

Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften  
und Pflanzenbiotechnologie  
Institut für Pflanzenschutz



**Untersuchungen  
zum Auftreten des Rübenzystennematoden  
(*Heterodera schachtii*) im österreichischen  
Zuckerrübenanbaugebiet  
durch Bodenanalysen sowie  
zum verursachten Schadausmaß  
an verschiedenen Zuckerrübensorten**

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur

vorgelegt von

**Gerhard Sigl**

Studienrichtung: Landwirtschaft

Betreuer:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Florian Grundler

Wien, MÄRZ 2010



## **Danksagung**

Auf diesem Wege möchte ich allen Menschen – auch den vielen unerwähnt gebliebenen – Danke sagen, die mich auf verschiedenste Weise unterstützt haben und so zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Großer Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben. Ich konnte stets auf ihre Unterstützung und Hilfe zählen, und so war es mir möglich, mein Studium ohne Einschränkungen absolvieren zu können. Auch meinen beiden Geschwistern darf ich auf diese Weise danken, dass sie mir stets ein offenes Ohr schenken und mich auch sehr in der Endphase meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Florian Grundler danke ich recht herzlich für die Betreuung der Arbeit, die fachliche Unterstützung und die notwendige Flexibilität in Bezug auf meine vielfältigen Anliegen.

Bei der AGRANA Zucker GmbH, sowie bei der Zuckerforschung Tulln GmbH, bedanke ich mich für die Übernahme der entstandenen Kosten. Beide Firmen boten die Rahmenbedingungen für einen einwandfreien Ablauf der Versuche und der notwendigen Analysen. Hier möchte ich vor allem Herrn Dipl.-Ing. Herbert Eigner für seine stete Diskussionsbereitschaft, für die große Hilfsbereitschaft und die notwendigen Denkanstöße recht herzlich danken. Gleicher Dank gebührt Herrn Dipl.-Ing. Fritz Kempl für seine fachlichen Hilfestellungen und für die spannenden Diskussionen. Weiters bedanke ich mich bei den Rohstoffabteilungen der AGRANA Zucker GmbH und hier vor allem bei den Rübeninspektoren und den Leitern der Rohstoffabteilungen. Sie haben mich im versuchstechnischen Bereich stets mit ihrem fachlichen Wissen unterstützt und so maßgeblich zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen.

Ich danke der ARGE EUF für die Kostenübernahme der Bodenuntersuchungen sowie der KWS Saat AG ebenfalls für die Übernahme von Bodenuntersuchungskosten und ihre finanzielle Unterstützung.

Meinen StudienkollegInnen und FreundInnen an der BOKU danke ich für die schöne, wertvolle und unterhaltsame Zeit. Sie standen mir allzeit mit Rat und Tat zur Seite und haben so zu einem angenehmen und familiären Arbeitsumfeld beigetragen.

**INHALTSVERZEICHNIS**

|        |                                                                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Einleitung und Problemstellung .....                                                                     | 1  |
| 2.     | Einführung in die Fragestellung .....                                                                    | 3  |
| 2.1.   | Zuckerrübenanbau in Österreich.....                                                                      | 3  |
| 2.2.   | Die Zuckerrübe <i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> var. <i>altissima</i> .....                   | 4  |
| 2.3.   | Der Rübenzystennematode <i>Heterodera schachtii</i> .....                                                | 6  |
| 2.3.1. | Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung .....                                                          | 6  |
| 2.3.2. | Biologie .....                                                                                           | 8  |
| 2.3.3. | Schadbild.....                                                                                           | 11 |
| 2.3.4. | Bekämpfung.....                                                                                          | 12 |
| 2.4.   | Resistenz versus Toleranz.....                                                                           | 16 |
| 2.4.1. | Abgrenzung der beiden Begriffe .....                                                                     | 16 |
| 2.4.2. | Resistente und tolerante Zuckerrübensorten.....                                                          | 18 |
| 3.     | Material und Methoden.....                                                                               | 21 |
| 3.1.   | Auswahl der Versuchsfelder.....                                                                          | 21 |
| 3.2.   | Anlage der Versuchsfelder .....                                                                          | 22 |
| 3.3.   | Sorten .....                                                                                             | 23 |
| 3.4.   | Festlegung der Prüfflächen.....                                                                          | 23 |
| 3.5.   | Bodenprobenahme und -analyse .....                                                                       | 24 |
| 3.5.1. | Bodenprobenahme und -aufbereitung.....                                                                   | 24 |
| 3.5.2. | Analysemethode der Bodengesundheitsdienst GmbH (BGD) .....                                               | 25 |
| 3.5.3. | Analysemethode der KWS Saat AG.....                                                                      | 25 |
| 3.5.4. | Analysemethode der Österreichischen Agentur für Gesundheit und<br>Ernährungssicherheit GmbH (AGES) ..... | 26 |
| 3.5.5. | Einteilung in Befallskategorien .....                                                                    | 27 |
| 3.6.   | Bonituren.....                                                                                           | 27 |
| 3.7.   | Versuchsernte und Aufbereitung der Zuckerrüben.....                                                      | 28 |
| 3.8.   | Statistische Auswertung .....                                                                            | 30 |
| 4.     | Ergebnisse .....                                                                                         | 32 |
| 4.1.   | Erhebung zum Auftreten von <i>Heterodera schachtii</i> .....                                             | 32 |
| 4.1.1. | Bodenprobenanalysen.....                                                                                 | 32 |
| 4.1.2. | Vergleich der ausgewählten Bodenuntersuchungsverfahren .....                                             | 34 |

|        |                                                                                                                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.3. | Optische Bonituren der Rübenwurzeln .....                                                                                                                | 35 |
| 4.1.4. | Vermehrung der Population von <i>Heterodera schachtii</i> an den Versuchssorten ..<br>.....                                                              | 37 |
| 4.2.   | Vergleich der anfälligen und toleranten Zuckerrübensorte anhand der Ertrags-<br>und Qualitätsparameter.....                                              | 39 |
| 4.2.1. | Kleinparzellen .....                                                                                                                                     | 39 |
| 4.2.2. | Großparzellen .....                                                                                                                                      | 43 |
| 5.     | Diskussion .....                                                                                                                                         | 47 |
| 5.1.   | Übersicht über das Auftreten von <i>Heterodera schachtii</i> im österreichischen<br>Rübenanbaugebiet erhoben mittels Bodenuntersuchung.....              | 47 |
| 5.2.   | Vergleich der ausgewählten Analyseverfahren zur Ermittlung des Besatzes mit<br><i>Heterodera schachtii</i> mittels Bodenuntersuchung .....               | 49 |
| 5.3.   | Optische Bonituren zur Befallsbestimmung .....                                                                                                           | 51 |
| 5.4.   | Unterschiede in den Vermehrungsraten von <i>Heterodera schachtii</i> unter Einfluss<br>der Versuchssorten .....                                          | 52 |
| 5.5.   | Unterschiede in Ertrag und Qualität zwischen anfälliger und toleranter<br>Zuckerrübensorte.....                                                          | 52 |
| 6.     | Zusammenfassung .....                                                                                                                                    | 56 |
| 7.     | Summary .....                                                                                                                                            | 58 |
| 8.     | Literaturverzeichnis.....                                                                                                                                | 59 |
| 9.     | Anhang .....                                                                                                                                             | 64 |
| 9.1.   | Verfahrensablauf der Nematodenextraktion durch Schlupfinduktion mittels<br>Acetox und anschließender Nachweis mittels semiquantitativer PCR-Analyse..... | 64 |
| 9.2.   | Verfahrensablauf der Rübenaufbereitung und -analyse .....                                                                                                | 66 |
| 9.3.   | Datenmaterial.....                                                                                                                                       | 67 |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Überblick über das österreichische Zuckerrübenanbaugebiet .....                                                                               | 4  |
| Abbildung 2: Verbreitungsgebiete des Rübenzystennematoden in Europa .....                                                                                  | 7  |
| Abbildung 3: Generationszyklus von <i>Heterodera schachtii</i> .....                                                                                       | 10 |
| Abbildung 4: Farbunterschiede und Welkesymptome im Befallsnest .....                                                                                       | 11 |
| Abbildung 5: Befallener Rübenkörper mit Weibchen von <i>Heterodera schachtii</i> .....                                                                     | 12 |
| Abbildung 6: Änderung der Populationsdichte von <i>Heterodera schachtii</i> bei<br>unterschiedlichen Fruchtfolgeabständen in der Köln-Aachener Bucht ..... | 13 |
| Abbildung 7: Reaktion der Pflanze auf Schädlingsbefall .....                                                                                               | 18 |
| Abbildung 8: Erfasstes Gebiet mit Versuchsfeldern.....                                                                                                     | 22 |
| Abbildung 9: Mögliche Beschickung der Säelemente mit den Versuchssorten bei der<br>Versuchsanlage .....                                                    | 23 |
| Abbildung 10: Anzahl befallener Feldstücke nach Befallskategorien aufgrund der<br>Bodenproben der Erhebungsflächen .....                                   | 32 |
| Abbildung 11: Überblickskarte der Bodenprobenergebnisse der Erhebungsflächen .....                                                                         | 33 |
| Abbildung 12: Vergleich der Bodenprobenergebnisse der Erhebungsflächen und<br>Großparzellen der ausgewählten Standorte .....                               | 34 |
| Abbildung 13: Mittelwerte der Bodenprobenergebnisse der jeweiligen Analyseverfahren<br>nach Befallskategorien.....                                         | 35 |
| Abbildung 14: Befall der ausgewählten Feldstücke aufgrund der ersten optischen Bonitur<br>.....                                                            | 36 |
| Abbildung 15: Vermehrungsraten in Abhängigkeit der Sorte in den Großparzellen .....                                                                        | 38 |
| Abbildung 16: Endbesatz in Abhängigkeit des Anfangsbesatzes unterteilt nach Sorten ....                                                                    | 39 |
| Abbildung 17: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an Rüben [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu<br>Valentina der Kleinparzellen .....                              | 40 |
| Abbildung 18: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an BZE [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu<br>Valentina der Kleinparzellen .....                                | 41 |
| Abbildung 19: Mittlerer Mehr-/Minderbetrag des SMV [%] von Pauletta im Vergleich zu<br>Valentina der Kleinparzellen .....                                  | 43 |
| Abbildung 20: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an Rüben [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu<br>Valentina der Großparzellen .....                               | 44 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 21: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an BZE [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Großparzellen ..... | 45 |
| Abbildung 22: Mittlerer Mehr-/Minderbetrag des SMV [%] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Großparzellen .....   | 46 |
| Abbildung 23: Screenshot einer Gelplatte nach der Elektrophorese.....                                                   | 65 |

## TABELLENVERZEICHNIS

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Anzahl, Zuckerrübenfläche und Schlaganzahl der Rübenbaubetriebe nach Bundesländern .....          | 4  |
| Tabelle 2: Verteilung der Versuchsflächen auf das österreichische Zuckerrübenanbaugebiet .....               | 21 |
| Tabelle 3: Einteilung der Bodenprobenergebnisse in Befallskategorien .....                                   | 27 |
| Tabelle 4: Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler der einzelnen Bodenprobenanalyseverfahren ..... | 34 |
| Tabelle 5: Anzahl der Feldstücke nach Befallsklassen aufgrund der zweiten optischen Bonitur .....            | 36 |
| Tabelle 6: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Ertragsparametern der Kleinparzellen.....                | 40 |
| Tabelle 7: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Qualitätsparametern der Kleinparzellen.....              | 42 |
| Tabelle 8: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Ertragsparametern der Großparzellen.....                 | 43 |
| Tabelle 9: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Qualitätsparametern der Großparzellen.....               | 45 |

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|                |                                                                      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------|
| AGES           | Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH |
| AGRANA         | AGRANA Zucker GmbH                                                   |
| BGD            | Bodengesundheitsdienst GmbH                                          |
| BZE            | Bereinigter Zuckerertrag                                             |
| bzw.           | beziehungsweise                                                      |
| d.h.           | das heißt                                                            |
| DNA            | Desoxyribonukleinsäure (engl.: deoxyribonucleic acid)                |
| E+L            | Eier und Larven                                                      |
| EU             | Europäische Union                                                    |
| ha             | Hektar                                                               |
| KWS            | KWS Saat AG                                                          |
| L <sub>2</sub> | infektiöses 2. Larvenstadium von <i>Heterodera schachtii</i>         |
| L <sub>3</sub> | 3. Larvenstadium von <i>Heterodera schachtii</i>                     |
| L <sub>4</sub> | 4. Larvenstadium von <i>Heterodera schachtii</i>                     |
| µl             | Mikroliter                                                           |
| µm             | Mikrometer                                                           |
| Mio.           | Million                                                              |
| mmol           | Millimol                                                             |
| N              | Elementsymbol für Stickstoff                                         |
| PCR            | Polymerase Kettenreaktion (engl.: polymerase chain reaction)         |
| P <sub>f</sub> | Endpopulation (engl.: final population)                              |
| P <sub>i</sub> | Anfangspopulation (engl.: initial population)                        |
| SMV            | Standardmelasseverlust                                               |
| t              | Tonne                                                                |
| usw.           | und so weiter                                                        |
| Wh             | Wiederholung                                                         |
| z.B.           | zum Beispiel                                                         |
| Δ              | Delta                                                                |

### **Kurzzusammenfassung**

Der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii* verursacht bei intensivem Zuckerrübenanbau mit engen Fruchtfolgen teilweise hohe Ertragsverluste. Ziele der vorliegenden Arbeit waren, die Verbreitung des Rübenzystennematoden mittels Bodenuntersuchung näher zu bestimmen und das durch *H. schachtii* verursachte Schadausmaß an einer anfälligen und an einer nematodentoleranten Sorte zu erheben. Hierzu wurden im Jahr 2008 auf 48 Standorten Bodenproben gezogen und die beiden Sorten im Versuch angebaut.

29 der 48 ausgewählten Feldstücke konnten als befallsfrei deklariert werden. Auf den restlichen 19 Standorten konnte ein Befall festgestellt werden, wobei 16 nur einen geringen Befall (bis 500 Larven/100 g Boden) aufwiesen. Die Vermehrungsrate von *H. schachtii* war im Falle der toleranten Sorte um 70 % signifikant geringer.

Die erhobenen Ertragsparameter werden signifikant von der Befallssituation des Feldstückes beeinflusst. Herrscht kein Befall vor, lieferte die anfällige Sorte um 0,34 t/ha signifikant höhere Zuckererträge. Bereits bei geringem Befall brachte jedoch die tolerante Sorte einen Mehrertrag an Zucker von 1 t/ha. Die gemessenen Qualitätseigenschaften der beiden Versuchssorten wurden nicht vom Nematodenbefall beeinflusst. Alle Merkmalsausprägungen waren jedoch bei der toleranten Sorte signifikant ungünstiger ausgeprägt als bei der anfälligen Sorte.



**Abstract**

The beet cyst nematode *Heterodera schachtii* causes significant yield losses especially in intensive sugar beet production with narrow crop rotation. The objectives of this thesis were to assess the occurrence of the beet cyst nematode by analysing soil samples and to evaluate damage caused by *H. schachtii* on a susceptible and a tolerant variety. 48 field plots were analysed in 2008.

29 out of 48 selected plots were found to be not infested. An infestation was identified on the remaining 19 locations, of which 16 showed only slight infestation (up to 500 larvae/100 g soil). The reproduction rate of *H. schachtii* was significantly lower in the tolerant variety (minus 70 %).

Yield was significantly influenced by infestation level of the plot. Without infestation the susceptible variety produced with surplus of 0.34 t/ha a significantly higher sugar yield. Even only slightly infested, the tolerant variety yielded a surplus of 1 t sugar per hectare. Quality parameters of both varieties were not influenced by nematode infestation. The analysed quality parameters of the tolerant variety were significantly worse as compared to the susceptible variety.

## 1. Einleitung und Problemstellung

Die Landwirtschaft ist ein wesentlicher Teil der Lebensmittelwirtschaft. Sie steht am Anfang dieser Wertschöpfungskette und hat daher maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Lebensmittel. Diese produzierten Lebensmittel sollen qualitativ hochwertig sein und unter besonders umweltschonenden Bedingungen produziert werden. Für den Konsumenten am Ende der Wertschöpfungskette sollen Lebensmittel vor allem aber auch günstig zu erwerben sein. Diese immer weiter auseinander klaffende Diskrepanz von steigenden Ansprüchen an das Produkt gepaart mit billigen Herstellerpreisen stellt den landwirtschaftlichen Sektor unter enormen Druck.

Abhilfe zur Sicherung des landwirtschaftlichen Einkommens schuf in der Vergangenheit einerseits die vermehrte Produktion von hochpreisigen Ackerkulturen, welche teilweise durch diverse Marktordnungen reguliert wurden und in weiterer Folge künstliche und daher an die Realität nicht angepasste Marktverhältnisse geschaffen haben. Andererseits konnten durch den Einsatz von breit wirkenden Pflanzenschutzmitteln viele ertragsbeeinflussenden Krankheiten und Schädlinge kontrolliert werden und daher eine mengenmäßig stabile Produktion gesichert werden.

Die Geschichte der Zuckerrübenproduktion spiegelt diese beiden „Anpassungsstrategien“ wieder. Durch die meist hohen Erlöse in der Zuckerrübenproduktion waren viele Landwirte bestrebt, auf den Feldern intensive Zuckerrübenfruchtfolgen umzusetzen, um die betrieblichen Erlöse zu maximieren. Natürlich brachte intensiver Zuckerrübenanbau auch Probleme verursacht durch Krankheiten und Schädlinge mit sich. Diese Probleme konnten in den letzten 50 Jahren durch eine Flut an Neuzulassungen im Pflanzenschutzmittelbereich teilweise kompensiert werden. Für einige wenige Krankheiten und Schädlinge waren und sind jedoch diese Methoden der Ertragsstabilisierung aufgrund von fehlenden Wirkstoffen, aber auch aufgrund von unzureichender Zielgenauigkeit der Pflanzenschutzmittel nicht zielführend einzusetzen.

Einer dieser Schädlinge ist der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii*. Eine Vermehrung wird hauptsächlich durch intensiven Rübenanbau mit engen Fruchtfolgen

gefördert. Eine Regulierung ist aufgrund der unzureichend zielspezifischen Wirkung der Wirkstoffkomponenten mittels Pflanzenschutzmittel nur bedingt möglich.

Ein verstärktes Auftreten von Schäden aufgrund eines Befalls mit Rübenzystennematoden konnte bis in die 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts beobachtet werden. Ab diesem Zeitpunkt bis zur Jahrtausendwende stellte der Schädling kein Problem dar. Seit 2000 nehmen die Schäden durch *H. schachtii* wieder zu.

Das Auftreten war auf Einzelflächen beschränkt. Teilweise vorhandene Schäden waren mitunter auch von anderen Stressfaktoren wie Bodenverdichtungen oder anderen Krankheiten und Schädlingen überlagert. Dadurch konnten sich auf manchen Feldern sehr hohe Nematodendichten aufbauen.

Ziele der vorliegenden Arbeit sind daher:

- ein mögliches Auftreten des Rübenzystennematoden auf Zuckerrübenanbauflächen verteilt über das österreichische Zuckerrübenanbaugbiet mittels Bodenuntersuchung zu erheben
- eine vergleichende Darstellung von drei unterschiedlichen Rübenzystennematoden-Analyseverfahren bezüglich deren Ergebnissen durchzuführen
- zu beurteilen, ob auch anhand von optischen Bonituren der Rübenwurzeln ein möglicher Befall mit dem Rübenzystennematoden erkannt werden kann
- die Beurteilung der Vermehrungsraten des Rübenzystennematoden an den Versuchssorten
- mögliche Unterschiede bezüglich Ertrags- und Qualitätsparametern zu erheben, wobei eine rübenzystennematoden-tolerante Sorte mit einer derzeit in Österreich zugelassenen Referenzsorte unter österreichischen Bedingungen verglichen werden soll

## **2. Einführung in die Fragestellung**

### **2.1. Zuckerrübenanbau in Österreich**

Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts setzten ein systematischer Anbau von Zuckerrüben und die industrielle Verarbeitung im Gebiet der österreichisch-ungarischen Monarchie durch den Bau von Zuckerfabriken ein. So wurde 1844 die Zuckerfabrik in Dürnkrut gebaut. Es folgten Anlagen in Siegendorf (1852), Hohenau (1867), Leopoldsdorf (1901), Bruck/Leitha (1910), Enns (1930) und Tulln (1938).

Im Jahr 1934 war erstmals die Selbstversorgung Österreichs mit Zucker gegeben, wobei schon damals 49.000 Hektar Zuckerrüben bei einem Flächenertrag von 28 t/ha angebaut wurden. 1960 wurde das Problem der ständig steigenden Überschussproduktion durch die Einführung einer flächengebundenen Kontingentierung gelöst. In den 80er Jahren kam die österreichische Zuckerwirtschaft zusehends unter Druck. Es wurden die Zuckerfabriken Dürnkrut, Bruck/Leitha, Enns und Siegendorf geschlossen, womit die Wettbewerbsfähigkeit wieder stieg.

Im Jahr 1991 erfolgte die Umstellung der Bezahlungsgrundlage vom österreichweiten Digestionsdurchschnitt auf den einzelbetrieblichen Zuckergehalt. 2006 führte die neue EU-Zuckermarktordnung zu weiteren Anpassungen, die sich unter anderem in der Schließung der Fabrik Hohenau auswirkten. Derzeit sind während der Rübenkampagne zwei Zuckerfabriken (Tulln, Leopoldsdorf) mit einer Verarbeitungsleistung von je zirka 12.500 t Rüben pro Tag in Betrieb (VÖR, 2010).

Im Jahr 2008 betrug der Produktionswert von Zuckerrüben zu Herstellungspreisen 90 Mio. Euro und ist im Vergleich zu 2007 um 10,9 % gestiegen (STATISTIK AUSTRIA, 2009).

Im Anbaujahr 2009 wurden in Österreich zirka 3.082.800 t Rüben auf einer Fläche von zirka 43.900 ha produziert. Dies entspricht einem durchschnittlichen Hektarertrag von 70,2 t Rüben. Der mittlere Zuckergehalt bei der Verarbeitung betrug in diesem Jahr in Österreich 16,09 % (EIGNER, 2010).

Tabelle 1 gibt Aufschluss über die Aufteilung der Betriebe und Flächen nach Bundesländern.

Tabelle 1: Anzahl, Zuckerrübenfläche und Schlaganzahl der Rübenbaubetriebe nach Bundesländern

| Bundesland            | Anzahl Produzenten | Rübenfläche in ha | Anzahl Schläge |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| Burgenland            | 572                | 4.000             | 1.437          |
| Niederösterreich/Wien | 6.129              | 33.910            | 13.308         |
| Oberösterreich        | 1.280              | 5.823             | 1.835          |
| Steiermark, Kärnten   | 57                 | 244               | 117            |

Der Schwerpunkt der Produktionsflächen für Zuckerrüben liegt eindeutig in Niederösterreich mit etwa 33.900 ha. Oberösterreich mit 5.823 ha und Burgenland mit 4.000 ha haben eine untergeordnete Rolle.

Einen kartografischen Überblick über die Lage des österreichischen Anbaugebietes für Zuckerrüben gibt Abbildung 1. Die grün gekennzeichneten Flächen geben jedoch keinen Hinweis auf die Intensität des Rübenanbaus in diesem Gebiet.

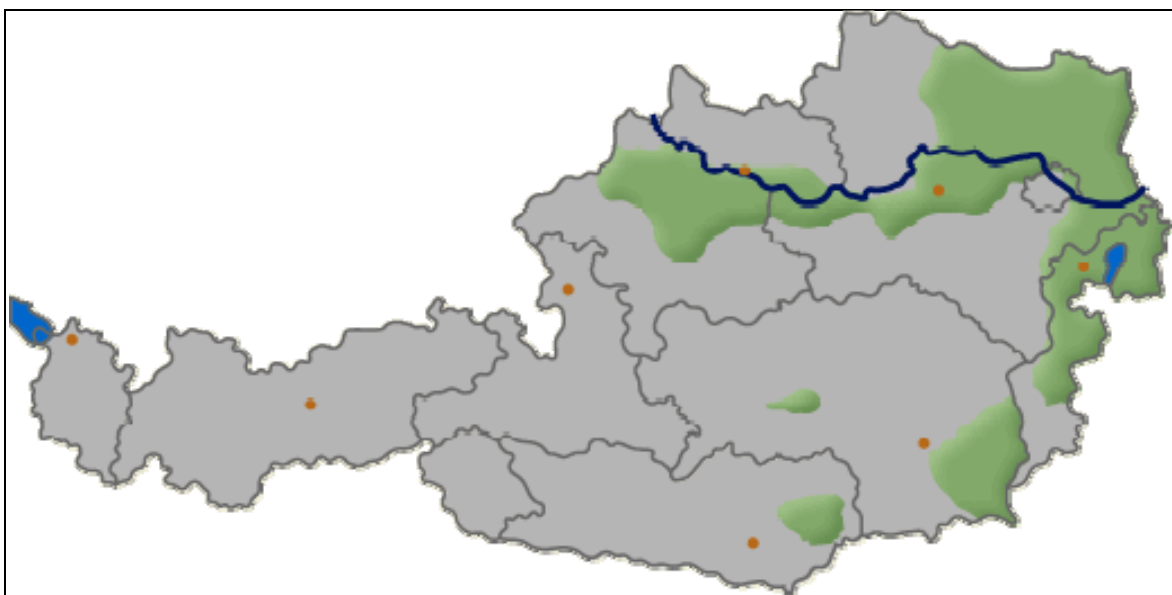


Abbildung 1: Überblick über das österreichische Zuckerrübenanbaugebiet

Die grünen Bereiche stellen die Produktionsgebiete für Zuckerrüben in Österreich dar. (Quelle: VÖR, 2010)

## 2.2. Die Zuckerrübe *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *altissima*

Die Zuckerrübe (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *altissima* Döll) gehört zur Familie der Gänsefußgewächse (*Chenopodiaceae*). Sie besitzt ursprünglich einen diploiden Chromosomensatz ( $2n = 18$ ). Viele der, für die Zuckerproduktion verwendeten europäischen Zuckerrübensorten sind jedoch triploide Hybride ( $2n = 27$ ).

Eine Eigenschaft der Pflanzen der Gattung *Beta* ist die Zweijährigkeit. Im ersten Jahr bildet sich nach der epigäischen Keimung eine, zum Rübenkörper verdickte, Wurzel und ein rosettenartiger Blattapparat. Die Zuckerrübe ist ein Pfahlwurzler, wobei die Wurzeln bis zu 2 m tief in den Boden reichen können. Nach einem Vernalisationsreiz im Winter beginnt die Zuckerrübe im nächsten Jahr mit der Bildung von generativen Pflanzenteilen. Im zweiten Jahr schossen die Rüben und bilden unscheinbare, grüne, fünfzählige Blüten aus. Die Pflanzen werden hauptsächlich windbestäubt und vorwiegend fremdbefruchtet (ELLIOTT und WESTON, 1993).

Es wird angenommen, dass sich die Kulturform der *Beta*-Rüben aus *Beta vulgaris* L. ssp. *maritima* entwickelt hat. Gebiete, in denen verschiedene Wildformen von *Beta* gefunden wurden, sind vor allem der nordafrikanische, asiatische und europäische Mittelmeerraum (BORNSCHEUER, 1986).

Die Gattung *Beta* wird in vier Sektionen eingeteilt (LEWELLEN et al., 2009):

- I) *Beta*: beinhaltet alle Kulturformen, aber auch die ursprünglichen *maritima* Formen
- II) *Corollinae*: ist hauptsächlich in Kleinasien bis in den Iran und westlich bis Osteuropa verbreitet
- III) *Nanae*: diese Sektion beinhaltet lediglich eine Art, Verbreitung hauptsächlich in Griechenland
- IV) *Procumbentes*: beinhaltet *B. procumbens*, ist eine wichtige genetische Quelle für diverse Resistenzgene gegen Pathogene (*Heterodera schachtii*, *Beet necrotic yellow vein virus* und deren Vektor *Polymyxa betae*)

Die Geschichte der noch „jungen“ Kulturpflanze Zuckerrübe begann Mitte des 18. Jahrhunderts. 1747 gelang dem Chemiker A.S. Marggraf der Nachweis, dass der in der „Runkelrübe“ enthaltene Zucker die gleiche Beschaffenheit besitzt wie der „Rohrzucker“ aus Zuckerrohr. Sein Schüler F.C. Achard führt 1784 erste Anbauversuche mit ausgewählten Pflanzen durch und errichtete 1801 in Cunern (Schlesien) die erste Rübenzuckerfabrik (BORNSCHEUER, 1986).

## 2.3. Der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii*

### 2.3.1. Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung

Der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii* ist unter mitteleuropäischen Bedingungen die verbreitetste und wirtschaftlich wichtigste Schadnematode an Zuckerrüben (SCHLANG, 1997). Er ist nahezu in allen intensiven europäischen Rübenbaugebieten, aber auch im Nahen Osten, in Nordamerika und Australien zu finden (BÜRCKY, 2004).

Die Zuckerrübenproduktion konzentriert sich auf Regionen mit idealen Bodenvoraussetzungen. Diese Regionen haben aufgrund der hohen Produktionskonzentration mit hohen Populationsdichten von *H. schachtii* und in weiterer Folge mit regelmäßigen Schäden zu rechnen. Es ist wahrscheinlich, dass Rübennekmatoden auch in anderen Regionen vorkommen. Dort aber sind Schäden aufgrund der geringen Ausgangspopulationen und der langen Fruchtfolgerotationen nicht zu erwarten (MÜLLER, 1999).

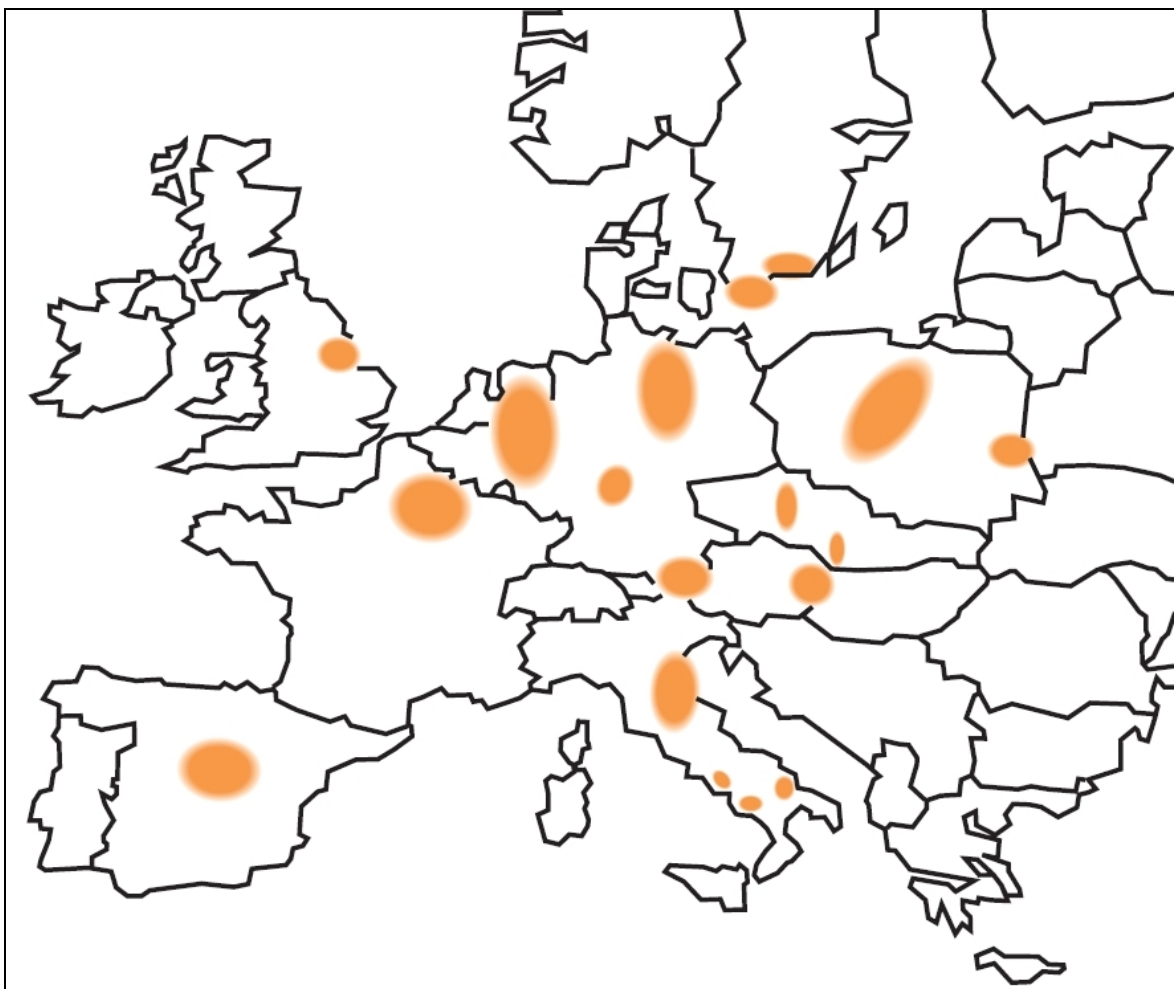
In der Zwischenkriegszeit wurde vor allem auf Flächen in Zuckerfabriksnähe und auf Flächen in unmittelbarer Nähe zu Eisenbahnstrecken intensiver Zuckerrübenanbau betrieben. Der Grund dafür lag in der ausschließlich händischen Rübenverladung. Um den Transportaufwand zu den Eisenbahnwaggons möglichst gering zu halten, wurden die um die Eisenbahnlinien liegenden Flächen öfters mit Rüben bebaut. Weiters führten teilweise starke Verflechtungen zwischen Zuckerindustrie und Gutsbetrieben dazu, dass auf diesen Betrieben der Flächenanteil von Zuckerrüben sehr hoch war.

*H. schachtii* tritt seit Beginn der industriellen Nutzung der Zuckerrübe als Schaderreger in Erscheinung. Intensiver Rübenanbau in Fabriksnähe ermöglichte zwar niedrige Transportkosten, bedeutete aber auch eine eng gestellte Fruchtfolge und somit eine häufige Wiederkehr von Wirtspflanzen des Parasiten. Gleichzeitig wuchs die Gefahr der Verschleppung des Nematoden beim Transport der Rüben und der Fabrikabfälle. Beachtliche Ertragsausfälle waren deshalb bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts zu verzeichnen (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000).

Jedoch wurden in den 1960er Jahren Fruchtfolgeauflagen für eine weitere Rübenfruchtfolge durchgesetzt, um Problemen mit Fruchtfolgekrankheiten entgegenzuwirken. Auf leichteren und daher im Frühjahr wärmeren Standorten kann jedoch auch bei vierjährigen Fruchtfolgen ein Problem auftreten.

Eine Umfrage des Internationalen Instituts für Zuckerrübenforschung (I.I.R.B.) im Jahr 1978 ergab, dass in den Ländern Italien, Polen, Tschechoslowakei, Niederlande, Deutschland, Jugoslawien, England und Schweden 10–25 % der für den Rübenanbau geeigneten Ackerflächen so stark mit *H. schachtii* verseucht sind, dass erhebliche Ertragsverluste auftreten (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000).

Einen Überblick über Gebiete mit verstärktem Auftreten des Rübenzystennematoden in den europäischen Zuckerrübenanbaubereichen gibt Abbildung 2.



**Abbildung 2: Verbreitungsgebiete des Rübenzystennematoden in Europa**

Die Karte skizziert die Gebiete mit verstärktem Auftreten von *Heterodera schachtii* anhand von orangenen Ellipsen. (KWS, 2009)



Übersteigt der Ausgangsbefall die „kritische Befallszahl“ von 500 lebensfähigen Eiern und Larven je 100 ml Boden, so ist im langjährigen Durchschnitt mit signifikanten Ertragsverlusten und mit überproportional zunehmenden Nematodenschäden zu rechnen (STEUDEL et al., 1978).

Obige ökonomische Schadensschwelle bezieht sich auf das Versuchsgebiet der Köln-Aachener Bucht, wo diese Versuche durchgeführt wurden. Bei diesem Ausgangsbesatz wird ein Ertragsverlust von zirka 5 % erwartet. Mit jeder Steigerung um 100 Eier und Larven (E+L)/100 ml Boden geht ein Ertragsverlust von einem Prozentpunkt einher (MÜLLER, 1999).

In der Literatur wird häufig vorgeschlagen, die Schadensschwelle an den Aussaatzeitpunkt anzupassen (STEUDEL und THIELEMAN, 1970; FICHTNER und FURCHERT, 1986). FICHTNER und FURCHERT (1986) präzisieren die Schadensschwelle und schlagen vor, bei Frühsaat bzw. niedrigen Temperaturen die Schadensschwelle bei 1000 E+L/100 cm<sup>3</sup> Boden anzusetzen. Unter Normalsaatbedingungen gelten 500 E+L/100 cm<sup>3</sup> Boden und bei Spätsaat reduziert sich die Schadensschwelle auf 250 E+L/100 cm<sup>3</sup> Boden.

Es sei darauf hingewiesen, dass in der Literatur verschiedene Bezugsparameter verwendet werden. So wurde in obigen Referenzen die Menge an Eiern und Larven auf 100 cm<sup>3</sup> Boden bezogen, während MÜLLER und RUMPENHORST (2000) die wirtschaftliche Schadensschwelle zwar auch mit 500 Eiern und Larven angeben, jedoch je 100 g Boden.

### 2.3.2. Biologie

Der Fadenwurm *Heterodera schachtii* Schmidt gehört zur Familie der *Heteroderidae* innerhalb der Ordnung der Tylenchida. SCHACHT (1859) erkannte als Erster kleine, weiße Pünktchen an den Rübenwurzeln kranker Zuckerrübenpflanzen und setzte diese in Zusammenhang mit der sogenannten „Rübenmüdigkeit“. Zwölf Jahre später erfolgte eine erste taxonomische Beschreibung des Schaderregers durch SCHMIDT (1871). Dieser wählte wegen der unterschiedlichen Entwicklung von Männchen und Weibchen den Gattungsnamen *Heterodera* und nannte die Art nach ihrem Entdecker *Heterodera schachtii* (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000).

Das Wirtspflanzenspektrum des Rübenzystennematoden ist mit über 200 Pflanzenarten aus über 20 Familien sehr weit gestreut (BÜRCKY, 2004). Neben 80 % aller

Gänsefußgewächse (z.B. Zuckerrüben, Futterrüben, Rote Rüben, Mangold, Spinat) werden auch zahlreiche Kreuzblütengewächse (z.B. Raps, Rübsen, Kohlrüben, Kohlrabi), aber auch viele Wildkräuterarten (z.B. Ackersenf, Hederich, diverse Gänsefußarten, Melde, Vogelmiere, Hirtentäschel) befallen (RIECKMANN und STECK, 1995). Daher wird *H. schachtii* auch auf Flächen gefunden, auf denen langjährig kein Ackerbau betrieben wurde (BÜRCKY, 2004).

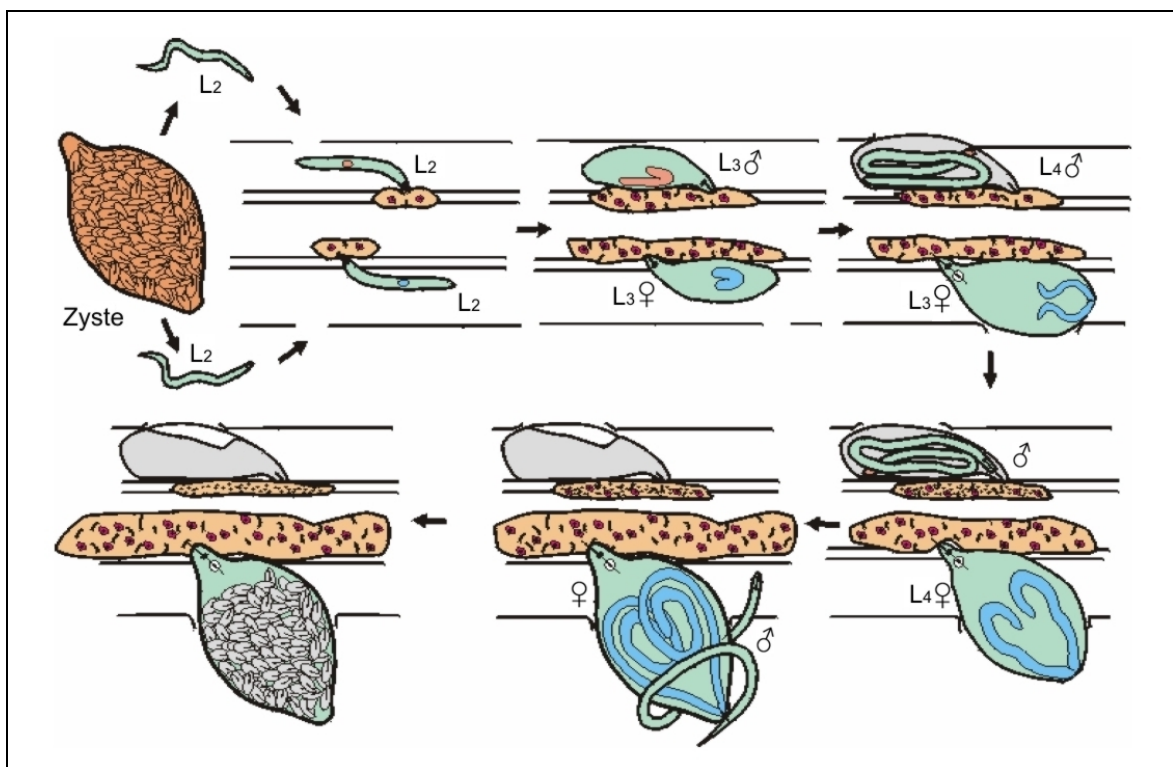
Die wesentlichen Entwicklungsstadien von *H. schachtii* sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Überdauerungsform des Rübenzystennematoden ist die zitronenförmige, zirka stecknadelkopfgroße Zyste, welche jahrelang im Boden auch ohne Wirtspflanze überdauern kann. Die Zyste ist mit bis zu 600 Eiern gefüllt, welche ihrerseits bereits einmal gehäutete Infektionslarven (L<sub>2</sub>) darstellen. Aufgrund von chemischen Reizen (Wurzelausscheidungen von Wirtspflanzen) verlassen die aus den Eiern geschlüpften Infektionslarven die Zysten und wandern Richtung Wurzel der Wirtspflanze.

Weitere Voraussetzungen für die Aktivierung der Larven sind geeignete Temperaturen und Feuchtigkeit. Unter Feldbedingungen ruht die Entwicklung im Winter und erst etwa ab April setzt das „aktive“ Leben wieder ein. Ein Teil der Larven schlüpft dann auch „spontan“, d.h. ohne Anwesenheit von Wirtspflanzen (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000).

Die Larven beginnen hinter der Wurzelspitze die Zellwände zu perforieren, dringen in die Wurzel ein und wandern intrazellulär in die Nähe der Leitgefäße. Ist die Larve bis zum Zentralzylinder vorgedrungen, löst sie die Bildung eines Nährzellensystems (Syncytium) aus. Dieses Syncytium bildet die Grundlage für die weitere Nematodenentwicklung (HALLMANN et al., 2007). Nach der Häutung zum dritten Larvenstadium (L<sub>3</sub>) wird die geschlechtliche Differenzierung deutlich. Das Geschlechterverhältnis ist von einer Reihe von Faktoren (z.B. Infektionsrate, Pflanzalter, Nahrungsbedingungen) abhängig (HOLTMANN, 2000).

Im Zuge der weiteren Nahrungsaufnahme und Häutung zum L<sub>4</sub>-Stadium nehmen die Larven ständig an Größe zu und platzen schließlich aus der Wurzelrinde, bleiben aber mit dem Kopfende mit dem Nährzellensystem verbunden. Die männlichen Larven entwickeln sich nach der letzten Häutung wieder zu einem wurmförmigen Tier, während die Weibchen kontinuierlich zu einem stecknadelkopfgroßen, zitronenförmigen Gebilde heranwachsen. Die Männchen suchen die Weibchen zur Kopulation auf (HALLMANN et al.,

2007). Letztere bilden daraufhin ihre Eier aus. Sie verbleiben im Nematodenkörper, welcher schließlich abstirbt und eine braune Zyste bildet. Diese derbwandige Zyste schützt die Eier vor äußeren Einflüssen. Sie löst sich schließlich von den absterbenden Wurzeln und überdauert frei im Boden. In der Eihülle entwickelt sich die Infektionslarve (L<sub>2</sub>), welche in diesem Stadium über Jahre hinweg im Boden infektiös bleibt. Aus diesen ausgereiften Eiern können aber auch sofort wieder Larven schlüpfen, die ihrerseits wieder neue Wurzeln infizieren (KÄMPFE, 1952).



**Abbildung 3: Generationszyklus von *Heterodera schachtii***

Die Infektionslarven L<sub>2</sub> verlassen die Zyste, dringen in die Pflanzenwurzel ein und wandern hier bis zum Zentralzylinder vor. Hier wird die Bildung eines Nährzellensystems induziert. Im Zuge der weiteren Nahrungsaufnahme und Häutungen platzen die Larven schließlich aus der Wurzelrinde, bleiben allerdings mit dem Kopfende mit dem Nährzellensystem verbunden. Die Männchen, welche sich wieder zu wurmförmigen Tieren entwickelt haben, suchen die Weibchen zur Kopulation auf. Letztere bilden daraufhin die Eier aus, welche im Nematodenkörper verbleiben. Schließlich stirbt das Weibchen ab, verbräunt und löst sich von der Wurzel ab. (verändert nach Grundler)

Die Dauer der Entwicklung hängt sehr stark von der Witterung ab. Vor allem warme, feuchte Witterungsbedingungen begünstigen die Nematodenentwicklung. Für die Entwicklung einer kompletten Generation des Rübenzystennematoden ist eine Wärmesumme von 465 °C erforderlich (BÜRCKY, 2004). GRIFFIN (1988) empfiehlt aufgrund von Versuchen, 8 °C als Minimumtemperatur für die Entwicklung von *H. schachtii* heranzuziehen und ermittelte eine Temperatursumme (Basis 8 °C) von zirka

400 Gradtagen für die Entwicklung einer Generation ( $L_2 - L_2$ ). Somit haben die Temperaturen und hier vor allem die Frühjahrstemperaturen einen entscheidenden Einfluss auf die mögliche Vermehrungsrate. Bei höherem Wärmeangebot (z.B. in Nordbayern) ist demzufolge mit zwei bis drei, in kühleren Regionen hingegen nur mit ein bis zwei Generationen pro Jahr zu rechnen (ARNDT, 1992).

### 2.3.3. Schadbild

Das Schadbild von *Heterodera schachtii* ist den durch Rizomania (*Beet Necrotic Yellow Vein Virus*) verursachten Schäden ähnlich. Es treten nesterweise Aufhellungen der Blätter (Chlorosen) und Wachstumshemmungen auf. Die Ausbreitung dieser ovalen Nester erfolgt meist in Bearbeitungsrichtung. Vor allem bei ausgeprägtem Blattwerk kommt es unter hoher Sonneneinstrahlung zu Welkeerscheinungen (Abbildung 4). Über einem gewissen Befallslevel haben die Pflanzen nicht mehr die Möglichkeit, sich während kühlerer Perioden zu erholen und der Welkezustand manifestiert sich. In weiterer Folge kommt es zum Vergilben und Absterben der äußeren Blätter.



**Abbildung 4: Farbunterschiede und Welkesymptome im Befallsnest**

In den beiden Abbildungen sind kreisförmige Aufhellungen der Rüben zu erkennen. Im linken Bild beginnen die Rüben im aufgehellten Bereich bereits zu welken, während die restlichen Rüben keine Welkeerscheinungen aufweisen. Im rechten Bild sind in der Bildmitte die Rüben schwächer entwickelt. (Quelle: eigene Aufnahmen)

Die Rübenkörper befallener Pflanzen entwickeln verkürzte Hauptwurzeln bei verstärkter Bildung von verzweigten Seitenwurzeln. Diese werden schlussendlich zum typischen „Wurzelbart“. Dadurch kommt es in weiterer Folge bei der Ernte zu höheren Erdanteilen und in der Verarbeitung zu Problemen. Die Rüben können aufgrund des geschädigten Wurzelsystems weniger Wasser und Nährstoffe aufnehmen, bleiben im Wachstum zurück und bilden verhältnismäßig kleine Rübenkörper aus. An den Haarwurzeln sind

stecknadelkopfgroße weiße oder braune Zysten mit zitronenähnlicher Form zu finden (Abbildung 5).



**Abbildung 5: Befallener Rübenkörper mit Weibchen von *Heterodera schachtii***

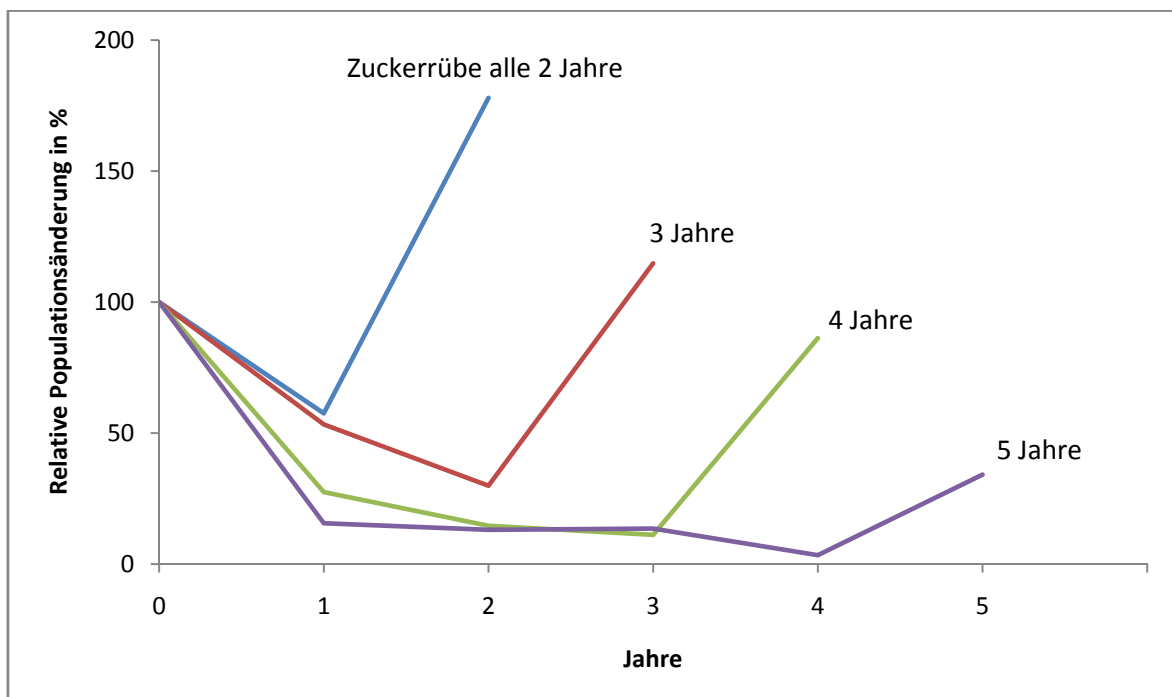
Auf den feinen Haarwurzeln sitzen die Weibchen in Form von weißen, zitronenförmigen Kügelchen (durch Pfeile gekennzeichnet). (Quelle: eigene Aufnahmen)

#### 2.3.4. Bekämpfung

Die Bekämpfung mit chemischen Pflanzenschutzmitteln (Nematiziden) ist aufgrund der damit verbundenen ökotoxikologischen Schäden an der Bodenfauna in Österreich nicht üblich. Die Mittel wirken sehr unselektiv, weshalb Nebenwirkungen auf Nützlinge auftreten. Im Vergleich zu Deutschland, wo derzeit keine Nematizide mehr verfügbar sind, ist in Österreich noch ein Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung des Rübenzystennematoden zugelassen (Wirkstoff Oxamyl).

Der Einsatz physikalischer Methoden wie Bodendämpfung usw. ist nur in Gartenbau- bzw. Sonderkulturbetrieben üblich. Im großflächigen Einsatz konnten sich diese Verfahren aufgrund des hohen Energiebedarfs nicht durchsetzen.

Weit effektiver können kulturtechnische Maßnahmen zur Vermeidung einer übermäßigen Vermehrung von *H. schachtii* eingesetzt werden. Da der Rübenzystennematode ein klassischer Fruchtfolgeschädling ist, kann durch das Ausweiten der Fruchtfolge eine Reduktion herbeigeführt werden. Aufgrund von natürlicher Sterblichkeit und spontanem Schlupf ohne Vorhandensein von Wirtspflanzen reduziert sich der Anfangsbesatz bis zur nächsten Zuckerrübenkultur. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die relative Populationsänderung bei unterschiedlich intensiven Zuckerrübenfruchtfolgen in der Köln-Aachener Bucht. Während bei 2-jähriger Fruchtfolge die Nematodenpopulation nach dem darauffolgenden Rübenjahr auf 178 % anstieg, konnte bei 5-jährigen Fruchtfolgen eine Reduktion nach der nächsten Rübenkultur auf 34 % erreicht werden.



**Abbildung 6:** Änderung der Populationsdichte von *Heterodera schachtii* bei unterschiedlichen Fruchtfolgeabständen in der Köln-Aachener Bucht

Bei 2-jähriger Fruchtfolge kommt es zu einer Zunahme der Nematodenpopulation um 78 %. Bei 3-jährigem Zuckerrübenanbau beträgt der Endbesatz nach Zuckerrüben 115 % des Ausgangsbesatzes. Erst mit 4-jährigen Rotationen kann eine Reduktion des Nematodenbesatzes erreicht werden. (Daten aus STEUDEL et al., 1981)

Bei 3-jähriger Fruchtfolge lag der Endbesatz nach dieser Rotation bei 115 %. Somit ist im Laufe der Zeit mit einer Zunahme der Nematodenpopulation zu rechnen, während mit einer 4-jährigen Fruchtfolge eine Reduktion des Besatzes erreicht werden konnte. Bei stärkerem Nematodenbesatz kann erst bei noch längeren Rotationen die Besatzdichte unter die Schadensschwelle von 500 Eiern und Larven/100 ml Boden gesenkt werden (BÜRCKY, 2004).



Bei langjährigen Versuchen in Unterfranken (Bayern, D) konnte auch bei 4-jährigen Anbaupausen der Befall vor dem Anbau von Zuckerrüben nicht unter der Schadensschwelle von 500 Eiern und Larven/100 ml Boden gehalten werden (ARNDT, 2002).

Weiters ist in der Fruchtfolgegestaltung auf andere Wirtspflanzen zu achten. Raps ist in der Fruchtfolgeplanung wie Zuckerrübe zu werten, d.h. es müssen ähnliche Zeitabstände eingehalten werden, um eine übermäßige Vermehrung des Rübenzystennematoden zu verhindern.

Einen weiteren Einfluss auf das Ausmaß der Schädigung durch den Rübenzystennematoden hat der Saatzeitpunkt. STEUDEL und THIELEMANN (1979) zeigten in mehrjährigen Versuchen in der Köln-Aachener Bucht, dass mit Verspätung der Saatzeit eine signifikante Zunahme der nematodenbedingten Ertragsverluste einhergeht. Die Streuung bei Spätsaaten war auch deutlich höher, wodurch auf weitere Einflussfaktoren wie Temperatur und Bodenfeuchtigkeit hingewiesen wurde.

Eine Möglichkeit zur Reduktion des Rübenzystennematoden stellt das Fangpflanzenverfahren dar. Hierbei werden Wirtspflanzen von *H. schachtii* angebaut. Kurz vor Beendigung des Entwicklungszyklus der Nematoden werden die Pflanzen vernichtet. Dadurch kann der Lebenszyklus nicht vollendet werden und die Nematoden sterben ab. Die Schwierigkeit dieser Methode liegt in der Bestimmung des optimalen Umbruchzeitpunkts der Fangpflanzen. Wird zu spät umgebrochen, erzielt man einen gegenteiligen Effekt und es kommt zu einer Vermehrung der Nematoden.

Durch den Anbau resistenter Zwischenfrüchte kann in der Regel eine Reduzierung des Nematodenbefalls erreicht werden, welcher weit über dem natürlichen Befallsrückgang liegt. Diese Pflanzen bewirken einen starken Schlupfreiz der Infektionslarven aus den Zysten. In der Regel dringen diese Larven auch in die Wurzeln ein. Aufgrund eines unzureichenden Nährzellensystems werden die Nematoden nur schlecht ernährt und sterben ab (BÜRCKY, 2004). Weiters wird das Geschlechterverhältnis in Richtung Männchen verschoben und trägt so zu einer Reduktion der Vermehrung bei (MÜLLER, 1985). Als resistente Zwischenfrüchte werden unter anderem Ölrettich- und

Senfsorten angeboten. Entscheidend für den Erfolg ist einerseits der Grad der Resistenz der Zwischenfrüchte, andererseits der Anbauzeitpunkt. Erfolgt eine zu späte Aussaat, ist die Wirkung unzureichend. Mit hoch resistenten Zwischenfrüchten lässt sich der Nematodenbesatz um 60–80 % reduzieren (MÜLLER, 1999).

Ähnlich den resistenten Zwischenfrüchten ist auch ein Anbau resistenter Zuckerrübensorten möglich. Diese Resistenzen beruhen auf dem dominant vererbten Resistenzgen *Hs1<sup>pro-1</sup>* aus *Beta procumbens*. Ein kleiner, unterschiedlich hoher Anteil an Pflanzen ist allerdings voll anfällig. Diese unvollständige Transmission der Resistenz ist der Hauptgrund dafür, dass auch an manchen Pflanzen resistenter Sorten Zysten gefunden werden (NIERE, 2009). Maßgeblicher Vorteil ist die Bekämpfung des Nematoden unter der Hauptkultur Zuckerrübe. Hier wird neben der Sicherung des Zuckerertrages auch die Populationsdynamik beeinflusst. Bei hohen und mittleren Besatzdichten ist eine Reduktion auf 25–30 % des Ausgangswertes möglich, während bei geringem Anfangsbesatz der Anstieg der Populationsdichte stark begrenzt wird (SCHLANG, 2002). Allerdings wurden mit dem Resistenzgen auch negative Sorteneigenschaften wie z.B. Mehrköpfigkeit, hoher Amino-N-Gehalt oder niedrige Ertragsleistung übertragen. Diese Eigenschaften lassen sich nur über aufwändige Rückkreuzungen wieder beseitigen. Bei fehlendem oder geringem Nematodenvorkommen sind resistente Sorten dem Standardsortiment im Zuckerertrag noch um 10–15 % unterlegen. Bei Ausgangsbesätzen von 500 bis 1000 Eiern und Larven/100 ml Boden kommt ihre Überlegenheit allerdings zum Tragen (BÜRCKY, 2004).

Im Gegensatz zu resistenten Sorten bringen tolerante Sorten keine Reduktion des Nematodenbesatzes. Sie besitzen lediglich eine partielle Resistenz und eine ausgeprägte Toleranz. Die Vermehrungsraten von toleranten Sorten liegen zwischen jenen resistenter und anfälliger Sorten im Bereich von 1,5–2. Tolerante Sorten bringen im geringen Befallsbereich wesentlich bessere Erträge als resistente Sorten und sind in diesem Bereich auch mit Normalsorten vergleichbar. Die Eigenschaften der aktuellen Sorten weisen noch relativ hohe Kalium-, Natrium- und Alpha-Amino-N-Gehalte auf (OLSSON et al., 2007).



## **2.4. Resistenz versus Toleranz**

### **2.4.1. Abgrenzung der beiden Begriffe**

Die Begriffe Resistenz und Toleranz werden sowohl in der Literatur, vor allem aber in der landwirtschaftlichen Praxis nicht einheitlich verwendet.

In der Nematologie wird unter Resistenz allgemein die Eigenschaft einer Pflanzenart oder -sorte verstanden, die Fortpflanzung einer bestimmten Nematodenart zu begrenzen. In Bezug auf die Sortenbewertung ist die Resistenz enger definiert als die Eigenschaft einer Pflanzensorte, die Vermehrungsrate einer bestimmten Nematodenart unter standardisierten Bedingungen auf ein festgelegtes Niveau zu begrenzen (MÜLLER, 1989).

Das Gegenteil von Resistenz ist Anfälligkeit. Hierbei wird die Eigenschaft einer Pflanzenart oder -sorte beschrieben, einer bestimmten Nematodenart Entwicklung und Fortpflanzung zu ermöglichen (MÜLLER, 1989).

Als generelle Richtlinie gilt die in der Nematologie anerkannte Definition „Eine Wirtspflanze ist resistent, wenn sich an ihr eine Nematodenpopulation nicht vermehrt“.

Hierzu muss der Begriff der Vermehrungsrate eingeführt werden, welcher auch als  $P_f/P_i$ -Wert bezeichnet wird. Die Vermehrungsrate bezeichnet das Verhältnis aus „Dichte der Population bei Kulturende“ zu „Dichte der Anfangspopulation“ (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000). Folglich kann als Grenze zwischen „resistent“ und „anfällig“ eine Vermehrungsrate von 1 angenommen werden.

Die beiden Eigenschaften Anfälligkeit und Resistenz beziehen sich somit laut Definition auf die Nematodenentwicklung an Wirtspflanzen. Resistenz beschreibt daher keine Ertragseigenschaft bzw. -reaktion der Kulturpflanzen. Somit müssen resistente Sorten keineswegs ein uneingeschränktes Wachstum aufweisen bzw. hohe Erträge erbringen, sondern lediglich die Vermehrung der Nematoden unter ein festgelegtes Niveau begrenzen.

Die Reaktion der Pflanze auf einen Schaderregerbefall wird hingegen von den beiden Begriffen Empfindlichkeit und Toleranz beschrieben (MÜLLER, 1989):

Empfindlichkeit: Eigenschaft einer Pflanzenart oder -sorte, bei Nematodenbefall mit Krankheitssymptomen und/oder Ertragsminderung zu reagieren.

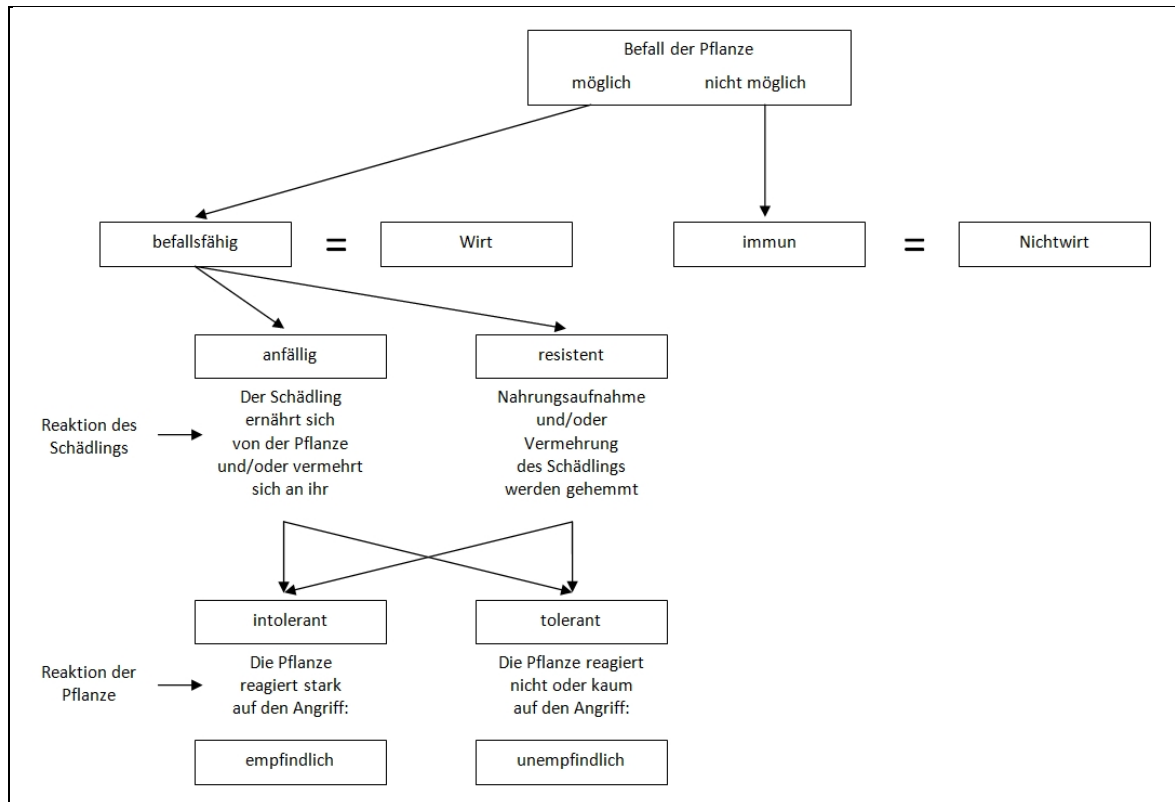
Toleranz: Eigenschaft einer Pflanzenart oder –sorte, auf Nematodenbefall nicht oder weniger empfindlich mit Krankheitssymptomen und/oder Ertragsminderung zu reagieren.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass Schaderregerbefall in der Vergangenheit immer mit negativen Wirkungen verknüpft wurde. In Versuchen konnte jedoch nachgewiesen werden, dass bei Wirt-Parasit-Beziehungen die „Möglichkeit eines Gewinns“ gegeben ist (SEIDEL, 1996a).

SEIDEL (1996b) schlägt daher folgende abgeänderte Definition von Toleranz vor:

„Toleranz ist die Fähigkeit der Pflanze, ohne Abwehr des Stressors Schaderregerbefall oder die Einwirkung abiotischer Stressfaktoren unter geringerer Einbuße an Lebens- und Leistungsfähigkeit zu überstehen als intolerante Pflanzen bei gleicher Belastungsintensität. Im Rahmen der dabei ablaufenden Anpassungsmechanismen können auch zeitweilige Leistungssteigerungen über das Maß ungestresster Pflanzen hinaus stattfinden, welche gleichfalls dazu beitragen den stressorbedingten Schaden zu kompensieren. In besonderen Fällen können diese Leistungssteigerungen manifest sein und zur Ertragssteigerung führen.“

Abbildung 7 veranschaulicht die Zusammenhänge grafisch. Hier wird nochmals die Unabhängigkeit von Resistenz und Toleranz deutlich, weil einerseits eine Reaktion des Schädlings (Resistenz) und andererseits eine Reaktion der Pflanze (Toleranz) beschrieben wird.



**Abbildung 7: Reaktion der Pflanze auf Schädlingsbefall**

Anfälligkeit bzw. Resistenz sind immer mit einer Reaktion des Schädlings verbunden (Schädling kann sich ernähren und vermehren bzw. wird darin gehemmt), während die Eigenschaften Intoleranz bzw. Toleranz eine Reaktion (starke bzw. geringe Reaktion) der Pflanze wiedergeben. (Quelle: FRITZSCHE et al., 1988)

### 2.4.2. Resistente und tolerante Zuckerrübensorten

Innerhalb der Gattung *Beta* ist vollständige Resistenz nur für drei Arten der Sektion *Procumbentes* bekannt, nämlich für *B. procumbens*, *B. webbiana* und *B. patellaris*. Sie ist monogen und wird dominant vererbt (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000).

Die Nematodenresistenz aus *B. procumbens* wurde durch Hybridisierung auf das Zuckerrübengenom übertragen (SAVITSKY, 1975). 1978 gelang SAVITSKY erstmalig die Züchtung diploider Hybride, welche zusätzlich zum Kulturrübengenom den resistenztragenden Chromosomenabschnitt aus der Wildrübe *B. procumbens* enthielten. Heute stehen mindestens zwei qualitativ verschiedene Resistenzgene aus *B. procumbens* zur Verfügung, welche als Hs1<sup>pro-1</sup> bzw. Hs2<sup>pro-7</sup> bezeichnet werden. Hierbei steht „Hs“ für Gene mit einer Resistenz gegen die Nematodenart *Heterodera schachtii* und „pro“ für die Herkunft der Resistenz, nämlich *B. procumbens* (LANGE et al., 1993).

Das Resistenzgen  $Hs1^{pro-1}$  verhindert eine Zysten Neubildung fast vollständig. An einzelnen Pflanzen können sich aber bis zu 20 Zysten bilden. Diese Zysten sind überwiegend leer oder nur wenig mit Eiern gefüllt. Ein Teil der Pflanzen resistenter Sorten ist jedoch voll anfällig, wofür als Grund eine unvollständige Transmission der Resistenz angenommen wird (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000).

HEIJBROEK (1977) konnte eine verringerte Anfälligkeit (nicht vollständige Resistenz) gegenüber *H. schachtii* in Herkünften von *B. maritima* nachweisen. Diese Resistenz ist jedoch wahrscheinlich polygen und rezessiv. HEIJBROEK et al. (1977) führten mit Kreuzungen von *B. vulgaris* x *B. maritima* Versuche über Welkeerscheinungen verursacht durch den Befall mit Rübenzystennematoden durch. Diese selektierten Linien wiesen eine gesteigerte Welketoleranz auf. Aufgrund von Rückkreuzungen wurde geschlossen, dass die Toleranz dominant oder unvollständig dominant vererbt wird.

Im Jahr 2005 wurde in Deutschland die erste tolerante Sorte („Pauletta“) zugelassen. In Feldversuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen konnte festgestellt werden, dass sich an einer anfälligen Sorte *H. schachtii* um das 2–4 fache vermehrte, an der toleranten Sorte um das 1,5–2 fache und an einer resistenten Sorte nahm die Besatzdichte erwartungsgemäß um 20–30 % ab. In ebendiesen Versuchen wies die tolerante Sorte auf Befallsstandorten einen 20 % höheren bereinigten Zuckerertrag auf, während unter Nichtbefall die tolerante Sorte nicht an das Niveau von anfälligen Sorten herankam (HEINICKE und WARNECKE, 2006).

Tolerante Sorten mit verringerter Anfälligkeit weisen trotz ihrer (definitionsgemäßen) besseren Ertragsleistung im Vergleich zu anfälligen Sorten eine Vermehrung des Nematodenbesatzes auf. Es ist daher unter Feldbedingungen unbedingt darauf zu achten, dass sich der Nematodenbesatz nicht unbemerkt aufbaut und mit höheren Besatzdichten auch die tolerante Sorte in stärkerem Ausmaße geschädigt wird.

Die aus Wildrüben eingekreuzten Resistenzgene wirken sehr spezifisch und können durch entsprechende Virulenzgene der Nematoden überwunden werden. Es ist abzusehen, dass diese monogenen Resistenzen gegen *H. schachtii* nur begrenzte Zeit genutzt werden können, wenn nicht sorgsam auf ein gutes Resistenzmanagement geachtet wird (GIERTH, 2005).

Bei wiederholtem Anbau von resistenten Sorten besteht die Möglichkeit der Selektion virulenter Nematodenpopulationen (Pathotypen). MÜLLER (1992) konnte unter Laborbedingungen nachweisen, dass durch wiederholte Nematodenvermehrung an resistenten *Beta* Genotypen (Resistenzgen von *B. procumbens*) eine Virulenzsteigerung möglich ist.

Bei Sorten mit einer verringerten Anfälligkeit („tolerante Sorten“) ist aufgrund der polygen bedingten Resistenz aus *B. maritima* mit keinem Auftreten von „echten“ Pathotypen zu rechnen. Damit erscheint ein „Resistenzbruch“, d.h. eine plötzliche, starke Vermehrung der Nematoden trotz des Anbaus einer gering anfälligen Sorte, als wenig wahrscheinlich (NIERE, 2009).

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Auswahl der Versuchsfelder

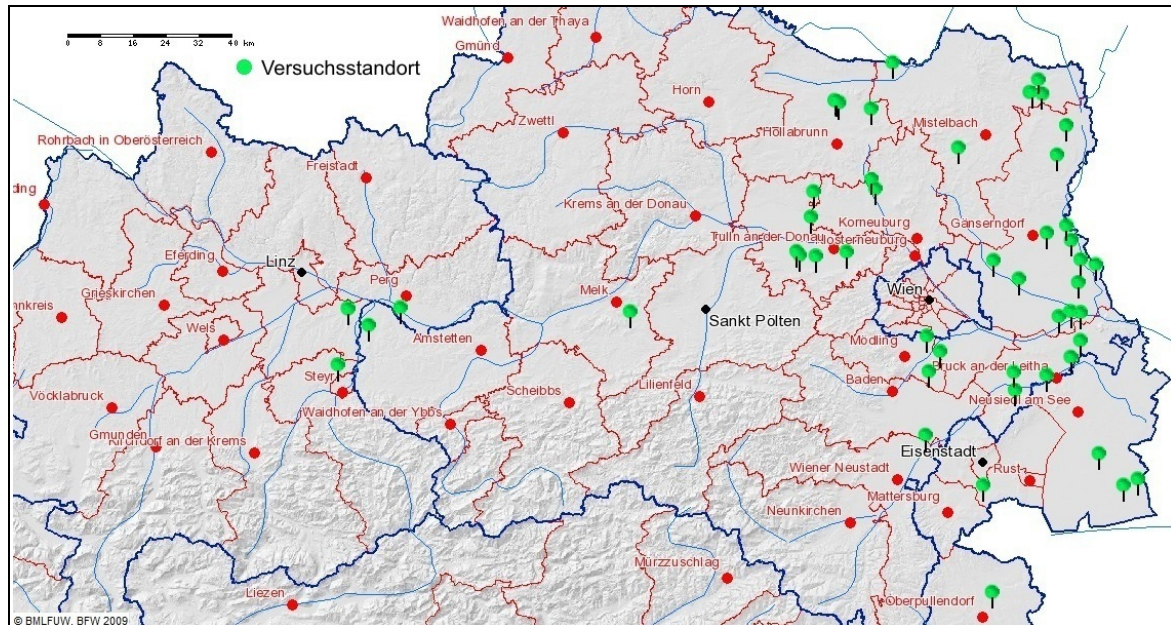
Die Auswahl der 48 Versuchsfelder wurde von den Rohstoffabteilungen der AGRANA Zucker GmbH (AGRANA) im gesamten Anbaugebiet für Zuckerrüben durchgeführt. Es sollte darauf geachtet werden, dass sich in den jeweiligen Gebieten Flächen mit bekanntem Befall bzw. Flächen mit vermutetem Befall, aber auch Flächen ohne Befall befinden: Es galt, die Eigenschaften der Sorten sowohl unter Befall, als auch unter Nichtbefall zu beobachten. Der Schwerpunkt wurde auf Verdachtsflächen gelegt. Die Verteilung der Versuchsflächen über das österreichische Zuckerrübenanbaugebiet ist Tabelle 2 zu entnehmen.

**Tabelle 2: Verteilung der Versuchsflächen auf das österreichische Zuckerrübenanbaugebiet**

| Gebiet                                      | Anzahl an Versuchsflächen |
|---------------------------------------------|---------------------------|
| Südliches Wiener Becken                     | 5                         |
| Mittleres Burgenland                        | 1                         |
| Leithaniederung                             | 5                         |
| Seewinkel                                   | 3                         |
| Marchfeld                                   | 11                        |
| Weinviertel Ost <sup>1</sup>                | 6                         |
| Weinviertel West <sup>1</sup>               | 7                         |
| Tullnerfeld                                 | 5                         |
| Westliches Niederösterreich, Oberösterreich | 5                         |
| Gesamt                                      | 48                        |

<sup>1</sup> Grenze bildet die Bundesstrasse B6

Die Versuchsflächen konzentrieren sich im Marchfeld, Tullnerfeld sowie im Weinviertel. Diese Regionen stellen die österreichischen Hauptproduktionsgebiete für Zuckerrüben dar. Abbildung 8 gibt einen kartografischen Überblick über die Verteilung der Versuchsflächen. Jeder Versuchsstandort wird durch einen grünen Punkt repräsentiert.



**Abbildung 8: Erfasstes Gebiet mit Versuchsfeldern**

Die grünen Punkte stellen die Standorte der ausgewählten Versuchsflächen dar. (Quelle: BFW, 2009, geändert)

### 3.2. Anlage der Versuchsfelder

Die Aussaat erfolgte unter praxisüblichen Bedingungen im Frühjahr 2008. Der Anbauzeitpunkt, der Reihenabstand, der Abstand in der Reihe als auch die Bodenvorbereitung wurden betriebsüblich gewählt. Die Sämaschine wurde unter anderem mit den beiden für den Versuch vorgesehenen Sorten beschickt. Es wurde die Vorgabe getroffen, die beiden Sorten immer in benachbarte Säelemente zu füllen. Ein möglicher Spureinfluss des Traktors sollte auf beide Versuchssorten gleich wirken. Das heißt, je nach Art des Anbaus der Sämaschine an den Traktor hatten entweder beide Sorten Spureinfluss oder nicht. Um mögliche Einflüsse durch ungleichmäßige Reihenabstände zu vermeiden, durfte keine Versuchssorte auf die „Stossreihe“ (Randreihe der Sämaschine) gesät werden. Die am häufigsten gewählte Variante ist exemplarisch in Abbildung 9 dargestellt. Als Versuchsfläche wurde zirka ein Hektar nach diesem Schema bebaut.

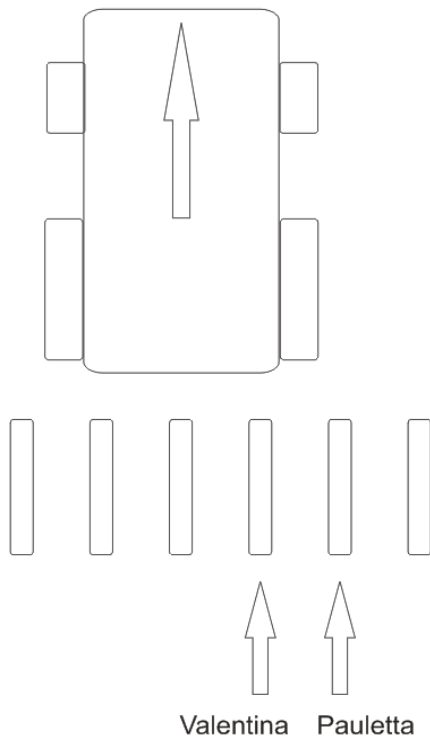


Abbildung 9: Mögliche Beschickung der Säelemente mit den Versuchssorten bei der Versuchsanlage

### 3.3. Sorten

Für den Versuch wurden die Sorten Valentina und Pauletta der Firma KWS Saat AG gewählt: Beide Sorten weisen eine Rizomania-Toleranz auf. Zusätzlicher Entscheidungsgrund war die ähnliche Anfälligkeit gegen *Cercospora beticola*. Valentina wurde für den Versuch als Referenzsorte herangezogen, um das Standardsortiment (ohne Nematodentoleranz) zu repräsentieren. Die Sorte Pauletta gilt als nematodentolerant und stellte zu Beginn der Versuche die leistungsfähigste nematodentolerante Sorte dar.

### 3.4. Festlegung der Prüfflächen

Die mit beiden Versuchssorten bebaute Fläche von einem Hektar je Versuchsstandort wird in weiterer Folge als „Erhebungsfläche“ bezeichnet. Aus dieser Erhebungsfläche wurden nach dem Anbau Bodenproben gezogen, um eine Befallskategorisierung des Standortes durchführen zu können. Weiters war vorgesehen, aus den 48 möglichen Versuchsflächen 23 Standorte für eine vorzeitige Ernte auszuwählen. Die zur Ernte geplanten Parzellen mit einer Größe von 2,25 m<sup>2</sup> werden als „Kleinparzellen“ bezeichnet.



Zusätzlich wurden im Frühjahr 12 Standorte für eine genauere Beprobung seitens der AGRANA Rohstoffabteilungen ausgewählt. Hier wurden, im Weiteren als „Großparzellen“ bezeichnete Teilflächen mit einer Größe von 7,5 m<sup>2</sup> je Sorte in vierfacher Wiederholung bereits nach der Aussaat fix eingeschrieben. Die Großparzellen von sieben dieser Standorte kamen im Herbst tatsächlich zur Ernte.

### **3.5. Bodenprobenahme und -analyse**

#### **3.5.1. Bodenprobenahme und -aufbereitung**

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte mit üblichen Bohrstöcken, wobei ein Bohrkern von zirka 1,5 cm Durchmesser aus einer Tiefe von zirka 30 cm entnommen wurde. Um einen Überblick über den Befallszustand der Fläche zu erhalten, wurden innerhalb der Erhebungsflächen zirka 150 Einstiche getätigt. Die gezogenen Erdproben wurden zu einer Mischprobe vermengt. Der Zeitraum der Bodenprobenahme erstreckte sich von der Aussaat bis zum Erscheinen der ersten Keimblätter.

Auch aus den Großparzellen der 13 vorab ausgewählten Standorte wurden Bodenproben gezogen. Je nach betriebsüblicher Reihenweite (45 cm oder 50 cm) ergaben sich Parzellen mit einer Länge von 16,66 m bzw. 15 m. Die Bodenprobenahme jeder Wiederholung erfolgte im Frühjahr für beide Sorten gemeinsam, da aufgrund der unmittelbaren Nähe zueinander von einem homogenen Anfangsbesatz für beide Sorten ausgegangen werden kann. Pro Wiederholung wurden ca. 60 Einstiche zu einer Mischprobe vermengt und analysiert. Diese Ergebnisse stellen den Anfangsbesatz in den jeweiligen Wiederholungen dar. Auf dem Feldstück des Betriebs in Pernhofen wurden aufgrund der Größe des Feldstückes sechs Wiederholungen ausgesteckt. Aufgrund eines ungleichmäßigen Pflanzenbestandes wurde das Feldstück aber nicht zur Analyse ausgewählt.

Im Herbst wurden auf den sieben zur Ernte vorgesehenen Großparzellen weitere Bodenproben gezogen, um einen Endbesatz mit Nematoden zu ermitteln. Hierzu wurden, im Unterschied zur Frühjahrsprobenahme, die Flächen jeder Sorte getrennt beprobt, da von unterschiedlichen Vermehrungsraten ausgegangen werden konnte. Pro Sorte wurden ca. 30 Einstiche getätigt und zu einer Mischprobe vereint.

Die jeweiligen Mischproben der Erhebungsflächen wurden in zweifacher Wiederholung an drei unterschiedliche Institutionen zur Bestimmung des Besatzes mit Rübenzystennematoden versandt:

- Bodengesundheitsdienst GmbH (BGD) – Justus-Liebig-Labor in Rain am Lech (Deutschland)
- KWS Saat AG (KWS) in Einbeck (Deutschland)
- Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES) – Institut für Pflanzengesundheit in Wien

Die Mischproben der Großparzellen wurden ebenfalls in zweifacher Wiederholung, jedoch nur an die Bodengesundheitsdienst GmbH nach Rain am Lech (Deutschland), versandt.

### **3.5.2. Analysemethode der Bodengesundheitsdienst GmbH (BGD)**

Hierbei wird versucht, durch eine Schlupfreizinduktion ein Schlüpfen der Larven (L<sub>2</sub>-Larven) hervorzurufen. Anschließend werden diese aus der Erde ausgewaschen und die enthaltene DNA mittels PCR (PolymeraseChainReaction) vervielfältigt. Danach wird die DNA mit Hilfe einer Gelelektrophorese aufgetrennt und mittels elektronischer Verrechnung (BIO-RAD Gel Doc 2000) mit standardisierten Referenzproben verglichen. Dadurch kann auf den ursprünglichen Besatz mit *H. schachtii* zurückgerechnet werden. Aufgrund der Spezifität der eingesetzten Primer kann eine Verfälschung durch fremde Nematodenarten ausgeschlossen werden (ARNDT et al., 2004; FÜRSTENFELD et al., 2005). Der genaue Analyseablauf ist im Anhang unter 9.1 beschrieben.

### **3.5.3. Analysemethode der KWS Saat AG**

Zuerst werden die Proben (üblicherweise 100 cm<sup>3</sup>) zirka fünf Minuten mit Wasser gesättigt. Anschließend wird die Erde auf zwei Siebe (500 µm über 250 µm) gegeben und die Zysten werden durch das 500 µm Sieb in das 250 µm Sieb gewaschen. Danach wird ein feuchtes Filterpapier am Rand des Siebrahmens aufgestellt und der ganze Siebrahmen in ein mit Wasser gefülltes Behältnis gestellt. Mittels Tween 20 oder Spülmittel wird die Oberflächenspannung reduziert und die Zysten schwimmen Richtung aufgestelltem

Filterpapier. Anschließend werden die Zysten am Filterpapier auf einer Plastikfolie unter dem Binokular ausgezählt und in eine Petrischale gelegt. Hierbei werden die Zysten von *H. schachtii* von andersartigen Nematodenzysten visuell getrennt.

Zur Bestimmung des Zysteninhalts werden die Zysten nach Zugabe von Wasser mittels eines Rührers gequetscht und der Inhalt in Wasser suspendiert. Anschließend wird diese Suspension in Unterproben aliquotiert und je 1 ml auf selbstgemachte Zählfolien aufgebracht. Üblicherweise wird für Feldversuche eine Unterprobe (2 x 1 ml) untersucht. Bei großen Abweichungen wird eine dritte Analyse durchgeführt. Auf den Zählfolien wird die Anzahl von Eiern und Larven ausgezählt. Über die analysierte Bodenprobenmenge wird dann auf den Ausgangsbesatz rückgerechnet (HOLTSCHULTE und NIEHOFF, 2010).

#### **3.5.4. Analysemethode der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES)**

Im Vergleich zu den beiden anderen Verfahren wurde hier nur die Zystenanzahl und nicht der Zysteninhalt bestimmt. Die Zysten werden durch einen Schwemmtest (Prinzip der Seinhorstkanne) mittels MEKU-Bodenprobenextraktor aus dem Boden extrahiert. Nematodenzysten werden dabei in einem Sieb aufgefangen. Anschließend werden andersartige Nematodenzysten aussortiert und nur Zysten von *H. schachtii* gezählt (AGES, 2010).

Aufgrund des mittleren Zysteninhalts von zirka 20 Larven/Zyste (exakt: 20,27 Larven/Zyste) aus der Analyse der KWS wurden die Ergebnisse der AGES-Methode auf die jeweiligen Zysteninhalte rückgerechnet, um die drei unterschiedlichen Analysemethoden vergleichen zu können.

Die gewählte Vorgehensweise der Umrechnung der Zystenanzahlen auf deren Inhalte wurde einerseits aus Kostengründen gewählt, andererseits konnte damit erhoben werden, ob die Bestimmung der Zystenanzahlen für eine Befallsbeurteilung ausreichend ist.

### 3.5.5. Einteilung in Befallskategorien

Die Ergebnisse der jeweiligen Analysen wurden in Befallskategorien eingeteilt. Tabelle 3 zeigt den Zuordnungsschlüssel zu den jeweiligen Befallskategorien.

**Tabelle 3: Einteilung der Bodenprobenergebnisse in Befallskategorien**

| Befallskategorie | Anzahl Larven/100 g Boden |
|------------------|---------------------------|
| Kein Befall      | 0                         |
| Geringer Befall  | 1-500                     |
| Mittlerer Befall | 500-1000                  |
| Starker Befall   | >1000                     |

### 3.6. Bonituren

Ende Mai 2008 erfolgte die erste optische Bonitur. Hierzu wurden aus der Erhebungsfläche unabhängig von der Sorte zirka fünf Rüben mittels Spaten ausgestochen und das Wurzelsystem auf einen Befall mit Rübenzystennematoden untersucht. Ein besonderes Augenmerk wurde auf kleine oder geschwächte Rüben gelegt. Vor allem bei später aufgelaufenen und daher kleineren Rüben tritt oft eine Schädigung des noch schwachen Wurzelsystems auf, da die Nematodenlarven aufgrund meist schon höherer Bodentemperaturen sehr aktiv sind. Wurden Zysten an den Wurzeln gefunden, so wurde der Standort als „befallen“ gekennzeichnet. War ein optischer Befall auszuschließen, wurde die Boniturnote „nicht befallen“ vergeben. Bei einigen Standorten war keine eindeutige Entscheidung möglich. Der Habitus der Wurzel ließ auf Nematoden schließen, jedoch wurden keine Weibchen an der Wurzel gefunden. Diese Standorte wurden als Verdachtsstandorte bewertet.

Mitte Juli 2008 wurde eine zweite optische Bonitur durchgeführt. Diese wurde in zweifacher Wiederholung durchgeführt, wobei die Wiederholungen zufällig verteilt waren. Hierzu wurden sowohl bei der anfälligen, als auch bei der toleranten Sorte jeweils 5 hintereinanderliegende Rüben ausgestochen und auf optischen Befall bonitiert. Die dreistufige Boniturskala hat die Ausprägungsstufen „kein Befall“, „Befall“ und „starker Befall“.

### **3.7. Versuchsernte und Aufbereitung der Zuckerrüben**

Die Ernte erfolgte an zwei Terminen. Zum ersten Termin am 25. und 26. August 2008 (KW 35) kamen 23 Standorte zur Ernte („Kleinparzellen“). Die Auswahl dieser Feldstücke erfolgte einerseits aufgrund der Bodenprobenanalysen, damit sowohl befallene als auch nicht befallene Felder zur Ernte kamen. Andererseits wurde der aktuelle Feldbestand mitbeurteilt. Felder mit unvollständigem Pflanzbestand wurden nicht zur Ernte herangezogen.

Die Kleinparzellen hatten eine Größe von 2,25 m<sup>2</sup> je Sorte und wurden in vierfacher Wiederholung zufällig in die Erhebungsfläche eingeschrieben. Diese Erntefläche entspricht, je nach betriebsüblicher Reihenweite, einer Reihenlänge von 5,0 m bei 0,45 m Reihenweite bzw. einer Länge von 4,5 m bei 0,5 m Reihenweite. Ein Mindestabstand zum Vorgewende von zirka 15 m wurde eingehalten, um etwaige Beeinflussungen zu vermeiden.

Eine zweite Versuchsernte erfolgte am 15. und 16. September 2008 (KW 38). Hierbei wurden auf sieben Standorten jene Großparzellen mit einer Fläche von 7,5 m<sup>2</sup> je Sorte geerntet, welche bereits im Frühjahr zur Bodenprobenahme in vierfacher Wiederholung ausgesteckt wurden. Die Auswahl der Standorte erfolgte aufgrund des Pflanzbestandes, um annähernd gleiche Pflanzenzahlen bei beiden Versuchssorten zu gewährleisten.

Innerhalb einer Wiederholung lagen die geernteten Reihen der beiden Versuchssorten immer unmittelbar nebeneinander (siehe 3.2).

Die Versuchsernte der Zuckerrüben erfolgte von Hand. Direkt am Feld wurde die Anzahl der geernteten Rüben jeder Parzelle festgehalten. Der Befall mit Rübenzystennematoden auf den Rübenkörpern wurde mittels dreistufiger Boniturskala („kein Befall“, „Befall“, „starker Befall“) beurteilt.

Die Rüben wurden im Rübenlabor der AGRANA Zucker GmbH mittels automatischem Rübenlaborsystem der Firma Venema (Groningen, NL) gewaschen, gewogen und analysiert.

Die Analyse erfolgte nach den Richtlinien der „International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis“ (ICMUSA, 2007).

Folgende Verarbeitungsparameter wurden ermittelt:

- Zuckergehalt in Prozent: polarimetrisch (ICUMSA, 2007, GS6-1)

- Natriumgehalt in mmol 100 g<sup>-1</sup> Rübe: flammenphotometrisch (ICUMSA, 2007, GS6-7)
- Kaliumgehalt in mmol 100 g<sup>-1</sup> Rübe: flammenphotometrisch (ICUMSA, 2007, GS6-7)
- Alpha-Amino-Stickstoff-Gehalt in mmol 100 g<sup>-1</sup> Rübe: photometrisch über die Blauzahl, nach KUBADINOW und WIENINGER (1972) (ICUMSA, 2007, GS6-5).

Eine detaillierte Beschreibung des Ablaufs findet sich im Anhang unter 9.2.

Weiters wurden neben den üblichen Erträgen pro Hektar (Zucker, Rübe) auch der bereinigte Zuckergehalt und der bereinigte Zuckerertrag pro Hektar berechnet, wobei auf die Berechnung nach BUCHHOLZ et al. (1995) zurückgegriffen wurde. Hierzu werden vom Zuckergehalt der Standardmelasseverlust (SMV) und ein mit 0,6 %-Punkten bemessener Standardfabrikationsverlust abgezogen. Diese in Deutschland angewandte Formel wurde aufgrund der besseren Vergleichbarkeit mit internationalen Ergebnissen anstatt der üblichen österreichischen Formel nach WIENINGER und KUBADINOW (1971) herangezogen.

Zur Berechnung des (Weiß-)Zuckerertrages wurde folgende Formel verwendet:

$$ZE = RE * ZG$$

$ZE$  = Zuckerertrag [t Weißzucker ha<sup>-1</sup>]

$RE$  = Rübenenertrag [t Frischmasse ha<sup>-1</sup>]

$ZG$  = Zuckergehalt [%]

Der Standardmelasseverlust (SMV) setzt sich wie folgt zusammen:

$$SMV = 0,12 * w'_{(K+Na)} + 0,24 * w'_{(\alpha-N)} + 0,48$$

$SMV$  = Standardmelasseverlust [%]

$w'_{(K, Na)}$  = Kalium- und Natriumgehalt der Rüben [mmol 100 g<sup>-1</sup> Rübe]

$w'_{(\alpha-N)}$  =  $\alpha$ -Amino-Stickstoff-Gehalt der Rüben [mmol 100 g<sup>-1</sup> Rübe]

Der Bereinigte Zuckerertrag (BZE) bildet sich folgend aus:

$$BZE = RE * (ZG - SMV - 0,6)$$

$BZE$  = Bereinigter Zuckerertrag [t ha<sup>-1</sup>]

$RE$  = Rübenenertrag [t Frischmasse ha<sup>-1</sup>]

$ZG$  = Zuckergehalt [%]

$SMV$  = Standardmelasseverlust [%]

0,6 = Standardfabrikationsverlust [%]

### 3.8. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit SAS 9.2 und Enterprise Guide 4.1. Die Abbildungen wurden mittels Microsoft Office Excel 2007 erstellt.

Als statistisches Verfahren wurde eine Varianzanalyse herangezogen, wobei ein gemischtes Modell unterstellt wurde. Die Varianzen der einzelnen Gruppen waren homogen, weshalb die Voraussetzung der Homoskedastizität erfüllt war. Bei festen Faktoren lautet die Nullhypothese, dass der (die) jeweilige(n) Faktor(en) keinen Einfluss auf den (die) untersuchten Parameter hat (haben). Bei zufälligen Faktoren lautet die Nullhypothese, dass die Varianzkomponente(n) des (der) Faktors(en) gleich null ist (sind). Es wurde mit der SAS Prozedur MIXED gearbeitet, wobei eine Satterthwaite-Approximation zur Anpassung der Freiheitsgrade verwendet wurde. Als Post-Hoc Test wurden bei signifikanten Faktoren eine Tukey-Korrektur durchgeführt.

Der Vergleich der unterschiedlichen Verfahren zur Bodenuntersuchung auf Nematodenbesatz erfolgte ebenfalls mittels einer Varianzanalyse, wobei als fester Faktor die Analysemethode und als zufälliger Faktor die unterschiedlichen Feldstücksproben in die Auswertung eingingen.

Bei den Großparzellen konnte aufgrund der beiden Bodenuntersuchungsergebnisse im Frühjahr und im Herbst die Vermehrungsrate von *H. schachtii* berechnet werden. Hierzu wurde der Endbesatz durch den Anfangsbesatz dividiert. Konnten im Frühjahr keine Nematoden festgestellt werden, im Herbst jedoch schon, so wurden diese Werte nicht berücksichtigt, da eine Division durch Null mathematisch nicht möglich ist.

Die jeweiligen Ertrags- und Qualitätsparameter gingen in Form von Deltawerten in die Berechnungen ein. D.h. es wurde für die jeweiligen Wiederholungen die Differenz aus toleranter Sorte (Pauletta) minus Referenzsorte (Valentina) der absoluten Analysewerte gebildet. Positive Deltawerte spiegeln höhere Paulettawerte wieder, während negative Deltawerte höhere Valentinawerte repräsentieren. Diese Auswertungsvariante wurde gewählt, um die Standortunterschiede und die Unterschiede innerhalb der Feldstücke besser auszugleichen.

Für die statistische Auswertung der Kleinparzellen wurden zur Kategorisierung des Befalls mit *H. schachtii* die Bodenprobenergebnisse des BGD herangezogen, da auch die Bodenproben der Großparzellen mit dem gleichen Analyseverfahren untersucht wurden.

Die zweite optische Bonitur wurde mittels 2-dimensionaler Kontingenztafel ausgewertet.

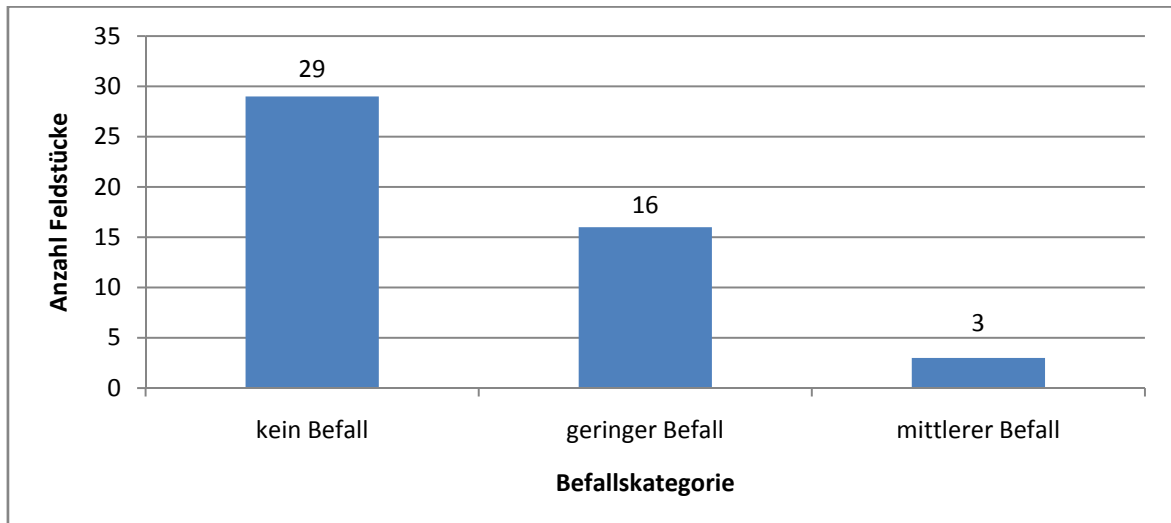


## 4. Ergebnisse

### 4.1. Erhebung zum Auftreten von *Heterodera schachtii*

#### 4.1.1. Bodenprobenanalysen

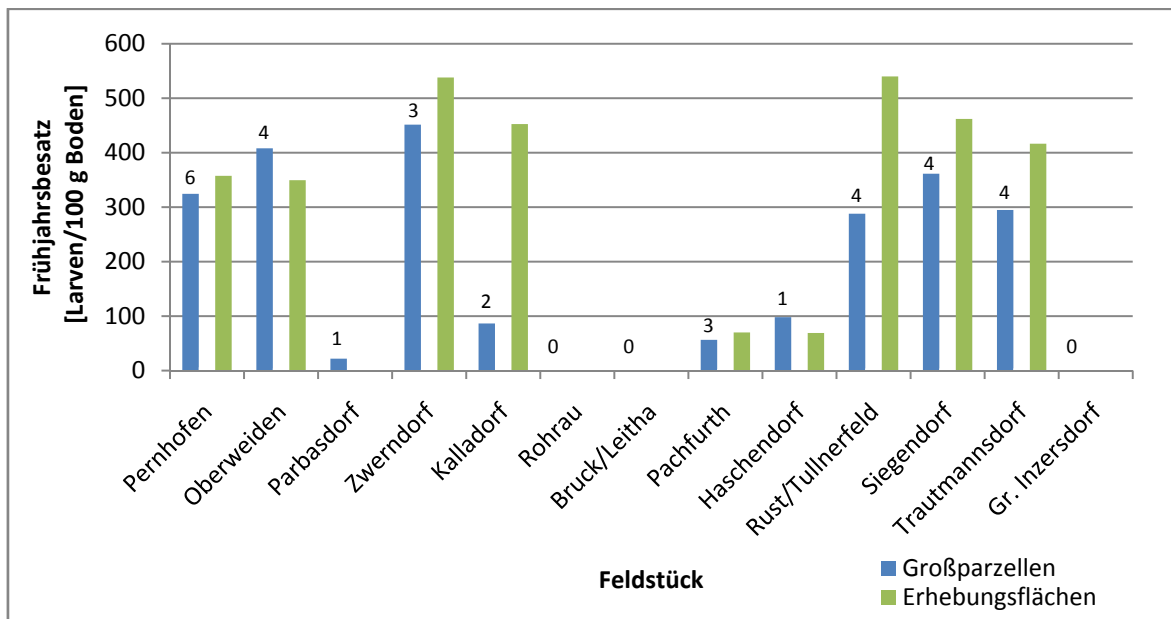
Die Auswertung behandelt die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen der Erhebungsflächen als auch jene der Großparzellen. Sie bezieht sich auf die Analysemethode des BGD. Bei Zuordnung der Ergebnisse zu den jeweiligen Befallskategorien wird deutlich, dass 29 der 48 ausgewählten Feldstücke keinen Befall aufweisen. Der Befallskategorie „geringer Befall“ (1-500 Larven/100 g Boden) sind 16 Standorte zuzurechnen, drei Standorte weisen im Frühjahr „mittleren Befall“ auf (Abbildung 10). Auf keinem der Standorte wird „starker Befall“ (über 1000 Larven/100 g Boden) festgestellt. D.h. in knapp 40 % der ausgewählten Standorte ist ein Vorkommen von *H. schachtii* zu verzeichnen, während über 60 % als befallsfrei ausgewiesen werden.



**Abbildung 10: Anzahl befallener Feldstücke nach Befallskategorien aufgrund der Bodenproben der Erhebungsflächen**  
 Auf 29 der ausgewählten 48 Feldstücke kann anhand der untersuchten Bodenproben kein Befall mit *H. schachtii* festgestellt werden. 16 Feldstücke weisen einen geringen Befall auf (bis 500 Larven/100 g Boden), lediglich 3 Standorte einen mittleren Befall (bis 1000 Larven/100 g Boden). Zur Bodenprobenanalyse wurde das Verfahren des BGD herangezogen (Schlupfinduktion mittels Acetox und anschließender semiquantitativer PCR).

Die Resultate sind in Abbildung 11 in eine Landkarte eingetragen, welche einen Überblick über die beprobten Standorte mit den jeweiligen Befallskategorien gibt. Es zeigt sich, dass im Rübenbauggebiet westlich von St. Pölten keine Befallshäufungen festzustellen sind. Sowohl im Osten Niederösterreichs als auch im Nordburgenland ist die Anzahl gering- und





**Abbildung 12: Vergleich der Bodenprobenergebnisse der Erhebungsflächen und Großparzellen der ausgewählten Standorte**

Die Besatzzahlen der Erhebungsflächen (Fläche: ein Hektar) werden den jeweiligen Besätzen der Großparzellen (7,5 m<sup>2</sup> in vierfacher Wiederholung) gegenübergestellt. Die Zahlen über den Balken der Großparzellen geben die Anzahl der befallenen Wiederholungen wieder (max. 4 befallene Wiederholungen möglich, Ausnahme: am Betrieb in Pernhofen wurden insgesamt 6 Wiederholungen beprobt)

#### 4.1.2. Vergleich der ausgewählten Bodenuntersuchungsverfahren

Werden die drei unterschiedlichen Analyseverfahren hinsichtlich der Anzahl an *H. schachtii* L<sub>2</sub>-Larven/100 g Boden verglichen, so zeigt sich (unter Berücksichtigung der Feldstücke als zufälliger Faktor) signifikanter Einfluss des Parameters „Feldstück“ auf die Anzahl an Nematodenlarven: Es ist davon auszugehen, dass die Frühjahrsbesätze an Nematodenlarven zwischen den Feldstücken variieren.

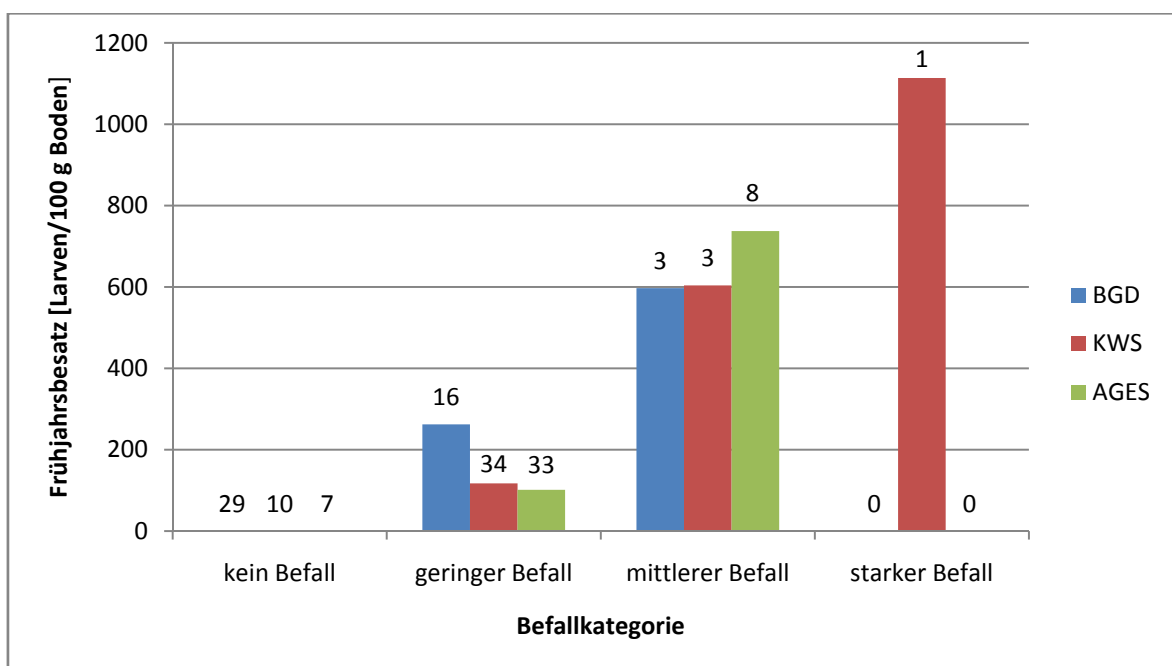
Weiters weist der fixe Einflussfaktor „Analyseverfahren“ signifikanten Einfluss ( $p=0,0032$ ) auf die abhängige Variable auf. Tabelle 4 zeigt die jeweiligen Gruppenmittelwerte. Das Analyseverfahren der AGES weist nach der Umrechnung der Zystenanzahl auf deren Inhalte signifikant höhere Larvengehalte/100 g Boden aus als die beiden anderen Analyseverfahren.

**Tabelle 4: Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler der einzelnen Bodenprobenanalyseverfahren**

| Analyseverfahren | Mittelwert | Std.abweichung | Std.fehler |
|------------------|------------|----------------|------------|
| BGD (n=96)       | 125 a      | 209,12         | 21,34      |
| KWS (n=96)       | 144 a      | 235,93         | 24,08      |
| AGES (n=96)      | 193 b      | 289,06         | 29,50      |

Unterschiedliche Buchstaben geben signifikant verschiedene Gruppenmittelwerte bei  $\alpha=0,05$  wieder  
Einheit: Larven/100 g Boden

Abbildung 13 teilt die Ergebnisse der Bodenanalysen nach Befallskategorien ein. Es ergeben sich deutliche Unterschiede in der Zuordnung der jeweiligen Standorte. So weisen die Ergebnisse des BGD 29 Standorte als nicht befallen aus, während die Ergebnisse der KWS 10 Standorte und jene der AGES 7 Standorte ohne Befall deklarieren. Diese Unterschiede wirken sich in der nächsthöheren Kategorie „geringer Befall“ aus. Hier weisen KWS und AGES Summen von 33 bzw. 34 Standorten aus, der BGD hingegen nur 16 Standorte. Ein Standort wird bei der KWS-Analyse als stark befallen ausgewiesen. Die beiden anderen Institutionen teilen keinen Standort dieser Kategorie zu.



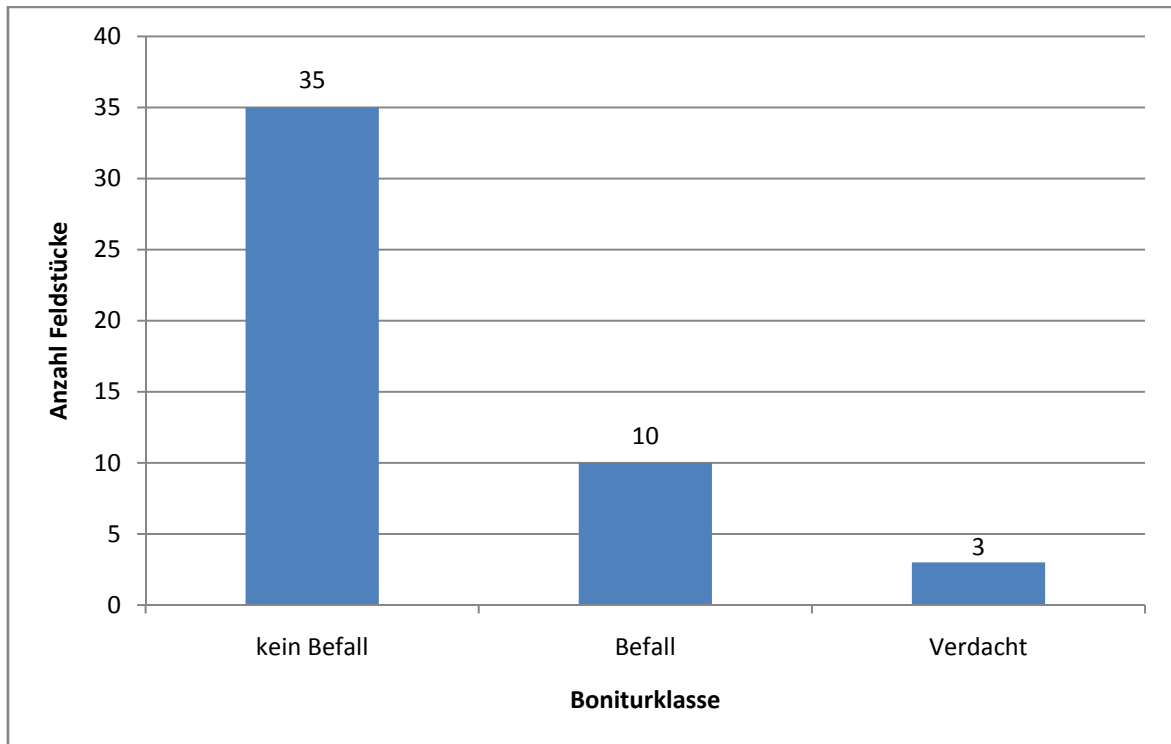
**Abbildung 13: Mittelwerte der Bodenprobenergebnisse der jeweiligen Analyseverfahren nach Befallskategorien**

Die Bodenproben der Erhebungsflächen (Fläche: ein Hektar) wurden mittels dreier Analyseverfahren untersucht. BGD – Schlupfinduktion mittels Acetox und anschließender semiquantitativer PCR, KWS – Auszählen der Zystenanzahl und anschließende Bestimmung des Zysteninhaltes, AGES – Auszählen der Zystenanzahlen und anschließende Umrechnung mit festem Faktor auf den Zysteninhalt. Zuordnung zu den Befallskategorien: kein Befall – 0 Larven/100 g Boden, geringer Befall – 1 bis 500 Larven/100 g Boden, mittlerer Befall – 501 bis 1000 Larven/100 g Boden, starker Befall – über 1000 Larven/100 g Boden). Die Zahlen über den Balken geben die Anzahl der Standorte an, die den jeweiligen Befallskategorien zugeordnet sind.

#### 4.1.3. Optische Bonituren der Rübenwurzeln

Der Entwicklungszustand der Rüben war zum Zeitpunkt der ersten Bonitur Mitte Mai 2008 zwischen den phänologischen Entwicklungsstadien BBCH 18 und BBCH 19 (nach MEIER et al., 1993). Abbildung 14 zeigt die Zuteilung der Feldstücke zu den jeweiligen Boniturstufen. Auf 73 % der Feldstücke wird kein augenscheinlicher Befall an den Wurzeln festgestellt, während knapp 21 % der Feldstücke dezidierten Befall aufweisen.

Auf den restlichen 6 % der Feldstücke kann der Verdacht eines Befalls festgehalten werden. Im Vergleich zu den Bodenprobenanalysen aus Abbildung 10 kann somit nur zirka die Hälfte der laut Bodenproben befallenen Feldstücke auch im Rahmen der ersten optischen Bonitur als befallen ausgewiesen werden.



**Abbildung 14: Befall der ausgewählten Feldstücke aufgrund der ersten optischen Bonitur**

Je Standort wurden die Wurzeln von zirka 5 Rüben optisch auf Befall bonitiert.

Zur zweiten optischen Bonitur Mitte Juli 2008 wird der Befall nach Sorten getrennt bonitiert. Aus Tabelle 5 wird deutlich, dass die Sorte Valentina tendenziell an mehr Standorten als befallen kategorisiert wurde als die Sorte Pauletta. Statistisch können die beiden Sorten hier jedoch nicht unterschieden werden. Somit sind keine unterschiedlichen Anfälligkeiten bei einer optischen Bonitur feststellbar.

**Tabelle 5: Anzahl der Feldstücke nach Befallsklassen aufgrund der zweiten optischen Bonitur**

| Befallsklasse  | Valentina 1 Wh | Pauletta 1 Wh | Valentina 2 Wh | Pauletta 2 Wh |
|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| kein Befall    | 32             | 36            | 35             | 38            |
| Befall         | 13             | 10            | 9              | 8             |
| starker Befall | 3              | 2             | 4              | 2             |

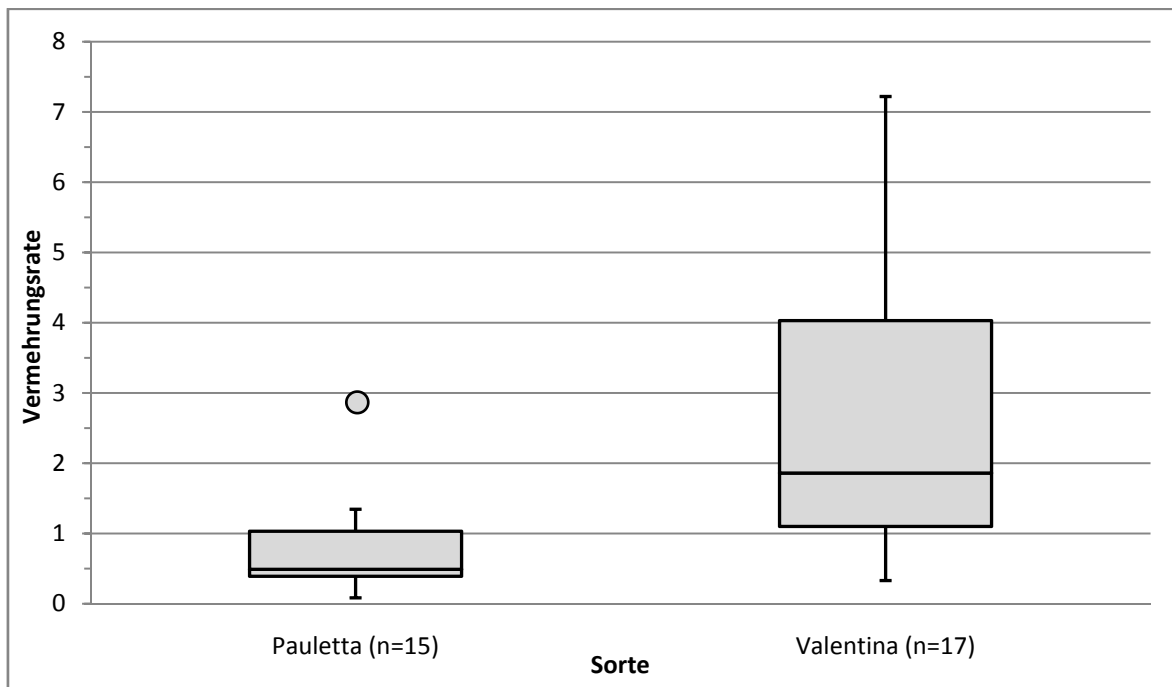
Wird für jeden Standort nur die höchste erhobene Bewertung betrachtet, so ergibt sich ein verschobenes Bild in Richtung Befall. Hierbei wird auf 29 Standorten in keiner Wiederholung ein Auftreten von Nematoden gefunden. Bei 14 Versuchsflächen kann an einer Sorte zumindest in einer Wiederholung „Befall“ festgestellt werden, während auf 5 Flächen zumindest einmal die Boniturnote „starker Befall“ vergeben wird.

#### **4.1.4. Vermehrung der Population von *Heterodera schachtii* an den Versuchssorten**

Die Vermehrung der Populationen von *H. schachtii* wurde auf den jeweiligen Großparzellen untersucht. Vermehrungsraten wurden nur von jenen Parzellen berechnet, von welchen sowohl Anfangs- als auch Endbesätze über Null ermittelt wurden. Es zeigt sich, dass der zufällige Faktor Feldstück keinen nennenswerten Einfluss auf die Varianz der Vermehrungsrate aufweist. Die Sorte als fester Faktor hat jedoch einen signifikanten Einfluss auf die Vermehrungsrate von *H. schachtii* ( $p=0,0012$ ).

Die Bandbreiten der Vermehrungsraten, gegliedert nach Sorten sind aus Abbildung 15 zu entnehmen. 50 % der Werte liegen bei Pauletta im Bereich zwischen 0,4 und zirka 1,0, lediglich ein Viertel der Werte weist höhere Vermehrungsraten auf. Bei Valentina zeigen drei Viertel aller Beobachtungen Vermehrungsraten über eins, knapp die Hälfte der Werte liegt über zwei.

Im Mittel weist Pauletta eine Vermehrungsrate von 0,74 auf, womit im Durchschnitt über alle Paulettaparzellen eine Reduktion des Ausgangsbesatzes erzielt wurde. Valentina hat mit einer Vermehrungsrate von 2,58 zu einer deutlichen Zunahme der Nematodenpopulation geführt.



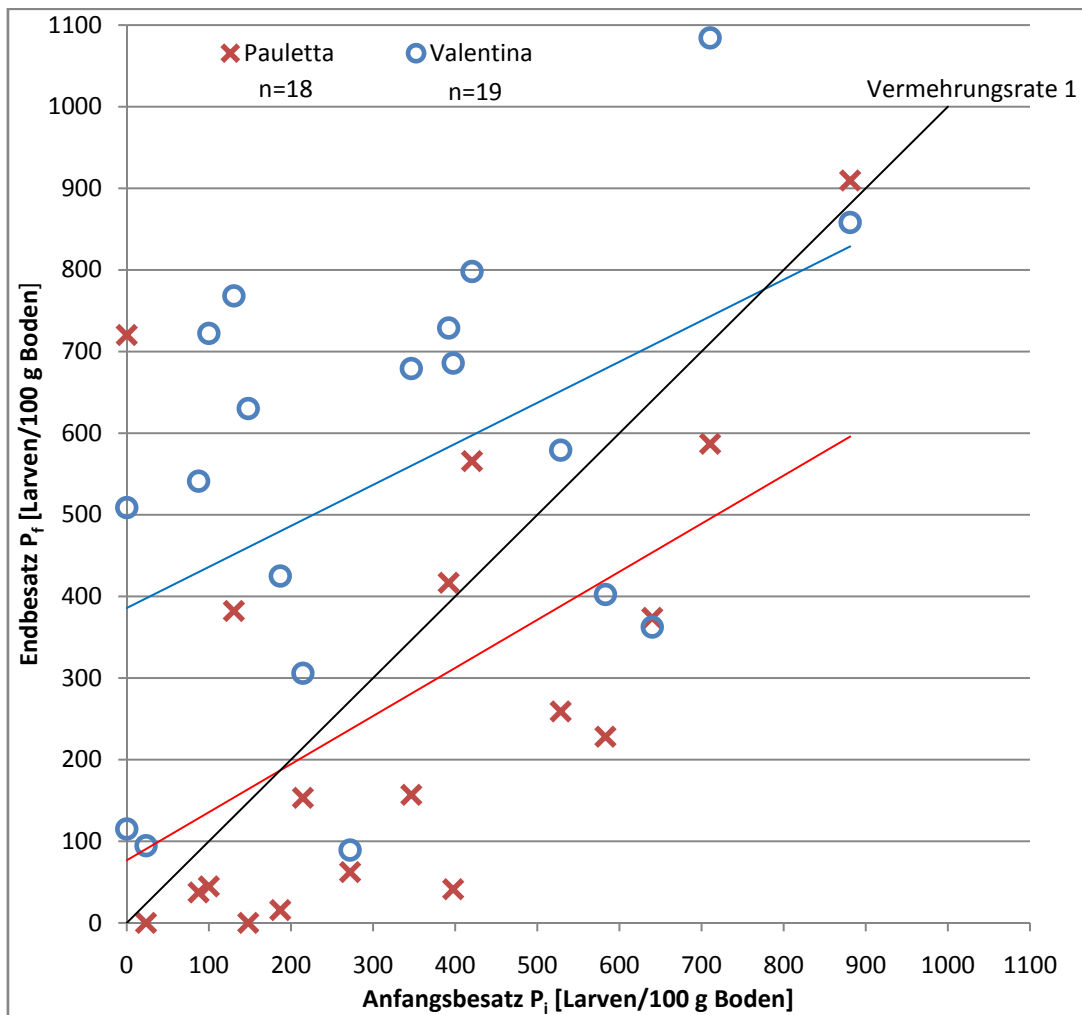
**Abbildung 15: Vermehrungsraten in Abhängigkeit der Sorte in den Großparzellen**

Vermehrungsraten wurden nur von jenen Großparzellen (Fläche je 7,5 m<sup>2</sup>) berechnet, von welchen Anfangs- und Endbesätze über Null ermittelt wurden. Die grauen Kästen spiegeln 50 % der Werte wieder. Nach unten wird der Kasten durch das 25 % Quantil und nach oben durch das 75 % Quantil begrenzt.

In Abbildung 16 wird der Endbesatz an Nematodenlarven gegen den Anfangsbesatz aufgetragen. Es wird deutlich, dass das Gros der Datenpunkte für Valentina über der Vermehrungsrate von eins liegt, während jenes von Pauletta unterhalb liegt. In den Abbildung 16 zugrundeliegenden Berechnungen für die linearen Regressionen werden im Unterschied zu vorhergehender Berechnung auch jene Parzellen miteinbezogen, welche einen Anfangsbesatz von Null und einen Endbesatz über Null ausweisen. Parzellen ohne Anfangs- und Endbesatz werden auch hier nicht berücksichtigt.

Eine Erklärung der beiden Datenpunkte (Valentina 0/509, Pauletta 0/720), welche trotz eines Anfangsbesatzes von null Larven/100 g Boden hohe Endbesätze aufweisen, könnte einerseits ein Probenahme- oder auch ein Analysefehler sein. Andererseits ist es auch denkbar, dass ein Teil der Nematodenendpopulation aus tieferen Bodenschichten nach oben gewandert ist.

Das Auftreten von Vermehrungsraten über 1 bei Pauletta verwundert keineswegs, da aus der Literatur für Sorten mit verringerter Anfälligkeit Vermehrungsraten von 1,5–2 erwartet werden (OLSSON et al., 2007; HEINICKE und WARNECKE, 2006).



**Abbildung 16: Endbesatz in Abhängigkeit des Anfangsbesatzes unterteilt nach Sorten**

Die diagonale Linie entspricht einer Vermehrungsrate von 1, d.h. einem gleichbleibenden Nematodenbesatz. Liegt der Datenpunkt oberhalb dieser Referenzlinie, so ist von einer Vermehrung der Population auszugehen (die Mehrzahl der Datenpunkte für Valentina), liegt er unterhalb, so hat sich die Nematodenpopulation reduziert (Großteil der Datenpunkte für Pauletta). Die weiteren eingezeichneten Geraden geben lineare Regressionsgeraden für die jeweiligen Sorten wieder.

## 4.2. Vergleich der anfälligen und toleranten Zuckerrübensorte anhand der Ertrags- und Qualitätsparameter

### 4.2.1. Kleinparzellen

Die Mittelwerte der Differenzen der erhobenen Ertragsparameter sind mit den dazugehörigen Standardfehlern der Mittelwerte in Tabelle 6 angeführt. Die Einteilung der Standorte erfolgt nach den Analyseergebnissen der Erhebungsflächen. Es werden somit jeweils alle vier geernteten Wiederholungen eines Standortes einer Befallskategorie zugeordnet.



Tabelle 6: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Ertragsparametern der Kleinparzellen

| Delta-Werte Pauletta-Valentina |                | $\Delta$ -Ertrag Rübe<br>t/ha | $\Delta$ -Ertrag Zucker<br>t/ha | $\Delta$ -BZE<br>t/ha |
|--------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Gesamtmittelwert (n=92)        |                | 5,83                          | 0,53                            | 0,23                  |
| kein Befall (n=44)             | Mittelwert     | 0,34 a                        | -0,34 a                         | -0,53 ac              |
|                                | Standardfehler | 2,02                          | 0,33                            | 0,29                  |
| geringer Befall (n=36)         | Mittelwert     | 8,27 ab                       | 1,02 b                          | 0,71 b                |
|                                | Standardfehler | 2,76                          | 0,43                            | 0,38                  |
| mittlerer Befall (n=12)        | Mittelwert     | 18,59 b                       | 2,25 b                          | 1,59 bc               |
|                                | Standardfehler | 5,46                          | 0,8                             | 0,71                  |
| Signifikanz                    |                | *                             | *                               | *                     |

n.s. Irrtumswahrscheinlichkeit &gt; 5 %

\* Irrtumswahrscheinlichkeit  $\leq$  5 %Unterschiedliche Buchstaben geben signifikant verschiedene Gruppenmittelwerte bei  $\alpha=0,05$  wieder

Beim Delta-Rüben-Ertrag wird deutlich, dass sowohl unter Nichtbefall als auch unter Befallsbedingungen die tolerante Sorte Pauletta einen höheren Ertrag liefert als die anfällige Sorte Valentina (Abbildung 17). Somit zeigt sich, dass Pauletta in Bezug auf Rübenenertrag die leistungsfähigere Sorte ist.

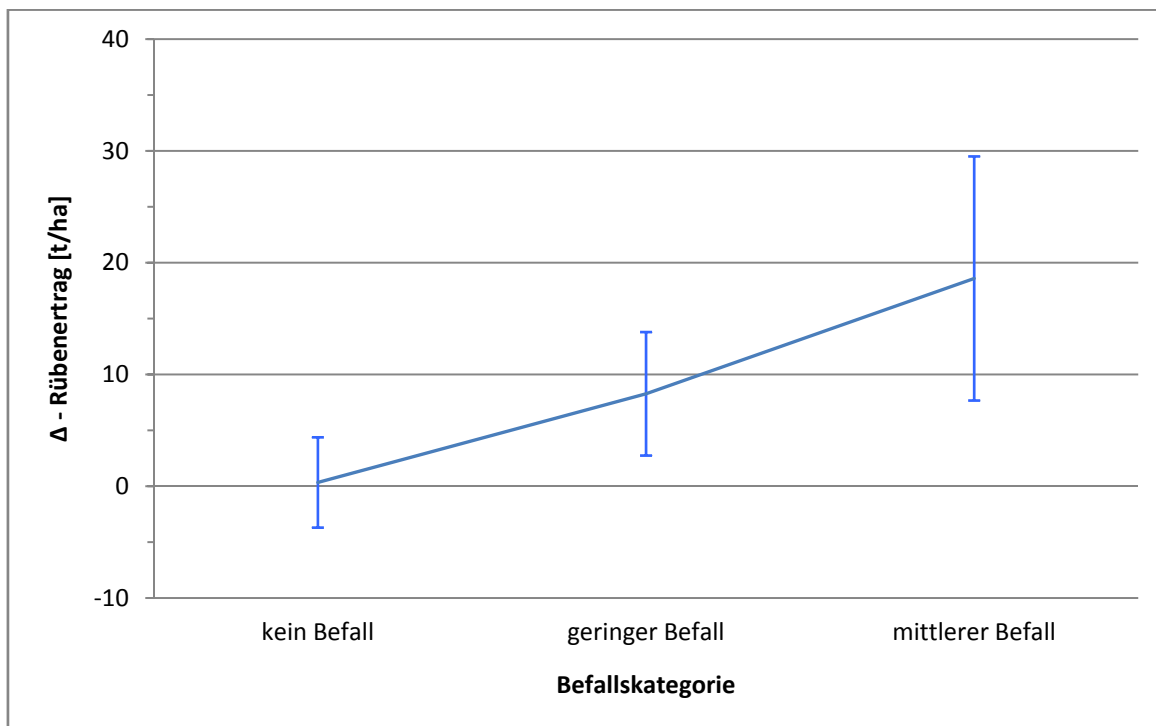
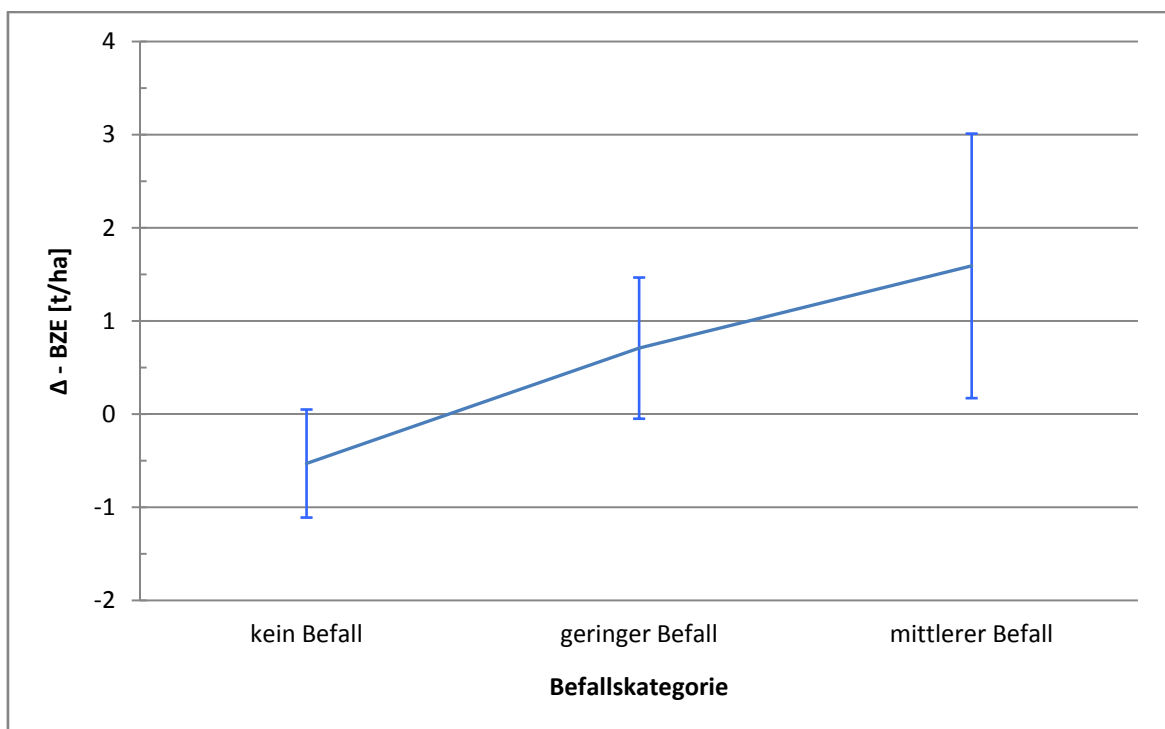


Abbildung 17: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an Rüben [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Kleinparzellen

Der mittlere  $\Delta$ -Rübenenertrag [t/ha] errechnet sich als mittlere Differenz von Pauletta minus Valentina für jede Wiederholung. Die Fehlerbalken stellen die Spannweite von  $\pm$  zwei Standardfehler des Mittelwertes dar. Die Zuordnung zu den Befallskategorien erfolgte aufgrund der Bodenanalyseergebnisse der Erhebungsflächen (Fläche: ein Hektar).  
geringer Befall = 1 bis 500 Larven/100 g Boden, mittlerer Befall = 501 bis 1000 Larven/100 g Boden

Betrachtet man hingegen den Zuckerertrag, so wird deutlich, dass ohne Befall die Sorte Valentina um 0,34 t/ha mehr Zucker liefert. Unter Befall zeigt Pauletta jedoch auch hier signifikante Vorteile. Der Bereinigte Zuckerertrag (BZE) weist ein ähnliches Wertespektrum auf, welches zu Gunsten der anfälligen Sorten Valentina verschoben ist (Abbildung 18). Somit ist unter Nichtbefall mit Valentina um 0,53 t/ha mehr gewinnbarer Zucker zu erzielen. Jedoch schon bei geringem Befall zeigt Pauletta einen signifikanten Mehrertrag von 0,71 t/ha, welcher sich auf 1,59 t/ha bei mittlerem Befall steigert.

Obwohl die Differenz zwischen „kein Befall“ und „geringer Befall“ signifikant ist, kann jene zwischen „nicht befallen“ und „mittlerem Befall“ nicht mehr abgesichert werden. Dieser Umstand resultiert einerseits aus der größer werdenden Streuung der Werte bei „mittlerem Befall“, andererseits ist in dieser Kategorie der Stichprobenumfang deutlich geringer als in den anderen Faktorstufen. Die durchgeführte Tukey-Korrektur berücksichtigt diese Umstände, weshalb die Differenz nicht mehr abgesichert werden kann.



**Abbildung 18: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an BZE [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Kleinparzellen**  
 Der mittlere Δ-BZE [t/ha] errechnet sich als mittlere Differenz von Pauletta minus Valentina für jede Wiederholung. Die Fehlerbalken stellen die Spannweite von  $\pm$  zwei Standardfehler des Mittelwertes dar. Die Zuordnung zu den Befallskategorien erfolgte aufgrund der Bodenanalyseergebnisse der Erhebungsflächen (Fläche: ein Hektar).  
 geringer Befall = 1 bis 500 Larven/100 g Boden, mittlerer Befall = 501 bis 1000 Larven/100 g Boden

Die Ursache für die, trotz des höheren Rübenenertrags, geringere Zuckerertragsleistung unter Nichtbefall ist im Zuckergehalt zu suchen. Die Befallskategorie hat auf den Zuckergehalt der Rüben zwar keinen signifikanten Einfluss, der Unterschied zwischen Pauletta und Valentina ist aber über die Befallskategorien hinweg deutlich erkennbar (Tabelle 7). So enthält Pauletta im Gesamtmittel um 0,5 %-Punkte weniger Zucker als Valentina. Dieser Zuckergehaltsvorteil von Valentina gegenüber Pauletta ist jedoch sehr wohl signifikant von Null (=keine Differenz zwischen den Zuckergehalten der beiden Sorten) verschieden. Selbiges Muster ist auch bei den technischen Qualitätsparametern wie Kalium-, Natrium- und Alpha-Amino-N-Gehalten erkennbar. Die jeweiligen Parameter sind nicht von der Befallskategorie abhängig. Unter mittlerem Befall ist jedoch bei allen drei Messgrößen ein leichter, jedoch nicht signifikanter Anstieg zu verzeichnen. Es wird aber deutlich, dass Valentina hier geringere Werte aufweist.

**Tabelle 7: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Qualitätsparametern der Kleinparzellen**

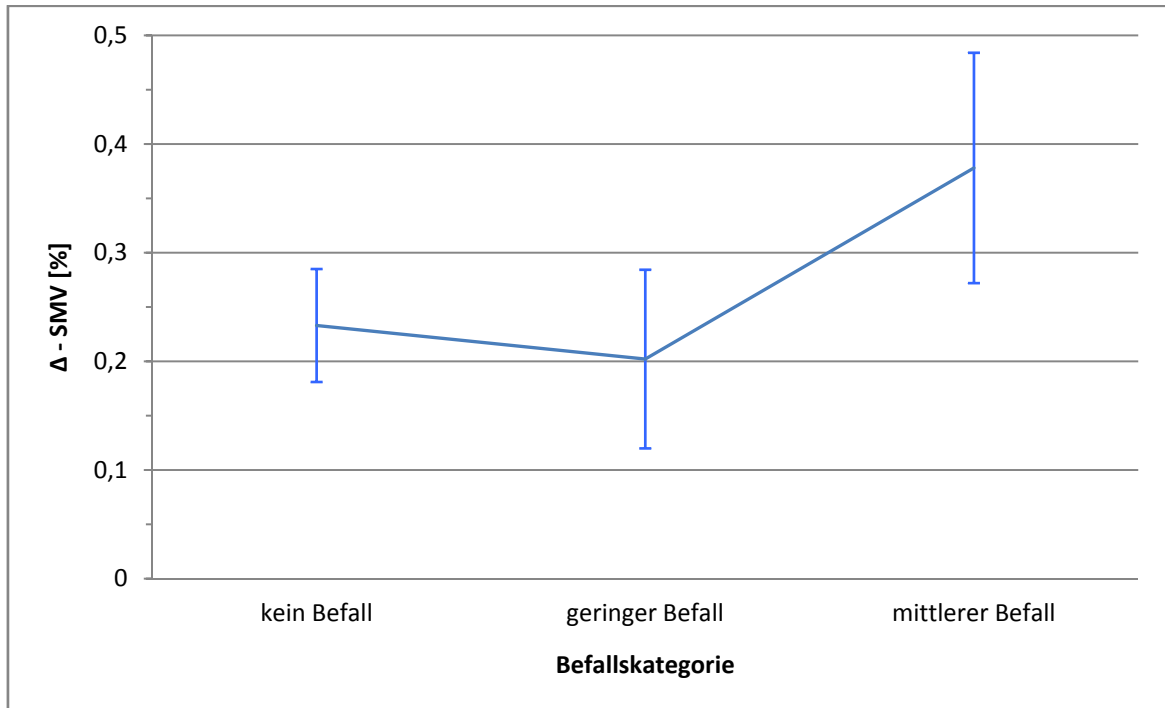
| Delta-Werte Pauletta-Valentina |                | $\Delta$ -Zuckergehalt<br>% | mmol/100 g Rübe  |                   |                   | $\Delta$ -SMV<br>% |
|--------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                                |                |                             | $\Delta$ -Kalium | $\Delta$ -Natrium | $\Delta$ -Alpha-N |                    |
| Gesamtmittelwert (n=92)        |                | -0,50                       | 0,60             | 0,12              | 0,64              | 0,24               |
| kein Befall (n=44)             | Mittelwert     | -0,46 a                     | 0,62 a           | 0,1 a             | 0,61 a            | 0,23 a             |
|                                | Standardfehler | 0,1                         | 0,06             | 0,02              | 0,09              | 0,03               |
| geringer Befall (n=36)         | Mittelwert     | -0,48 a                     | 0,52 a           | 0,08 a            | 0,54 a            | 0,2 a              |
|                                | Standardfehler | 0,12                        | 0,08             | 0,04              | 0,14              | 0,04               |
| mittlerer Befall (n=12)        | Mittelwert     | -0,68 a                     | 0,79 a           | 0,34 a            | 1,01 a            | 0,38 a             |
|                                | Standardfehler | 0,15                        | 0,15             | 0,09              | 0,16              | 0,05               |
| Signifikanz                    |                | n.s.                        | n.s.             | n.s.              | n.s.              | n.s.               |

n.s. Irrtumswahrscheinlichkeit > 5 %

\* Irrtumswahrscheinlichkeit  $\leq$  5 %

Unterschiedliche Buchstaben geben signifikant verschiedene Gruppenmittelwerte bei  $\alpha=0,05$  wieder

Der Delta-Standardmelasseverlust ist ein rechnerisches Maß dieser drei Einflussgrößen (Abbildung 19). Hier zeigt Valentina im Gesamtversuchsmittel einen um 0,24 %-Punkte geringen Standardmelasseverlust als Pauletta. Eine Beeinflussung des SMV durch steigenden Nematodenbefall kann nicht nachgewiesen werden. Bei mittlerem Befall nimmt der SMV jedoch tendenziell zu.



**Abbildung 19: Mittlerer Mehr-/Minderbetrag des SMV [%] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Kleinparzellen**  
 Der mittlere  $\Delta$ -SMV [%] errechnet sich als mittlere Differenz von Pauletta minus Valentina für jede Wiederholung. Die Fehlerbalken stellen die Spannweite von  $\pm$  zwei Standardfehler des Mittelwertes dar. Die Zuordnung zu den Befallskategorien erfolgte aufgrund der Bodenanalyseergebnisse der Erhebungsflächen (Fläche: ein Hektar).  
 geringer Befall = 1 bis 500 Larven/100 g Boden, mittlerer Befall = 501 bis 1000 Larven/100 g Boden

#### 4.2.2. Großparzellen

Bei den Großparzellenergebnissen erfolgt die Zuordnung zu den Befallskategorien nicht nach Feldstücken: Da für jede einzelne Wiederholung ein eigenes Ergebnis aus der Bodenuntersuchung vorliegt, können diese genau zu den Befallskategorien zugeordnet werden. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Delta-Erträge für die Mengen an Rübe, Zucker und BZE und weist vorhandene signifikante Unterschiede aus.

**Tabelle 8: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Ertragsparametern der Großparzellen**

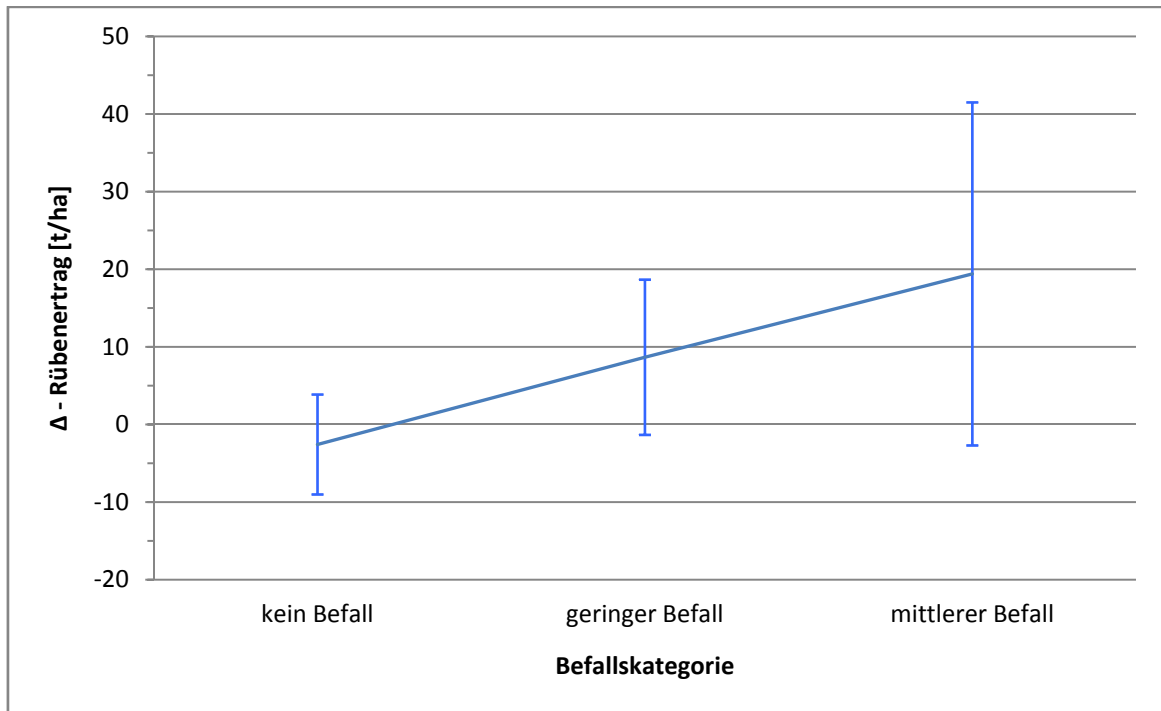
| Delta-Werte Pauletta-Valentina |                | $\Delta$ -Ertrag Rübe<br>t/ha | $\Delta$ -Ertrag Zucker<br>t/ha | $\Delta$ -BZE<br>t/ha |
|--------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Gesamtmittelwert (n=28)        |                | 6,16                          | 0,57                            | 0,22                  |
| kein Befall (n=11)             | Mittelwert     | -2,58 a                       | -0,71 a                         | -0,77 a               |
|                                | Standardfehler | 3,22                          | 0,56                            | 0,60                  |
| geringer Befall (n=12)         | Mittelwert     | 8,66 ab                       | 0,90 a                          | 0,45 a                |
|                                | Standardfehler | 5,00                          | 0,82                            | 0,75                  |
| mittlerer Befall (n=5)         | Mittelwert     | 19,40 b                       | 2,59 a                          | 1,85 a                |
|                                | Standardfehler | 11,05                         | 1,65                            | 1,47                  |
| Signifikanz                    |                | *                             | n.s.                            | n.s.                  |

n.s. Irrtumswahrscheinlichkeit > 5 %

\* Irrtumswahrscheinlichkeit  $\leq$  5 %

Unterschiedliche Buchstaben geben signifikant verschiedene Gruppenmittelwerte bei  $\alpha=0,05$  wieder

Beim Delta-Ertrag an Rüben weist die anfällige Sorte Valentina ohne Nematodenbefall einen Vorteil von 2,58 t/ha auf. Dieser kehrt sich bei einem Auftreten von *H. schachtii* um und bereits bei geringem Befall liefert Pauletta um 8,66 t/ha Rüben mehr. Bei mittlerem Ausgangsbefall steigert sich diese Differenz auf 19,4 t/ha (Abbildung 20).

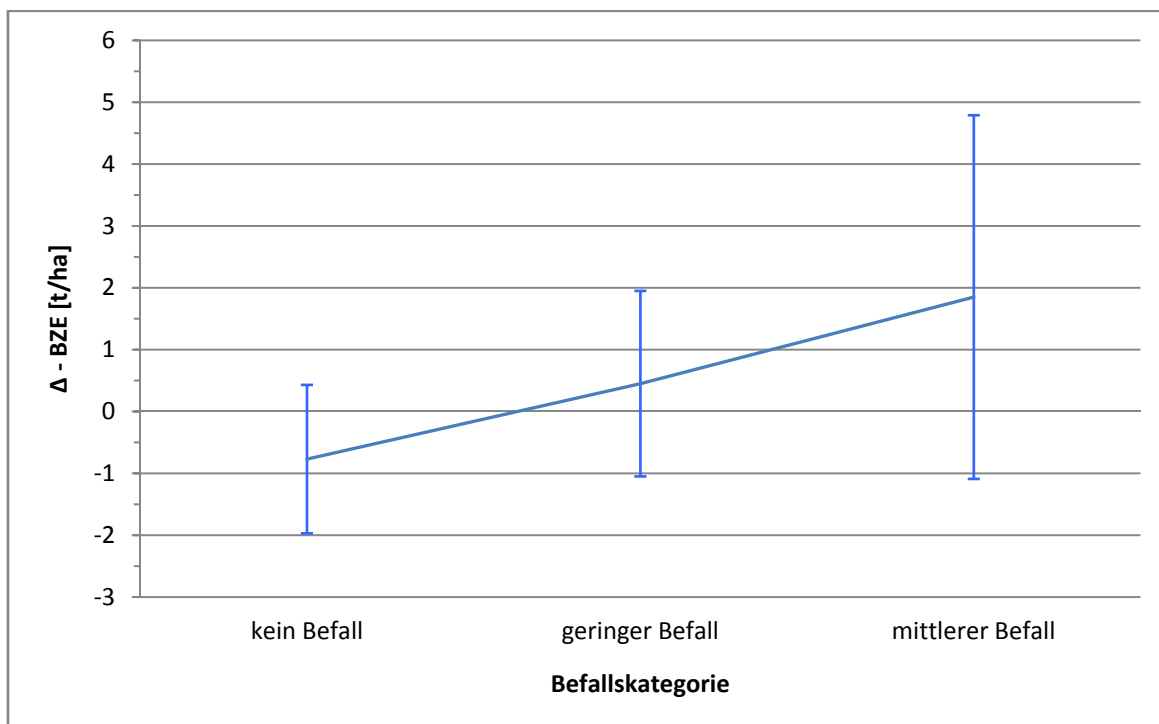


**Abbildung 20: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an Rüben [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Großparzellen**

Der mittlere  $\Delta$ -Rübenenertrag [t/ha] errechnet sich als mittlere Differenz von Pauletta minus Valentina für jede Wiederholung. Die Fehlerbalken stellen die Spannweite von  $\pm$  zwei Standardfehler des Mittelwertes dar. Die Zuordnung zu den Befallskategorien erfolgte aufgrund der Bodenanalyseergebnisse der Großparzellen (Fläche: 7,5 m<sup>2</sup>).

geringer Befall = 1 bis 500 Larven/100 g Boden, mittlerer Befall = 501 bis 1000 Larven/100 g Boden

Beim Ertrag an Weißzucker ist eine ähnliche Tendenz erkennbar, obwohl der Faktor Befallskategorie keinen statistisch signifikanten Einfluss aufweist. Ohne *H. schachtii* Befall beläuft sich der mittlere Vorteil von Valentina im Ertrag an Weißzucker auf 0,71 t/ha. Bei mittlerem Befall sind mit Pauletta um 2,59 t/ha mehr Zucker zu produzieren. Trotz beachtlicher Mittelwertdifferenzen kann bei den Großparzellenversuchen kein signifikanter Einfluss der Befallskategorie auf den Bereinigten Zuckerertrag nachgewiesen werden. Hier ist die Streuung innerhalb der Befallsgruppen zu stark ausgeprägt (Abbildung 21). Die Mehr- bzw. Mindererträge im BZE von Pauletta sind auf ähnlich hohem Niveau der Delta-Zuckererträge.



**Abbildung 21: Mittlerer Mehr-/Minderertrag an BZE [t/ha] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Großparzellen**  
 Der mittlere  $\Delta$ -BZE [t/ha] errechnet sich als mittlere Differenz von Pauletta minus Valentina für jede Wiederholung. Die Fehlerbalken stellen die Spannweite von  $\pm$  zwei Standardfehler des Mittelwertes dar. Die Zuordnung zu den Befallskategorien erfolgte aufgrund der Bodenanalyseergebnisse der Großparzellen (Fläche: 7,5 m<sup>2</sup>).  
 geringer Befall = 1 bis 500 Larven/100 g Boden, mittlerer Befall = 501 bis 1000 Larven/100 g Boden

Die Differenz im Zuckergehalt ist nahezu konstant über die Befallskategorien und unterscheidet sich nur in den weiteren Nachkommastellen. Somit ist erwartungsgemäß kein Einfluss der Befallskategorie auf den Zuckergehalt feststellbar (Tabelle 9). Der Vorteil von Valentina gegenüber Pauletta mit 0,34 %-Punkten ist jedoch signifikant von Null verschieden.

**Tabelle 9: Delta-Mittelwerte und Standardfehler von Qualitätsparametern der Großparzellen**

| Delta-Werte Pauletta-Valentina |                | $\Delta$ -Zuckergehalt<br>% | mmol/100 g Rübe  |                   |                   | $\Delta$ -SMV<br>% |
|--------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                                |                |                             | $\Delta$ -Kalium | $\Delta$ -Natrium | $\Delta$ -Alpha-N |                    |
| Gesamtmittelwert (n=28)        |                | -0,34                       | 0,65             | 0,16              | 0,66              | 0,26               |
| kein Befall (n=11)             | Mittelwert     | -0,34 a                     | 0,44 a           | 0,07 a            | 0,29 a            | 0,13 a             |
|                                | Standardfehler | 0,21                        | 0,18             | 0,04              | 0,59              | 0,16               |
| geringer Befall (n=12)         | Mittelwert     | -0,34 a                     | 0,79 a           | 0,20 a            | 0,71 a            | 0,29 a             |
|                                | Standardfehler | 0,15                        | 0,21             | 0,05              | 0,28              | 0,08               |
| mittlerer Befall (n=5)         | Mittelwert     | -0,34 a                     | 0,75 a           | 0,28 a            | 1,36 a            | 0,45 a             |
|                                | Standardfehler | 0,25                        | 0,12             | 0,07              | 0,30              | 0,09               |
| Signifikanz                    |                | n.s.                        | n.s.             | n.s.              | n.s.              | n.s.               |

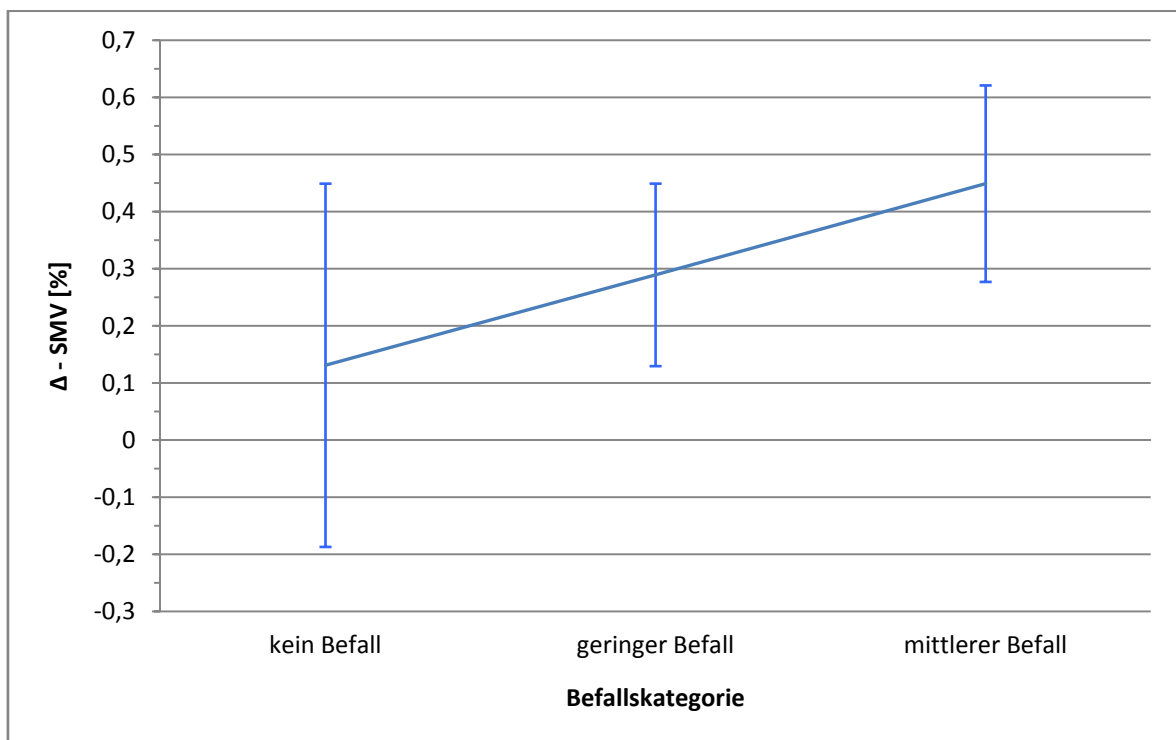
n.s. Irrtumswahrscheinlichkeit > 5 %

\* Irrtumswahrscheinlichkeit  $\leq$  5 %

Unterschiedliche Buchstaben geben signifikant verschiedene Gruppenmittelwerte bei  $\alpha=0,05$  wieder

Die Differenzen der Kalium-, Natrium- und Alpha-Amino-N-Gehalte werden nicht signifikant von der Befallskategorie beeinflusst. Es ist jedoch ein Anstieg mit zunehmendem Nematodenbefall erkennbar. Eine signifikante Unterscheidung der jeweiligen Differenzen von Null ist sehr wohl möglich.

Ein ähnliches Bild zeigt sich beim SMV (Abbildung 22), wobei wiederum eine steigende Tendenz mit zunehmendem Nematodenbefall erkennbar ist. Eine Beeinflussung des Standardmelasseverlusts durch die Befallskategorie lässt sich auch hier nicht feststellen.



**Abbildung 22: Mittlerer Mehr-/Minderbetrag des SMV [%] von Pauletta im Vergleich zu Valentina der Großparzellen**  
Der mittlere  $\Delta$ -SMV [%] errechnet sich als mittlere Differenz von Pauletta minus Valentina für jede Wiederholung. Die Fehlerbalken stellen die Spannweite von  $\pm$  zwei Standardfehler des Mittelwertes dar. Die Zuordnung zu den Befallskategorien erfolgte aufgrund der Bodenanalyseergebnisse der Großparzellen (Fläche: 7,5 m<sup>2</sup>).  
geringer Befall = 1 bis 500 Larven/100 g Boden, mittlerer Befall = 501 bis 1000 Larven/100 g Boden

## 5. Diskussion

### 5.1. Übersicht über das Auftreten von *Heterodera schachtii* im österreichischen Rübenanbaugebiet erhoben mittels Bodenuntersuchung

Da für die Versuchsanlage und die Ziehung der Bodenproben die jeweiligen Versuchsstandorte gezielt ausgesucht wurden, können die Ergebnisse nicht aliquot auf das gesamte Rübenanbaugebiet umgelegt werden. Ferner wurden auch bewusst Flächen in die Untersuchung mit eingebunden, auf denen bereits ein Befall mit Rübenzystennematoden bekannt war, um für die Fragestellung des Sortenvergleichs Standorte mit Befall zur Verfügung zu haben. Somit liegt hier keine vollständige Randomisierung der Versuchsstandorte vor.

Betrachtet man die Verteilung der Standorte und die Ergebnisse aus der Bodenuntersuchung, so wird deutlich, dass in Niederösterreich im Raum Tulln und in der Umgebung um Gänserndorf tendenziell stärker befallene Standorte auftreten. Diese beiden Gebiete sind durch das Vorhandensein einer Zuckerfabrik in unmittelbarer Umgebung gekennzeichnet. Auch MÜLLER und RUMPENHORST (2000) weisen darauf hin, dass im vorigen Jahrhundert in Fabriknähe aufgrund der geringeren Transportkosten enger gestellte Rübenfruchtfolgen üblich waren. Weiters kann auch das Ausbringen von Rübenschwemmerde aus Zuckerfabriken auf landwirtschaftliche Flächen zu einer Verbreitung des Rübenzystennematoden beitragen. Da hierbei aufgrund der Transportkosten wieder vermehrt umliegende Feldstücke ausgewählt wurden, kam es teilweise zu einer zusätzlichen Anhebung des Nematodenbesatzes.

Eine eindeutige Differenzierung in Gebiete mit stärkerem Befallsauftreten bzw. die Identifizierung von Befallsnestern ist nicht möglich. Es konnten nahezu überall Flächen mit „geringem Befall“ identifiziert werden. Einige Standorte wiesen auch einen „mittleren Befall“ aus.

Der Osten Niederösterreichs und das nördliche Burgenland sind die Hauptproduktionsgebiete für Zuckerrüben in Österreich. Deshalb war und ist hier mit einem höheren Anteil an Zuckerrüben in der Fruchtfolge zu rechnen. Da *Heterodera*



*schachtii* ein klassischer Fruchtfolgeschädling ist, kann in Fruchtfolgen mit einem höheren Anteil an Zuckerrüben auch vermehrt mit dessen Auftreten gerechnet werden (MÜLLER, 1999). Auch die Einhaltung einer 4-jährigen Anbaupause kann unter Umständen zu einer langfristigen Erhöhung des Nematodebesatzes führen (ARNDT, 2002). In diesem Gebiet liegt aufgrund zuvor genannter Bedeutung der Anteil an beprobten Feldstücken höher, um im Hinblick auf die Fruchtfolgeproblematik etwaige Probleme erkennen zu können.

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass das Vorkommen bzw. die Vermehrung von Rübenzystennematoden ein betriebs- bzw. flächenspezifisches Problem darstellt. Nicht alle Flächen eines Betriebes sind für den Anbau von Zuckerrüben gleichermaßen geeignet. Infolgedessen wird auf „rübenwürdigen“ Flächen eine engergestellte Fruchtfolge umgesetzt, wodurch Probleme auftreten können. STEUDEL et al. (1981) stellte bei 3-jährigen Fruchtfolgen eine 15 %ige Zunahme der Rübenpopulation fest. Somit kann sich über mehrere Fruchtfolgerotationen ein Problem mit *H. schachtii* entwickeln, vor allem auch, wenn andere Wirtspflanzen wie Raps in der Fruchtfolge vorkommen. Hier ist jede weitere Wirtspflanze in der Rotation wie ein Anbau von Zuckerrüben zu werten.

Die Bodenart in Wechselwirkung mit den klimatischen Verhältnissen spielt auch eine bedeutende Rolle. Mit dem Erreichen der Minimumtemperatur von 8 °C beginnt die Entwicklung von *H. schachtii* (GRIFFIN, 1988). Während im Frühjahr auf schweren Böden diese kritische Temperaturgrenze später erreicht wird, kann in manchen Jahren auf eher leichten Böden die Entwicklung früher beginnen. Dadurch treffen die L<sub>2</sub>-Laven auf noch schwach entwickelte Rübenwurzeln und verursachen eine frühere und intensivere Schädigung der jungen Rübenpflanzen. Vor allem in den östlichen Landesteilen Österreichs sind die Frühjahrstemperaturen meist höher, wodurch eine frühere Nematodenentwicklung begünstigt wird.

Es hat sich gezeigt, dass auf 41 der 48 ausgewählten Standorte mittels des Analyseverfahrens der AGES (Auszählung von Zysten) zumindest einzelne Zysten nachgewiesen werden konnten. Somit kann die Präsenz von *H. schachtii* in den ausgewählten Standorten bestätigt werden. Ist in diesen Proben jedoch nur eine geringe Anzahl an Zysten vorhanden, ist bei weitem noch von keiner ertragsschädigenden Einflussnahme auszugehen.

Landwirte sollten daher den Befallszustand ihrer Feldstücke kennen, um bei einem Befall über der Schadensschwelle entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Eine Kategorisierung in Befallsgebiete bzw. Befallsregionen kann aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht empfohlen werden.

## **5.2. Vergleich der ausgewählten Analyseverfahren zur Ermittlung des Besatzes mit *Heterodera schachtii* mittels Bodenuntersuchung**

Eine vergleichende Analyse der drei ausgewählten Analyseverfahren mittels Varianzanalyse hat einen signifikanten Einfluss des Faktors „Analyseverfahren“ festgestellt. Das gewählte Analyseverfahren der AGES (Auswaschung und Auszählung der Zysten) weist nach Umrechnung der Zystenanzahlen auf deren Inhalt signifikant höhere Befallszahlen aus als die beiden anderen verwendeten Methoden, welche nicht voneinander unterschieden werden können. Maßgeblicher Grund für diese Entscheidung liegt im „mittleren Befallssegment“. Dieser Kategorie werden nach AGES acht Standorte zugewiesen, während hier die beiden anderen Verfahren lediglich drei Standorte zuweisen. Da in dieser Befallskategorie die Differenzen zwischen den Ergebnissen der jeweiligen Verfahren absolut betrachtet hoch ausfallen, werden signifikante Unterschiede ausgewiesen.

Bei der Ausweisung der Feldstücke als „nicht mit *Heterodera schachtii* befallen“ werden klare Unterschiede zwischen den Verfahren deutlich. So weist der BGD 29 Standorte als „nichtbefallen“ aus, während die KWS 10 Standorte und die AGES 7 Standorte „ohne Befall“ identifizieren. Diese Unterschiede sind in der nächsthöheren Befallskategorie „geringer Befall“ gegenläufig wiederzufinden. Grund dafür ist die fehlende Ausweisung von sehr geringen Besatzdichten von *H. schachtii* beim semiquantitativen Verfahren des BGD. Die beiden anderen Methoden weisen dagegen auch schon sehr geringe Befalldichten aus. So sind in den Ergebnissen der AGES 18 Standorte mit einem Besatz bis zu drei Zysten/100 g Boden ausgewiesen. Folglich sind diese der Befallskategorie „geringer Befall“ zugeordnet. Dies spiegelt sich auch im mittleren Befall dieser Befallskategorie wieder. Jener liegt beim BGD um zirka 150 % höher als bei den beiden anderen Verfahren.

Durch das gewählte Vorgehen der Multiplikation der Zystenanzahl mit einem mittleren Zysteninhalt können sich Fehler ergeben. So besteht die Möglichkeit, dass Zysten bereits abgestorben sind, der Zysteninhalt nicht mehr aktiv ist oder leere Zysten mitgezählt werden. Nach MÜLLER (1983a) kann davon ausgegangen werden, dass der Inhalt an Eiern und Larven je Zyste deutlich voneinander abweicht. Gründe dafür sind ein unterschiedliches Alter der Zysten, aber auch der unterschiedliche Einfluss von Witterungsverhältnissen. STEUDEL et al. (1985) stellen auch je nach Bodentiefe unterschiedliche Zysteninhalte fest.

Nur die Bestimmung der Zystenanzahl oder aber auch die Umrechnung mit mittleren Zysteninhalten stellt daher für einzelne Flächen keine geeignete Methode zur Bestimmung des Ausgangsbefalles dar.

Die Ermittlung des Nematodenbesatzes anhand der Schlupfinduktionsmethode und anschließender semiquantitativer PCR (BGD) weist jedoch auch aufgrund der geschätzten mittleren Schlupfrate von 50 % Schwächen auf. Für eine exakte Bestimmung des Nematodenbesatzes ist aufgrund dieser Berechnungsweise mit Ungenauigkeiten zu rechnen. Wird die Methode der KWS (Zystenanzahlbestimmung mit anschließender Bestimmung des Inhaltes) angewandt, so wird zwar der Inhalt der jeweiligen Zysten annähernd genau bestimmt, es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass alle gezählten Eier bzw. Larven lebensfähig sind. Auch hier kommt es zu einer Verzerrung der Ergebnisse.

Die Genauigkeit der Einordnung der einzelnen Standorte in den Bereich „geringer Befall“ (1-500 E+L/100 g Boden) erweist sich als schwierig. Einerseits liegt zwar die Schadensschwelle bei 500 E+L/100 g Boden (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000). Diese vermittelt, dass keine oder wirtschaftlich noch vertretbare Schäden zu erwarten sind. Eine falsche Zuordnung wäre mit unwesentlichen ökonomischen Verlusten verbunden. Anzumerken ist hier, dass der Fehler durch die Probennahme einen wesentlichen Teil des Gesamtfehlers der Befallsbewertung darstellt. Somit sollte die Probenahme und Mischung des Bodens in der Praxis gewissenhaft durchgeführt werden, um übermäßige Fehler zu vermeiden. MÜLLER (1983b) gibt Vertrauensbereiche für die Ergebnisse der Bodenuntersuchung mit  $\pm$  einigen Hundert E+L/100 g Boden an. Diese

Vertrauensbereiche können nur durch eine höhere Anzahl an Einstichen auf der beprobten Fläche reduziert werden.

Andererseits ergeben sich in diesem Versuch bereits ab „geringem Befall“ signifikante, wirtschaftlich nicht unerhebliche Ertragsrückgänge im anfälligen Standardsortiment. Es sollte daher die methodenbedingte unterschiedliche Zuordnung zu den jeweiligen Befallskategorien im niedrigen Befallsbereich bis 500 Larven/100 g Boden unter österreichischen Verhältnissen auf deren ökonomische Relevanz näher geprüft werden.

### **5.3. Optische Bonituren zur Befallsbestimmung**

Wird die optische Bonitur zum Zeitpunkt Mai mit den Ergebnissen der Bodenprobenanalysen verglichen, so wird deutlich, dass mit diesem Probenahmeschema (5 Rüben, Schwerpunkt lag auf geschwächten, zurückgebliebenen Rüben) ein möglicher Befall auf den Feldstücken deutlich unterschätzt wird. Lediglich auf 10 Flächen konnte gesichert ein Befall erkannt werden. Für eine optische Bonitur auf Nematodenbefall ist in diesem frühen Entwicklungsstadium der Stichprobenumfang zu gering, um Aussagen über den Befallzustand des Feldes geben zu können.

Für die zweite optische Bonitur Mitte Juli gilt: setzt man nur die jeweils höchste Bewertung der Einzelbeobachtungen (2 Sorten x 2 Wiederholungen) eines Feldstückes in Beziehung zu den Einstufungen aufgrund der Bodenuntersuchungen nach der Analyse-methode des BGD, so zeigen sich die Ergebnisse weitgehend deckungsgleich.

Mittels optischer Bonitur als auch mittels Bodenuntersuchungen konnten zwar 29 Standorte als „nicht befallen“ deklariert werden, es ist jedoch zu merken, dass sehr wohl einige Standorte optisch als „befallen“ ausgewiesen wurden, welche aufgrund der Bodenuntersuchung „ohne Befall“ waren. Im Vergleich zu den Bodenprobenergebnissen nach den Methoden von KWS und AGES wurden zu wenige Standorte als „befallen“ bewertet.

Somit kann sowohl mit einer optischen Bonitur, als auch mittels einer Bodenuntersuchung nicht definitiv bestimmt werden, ob Rübenzystennematoden auf diesem Standort vorkommen. Eine exaktere Bestimmung ist jedoch im Hinblick auf einen integrierten Pflanzenschutz und die Verwendung von Schadensschwellen zur ökonomischen Verlustabschätzung nicht unbedingt notwendig.

#### **5.4. Unterschiede in den Vermehrungsraten von *Heterodera schachtii* unter Einfluss der Versuchssorten**

Werden die Vermehrungsraten nach der Sorte gegliedert, so kann ein signifikanter Einfluss der Sorte auf die Vermehrungsrate festgestellt werden. Die mittlere Vermehrungsrate von Valentina mit 2,58 deckt sich mit Resultaten von HEINICKE und WARNECKE (2006). Hier wird bei geringen  $P_i$ -Werten (bis 500 E+L/100 g Boden) eine mittlere Vermehrung um das Vierfache, bei höheren  $P_i$ -Werten (1000–2000 E+L/100 g Boden) eine Verdoppelung des Ausgangsbesatzes angeführt.

Die tolerante Sorte weist eine sehr geringe Vermehrungsrate um 0,74 auf. Üblicherweise zeigen tolerante Sorte mit einer verringerten Anfälligkeit gegenüber *Heterodera schachtii* Vermehrungsraten zwischen eins und zwei (NIERE, 2009; HEINICKE und WARNECKE, 2006). Es treten aber auch in Feldversuchen durchaus Vermehrungsraten unter eins auf: In den Ergebnissen der Nematoden Sortenwertprüfung 2008 wurden bei Pauletta teilweise ähnlich niedrige Vermehrungsraten beobachtet (AGES, 2009).

Ein möglicher Grund für diese ausgeprägten Schwankungen sind die unterschiedlichen Witterungsbedingungen. Die Vermehrungsraten von Nematoden schwanken meist sehr stark über die Jahre (STEUDEL et al., 1978). So wird die mögliche Vermehrung maßgeblich von der Temperatur bestimmt (GRIFFIN, 1988), da mit höheren Temperaturen die Entwicklung rascher abgeschlossen werden kann. In weiterer Folge sind dadurch entweder nur eine (bei sehr niedrigen Temperaturen) oder bis zu vier Generationen möglich.

Der Lage des Feldstücks konnte kein Einfluss auf die Vermehrungsrate zugewiesen werden. Der Umstand einheitlicher Witterungsbedingungen könnte mitverantwortlich dafür sein, dass die Vermehrungsraten nicht von der Lage beeinflusst werden.

#### **5.5. Unterschiede in Ertrag und Qualität zwischen anfälliger und toleranter Zuckerrübensorte**

Die Befallskategorie weist in Bezug auf die Delta-Erträge an Rüben sowohl bei den Kleinparzellen als auch bei den Großparzellen signifikante Einflüsse auf. So können bei

beiden Erntedurchgängen jene Parzellen ohne erkennbaren Nematodenbefall von den Parzellen mit mittlerem Befall statistisch signifikant voneinander unterschieden werden. Pauletta liegt im Mittel der Ergebnisse der Kleinparzellen, unabhängig von der Befallskategorie, immer im Vorteil. Bei den Großparzellenergebnissen konnte Valentina unter Nichtbefall einen Ertragsvorteil von 2,58 t/ha Rübe verzeichnen. Mit steigendem Befallsgrad bringt jedoch Pauletta Mehrerträge an Rüben von bis zu 19,4 t/ha.

HEINICKE und WARNECKE (2006) weisen in Niedersachsen aufgrund 3-jähriger Versuche für Pauletta einen Mehrertrag an Rüben von über 20 % unter Nematodenbefall aus. In den hier vorliegenden Versuchen wurden die Standorte nach Befallskategorien gegliedert. Bei höherem Nematodenbefall fällt die anfällige Sorte stärker im Ertrag ab als die tolerante Sorte. Umgerechnet auf Prozentpunkte ergeben die österreichischen Ergebnisse unter mittlerem Befall für Pauletta Vorteile im Rübenenertrag von 35 bis 40 %. Bei geringem Befall sinkt dieser Vorteil auf zirka 20 % ab. Pauletta kann den Nematodenbefall mengenmäßig eindeutig besser kompensieren und reagiert mit einem geringeren Abfall im Rübenenertrag als Valentina. Würde nur nach einer Kategorie „Befall“ (umfassend die Kategorien geringer und mittlerer Befall) ausgewertet, würde der mittlere Ertragsvorteil unter „Befall“ geringer ausfallen.

Ähnliche Resultate lassen die Auswertung der Zuckererträge erkennen. Bei geringem Befall bringt Pauletta um zirka 0,9–1 t mehr Zucker pro Hektar. Dieser Vorteil steigert sich bei mittlerem Befall auf bis zu 2,6 t Zucker pro Hektar. Ist der Anbaustandort jedoch frei von Nematodenbefall, so liefert Valentina mit 0,34 t Zucker pro Hektar einen signifikanten Mehrertrag im Falle der ausgewerteten Kleinparzellen. Diese Vor- bzw. Nachteile lassen sich eindeutig aufgrund der Reaktion im Rübenenertrag erklären. Diese Kompensationsfähigkeit des Nematodenbefalls und die sich daraus ergebenden Vorteile schlagen sich direkt im Zuckerertrag nieder.

Obwohl der Vorteil im Rübenenertrag von Valentina unter Nichtbefall nur minimal ist, liefert diese Sorte einen signifikanten Vorteil im Zuckerertrag. Die Begründung dafür liegt im konstant höheren Zuckergehalt von Valentina. Valentina produziert unabhängig des Befalls mit Nematoden um zirka 0,4 Prozentpunkte mehr Zucker in den Rüben als

Pauletta. Dieser signifikant geringere Zuckergehalt von Pauletta ist ausschlaggebend für den Nachteil im Zuckerertrag unter Nichtbefall. Durch die Implementierung der Resistenz aus *B. maritima* wurden auch die inneren Qualitätseigenschaften der Rüben negativ beeinflusst. Diese negative Beeinflussung konnte bis dato züchterisch noch nicht vollständig ausgeglichen werden, um auf das Zuckergehaltsniveau des anfälligen Standardrübensortiments zu gelangen.

Eine Beeinflussung der weiteren Qualitätsparameter wie Kalium-, Natrium- oder Alpha-Amino-N-Gehalte durch steigenden Nematodenbefall konnte statistisch ausgeschlossen werden. Der Alpha-Amino-N-Gehalt zeigt jedoch einen leicht steigenden Trend mit zunehmendem Nematodenbefall. Ein ähnlicher Anstieg konnte mit steigender Nematodendichte beim Standardmelasseverlust verzeichnet werden. Der Standardmelasseverlust ist ein rechnerisches Maß aus den obigen drei Qualitätsparametern und spiegelt die technische Verwertbarkeit der Rüben wieder. Hohe Werte weisen auf eine schlechtere Zuckerausbeute hin.

Die jeweiligen mittleren Differenzen im Standardmelasseverlust liegen in allen Fällen über Null und deuten daher auf eine schlechtere Merkmalsausprägung bei Pauletta hin. Pauletta weist nahezu bei allen Einzelparametern signifikant höhere Absolutwerte auf. Auch OLLSON et al. (2007) weist darauf hin, dass das aktuelle Sortenangebot an nematodentoleranten Zuckerrübensorten hohe Gehalte an Kalium, Natrium und Alpha-Amino-N aufweisen – neue Sorten aus den Sortenversuchen 2006 sollen verbesserte Werte aufweisen.

Ähnliche Ergebnisse können bei Kalium und Alpha-Amino-N im Rahmen der Nematoden-Sortenwertprüfung 2008 auf zwei österreichischen Standorten nachgewiesen werden. Pauletta zeigt im Vergleich zu den Referenzsorten deutlich erhöhte Gehalte (AGES, 2009).

Betrachtet man den bereinigten Zuckerertrag (BZE) als kombiniertes Ertrags- und Qualitätsmaß, so lassen sich bei den Kleinparzellen signifikante Unterschiede feststellen. Bei den Großparzellen können aufgrund der geringeren Stichprobenumfänge und den zunehmenden Streuungen keine Unterschiede abgesichert werden. Unter „Nichtbefall“ bringt Valentina um zirka 0,5–0,75 t/ha mehr BZE. Unter Nematodenbefall dreht sich

dieser Vorteil zu Gunsten von Pauletta. Relativ betrachtet liefert Pauletta unter mittlerem Nematodenbefall einen zirka 25 % höheren BZE als Pauletta. Unter deutschen Anbaubedingungen konnten ähnliche Vorteile (20–30 %) der nematodentoleranten Sorte Pauletta im Vergleich zum Standardsortiment beim BZE nachgewiesen werden (SCHLANG, 2005; HEINICKE und WARNECKE, 2006).

Die tolerante Sorte Pauletta mit einer verringerten Anfälligkeit gegenüber *Heterodera schachtii* bietet aufgrund der Versuchsergebnisse bei bestätigtem Nematodenbefall Ertragsvorteile im Vergleich zur Sorte Valentina, welche das Standardsortiment repräsentiert. Pauletta reagiert in den Versuchen bei *H. schachtii* Befall mit einem geringeren Rübenenertragsabfall als Valentina und kann somit einen höheren Zuckerertrag pro Hektar trotz des geringen Zuckergehaltes sichern.

Auf befallsfreien Standorten ist jedoch den anfälligen Sorten der Vorzug zu geben. Valentina liefert hier signifikant höhere Zuckererträge.



## 6. Zusammenfassung

Der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii* ist in Europa der bedeutendste pflanzenparasitäre Nematode an Zuckerrüben. Vor allem in Anbaugebieten mit sehr hohem Zuckerrübenanteil in der Fruchtfolge kann es zu massiven Schädigungen des Wurzelsystems und damit verbundenen Ertragsverlusten kommen. Als klassischer Fruchtfolgeschädling ist eine Bekämpfung mit weit gestellten Fruchtfolgen unter Berücksichtigung anderer Wirtspflanzen (z.B. Raps) möglich.

In der vorliegenden Arbeit wurden in einem einjährigen Versuch die Verbreitung des Rübenzystennematoden im österreichischen Rübenanbaugebiet mittels Bodenuntersuchung näher bestimmt, sowie ein Sortenversuch mit einer anfälligen und einer nematodentoleranten Sorte zur Erhebung des verursachten Schadens durchgeführt. Hierzu wurden im Jahr 2008 auf 48 Standorten eine anfällige und eine nematodentolerante Zuckerrübensorte angebaut und auf den jeweiligen Feldstücken Bodenproben gezogen. Rüben wurden an zwei Terminen entnommen, wobei zum ersten Zeitpunkt 23 und zum zweiten Zeitpunkt sieben Standorte herangezogen wurden, um Ertrags- und Qualitätsparameter zu ermitteln.

Aufgrund der Ergebnisse der Bodenuntersuchung (Methode mit induziertem Schlupfreiz und anschließender semiquantitativer PCR) konnten 29 der 48 ausgewählten Feldstücke als befallsfrei ermittelt werden. Bei 19 Feldstücken wurde ein Befall nachgewiesen, wovon 16 nur einen geringen Befall (1–500 Larven/100 g Boden) zeigten. Eine Ausweisung von Gebieten mit verstärktem Befallsauftreten ist nicht möglich. Die Befallserhebung mittels Bodenuntersuchung ist für praktische Belange zuverlässig, während optische Bonituren zu wenig Genauigkeit bieten.

Die Vermehrungsrate der Nematodenpopulation wird signifikant von der Versuchssorte beeinflusst. An der toleranten Sorte war die Vermehrungsrate im Mittel um über 70 % geringer als an der anfälligen Sorte.

Die erhobenen Ertragsparameter werden signifikant von der Befallssituation des Feldstückes beeinflusst. Herrscht kein Befall vor, lieferte die anfällige Sorte um 0,34 t/ha signifikante höhere Zuckererträge. Dieser Vorteil drehte sich mit Befall des Feldstücks zu

Gunsten der toleranten Sorte, welche bereits bei geringem Befall einen Mehrertrag an Zucker von 1 t/ha brachte. Diese Ergebnisse spiegelten sich im Bereinigten Zuckerertrag mit einer Verschiebung in Richtung der anfälligen Sorte wieder.

Die Qualitätseigenschaften der beiden Versuchssorten wurden nicht vom Nematodenbefall beeinflusst. Hier konnte ein Einfluss der Sorten nachgewiesen werden. So zeigte die tolerante Sorte beim Zuckergehalt signifikant geringere Werte, während die Kalium-, Natrium- und Alpha-Amino-Stickstoff-Gehalte als Maß für die technische Verarbeitbarkeit der Rübe signifikant höhere Werte auswiesen.

## 7. Summary

The beet cyst nematode *Heterodera schachtii* is the most important plant parasitic nematode of sugar beet in Europe. Serious damage of root systems and significant yield losses may occur especially in regions with a high proportion of sugar beet in crop rotation. As a typical crop rotation pest an option for control would be widening crop rotation.

The objectives of this thesis were to assess the occurrence of *Heterodera schachtii* by the analyses of soil samples from Austrian sugar beet production regions and to evaluate differences in the response of susceptible and tolerant varieties to nematode infection.

Therefore a susceptible and a nematode-tolerant variety were planted on 48 plots in 2008. Soil samples were taken from all the plots. Beet samples were taken twice, first from 23 plots and second from 7 plots. Yield and quality parameters were determined.

Based on results of soil samples (induced hatching followed by semiquantitativ PCR) 29 out of 48 selected sites turned out to be free of nematodes. An infestation with *H. schachtii* was identified on 19 sites, whereof 16 showed only a slight infestation (1-500 larvae/100 g soil). Areas with high infestation could not be found. For practical use the results of soil samples are sufficient, while visual assessments are insufficient. The reproduction rate of the nematode population was influenced significantly by sugar beet variety. Plots planted with the tolerant variety showed a 70 percent lower reproduction rate than plots planted with the susceptible variety.

The measured yield data were significantly influenced by infestation level. Without infestation the susceptible variety produced a significantly higher sugar yield (a surplus of 0.34 t/ha). On infested plots this advantage turned in favour of the tolerant variety, which already yielded a surplus of 1 t sugar/ha under slight infestation. These results were unidirectional concerning the white sugar yield with a slight shift towards the susceptible variety.

Quality parameters of both varieties were not influenced by nematode infestation. However variety had an influence on quality parameters. Sugar content of the tolerant variety was significantly lower, whereas potassium-, sodium- and alpha-amino-nitrogen contents, key parameters for technical processability, showed significantly higher values.

## 8. Literaturverzeichnis

- AGES – ÖSTERREICHISCHE AGENTUR FÜR GESUNDHEIT UND ERNÄHRUNGSSICHERHEIT GMBH (2009):  
Nematoden – Sortenwertprüfung 2008, Endbericht. Wien: Selbstverlag.
- AGES – ÖSTERREICHISCHE AGENTUR FÜR GESUNDHEIT UND ERNÄHRUNGSSICHERHEIT GMBH (2010):  
Rübenzystennematoden – Nachweismethode, URL:  
<http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/pflanzengesundheit/nematoden/ruebenzystennematoden-heterodera-schachtii/ruebenzystennematode>  
n (08.02.2010).
- ARNDT, M. (1992): Entscheidungshilfen für pflanzenbauliche Maßnahmen bei Befall mit  
Rübenzystenälchen (*Heterodera schachtii*). Gesunde Pflanzen 44, 392 – 395.
- ARNDT, M. (2002): Einfluss von Fruchtfolge, chemischen und biologischen  
Bekämpfungsmaßnahmen auf die Befallsentwicklung von Rübennekmatoden  
(*Heterodera schachtii*) und den Zuckerrübenenertrag. Gesunde Pflanzen 54, 74 – 79.
- ARNDT, M.; HÜBSCHEN, J. und NOWIKOW, K. (2004): PCR zum halbquantitativen Nachweis von  
Rübenzystennematoden. Gesunde Pflanzen 56, 167 – 169.
- BORNSCHEUER, E. (1986): Zucker- und Futterrüben (*Beta vulgaris* L.). In: OEHMICHEN, J.  
(Hrsg.): Pflanzenproduktion – Band 2: Produktionstechnik. Berlin und Hamburg:  
Parey Verlag, 385 – 431.
- BUCHHOLZ, K.; MÄRLÄNDER, B.; PUKE, H.; GLATTKOWSKI, H. und THIELECKE, K. (1995):  
Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. Zuckerindustrie 120,  
113 – 121.
- BMF – BUNDESFORSCHUNGS- UND AUSBILDUNGSZENTRUM FÜR WALD, NATURGEFAHREN UND  
LANDSCHAFT (2009): URL: <http://gis.lebensministerium.at/eBOD> (04.01.2009).
- BÜRCKY, K. (2004): *Heterodera schachtii* – der Rübennekmatode. Beilage zur dzz, Die  
Zuckerrüben Zeitung 37, 1 – 11.
- EIGNER, H. (2010): Mündliche Mitteilung vom 05.02.2010.
- ELLIOTT, M.C. und WESTON, G.D. (1993): Biology and physiology of the sugar-beet plant. In:  
COOKE, D.A. und SCOTT, R.K. (Hrsg.): The Sugar Beet Crop: Science into practice.  
London: Chapman & Hall, 37 – 66.

- FICHTNER, E. und FURCHERT, W. (1986): Untersuchungen zum Einfluß der Bodentemperatur zur Aussaat auf die Befalls-Schadens-Relation von *Heterodera schachtii* Schm. an Zuckerrüben. Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz 22, 229 – 236.
- FRITZSCHE, R.; DECKER, H.; LEHMANN, W.; KARL, E. und GEIßLER, K. (1988): Resistenz von Kulturpflanzen gegen tierische Schaderreger. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag.
- FÜRSTENFELD, F.; ARNDT, M. und NOWIKOW, K. (2005): Schlupfinduktion mit Acetox und nachfolgender PCR zur halbquantitativen Bestimmung von *Heterodera schachtii* in Bodenproben. Proceedings of the 68<sup>th</sup> IIRB congress, 329 – 335.
- GIERTH, K. (2005): Pflanzenmorphologische und –physiologische Untersuchungen zur Toleranz in der Wirt-Parasit-Interaktion *Beta vulgaris* – *Heterodera schachtii*. Bonn: Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität.
- GRIFFIN, G.D. (1988): Factors Affecting the Biology and Pathogenicity of *Heterodera schachtii* on Sugarbeet. Journal of Nematology 20, 396 – 404.
- HALLMANN, J.; QUADT-HALLMANN, A. und TIEDEMANN, A. (2007): Phytomedizin – Grundwissen Bachelor. Stuttgart: Ulmer Verlag.
- HEIJBROEK, W. (1977): Partial resistance of sugarbeet to beet cyst eelworm (*Heterodera schachtii* SCHM.). Euphytica 26, 257 – 262.
- HEIJBROEK, W.; MCFARLANE, J.S. und DONEY, D.L. (1977): Breeding for tolerance to beet-cyst eelworm *Heterodera schachtii* SCHM. in sugarbeet. Euphytica 26, 557 – 564.
- HEINICKE, D. und WARNECKE, H. (2006): Erfolgreiche Produktion von Zuckerrüben trotz Nematoden – ein weiter Weg. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 404, 48 – 54. Berlin: Selbstverlag.
- HOLTMANN, B. (2000): Die Histologie und Ultrastruktur der Resistenzreaktion von Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) und Wildrüben (*Beta procumbens* und *Beta patellaris*) gegenüber dem Zystennematoden *Heterodera schachtii*. Diss. an der Christian-Albrechts-Universität Kiel. Kiel: Shaker Verlag.
- HOLTSCHULTE, B. UND NIEHOFF, B. (2010): Extraction of Beet Cysts Nematodes (*Heterodera schachtii*) from Soil. Laboratory Method of KWS SAAT AG in Einbeck, Germany, Einbeck: Selbstverlag.
- ICUMSA – INTERNATIONAL COMMISSION FOR UNIFORM METHODS OF SUGAR ANALYSIS (2007): Methods Book (2007). Berlin: Bartens.

- KÄMPFE, L. (1952): Rüben- und Kartoffelälchen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G.
- KUBADINOW, N. und WIENINGER, L. (1972): Bestimmung des  $\alpha$ -Aminostickstoff in Zuckerrüben und Betriebssäften der Zuckerproduktion. Zucker 25, 43 – 47.
- KWS – KWS SAAT AG (2009): Nematoden – Erkennen Handeln Erträge sichern. KWS-Ratgeber, 2. Auflage, Einbeck. Download von der Homepage der Fa. KWS möglich URL: [http://www.kws.de/global/show\\_document.asp?id=aaaaaaaaaagyjnm](http://www.kws.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaagyjnm).
- LANGE, W.; MÜLLER, J. und DEBOCK, T.S.M. (1993): Virulence in the beet cyst nematode (*Heterodera schachtii*) versus some alien genes for resistance in beet. Fundamental & Applied Nematology 16, 447 – 454.
- LEWELLEN, R.T.; PANELLA, L. und HARVESON, R.M. (2009): Botany of the Beet Plant. In: HARVESON, R.M.; HANSON, L.E. und HEIN, G.L. (Hrsg.): Compendium of Beet Diseases and Pests, Second Edition. St. Paul: APS Press, 2 – 3.
- MEIER, U.; BACHMANN, L.; BUHTZ, E.; HACK, H.; KLOSE, R.; MÄRLÄNDER, B. und WEBER, E. (1993): Phänologische Entwicklungsstadien der Beta-Rüben (*Beta vulgaris* L. ssp.), Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala mit Abbildungen. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 45, 37 – 41.
- MÜLLER, J. (1983a): Zur Problematik der quantitativen Erfassung von *Heterodera schachtii* mit Hilfe von Bodenuntersuchungen – I Ermittlung des Nematodenbesatzes in Mischproben. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 35, 132 – 136.
- MÜLLER, J. (1983b): Zur Problematik der quantitativen Erfassung von *Heterodera schachtii* mit Hilfe von Bodenuntersuchungen – II Ermittlung des Nematodenbesatzes in Feldproben. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 35, 150 – 155.
- MÜLLER, J. (1985): Der Einfluß der Wirtspflanze auf die Geschlechtsdeterminierung bei *Heterodera schachtii*. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 226, Berlin: Parey Verlag Berlin, 46 – 63.
- MÜLLER, J. (1989): Zur Definition von Resistenz und anderer Fachbegriffe in der Nematologie. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 41, 137 – 139.
- MÜLLER, J. (1992): Detection of pathotypes by assessing the virulence of *Heterodera schachtii* populations. Nematologica 38, 50 – 64.
- MÜLLER, J. (1999): The economic importance of *Heterodera schachtii* in Europe. Helminthologia 36, 205 – 213.

- MÜLLER, J. und RUMPENHORST, H.J. (2000): Die Prüfung von Pflanzen auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Schadorganismen in der Biologischen Bundesanstalt – Teil 1. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 372. Berlin: Parey Verlag Berlin.
- NIERE, B. (2009): Grundlagen einer nachhaltigen Bekämpfung von Rübenzystennematoden. Zuckerindustrie 134, 186 – 192.
- OLSSON, Å.; AYALA GARCIA, J.; BELTRAMI, G.; DEWAR, A.; ERONEN, L.; HANSEN, A.L.; HOLTSCHULTE, B.; MUCHEMBLE, C.; NIHLGÅRD, M.; OLSSON, R.; OSSENKOP, A.; SCHNEIDER, H. und WAUTERS, A. (2007): Control of Beet Cyst Nematodes in Europe – Problems and possibilities. Proceedings of the 70<sup>th</sup> IIRB congress, 177 – 183.
- RIECKMANN, W. und STECK, U. (1995): Krankheiten und Schädlinge der Zuckerrübe. Gelsenkirchen: Th. Mann Verlag.
- SAVITSKY, H. (1975): Hybridization between *Beta vulgaris* and *B. procumbens* and transmission of nematode (*Heterodera schachtii*) resistance to sugarbeet. Canadian journal of genetics and cytology 17, 197 – 209.
- SAVITSKY, H. (1978): Nematode (*Heterodera schachtii*) resistance and meiosis in diploid plants from interspecific *Beta vulgaris* x *B. procumbens* hybrids. Canadian journal of genetics and cytology 20, 177 – 186.
- SCHACHT, H. (1859): Über einige Feinde der Rübenfelder. Zeitschrift des Vereines für die Rübenzuckerindustrie im Zollverein 9, 175 – 179.
- SCHLANG, J. (1997): Neue Strategien zur biologischen Bekämpfung von *Heterodera schachtii*. Proceedings of the 60<sup>th</sup> IIRB congress, 229 – 242.
- SCHLANG, J. (2002): Integrierte Bekämpfung des Rübenzystennematoden. Zuckerrübe 51, 203 – 205.
- SCHLANG, J. (2005): Was leisten neue Rübensorten gegen Nematoden?. Top-Agrar 2/2005, 52 – 53.
- SCHMIDT, A. (1871): Ueber den Rüben-Nematoden (*Heterodera schachtii* A.S.). Zeitschrift des Vereines für die Rübenzuckerindustrie im Zollverein 21, 1 – 19.
- SEIDEL, P. (1996a): Toleranz von Pflanzen gegen Stress – das Stiefkind der phytopathologischen Forschungen?. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 18. Braunschweig: Eigenverlag.

- SEIDEL, P. (1996b): Pflanzliche Toleranz gegenüber Streß – eine ungenutzte Reserve im Pflanzenschutz?. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 48, 52 – 59.
- STATISTIK AUSTRIA (2009): Landwirtschaftliche Gesamtrechnung – Ergebnisse für 2008. Stand Juli 2009, Schnellbericht 1.36. Wien: Selbstverlag.
- STEUDEL, W.; SCHLANG, J. und MÜLLER, J. (1985): Untersuchungen zum Einfluß einiger Zwischenfrüchte auf die Abundanzdynamik des Rüben nematoden (*Heterodera schachtii* Schmidt) in verschiedenen Bodentiefen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 226, Berlin: Parey Verlag Berlin, 129 – 140.
- STEUDEL, W. und THIELEMANN, R. (1970): Weitere Untersuchungen zur Frage der Empfindlichkeit von Zuckerrüben gegen den Rüben nematoden (*Heterodera schachtii* Schmidt). Zucker 23, 106 – 109.
- STEUDEL, W. und THIELEMANN, R. (1979): Über die Prognose von Schäden durch den Rüben zystennematoden (*Heterodera schachtii* Schmidt) bei Zuckerrüben mittels Untersuchung des Vorbefalls. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 31, 179 – 181.
- STEUDEL, W.; THIELEMANN, R. und HAUFE, W. (1978): Der Einfluss von Aldicarb auf die Vermehrung des Rüben zystenälchens (*Heterodera schachtii* Schmidt) und den Ertrag von Zuckerrüben in der Köln-Aachener Bucht. Nematologica 24, 361 – 375.
- STEUDEL, W.; THIELEMANN, R. und HAUFE, W. (1981): Untersuchungen zur Populationsdynamik des Rüben zystenälchens (*Heterodera schachtii* Schmidt) in der Köln-Aachener Bucht. Heft 199, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Berlin: Parey Verlag Berlin.
- VÖR – VEREINIGUNG ÖSTERREICHISCHER RÜBENBAUERN (2010): Entwicklung des österreichischen Rübenanbaus. URL: <http://www.ruebenbauern.at/uebersicht/entwicklung/> (05.02.2010).
- WIENINGER, L. und KUBADINOW, N. (1971): Beziehungen zwischen Rübenanalysen und technischer Bewertung von Zuckerrüben. Zucker 24, 599 – 604.



## 9. Anhang

### 9.1. Verfahrensablauf der Nematodenextraktion durch Schlupfinduktion mittels Acetox und anschließender Nachweis mittels semiquantitativer PCR-Analyse

Ablauf nach ARNDT et al., 2004 und FÜRSTENFELD et al., 2005, wobei seit dem Jahr 2008 Agarosegele der Firma Bio Rad anstelle der Gele der Firma Amersham Biosciences verwendet werden.

Es wurden 400 g Boden in einen Plastikbeutel eingewogen und 0,4 ml 2 %ige Acetoxlösung (1-Acetoxy-2-ethylhexa-1,3-dien in Aceton) hinzupipettiert. Der Beutel wird mit einer Büroklammer verschlossen und 3 Tage bei 26 °C inkubiert. Hierbei wird eine Schlupfrate von 40-60 % erwartet. Anschließend werden 100 g Erde für 3 Tage auf einen 100 mm Baermann-Trichter mit doppeltem Milchfilter (Hygia Rapid) gegeben. Der Trichter wird mit Leitungswasser befüllt, bis Kontakt zwischen der Erdprobe und dem Wasserspiegel vorhanden ist. Der Wasserstand muss täglich kontrolliert und gegebenenfalls nachgefüllt werden. Nach 3 Tagen werden mit einer Pipette 4 ml der angesammelten Nematoden (L<sub>2</sub>-Larven) am Boden des Baermanntrichters vorsichtig abgezogen und in ein Zentrifugalröhrchen pipettiert.

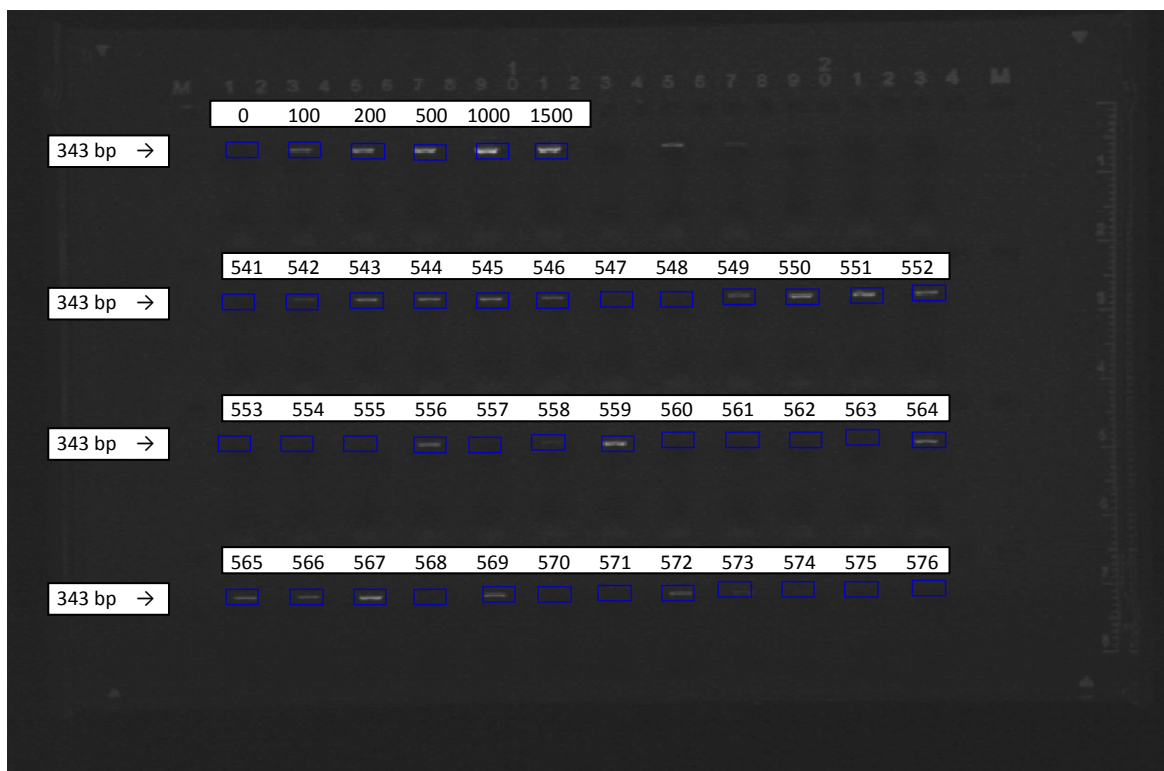
Von der erhaltenen Nematodensuspension werden nach einigen Stunden Stehzeit (am besten über Nacht) 2 ml Überstand abgezogen und verworfen. Die restlichen 2 ml werden homogenisiert und davon 1 ml in ein Reaktionsgefäß pipettiert. Diese Probe wird 3 Minuten bei 8000 U/Min. zentrifugiert und anschließend wird der Überstand bis auf 25 µl abgezogen und verworfen.

Der Aufschluss der Nematoden erfolgt mit NaOH nach Hübschen, wobei 100 µl NaOH (0,25 M) auf die Nematodenlösung pipettiert werden. Danach wird die Lösung aufgeschüttelt und soll über Nacht einwirken. Am nächsten Tag wird das Reagenzröhrchen 3 Minuten auf dem Thermomixer bei 99 °C inkubiert. Anschließend werden 50 µl HCl (0,25 M), 25 µl Tris-HCl (0,5 M) – pH 8 und 25 µl Triton X-100 (2 %ige Lsg.) beigegeben und wieder 3 Minuten auf dem Thermomixer bei 99 °C inkubiert.

Um in den Linearitätsbereich der PCR-Referenzproben zu kommen, wird aus den lysierten Proben eine 1:5 Verdünnung mit Wasser hergestellt. Anschließend wird der PCR-Ansatz

durchgeführt, wobei eine Master-Mix-Lösung und die entsprechenden Primer zugesetzt werden. Es folgen 28 Amplifizierungsvorgänge im Thermocycler (Anfangsdenaturierung 3 min. mit 95 °C, gefolgt von 27 Zyklen mit 30 sec. 95 °C, 30 sec. mit 59 °C und 30 sec. mit 72 °C, und letztlich eine finale Elongation von 2 min. bei 72 °C) und anschließend eine Auftrennung mittels horizontaler Gelelektrophorese auf einem Standard Agarose-Gel. Die spezifische DNA-Sequenz von *H. schachtii* entspricht 343 bp. Das Gel wird in ein Elektrophoresebad, gefüllt mit TBE-Buffer eingelegt. 25 µl des PCR-Produkts und 5 µl Loading Buffer werden gemischt und davon 10 µl in die jeweiligen Geltaschen pipettiert. Danach wird 25 Minuten eine Spannung von 110 V angelegt.

Die anschließende Dokumentation und Auswertung der Fertiggele unter UV-Licht erfolgt am Computer mittels BIO-RAD Gel Doc 2000, indem die Bandstärken der Proben mit standardisierten Referenzproben verglichen werden. Abbildung 23 zeigt eine Gelplatte bei der Auswertung, wobei die erste Reihe die Referenzstandards und die restlichen drei Reihen die untersuchten Proben zeigen.



**Abbildung 23: Screenshot einer Gelplatte nach der Elektrophorese**

Die oberste Bandenreihe gibt die Referenzstandards mit den jeweiligen Larven/100 g Boden wieder. Die Proben wurden in mehreren Reihen in Geltaschen eingefüllt. Die Zahlen über den Banden stellen die jeweiligen Probennummern dar. Anschließend erfolgt ein Vergleich der Bandenstärke der Proben mit den Referenzproben.

Um die jeweiligen Larven/100 g Boden zu erhalten, muss der ermittelte Wert mit 20 multipliziert werden. Dieser Faktor ergibt sich einerseits aus der zirka 50 %igen Schlupfrate bei Acetox (2) und andererseits aus den Verdünnungsfaktoren vor (2) und nach (5) der Lyse.

## **9.2. Verfahrensablauf der Rübenaufbereitung und -analyse**

Die Rüben werden gewaschen und verwogen. Anschließend wird mittels einer Breisäge ein Teil der Rüben verbreit, anschließend gemischt und 30 g in Kunststoffbehältnisse eingestrichen. Die Extraktion erfolgt durch kalte Digestion mittels wässrigen Bleiacetates. Hierzu werden 26 g Brei mit 177 ml verdünnter Bleiacetatlösung in einem Becher vermischt. Die anschließende Extraktionszeit beträgt mindestens 7,5 Minuten. Anschließend wird nach einer Kieselgurzugabe der Brei über einen Bandfilter abfiltriert.

Die folgenden Analysen umfassen die Bestimmung des Zuckergehalts, der Alkalien Natrium und Kalium sowie die Blauzahlbestimmung.

Zuckergehalt: Der Zuckergehalt wird polarimetrisch bestimmt, wobei in einem 200 mm Polarimeter-Rohr bei einer Temperatur von 20 °C die Lichtdrehung bestimmt wird. Anschließend erfolgt die Umrechnung in % Zucker (ICUMSA, 2007, GS6-1).

Natrium, Kalium: Diese beiden Alkalien werden mittels Flammenphotometer bestimmt, wobei eine Lithiumlösung als interner Standard benutzt wird. Die Ausweisung erfolgt als mmol 100 g<sup>-1</sup> Rübe (ICUMSA, 2007, GS6-7).

Blauzahl: Die Blauzahl wird mittels Kupferacetat-Lösung photometrisch bestimmt. Die Blauzahl wird als solche ausgewiesen und wird mittels Division durch die Atommasse von Stickstoff (14,007 u) in  $\alpha$ -Amino-Stickstoff umgerechnet (ICUMSA, 2007, GS6-5).

### 9.3. Datenmaterial

**Tabelle A: Optische Bonituren der Erhebungsflächen**

| Standort           | Optische Bonitur<br>Mitte Mai | Optische Bonitur Mitte Juli |           |                |           |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------|----------------|-----------|
|                    |                               | 1 Wiederholung              |           | 2 Wiederholung |           |
|                    |                               | Pauletta                    | Valentina | Pauletta       | Valentina |
| Pernhofen          | Befall                        | kein                        | Befall    | kein           | Befall    |
| Althöflein         | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Altlichtenwarth 1  | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Altlichtenwarth 2  | kein                          | stark                       | stark     | stark          | stark     |
| Niederabsdorf      | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Ladendorf          | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Bruck/Leitha       | Befall                        | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Pachfurth          | Verdacht                      | Befall                      | Befall    | Befall         | Befall    |
| Tadten             | kein                          | kein                        | kein      | Befall         | Befall    |
| Andau              | Befall                        | stark                       | stark     | stark          | stark     |
| Frauenkirchen      | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Sommerein          | kein                          | kein                        | Befall    | kein           | kein      |
| Trautmannsdorf     | Befall                        | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Rohrau             | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Loimersdorf        | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Witzelsdorf        | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Eckartsau          | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Leopoldsdorf/Mf.   | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Parbasdorf         | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Lasse              | Befall                        | kein                        | kein      | Befall         | stark     |
| Marchegg 1         | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Marchegg 2         | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Weikendorf         | Befall                        | Befall                      | stark     | Befall         | Befall    |
| Oberweiden         | kein                          | Befall                      | Befall    | Befall         | Befall    |
| Zwerndorf          | Befall                        | Befall                      | Befall    | Befall         | Befall    |
| Wien-Inzersdorf    | kein                          | kein                        | Befall    | kein           | kein      |
| Achau              | Verdacht                      | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Senning            | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Untermallebarn     | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Kalladorf          | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Wullersdorf        | Befall                        | Befall                      | Befall    | Befall         | stark     |
| Nitzing            | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Langenrohr         | kein                          | Befall                      | Befall    | kein           | kein      |
| Rust/Tullnerfeld 2 | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Rust/Tullnerfeld 1 | Befall                        | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Stetteldorf/Wagram | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Klein Wiesendorf   | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Nappersdorf        | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Groß Inzersdorf    | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Münchendorf        | Verdacht                      | Befall                      | Befall    | kein           | kein      |
| Haschendorf        | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Siegendorf         | Befall                        | Befall                      | Befall    | Befall         | Befall    |
| Groß Warasdorf     | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| Kristein           | kein                          | kein                        | Befall    | kein           | Befall    |
| Wolfen             | kein                          | kein                        | kein      | kein           | kein      |
| St. Valentin       | kein                          | Befall                      | Befall    | kein           | kein      |
| Naarn              | kein                          | Befall                      | Befall    | kein           | kein      |
| Loosdorf           | kein                          | kein                        | kein      | kein           | Befall    |

**Tabelle B: Ergebnisse der Bodenprobenanalysen (Mittelwert der beiden Analysewiederholungen) der Erhebungsflächen**

| Standort           | BGD               | KWS            | AGES               |
|--------------------|-------------------|----------------|--------------------|
|                    | Larven/100g Boden | E+L/100g Boden | Zysten/100 g Boden |
| Pernhofen          | 358               | 425            | 28                 |
| Althöflein         | 0                 | 3              | 1                  |
| Altlichtenwarth 1  | 0                 | 0              | 2                  |
| Altlichtenwarth 2  | 147               | 98             | 3                  |
| Niederabsdorf      | 0                 | 176            | 6                  |
| Ladendorf          | 0                 | 6              | 7                  |
| Bruck/Leitha       | 0                 | 8              | 7                  |
| Pachfurth          | 70                | 573            | 50                 |
| Tadten             | 3                 | 139            | 26                 |
| Andau              | 430               | 429            | 40                 |
| Frauenkirchen      | 0                 | 90             | 2                  |
| Sommerein          | 0                 | 0              | 2                  |
| Trautmannsdorf     | 417               | 367            | 22                 |
| Rohrau             | 0                 | 23             | 4                  |
| Loimersdorf        | 0                 | 63             | 7                  |
| Witzelsdorf        | 0                 | 5              | 7                  |
| Eckartsau          | 0                 | 5              | 4                  |
| Leopoldsdorf/Mf.   | 0                 | 3              | 5                  |
| Parbasdorf         | 0                 | 23             | 1                  |
| Lasse              | 714               | 1114           | 46                 |
| Marchegg 1         | 0                 | 8              | 0                  |
| Marchegg 2         | 0                 | 8              | 1                  |
| Weikendorf         | 299               | 214            | 29                 |
| Oberweiden         | 350               | 185            | 38                 |
| Zwerndorf          | 538               | 558            | 18                 |
| Wien-Inzersdorf    | 107               | 129            | 6                  |
| Achau              | 0                 | 0              | 0                  |
| Senning            | 0                 | 23             | 1                  |
| Untermallebarn     | 0                 | 80             | 3                  |
| Kalladorf          | 453               | 310            | 3                  |
| Wullersdorf        | 450               | 246            | 2                  |
| Nitzing            | 0                 | 0              | 0                  |
| Langenrohr         | 403               | 50             | 2                  |
| Rust/Tullnerfeld 2 | 0                 | 0              | 1                  |
| Rust/Tullnerfeld 1 | 540               | 682            | 23                 |
| Stetteldorf/Wagram | 79                | 83             | 2                  |
| Klein Wiesendorf   | 0                 | 18             | 3                  |
| Nappersdorf        | 0                 | 160            | 6                  |
| Groß Inzersdorf    | 0                 | 0              | 1                  |
| Münchendorf        | 106               | 10             | 4                  |
| Haschendorf        | 69                | 86             | 17                 |
| Siegendorf         | 462               | 283            | 40                 |
| Groß Warasdorf     | 0                 | 0              | 0                  |
| Kristein           | 0                 | 60             | 2                  |
| Wolfers            | 0                 | 0              | 0                  |
| St. Valentin       | 0                 | 0              | 0                  |
| Naarn              | 0                 | 176            | 1                  |
| Loosdorf           | 0                 | 0              | 0                  |

**Tabelle C: Ergebnisse der Bodenprobenanalysen (Mittelwert der beiden Analysewiederholungen) der Großparzellen zu Vegetationsbeginn und zu Vegetationsende**

| Standort           | Wiederholung | Anfangsbesatz $p_i$<br>Larven/100 g Boden | Valentina Endbesatz $p_f$<br>Larven/100 g Boden | Pauletta Endbesatz $p_f$<br>Larven/100 g Boden |
|--------------------|--------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Pernhofen          | 1            | 59                                        |                                                 |                                                |
| Pernhofen          | 2            | 406                                       |                                                 |                                                |
| Pernhofen          | 3            | 178                                       |                                                 |                                                |
| Pernhofen          | 4            | 676                                       |                                                 |                                                |
| Pernhofen          | 5            | 308                                       |                                                 |                                                |
| Pernhofen          | 6            | 321                                       |                                                 |                                                |
| Bruck/Leitha       | 1            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Bruck/Leitha       | 2            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Bruck/Leitha       | 3            | 0                                         | 348                                             | 0                                              |
| Bruck/Leitha       | 4            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Pachfurth          | 1            | 38                                        |                                                 |                                                |
| Pachfurth          | 2            | 175                                       |                                                 |                                                |
| Pachfurth          | 3            | 13                                        |                                                 |                                                |
| Pachfurth          | 4            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Trautmannsdorf     | 1            | 100                                       | 722                                             | 45                                             |
| Trautmannsdorf     | 2            | 131                                       | 768                                             | 382                                            |
| Trautmannsdorf     | 3            | 421                                       | 798                                             | 566                                            |
| Trautmannsdorf     | 4            | 529                                       | 579                                             | 259                                            |
| Rohrau             | 1            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Rohrau             | 2            | 0                                         | 115                                             | 0                                              |
| Rohrau             | 3            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Rohrau             | 4            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Parbasdorf         | 1            | 88                                        | 541                                             | 37                                             |
| Parbasdorf         | 2            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Parbasdorf         | 3            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Parbasdorf         | 4            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Oberweiden         | 1            | 418                                       |                                                 |                                                |
| Oberweiden         | 2            | 528                                       |                                                 |                                                |
| Oberweiden         | 3            | 282                                       |                                                 |                                                |
| Oberweiden         | 4            | 406                                       |                                                 |                                                |
| Zwerndorf          | 1            | 0                                         | 509                                             | 720                                            |
| Zwerndorf          | 2            | 881                                       | 858                                             | 910                                            |
| Zwerndorf          | 3            | 215                                       | 306                                             | 153                                            |
| Zwerndorf          | 4            | 711                                       | 1084                                            | 587                                            |
| Kalladorf          | 1            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Kalladorf          | 2            | 271                                       |                                                 |                                                |
| Kalladorf          | 3            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Kalladorf          | 4            | 75                                        |                                                 |                                                |
| Rust/Tullnerfeld 1 | 1            | 148                                       | 630                                             | 0                                              |
| Rust/Tullnerfeld 1 | 2            | 24                                        | 95                                              | 0                                              |
| Rust/Tullnerfeld 1 | 3            | 583                                       | 402                                             | 228                                            |
| Rust/Tullnerfeld 1 | 4            | 398                                       | 686                                             | 41                                             |
| Groß Inzersdorf    | 1            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Groß Inzersdorf    | 2            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Groß Inzersdorf    | 3            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Groß Inzersdorf    | 4            | 0                                         |                                                 |                                                |
| Haschendorf        | 1            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Haschendorf        | 2            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Haschendorf        | 3            | 0                                         | 0                                               | 0                                              |
| Haschendorf        | 4            | 392                                       | 729                                             | 417                                            |
| Siegendorf         | 1            | 347                                       | 679                                             | 157                                            |
| Siegendorf         | 2            | 187                                       | 425                                             | 16                                             |
| Siegendorf         | 3            | 272                                       | 89                                              | 62                                             |
| Siegendorf         | 4            | 640                                       | 362                                             | 374                                            |

**Tabelle D: Standortmittelwerte der Ertragsparameter der Kleinparzellen**

| Standort           | $\Delta$ -Ertrag Rübe<br>t/ha | $\Delta$ -Ertrag Zucker<br>t/ha | $\Delta$ -BZE<br>t/ha |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Pernhofen          | 17,56                         | 2,15                            | 1,62                  |
| Altlichtenwarth 1  | 5,33                          | 0,67                            | 0,43                  |
| Altlichtenwarth 2  | 8,44                          | 1,07                            | 0,92                  |
| Bruck/Leitha       | -11,56                        | -2,76                           | -2,61                 |
| Andau              | 19,56                         | 2,31                            | 1,86                  |
| Trautmannsdorf     | -1,67                         | -0,43                           | -0,66                 |
| Rohrau             | -8,56                         | -1,59                           | -1,69                 |
| Parbasdorf         | 9,44                          | 1,12                            | 0,56                  |
| Lasseesee          | 20,44                         | 3,11                            | 2,59                  |
| Marchegg 1         | -11,67                        | -2,44                           | -2,28                 |
| Zwerndorf          | 11,33                         | 1,25                            | 0,67                  |
| Achau              | 5,33                          | 0,42                            | -0,01                 |
| Untermallebarn     | 2,11                          | -0,34                           | -0,59                 |
| Wullersdorf        | 28,33                         | 4,37                            | 3,82                  |
| Langenrohr         | -3,56                         | -0,72                           | -0,99                 |
| Rust/Tullnerfeld 1 | 24,00                         | 2,38                            | 1,52                  |
| Rust/Tullnerfeld 2 | 0,33                          | -0,40                           | -0,54                 |
| Stetteldorf/Wagram | 0,78                          | -0,26                           | -0,54                 |
| Klein Wiesendorf   | 13,78                         | 1,92                            | 1,54                  |
| Haschendorf        | 6,22                          | 0,95                            | 0,66                  |
| Siegenderf         | -1,22                         | -0,23                           | -0,32                 |
| Wolfersn           | -1,56                         | -0,45                           | -0,66                 |
| Naarn              | 0,78                          | 0,12                            | 0,03                  |

**Tabelle E: Standortmittelwerte der Qualitätsparameter der Kleinparzellen**

| Standort           | $\Delta$ -Zuckergehalt<br>% | $\Delta$ -Kalium<br>mmol/100 g Rübe | $\Delta$ -Natrium<br>mmol/100 g Rübe | $\Delta$ -Alpha-N<br>mmol/100 g Rübe | $\Delta$ -SMV<br>% |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Pernhofen          | -1,18                       | 0,64                                | 0,33                                 | 0,77                                 | 0,30               |
| Altlichtenwarth 1  | -0,27                       | 0,50                                | 0,11                                 | 0,45                                 | 0,18               |
| Altlichtenwarth 2  | -0,64                       | -0,23                               | -0,24                                | -0,45                                | -0,16              |
| Bruck/Leitha       | -1,04                       | 0,51                                | 0,08                                 | 0,03                                 | 0,08               |
| Andau              | -0,74                       | 0,70                                | -0,01                                | -0,11                                | 0,06               |
| Trautmannsdorf     | -0,16                       | 0,73                                | 0,01                                 | 0,95                                 | 0,32               |
| Rohrau             | -0,21                       | 0,49                                | 0,20                                 | 1,07                                 | 0,34               |
| Parbasdorf         | -0,31                       | 0,76                                | 0,14                                 | 1,29                                 | 0,42               |
| Lasseesee          | -0,38                       | 0,88                                | 0,02                                 | 0,58                                 | 0,25               |
| Marchegg 1         | -0,55                       | 0,52                                | 0,04                                 | 0,10                                 | 0,09               |
| Zwerndorf          | -0,49                       | 0,93                                | 0,33                                 | 1,27                                 | 0,45               |
| Achau              | -0,57                       | 0,71                                | 0,29                                 | 1,22                                 | 0,41               |
| Untermallebarn     | -0,88                       | 0,64                                | 0,07                                 | 0,75                                 | 0,27               |
| Wullersdorf        | -0,83                       | 0,60                                | -0,01                                | 0,14                                 | 0,10               |
| Langenrohr         | -0,23                       | 0,48                                | 0,40                                 | 1,48                                 | 0,46               |
| Rust/Tullnerfeld 1 | -1,17                       | 0,57                                | 0,69                                 | 1,18                                 | 0,43               |
| Rust/Tullnerfeld 2 | -0,57                       | 0,68                                | 0,16                                 | 0,47                                 | 0,21               |
| Stetteldorf/Wagram | -0,60                       | 0,83                                | 0,09                                 | 1,07                                 | 0,37               |
| Klein Wiesendorf   | -0,35                       | 0,64                                | -0,02                                | 0,33                                 | 0,15               |
| Haschendorf        | 0,14                        | 0,42                                | 0,05                                 | 0,67                                 | 0,22               |
| Siegenderf         | -0,13                       | 0,55                                | 0,13                                 | 0,33                                 | 0,16               |
| Wolfersn           | -0,32                       | 0,92                                | 0,04                                 | 0,75                                 | 0,30               |
| Naarn              | 0,01                        | 0,46                                | -0,06                                | 0,27                                 | 0,11               |

**Tabelle F: Standortmittelwerte der Ertragsparameter der Großparzellen**

| Standort           | $\Delta$ -Ertrag Rübe<br>t/ha | $\Delta$ -Ertrag Zucker<br>t/ha | $\Delta$ -BZE<br>t/ha |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Trautmannsdorf     | 12,25                         | 1,60                            | 1,11                  |
| Rohrau             | -3,44                         | -0,79                           | -0,80                 |
| Parbasdorf         | 12,38                         | 1,48                            | 1,25                  |
| Zwerndorf          | 4,66                          | 0,48                            | 0,12                  |
| Rust/Tullnerfeld 1 | 10,53                         | 0,67                            | 0,00                  |
| Haschendorf        | -1,06                         | -0,42                           | -0,81                 |
| Siegenderf         | 7,81                          | 1,00                            | 0,68                  |

**Tabelle G: Standortmittelwerte der Qualitätsparameter der Großparzellen**

| Standort           | $\Delta$ -Zuckergehalt<br>% | $\Delta$ -Kalium<br>mmol/100 g Rübe | $\Delta$ -Natrium<br>mmol/100 g Rübe | $\Delta$ -Alpha-N<br>mmol/100 g Rübe | $\Delta$ -SMV<br>% |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Trautmannsdorf     | -0,28                       | 0,69                                | 0,09                                 | 0,89                                 | 0,31               |
| Rohrau             | -0,29                       | 0,38                                | 0,08                                 | 0,24                                 | 0,11               |
| Parbasdorf         | -0,32                       | 0,91                                | 0,06                                 | -0,83                                | -0,08              |
| Zwerndorf          | -0,12                       | 0,57                                | 0,27                                 | 0,89                                 | 0,31               |
| Rust/Tullnerfeld 1 | -0,92                       | 0,80                                | 0,34                                 | 1,46                                 | 0,49               |
| Haschendorf        | -0,28                       | 0,64                                | 0,08                                 | 1,66                                 | 0,49               |
| Siegenderf         | -0,18                       | 0,55                                | 0,21                                 | 0,31                                 | 0,17               |