	64.1	70.6	91.0
Juni (bis 23.06)	106.0	86.1	90.7
Juli		71.3	72.1
Aug.		62.3	80.1
Sept.		56.7	56.7
Okt.		56.3	56.0
Nov.		56.8	77.2
Dez.		73.5	79.7

Durchschnitts-Jahres-Niederschlag:                      773 mm (Wittlaer)                      876 mm (Horb-Betra)

Langjährige Jahres-Durchschnittstemperatur:    10.3 °C    8.2 °C

### 4.2.4. Düsseldorf-Wittlaer, Wittlaerer Hof

Auf dem Wittlaerer Hof wurde wie auch auf dem Beerenobst-Betrieb Walter Maier, Horb/Neckar ein Erdbeerdüngungsversuch mit unterschiedlichen Chloridgaben (Kapitel 10) durchgeführt. Weiterhin wurde auf dem Hof ein Bodensäulenversuch zum Ausmaß einer Chlorid-Tiefenverlagerung unter Freilandbedingungen (Kapitel 11) durchgeführt. Die hierfür notwendigen Niederschlagshöhe und -verteilung ist in Tab. 4.2. und die Bodeneigenschaften in Tab. 4.1. wiedergegeben.

## 5. MATERIAL UND METHODEN (ALLGEMEIN)

### 5.1. Material

#### *Verwendete Johannisbeer-Sorten*

In den folgenden Versuchen (Kap. 6, 7, 8, 9, 11 und 12) wurden jeweils eine Auswahl aus folgenden 8 Johannisbeersorten der Baumschule Heckmann 74259 Widdern aus dem Kaufjahr 1999 getroffen:

*Rote Johannisbeere (Ribes rubrum L.)*

- 1) Rolan
- 2) Jonkheer van Teets
- 3) Red Lake

*Weißer Johannisbeere (Ribes rubrum L.)*

- 4) Weiße Versailler
- 5) Weiße Langtraubige

*Schwarze Johannisbeere (Ribes nigrum L.)*

- 6) Titania
- 7) Tenah
- 8) Ben Sarek

Die bewurzelten 1-jährigen Jungpflanzen der Baumschule Heckmann wurden entweder für die Nährlösungs- (Kap. 6 und 7) oder für Gefäßversuche (Kap. 8) in Hohenheim verwendet. Für den Feldversuch (Kap. 9) in Bavendorf (KOB) wurden 2-jährige Pflanzen von 5 Sorten (Red Lake, Rolan, Weiße Langtraubige, Titania, Tenah) von der gleichen Baumschule in Widdern im Jahr 2002 erworben.

#### *Verwendete Erdbeersorte*

Für die Erdbeer-Feldversuche (Kap. 10) in Wittlaer /Düsseldorf und in Horb/Neckar wurden jeweils die Sorte Elsanta gepflanzt.

#### *Nährlösungen*

Die in Kapitel 6 und 7 verwendete Nährlösung wurde jeweils in dem betreffenden Kapitel unter Material und Methoden beschrieben.

### *Düngung der Gefäß- und Feldversuche*

Die Düngung mit NPK und Mg wurde praxisüblich durchgeführt und bei den einzelnen Kapiteln beschrieben.

Hinsichtlich der Behandlungen mit Chlorid und im Fall des Gefäßversuches (Kap. 8) getrennt auch mit Natrium wurde als Basis der Behandlungen für die einzelnen Versuche folgende Annahme zur Berechnung gemacht:

Um dem Praxisbezug gerecht zu werden, sollte neben der chloridfreien Düngung mit  $K_2SO_4$  ohne zusätzliche Chlorid- oder Natriumzugabe einmal Korn-Kali+Mg mit vergleichsweise geringem NaCl-Gehalt (15-20%) und Kalirohsalz mit deutlich höherem NaCl-Gehalt (60-70%) als „Worst-Case-Szenario“ gedüngt werden, also mit einem Unterschied zwischen Faktor 3 - 4 für Natrium und Chlorid. Bei den einzelnen Gefäß- und Feldversuchen wurde dieser Faktor zugrunde gelegt:

Nährlösungsversuch (Kapitel 7)	Faktor 4,
Gefäßversuch (Kapitel 8)	Faktor 4,
Gefäßversuch (Kapitel 10)	Faktor 3,
Gefäßversuch (Kapitel 11)	Faktor 3 bzw. 9,
Feldversuch (Kapitel 9)	Faktor 4,

Hieraus ergab sich z.B. für den Gefäßversuch (Kap. 8) und den Feldversuch (Kap. 9) folgende Behandlungen:

*Kontrolle:*  $K_2SO_4$  praxisüblich, ohne zusätzliches Chlorid und Natrium

*Chlorid I:*  $K_2SO_4$  praxisüblich,  
(Cl I) + Chlorid I als  $CaCl_2$  auf der Basis von Kornkali

*Chlorid II:*  $K_2SO_4$  praxisüblich,  
(Cl II) + Chlorid II als  $CaCl_2$  auf der Basis von Kalirohsalz. Da Kalirohsalz ca. die 4 fache Menge an NaCl enthält als Kornkali betrug Cl II das 4 Fache von Cl I

*Natrium I:*  $K_2SO_4$  praxisüblich,  
(Na I) + Natrium I als  $Na_2SO_4$  auf der Basis von Kornkali

*Natrium II:*  $K_2SO_4$  praxisüblich,

(Na II) + Natrium II als  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  auf der Basis von Kalirohsalz (4fache Menge von  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  als bei Na I)

### *Bodenmischung für Gefäßversuche*

Für den Gefäßversuch mit Johannisbeerpflanzen mit 8 verschiedenen Sorten sind Angaben zu dem verwendeten Substrat im Kapitel 8 unter Material und Methoden wiedergegeben.

Zur Messung der Chlorid-Tiefenverlagerung unter Freilandbedingungen (Kapitel 11) wurden die PVC-Säulen mit dem Oberboden (Ap) des Erdbeerefeldes von Wittlaer (Kapitel 10) auf Bodendichte  $1.3 \text{ kg dm}^{-3}$  gefüllt.

## 5.2. Methoden

Um Wiederholungen zu vermeiden, werden jene Methoden, die bei verschiedenen Kapiteln zur Anwendung kamen, im Folgenden beschrieben.

### 5.2.1. Bodenanalysen

#### *Chlorid-Bodenextraktion*

20 - 40 g lufttrockene Bodenproben wurden in 50 ml Plastikflaschen mit 20 ml entmineralisiertem Wasser nach Zugabe einer Spatelspitze  $\text{MgSO}_4$  zur besseren Sedimentierung extrahiert. Hierzu wurde 1 Stunde auf einer Schüttelmaschine (Typ SM25 Edmund Bühler) horizontal bei  $270 \text{ min}^{-1}$  extrahiert und anschließend bei  $2000 \text{ r min}^{-1}$  zentrifugiert (Typ: Tischzentrifuge Hettich Universal 30F). Die nahezu klare Lösung wurde nach dem Dekantieren noch durch ein Schwarzbandfilter (Black Ribbon Nr. 589 der Fa. Schleicher Schüll) in PE - Fläschchen filtriert. Das Filtrat wurde abschließend mit Hilfe des Chloridmeters auf Chlorid analysiert (s.u.).

#### *Cadmium- und Zink-Bodenextraktion*

Um den Einfluss steigender Chlorid- und Natriumgaben auf die Cadmium- (und Zink-) Extrahierbarkeit zu erfassen, wurden Bodenproben vom Langzeitdüngungsversuch mit Johannisbeeren in Bavendorf (Kap. 9) und Oberboden vom Erdbeerversuch in Wittlaer/Düsseldorf extrahiert. Um einerseits eine mögliche Desorption von Cd (und Zink) durch Natrium von einer Mobilisierung von Cd durch Bildung von löslichen Cd-Chloro-

komplexen zu unterscheiden, wurde parallel mit jeweils  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oder  $\text{NaCl}$  extrahiert. Hierzu wurde 10g lufttrockener Boden mit 25 ml  $\text{NaCl}$  bzw.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1h extrahiert (Schüttelmaschine) und filtriert. Das Filtrat wurde dann auf Cd- und Zn analysiert (s.u.). Die Konzentration von  $\text{NaCl}$  bzw.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  wurde variiert, um für die Extraktion eine Endkonzentration von 0; 1,25; 5,0 oder 20 mM Na zu erreichen.

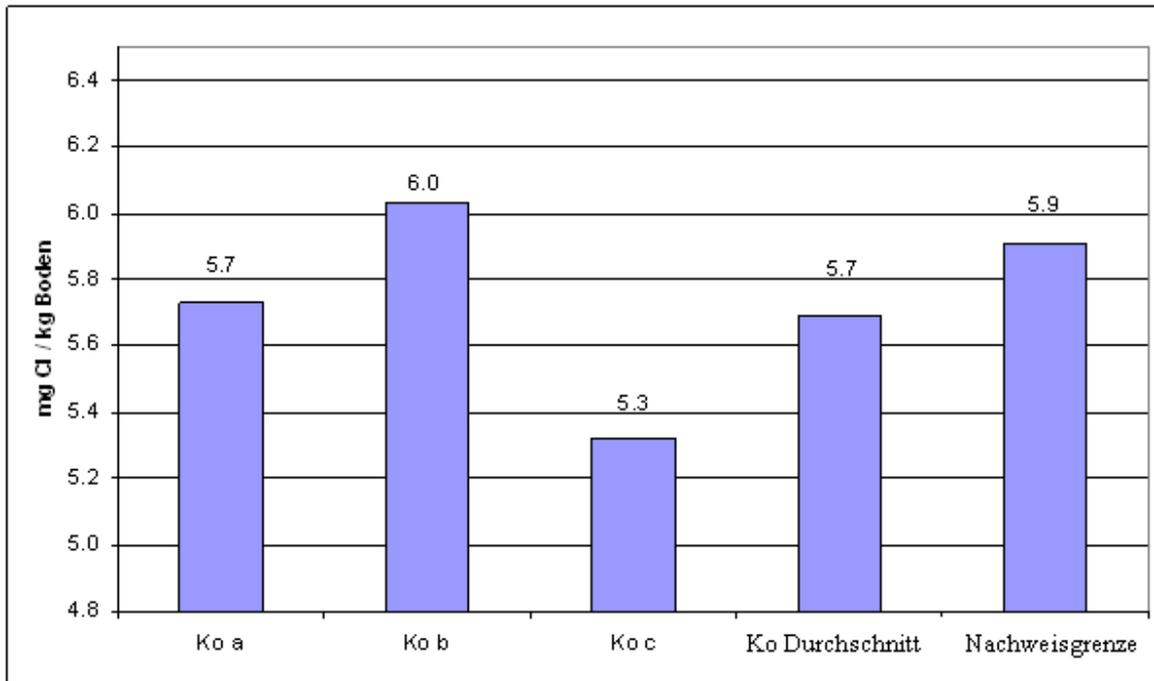
### *Chlorid-Bestimmung*

Chlorid wurde in Boden- (s.o.) und Pflanzenextrakten (s.u.) mit Hilfe des Chloridmeters von Eppendorf (Hamburg) Typ 6610 bestimmt und der Methodenbeschreibung von Eppendorf Chloridmeter 6611 gefolgt. Diese Methode ist u.a. ausführlich in der Dissertationsschrift von Arens, G. (2006) auf Seite 59 beschrieben und hier wiedergegeben:

„Zunächst wurde 1 g der getrockneten und gemahlene Probensubstanz in 10 ml destilliertem Wasser gelöst und für drei Stunden geschüttelt. Anschließend wurde die entstandene Lösung zentrifugiert. 15 ml Essigsäure-Salpetersäure-Lösung und 1 ml Gelatinelösung wurden in ein Titriergefäß gefüllt, in das der Messkopf des Chloridmeters mit ionensensitiven Elektroden abgesenkt wurde. Das Hinzufügen von chloridhaltigem Material in das Titriergefäß führte zur Ausfällung von unlöslichem Silberchlorid. Über einen Rückkopplungsmechanismus, ausgelöst durch das Sinken des Indikatorstroms, der zu der Konzentration an Silberionen in der Elektrolytlösung proportional war, kam es nun so lange zur Freisetzung von Silberionen, bis alle Chloridionen ausgefällt waren und die ursprüngliche Silberionenkonzentration wieder erreicht war. Es wurden jeweils 0,05 ml des Überstands der zentrifugierten Probenlösungen zur Messung herangezogen. Der Chloridgehalt der Futterproben pro Kilogramm Trockensubstanz errechnete sich unter Berücksichtigung des Atomgewichts von Chlor sowie dem Verdünnungsfaktor anhand folgender Gleichung:

$$\text{g Cl/kg TS} = (\text{Messwert} \times 35,453 \times \text{Verdünnung}) / (\text{Einwaage} \times 1000)''$$

Im Fall der Boden bzw. Pflanzenextrakten wurden 100-2000 $\mu\text{l}$  Proben in die Vorlage in Abhängigkeit der der Cl-Konzentration in dem Extrakt pipetiert. Die Kalibrierung wurde mit Hilfe einer 100 mM KCl Standard-Lösung durchgeführt.



*Abb. 5.1.: Gemessene Chloridgehalte im unbehandelten Oberboden in Bavendorf (3 Kontrollproben vom 19.08.2005) im Vergleich zur Nachweisgrenze (30 g trockene Bodenprobe mit 20 ml Wasser extrahiert; davon 2000 Mikroliter Probelösung in Chloridmeter vorgelegt). Nachweisgrenze nach Angaben des Herstellers des Chloridmeters (Fa. Eppendorf)*

Zur Überprüfung der Chloridbestimmungsmethode wurde Kontrollboden (ohne Chloridbehandlung) vom Johannisbeeren-Langzeitversuch in Bavendorf (KOB) auf Chlorid analysiert und mit der vom Hersteller des Chloridmeters angegebenen Nachweisgrenze verglichen. Danach liegen die Chloridgehalte im Oberboden der Kontrolle von Bavendorf im Bereich bzw. knapp unter der Nachweisgrenze.

### *Cd- und Zn-Bestimmungen:*

Cd und Zn wurde in Bodenextrakten und in aufgeschlossenen Pflanzenproben am ICP-MS (Typ ELAN 6000 der Fa. Perkin Elmer) in der Landesanstalt für Chemie (LA Chemie, Universität Hohenheim) gemessen.

### 5.2.2. Pflanzenanalyse (Blätter, Holz)

#### *Probenaufarbeitung von Blättern und Holz für die Bestimmung der Gehalte an Kalium und Natrium*

Die Probenaufarbeitung erfolgte nach der institutsinternen Methode wie folgt: 500 mg gemahlene Trockensubstanz von Blättern bzw. Holz wurde in

Porzellanschälchen eingewogen und im Muffelofen bei 500 °C mindestens 4h verascht. Die abgekühlte meist noch dunkel gefärbte Asche, wurde mit einigen Tropfen entmineralisiertem Wasser angefeuchtet und anschließend mit einigen Tropfen 1:3 verdünnte HNO<sub>3</sub> (6.3%) versetzt und auf einer Heizplatte eingetrocknet und nochmals für 1h bei 500 °C nachverascht.

Die nun farblose Asche wurde mit 5 ml HCl (1:3) aufgenommen und in einen 50 ml Messkolben überspült und auf 50 ml aufgefüllt. Nach Filtration durch ein Blaubandfilter wurde im Filtrat direkt K, Na und Ca am Flammenphotometer und Mg am Atomabsorptionsspektralphotometer (AAS) gemessen (s.u.) und Cd und Zn am ICP-MS (s.o.) gemessen.

### *Aufarbeitung von Blätter- und Holzproben zur Bestimmung der Chloridgehalte*

1g getrocknetes und gemahlenes Pflanzenprobenmaterial wurde für 3h in 10 ml destilliertem Wasser geschüttelt und anschließend zentrifugiert und durch ein Schwarzbandfilter filtriert. Das erhaltene Filtrat wurde dann mit Hilfe des Chloridmeters, Eppendorf 6610 auf Chlorid analysiert (s.o.).

### *Kalium-, Natrium- und Calciumbestimmung*

Die aufgearbeiteten Blatt- und Holzproben (s.o.) wurden direkt oder bei Bedarf nach Verdünnung am Flammenphotometer (Eppendorf Typ ELEX 6361) gegen Standardlösungen gemessen.

### *Magnesiumbestimmung*

Die angesäuerten Aschelösungen der Blatt- und Holzproben (s.o.) wurden direkt oder bei Bedarf nach Verdünnung an einem Atomabsorptionsspektralphotometer (AAS) vom Typ UNICAM 939 AA Spectrometer gemessen.

## 5.2.3. Fruchtpresssaft-Analytik

### *Gewinnung von Fruchtpresssaft*

Eingefrorene Johannisbeerfrüchte von der Ernte in Bavendorf (Kap. 9) im Jahr 2005 wurden nach dem Auftauen eingewickelt in einer Mullbinde mit einer Handpresse ausgepresst. Der Presssaft wurde dann bei 2500 U min<sup>-1</sup> 5 min zentrifugiert. Das Zentrifugat wurde dann 1:2 mit destilliertem Wasser

verdünnt und bei -20 °C zwischengelagert. Das verdünnte Zentrifugat wurde später zur Messung von Chlorid und der Organischen Säuren verwendet. Der pH-Wert wurde noch vor der Verdünnung gemessen.

### *Bestimmung des pH-Wertes vom Fruchtpresssaft*

Mit Hilfe einer kombinierten Glaselektrode und eines pH-Meters des Typs METTLER TOLEDO MP C227 wurde der pH-Wert der verschiedenen Fruchtpresssäfte gemessen.

### *Bestimmung der Chloridkonzentration im Fruchtpresssaft*

Analog zur Bestimmung der Chloridkonzentration in wässrigen Blatt-extrakten (s.o.) wurden auch in den Fruchtpresssäften die Chloridkonzentrationen bestimmt.

### *Bestimmung der Kalium- Calcium- und Magnesiumkonzentration im Fruchtpresssaft*

Ebenfalls analog zu den Aschelösungen von Blatt- und Holzproben wurde im Fruchtpresssaft nach entsprechender Verdünnung Kalium und Calcium an dem Flammenphotometer (Eppendorf ELEX 6361) und Magnesium am AAS (Typ UNICAM 939 AA Spectrometer) gemessen (s.o.).

### *Bestimmung der einzelnen Carboxylate (Organische Säuren) im Fruchtpresssaft*

Die einzelnen Organischen Säuren wurden mit Hilfe der HPLC (High Pressure Liquid Chromatography) bestimmt (HPLC-Gerät der Fa. Shimadzu Typ LC 20).

Die Trennung der Organischen Säuren erfolgte isokratisch (0,5 mM – 25,0 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) mit einer Aminex HPX 87H Ionen-Aufschlusssäule (Bio-Rad Laboratories, Hercules. CA, USA; Katalognummer 125 - 0140; Länge 300 mm; Innendurchmesser 7,8 mm) ohne Vorsäule. Ein Probenvolumen von 20 µl wurde in den Eluentenfluß injiziert (2,5 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 40 °C; konstante Flussrate von 0,5 ml min<sup>-1</sup>) und die Organischen Säuren photometrisch bei einer Wellenlänge von 210 nm mit einem UV/VIS-Detektor gemessen. Identifi-zierung und Quantifizierung der Organischen Säuren erfolgte durch Vergleich der Retentionszeiten und der Peakflächen mit denen bekannter Standards.

Für die Trennung verantwortlich waren die unterschiedlichen pKs-Werte der einzelnen Säuren wie folgt:

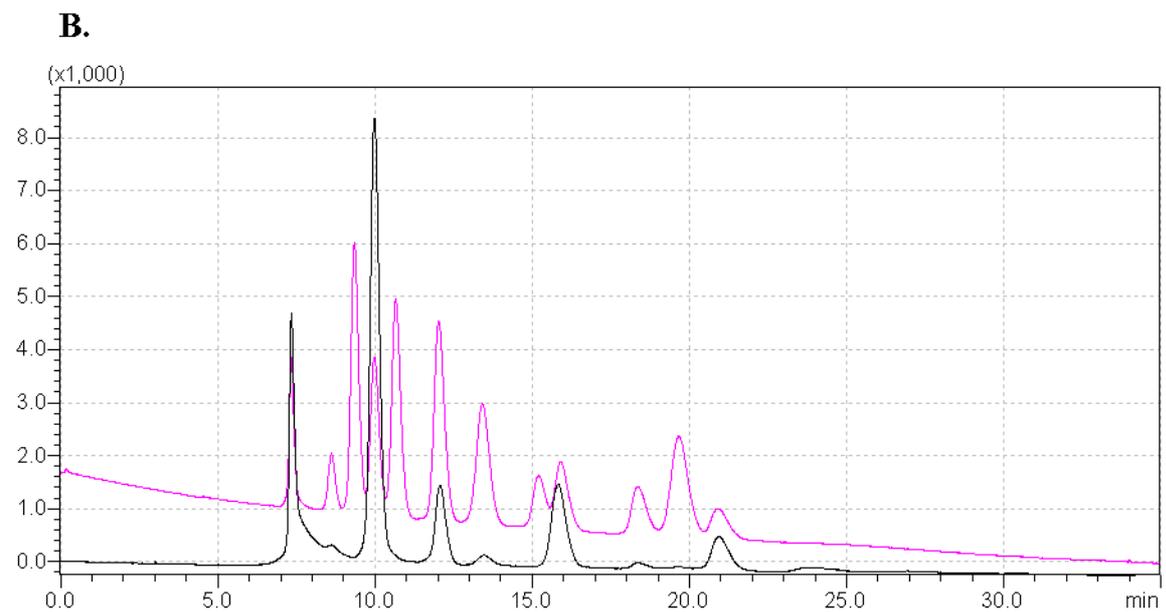
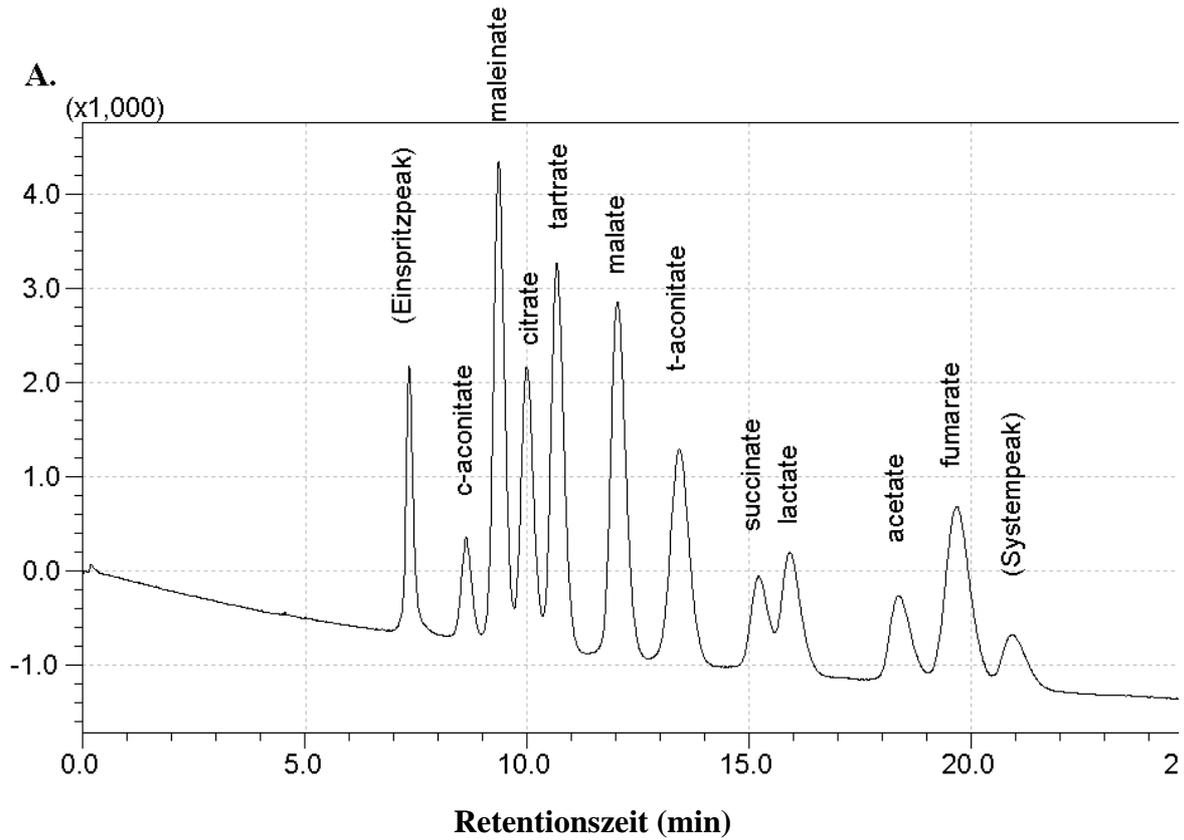
Essigsäure:	4,76	Shikimic Säure	n.b.
Milchsäure:	3,86	cis-Aconitsäure	n.b.
Malat <sup>1-</sup> /Malat <sup>2-</sup> :	5,11	t- Aconitsäure	n.b.
Citric acid/Citrat <sup>2-</sup> :	n.b.	Malonsäure	n.b.
Citrat <sup>1-</sup> /Citrat <sup>2-</sup> :	4,76	Weinsäure	n.b.
Citrat <sup>2-</sup> /Citrat <sup>3-</sup> :	6,40	Ascorbinsäure	n.b.

In folgender Tabelle (Tab. 5.1) sind die Kennzahlen für diese Trennung an einer Aminex HPX 87H Säule und in Abbildung 5.2. ein Probelauf eines Standardgemisches wiedergegeben.

*Tabelle 5.1.: Kennzahlen für die Trennung der einzelnen Organischen Säuren auf einer Aminex-Säule (Typ HPX 87H) und Detektion bei 210 nm*

Verbindung (Säure)	Retentions- zeit (min)	Gewählte Konz. (mg/L)*	Peakfläche	Bemerkung
cis-Aconitsäure	8,607	0,1	60530	
Maleinsäure	9,344	0,1	-	
Citronensäure	9,988	10,0	122631	
Weinsäure	10,467	10,0	62084	
Malonsäure	11,967	10,0	88756	Malon- und Apfelsäure nicht sauber getrennt
Apfelsäure	12,089	10,0	89411	
t-Aconitsäure	13,365	0,1	66059	
Bernsteinsäure	15,146	10,0	60448	
Milchsäure	15,929	10,0	-	
Essigsäure	18,337	10,0	-	
Fumarsäure	19,422	0,1	131697	
<i>Weitere Säuren</i>				
Glycolsäure	15,189	10,0	-	Nicht getrennt von Bernsteinsr.
Shikimic Säure	15,748	0,1	54900	
Ascorbinsäure	10,896	10,0	-	

\* Organische Säuren mit C-Doppelbindungen (C=C) adsorbieren bei 210 nm ca. 100fach stärker als Organ. Säuren ohne C-Doppelbindungen. Daher wurden auch 2 unterschiedliche Konzentrationen der Standards gewählt.



*Abb. 5.2.: Trennung eines Standardgemisches verschiedener Organischer Säuren bei einem Probelauf am HPLC-Gerätes mit einer Aminex-HPX 87H – Ionen-Aufschlusssäule. A. Standardgemisch allein; B. Presssaftprobe mit in Rot unterlegtem Chromatogramm einer Standardmischung*

## 6. KURZZEITAUFNAHMEVERSUCHE MIT RADIOAKTIV MARKIERTEM CHLORID ( $^{36}\text{Cl}$ ) UND NATRIUM ( $^{22}\text{Na}$ ) BEI AUSGEWÄHLTEN *RIBES*-ARTEN

### 6.1. Problematik

Die in der Literatur beschriebenen Unterschiede in der Chlorid- und Natriumempfindlichkeit von Beerenobst (siehe Kapitel 2.6.2.) können analog zu Ergebnissen anderer Pflanzenarten (u.a. Weinrebe, Newman und Antcliff, 1984 und Gurke, Zhu et al., 2008) grundsätzlich auf 3 verschiedene Mechanismen zurückgeführt werden:

- Unterschiede in der Aufnahme rate von Chlorid (Natrium) der Wurzeln (Exklusionsvermögen);
- Unterschiedliche Verlagerung von Cl (bzw. Na) aus den Wurzeln in den Spross (Unterschiede im Rückhaltevermögen von Wurzeln; Lessani und Marschner, 1978) und
- Unterschiede in der Gewebetoleranz der Sprosse gegenüber hohen Chlorid- (bzw. Na-) Konzentrationen.

Im Gegensatz zu zahlreichen Arbeiten bei Zuckerrübe (Hampe und Marschner, 1982), Weinrebe (Edelbauer, 1976; Newman und Antcliff, 1984) und anderen Pflanzenarten (Marschner, 1995; Bergmann, 1993) liegen für Beerenobst und Johannisbeeren im Speziellen keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu den möglichen Mechanismen vor. Dies war dann auch Ausgangspunkt für die geplanten Nährlösungsversuche mit Radioisotopen ( $^{36}\text{Cl}$ ;  $^{22}\text{Na}$ ), um den zugrundeliegenden Mechanismus für die oft beschriebenen Unterschiede in der Chloridempfindlichkeit der verschiedenen Johannisbeersorten (z.B. Rote gegenüber Schwarze Johannisbeere) besser zu verstehen.

### 6.2. Versuchsfragen und Arbeitshypothesen

Die Hauptversuchsfrage war es, den Mechanismus für die unterschiedliche Chloridempfindlichkeit der einzelnen Johannisbeersorten herauszufinden. Wegen vieler Parallelitäten sollte bei den geplanten Versuchen zur unterschiedlichen Chloridtoleranz auch das Natrium miteinbezogen werden.

Erwartet wurde vor den Versuchen, dass die unterschiedliche Chloridempfindlichkeit von Beereobst hauptsächlich durch unterschiedliche Verlagerung bzw. Rückhaltevermögen und Gewebetoleranz bedingt sei.

### 6.3. Versuchsansatz und Versuchsdurchführung

Zu den obigen Versuchsfragen wurden insgesamt 3 Kurzzeitversuche mit radioaktiv markiertem Chlorid ( $^{36}\text{Cl}$ ) und Natrium ( $^{22}\text{Na}$ ) durchgeführt; davon die ersten beiden im Rahmen der Ökologischen Übungen (S.S. 1998 und S.S. 1999), mitbetreut vom Promovenden. Der 3. Radioisotopenversuch wurde 1999 von Mitarbeitern des Instituts ohne Mitwirkung des Promovenden zur Ergänzung geplant und durchgeführt.

#### 6.3.1. Versuchsbedingungen

##### *1. Radioisotopenversuch (S.S. 1998)*

Es wurden einer schwarzen (Titania) und einer roten Johannisbeersorte (Jonkheer van Teets) nach einer Vorkultur 20 mM NaCl für 24 und 48h angeboten. Dabei war in einem Ansatz das Chlorid mit  $^{36}\text{Cl}$  (30 $\mu\text{Ci}$ ) und in einem weiteren Ansatz das Natrium mit  $^{22}\text{Na}$  (25 $\mu\text{Ci}$ ) markiert.

##### *2. Radioisotopenversuch (S.S. 1999)*

Der 1. Radioisotopenversuch wurde im Folgejahr wiederholt unter Einbezug aller 8 Johannisbeersorten, um die Aussagen mit nur 2 Sorten vom Vorjahr zu erhärten. Aus Umfangsgründen konnte nur eine Angebotszeit von 24h mit 20 mval NaCl gewählt werden. Jede Behandlung wurde 4-mal wiederholt. Das Chlorid von der Angebotslösung von NaCl wurde mit 60  $\mu\text{Ci}$   $^{36}\text{Cl}$  und das Natrium mit 50  $\mu\text{Ci}$   $^{22}\text{Na}$  markiert.

##### *3. Radioisotopenversuch (Sommer 1999)*

Ergänzend zum 2. Radioisotopenversuch mit 8 Sorten und 20 mval NaCl für 24h wurde in diesem 3. Versuch zu den 8 Sorten 40 mval markiertes NaCl für 48h angeboten. Damit sollte überprüft werden, welche Bedeutung das im 2. Versuch gefundene Rückhaltevermögen von Na und die geringere Aufnahme von Chlorid (Exklusionsvermögen der Wurzeln) bei unterschiedlicher Salzempfindlichkeit der einzelnen Johannisbeersorten haben kann.

#### *Grundlagen für die gewählte Angebotskonzentration in den Kurzzeit-Radioisotopenversuchen*

Ausgehend von der berechneten Gabe von ca. 670 kg/ha NaCl bei einer Gabe von Kalium (150 kg K/ha) in Form von Kalirohsalz als „Worst-Case-

Szenario" (siehe Kap. 5.1. sowie Kap. 9.4.; Tab. 9.1.) wurde wie folgt die Angebotskonzentration für die Kurzzeit-Aufnahmeversuche berechnet:

$$\begin{aligned} & 670 \text{ kg NaCl/ha im Oberboden} \\ & = \text{ca. } 22,3 \text{ mg NaCl/100g Boden.} \\ & \text{Bei Annahme von einer Bodenfeuchte von 20\%} \\ & = 22,3 \text{ mg NaCl/20g Bodenwasser} \\ & = 1117 \text{ mg NaCl/L} \\ & = 19,13 \text{ mval NaCl/L (= 19,13 mM NaCl)} \end{aligned}$$

Als Ergebnis wurde als „Worst Szenario“ 20 mM NaCl (bzw. 10 und 40 mM NaCl) bei den Nährlösungsversuchen in diesem Kapitel und auch im folgenden Kapitel 7 angeboten.

### 6.3.2. Probenaufarbeitung

Am Ende der 24- bzw. 48-stündigen Angebotsdauer wurden die Wurzeln mit 10 mM  $\text{CaSO}_4$  Lösung für ca. 5 min gewaschen und anschließend die Sprosse und die Wurzeln getrennt in kleinen Bechergläsern bzw. Glas-Szintillationsfläschchen überführt und bei ca. 60 - 70 °C zur Bestimmung des Trockengewichtes getrocknet. Danach wurde verascht, um die Radioaktivität und damit die Aufnahme und Verlagerung von Chlorid (als  $^{36}\text{Cl}$ ) und Natrium (als  $^{22}\text{Na}$ ) zu bestimmen. Hierzu wurde die Radioaktivität mit Hilfe eines Flüssigkeitsszintillators bestimmt.

Die Aufnahme- und Verlagerungsraten wurden wie folgt berechnet:

$$\text{Aufnahmerate} \quad (\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TS Wurzel}) = \frac{\mu\text{mol Wurzel} + \mu\text{mol Spross}}{\text{g TS Wurzel}}$$

$$\text{Verlagerungsrate} \quad (\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TS Wurzel}) = \frac{\mu\text{mol Spross}}{\text{g TS Wurzel}}$$

$$\text{Verlagerungsrate (relativ)} = \frac{\mu\text{mol Spross} \cdot 100}{\mu\text{mol Wurzel} + \mu\text{mol Spross}}$$

## 6.4. Material und Methoden

### 6.4.1. Pflanzenmaterial

Das bewurzelte Steckholzmaterial wurde in Grobsand in einer Klimakammer (Licht Tag/Nacht: 16/8h; 23/20 °C; 65/71% relative Luftfeuchte) für 2 Wochen adaptiert. Anschließend kamen die Jungpflanzen auf eine Nährlösung in 2,5L Plastiktöpfe (5 Pflanzen pro 2,5L) für weitere 2 Wochen bevor der Kurzzeitaufnahmeversuch mit Radioisotopen ( $^{36}\text{Cl}$  bzw.  $^{22}\text{Na}$ ) durchgeführt wurde.

### 6.4.2. Nährlösungszusammensetzung

$\text{K}_2\text{SO}_4$	:	0,7 mM
KCl	:	0,1 mM
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	:	2,0 mM
$\text{MgSO}_4$	:	0,5 mM
<u><math>\text{KH}_2\text{PO}_4</math></u>	:	<u>0,1 mM</u>
$\text{H}_3\text{BO}_3$	:	10 $\mu\text{M}$
$\text{MnSO}_4$	:	0,5 $\mu\text{M}$
$\text{ZnSO}_4$	:	0,5 $\mu\text{M}$
$\text{CuSO}_4$	:	0,2 $\mu\text{M}$
<u><math>(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}</math></u>	:	<u>0,01 <math>\mu\text{M}</math></u>

### 6.4.3. Angebot radioaktiv markiertem NaCl ( $^{36}\text{Cl}$ bzw. $^{22}\text{Na}$ )

Die radioaktiv markierte NaCl Lösung wurde pro Sorte 4-mal wiederholt in 250 ml Bechergläsern (eingestellt in dunkle Plastikdosen) unter Belüftung für 24 bzw. 48h angeboten.

### 6.4.4. Ernte der Johannisbeerpflanzen am Versuchsende

Am Ende des Angebotes der radioaktiv markierten NaCl-Lösung wurden die Pflanzen mit ihren Wurzeln auf Plastikdosen (0,5L) mit 1 mM  $\text{CaSO}_4$ -Lösung für 5 min überführt, um die radioaktive Lösung aus dem Freien Raum (AFS) der Wurzeln zu entfernen. Anschließend wurden der Spross und die Wurzeln getrennt in Bechergläsern geerntet, getrocknet und das Trockengewicht bestimmt. Nach einer folgenden Trockenveraschung bei 500 °C im Muffelofen wurde die Aschelösung unter Zugabe in Szintillationslösung an einem Szintillationsmessgerät auf  $^{22}\text{Na}$  und  $^{36}\text{Cl}$  gemessen.

## 6.5. Ergebnisse

### 6.5.1. Ergebnisse Radioisotopenversuch Nr. 1

Wie aus Tabelle 6.1. erkennbar, unterschieden sich beide zufällig ausgewählten Sorten aus dem Sortiment der Roten und Schwarzen Johannisbeeren nicht deutlich in der Aufnahme- und Verlagerungsrate von Chlorid, sowohl nach 24- und 48-stündigem Angebot von 20 mM NaCl. Die relative Verlagerungsrate von Chlorid ist tendenziell bei der schwarzen Sorte etwas geringer, jedoch auf einem relativ hohen Niveau im Vergleich zum Natrium.

*Tab. 6.1.: Aufnahme- und Verlagerungsrate von Chlorid ( $^{36}\text{Cl}$ ) und Natrium ( $^{22}\text{Na}$ ) bei einer schwarzen (S; Titania) und einer roten Johannisbeere (R; Jonkheer van Teets) nach 24- bzw. 48-stündigem Angebot von radioaktiv markiertem NaCl (20 mM).*

Angebotsdauer (h)	Aufnahmerate ( $\mu\text{mol/g TS Wurzel}$ )		Verlagerungsrate ( $\mu\text{mol/g TS Wurzel}$ )		Verlagerung (relativ) (%)	
	Chlorid					
	R	S	R	S	R	S
24	180	158	88	54	44,7	23,9
48	363	403	243	273	64,3	56,8
	Natrium					
	R	S	R	S	R	S
24	111	94	50	7	41,4	4,5
48	269	191	127	10	51,4	5,2

Im Gegensatz zum Chlorid liegt die Natriumaufnahme bei der schwarzen Sorte (Titania) um ca. 30% bei dem 48-stündigen Angebot niedriger als bei der roten Sorte (Jonkheer van Teets). Noch ausgeprägter sind die Unterschiede bei der Verlagerung: so verlagert die schwarze Sorte nur ca. 5%, wogegen die rote Sorte 40-50% der aufgenommenen Na-Menge in den Spross verlagert. Die deutet auf ein starkes Rückhaltevermögen der Wurzeln für Natrium der schwarzen Sorte hin.

### 6.5.2. Radioisotopenversuch Nr. 2

In Tabelle 6.2. sind die Aufnahme- und Verlagerungsraten für Chlorid und Natrium für alle 8 Johannisbeersorten bei einem 24-stündigen Angebot von radioaktiv markiertem NaCl (20 mM) wiedergegeben.

Analog zum 1. Radioisotopenversuch unterschieden sich die einzelnen Sorten in der Aufnahme und Verlagerung kaum. Wie jedoch in der Tab. 6.3. angezeigt, weisen die weißen Sorten zusammengefasst in der Tendenz die höchste Aufnahme- und Verlagerungsrate und die schwarzen Sorten die niedrigsten Raten für Chlorid auf.

*Tab. 6.2.: Aufnahme- und Verlagerungsrate von Chlorid ( $^{36}\text{Cl}$ ) und Natrium ( $^{22}\text{Na}$ ) bei 8 Johannisbeersorten\* nach 24-stündigem Angebot vom radioaktiv markiertem NaCl (20 mM).*

Sorte	Chlorid			Natrium		
	Aufnahme- rate $\mu\text{mol/g TS W}$	Verlagerung srate $\mu\text{mol/g TS W}$	Verlagerung (relative) %	Aufnahme- rate $\mu\text{mol/g TS W}$	Verlagerung rate $\mu\text{mol/g TS W}$	Verlagerung (relative) %
1R	512	342	61,0	169	94	43,1
2R	407	264	64,8	156	78	44,4
3R	399	260	65,5	229	153	62,3
4W	566	374	66,1	151	74	48,4
5W	687	424	58,9	129	33	22,8
6S	445	289	64,1	186	4,7	2,4
7S	240	151	60,6	197	14,1	5,6
8S	271	215	65,3	172	14,4	11,0

\* 1R = Rolan; 2R = Jonkheer van Teets; 3R = Red Lake;  
4W = Versailler; 5W = Weiße Langtraubige;  
6S = Titania; 7S = Tenak; 8S = Ben Sarek

*Tab. 6.3.: Berechnete Durchschnittswerte von Aufnahme- und Verlagerungs-  
raten für Chlorid und Natrium von roten, weißen und schwarzen Johannis-  
beersorten*

Sorten-Typ	Aufnahmerate ( $\mu\text{mol/g TS Wu}$ )	Verlagerungsrate ( $\mu\text{mol/g TS Wu}$ )	Verlagerung relativ
Chlorid			
Rot	439	289	63%
Weiß	627	399	61%
Schwarz	319	218	63%
Natrium			
Rot	185	108	49%
Weiß	140	54	35%
Schwarz	185	11	6%

Bei Natrium kann die beobachtete etwas niedrigere Aufnahme des 1. Versuchs nicht bestätigt werden. Aus Tab. 6.2. und 6.3. sind keine signifikan-

ten Unterschiede in der Aufnahme von Na zu erkennen. Bestätigt wird aber das hohe Rückhaltevermögen von Na in den Wurzeln der schwarzen Sorten und auch im 2. Kurzzeitaufnahmeversuch.

### 6.5.3. Radioisotopenversuch Nr. 3

Da dieser Versuch nicht vom Promovenden begleitet wurde, wird auf eine Darstellung der einzelnen Versuchsergebnisse verzichtet. Zusammenfassend sei jedoch erwähnt, dass im Prinzip vergleichbare Ergebnisse wie bei dem 2. Versuch erhalten wurden. Jedoch war nach 48-stündigem Angebot von 40 mM NaCl die relative Verlagerung von Na bei den schwarzen Johannisbeersorten deutlich weniger vermindert, was auf ein begrenztes Speichervermögen der Wurzeln für Natrium hindeutet.

## 6.6. Diskussion

Im Gegensatz zu den Berichten über große genotypische Unterschiede vor allem in der Verlagerungsrate von Chlorid bei der Weinrebe (Downton, 1977, 1985; Newman und Antcliff, 1984) oder bei der Gurke und Kürbis (Zhu et al., 2008) als mögliche Anpassung an hohe Chloridgehalte in Böden konnte bei den verschiedenen Kurzzeitversuchen kein deutlicher Hinweis für eine gehemmte Verlagerung von Chlorid aus den Wurzeln in den Spross bei den einzelnen Johannisbeersorten gefunden werden. Rote, weiße und schwarze Johannisbeersorten unterschieden sich nicht wesentlich in der Aufnahme- und Verlagerungsrate von Chlorid (Tab. 6.1.- 6.3.). Daraus läßt sich folgern, sofern eine unterschiedliche Chloridempfindlichkeit von weißen und roten Sorten gegenüber schwarzen Sorten vorliegt, wie in der Literatur angenommen wird, dass eine unterschiedliche Gewebetoleranz gegenüber Chlorid vermutet werden muss.

Bei der Aufnahme von Natrium in den Kurzzeitaufnahmeversuchen ergaben sich klare Unterschiede vor allem bei der Verlagerung. So wiesen die schwarzen Johannisbeersorten übereinstimmend eine deutlich geringere Verlagerung aus den Wurzeln in den Spross auf (Tab. 6.2. und 6.3.). Dabei sind die Unterschiede in der Aufnahme zwischen den 3 Gruppen der Johannisbeere kaum unterschiedlich. Dies spricht für ein klares Exklusionsvermögen für Natrium für die Verlagerung in den Spross bei allen 3 schwarzen Sorten, sowie beim 1. und 2. Radioisotopenversuch (Tab. 6.1. und 6.2.). Da im Nährlösungsversuch ohne Wechselwirkungen mit der Bodenmatrix durch vor allem Adsorptionsprozesse die Aufnahme von Na im Vergleich zu jener von Cl bei Angebot von 20 mM NaCl nur maximal um Faktor 2 niedriger liegt, ist offensichtlich die Kapazität des Rückhalte-

vermögens der Wurzeln der schwarzen Johannisbeersorten sehr begrenzt. So wurde im 3. Kurzzeitversuch bei 40 mM NaCl Angebot nach 48h nur noch ein geringer Unterschied in der Verlagerungsrate von Na gefunden (Daten nicht gezeigt).

Gefäß- oder Feldversuche mit längerer Behandlungsdauer müssen jetzt zeigen, inwieweit unterschiedliche Gewebetoleranz für Chlorid und Rückhaltevermögen der Wurzeln für Natrium für die vielfach angenommene Salz- bzw. Chloridempfindlichkeit vor allem der Weißen und Roten Johannisbeere von praktischer Bedeutung sind. Im Kurzzeitaufnahmeversuch konnten natürlich keine Wachstumsunterschiede oder visuelle Sprossschädigungen, wie sie für die Praxis von Bedeutung sind, beobachtet werden.

## 6.7. Ausblick

Da diese Kurzzeitversuche keinen klaren Schluss auf die schädigende Wirkung von Chlorid oder Natrium zulässt, sind im Folgenden Langzeitversuche in Nährlösung (siehe Kapitel 7.) und vor allem im Boden als Gefäß- (Kapitel 8.) und Feldversuch (Kapitel 9. und 10.) dringend nötig.

Auch sind in diesen Langzeitversuchen die schlussgefolgerte Gewebetoleranz gegenüber Chlorid und das gefundene Rückhaltevermögen der Wurzeln für Natrium der schwarzen Johannisbeere zu überprüfen.

## 7. NÄHRLÖSUNGSVERSUCH ZUR AUFNAHME UND VERLAGERUNG VON CHLORID UND NATRIUM BEI UNTERSCHIEDLICHEN *RIBES*-ARTEN

### 7.1. Problematik

Bereits in beiden vorherigen Kapiteln 2 und 6, sowie in beiden nachfolgenden Kapiteln (8.1 und 9.1) wurde bzw. wird festgestellt, dass über das Aufnahmeverhalten von Chlorid bei den verschiedenen Johannisbeerarten bzw. Sorten kaum wissenschaftlich fundierte Informationen in der Literatur vorliegen. Auch ist wenig bekannt über mögliche physiologische Mechanismen, wie Exklusion, Rückhaltevermögen in Wurzeln und Holz oder Gewebetoleranz, bei den angeblich unterschiedlich Chlorid-toleranten schwarzen Johannisbeersorten. Somit besteht Bedarf, diese Lücke im Verständnis des Chloridaufnahmeverhaltens und der möglichen Anpassungsmechanismen durch wissenschaftliche Studien zu schließen.

Vor allem die in den Kurzeitaufnahmeversuchen (Kapitel 6) vermutete bzw. schlussgefolgerte Gewebetoleranz der schwarzen Johannisbeersorten für Chlorid und das begrenzte Rückhaltevermögen der Wurzeln für Natrium der schwarzen Johannisbeersorten bedurfte es einer Überprüfung in Langzeit-Nährlösungsversuchen bzw. -Bodenversuchen. Hiermit sollte die Praxisrelevanz der Chloridproblematik für die Johannisbeerkulturen die notwendige Beachtung finden.

### 7.2. Versuchsfragen und Arbeitshypothesen

Analog zu den Versuchsfragen vom Kapitel 6 stand weiter die Frage im Vordergrund, wodurch die Schwarze Johannisbeere weniger Chloridempfindlich sei als die Rote oder Weiße Johannisbeere: (1) durch eine höhere Gewebetoleranz gegenüber Chlorid oder (2) ob doch im Langzeitversuch eine geringere Chloridaufnahme aufgrund von Exklusion eine gewisse Rolle spielt.

Drittens (3) war zu prüfen, inwieweit das Natrium zusätzlich zum Chlorid eine Rolle bei den genotypischen Unterschieden in der Chlorid- bzw. Salzverträglichkeit mitspielt. Ein wesentlicher Vorteil des hier geplanten Langzeitversuches in Nährlösung gegenüber dem Langzeitversuch im Boden (Kapitel 8, 9 und 10) war die Möglichkeit, Wurzeln leicht ohne aufwendiges Wurzelwaschen auf Chlorid zu analysieren.

Aufgrund der Kurzeitaufnahmeversuche wurde als Hypothese angenommen, dass

1) die Schwarzen Johannisbeeren eine höhere Gewebetoleranz im Spross gegenüber Chlorid aufweisen als die Rote oder Weiße Johannisbeere,

2) die gefundenen Unterschiede in der Natriumverlagerung in dem Spross zwischen der Schwarzen und Roten bzw. Weißen Johannisbeere lassen sich auch im Boden zeigen; sind aber für die immer wieder beschriebene Chloridempfindlichkeit der Johannisbeere nicht relevant.

### 7.3. Versuchsansatz und Versuchsdurchführung

#### 7.3.1. Versuchsansatz

Ein Nährlösungsversuch mit Behandlung von 4 Johannisbeersorten (2 x schwarz, 1 x rot und 1 x weiß) mit 4facher Wiederholung mit Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10 und 40 mmol Na/L) bzw. CaCl<sub>2</sub> (10 und 40 mmol Cl/L) für 14 Tage wurde geplant:

##### *4 Sorten:*

Sorte 1	Rolan	(rot)
Sorte 4	Weißer Versailler	(weiß)
Sorte 6	Titania	(schwarz)
Sorte 7	Tenah	(schwarz)

##### *5 Behandlungen:*

Cl I	10 mmol Cl/L	(10 mM)
Cl II	40 mmol Cl/L	(40 mM)
Na I	10 mmol Na/L	(10 mM)
Na II	40 mmol Na/L	(40 mM)

#### 7.3.2. Versuchsdurchführung

Stecklinge wurden in Sandkultur am Institut für Weinbau (370) zur Bewurzelung gebracht. Anschließend (Mitte April) wurden die bewurzelten Stecklinge auf Nährlösung in 2,5 L Eimer umgesetzt (je 1 Pflanze pro Topf), Standort Vegetationshalle des Instituts für Pflanzenernährung. Bei 5 Behandlungen wurden je Sorte somit 20 Pflanzen auf Nährlösung gesetzt. Die Nährlösung wurde 1 x wöchentlich gewechselt.

Die Nährlösungszusammensetzung betrug:

K	1,1 mM	als K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Mg	0,6 mM	als MgSO <sub>4</sub>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5,0 mM	als Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Ca	2,5 mM	als Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
P	0,1 mM	als KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>

Die Konzentration an Mikronährstoffen war analog zur Nährlösung für die Kurzzeitversuche (siehe Kapitel 6.3).

In der Vegetationshalle betrug während der Laufzeit des Versuches die Lufttemperatur zwischen maximal 40 °C (volle Sonneneinstrahlung) und nachts minimal 8 °C. Die Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen 30 und 76%.

Ab Anfang Mai begann die Behandlung mit Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bzw. CaCl<sub>2</sub>, die ersten 4 Tage jeweils nur 50% (5 bzw. 20 mM Na bzw. Cl) und anschließend weitere 14 Tage mit voller Na- bzw. Cl-Konzentration (10 bzw. 40 mM Na bzw. Cl).

Am Versuchsende wurden die Pflanzen getrennt nach Wurzeln, Blätter und neuer Trieb und Holz geerntet und das Trockengewicht nach dem Trocknen bei 60 °C bestimmt. Dabei wurden alle Blätter sowie der während der Versuchsdauer neu zugewachsene Trieb als Zuwachs betrachtet und die Triebe vom Vorjahr als Holz gekennzeichnet und entsprechend auch am Versuchsende geerntet.

#### 7.4. Material und Methoden

Ergänzend zu den Angaben unter 7.3. wird auf die Nachweismethoden von Mineralstoffen in der Wurzel- bzw. Sprossstrockenmasse (getrennt nach Blätter, junger Trieb und Holz) auf Kapitel 5 (Allgemeine Methoden) verwiesen.

#### 7.5. Ergebnisse

##### 7.5.1. Visuelle Beobachtungen

Phänotypisch konnte bei der Weißen Johannisbeersorte (Weiße Versailler) deutlich ausgeprägte Blattrandnekrosen in der hohen Na-Behandlung (Na II) beobachtet werden. Auch bei der Roten Johannisbeere (Rolan) wurden in der Behandlung Na II am Versuchsende an den Tribspitzen eingerollte Blätter und ausgeprägte Blattrandnekrosen sichtbar (ohne Fotos).

##### 7.5.2. Trockengewichte

In der Tabelle 7.1. sind die Trockengewichte der verschiedenen Pflanzenfraktionen (Blätter und junger Trieb als Neuzuwachs und vorjähriges Holz und Wurzeln) der 4 ausgewählten Johannisbeersorten wiedergegeben. Bei Berücksichtigung der vergleichsweise hohen Variabilität (hohe Standardabweichungen) der Einzelpflanzen und der relativen kurzen Versuchsdauer (2 Wochen) war es nicht verwunderlich, dass keine signifikanten Chlorid- oder Natriumeffekte zu beobachten waren. Trotzdem

Tab. 7.1.: Trockengewichte (g) einzelner Pflanzenfraktionen von verschiedenen Johannibeersorten nach 14-tägiger Behandlung mit unterschiedlichen Chlorid- und Natriumkonzentrationen (10 und 40 mM) auf Nährlösung

Behandlung (Pflanzenorgan)	Sorten			
	Rolan (rot)	Weißer Versailler	Titania (schwarz)	Tenah (schwarz)
<u>Kontrolle</u>				
Blätter	3,07 ± 1,74	2,11 ± 0,43	2,18 ± 0,38	3,38 ± 0,56
Triebe*	1,00 ± 0,74	0,76 ± 0,23	0,50 ± 0,09	1,13 ± 0,23
Holz*	4,36 ± 0,54	4,68 ± 1,72	2,94 ± 1,09	3,14 ± 0,88
Wurzeln	0,51 ± 0,31	0,27 ± 0,02	0,73 ± 0,10	0,76 ± 0,16
<u>Chlorid I</u>				
Blätter	2,76 ± 2,36	1,76 ± 0,23	2,43 ± 0,54	3,55 ± 0,20
Triebe*	0,72 ± 0,88	0,63 ± 0,11	0,59 ± 0,19	1,19 ± 0,10
Holz*	5,05 ± 1,44	4,07 ± 1,33	2,73 ± 0,50	3,76 ± 1,20
Wurzeln	0,69 ± 0,50	0,24 ± 0,06	0,86 ± 0,25	0,79 ± 0,13
<u>Chlorid II</u>				
Blätter	1,50 ± 0,99	2,61 ± 0,58	2,31 ± 0,54	3,10 ± 0,47
Triebe*	0,32 ± 0,39	1,02 ± 0,19	0,48 ± 0,20	0,94 ± 0,19
Holz*	4,55 ± 0,87	4,36 ± 1,53	3,77 ± 1,02	3,26 ± 0,83
Wurzeln	0,35 ± 0,24	0,34 ± 0,09	0,71 ± 0,10	0,61 ± 0,12
<u>Natrium I</u>				
Blätter	2,41 ± 1,60	2,39 ± 0,57	2,62 ± 0,12	3,93 ± 0,65
Triebe*	0,58 ± 0,55	0,86 ± 0,30	0,64 ± 0,06	1,30 ± 0,23
Holz*	3,92 ± 1,07	4,61 ± 1,94	4,93 ± 1,20	4,89 ± 0,50
Wurzeln	0,50 ± 0,33	0,30 ± 0,05	0,83 ± 0,18	0,72 ± 0,18
<u>Natrium II</u>				
Blätter	2,81 ± 1,53	1,38 ± 0,57	2,50 ± 0,60	3,57 ± 0,89
Triebe*	0,77 ± 0,68	0,36 ± 0,23	0,67 ± 0,23	1,06 ± 0,33
Holz*	4,37 ± 1,52	3,94 ± 1,15	4,47 ± 2,15	3,83 ± 0,87
Wurzeln	0,66 ± 0,41	0,24 ± 0,06	0,82 ± 0,08	0,85 ± 0,27

\* Trieb: junge Triebe mit entfernten Blättern; Holz: blattlose vorjährige Triebe.

war bei der Sorte Rolan und der hohen Chloridbehandlung (Cl II) tendenziell der Sprosszuwachs vermindert.

Der Trockengewichtsgehalt nahm bei allen Sorten sowohl mit der hohen Chloridgabe als auch der Natriumgabe zu (Tab. 7.2). Oder mit anderen Worten der Wassergehalt der Frischsubstanz nahm ab. Im Sortendurchschnitt stieg der Trockengewichtsgehalt von 20,0% auf 21,1% bei Cl II bzw. auf 23,2% bei Na II.

*Tab. 7.2.: Trockengewichtgehalte (%) der Blätter von verschiedenen Johannisbeersorten nach 14-tägiger Behandlung mit 2 unterschiedlichen Chlorid- und Natriumkonzentrationen (10 und 40 mM) auf Nährlösung*

Behandlung	Sorten				
	Rolan (rot)	Weißer Versailler	Titania (schwarz)	Tenah (schwarz)	Sorten- durchschnitt
Kontrolle	20,8	19,0	19,3	21,0	20,0
Chlorid I	21,7	18,2	19,7	21,4	20,3
Chlorid II	23,0	19,7	22,8	21,1	21,7
Natrium I	22,1	20,3	21,8	22,7	21,7
Natrium II	22,9	22,0	23,0	24,8	23,2

### 7.5.3. Mineralstoffgehalte

#### *Chloridkonzentrationen in den Pflanzen*

Die in Tabelle 7.3. gezeigten Chloridkonzentrationen in den einzelnen Pflanzenfraktionen geben keinen Hinweis für ein mögliches Rückhaltevermögen der Wurzeln für Chlorid und dies vor allem nicht für Schwarze Johannisbeersorten. Bei allen Sorten stiegen die Chloridkonzentrationen mit einem steigenden Angebot von Chlorid (Kontrolle, Cl I, Cl II). Tendenziell aber sind die Chloridkonzentrationen der Blätter der Schwarzen Sorten niedriger, und jene der Wurzeln etwas höher (Tab. 7.3.). Dies wäre in Übereinstimmung mit der Feststellung, dass Schwarze Johannisbeersorten weniger chloridempfindlich als Rote Sorten seien.

Das vorjährige Holz zeigt deutlich niedrigere Chloridkonzentrationen auf; das junge Triebholz die 2-geringsten und die Wurzeln die 3-geringsten Chloridwerte bei allen Johannisbeersorten (Tab. 7.3.).

*Tab. 7.3.: Chloridkonzentrationen (mg Cl/g TS) in einzelnen Pflanzenfraktionen von verschiedenen Johannibeersorten nach 14-tägiger Behandlung mit 2 unterschiedlichen Chlorid- und Natriumkonzentrationen (10 und 40 mM) auf Nährlösung*

Behandlung (Pflanzenorgan)	Sorten			
	Rolan (rot)	Weißer Versailler	Titania (schwarz)	Tenah (schwarz)
<u>Kontrolle</u>				
Blätter	0,00	0,46 ± 0,17	0,72 ± 0,08	0,51 ± 0,17
Triebe*	0,66 ± 0,35	0,00	0,32 ± 0,64	0,57 ± 0,63
Holz*	0,00	0,00	0,00	0,00
Wurzeln	0,46 ± 0,15	0,00	0,07 ± 0,14	0,00
<u>Chlorid I</u>				
Blätter	6,02 ± 1,70	k.A.**	5,93 ± 1,50	5,95 ± 0,17
Triebe*	4,18 ± 0,01	5,61 ± 0,43	1,74 ± 0,28	1,72 ± 0,30
Holz*	0,54 ± 0,44	0,37 ± 0,07	0,54 ± 0,13	0,48 ± 0,41
Wurzeln	4,79 ± 1,46	10,30 ± 1,25	6,52 ± 0,46	6,43 ± 0,31
<u>Chlorid II</u>				
Blätter	18,31 ± 5,46	19,98 ± 0,54	11,87 ± 1,98	13,16 ± 1,36
Triebe*	7,07 ± 0,21	7,54 ± 1,31	5,47 ± 1,06	5,04 ± 0,69
Holz*	1,58 ± 0,62	0,58 ± 0,07	1,04 ± 0,33	1,23 ± 0,38
Wurzeln	8,93 ± 3,38	11,99 ± 0,72	11,91 ± 1,95	9,78 ± 1,69
<u>Natrium I</u>				
Blätter				
Triebe*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Holz*				
Wurzeln				
<u>Natrium II</u>				
Blätter				
Triebe*	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Holz*				
Wurzeln				

\* Trieb: junge Triebe mit entfernten Blättern; Holz: blattlose vorjährige Triebe.

\*\* k.A.: keine Analysenwerte, da Proben verloren gegangen.

### *Natriumkonzentrationen in den Pflanzen*

Ausgenommen von der Kontrolle waren die Natriumkonzentrationen deutlich geringer als jene vom Chlorid (Tab. 7.4.). Dies stimmt auch bei einem Vergleich der Na bzw. Chlorid Konzentrationen in den Blätterfraktionen auf Mol-Basis.

Das in vorhergehenden Versuchen beobachtete Rückhaltevermögen der Wurzeln der Schwarzen Johannisbeersorten für Natrium (Kap. 6) ist ansatzweise auch bei den Daten in Tab. 7.4. erkennbar; so sind die Na-Konzentrationen in den Blättern und jungen Trieben (Sprosszuwachs) der Schwarzen Sorten in der Tendenz geringer als bei den Roten und Weißen Sorten, sowohl bei dem niedrigen (Na I) als auch bei dem hohen Na-Angebot (Na II).

*Tab. 7.4.: Natriumkonzentrationen (mg Na/g TS) in einzelnen Pflanzenfraktionen von verschiedenen Johannibeersorten nach 14-tägiger Behandlung mit 2 unterschiedlichen Chlorid- und Natriumkonzentrationen (10 und 40 mM) auf Nährlösung*

Behandlung	Sorten			
(Pflanzenorgan)	Rolan (rot)	Weißer Versailler	Titania (schwarz)	Tenah (schwarz)
<u>Kontrolle</u>				
Blätter	0,48 ± 0,09	0,41 ± 0,08	0,32 ± 0,13	0,40 ± 0,11
Triebe*	0,20 ± 0,06	0,21 ± 0,05	0,28 ± 0,11	0,21 ± 0,06
Holz*	0,20 ± 0,04	0,15 ± 0,01	0,20 ± 0,04	0,30 ± 0,03
Wurzeln	0,98 ± 0,17	1,54 ± 0,44	1,41 ± 0,08	1,64 ± 0,30
<u>Chlorid I</u>				
Blätter	n.b.			
Triebe*				
Holz*				
Wurzeln				
<u>Chlorid II</u>				
Blätter	n.b.			
Triebe*				
Holz*				
Wurzeln				
<u>Natrium I</u>				
Blätter	0,79 ± 0,09	0,63 ± 0,24	0,39 ± 0,17	0,47 ± 0,22
Triebe*	1,47 ± 0,10	0,70 ± 0,24	1,09 ± 0,37	1,02 ± 0,18
Holz*	0,69 ± 0,10	0,96 ± 0,33	0,85 ± 0,07	1,08 ± 0,12
Wurzeln	3,80 ± 0,47	4,00 ± 0,54	5,80 ± 0,29	7,82 ± 0,74
<u>Natrium II</u>				
Blätter	3,85 ± 0,68	3,39 ± 0,53	2,98 ± 1,00	2,04 ± 0,72
Triebe*	5,30 ± 1,22	2,54 ± 0,34	4,44 ± 1,26	3,32 ± 0,85
Holz*	2,82 ± 1,04	1,91 ± 0,32	1,96 ± 0,75	2,34 ± 0,29
Wurzeln	13,50 ± 5,91	11,80 ± 0,75	11,20 ± 1,02	13,30 ± 1,02

\* Trieb: junge Triebe mit entfernten Blättern; Holz: blattlose vorjährige Triebe.

Gleichzeitig sind die Na-Konzentrationen in den Wurzeln der Schwarzen Johannisbeersorten bei Na-Angebot höher, vor allem deutlich bei Na I. Dieses ansatzweise beobachtete Na-Rückhaltevermögen ist auch bei der Kontrolle zu beobachten.

Noch deutlicher erkennbar wird das Na-Rückhaltevermögen der Wurzeln von Schwarzen Johannisbeersorten gegenüber der Roten und Weißen Sorten, wenn man den Quotienten aus Wurzel- und Blattkonzentrationen von Natrium der einzelnen Sorten gegenüberstellt (Tab. 7.5.). Dieser Quotient der Schwarzen Sorten ist deutlich höher als jene der Roten oder Weißen Sorten, und dies sowohl bei der Kontrolle, Na I und Na II.

*Tab. 7.5.: Quotient der Natrium-Konzentrationen der Wurzeln und Blätter der 3 Johannisbeersortentypen bei der Kontrolle (ohne Na-Angebot) und bei der Behandlung mit 2 unterschiedlichen Na-Konzentrationen (10 und 40 mM) für 14 Tage in Nährlösung*

Behandlung	Quotient der Na-Konzentrationen Wurzeln/Blätter		
	Rote J.	Weiße J.	Schwarze J.
Kontrolle	2,0	3,8	4,3
Na I	4,8	6,4	15,8
Na II	3,5	3,5	5,1

### *Kaliumkonzentrationen in den Pflanzen*

Aus der Literatur ist bekannt, dass ein erhöhtes Natriumangebot bei Pflanzen die Kaliumaufnahme hemmen kann. Somit wurde bei beiden Na-Angebotsstufen im Vergleich zur Kontrolle ergänzend zu den Na-Konzentrationen auch jene des Kaliums in den verschiedenen Pflanzenfraktionen gemessen und in Tabelle 7.6. wiedergegeben.

Wie zu erwarten, sank mit steigendem Na-Angebot die K-Konzentration in den Wurzeln. Dies war besonders deutlich in den beiden Schwarzen Johannisbeersorten mit den etwas höheren Na-Konzentrationen in den Wurzeln aufgrund des stärkeren ausgeprägten Na-Exklusionsvermögen der Wurzeln.

Auffallend war auch, dass die Weiße Sorte insgesamt die höhere und die beiden Schwarzen Sorten die geringsten K-Konzentrationen in allen Pflanzenfraktionen aufwiesen (Tab. 7.6.)

Tab. 7.6.: Kaliumkonzentrationen (mg K/g TS) in einzelnen Pflanzenfraktionen von verschiedenen Johannibeersorten nach 14-tägiger Behandlung mit 2 unterschiedlichen Chlorid- und Natriumkonzentrationen (10 und 40 mM) auf Nährlösung

Behandlung (Pflanzenorgan)	Sorten							
	Rolan (rot)	Weißer Versailler	Titania (schwarz)	Tenah (schwarz)				
<u>Kontrolle</u>								
Blätter	27,5 ± 1,6	31,5 ± 3,7	24,3 ± 1,1	24,1 ± 0,8				
Triebe*	15,4 ± 1,2	23,6 ± 3,6	18,2 ± 1,5	20,0 ± 2,3				
Holz*	4,1 ± 0,6	4,2 ± 0,5	5,7 ± 0,7	6,2 ± 0,9				
Wurzeln	23,9 ± 3,5	36,1 ± 2,8	20,3 ± 1,4	26,9 ± 1,6				
<u>Chlorid I</u>	n.b.							
Blätter								
Triebe*								
Holz*								
Wurzeln	n.b.							
<u>Chlorid II</u>								
Blätter								
Triebe*								
Holz*								
Wurzeln								
<u>Natrium I</u>								
Blätter					27,6 ± 2,5	29,6 ± 2,5	23,0 ± 2,1	24,2 ± 0,9
Triebe*	20,3 ± 4,7	23,9 ± 3,6	21,9 ± 4,7	21,5 ± 2,1				
Holz*	4,2 ± 0,9	3,9 ± 0,5	4,3 ± 0,6	4,3 ± 0,3				
Wurzeln	25,4 ± 4,7	34,8 ± 4,8	14,9 ± 1,1	21,3 ± 1,7				
<u>Natrium II</u>								
Blätter	25,9 ± 1,9	28,8 ± 3,3	23,6 ± 1,7	23,9 ± 2,2				
Triebe*	16,6 ± 2,4	26,4 ± 4,1	19,9 ± 5,1	18,4 ± 2,7				
Holz*	4,3 ± 1,4	3,0 ± 0,2	4,9 ± 1,1	4,6 ± 0,7				
Wurzeln	18,4 ± 3,7	26,6 ± 2,5	11,8 ± 2,1	15,4 ± 2,2				

\* Trieb: junge Triebe mit entfernten Blättern; Holz: blattlose vorjährige Triebe.

Eine mögliche K/Na-Konkurrenz war in den Blättern nur tendenziell und auch dann nur sehr schwach ausgeprägt. In den Wurzeln war diese K/Na-Konkurrenz vor allem bei beiden schwarzen Sorten und da besonders stark beim hohen Na-Angebot (Na II) zu beobachten.

## 7.6. Diskussion

Genotypische Unterschiede in der Chloridempfindlichkeit werden häufig mit dem Ausmaß der Verlagerung von Chlorid aus den Wurzeln in den Spross verbunden (Marschner, 1995; Newman und Antcliff, 1984; Edelbauer 1976). In den Kurzzeitaufnahmeversuchen (Kap. 6) wiesen die Schwarzen Johannisbeersorten gegenüber den Roten und Weißen Sorten tendenziell eine geringere Aufnahme und Verlagerung von Chlorid auf (Tab. 6.2, 6.3). In dem 14-tägigen Nährlösungsversuch zeigten ebenfalls beide untersuchten Schwarzen Sorten leicht geringere Chloridkonzentrationen in dem Neuzuwachs (Blätter und junge Triebe) mit 12,5 mg Cl/g TS Blätter. Im Vergleich hatten die Blätter der Roten und Weißen Sorten bei diesem hohen Cl-Angebot (Cl II) zwischen 18 und 20 mg Cl/g TS Blätter. Marschner (1995) gibt für empfindliche Kulturen einen Toxizitätsgrenzwert von 20-30 mg/g TS an, so dass tatsächlich die ansatzweise gezeigte geringere Aufnahme und Verlagerung von Chlorid der Schwarzen Sorten eine gewisse Rolle für die häufig diskutierte Chloridempfindlichkeit bestimmter Johannisbeersorten spielen kann. Ausgeschlossen werden kann aber nicht der zusätzliche Gesichtspunkt einer höheren Gewebetoleranz der oberirdischen Pflanzenteile (Blätter, Triebholz) der Schwarzen Sorten gegenüber Chlorid.

Das in den vorherigen Versuchen (Kap. 6) gezeigte Rückhaltermögen für die Na-Verlagerung aus den Wurzeln in den Spross konnte im 14-tägigen Nährlösungsversuch bestätigt werden. Die beiden Schwarzen Sorten wiesen tendenziell in den Blättern weniger Na und in den Wurzeln mehr Na im Vergleich zu der Roten und Weißen Sorten (Tab. 7.4.) auf. Vergleichbares wurde auch bei anderen Pflanzenarten gefunden (Lessani und Marschner, 1978).

In Allgemeinen werden bei Ersatz von Kalium durch Natrium ein höherer Blatt-Wassergehalt sowie ein höherer Sukkulenzgrad vor allem bei natrophilen Pflanzenarten wie bei der Zuckerrübe gefunden (Marschner, 1995; Hampe und Marschner, 1982). In der vorliegenden Untersuchung wurden bei allen 4 Johannisbeersorten sowohl bei steigendem Cl- ( $\text{CaCl}_2$ ) und steigendem Na-Angebot ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dagegen eine leichte Abnahme des Blattwassergehaltes bzw. eine leichte Zunahme der Trockengewichtsgehalte in den Blättern gefunden (Tab. 7.2.). Diese Änderungen waren bei den Schwarzen Sorten etwas stärker ausgeprägt. Der Sukkulenzgrad wurde aufgrund des doch relativ kurzen Vegetationsversuches (14-tägige Salzbehandlung), nicht untersucht. In der Literatur gibt es bislang keine Angaben zu möglichen Veränderungen im Blattwassergehalt bei nicht-natrophilen Pflanzenarten wie der Johannisbeere.

Signifikante Wachstumseffekte konnten bei der 14-tägigen Behandlungsdauer nicht beobachtet werden mit Ausnahme der roten Sorte „Rolan“, die beim hohen Chloridangebot (Cl II) eine deutliche Wachstumshemmung aufwies (Tab. 7.1.). Für Natrium werden je nach Pflanzenart (natrophob versus natrophil) Wachstumshemmungen sowie Wachstumssteigerungen beobachtet (Marschner, 1995). Bei Chlorid werden vor allem beim Überschreiten des Toxizitätsgrenzwertes (s.o.) Wachstumshemmungen analog zur Salzttoxizität beobachtet.

Somit lassen sich aufgrund der hier vorliegenden Ergebnisse der 14-tägigen Chloridbehandlung nicht ausschließen, dass bei Erreichen des Toxizitätsgrenzwertes von ca. 20 mg Cl/g TS bei empfindlichen Johannisbeersorten (z.B. „Rolan“) Wachstumshemmungen auftreten können.

### 7.7. Ausblick

Weitere Langzeitversuche im Gefäß (Kap. 8) und im Feld (Kap. 9 und 10) müssen nun zeigen, inwieweit der oben diskutierte Toxizitätsgrenzwert für Chlorid bei einzelnen Johannisbeersorten erreicht werden kann. Bei Überschreitung dieses Grenzwertes vor allem im Feld müssen Chloridschädigungen bei empfindlichen Johannisbeersorten angenommen werden und eine chloridfreie Düngung wäre angebracht. Diese notwendig erachteten Versuche werden spannend sein, um die praxisrelevante Frage hinsichtlich Notwendigkeit chloridfreier Kaliumdüngung zu Johannisbeeren und vergleichbaren Beerenobst abschließend zu beantworten.

## 8. GEFÄßVERSUCH ZUR AUFNAHME VON CHLORID UND NATRIUM BEI UNTERSCHIEDLICHEN *RIBES*-ARTEN (HOHENHEIM)

### 8.1. Problematik

Da die durchgeführte Literaturrecherche (Kapitel 2) und auch die Kurzeitenaufnahmeversuche mit Chlorid und Natrium (Kap. 6 und 7) keine befriedigende Antwort auf die vermeintliche Chloridempfindlichkeit einzelner Johannisbeersorten gaben, sollte in einem mehrjährigen Gefäßversuch mit 8 verschiedenen Sorten eine Basis für eine Klassifizierung der einzelnen Johannisbeerarten (Rote, Weiße und Schwarze Johannisbeere) als chloridempfindliche oder chloridunempfindliche Beerenart gefunden werden. Vor allem sollte die oft in Lehrbüchern zitierte vermeintliche Chloridempfindlichkeit besser definiert bzw. charakterisiert werden. Auch sollte anhand von nachvollziehbaren experimentellen Versuchen (Gefäßversuch hier und Feldversuch in Kapitel 9) klare Kriterien für die Klassifizierung in chloridempfindliche und chloridunempfindliche Pflanzenarten bzw. -sorten gegeben werden. So sollte festgestellt werden können, inwieweit mit Natrium- oder Chloridtoxizitäten und Wachstumsbeeinträchtigungen unter kontrollierten Bedingungen zu rechnen ist. Auch sollte der in Kapitel 7 diskutierte Toxizitätsgrenzwert für Chlorid von 20-30 mg Cl/g TS (Marschner, 1995) überprüft werden.

Im Vergleich mit einem folgenden Feldversuch mit Niederschlag und möglicher Chloridauswaschung vor allem über die Wintermonate (Kapitel 9) sollte dann diese Charakterisierung unter stärkerer Praxisrelevanz noch weiter geprüft werden.

### 8.2. Versuchsfragen und Arbeitshypothesen

Im Einzelnen sollten mit den Gefäßversuchen folgende Hauptversuchsfragen beantwortet werden:

- a) Unterscheiden sich Rote, Weiße und Schwarze Johannisbeersorten im Aufnahme- und Rückhaltevermögen von Chlorid (und Natrium) als mögliche physiologische Mechanismen für eine unterschiedliche Chlorid- (und Natrium-) Verträglichkeit?
- b) Treten bei den unterschiedlichen Johannisbeersorten bei unterschiedlich hohem Chlorid- (und Natrium-) Angebot Toxizitätssymptome auf?

- c) Muss die Johannisbeere (oder bestimmte Sorten) bei praxisüblicher K-Düngung entweder als Kornkali (40 er Kali) oder als Kalirohsalz auch unter kontrolliertem Anbau ohne mögliche Auswaschung als Chlorid- (bzw. Natrium-) empfindlich charakterisiert werden?
- d) Ab welchen überhöhten Chlorid- (Natrium-) Angeboten sind mit Chlorid- bzw. Natriumtoxizitäts-Symptomen oder Wachstumsbeeinträchtigungen zu rechnen?
- e) Gilt der bei Marschner (1995) angegebene Toxizitätsgrenzwert für Chlorid von 20-30 mg Cl/g TS auch für die einzelnen Johannisbeersorten?

Folgende Arbeitshypothesen wurden zu Beginn der Arbeit für diesen Gefäßversuch formuliert:

- a) Unter praxisüblicher Kaliumdüngung als Kornkali treten bei keiner Johannisbeersorte und auch nicht bei den bekanntlich empfindlicheren Weißen Sorten Chloridschäden an den Blättern (Blattrandnekrosen) unter kontrollierten Bedingungen ohne die Möglichkeit einer Chlorid-auswaschung auf.
- b) Nur bei einer stark überhöhten Chloridzugabe (mehrfach überhöhte K-Düngung als Kalirohsalz) ohne Möglichkeit einer Chloridauswaschung können zum Ende der Vegetationsperiode im Spätsommer an den älteren Blättern Blattrandnekrosen als Chloridtoxizität auftreten. In diesem Fall wird auch der angegebene Toxizitätsgrenzwert von 20 mg Cl/g TS in den Blättern erreicht.

### 8.3 Versuchsansatz und Versuchsdurchführung

Zur Beantwortung der obigen Versuchsfragen wurden erworbene Steckhölzer von 8 Johannisbeersorten (3x rot: Rolan <1>, Jonkheer van Teets <2>, Red Lake <3>; 2x weiß: Weiße Versailler <4>, Weiße Langtraubige <5>; 3x schwarz: Titania <6>, Tenah <7>, Ben Sarek <8>) am 06.04.1999 in Sandkultur am Institut für Weinbau vorkultiviert.

In der Zeit vom 19. bis 21. Mai. 1999 wurden je Sorte (8) und Behandlung (5) und je 4 Wiederholungen kleine Mitscherlich-Töpfe mit 6 kg Bodenmischung gefüllt und mit je einem bewurzelten Steckholz bepflanzt. Insgesamt ergab dies 160 Gefäße wie aus dem Versuchsplan erkennbar (Tab. 8.1.). Die wichtigsten bodenchemischen Merkmale der verwendeten Bodenmischung sind in Tab. 8.2. wiedergegeben.

*Tab. 8.1.: Versuchsplan zur Behandlung der Mitscherlich-Töpfe für den mehrjährigen Gefäßversuch mit 8 Johannisbeersorten in der Vegetationshalle des Institutes für Pflanzenernährung Hohenheim*

Behandlung		Sorten*							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Ko	Kontrolle	○	○	○	○	○	○	○	○
Na I	Natrium 1	○	○	○	○	○	○	○	○
Na II	Natrium 2	○	○	○	○	○	○	○	○
Cl I	Chlorid 1	○	○	○	○	○	○	○	○
Cl II	Chlorid 2	○	○	○	○	○	○	○	○

\* Je Sorte wurden 4 Wiederholungen angesetzt und die Töpfe randomisiert auf Vegetationswagen aufgestellt

*Tab. 8.2.: Bodenchemische Charakterisierung der verwendeten Bodenmischung für den mehrjährigen Gefäßversuch mit Johannisbeeren in der Vegetationshalle, Hohenheim*

Bodenart	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> O	MgCl <sub>2</sub> (mg/kg)	Chlorid	Natrium
stL	7,5	11,6	11,0	12,5	6,8	1,5

Zur Verbesserung der Bodenstruktur wurden der obigen Bodenmischung 0,05% Sedipur und 20% Torf + Vermiculit zugemischt.

Die einzelnen Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>- und CaCl<sub>2</sub>- Zugaben zu den Mitscherlich-Töpfen wurden entsprechend dem Behandlungsplan berechnet und in Tabelle 8.3. wiedergegeben. Entsprechend folgender Zusammenstellung wurde das Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bzw. CaCl<sub>2</sub> der 1. Salz-Behandlung in 2 Teilgaben appliziert. Und um das Auftreten von möglichen Toxizitätserscheinungen wahrscheinlicher zu machen, wurde die berechnete Salzgabe 4 Wochen später erneut als 2. Salzbehandlung in 2 Teilgaben verabreicht. Im Folgejahr (2001) wurde wegen einer teilweisen Na- und Cl-Verarmung im Boden (durch Bodenanalyse angezeigt) durch Aufnahme und Abgabe durch Blattfall und Holzrückschnitt im Herbst/Winter 2000 erneut 2 mal die berechnete Salzbehandlung (3. und 4. Behandlung) durchgeführt.

Tab. 8.3.: Berechnung der Zugabe von  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  und  $\text{CaCl}_2$  pro Mitscherlich-Gefäß entsprechend dem Behandlungsplan in Tab. 8.1.

---

Grundlage der verschiedenen Behandlungen war eine Düngung von Kalium als Nitrophoska bzw.  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ohne Chlorid und Natrium für die Kontrolle (1), als Kornkali mit NaCl-Anteil für die Behandlung Na I und Cl I und als Kalirohsalz mit hohem NaCl-Anteil für die Behandlung Na II und Cl II. Um jedoch im Gefäßversuch den Natrium- und Chlorid-Effekt experimentell auseinander zu halten wurde in den Behandlungen Na I und Na II  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  und in den Behandlungen Cl I und Cl II  $\text{CaCl}_2$  zugegeben.

*1. Kontrolle (Ko)*

150 kg K/ha als  $\text{K}_2\text{SO}_4 \approx 5 \text{ mg K}/100 \text{ g}$   
= 300 mg K/6 kg Boden als  $\text{K}_2\text{SO}_4$

*2. Natrium niedrig (Na I)*

300 mg K/6 kg Boden als  $\text{K}_2\text{SO}_4$  plus 7,5 mval  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  /6 kg Boden

*3. Natrium hoch (Na II)*

300 mg K/6 kg Boden als  $\text{K}_2\text{SO}_4$  plus  
30 mval  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  /6 kg Boden

*4. Chlorid niedrig (Cl I)*

300 mg K/6kg Boden als  $\text{K}_2\text{SO}_4$  plus  
7,5 mval  $\text{CaCl}_2$  /6 kg Boden

*5. Chlorid hoch (Cl II)*

300 mg K/6kg Boden als  $\text{K}_2\text{SO}_4$  plus  
30 mval  $\text{CaCl}_2$  /6 kg Boden

---

Salzbehandlungen:

03.05.2000: **1. Behandlung** Teilgabe 1

(50% von den unten angegebenen Mengen)

Natrium:

Na I: 0.125 mval/100 g Bo als  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bzw 7.5 mval/6 kg Bo

Na II: 0.500 mval/100 g Bo als  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bzw. 30 mval/6 kg Bo

Chloride:

Cl I: 0.125 mval/100 g Bo als  $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$  bzw 7.5 mval/6 kg Bo

Cl II: 0.500 mval/100 g Bo als  $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$  bzw 30 mval/ 6 Kg Bo

08.05.2000: 1. Behandlung, Teilgabe 2

26.05.2000: **2. Behandlung**, Teilgabe 1

30.05.2000: 2. Behandlung, Teilgabe 2

07.07.2001: **3. Behandlung**, Teilgabe 1

11.07.2001: 3. Behandlung Teilgabe 2

07.08.2001: **4. Behandlung** Teilgabe 1

13.08.2001: 4. Behandlung Teilgabe 2

Während der gesamten Versuchsdauer des Gefäßversuches (Mai 1999-Aug. 2001) wurde entsprechend der Zusammenstellung in Tab. 8.4. in unregelmäßigen Abständen Nährsalze (N, P, K, Kg) zugegeben. Neben den reinen Nährsalzen wie  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  und  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  wurde auch ein Mehrnährstoffdünger (Blaukorn) mit folgender Zusammensetzung: 12% N. 12%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 17%  $\text{K}_2\text{O}$ , 2%  $\text{MgO}$  verwendet.

Tab. 8.4.: Düngeplan für die Zuführung von N, P, K und Mg für eine ausreichende Nährstoffversorgung der Johannisbeersträucher in den kleinen Mitscherlich-Töpfen.

<b>Düngung während der Versuchsperiode</b>			
<b>Datum</b>	mg N/Gef. als Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	mg P/Gef. als KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	mg K/Gef. als KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
26.5.1999	250	-----	-----
16.7.1999	-----	300	391
20.7.1999	250	-----	-----
22.7.1999	-----	300	391
<b>Σ</b>	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>782</b>
Mg N/kg Bo	83.3	-----	-----
Mg P/kg Bo	-----	100	-----
Mg K/kg Bo			130.3
kg N/ha	249.9	-----	-----
kg P/ha	-----	300	-----
kg K/ha			391
<b>Datum</b>	mg N/Gef. als Blaukorn	mg P/Gef. als Blaukorn	mg K/Gef. als Blaukorn
ab 12.8.99	600	261.6	705.5
6.9.99	600	261.6	705.5
<b>Σ</b>	<b>1200</b>	<b>523.2</b>	<b>1411.0</b>
Mg N/kg Bo	200	-----	-----
Mg P/kg Bo	-----	87.2	-----
Mg K/kg Bo			235.1
Kg N/ha	600	-----	-----
Kg P/ha	-----	261.6	-----
Kg K/ha	-----	-----	705.5
<b>Datum</b>	mg N/Gef. als Blaukorn	mg P/Gef. als Blaukorn	mg K/Gef. als Blaukorn
25.3.2000	300	130.8	352.8
mg N/kg Bo	50	-----	-----
mg P/kg Bo	-----	21.8	-----
mg K/kg Bo	-----	-----	58.8
kg N/ha	150		
kg P/ha	-----	65.4	
kg K/ha	-----	-----	176.4
<b>Datum</b>	mg N/Gef. als Blaukorn	mg P/Gef. als Blaukorn	mg K/Gef. als Blaukorn
25.4.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000
15.5.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000
23.6.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000
<b>Datum</b>	mg N/Gef. als Blaukorn	mg P/Gef. als Blaukorn	mg K/Gef. als Blaukorn
31.3.2001	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000
17.5.2001	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000
15.6.2001	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000
4.7.2001	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000	siehe 25.3.2000

Der beim regelmäßigen Gießen gelegentlich auftretende Durchlauf von Bodenlösung in die Untersetzer wurde nicht verworfen, sondern auf den entsprechenden Mitscherlich-Topf zurückgeführt.

An folgenden Terminen wurde eine Bonitur der einzelnen Johannisbeerpflanzen mit Fotos durchgeführt:

30.08.2000 Auftreten von Blattrandnekrosen bei Sorte 3, 4 und 5 in Variante Cl II

08.09.2000 Fotos von Blattrandnekrosen

22.08.2001 Fotos von Blattrandnekrosen bei Sorte 3 (+++), Sorte 4 (++) , Sorte 5 (++) und bei Sorte 1 und 6 Beginn von Blattrandnekrosen (+).

Pflanzen- und Bodenproben für die Mineralstoffanalyse wurden an folgenden Terminen genommen:

29.05.2000 ältere Blätter ohne Stiel (Blattspreiten) 1. Ernte;

22.08.2000 ältere Blätter ohne Stiel, 2. Ernte;

Oktober 2000 Holz, 1. Ernte;

23.05.2001 Bodenproben nach der Blüte (3 Einstiche/Gefäß);

23.08.2001 ältere Blätter ohne Stiel; 3. Ernte und Holz, 2. Ernte.

Nach Bedarf wurde gegen Mehltau und Läuse mit Fungiziden bzw. Insektiziden gespritzt.

## 8.4 Material und Methoden

Das Material der Johannisbeer-Steckhölzer, geliefert von Baumschule Heckmann in 74259 Widdern, und die Bodenmischung wurde unter 8.3. beschrieben.

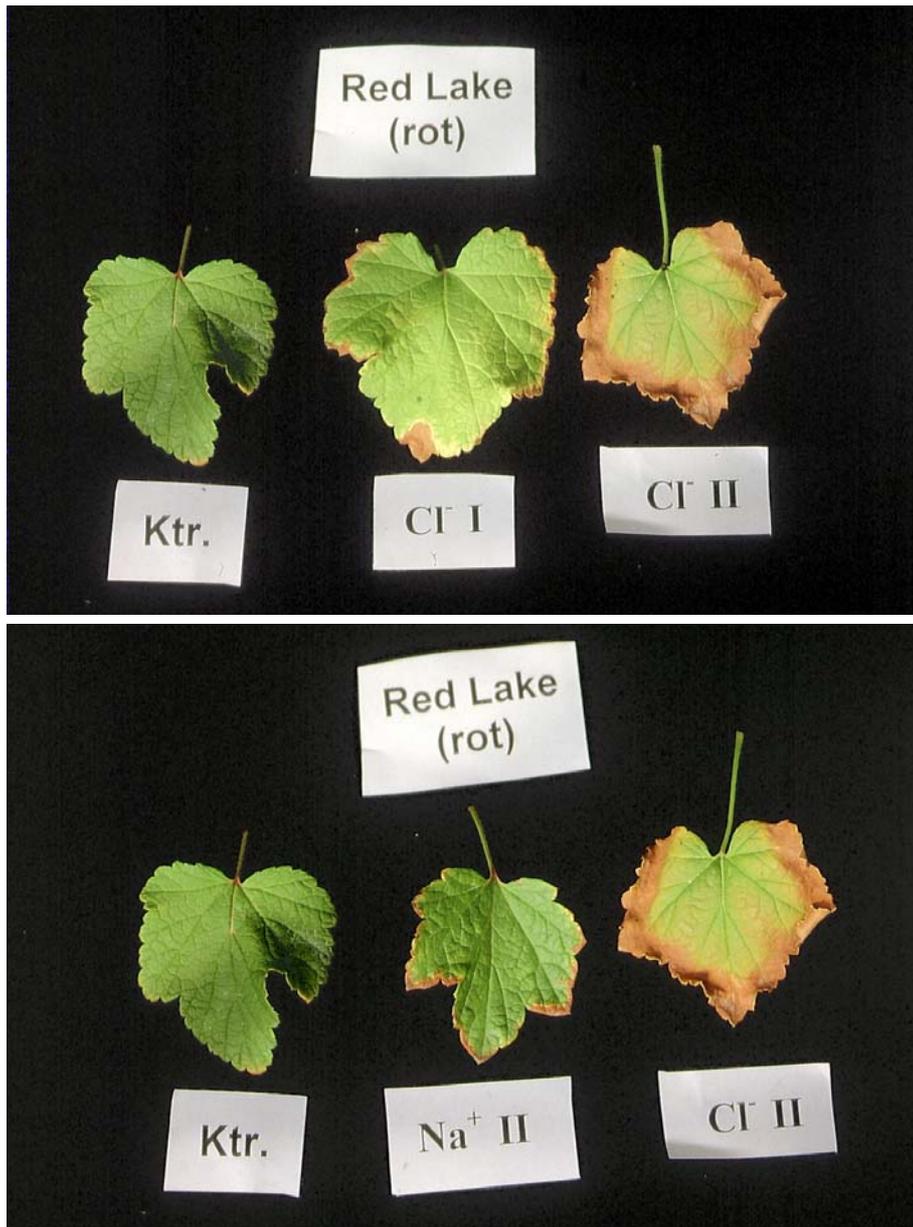
Die Aufarbeitung der Blatt- und Holzproben und der durchgeführten Mineralstoffanalysen auf Na und Cl und weiterer Mineralstoffe (K, Mg, Zn, Cd) wurden in Kapitel 5 ausführlich beschrieben.

## 8.5 Ergebnisse

### 8.5.1. Visuelle Bonitur (Toxizitätssymptome)

*Vegetationsjahr 2000*

Im 1. Behandlungsjahr traten erstmals im Spätsommer zum Zeitpunkt beginnender Seneszenz bei den Sorten Red Lake (rot), Weißer Versailler (weiß) und Weiße Langtraubige (weiß) beim hohen Chloridangebot (Cl II) deutliche Randnekrosen an älteren Blättern auf (Abb. 8.1.). Dagegen sind beim hohen Natriumangebot (Na II) nur ansatzweise Blattrandnekrosen erkennbar.



*Abb. 8.1.: Ausgeprägte Randnekrosen an älteren Blättern der Roten Johannisbeersorte „Red Lake“ bei hohem Chloridangebot (Cl II) im Spätsommer zur Zeit beginnender Seneszenz. Bei niedrigem Chloridangebot (Cl I) und hohem Natriumangebot (Na II) sind diese Blattrandnekrosen deutlich schwächer ausgeprägt. (Foto: 08.09.2000)*



*Abb. 8.2.: Ausgeprägte Blattrandnekrosen beim hohen Chloridangebot (Cl II) bei der Weißen Johannisbeersorte „Weiße Versailler“ nicht jedoch bei der Schwarzen Sorte „Ben Sarek“. Bei der schwarzen Sorte „Titania“ keine sichere Unterscheidung zwischen Chloridtoxizität und allgemeiner Seneszenz. (Foto: 08.09.2000)*

Im Gegensatz zu den 3 roten Sorten, wo nur bei einer Sorte (Red Lake) Blattrandnekrosen beim überhöhten Chloridangebot (Cl II) auftraten, waren bei beiden weißen Sorten diese Blattrandnekrosen zu beobachten. Bei den 3 Schwarzen Johannisbeersorten waren ansatzweise bei der Sorte „Titania“ Blattrandnekrosen bzw. verfrühte Seneszenzerscheinungen zu beobachten (Abb. 8.2.).

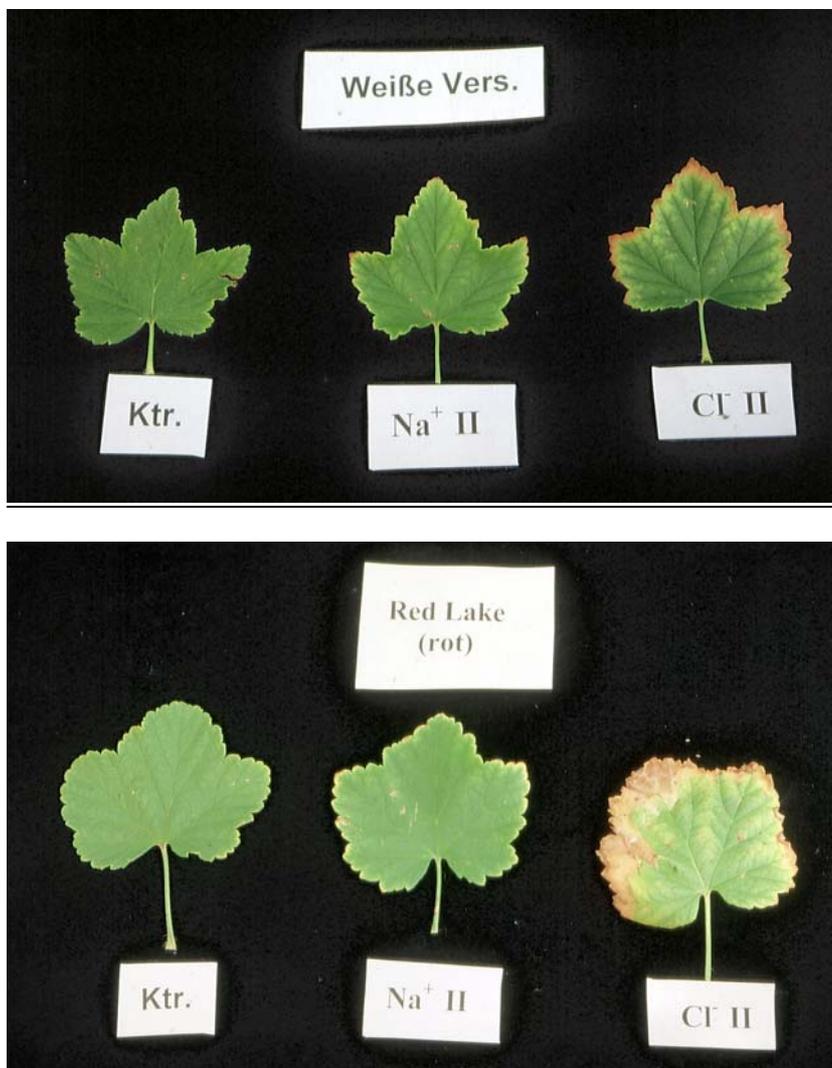
Auf Abbildung 8.3. wird deutlich, wie schwer Chloridbedingte Blattrandnekrosen von Seneszenzbedingten Herbstverfärbungen zu unterscheiden sind. Beide Veränderungen traten gemeinsam im Spätsommer (August, September) auf.



*Abb. 8.3.: Verfrühte Herbstverfärbung durch Seneszenz bei verschiedenen Johannisbeersorten bedingt durch überhöhtes Chloridangebot. Keine eindeutige Unterscheidung zwischen normaler Herbstverfärbung und Chlorid-Toxizitätserscheinungen wie Blattrandnekrosen (Foto 08.09.2000)*

*Vegetationsjahr 2001*

Im 2. Behandlungsjahr traten erneut im Spätsommer (22.08.2001) bei den gleichen Sorten wie im Vorjahr (Red Lake, rot; Weißer Versailler, weiß; Weiße Langtraubige, weiß) beim hohen Chloridangebot (Cl II) ausgeprägte Randnekrosen auf. Bei den beiden Sorten „Rolan“ (rot) und „Titania“ (schwarz) waren Blattrandnekrosen im Ansatz beim hohen Chloridangebot (Cl II) erkennbar. Beim hohen Natriumangebot (Na II) waren nur bei der roten Sorten „Red Lake“ Natriumtoxizitätssymptome als beginnende Blattrandnekrosen zu beobachten (Abb. 8.4.).



*Abb. 8.4.: Blattrandnekrosen beim hohen Chloridangebot (Cl II) bei der Weißen Johannisbeersorte „Weiße Versailler“ und roten Sorte „Red Lake“ im Spätsommer des 2. Behandlungsjahres. Beim hohen Natriumangebot (Na II) waren nur ansatzweise Blattrandnekrosen zu beobachten, vor allem bei der Sorte „Red Lake“ (Foto: 22.08.2001)*

Bei der Ansicht der gesamten Pflanzen in Abbildung 8.5. ist ebenfalls das ausschließliche Auftreten von Blattrandnekrosen beim hohen Chloridangebot (Cl II) bei der weißen Sorte „Weiße Versailler“ und bei der roten Sorte „Red Lake“ zu erkennen. Im Gegensatz zum hohen Chloridangebot sind beim niedrigen Chloridangebot (Cl I) und beim hohen Natriumangebot (Na II) auch bei den angenommenen empfindlicheren weißen Sorten keine deutlichen Blattrandnekrosen im Spätsommer zu beobachten (Abb. 8.5.).

### 8.5.2. Allgemeines Pflanzenwachstum

Im ersten Versuchsjahr wurde vor Beginn der verschiedenen Behandlungen (siehe Tabelle 8.3.) am 3.5.2000 die Sprosshöhe der Pflanzen der 8 Sorten bestimmt. Sie betrug für die einzelnen Sorten zwischen 36 und 44 cm. Im Einzelnen für Sorte Nr.1 durchschnittlich 36 cm, Sorte Nr.2 38 cm, Sorte Nr.3 41 cm, Sorte Nr.4 39 cm, Sorte Nr.5 42 cm, Sorte Nr.6 42 cm, Sorte Nr.7 44 cm und Sorte Nr.8 42 cm.

Der Biomassezuwachs wurde nur am Ende des 2. Behandlungsjahres erfasst. Die Daten für den Zuwachs von Blättern und Trieben (Holz) im 2. Vegetationsjahr sind für alle 8 Johannisbeersorten und 5 Behandlungen in den Tabellen 8.5. und 8.6. wiedergegeben. Bei keiner Sorte sind signifikante Unterschiede in der Biomasseproduktion durch die Chlorid- oder Natriumzugabe im 2. Behandlungsjahr erkennbar.

*Tab. 8.5.: Zuwachs von Blättern (g TS/Pflanze) im 2. Vegetationsjahr unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte am 23.08.2001)*

<b>Sorte</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>Cl I</b>	<b>Cl II</b>	<b>Na I</b>	<b>Na II</b>
Rolan	33,6 ± 2,4	30,8 ± 0,9	26,4 ± 0,5	30,7 ± 3,1	29,3 ± 4,0
J.v. Teets	28,5 ± 2,8	29,2 ± 0,8	27,9 ± 2,5	27,9 ± 1,7	28,9 ± 2,2
Red Lake	23,2 ± 3,3	22,9 ± 3,2	20,9 ± 3,1	22,5 ± 1,7	25,0 ± 3,0
Weiße Vers.	21,7 ± 1,6	24,3 ± 4,2	21,4 ± 3,9	25,1 ± 5,4	22,9 ± 2,3
Weiße Langtr.	18,2 ± 2,7	22,6 ± 2,0	21,3 ± 1,8	21,0 ± 2,5	21,0 ± 4,7
Titania	27,7 ± 1,8	28,2 ± 1,2	29,5 ± 2,0	28,6 ± 0,8	28,2 ± 1,7
Tenah	31,4 ± 2,8	29,3 ± 2,0	33,2 ± 3,4	30,8 ± 2,1	28,6 ± 2,5
Ben Sarek	39,8 ± 11,9	30,5 ± 2,7	30,8 ± 1,5	30,5 ± 3,2	30,5 ± 3,9



**Abb. 8.5.:** Ausgeprägte Blattrandnekrosen beim hohen Chloridangebot (Cl II) bei der Weißen Johannisbeersorte „Weiße Versailler“ und bei der Roten Sorte „Red Lake“ im Spätsommer des 2. Behandlungsjahres. Bei niedrigem Chloridangebot (Cl I) und hohem Natriumangebot (Na II) sind keine Blattrandnekrosen zu erkennen (Foto: 22.08.2001)

*Tab. 8.6.: Zuwachs von Trieben (Holz) (g TS/Pflanze) im 2. Vegetationsjahr unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte am 23.08.2001)*

<b>Sorte</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>Cl I</b>	<b>Cl II</b>	<b>Na I</b>	<b>Na II</b>
Rolan	23,9 ± 1,9	20,6 ± 2,4	16,6 ± 1,1	22,2 ± 3,6	20,6 ± 4,2
J.v. Teets	23,2 ± 4,3	25,8 ± 1,3	23,0 ± 2,0	23,9 ± 3,9	26,7 ± 4,6
Red Lake	16,8 ± 2,3	18,2 ± 1,6	15,3 ± 4,4	18,6 ± 3,0	17,0 ± 4,4
Weißer Vers.	11,5 ± 1,2	13,4 ± 3,3	12,2 ± 2,2	13,0 ± 4,2	12,1 ± 1,6
Weißer Langtr.	7,4 ± 3,0	12,1 ± 4,3	10,1 ± 2,2	10,6 ± 4,6	8,7 ± 3,1
Titania	20,5 ± 1,7	21,2 ± 3,3	21,0 ± 1,2	21,2 ± 1,5	20,9 ± 4,4
Tenah	17,1 ± 2,9	17,5 ± 1,5	21,0 ± 3,0	17,2 ± 2,0	15,2 ± 2,2
Ben Sarek	15,8 ± 3,3	15,5 ± 2,3	15,2 ± 1,8	15,3 ± 1,5	14,2 ± 3,6

### 8.5.3. Chloridkonzentrationen in Blättern und Holz

Aus Tabelle 8.7. mit den Chloridkonzentrationen in den Blättern am Ende des 1. Behandlungsjahres sind die signifikant höheren Chloridwerte beim niedrigen Chloridangebot (Cl I) und hohem Chloridangebot (Cl II) bei allen 8 Johannisbeersorten gegenüber der Kontrolle zu erkennen. Beachtenswert sind die um Faktor 2 höheren Chloridkonzentrationen in den Blättern der Weißen und Roten Sorten im Vergleich zu den 3 Schwarzen Sorten beim hohen Chloridangebot. Beim niedrigen Chloridangebot (Cl I) ist dieser Sortenunterschied nicht so deutlich zu beobachten. Offensichtlich liegt ein gewisser Zusammenhang zwischen der Höhe der Chloridkonzentration im Blatt und dem Auftreten von Blattrandnekrosen vor; unter 10-15 mg Cl/g TS traten keine Blattrandnekrosen auf. Dies war z.B. bei allen drei Schwarzen Johannisbeersorten der Fall (Tab. 8.7.).

Am Ende des 2. Behandlungsjahres mit erneuter Salzzugabe (in doppelter Höhe siehe Punkt 8.3.) stiegen beim hohen Chloridangebot (Cl II) bei den beiden weißen Sorten und noch stärker ausgeprägt bei den drei schwarzen Sorten die Chloridkonzentrationen in den Blättern deutlich an (Tab. 8.8.). Die kritische Chloridkonzentration, ab welcher Blattrandnekrosen auftreten können, lag unverändert bei ca. 15 mg Cl/g TS.

*Tab. 8.7.: Chloridkonzentrationen in Blättern (mg Cl/g TS) am Ende des 1. Behandlungsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 22.08.2000)*

Sorte	Kontrolle	Cl I	Cl II	Na I	Na II
Rolan	0,8 ± 0,5	6,7 ± 1,2	23,4 ± 0,5	1,4 ± 0,2	1,0 ± 0,5
J.v. Teets	0,4 ± 0,3	4,3 ± 0,8	15,1 ± 2,5	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,2
Red Lake	1,7 ± 0,3	7,9 ± 0,7	23,4 ± 3,1*	2,3 ± 0,3	2,1 ± 0,2
Weißer Vers.	0,4 ± 0,3	6,5 ± 1,6	17,7 ± 3,9*	0,4 ± 0,3	0,7 ± 0,5
Weißer Langtr.	0,3 ± 0,4	3,6 ± 0,5	14,3 ± 1,8*	0,2 ± 0,3	0,2 ± 0,2
Titania	1,2 ± 0,3	3,3 ± 1,1	7,3 ± 2,0	0,9 ± 0,6	1,4 ± 0,4
Tenah	1,0 ± 0,3	5,4 ± 0,6	8,9 ± 3,4	1,7 ± 0,1	1,1 ± 0,5
Ben Sarek	0,6 ± 0,3	5,0 ± 1,2	8,2 ± 1,5	1,4 ± 0,6	0,8 ± 0,1

\* Blattrandnekrosen

*Tab. 8.8.: Chloridkonzentrationen in Blättern (mg Cl/g TS) am Ende des 2. Behandlungsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 23.08.2001)*

Sorte	Kontrolle	Cl I	Cl II	Na I	Na II
Rolan	2,2 ± 0,6	8,2 ± 1,2	22,8 ± 1,8*	1,6 ± 0,6	1,6 ± 0,4
J.v. Teets	1,2 ± 0,4	7,0 ± 0,8	18,2 ± 2,0	1,4 ± 0,2	0,6 ± 0,1
Red Lake	1,6 ± 0,2	8,3 ± 0,7	25,6 ± 5,6*	1,1 ± 0,2	0,8 ± 0,4
Weißer Vers.	0,9 ± 0,4	7,8 ± 1,6	25,6 ± 4,3*	0,9 ± 0,6	1,1 ± 0,2
Weißer Langtr.	1,9 ± 0,5	8,6 ± 0,5	25,7 ± 2,5*	1,9 ± 0,4	1,6 ± 0,3
Titania	1,7 ± 0,2	8,1 ± 1,1	17,6 ± 2,3*	1,6 ± 0,3	1,5 ± 0,3
Tenah	1,8 ± 0,2	9,0 ± 0,6	16,2 ± 1,5	1,6 ± 0,4	1,8 ± 0,5
Ben Sarek	1,8 ± 0,1	8,5 ± 1,2	16,1 ± 1,1	2,5 ± 0,3	2,1 ± 0,4

\* Blattrandnekrosen

Im Gegensatz zu den Blattspreiten konnte im Holz der Triebe am Ende der 1. Vegetationsperiode nur bei erhöhtem Chloridangebot (Cl II) Chlorid nachgewiesen werden (Tab. 8.9.). Bei den anderen Behandlungen lagen die Chloridkonzentrationen unter der Nachweisgrenze. Bei der Weißen Sorte „Weißer Versailler“ lagen die Werte knapp über dieser Nachweisgrenze. Die in den Schwarzen und Weißen Sorten gefundenen höheren Chloridkonzentrationen im Holz der hohen Chloridstufe (Cl II) im Vergleich zu den 3 roten Sorten (Tab. 8.9.) deuten an, dass auch ein Rückhaltevermögen im Holz bei der Diskussion der Anpassungsmechanismen ein hohes Chloridangebot zu berücksichtigen ist.

*Tab. 8.9.: Chloridkonzentrationen im Holzzuwachs (mg Cl/g TS) des 1. Behandlungsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 23.08.2000)*

Sorte	Kontrolle	Cl I	Cl II	Na I	Na II
Rolan	n.n.*	n.n.	0,46 ± 0,25	n.n.	n.n.
J.v. Teets	n.n.	n.n.	0,38 ± 0,28	n.n.	n.n.
Red Lake	n.n.	n.n.	0,26 ± 0,39	n.n.	n.n.
Weißer Vers.	0,25 ± 0,13	0,28 ± 0,33	1,18 ± 0,29	0,61 ± 0,22	0,56 ± 0,16
Weißer Langtr.	n.n.	n.n.	1,25 ± 0,24	n.n.	n.n.
Titania	n.n.	n.n.	1,54 ± 0,39	n.n.	n.n.
Tenah	0,35 ± 0,16	n.n.	1,53 ± 0,12	n.n.	n.n.
Ben Sarek	n.n.	n.n.	1,29 ± 0,21	n.n.	n.n.

\* n.n. : nicht nachweisbar

#### 8.5.4. Natriumkonzentrationen in Blättern und Holz

Beim Betrachten der Natriumkonzentrationen in den Blattspreiten am Ende des 1. Vegetationsjahres (Tab. 8.10.) sowie am Ende des 2. Vegetationsjahres (Tab. 8.11.) sind keine Behandlungseffekte zu erkennen. Das heißt, dass ein erhöhtes Natriumangebot (Na II) zu keinen höheren Blattkonzentrationen als in der Kontrolle führt. In der Tendenz sind aber die Konzentrationen bei den 3 schwarzen Sorten etwas geringer als bei den roten und weißen Sorten.

*Tab. 8.10.: Natriumkonzentrationen (mg Na/g TS) in Blattspreiten (Blätter ohne Stiele) am Ende des 1. Vegetationsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 22.08.2000)*

Sorte	Kontrolle	Cl I	Cl II	Na I	Na II
Rolan	0,13 ± 0,03	0,19 ± 0,05	0,15 ± 0,07	0,14 ± 0,05	0,13 ± 0,03
J.v. Teets	0,10 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,08 ± 0,04
Red Lake	0,14 ± 0,05	0,15 ± 0,10	0,19 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,11 ± 0,05
Weißer Vers.	0,05 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,11 ± 0,07	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,01
Weißer Langtr.	0,09 ± 0,02	0,14 ± 0,04	0,14 ± 0,07	0,15 ± 0,04	0,09 ± 0,03
Titania	0,07 ± 0,03	0,10 ± 0,06	0,10 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,04 ± 0,02
Tenah	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,05 ± 0,03
Ben Sarek	0,08 ± 0,04	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,04

*Tab. 8.11.: Natriumkonzentrationen (mg Na/g TS) in Blattspreiten (Blätter ohne Stiele) am Ende des 2. Vegetationsjahres, unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 23.08.2001)*

<b>Sorte</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>Cl I</b>	<b>Cl II</b>	<b>Na I</b>	<b>Na II</b>
Rolan	0,18 ± 0,07	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,14 ± 0,04	0,15 ± 0,03
J.v. Teets	0,13 ± 0,06	0,08 ± 0,03	0,08 ± 0,05	0,11 ± 0,03	0,12 ± 0,06
Red Lake	0,11 ± 0,04	0,16 ± 0,06	0,11 ± 0,04	0,11 ± 0,03	0,10 ± 0,04
Weißer Vers.	0,13 ± 0,07	0,12 ± 0,04	0,14 ± 0,06	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,04
Weißer Langtr.	0,07 ± 0,01	0,09 ± 0,03	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,03	0,08 ± 0,06
Titania	0,05 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,05 ± 0,02
Tenah	0,04 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,12 ± 0,06
Ben Sarek	0,07 ± 0,01	0,10 ± 0,04	0,10 ± 0,04	0,09 ± 0,02	0,14 ± 0,08

Die Natriumkonzentrationen im Holz (Tab. 8.12.) liegen in vergleichbarer Größenordnung wie in den Blattspreiten, ohne nennenswerte Unterschiede zwischen den Sorten oder den Behandlungen. Dies ist deutlich im Unterschied zum Chlorid, wo die Chloridkonzentrationen in den Blattspreiten bis um Faktor 20 höher lagen als im Holz.

*Tab. 8.12.: Natriumkonzentrationen (mg Na/g TS) im Holzzuwachs des 1. Behandlungsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 22.08.2000)*

<b>Sorte</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>Cl I</b>	<b>Cl II</b>	<b>Na I</b>	<b>Na II</b>
Rolan	0,11 ± 0,03	0,09 ± 0,04	0,17 ± 0,07	0,13 ± 0,06	0,11 ± 0,04
J.v. Teets	0,08 ± 0,03	0,06 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,01
Red Lake	0,13 ± 0,04	0,16 ± 0,05	0,14 ± 0,03	0,11 ± 0,01	0,17 ± 0,07
Weißer Vers.	0,08 ± 0,02	0,10 ± 0,04	0,12 ± 0,06	0,11 ± 0,04	0,11 ± 0,04
Weißer Langtr.	0,15 ± 0,06	0,18 ± 0,04	0,12 ± 0,04	0,10 ± 0,02	0,16 ± 0,05
Titania	0,13 ± 0,03	0,15 ± 0,06	0,17 ± 0,06	0,11 ± 0,05	0,12 ± 0,07
Tenah	0,14 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,14 ± 0,03
Ben Sarek	0,11 ± 0,02	0,16 ± 0,06	0,20 ± 0,05	0,14 ± 0,04	0,21 ± 0,05

### 8.5.5. Kaliumkonzentrationen in Blättern und Holz

Genauso wie beim Natrium gab es keine eindeutigen Behandlungseffekte bei den Kaliumkonzentrationen der Blattspreiten in beiden Vegetationsjahren (Tab. 8.13. und Tab. 8.14.). Wie schon beim Natrium waren auch die Kaliumkonzentrationen der Schwarzen Johannisbeersorten deutlich (bis ca. 30-50%) niedriger als bei den Roten und Weißen Sorten. Am Ende der 2. Vegetationsperiode waren insgesamt die Kaliumkonzentrationen aller Sorten etwas höher

als im Vorjahr. Dies mag daran liegen, dass ein relativ knappes Kaliumangebot über die Düngung im ersten Vegetationsjahr vorlag und dieses im zweiten Vegetationsjahr höher lag (siehe Tab. 8.4.) und so zu einer höheren Kaliumversorgung des Neuzuwachses führte. Bergmann (1993) gibt für Rote und Schwarze Johannisbeersorten 15-25 mg K/g TS als ausreichende Versorgung an, die für die 3 schwarzen Sorten nur im 2. Vegetationsjahr annähernd erreicht wurden.

*Tab. 8.13.: Kaliumkonzentrationen (mg K/g TS) in Blattspreiten (Blätter ohne Stiele) am Ende des 1. Vegetationsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 22.08.2000)*

<b>Sorte</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>Cl I</b>	<b>Cl II</b>	<b>Na I</b>	<b>Na II</b>
Rolan	18,6 ± 0,6	17,9 ± 1,1	20,2 ± 1,4	19,5 ± 1,7	19,5 ± 1,8
J.v. Teets	14,8 ± 0,6	16,9 ± 2,1	17,9 ± 2,1	15,1 ± 1,6	17,1 ± 2,7
Red Lake	15,6 ± 1,2	15,4 ± 0,8	18,4 ± 1,5	16,3 ± 3,4	16,9 ± 2,5
Weißer Vers.	15,6 ± 1,1	18,3 ± 2,1	20,1 ± 1,5	1,46 ± 1,3	17,5 ± 1,3
Weißer Langtr.	14,1 ± 1,9	15,8 ± 1,5	16,8 ± 2,5	16,5 ± 4,1	16,4 ± 1,1
Titania	8,2 ± 1,9	8,1 ± 1,5	6,0 ± 0,7	7,6 ± 1,4	8,9 ± 0,5
Tenah	9,0 ± 1,5	8,8 ± 2,1	7,1 ± 2,0	7,5 ± 2,0	9,4 ± 1,1
Ben Sarek	8,7 ± 2,4	10,6 ± 2,0	7,6 ± 2,4	12,0 ± 3,0	9,4 ± 1,1

*Tab. 8.14.: Kaliumkonzentrationen (mg K/g TS) in Blattspreiten (Blätter ohne Stiele) am Ende des 2. Vegetationsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 22.08.2001)*

<b>Sorte</b>	<b>Kontrolle</b>	<b>Cl I</b>	<b>Cl II</b>	<b>Na I</b>	<b>Na II</b>
Rolan	29,6 ± 0,7	29,4 ± 1,7	28,5 ± 1,2	28,6 ± 2,0	30,3 ± 0,7
J.v. Teets	23,9 ± 0,8	24,7 ± 0,8	25,8 ± 1,4	24,6 ± 0,4	26,5 ± 1,5
Red Lake	24,8 ± 1,8	26,3 ± 1,9	23,7 ± 1,8	23,9 ± 3,4	26,7 ± 2,1
Weißer Vers.	24,9 ± 2,2	25,6 ± 3,0	27,3 ± 2,3	22,5 ± 2,9	25,6 ± 1,6
Weißer Langtr.	25,9 ± 2,5	26,7 ± 0,8	28,1 ± 1,1	26,2 ± 2,0	25,9 ± 1,2
Titania	14,5 ± 1,2	12,4 ± 1,4	9,6 ± 0,8	13,7 ± 1,2	14,9 ± 1,7
Tenah	12,6 ± 2,2	12,7 ± 1,4	9,2 ± 1,5	13,1 ± 1,4	16,2 ± 1,5
Ben Sarek	13,9 ± 2,6	12,6 ± 1,1	12,0 ± 0,7	15,0 ± 1,3	16,3 ± 2,3

Im Holz des Neuzuwachses während des 1. Vegetationsjahres wurden beachtliche Mengen an Kalium zwischengespeichert (Tab. 8.15.). Zwischen den Behandlungen lagen keine Unterschiede vor, doch waren im Holz der Schwarzen Sorten die Kaliumkonzentrationen ca. 30 – 40% höher als in den Roten und Weißen Sorten.

Tab. 8.15.: Kaliumkonzentrationen im Holzzuwachs (mg K/g TS) des 1. Behandlungsjahres unterschieden nach Johannisbeersorte und Salzbehandlung (Ernte: 23.08.2000)

Sorte	Kontrolle	Cl I	Cl II	Na I	Na II
Rolan	4,5 ± 0,1	4,3 ± 0,3	4,0 ± 0,4	4,3 ± 0,2	4,3 ± 0,3
J.v. Teets	4,3 ± 0,2	4,2 ± 0,2	3,9 ± 0,3	4,2 ± 0,1	4,4 ± 0,5
Red Lake	5,3 ± 0,5	5,1 ± 0,3	4,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5	5,7 ± 0,5
Weißer Vers.	4,8 ± 0,3	5,0 ± 0,4	4,8 ± 0,1	4,8 ± 0,3	5,3 ± 0,4
Weißer Langtr.	4,3 ± 0,5	4,2 ± 0,4	4,1 ± 0,3	4,6 ± 0,6	4,5 ± 0,6
Titania	6,2 ± 0,4	6,4 ± 0,3	6,0 ± 0,3	5,7 ± 0,4	6,0 ± 0,5
Tenah	5,9 ± 0,6	5,8 ± 0,5	5,5 ± 0,2	5,4 ± 0,3	6,0 ± 0,4
Ben Sarek	6,1 ± 0,7	5,5 ± 0,4	5,4 ± 0,3	6,2 ± 0,3	5,8 ± 0,6

## 8.6. Diskussion

Dieser Gefäßversuch sollte weitere Informationen zu möglichen Unterschieden der einzelnen Sortengruppen der Johannisbeeren in der Chloridempfindlichkeit geben, um besser begründet notfalls chloridfreie Kaliumdüngung bei der Johannisbeere zu fordern. In beiden vorhergehenden Kapiteln mit Kurzzeitversuchen (Kap. 6 und 7) wurde für Chlorid eine verminderte Aufnahmekapazität (Ausschluss- bzw. Exklusionsvermögen der Wurzeln) von schwarzen gegenüber den roten und weißen Sorten vorgefunden (Tab. 6.3. und 7.3.). Bei Natrium wiesen die schwarzen Sorten ein deutliches Rückhaltevermögen der Wurzeln, wenn auch mit begrenzter Kapazität, auf (Tab. 6.3 und 7.4). Insgesamt deuteten die Ergebnisse dieser Kurzzeitversuche eher auf eine höhere Gewebetoleranz der schwarzen Sorten hin, sofern man der häufig beschriebenen niedrigeren Chloridempfindlichkeit der Schwarzen gegenüber den Roten und Weißen Sorten glauben wollte (Keipert, 1981; Hilkenbäumer, 1964).

In dem hier vorliegenden Gefäßversuch über 2 Vegetationsperioden deutete sich ein weiterer Mechanismus für die Entgiftung von Chlorid in Pflanzen an. Die Schwarzen Sorten nahmen nicht nur weniger Chlorid über die Wurzeln auf (Tab. 6.3. und 7.3.), sondern konnten offensichtlich auch tendenziell mehr Cl im Holz ablagern (Tab. 8.9.). Da jedoch die Speicherkapazität für Chlorid im Holz vergleichsweise niedrig war, konnten bei sehr hohem Chloridangebot („Worst-Case-Szenario“) vor allem am Ende des 2. Vegetationsjahres im Gefäßversuch ohne Chloridauswaschung auch bei Schwarzen Sorten erste Symptome von Chloridtoxizität auftreten (Tab. 8.8.), wie bei der Sorte „Titania“ beobachtet. Da auch bei dieser Sorte im 2. Jahr Chloridkonzentrationen über 15 mg Cl/g TS erreicht wurden, kann ange-

nommen werden, dass unabhängig von der Sorte oder Sortengruppe (rot, weiß, schwarz) ein vergleichbarer Toxizitätsgrenzwert von 15–20 mg Cl/g TS für Blattspreiten vorliegt. Dieser Wert liegt deutlich niedriger als jener von Marschner (1995) für Chlorid-empfindliche Pflanzenarten mit 20–30 mg Cl/g TS angegeben. Dieses Ergebnis würde die in der Literatur häufig zitierte hohe Chloridempfindlichkeit von Beerensträuchern wie die Johannisbeere unterstreichen (Bergmann, 1993; Hilkenbäumer, 1964; Keipert, 1981).

Hinsichtlich Natrium konnte bestätigt werden, dass die Schwarzen Johannisbeersorten tendenziell geringere Konzentrationen in den Blättern als die beiden anderen Sortengruppen (rot, weiß) aufweisen, offensichtlich durch ein stärkeres Na-Rückhalte- bzw. Speichervermögen in den Wurzeln (wurde in diesem Versuch nicht analysiert) und Holz (Tab. 8.12.). Beachtenswert ist aber, dass mit steigendem Na-Angebot (Kontrolle → Na I → Na II) keine erhöhte Aufnahme in den Spross nachweisbar war (Tab. 8.10. und 8.11.). Das steht im Gegensatz zu dem Nährlösungsversuch, wo mit erhöhtem Angebot auch höhere Na-Konzentrationen im Blatt nachweisbar waren (Tab. 7.4). Das zeigt an, dass beim Vergleich von Nährlösungs- und Bodenversuchen die unterschiedliche Verfügbarkeit von Natrium durch Adsorptionsprozesse an Austauschern der Bodenmatrix beachtet werden muss.

## 8.7. Ausblick

Die im obigen Gefäßversuch erzielte Chloridtoxizität von roten und weißen Sorten und auch der schwarzen Sorten vor allem am Ende der 2. Vegetationsperiode wurde nur bei hohem Chloridangebot als „Worst-Case-Szenario“ bei einer überhöhten (2fach) Kaliumdüngung, gedanklich als Kalirohsatz (Cl II), und bei Ausschluss einer Auswaschung erreicht. Für die Praxisrelevanz ist es daher wichtig, diesen Versuch unter Feldbedingungen mit der Möglichkeit der ChloridAuswaschung über den Winter (humides Klima) durchzuführen. Daher wurde am Kompetenzzentrum Bavendorf (KOB) ein entsprechender Versuch mit verschiedenen Johannisbeersorten geplant (siehe Kapitel 9.).

## 9. MEHRJÄHRIGER FELDVERSUCH ZUR AUFNAHME VON CHLORID IN BLÄTTERN UND FRÜCHTEN UNTERSCHIEDLICHER *RIBES*-ARTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ZEITPUNKT UND HÖHE DER CHLORIDGABE (KOB, RAVENSBURG)

### 9.1. Problematik

In der Fachliteratur und einschlägigen Lehrbüchern zum Obstbau und zur Pflanzenernährung werden Beerenobst und besonders die rote und weiße Johannisbeere als sehr chloridempfindlich beschrieben. Als Folge wird die Düngung mit chloridfreien Mineraldüngungen (z.B.  $K_2SO_4$ ) dringend empfohlen (siehe hierzu Kapitel 2 mit einer ausführlichen Literaturübersicht). Für diese Aussagen vor allem in den Lehrbüchern fehlen meist Hinweise auf die hierzu zugrunde liegenden experimentellen Versuche.

In einem eigenen Gefäßversuch zur Aufnahme von Chlorid und Natrium durch unterschiedliche Johannisbeersorten unter kontrollierten Bedingungen in einer Vegetationshalle ohne Auswaschungsmöglichkeit konnte bei einer normalen bedarfsgerechten Kaliumdüngung in Form eines 40 er Kalis und auch in Form von Kalirohsalz keine toxischen Konzentrationen von Chlorid in den Johannisbeerblättern nachgewiesen werden (Kapitel 8). Es waren auch keine Randnekrosen aufgrund von Chloridanreicherung an den Blättern besonders zum Ende der Vegetationsperiode erkennbar. So erschien es sinnvoll in Anbetracht der üblichen Empfehlung einer chloridfreien Mineraldüngung (insbesondere einer bevorzugten Kalidüngung in Form von  $K_2SO_4$ ) diese Ergebnisse unter Feldbedingungen an Johannisbeeren am Kompetenzzentrum Obstbau, Bavendorf/Ravensburg (KOB) zu bestätigen.

### 9.2. Versuchsfragen und Arbeitshypothesen

Folgende Versuchsfragen sollten durch den langjährigen Feldversuch mit verschiedenen (5) Johannisbeersorten im KOB, Bavendorf /Ravensburg beantwortet werden:

- a) Treten auch unter Freilandbedingungen bei bedarfsgerechter Kaliumdüngung als 40 er Kali (chloridisch) sowie bei erhöhter Chloridzufuhr durch praxisunüblicher Verwendung von Kalirohsatz keine Beeinträchtigung bei empfindlichen Johannisbeersorten auf?

- b) Sind Unterschiede im Chloridgehalt der Blätter zwischen empfindlichen (Rote und Weiße Johannisbeere) und unempfindlichen Sorten (Schwarze Johannisbeere) nachweisbar?
- c) Kann durch die Ausbringung der chloridischen Kalidünger im Herbst im Vergleich zu einer Frühjahrsanwendung die Chloridanreicherung in den Johannisblättern deutlich vermindert werden?
- d) Welchen Einfluss hat eine erhöhte Chloridzufuhr auf die Fruchtqualität hinsichtlich Gehalte an Chlorid und organischen Säuren?
- e) Lässt sich durch erhöhte Zufuhr von Chlorid zum Boden eine erhöhte Cadmiummobilisierung und Aufnahme durch die Johannisbeere und Einlagerung in die Früchte als negativer Qualitätsfaktor nachweisen?

Im Einzelnen wurden folgende Arbeitshypothesen formuliert bzw. Erwartungen in Betracht gezogen:

- a) Unter Feldbedingungen wurde bei bedarfsgerechter Kaliumdüngung mit 40 er Kalium und auch bei erhöhter Chloridzufuhr durch Verwendung von Kalirohsatz keine Überschreitung kritischer Chloridwerte erreicht. Diese gilt auch für die angeblich chloridempfindlicheren Sorten.
- b) Durch Anwendung chloridischer Kalidünger im Herbst wird das Chlorid unter humiden Klimabedingungen wie am Bodensee ausreichend über den Winter bis zum Vegetationsbeginn der Johannisbeerpflanzen ausgewaschen.
- c) Eine erhöhte Chloridzufuhr durch chloridische Kalidünger, vor allem im Frühjahr, führt zu einer nachweisbaren erhöhten Cadmium-Mobilisierung durch Bildung von leichtlöslichen Cd-Chlorokomplexen im Boden. Die daraus abzuleitende erhöhte Cd-Aufnahme durch die Johannisbeere erreicht keine kritischen Werte in Blättern sowie in Johannisbeerfrüchten.
- d) Durch eine erhöhte Chloridzufuhr vor allem bei einer Frühjahrsdüngung mit chloridischen Kalidüngern wird die Fruchtqualität der Johannisbeere nicht nennenswert beeinträchtigt. Es wird jedoch angenommen, dass steigende Chloridgehalte in den Früchten zu einem sinkenden Gehalt an Organischen Säuren (Carboxylate) führt.

### 9.3. Versuchsansatz und Versuchsdurchführung

Zur Beantwortung der vorstehenden Versuchsfragen wurden in der Versuchsstation KOB, Ravensburg-Bavendorf auf dem Quartier 17.4 in Frühjahr gemäß Plan (Abb. 9.1.) 5 verschiedene Johannisbeersorten (2 x Rote: Red Lake und Rolan; 1 x Weiße: Langtraubige und 2 x Schwarze: Titania und Tenah) randomisiert als 5 Streifen für 5 unterschiedliche Behandlungen als 2-jährige bewurzelte Steckhölzer gepflanzt. Eine Übersicht der Pflanzung wurde im Kapitel 4 als Abb. 4.2. gegeben. Folgende 5 unterschiedliche Chlorid-düngungsvarianten wurden durchgeführt:

- 1.) Kontrolle: kein Chlorid, K als K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;
- 2.) Chlorid niedrig, Herbst-Anwendung;
- 3.) Chlorid hoch, Herbst-Anwendung;
- 4.) Chlorid niedrig, Frühjahrsanwendung und
- 5.) Chlorid hoch, Frühjahrsanwendung

KOB: Quartier 17.4 : Pflanzjahr: Frühjahr 2002

Pflanzabstand 3.2 x 1.5m; 125 Sträucher

1	Red Lake					Rolan					W, Langtraub.					Titania					Tenah								
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2	W, Langtraub.					Titania					Tenah					Red Lake					Rolan								
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3	Rolan					Red Lake					Titania					Tenah					W, Langtraub.								
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
4	Titania					W, Langtraub.					Tenah					Red Lake					Rolan								
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
5	Tenah					Red Lake					Rolan					W, Langtraub.					Titania								
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

*Abb. 9.1.: Bepflanzungsplan für den Johannisbeerfeldversuch auf der Versuchsstation KOB in Bavendorf/Ravensburg*

Die berechneten Chloridgaben (Tab. 9.1) auf der Basis einer Kalidüngung in der Höhe von 150 kg K/ha als 40 er Kali (Chlorid niedrig) und als Kalirohsatz (Chlorid hoch) wurden gemäß folgendem Düngungsplan (Tab. 9.2.)

entweder im Frühjahr oder im Herbst ausgebracht.

*Tab. 9.1.: Berechnung der Chloridgaben zur Simulierung der jährlichen Kaliumdüngung in Höhe von 150 kg K/ha entweder als 40 er Kali (Chlorid niedrig) oder als Kalirohsatz (Chlorid hoch)*

**Variante 1. (Kontrolle):**

180 kg K<sub>2</sub>O = 150 kg K/ha als K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 = 15 g K/m<sup>2</sup> im Herbst

**Variante 2. (Chlorid niedrig, Herbst):**

180 kg K<sub>2</sub>O = 150 kg K/ha als Kornkali  
 = 15 g K/m<sup>2</sup> im Herbst  
 oder 15 g K/m<sup>2</sup> als K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> plus  
 16,8 g NaCl/m<sup>2</sup> im Herbst

**Variante 3. (Chlorid hoch, Herbst):**

180 kg K<sub>2</sub>O = 150 kg K/ha als Kalirohsatz  
 = 15 g K/m<sup>2</sup> im Herbst  
 15 g K/m<sup>2</sup> als K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> plus  
 67 g NaCl/m<sup>2</sup> im Herbst

**Variante 4. (Chlorid niedrig, Frühjahr):**

Analog zu Variante 2; aber Applikation im Frühjahr!

**Variante 5. (Chlorid hoch, Frühjahr):**

Analog zu Variante 3; aber Applikation im Frühjahr!

*Tab. 9.2.: Zeitplan für die Ausbringung der berechneten Chloridgaben als NaCl für die unterschiedlichen Behandlungen (niedrige und hohe Chloridgabe im Frühjahr oder im Herbst)*

Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee (KOB), Bavendorf, 88213 Ravensburg  
 Quartier 17.3: Chlorid-Düngungsversuch mit Johannisbeeren  
 Pflanzjahr: 2002

Varianten	Termine Düngerausbringung				
	2002	2003	2004	2005	2006
Ohne Cl (Kontr.)					
Cl niedrig Frühjahr	-	04.04.2003	30.03.2004	24.03.2005	29.03.2006
Cl hoch Frühjahr	-	04.04.2003	30.03.2004	24.03.2005	29.03.2006
Cl niedrig Herbst	08.11.2002	03.11.2003	29.11.2004	10.11.2005	
Cl hoch Herbst	08.11.2002	03.11.2003	29.11.2004	10.11.2005	

An folgenden Terminen wurden Bodenproben (2 Tiefen: 0–25; 25–50 cm bzw. 3 Tiefen 0–30; 30–60; 60–90 cm) für eine Chloridbestimmung, Blattproben für Mineralstoffbestimmungen (Cl, K, Na und ausgewählte Proben für Ca und Zn) und Fruchtproben für die Bestimmung von Organischen Säuren, pH-Wert und ausgewählt auf Cd genommen:

<b>Bodenproben:</b>	<b>Blattproben:</b>	<b>Fruchtproben:</b>
09.05.2003	09.05.2003	
23.07.2003*	23.07.2003*	
03.09.2003*	03.09.2003*	
	14.09.2004	
14.04.2005		
	15.08.2005	
		15.08.2005

\* Probennahme und Analyse im Rahmen der Diplomarbeit von Heidi Zimmermann

In Abbildung 9.2 ist eine Übersicht von einer Boden- und Blattprobenahme wiedergegeben.



*Abb. 9.2.: Ansicht von dem Johannisbeerversuch auf dem KOB, Bavendorf / Ravensburg zum Zeitpunkt der Bodenprobenahme am 09.05.2003*

## 9.4 Material und Methoden

Die relevanten Angaben zu den Bodeneigenschaften und Wetterdaten sind bereits im Kapitel 4 (Tab. 4.1.; Abb. 4.2. und 4.7.) wiedergegeben worden. Die Berechnung der verschiedenen Chloridgaben auf der Basis einer gedachten Kalidüngung in Höhe von 150 kg K/ha entweder als Kornkali (Chlorid niedrig) oder als Kalirohsalz (Chlorid hoch) ist als Tab. 9.1 unter Punkt 9.3. oben dargestellt.

Für die Blattprobenahme an den verschiedenen Terminen wurden jeweils Blattspreiten (Blätter ohne Blattstiel) von den 2 ältesten Blättern des Neuaustriebes über den Fruchtansätzen entnommen und entsprechend der Vorgehensweise unter Kapitel 5 aufgearbeitet und analysiert.

Sorten Be- handlung	Rolan	Red Lake	Titania	Tenah	Weißer Langtraub
Ktr.					
Cl niedrig Herbst					
Cl hoch Herbst					
Cl niedrig Frühjahr					
Cl hoch Frühjahr					

*Abb. 9.3.: Entwicklung der Johannisbeersträucher getrennt nach Sorten und Behandlung vom Feldversuch auf dem KOB, Bavendorf/Ravensburg am 15.08.2005. Der jeweils mit fotografiertem Spaten soll als Maßstab für die Vergleichbarkeit dienen*

Bodenproben, getrennt nach 2 (0–25; 25–50 cm) bzw. 3 Bodentiefen (0–30; 30–60, 60–90 cm) wurden mit einem Bodenproben-Schlagstock ( $\varnothing$  30 mm) als Mischproben über die 5 Sorten gezogen und für die Chloridanalyse, wie unter Kapitel 5 beschrieben, weiter aufgearbeitet und analysiert.

## 9.5 Ergebnisse

### 9.5.1. Visuelle Bewertung des Wachstums der Johannisbeerpflanzen und deren Phänologie

Die Johannisbeerpflanzen der einzelnen Sorten haben sich nach der Pflanzung im Frühjahr 2002 gut entwickelt, ohne nennenswerte Unterschiede zwischen den einzelnen 5 Sorten und auch zwischen den 5 Behandlungen (Kontrolle, ohne Chlorid, Chlorid niedrig, Chlorid hoch jeweils im Frühjahr oder im Herbst). Ein Überblick der Entwicklung der einzelnen Sorten bei unterschiedlicher Behandlung ist in der Abb. 9.3. gegeben. Im Jahr 2003 kam es erstmals bei wenigen Sorten zur Blüte und zum Fruchtansatz (Abb. 9.4).



*Abb. 9.4.: Johannisbeersträucher mit roten Früchten im Jahr 2003 (Aufnahme am 23.07.2003)*

### 9.5.2. Chlorid im Bodenprofil

Untersuchungen von Bodenproben unterschiedlicher Bodentiefen (0–15; 15–30; 30–45 und 45–60 cm) eines Studenten-Projektes im Rahmen der

„Ökologischen Übungen“ im Jahr 2003 (H. Zimmermann und S. Bott, 2003) zeigten eine deutliche Chloridverlagerung nach der Herbstausbringung (08.11.2002) über den Winter aus den beiden oberen Bodenhorizonten (0-15; 15-30 cm) in die beiden tieferen Horizonte (30-45; 45-60 cm). Bei der Frühljahrsaus-bringung (04.04.2003) ließen sich bei den Bodenproben vom 9. Mai 2003 deutlich höhere Chloridkonzentrationen in den beiden oberen Bodenhorizonten nachweisen (Tab. 9.3.).

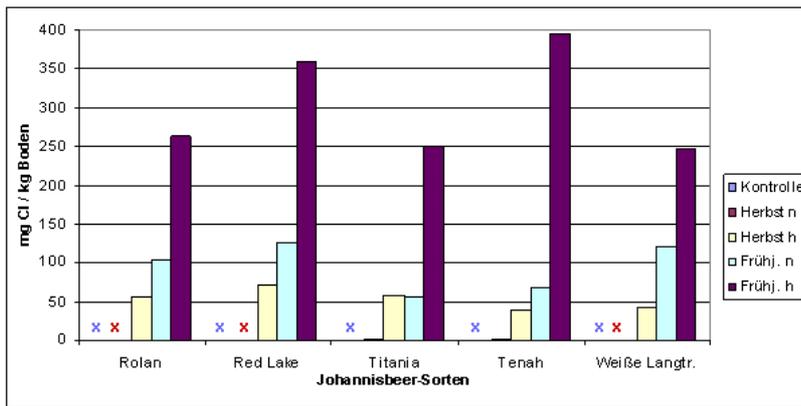
*Tab. 9.3.: Chloridkonzentrationen in den einzelnen Bodenschichten des Johannisbeeren-Feldversuches in Bavendorf in Abhängigkeit des Ausbringungstermins (Herbst: 08.11.2002; Frühjahr: 4.4.2003). Bodenprobenahme: 09.05. 2003*

Johannis- Beeren- Sorte	Boden- tief (cm)	Chlorid-Konzentration im Boden (mg Cl/kg Boden)*	
		Hohe Chloridgabe Herbst 2002	Hohe Chloridgabe Frühjahr 2003
Rolan	0-15	0**	550
	15-30	0	0
	30-45	230	0
	45-60	180	120
Red Lake	0-15	0	40
	15-30	180	130
	30-45	170	90
	45-60	60	60
Titania	0-15	60	140
	15-30	120	0
	30-45	220	0
	45-60	170	0
Tenah	0-15	0	850
	15-30	0	150
	30-45	280	210
	45-60	130	50
Weiße Langtr.	0-15	0	500
	15-30	40	0
	30-45	193	0
	45-60	192	0

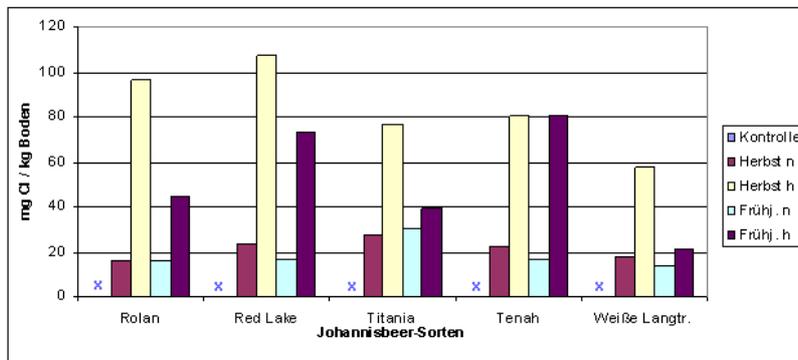
\* Boden-Mischprobe von jeweils 5 Einzelpflanzen des Johannisbeerenfeldversuches Quartier 17.3 KOB;

\*\* Nachweisgrenze < 6.0 mg Cl/kg Boden (siehe Kapitel 5).

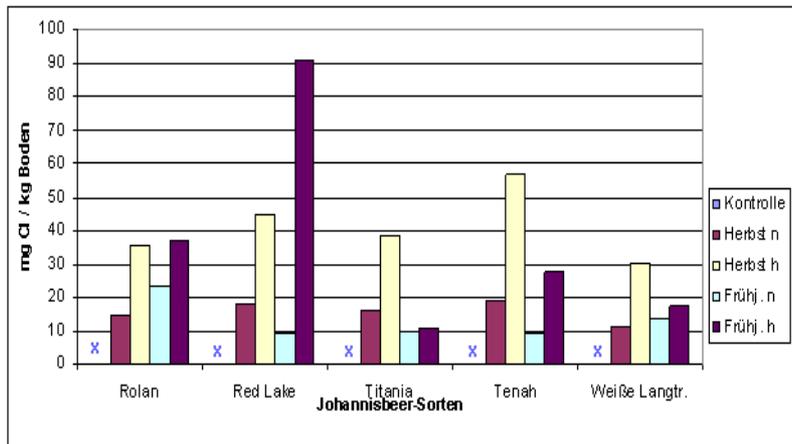
A. Chloridkonzentrationen in der Bodentiefe 0–30 cm



B. Chloridkonzentrationen in der Bodentiefe 30–60 cm



C. Chloridkonzentrationen in der Bodentiefe 60–90 cm



x ) nicht nachweisbar (unter der Nachweisgrenze)

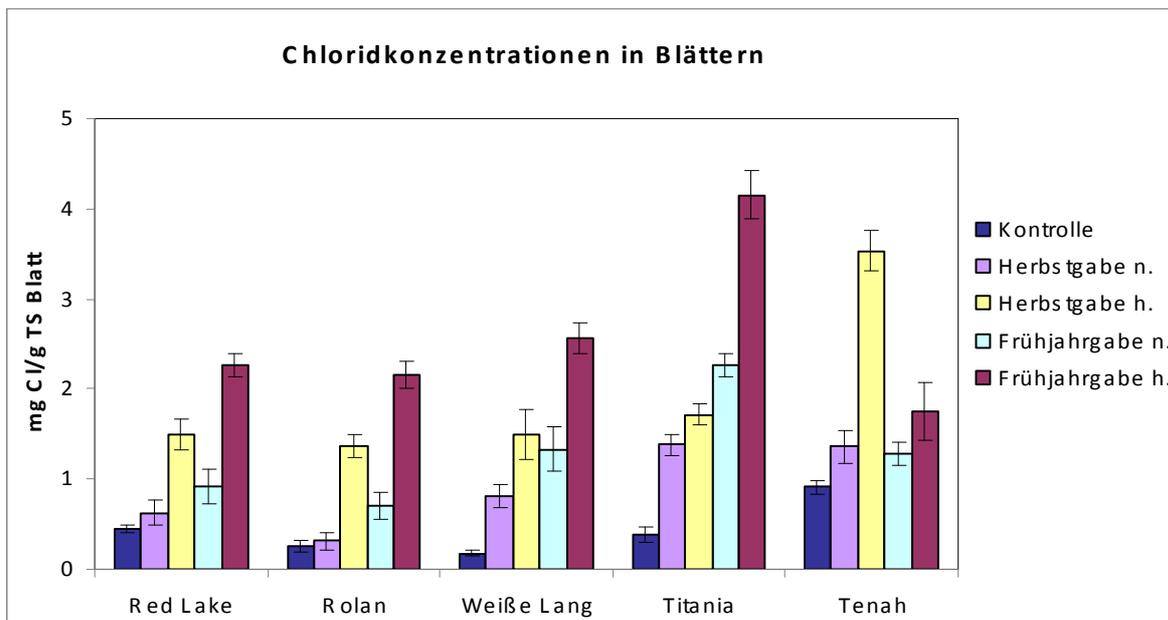
Abb. 9.5.: Chloridkonzentrationen in den einzelnen Bodenschichten des Johannisbeeren-Feldversuchs in Bavendorf in Abhängigkeit des Ausbringungs-termins (Herbst: 29.11.2004; Frühjahr: 24.03.2005). Bodenprobenahme: 14.04.2005.

A. Bodentiefe 0–30 cm; B. Bodentiefe 30–60 cm; C. Bodentiefe 60–90 cm

Eine wiederholte Messung der Chlorid-Tiefenverteilung gezogener Bodenproben vom 14.04.2005 nach einer Chloridausbringung im Herbst (29.11.2004) oder im Frühjahr (24.03.2005) ergab ein vergleichbares Bild (Abb. 9.5.). Hier wurde das Bodenprofil in drei Tiefen unterteilt (0-30; 30-60 und 60-90 cm). Bei der Betrachtung der obersten Bodenschicht (0-30 cm; Abb. 9.5A) wurde in der Kontrolle kein Chlorid nachgewiesen. Auch bei der niedrigen Chloridgabe im Herbst wurde je nach Sorte weniger als 3 mg/kg Boden analysiert; bei der hohen Frühjahrsgabe wurden bei allen 5 Sorten Werte um bzw. höher als 250 mg/kg Boden in den oberen 30 cm nachgewiesen.

In der mittleren Bodenschicht (30-60 cm) wurden bei der hohen Herbstgabe deutlich höhere Chloridkonzentrationen gefunden (unterschiedliche Skale der Ordinaten beachten!) In der untersten Bodenschicht (60-90 cm) läßt sich keine einheitliche Differenzierung erkennen (Abb. 9.5.C).

### 9.5.3. Mineralstoffe in Blättern verschiedener Ernten



*Abb. 9.6.: Chloridkonzentrationen in Blättern verschiedener Johannisbeersorten in Abhängigkeit der Höhe und des Ausbringungszeitpunktes der Chloridgaben im Feldversuch der Versuchsstation KOB, Ravensburg. Probenahmezeitpunkt Spätsommer 2003 (03. Sept. 2003)*

In den ersten beiden Vegetationsjahren 2003 und 2004 des Johannisbeer-Feldversuches wurden die Blattproben vom Spätsommer (13. Sept. 2003 und 14. Sept. 2004) nur auf Chlorid als den meist interessierenden Mineralstoff analysiert. Erwartungsgemäß wurde in beiden Jahren übereinstimmend in

den Chlorid-Behandlungen von Kontrolle, Herbst niedrig, Herbst hoch, Frühjahr niedrig bis Frühjahr hoch steigende Chloridgehalte in den Blättern der verschiedenen Sorten gefunden (Abb. 9.6; Abb. 9.7.). Die jeweils nachgewiesenen höchsten Werte mit 4 mg Cl/g Blatt-TS (2003) und 18 mg Cl/g TS (2004) liegen deutlich niedriger als im Gefäßversuch (Kapitel 8).

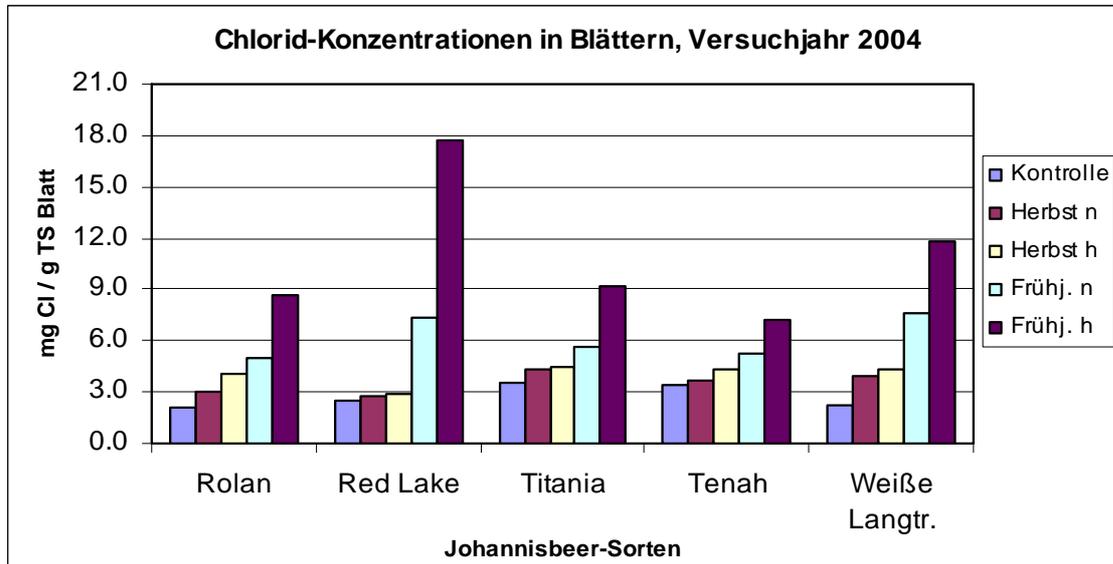


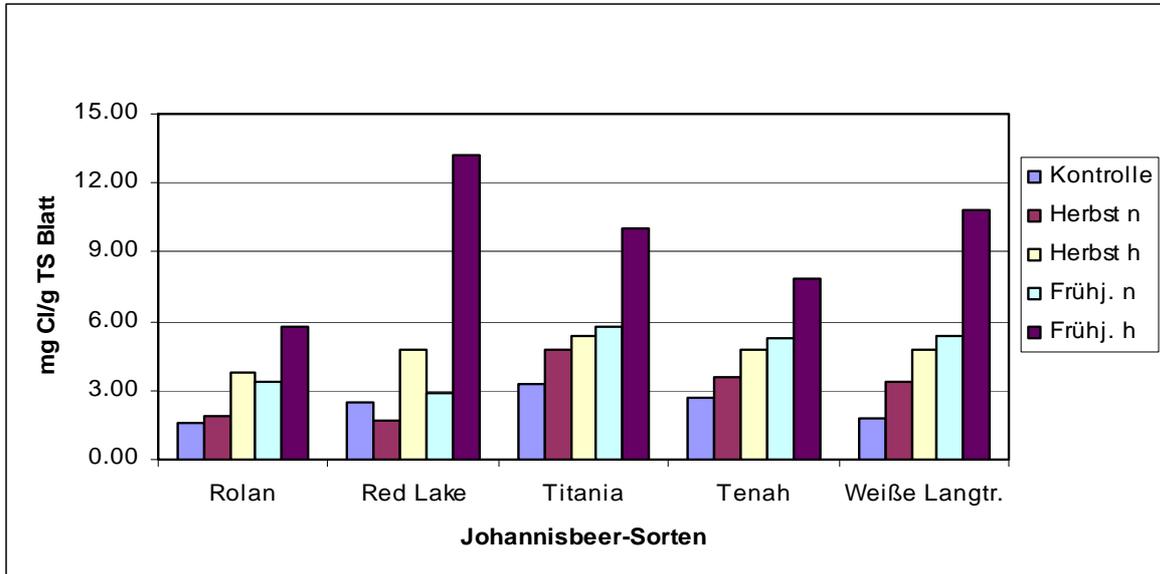
Abb. 9.7.: Chloridkonzentrationen in Blättern verschiedener Johannisbeersorten in Abhängigkeit der Höhe und des Ausbringungszeitpunktes der Chloridgaben im Feldversuch der Versuchsstation KOB, Bavendorf/Ravensburg. Probenahmezeitpunkt Spätsommer 2004 ( 14. Sept. 2004)

Im letzten beprobten Versuchsjahr 2005 wurden Blatt- und Frucht-(Beeren-)proben am 15.08.2005 gezogen und auf Chlorid- und analog zum Gefäßversuch (Kapitel 8) auch auf die anderen Mineralsstoffe (Na, K, Ca, Mg) analysiert (Abb. 9.8. und 9.9.). Zusätzlich wurden in den Beeren die Gehalte von Organischen Säuren (*Carboxylate*) bestimmt. Die Analysenwerte für Cadmium werden im Kapitel 12 dargestellt.

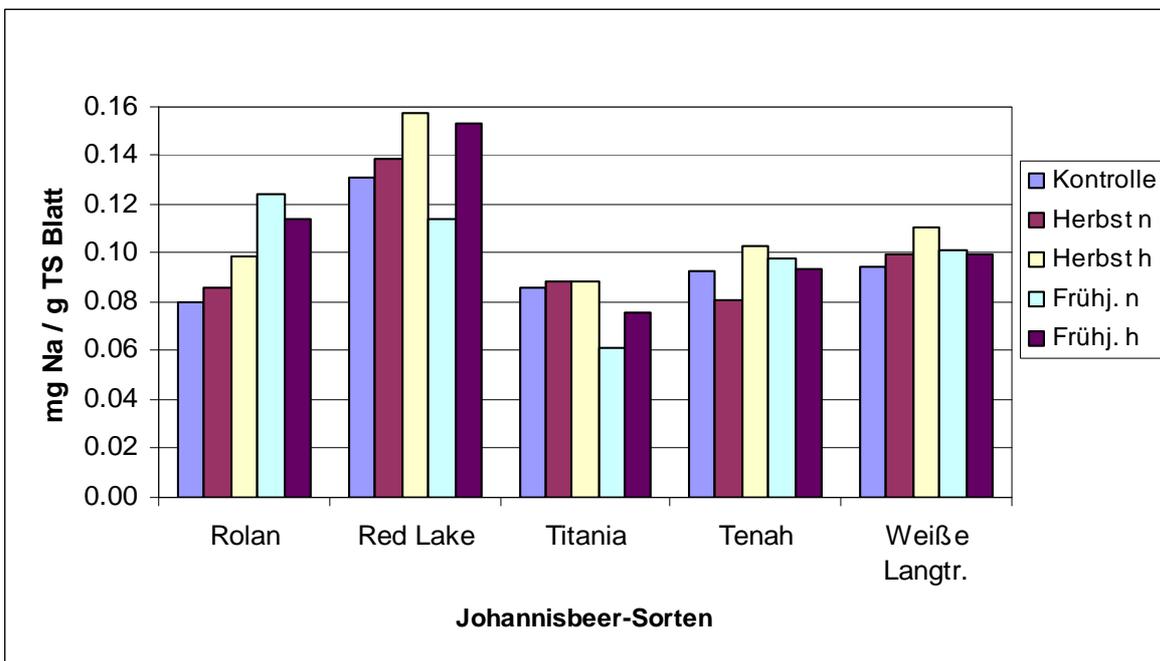
Die Chloridkonzentrationen der Blätter im Versuchsjahr 2005 zeigten die gleiche Tendenz und eine vergleichbare Höhe wie in den Versuchsjahren 2003 und 2004. Vom Jahr 2003 bis zum Jahr 2004 war eine leichte Steigerung der Chloridkonzentrationen in den Blattproben zu beobachten, die sich aber nicht weiter im Jahr 2005 fortsetzte. Im Sortenvergleich zeigte sich bei allen 5 Sorten der gleiche Verlauf mit jeweils dem höchsten Wert bei der hohen Chloridgabe im Frühjahr (Abb. 9.8.A); identisch mit den Daten aus den beiden vorherigen Jahren. Dabei zeigte die Rote Johannisbeere „Red Lake“ den absolut höchsten Wert im Jahr 2005 mit ca. 14 mg Cl/g TS (Abb. 9.8.A) wie auch schon 2004 (Abb. 9.7.) und damit unter dem im Kapitel 8 (Absatz 8.5.3.)

berechneten Grenzwert (15 mg Cl/g TS) für das mögliche Auftreten von Blattrandnekrosen durch Chloridtoxizität.

A. Chloridkonzentrationen in Blättern, Versuchsjahr 2005



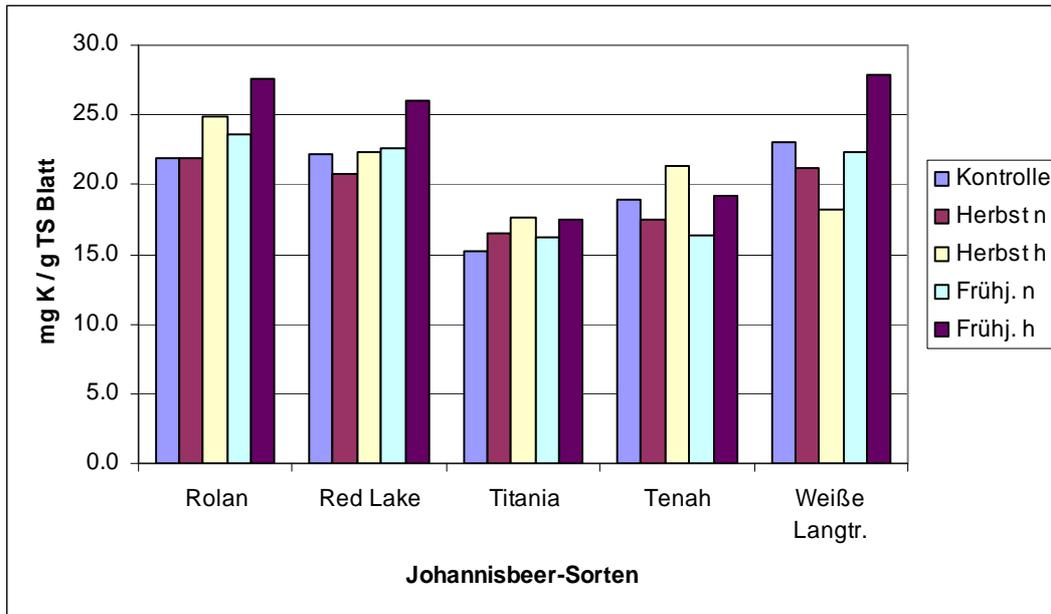
B. Natriumkonzentrationen in Blättern, Versuchsjahr 2005



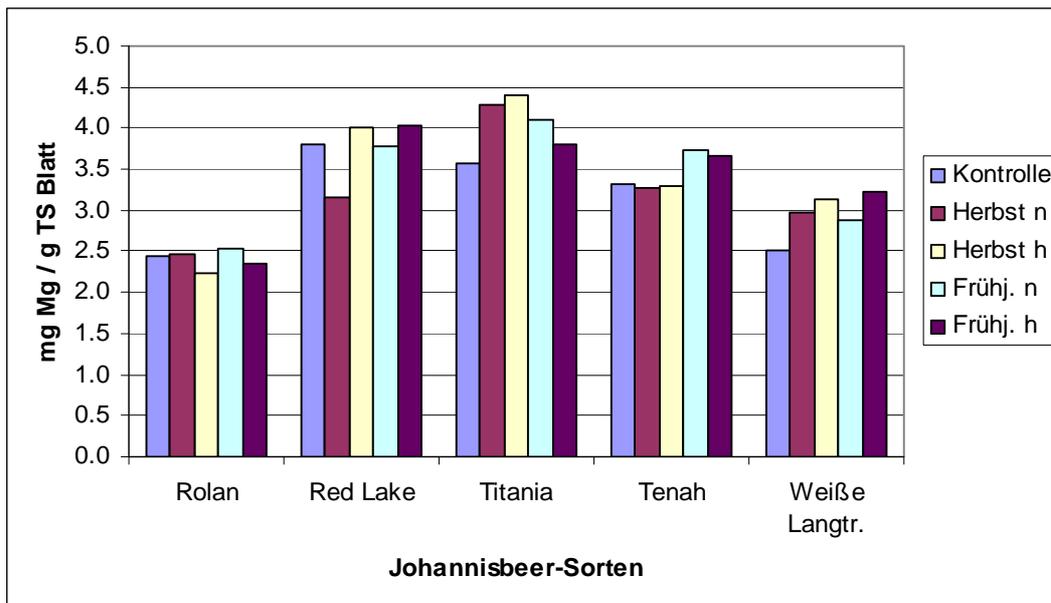
*Abb. 9.8: Chlorid- (A) und Natriumkonzentrationen (B) in Blättern verschiedener Johannisbeersorten in Abhängigkeit der Höhe und des Ausbringzeitpunktes der Natriumchloridgaben im Feldversuch der Versuchstation KOB, Bavendorf/Ravensburg. Probenahmezeitpunkt Spätsommer 2005 (15.08.2005)*

Auffallend sind die vergleichsweise niedrigen Natriumkonzentrationen im Blatt (Abb. 9.8.B) im Vergleich zu den Chloridkonzentrationen mit einem Mol-Verhältnis von Chlorid : Natrium von ca. 50 : 1. Im Gefäßversuch (Kapitel 8) wurden ebenfalls ein solch weites Chlorid : Natrium - Verhältnis ganz im Gegensatz zum Nährlösungsversuch (Kapitel 7), wo ein Mol-Verhältnis in den Blättern von nur 3:1 für Chlorid zu Natrium berechnet wurde.

A. Kaliumkonzentrationen in Blättern, Versuchsjahr 2005

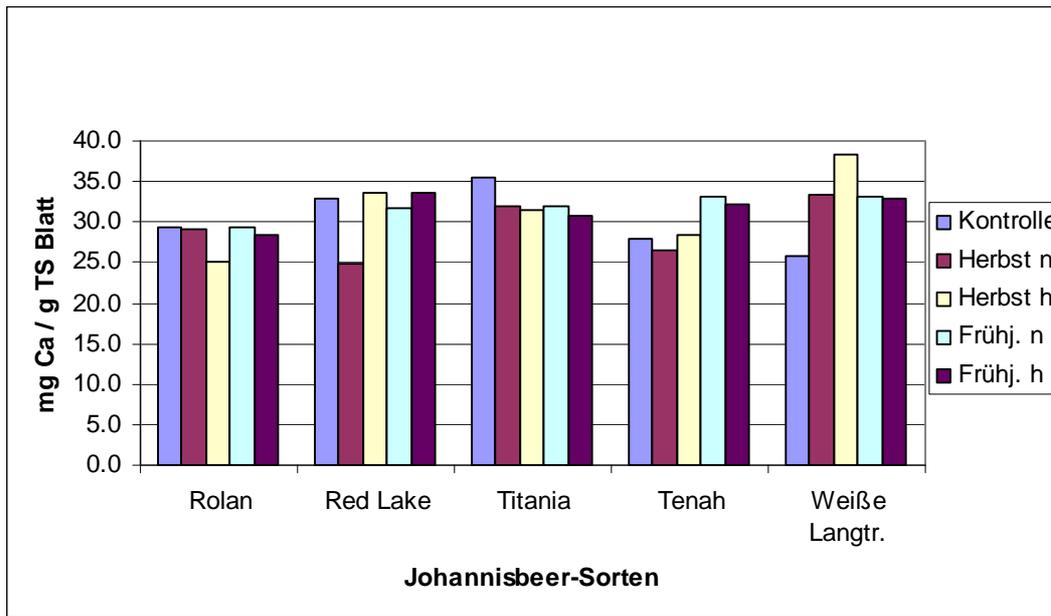


B. Magnesiumkonzentrationen in Blättern, Versuchsjahr 2005



Teil A. und B von Abb. 9.9.; Legende auf nächster Seite

C. Calciumkonzentrationen in Blättern, Versuchsjahr 2005



*Abb. 9.9.: K-, Mg- und Ca-Konzentrationen in Blättern verschiedener Johannisbeersorten in Abhängigkeit der Höhe und des Ausbringungszeitpunktes der Natriumchloridgabe im Feldversuch der Versuchsstation KOB, Bavendorf/ Ravensburg. Probenahmezeitpunkt Spätsommer 2005 (15.08.2005)*

Entsprechend der sehr geringen Natriumkonzentrationen in den Blättern, vermutlich bedingt durch eine verstärkte Na-Adsorption im Boden (im Gegensatz zum Chlorid), ließen sich auch bei den Kaliumblattkonzentrationen (Abb. 9.9. A) keine signifikanten Behandlungseffekte zeigen. Das Gleiche gilt ebenfalls für die beiden restlichen untersuchten Mineralstoffe Magnesium und Calcium (Abb. 9.9.B und C). Bei Kalium und Magnesium wurde eine ausreichende und bei Calcium laut Bergmann (1993) eine sehr gute Versorgung der Blätter erreicht.

#### 9.5.4 Qualitätskriterien geernteter Beeren

Im 2. fruchttragenden Versuchsjahr (2005) wurden ergänzend zu den Blättern auch Beeren geerntet und der Frucht-Presssaft auf den pH-Wert, Mineralstoffgehalte sowie Gehalte von Organischen Säuren analysiert, um einen möglichen Einfluss des leicht beweglichen Anions Chlorid vor allem auf die Organischen Säuren (Carboxylate - Anionen) zu erfassen.

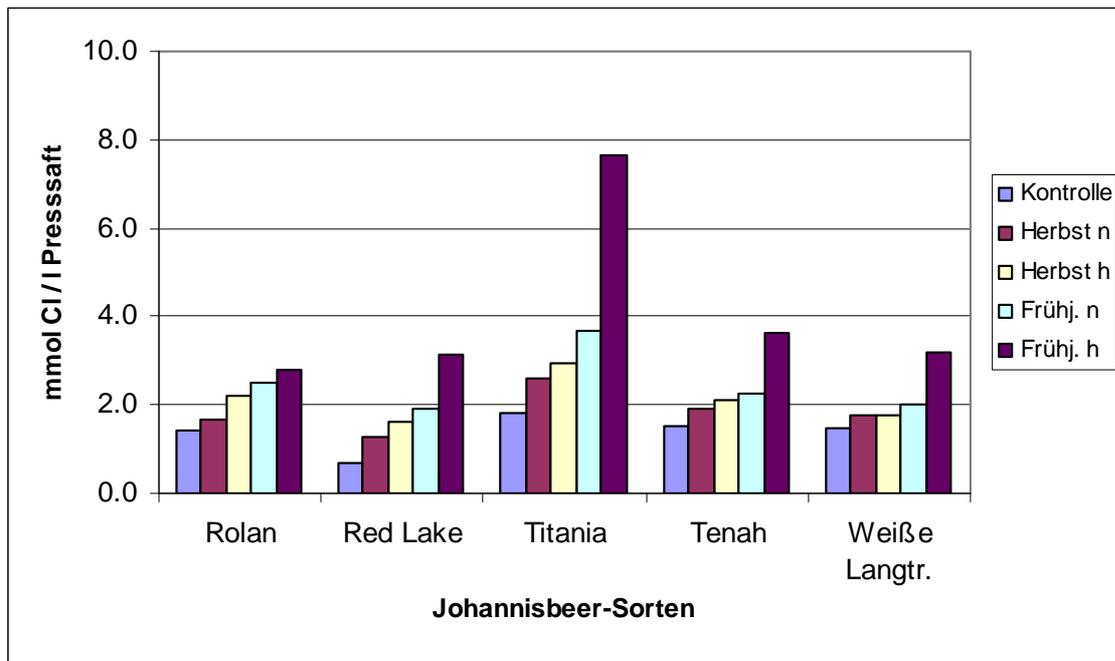
*Mineralstoffgehalte im Fruchtpresssaft:*

Analog zu den Chloridgehalten in den Johannisbeerblättern (siehe Abb. 9.7.) stieg auch im Beeren-Presssaft der Chloridgehalt bei allen Sorten von der Kontrolle bis zur hohen Frühjahrs-Chloridgabe stetig an (Abb. 9.10. A). Berechnet auf der Frischgewichtsbasis wurde in den Früchten eine um ca. Faktor 10 niedrigere Chloridkonzentration als in den Blättern gefunden.

Die Natriumkonzentrationen im Presssaft (Abb. 9.10.B) lagen auf Molbasis um ca. Faktor 10 niedriger als die Chloridkonzentrationen. Bei den Natriumkonzentrationen im Beerenpresssaft ließen sich keine signifikanten Sorten- und Behandlungseffekte nachweisen (Abb. 9.10.B)

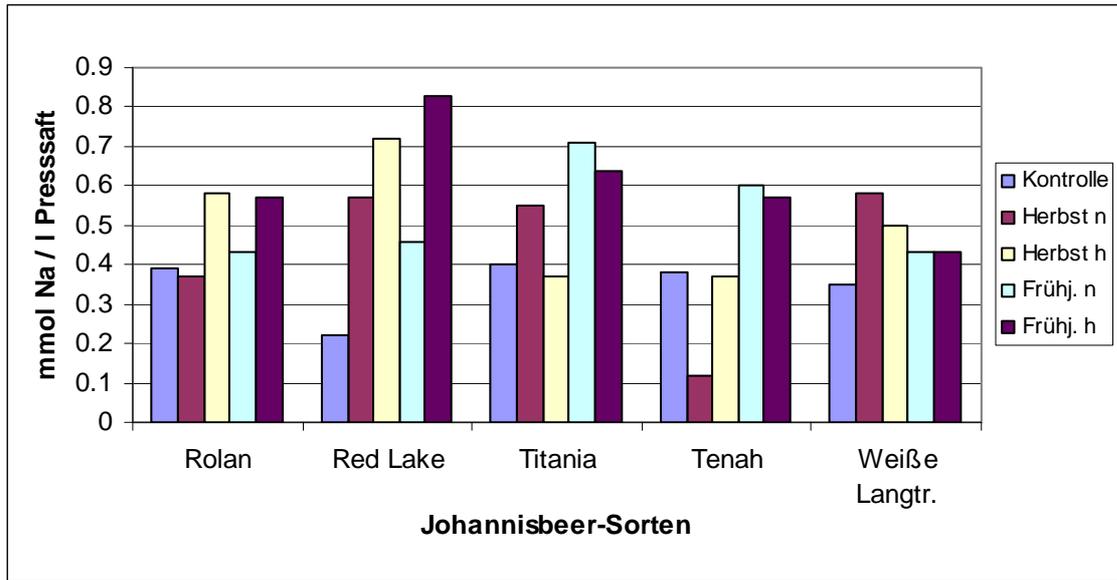
Auch bei den Kalium-, Magnesium- und Calcium-Konzentrationen (Abb. 9.11.) waren keine signifikanten Behandlungseffekte nachweisbar. Es zeigten sich aber klare Sortenunterschiede; so hatten beide schwarzen Sorten (Titania und Tenah) deutlich höhere (um ca. Faktor 2) Konzentrationen an K, Mg und Ca, aber nicht an Natrium. Weiter ist festzuhalten, dass die K-Konzentrationen im Presssaft der Früchte um ca. Faktor 10 höher als die Mg- und Ca-Konzentrationen und sogar um Faktor 100 höher als die Na-Konzentrationen waren (Abb. 9.10. und 9.11.).

A. Chloridkonzentrationen in den Fruchtpresssäften



Teil A. von Abb. 9.10.; Legende auf nächster Seite

B. Natriumkonzentrationen in den Fruchtpresssäften



C. pH-Werte der Fruchtpresssäfte

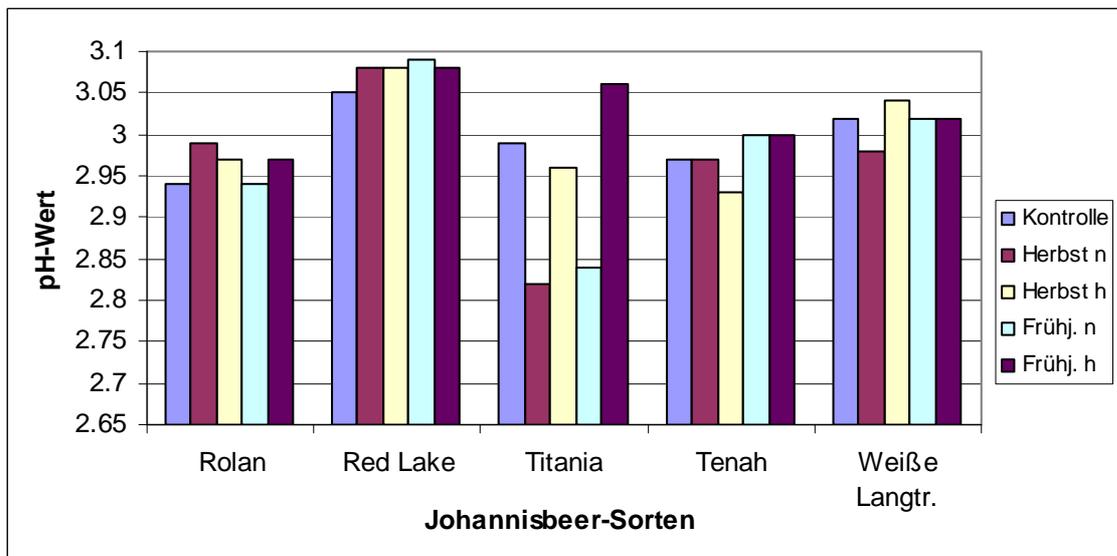
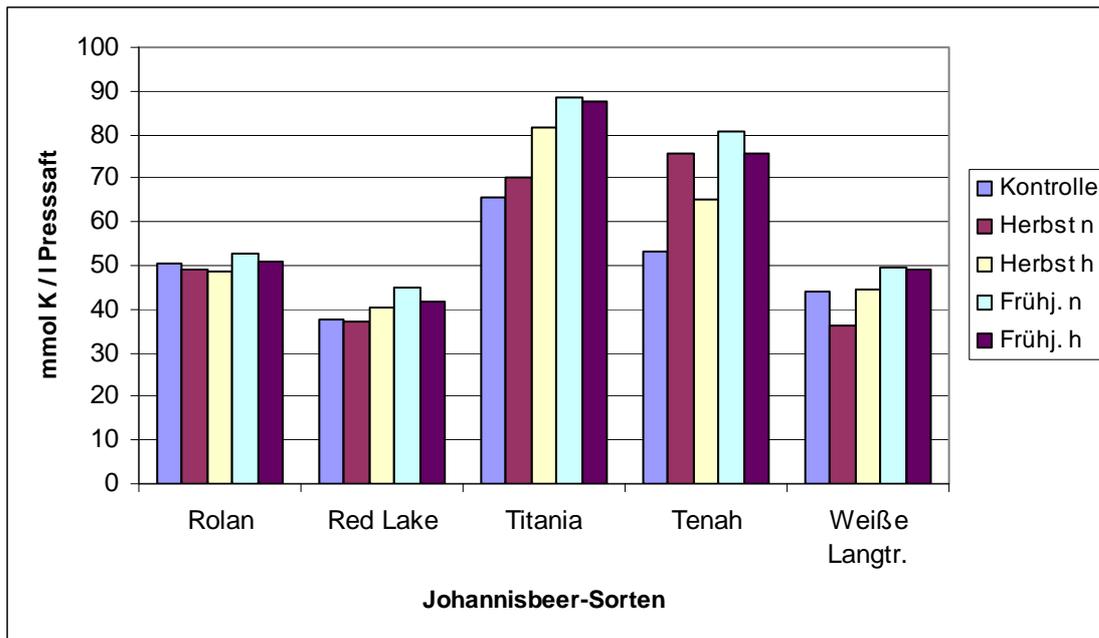
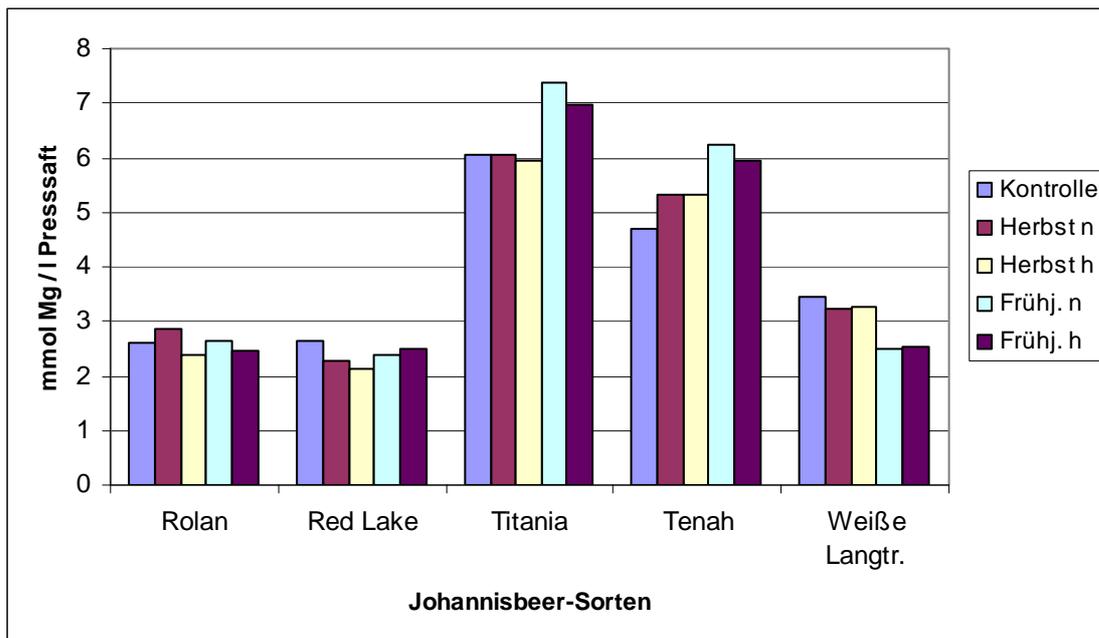


Abb. 9.10.: Chlorid-(A) und Natriumkonzentrationen (B) und pH-Wert (C) der Presssäfte der Beerenernte am 15.08.2005 vom Johannisbeeren-Feldversuch am KOB, Bavendorf/Ravensburg

A. Kalium-Konzentrationen in den Fruchtpressäften



B. Magnesium-Konzentrationen in den Fruchtpressäften



Teil A. und B. von Abb. 9.11.; Legende auf nächster Seite

C. Calciumkonzentrationen in den Fruchtpresssäften

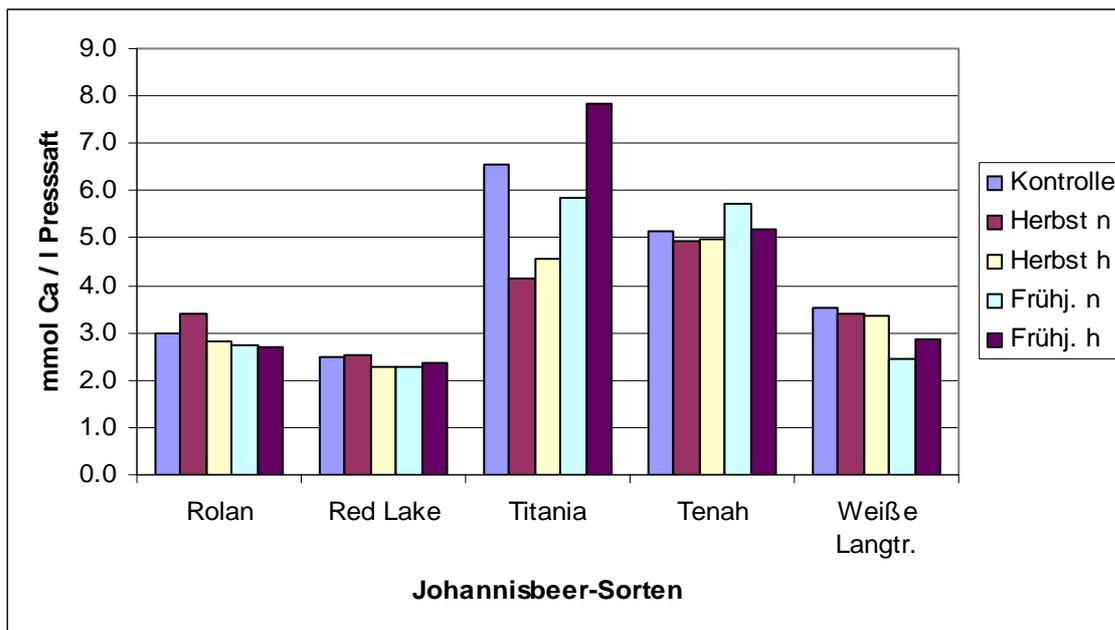


Abb. 9.11.: Kalium-, Magnesium- und Calciumkonzentrationen in den Presssäften der Beerenernte am 15.08.2005 vom Johannisbeeren-Feldversuch am KOB, Bavendorf/Ravensburg

*pH-Werte der Fruchtpresssäfte:*

Wie bereits bei den Mineralsstoffkonzentrationen sind auch bei den gemessenen pH-Werten der Presssäfte der am 15.08.2005 geernteten Früchte keine signifikanten Behandlungseffekte zu erkennen (Abb. 9.10.C). Auch zwischen den einzelnen Sorten liegen nur minimale Unterschiede vor (pH-Bereich zwischen 2,85 und 3,10 mit einem Mittel von 3,0). Dabei hatte die Rote Sorte Red Lake in der Tendenz mit 3,05 - 3,10 die höchsten Werte und die Schwarze Sorte Titania mit starken Schwankungen zwischen den Behandlungen die niedrigsten Werte (im Durchschnitt 2,85 - 2,90).

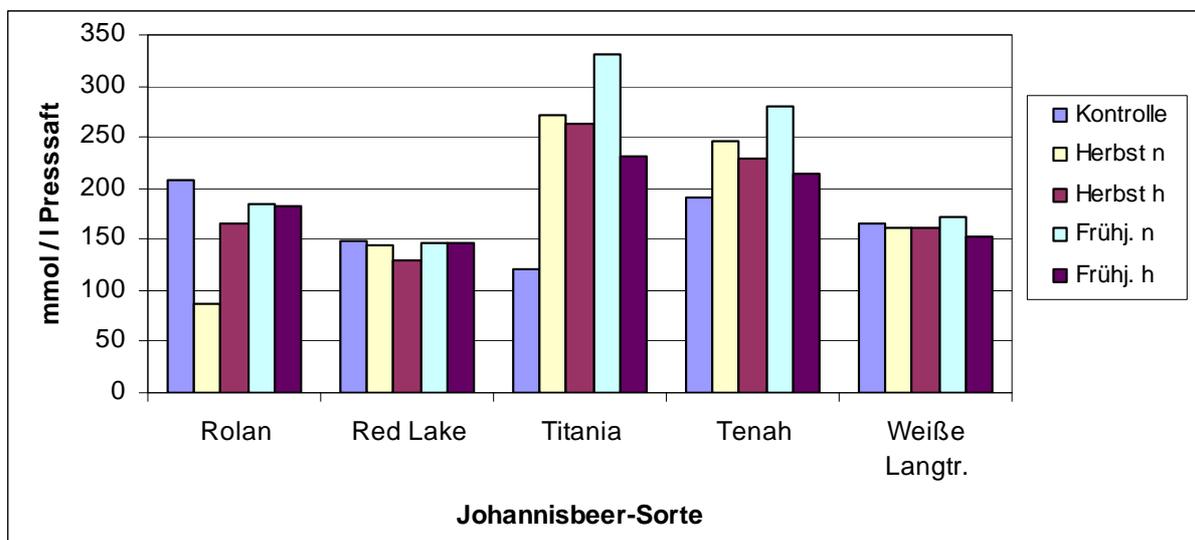
*Gehalte an Organischen Säuren in den Fruchtpresssäften:*

Wie aus Abb. 9.12. zu erkennen ist, gab es keine signifikante Auswirkung der unterschiedlichen Chloriddüngungen (niedrig/hoch; Frühjahr- / Herbstapplikation) auf die Höhe der gesamten Organischen Säuren in Presssaft der am 15.08.2005 geernteten Früchte. Auffallend aber sind die deutlich höheren Konzentrationen in den beiden Schwarzen Johannisbeer-Sorten (Titania und Tenah) im Vergleich zu der Weißen und den beiden Roten

Johannisbeersorten. Diese höheren Konzentrationen an Organischen Säuren (Carboxylate) in den beiden schwarzen Sorten deckt sich gut mit den höheren Kationengehalten (K, Ca, Mg; Abb. 9.11.) in den Presssäften.

Bei der Betrachtung der einzelnen Organischen Säuren (Abb. 9.13.) ist wie bereits bei dem Gesamtgehalt kein signifikanter Behandlungseffekt, vielleicht mit der Ausnahme von Acetat (Essigsäure), zu erkennen. Beim Vergleich der 5 Sorten heben sich die beiden schwarzen Sorten mit deutlich höheren Konzentrationen an Citrat, cis-Aconitat und trans-Aconitat ab.

Bei allen Sorten macht Citrat den höchsten Anteil (ca. 90%) an der Gesamtsäure aus; gefolgt von Malat (5-10%) und Acetat (2,5-7,5%).

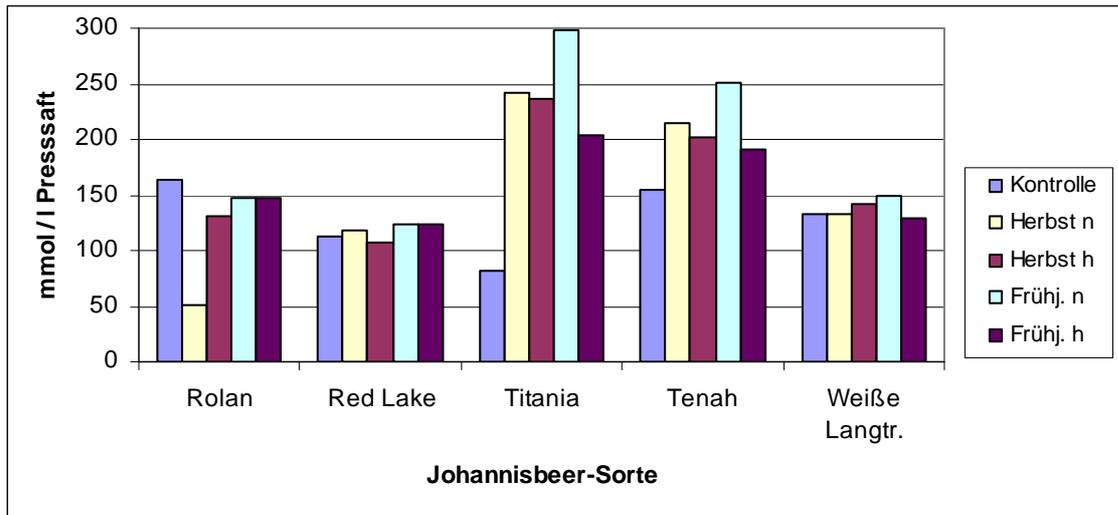


*Abb. 9.12.: Gesamtsäuregehalt (Carboxylate) der Presssäfte der Beerenernte am 15.08.2005 vom Johannisbeeren-Feldversuch am KOB, Bavendorf/Ravensburg*

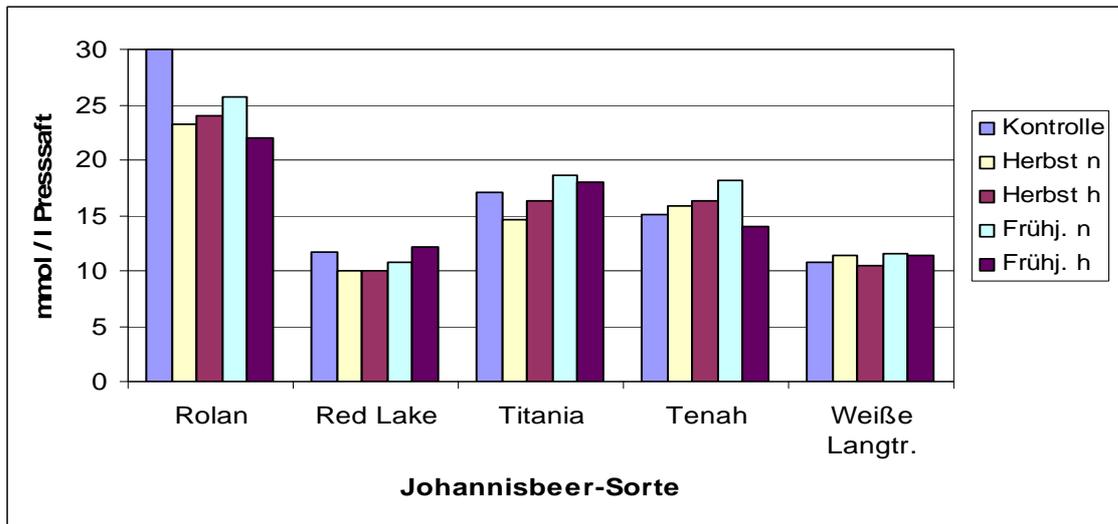
### *Cadmiumgehalte in den Früchten*

(Angaben hierzu siehe Kapitel 12.)

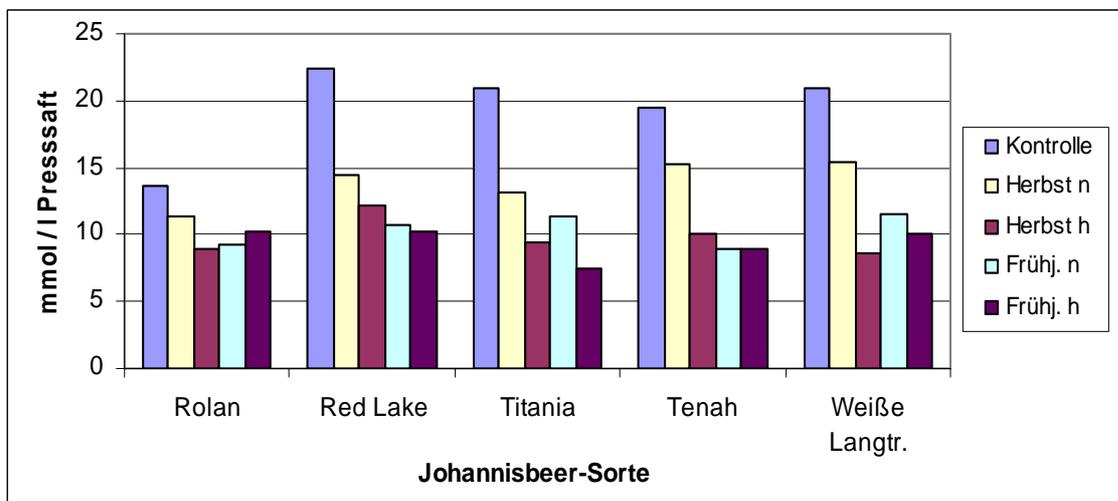
A. Citrat



B. Malat

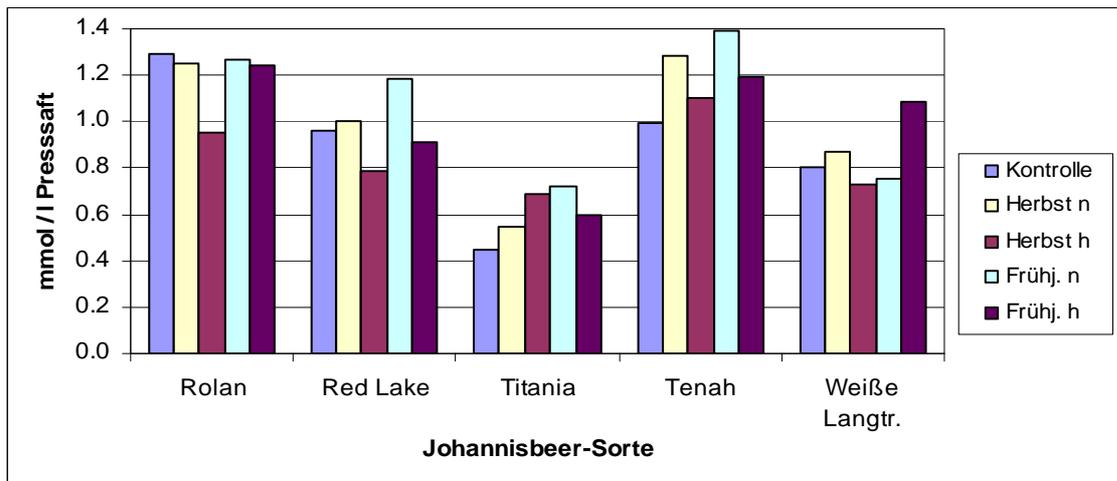


C. Acetat

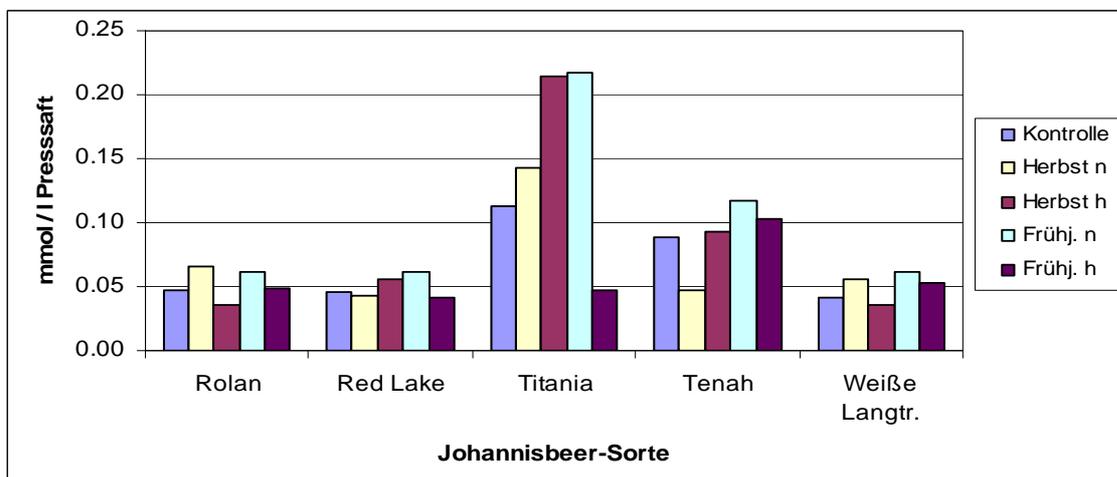


Teil A.-C. von Abb. 9.13.; Legende auf nächster Seite

D. Shikimat



E. Cis-aconitat



F. Trans-aconitat

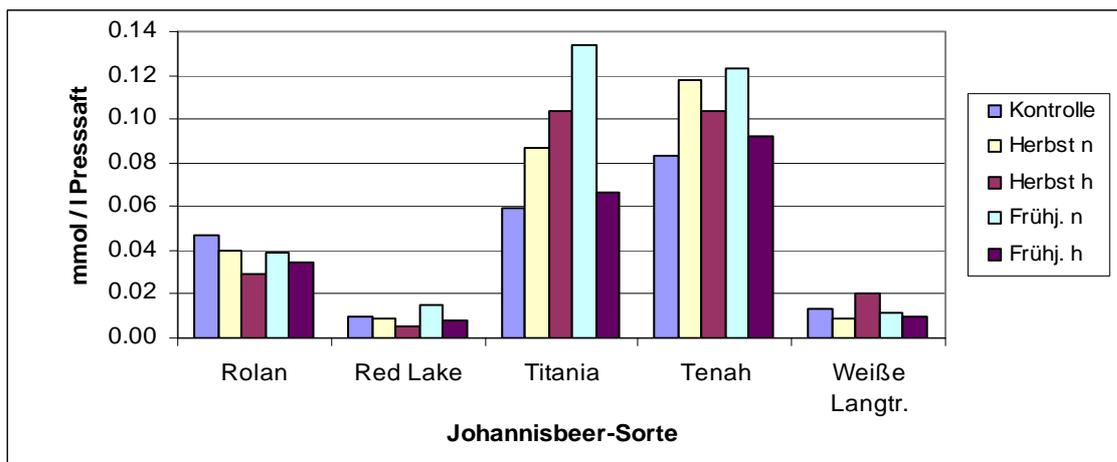


Abb. 9.13.: Gehalte von einzelnen Organischen Säuren als Carboxylate der Presssäfte der Beerenernte am 15.08.2005 vom Johannisbeeren-Feldversuch am KOB, Bavendorf/Ravensburg

## 9.6 Diskussion

Unter Feldbedingungen mit der Möglichkeit der Chlorid-Auswaschung in tiefere Bodenschichten über den Winter lagen die Chloridkonzentrationen in Blättern bei einer praxisüblichen Kaliumdüngung mit 2,5 - 4,3 mg Cl/g TS (Abb. 9.6.) deutlich unter dem Toxizitätsgrenzwert von 10-15 mg Cl/g TS (siehe 8.5.3) und unter dem von Marschner (1995) angegebenen Grenzwert von 20 - 30 mg Cl/g TS. Selbst in einem „Worst-Case-Szenario“ mit einer Kaliumdüngung in praxisüblicher Höhe aber in Form von chloridreichem Kalirohsalz und im Frühjahr zu Beginn der Vegetationsperiode (beides praxisunüblich!) wurde mit Chloridkonzentrationen von 9 bis max. 18 mg Cl/g TS der Toxizitätsgrenzwert von 10–15 mg Cl/g TS eben erreicht. Im Gefäßversuch (Kap. 8) waren erst im Spätsommer Blattrandnekrosen vermischt mit normalen Seneszenzerscheinungen bei vergleichbaren Chloridkonzentrationen in den Blättern zu beobachten. Bei praxisüblicher Kalidüngung mit Kornkali (40 er Kali) lagen die Chloridkonzentrationen im Blatt mit maximal 3,0 mg Cl/g TS nur etwa 25% höher als in der Kontrolle, wo ausschließlich mit chloridfreiem Kaliumdünger als  $K_2SO_4$  gedüngt wurde (Abb. 9.8. A).

Auch in den Fruchtpresssäften wurden mit maximal 2 mmol Chlorid/L nur geringfügig (20–30%) höhere Werte als in Früchten der chloridfreien Parzelle unter praxisüblicher Kalidüngung erreicht. Umgerechnet auf mg-Basis wurde ca. 0,07 mg Cl/g Fruchtpresssaft und damit ca. 10-mal weniger als in Blättern auf Frischgewichtsbasis gefunden. Im „Worst-Case-Szenario“ wurden im Fruchtpresssaft mit 0,3 mg Cl/g Fruchtpresssaft immer noch 3–4-mal weniger als in den entsprechenden Blättern auf Frischgewichtsbasis erreicht.

Aus diesen Daten in diesem Kapitel lässt sich eindeutig schließen, dass die häufig geforderte chloridfreie Kaliumdüngung (Bergmann, 1993, Marschner 1995; Hikenbäumer, 1964; Keipert, 1981) bei angepasster Kaliumdüngung unter humidem Klima nicht berechtigt ist. Dabei muss nochmals betont werden, dass diese Forderungen nach chloridfreier Kaliumdüngung zu Johannisbeerpflanzen durch die oben genannten (und anderen) Autoren nicht wissenschaftlich belegt sind.

Die mögliche Chloridauswaschung in tiefere Bodenschichten unterhalb des durchwurzeltten Oberbodens, wie von Mengel (1991) und Marschner (1995) diskutiert, konnte auch in diesem Kapitel als Vorsorgemaßnahme unterstrichen werden (Abb. 9.5.; Tab. 9.3.). Gleichzeitig führte diese Chloridauswaschung über die Wintermonate zu deutlich geringeren Chlorid-

konzentrationen in den Blättern, weit unter dem Toxizitätsgrenzwert für Chlorid von 10–15 mg Cl/g TS (Abb. 9.6. und 9.7.).

Im Gegensatz zu den Kurzzeit-Aufnahmeversuchen mit Chlorid und Natrium (Kapitel 6 und 7) und dem Gefäßversuch (Kapitel 8) konnte im Feldversuch am KOB die unterschiedliche Aufnahme von Chlorid zwischen den roten und weißen Sorten auf der einen Seite und den schwarzen Johannisbeersorten (u.a. Tab. 8.7. und 8.8.) nicht eindeutig gezeigt werden. Zwar hatte die rote Sorte „Red Lake“ unter dem „Worst-Case-Szenario“ in beiden Jahren die höchsten Chloridkonzentrationen in den Blättern (Abb. 9.7. und 9.8.), aber die 2. rote Sorte „Rolan“ lag mit ihren Chloridkonzentrationen in der gleichen Größenordnung wie die beiden schwarzen Sorten. Im Fall der praxisüblichen Kalidüngung im Herbst mit Kornkali lagen die Chloridkonzentrationen der Blätter bei den beiden roten Sorten sogar niedriger als bei den beiden schwarzen Sorten. Bei der weißen Sorte „Weiße Langtraubige“ lagen die Chloridkonzentrationen in den Blättern auf dem gleichen Niveau der schwarzen Sorten. In allen Fällen wurde, wie oben diskutiert, der kritische Toxizitätsgrenzwert nicht erreicht.

Hinsichtlich Natriums kann die Feststellung im Kapitel 8 mit dem Gefäßversuch bestätigt werden, dass durch ein erhöhtes Natriumangebot das Wachstum und die Natriumkonzentrationen in Blättern oder Fruchtpresssäften nicht negativ beeinflusst werden. Somit blieb auch das erhöhte Na-Angebot ohne Auswirkung auf die Säuregehalte oder -Zusammensetzung (Carboxylate) der Früchte (Abb. 9.12. und 9.13.).

## 9.7 Ausblick

Das klare Ergebnis dieses praxisrelevanten Feldversuches am KOB, Ravensburg hinsichtlich chloridfreier Kaliumdüngung bedarf noch einer weiteren Überprüfung der gezeigten Chloridauswaschung am KOB (siehe Kapitel 11) sowie der möglichen erhöhten Cadmiummobilisierung und -Aufnahme durch Chlorid bei jungen Johannisbeersträuchern (siehe Kapitel 12). Es ist bekannt, dass durch erhöhtes Angebot von Chlorid u.a. durch Chloridhaltige Kaliumdünger die Cadmiumaufnahme und Cadmiumgehalte in Getreide-körnern erhöht werden kann (Cakmak, persönliche Mitteilung).

Darüber hinaus sollte das Ergebnis einer chloridhaltigen Kaliumdüngung im Herbst zur Verminderung des Schädigungspotenzials durch Chlorid noch an zwei anderen Standorten mit unterschiedlichen Böden und Niederschlagshöhen an der Erdbeere, einer weiteren chloridempfindlichen Kultur, gezeigt werden (Kapitel 10).

Wünschenswert wäre auch noch eine Überprüfung, inwieweit eine praxisrelevante Kaliumdüngung als Kornkali nicht nur zu keinen Chloridtoxizitätssymptomen führt, sondern auch langfristig nicht Fruchtertrag und -qualität negativ beeinflusst. Bei der Betrachtung der Chloridkonzentrationen der Blätter der vergleichsweise jungen Johannisbeersträuchern (Abb. 9.6; 9.7; 9.8.A), die sich zwischen der chloridfreien Kontrolle und einer praxisrelevanten Kaliumdüngung als Kornkali im Herbst nur unbedeutend unterschieden, ist jedoch von einem solchen Einfluss auf Fruchtertrag und -qualität nicht auszugehen.

## 10. FELDVERSUCH ZUR AUFNAHME VON CHLORID IN ERDBEERPFLANZEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ZEITPUNKT UND HÖHE DER CHLORIDGABE

### 10.1. Problematik

Laut einschlägiger Fachliteratur können auch chloridempfindliche Beereulturen wie Rote Johannisbeere, Himbeere oder Erdbeere mit Kalidünger in chloridischer Form (z.B. 40 er Kali) gedüngt werden, sofern eine Herbstapplikation vorgenommen wird (Mengel, 1991; Marschner, 1995; Bergmann, 1993). Diese Strategie einer Vermeidung von Chloridschäden durch Herstdüngung von chloridhaltigen Kalidüngern sollte jedoch vor einer generellen Empfehlung vorerst in 2 Praxisbetrieben mit unterschiedlichem Jahresdurchschnittsniederschlag (Tab. 4.2.) bei der Erdbeere überprüft werden.

### 10.2. Versuchsfragen und Arbeitshypothesen

Zu prüfen war, inwieweit bei einer Herbstanwendung von chloridischen Kalidüngern (40 er Kali oder Kalirohsalz) das Chlorid über die Wintermonate ausreichend in tiefere Bodenschichten verlagert wird, ohne dass die Erdbeere durch Chlorid während der Vegetationsperiode geschädigt wird.

Es wurde vor Versuchsbeginn davon ausgegangen, dass an beiden Standorten (Horb/Neckar hohe Winterniederschläge und Düsseldorf - Wittlaer, niedrigere Winterniederschläge) auch bei hoher Chloridgabe als Kalirohsalz das Chlorid zum größeren Teil in tiefere Bodenhorizonte unter den Durchwurzelungs-Horizont der Erdbeere (0-20 cm) ausgewaschen wird. Durch diese Chloridauswaschung werden Chloridschäden bei der Erdbeere effektiv vermieden!

### 10.3. Versuchsansatz und Versuchsdurchführung

Zu Beginn der Promotionsarbeit wurden 2 Praxisbetriebe ausgewählt: Obst und Beerenbau Walter Maier in Horb/Neckar mit Erdbeere, Himbeere und Johannisbeere (Abb. 4.4.) und der Wittlaerer Hof, Düsseldorf-Wittlaer mit Erdbeere (Sorte: „Elsanta“) als Sonderkultur neben landwirtschaftlichen Kulturen (Abb. 4.3.). Die Bodeneigenschaften und Niederschlagsverteilung der beiden Betriebe sind im Kapitel 4 beschrieben (Tab. 4.1., 4.2.).

Folgende versuchsspezifische Kalium- bzw. Chloriddüngung wurde im November 1997 bzw. Frühjahr 1998 vorgenommen:

1. Praxis: (Kontrolle) K als K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> im Frühjahr; praxisübliche K-Rate (80 kg K/ha)
2. Chlorid I K als KCl im Herbst; praxisübliche K-Rate (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 200 kg NaCl/ha)
3. Chlorid II K als Kalirohsalz im Herbst; praxisübliche K-Rate (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 600 kg NaCl/ha)
4. Chlorid I K als KCl im Frühjahr; praxisübliche K-Rate (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 200 kg NaCl/ha)
5. Chlorid II K als Kalirohsalz im Frühjahr; praxisübliche K-Rate (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 600 kg NaCl/ha)

In Horb/Neckar wurden neben Erdbeere (Sorte „Elsanta“) auch Rote Johannisbeere und Himbeere mit den unterschiedlichen Chloridgaben und Düngezeiten gedüngt. Aus Zeitgründen wurden aber später nur die Erdbeerbeprobungen durchgeführt.

Die Erdbeerbeprobungen mit der Sorte „Elsanta“ wurden an folgenden Terminen gedüngt und beprobt (Bodenproben, Blattproben) und für die visuelle Bewertung fotografiert:

Aktivitäten	Horb/Neckar	Wittlaerer Hof
Chloriddüngung:	08.11.1997	11.11.1997
	06.03.1998	12.03.1998
Bodenprobenahme:	12.12.1997	15.12.1997
	06.03.1998	12.03.1998
	05.06.1998	19.06.1998
Blattprobenahme:	05.06.1998	19.06.1998
	03.08.1998	06.08.1998
Fotografie der Bestände:	08.11.1997	12.11.1997
	13.12.1997	15.12.1997
	06.03.1998	12.03.1998
	05.06.1998	19.06.1998

#### 10.4. Material und Methoden

Relevante Angaben zu beiden Standorten sind im Kapitel 4 angegeben (Tab. 4.1. und 4.2.; Abb. 4.3. und 4.4). Zu den jeweils 2 Blattprobeterminen wurden von den Erdbeerpflanzen jüngste vollentwickelte Blätter (mit Blattstiel) geerntet und wie unter Kapitel 5 beschrieben weiter aufgearbeitet und auf Chlorid analysiert.

Bodenproben wurden an den oben aufgeführten 3 Terminen mit einem Bodenprobenbohrer ( $\varnothing_a$  17 mm) gezogen und wie im Kapitel 5 beschrieben extrahiert und auf Chlorid analysiert.

## 10.5. Ergebnisse

### 10.5.1. Visuelle Bewertung der Erdbeerpflanzen

*Wittlaerer Hof:*



*Abb. 10.1.: Erdbeerfeld in Wittlaer zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns  
Am 12. Nov. 1997 mit der Herbsdüngung von Natriumchlorid.  
A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*



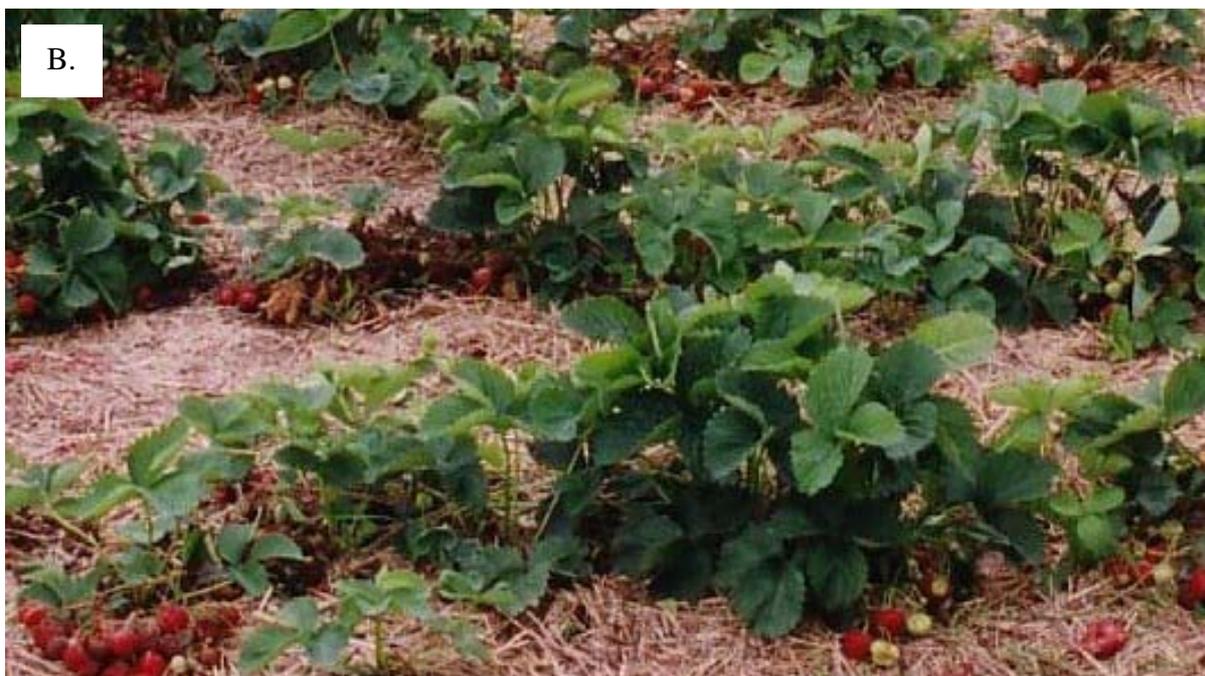
*Abb. 10.2.: Erdbeerfeld in Wittlaer im Winter zum Zeitpunkt der 1. Bodenprobenahme am 15. Dez. 1997. A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*

Auf dem Foto zum Zeitpunkt der Herbstgabe des Chlorids am 12.11.1997 (Kontrolle; Chlorid niedrig; Chlorid hoch) sind gleichmäßig über alle Behandlungs-Wiederholungen eine beginnende Herbstverfärbung (Seneszenz-Erscheinungen) zu erkennen (Abb. 10.1.). Einen Monat später (15.12.1997) hat sich die jahreszeitübliche Herbstverfärbung einheitlich über alle Behandlungen und Wiederholungen ausgeweitet (Abb. 10.2.). Auch zum Zeitpunkt frühes Frühjahr (12.03.1998) waren zwischen den Behandlungen keine Unterschiede erkennbar. Neben vorjährigen grünen Blättern lagen noch nekrotische Blätter vom Herbst vor (Abb. 10.3.). Zum Zeitpunkt 19.06.1998

waren die Pflanzen im Vollertrag ohne erkennbare Unterschiede im Wuchs und Fruchtertrag zwischen den 5 Behandlungen (Abb. 10.4.).



*Abb. 10.3.: Erdbeerfeld in Wittlaer zum Zeitpunkt der 2. Bodenprobenahme am 12. März. 1998 nach erfolgter Frühjahrsdüngung mit Natriumchlorid  
A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*



*Abb. 10.4.: Erdbeerfeld in Wittlaer zum Zeitpunkt der 1. Blattprobenahme und der 3. Bodenprobenahme am 19. Juni 1998*

*A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*

*Horb/Neckar:*

Für den Standort Horb/Neckar ergab sich eine analoge phänologische Entwicklung der Erdbeerpflanzen mit Seneszenz - Erscheinungen im Winter und Fruchtansatz im Juni (Abb. 10.5. bis Abb. 10.8.). Auch an diesem Standort gab es keine visuellen Unterschiede in der Entwicklung einzelner Pflanzen und im Fruchtertrag zwischen den einzelnen Chloridbehandlungen.



*Abb. 10.5.: Erdbeerfeld in Horb/Neckar zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns im 8. Nov. 1997 mit der Herbsdüngung von Natriumchlorid  
A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*



*Abb. 10.6.: Erdbeerfeld in Horb/Neckar im Winter am 13. Dez. 1997  
A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*



*Abb. 10.7.: Erdbeerfeld in Horb/Neckar zum Zeitpunkt der Frühjahrsdüngung mit Natriumchlorid am 6. März 1998*

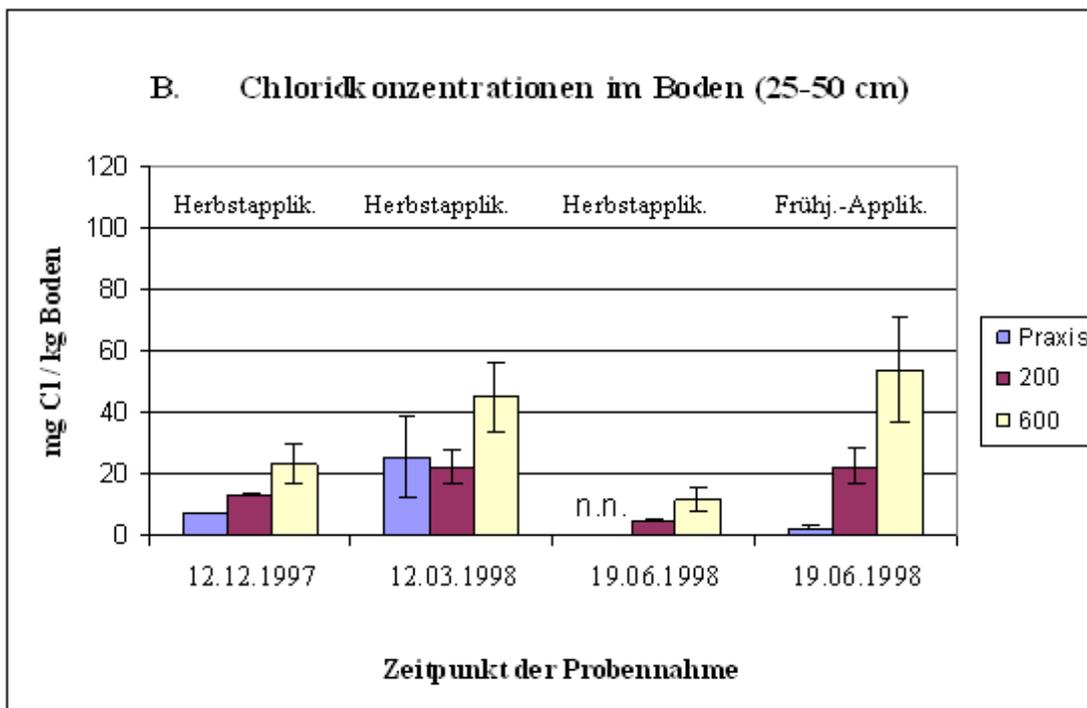
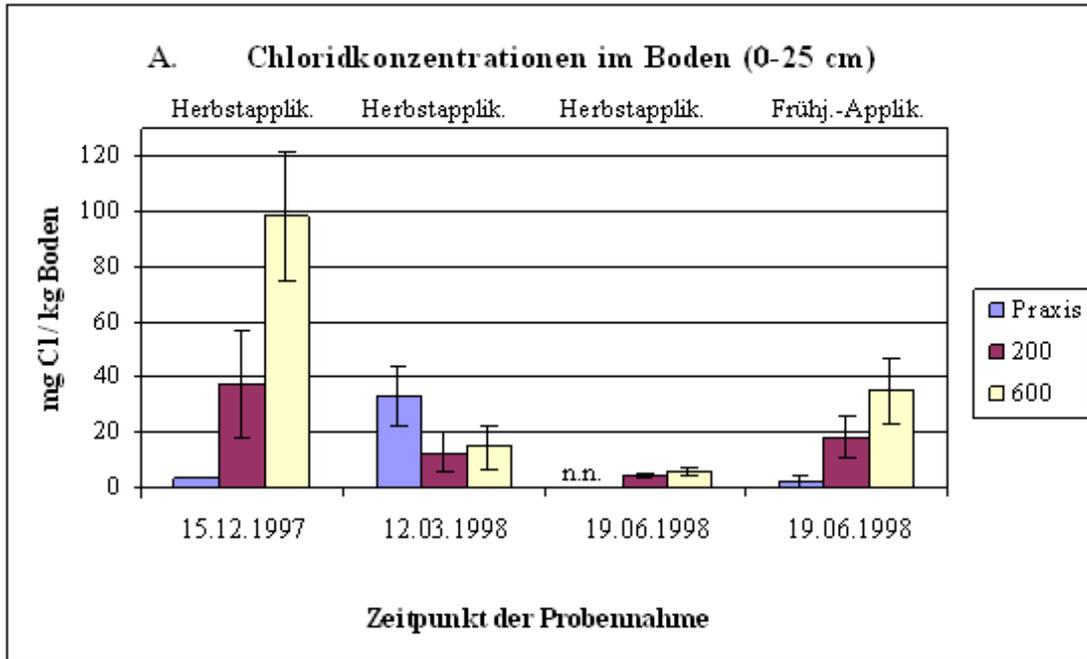
*A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*



*Abb. 10.8.: Erdbeerfeld in Horb/Neckar zum Zeitpunkt der 1. Blattprobenahme am 5. Juni 1998. A. Gesamtansicht; B. Nahaufnahme*

## 10.5.2. Chloridverteilung im Bodenprofil

### Wittlaerer Hof



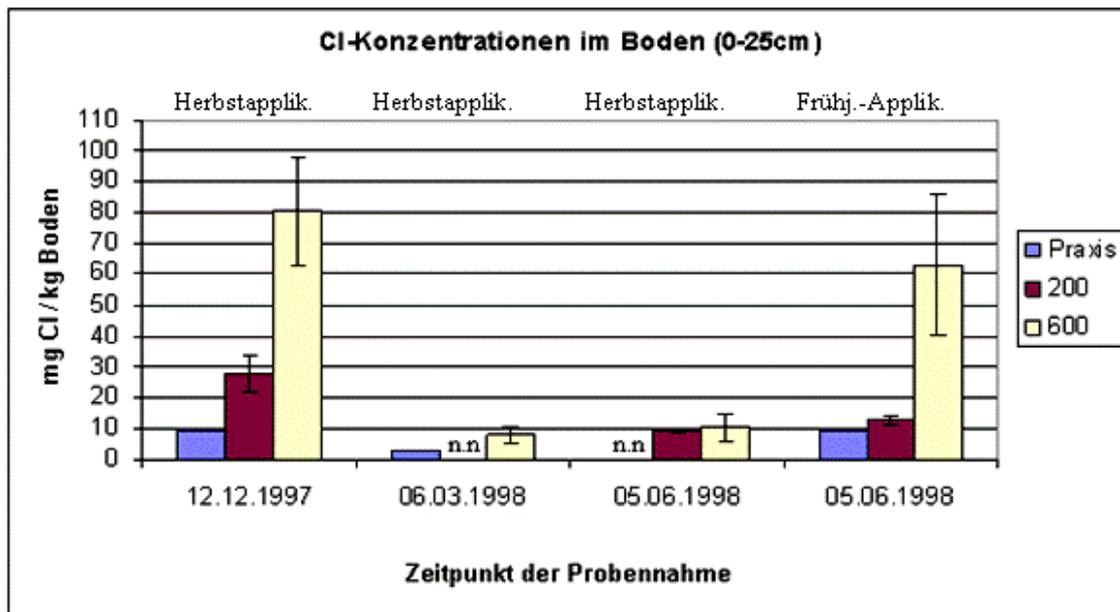
*Abb. 10.9.: Chloridkonzentration in verschiedenen Bodenschichten (A.: 0–25 cm; B.: 25–50 cm) nach unterschiedlich hoher Chloridapplikation zu 2 verschiedenen Zeitpunkten (Herbst, 11.11.1997; Frühjahr, 12.03.1998) zu Erdbeere auf dem Wittlaerer Hof (n.n. = nicht nachweisbar)*

Erwartungsgemäß finden sich bei der ersten Bodenprobenahme kurz nach der Herbstapplikation am 12.12.1997 bei der erhöhten Gabe (600 kg NaCl/ha) mit ca. 100 mg Cl/kg Boden in der oberen Bodenschicht (0-25 cm) die höchsten Werte (Abb. 10.9. A). Die gleiche steigende Tendenz war auch in der darunterliegenden Bodenschicht (25-50 cm) auf niedrigerem Gesamtniveau zu finden (Abb. 10.9.B).

Zum Frühjahreszeitpunkt (12.03.1998) war das Chlorid von der Herbstapplikation zu einem größeren Anteil (ca. 70%) bereits in den tieferen Bodenhorizont (25-50 cm) verlagert. Am 19.06.1998 war von dem in Vorherbst applizierten Chlorid bei beiden Applikationsmengen (200 und 600 kg NaCl/ha) nur noch marginale Mengen (<10-15%) nachweisbar (Abb. 10.9.A und B).

Im Gegensatz zur Herbstapplikation von Chloride waren bei der Frühjahresapplikation zum Zeitpunkt 19.06.1998 deutlich höhere Chloridkonzentrationen in beiden Bodenschichten sowohl bei der niedrigen als auch bei der hohen Applikationsmenge von NaCl zu erkennen (Abb. 10.9. A und B).

*Horb/Neckar:*



*Abb. 10.10.:* Chloridkonzentration im Oberboden (0-25cm) nach unterschiedlich hoher Chloridapplikation zu 2 verschiedenen Zeitpunkten (Herbst, 08.11.1997; Frühjahr, 06.03.1998) zu Erdbeere im Betrieb W. Maier, Horb/Neckar (n.n. = nicht nachweisbar)

Am Standort Horb/Neckar, wo zu analogen Terminen Bodenproben gezogen wurden, jedoch nicht unterschieden in 2 Bodentiefen, sondern nur einheitlich 0-25 cm, ergab ein vergleichbares Bild hinsichtlich Chloridverlagerung bzw. ChloridAuswaschung im Bodenprofil (Abb. 10.10.). Die erhöhten Chloridkonzentrationen im Oberboden direkt nach der Herbstapplikation waren bis zum Frühsommer des Folgejahres vollständig in tiefere Bodenhorizonte ausgewaschen, so dass sich keine signifikanten Unterschiede in den Chloridkonzentrationen zwischen praxisüblicher und hoher Chloridgabe (600 kg NaCl/ha) im Oberboden mehr zeigten.

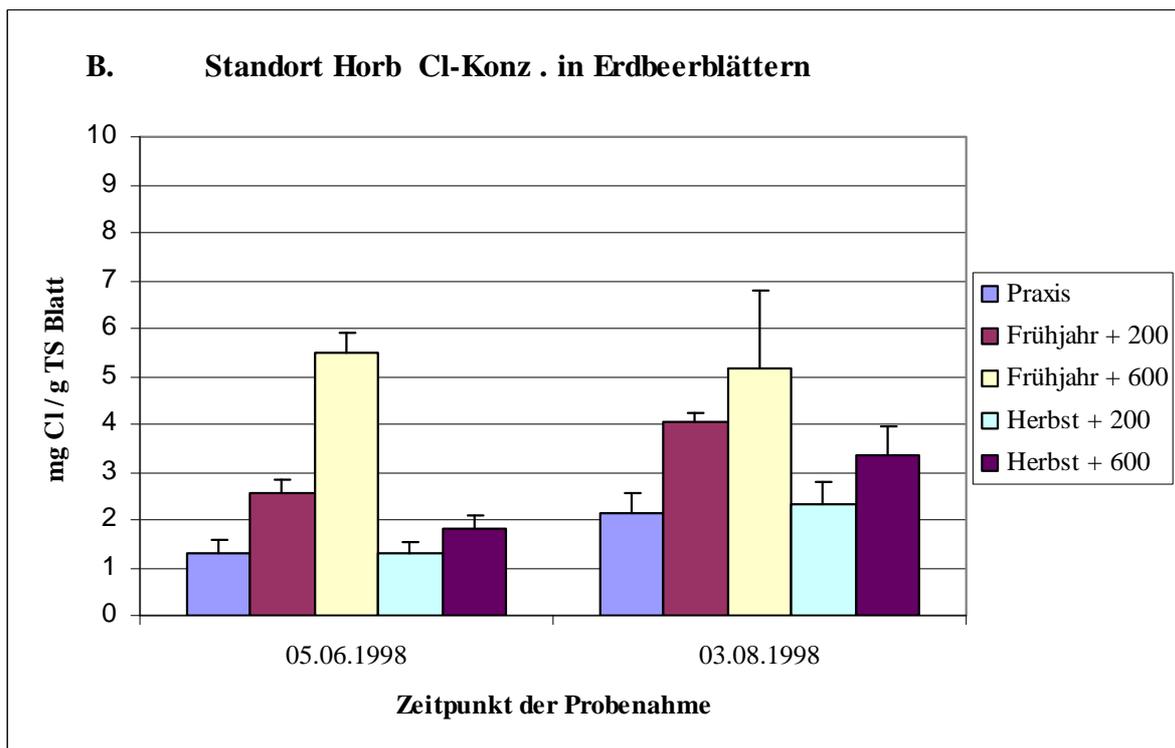
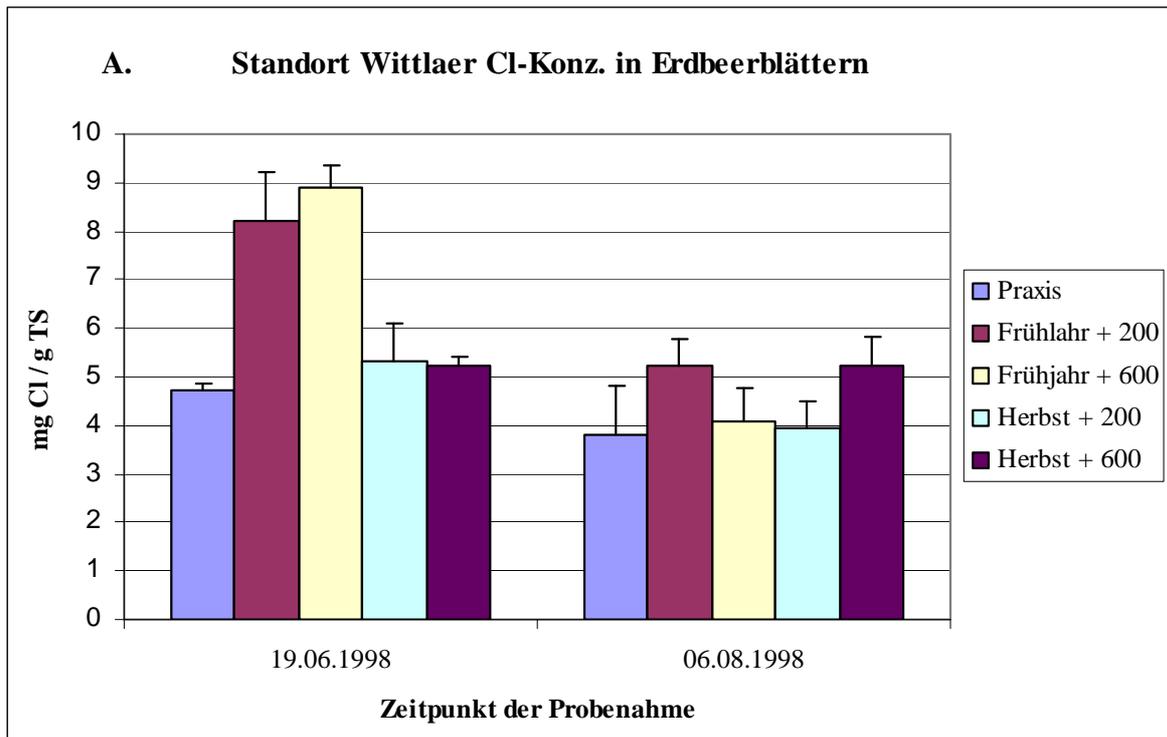
### 10.5.3. Chloridkonzentrationen in den Erdbeerblättern

#### *Wittlaerer Hof:*

Die Chloridkonzentrationen in den Erdbeerblättern zu beiden Ernteterminen (Juni und August 1998) zeigen graduelle Unterschiede (Abb. 10.11.A). Zum Zeitpunkt Juni waren erhöhte (um ca. Faktor 1.6) Konzentrationen in den Blättern mit Frühjahrs-Chloridapplikation gegenüber der Herbstapplikation und der Praxis (Kontrolle) nachweisbar. Zur Blattprobenahmen 2 Monate später (August 1998) waren keine signifikanten Unterschiede in den Chloridkonzentrationen zwischen allen 5 Behandlungen zu erkennen (Abb. 10.11.A).

#### *Horb/Neckar:*

An diesem Standort lagen die Chloridkonzentrationen in den Erdbeerblättern insgesamt etwas niedriger (ca. um 25–50%) als auf dem Wittlaerer Hof (Abb. 10.11.B). Auch waren die erhöhten Konzentrationen nach einer Frühjahrsapplikation von NaCl im Gegensatz zum Wittlaerer Hof an beiden Blattprobeterminen (Juni und August 1998) noch nachweisbar.



*Abb. 10.11.: Chlorid-Konzentrationen in Erdbeerblättern geerntet zu 2 Terminen (Juni und August 1998) bei unterschiedlichen Chloridbehandlungen (Höhe und Zeitpunkt) am Wittlaerer Hof (A.) und in Horb/Neckar (B.)*

## 10.6. Diskussion

Mit dem hier vorliegenden Feldversuch mit Erdbeeren sollte überprüft werden, inwieweit die vom Feldversuch mit der Johannisbeere in Bavendorf/Ravensburg gezogene Schlussfolgerung einer ausreichenden Chloridauswaschung über die Wintermonate auch an anderen Standorten mit unterschiedlichen Niederschlägen und Bodenarten zutrifft. In den Erdbeerbeständen an beiden Standorten waren keine Anzeichen für Chloridtoxizität wie Blattrandnekrosen an alten Blättern und auch keine verfrühte Herbstverfärbung (Seneszenz) wie im Gefäßversuch (Kapitel 8) zu erkennen (Abb. 10.1.-10.8.) Sowohl in Wittlaer mit etwas geringeren Winterniederschlägen (361 mm; Tab. 4.2.) und einem etwas leichterem Boden (sL/uL, Tab. 4.1.) als auch in Horb/Neckar (429 mm Winterniederschläge, lehmiger Tonboden) war die Chloridauswaschung über die Wintermonate ausreichend, um keine erhöhten Chloridkonzentrationen in den Erdbeerblättern bei Herbstanwendung von chloridhaltigen Kaliumdünger nachzuweisen (Abb. 10.11.). Bei Frühjahrsanwendung waren die Chloridkonzentrationen der Blätter zwar um Faktor 2 (Cl I) bis 4 (Cl II) höher als die der Kontrollen. Sie lagen aber in vergleichbarer Größenordnung wie bei den verschiedenen Johannisbeerblättern.

Somit kann auch an diesen beiden Standorten davon ausgegangen werden, dass selbst bei nicht-praxisüblicher Kaliumdüngung mit dem chloridreichen Kalirohsalz als „Worst-Case-Szenario“ bei Herbstanwendung keine Schädigung durch Chlorid auftritt. Dies bestätigt die Annahme von Mengel (1991), Bergmann (1995), Hilkenbäumer (1964) und anderen, dass bei Anwendung von chloridhaltigen Kalidüngern eine Herbstanwendung ein Gefährdungspotenzial durch Chlorid ausschließt. Dies wird auch dadurch untermauert, dass die gemessenen Chloridkonzentrationen in den Erdbeerblättern mit ca. 5 mg Cl/g TS (Horb/Neckar) deutlich unterhalb des Toxizitätsgrenzwertes in der Literatur von 20-25 mg Cl/g TS (Marschner, 1995) und auch unter den für Johannisbeersorten ermittelten Toxizitätsgrenzwert für Chlorid von 10-15 mg Cl/g TS (Kap. 8 und 9) liegen.

## 10.7. Ausblick

Gemeinsam mit dem Feldversuch mit Johannisbeeren in Bavendorf (KOB) konnte an insgesamt 3 Standorten in Deutschland mit humidem Klima gezeigt werden, dass chloridfreie Kaliumdüngung als teures Kaliumsulfat nicht notwendig ist, wenn eine angepasste Kaliumdüngung mit Kornkali vorgenommen wird. Als eine weitere sehr effektive Vorsichtsmaßnahme zum sicheren Ausschluss von möglichen Chloridschädigungen durch chloridhaltige

Kalidünger kann eine Herbstapplikation betrachtet werden. Diese an allen 3 Standorten nachgewiesene Chloridauswaschung in tiefere Bodenschichten soll im Weiteren noch in einem Modellversuch mit im Freiland aufgestellten Bodenzylindern bestätigt werden (Kapitel 11).

## 11. BODENSÄULENVERSUCH ZUR CHLORIDVERLAGERUNG UNTER FREILANDBEDINGUNGEN.

### 11.1. Problematik

In verschiedenen Fachbüchern wird ohne Angabe von experimenteller Grundlage (u.a. Mengel, 1991; Marschner, 1995) die Feststellung gemacht, dass bei Herbstdüngung mit chloridischen Mineraldüngern das Chlorid über den Winter aus dem durchwurzelten Bodenoberhorizont ausreichend ausgewaschen sei, um so auch problemlos chloridempfindliche Kulturen mit z.B. chloridhaltigen Kalidünger düngen zu können.

Die Ergebnisse des Johannisbeerenfeldversuches am KOB, Bavendorf/Ravensburg (Kapitel 9; Abb. 9.5.; Tab. 9.3.) sowie der Erdbeerenfeldversuche in Wittlaer und Horb/Neckar (Kapitel 10) zeigen in der Tat eine deutliche Tiefen-Verlagerung von Chlorid über den Winter in dem gemäßigt-humiden Klima von Westdeutschland.

Zur Untermauerung dieser Versuchsergebnisse von den Feldversuchen mit Johannisbeeren (KOB, Ravensburg-Bavendorf) und Erdbeeren (Wittlaerer Hof, Düsseldorf-Wittlaer und Beerenobstbetriebe Maier, Horb/Neckar) sollte in einem Modellversuch mit Bodensäulen diese Chlorid-Tiefenverlagerung unter natürlichen Witterungsverhältnissen simuliert werden.

### 11.2. Versuchsfragen und Arbeitshypothesen

Zu beantworten war, ob durch den Winterniederschlag auf Bodensäulen aufgebrachtes Na-Chlorid (NaCl) ausreichend tief in untere Bodenschichten verlagert werden kann, um für Johannisbeeren oder Erdbeerpflanzen nicht mehr toxisch zu wirken.

Angenommen wurde, dass das Chlorid in der Tat bei normalem Winterniederschlag mit ca. 370 (Düsseldorf) bzw. 430 mm (Horb/Neckar) von Nov. bis April ausreichend tief ( $> 30$  cm) für das chloridempfindliche Beerenobst verlagert wird. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der größte Anteil (75-90% je nach Sorten) der aktiven Wurzeln von Johannisbeeren und Erdbeeren nicht tiefer als 15 cm wächst (Zimmermann, 2004).

### 11.3. Versuchsansatz und Versuchsdurchführung

Hierzu wurden 2-teilige PVC Röhren ( $\varnothing 10.5$  cm) mit Boden vom Wittlaerer Hof schichtweise und auf ca. 1.3 kg/L Bodendichte gefüllt und in

Wittlaer im Freien vom 13.11.1997 bis 23.06.1998 aufgestellt (siehe Abb. 4.5. und 4.6.; Kapitel 4). In diesem Zeitraum fielen in Wittlaer insgesamt 516 mm Regen entsprechend den Angaben des Deutschen Wetterdienstes, Essen (Tab. 4.2.).

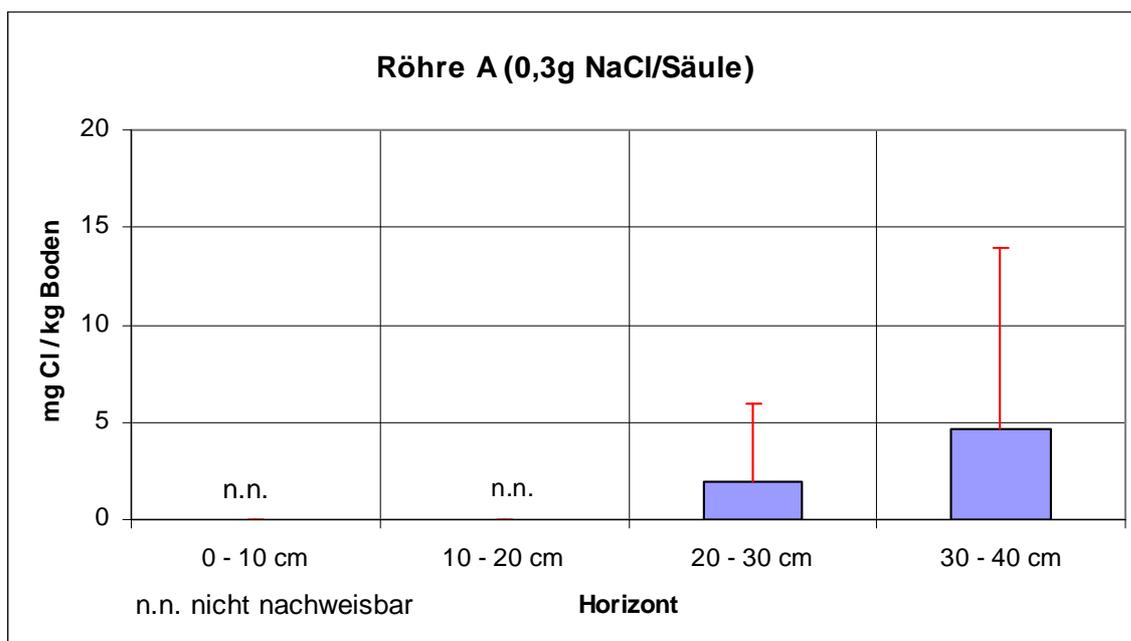
Zu Beginn des Modellversuches wurde auf der Oberfläche jeder Röhre mit 4,50 kg Bodeninhalt 0,3 g, 0,6 g oder 1,8 g NaCl aufgebracht (3 Behandlungen mit 4 Wiederholungen), was einer Menge von ca. 40 g, 80 g, oder 240 g NaCl pro m<sup>2</sup> bzw. 400 kg, 800 kg oder 2400 kg NaCl pro ha entsprach. Am Versuchsende wurde von jeder der 12 Röhren 4 Bodeneinstiche mit einem Bodenprobenbohrer ( $\varnothing_a = 17$  mm) zu einer Mischprobe unterteilt nach 0–10, 10–20, 20–30 und 30–40 cm vorgenommen. Diese Mischprobe wurde später auf Chlorid analysiert.

#### 11.4. Material und Methoden

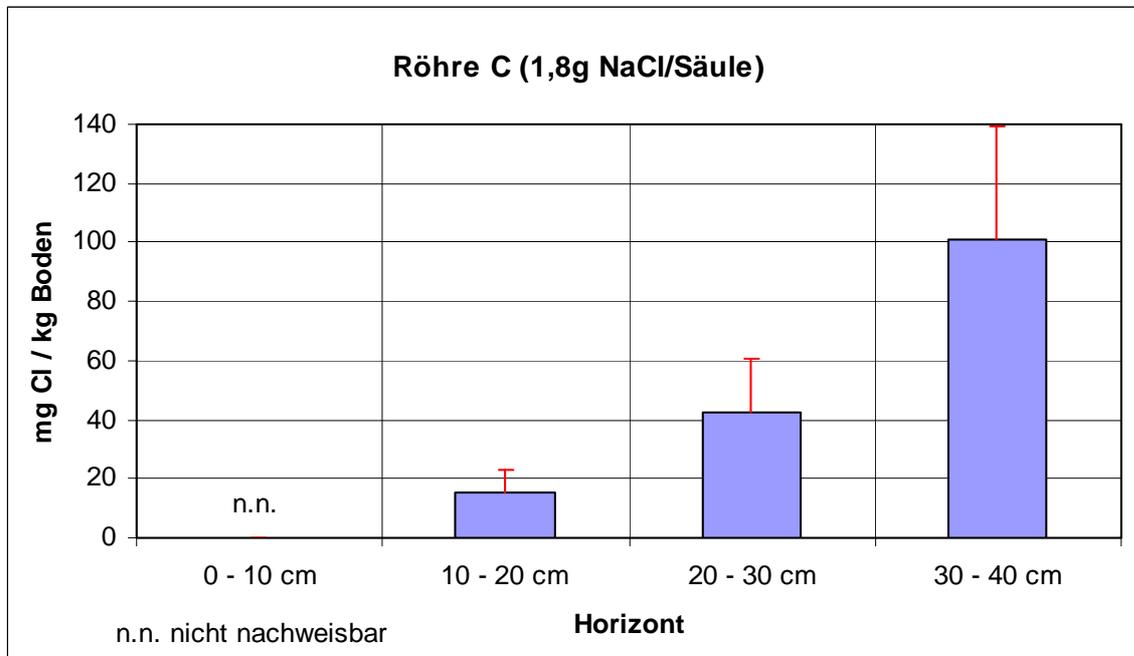
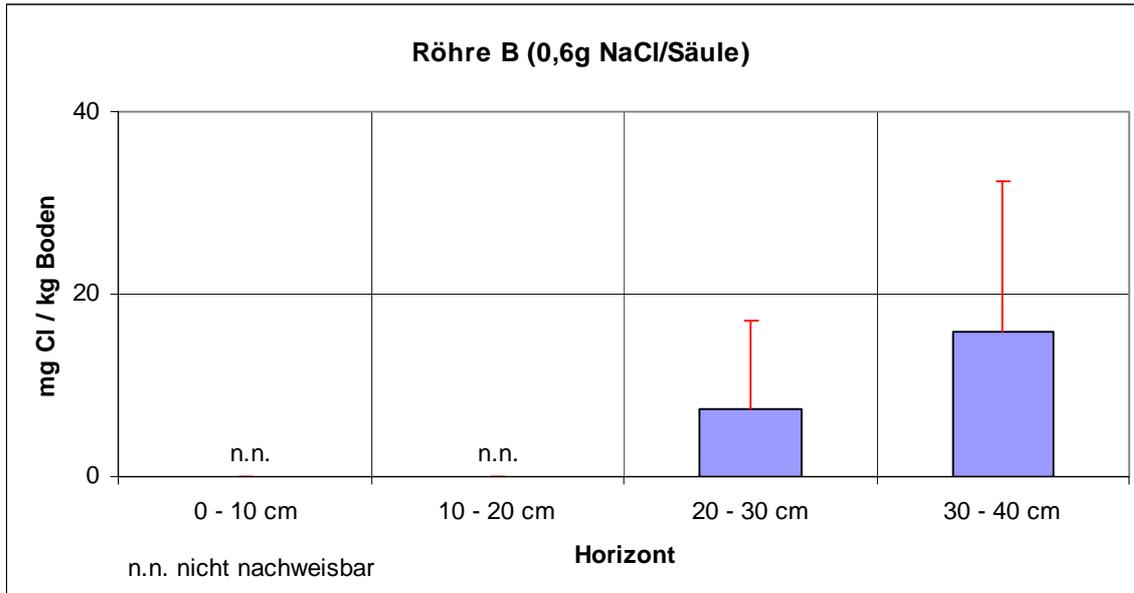
Der Boden zur Füllung der 12 Bodensäulen wurde vom Oberboden des Erdebeerfeldes in Wittlaer entnommen, auf dem der Chloridsteigerungsversuch durchgeführt wurde (siehe Kapitel 10), und auf 2 mm gesiebt. Die Bodenart und der Nährstoffgehalt des Bodens sind in Tabelle 4.1. zusammengefasst.

Die Analysenmethode für Chlorid in den wässrigen Bodenextrakten wurde in Kapitel 5 beschrieben.

#### 11.5. Ergebnisse



Teil A. von Abb. 11.1.; Legende auf nächster Seite



*Abb. 11.1.: Chloridkonzentrationen in den einzelnen Bodensäulen mit unterschiedlichen Applikationsraten von A. 0,3 g; B. 0,6 g oder C. 1,8 g NaCl auf die Bodenoberfläche der Säulen nach ca. 7 Monate Aufstellen im Freien auf dem Wittlaer Hof (515 mm Niederschlag als Regen). Die Bodenproben wurden getrennt nach 4 Bodentiefen genommen und später auf Chlorid analysiert*

Wie aus der Abb. 11.1. zu entnehmen ist, liegen die höchsten nachgewiesenen Chloridkonzentrationen am Versuchsende im Juni 1998 bei allen drei Applikationsraten (0,3 g, 0,6 g und 1,8 g NaCl pro Röhre) in der tiefsten Bodenschicht (30–40 cm) vor, was die bereits früher beobachtete Chlorid-

## Kapitel 11. Bodensäulenversuch zur Cl-Verlagerung unter Freilandbedingungen

tiefenverlagerung über den vegetationsruhenden Winter unter Johannisbeere (Kapitel 9) und Erdbeere (Kapitel 10) bestätigt.

Eine Überschlagsrechnung getrennt für die drei Applikationsraten (0,3g; 0,6 g und 1,8 g NaCl pro Röhre) ergab eine abnehmende Auswaschrage von 97,5; 95,6 und 90,1% mit steigender NaCl Gabe, aus dem Boden der Bodensäulen.

### *A. Niedrigste Applikationsrate (0,3 g NaCl pro Säule):*

Applikationsrate: 0,3 g NaCl = 300 mg NaCl pro Säule

Wiederfindung am Versuchsende:

0 – 10	n.n.
10 – 20	n.n.
20 – 30	2,0 mg/kg = $2,0 \cdot 1,125 \text{ kg} = 2,25 \text{ mg NaCl}$
30 – 40	4,6 mg/kg = $4,6 \cdot 1,125 \text{ kg} = \underline{5,18 \text{ mg NaCl}}$

7,43 mg

7,43 mg von 300 mg = 2,48%

Auswaschungsrate: = 97,5 ausgewaschen

### *B. Mittlere Applikationsrate (0,6 g NaCl pro Säule):*

Applikationsrate: 0,6 g NaCl = 600 mg NaCl pro Säule

Wiederfindung am Versuchsende:

0 – 10	n.n.
10 – 20	n.n.
20 – 30	7,5 mg/kg = $7,5 \cdot 1,125 \text{ kg} = 8,44 \text{ mg NaCl}$
30 – 40	15,9 mg/kg = $15,5 \cdot 1,125 \text{ kg} = \underline{17,89 \text{ mg NaCl}}$

26,33 mg

26,33 mg von 600 mg = 4,39%

Auswaschungsrate: 95,6%

### *C. Höchste Applikationsrate: (1,8 g NaCl pro Säule):*

Applikationsrate: 1,8 g NaCl = 1800 mg NaCl pro Säule

Wiederfindung am Versuchsende:

0 – 10	n.n.
10 – 20	15,1 mg/kg = $15,1 \cdot 1,125 \text{ kg} = 17,00 \text{ mg NaCl}$
20 – 30	43,1 mg/kg = $43,1 \cdot 1,125 \text{ kg} = 48,49 \text{ mg NaCl}$
30 – 40	100,0 mg/kg = $100,8 \cdot 1,125 \text{ kg} = \underline{113,40 \text{ mg NaCl}}$

178,89 mg

178,89 mg von 1800 mg = 9,94%

Auswaschungsrate: 90,1%

Die sehr hohe Auswaschungsrate zwischen 91 und 98% in dem modellhaften Säulenversuch kam durch den höheren tatsächlichen Niederschlag von 515,6 mm während der Aufstellung der Säulen vom 13.11.97 bis zum 23.06.98 zustande. Der durchschnittliche Winterniederschlag (Anf. Nov. – Ende April) wird vom Deutschen Wetterdienst für Wittlaer nur mit 361 mm und für Horb/Neckar mit 429 mm angegeben (Tab. 4.1.).

## 11.6. Diskussion

Die gefundene Chlorid-Auswaschungsrate bzw. Chlorid-Tiefenverlagerung von auf Bodensäulen appliziertem NaCl in 3 verschiedenen Höhen bestätigt eindrucksvoll die von Mengel (1991) und Marschner (1995) und anderen Autoren angenommene Chlorid-Verlagerung über die Wintermonate ohne nennenswerte Evaporation und Transpiration. In Übereinstimmung mit dieser gefundenen Chlorid-Verlagerung in tiefere Bodenschichten (Abb. 11.1.) sind auch die Ergebnisse von Johannisbeerfeldversuchen (KOB, Bavendorf / Ravensburg, Kapitel 9) und Erdbeerfeldversuchen in Wittlaer und Horb / Neckar (Kapitel 10) hinsichtlich der Chloridauswaschung.

Im Gegensatz zur Nitrat- und Sulfatauswaschung kann diese gefundene Chloridauswaschung als umweltneutral bezeichnet werden; zumindest hat die Wasserwirtschaft bislang keine Bedenken geäußert. Mit der Auswaschung von Chlorid vor allem mit der Herkunft von Kalidüngemitteln wie 40 er oder 60 er Kali oder Kalirohsalz wird auf Böden mit einem gewissen Anteil von 3-Schichtentonmineralen praktisch kein K ausgewaschen. Somit ist diese Chloridauswaschung in tiefere Bodenschichten über die Wintermonate bei einer Herbstanwendung für flachwurzelnende, Chlorid-empfindliche Kulturen ein guter Schutz vor Chlorid-Toxizität. Vergleichbare Ergebnisse fand auch J. Ruan (2005) bei Teeplantagen in Hangzhou/China, wo im Gegensatz zu Gefäßversuchen im Feldversuch mit natürlich hohen Niederschlägen keine Chloridtoxizität beobachtet werden konnte.

Für die bekannte Anwendung von Chloriden zur Unterdrückung der Nitrifikation und der damit verbundenen Ansäuerung der Rhizosphäre als Schutz vor Schwarzbeinigkeit („Take-all“) bei Getreide (Huber und Wilhelm, 1988) wäre jedoch eine Chloridauswaschung von Nachteil. Diesem möglichen Nachteil wird aber in der Praxis (z.B. Ohio/USA) vorgebeugt, indem man in diesem Fall einer beabsichtigten Unterdrückung der Schwarzbeinigkeit eine hohe Frühjahrsanwendung von Chlorid gemeinsam mit einer Ammonium- oder Harnstoffdüngung vornimmt.

### 11.7. Ausblick

Die in drei Kapiteln (Kap. 9, 10, 11) nachgewiesene effektive Chloridauswaschung über den Winter in Bodenschichten unter den Bodenhorizont mit den wesentlich aktiven Wurzeln erlaubt es mit gutem Recht, auf das teure  $K_2SO_4$  oder anderen sulfatischen Kalidüngemittel zugunsten von 40er Kali oder Kornkali zu verzichten. Das gefundene Auswaschungspotenzial war an den 3 Untersuchungsstandorten mit humidem Klima Bavendorf/Ravensburg; Horb/Neckar und Düsseldorf-Wittlaer hoch genug, um selbst bei nicht praxis-relevanter Kalidüngung in Form von Kalirohsalz zu Beerenobst eine ausreichende Auswaschung von Chloriden zu erreichen und Chloridtoxizität bei chloridempfindlichen Beerenkulturen zu vermeiden.

Diese Schlussfolgerung dürfte für den Landwirt/Obstbauer, vor allem bei den explosionsartig steigenden Kalidüngerpreisen, eine positive Nachricht sein und für die Kaliindustrie bei der zurzeit guten Wirtschaftslage leicht zu verschmerzen sein.

## 12. EINFLUSS VON ERHÖHTER CHLORID-DÜNGUNG AUF DIE AUFNAHME UND VERLAGERUNG VON CADMIUM IN JOHANNISBEEREN

### 12.1. Problematik

Aus der Chemie ist bekannt, dass Cadmium (Cd) mit Chlorid stabile anorganische Komplexe bildet und damit Chlorid im Boden zu einer erhöhten Pflanzen-Verfügbarkeit von Cd führt (McLaughlin et al., 1997; Smolders et al., 1997; Hattori et al., 2006). Als Folge dieser verbesserten Cd-Verfügbarkeit durch Chlorid wird in Modellversuchen durch Chlorid eine erhöhte Cd-Aufnahme in Kulturpflanzen (u.a. Weizen) gefunden (Ozkutlu et al., 2007). Liu et al. (2007) haben diesen Aspekt einer durch Chlorid verbesserten Cd-Verfügbarkeit unter stärker praxisrelevanten Gesichtspunkten (Klärschlammkontaminierte und Bergbau belastete Böden sowie mit Kulturpflanzen und Cd-Hyperakkumulator-Pflanzen) ebenfalls im Gefäßversuch untersucht.

Bei all diesen Modell- bzw. Gefäßversuchen bleibt die Frage offen, inwieweit unter Feldbedingungen eine praxisrelevante Chloriddüngung als Kornkali (KCl + NaCl) im Gegensatz zum chloridfreien Kalimagnesia (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + MgSO<sub>4</sub>) zu erhöhten Cd-Gehalten in Kulturpflanzen (hier Johannisbeere) führen. Ebenso ungeklärt ist somit auch, inwieweit bei der Auswahl der Kalidüngemittel dieser Zusammenhang zwischen Chlorid und Cadmium zu berücksichtigen ist.

### 12.2. Versuchsfragen und Arbeitshypothesen

Ableitend von dem chemischen Zusammenhang zwischen Cadmium und Chlorid wurden folgende Arbeitshypothesen formuliert:

- a). Chloridangebot im Boden führt zu einer messbaren erhöhten Cd-Löslichkeit.
- b). Diese messbar erhöhte Cd-Löslichkeit führt nur zu einer geringen, nicht-relevanten bzw. nicht signifikanten Erhöhung der Cd-Gehalte in vegetativen Pflanzenteilen (z.B. Johannisbeereblättern) und zu keiner messbaren Erhöhung der Cd-Gehalte in Fruchtorganen (z.B. Johannisbeer-Früchten).

Bei Verifizierung dieser Arbeitshypothesen wäre eine Berücksichtigung des Chloridgehaltes einzelner Kalidünger aus Qualitätsgesichtspunkten nicht notwendig.

### 12.3. Versuchsansatz und Versuchsdurchführung

Für die Beantwortung obiger Arbeitshypothesen wurden die Johannisbeer-Blätter und Früchte des langjährigen Johannisbeerensorten-Versuchs am KOB, Ravensburg (Kapitel 9) sowie Blätter der 3. Ernte (2000) des mehrjährigen Gefäßversuches in Hohenheim (Kapitel 8) herangezogen. Einzelheiten zum Versuchsansatz und Versuchsdurchführung sind im Kapitel 8 und 9 unter den Abschnitten 8.3 bzw. 9.3 nachzulesen.

Anfänglich war auch geplant, die Erdbeerpflanzen der Feldversuche in Wittlaer und Horb/Neckar mit unterschiedlich hoher Chloriddüngung (Kapitel 10) auf Cd zu untersuchen. Zum Zeitpunkt der Cd-Untersuchungen waren die aufgearbeiteten Pflanzenproben dieser Erdbeerblätter jedoch nicht mehr auffindbar.

### 12.4. Material und Methoden

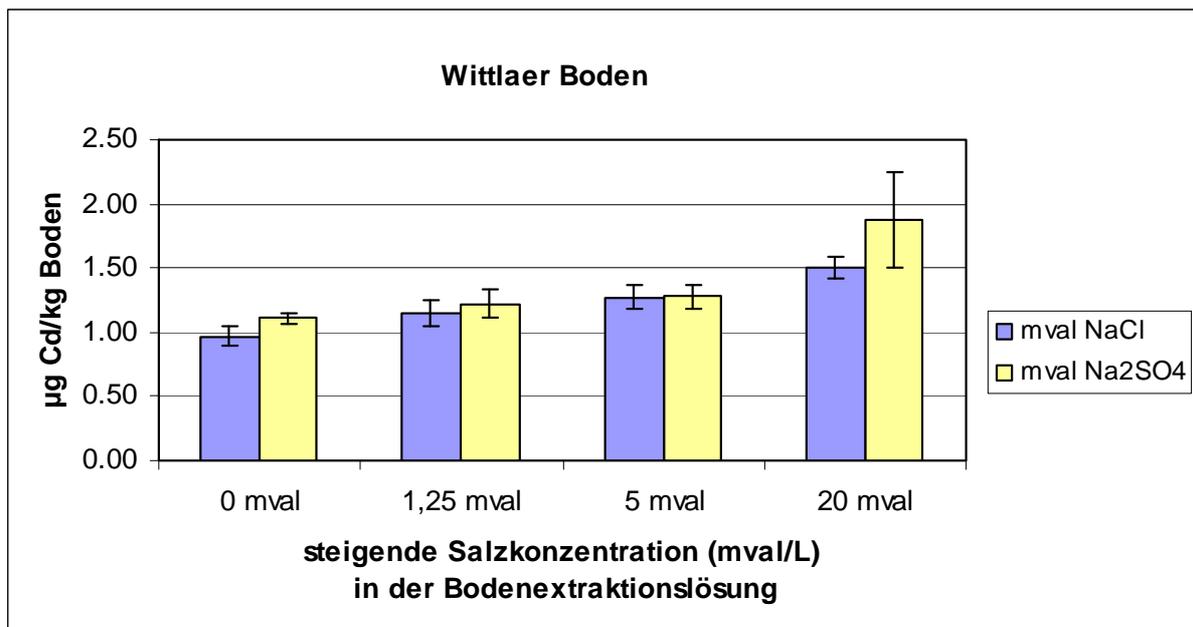
Die aufgearbeiteten Blattproben ausgewählter Proben des Johannisbeer-gefäßversuches von Hohenheim (Kapitel 8) sowie Blattproben und Fruchtpresssäfte des Johannisbeeren-Sortenversuches am KOB (Kapitel 9) als auch die wässrigen Extrakte der Bodenproben wurden entsprechend der unter 5.2.1. beschriebenen Methodik auf Cd (Cd-144) und Zn (Zn-66) am Massenspektrometer (ICP-MS) gemessen.

### 12.5. Ergebnisse

#### 12.5.1. Einfluss von Cl und Na auf die Cd-Löslichkeit in Böden

Zur Untersuchung des Einflusses von Chlorid (Bildung von löslichen Cd-Chlorokomplexen) und Natrium (Cd-Desorption) wurden wässrigen Bodenextrakten steigende äquivalente Mengen von NaCl bzw. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zugesetzt und nach 1-stündigem Schütteln auf einer Schüttelmaschine filtriert und auf lösliche Cd analysiert. Die Bodenextrakte des Versuchsbodens aus Bavendorf konnten wegen Störung durch hohe Gehalte an organischer Substanz nicht ausgewertet werden (Bremer, 2007; mündliche Mitteilung). Wie aus Abb. 12.1. erkennbar stieg bei dem Versuchsboden aus Wittlaer sowohl mit steigender Zugabe von NaCl als auch von Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> signifikant die Konzentration von extrahierbarem Cd von 1,0 auf 1,7 µg Cd/kg Boden an. Bei Zusatz von Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> war dieser Anstieg tendenziell etwas stärker als bei NaCl ausgeprägt, insbesondere bei der höchsten Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Zugabe. Dies deutet an, dass die Desorption von Cd durch Na offensichtlich eine größere Bedeutung für die Cd-Löslichkeit spielte als die Bildung von Cd-Chlorokomplexen.

Insgesamt wurden bei dem Versuchsboden von Wittlaer, auf dem der Erdbeerversuch durchgeführt wurde (Kapitel 10), deutlich höhere (Faktor 2–3) Werte als auf dem Boden vom langjährigen Johannisbeeren-Sortenversuch auf dem KOB, Ravensburg (Kapitel 9) gefunden. Dieser Unterschied steht in Übereinstimmung mit den gefundenen Werten des  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  extrahierbarem Cd (Tab. 4.1.).



*Abb. 12.1.: Einfluss einer steigenden Zugabe von NaCl und Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> auf die Cd-Konzentration in einer wässrigen Extraktionslösung des Versuchsbodens aus Wittlaer (10 g Boden + 25 ml Extraktionslösung)*

### 12.5.2. Einfluss von steigendem NaCl-Angebot auf die Cd-Konzentration in Johannisbeerblättern

#### *Blätter des mehrjährigen Gefäßversuches (Kapitel 8)*

Exemplarisch wurden von 2 Sorten (Rolan und Titania) von der 3. Ernte im Jahr 2000 die Blätter ergänzend auf Cadmium (Cd-144) und Zink (Zn-66) am ICP-MS analysiert. Aus Abb. 12.2. läßt sich kein signifikanter Einfluss der steigenden  $\text{CaCl}_2$ -Zugabe auf die Cd- und Zn-Konzentrationen in den Blättern erkennen.

#### *Blätter des langjährigen Johannisbeer-Sortenversuches (Kapitel 9)*

Auch in den Blättern des langjährigen Johannisbeer-Sortenversuches mit unterschiedlicher Chloriddüngung als NaCl konnte im Jahr 2005 (Blattprobe-

nahme 15.08.2005) kein Einfluss einer steigenden Chlorid-Frühjahrsdüngung auf die Cd- und Zn-Konzentrationen in den Blättern gefunden werden (Abb. 12.3.).

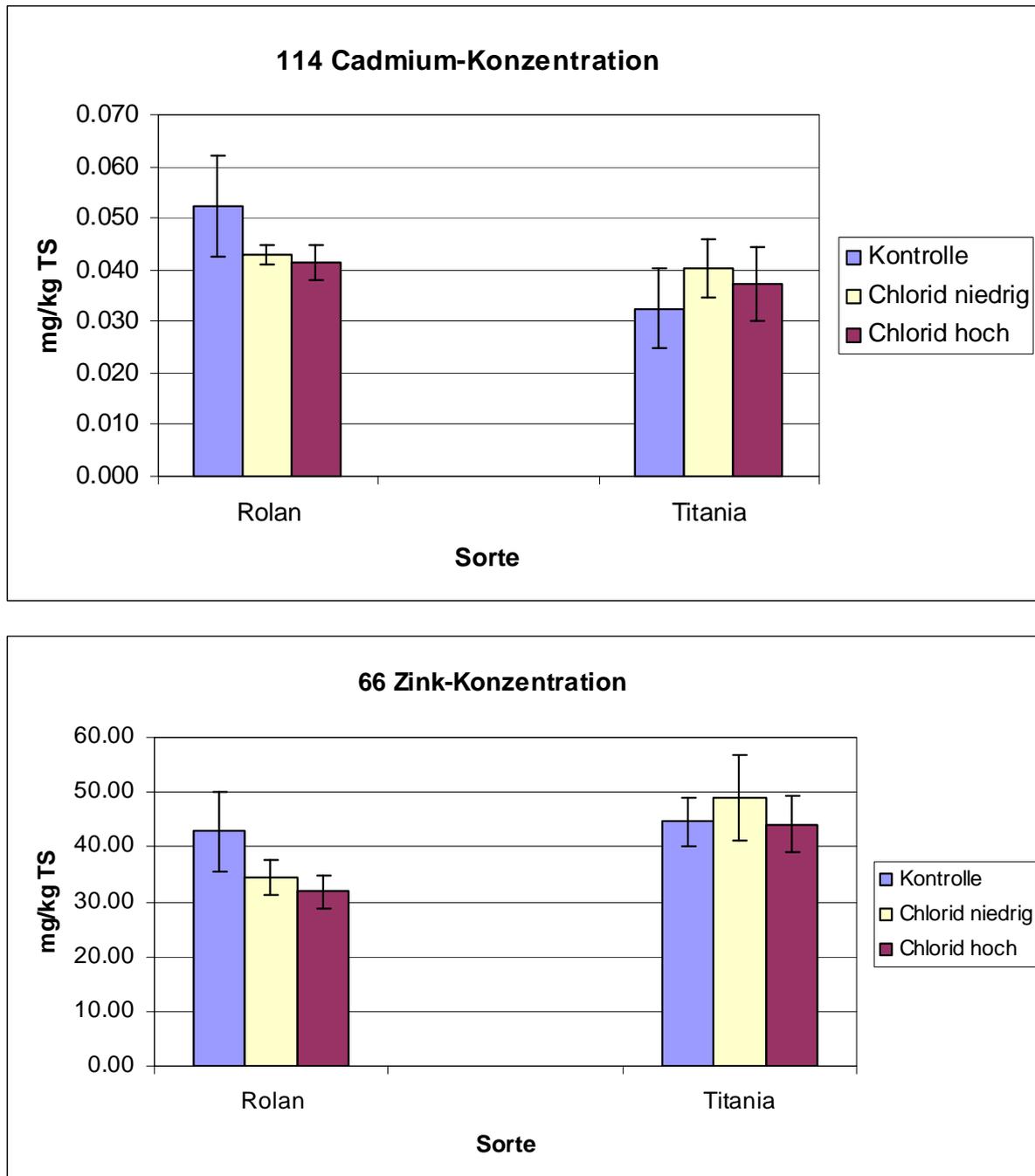
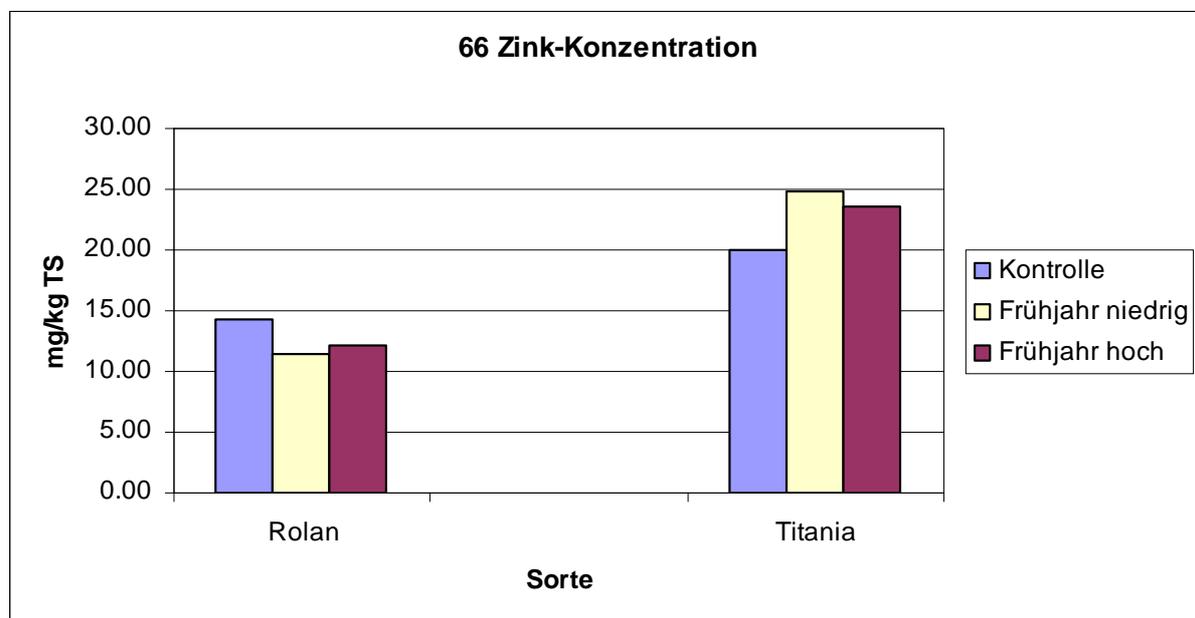
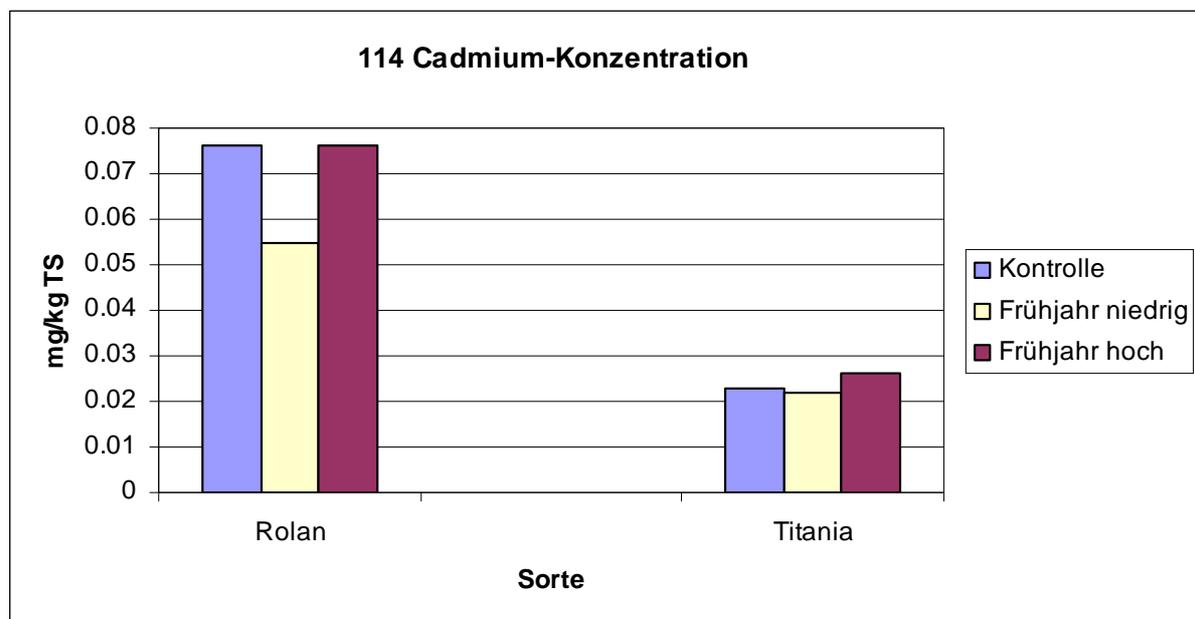


Abb. 12.2.: Einfluss steigender Chloriddüngung als  $\text{CaCl}_2$  auf die Cd- und Zn-Konzentrationen in Johannisbeerblättern der Sorten Rolan (rot) und Titania (schwarz) des mehrjährigen Gefäßversuches in Hohenheim (3. Ernte, 2000)

Beim Vergleich beider Sorten fällt auf, dass sich die gefundenen Cd-Konzentrationen im umgekehrten Verhältnis zu den analysierten Zn-Konzentrationen verhalten. Offensichtlich führt eine höhere Zn-Aufnahme bei

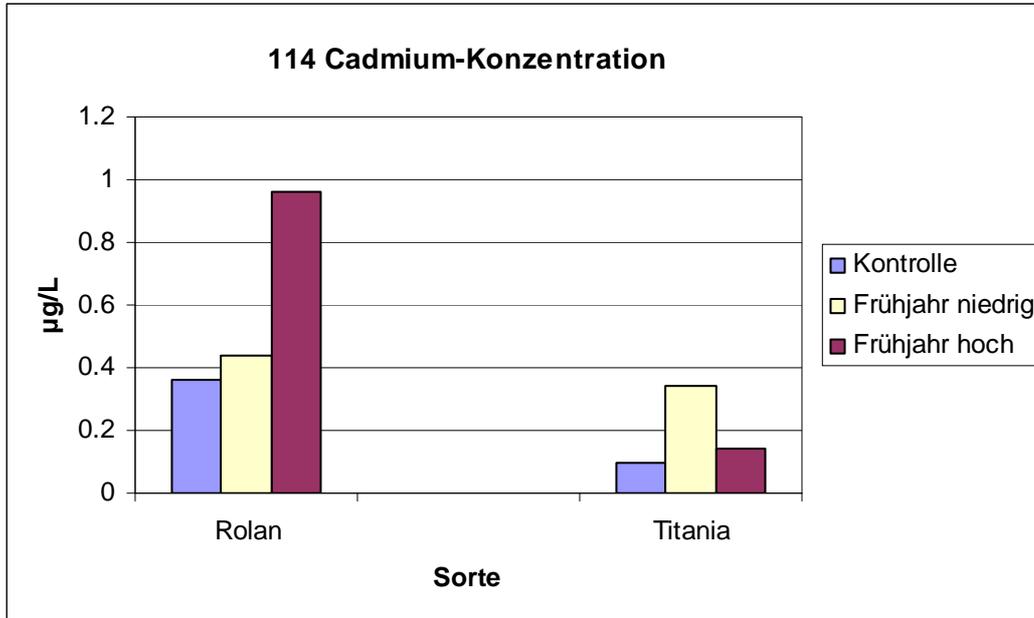
der Sorte Titania zu einer geringeren Cd-Aufnahme, besonders stark ausgeprägt in Bavendorf (Abb. 12.3.). Im Gegensatz führte bei der Sorte Rolan eine geringe Zn-Aufnahme zu einer höheren Cd-Aufnahme (Abb. 12.3., 12.4.). Diese Ergebnisse bestätigen eindrucksvoll das von Cakmak bei Getreide gefundene antagonistische Verhalten von Cd und Zink (Cakmak et al., 2000; Jiao et al., 2004; Hart et al., 2002).



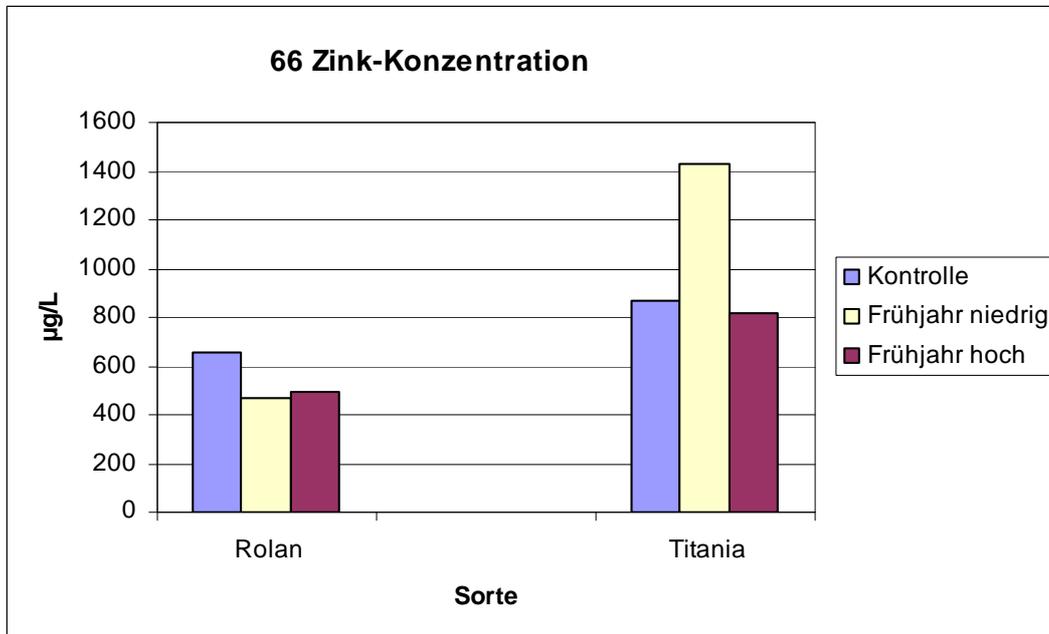
*Abb. 12.3.: Einfluss steigender Chloriddüngung als NaCl im Frühjahr auf die Cd- und Zn-Konzentrationen in Johannisbeerblättern der Sorten Rolan (rot) und Titania (schwarz) des langjährigen Feldversuches am KOB, Ravensburg (Ernte 15.08.2005)*

*Früchte des langjährigen Johannisbeer-Sortenversuches (Kapitel 9)*

Im Jahr 2005 wurden ergänzend zu den Blättern auch Johannisbeerfrüchte geerntet (15.08.2005) und im Presssaft der Früchte Cd und Zn gemessen.



Anm.: Presssaft von Sorte „Rolan“ bei hohem Chloridangebot dunkelgefärbt.



*Abb. 12.4.: Einfluss einer steigenden Chloriddüngung als NaCl im Frühjahr auf die Cd- und Zn-Konzentrationen im Fruchtpresssaft der Sorten Rolan (rot) und Titania (schwarz) von den langjährigen Johannisbeeren-Sortenversuchen am KOB, Ravensburg (Ernte 15.08.2005)*

Auch bei den Fruchtpresssäften ist ein reziprokes Verhältnis der Cd- und Zn-Konzentrationen bei beiden Sorten Rolan und Titania andeutungsweise zu erkennen (Abb. 12.4.), ebenso beim Vergleich aller 5 Sorten (Abb. 12.5.). Bei dem ersten Versuchsdurchgang mit den Fruchtpresssäften der beiden Sorten Rolan und Titania ergab sich für die Sorte Rolan, aber nicht für die Sorte Titania eine deutliche Erhöhung der Cd-Konzentration bei hohem Chloridangebot im Frühjahr (Abb. 12.4.).

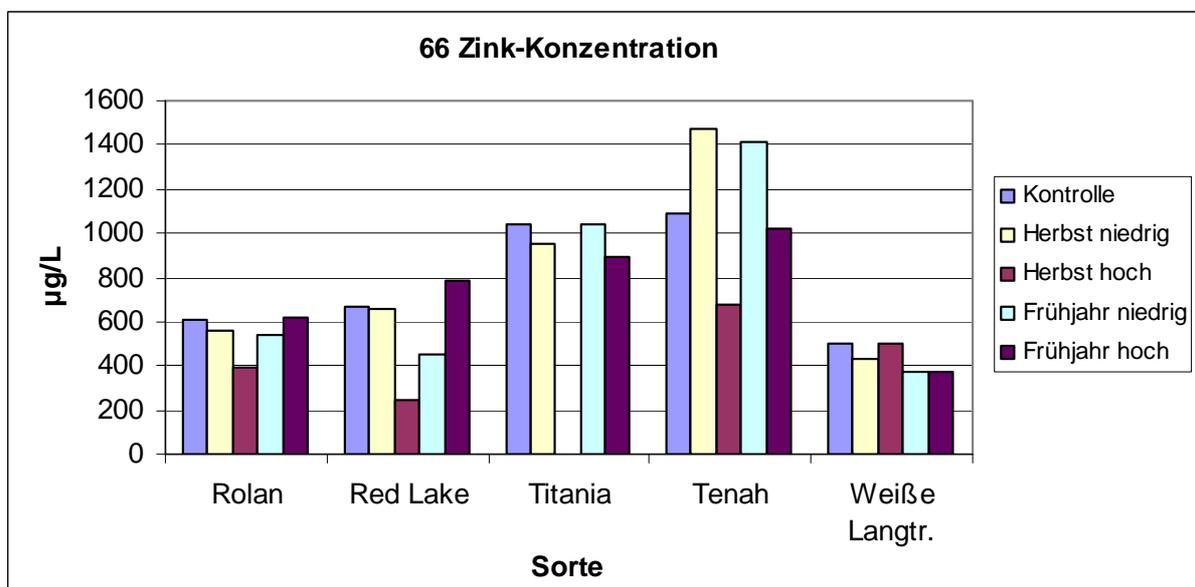
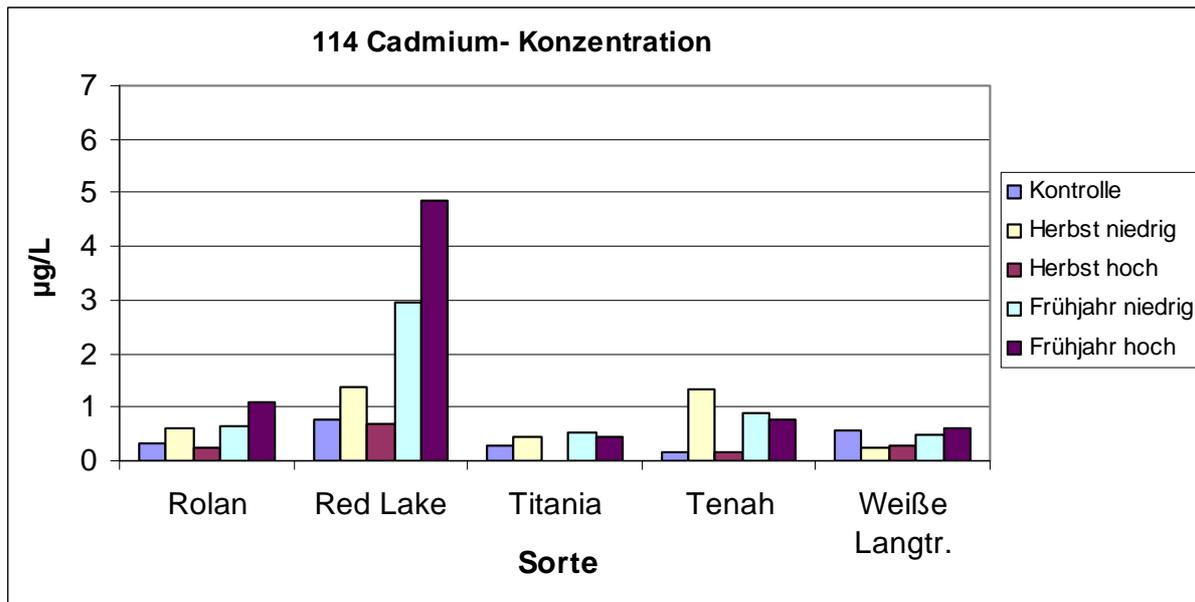


Abb. 12.5.: Einfluss einer steigenden Chloriddüngung als NaCl im Frühjahr oder im Herbst auf die Cd-Konzentrationen im Fruchtpresssaft aller 5 angebauten Sorten des langjährigen Johannisbeeren-Sortenversuches am KOB, Ravensburg(Ernte 15.08.2005)

Es war nicht zu klären, inwieweit die starke Dunkelfärbung des Fruchtpresssaftes der Sorte Rolan bei dem hohes Chloridangebot im Frühjahr fälschlicherweise zu erhöhten Cd-Messwerten führte. Als Konsequenz wurde die Messung der Fruchtpresssäfte mit Einbezug aller 5 Sorten wiederholt (Abb. 12.5).

Bei der Betrachtung der Cd- und Zn-Konzentrationen in den Fruchtpresssäften aller 5 Sorten (Abb. 12.5.) ist tatsächlich kein Zusammenhang zwischen den Cd- und Zn-Konzentrationen mit dem unterschiedlichen Chloridangebot zu erkennen. Dies steht in Übereinstimmung mit dem Ergebnis der Blätter (Abb. 12.2. und 12.3.).

## 12.6. Diskussion

Zu prüfen war, inwieweit ein höheres Chlorid- und Natriumangebot durch den Wechsel von  $K_2SO_4$  zu Kornkali bzw. Kalirohsalz im Beerenobstanbau über eine verstärkte Cd-Desorption durch Natrium bzw. über die Bildung von Cd-Chlorokomplexen zu einer verstärkten Belastung durch höhere Cd-Gehalte führt. Ein solcher negativer Effekt wurde in Modell- bzw. Gefäßversuchen bei Getreide (Ozkutlu et al., 2007) sowie bei Weizen und Cd-Hyperakkumulatoren (Liu et al., 2007) gefunden. Auch in Feldversuchen konnte vereinzelt solch ein negativer Effekt von Chlorid auf die Cd-Aufnahmen durch Gemüsemangold beobachtet werden (Smolders et al., 1997).

Im vorliegenden langjährigen Johannisbeeren-Sortenversuch am KOB, Ravensburg sowie in Wittlaer konnte in den Böden eine durch NaCl und  $Na_2SO_4$  erhöhte Cd-Löslichkeit nachgewiesen werden (Abb. 12.1.). Dies entspricht auch der Eingangshypothese (Kapitel 12.2.a), wobei aber nicht nur Chlorid, sondern vor allem Natrium zu dieser erhöhten Cd-Löslichkeit über eine Cd-Desorption führte.

Diese um ca. Faktor 1,5 erhöhte Cd-Löslichkeit führte aber im Gegensatz zu den Ergebnissen von Ozkutlu et al. (2007) und Liu et al., (2007) zu keiner erhöhten Aufnahme bei den einzelnen Johannisbeersorten im Gefäßversuch (ohne ChloridAuswaschung) oder im Feldversuch am KOB, Ravensburg mit regelmäßiger ChloridAuswaschung über die Wintermonate (Abb. 12.2. und 12.3.). Auch konnte in den Johannisbeerfrüchten unter praxisrelevanten Feldbedingungen wie am KOB, Ravensburg kein signifikanter Effekt der abgestuften Chloriddüngung als NaCl auf die Cd-Konzentrationen nachgewiesen werden.

Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass zumindest im Johannisbeeranbau bei der Auswahl der Kalidüngemittel unter praxis-relevanten Bedingungen

nicht der Chloridanteil berücksichtigt werden muss. Selbst bei einer praxisüblichen Anwendung von Kalirohsalzen als K-Dünger konnten keine negativen Auswirkungen auf Wachstum, Chloridschädigung (Kapitel 8 und 9) und auf Cadmiumkonzentrationen in Blättern (Abb. 12.2. und 12.3.) und in Früchten (Abb. 12.4. und 12.5.) beobachtet werden.

Diese Ergebnisse unterstreichen, dass unter praxisrelevanten Feldbedingungen mit Winterniederschlägen in einem gemäßigt-humiden Klima keine Notwendigkeit besteht, ausschließlich chloridfreie Kaliumdünger wie  $K_2SO_4$  oder Kalimagnesia zu verwenden.

Ein weiter sehr interessanter Punkt ist der gefundene Zusammenhang zwischen Zn- und Cd-Aufnahme, wie bei den Blattuntersuchungen am KOB, Ravensburg bei der Johannisbeere angedeutet (Abb. 12.3.). Wie die Ergebnisse von Ozkutlu et al. (2007), Cakmak et al. (2000) und Hart et al. (2002) bei Weizen nahelegen, besteht bei der Aufnahme in das Getreidekorn während der Samenentwicklung eine ausgeprägte Konkurrenz zwischen Zink und Cadmium.

Bei der Tatsache einer nachgewiesenen Zinkunterversorgung der Johannisbeersträucher auf dem KOB, Ravensburg (Abb. 12.3.) könnte durch eine regelmäßige Zink-Blattdüngung nicht nur das Wachstum und die Fruchtqualität der dortigen Obstkulturen (u.a. auch die Apfelstippe; siehe unten) verbessert, sondern auch eine mögliche erhöhte Cd-Belastung vermindert werden.

## 12.7. Ausblick

Die häufig, auf der Basis von Modellversuchen diskutierte negative Auswirkung einer erhöhten Chloriddüngung auf die Verfügbarkeit und Aufnahme von Cadmium durch Kulturpflanzen scheint zumindest beim Beerenobstanbau unter praxisrelevanten Bedingungen nicht vorzuliegen. Ein Grund mehr von der viel zitierten sulfatischen Kaliumdüngung bei gartenbaulichen Sonderkulturen wie Beerenobst Abstand zu nehmen.

Auch ist offensichtlich weniger allein auf Chlorid, sondern vielmehr auf das Begleitkation Natrium von NaCl zu achten, da dies einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Cd-Löslichkeit im Boden durch Cd-Desorption als durch Bildung von Cd-Chlorokomplexen hat.

Darüber hinaus durfte hinsichtlich Fruchtqualität eine ausgewogene Zn-Versorgung eine viel wichtigere Rolle als eine mögliche Cd-Belastung spielen. Wie das Nebenergebnis der äußerst geringen Zn-Versorgung der Johannisbeeren-Sorten Rolan mit weniger als 15 mg/kg Blatt-TS (Mangelbereich!; Finck, 1976) und 20 mg/kg Blatt-TS bei der Sorte Titania (Ertrags-Grenzwert!;

Finck, 1976) zeigt, sollte am Standort KOB, Ravensburg verstärkt eine Zinkdüngung (evtl. als regelmäßige Blattdüngung) durchgeführt werden. Dies wäre auch beim dortigen Apfelanbau von Bedeutung, um der zunehmenden Bedeutung von Mikronährstoffen wie Zink und Bor für die Qualität (u.a. Lagerfähigkeit) von Früchten über die Stabilisierung von Zellmembran und Zellwand gerecht zu werden. Stippigkeit z.B. bei Apfel oder Blüten- und Fruchtfäule bei Tomatenfrüchten (Mengel, 1979; Marschner, 1995) werden nicht alleine durch eine niedrige Ca-Versorgung sondern auch durch ein niedriges Zn-Angebot (Aktas et al., 1998) und vermutlich auch durch einen niedrigen Bor-Versorgungsgrad begünstigt. So wurde z.B. bei Weißkohl die interne Verbräunung durch Zn- und B-Mangel begünstigt (Römheld, 2005; persönl. Mitteilung). Dieser zitierte Zusammenhang unterstreicht die Notwendigkeit einer stärker integrierten und physiologisch - begründeten Betrachtung eines Problems wie z.B. die Chlorid / Cadmiumproblematik unter Berücksichtigung des Zinks.

## 13. SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK

### 13.1. Chlorid-Problematik der Johannisbeeren

Müssen Johannisbeeren chloridfrei gedüngt werden? Diese Grundsatzfrage sollte in der vorliegenden Dissertation mit Hilfe einer Literaturrecherche und verschiedener experimentelle Arbeiten beantwortet werden. Die Sichtung der relevanten Literatur zur Chloridproblematik ergab überraschenderweise keine wissenschaftlich nachvollziehbare Begründung für die Notwendigkeit der häufig geforderten chloridfreien Kaliumdüngung (Marschner, 1995; Finck, 1992; Schilling, 2000).

### 13.2. Chlorid-Toxizitätsgrenzwerte für Johannisbeeren

Es konnte zwar gezeigt werden (Tab. 8.7.; 8.8.; Abb. 9.8.), dass die Johannisbeeren mit einem Chlorid-Toxizitätsgrenzwert von ca. 10-15 mg Cl/g TS sehr chloridempfindlich sind. Marschner (1995) gibt für chloridempfindliche Kulturen einen deutlich höheren Wert mit 20-30 mg Cl/g TS an. Überraschenderweise zeigte die Weiße, Rote und Schwarze Johannisbeere ähnliche Toxizitätsgrenzwerte auf. D.h. die schwarzen Sorten haben keine höhere Gewebetoleranz als die beiden anderen Sortengruppen.

### 13.3. Mögliche Mechanismen für unterschiedliche Chloridempfindlichkeit

Die häufig in älterer Literatur beschriebene und auch im eigenen Gefäßversuch (Kap. 8) gezeigte höhere Chloridtoleranz der schwarzen Sorten gegenüber der weißen und roten Johannisbeere (Keipert, 1981; Hilkenbäumer, 1964) ist somit nicht auf eine höhere Gewebetoleranz zurückzuführen.

Als wesentliche Faktoren für diese beobachtete geringere Chloridempfindlichkeit der schwarzen Sorten kommen eine verminderte Chloridaufnahmerate (Tab. 6.3.) sowie ein stärkeres Chlorid-Rückhaltevermögen im Holz der Triebe in Betracht (Tab. 8.9.). In der relativen Verlagerung von Chlorid aus den Wurzeln in den Spross bestehen offensichtlich keine wesentlichen Unterschiede (Tab. 6.3.), wie sie u.a. für Weinreben beschrieben wurden (Newman und Antcliff, 1984; Edelbauer, 1976).

#### 13.4. Mögliche Bedeutung von Natrium bei der unterschiedlichen Chloridempfindlichkeit der Johannisbeeren

Chloridhaltige Kaliumdünger enthalten gleichzeitig erhöhte Gehalte an Natrium in Form von NaCl. Häufig sind Schädigungen bei steigendem NaCl-Angebot auch nicht eindeutig nach Chlorid- oder Natrium-Schädigungen, z.B. bei Straßenbäumen durch Winterstreusalze, getrennt (Mekadaschi et al., 1988; Schulz, 1992). In den durchgeführten Nährlösungsversuchen (Kap. 6 und 7) weist die Johannisbeere eine vergleichsweise hohe Aufnahme und Verlagerung von Natrium in den Spross auf (Tab. 6.2.; Tab. 7.4.). Deutlich wurde aber bei diesen Nährlösungsversuchen, dass die beiden untersuchten schwarzen Sorten durch ein starkes Natrium-Rückhaltevermögen in den Wurzeln charakterisiert sind (Tab. 6.3.). Als Folge dieses ausgeprägten Rückhaltevermögens der Wurzeln haben die Blätter der schwarzen Sorten deutlich geringere Na-Konzentrationen als die roten und weißen Sorten (Tab. 7.4., 7.5.). Ein ähnliches Rückhaltevermögen von Na weist auch die Na-empfindliche Buschbohne auf (Marschner, 1995; Lessani und Marschner, 1978).

Diese Unterschiede im Na-Rückhaltevermögen der einzelnen Johannisbeersorten erwiesen sich als unbedeutend für die Versuche in Böden (Gefäßversuch, Kap. 8 und Feldversuch, Kap. 9). Aufgrund von Adsorptionsvorgängen wird unter Bodenbedingungen im Vergleich zum Chlorid praktisch kein Natrium aufgenommen und die oben beschriebenen Sortenunterschiede sind nicht mehr erkennbar (Tab. 8.10. und 8.11.; Abb. 9.8.). Damit spielt das Natrium auch unter Praxis-relevanten Bedingungen keine Rolle bei der unterschiedlichen Chloridempfindlichkeit der einzelnen Johannisbeersorten.

#### 13.5. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit einer Chloridtoxizität im praktischen Johannisbeeranbau?

Im Gefäßversuch ohne winterliche Chloridauswaschung (Kap. 8) als auch im mehrjährigen Feldversuch (Kap. 9) wurden steigende Gaben von Chlorid als Kornkali oder Rohkali zu verschiedenen Johannisbeersorten ausgebracht. Im Feldversuch zeigten sich auch im Fall des „Worst-Case-Szenarios“ (Kalium als Kalirohsalz) keine Anzeichen einer Chloridtoxizität (Abb. 9.3.). Im Fall des Gefäßversuches ohne Möglichkeit der Chloridauswaschung wurde bei mehrfach überhöhter (4fach!) Kaliumdüngung als Kalirohsalz bei einigen Sorten erste Anzeichen von Blattrandnekrosen am Ende der Vegetationsperiode erkennbar (Abb. 8.1., 8.2., 8.4., 8.5. und Tab. 8.7., 8.8). Bei angepasster Kaliumdüngung z.B.

als Kornkali konnten jedoch keine Symptome einer Chloridtoxizität beobachtet werden.

Darüber hinaus erwies sich eine chloridhaltige Kaliumdüngung im Herbst als weitere Vorsichtsmaßnahme, um Chloridtoxizität sicher zu vermeiden. Sowohl im Feldversuch mit Johannisbeeren (Abb. 9.5. und Tab. 9.3, Kap. 9) und mit Erdbeeren (Abb. 10.9. und 10.10.; Kap. 10) als auch im Modellversuch mit Bodensäulen (Abb. 11.1.; Kap. 11) konnte eine effektive ChloridAuswaschung durch Winterniederschläge unterhalb des Durchwurzelungshorizonts beider Pflanzenarten nachgewiesen werden. Dies konnte neben den Chloriduntersuchungen in den verschiedenen Bodenhorizonten auch an den Chloridkonzentrationen der Johannisbeer- bzw. Erdbeerblätter gezeigt werden (Abb. 9.6., 9.7., 9.8. und 10.11.). Diese ChloridAuswaschung war offensichtlich effektiver als die NitratAuswaschung in Ackerböden (Isermann, 1998; Maidl und Fischbeck, 1987). Diese hier experimentell nachgewiesene leichte Auswaschung von dem im Herbst ausgebrachten Chlorid bestätigt die von Marschner (1995) und Mengel (1984) gemachte Voraussage.

### 13.6. Mögliche Wechselbeziehungen zwischen Chlorid und Fruchtqualität

#### 13.6.1. Chloridgehalte in Johannisbeerfrüchten

Die Untersuchungen von Johannisbeer-Presssäften auf Chlorid zeigten einen Anstieg der Chloridkonzentrationen mit steigendem Chloridangebot (Abb. 9.10.). Aber selbst beim höchsten Chloridangebot als Kalirohsalz („Worst-Case-Szenario“) lagen die Chloridkonzentrationen in der Beere niedriger als in der Literatur angegebene Durchschnittswerte ([www.MediaTimeGmbH/Johannisbeere.htm](http://www.MediaTimeGmbH/Johannisbeere.htm)). Bei einer angepassten Kaliumdüngung in Form von Kornkali im Herbst waren die Chloridkonzentrationen in den Früchten nur geringfügig (20-30%) höher als in der chloridfreien K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Parzelle (Abb. 9.10.).

Auch gab es keine Veränderung im Gehalt an Gesamtsäure oder Säurezusammensetzung mit steigendem Chloridangebot (Abb. 9.12. und 9.13.). Somit wären auch Qualitätsgesichtspunkte kein Anlass, Johannisbeeren als chloridempfindliches Beerenobst weiterhin chloridfrei zu düngen.

Diese Schlussfolgerung gilt aber nur unter der Annahme, dass der Frucht-ertrag, der in der vorliegenden Untersuchung (Kapitel 9) nicht erfasst wurde, sich nicht zwischen den einzelnen Behandlungen unterscheidet. Da aber bei einer praxisrelevanten Kaliumdüngung als Kornkali im Herbst die Chloridkonzentra-

tionen in Spross kaum über den Werten der Kontrolle lagen (Abb. 9.6.; 9.7.; 9.8.A), ist eine solche Ertragsbeeinflussung auch nicht anzunehmen.

### 13.6.2. Wechselwirkungen zwischen Chlorid im Boden und der Cadmiumaufnahme

Cadmium ist bekannt als gesundheitsschädigendes Schwermetall (Marschner, 1995; Liu et al., 2007). Berichte darüber, dass Chlorid über Bildung von leichtlöslichen Chloro-Cadmium-Komplexen die Pflanzenaufnahme erhöhen kann (McLaughlin et al., 1997; Hattori et al., 2006), war Anlass, den Einfluss erhöhter Chloridgaben auch auf die Cadmiumkonzentrationen in den Blättern und Johannisbeerfrüchten zu untersuchen.

Überraschenderweise hat nicht Chlorid sondern vor allem Natrium die Cadmiumlöslichkeit im Boden des untersuchten Erdbeerfeldes in Wittlaer (Kap. 10) geringfügig erhöht (Abb. 12.1.). Diese nachgewiesene erhöhte Cadmiumlöslichkeit durch Natrium z.B. als NaCl führte aber zu keinen erhöhten Cadmiumkonzentrationen in den Johannisbeerblättern (Abb. 12.2. und 12.3.). Auch konnte in den Fruchtpresssäften der Johannisbeere keine signifikant erhöhten Cadmiumkonzentrationen nachgewiesen werden (Abb. 12.4.). Diese Ergebnisse sind im Widerspruch zu den Berichten über Weizenkörner, bei denen mit steigendem Chloridangebot auch die Cadmiumkonzentrationen anstiegen (Ozkutlu et al., 2007; Liu et al., 2007; Hattori et al., 2006).

### 13.6.3. Bedeutung von Zink für die Fruchtqualität

Als ein Nebenergebnis zeigte sich bei den untersuchten Johannisbeersorten am Standort des KOB, Ravensburg, dass zwischen Cd- und Zn-Konzentrationen sowohl in den Blättern (Abb. 12.2. und 12.3.) als auch in den Früchten (Abb. 12.4. und 12.5.) ein reziprokes Verhältnis vorliegt. Offensichtlich führt eine höhere Zn-Aufnahme zu einer verminderten Cd-Einlagerung in Blättern und Früchten und umgekehrt. Diese Beobachtung steht in Übereinstimmung mit Untersuchungen bei anderen Kulturpflanzen (Cakmak et al., 2000; Hart et al., 2002; Jiao et al., 2004). Gleichzeitig zeigt dieses reziproke Verhältnis zwischen Zn und Cd die Möglichkeit auf, durch regelmäßige Zn-Blattdüngung am KOB, Ravensburg mit latenter Zinkunterversorgung der Johannisbeere (Abb. 12.3.) die Cd-Konzentrationen in den Pflanzen und vor allem in den Früchten als qualitätsverbessernde Maßnahme zu vermindern. Mit dieser praxisrelevanten Maßnahme würde man vermutlich auch gleichzeitig bei Äpfeln das Auftreten der Stippigkeit vermindern (Aktas et al., 1998).

### 13.7. Müssen die Johannisbeeren in der Praxis weiterhin chloridfrei gedüngt werden?

Anhand der verschiedenen Ergebnisse und vor allem jener der Gefäß- und Feldversuche mit Johannisbeersorten und der Erdbeere kann eindeutig geschlussfolgert werden, dass bei der Kaliumdüngung keine chloridfreien Kaliumdünger verwendet werden müssen. Dies wurde eindeutig anhand der Versuche mit den Jungpflanzen nachgewiesen (Kap. 9). Da aber Chlorid in den mehrjährigen Johannisbeersträuchern sich über die Jahre (2003 – 2005) nicht anreicherte – vor allem bedingt durch die „Chloridabgabe“ über den jährlichen Blattabwurf im Herbst–, kann diese Aussage für ältere Pflanzen übernommen werden. Somit besteht kein Anlass, das allgemein verbreitete Tabu einer chloridfreien K-Düngung im Beerenobstanbau (u.a. Finck, 1976; Schilling, 2000) aufrecht zu halten. Vor allem die häufig empfohlene, aber auch praxisrelevante Ausbringung der Kaliumdüngung bereits im Herbst (Mengel, 1979; Marschner, 1995) zeigte sich als eine sehr effektive Vorsichtsmaßnahme zur sicheren Vermeidung von Chloridtoxizität bei der Johannisbeere und Erdbeere (Kap. 9, 10, und 11). Auch verminderte Erträge in älteren Beständen, die im vorliegenden Versuch (Kap. 9) am KOB nicht erfasst wurden, sind bei Betrachtung der Chloridkonzentrationen im Blatt (Abb. 9.6., 9.7., 9.8.A) bei praxisrelevanter Kaliumdüngung (ca. 150 kg K/ha·a) als Kornkali, bevorzugt im Herbst im Vergleich zur chloridfreien Kontrolle nicht zu erwarten.

Abschließend kann festgehalten werden, dass eine Nachprüfung mancher Aussagen in der Fachliteratur, wie hier die Notwendigkeit einer chloridfreien Kaliumdüngung, lohnend ist und man nicht vor Überraschungen frei sein wird.

## 14. ZUSAMMENFASSUNG

Im Beerenobstanbau werden seit Jahrzehnten wegen vermeintlicher Chloridempfindlichkeit chloridfreie mineralische Kaliumdünger angewandt. Diese chloridfreie Düngung wird auch in Lehrbüchern der Pflanzenernährung und des Obstbaues gefordert. Ziele der Arbeit war es, einerseits in einer Literaturrecherche den möglichen wissenschaftlichen Gehalt dieser Aussage zur chloridfreien Kaliumdüngung herauszufinden (Kapitel 2). Weiterhin sollte das Ausmaß der Chloridempfindlichkeit einzelner Johannisbeersorten und der Erdbeere durch verschiedene experimentelle Versuchsansätze (Kapitel 4) erfasst werden. Im Einzelnen wurden Kurzeitaufnahmeversuche in Nährlösungen (Kapitel 6 und 7), aber auch Gefäß- (Kapitel 8) und Feldversuche (Kapitel 9 und 10) vor allem mit verschiedenen Johannisbeersorten und vereinzelt mit der Erdbeere durchgeführt. Neben der Aufnahme und Verlagerung von Chlorid in den Spross und in die Früchte wurde auch Natrium mit untersucht. Gleichzeitig wurde eine mögliche Chlorid-tiefenverlagerung über die Wintermonate in den Feldversuchen (Kapitel 9 und 10) sowie in einem Modellversuch mit Bodenröhren unter Freilandbedingungen (Kapitel 11) als mögliche Vorsichtsmaßnahme gegen Chloridtoxizität untersucht. Bei gleichzeitiger Berücksichtigung eines möglichen Einflusses von steigendem Chloridangebot auf die Fruchtqualität sollte letztendlich eine klare Aussage über die Notwendigkeit einer chloridfreien Kaliumdüngung z.B. als  $K_2SO_4$  oder Kalimagnesia anstatt vom chloridhaltigen Kornkali für die Praxis gemacht werden.

Die Literaturrecherche hat wie erwartet keine nachvollziehbaren Fakten für die vermeintliche Chloridempfindlichkeit von Beerenobst oder der einzelnen Sortengruppen von Johannisbeeren ergeben (Kapitel 2).

In den Nährlösungsversuchen wurde versucht, die möglichen Mechanismen für eine unterschiedliche Chloridempfindlichkeit zu erfassen (Kapitel 6 und 7). Dabei zeigten die untersuchten Schwarzen Johannisbeersorten gegenüber den roten und weißen Sorten eine geringere Aufnahmerate für Chlorid (Ausschluss- bzw. Exklusionsvermögen der Wurzel), aber nur von begrenzter Kapazität. Im Rückhaltevermögen von Chlorid, wie z.B. für die Weinrebe beschrieben, gab es keine Sortenunterschiede bei den einzelnen Johannisbeersorten. Dieser fehlende Unterschied in der relativen Chloridverlagerung stand im krassen Gegensatz zum mituntersuchten Natrium. Hier zeigten die beiden schwarzen Sorten ein ausgeprägtes Rückhaltevermögen der Wurzeln für Natrium.

Diese verschiedenen Mechanismen für mögliche Unterschiede in der Chlorid- und Natriumempfindlichkeit von Johannisbeersorten, inklusiv einer möglichen unterschiedlichen Gewebetoleranz wurden im Weiteren in einem

Gefäß- (Kapitel 8) und in Feldversuchen (Kapitel 9 und 10) überprüft. Diese 3 Versuche zeigten anhand von erfassten Toxizitätsgrenzwerten gegenüber Chlorid übereinstimmend, dass die Johannisbeere chloridempfindlich ist. Dabei gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen schwarzen, roten und weißen Sorten. Bei Überschreitung des Chloridtoxizitätsgrenzwertes von 10-15 mg Cl/g TS Blatt traten unabhängig von der Sorte Blattrandnekrosen auf. Dies war aber nur im Gefäßversuch ohne Möglichkeit einer Chloridauswaschung über die Wintermonate und bei gleichzeitig 2fach überhöhter Kaliumdüngung in Form des sehr chloridreichen Kalirohsalzes zu beobachten. In den beiden Feldversuchen konnten bei einer Kaliumdüngung in praxisüblicher Höhe aber in praxisunüblicher Form als Kalirohsalz und auch im Frühjahr –also unter einem „Worst-Case-Szenario“– keine Symptome einer Chloridtoxizität bei den Johannisbeeren (Kapitel 9) und der Erdbeere (Kapitel 10) beobachtet werden.

Eine ausreichende Tiefenverlagerung von Chlorid unterhalb des Durchwurzelungshorizonts über die Wintermonate konnte an allen 3 Standorten, in Bavendorf/Ravensburg, Horb/Neckar und Wittlaer/Düsseldorf, als effektive Vorsichtsmaßnahme gegen Chloridtoxizität gezeigt werden. Diese Chlorid-Tiefenverlagerung über die Wintermonate konnte anhand von Bodenuntersuchungen und auch durch Blattanalysen auf Chlorid eindrucksvoll demonstriert werden. Diese bisherigen Ergebnisse geben keinen Anlass, das bisherige Tabu einer notwendigen chloridfreien Kaliumdüngung im praktischen Johannisbeeranbau aufrecht zu halten.

Eine vermutete und in der Literatur bei verschiedenen Pflanzenarten gezeigte Cadmiummobilisierung durch Chlorid war ohne nennenswerte Auswirkung auf die Cadmiumkonzentrationen in Johannisbeerblättern und Früchten (Kapitel 12). Von Interesse aber ist das beobachtete reziproke Verhältnis der Cadmium- und Zinkkonzentrationen in den Blättern und Beeren der Johannisbeere. Dies gibt Anlass zur Empfehlung für die Praxis auf dem Standort des KOB/Ravensburg mit latenter Zinkunterversorgung stärker auf eine bessere Zinkdüngung z.B. als Blattapplikation zu achten.

Somit konnte als abschließendes Ergebnis der vorliegenden Dissertation durch verschiedene Versuchsansätze zweifelsfrei gezeigt werden, dass die verschiedenen Johannisbeersorten zwar chloridempfindlich sind, aber Symptome von Chloridtoxizität nur unter nicht-praxisrelevanten Bedingungen mit einer 2fach überhöhten Kaliumdüngung als Kalirohsalz zu beobachten waren. Bei einer praxisüblichen Kaliumdüngung mit Kornkali oder 40 er Kali konnten bei Erdbeere und den verschiedenen Johannisbeersorten keine negativen Auswirkungen von Chlorid erkannt werden. Darüber hinaus erwies sich eine Ausbringung chloridhaltiger Kaliumdünger bereits im Herbst an Standorten mit Winterniederschlag als effektive Vorsichtsmaßnahme gegen mögliche Chloridtoxizität.

## Kapitel 14. Zusammenfassung

Von den Chloridkonzentrationen der Blätter der vergleichsweise jungen Johannisbeersträuchern kann auch geschlussfolgert werden, dass bei praxisrelevanter Kaliumdüngung in Höhe von ca. 150 kg K/ha-a als Kornkali (chloridhaltig) im Herbst mit keinem beeinträchtigten Fruchtertrag oder einer verschlechterten Fruchtqualität zu rechnen ist.

Darüber hinaus würde ein Verzicht auf sulfatische Kaliumdünger als chloridfreie Düngung zugunsten von Kornkali auch von der Wasserwirtschaft als wichtiger Umweltbeitrag sehr begrüßt werden, da Sulfat gleich wie Nitrat nicht im Grundwasser erwünscht ist.

## 15. SUMMARY

### Is there a need for the use of chloride-free mineral fertilizers for currant as a common berry fruit?

It is a well-known practice to apply chloride-free potassium fertilizers for berry fruits since decades. Such a chloride-free fertilization with mineral fertilizers and in particular with potassium fertilizers as  $K_2SO_4$  or potash magnesia (Patentkali) is also recommended in most standard text books for plant nutrition and fruit production.

The aims of the present Ph.D. thesis were (1) to find out by inquiries of literature the scientific background of such a statement for a chloride-free fertilization of berry fruits as currants and strawberries (Chapter 2). Further, (2) the extent of the possible different susceptibility to chloride toxicity of various cultivars of currants and of strawberry should got evaluated by different experimental approaches (Chapter 4). In detail short-term uptake studies in nutrient solution (Chapter 6 and 7), but also pot (Chapter 8) and field experiments (Chapter 9 und 10) mainly with different cultivars of currants (black, red and white currants) but also with strawberry were conducted. Besides uptake and translocation of chloride into shoots and berries also sodium has been studied because chloride and sodium are closely linked in application of high chloride containing potassium fertilizers such as potassium chloride (muriate of potash) or kainite as a low-grade K fertilizer (Chapter 6 – 9). In addition the possible leaching of chloride by application in autumn during the following winter months as a possible strategy to minimize chloride toxicity in currants and strawberries was evaluated in the field experiments (Chapter 9 und 10) as well as in a model experiment with soil filled columns under field conditions (Chapter 11). All these different approaches should finally allow giving a clear recommendation whether a chloride-free fertilization of berry fruits (currant and strawberry) is further needed or an application of chloride-containing potassium chloride (muriate of potash) can be used in berry fruit production by farmers in future.

The inquiries of literature did not give any scientifically reasonable answer for the often cited differences in susceptibility of berry fruits or of various groups of currants (black, red or white cultivars) to chloride (Chapter 2).

The nutrient solution experiments revealed the various possible mechanisms involved in the pretended different susceptibility to chloride (Chapter 6 and 7). It got obvious that black cultivars of currants had a lower uptake rate of roots for chloride than both other groups, the white and red currants (exclusion of chloride by roots). However, this exclusion of roots had only a limited capacity with only a

marginal effect on chloride accumulation in the shoot in the long-term field experiments. The second possible mechanism, storage of chloride in roots (retention) as described for different cultivars of grape vine could not be observed for black currants. This missing difference in the relative translocation of chloride from roots to shoots was in contrast to sodium. Both black cultivars had a much lower sodium translocation to the shoot than red and white cultivars due to a high accumulation (retention) of sodium in roots.

These various mechanisms for the described differences in susceptibility to chloride and sodium including possible differences in tissue tolerance were further studied within a pot (Chapter 8) and two field experiments (Chapter 9 and 10). All three experiments demonstrated with the determined critical chloride toxicity concentration in leaves (tissue tolerance) in accordance that currants are quite sensitive to chloride without differences between black, red and white cultivars. Crossing this critical value of about 10-15 mg Cl/g leaf dry weight necrotic symptoms on the edge of leaves could be found independent of cultivars. However such necrotic symptoms on leaves could be only found at a “Worst-Case-Scenario” with an excessive (2 times) potassium application as the low grade K fertilizer kainite and in the pot experiment without the possibility of leach out of chloride (Chapter 8). In both field experiments with a praxis-relevant potassium application rate and the potential of chloride leaching during the winter period no such symptoms of toxicity could be observed with currants (Chapter 9) and strawberry (Chapter 10), even at a “Worst-Case-Scenario” with the use of kainite at begin of the season.

An adequate leaching of chloride in deeper soil layers during the winter could be proved by analysis of chloride in different soil horizons, but also by leaf analysis of currants and strawberries. Therefore all these above-mentioned results do not support the claim for a chloride-free potassium fertilization of berry fruits such as currant and strawberry.

In contrast to results with various plant species in literature no effect of chloride on mobility and plant uptake of cadmium could be shown in leaves and fruits of currants (Chapter 12). But interestingly a reciprocal ratio between concentrations of Zn and Cd was shown in leaves and fruits of two cultivars of currants. From this finding the recommendation of a higher Zn fertilization (e.g. as foliar application) at the site of the long-term field experiment at Ravensburg with a relative low Zn nutritional status can be announced for a better fruit quality (Chapter 12).

In conclusion, the various results with different experimental approaches in this submitted Ph.D. thesis demonstrated without doubt that currants as chloride-sensitive crops do not need the application of chloride-free potassium fertilizers

such as potassium sulphate or potash magnesia. Further, an application of chloride-containing potassium fertilizers such as potassium chloride (muriate of potash) in autumn instead of spring will be a precaution to effectively avoid chloride toxicity in chloride-sensitive berry fruits.

Also no negative effect of such a practice-relevant potassium fertilization as potassium chloride (muriate of potash) on fruit yield and fruit quality should be expected because of only marginal differences in leaf chloride concentrations between the chloride-free treatment (potassium sulphate) and muriate of potash, applied in the autumn.

Further, a change from potassium sulphate as the common chloride-free potassium fertilizer to muriate of potash would minimize the undesired leaching of sulphate into the ground water as an important environmental friendly action by the water-works.

## 16. LITERATURVERZEICHNIS

- Aktas, H.; Karni, L.; Chang, D.; Turhan, C.; Bar-Tal, A.; Aloni, B. (1998) The suppression of salinity-associated oxygen radical production in pepper (*Capsicum annuum*) fruit by manganese, zinc and calcium in relation to its sensitivity to blossom-end rot. *Physiol. Plant.* 123, 67-74
- Arens, G. (2006) Untersuchungen zur quantitativen Erfassung der Harnansäuerung durch Kalziumchlorid bei der Katze. Dissertation der Tierärztlichen Fak. Der Ludwig-Maximilians-Univ., München
- Baumeister, W.; Burghardt, H. (1972) Ernährung und Entwicklungsablauf. In: *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung*, 1. Band, 2. Hälfte, S. 869ff, 936ff
- Becker-Dillingen, J. (1943) Die Erzeugung der organischen Substanz in der grünen Pflanze. In: *Handbuch der Ernährung der gärtnerischen Kulturpflanzen*, 3. Auflage, S. 83ff
- Bergmann, W. (1993) Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart
- Boresch, K. (1939) Weitere Untersuchung der durch Chloride hervorgerufenen Blattrandkrankheit der Johannisbeere. In: *Institut für Pflanzenernährung an der Landwirtschaftlichen Hochschule Tetschen-Liebwerd*, S. 230-247
- Bovay, E. (1954) Detection des depots de fluor et de chlore sur la vegetation aux alentours des usines de produits chimiques. *Ann. Agricole de la Suisse* 68, 959-974
- Braun, R. ; Pizarro, O. ; Pacheco, M.H. ; Gilobbert, V.M. (1964) Intoxicacion salina de vides en Costa de Araujo, Mendoza. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 1, 101-132
- Broyer, C.T. (1966) Chlorine nutrition of tomato: Observations on inadvertent accretion and loss and their implications. *Physiologia Plantarum*, 19, 925-936
- Broyer, C.T.; Carlton, A.B.; Johnson, C.M.; Stout, P.R. (1954) Chlorine – A micronutrient element for higher plants. *Plant Physiol.* 29, 526-532
- Bruchholz, H.; Fiedler, W. (1979) Einfluss auf den Ertrag und Stammzuwachs. In: *Untersuchungen über den Einfluss langjähriger Düngung mit verschiedenen Kalidüngemitteln sowie unterschiedlichen Stickstoff- und Kalimengen auf Leistungsmerkmale von Apfelniederstammanlagen an verschiedenen Standorten der DDR, I.*, Archiv für Gartenbau, S. 165-180
- Bruchholz, H.; Fiedler, W. (1979) Einfluss auf Kronenvolumen, Ertrag/m<sup>3</sup> und Lagerverhalten der Früchte. In: *Untersuchungen über den Einfluss langjähriger Düngung mit verschiedenen Kalidüngemitteln sowie unterschiedlichen Stickstoff- und Kalimengen auf Leistungsmerkmale von Apfelniederstammanlagen an verschiedenen Standorten der DDR, II.*, Archiv für Gartenbau, 180-191
- Bruchholz, H.; Fiedler, W. (1979) Einfluss auf Bodennährstoffversorgung und Inhaltstoffe der Blätter. In: *Untersuchungen über den Einfluss langjähriger Düngung mit*

## Kapitel 16. Literaturverzeichnis

- verschiedenen Kalidüngemitteln sowie unterschiedlichen Stickstoff- und Kalimengen und Leistungsmerkmale von Apfelniederstammanlagen an verschiedenen Standorten der DDR, III, Archiv für Gartenbau, Berlin, S. 192-213
- Bünemann, G.; Gruppe, W. (1963) Qualitätsmerkmale und Mineralstoffgehalte der Früchte in Abhängigkeit von der Versorgung mit Makronährstoffen. In: Untersuchungen zur mineralischen Ernährung von Erdbeeren, III, Gartenbauwissenschaft, 166-182
- Burnell, J.N. (1986) Purification and properties of phosphoenolpyruvate carboxykinase from C<sub>4</sub> plants. Aust. J. Plant Physiol. 13, 577-587
- Cakmak, I.; Welch, R.M.; Erenoglu, B.; Römheld, V.; Norvell, W.A.; Kochian, L.V. (2000) Influence of varied zinc supply on re-translocation of cadmium (<sup>109</sup>Cd) and rubidium (<sup>86</sup>Rb) applied on mature leaf of durum wheat seedlings. Plant and Soil 219, 279-284
- Christensen, N.W.; Brett, M. (1984) Chloride and liming effects on soil nitrogen from and take-all of wheat. Agron. J. 77: 157-163
- Cram, W.J. (1984) Membrane transport in plants. Proc. of Symposium Membrane Transport in Plants. Prague Aug, 15-21, 1983
- Edelbauer, A. (1976) Untersuchungen über den Einfluss verschiedener KCl/K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Relation auf Traubenertrag, Mostqualität und Amonisäuremuster des Traubenmostes von *Vitis vinifera* in Nährlösungskultur. In: 4. Intern. Colloq. of Plant Nutrition (A. Cottenie, ed), Vol. 1, Gent, S. 293-303
- Edelbauer, A. (1978) Traubenertrag, Mineralstoffgehalt von Blättern und 1-jährigen Trieben. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 141
- Engel, R.E.; Bruckner, P.L.; Mathre, D.E.; Brumfield, S.K.Z. (1997) A Chloride-deficient leaf spot syndrome of wheat. Soil Sci. Am. J. 61, 176-184
- Engel, R.E.; Bruebaker, L.; Emborg, T.J. (2001) A Chloride deficient leaf spot of durum wheat. Soil Sci. Am. J. 65, 1448-1454
- Finck, A. (1992) Spurennährstoffdünger, Mehrnährstoffdünger u. a.. In: Dünger und Düngung, Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen, VCH Verlagsgesellschaft mbH Weinheim
- Friedrich, G. (2000) Assimilation und Stoffgewinn. In: Handbuch des Obstbaus, Ulmer Verlag, Stuttgart S. 71
- Gausmann, H.W.; Corbett, E.G.; Struchtenmeyer, R.A. (1958) Chloride deficiency symptoms in potato plants. Agron. J. 50, 403
- Geissler, Th. (1953) Über die Wirkung chlorid- und sulfathaltiger Düngemittel auf den Ertrag einiger Gemüsearten unter verschiedenen Umweltverhältnissen. Archiv für Gartenbau, Berlin, 233-343
- Gerson, D.F.; Poole, R.J. (1972) Chloride accumulation by mung bean root tips. A low affinity active transport system at the plasmalemma. Plant Physiol. 50, 603-607

## Kapitel 16. Literaturverzeichnis

- Golden, D.C.; Sivasubramaniam, S.; Sandanam, S.; Wijedasa, M.A. (1981) Inhibitory effects of commercial potassium chloride on the nitrification rates of added ammonium sulphate in an acid red yellow podzolic soil. *Plant and Soil* 59, 147-151
- Hampe, Th. (1979) Bedeutung von Natrium für die unterschiedliche Resistenz von Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris*) und Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) gegenüber Salz- und Trockenstress. Dissertation, Techn. Univ. Berlin D83, No.87
- Hampe, Th.; Marschner, H. (1982) Effect of sodium on morphology, water relations and net photosynthesis of sugar beet leaves. *Z. Pflanzenphysiol.* 108, 151-162
- Hannemann, W. (1964) Der Einfluß der chlorid- und sulfathaltigen Nährsalze auf das Wachstum und den Ertrag der Reben. *Die Weinwissenschaft* 19, 41-58
- Hart, J.J.; Welch R.M.; Norvell, W.A.; Kochiann, L.V. (2002) Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. *Physiol Plant* 116, 73-78
- Hattori, H.; Kuniyasu, K.; Chiba, K.; Chino, M. (2006) Effect of chloride application and low soil pH on cadmium uptake from soil by plants. *Soil Sci Plant Nutr* 52, 89-94
- Hilkenbäumer, F. (1964) *Obstbau: Grundlagen, Anbau und Betrieb*, 4. Auflage, Paul Parey Verlag, Berlin
- Huber, D.M.; Wilhelm, N.S. (1988) The role of manganese in resistance to plant diseases. *In: Graham et al. (eds.), Manganese in Soils and Plants* 155-173 © 1988 by Kluwer Academic Publishers
- Isermann, K. (1998) Tiefenuntersuchungen des Bodens und des (un-) gesättigten Untergrundes hinsichtlich der „erweiterten Nitratproblematik“ des Grundwassers bei unterschiedlicher Landbewirtschaftung. *Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft* 57, 181-186
- Jiao, Y.; Grant, C.A.; Bailey, L.D. (2004) Effect of phosphorus and zinc fertilizer on cadmium uptake and distribution in fax and durum wheat. *J. Sci. Food Agric.* 84, 777-785
- Johnson, C.M.; Stout, P.R.; Broyer, T.C.; Carlton, A.B. (1957) Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant and Soil* 8, 337-353
- Keipert, K. (1981) *Beerenobst: Angebaute Arten und Wildfrüchte*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Keipert, K. (1990) Himbeeren, Anregungen für Produktion und Absatz, Heft 2, 3. Auflage 16-17
- Kruft, F.; Luckan, J.; Bauer, R.; Schuppe, E. (1960) Neuzeitlicher Anbau der Johannisbeeren und Stachelbeeren im Erwerbsbetrieb und im Garten. *In: Grundlagen und Fortschritte im Garten- und Weinbau.* 108, 44-75

## Kapitel 16. Literaturverzeichnis

- Kuiper, P.J.C. (1968) Lipids in grape roots in relation to chloride transport. *Plant Physiology* 43, 1367-1371
- Leh, H.-O. (1973) Untersuchungen über die Auswirkungen der Anwendung von Natriumchlorid als Auftaumittel auf die Straßenbäume in Berlin. *Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. (Braunschweig)* 25, 163-170
- Leh, H.-O. (1975) Die Gefährdung der Straßenbäume durch Auftausalz. *Deutsche Baumschule*. 27, 250-253
- Leh, H.-O. (1977) Nährstoffmangel- und -überschußkrankheiten im Freilandgemüsebau (I). *Deutscher Gartenbau*. 35, 1426-1428
- Lessani, H.; Marschner, H. (1978) Relation between salt tolerance and long-distance transport of sodium and chloride in various crop species. *Aust. J. Plant Physiol.* 5, 27-37
- Lipmann, C.B. (1938) Importance of silicon, aluminum and chlorine for higher plants. *Soil Sci.* 45, 189-198
- Liu, Q.; Tjoa, A.; Römheld, V. (2007) Effects of chloride and co-contaminated zinc on cadmium accumulation within *Thlaspi caerulescens* and durum wheat. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 79, 62-65
- Loch, J.; Pethö, F. (1993) Effect of potassium sulphate on the yield and quality of vegetables. In: *Agricultural University Drebreceen, Hungary*, p. 45-47
- Maidl, F.X.; Fischbeck, G. (1987) Nitratgehalte tieferer Bodenschichten bei unterschiedlichen Fruchtfolgen auf intensiv genutzten Ackerbaustandorten. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 150, 213-219
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*, London: Academic Press
- Matzner, F. (1956) Der Einfluss einer Volldüngung mit Sulfaten und Chloriden auf Ertrag und Zusammensetzung der Erdbeeren der Sorten Dresden und Sachsen. *Archiv für Gartenbau* 4, 320-339
- Mazé, P. (1915) détermination de éléments minéraux nécessaires au développement du maïs. *Compt. Rend. Acad. Sci.* 160, 211-214
- Mazé, P. (1919) Recherche d'une solution purement minérale capable d'assurer l'évolution complète du maïs cultivé à l'abri des microbes. *Ann. Inst. Pasteur* 33, 139-173
- McLaughlin, M.J.; Tiller, K.G.; Smart, M.K. (1997) Speciation of cadmium in soil solutions of saline/sodic soils and relationships with cadmium concentrations in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Aust J Soil Res* 35, 183-198
- Mekdaschi, R.; Horlacher, D.; Schulz, R.; Marschner, H. (1988) Streusalzschäden und Sanierungsmaßnahmen zur Verminderung der Streusalzbelastung von Straßenbäumen in Stuttgart. *Angew. Botanik* 62, 355-371

## Kapitel 16. Literaturverzeichnis

- Mengel, K. (1991) Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, 7. Auflage, Jena
- Mengel, K.; Kirkby E.A. (1987) Principles of Plant Nutrition, 4.th Edition, Worblaufen-Bern, International Potasch Institute
- Mori, S.; Kobayashi, T.; Arao, T.; Higuchi, K.; Maeda, Y.; Yoshida, M.; Tadano, T. (2008) Enhancement of nitrate reduction by chlorine application in *Suaeda salsa* (L.) Pall. Soil Science and Plant Nutrition 54,903-909
- Newman, H.P.; Antcliff, A.J. (1984) Chloride accumulation in some hybrids and backcrosses of *Vitis berlandieri* and *Vitis vinifera*. Vitis 23, 106-112
- Nicholas, D. J. D. (1948) The application of rapid chemical tests to the diagnosis of mineral deficiencies in horticultural crops. Journal of Pomology and Horticultural Science 24, 106-109
- Nobbe, F.; Siegert, Th. (1862) Über das Chlor als spezifischen Nährstoff der Buchweizenpflanze. Landw. Vers. Stat. 4, 318-341
- Nobbe, F.; Siegert, Th. (1864) Über das Chlor als Pflanzennährstoff. Landw. Versuchsstation 6, 108-120
- Ollagnier, M.; Wahyuni, M. (1986) Die Ernährung und Düngung mit Kalium und Chlor der Kokospalme, Hybride Nain de Malaisie x Grand Ouest Africain. Kali-Briefe, Intern. Kali-Institute, Bern (Schweiz) Nr.2/1986
- Ozanne, P.G. (1958) Chlorine deficiency in soils. Nature 182, 1172-1173
- Ozkutlu, F.; Ozturk, L.; Erdem, H.; MaLaughlin, M; Cakmak, I. (2007) Leaf-applied sodium chloride promotes cadmium accumulation in durum wheat grain. Plant Soil 290, 323-331
- Randle, W.M. (2004) Chloride requirements in onion: Clarifying a widespread misunderstanding. Better Crops 88, 10-11
- Remy, Th.; Weiske, F. (1930) Über das Verhalten von Beerenobst gegen verschiedene Kalisalze. In: Ernährung der Pflanze, Bonn, S. 269-277
- Ruan, J. (2005) Quality-related constituents in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) as affected by from and concentration of nitrogen and the supply of chloride. Dissertation Christian-Albrechts-Universität, Kiel
- Rudolfs, W. (1921) Experiments with common rock salts. 1. Effect on asparagus. Soil Science 12, 449-455
- Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (1984) Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart
- Schilling, G. (2000) Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

## Kapitel 16. Literaturverzeichnis

- Schulz, R. (1992) Probenahme an streusalzgeschädigten Straßenbäumen. Das Gartenamt 41, 488-494
- Schuphan, W. (1939) Die Bedeutung der Chloridernährung für Pflanze insbesondere für Gemüse. Forschungsdienst 11, 161-176
- Siegel, O.; Bjarsch, H.-J. (1962) Über die Wirkung von Chlorid- und Sulfationen auf den Stoffwechsel von Tomaten, Sellerie und Reben, I. Der Einfluss auf den Gehalt an Chlorophyll a und b, Xanthophyll und Karotin. Gartenbauwissenschaften 27, 15-25
- Siegel, O.; Bjarsch, H.-J. (1962) Über die Wirkung von Chlorid- und Sulfationen auf den Stoffwechsel von Tomaten, Sellerie und Reben, II. Der Einfluss auf die Trockensubstanz- und Kohlenhydratbildung sowie den Ascorbinsäuregehalt. Gartenbauwissenschaften 27, 103-119
- Smith, G.S.; Clark, C.J.; Holland, P.T. (1987) Chloride requirement of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). New Phytol. 106, 71-80
- Smolders, E.; Lambrechts, R.M.; McLaughlin, M.J.; Tiller, K.G. (1997) Effect of soil solution chloride on Cd availability to Swiss chard. J. Environ.Qual. 27, 426-431
- Stoffert, B. (1922) Kann die bestehende Kulturmethode und die heutige Ernährungsweise unserer Johannisbeeren zu Höchsterten führen? Deutsche Obstbau Zeitung. 55-60
- Souri, M.K. (2008) Characterisation of natural and synthetic nitrification inhibitors and their potential use in tomato cultivation. Dissertation Universität Hohenheim, Stuttgart
- Uebel, E. (1982) Ergebnisse langjähriger Kalidüngungsversuche zu Johannisbeere, Apfel im Südböhmischen Obstanbaugebiet der CSSR. I. Ergebnisse der Boden-, Ertrags- und Blattuntersuchung bei Johannisbeere. Archiv für Gartenbau 30, 339-359
- Ulrich, A.; Ohki, K. (1956) Chloride, bromine and sodium as nutrients for sugar beet plants. Plant Physiol. 31, 171-181
- Venema, K.C. (1959) Deficiency symptoms of some elements as manifested by sugar cane. Potask trop. Agricult. 2, 51-69
- Voelcker, A. (1867) Field experiments on root crops. J. Roy. Agr. Soc. 3, 500-530
- Zimmermann, H. (2004) Einfluß steigender Chloridgaben auf das Wachstum und die Mineralstoffgehalte verschiedener Johannisbeersorten. Diplomarbeit, Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim, Stuttgart

17. TABELLARISCHER LEBENSLAUF

- 19.01.1954 geboren in Düsseldorf-Wittlaer als Sohn des Landwirtes Otto-W. Blank und seiner Ehefrau, auch Landwirtin, Hubertine Blank, geb. Weyergraf
- 1960-1965 Volksschule in Düsseldorf-Wittlaer
- 1965-1975 Besuch des Gymnasium mit dem Abschluss des Abiturs am Landschulheim Steinmühle e.V. in Marburg-Cappel
- 1975-1977 Betriebswirtschaftliches Grundstudium an der Universität Hohenheim
- 1977-1980 Landwirtschaftliches Studium an der Universität Hohenheim mit dem Abschluss zum Dipl. Ing. agr.
- 1978-1980 Mitarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenernährung als Studentische Hilfskraft bei Prof. Marschner
- 1980-1982 Beginn einer Promotion am Institut für Pflanzenernährung an der Universität Hohenheim über Mechanismen der Zinkeffizienz unterschiedlicher Kirchererbsen-Genotypen; Abbruch der Promotion bedingt durch familiäre Situation, Übernahme des elterlichen landwirtschaftlichen Betriebes
- 1985 Heirat mit Frau Irene M. Blank, geb. Eichhorn, zwei Kinder
- 1998-2009 Bearbeitung der vorliegenden Promotionsarbeit zum Thema: „Müssen Johannisbeeren chloridfrei gedüngt werden?“ mit teilweiser Versuchsdurchführung auf eigenem Betrieb

## 18. DANKSAGUNGEN

- Für das überlassene Promotionsthema danke ich meinem Hauptbetreuer Prof. Dr. V. Römheld, der jeder Zeit mit Rat und Tat mir beistand.
- Mein besonderer Dank aber gilt meiner Mutter Hubertine Blank sowie meiner Frau Irene, die mit viel Geduld im Hintergrund meine Promotionsarbeit neben meiner Erwerbstätigkeit über die lange Zeit stetig unterstützte.
- Weiterhin habe ich folgenden Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim, Stuttgart zu danken:
  - Herrn H. Bremer für die gewissenhafte Mithilfe bei der Betreuung des Gefäßversuches und der gesamten Analytik;
  - Frau M. Ruckwied für die Cadmiumanalytik;
  - Frau A. Kania für die Unterstützung bei der Säure-Analytik;
  - Herrn M. Zoth vom KOB, Bavendorf/Ravensburg für das Anlegen und die Durchführung des langjährigen Johannisbeeren-Feldversuches in Bavendorf.
  - Herrn H. Bucher, S. Bott und M. Weinmann für die Mithilfe bei der Boden- und Blattprobennahme in Bavendorf/Ravensburg.