

**Fachhochschule Kiel**  
**Fachbereich Landbau**

**Osterrönfeld**

---

**Diplomarbeit**

im Studienfach Phytomedizin

**Bedeutung des Wasserrübenvergilbungsvirus im Winterraps –  
Biologie des Erregers und Auswertung von Untersuchungen  
aus bundesweiten Sortenversuchen**

---

vorgelegt von stud. ing. Mareike Schardt  
betreut durch Prof. Dr. K. Schlüter

Bühnsdorf, im Mai 2007

# I Inhaltsverzeichnis

---

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Einleitung .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>TuYV – Biologie des Erregers .....</b>                                 | <b>2</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Das Virus .....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1.1      | Bezeichnung .....   | 2         |
| 2.1.2      | Systematik .....  | 3         |
| 2.1.2.1    | Struktur .....  | 5         |
| 2.1.2.2    | Genom .....   | 5         |
| 2.1.3      | Nachweis .....  | 6         |
| 2.1.3.1    | Probleme .....  | 6         |
| 2.1.3.2    | Methoden .....  | 7         |
| 2.1.4      | Verbreitung und Bedeutung .....   | 8         |
| <b>2.2</b> | <b>Die Wirtspflanzen .....</b>  | <b>10</b> |
| 2.2.1      | Wirtskreis .....  | 10        |
| 2.2.2      | Differenzierung der <i>Luteoviren</i> von Winterraps und Zuckerrübe ..... | 12        |
| 2.2.3      | Symptome des TuYV-Befalls.....  | 13        |
| 2.2.3.1    | Wirkung auf Blätter, Spross und Wurzel.....                               | 13        |
| 2.2.3.2    | Wirkung auf die Ertragsorgane.....  | 16        |
| 2.2.4      | Ertragsrelevanz .....   | 16        |
| <b>2.3</b> | <b>Virusübertragung .....</b>   | <b>17</b> |
| 2.3.1      | Art der Übertragung .....   | 18        |
| 2.3.2      | Überträger des TuYV .....   | 20        |
| 2.3.2.1    | Blattlausarten .....  | 20        |
| 2.3.2.2    | Schäden an Pflanzen .....   | 22        |
| 2.3.2.3    | Lebensweise und Vermehrung .....  | 22        |
| 2.3.2.4    | Verhalten .....   | 23        |
| 2.3.2.5    | Nahrungsaufnahme .....  | 24        |
| 2.3.2.6    | Virusübertragung durch Blattläuse .....                                   | 25        |
| <b>2.4</b> | <b>Regulierungsmethoden.....</b>  | <b>29</b> |
| 2.4.1      | Reduzierung der Blattläuse.....   | 29        |
| 2.4.1.1    | Saatgutbeizung .....  | 30        |
| 2.4.1.2    | Insektizide.....  | 31        |
| 2.4.1.3    | Alternative Methoden .....  | 32        |
| 2.4.2      | TuYV-Resistenz .....  | 32        |
| 2.4.2.1    | Vererbung .....   | 34        |
| 2.4.2.2    | Stand der Züchtung.....   | 34        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>3</b> | <b>Eigene Untersuchungen zum Auftreten des TuYV .....</b>                | <b>36</b> |
| 3.1      | <b>Befallssituation in den einzelnen Jahren .....</b>                    | <b>37</b> |
| 3.2      | <b>Saatgutbeizung.....</b>   | <b>37</b> |
| 3.3      | <b>Sortenresistenz.....</b>  | <b>38</b> |
| 3.4      | <b>Aktuelle Befallssituation 2006 .....</b>                              | <b>39</b> |
| 3.5      | <b>Methoden.....</b>   | <b>40</b> |
| 3.5.1    | Erregernachweis .....  | 40        |
| 3.5.2    | Statistik .....  | 44        |
| <b>4</b> | <b>Ergebnisse .....</b>  | <b>47</b> |
| 4.1      | <b>Befallssituation in den einzelnen Jahren .....</b>                    | <b>47</b> |
| 4.2      | <b>Saatgutbeizung.....</b>   | <b>49</b> |
| 4.2.1    | 1999 .....   | 49        |
| 4.2.2    | 2000 .....   | 52        |
| 4.2.3    | 2001 .....   | 54        |
| 4.2.4    | 1999-2001 .....  | 57        |
| 4.3      | <b>Sortenresistenz .....</b>   | <b>59</b> |
| 4.3.1    | 2002 .....   | 59        |
| 4.3.2    | 2003 .....   | 62        |
| 4.3.3    | 2004 .....   | 65        |
| 4.3.4    | 2002-2004.....   | 67        |
| 4.4      | <b>Aktuelle Befallssituation 2006 .....</b>                              | <b>69</b> |
| <b>5</b> | <b>Diskussion.....</b>   | <b>74</b> |
| 5.1      | <b>Befallssituation in den einzelnen Jahren .....</b>                    | <b>75</b> |
| 5.2      | <b>Saatgutbeizung.....</b>   | <b>77</b> |
| 5.3      | <b>Sortenresistenz .....</b>   | <b>79</b> |
| 5.4      | <b>Aktuelle Befallssituation 2006 .....</b>                              | <b>80</b> |
| 5.5      | <b>Einfluss des TuYV-Befalls auf die einzelnen Ertragsparameter.....</b> | <b>81</b> |
| 5.6      | <b>Schlussfolgerung .....</b>  | <b>83</b> |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>   | <b>84</b> |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>86</b> |
|          | <b>Anhang.....</b>   | <b>97</b> |

## II Abbildungsverzeichnis

---

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Klassifikation der Luteoviridae .....                                      | 4  |
| Abbildung 2: Ikosaederstruktur der Luteoviridae.....                                    | 5  |
| Abbildung 3: Genomorganisation der <i>Poleroviren</i> .....                             | 5  |
| Abbildung 4: Zyklus des Wasserrübenvergilbungsvirus (TuYV) an Winterraps.....           | 11 |
| Abbildung 5: Symptomausprägung des TuYV-Befalls im Herbst .....                         | 14 |
| Abbildung 6: Rötungen der Grund-und Stängelblätter im Frühsommer .....                  | 15 |
| Abbildung 7: Die Grüne Pfirsichblattlaus, links: geflügelt, rechts: ungeflügelt .....   | 20 |
| Abbildung 8: Stechend-saugende Mundwerkzeuge von <i>Homopteren</i> .....                | 24 |
| Abbildung 9: Virusübertragung durch Blattläuse, a: nicht-persistent, b: persistent..... | 26 |
| Abbildung 10: Übertragungsarten von Viren durch Blattläuse .....                        | 28 |
| Abbildung 11: Markierte und beschriftete Probenplatten im ELISA-Test.....               | 41 |
| Abbildung 12: Die vier Schritte des ELISA-Tests .....                                   | 43 |
| Abbildung 13: Vorgang in den Plattenvertiefungen beim ELISA-Test .....                  | 44 |
| Abbildung 14: Darstellung einer multiplen Regression mit einer Dummy-Variablen.....     | 45 |
| Abbildung 15: Befallsklassen des TuYV-Befalls in % .....                                | 46 |
| Abbildung 16: TuYV-Befall 1999, geringes Befallsniveau .....                            | 48 |
| Abbildung 17: TuYV-Befall 2000, hohes Befallsniveau .....                               | 48 |
| Abbildung 18: TuYV-Befall in den Jahren 1999-2001 .....                                 | 57 |
| Abbildung 19: TuYV-Befall in den Jahren 2002-2004 .....                                 | 67 |
| Abbildung 20: TuYV-Befall im Jahr 2006.....   | 69 |
| Abbildung 21: Anteil des Rapses an der Anbaufläche .....                                | 77 |

### III Diagrammverzeichnis

---

|  |    |
|--|----|
| Diagramm 1: Auftreten des TuYV im Raps in den Jahren 1991 bis 2006 .....   | 9  |
| Diagramm 2: Kornertrag dt/ha bei infizierter sowie Kontrollvariante .....  | 35 |
| Diagramm 3: Übersicht über den Befall in Prozent der untersuchten Sorten in den<br>einzelnen Jahren.....   | 47 |
| Diagramm 4: Einfache Regression des Ertrages beider Beizvarianten in Abhängigkeit<br>vom Befall der standardgebeizten Variante, 1999.....                | 50 |
| Diagramm 5: Vergleich des Befalls beider Beizvarianten, 1999.....  | 51 |
| Diagramm 6: Ertragsveränderung (dt/ha) der Spezialbeize im Vergleich zur<br>Standardbeize in den einzelnen Befallsklassen, 1999 .....                    | 51 |
| Diagramm 7: Befallsveränderung (%-Punkte) der Spezialbeize im Vergleich zur<br>Standardbeize in den einzelnen Befallsklassen, 1999 .....                 | 52 |
| Diagramm 8: Veränderung des Ertrages in dt/ha beider Beizvarianten in Abhängigkeit<br>vom Befall der standardgebeizten Variante, 2000.....               | 52 |
| Diagramm 9: Vergleich des Befalls beider Beizvarianten, 2000.....  | 53 |
| Diagramm 10: Ertragsveränderung (dt/ha) der Spezialbeize im Vergleich zur<br>Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2000.....                | 54 |
| Diagramm 11: Befallsveränderung (%-Punkte) der Spezialbeize im Vergleich zur<br>Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2000.....             | 54 |
| Diagramm 12: Einfache Regression des Ertrages in dt/ha der beiden Beizvarianten<br>in Abhängigkeit vom Befall der standardgebeizten Variante, 2001 ..... | 55 |
| Diagramm 13: Vergleich des Befalls beider Beizvarianten, 2001 .....  | 55 |
| Diagramm 14: Ertragsveränderung (dt/ha) der Spezialbeize im Vergleich zur<br>Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2001 .....               | 56 |
| Diagramm 15: Befallsveränderung (%-Punkte) der Spezialbeize im Vergleich zur<br>Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2001 .....            | 56 |
| Diagramm 16: Veränderung des Ertrages der beiden Beizvarianten in Abhängigkeit des<br>Befalls der standardgebeizten Variante, 1999-2001 .....            | 58 |
| Diagramm 17: Kornertrag relativ von 'Caletta' in Abhängigkeit vom Befall der<br>anfälligen Sorte 'Twister', 2002 (Ertrag 'Twister' = 100%).....          | 60 |
| Diagramm 18: Kornertrag relativ von 'Caletta' in Abhängigkeit vom Befall der<br>anfälligen Sorte 'Ontario', 2003 (Ertrag 'Ontario' = 100%).....          | 63 |
| Diagramm 19: Kornertrag relativ 'Caletta' in Abhängigkeit vom Virusbefall der<br>anfälligen Sorte 'Oase', 2004 (Ertrag 'Oase' = 100%).....               | 66 |
| Diagramm 20: Kornertrag relativ 'Caletta' Abhängigkeit vom Befall der anfälligen<br>Sorten über die Jahre 2002-2004 .....                                | 68 |
| Diagramm 21: Einfache Regression des Ertrages beider Sorten im Vergleich zum<br>Befall der anfälligen Sorten in den Jahren 2002-2004.....                | 68 |
| Diagramm 22: Einfache Regression des Ertrages in Abhängigkeit vom Befall, 2006 .....   | 72 |

## IV Tabellenverzeichnis

---

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tabelle 1:  | Nachgewiesener Befall von Winterraps durch das TuYV.....   | 9  |
| Tabelle 2:  | Vektoreffektivität verschiedener Aphidenarten und -rassen .....  | 21 |
| Tabelle 3:  | Übersicht über die ausgewerteten Virusuntersuchungen.....  | 36 |
| Tabelle 4:  | Beispiel des Ergebnisses einer multiplen Regression .....  | 45 |
| Tabelle 5:  | Absolute und relative Anteile der untersuchten Pflanzen in den einzelnen Befallsklassen in den untersuchten Jahren ..... | 48 |
| Tabelle 6:  | Multiple Regression des Ertrages in Abhängigkeit von Befall und Beizvariante, 1999 .....                                 | 50 |
| Tabelle 7:  | Multiple Regression des Ertrages in Abhängigkeit von Befall und Beizvariante, 2000 .....                                 | 53 |
| Tabelle 8:  | Multiple Regression des Ertrages in Abhängigkeit von Befall und Beizvariante, 2001 .....                                 | 55 |
| Tabelle 9:  | Vergleich des mittleren Kornertrages der beiden Beizvarianten, 1999 bis 2001 .....                                       | 58 |
| Tabelle 10: | Vergleich des mittleren Befalls der beiden Beizvarianten, 1999 bis 2001.....   | 58 |
| Tabelle 11: | Multiple Regression des Ertrages dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002.....                                   | 60 |
| Tabelle 12: | Multiple Regression des Ölertrages in dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002.....                              | 61 |
| Tabelle 13: | Multiple Regression des Proteingehaltes in % in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002.....                             | 61 |
| Tabelle 14: | Multiple Regression des TKG in g in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002 .....  | 61 |
| Tabelle 15: | Multiple Regression des GSL-Gehaltes in $\mu\text{mol}$ in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002 .....                 | 62 |
| Tabelle 16: | Multiple Regression des Ertrages in dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003.....                                | 63 |
| Tabelle 17: | Multiple Regression des Ölertrages in dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003.....                              | 63 |
| Tabelle 18: | Multiple Regression des Ölgehaltes in % in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003.....                                  | 64 |
| Tabelle 19: | Multiple Regression des Proteingehaltes in % in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003.....                             | 64 |
| Tabelle 20: | Multiple Regression des TKG in g in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003 .....  | 64 |
| Tabelle 21: | Multiple Regression der Pflanzenlänge in cm in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003.....                              | 65 |

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 22: Multiple Regression des GSL-Gehaltes in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003 .....                                       | 65 |
| Tabelle 23: Multiple Regression des Kornertrages in dt/ha der anfälligen Sorten im Vergleich zu 'Caletta' in den Jahren 2002-2004 ..... | 69 |
| Tabelle 24: Ergebnisse der Testung von Winterraps auf TuYV an 23 Orten.....   | 70 |
| Tabelle 25: Verteilung des TuYV-Befalls innerhalb eines Standortes.....   | 71 |
| Tabelle 26: Übersicht der Ergebnisse der einfachen Regression der einzelnen Merkmale in Abhängigkeit vom TuYV-Befall, 2006 .....        | 72 |
| Tabelle 27: Wichtige vorangegangene Versuche zum TuYV .....   | 75 |

## V Abkürzungsverzeichnis

---

|                    |   |
|--------------------|---|
| BAZ                | Bundesanstalt für Züchtungsforschung                                  |
| BBA                | Biologische Bundesanstalt   |
| BMVY               | <i>Beet mild yellows virus</i> , Mildes Rübenvergilbungsvirus         |
| BSV                | Bundessortenversuch   |
| BWYV               | <i>Beet western yellows virus</i> , Westliches Rübenvergilbungsvirus  |
| DAS                | Doppel-Antikörpersandwich   |
| DTBIA              | Direct tissue blotting immuno assay                                   |
| E <sub>405nm</sub> | Extinktionswert bei 405 nm  |
| ELISA              | Enzyme-linked immnosorbent assay                                      |
| EUV                | EU-Sortenversuch  |
| FNR                | Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe                               |
| GSL                | Glucosinolat  |
| H                  | Hexamere  |
| ICTV               | International Committee on Taxonomy of Viruses                        |
| kb                 | 10 <sup>3</sup> Basen (Kilobase)                                      |
| LSV                | Landessortenversuch   |
| Mab                | Monoklonale Antikörper  |
| N                  | Beobachtungen   |
| NaOH               | Natronlauge   |
| nm                 | Nanometer   |
| ORF                | open reading frame, offener Leserahmen                                |
| P                  | Pentamere   |
| PCR                | Polymerasekettenreaktion (polymerase chain reaction)                  |
| R                  | Korrelationskoeffizient   |
| R <sup>2</sup>     | Bestimmtheitsmaß  |
| RNA                | Ribo nucleic acid, Ribonukleinsäure                                   |
| ssRNA              | Einzelstrang-RNA (single stranded RNA)                                |
| TKG                | Tausendkorngewicht  |
| TuMYV              | <i>Turnip mild yellows virus</i> , Mildes Wasserrübenvergilbungsvirus |
| TuYV               | <i>Turnip yellows luteovirus</i> , Wasserrübenvergilbungsvirus        |
| UFOP               | Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.                 |
| VPg                | Virus liked Protein, Virusprotein                                     |
| µl                 | Mikroliter (10 <sup>-6</sup> l)                                       |
| µmol               | Mikromol  |

# 1 Einleitung

---

Im Jahr 2007 wird Raps in Deutschland auf einer Rekordfläche von über 1,5 Millionen Hektar angebaut. Die Anbaufläche ist um 6,5 % gegenüber dem Vorjahr gestiegen und entspricht etwa 12 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die Nachfrage nach Rapsspeiseöl, Biodiesel und Rapsölkraftstoff hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. Expertenmeinung zufolge wird jedoch im Jahr 2010 die maximale Anbaufläche für einen nachhaltigen Rapsanbau erreicht sein (BREUER, 2007). Raps hat an der globalen Ölsaatenproduktion einen Anteil von etwa 10 %, damit steht er hinter der Sojabohne (60 %) an zweiter Stelle. China und Europa sind mit einer Produktion von zwei Drittel der Welternte die wichtigsten Anbauländer von Raps (NN, 2007). Die Kornerträge von Raps in Deutschland liegen bei durchschnittlich 3,5 Tonnen pro Hektar mit einem mittleren Ölgehalt von 43 %.

Die Ausweitung der Anbaufläche vom Raps ist jedoch mit einer Zunahme von Schaderregern und Pathogenen verbunden (PRÜFE et.al., 1994). Das hohe genetische Ertragspotenzial kann aufgrund dieser Einflussfaktoren sowie schlechter Witterungs- und Bodenverhältnisse nicht voll ausgeschöpft werden. Zu den problematischen Krankheiten im Rapsanbau gehören die Wurzelhals und Stängelfäule, der Falsche Mehltau, Kohlhernie, Weißstängeligkeit, Rapsschwärze und Rapswelke. Neben diesen durch pathogene Pilze verursachten Krankheiten kommen auch virusbedingte Erkrankungen beim Raps vor. Der Einfluss von Virose auf den Ertrag ist beim Raps noch weitgehend ungeklärt.

Das Auftreten des Wasserrübenvergilbungsvirus (TuYV) im Winterraps ist ein Thema, das die Fachwelt seit Jahren beschäftigt. Es handelt sich um einen Erreger, der unter anderem über die in Europa regelmäßig auftretende Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) verbreitet wird. Bislang gibt es noch keine konkreten Daten bezüglich der potentiellen Ertragsminderung durch diese Virose im Raps. GRAICHEN (1995) hat sich schon seit Ende der 1960er Jahre mit diesem Virus beschäftigt und Ertragsverluste zwischen 12 und 34 % festgestellt.

In den Jahren 1999 bis 2004 wurden zu dieser Frage an verschiedenen Standorten in Deutschland im Rahmen bestehender Versuche Untersuchungen mit finanzieller Unterstützung der UFOP durchgeführt. Hierbei sollte geprüft werden, ob die Saatgutbeizung und die Sortenresistenz einen Einfluss auf den Virusbefall und somit evtl. auf die verschiedenen Ertragsparameter hat. Der milde Herbst 2005 war ein Anlass, zusätzliche Untersuchungen zur aktuellen Befallssituation im Jahr 2006 durchzuführen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Befallssituationen der einzelnen Jahre sowie die Wirkung der Saatgutbeize und der Resistenz gegenüber dem TuYV auf den Virusbefall und die damit evtl. verbundenen Ertragsminderungen auszuwerten und darzustellen.

## 2 TuYV – Biologie des Erregers

---

Um Schäden und Ertragsminderungen an Kulturpflanzen vermeiden zu können, ist es von großer Bedeutung, die wichtigsten Schaderreger genau zu kennen. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Nomenklatur des Wasserrübenvergilbungsvirus und erläutert die Möglichkeiten den Erreger in Pflanzenbeständen nachzuweisen, sowie die Probleme, die dabei auftreten. Des Weiteren beschäftigt sich das Kapitel mit der Biologie des in dieser Studie untersuchten Virus; hierbei geht es um seine Verbreitung und Bedeutung sowie die verschiedenen Wirtspflanzen und deren Beeinflussung. Für die Verbreitung des Erregers in Pflanzenbeständen kommt der Virusübertragung und den Vektoren sowie den Regulierungsmethoden der Blattläuse eine besondere Bedeutung zu.

### 2.1 Das Virus

Bei dem im Raps auftretenden, persistent durch Blattläuse übertragenden Virus handelt es sich um das Wasserrübenvergilbungsvirus (*Turnip yellows luteovirus*, TuYV), es gehört zu der Familie der Luteoviridae und zum Genus *Polerovirus* (NN, 2007a). Das TuYV ist in der Pflanze im Phloem lokalisiert und behindert den Transport der Assimilate und beeinflusst somit das Wachstum und den Ertragsaufbau der Pflanze (READ und HEWSON, 1988).

#### 2.1.1 Bezeichnung

Für das Wasserrübenvergilbungsvirus gibt es in der Literatur unterschiedliche, zum Teil sehr irreführende Bezeichnungen: *Turnip yellows luteovirus* (TuYV), *Beet western yellows virus* (BWYV), *Beet mild yellows virus* (BMYV), *Turnip mild yellows virus* (TuMYV) sowie *Malva yellows virus* und *Radish yellows virus* (DUFFUS und RUSSEL, 1972). Es wurde auch der dem Wirtspflanzenspektrum entsprechende Name *Brassica yellows virus* (BrYV) für das Wasserrübenvergilbungsvirus vorgeschlagen und zum Teil verwendet (GRAICHEN und RABENSTEIN, 1996).

Erste Berichte über das Auftreten des Virus stammen aus Belgien (VANDERVALLE, 1950, ROLAND, 1952, zitiert durch GRAICHEN, 1994). Auch HEINZE beschreibt bereits 1967 ein starkes Vorkommen von Vergilbungen an Rüben, die er Stoppelrübenvergilbung nennt und bei der es sich ebenfalls um die 1950 von VANDERWALLE in Belgien entdeckte Virose handelt. Von GRAICHEN (1995) und GRAICHEN und RABENSTEIN (1996) wurde nachgewiesen, dass es sich bei dem weit verbreiteten, unter anderem am Raps vorkommenden Virus nicht um das Westliche Rübenvergilbungsvirus (BWYV), sondern

um das bereits in den fünfziger und sechziger Jahren an Kruziferen nachgewiesene Wasserrübenvergilbungsvirus (*Turnip yellows virus*, TuYV) handelt (VANDERWALLE, 1950; ROLAND, 1953; BURCKHARDT, 1960; WATSON, 1963 und HEINZE, 1967, zitiert durch GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 1996). Dieses zum Genus der *Poleroviren* gehörende Virus ist nicht vom Raps auf Zuckerrüben übertragbar. Irreführend bei der Bezeichnung dieses Virus ist, dass es seit Beginn der siebziger Jahre auf Grund einer falschen Zuordnung in den USA als BWYV eingeordnet wurde. Grund dieser irrtümlichen Bezeichnung des *Luteovirus* am Raps und an anderen *Brassica*-Arten ist, dass bei der ursprünglichen Diagnose des Auftretens von persistent blattlausübertragbaren Vergilbungsviren an Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) und Rettich (*Raphanuns sativus*) auf Grund gleicher Symptomausprägung von dem selben Virus ausgegangen wurde. Bei Befall mit dem BMVYV/BWYV und dem TuYV zeigen sich im Allgemeinen sehr ähnliche Symptome an den früher für den Nachweis verwendeten Indikatorpflanzen (GRAICHEN, 1994). Es hätten schon damals die für eine eindeutige Diagnose und Identifizierung notwendigen „Kochschen Postulate“, die auch für pflanzenpathogene Erreger gelten, in allen vier Punkten erfüllt werden müssen (SCHLÖSSER, 1983, zitiert durch GRAICHEN, 1994).

Im Folgenden wird die ursprüngliche und dem tatsächlichen Wirtskreis entsprechende Bezeichnung TuYV für die den Raps infizierenden Virusisolate verwendet. Bei den Namen BWYV und TuMYV handelt es sich dagegen um synonyme Bezeichnungen (GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 1996).

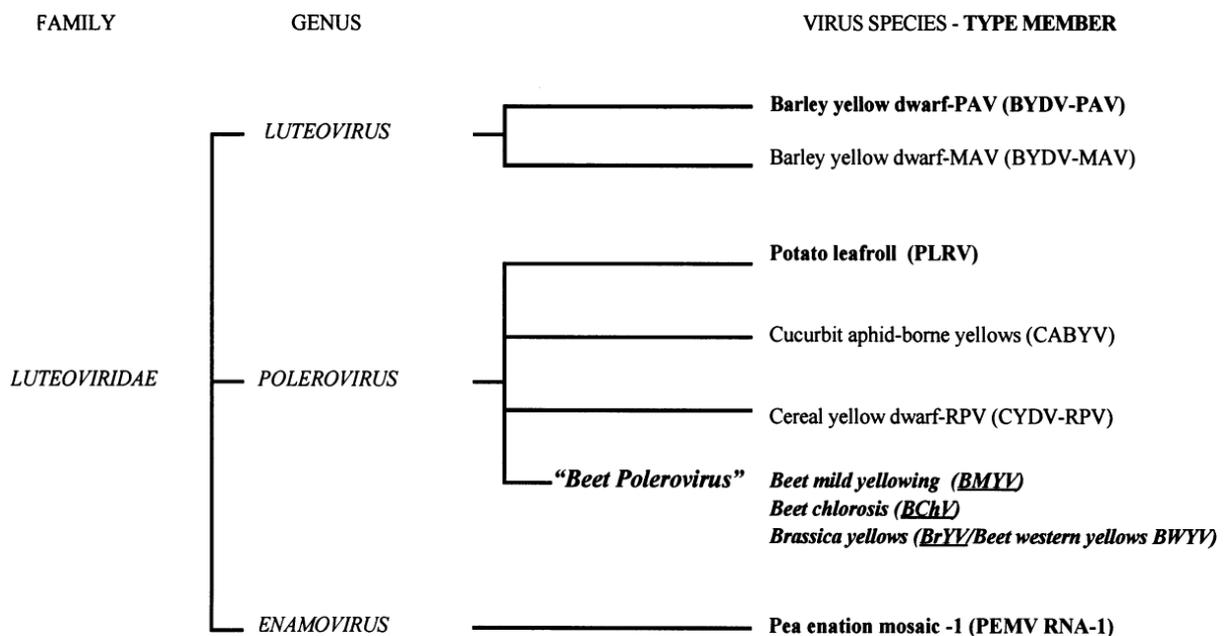
### **2.1.2 Systematik**

Das Wasserrübenvergilbungsvirus (*Turnip yellows luteovirus*, TuYV) gehört zu der Familie der Luteoviridae und zum Genus *Polerovirus* (NN, 2007a). Die Luteoviridae wurden früher unter dem Namen *Luteoviren* zusammengefasst, was leicht zu Verwechslungen führen kann, da ein Genus innerhalb der Familie ebenfalls als *Luteovirus* bezeichnet wird (LAUCKE, 2000). Zur Familie der Luteoviridae gehören neben dem *Polerovirus* die beiden Gattungen *Luteovirus* und *Enamovirus* (DREWS et al, 2004). Die Taxonomie der Viren ist sehr stark in Bewegung und zum Teil werden uneinheitliche Bezeichnungen verwendet. Es existierten lange Zeit mehrere Nomenklatur-Konzepte. Ein allgemein anerkanntes System der Nomenklatur ist schließlich auf internationaler Ebene mit dem *International Committee on Taxonomy of Viruses* (ICTV) entstanden.

Eine Übersicht über die Systematik des zu behandelnden Virus liefert die folgende Einteilung durch das ICTV (NN, 2007b), welche auch im Folgenden Grundlage für die Bezeichnung dieses Virus sein wird:

Family: Luteoviridae  
 Genus: *Polerovirus*  
 Species: *Turnip yellows luteovirus*  
 Acronym: TuYV (BrYV/BWYV)

In Abbildung 1 ist schematisch die Klassifikation der Luteoviridae aufgeführt. Der Genus *Polerovirus* ist in verschiedene Spezies unterteilt, von denen ein Zweig als „*Beet Polerovirus*“ bezeichnet wird. Das TuYV kann in der Virus Spezies *Brassica yellows virus* eingeordnet werden, wird jedoch hier syn. als BWYV bzw. BrYV ausgewiesen.

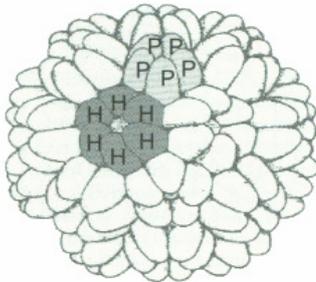


**Abbildung 1:** Klassifikation der Luteoviridae, vorgeschlagen von D' ARCY und MAJO (1977); HAUSER et al. (2000)

Neben dem *Polerovirus* sind das *Beet mild yellow virus* (BMYY) und das *Beet western yellows virus* (BWYV) weitere Spezies aus der Familie der Luteoviridae. Der Name dieser Viren ist bereits ein Hinweis auf die Art der induzierten Symptome, welche als Vergilbungen sichtbar werden. Viren dieser Gruppe werden persistent von Blattläusen übertragen und treten weltweit an einer großen Anzahl von Pflanzen auf (MEYER-KAHSNITZ, 1993).

### 2.1.2.1 Struktur

Viren aus der Familie der Luteoviridae sind von allen Pflanzenviren die kleinsten, sie haben eine Ikosaederstruktur mit einem Durchmesser von 25 bis 30 nm. Ein Ikosaeder ist ein Körper mit zwanzig Flächen und kubischer Symmetrie wie in Abbildung 2 dargestellt. Die



Viruspartikel des TuYV haben isometrische Gestalt und eine Größe von 26 nm (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Der Körper hat 12 pentamere (P) und 20 hexamere (H) Capsiduntereinheiten, seine Gesamtheit besteht aus 180 Untereinheiten (DREWS et al., 2004).

Abbildung 2: Ikosaederstruktur der Luteoviridae (DREWS et al., 2004)

### 2.1.2.2 Genom

Das Genom der *Luteoviren* besteht aus einem Molekül (unipartite, einzelsträngig) ss(+)RNA mit einer durchschnittlichen Länge von 5,3-5,9 kb. Das 5'-Ende der viralen RNA beim *Polerovirus* trägt ein VPg, hierbei handelt es sich um ein virales Protein (virus protein genome-like) (DREWS et al. 2004). Bei der Differenzierung der einzelnen Stämme der *Poleroviren* gibt es zum Teil nur minimale Unterschiede bei ansonsten identischem Aufbau (SCHUBERT et al., 1999). Aufgrund dieser Ähnlichkeit kommt es leicht zu Verwechslungen der verschiedenen Spezies.

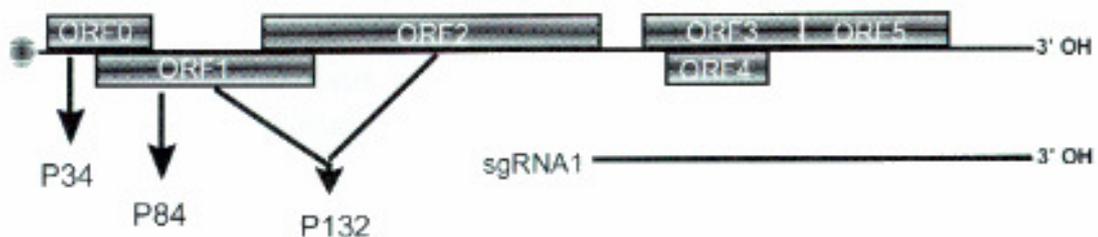


Abbildung 3: Genomorganisation der *Poleroviren* (DREWS et al., 2004)

In Abbildung 3 ist die Genomorganisation des Wasserrübenvergilbungsvirus abgebildet. Die dunkel unterlegten Boxen stellen die offenen Leseraster, die so genannten ORFs auf der viralen ss(+)RNA, dar. Der ORF (open reading frame) ist der Bereich eines Gens, der in die Aminosäuren eines Proteins übersetzt wird, also der Bereich zwischen einem Start- und einem Stopp-Codon (DREWS et al., 2004). Unterhalb der viralen RNA sind die Proteine abgebildet, welche von den ORFs übersetzt werden. Das VPg ist durch das Symbol am 5'-

Ende dargestellt. Die von den einzelnen Leserastern kodierten Proteine sind an der Ausbreitung und Vermehrung der Viren beteiligt. Das durch ORF1 kodierte Protein ist höchstwahrscheinlich für die Symptomausprägung an den infizierten Pflanzen zuständig. Das von ORF2 kodierte Protein ist die so genannte Polymerase, welche für die Replikation des Virus in der Pflanze verantwortlich ist (SCHIEMANN et al., 1998).

### **2.1.3 Nachweis**

In der Gattung *Brassica* ist die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Zuchtmaterials gegen *Luteoviren* eine wirtschaftlich wichtige Herausforderung. Um festzustellen, ob Resistenzen im Pflanzenmaterial vorhanden sind und um diese züchterisch behandeln zu können, sind spezifische und empfindliche Nachweismethoden für *Luteoviren* sowie eine genaue Kenntnis über die vorkommenden Virusisolate notwendig.

Das TuYV ist wie alle *Luteoviren* in der Pflanze nur im Phloem lokalisiert und weist im Wirt nur sehr geringe Konzentrationen auf. Diese Besonderheiten erschweren einen sicheren und empfindlichen Virusnachweis (RICHTER et al., 2000). Hierfür gibt es verschiedene Methoden, wobei immer ein Kompromiss zwischen Praktikabilität und Empfindlichkeit des Testverfahrens eingegangen werden muss.

#### **2.1.3.1 Probleme**

Der sichere Nachweis des TuYV wird dadurch erschwert, dass die durch TuYV-Infektionen verursachten Blattverfärbungen im Herbst leicht mit den Erscheinungen zu verwechseln sind, die durch abiotische Faktoren wie Staunässe, Kälte, Nährstoffmangel und Strohmatte im Boden hervorgerufen werden (GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 1996). Wuchsminderungen sind im Herbst meist noch nicht zu beobachten (GRAICHEN und PETERKA, 1999). Die durch physiologische Einwirkungen vor dem Winter entstandenen Erscheinungen in Rapsbeständen überwachsen sich bis zum Frühjahr und die Bestände scheinen äußerlich gesund zu sein (BURCKHARDT, 1963). Die meist unspezifische Symptomexpression und die anfängliche Latenz, das bedeutet die Ruhephase von der Infektion bis zur Ausprägung von Symptomen, machen es schwierig, das TuYV im Raps zu entdecken und eindeutig zu identifizieren (SCHRÖDER, 1996).

Laut RABENSTEIN und Mitarbeiter (2000) bringt die Symptombonitur unter Freilandbedingungen beim TuYV keine sicheren Resultate und es sollte für eine eindeutige Identifikation des Virus der DAS-ELISA-Test herangezogen werden. Es ist häufig der Fall, dass trotz geringer Symptomausprägung ein hoher Virusgehalt im Pflanzenmaterial

nachgewiesen wird. Andererseits ist es auch möglich, dass trotz typischer Symptome kein Virusmaterial in der Pflanze nachgewiesen werden kann (GRAICHEN et al., 2000a).

Das TuYV ist im Phloem lokalisiert und wird über den Saftstrom in der ganzen Pflanze verteilt (KROPF, 2007). Untersuchungen haben ergeben, dass zum Teil in den Wurzeln Viren nachgewiesen werden konnten, obwohl die Blätter negativ auf einen Virusgehalt getestet wurden. Dies lässt wiederum den Schluss zu, dass der Virusnachweis am sichersten in den Wurzeln ist. Auch ist es nicht durchführbar, da die Pflanze dadurch vernichtet würde. Somit können in Untersuchungen, die nur an den Blättern durchgeführt werden, Pflanzen als resistent, bzw. virusfrei erscheinen, die aber in der Wurzel durchaus Viren aufweisen, welche im Laufe der Vegetationsperiode mit dem Saftstrom in der ganzen Pflanze verteilt werden. Ein Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Virusgehalt in den Pflanzen konnte nicht nachgewiesen werden (PAETSCH, et al., 2004). Erschwerend für eine frühe, eindeutige Virusidentifizierung war, dass es vor der Einführung des DAS-ELISA Tests in die pflanzliche Virologie für den Nachweis von Viren nur die Möglichkeit der Verwendung von Indikatorpflanzen gab. Die unterschiedlichen Stämme der *Poleroviren* rufen zum Teil die gleichen Symptome an diesen Pflanzen hervor, so dass es früher nicht möglich war, eindeutig zwischen den Virusstämmen zu differenzieren. Aufgrund dieser Tatsache kommt es häufig zu Verwechslungen und falschen Bezeichnungen, wie auch im Fall des BWYV/TuYV und des BMYV.

### 2.1.3.2 Methoden

Für den Nachweis von Pflanzenviren gibt es verschiedene Methoden. Neben den unterschiedlichen Formen des ELISA-Tests, der in Mikrotiterplatten durchgeführt wird, kommen noch andere Testverfahren zur Anwendung. Diese sind unter anderen die Polymerasekettenreaktion (polymerase chain reaction, PCR) und die DTBIA (direct tissue blotting immuno assay). In Zukunft wird es von großer Bedeutung sein, das Spektrum qualitativ hochwertiger Antiseren und Antikörper zu erweitern, um den serologischen Nachweis vieler wirtschaftlich wichtiger Pflanzenviren sicherzustellen (NN, 2007g).

Das **DAS-ELISA-Verfahren (Enzyme linked immuno-sorbent assay)** nach CLARK und ADAMS wurde 1977 erstmals zum Nachweis von Pflanzenviren eingesetzt. Dieser Test hat die vorher eingesetzten serologischen Nachweisverfahren wegen seiner hohen Empfindlichkeit, Schnelligkeit, Sparsamkeit im Antiserum-Verbrauch und der Möglichkeit der Automatisierung fast vollständig ersetzt. Wenn ein virusspezifisches Antiserum zur Verfügung steht, lässt sich grundsätzlich jedes Pflanzenvirus mittels ELISA-Test nachweisen (NN, 2006). Verwendet werden polyklonale Antiseren, die gegen die TuYV

Isolate BN5, LP 2/8 und andere hergestellt werden bzw. mit Antiseren gegen BWYV (KÜHNE et al., 1985; SMITH und HINKES 1985). Eine weitere Form des ELISA-Tests ist der **TAS-ELISA**, dieser führt zu genaueren und sichereren Ergebnissen und kann sehr geringe Konzentrationen nachweisen.

Die hochempfindliche **PCR** ist auf Grund sehr hoher Kosten bei geringem Probeumfang nicht für Routineuntersuchungen geeignet. Bei der Aufklärung für bisher unsichere ELISA-Ergebnisse wird sie aber mit gutem Erfolg eingesetzt. Nach Sequenzierung bestimmter Bereiche des Genoms verschiedener TuYV-Isolate wurden geeignete Primer ausgewählt und das so genannte **IC-RT-PCR**-Nachweisverfahren entwickelt. Mit diesem Verfahren können TuYV-Infektionen in infizierten Pflanzen mit sehr geringer Viruskonzentration sicherer nachgewiesen werden als mit dem ELISA-Test. Einige Pflanzen, die im ELISA-Verfahren negativ reagieren, werden mit der PCR-Methode positiv auf ihren Virusgehalt getestet (GRAICHEN et al., 1998; RICHTER et al., 2000).

Die **DTBIA (direct tissue blotting immuno assay)** ist eine sehr einfach zu handhabende Methode, es können jedoch nur stark infizierte Pflanzen erkannt werden. Häufig wird dieser Test zur Vorselektion von Zuchtmaterial verwendet. So kann die Anzahl des Probenmaterials, welches in aufwändigeren Tests untersucht werden soll, reduziert werden. Untersuchungen ergaben, dass die Empfindlichkeit des DAS-ELISA und des DTBIA für die Selektion auf absolute Virusfreiheit nicht ausreicht. Daher ist es sinnvoll, ein Vorscreening des Materials mittels DAS-ELISA durchzuführen und die negativ getesteten Proben mit Hilfe von TAS-ELISA bzw. IC-RT-PCR erneut zu testen. Dieses Verfahren ist besonders für das Feststellen von Resistenzen sehr wichtig, weil auf diesem Wege mit hoher Sicherheit vollständig TuYV-resistentes Ausgangsmaterial für die weitere Züchtung selektiert werden kann (GRAICHEN et al., 1998).

#### **2.1.4 Verbreitung und Bedeutung**

Das Wasserrübenvergilbungsvirus als ein Vertreter der Gattung der *Poleroviren* gehört MAYER-KAHSNITZ (1993) zufolge, zu den wichtigen Pathogenen von bedeutenden Kulturpflanzen. Da dieses Virus ausschließlich von Blattläusen übertragen und verbreitet wird, kann es besonders in Jahren mit hohem Blattlausvorkommen zu erheblichen Ertragseinbußen in der Landwirtschaft führen (DREWS et al., 2004). Seine geographische Verbreitung ist höchstwahrscheinlich weltweit (MEYER-KAHSNITZ, 1993). Ein Befall ist oft flächendeckend, hängt aber sehr stark von der Witterung und von der Vektorverbreitung ab. Ergebnisse aus bundesweiten Untersuchungen im Jahr 1999/2000 belegen bei einem

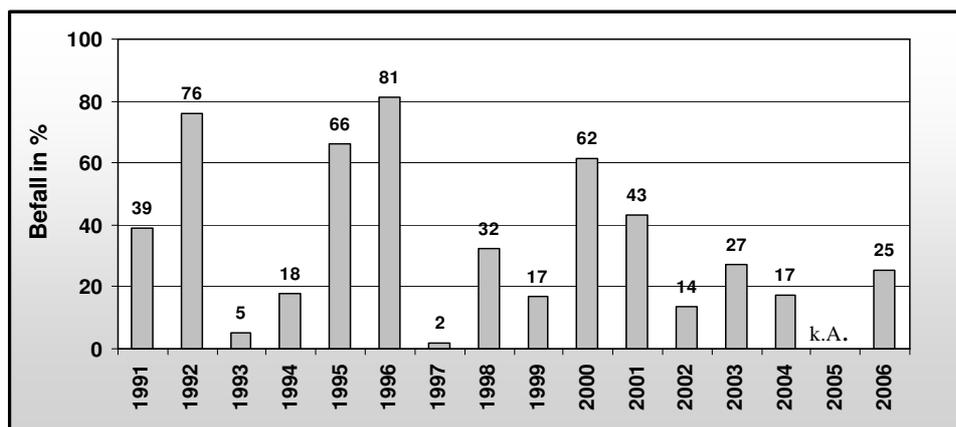
durchschnittlichen Befallsgrad von 69 % Ertragseinbußen von 12 bis 34 %. Befallserhebungen ergaben, dass in allen deutschen Rapsanbauregionen hohe Befallsraten mit TuYV auftreten, häufig sind die Bestände zu 100 % infiziert (PAETSCH et al., 2004).

Beim Befall durch das TuYV bestehen große Unterschiede zwischen den Jahren und den unterschiedlichen Anbauregionen. Hohe Infektionsgrade wurden in den letzten Jahren von den in Tabelle 1 aufgeführten Autoren in den USA, Großbritannien, Frankreich, Tschechien und Deutschland festgestellt.

**Tabelle 1: Nachgewiesener Befall von Winterraps durch das TuYV, (GRAICHEN, 1995a, verändert)**

| Land           | Autor                         | Jahr      | Befall in % |
|----------------|-------------------------------|-----------|-------------|
| Großbritannien | SMITH und HINCKES             | 1985      | bis 100     |
| Deutschland    | GRAICHEN                      | 1991      | 17 bis 76   |
|                | SCHRÖDER                      | 1991,1995 | bis 100     |
|                | PRÜFE et al.                  | 1994      | bis 100     |
| Frankreich     | KELAN                         | 1991      | bis 100     |
|                | DEVERCHERE und<br>MAISONNEUVE | 1994      | 44          |
| Tschechien     | POLAK und MAIKOWA             | 1992      | 40          |
| USA            | THOMAS et al.                 | 1993      | bis 100     |

Hohe Befallsgrade wurden in den Erntejahren 1992, 1995, 1996 und 2000 festgestellt, in den Jahren 1993, 1994, 1997, 1999, 2002 und 2004 wurde dagegen nur geringer Befall nachgewiesen (vgl. Diagramm 1).



**Diagramm 1: Auftreten des TuYV im Raps in den Jahren 1991 bis 2006**

In Diagramm 1 sind die durchschnittlichen Virusgehalte aus verschiedenen Untersuchungen in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2006, mit Ausnahme des Jahres 2005, dargestellt. Die Ergebnisse aus den ersten sieben Jahren stammen aus Untersuchungen von GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (1999), die jüngeren Ergebnisse stammen aus den in

dieser Arbeit ausgewerteten Daten. Die Befallswerte aus dem Jahr 2006 wurden in eigenen Untersuchungen mittels ELISA beim ALR in Kiel (Amt für ländliche Räume) erhoben.

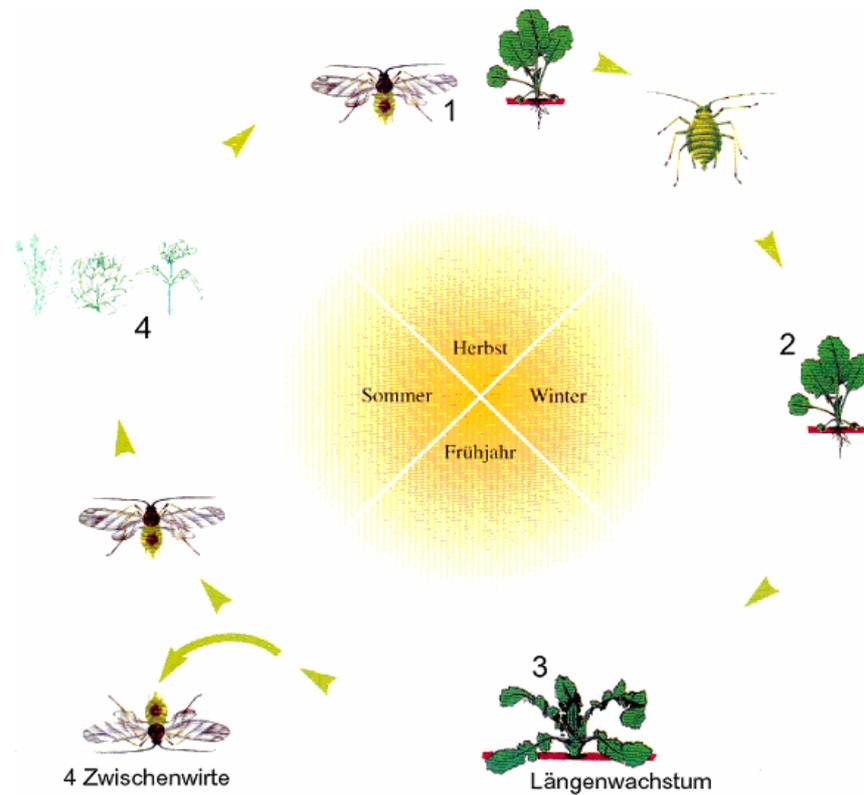
Sehr hohe Infektionsgrade waren besonders in nördlichen, mittleren, westlichen und östlichen Teilen Deutschlands zu beobachten. Der durchschnittliche Befall im Jahr 1995 betrug mit einer Spannweite von 2 bis 100 % etwa 66 %. In den südlichen Bundesländern dagegen wurden nur Befallsgrade von 15 % nachgewiesen (GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 1999).

## 2.2 Die Wirtspflanzen

Für die festgestellten, zum Teil sehr hohen Befallsgrade der Bestände durch das Wasserrübenvergilbungsvirus gibt es verschiedene Ursachen. Ein Grund ist darin zu sehen, dass das TuYV ein sehr großes Spektrum potentieller Wirte aufweist, zu welchen verschiedene Kultur-, Wild- und Unkrautarten gehören. Sie fungieren als Infektionsquelle für das Virus und als Zwischenwirte für die Vektoren (GRAICHEN, 1995; GRAICHEN und RABENSTEIN, 1996).

### 2.2.1 Wirtskreis

Versuche von SCHRÖDER (1994) zeigen, dass bereits Ende Oktober erste Infektionen der jungen Rapsbestände stattfinden. Das lässt auf ein großes Infektionsreservoir mit TuYV außerhalb der Bestände schließen und ist ein Hinweis auf ein großes Wirtspflanzenspektrum. GRAICHEN (1995) konnte in Untersuchungen belegen, dass das TuYV in der Lage ist, insgesamt 60 untersuchte Arten aus den Familien Brassicaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Compositae, Fabaceae, Fumariaceae, Hydrophyllaceae, Lamiaceae, Papaveraceae, Portulacaceae, Scrophulariaceae, Solanaceae und Valerianaceae zu infizieren. Die dominierenden Wirtspflanzen sind jedoch Vertreter aus der Familie der Brassicaceae und zu einem geringeren Anteil aus den Familien Fabaceae und Solanaceae. SCHIEMANN (1998) untersuchte mit seinen Mitarbeitern 131 Arten, Unterarten und Varietäten aus 24 Familien, von denen sich mehr als die Hälfte mit dem TuYV-Isolat infizieren ließen. Darunter 35 Gemüse-, Futter-, Chinakohl- und Ölpflanzenarten, 12 Leguminosenarten und 14 weit verbreitete Wildkrautarten (BURCKHARDT, 1960, HEINZE, 1966). Neuere Untersuchungen ergaben, dass es dem TuYV nicht möglich ist, verschiedene Unterarten und Varietäten von *Beta vulgaris* zu infizieren. Es geht demnach, wie früher häufig angenommen, keine gegenseitige Infektionsgefahr von Zuckerrüben- und benachbarten Rapsbeständen aus. Der Infektionskreislauf des TuYV wird in der folgenden Abbildung 4 veranschaulicht:



**Abbildung 4: Zyklus des Wasserrübenvergilbungsvirus (TuYV) an Winterraps (PAUL, 2003)**

Der Winterraps wird bereits im September von beflügelten Individuen der Grünen Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) als Hauptüberträger des TuYV besiedelt. Zu dieser Zeit kommen die Blattläuse von den infizierten Zwischenwirten und tragen das Virus in persistenter Form in sich (1). Bei warmer Witterung im Herbst entwickeln sich bereits vor Winterbeginn starke Populationen ungeflügelter Individuen. Diese sind in der Lage, auch große Bestände zum Teil flächendeckend mit dem Virus zu infizieren (2,3). Bei wärmer werdender Witterung im Frühjahr werden die Läuse aktiv und durch die hohe Flug- und Saugaktivität der adulten Tiere werden andere Kulturen sowie Ackerunkräuter und Wildpflanzen mit dem Virus infiziert. Diese dienen dem Virus als Zwischenwirte (4). So bleibt auch in der Zeit, in der kein Raps auf den Feldern steht, immer ein Virusreservoir bestehen. Von den infizierten Zwischenwirten kann im Herbst beim Auftreten von Vektoren eine Neuinfektion erfolgen, womit der Infektionskreislauf geschlossen wird (PAUL, 2003). Die Grüne Pfirsichblattlaus hat aus epidemiologischer Sicht die größte Bedeutung bei der Übertragung des Wasserrübenvergilbungsvirus (GRAICHEN, 1991).

### 2.2.2 Differenzierung der *Luteoviren* von Winterraps und Zuckerrübe

Die verschiedenen Spezies aus der Familie der Luteoviridae BMYY/BWYV und TuYV weisen eine sehr enge serologische Verwandtschaft auf. Von GRAICHEN (1994) wird beschrieben, dass es nicht möglich ist, diese Viren mit den zur Verfügung stehenden polyklonalen Antiseren zu unterscheiden. Eine serologische Differenzierung von Isolaten des *Turnip yellows virus* von *Brassica*-Arten und verschiedenen Unkräutern ist nur mit spezifischen monoklonalen Antikörpern möglich (RABENSTEIN, 2000). Dies ist ein Grund, weshalb die Bezeichnung der Virusstämme irreführend und zum Teil unterschiedlich ist. Die *Luteovirus*-Isolate, welche Raps und andere Spezies der Gattung *Brassica* infizieren, werden häufig als *Beet western yellows virus* bezeichnet. Es wurde jedoch unter anderem von GRAICHEN und RABENSTEIN (1996) herausgefunden, dass keines der 15 *Luteovirus*-Isolate des BWYV/TuYV aus verschiedenen Ländern in der Lage ist, Zuckerrüben zu infizieren. Eine Übertragung auf Raps und verwandte Arten war dagegen in hohem Maße möglich. Auf der anderen Seite war es nicht möglich, Raps auch nur mit einem der zehn BMYY-Isolate zu infizieren (GRAICHEN und RABENSTEIN, 1996). Neben dem Wirtskreis unterscheidet sich das TuYV vom BMYY zusätzlich durch das Vektorenspektrum sowie die Nucleotid-Sequenzdaten und die Nachweisbarkeit durch unterschiedliche Nachweisverfahren (GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 2000).

Bei Vergleichen der einzelnen ORFs des TuYV und des BMYY fallen zum Teil große Sequenzunterschiede zwischen ORF1 und ORF2 auf. Alle weiteren ORFs und die Hüllproteine unterscheiden sich nur minimal, was der Grund ist, warum diese beiden Viren mit polyklonalen Antikörpern nicht zu unterscheiden sind. Eine Unterscheidung ist jedoch mit Nachweissystemen auf der Basis der monoklonalen Antikörper möglich (SCHIEMANN et al., 1998).

Auch Untersuchungen der Virus-Vektor-Beziehungen zwischen verschiedenen Blattläusen mit den beiden *Luteovirus*-Stämmen BWYV/TuYV und BMYY von SCHLIEPHAKE und GRAICHEN (2000) ergaben erhebliche Unterschiede. Das BMYY konnte nur von vier Aphidenarten übertragen werden, wohingegen 17 von den 24 getesteten Blattläusen zur Übertragung des BWYV/TuYV fähig waren. Auch die Effektivität war bei dem BMYY geringer und erreichte bei *Myzus persicae*, dem Hauptvektor beider Virenstämme, im Gegensatz zu 96,4 % beim BWYV/TuYV, nur 28,7 %.

Untersuchungen von Blattläusen durch STEVENS und Mitarbeiter (1995) zeigten, dass wesentlich mehr Läuse das BWYV in sich tragen als das BMYY, demnach ist der *Luteovirus*stamm BWYV, der für *Brassica*-Arten relevant ist, stärker verbreitet als das Rübenvergilbungsvirus.

Aus der Differenzierung dieser beiden Viren ergeben sich folgende Konsequenzen für den Pflanzenbau, die Pflanzenzüchtung und den praktischen Pflanzenschutz (GRAICHEN, 1994):

- Zuckerrüben- und Rapsbestände stellen keine unmittelbare gegenseitige Gefährdung beim Auftreten der *Luteoviren* dar.
- Das TuYV des Rapses und anderer Kulturen hat einen wesentlich größeren Wirtspflanzenkreis als die Virusstämme der Zuckerrübe.

### 2.2.3 Symptome des TuYV-Befalls

Durch die Infektion der Pflanzen mit dem TuYV kommt es in den verschiedenen Organen zu unterschiedlichen Auswirkungen. Diese sollen hier unterteilt werden in Symptome an Blättern, Wurzel und Spross sowie in die Auswirkungen des Befalls auf die Ertragsorgane.

Da häufig die Symptome des TuYV nur leicht ausgeprägt bzw. gar nicht nach außen sichtbar sind, ist die Verteilung des Virus in der Pflanze ebenfalls interessant. Untersuchungen belegen, dass das Virus in allen Pflanzenorganen nachweisbar ist. Die Extinktionswerte in den unterschiedlichen Organen unterscheiden sich kaum, nur in der Wurzel und in den Schoten sind sie tendenziell geringfügig höher (PAETSCH, et al., 2004).

#### 2.2.3.1 Wirkung auf Blätter, Spross und Wurzel

Virusbedingte Blattsymptome treten an anfälligen Genotypen in der Regel ab Mitte November bis Ende Februar auf (GRAICHEN et al., 1999). Die Infektion der Rapsbestände durch das TuYV erfolgt bei warmer Witterung bereits ab Mitte September. Das Erscheinungsbild der frühen Symptome im Raps ist in Abbildung 5 dargestellt. Im Herbst tritt eine rötliche (Anthocyan-) Verfärbung der Blattränder auf. Diese geht in warmen Wintern auf annähernd die gesamte Blattfläche über. Bei kühler Herbst- und Frühjahrswitterung dagegen, ist das Krankheitsbild weniger stark ausgeprägt (PAUL, 2003). Es wird auch beschrieben, dass das TuYV nur eine schwache, undeutliche Symptomausprägung zeigt, die zudem nicht alle Blätter betrifft (SCHRÖDER, 1994). Dies wird auch von PRÜFE und Mitarbeitern (1994) über Untersuchungen aus der Umgebung von Gießen berichtet. Hier gab es keinen Zusammenhang zwischen TuYV-Befall und dem Auftreten von Symptomen, eventuelle Auswirkungen auf den Ertrag konnten jedoch nicht ausgeschlossen werden.



**Abbildung 5: Symptomausprägung des TuYV-Befalls im Herbst (PAUL, 2003)**

In Abbildung 5 sind die rötlichen Verfärbungen der Blattränder von Rapspflanzen im Herbst (frühes Symptom, links) und Übergang der Rotverfärbung auf die ganz Blattfläche (fortgeschrittenes Symptom, rechts) eines Befalls mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus zu erkennen. Weiterhin ist ein Nachweis des TuYV im Phloem mit dem DTBIA-Verfahren (links), gesund (rechts) abgebildet (siehe Kapitel 3.4.1). Zu Beginn der Infektion und bei schwacher Symptomausprägung lassen sich entlang der Blattadern schmale, schwach aufgehellte Bereiche erkennen. Hierdurch wirken die hellen Adern nicht so scharf von dem umgebenden Gewebe abgegrenzt wie in gesunden Blättern. Zum Teil scheinen auch die größeren Blattadern leicht verdickt zu sein. Die Symptome sind meist nur bei einem direkten Vergleich von infizierten mit virusfreien Blättern zu erkennen (SCHRÖDER, 1991). Die stark infizierten Pflanzen bilden besonders an den an der Stängelbasis sitzenden Blättern Anthocyanfärbungen und Rötungen der Blattränder aus. Die Blätter werden dabei starr, spröde und brüchig und schließlich nekrotisch (BURCKHARDT, 1960). Die Rotfärbungen der Blätter bleiben bis zum Einsetzen des Wachstums im Frühjahr bestehen. Bei wüchsigem Wetter und zügiger Pflanzenentwicklung überwachsen sich die Symptome ab Anfang April, wodurch der Eindruck der Virusfreiheit entsteht. Die nach der Entwicklung des Stängels im Frühjahr neu gebildeten Blätter zeigen keine Verfärbungssymptome. Jedoch zeigen die infizierten Pflanzen zu dieser Zeit einen sehr heterogenen Wuchs sowie eine reduzierte Anzahl von Seitentrieben (GRAICHEN und PETERKA, 1999). Bei Vergleichen von infizierten und virusfreien Pflanzen konnten GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (1996) bei den infizierten Pflanzen zur Blütezeit deutliche Wuchsminderungen und Vergilbungen feststellen. GRAICHEN und Mitarbeiter (1995, 2000a) konnten nachweisen, dass das Längenwachstum durch TuYV-Befall signifikant verringert wird. Die Wuchsunterschiede liegen laut SCHRÖDER (1994) zwischen den stark und den schwach infizierten Pflanzen bei etwa 20 %. Die Wuchsdepressionen werden

mit Beginn der zügigen Pflanzenentwicklung ab Ende März sichtbar. Des Weiteren beschreibt SCHRÖDER (1994), dass infizierte Pflanzen meist dünnere Triebe und eine verringerte Anzahl von Verzweigungen ausbilden und im Feld eine hellere Blattfarbe aufweisen als gesunde Pflanzen.

In einem weiteren Versuch, der von GRAICHEN und Mitarbeitern 1997 durchgeführt wurde, waren im Frühjahr keine Virussympptome an hochgradig infizierten Pflanzen sichtbar, auch ließen sich an den im April und Mai neu gebildeten Blättern keine virusbedingten Blattverfärbungen nachweisen. Ab Mitte Juni bildeten die virusinfizierten Rapspflanzen besonders an den oberen Blättern und an den Randpflanzen und bei länger anhaltenden Temperaturen über 25 Grad Celsius auffallende Rötungen aus (GRAICHEN et al., 1997; GRAICHEN, 2000), was deutlich in Abbildung 6 zu erkennen ist.



**Abbildung 6: Rötungen der Grund- und Stängelblätter im Frühsommer (PAUL, 2003)**

Links sind die Grund- und rechts die Stängelblätter abgebildet. Diese späteren Virussympptome wie verringerte Wuchshöhe und Blattverfärbungen fallen oftmals in die Phase anfänglichen Pilzbefalls in den Rapsbeständen, und können dadurch leicht überdeckt werden (SCHRÖDER, 1994). Im dichten Bestand bleiben die virusinfizierten Pflanzen aufgrund gegenseitiger Beschattung ohne Befallssymptome (PAUL, 2003).

Die Pflanzen bilden mit fortschreitendem Entwicklungsstadium eine zunehmende Altersresistenz aus (SCHRÖDER, 1991 und 1996). Sie werden trotzdem von dem Virus befallen, zeigen aber keine Symptome. Daher sind starke Ertragsverluste nur bei Infektionen im Herbst zu befürchten, Frühjahresinfektionen haben kaum Auswirkungen auf die Pflanzen.

### 2.2.3.2 Wirkung auf die Ertragsorgane

Das TuYV gehört zu den *Luteoviren*, welche in der Wirtspflanze im Phloem lokalisiert sind (RICHTER et al, 2000). Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verstopfung des Phloems durch Ansammlungen von Viruspartikeln den Transport von Assimilaten reduziert und eine Anstauungen von Kohlenhydraten zur Folge hat. Dadurch wird nach JENSEN und D'ARCY (1995, zitiert durch JAY et al., 1999) der Trockensubstanzgehalt und die Atmung in den befallenen Pflanzenteilen erhöht. Zusätzlich wird der Chlorophyllgehalt und dadurch die Photosynthese reduziert und es stehen weniger Assimilate für den Ertragsaufbau zur Verfügung.

Qualitätsuntersuchungen von künstlich infizierten Rapspflanzen zeigen, dass bei hohem Befall durch das TuYV geringfügige Veränderungen des Öl- und Proteingehaltes auftreten, diese sind statistisch jedoch nicht abgesichert (GRAICHEN, 1997). Das Tausendkorngewicht (TKG) des Erntegutes von infizierten Parzellen ist höher als bei virusfreien Pflanzen. Das gesteigerte TKG ist damit zu erklären, dass weniger Samen pro Schote angelegt werden und dadurch die Konkurrenz um die Assimilate verringert ist (JAY et al. 1999). Demgegenüber steht jedoch, dass durch das Virus die Photosynthese der Pflanze beeinträchtigt wird und weniger Assimilate zur Einlagerung zur Verfügung stehen. Haupteinflussfaktor eines verringerten Samenertrages ist demnach laut JAY und Mitarbeitern (1999) die reduzierte Anzahl der Samen pro Schote. Untersuchungen zeigen, dass der Glucosinolatgehalt bei infiziertem Pflanzenmaterial höhere Werte aufweist als bei virusfreien Pflanzen (GRAICHEN, 1997). SCHRÖDER fand 1991 heraus, dass ein Befall mit TuYV den Ölgehalt der Samen verringert.

### 2.2.4 Ertragsrelevanz

Durch die zum Teil sehr hohen Infektionsraten werden erhebliche Samenertragsminderungen verursacht (SCHIEMANN et al., 1998). Die durch das TuYV verursachten Schäden und Ertragsminderungen sind häufig nicht leicht zu erkennen. Ein Befall äußert sich oft nur durch einen geringeren Wuchs und wird nicht durch typische Virussymptome äußerlich sichtbar. Die stärksten Schädigungen an den Pflanzen sind dann zu vermuten, wenn eine Infektion in frühen Entwicklungsstadien stattfindet (SCHRÖDER, 1991). In Versuchen lassen infizierte Pflanzen eine Tendenz zu geringfügig niedrigeren Gesamtölgehalten erkennen, welche jedoch statistisch nicht abgesichert ist (SCHRÖDER, 1996). Der reduzierte Samenertrag in Verbindung mit dem verminderten Ölgehalt, kann zu erheblichen Ölertragsverlusten führen, die in dem untersuchen Fall bei 13 % lagen.

Versuchen in verschiedenen Ländern ergaben sich sehr unterschiedliche Ergebnisse. So wurde in Deutschland im Durchschnitt der letzten Jahre bei künstlich infizierten Pflanzen Ertragsverluste von ca. 14 % festgestellt (JUERGENS et al., 2006a). SCHRÖDER (1994) stellte in Deutschland an einzelnen infizierten Pflanzen einen verminderten Kornertag von 50 % fest. SMITH und HINCKES (1985) konnten dagegen in Experimenten in England durch Behandlung mit Insektiziden den Ertrag nur um zehn und den Ölgehalt um drei Prozentpunkte im Gegensatz zu stark infizierten Beständen steigern. Weitere Versuche von JAY und Mitarbeitern (1999) ergaben 26 Prozent geringere Kornertäge, zwei Prozent geringere Ölgehalte und elf Prozent gesteigerte Glucosinolatgehalte bei Infektionen mit dem TuYV. In ähnlichen Feldexperimenten in Deutschland wurden von GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (1999) Ertragsverluste zwischen 12 und 34 % festgestellt.

Zusammenfassend werden im Folgenden die in der Literatur beschriebenen ertragsrelevanten Veränderungen an Kulturpflanzen durch das Virus aufgeführt:

- Verminderung des Kornertages
- Reduzierung des Ölertrages und des Ölgehaltes
- Erhöhung des GSL-Gehaltes

## 2.3 Virusübertragung

Die Übertragung des Wasserrübenvergilbungsvirus erfolgt über tierische Vektoren. Eine mechanische Übertragung und eine Verbreitung des Virus über die Samen sind bisher nicht bekannt (NN, 2007c; SCHRÖDER, 1991), können aber laut MEYER-KAHSNITZ (1993) nicht endgültig ausgeschlossen werden. Dass das Virus mechanisch nicht übertragen werden kann, begründet sich vermutlich in der fehlenden Vermehrungsfähigkeit in den Epidermiszellen. Als ein Mitglied der Familie der Luteoviridae ist das TuYV auf das Phloem limitiert.

Die Virusübertragung mit Hilfe von Vektoren wird von DREWS und Mitarbeitern (2004) in drei Phasen eingeteilt: Die **Aquisitionsphase** ist der Abschnitt der Übertragung, in der das Virus vom Vektor aufgenommen wird. Die Phase, in der sich das Virus im Vektor befindet, jedoch noch keine Übertragung möglich ist, wird als **Latenzphase** bezeichnet. In der **Retentionsphase** werden die infektiösen Viren wieder vom Vektor gelöst und es können neue Wirte infiziert werden. Wie genau die Ablösung des Virus vom Vektor geschieht, ist bis heute noch nicht eindeutig geklärt.

### 2.3.1 Art der Übertragung

Die Möglichkeiten der Übertragung sind vielfältig, es wird unterschieden zwischen nicht-persistenter, semi-persistenter und zirkulativ sowie zirkulativ-propagativer Übertragung. Das Wasserrübenvergilbungsvirus wird persistent-zirkulativ, non-propagativ von Blattläusen übertragen. Wie genau die Übertragung stattfindet und wo sich das Virus in der Blattlaus befindet, wird in Kapitel 2.3.2.6 genau beschrieben.

Die frühere Bezeichnung der Übertragungsart richtete sich nach der Dauer der Infektiosität des Vektors und wurde durch die Begriffe persistent und nicht-persistent geprägt (WATSON und ROBERTS, 1939, zitiert durch DREWS et.al., 2004). Heute wird die Art der Übertragung zusätzlich danach unterschieden, wo im Vektor sich das zu übertragende Virus befindet. Beide Einteilungen stehen jedoch in enger Beziehung zueinander. Befindet sich ein Virus im vorderen Teil des Verdauungstraktes, also an den Stechborsten oder den Mundwerkzeugen, ist die Phase der Infektiosität relativ kurz. Zirkuliert das Virus dagegen im Vektor, das heißt geht es über den Verdauungsapparat in die Haemolymphe und später in den Speichel über, ist es eine sehr lange Zeit über infektiös (DREWS et al., 2004).

Um einen Überblick über die persistent-zirkulative, non-propagative Übertragungsweise des TuYV zu bekommen, sind die wichtigsten Eigenschaften im Folgenden zusammengefasst (NN, 2007d):

Das Wasserrübenvergilbungsvirus wird nicht oder nur schwer mechanisch übertragen, als Hauptüberträger gelten Blattläuse. Lokalisiert ist dieses Virus im Phloem und es kann sich nicht im Vektor vermehren. Es hat eine lange Aquisitionszeit, diese dauert von einigen Minuten bis zu einigen Stunden an. Nachdem das Virus vom Vektor aufgenommen wurde, zirkuliert es lange Zeit in dessen Körper und wird durch den Darm absorbiert. Ist die Barriere des Darms überwunden, geht das Virus in die Haemolymphe über und wandert bis zur Speicheldrüse. Insgesamt hat es eine Retentionszeit die von einigen Tagen bis zu mehreren Wochen andauern kann. Auch die Infektion dauert einige Zeit (min-h), es muss demnach beim Probestich durch eine Blattlaus nicht sofort zu einer Infektion kommen. Bei der Häutung bleibt das Virus in der Blattlaus enthalten und es können weiterhin neue Pflanzen infiziert werden.

SCHMUTTERER (1967) fand bei Übertragungsversuchen mit dem Vergilbungsvirus der Wasserrüben, bei dem es sich vermutlich um das TuYV handelt, heraus, dass es auf zwei unterschiedlichen Wegen von dem Vektor auf die Pflanzen übertragen werden kann: Über den einfacheren Modus der stechborstenbürtigen Übertragung und über den aufwändigeren Weg durch Wanderung im Vektor. HEINZE (1967) bestätigt seinerseits diese unter-

schiedlichen Arten der Virusübertragung. Er fand heraus, dass schon nach sehr kurzer Zeit, nach Beginn der Virusaufnahme durch die Vektoren, eine Übertragung zustande kommen konnte. Er nahm an, dass diese kurze Zeit, etwa drei Stunden, für die Passage des Virus durch den Körper nicht ausreichen konnten. Diese beginnt mit der Nahrungsaufnahme und führt weiter in den Darm, durch die Darmwand in die Haemolymphe und so zur Speicheldrüse und mit dem Speichel in die nächste Pflanze. Aus dieser Erkenntnis schlussfolgerte HEINZE (1967), dass der erste Teil der Infektionen durch stechborstenbürtige Übertragung zustande kommen muss und später dann die Übertragung über die Passage durch den Körper, also persistent, einsetzt. Der Vektor ist auch noch nach 20 Tagen infektiös, ohne dass eine Neuaufnahme des Virus erforderlich ist (HEINZE, 1967). Schon 1960 konnte von BURCKHARDT in mehreren Versuchsreihen bewiesen werden, dass das untersuchte Virus zu den persistenten Viren gehört. Es konnte bestätigt werden, dass Blattläuse auch noch lange Zeit nach der Virusaufnahme Pflanzen infizieren können und die Infektiosität über die gesamte Zeit konstant bleibt.

Neuere Erkenntnisse belegen, dass das TuYV persistent-zirkulativ von Blattläusen übertragen wird (JONES et al. 2007; SEDDAS et al. 2004). Es verharrt über 50 Tage lang im Vektor und kann in dieser Zeit weitere Pflanzen infizieren. Nach GRAICHEN (1991) sind die Blattläuse nach einer einmaligen Virusaufnahme sogar in der Lage, ihr Leben lang das Virus zu übertragen. Zudem ist bekannt, dass das Virus im Vektor auch noch nach der Häutung bestehen bleibt, jedoch nicht auf die Nachkommen übertragen wird (NN, 2007c). Für eine Übertragung auf den Vektor muss dieser mindestens fünf Minuten an der infizierten Pflanze saugen. Die Mindestsaugzeit für eine Abgabe des Virus von der Blattlaus an die Pflanze beträgt zehn Minuten. Es ist bekannt, dass sowohl für die Aufnahme als auch für die Abgabe der persistenten Viren eine längere Saugzeit durch die Vektoren erforderlich ist als bei non- oder semi-persistenten Viren. Dies ist darin begründet, dass diese hauptsächlich im Phloem lokalisiert sind und der Vektor mehr Zeit benötigt, um mit seinen Stechborsten diese Zellen zu erreichen (FRITZSCHE et al., 1980). Die Besonderheiten des Erregers der Vergilbung der Kohl- und Wasserrübe, bei dem es sich höchstwahrscheinlich um das TuYV handelt, liegen in der epidemiologisch sehr entscheidenden kurzen Aufnahme- und Abgabezeit. Dieses Verhalten ist für persistente Viren, wie im Vorangegangenen beschrieben, untypisch, trotzdem behält das Virus lange Zeit seine starke Infektiosität im Vektor (HEINZE, 1967).

### 2.3.2 Überträger des TuYV

Der Befall mit dem TuYV steht laut GRAICHEN und Mitarbeitern (2000) in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Witterungsverlauf in den Monaten September bis November. Herrschen in diesen Monaten milde Witterungsbedingungen vor, führt dies zu hoher Flugaktivität der Vektoren. Zudem wird die Vermehrung der Blattläuse in den Beständen begünstigt, was zu hohen Infektionsraten führt. Für hohe Befallsraten mit TuYV in den Beständen ist die epidemiologisch entscheidende extrem schnelle Vermehrung der Vektoren von großer Bedeutung. Der wichtigste Überträger des TuYV ist die Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*). Durch ihre polyphage Lebensweise weist sie eine enorm hohe Vektoreffektivität auf. Aber auch die anderen Blattlausarten tragen zu einer Verbreitung des Virus bei, die geringere Vektoreignung wird teilweise durch hohe Populationsstärken ausgeglichen (GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 1996).

#### 2.3.2.1 Blattlausarten

Für die Verbreitung des Wasserrübenvergilbungsvirus kommen verschiedene Blattlausarten (*Homoptera, Aphididae*) in Frage, wobei unterschiedliche Virus-Vektor-Spezifitäten auftreten (DREWS et al., 2004). Von HEINZE (1952) und anderen wurde anfänglich nur die Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) als Vektor des TuYV angesehen (vgl. Abbildung 7).

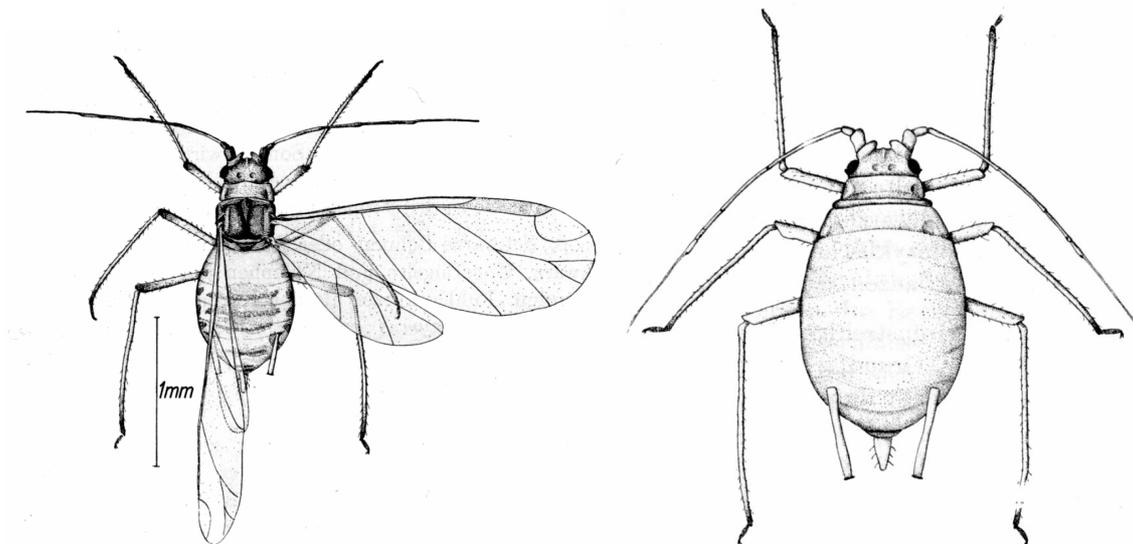


Abbildung 7: Die Grüne Pfirsichblattlaus, links: geflügelt, rechts: ungeflügelt (FRITZSCHE et al., 1980)

BURCKHARDT (1969) fand heraus, dass auch noch andere Blattläuse, wie z.B. die Mehligke Kohlblattlaus (*Brevicoryne brassicae*) eine Rolle spielen. Neuere Untersuchungen von GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (1996) zeigen, dass insgesamt 17 Blattlausarten und -stämme als Vektoren für das TuYV befähigt sind.

In Tabelle 2 ist die Vektoreffektivität verschiedener Blattlausarten und -rassen bei der Übertragung von TuYV von Raps auf Raps abgebildet. Die Grüne Pfirsichblattlaus hat von den möglichen Vektoren die höchste Übertragungsrates und kann daher als Hauptvektor betrachtet werden (JONES et al., 2007). Die hohe Effektivität dieser Blattlausart begründet sich darin, dass sie eine polyphage Ernährungsweise hat. Sie hat sehr viele Wirtspflanzen und dadurch die Möglichkeit, das Virus effektiv zu verbreiten. Die Übertragungsrates der anderen, zum Teil sehr wirtsspezifischen Blattlausarten, die unter anderem an Leguminosen, Kruziferen, Kartoffeln oder Getreide auftreten, sind mit 1,7 bis 25 % um einiges geringer und sind daher als nicht so effektiv einzustufen.

**Tabelle 2: Vektoreffektivität verschiedener Aphidenarten und -rassen, (GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 1996, verändert)**

| Blattlausart  | Übertragungserfolg (%) |
|---|------------------------|
| <i>Acyrtosiphon pisum</i> (Grüne Erbsenblattlaus)           | 3,6                    |
| <i>Aphis frangulae gossypii</i> (Grüne Gurkenblattlaus)     | 1,7                    |
| <i>Aulacorthum solani</i> (Grünfleckige Kartoffellaus)      | 25,0                   |
| <i>Brachycorynella asparagi</i> (Spargellaus)               | 10,9                   |
| <i>Brevicoryne brassicae</i> (Mehligke Kohlblattlaus)       | 14,8                   |
| <i>Cavariella aegopodii</i> (Gierschblattlaus)              | 3,7                    |
| <i>Macrosiphum albifrons</i> (Lupinenblattlaus)             | 16,1                   |
| <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (Grünstreifige Kartoffellaus) | 8,9                    |
| <b><i>Myzus persicae</i> (Grüne Pfirsichblattlaus)</b>      | <b>96,4</b>            |
| <i>Myzus nicotianae</i> (Rote Tabakblattlaus)               | 7,7                    |
| <i>Nasonovia ribis-nigri</i> (Salatblattlaus)               | 17,8                   |
| <i>Pentatrichopus fragaefolii</i> (Erdbeerblattlaus)        | 1,8                    |
| <i>Rhopalosiphum maidis</i> (Maisblattlaus)                 | 6,7                    |
| <i>Rhopalosiphum pad</i> (Traubenkirschenlaus)              | 3,6                    |
| <i>Sitobion avenae</i> (Große Getreideblattlaus)            | 5,4                    |

Die Grüne Pfirsichblattlaus hat aus epidemiologischer Sicht die größte Bedeutung bei der Übertragung des Wasserrübenvergilbungsvirus. Dies ist in der hohen Effektivität des Vektors begründet, er überwintert in milden Wintern in anholozyklischer Form auf den zahlreichen Wirtspflanzen und infiziert die Pflanzenbestände im Frühjahr bereits zu einem sehr zeitigen Termin (GRAICHEN, 1991).

### 2.3.2.2 Schäden an Pflanzen

Die Blattlaus gehört zu den bekanntesten Schädlingen an Zierpflanzen und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Sie verursacht direkte und indirekte Schäden an der Pflanze. Läuse schädigen die Pflanzen direkt durch das Besaugen an den Zellen, einerseits durch den Saftentzug und andererseits durch Abgabe von giftigen Speichelsekreten, die das Pflanzengewebe zu krankhaftem Wuchs anregen. Die Blätter kräuseln und rollen sich ein und es bilden sich Nekrosen. Weitere Schäden an den Pflanzen werden durch die flüssigen, süßen und klebrigen Kotscheidungen der Blattläuse verursacht. Der so genannte Honigtau überzieht die Blätter als eine klebrige Schicht, auf der sich vermehrt Schwärzepilze ansiedeln und dadurch die Assimilation erheblich beeinflusst wird. Die indirekte Schädigung durch Blattläuse, die häufig noch viel gravierender ist als der Entzug von Assimilaten, ist die Virusübertragung (NEUBAUER, 1997). Blattläuse gelten als Überträger für zahlreiche Viren. Beim Anstechen des Pflanzengewebes werden Viren übertragen und somit die Pflanzen infiziert. Das Auftreten von Blattläusen kann daher zu epidemischen Ausbreitungen von Viruserkrankungen führen.

### 2.3.2.3 Lebensweise und Vermehrung

Die Lebensweise der Blattläuse kann sehr unterschiedlich sein und ist davon abhängig, um welche der zahlreichen Arten es sich handelt. So gibt es z.B. wirtswechselnde Arten, die als geflügelte Tiere außerhalb der Vegetationszeit des Hauptwirtes auf andere Wirtspflanzen wechseln. Andere Blattlausarten verbleiben das ganze Jahr auf einer Pflanzenart. Beim Raps muss die kurze Zeit zwischen Ernte und Neuaussaat überbrückt werden, für diese Zeit stehen den Überträgern des TuYV viele Pflanzenarten als Übergangswirt zur Verfügung.

Alle Blattlausarten haben gemeinsam, dass sie sich an bestimmten Stellen in ihrem Lebenszyklus parthogenetisch vermehren. Das bedeutet, dass sie ohne vorhergegangene Befruchtung lebendige Jungläuse gebären. Bei dieser Art der Vermehrung handelt es sich um die so genannte Jungfernzeugung. Schon nach etwa zwei Wochen sind die Jungläuse vermehrungsfähig. Das führt unter günstigen Witterungsbedingungen zu einer explosionsartigen Entwicklung der Blattlauspopulation. Während des Sommers treten Kolonien geflügelter Weibchen auf, die neue Pflanzen anfliegen und so das Virus schnell auch über weitere Distanzen verbreiten können (NEUBAUER, 1997). Verschiedene Entwicklungsarten bieten Blattläusen eine optimale Anpassung an extreme Lebensbedingungen. Hierbei spielt der jährliche Wechsel von Kulturpflanzen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie das Auftreten ungünstiger Jahreszeiten eine wichtige Rolle.

Im Folgenden soll eine aus der Sicht des praktischen Pflanzenschutzes, sinnvolle Unterteilung vorgenommen werden (SCHLÜTER, 2004):

➤ **Holozyklische Entwicklung**

- Eiablage, meist auf einem Winterwirt, bis -15 bis -20°C
- Schlupf aus dem Ei im Frühjahr
- Aufbau einer umfangreichen Generationsfolge
- Ungeschlechtliche Vermehrung in der Vegetationsperiode, das heißt es gibt während dieser Zeit nur weibliche Tiere → Parthenogenese
- Ausbildung von Geschlechtstieren
- Im Herbst Eiablage auf dem Winterwirt

➤ **Anholozyklische Entwicklung**

- Durchgehend ungeschlechtliche Vermehrung
- Auch zur Überwinterung erfolgt keine Eiablage

Einige holozyklische Blattlausarten können sich zusätzlich unter günstigen Witterungsbedingungen anholozyklisch vermehren. Tragen Blattläuse Viruspartikel in sich, werden diese zum Teil bei der ungeschlechtlichen Vermehrung an die Nachkommen weitergegeben bzw. bleiben bei der Häutung in der Blattlaus bestehen. Auf diese Weise kann es bei günstiger Witterung im Frühjahr zu einer sehr frühen Infektion der Bestände kommen. Die meiste Zeit ihres Lebens bringen die Blattläuse lebende Junge zur Welt. Nur im Herbst legen sie für die Überwinterung Eier. In kalten Wintern überleben keiner oder nur sehr wenige erwachsene Tiere. Dies ist der Grund, weshalb sich neue Blattlausgenerationen im Frühjahr meist langsam aus den überwinternden Eigelegten entwickeln. Diese Generationen sind virusfrei, da das Virus nicht über das Ei übertragen werden kann. In milden Wintern überleben auch viele erwachsene, Virus beladene Blattläuse, so dass es vermehrt zu Virusinfektion der Bestände kommen kann (HEIMBACH, 2007).

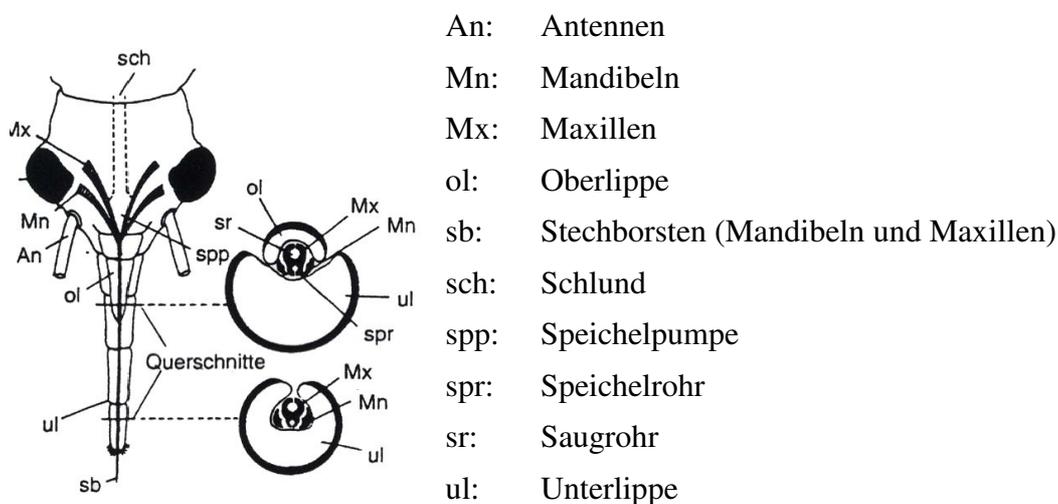
#### 2.3.2.4 Verhalten

Das Verhalten der Blattläuse und dadurch der Zuflug der Bestände mit Blattläusen wird nicht nur durch die Witterung, sondern zusätzlich durch eine Reihe weiterer Faktoren beeinflusst (HEIMBACH und EGGERS, 2002). Geflügelte Blattläuse nutzen je nach Blattlausart für ihren Befallsflug optische und/oder olfaktorische Reize der Wirtspflanzen. Olfaktorische Signale sind Stoffe, die über den Geruchssinn wahrgenommen werden. Auch Farbunterschiede und die Kontraste zwischen Pflanze und Untergrund sowie Geruchsstoffe der Pflanze beeinflussen das Landeverhalten beflügelter Blattläuse. Inhomogene Bestände

werden üblicherweise stärker von Blattläusen angefliegen als ein homogener Pflanzenbestand, bei dem es weniger Kontraste zwischen den Pflanzen und dem Hintergrund gibt. Zum Teil kann es auch durch sortentypische Farbunterschiede zwischen den Sorten zu unterschiedlich starkem Befall kommen (GRONOW, 2007).

### 2.3.2.5 Nahrungsaufnahme

Für die Übertragung von Viren durch Blattläuse sind deren stechend-saugende Mundwerkzeuge von besonderer Bedeutung. Diese sind in der folgenden Abbildung 8 dargestellt:



**Abbildung 8: Stechend-saugende Mundwerkzeuge von Homopteren (NN, 2007d)**

Die Stechborsten bestehen aus zwei Kanälen, so kann die Blattlaus gleichzeitig Nahrung aufnehmen und Speichel zum enzymatischen Abbau des Blattgewebes abgeben. Durch den Saugdruck im Phloem fließt der Zellsaft nach erfolgreichem Anstich der Siebröhren passiv durch den osmotischen Druck in den Nahrungskanal der Blattlaus hinein (SCHLÜTER, 2004). Die Nahrungsaufnahme durch Blattläuse kann in mehrere Phasen unterteilt werden: (SCHLÜTER, 2004):

1. Anlockung (meist geflügelter Läuse) durch Farbe und Geruch der Pflanzen
2. Probestiche: die Blattlaus sucht mit ihrem Stechborstenbündel das Phloem, dabei kann schon Virusmaterial übertragen werden
3. Eindringen des Stechborstenbündels
4. Freisetzen von Speichel (Pektinasen)
5. Enzymatischer Abbau der Mittellamelle
6. Eindringen in tiefere Gewebeschichten
7. Zufälliges Treffen des Phloemes → Übertragung von Viren

### 2.3.2.6 Virusübertragung durch Blattläuse

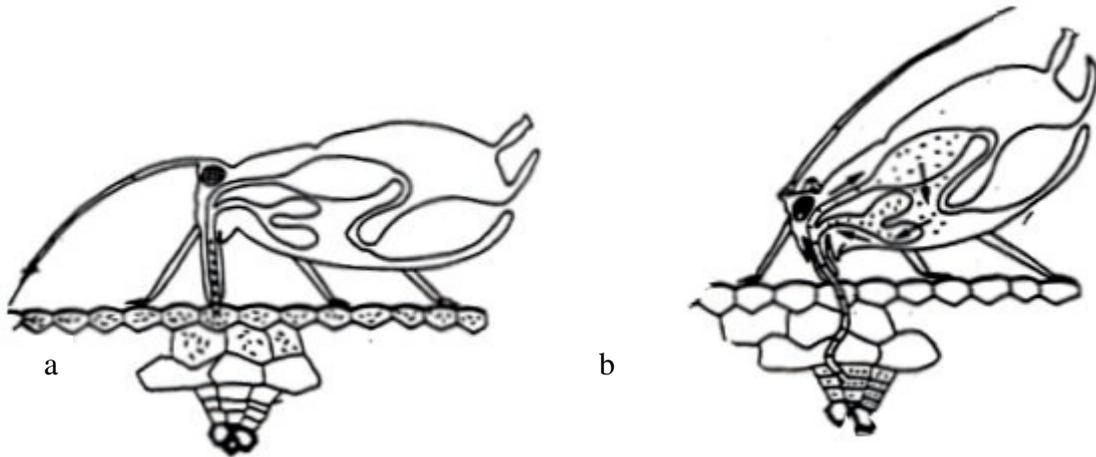
Blattläuse sind mit ihren stechend-saugenden Mundwerkzeugen wichtige tierische Vektoren für die Übertragung von Viren. Wie bereits erläutert, wird das TuYV ausschließlich auf diese Weise von Pflanze zu Pflanze getragen. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Übertragungsweisen der Viren durch Blattläuse näher beschrieben:

Bei der **nicht-persistenten** Übertragung (Abbildung 9a) wird das Virus im vorderen Bereich des Verdauungsapparates gebunden. Die Aquisitionszeit, also die Zeit, die für die Aufnahme des Virus von der Pflanze durch die Blattlaus erforderlich ist, dauert in der Regel nur Sekunden bis Minuten. Die Retentionszeit ist die Zeit, in der der Vektor potentiell infektiös ist und dauert einige Minuten an. Bei dieser Übertragungsart ist der Vektor direkt nach der Virusaufnahme infektiös, eine Latenzphase ist demnach nicht vorhanden. Bestimmte Hüllproteine bzw. Helferfaktoren sind für eine Übertragung notwendig. Viren, die auf diese Weise übertragen werden, sind nicht auf bestimmte Gewebe in der Pflanze beschränkt (DREWS et al., 2004). Bei der nicht-persistenten Virusübertragung bleiben Viruspartikel aus den Epidermiszellen nach Anstechen durch die Blattlaus am Stechborstenbündel hängen und werden auf diesem Wege auf die nächste Pflanze übertragen. Aus dem Grund wird diese Art der Übertragung auch als Stechborstenübertragung bezeichnet, sie findet nur äußerlich an den Mundwerkzeugen statt (HOFFMANN et al., 1976). Die Blattlaus ist nur kurze Zeit infektiös und die Larven verlieren ihre Infektiosität bei der nächsten Häutung.

Die Viren, die **semipersistent** übertragen werden, sind in der Pflanze auf das Phloem beschränkt. Bei dieser Übertragungsweise ist die notwendige Zeit der Virusaufnahme länger als bei der nicht-persistenten Übertragung. Dies wird durch die Art der Nahrungsaufnahme erklärt, da der Saugrüssel der Blattlaus bis zum Phloem vordringen muss. Die Dauer kann von wenigen Minuten bis zu einigen Stunden variieren. Es gibt keine oder nur eine kurze Latenzzeit und der Vektor ist mehrere Stunden, also länger als bei der nicht-persistenten Übertragung, infektiös. Auch hier sind Hüllproteine und/oder Helferfaktoren notwendig. (DREWS et al., 2004). Nach HOFFMANN und Mitarbeitern (1976) werden Viren als semipersistent bezeichnet, die nicht-zirkulativ innerhalb weniger Stunden übertragbar sind und Latenzzeiten aufweisen, die einen Zeitraum von weniger als drei Stunden betragen.

Bei der **persistenten** Übertragungsart (Abbildung 9b) gelangen die Viruspartikel erst nach einer länger andauernden Nahrungsaufnahme (einige Stunden) in ausreichender Menge aus dem Phloem einer virusinfizierten Pflanze über den Verdauungstrakt in den Körper der Blattlaus. Im Magen werden sie nicht durch Verdauungsenzyme zerstört. Über die

Haemolymphe diffundieren die Viruspartikel in die Organe der Blattlaus und werden durch Zirkulation der Körperflüssigkeiten verteilt. Auf diesem Wege wird auch die Speicheldrüse von dem Virus verseucht. Mit dem nächsten Probestich auf einer virusfreien Pflanze wird durch die Speichelinjektion eine neue Infektion hervorgerufen. Persistent übertragene Viren können eine lange Zeit in der Blattlaus verharren, in dieser Zeit können immer wieder neue Pflanzen infiziert werden und die Blattlaus bleibt auch nach einer Häutung noch infektiös (SCHLÜTER, 2004).



**Abbildung 9: Virusübertragung durch Blattläuse, a: nicht-persistent, b: persistent (NN, 2007d)**

In Abbildung 9 ist die Position des Stechborstenbündels der Blattlaus bei der Saugaktivität dargestellt. In Abbildung 9a befindet sich das Virus (Punkte) in den Epidermiszellen, so dass die Blattlaus es auch schon bei den Probestichen aufnehmen kann. In Abbildung 9b ist das Virus (Punkte) im Phloem lokalisiert. Wird es von der Blattlaus aufgenommen, gelangt es in deren Körper und bleibt nicht nur am Saugrüssel hängen.

Wird das Virus von der Blattlaus aufgenommen und im Körper durch die Haemolymphe verteilt, spricht man von **zirkulativer** Übertragung. Bei dieser Übertragungsart wird unterschieden in zirkulativ-nichtpropagative und zirkulativ-propagative Form. Beide weisen eine höhere Vektorspezifität auf als die vorhergegangenen Formen. Das Virus muss zuerst die Darmwand des Vektors überwinden. Nachdem dies erfolgt ist, zirkuliert das Virus im Vektor, bevor es in die Speicheldrüsen gelangt. Das Eindringen in die Speicheldrüse ist die zweite Barriere, die von dem Erreger überwunden werden muss. Vermutlich befinden sich auf der Darmwand und auf den Membranen der Speicheldrüsen Rezeptoren, die für das Durchschleusen der Viren verantwortlich sind (DREWS et al., 2004).

Die **zirkulativ-nichtpropagative** Übertragungsart findet sich z.B. bei den *Luteoviren*. Sie wird von DREWS und Mitarbeitern (2004) als eine Übertragungsweise beschrieben, bei der die Phase der Virusaufnahme relativ lang ist. Bei den *Luteoviren* kann diese Zeit bis zu einigen Stunden betragen. Die Latenzphase, also die Zeit, die das Virus braucht, um in die Speicheldrüsen zu gelangen und es wieder abgegeben werden kann, dauert etwa 12 Stunden. Da bei dieser Übertragungsweise keine Virusvermehrung im Vektor stattfindet, werden dieselben Viruspartikel, die von einer Blattlaus aufgenommen wurden, wieder abgegeben.

Für die Übertragung von *Luteoviren* ist keine virale Helferkomponente erforderlich. Isoliertes Virusmaterial kann daher von Blattläusen übertragen werden. Jedoch wird von den *Luteoviren* neben dem hauptsächlich gebildeten Hüllprotein ein Durchleseeprotein gebildet, welches für die Übertragung notwendig ist. Viren, die dieses Protein nicht mehr bilden können, gelangen in der Blattlaus nicht zu den Speicheldrüsen (DREWS et al., 2004).

Bei der **zirkulativ-propagativen** Übertragung wird das von der Pflanze aufgenommene Virus im Vektor vermehrt, bevor es von der Blattlaus wieder auf andere Pflanzen übertragen wird. Das bedeutet, dass das Virus neben dem pflanzlichen Wirt ein Insekt als weiteren Wirt aufweist (DREWS et al., 2004). Dies ist bei dem *Luteovirus* TuYV allerdings nicht der Fall.

Von HOFFMANN und Mitarbeitern (1976) wird zusätzlich noch die transovariale Übertragung beschrieben. Hierbei handelt es sich um die propagative Form mit zusätzlicher Weitergabe des Virus an die Nachkommen über das Ei. Dabei handelt es sich aber nicht um eine Virusübertragung durch tierische Vektoren und sie soll hier nicht näher beschrieben werden.

In der folgenden Abbildung 10 sind die unterschiedlichen Übertrageweisen von Pflanzenviren anhand eines Blattlauskörpers dargestellt. Die Lokalisierung der vier Übertragungsarten **zirkulativ-propagativ**, **zirkulativ nicht-propagativ**, **semi-persistent** und **non-persistent** sind mit Hilfe von Punkten in verschiedener Farben gekennzeichnet.

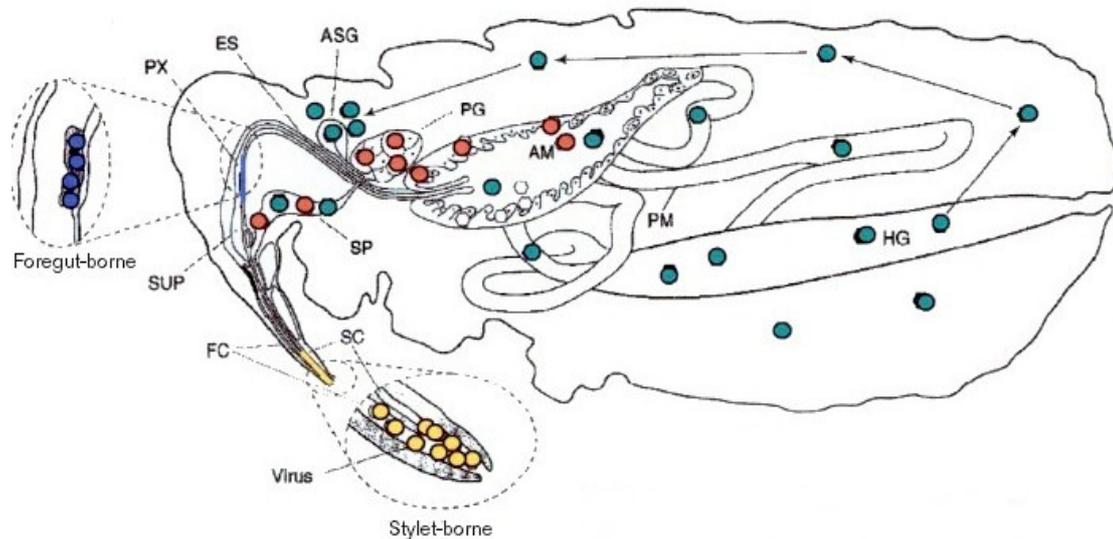


Abbildung 10: Übertragungsarten von Viren durch Blattläuse (NN, 2007d, verändert)

ASG: Speicheldrüse  
 SC: Speichelkanal  
 SP: Speichelpumpe  
 SUP: Saugpumpe  
 PG: Hauptspeicheldrüse  
 FC: Nahrungskanal  
 ES: Speiseröhre

|                                     |                        |                                       |                          |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| <span style="color: red;">●</span>  | Circulativ propagative | <span style="color: green;">●</span>  | Circulativ nonpropagativ |
| <span style="color: blue;">●</span> | semi-persistent        | <span style="color: yellow;">●</span> | non-persistent           |

Es ist zu erkennen, dass die Viruspartikel bei der non-persistenten (stylet-borne, gelb) Übertragung nur am Stechborstenbündel haften und nicht in den Körper und somit in die Haemolymphe des Vektors gelangen. Bei dieser Übertragungsart genügen Sekunden für eine Infektion, diese kann bereits bei Probestichen erfolgen. Beim semi-persistenten Übertragungstyp (foregut-borne, blau), werden die Viren in den Vorderdarm aufgenommen, die Aufnahmezeit dauert etwas länger als bei der nicht-persistenten Übertragung. Bei den zirkulativen Viren erfolgt eine Aufnahme der Viruspartikel aus dem Darm in das Innere des Insektes. Die Akquisition erfordert eine lange Saugzeit (min-h). Bei den zirkulativen Viren wird zwischen propagativer (rot) und nicht-propagativer (grün) Übertragung unterschieden. Bei der nicht-propagativen Übertragung findet keine Vermehrung des Virus im Vektor statt, während das Virus bei dem propagativen Übertragungstyp in der Blattlaus repliziert wird (HÖHNLE, 2001).

⇒ Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das TuYV  
**persistent-zirkulativ, nicht-propagativ** übertragen wird.

## 2.4 Regulierungsmethoden

Die starke Verbreitung des Wasserrübenvergilbungsvirus und die dadurch entstehenden häufig erheblichen Schadwirkungen an landwirtschaftlichen Kulturen machen eine Durchführung von Regulierungsmaßnahmen zwingend erforderlich (GRAICHEN, 1995a). Durch verschiedene pflanzenbauliche und züchterische Maßnahmen muss versucht werden, den Virusbefall zu verhindern und den Wirt widerstandsfähiger gegen den Erreger zu machen. In dem System Virus-Wirt-Vektor gibt es grundsätzlich drei Ansatzmöglichkeiten. Die erste nahe liegende Möglichkeit ist die direkte Bekämpfung des Virus. Da dies aber unmöglich ist, müssen andere Wege gefunden werden:

1. Regulierung des Blattlausbefalls,
2. Züchtung von TuYV-resistenten Sorten.

Untersuchungen von LÖWER und EPPLER (1996) in den Jahren 1992 bis 1996 ergaben, dass eine späte Rapsaussaat die Infektionsgefahr vermindert. So wiesen spät gesäte Bestände mit kleinen Pflanzen nur geringe Befallsraten auf. Des Weiteren wurde festgestellt, dass bei starker Auswinterung besonders die infizierten Pflanzen ausfallen, was zu ausgedünnten Beständen mit einer geringeren Befallsrate führte. Das kann positive Auswirkungen auf die Bestände haben, besonders auf solche, die sich vor dem Winter vegetativ schon sehr stark entwickelt haben. Diese Bestände können sich durch Befall von Pathogenen „gesundschrumpfen“, denn überflüssige, alte Blätter sterben ab und entziehen den jungen, produktiven Blättern keine Nährstoffe (KROPF, 2007).

### 2.4.1 Reduzierung der Blattläuse

Um eine Infektion der Bestände durch das in erster Linie von Blattläusen übertragene TuYV zu vermeiden, ist es notwendig, diesen Vektor möglichst effektiv zu bekämpfen. So kann das Virus nicht von außen eingetragen werden und sich nicht im Bestand verbreiten. Blattläuse haben viele natürliche Feinde, zu denen Schlupfwespen, Gallmücken und Florfliegen gehören. Eine Bekämpfung der Blattläuse durch den Einsatz der natürlichen Feinde ist in Gemüse- und Zierpflanzenkulturen sinnvoll, bringt aber in großflächigen landwirtschaftlichen Kulturen nicht die nötige Wirkung. So stellt der Einsatz von Insektiziden nach wie vor die einzige Möglichkeit dar, Blattläuse nachhaltig und sicher zu bekämpfen. Die chemische Bekämpfung ist aufgrund der Resistenzbildung jedoch sehr schwierig geworden. Andauernder, einseitiger Einsatz bestimmter Wirkstoffgruppen führt zur schnellen Selektion widerstandsfähiger Typen. Werden Resistenzen festgestellt, kann eine erfolgreiche Bekämpfung nicht durch eine Erhöhung der Konzentration, sondern nur

durch einen Wechsel der Wirkstoffgruppe erreicht werden (NEUBAUER, 1997). Nur vermehrt angewendete, sehr hohe Insektizidgaben können den Befallsgrad verringern. Für die landwirtschaftliche Praxis ist ein derart erhöhter Insektizideinsatz aus Umweltschutz- und Kostengründen nicht immer akzeptabel bzw. realisierbar. Eine Verhinderung von virusbedingten Ausfällen in Kulturpflanzen ist auch über den indirekten Weg der Züchtung von resistenten Sorten zu erreichen (PAETSCH et al., 2004).

#### **2.4.1.1 Saatgutbeizung**

Als Saatgutbeizung wird das Verfahren bezeichnet, bei dem das Saatgut zur Bekämpfung tierischer Schadorganismen mit Insektiziden behandelt wird. Beim Raps wird dieses Verfahren als Saatgutinkrustierung bezeichnet; da es im allgemeinen Sprachgebrauch üblich ist, wird im Folgenden der Ausdruck Saatgutbeizung verwendet. Die Wirkung gegenüber den Schadorganismen kann sowohl während und unmittelbar nach der Beizung, als auch später einsetzen. Im ersten Fall geht der Wirkstoff im Boden in Lösung und schützt den Keimling durch einen sog. „Beizhof“ vor bodenbürtigen Schaderregern. Für den Schutz vor Blattlausbefall ist aber die zweite Möglichkeit von besonderer Bedeutung. Hier wird der Wirkstoff von der Pflanze aufgenommen, systemisch verteilt und wirkt protektiv gegenüber saugenden Insekten (HEITEFUSS, 2000). Für die Behandlung von Rapssaat zur Reduzierung eines Blattlausbefalls gibt es verschiedene Wirkstoffe.

In den Jahren 1999 bis 2001 wurden Untersuchungen durchgeführt, in denen die ehemalige Standardbeize ‘Oftanol-T’ mit einer Spezialbeize auf ihre Ertrags- und Befallswirkung hin verglichen wurde. Dieser Versuch wird in Kapitel 3.2 näher beschrieben, die hier relevanten Wirkstoffe sollen kurz beschrieben werden.

**Imidacloprid** ist in der untersuchten Spezialbeize enthalten und gehört zu der chemischen Klasse der Neonicotinoide. Es handelt sich um ein systemisches Insektizid, welches über die Saatgutbehandlung einen relativ lang anhaltenden Schutz der jungen Pflanzen vor Blattläusen ermöglicht.

**Beta-Cyfluthrin** ist ebenfalls in dem im Folgenden beschriebenen Versuch verwendeten Prüfmittel enthalten und gehört ebenfalls zu der Gruppe der Neonicotinoide. Dieser Wirkstoff bildet einen Beizhof um das Saatgut und schützt es dadurch vor bodenbürtigen Schädlingen (PUHL, 2007).

**Isofenphos** ist in der früheren Standardbeize 'Oftanol-T' enthalten und wird zur Behandlung von Saatgut zur Bekämpfung von Bodeninsekten eingesetzt (heute keine Zulassung mehr). Dieser Wirkstoff gehört zur Gruppe der neurotoxischen Phosphorsäureester. Im Rapsanbau ist es besonders gegen die Larven des Rapserrdflohs eingesetzt worden (HEITEFUSS, 2000), erzielte aber auch einen Effekt gegen die Virus übertragenden Blattläuse.

Untersuchungen von HEIMBACH und EGGERS (2002) aus den Jahren 1998 bis 2000 zeigten, dass der Blattlausbefall keine Unterschiede bei den Varianten Isofenphos + Thiram und der fungiziden Thiram-Behandlung aufwies. Dagegen wurde bei der Saatgutbehandlung mit der Dosierung des Wirkstoffs Imidacloprid in dem Prüfmittel eine bessere Blattlauswirkungen erzielt als mit dem Präparat 'Chinook' (100g/l Beta-Cyfluthrin + 100g/l Imidacloprid).

#### **2.4.1.2 Insektizide**

Zur Bekämpfung gibt es neben der Beizung die Möglichkeit der direkten Spritzbehandlung auf dem Feld. Diese sollte jedoch nur bei ständiger Überwachung und bei Beachtung der Bekämpfungsschwellen eingesetzt werden. Die Behandlung auf dem Feld wird vorrangig mit Pyrethroiden oder Neonicotinoiden bei einem Überschreiten der Schadschwelle von zehn bis 20 % mit Blattläusen befallenen Pflanzen durchgeführt (NN, 2007f). Die Wirkstoffe sind die selben, wie schon in Kapitel 2.4.1.1 behandelt.

Ein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zur Verhinderung einer Virusinfektion nach dem Schadschwellenprinzip ist laut SCHRÖDER (1996) nicht möglich, denn es ist bisher noch nicht gelungen, ein erfolgreiches Prognose- bzw. Bekämpfungsmodell für das System Wirtspflanze-Vektor-Virus zu entwickeln. Schwierig ist hierbei die Erarbeitung eines Index, der die aktuelle Gefahr durch eine Virus übertragende Blattlauspopulation im Raps zuverlässig charakterisiert. Auch ist der Aufwand, der für ein derartiges Monitoring notwendig wäre, enorm hoch. Erfolgen Insektizidmaßnahmen nur aufgrund von Blattlausdichten im Bestand oder nach dem Terminkalender, können sie nur als Prophylaxe angesehen werden und es wäre als unsicher anzusehen, ob diese Maßnahme überhaupt einen Blattlaus reduzierenden Effekt erzielt hat bzw. notwendig war. Diesbezügliche Versuche in England zeigten, dass die Infektionsraten durch präventive Bekämpfungen mit verschiedenen Insektiziden im Herbst zum Teil stark reduziert und dadurch leichte Ertragssteigerungen erzielt werden konnten. Chemische Bekämpfungsmaßnahmen sollten vor der Anwendung auf ihre ökologischen Auswirkungen und die Wirtschaftlichkeit geprüft werden (SCHRÖDER, 1996).

### 2.4.1.3 Alternative Methoden

HEIMBACH und EGGERS (2002) haben festgestellt, dass ein Befall mit Blattläusen nicht nur durch die Witterung, sondern zusätzlich durch eine Reihe weiterer Faktoren beeinflusst wird. Neben der Saatgutbehandlung mit systemischen Wirkstoffen (z.B. Imidacloprid) und Spritzanwendungen mit Insektiziden, gibt es noch andere Methoden die Blattläuse in den Beständen zu bekämpfen. So können sie z.B. durch Mulchsaat oder den Einsatz von Nützlingen reduziert werden. Feldversuche ergaben, dass in gemulchten Parzellen weniger Blattläuse und mehr natürliche Feinde (Raubarthropoden) im Vergleich zu ungemulchten Feldern auftraten. HEIMBACH und EGGERS (2002) begründen dies damit, dass geflügelte Blattläuse, wie bereits in Kapitel 2.3.2.4 beschrieben, je nach Blattlausart für ihren Befallsflug optische und/oder olfaktorische Reize zur Orientierung auf die Wirtspflanzen nutzen.

### 2.4.2 TuYV-Resistenz

Der TuYV-Befall verursacht, wie in vielen Versuchen nachgewiesen wurde, erhebliche Ertragsverluste, diese erfordern entsprechende Gegenmaßnahmen. Die chemische Bekämpfung der Virusvektoren durch Insektizidbehandlungen der Bestände oder Saatgutbeizung zur Verringerung des Virusbesatzes, waren in wiederholten Versuchen wenig wirksam (READ und HEWSON, 1988; HILL et al., 1989). Daher sind sie aus ökologischen und auch wirtschaftlichen Gründen oft nicht sinnvoll. Zudem ist die Wirksamkeit von Insektizidmaßnahmen oft durch Niederschläge oder sehr starken Befallsdruck eingeschränkt.

Die durch TuYV-Infektion verursachten Blattverfärbungen und Wachsminderungen werden häufig mit den Symptomen des Nährstoffmangels verwechselt (GRAICHEN und SCHLIEPHAKE, 1996). Landwirte versuchen daher oft, die Ertragsleistung der Bestände durch zusätzliche Stickstoffgaben zu sichern. Die virusinfizierten Pflanzen sind jedoch infolge der beeinträchtigten Vitalität nicht in der Lage, die zusätzlichen Nährstoffe aufzunehmen und umzusetzen. Die Folgen sind häufig erhöhte Nährstoffauswaschungen und- einträge ins Oberflächen- bzw. Grundwasser. Zur Sicherung stabiler und hoher Erträge beim Winterraps sowie für eine umweltgerechte Landbewirtschaftung gibt es somit zur Züchtung resistenter Sorten zur Vermeidung des Virusbefalls nur wenige Alternativen (PAETSCH et al., 2004).

Die Fähigkeit eines Erregers, einen bestimmten pflanzlichen Genotyp zu infizieren und Symptome auszulösen, ist erblich festgelegt. Das gleiche gilt für die Fähigkeit der Pflanzen,

Erreger abzuwehren. Hierbei ist zu beachten, dass die Genotypen von Pflanze und Erreger keine dauerhaft konstante Größe darstellen. Denn durch Mutation und Genneukombination bei sexueller Vermehrung entstehen auf beiden Seiten ständig neue Genotypen. Resistenzzüchtungen haben daher meist einen zeitlich begrenzten Erfolg und auf Seiten der Züchtung muss ständig daran gearbeitet werden (HOFFMANN et al., 1976). Ob und wie schnell ein Erreger die Resistenz einer Pflanze überwinden kann, hängt in starkem Maße davon ab, wie die Resistenz in der Pflanze vererbt wird. Es gibt die Möglichkeiten der mono-, oligo- oder polygenen Vererbung. Die monogene Resistenz wird meist dominant vererbt, was eine Einkreuzung relativ leicht macht (HOFFMANN et al., 1976).

Anfang der 90er Jahre waren die Voraussetzungen für eine Resistenzzüchtung gegen das TuYV günstig, es wurde ein Resistenzträger (R 54) an der Bundesforschungsanstalt für Züchtungsforschung (BAZ) in Aschersleben aus dem Resyntheserapssortiment der Universität Göttingen selektiert (GRAICHEN, 1994). Zusätzlich steht seit dieser Zeit mit dem ELISA-Test ein Screening-Verfahren zur Verfügung, mit dem Pflanzenmaterial effektiv auf Virusgehalt untersucht werden kann. In den folgenden Jahren konnte deshalb mit der züchterische Bearbeitung der Krankheit begonnen werden. Dies geschieht im Rahmen der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung (GFP) und der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Nach Abstimmung mit Rapszüchtern erfolgten später Kreuzungen des R 54 mit Winterrapssorten und Zuchtlinien zur Einlagerung der Resistenz (PAETSCH, 2004). Aufgrund der engen Zusammenarbeit der Züchtungsforschung und der züchterischen Praxis standen im Jahr 1999 nach mehrjähriger Selektion die ersten TuYV-resistenten Zuchtstämme zur Verfügung (PAETSCH et al., 2004). Mit dem Chinakohl Nr. 67 (*Brassica rapa ssp. pekinensis*) steht eine weitere TuYV-Resistenzquelle zur Verfügung (GRAICHEN, 1996). Die Resistenzformen des vorhandenen Zuchtmaterials sind unterschiedlich. Sie variieren von qualitativer Resistenz, das heißt vollständige Virusfreiheit, bis zur quantitativer Resistenz, was bedeutet, dass innerhalb der Population die Anzahl der infizierten Pflanzen und/oder die relative Viruskonzentration stark vermindert ist. Weiterhin gibt es Zuchtstämme, bei denen es trotz hoher Viruskonzentration zu keiner Symptomausprägung kommt, hierbei handelt es sich um eine Toleranz gegenüber dem Virus. Von besonderem Interesse für die weitere züchterische Bearbeitung sind Formen der qualitativen Resistenz (GRAICHEN et al., 1998). GRAICHEN und RABENSTEIN (1999) konnten zeigen, dass das Virus in resistenten Pflanzen oftmals nur in der Wurzel lokalisiert ist. Das lässt die Vermutung zu, dass es sich bei diesen Pflanzen um eine Resistenz gegen die Ausbreitung der Erreger in der Pflanze handelt.

### 2.4.2.1 Vererbung

Die hohe Virusanfälligkeit aller Qualitätsrapssorten beruht auf der ebenfalls hohen Anfälligkeit der beiden Ausgangsformen des Rapses: dem Kohl (*Brassica oleracea*) und den Ölrübsen (*Brassica rapa ssp. oleifera*) (GRAICHEN, 1994). Eine Resistenz gegenüber dem TuYV wurde erstmals im Jahr 1992 in dem Göttinger Resyntheseraps R 54 identifiziert (DREYER et al., 2001; JUERGENS et al., 2006). Zur Art der Vererbung dieser Resistenz liegen bisher keine eindeutigen Ergebnisse vor. GRAICHEN und Mitarbeiter (1998) beschreiben eine quantitative Merkmalsausprägung, wobei es zu abweichenden Resistenzreaktionen unter Gewächshaus- und Feldbedingungen kommen kann. Außer unter extremen Befallsbedingungen lassen alle Beobachtungen auf eine partielle Dominanz der Resistenz schließen (PAETSCH et al., 2004). Feldversuche zur Klärung des Erbganges (dominant oder rezessiv) deuten auf eine rezessive Vererbung der TuYV-Resistenz hin. Die Untersuchungen zur Vererbung lassen jedoch auch den Schluss zu, dass die Ausprägung der Resistenz in starkem Maße von den Umweltbedingungen abhängt und zum Teil im Gewächshaus gar nicht nachweisbar ist (PAETSCH et al., 2004).

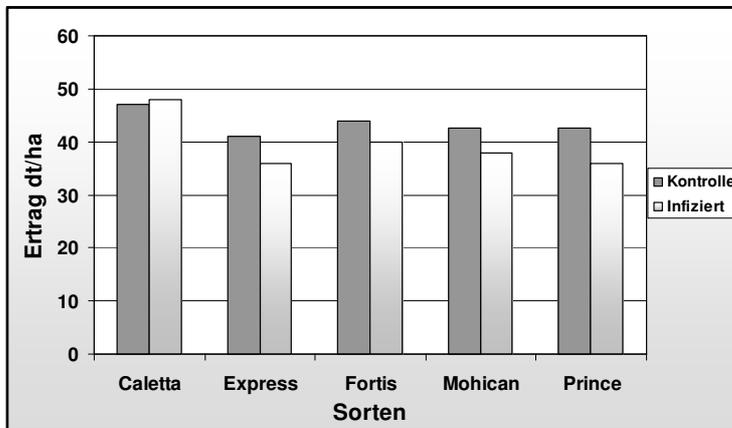
### 2.4.2.2 Stand der Züchtung

Die einzige bisher zugelassene gegen das Wasserrübenvergilbungsvirus resistente Sorte ist die von der Firma SW Seed gezüchtete Sorte 'Caletta' und ist durch eine Rückkreuzung mit der Sorte 'Jessica' entstanden. Sie hat eine mittlere Leistung und ist eine späte, großbrahmige Sorte mit einer laut KOCH (2007) gering einzuschätzenden Phomatoleranz. Nach PETERS (2007) wird sie in Deutschland nicht mehr vermehrt und hat für den Anbau zur Produktion von Konsumraps keine Bedeutung mehr. In den baltischen Ländern und auch in Polen wird sie zum Teil aufgrund ihrer sehr späten Abreife noch angebaut.

Die derzeitigen Züchtungsarbeiten konzentrieren sich auf die im Folgenden aufgeführten Schwerpunkte (KOCH, 2002):

1. Ermittlung der Ertragsrelevanz des TuYV-Befalls an bereits bestehenden Sorten und Linien.
2. Die Aufklärung der Vererbungsweise der Resistenz ist für die praktische Umsetzung im Züchtungsprozess wichtig.
3. Ermittlung des Dominanzgrades der Resistenz, denn ein hoher Dominanzgrad erleichtert die Nutzung der Resistenz in Hybriden.
4. Gibt es verschiedene, eventuell Resistenz brechende Pathotypen?

Um die Resistenz gegen das TuYV deutlich zu machen, wurde die Reaktion von 'Caletta' auf den Befall mit dem TuYV von PAETSCH und Mitarbeitern (2004) untersucht. Die Ergebnisse werden im folgenden Diagramm 2 dargestellt. Es wurden insgesamt fünf Sorten



in zwei Varianten geprüft. Eine Variante wurde künstlich mit TuYV infiziert und die andere soweit möglich virusfrei gehalten. Die Untersuchungen zeigen, dass der Ertrag bei den anfälligen Sorten in der infizierten Variante statistisch signifikant niedriger ist als in

**Diagramm 2: Kornertrag dt/ha bei infizierter sowie Kontrollvariante (PAETSCH et al., 2004, verändert)**

der gesunden, virusfreien Kontrolle. Dagegen gab es bei der resistenten Sorte 'Caletta' in der infizierten Variante gegenüber der Kontrolle keine Ertragsreduktion. Des Weiteren ergaben diese Untersuchungen, dass 'Caletta' in der infizierten Variante sogar einen um 1,8 % höheren Ertrag aufweist.

In der Züchtung werden Sorten und Stämme auf Resistenzen bzw. Toleranzen gegen das hier beschriebene Virus getestet und in die bereits bestehenden Qualitätsrappsorten eingekreuzt. Das ist bereits häufig gelungen, jedoch erreichen die resistenten Zuchtlinien auch in stark Virus befallenen Pflanzen noch nicht die Erträge der Standardsorten. Eine ertragswirksame Resistenz konnte in das Zuchtmaterial eingelagert werden, das Ertragsniveau muss aber weiter züchterisch verbessert werden. Ziel der Züchtungsarbeit besteht aber darin, unter Infektionsbedingungen eine ertragliche Überlegenheit der resistenten Linien gegenüber den Standardsorten zu erreichen (PAETSCH et al., 2004). Die Züchtungsarbeiten an resistenten Linien werden von den Züchtern meist in Zusammenarbeit mit der Bundesforschungsanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) in Aschersleben/Quedlingburg durchgeführt. Hier wird die Virusuntersuchungen mit Hilfe des ELISA-Tests durchgeführt und auch die mit TuYV infizierten Läuse für die Forschung zur Verfügung gestellt. Die Züchtung auf TuYV-Resistenz stellt nicht die erste Priorität in den Arbeiten der Züchter dar, da in der Regel die anfälligen Sorten unter „normalem“ Infektionsdruck ertragreicher sind als die resistenten Stämme und Linien. Ob und wann weitere resistente Sorten auf den Markt kommen, ist derzeit schwer einzuschätzen.

### 3 Eigene Untersuchungen zum Auftreten des TuYV

Um die Auswirkungen des TuYV-Befalls unter Freilandbedingungen zu untersuchen, standen für diese Arbeit Daten von verschiedenen Untersuchungen zur Verfügung. Die Versuche wurden nicht gezielt für diese Art der Auswertung angelegt, sondern es handelt sich, bis auf den eigenen Versuch im Jahr 2006, um bereits vorhandenes Datenmaterial. Die Daten, die hier ausgewertet werden sollen, sind nicht orthogonal, das heißt, dass nicht in allen Jahren die selben Sorten bzw. Standorte in die Versuche eingingen. Das vorliegende Datenmaterial stammt nicht aus einer wissenschaftlichen, sondern aus einer praxisnahen Untersuchung. Um möglichst viele Standorte zu gewinnen, mussten Kompromisse in der Versuchsanstellung in Kauf genommen werden.

Insgesamt wurde das Datenmaterial von drei Versuchsanstellungen ausgewertet, welche im Folgenden dargestellt werden.

**Tabelle 3: Übersicht über die ausgewerteten Virusuntersuchungen**

| Erntejahr |                                  | Versuche       | Sorte bzw. Variante                          | auswertbare Standorte | ausgewertete Daten |
|-----------|----------------------------------|----------------|--|-----------------------|--------------------|
| 1998      | <b>Vorversuch</b>                | Praxis-schläge | anfällige Sorten                             | 55                    | TuYV-Befall in %   |
| 1999      | } <b>Saatgut-beizung</b>         | LSV            | 'Mohican'- 'Oftanol-T'<br>'Mohican'-'Poncho' | 57                    | alle Merkmale      |
| 2000      |                                  | LSV            | 'Mohican'-'Oftanol-T'<br>'Mohican'-'Poncho'  | 65                    | alle Merkmale      |
| 2001      |                                  | LSV            | 'Mohican'-'Oftanol-T'<br>'Mohican'-'Poncho'  | 67                    | Kornertrag         |
| 2002      | } <b>Sorten-resistenz</b>        | EUV 1          | 'Caletta'<br>'Twister'                       | 13<br>13              | alle Merkmale      |
| 2003      |                                  | BSV/EUV 2      | 'Caletta'<br>'Ontario'                       | 11<br>11              | alle Merkmale      |
| 2004      |                                  | LSV            | 'Caletta'<br>'Oase'<br>'Ontario'             | 22<br>21<br>1         | Kornertrag         |
| 2005      |                                  | ---            | ---  | ---                   | ---                |
| 2006      | <b>Aktuelle Befallssituation</b> | BSV/EUV 2      | 'Elektra'                                    | 18                    | alle Merkmale      |

Die Untersuchungen von Rapspflanzen auf den Befall mit dem TuYV begann im Frühjahr 1998. Es wurden an 55 Standorten in ganz Deutschland von Praxisschlägen und zum Teil aus den Landessortenversuchen Blattproben der anfälligen Sorten 'Mohican' und 'Express' gezogen und bei der Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen in Aschersleben mittels ELISA auf einen Virusgehalt untersucht.

### **3.1 Befallssituation in den einzelnen Jahren**

Da es sich bei dem hier untersuchten Pathogen um ein Virus handelt, dessen Verbreitung stark witterungsabhängig ist, soll auf den Befall der im Rahmen dieser Arbeit ausgewerteten einzelnen Jahre näher eingegangen werden. Die Befallssituation wurde von jedem einzelnen Jahr, sowie für die drei verschiedenen Versuchsanstellungen für sich ausgewertet. Die Darstellung erfolgt anhand von Karten, in denen die Standorte je nach Befallsstärke mit unterschiedlichen Farbausprägungen dargestellt sind. Für die beiden Versuche mit unterschiedlichen Beizvarianten und der Untersuchung mit der Sortenresistenz wurden die Karten der einzelnen Versuchsjahre „übereinander“ gelegt, so wird ein Überblick über den Befall in den einzelnen Jahren gegeben. Auf Grund der besseren Übersichtlichkeit mussten die Punkte der drei verschiedenen Jahre an einem Standort etwas auseinander gezogen werden, da sie sonst übereinander liegen würden und die Farben nicht mehr zu erkennen sind. Es handelt sich trotzdem um ein und den selben Standort, auch wenn dieser sich nun nicht mehr exakt an der richtigen Position auf der Deutschlandkarte befindet.

### **3.2 Saatgutbeizung**

Bei dem ersten der drei Versuche handelt es sich um das UFOP-Projekt „Virusbefallssituation und- Befallsminderung im Winterraps“. Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1999 bis 2001 durchgeführt. Der Versuch wurde bundesweit in allen Landessortenversuchen durchgeführt und von der UFOP anteilig finanziert (SAUERMAN, 2000). Ziele des Projektes:

1. Überblick der Virus-Befallssituation in Deutschland.
2. Abschätzung der Ertragsminderung durch den Virusbefall.
3. Entwicklung einer Methode zur Virusbefallsminderung.
4. Wird der Virusbefall durch die Spezialbeize reduziert?

Der Versuch begann mit der Aussaat 1998, die Versuchsstandorte sind Länderdienststellen, die Landessortenversuche (LSV) im Winterraps durchführen. Es wurden zwei Beizvarianten in diesem Versuch untersucht:

- a.) Sorte ‘Mohican’ mit Standardbeize ‘Oftanol-T’ (Isfenphos)
- b.) Sorte ‘Mohican’ mit einer Spezialbeize mit folgender Wirkstoff-  
zusammensetzung: 420g/l Imidacloprid + 80g/l Beta-Cyfluthrin

Um die Vergleichbarkeit zu erhalten, wurden beide Varianten standardmäßig mit dem fungiziden Wirkstoff TMTD gegen Auflaufkrankheiten behandelt.

Die Sorte 'Mohican' war in den untersuchten Jahren die Verrechnungssorte des Bundesortenamtes und stand somit mit der damaligen Standardbeize in allen Landesortenversuchen. Für das UFOP-Projekt musste nur die mit der Spezialbeize behandelte Variante zusätzlich in die Versuche mit aufgenommen werden (GRONOW, 2007). Bei der Variante mit dem Prüfmittel handelt es sich um eine andere Formulierung des Präparates 'Goucho'. Sie wurde als 'Poncho' bezeichnet und war zur Zeit der Versuchsdurchführung nicht im Raps zugelassen. Es sollte aber nicht mit den heute zugelassenen Präparaten, die ebenfalls unter dem Namen 'Poncho' geführt werden ('Poncho-Beta', 'Poncho-Pro', 'Poncho') verwechselt werden. In den 'Poncho'-Präparaten, die heute auf dem Markt sind, ist zusätzlich zum Beta-Cyfluthrin der Wirkstoff Clothianidin enthalten und nicht, wie im Prüfmittel des UFOP-Versuchs das Imidacloprid. Die Wirkstoffzusammensetzung der in dem Versuch untersuchten Prüfvariante ist heute unter dem Namen 'Antarc' auf dem Markt und im Raps zugelassen (NN, 2007h; NN, 2007i; PUHL, 2007). Diese Variante wird im Folgenden als Spezialbeize bezeichnet.

In dem Versuch sollte untersucht werden, ob durch die Spezialbeize der Virusbefall im Gegensatz zur Standardbeize 'Oftanol-T' gemindert werden kann. Beide Varianten wurden paarweise innerhalb des Teilblocks „kurze Sorten“ randomisiert, um bestmöglich die bodenbedingten Unterschieden zu minimieren. Die Insektizidmaßnahmen wurden ortsüblich durchgeführt, allerdings ohne eine spezifische Blattlausbekämpfung im Herbst und Frühjahr. Die Düngung sowie sonstige Pflanzenschutzmaßnahmen wurden ebenfalls wie im LSV üblich durchgeführt. Die Befallsbestimmung erfolgte nach Entnahme von jeweils 15 Blättern aus allen vier bzw. drei Wiederholungen mittels DAS-ELISA-Test. Bei den beprobten Blättern handelt es sich um die jüngsten voll entwickelten Blätter.

### **3.3 Sortenresistenz**

Bei der zweiten Untersuchung handelt es sich um einen Versuch mit der bis dahin einzigen gegen das TuYV resistenten Sorte 'Caletta'. Die Untersuchungen von Blattproben wurden in den Jahren 2002 bis 2004 von der UFOP-Außenstelle für Versuchswesen in Osterrönlfeld durchgeführt. Es wurde kein spezieller Versuch angelegt, vielmehr wurden Blattproben aus vorhandenen Versuchen gezogen und auf ihren Virusgehalt hin untersucht. In den Jahren 2002 und 2003 war dies der EU-Sortenversuch (EUV). Im Jahr 2004 stand die Sorte 'Caletta' nicht mehr im Sortiment der Sortenversuche und wurde nur noch von

interessierten Länderdienststellen angebaut und beprobt. Hierbei handelt es sich um Standorte in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen. Für die Untersuchungen wurden im April 60 Blattproben der entsprechenden Sorten gezogen, aus jeder Wiederholung 15 Blätter (1 Blatt pro Pflanze) und zur Bundesforschungsanstalt für Züchtungsforschung (BAZ) nach Aschersleben geschickt. Es sollten in allen drei Versuchsjahren die resistente Sorte 'Caletta' und eine anfällige Sorte des gleichen Teilsortimentes (lange Liniensorte) untersucht werden. Im ersten Jahr der Untersuchungen wurde als Vergleichssorte die anfällige Sorte 'Twister' herangezogen. Da diese Sorte in den darauf folgenden Jahren nicht im Sortiment aller beteiligten Versuchsstandorte stand, wurden im zweiten Jahr 'Ontario' und im dritten Jahr 'Oase' als anfällige Vergleichssorten herangezogen. Obwohl 'Ontario' eine kurzstrohige Sorte ist, stand sie aufgrund eines Fehlers in der Versuchsanlage im Jahr 2003 neben der langen Sorte 'Caletta'.

Die Probennahme und der Versand der Proben erfolgten von den beteiligten Länderdienststellen. Die Kosten der Untersuchungen wurden von der UFOP und der Firma SW Seed, die die Sorte 'Caletta' gezüchtet hat, und dem Institut für Epidemiologie und Resistenz in Aschersleben getragen. Die Organisation erfolgten durch die UFOP-Außenstelle für Versuchswesen in Osterrönfeld.

### **3.4 Aktuelle Befallssituation 2006**

Um die aktuelle Befallssituation der Rapsbestände mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus festzustellen, wurden Blattproben von Rapspflanzen von 23 Standorten (siehe Tabelle 24) aus dem Bundessortenversuch (BSV) beim ALR in Kiel mittels ELISA untersucht (siehe Kapitel 3.5.1). Es wurden von den beteiligten Standorten im April 2006 insgesamt 60 bzw. bei drei Wiederholungen 45 Blätter (jeweils 15 Blätter aus jeder Wiederholungen) gezogen und per Post nach Kiel geschickt. Da keine resistente Sorte im Sortiment stand, konnte nur eine anfällige Sorte untersucht werden, in diesem Fall handelt es sich um die Sorte 'Elektra'. Die Planung und Organisation der Untersuchungen wurde in Kooperation mit der UFOP-Außenstelle für Versuchswesen in Osterrönfeld durchgeführt.

## **3.5 Methoden**

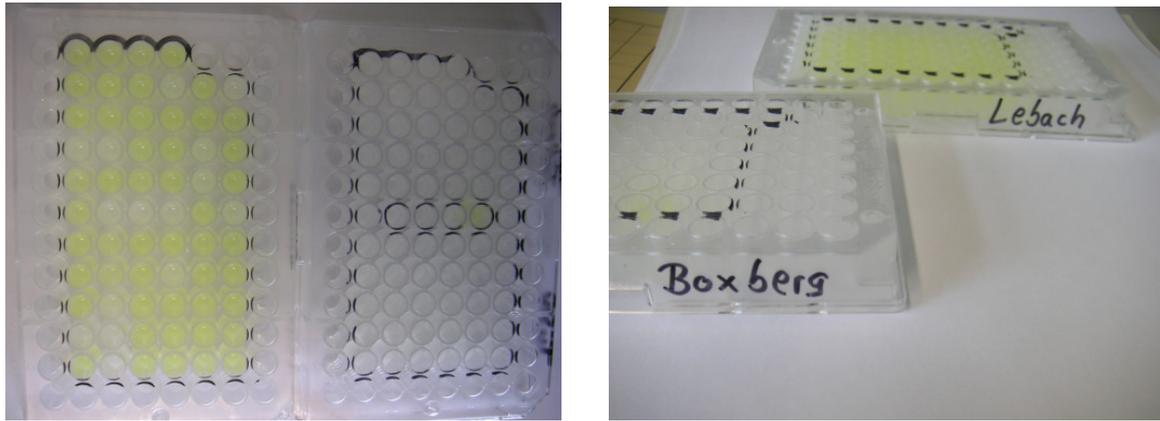
Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den verwendeten Methoden. Hierbei handelt es sich um die Art des Erregernachweises sowie um die statistischen Auswertungen. Bei dem hier beschriebenen Nachweis des TuYV in den Rapspflanzen handelt es sich um die eigenen Untersuchungen, die im Frühjahr des Jahres 2006 durchgeführt wurden. Die statistischen Methoden beziehen sich auf das gesamte Datenmaterial, welches im Rahmen dieser Arbeit ausgewertet wurde.

Die Ergebnisse des Korntrages und des Ölertrages sind in Kleinparzellenversuchen häufig etwas höher als auf Praxisschlägen. Aus diesem Grunde wurde von den in den Versuchen ermittelten Werten jeweils 15 % abgezogen. So können die Daten besser mit den Praxiswerten verglichen werden.

### **3.5.1 Erregernachweis**

Den folgenden Ausführungen über den ELISA-Test liegt eine Bedienungsanleitung aus dem Labor des Amts für ländliche Räume (ALR) in Kiel zugrunde, nach der die praktischen Untersuchungen durchgeführt wurden (MEYER-KAHSNITZ, 1993 zitiert durch NN, 2006).

Die Blattproben wurden mit dem DAS-ELISA (Doppel-Antikörpersandwich-Test = DAS Test) untersucht. Hierbei handelt es sich um die am häufigsten durchgeführte Variante des ELISA-Tests. Für diesen Test werden  $\gamma$ -Globuline eines Antiserums verwendet. In einem weiteren Arbeitsgang wird ein Teil dieser Antikörper mit einem Enzym gekoppelt, wobei es sich meist um alkalische Phosphatase handelt, aber auch Peroxydase oder Urease sind möglich. Diese enzymgekoppelten Antikörper werden als Konjugat bezeichnet. Die Durchführung des Tests erfolgt auf Polysterolplatten mit 96 Vertiefungen. Vor Arbeitsbeginn wird die Anordnung der verwendeten Vertiefung in der Platte gekennzeichnet, dies geschieht mit einem Folienstift und ist in Abbildung 11 dargestellt. Es sind zwei Testplatten abgebildet auf denen gekennzeichnet ist, in welchen Vertiefungen sich die Proben befinden. Denn bis zum letzten Arbeitsschritt, der Substratzugabe, sind die Lösungen in der Platte farblos, so dass es leicht zu Fehlern kommen kann. Auf der linken Platte sind in der Mitte vier Vertiefungen zusätzlich markiert, in diesen befinden sich die Positiv-, Negativ- und Pufferkontrolle.



**Abbildung 11: Markierte und beschriftete Probenplatten im ELISA-Test**

Die Anzahl der benötigten Vertiefungen pro Test errechnet sich aus den erforderlichen Kontrollproben und der Anzahl der zu untersuchenden Proben. Bei dieser Untersuchung wurde pro Platte ein Standort beprobt, auch wenn bei Standorten mit nur drei Wiederholungen noch einige Vertiefungen frei blieben. Dadurch wird die Gefahr von Durchführungsfehlern reduziert. Ein Testprotokoll für den Virusnachweis von Pflanzenproben ist in Anhang 1 abgebildet. Es werden das Probenmaterial, die Aufbereitung, die Herkunft der Probe und der Einsender aufgelistet. Außerdem bekommt jede Testung ihre eigene Nummer beim ALR, damit es später nicht zu Verwechslungen kommen kann. Des Weiteren sind das Probenausgabenschema und die Testbedingungen aufgeführt. Hierin sind wiederum die genaue Anordnung der Proben und Wiederholungen sowie die Platzierung der Negativ- und Positivkontrolle aufgelistet, damit bei dem Ergebnisausdruck klar ist, um welche Proben es sich handelt. Des Weiteren wird für jeden Standort das genaue Datum des Probeneingangs und jedes einzelnen Arbeitsschrittes notiert. Zusätzlich befinden sich auf dem Testprotokoll Informationen zum verwendeten Konjugat und der jeweiligen Verdünnung.

Der ELISA-Test besteht aus vier Schritten wovon jeder durch Inkubations- und Waschschriffe beendet wird (MEYER-KAHSNITZ, 1993). Die Durchführung und die Vorgänge in den einzelnen Schritten soll hier nun näher beschrieben werden:

**1. Beschichtung:** Nichtmarkierte Antikörper werden in Beladungspuffer verdünnt (Verdünnung nach Herstellerangaben). Anschließend werden 100 µl der Lösung mit einer Pipette in jede der vorher markierten Vertiefungen eingefüllt. Die Platte wird in Klarsichtfolie verpackt und für vier Stunden (min. 2 Stunden) bei 37°C im Brutschrank inkubiert. Während dieser Zeit lagern sich die Antikörper an die Innenwände der Plattenvertiefungen an. Nach der angegebenen Zeit wird die Platte kräftig ausgeschüttelt und dreimal mit Waschpuffer gespült, um überschüssige Antikörper zu entfernen. Dreimal

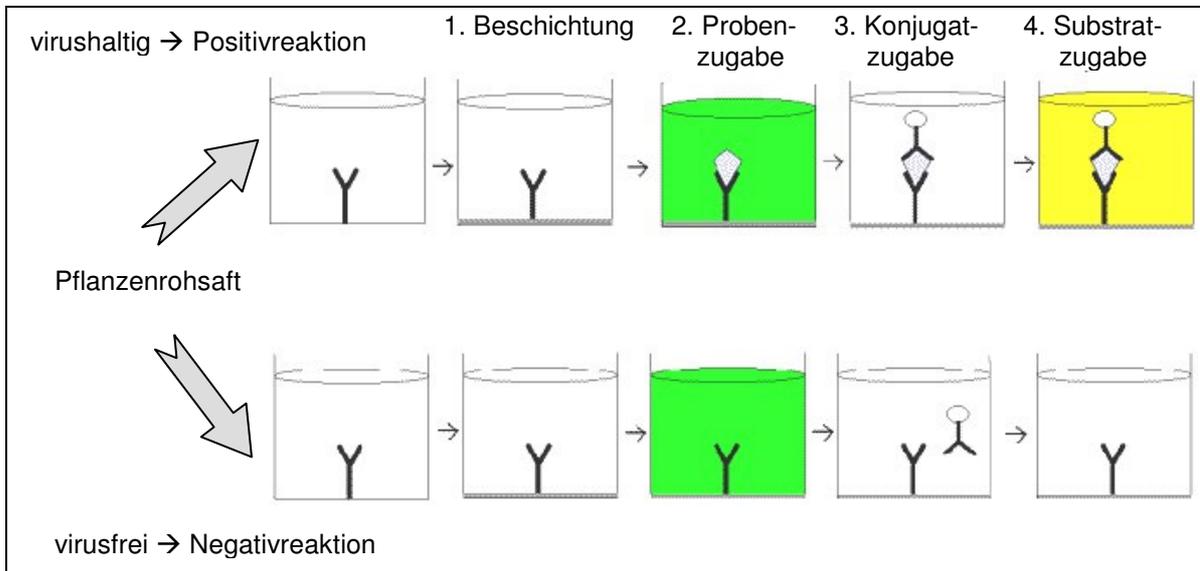
werden alle Vertiefungen mit dem Waschpuffer gefüllt, fünf Minuten inkubiert und dann kräftig über einem Waschbecken ausgeschlagen. Der Vorgang des Waschens muss sehr sorgfältig durchgeführt werden, damit es durch Vermischung nicht zu falschen Ergebnissen kommt.

**2. Probenzugabe:** Die Verarbeitung der Proben wurde mit einer Blattsaftpresse mit glattem Walzstuhl durchgeführt. Hierbei wird jeweils ein Blatt zwischen zwei Walzen geführt und der heraustropfende Saft mit einem kleinen Glasröhrchen aufgefangen. Dieses wird anschließend in eine je nach Probenumfang markierte Platte gesteckt. Der gewonnene Saft wird mit Extraktionspuffer 1:10 verdünnt und durch schütteln homogenisiert. Davon werden 100 µl in je eine Vertiefung eingefüllt. Zur Kontrolle werden in je zwei Vertiefungen mit Probepuffer, Rohsaft von gesunden (Negativkontrolle) und von indizierten (Positivkontrolle) Pflanzen aufgefüllt. Die Inkubation dieses Arbeitsschrittes erfolgt über Nacht im Kühlschrank bei 4°C. Nach der Inkubationszeit wird der Rohsaft und das überschüssige Antigen wieder durch dreimaliges Waschen und Trockenklopfen entfernt. In diesem zweiten Schritt des Tests verbinden sich die Viruspartikel und -bruchstücke der Probe mit den Antikörpern zu einem Komplex.

**3. Konjugatzugabe:** Das Antikörper-Enzym-Konjugat (IgG) wird nun mit einem Konjugatpuffer verdünnt, je nach Serum, meist 1:1000. Ein Konjugat ist ein enzymgekoppelter Antikörper. Es werden in jede Vertiefung wieder 100 µl mit einer Pipette eingefüllt. Die in Folie eingepackte Platte muss nun für vier Stunden bei 30°C inkubieren. Eine Alternative ist eine Inkubation über Nacht bei 4°C. In diesem Schritt verbindet sich das Konjugat mit den Viruspartikeln.

**4. Substratzugabe:** Das Substrat (bei alkalischer Phosphatase: p-Nitrophenylphosphat) wird im Substratpuffer nach einer 1:1000 Verdünnung gelöst. Von dem Puffer werden 100 µl in jede Vertiefung eingefüllt. Die Inkubation erfolgt bei Raumtemperatur über einen Zeitraum von 0,5 bis 1 Stunde, während dieser Zeit sollten die Platten keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein. Nach wenigen Minuten wird das Spaltprodukt durch eine Gelbfärbung sichtbar. Die Intensität der Gelbfärbung steigt mit der im Rohsaft enthaltenen Virusmenge proportional an, da bei einem hohen Virusgehalt mehr enzymgekoppelte Antikörper gebunden und demzufolge auch mehr Substratmoleküle gespalten werden. Diese Reaktion kann mit drei mol NaOH gestoppt werden. Jedoch ist dies meist nicht notwendig, da die Platte nach einstündiger Inkubation photometrisch ausgewertet wird. Durch jede Plattenvertiefung wird ein Lichtstrahl (405nm) geschickt und die Schwächung beim Durchleuchten der Lösung gemessen und registriert. Die ermittelte Extinktion bei 405 nm ( $E_{405 \text{ nm}}$ ) ist ein Maß für den Virusgehalt. Bei sachgerechter

Durchführung des Tests bedeutet ein hoher Extinktionswert eine starke Gelbfärbung und damit einen hohen Virusgehalt der untersuchten Probe. Extinktionswerte von  $E_{405\text{ nm}} < 0,1$  werden als resistent und  $E_{405\text{ nm}} > 0,1$  als anfällig eingestuft (PAETSCH, 2004). Die Ergebnisse werden im Computer gespeichert und stehen zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Im Folgenden sind die vier Schritte des ELISA-Test schematisch dargestellt.

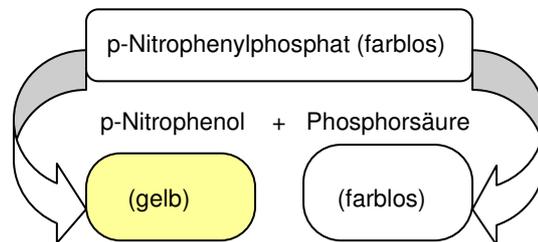


**Abbildung 12: Die vier Schritte des ELISA-Tests (NN, 2007e)**

1. Beschichtung: Antikörper lagern sich an die Wände der Vertiefungen.
2. Probenzugabe: Das Antigen (Virus) verbindet sich mit dem Antikörper zu einem Komplex. In der virusfreien Variante geschieht nichts.
3. Konjugatzugabe: Das Enzym verbindet sich mit den Viruspartikel, in der virusfreien Variante kommt aufgrund fehlender Antigene keine Bindung zustande, das Enzym wird beim nächsten Waschen entfernt.
4. Substratzugabe: In der virusinfizierten Variante spaltet das Enzym nun das Substrat → Gelbfärbung (siehe Abbildung 13).

Ein Ausdruck der Ergebnisse der photometrischen Messung ist in Anhang 2 abgebildet. Proben mit Extinktionswerten unter 0,1 gelten als virusfrei, diese werden im Ergebnisausdruck mit „neg“ gekennzeichnet. Die Proben mit einem Wert über 0,1 sind Proben von virusinfizierten Pflanzen und werden mit „+++“ ausgewiesen. Sie wurden in dem Ausdruck von Hand gelb markiert. Bei der prozentualen Angabe des TuYV-Befalls in dieser Arbeit wurde dann von einem Befall ausgegangen, wenn ein Extinktionswert von 0,1 überschritten wurde. In Fachkreisen wird diskutiert, ob es evtl. sinnvoll ist, erst ab einem Extinktionswert von 0,3 von einem Befall auszugehen. Dies soll hier jedoch nicht weiter diskutiert werden.

In Abbildung 13 ist der Vorgang in den Plattenvertiefungen während des ELISA-Tests dargestellt. Die virusfreien Proben bleiben farblos, wohingegen sich die Vertiefungen, in denen sich infiziertes Pflanzenmaterial befindet, gelb färbt.

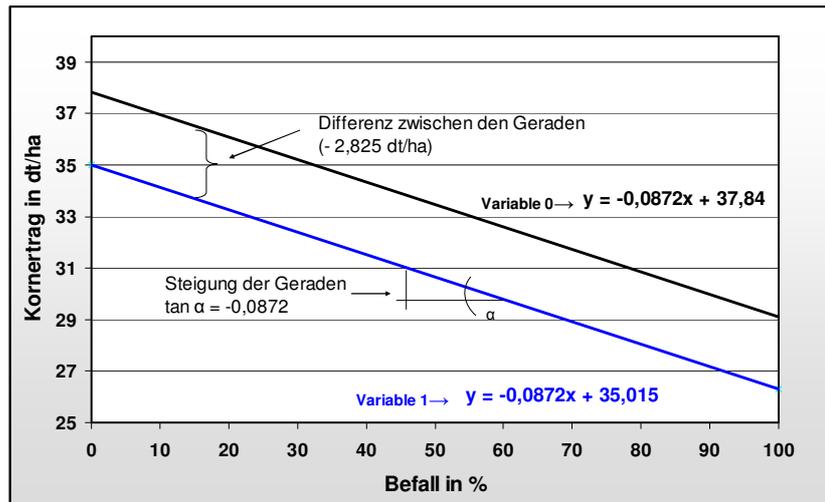


**Abbildung 13: Vorgang in den Plattenvertiefungen beim ELISA-Test**

**Einsatz von polyklonalen und monoklonalen Antiseren:** Bei dem ELISA-Test können neben den polyklonalen Antikörpern auch monoklonale Antikörper (Mab) verwendet werden. Da deren Herstellung sehr zeit- und kostenaufwändig ist, werden monoklonale Antikörper meist nur für Viren eingesetzt, deren Nachweis mit polyklonalen Antikörpern keine zuverlässigen Ergebnisse bringt. Die Entscheidung, ob für einen Test die einen oder die anderen Antiseren verwendet werden, hängt von der Verfügbarkeit und der jeweiligen Fragestellung ab. Monoklonale Antiseren enthalten Antikörper, die nur ein ganz spezielles Epitop erkennen. Ein Epitop ist ein kleiner Bereich (Molekülabschnitt) eines Antigens, gegen den bestimmte Antikörper gebildet werden. Somit können die monoklonalen Antikörper spezifischer als polyklonale Seren reagieren.

### 3.5.2 Statistik

Die statistischen Berechnungen wurden mit Microsoft Excel durchgeführt. Um festzustellen, wie sich der Ertrag und einige andere Ertragsparameter bei steigendem TuYV-Befall verhalten, wurde eine Regressionsanalyse gerechnet. Bei Untersuchungen mit zwei Varianten, wie z.B. mit zwei Beizvarianten, oder mit einer anfälligen und einer resistenten Sorte, wurden multiple Regressionen gerechnet. Wird nur ein Einflussfaktor untersucht, wie z. B. die Sorte, wurde eine einfache Regression durchgeführt. Wie das Ergebnis einer multiplen Regression graphisch aussehen könnte, ist in Abbildung 14 dargestellt:



**Abbildung 14:** Darstellung einer multiplen Regression mit einer Dummy-Variablen

Um die Ergebnisse der multiplen Regression richtig interpretieren zu können, soll die graphische Darstellung kurz erläutert werden. Hierfür ist das Beispiel mit einer resistenten und einer anfälligen Sorte aufgeführt. Die beiden untersuchten Varianten werden als Geraden dargestellt. In diesem Fall ist die Steigung negativ und hat einen Wert von 0,087. Das bedeutet, dass der Ertrag in dt/ha bei jedem Prozentpunkt steigendem Befall um diesen Wert abnimmt. In dieser Art der Darstellung sind die Steigungen beider Varianten identisch. Die Gerade befinden sich auf einem unterschiedlichem Niveau, was durch den Koeffizienten der Sorte angegeben wird. Die Differenz der Geraden liegt bei -2,825, d.h. dass die Variante 1 einen um diesen Wert geringeren Ertrag hat als die Standardvariante 0. Die Einheit richtet sich nach dem abhängigen Merkmal, je nachdem was untersucht wird, handelt es sich um %, dt/ha, cm oder andere. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse des Beispiels der multiplen Regression dargestellt.

**Tabelle 4:** Beispiel des Ergebnisses einer multiplen Regression

|                  | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 37,8399        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,0872</b> | <b>0,0003</b> |
| resistente Sorte | <b>-2,8251</b> | <b>0,0497</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,1362</b>  |               |

Der **Koeffizient** des Schnittpunktes sagt aus, an welcher Stelle die Ordinate von der Regressiongeraden geschnitten wird, d.h. wie hoch der Ertrag ohne einen Befall ist (0 % Befall). Der Schnittpunkt kann in diesem Fall ebenfalls interpretiert werden, denn das Datenmaterial enthält auch Werte im geringen Befallsbereich. Es handelt sich um den Ertrag der jeweiligen Sorte, wenn kein Virusbefall vorhanden ist. Der Koeffizient des TuYV-Befalls macht deutlich, in wie weit der betrachtete Ertragsparameter durch den

Befall beeinflusst wird. Ein negatives Vorzeichen bedeutet eine negative Beeinflussung, ein positives Vorzeichen deutet auf eine Steigerung des Parameters durch den Virusbefall hin.

Der **P-Wert** sagt aus, zu welchem Prozentsatz das Vorzeichen des Koeffizienten abgesichert ist. Ein P-Wert von z.B. 0,049 bedeutet, dass eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 4,9 % besteht, dass das Vorzeichen tatsächlich negativ ist. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als fünf Prozent, kann von einem statistisch abgesicherten Ergebnis ausgegangen werden, das Ergebnis ist somit signifikant. Für die im Folgenden ausgewerteten Daten wird für den Bereich fünf bis zehn Prozent Irrtumswahrscheinlichkeit der Begriff schwach signifikant verwendet.

Um festzustellen, wie stark die Beziehung zwischen zwei Merkmalen ist bzw. wie stark die Werte um die Regressionsgerade streuen, wurde das **Bestimmtheitsmaß** errechnet. Es sagt aus, welcher Anteil der Veränderung des entsprechenden Merkmals in Prozent durch die in der Regression berechneten Einflussfaktoren beeinflusst werden. Der Rest wird durch andere Faktoren, wie z. B. den Standort oder die Witterung beeinflusst.

| Befallsklassen in % |         |       |
|---------------------|---------|-------|
| ○                   | 0,0 <=  | 0,1   |
| ●                   | 0,1 <=  | 25,0  |
| ●                   | 25,1 <= | 50,0  |
| ●                   | 50,1 <= | 75,0  |
| ●                   | 75,1 <= | 100,0 |

Die Befallswerte in den einzelnen Versuchsjahren wurden auf der Deutschlandkarte mit unterschiedlichen Farbausprägungen für die verschiedenen Befallsstärken dargestellt. Insgesamt wurden fünf Befallsklassen gebildet, diese sind in der nebenstehenden Abbildung 15 aufgeführt. Es wurden Karten für die drei verschiedenen Versuche angefertigt.

**Abbildung 15: Befallsklassen des TuYV-Befalls in %**

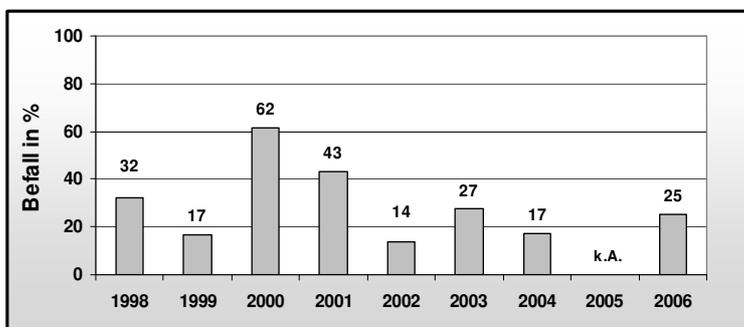
Für den Versuch mit der Saatgutbeizung in den Jahren 1999-2001 und den Versuch mit der Sortenresistenz in den Jahren 2002 bis 2004 wurde jeweils eine Karte angefertigt, für die alle drei Jahre „übereinander“ gelegt wurden, sodass alle Standorte mit den jeweiligen Befallswerten aus allen drei Jahren enthalten sind. Die Karten der einzelnen Jahre befinden sich in Anhang 9-13. Auch für den Versuch im Jahr 2006, in dem die aktuelle Befallssituation festgestellt wurde, wurde eine Karte mit allen 23 Standorten angefertigt. Diese befindet sich in dem entsprechenden Kapitel.

## 4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit ausgewerteten Untersuchungen dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen Versuch mit zwei Beizvarianten in den Jahren 1999 bis 2001 sowie einen Versuch mit einer Sortenresistenz in den Jahren 2002 bis 2004, die von der UFOP und der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (LK-SH) durchgeführt wurden. Zusätzlich werden die Daten des selber im Jahr 2006 durchgeführten Versuchs ausgewertet, bei dem die aktuelle Befallssituation mit dem TuYV aufgezeigt werden soll.

### 4.1 Befallssituation in den einzelnen Jahren

In dem folgenden Diagramm 3 ist der Befall der untersuchten Jahre im Mittel über alle



untersuchten Blattproben dargestellt. Die Befallswerte liegen in diesen acht untersuchten Jahren zwischen 14 % in 2002 und 62 % in 2000.

Diagramm 3: Übersicht über den Befall in Prozent der untersuchten Sorten in den einzelnen Jahren

In der nachfolgenden Tabelle 5 ist der Anteil der untersuchten Proben in den jeweiligen Befallsklassen anhand von Zahlen dargestellt.

Tabelle 5: Absolute und relative Anteile der untersuchten Pflanzen in den einzelnen Befallsklassen in den untersuchten Jahren

| Befallsklassen       | 1998       | 1999       | 2000       | 2001       | 2002       | 2003       | 2004       | 2006       |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0,0 - 0,1            | 11         | 4          | 2          | 1          | 1          | 0          | 4          | 3          |
| 0,1 - 25,0           | 20         | 43         | 13         | 31         | 7          | 6          | 11         | 12         |
| 25,1 - 50,0          | 10         | 8          | 12         | 9          | 2          | 3          | 3          | 4          |
| 50,1 - 75,0          | 5          | 1          | 6          | 14         | 0          | 2          | 1          | 1          |
| 75,1 - 100,0         | 9          | 2          | 32         | 12         | 3          | 0          | 1          | 3          |
| <b>Anzahl Proben</b> | <b>55</b>  | <b>58</b>  | <b>65</b>  | <b>67</b>  | <b>13</b>  | <b>11</b>  | <b>20</b>  | <b>23</b>  |
| <b>in %</b>          |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 0,0 - 0,1            | 20         | 7          | 3          | 1          | 8          | 0          | 20         | 13         |
| 0,1 - 25,0           | 36         | 74         | 20         | 46         | 54         | 55         | 55         | 52         |
| 25,1 - 50,0          | 18         | 14         | 18         | 13         | 15         | 27         | 15         | 17         |
| 50,1 - 75,0          | 9          | 2          | 9          | 21         | 0          | 18         | 5          | 4          |
| 75,1 - 100,0         | 16         | 3          | 49         | 18         | 23         | 0          | 5          | 13         |
| <b>Summe</b>         | <b>100</b> |
| <b>Ø Befall</b>      | <b>32</b>  | <b>17</b>  | <b>62</b>  | <b>43</b>  | <b>14</b>  | <b>27</b>  | <b>17</b>  | <b>25</b>  |

Im oberen Teil der Tabelle sind die absoluten und im unteren Teil die prozentualen Anteile abgebildet. Es fällt auf, dass die Verteilung in den Befallsklassen in den einzelnen Jahren sehr unterschiedlich ist. Die Jahre 1999 und 2000 treten besonders hervor.

In beiden Jahren liegen sehr viele Proben vor, es handelt sich um den Versuch mit den verschiedenen Beizvarianten. Untersucht wurden Pflanzen aus den Landessortenversuchen.

Die Abbildungen 16 und 17 stellen den Virusbefall der Jahre 1999 und 2000 dar. Das Jahr 1999 war insgesamt ein Jahr mit durchgehend geringem Virusbefall ( $\bar{x}$  17 %), wohingegen im darauf folgenden Jahr der Befall mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus sehr hoch war ( $\bar{x}$  62 %). Es fällt auf, dass sowohl in dem Jahr mit geringem Befall, als auch in dem Jahr mit hohem Befall in den südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg die Befallswerte niedrig sind. Die selbe Tendenz lässt sich, bis auf die Untersuchung im Jahr 1998, auch in den anderen Jahre erkennen. In dem Vorversuch 1998 tritt zum Teil auch hoher Befall in Bayern auf. Des Weiteren fällt auf, dass in den mittleren Teilen Deutschlands über die Jahre ein höherer Befall gemessen wurde als im Nordosten. Die Ostküste Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns weist häufig nur geringe Befallswerte auf, wohingegen der Befall an der Westküste tendenziell stärker ist. Die Abbildungen der Jahre 1998 und 2001-2004 befinden sich in Anhang 9-13.

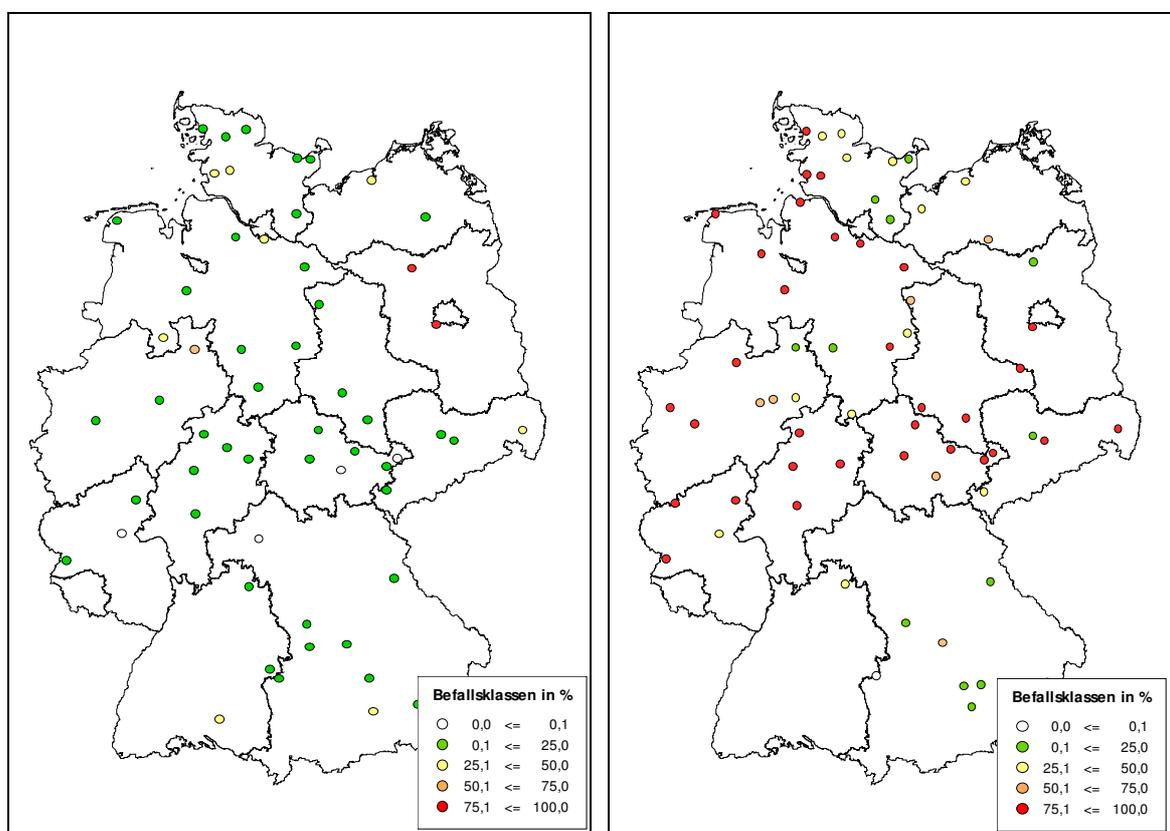


Abbildung 16: TuYV-Befall 1999, geringes und - Abbildung 17: TuYV-Befall 2000, hohes Befallsniveau

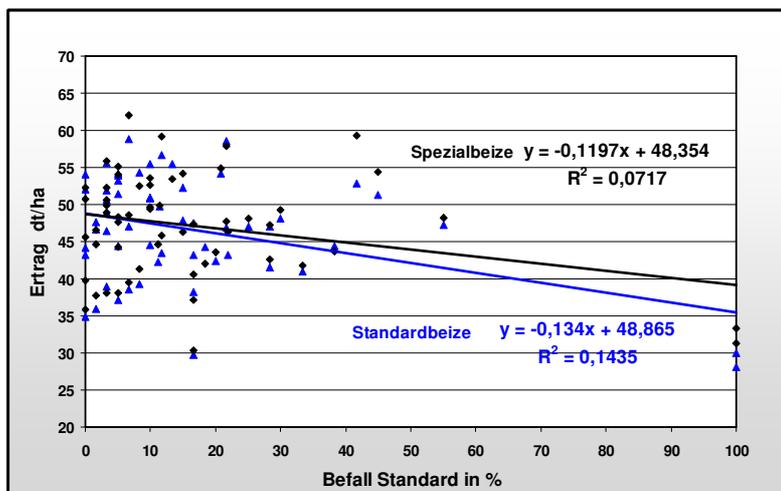
## 4.2 Saatgutbeizung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde für alle drei Jahre des Versuchs mit zwei unterschiedlichen Saatgutbeizungen eine Regressionsanalyse durchgeführt. Hierin wurde geprüft, wie sich der Kornertrag in dt/ha der beiden unterschiedlichen Varianten bei steigendem TuYV-Befall verändert. Andere Merkmale wurden in diesem Versuch nicht ausgewertet. Die Graphik der multiplen Regression selber wird hier nicht dargestellt, da die Trendlinien beider Varianten parallel verlaufen, dem Abstand beider Linien entspricht die mittlere Ertragsdifferenz. So kann nicht dargestellt werden, ob sich der Ertrag bei steigendem Befall unterschiedlich entwickelt bzw. ob die Steigungen beider Geraden voneinander abweichen. Um dies zu veranschaulichen, wurden entsprechende Diagramme angefertigt, in denen zwei einfache Regressionen dargestellt sind. Diese sind jedoch unabhängig von der multiplen Regressionsanalyse, die beispielhaft in Abbildung 14 aufgeführt ist.

### 4.2.1 1999

Die Untersuchungen des Jahres 1999 weisen insgesamt sehr geringe Befallswerte auf, was sich auch im folgenden Diagramm widerspiegelt. Es gibt nur zwei Standorte, an denen sehr hoher Befall gemessen wurde. Demnach ist davon auszugehen, dass die Trendlinien des Ertrages der beiden Beizvarianten durch die Standorte mit 100 % Befall stark beeinflusst werden. Würden die beiden Standorte mit den höchsten Befallswerte herausgenommen werden, bleibt der Ertrag der Variante, die mit 'Oftanol-T' gebeizt wurde, bei steigendem Befall nahezu gleich, während der Ertrag mit der Spezialbeize sogar ansteigt. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht anhand einer Abbildung dargestellt, da es sich nicht um Ausreißer, sondern um tatsächlich gemessene Werte, also um Extremwerte, handelt (SAUERMANN und GRONOW, 2007).

Das folgende Diagramm 4 stellt den Ertrag der beiden Beizvarianten aller untersuchten Standorte in Abhängigkeit vom Befall dar.



**Diagramm 4: Einfache Regression des Ertrages beider Beizvarianten in Abhängigkeit vom Befall der standardgebeizten Variante, 1999**

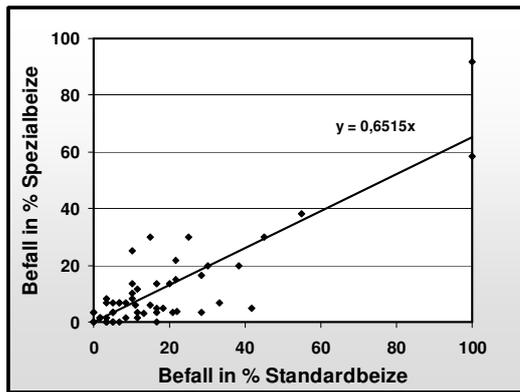
Im vorangegangenen Diagramm ist deutlich zu sehen, dass der Ertrag mit steigendem Befall bei beiden Beizvarianten sinkt. Das Bestimmtheitsmaß ist in beiden Fällen jedoch gering. Das bedeutet, dass der Ertrag nur zu einem geringen Anteil von dem Befall beeinflusst wird. Die Pflanzen, die mit der Standardbeize behandelt wurden, fallen bei steigendem Befall stärker im Ertrag ab als die mit der Spezialbeize behandelten. In Tabelle 6 ist das Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse des Ertrages aufgeführt.

**Tabelle 6: Multiple Regression des Ertrages in Abhängigkeit von Befall und Beizvariante, 1999**

| N = 114          | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 48,5422        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,1144</b> | <b>0,0004</b> |
| Spezialbeize     | <b>0,4643</b>  | <b>0,7133</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,1073</b>  |               |

Die Zahlen zeigen, dass der Ertrag durch den Befall signifikant gesenkt wird. Mit jedem Prozentpunkt höherem Befall, sinkt der Ertrag um 0,114 dt/ha. Bei der Spezialbeize liegen die Erträge um 0,464 dt/ha höher im Vergleich zur Standardbeize, dies ist jedoch nicht statistisch signifikant. Das Bestimmtheitsmaß sagt aus, dass die Ertragsminderung nur zu 10,73 % mit dem Virusbefall und den unterschiedlichen Beizvarianten erklärt wird, der Rest wird durch andere Einflussfaktoren bestimmt.

Wie der Befall durch die beiden untersuchten Beizvarianten verändert wird, wird in Diagramm 5 veranschaulicht.

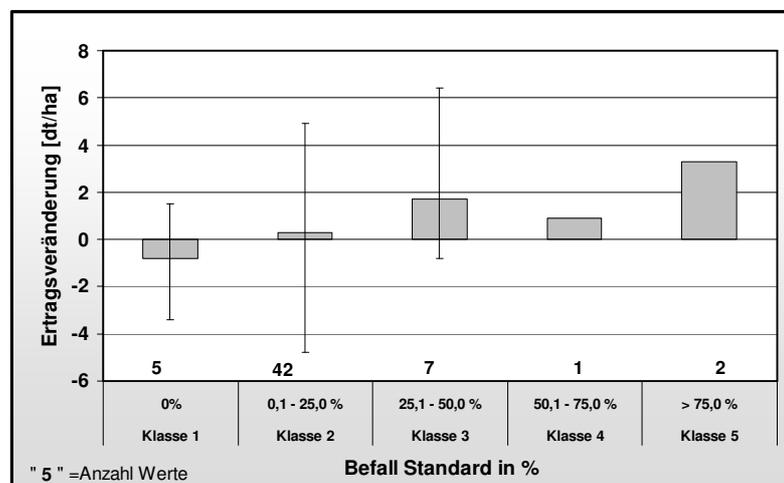


Die Gerade hat eine Steigung die kleiner ist als 1, das bedeutet, dass der Befall durch die Spezialbeize im Gegensatz zu der Standardbeize 'Oftanol-T' reduziert wird. Der durchschnittliche Befall mit der Standardbeize liegt bei 16,4 % gegenüber 10,3 % mit der Spezialbeize. Das bedeutet, dass der Befall durch die Spezialbeize um 37,2 % reduziert

**Diagramm 5: Vergleich des Befalls beider Beizvarianten, 1999**

wird (siehe Tabelle 10). Dieses Ergebnis wurde mit Hilfe eines Zweistichprobentests ermittelt und ist statistisch signifikant.

Die beiden nachfolgenden Diagramme 6 und 7 zeigen die Veränderungen des Befalls bzw. des Ertrages durch die Spezialbeize. Hierfür wurden fünf Befallsklassen gebildet. Die Zahlen unterhalb der Säulen geben die Anzahl der Proben wieder, die in der jeweiligen Befallsklasse liegen. Die eingezeichneten Linien geben die Spannweiten (größter und kleinster Wert) in den einzelnen Klassen an. Die Spannweiten sind zum Teil sehr groß, was eine starke Streuung der Werte bedeutet.



**Diagramm 6: Ertragsveränderung (dt/ha) der Spezialbeize im Vergleich zur Standardbeize in den einzelnen Befallsklassen, 1999 (nach GRONOW et al., 2001)**

Das erste Diagramm macht deutlich, dass im geringeren Befallsbereich die Standardbeize höhere Erträge bringt als die Spezialbeize, die erst im höheren Befallsbereich ihre Wirkung zeigt. Es ist jedoch zu beachten, dass besonders im Bereich mit sehr hohem TuYV-Befall nur wenig Werte liegen, da das Jahr 1999 ein Jahr mit durchgehend geringem Befall war.

Dieselbe Tendenz wie bei der Ertragsveränderung lässt sich in den Veränderungen des Befalls durch die beiden Beizvarianten erkennen (Diagramm 7). Bei geringem Befall ist der

Unterschied zwischen Standard- und Spezialbeize sehr gering, dieser wird mit steigendem Befall zu Gunsten der Spezialbeize größer. Zu beachten ist, dass in Klasse 4 und 5 nur sehr wenige Werte (1,2) vertreten sind.

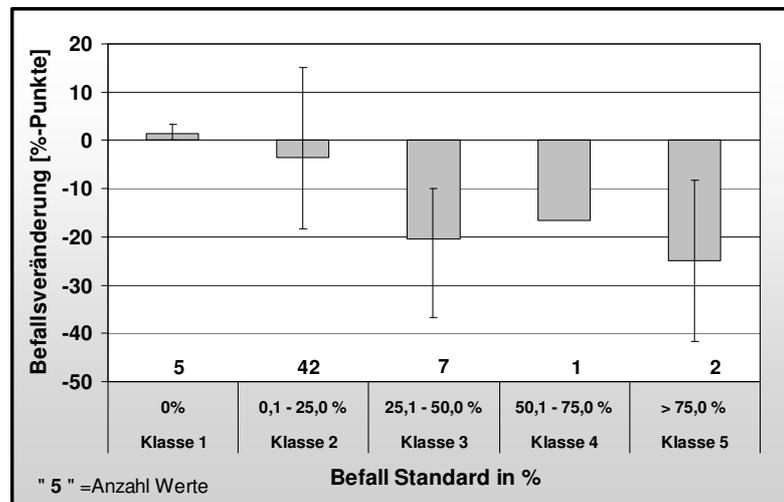


Diagramm 7: Befallsveränderung (%-Punkte) der Spezialbeize im Vergleich zur Standardbeize in den einzelnen Befallsklassen, 1999 (nach GRONOW et al., 2001)

#### 4.2.2 2000

Das Jahr 2000 war mit Durchschnittswerten von 62 % ein Jahr mit starkem Virusbefall. Demnach gibt es, im Gegensatz zum vorangegangenen Jahr, anteilig mehr Werte im hohen Befallsbereich, dies wird im folgenden Diagramm 8 ersichtlich.

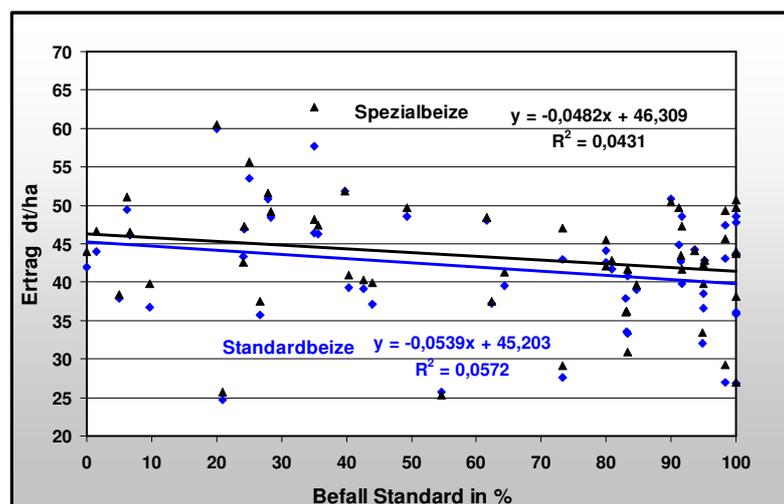


Diagramm 8: Veränderung des Ertrages in dt/ha beider Beizvarianten in Abhängigkeit vom Befall der standardbeizten Variante, 2000

Auch in diesem Jahr ist die Tendenz zu erkennen, dass bei steigendem Befall der Ertrag abnimmt. Die negative Steigung wird durch den Wert -0,051 in den Ergebnissen der multiplen Regressionsanalyse (vgl. Tabelle 7) bestätigt und mit einer sehr hohen

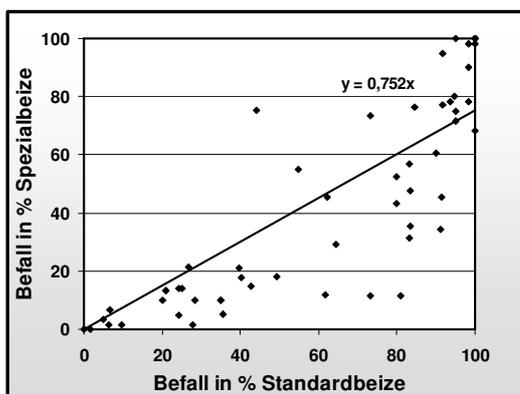
Wahrscheinlichkeit abgesichert (1,86 % Irrtumswahrscheinlichkeit) und ist somit statistisch signifikant.

**Tabelle 7: Multiple Regression des Ertrages in Abhängigkeit von Befall und Beizvariante, 2000**

| N = 112          | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 45,0244        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,0511</b> | <b>0,0186</b> |
| Spezialbeize     | <b>1,4627</b>  | <b>0,3065</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,0584</b>  |               |

Die Geraden beider Beizvarianten verlaufen nahezu parallel. Die Spezialbeize bringt über alle Befallsklassen 1,46 dt/ha höhere Erträge. Es ist jedoch nicht statistisch abgesichert, dass die Spezialbeize besser ist als die Standardbeize (P=0,306). Das Bestimmtheitsmaß ist sehr gering, das heißt, dass nur 5,84 % der Ertragsveränderung mit dem Befall und den beiden Beizvarianten erklärt wird.

Diagramm 9 zeigt die Unterschiede des Befalls der untersuchten Beizvarianten. Auf der Abszisse ist der Befall der Standardbeize ‘Oftanol-T’ und auf der Ordinate der Befall der Spezialbeize abgetragen.



Da die Steigung der Geraden kleiner ist als 1, ist der Befall der mit der Spezialbeize behandelten Pflanzen geringer als bei den mit der Standardbeize behandelten. Die Befallsstärke der spezialgebeizten Variante erreicht nur 75 % des Befalls mit der Standardbeize. Nach dieser Graphik wird der Befall durch die zusätzliche Beize um etwa 25 % reduziert (vgl. Tabelle 10).

**Diagramm 9: Vergleich des Befalls beider Beizvarianten, 2000**

Auch für dieses Jahr wurden Diagramme angefertigt, die die Differenzen zwischen den beiden Beizvarianten im Ertrag und im Befall in den einzelnen Befallsklassen deutlich machen. In Diagramm 10 wird die Veränderung des Ertrages bei steigendem Befall dargestellt, diese schwankt zwischen Standard- und Spezialbeize über alle Befallsklassen hinweg zwischen 1 und 2 dt/ha. Die mit der Spezialbeize behandelten Parzellen bringen höhere Erträge.

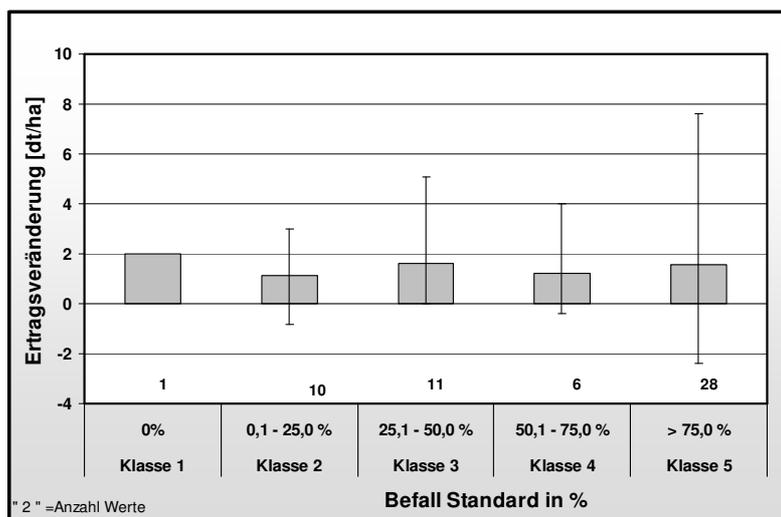


Diagramm 10: Ertragsveränderung (dt/ha) der Spezialbeize im Vergleich zur Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2000 (nach GRONOW et al. 2001)

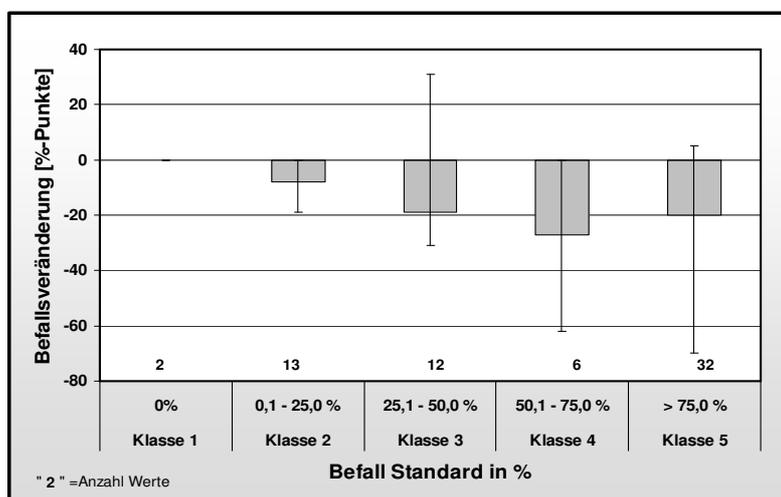
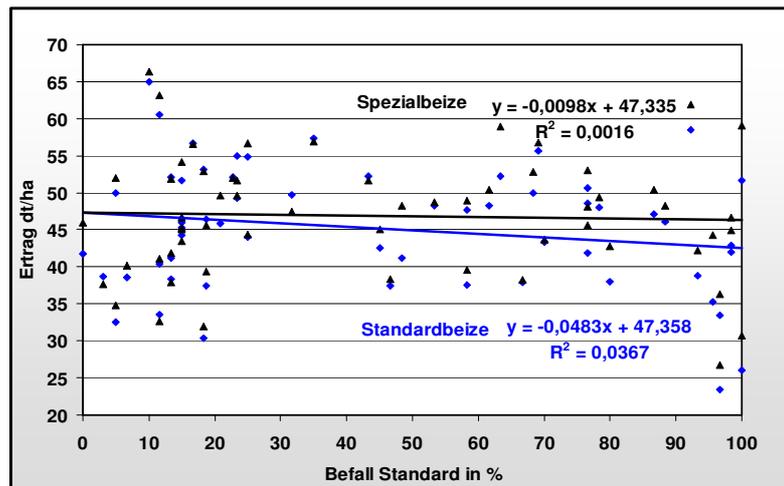


Diagramm 11: Befallsveränderung (%-Punkte) der Spezialbeize im Vergleich zur Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2000 (nach GRONOW et al., 2001)

In Diagramm 11 ist die Befallsveränderung in den unterschiedlichen Befallsklassen dargestellt. Die Differenz zwischen den beiden Beizvarianten vergrößert sich mit steigendem Befall zu Gunsten der Spezialbeize und wird in der Befallsklasse > 75 % wieder geringfügig kleiner. Der Befall der Pflanzen mit TuYV wird durch die Spezialbeize um rund 20 %-Punkte verringert.

#### 4.2.3 2001

Im dritten Jahr der Versuchsserie „Saatgutbeizung“ bewegte sich der durchschnittliche Virusbefall in der Bundesrepublik Deutschland mit 42 % Befall zwischen den beiden ersten Untersuchungsjahren. In Diagramm 12 ist der Ertrag in dt/ha beider Beizvarianten in Abhängigkeit vom Befall der standardgebeizten Variante dargestellt.



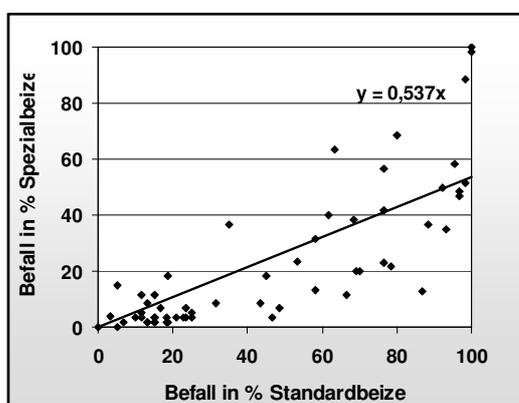
**Diagramm 12: Einfache Regression des Ertrages in dt/ha der beiden Beizvarianten in Abhängigkeit vom Befall der standardgebeizten Variante, 2001**

Der Ertrag sinkt mit steigendem Befall bei beiden Beizvarianten, wobei die Standardbeize stärker abfällt als die Spezialbeize. Diese zeigt im hohen Befallsbereich eine bessere Ertragswirkung. Auch die multiple Regressionsanalyse des Jahres 2001 zeigt, dass der Ertrag bei steigendem Befall sinkt und dass die Spezialbeize einen höheren Ertrag bringt als die Standardbeize (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Multiple Regression des Ertrages in Abhängigkeit von Befall und Beizvariante, 2001**

| N = 118          | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 46,4887        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,0291</b> | <b>0,2104</b> |
| Spezialbeize     | <b>1,7159</b>  | <b>0,2605</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,0243</b>  |               |

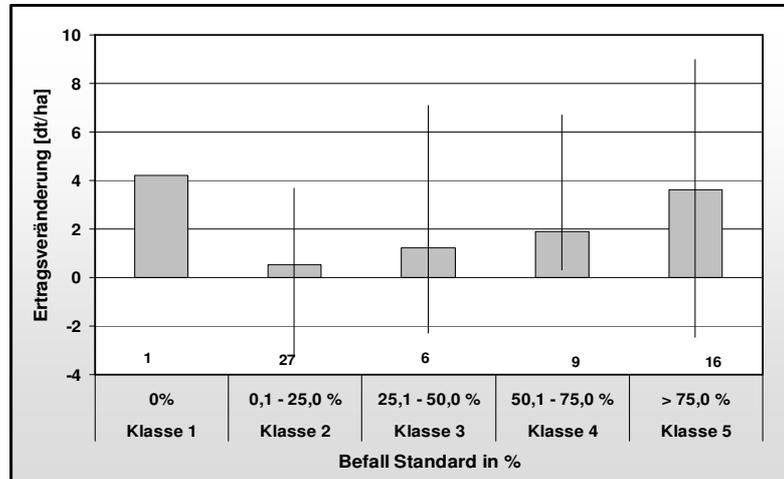
Jedoch bestehen auch hier sehr hohe Irrtumswahrscheinlichkeiten (P-Wert), sodass die Koeffizienten des Befalls und der Beizvariante nicht statistisch signifikant sind. Des Weiteren wird nur ein sehr geringer Anteil der Ertragsveränderung durch den Befall und die verschiedenen Beizen erklärt ( $R^2 = 0,024$ ).



Im nebenstehenden Diagramm sind die Unterschiede der Veränderungen des Befalls durch die Saatgutbehandlung der beiden verschiedenen Beizvarianten abgebildet. Hieraus wird ersichtlich, dass der Befall durch die Spezialbeize im Gegensatz zur Standardbeize reduziert wird. Nach dieser Graphik beträgt die Reduktion des Befalls rund 50 %.

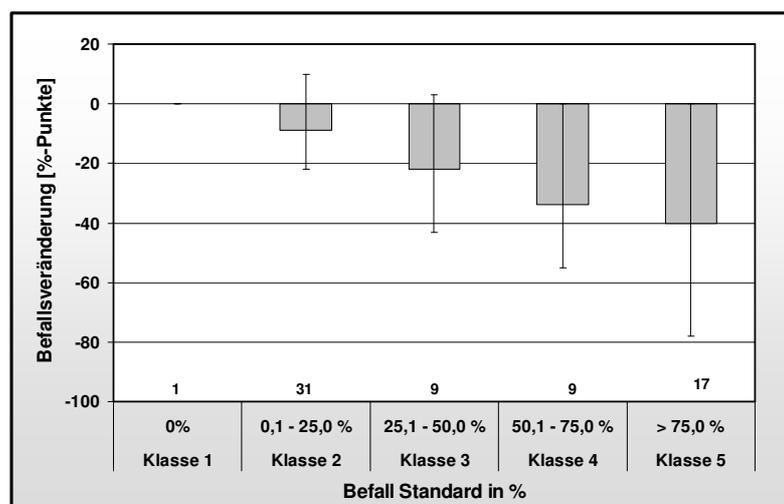
**Diagramm 13: Vergleich des Befalls beider Beizvarianten, 2001**

In den beiden folgenden Diagrammen sind wie in den vorangegangenen Jahren die Ertrags- bzw. Befallsveränderungen in den verschiedenen Befallsklassen dargestellt. Diagramm 14 zeigt die Differenz der Ertragsveränderung zwischen den beiden untersuchten Beizvarianten.



**Diagramm 14: Ertragsveränderung (dt/ha) der Spezialbeize im Vergleich zur Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2001 (nach GRONOW et al., 2001)**

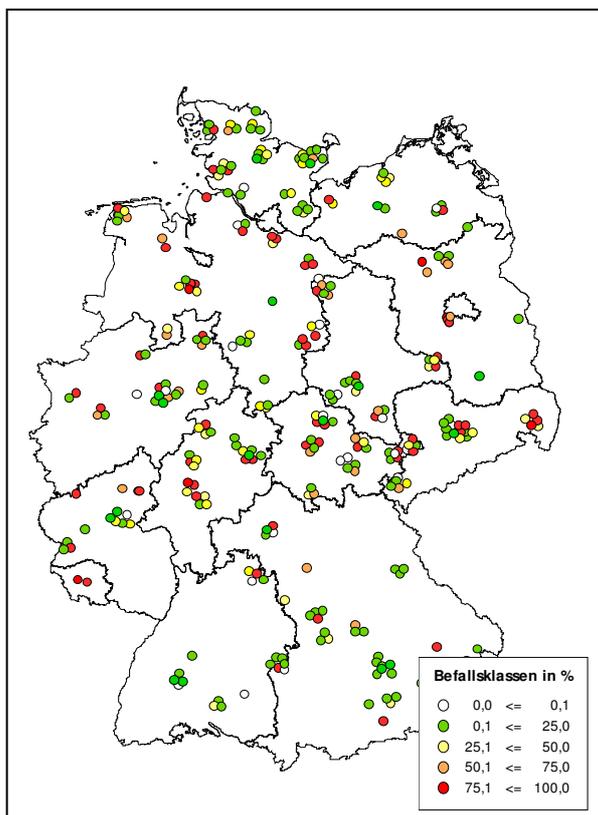
Der größte Anteil an Werten befindet sich in der Klasse 2, in der der Ertrag durch die Standardbeize nur geringfügig verbessert wird (ca. 0,5 dt/ha). In der Befallsklasse 1 befindet sich nur ein Wert, dies sagt nicht viel aus und soll hier nicht weiter beachtet werden. Für die Befallsklassen zwei bis fünf ist zu beobachten, dass sich die Ertragsdifferenz mit steigendem Befall vergrößert und in der Klasse 5 bei nahezu 4 dt/ha liegt. Die Unterschiede des Befalls zwischen den beiden Beizvarianten vergrößern sich ebenfalls mit steigendem Befall (siehe Diagramm 15).



**Diagramm 15: Befallsveränderung (%-Punkte) der Spezialbeize im Vergleich zur Standardbeize in den verschiedenen Befallsklassen, 2001 (nach GRONOW et al., 2001)**

In der Befallsklasse > 75 % wird der Befall durch die Spezialbeize um 40 %-Punkte im Gegensatz zur Standardbeize verringert. Der Befall reduzierende Effekt durch die Spezialbeize verstärkt sich mit steigendem Befall. In den niedrigen Befallsklassen sind nur geringe Unterschiede zwischen beiden Beizvarianten zu verzeichnen.

#### 4.2.4 1999-2001



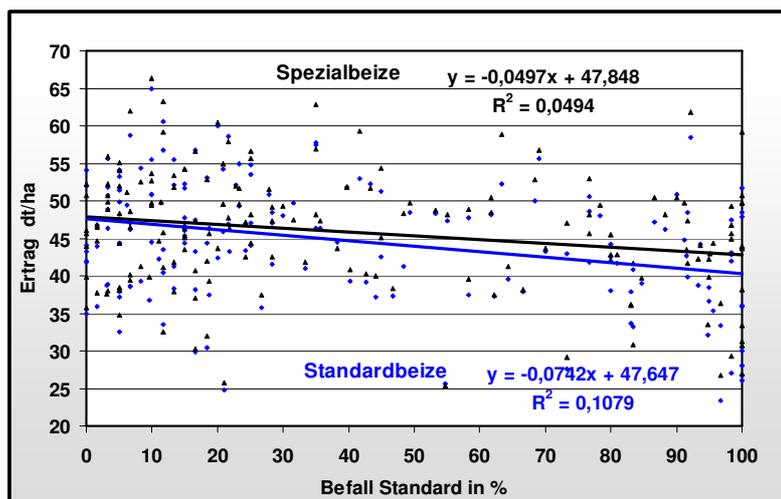
Wie sich die Spezialbeize über alle drei Jahre des Versuches auf den Befall ausgewirkt hat, soll in diesem Kapitel zusammenfassend dargestellt werden.

In der folgenden Abbildung 18 ist der Befall der Jahre 1999-2001 des UFOP-Projektes mit der Sorte 'Mohican', die mit zwei Beizvarianten auf Virusbefall getestet wurde, zusammengefasst. In allen drei Jahren stand die untersuchte Sorte 'Mohican' im LSV (Landessortenversuch). Insgesamt wurden in den einzelnen Jahren jeweils 57 bis 67 Standorte untersucht. In der nebenstehenden Karte sind die unterschiedlichen Befallsstärken mit Hilfe verschiedener Farbausprägungen

**Abbildung 18: TuYV-Befall in den Jahren 1999-2001**

dargestellt (siehe Legende). Es ist zu erkennen, dass im Süden Deutschlands zum größten Teil nur geringe Befallsstärken auftreten. Auch im Norden, besonders an der Ostküste Schleswig-Holsteins und der Küste Mecklenburg-Vorpommerns, ist der Befall meist gering. Im mittleren Bereich des Landes ist häufig sehr starker Befall zu verzeichnen.

In dem folgenden Diagramm 16 ist der Einfluss der Spezialbeize auf den Ertrag in dt/ha der Sorte 'Mohican' in Abhängigkeit vom Befall der Standardbeize über alle drei Versuchsjahre dargestellt. In diese Auswertung gingen die Ergebnisse der Blattuntersuchungen beider Beizvarianten von 172 Standorten ein, das entspricht einer Anzahl von insgesamt 344 Beobachtungen.



**Diagramm 16: Veränderung des Ertrages der beiden Beizvarianten in Abhängigkeit des Befalls der standardgebeizten Variante, 1999-2001**

Der Ertrag nimmt in beiden Beizvarianten mit steigendem Befall ab. Bei der Standardbeize ist die Reduzierung des Ertrages stärker als in der mit der Spezialbeize behandelten Variante.

Um für jedes Jahr einzeln zu ermitteln, welche Beize den höheren Ertrag erzielt hat, wurde ein „Zweistichprobentest bei abhängigen Stichproben“ (Paarvergleichstest) durchgeführt. Hierbei werden die Mittelwerte beider Varianten jedes einzelnen Jahres miteinander verglichen. Das Ergebnis ist in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9: Vergleich des mittleren Kornertrages der beiden Beizvarianten, 1999 bis 2001**

| N = 59 | Kornertrag Standardbeize | Kornertrag Spezialbeize | P-Wert | % Ertrags-Steigerung |
|--------|--------------------------|-------------------------|--------|----------------------|
| 1999   | 35,5                     | 36,8                    | 0,0012 | 3,6                  |
| 2000   | 39,7                     | 40,1                    | 0,0525 | 0,8                  |
| 2001   | 38,4                     | 39,9                    | 0,0071 | 3,8                  |

In allen drei untersuchten Jahren liegt der Kornertrag der mit der Spezialbeize behandelten Variante signifikant über dem der standardgebeizten Variante. Die mittlere Ertragssteigerung durch die zusätzliche Beize über die drei Jahre liegt bei 2,7 %, was in etwa 1 dt/ha entspricht.

Der selbe Test wie in Tabelle 9 wurde für den mittleren Befall beider Beizvarianten durchgeführt und in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

**Tabelle 10: Vergleich des mittleren Befalls der beiden Beizvarianten, 1999 bis 2001**

| N = 59 | Befall Standardbeize | Befall Spezialbeize | P-Wert | % Befalls-Reduktion |
|--------|----------------------|---------------------|--------|---------------------|
| 1999   | 16,4                 | 10,3                | 0,0018 | 37,2                |
| 2000   | 62,9                 | 44,7                | 0,0017 | 28,9                |
| 2001   | 45,2                 | 22,3                | 0,0071 | 50,7                |

Tabelle 10 macht deutlich, dass der Befall in allen drei Jahren durch die Spezialbeize signifikant reduziert wurde. Es sind die mittleren Befallswerte beider Varianten in den einzelnen Jahren aufgeführt. Die mittlere Befallsreduktion durch die Spezialbeize in allen drei Jahren liegt bei 38,9 %.

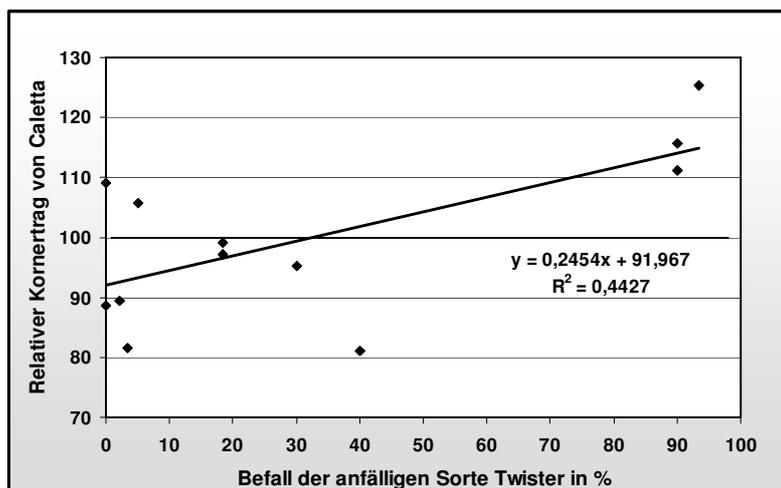
### 4.3 Sortenresistenz

Im Jahr 2002 stand die Sorte 'Caletta' an 12 Standorte in elf Bundesländern im EUV und konnte in die Auswertungen eingehen. Im zweiten Versuchsjahr stand die Sorte an elf Standorte in acht Bundesländern im Sortiment des BSV bzw. EUV. Im dritten und letzten Versuchsjahr des Versuchs auf Sortenresistenz wurde die Sorte 'Caletta' nur noch im Sortiment von 20 Standorten des LSV einiger interessierter Landwirtschaftskammern und -Ämter in vier neuen Bundesländern angebaut und nicht mehr im ganzen Bundesgebiet. In den beiden ersten Versuchsjahren sind Daten über Kornertrag, Ölertrag, Ölgehalt, Proteingehalt, GSL-Gehalt, TKG und Pflanzenlänge vorhanden. Im dritten Jahr liegen nur die Ergebnisse des Kornertrags vor.

#### 4.3.1 2002

Für das Jahr 2002 ist im Vergleich zu den anderen im Rahmen dieser Arbeit ausgewerteten Jahren ein geringer Virusbefall zu verzeichnen, dieser lag im Durchschnitt bei 14 %. Im Folgenden ist der Einfluss des TuYV-Befalls auf die einzelnen Ertragsparameter mit Hilfe verschiedener Darstellungen aufgeführt.

Um darzustellen, wie sich der **Kornertrag** in dt/ha von 'Caletta' im Vergleich zu den anfälligen Sorten bei steigendem Befall verhält, wurde für jeden der 12 Standorte die anfällige Sorte 'Twister' relativ = 100 gesetzt und der Ertrag von 'Caletta' im Vergleich dazu dargestellt



**Diagramm 17: Kornertrag relativ von 'Caletta' in Abhängigkeit vom Befall der anfälligen Sorte 'Twister', 2002 (Ertrag 'Twister' = 100%)**

Diagramm 17 zeigt, dass der Ertrag der Sorte 'Caletta' bei steigendem Befall relativ zur anfälligen Sorte ansteigt.

In der folgenden Tabelle 11 ist das Ergebnis der multiplen Regression des Kornertrages der Sorte 'Twister' im Vergleich zur resistenten Sorte 'Caletta' dargestellt. In die Berechnungen gingen die Mittelwerte der vier Wiederholungen von 12 Standorten ein.

**Tabelle 11: Multiple Regression des Ertrages dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002**

| N = 24           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 35,5383        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,0644</b> | <b>0,0568</b> |
| resistente Sorte | <b>1,1255</b>  | <b>0,6260</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,1702</b>  |               |

Die Regressionsanalyse zeigt, dass der Kornertrag in dt/ha durch den TuYV-Befall signifikant negativ beeinflusst wird. Der Kornertrag sinkt mit jedem Prozentpunkt höheren Befalls um 0,064 dt/ha. Des Weiteren sagt die Regressionsanalyse aus, dass die resistente Sorte tendenziell einen höheren Ertrag aufweist als die anfällige Sorte, dieses Ergebnis ist jedoch nicht statistisch signifikant. Insgesamt werden 17 % der Ertragsveränderung durch den Befall und die beiden unterschiedlichen Sorten beeinflusst ( $R^2 = 0,17$ ).

Neben dem Kornertrag werden auch noch andere Ertragsparameter durch den TuYV-Befall mehr oder weniger stark beeinflusst. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Regressionsanalysen des Ölertrages, Ölgehaltes, Proteingehaltes, TKGs, GSL-Gehaltes und der Pflanzenlänge aufgeführt.

Die folgende Tabelle beinhaltet das Ergebnis der multiplen Regression des **Ölertrages** in dt/ha in Abhängigkeit von dem TuYV-Befall und der Sorte.

**Tabelle 12: Multiple Regression des Ölertrages in dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002**

| N = 24           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 15,3110        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,0294</b> | <b>0,0778</b> |
| resistente Sorte | <b>0,7080</b>  | <b>0,5375</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,1543</b>  |               |

Der Ölertrag wird durch den Virusbefall schwach signifikant reduziert. Bei einem Prozent steigendem Befall sinkt der Ölertrag um 0,029 dt/ha (vgl. Tabelle 12). Zwischen der anfälligen als auch der resistenten Sorte bestehen keine signifikanten Unterschiede.

Für die Veränderung des **Ölgehalt** in Prozent bei steigendem Virusbefall wurde eine multiple Regression des Ölgehaltes in Abhängigkeit des Befalls und der Sorte gerechnet. Diese ergab, dass der Ölgehalt durch den Befall mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus nicht signifikant beeinflusst wird. Tendenziell hat die resistente Sorte 'Caletta' einen höheren Ölgehalt, jedoch ist dies nicht statistisch signifikant.

Wie sich der **Proteingehalt** in Prozent der beiden untersuchten Sorten bei steigendem Befall der anfälligen Sorte verhält, zeigt die folgende Tabelle.

**Tabelle 13: Multiple Regression des Proteingehaltes in % in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002**

| N = 24           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 18,5875        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>0,0019</b>  | <b>0,7795</b> |
| resistente Sorte | <b>-0,8833</b> | <b>0,0794</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,1421</b>  |               |

Der Proteingehalt wird durch den TuYV-Befall ebenfalls nicht signifikant beeinflusst. Die resistente Sorte weist schwach signifikant einen geringeren Proteingehalt auf als die anfällige Sorte 'Twister'.

Des Weiteren wurde das **TKG** in Gramm und seine mögliche Veränderung durch den Virusbefall untersucht. Insgesamt konnten 20 Beobachtungen in die Auswertungen miteinbezogen werden, das heißt, es wurden nur die Ergebnisse von zehn Standorten ausgewertet. Das Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse befindet sich in der folgenden Tabelle 14.

**Tabelle 14: Multiple Regression des TKG in g in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002**

| N = 20           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 4,4754         | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>0,0036</b>  | <b>0,1307</b> |
| resistente Sorte | <b>-0,4800</b> | <b>0,0113</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,3838</b>  |               |

Das TKG wird durch den Virusbefall geringfügig erhöht. Der P-Wert liegt bei 0,13, was bedeutet, dass dieses Ergebnis nicht signifikant ist. Die Sorte ‘Caletta’ hat statistisch abgesichert ein geringeres TKG als die Sorte ‘Twister’.

Auch die Veränderung der **Pflanzenlänge** in Zentimetern wurde bei steigendem Virusbefall der anfälligen Sorte untersucht. Insgesamt ist die Sorte ‘Caletta’ eine längere Sorte als die anfällige Sorte ‘Twister’. Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse der Pflanzenlänge in Abhängigkeit von Befall und Sorte. In die Auswertung gingen elf Standorte ein, was einer Anzahl von 22 Beobachtungen entspricht, da zwei Sorten untersucht wurden. Die multiple Regression ergab, dass die Pflanzenlänge durch den Virusbefall und die Sorte nicht signifikant beeinflusst wird.

Wie sich der **GSL-Gehalt** bei steigendem Virusbefall verändert, ist in Tabelle 15 aufgeführt.

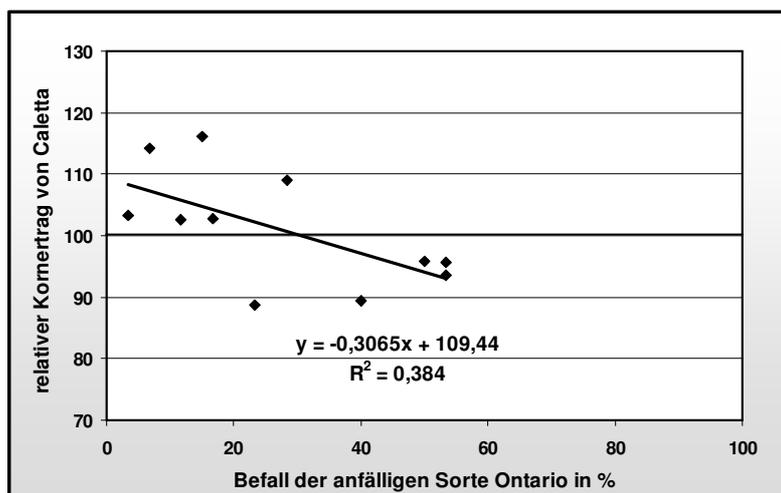
**Tabelle 15: Multiple Regression des GSL-Gehaltes in  $\mu\text{mol}$  in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2002**

| N = 22           | Koeffizienten   | P-Wert         |
|------------------|-----------------|----------------|
| Schnittpunkt     | 14,65736        | 0,00000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,00836</b> | <b>0,39407</b> |
| resistente Sorte | <b>-1,51667</b> | <b>0,03798</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,21236</b>  |                |

Der GSL-Gehalt ist bei der Sorte ‘Caletta’ signifikant geringer als bei der anfälligen Sorte ‘Twister’. Tendenziell wird der GSL-Gehalt durch den Virusbefall reduziert, dieses Ergebnis ist jedoch nicht statistisch signifikant. Das Bestimmtheitsmaß liegt bei 0,21, was bedeutet, dass etwa 21 % der Veränderung des GSL-Gehaltes durch die Sorte und den Virusbefall beeinflusst wird, der weitaus größere Teil der Veränderung wird durch andere Einflussfaktoren hervorgerufen.

#### 4.3.2 2003

Im Jahr 2003 lag der durchschnittliche Befall der Rapsbestände mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus an den untersuchten Standorte bei 27 % (vgl. Diagramm 1). PAETSCH und Mitarbeiter (2004) fanden bei Untersuchungen heraus, dass in diesem Jahr der Infektionsdruck mit dem Virus sehr gering war und somit die Wirksamkeit der Insektizidmaßnahmen ausgereicht haben, den Befall einzudämmen. Die Ergebnisse der Auswertungen sind im Folgenden anhand von einem Diagramm und einer Tabelle dargestellt. In Diagramm 18 ist der Einfluss des Virusbefalls auf den relativen Körnertrag der resistenten Sorte ‘Caletta’ im Vergleich zu der anfälligen Sorte ‘Ontario’ graphisch abgebildet.



**Diagramm 18: Kornertrag relativ von 'Caletta' in Abhängigkeit vom Befall der anfälligen Sorte 'Ontario', 2003 (Ertrag 'Ontario' = 100%)**

Bei steigendem Befall sinkt der relative Kornertrag der Sorte 'Caletta' im Vergleich zur anfälligen Sorte 'Ontario'.

In Tabelle 16 ist das Ergebnis der multiplen Regression des absoluten Kornertrages in dt/ha in Abhängigkeit von Sorte und Befall dargestellt.

**Tabelle 16: Multiple Regression des Ertrages in dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003**

| N = 22           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 27,0939        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>0,2256</b>  | <b>0,0105</b> |
| resistente Sorte | <b>-0,1864</b> | <b>0,9487</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,2977</b>  |               |

Der absolute Kornertrag steigt signifikant mit steigendem Befall. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Sorten. Insgesamt werden 30 % der Ertragsveränderung durch den Befall und die Sorte erklärt, der Rest der Veränderung wird durch andere Faktoren beeinflusst.

Neben der Veränderung des Kornertrages, wurde der Einfluss des Virusbefalls zusätzlich noch bei anderen Ertragsparametern untersucht. Zu diesen gehören der Ölertrag, Ölgehalt, Proteingehalt, TKG, GSL-Gehalt und die Pflanzenlänge.

Die Veränderung des **Ölertrages** der beiden Sorten 'Caletta' und 'Ontario' im Jahr 2003 wurden mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse errechnet und in der folgenden Tabelle 17 dargestellt.

**Tabelle 17: Multiple Regression des Ölertrages in dt/ha in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003**

| N = 22           | Koeffizienten | P-Wert        |
|------------------|---------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 11,0760       | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>0,1149</b> | <b>0,0049</b> |
| resistente Sorte | <b>0,6346</b> | <b>0,6303</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,3534</b> |               |

Wie die Tabelle zeigt, wird der Ölertrag in dt/ha durch den Befall mit TuYV signifikant positiv beeinflusst. Bei jedem Prozentpunkt stärkerem Virusbefall steigt der Ölertrag um 0,11 dt/ha. Zwischen den beiden Sorten besteht kein signifikanter Unterschied.

Des Weiteren ist die Beziehung zwischen **Ölgehalt** in Prozent und Virusbefall beider Sorten für sich in einer einfachen Regressionsanalyse dargestellt (s. Tabelle 18).

**Tabelle 18: Multiple Regression des Ölgehaltes in % in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003**

| N = 22           | Koeffizienten | P-Wert        |
|------------------|---------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 41,7899       | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>0,0388</b> | <b>0,0111</b> |
| resistente Sorte | <b>1,9182</b> | <b>0,0010</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,5464</b> |               |

Der Ölgehalt in Prozent wird durch den Virusbefall signifikant positiv beeinflusst. Mit jedem Prozentpunkt steigendem Befall nimmt der Ölgehalt um 0,039 %-Punkte zu. Weiterhin ist abzulesen, dass 'Caletta' einen signifikant höheren Ölgehalt aufweist als 'Ontario'. Der Schnittpunkt, also der Ölgehalt ohne TuYV-Befall, liegt bei 41,78.

Im Folgenden ist das Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse des **Proteingehaltes** in Prozent aufgeführt. Bei diesem Ertragsparameter konnten im Gegensatz zu den meisten anderen Merkmalen, nur zehn Standorte ausgewertet werden. Da an jedem Standort zwei Werte vorhanden sind, gingen insgesamt 20 Beobachtungen in die Statistik ein.

**Tabelle 19: Multiple Regression des Proteingehaltes in % in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003**

| N = 20           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 18,9720        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,0417</b> | <b>0,0064</b> |
| resistente Sorte | <b>-0,2600</b> | <b>0,6137</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,3681</b>  |               |

Der Proteingehalt wird durch den Virusbefall signifikant reduziert. Zwischen den Sorten bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Veränderung des Proteingehaltes. Es wird 36,8 % der Veränderung durch die Sorte und den TuYV-Befall erklärt.

In die Auswertungen des **Tausendkorngewichtes** in Gramm gingen ebenfalls nur zehn Standorte ein, das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 20: Multiple Regression des TKG in g in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003**

| N = 20           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 4,2323         | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>0,0272</b>  | <b>0,0003</b> |
| resistente Sorte | <b>-0,5050</b> | <b>0,0403</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,5972</b>  |               |

Das TKG wird durch den Virusbefall um 0,03 g pro Prozentpunkt steigendem Befall erhöht. Die Steigerung des TKG bei steigendem Virusbefall ist statistisch signifikant. Die Sorte 'Caletta' hat ein statistisch abgesichert geringeres TKG als 'Ontario'. Insgesamt werden 59,7 % der Veränderung des TKGs mit der Sorte und dem Virusbefall erklärt.

Tabelle 21 zeigt das Ergebnis der multiplen Regression der **Pflanzenlänge** in Abhängigkeit von Befall und Sorte.

**Tabelle 21: Multiple Regression der Pflanzenlänge in cm in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003**

| N = 20           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 112,5597       | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>0,4237</b>  | <b>0,1366</b> |
| resistente Sorte | <b>16,5000</b> | <b>0,1114</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,2364</b>  |               |

Die Pflanzenlänge wird durch den Virusbefall nicht signifikant beeinflusst. Tendenziell wird sie mit jedem Prozentpunkt steigendem Befall um 0,42 cm erhöht. Zwischen den Sorten gibt es keinen statistisch abgesicherten Unterschied, tendenziell weist die Sorte 'Caletta' aber größere Pflanzenlängen auf als 'Ontario'.

Wie sich der **GSL-Gehalt** bei steigendem Virusbefall verändert, ist in Tabelle 22 veranschaulicht.

**Tabelle 22: Multiple Regression des GSL-Gehaltes in Abhängigkeit von Befall und Sorte, 2003**

| N = 18           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 12,2342        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,0376</b> | <b>0,1240</b> |
| resistente Sorte | <b>-0,2444</b> | <b>0,7769</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,1544</b>  |               |

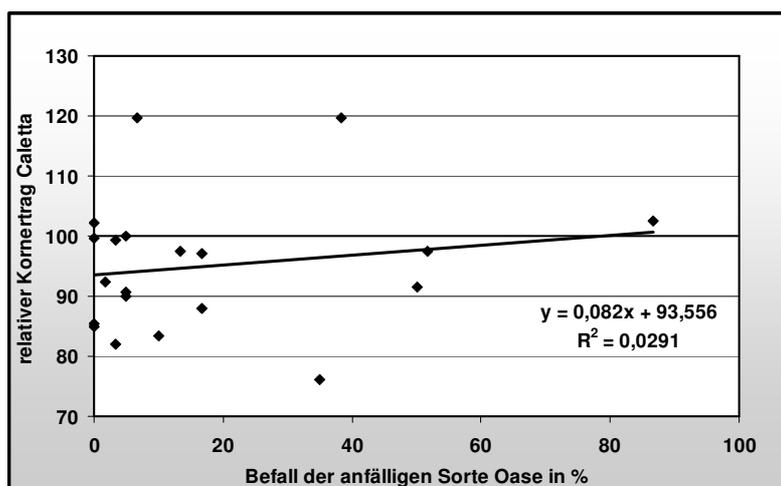
Tendenziell wird der GSL-Gehalt bei steigendem Befall gesenkt, jedoch ist dieses Ergebnis nicht statistisch signifikant. Zwischen der anfälligen und der resistenten Sorte bestehen keine signifikanten Unterschiede. Es werden etwa 15 % der Veränderung des GSL-Gehaltes durch den steigenden Virusbefall und die Sorte erklärt, der Rest wird durch andere Faktoren beeinflusst.

### 4.3.3 2004

Im Jahr 2004 wurde die Sorte 'Caletta' nicht mehr bundesweit angebaut. Die Virusuntersuchungen wurden nur von einigen interessierten Länderdienststellen in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Sachsen und Hessen im

Landessortenversuch durchgeführt. Als anfällige Sorte wurde die Sorte 'Oase' verwendet, diese stand aufgrund ihrer vergleichbaren Pflanzenlänge ebenfalls im Teilsortiment „Langstrohige Liniensorte“. Somit stehen die beiden untersuchten Sorten in enger Nachbarschaft und die Befallssituationen können miteinander verglichen werden (LÜTKEMEIER und SAUERMAN, 2004).

Die Untersuchungen zeigen, dass die Rapsbestände im Jahr 2004 einen durchschnittlichen Virusbefall von 17 % aufweisen, dieser ist im Vergleich zu den anderen ausgewerteten Jahren als relativ gering einzustufen. In diesem Jahr wurden nur die Ertragsergebnisse ausgewertet, die anderen Merkmale standen nicht für diese Arbeit zur Verfügung.



**Diagramm 19: Kornertrag relativ 'Caletta' in Abhängigkeit vom Virusbefall der anfälligen Sorte 'Oase', 2004 (Ertrag 'Oase' = 100%)**

Das Diagramm 19 zeigt den relativen Kornertrag der resistenten Sorte 'Caletta' im Vergleich zu der anfälligen Sorte 'Oase'. Der Kornertrag von 'Caletta' steigt bei steigendem Befall im Verhältnis zur anfälligen Sorte, erreicht jedoch nur sehr knapp deren Ertragsniveau. Es werden allerdings nur 2,9 % der Ertragsveränderung durch den Befall erklärt.

'Caletta' hat einen geringeren Ertrag als 'Oase'. Die Ergebnisse dieses Jahres sind statistisch nicht signifikant und werden aus diesem Grunde nicht anhand einer Tabelle dargestellt. Der Ertrag wird ebenfalls nicht signifikant durch den Virusbefall beeinflusst, es handelt sich lediglich um Tendenzen. Auch das Bestimmtheitsmaß ist sehr gering, es werden nur ein kleiner Teil der Veränderung des Ertrages durch den Virusbefall und die Sorte beeinflusst, der weit größere Anteil wird durch andere Faktoren bestimmt.

#### 4.3.4 2002-2004

Die Ergebnisse des Versuches auf Sortenresistenz in den Jahren 2002 bis 2004 soll im Folgenden zusammenfassend über alle drei Versuchsjahre dargestellt werden.

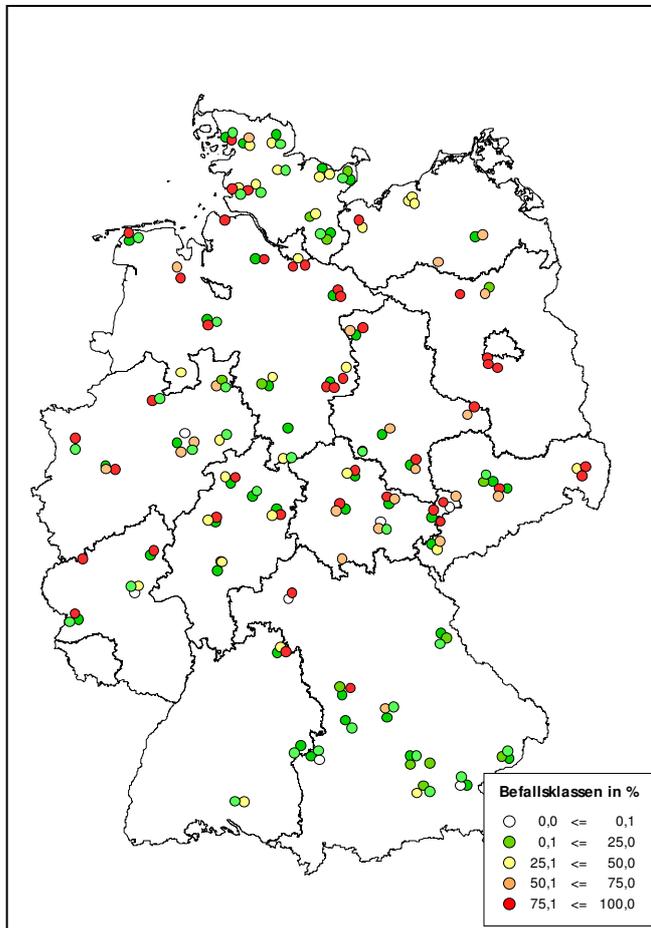
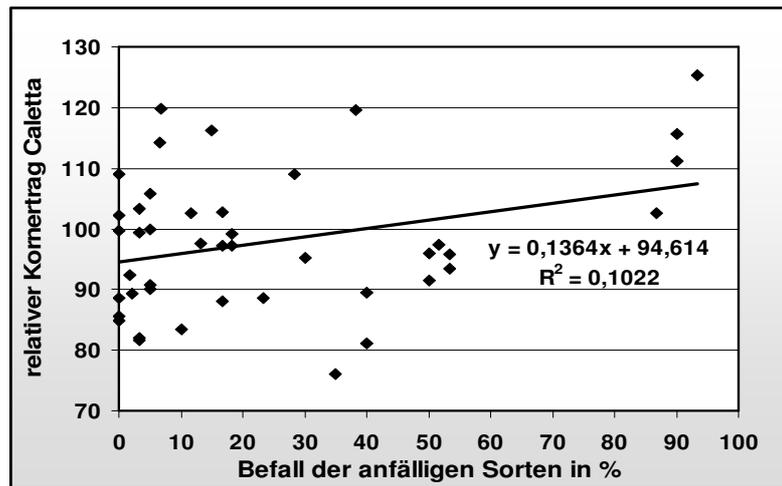


Abbildung 19: TuYV-Befall in den Jahren 2002-2004

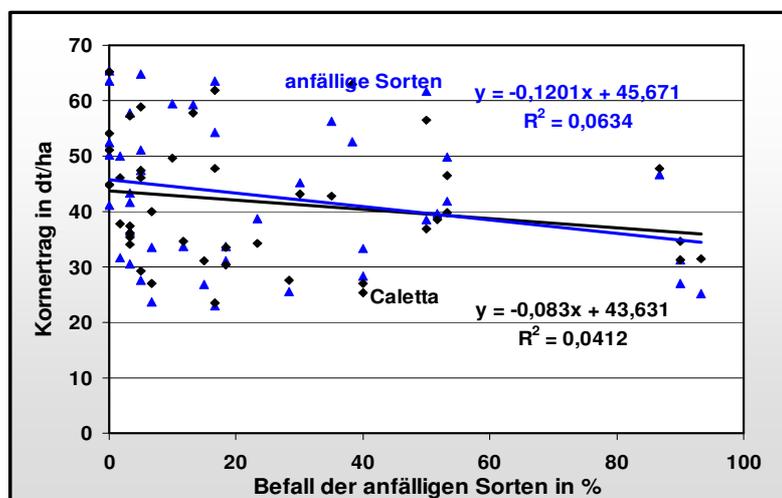
Die Standorte der Resistenzversuche mit der Sorte 'Caletta' sind in Abbildung 19 anhand einer Landkarte dargestellt. Die unterschiedlichen Befallswerte in allen drei Versuchsjahren sind mit entsprechenden Farbausprägungen (s. Legende) als Punkte in der Karte gekennzeichnet. Die Befallswerte der Jahre 2002 bis 2004 sind an der Ostküste Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns wie auch im Süden des Landes auffällig gering. An der Westküste der nördlichen Bundesländer und auch im mittleren Bereich Deutschlands, ist zum Teil hoher Befall zu verzeichnen.

Wie auch in den einzelnen Jahren, wurde ein Diagramm über alle drei Jahre angefertigt, welches die relative Veränderung des Kornertrages von 'Caletta' im Vergleich zu den untersuchten anfälligen Sorten in Abhängigkeit vom verhält. In die Untersuchungen gingen insgesamt 86 Beobachtungen ein, das entspricht 43 Standorten.



**Diagramm 20: Kornertrag relativ 'Caletta' Abhängigkeit vom Befall der anfälligen Sorten über die Jahre 2002-2004**

Das Diagramm macht deutlich, dass die Sorte 'Caletta' bei steigendem Befall im Vergleich zu den anfälligen Sorten relativ besser wird. Ab einem Befall von 40 % liegen die Kornerträge der resistenten Sorte über dem der untersuchten anfälligen Sorten. Wie sich der absolute Kornertrag bei steigendem Befall verändert, wird in Diagramm 21 veranschaulicht.



**Diagramm 21: Einfache Regression des Ertrages beider Sorten im Vergleich zum Befall der anfälligen Sorten in den Jahren 2002-2004**

Der Kornertrag in dt/ha sinkt bei den anfälligen Sorten als auch bei der Sorte 'Caletta' bei steigendem TuYV-Befall. Die negative Steigung der anfälligen Sorte ist größer, das bedeutet, dass ihr Ertrag bei Virusbefall stärker abfällt als bei 'Caletta'.

Um dieses Ergebnis in Zahlen zu verdeutlichen, wurde eine multiple Regression gerechnet (Tabelle 23). Diese beschreibt die Abhängigkeit des Kornertrages von den beiden untersuchten Sorten und vom Virusbefall der anfälligen Sorten.

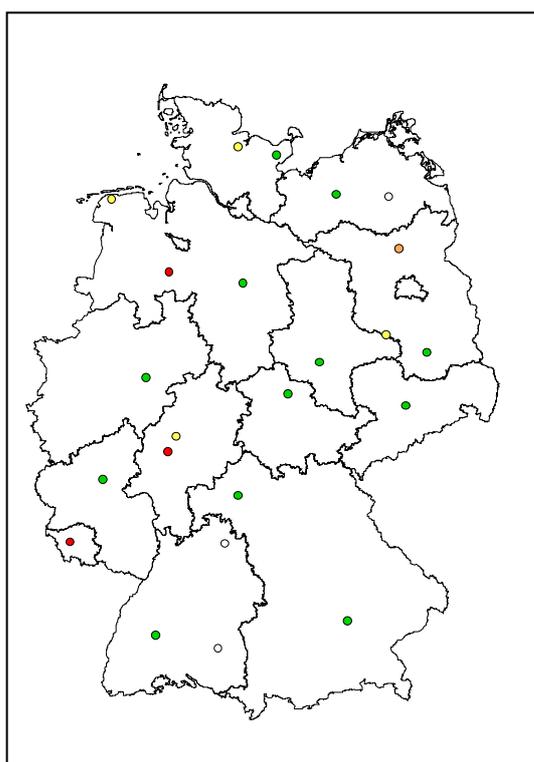
**Tabelle 23: Multiple Regression des Kornertrages in dt/ha der anfälligen Sorten im Vergleich zu 'Caletta' in den Jahren 2002-2004**

| N = 86           | Koeffizienten  | P-Wert        |
|------------------|----------------|---------------|
| Schnittpunkt     | 45,2204        | 0,0000        |
| TuYV-Befall      | <b>-0,1015</b> | <b>0,0353</b> |
| resistente Sorte | <b>-1,1389</b> | <b>0,6561</b> |
| Bestimmtheitsmaß | <b>0,0544</b>  |               |

Der Ertrag wird über alle drei Versuchsjahre signifikant durch den Virusbefall verringert. Mit jedem Prozentpunkt steigendem Befall nimmt der Ertrag um 0,1 dt/ha ab. Durchschnittlich hat die resistente Sorte 'Caletta' geringere Erträge gebracht, dieses Ergebnis ist aber nicht statistisch abgesichert. Das Bestimmtheitsmaß liegt bei 0,054, das bedeutet, dass nur 5,4 % der Ertragsveränderung durch die Sorte und den Virusbefall erklärt sind, der weit größere Anteil der Veränderung wird durch andere Faktoren beeinflusst.

#### 4.4 Aktuelle Befallssituation 2006

Im Jahr 2006 wurden Blattproben von 23 Standorten in 13 Bundesländern auf den Befall von TuYV untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Tabelle 24 dargestellt.



Befallsklassen in %, Anzahl

- 0 ≤ 0,1 (3)
- 0,1 ≤ 25 (12)
- 25,1 ≤ 50 (4)
- 50,1 ≤ 75 (1)
- 75,1 ≤ 100 (3)

Es wurden fünf Befallsklassen gebildet. An drei Standorten war kein Befall vorhanden, an 12 Standorten lag der Befall in der Befallsklasse 0,1 bis 20 %. Diese Klasse macht im Jahr 2006 den größten Anteil aus.

**Abbildung 20: TuYV-Befall im Jahr 2006**

Weitere acht Standorte befinden sich in den drei Klassen mit stärkerem TuYV-Befall, welcher im Durchschnitt bei 25 % lag und im Vergleich zu den anderen untersuchten Jahren relativ niedrig ist. Da es sich im Vergleich zu den beiden vorangegangenen

Versuchen nur um wenige Werte handelt, ist es schwer, eine Aussage über die Verteilung der Befallsklassen zu treffen. Die wenigen Standorte, an denen sehr hoher Befall gemessen wurde (75,1 bis 100 %), befinden sich im Saarland, Niedersachsen und Hessen. Der im Süden gemessene Befall ist durchgehend gering. Mittlerer Befall wurde in Niedersachsen, Brandenburg, Schleswig-Holstein und Hessen gemessen.

Um einen Überblick über die einzelnen Standorte zu bekommen, die Blattproben zur Virusuntersuchung ins Labor nach Kiel geschickt haben, dient die folgende Tabelle 24. Hier ist das Ergebnis der Untersuchungen dargestellt. Die Einteilung in Befallsklassen erfolgte wie in der graphischen Darstellung. Bei den Befallswerten der einzelnen Standorte handelt es sich um Mittelwerte aus den vier Wiederholungen. Ein Überblick über die gesamten Ergebnisse der Virusuntersuchung befindet sich in Anhang 14.

**Tabelle 24: Ergebnisse der Testung von Winterraps auf TuYV an 23 Orten**

| Standort          | Bundesland             | % befallene Pflanzen | Befallsklassen |
|-------------------|------------------------|----------------------|----------------|
| Dieterskirch      | Baden-Württemberg      | 0,0                  | 0%             |
| Boxberg           | Baden-Württemberg      | 0,0                  | 0%             |
| Tützpatz          | Mecklenburg-Vorpommern | 0,0                  | 0%             |
| Bösingen          | Baden-Württemberg      | 1,7                  | 0,1 - 25,0 %   |
| Oberhummel        | Bayern                 | 1,7                  | 0,1 - 25,0 %   |
| Walbeck           | Sachsen-Anhalt         | 1,7                  | 0,1 - 25,0 %   |
| Kirchengel        | Thüringen              | 5,0                  | 0,1 - 25,0 %   |
| Uhler             | Rheinland-Pfalz        | 6,7                  | 0,1 - 25,0 %   |
| Futterkamp        | Schleswig-Holstein     | 11,7                 | 0,1 - 25,0 %   |
| Nossen            | Sachsen                | 11,7                 | 0,1 - 25,0 %   |
| Boldebuck         | Mecklenburg-Vorpommern | 13,3                 | 0,1 - 25,0 %   |
| Celle-Altenhagen  | Niedersachsen          | 15,6                 | 0,1 - 25,0 %   |
| Berlingsen        | Nordrhein-Westfalen    | 15,6                 | 0,1 - 25,0 %   |
| Arnstein          | Bayern                 | 15,6                 | 0,1 - 25,0 %   |
| Sonnenwalde       | Brandenburg            | 15,6                 | 0,1 - 25,0 %   |
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein     | 30,0                 | 25,1 - 50,0 %  |
| Sophienhof        | Niedersachsen          | 31,7                 | 25,1 - 50,0 %  |
| Blönsdorf         | Brandenburg            | 35,6                 | 25,1 - 50,0 %  |
| Rauischholzhauser | Hessen                 | 40,0                 | 25,1 - 50,0 %  |
| Badingen          | Brandenburg            | 68,3                 | 50,1 - 75,0 %  |
| Giessen           | Hessen                 | 78,3                 | 50,1 - 75,0 %  |
| Borwede           | Niedersachsen          | 80,0                 | 50,1 - 75,0 %  |
| Lebach            | Saarland               | 100,0                | > 75,0 %       |

Da der Virusbefall vom Blattlausflug abhängig ist, tritt der Befall auch in den einzelnen Standorten sehr willkürlich auf. Die Infektion ist zum einen davon abhängig, wo die Blattläuse den Bestand anfliegen und zum anderen, ob und welche Pflanzen infiziert sind. Die Versuche werden in der Regel so angelegt, dass sie sich inmitten eines Feldes befinden und nicht in unmittelbarer Nähe zum Knick oder Ähnlichem. Aus diesem Grund können diese Einflussfaktoren auf den Blattlausflug so gut wie ausgeschlossen werden. Um die auch an einem Standort unterschiedlichen Befallswerte darzustellen, ist die Tabelle 25

aufgeführt. Hier ist der gemessene Befallswert aller vier Wiederholungen von einigen ausgewählten Standorten dargestellt.

**Tabelle 25: Verteilung des TuYV-Befalls innerhalb eines Standortes**

| Standort          | Bundesland         | Wdh | TuYV        |
|-------------------|--------------------|-----|-------------|
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein | 1   | 13,3        |
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein | 2   | 40,0        |
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein | 3   | 66,7        |
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein | 4   | 0,0         |
| <b>Mittelwert</b> |                    |     | <b>30,0</b> |
| Nossen            | Sachsen            | 1   | 13,3        |
| Nossen            | Sachsen            | 2   | 0,0         |
| Nossen            | Sachsen            | 3   | 0,0         |
| Nossen            | Sachsen            | 4   | 33,3        |
| <b>Mittelwert</b> |                    |     | <b>11,7</b> |
| Sophienhof        | Niedersachsen      | 1   | 60,0        |
| Sophienhof        | Niedersachsen      | 2   | 40,0        |
| Sophienhof        | Niedersachsen      | 3   | 20,0        |
| Sophienhof        | Niedersachsen      | 4   | 6,7         |
| <b>Mittelwert</b> |                    |     | <b>31,7</b> |
| Giessen           | Hessen             | 1   | 66,7        |
| Giessen           | Hessen             | 2   | 80,0        |
| Giessen           | Hessen             | 3   | 66,7        |
| Giessen           | Hessen             | 4   | 100,0       |
| <b>Mittelwert</b> |                    |     | <b>78,4</b> |

Es wird deutlich, dass der Befall auch innerhalb eines Standortes sehr stark streut, obwohl die einzelnen Parzellen sehr eng beieinander lagen. So schwanken die Befallswerte am Standort Sophienhof zwischen 6,7 und 60 %. In Giessen dagegen sind die Befallswerte über alle vier Wiederholungen sehr hoch. Auch am Standort Hohenschulen wurden Befallswerte von 0 bis 66,7 % gefunden. Der Mittelwert aller vier Wiederholungen liegt bei 30 %.

Im Jahr 2006 wurden 23 Standorte auf ihren Virusbefall untersucht. In die statistischen Berechnungen für den Einfluss des Befalls auf die verschiedenen Ertragsparameter gingen 18 Standorte mit ein, die anderen fünf Standorte waren aus verschiedenen Gründen nicht auswertbar. Es wurden die Merkmale Kornertrag in dt/ha, Ölgehalt in Prozent, Proteingehalt in Prozent, GSL-Gehalt in Mikromol, TKG in Gramm und die Pflanzenlänge in Zentimetern sowie die jeweilige Reaktion auf den Befall mit TuYV untersucht.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der einfachen Regressionsanalyse des jeweiligen Ertragsparameters in einer Übersichtstabelle dargestellt. Im Jahr 2006 war keines der Ergebnisse statistisch signifikant, aus diesem Grunde wurde darauf verzichtet, jedes Merkmal für sich darzustellen. Die Veränderung des Kornertrages bei steigendem TuYV-

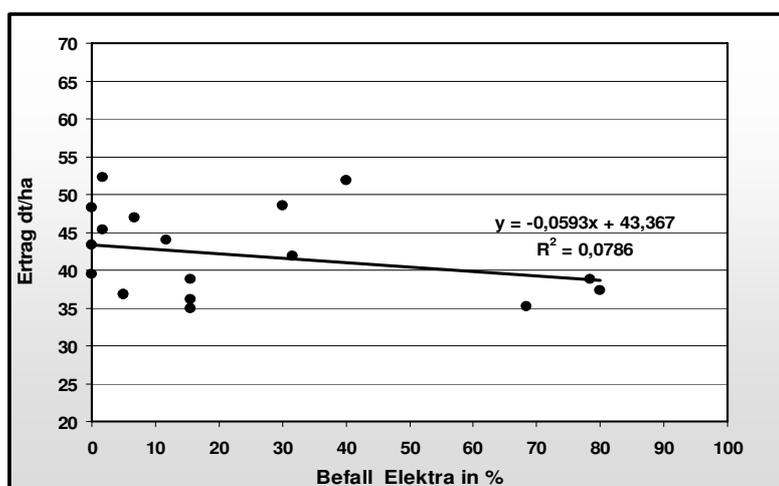
Befall ist zusätzlich noch als Diagramm aufgeführt. Zur Veranschaulichung der anderen Merkmale befinden sich die entsprechenden Diagramme in Anhang 3-8.

**Tabelle 26: Übersicht der Ergebnisse der einfachen Regression der einzelnen Merkmale in Abhängigkeit vom TuYV-Befall, 2006**

|                 | Ertrag dt/ha     |            | Ölgehalt %       |            | Protein %        |            | TKG g            |            | Länge cm         |            | GSL              |            |
|-----------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|
|                 | Koeffi-<br>zient | P-<br>Wert |
| TuYV-<br>Befall | -0,059           | 0,260      | -0,002           | 0,864      | 0,007            | 0,491      | 0,007            | 0,218      | 0,019            | 0,888      | 0,020            | 0,173      |
| R <sup>2</sup>  | 0,079            |            | 0,002            |            | 0,030            |            | 0,093            |            | 0,001            |            | 0,120            |            |

In Tabelle 26 sind die Ergebnisse der gerechneten Regressionen zusammengefasst. Es ist die Veränderung des Ertrages, Ölgehaltes, Proteingehaltes, TKGs, GSL-Gehaltes und der Pflanzenlänge in Abhängigkeit vom TuYV-Befall dargestellt. Alle Ergebnisse sind nicht statistisch abgesichert, zudem wurde für jedes Merkmal ein sehr geringes Bestimmtheitsmaß ermittelt.

In Diagramm 22 ist der **Kornertrag** in dt/ha in Abhängigkeit vom Virusbefall in Prozent dargestellt, hierbei handelt es sich um eine einfache Regression.



**Diagramm 22: Einfache Regression des Ertrages in Abhängigkeit vom Befall, 2006**

Es ist zu erkennen, dass tendenziell der Ertrag bei steigendem Befall sinkt. Mit jedem Prozentpunkt steigendem Befall, sinkt der Ertrag um 0,059 dt/ha.

Im folgenden sollen die Ergebnisse aus Tabelle 26 kurz für jedes Merkmal erläutert werden:

Das Merkmal **Ölertrag** wurde an allen 18 ausgewerteten Standorten untersucht. Das Ergebnis zeigt, dass der Ölertrag signifikant durch den Virusbefall verringert wird. Bei jedem Prozentpunkt steigendem Befall, sinkt der Ölertrag um 0,026 dt/ha. Jedoch ist auch

hier das Bestimmtheitsmaß sehr gering, was bedeutet, dass nur ein geringer Anteil der Veränderung des Ölertrages durch den TuYV-Befall verursacht wird.

In die Auswertungen des **Ölgehaltes** in Prozent gingen ebenfalls 18 Beobachtungen mit ein. Auch der Ölgehalt wird durch den Virusbefall nur geringfügig reduziert, das Ergebnis ist jedoch nicht signifikant. Auch das minimale Bestimmtheitsmaß von 0,07 % deutet darauf hin, dass der Ölgehalt in keinem Zusammenhang mit dem Virusbefall steht.

Für den **Proteingehalt** in Prozent wurde von jedem Standort eine Mischprobe aus den drei bzw. vier Wiederholungen gezogen und untersucht. Insgesamt gingen 18 Beobachtungen in die statistische Auswertung mit ein. Das Ergebnis der Regression zeigt, dass der Proteingehalt nicht durch den TuYV-Befall beeinflusst wird. Eine geringe Veränderung ist zu sehen, jedoch kann diese nicht eindeutig auf den Virusbefall zurückgeführt werden, da eine sehr hohe Irrtumswahrscheinlichkeit besteht und das Bestimmtheitsmaß mit 4,48 % sehr gering ist.

Für das **TKG** in Gramm wurden ebenfalls Mittelwerte über die angelegten Wiederholungen gebildet, so dass nur wenige Beobachtungen in die Auswertungen einbezogen werden konnten. Der Ergebnis der Regressionsanalyse macht deutlich, dass auch dieses Merkmal nicht signifikant durch den Virusbefall beeinflusst wird. Tendenziell steigt das TKG bei steigendem Befall, jedoch nur minimal und nicht statistisch abgesichert.

Der **GSL-Gehalt** in Mikromol konnte von 17 Standorten in die Auswertungen einbezogen werden. In der folgenden Tabelle ist das Ergebnis aufgeführt. Auch der GSL-Gehalt wird durch den Virusbefall nicht signifikant beeinflusst, es lässt sich jedoch die Tendenz erkennen, dass der Gehalt bei steigendem Befall geringfügig erhöht wird.

Die **Pflanzenlänge** in cm wurde wie der Kornertrag und der Ölertrag an jeder Wiederholung bestimmt, so dass insgesamt 67 Beobachtungen in die statistische Berechnung mit einfließen konnten. Die Pflanzenlänge wird signifikant nicht durch den Virusbefall beeinflusst.

## 5 Diskussion

---

Die in dieser Arbeit ausgewerteten Daten stammen aus bundesweiten Versuchen mit zwei Beizvarianten in den Jahren 1999 bis 2001 sowie einer Untersuchung der Sortenresistenz und ihre Wirkung auf den Virusbefall in den Jahren 2002 bis 2004. Zusätzlich wurde eine eigene Erhebung zur aktuellen Befallssituation im Jahr 2006 durchgeführt. Es handelt sich nicht um wissenschaftliche Untersuchungen, sondern um praxisnahe Erhebungen des Virusbefalls aus bereits bestehenden Versuchsanlagen. Bei der Auswertung der Daten wurden folgende Fragestellungen betrachtet:

1. Hat die untersuchte Spezialbeize eine reduzierende Wirkung auf den Befall?
2. Wird der Virusbefall durch den Anbau einer resistenten Sorte verringert?
3. Hat eine eventuelle Befallsminderung eine Auswirkung auf die verschiedenen Ertragsparameter?
4. Wie verhält sich der Virusbefall innerhalb der Jahre und Regionen?

Da es sich um unterschiedliche Versuche und eine große Anzahl von Ergebnissen handelt, werden diese aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Diskussion in jedem einzelnen Unterkapitel kurz zusammenfassend beschrieben.

In die Untersuchungen dieser Arbeit sind Ergebnisse von bundesweit sehr vielen Standorten einbezogen worden. Um eine so große Anzahl von Standorten zu gewinnen, die sich an dieser Untersuchung beteiligen, mussten Kompromisse in der Versuchsanstellung eingegangen werden. So wurde z.B. nach Absprache mit Dr. Graichen die Probeziehung erst im Frühjahr durchgeführt. So konnte der Gesamtbefall (Herbst und Frühjahr) festgestellt werden.

Seit den 1960er Jahren werden Untersuchungen zum Thema „Vergilbungskrankheiten an *Brassica* -und *Beta*-Arten“ durchgeführt. So sind bereits einige Versuche zum Auftreten, zur Ertragswirkung, zum Erregernachweis sowie zur Übertragung und zum Wirtspflanzenkreis des Wasserrübenvergilbungsvirus durchgeführt worden. Einen Überblick über die wichtigsten Versuche liefert die folgende Tabelle. Diese und noch einige Untersuchungen mehr bilden die Grundlage der folgenden Diskussion.

Tabelle 27: Wichtige vorangegangene Versuche zum TuYV

| Bearbeiter  | Jahr          | Fragestellung  |
|---|---------------|--|
| BURCKHARDT  | 1960,<br>1963 | Isolierungs- und Übertragungsversuche mit Virose der Kultur- <i>Brassica</i> -Arten  |
| HEINZE  | 1967          | Übertragungsversuche der Vergilbungskrankheit der Kohl- und Wasserrübe   |
| SMITH, HINCKES  | 1985          | Untersuchungen von <i>Beet western yellows</i> in <i>Brassica napus</i> und <i>Beta vulgaris</i>                                     |
| GRAICHEN  | 1994          | Nachweis von Resistenz gegenüber dem TuYV in Winterraps und verwandten Arten   |
| SCHRÖDER  | 1994          | Anfälligkeit des Rapses gegenüber verschiedenen Viruskrankheiten   |
| GRAICHEN  | 1995          | Untersuchungen zum Wirtskreis und der Schädigung des TuYV  |
| STEVENS, SMITH,<br>HALLSWORTH                                       | 1995          | Untersuchungen der <i>Luteoviren</i> BWYV und BMYV in Blattläusen von Zuckerrüben und Raps   |
| GRAICHEN, SCHLIEPHAKE   | 1996          | Auftreten, Symptome und Vektoren des TuYV im Winterraps  |
| SCHRÖDER  | 1996          | Auswirkungen des TuYV-Befalls an Winterraps in Baden-Württemberg   |
| GRAICHEN, SCHLIEPHAKE,<br>RABENSTEIN                                | 1997          | Untersuchungen zum Auftreten und zum serologischen Nachweis von TuYV   |
| JAY, ROSSALL, SMITH   | 1999          | Auswirkungen von TuYV auf das Wachstum und den Ertrag von Winterraps   |
| RICHTER, RABENSTEIN,<br>SCHUBERT                                    | 2000          | Entwicklung einer Methode zur Prüfung von Winterraps auf Resistenz gegenüber dem TuYV  |
| HAUSER, STEVENS,<br>MOUGEL, SMITH,<br>FRITSCH, HERRBACH,<br>LEMAIRE | 2000          | Untersuchungen zu biologischen, serologischen und molekularen Unterschieden zwischen den <i>Potero-viren</i> von Raps und Zuckerrübe |
| HEIMBACH, EGGERS  | 2002          | Möglichkeiten zur Reduzierung der Blattlauszahlen und des Virusbefalls im Herbst   |
| PAETSCH, GRAICHEN,<br>FRAUEN, HAUSKA, KOCH,<br>STIEWE               | 2003          | Ermittlung der Ertragsverluste durch das TuYV durch Vergleich von vier anfälligen Standardsorten                                     |
| PAETSCH, DUCHSCHERER,<br>FRAUEN, HAUSKA,<br>HEMKER, KOCH, STIEWE    | 2004          | Entwicklung ertragreicher Winterrapslinien mit stabiler Resistenz gegen das TuYV zur Gewinnung nachwachsender Rohstoffe              |

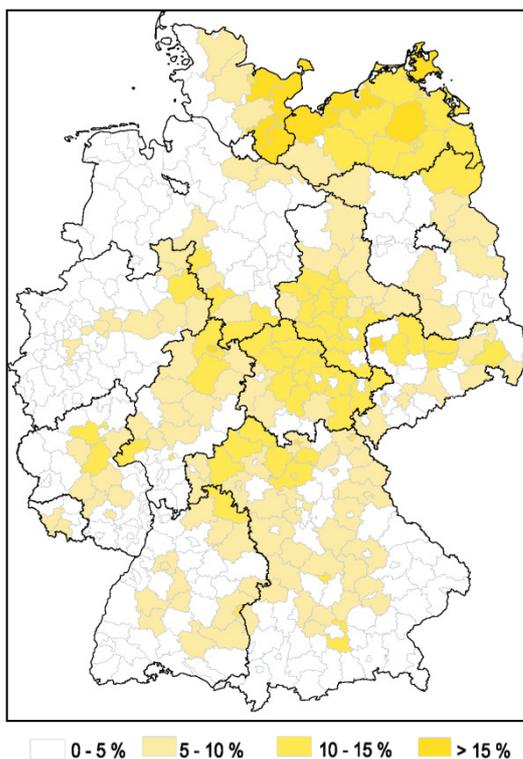
## 5.1 Befallssituation in den einzelnen Jahren

Es liegen die Befallswerte der Jahre 1998 bis 2004 und 2006 vor. In den Jahren 1998 bis 2001 wurden Blattproben aus den LSV untersucht, so dass für jedes Jahr eine hohe Summe von Ergebnissen vorliegen. In den Jahren 2002 bis 2004 sind jeweils nur wenige Werte vorhanden, so dass über die regionale Verteilung des Virus und die Unterschiede in der Befallsstärke zwischen den einzelnen Jahren keine eindeutigen Tendenzen erkannt werden können. Um genaue Aussagen über den Virusbefall treffen zu können, müsste der Befall mit den Witterungsverhältnissen der einzelnen Jahre in Verbindung gebracht werden. Auch haben die Standortbedingungen großen Einfluss auf die Entwicklung der Vektoren und

somit auf die Virusinfektionen. Die Daten liegen für diese Arbeit nicht vor. Es sind aber auch ohne das Wissen über diese Einflussfaktoren einige Tendenzen zu erkennen:

Der Virusbefall in den untersuchten Jahren ist sehr unterschiedlich. So ist 1999 in der ganzen Bundesrepublik ein geringes Befallsniveau gemessen worden ( $\emptyset$  17 %), wohingegen der Befall ein Jahr später, im Jahr 2000, allgemein sehr hoch war ( $\emptyset$  62 %). Diese Ergebnisse werden von GRAICHEN und Mitarbeitern (2000) bestätigt. Sie führten Untersuchungen in Deutschland durch, bei denen Süddeutschland separat betrachtet wurde. Es zeigte sich, dass im süddeutschen Raum ein wesentlich geringerer Befall nachgewiesen wurde, während in anderen Teilen Deutschlands im selben Untersuchungszeitraum hohe Werte gemessen wurden. LÖWER und EPPLER (1996) sowie GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (2000) bestätigen ebenfalls die großen Unterschiede, die zwischen den Regionen und den einzelnen Jahren auftreten. Es wurden hohe Infektionsraten in westlichen, mittleren, östlichen und nordöstlichen Regionen Deutschlands festgestellt. Der Virusbefall in den südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg ist dagegen über alle untersuchten Jahre geringer. Dies ergaben auch die Auswertungen im Rahmen dieser Arbeit. Andererseits wurde von SCHRÖDER (1996) bei Untersuchungen in Baden-Württemberg festgestellt, dass schon im Herbst in Winterrapsbeständen Infektionen von bis zu 98 % auftreten können. Auf Grund der widersprüchlichen Ergebnisse lässt sich die Bedeutung des TuYV-Befalls im Winterraps in Süddeutschland nur schwer einschätzen. Die Ursache für die regionalen Unterschiede liegt vor allem in den Entwicklungsbedingungen für die Blattläuse, wobei besonders die Temperatur im Winter von Bedeutung ist. Auch GRAICHEN und Mitarbeiter (2000a) sehen den Grund der unterschiedlichen Befallszahlen in den klimatischen Bedingungen der verschiedenen Anbauregionen. Voraussetzung für das Überleben und eine schnelle Entwicklung der Virus übertragenden Blattläuse sind laut HEIMBACH (2007) milde Winter und warme Frühjahre. Das Risiko einer hohen Virusinfektion steigt mit zunehmendem Anteil der anholozyklischen Überwinterung der Blattläuse. Dann wird die Kette der Jungfernzeugung nicht durch Kälte unterbrochen und die Blattläuse überwintern als Virus tragende adulte Tiere und nicht als virusfreies Eistadium. GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (1996) sehen als weiteren Grund für zum Teil nur geringen Virusbefall die Unterbrechung der Infektionszyklen der Läuse infolge heißer und trockener Sommermonate in einigen Jahren. Es liegen keine Witterungsdaten vor, dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die Abkühlung und das Einsetzen des Winters im Süden schneller und stärker erfolgt als im Norden. Somit können die Blattläuse in der Regel nicht als adulte Tiere überwintern und der Aufbau der Blattlauspopulation im Frühjahr dauert länger. Zudem sind die Tiere noch nicht Virus beladen, dies erfolgt erst durch das Saugen an infizierten Pflanzen.

Die Virusinfektionsrate korreliert positiv mit der Anzahl der Blattläuse im Bestand (HEIMBACH und EGGERS, 2002). Zudem ist der Blattlausflug oft willkürlich und es entstehen Befallsnester in den Beständen. Für eine Virusinfektion der Bestände ist aber nicht nur der Blattlausbefall entscheidend, sondern auch, ob die Blattläuse infiziert sind oder nicht. Ist das Virusreservoir in der Gegend hoch, das heißt, sind viele Wirtspflanzen für das Virus vorhanden, sind in der Regel auch viele Blattläuse infiziert. Es ist also davon



auszugehen, dass der Befall mit dem TuYV auch durch den vermehrten Rapsanbau in der Bundesrepublik gefördert wird. Dies wird von GRAICHEN (1996) bestätigt, der herausfand, dass sich alle Flächen mit sehr hohem bis vollständigen Befall in typischen Ackerbau-regionen befinden. Dagegen weisen die Bestände aus Landschaften mit hohem Grünland- und Waldanteil keinen oder nur geringen Virusbefall auf. Die Auswertungen ergaben, dass der Virusbefall in Bayern grundsätzlich geringer ist als in den meisten anderen Teilen Deutschlands. Dies kann zum Teil mit der dort geringen Anbaudichte erklärt werden.

**Abbildung 21: Anteil des Rapses an der Anbaufläche (KOLL, 2005)**

In Abbildung 21 ist der Anteil des Rapses an der gesamten Anbaufläche im Bundesgebiet dargestellt. Es wird ersichtlich, dass in südlichen Teilen Deutschlands die Intensität des Rapsanbaus geringer ist als in mittleren und nordöstlichen Teilen. Jedoch sind hohe Befallswerte nicht immer mit der Anbauintensität von Winterraps in einer Region zu erklären. So wird in den Untersuchungen häufig hoher Befall in Brandenburg festgestellt. Der Graphik zufolge ist die Intensität des Rapsanbaus in diesem Bundesland aber im Verhältnis zu den anderen Ländern gering. Es haben demnach auch noch andere Faktoren zu den hohen Infektionswerten beigetragen.

## 5.2 Saatgutbeizung

In den Jahren 1999 bis 2001 wurde in einem UFOP-Projekt die Wirkung einer Spezialbeize (420g/l Imidacloprid + 80g/l Beta-Cyfluthrin) gegenüber der Standardbeize 'Oftanol-T' (Isofenphos) untersucht. Die 'Oftanol-T' gebeizte Variante wird in diesem Versuch als

Nullkontrolle angesehen. Es sollte festgestellt werden, ob durch die Spezialbeize der Virusbefall verringert werden kann. Zusätzlich wurde der Effekt der Spezialbeize auf den Kornertrag ausgewertet.

Die Spezialbeize hat in allen drei Versuchsjahren den Befall signifikant reduziert und zu höheren Erträgen geführt. Jedoch ist das Bestimmtheitsmaß sehr gering, was darauf hindeutet, dass nur ein sehr geringer Teil der Ertragsveränderung durch den Virusbefall und die Beizvariante bestimmt wird. Um eindeutige Aussagen über die Wirkung der Beize treffen zu können, müssten auch die anderen Einflussfaktoren auf den Ertrag, wie die Witterung und der Standort, ausgewertet werden.

HEIMBACH und EGGERS (2002) führten in den Jahren 1998 bis 2000 ebenfalls Versuche mit der Sorte 'Mohican' und verschiedenen Beizvarianten durch. Auch hier wurde die Wirkung der Spezialbeize 'Poncho' untersucht. In den Varianten mit der 'Poncho'-Beize wurden noch Blattläuse in den Beständen gefunden und es trat auch eine Vermehrung im Bestand auf. Bei dem Wirkstoff Isofenphos, der in der Standardbeize 'Oftanol-T' enthalten ist, konnte keinerlei Blattlauswirkung festgestellt werden. Dies ist aufgrund der nicht systemischen Wirkungsweise dieses Wirkstoffes zu erwarten (PERKOW und PLOSS, 1999, zitiert durch HEIMBACH und EGGERS, 2002).

Eine Auswirkung des Virusbefalls auf den Ertrag wird durch die Tatsache aufgezeigt, dass der Ertrag in allen drei Jahren durch die Virusinfektion signifikant reduziert wurde. Dieses Ergebnis kann von HEIMBACH und EGGERS (2002) nicht bestätigt werden. Sie fanden heraus, dass Virusbefall in keinem der drei Versuchsjahre 1998 bis 2000 einen Einfluss auf den Ertrag hatte, obwohl deutlich unterschiedlicher Befall in den Prüfvarianten gemessen wurde.

Die Untersuchungen mit zwei Beizvarianten wurden an der Sorte 'Mohican' durchgeführt. Laut KOCH (2007) ist 'Mohican' für Untersuchungen mit Befall durch das TuYV nicht geeignet, denn sie ist hochanfällig für dieses Virus. Zudem handelt es sich um eine sehr helle Sorte, die bei Stress schnell Rotfärbungen aufweist. Bei Befall mit dem TuYV zeigen sie sofort starke Symptome an den Blättern sowie Wuchsdepressionen. Ein Grund dafür kann darin liegen, dass die Sorte 'Mohican' evtl. aufgrund der Farbunterschiede gegenüber anderen Sorten stärker von den Blattläuse angefliegen und mit dem Virus infiziert wird.

Zur Zeit der Versuchsanstellung (1998) wurde davon ausgegangen, dass es keine Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber dem TuYV gibt. In neueren, diesbezüglich durchgeführten Versuchen fällt jedoch auf, dass die Sorten unterschiedlich auf den Virusbefall reagieren, obwohl der gleiche Virusgehalt festgestellt wurde. Dies deutet darauf

hin, dass die Sorten unterschiedliche Toleranzen zeigen. Bei einigen Pflanzen werden zwar hohe Extinktionswerte gemessen, trotzdem zeigen sie keine oder nur schwach ausgeprägte Symptome. Demgegenüber kann es aber auch vorkommen, dass in Pflanzen, die typische Symptome zeigen (Rotfärbung und Verhärtung der Blätter, reduzierter Wuchs), kein Virusbefall festgestellt werden konnte. Die Symptome werden in diesem Fall durch andere Faktoren, wie z.B. Staunässe, Nährstoffmangel etc., hervorgerufen.

### 5.3 Sortenresistenz

In den Jahren 2002 bis 2004 wurden die Unterschiede in der Reaktion auf den Befall mit dem TuYV der resistenten Sorte 'Caletta' gegenüber anfälligen Vergleichssorten untersucht. Nicht in allen drei Versuchsjahren wurde die gleiche anfällige Sorte zum Vergleich herangezogen. Es ist davon auszugehen, dass zwischen den verschiedenen Sorten ebenfalls Unterschiede in der Empfindlichkeit auf einen Virusbefall bestehen. Bei der Auswertung der Ergebnisse ist aufgefallen, dass 'Twister' und 'Oase' sehr stark auf TuYV-Befall reagieren und 'Caletta' im Vergleich bei steigendem Befall relativ höhere Kornerträge erbracht hat. Im Jahr 2003 steht die Sorte 'Ontario' als Vergleichssorte im Versuch, sie reagiert offensichtlich nicht so stark und kann den TuYV-Befall besser kompensieren. Gegenüber der Vergleichssorte 'Ontario' konnte 'Caletta' relativ gesehen keine höheren Kornerträge erbringen. Diese Tatsache lässt die Vermutung zu, dass es unterschiedlich stark anfällige Sorten gibt. Im Jahr 2003 stand 'Ontario' fälschlicherweise als kurze Linie zwischen den langen Linien. Es ist nicht bekannt, welche Auswirkungen die Nachbarschaftseffekte auf den Ertrag gehabt hat. KOCH (2007) zufolge wird 'Ontario' in den Versuchen häufig durch lange Nachbarn benachteiligt. Werden nun alle Pflanzen durch das Virus eingekürzt bzw. beeinträchtigt, wird 'Ontario' im Verhältnis zu den anderen weniger stark negativ beeinflusst. KROPF (2007) weist darauf hin, dass der Virusbefall zum Teil auch einen positiven Effekt auf die Pflanzen haben kann. Besonders bei Sorten, die sich leicht vegetativ überwachsen bzw. in Beständen, die sich im Herbst schon zu stark entwickelt haben. Durch den Virusbefall sterben die älteren, überschüssigen Blätter ab, so dass sich der Bestand verjüngt und zu Vegetationsbeginn eine bessere Entwicklung zeigt.

Zum Teil sind auch Pflanzen der Sorte 'Caletta' mit TuYV befallen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass naturgemäß auch in den Versuchen Durchwuchs aus vorherigem Rapsanbau vorhanden ist. Stehen die durchgewachsenen Pflanzen in der Reihe, lassen sie sich nicht erkennen und bekämpfen. Somit ist nicht zu vermeiden, dass Durchwuchspflanzen ebenfalls auf ihren Virusgehalt untersucht werden. Diese Pflanzen sind anfällig für das Virus und führen somit zu Befallswerten, die bei dieser Art der

Untersuchung 'Caletta' zugeschrieben werden (LÜTKEMEIER und SAUERMAN, 2004).

In dem Versuch auf Sortenresistenz wurde die Sorte 'Caletta' mit anfälligen Sorten verglichen. Bei diesen handelt es sich um vollständig andere Genotypen. Jeder Genotyp zeigt auf veränderte Bedingungen, wie z.B. den Virusbefall, eine andere Reaktion. Aus wissenschaftlicher Sicht müssten zur Erzielung besserer Ergebnisse, ähnliche Sorten miteinander verglichen werden. 'Caletta' ist durch eine Rückkreuzung mit der Sorte 'Jessica' gezüchtet worden. Beide Sorten haben, bis auf die Resistenz gegen das TuYV von 'Caletta', nahezu den gleichen Genotyp und somit auch ähnliche Eigenschaften (KOCH, 2007). Bei der hier ausgewerteten Untersuchung handelt es sich nicht um eine wissenschaftliche -, sondern um eine praxisnahe Erhebung, in der lediglich die Frage beantwortet werden sollte, ob 'Caletta' durch ihr zusätzliches Merkmal (TuYV-Resistenz) Vorteile gegenüber neuer, leistungsstarker Sorten hat.

Allgemein ist festzustellen, dass die untersuchten resistenten Zuchtlinien den zugelassenen Standardsorten im Ertrag noch unterlegen sind, zum Teil aber bereits gute agronomische Eigenschaften aufweisen. Eine Verbesserung der Linien mit TuYV-Resistenz durch weitere Zuchtprogramme stellt die Basis für eine umweltfreundliche und effektive Rapsproduktion dar (PAETSCH et al., 2003). Die Frage, ob in absehbarer Zeit neue resistente Sorten zu erwarten sind, kann derzeit nicht beantwortet werden.

#### **5.4 Aktuelle Befallssituation 2006**

Im Jahr 2006 wurden im Rahmen des BSV eigene Untersuchungen zum Auftreten des TuYV an der Sorte 'Elektra' in Deutschland durchgeführt. Insgesamt wurden 23 Standorte in 13 Bundesländern untersucht. Es zeigte sich, dass der durchschnittliche Befall mit einer Streuung von 0 und 100 % bei 25 % lag. Für die Untersuchungen wurden die mittleren Befallswerte der vier bzw. drei Wiederholungen jedes Standortes verwendet. Es liegen jedoch auch Daten für jede Wiederholung vor. Diese machen deutlich, dass der Befall auch an einem Standort sehr unterschiedlich sein kann. Um dies interpretieren zu können, müssten genauere Standortdaten vorhanden sein. So sind für den Blattlausflug z.B. die Nähe zum Knick oder ähnliche abiotische Faktoren von großer Bedeutung. Entscheidend für eine Infektion der Bestände ist nicht nur der Blattlausflug, sondern auch, ob die Blattläuse infiziert sind. In reinen Ackerbauregionen, in denen viel Raps angebaut wird, sind viele Wirtspflanzen für das Virus vorhanden. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Blattläuse mit dem TuYV infiziert sind. In der Literatur liegen keine Befallsdaten für dieses Jahr vor. KOCH (2007) geht davon aus, dass der mittlere Befall der

Rapsbestände in Deutschland, abhängig von der Witterung, besonders im Herbst, bei etwa 50 % liegt, so auch im Jahr 2006.

Der Einfluss des Virusbefalls auf die untersuchten Ertragsparameter wird im folgenden Kapitel 5.5 beschrieben. Graphische Darstellungen der einzelnen Merkmale in Beziehung zum TuYV-Befall befinden sich in Anhang 3 bis 8.

## 5.5 Einfluss des TuYV-Befalls auf die einzelnen Ertragsparameter

Die Frage, welche Auswirkungen der TuYV-Befall auf die Ertragsparameter hat, kann in dieser Untersuchung nicht eindeutig beantwortet werden, da keine virusfreie Kontrollvariante vorhanden war. Auch gehört diese nicht zu den Fragestellungen, die zur Anstellung dieses Versuches geführt haben. Trotzdem wurden Analysen diesbezüglich durchgeführt, die die Auswirkungen der einzelnen Ertragsparameter bei steigendem Befall darstellen.

Der Versuch mit zwei Beizvarianten in den Jahren 1999 bis 2001 und der Versuch mit der resistenten Sorte 'Caletta' in den Jahren 2002 bis 2004 ergaben, dass der **Kornertrag in dt/ha** signifikant durch den Virusbefall reduziert wird. Dies wird auch durch Versuche von GRAICHEN und Mitarbeitern (2000) bestätigt. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass der Ertrag bei einer Steigerung des Befalls von 10 % um 0,6 dt/ha bzw. 1 dt/ha abnimmt. In den eigenen Untersuchungen im Jahr 2006 sinkt der Ertrag mit steigendem Befall ebenfalls, das Ergebnis konnte aber nicht statistisch abgesichert werden. In allen drei Versuchen ist das Bestimmtheitsmaß sehr gering. Das bedeutet, dass nur ein geringer Anteil der Veränderung des Ertrages auf die untersuchten Einflussfaktoren zurückzuführen sind. Ein weitaus größerer Anteil wird durch Faktoren, wie z.B. Witterung, Standortbedingungen oder der Befall durch andere Krankheiten beeinflusst. Für diese Arbeit liegen diesbezüglich keine Daten vor. Ohne das Wissen über die anderen Einflussfaktoren können keine eindeutigen Aussagen über die Wirkung des Virusbefalls auf den Kornertrag getroffen werden.

GRAICHEN (1997) stellte in den Jahren 1993 bis 1995 mittlere Ertragsverluste von 20,4 % fest. Untersuchungen von JUERGENS und Mitarbeitern (2006) ergaben Ertragsverluste in Höhe von etwa 14 %. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen ergaben im Mittel über die acht ausgewerteten Jahre einen Befall von ca. 30 %. Bei einem durchschnittlichen Kornertrag in Deutschland von 35 dt/ha bedeuten 30 % Befall eine Ertragsreduktion von 2,4 dt/ha. Somit liegt der in dieser Arbeit ermittelte Ertragsverlust bei etwa 7 %. Das entspricht etwa den Ergebnissen, die SMITH und HINCKES im Jahr 1985 ermittelt haben.

Der **Ölertrag in dt/ha und der Ölgehalt in %** wurden nur in den Jahren 2002, 2003 und 2006 untersucht. Es lassen sich keine eindeutigen Tendenzen des Einflusses des Virusbefalls auf diese beiden Ertragsparameter erkennen. JAY und Mitarbeiter (1999) fanden bei Untersuchungen heraus, dass der Ölgehalt bei TuYV-Befall um zwei Prozent gesenkt wird. Auch GRAICHEN stellte 1997 leicht erniedrigte Werte des Ölgehaltes fest, konnte diese aber nicht statistisch absichern.

Der **Proteingehalt** wurde in dieser Arbeit für drei Jahre erfasst und ausgewertet. In zwei der Jahre ist keine Veränderung des Proteingehaltes durch den Virusbefall zu verzeichnen. In einem Jahr wurde eine signifikante Reduzierung festgestellt. GRAICHEN (1997) fand heraus, dass der Proteingehalt durch einen Befall mit dem TuYV geringfügig verändert wird. Jedoch sind seine Ergebnisse diesbezüglich nicht statistisch signifikant.

JAY und Mitarbeiter (1999) ermittelten bei einem TuYV-Befall eine Steigerung des **GSL-Gehaltes** von elf Prozent. Auch GRAICHEN (1997) weist darauf hin, dass die Samenqualität bei einem Virusbefall durch erhöhte GSL-Gehalte negativ beeinflusst wird. Dies kann durch die eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Diese zeigen, dass der GSL-Gehalt bei steigendem Befall geringfügig reduziert wird. Diese Ergebnisse konnten statistisch jedoch nicht abgesichert werden.

Die Auswertungen des Einflusses auf das **TKG** in den drei Jahren 2002, 2003 und 2006 ergaben, dass das TKG durch den Virusbefall tendenziell erhöht wird. Dieses Ergebnis kann aber nur für das Jahr 2003 statistisch abgesichert werden. Auch GRAICHEN (1997) stellte fest, dass das TKG bei einem Befall mit dem TuYV höher ausfällt als bei virusfreien Pflanzen. Zudem stellte er eine verringerte Schotenanzahl fest. JAY und Mitarbeiter (1999) sehen die Begründung des erhöhten TKGs darin, dass durch weniger Samen pro Schote die Konkurrenz um die Assimilate verringert wird.

Die Untersuchungen der **Pflanzenlänge** in den Jahren 2002, 2003 und 2006 ergaben, dass das Wachstum durch den Virusbefall nicht signifikant beeinflusst wird. Demgegenüber konnten GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (1996) bei Vergleichen von infizierten und virusfreien Pflanzen bei den befallenen Pflanzen zur Blüte deutliche Wuchsdepressionen feststellen. GRAICHEN und Mitarbeiter (1995, 2000a) konnten in Experimenten nachweisen, dass das Längenwachstum durch TuYV-Befall signifikant verringert wird. Die Wuchsunterschiede liegen laut SCHRÖDER (1994) bei etwa 20 %. Auch Beobachtungen von KOCH (2007) belegen, dass der Wuchs von TuYV-befallenen Pflanzen deutlich verringert ist.

## 5.6 Schlussfolgerung

Im Winterraps entstehen durch die pilzlichen Erreger wie *Phoma*, Kohlhernie und *Cylindrosporium* bedeutende Ertragseffekte. Es gibt zum Teil große Sortenunterschiede in der Anfälligkeit gegenüber dieser Krankheiten, welche von den Züchtern auch genutzt und weiterentwickelt werden. Auch die Landwirte setzen dieses Wissen gezielt um. Jedoch die Resistenz alleine reicht zur Verhinderung von Schäden nicht aus. Pflanzenbauliche Maßnahmen müssen immer begleitend durchgeführt werden. Bei *Verticillium*, *Sclerotinia* und *Alternaria* gibt es demgegenüber nur geringe Sortenunterschiede. Hier ist durch Sortenwahl kaum ein Vorteil zu erzielen. Die Resistenz gegen das TuYV ist in der zuletzt genannten Gruppe einzuordnen. Es gibt Resistenzen, die auch sinnvoll in der Landwirtschaft eingesetzt werden können, wie z.B. die der Sorte 'Caletta'. Zudem bestehen auch geringfügige Sortenunterschiede, die Vielzahl der zur Zeit zugelassenen Sorten ist dennoch anfällig für dieses Virus.

Entscheidend für die Ertragswirkung des TuYV ist der Zeitpunkt des Befalls. So hat ein Befall im Frühjahr laut KOCH (2007) keine Ertragswirkung mehr. KOCH schätzt den durchschnittlichen Virusbefall mit 50 % ein. Dabei ist zu beachten, dass häufig der Befall im Frühjahr gemessen wird, dieser jedoch keine Wirkung auf den Ertrag mehr hat, da die Pflanzen vital genug sind und nicht mehr durch die Infektion beeinträchtigt werden.

Die wirtschaftliche Bedeutung von Viruskrankheiten ist immer im Zusammenhang mit dem Befallsgeschehen zu sehen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass in Befallsjahren bundesweit mit hochgradigen Infektionen der Winterrapsbestände mit dem TuYV zu rechnen ist, die zweifelsohne Ertragsminderungen zur Folge haben. Die Voraussetzung, virusbedingte Ertragsminderung in naher Zukunft durch den Anbau resistenter Winterrapsorten weitestgehend zu verhindern, ist bereits geschaffen (GRAICHEN, 1997).

Das Auftreten des TuYV-Befalls ist sehr stark von der Witterung abhängig. Die Symptome werden von den Landwirten häufig mit Nährstoffmangel verwechselt, was dadurch bestärkt wird, dass sich die Symptome nach der Düngergabe zurückbilden. Dies geschieht jedoch aufgrund der starken Entwicklung der grünen Blattmasse und des Überwachsens der Virussymptome.

Nicht immer wird in Proben mit virusverdächtigen Symptomen eine Infektion mit dem TuYV nachgewiesen. Andererseits sind die untersuchten infizierten Blattproben häufig ohne Virussymptome. Dies erschwert die Feststellung eines Befalls und macht die Notwendigkeit der serologischen Testung des Probenmaterials zur Befallsbeurteilung deutlich (GRAICHEN et al., 2000a).

## 6 Zusammenfassung

---

Das Wasserrübenvergilbungsvirus (*Turnip yellows virus*, TuYV) tritt in Winterrapsbeständen in Deutschland, England, Frankreich, den USA, Australien und anderen Ländern auf. In der Literatur wird dieses Virus häufig als Westliches Rübenvergilbungsvirus (*Beet western yellows virus*) bezeichnet. Die Symptome des Virusbefalls sind Rotfärbungen der Blätter, Wachsminderungen und zum Teil erhebliche Ertragsverluste. Die meisten zugelassenen Winterrapsorten sind anfällig gegen das TuYV. Das Virus wird durch Blattläuse in persistenter Weise übertragen und ist in der Pflanze im Phloem lokalisiert. Der wichtigste Vektor ist die weit verbreitete Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*).

Um die Auswirkungen des TuYV festzustellen, wurden im Rahmen dieser Arbeit die Daten verschiedener Versuche im Bezug auf folgende Aspekte ausgewertet:

1. Untersuchung der Virus reduzierenden Wirkung einer Spezialbeize mit den Wirkstoffen Imidacloprid und Beta-Cyfluthrin gegenüber der damaligen Standardbeize 'Oftanol-T' (Isophenfos) in den Jahren 1999 bis 2001,
2. Ermittlung der Wirkung des Virusbefall auf die resistente Sorte 'Caletta' im Vergleich zu anfälligen Sorten in den Jahren 2002 bis 2004,
3. Bestimmung der aktuellen Befallssituation im Jahr 2006,
4. Wirkung des Virusbefalls auf die einzelnen Ertragsparameter,
5. Verbreitung des TuYV im Bundesgebiet.

Die beiden erstgenannten Versuche wurden von der UFOP und der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein innerhalb bestehender Landes- und Bundessortenversuche durchgeführt. Bei der Erhebung des Befalls im Jahr 2006 handelt es sich um eigene Untersuchungen, die von der UFOP finanziert und im Labor des ALR in Kiel durchgeführt wurden. Die Auswertung der Daten ergab folgende Ergebnisse:

- Der Befall der Rapsbestände mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus in den einzelnen Jahren unterliegt sehr großen Schwankungen. Auch liegen erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen Deutschlands vor. In den ausgewerteten Jahren liegt der Virusbefall mit einer Spanne von 17 bis 62 % bei durchschnittlich 30 %. Er ist abhängig von der Besiedlung der Bestände mit Virus beladenen Blattläusen. Diese werden sehr stark durch die Witterung in den einzelnen Jahren sowie vom Virusreservoir, das heißt von der Vorkommensdichte der Wirtspflanzen in einer Region, beeinflusst. In den südlichen Bundesländern wurde im Vergleich zum übrigen Bundesgebiet nur ein geringer Virusgehalt festgestellt.

- Die untersuchte Spezialbeizung mit den Wirkstoffen Imidacloprid und Beta-Cyfluthrin hat im Vergleich zu der Standardbeize mit dem Wirkstoff Isophenfos den Befall signifikant reduziert und dadurch zu einer Steigerung des Ertrages geführt.
- Durch die TuYV-Resistenz der Sorte 'Caletta' konnte der Befall gegenüber den anfälligen Vergleichssorten signifikant reduziert werden. Ertraglich sind die anfälligen Standardsorten der Sorte 'Caletta' und anderen von PAETSCH und Mitarbeitern (2004) untersuchten resistenten Stämmen noch überlegen. Erst ab einem Befall von etwa 40 % bringt 'Caletta' relativ zu den Vergleichssorten höhere Kornerträge.
- Die eigenen Untersuchungen zum Auftreten des TuYV im Jahr 2006 ergaben, dass der durchschnittliche Befall der 23 untersuchten Standorte in diesem Jahr mit einer Streuung von 0 bis 100 % bei 25 % lag.
- Der Kornertrag in dt/ha wird signifikant durch das Virus reduziert. Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Ertragsverluste liegen bei 7 % bzw. 2,4 dt/ha.
- Die Pflanzenlänge wird nach den Auswertungen in dieser Arbeit nicht signifikant verringert. Demgegenüber stehen Untersuchungen von GRAICHEN und SCHLIEPHAKE (1996) sowie SCHRÖDER (1994) nach denen eindeutige Wachsminderungen durch das Virus hervorgerufen wurden.
- Die anderen Ertragsparameter Ölgehalt, Ölertrag, Proteingehalt, TKG und GSL-Gehalt wurden nicht signifikant durch den TuYV-Befall beeinflusst.

## 7 Literaturverzeichnis

---

- BREUER, N. 2007 **Deutschlands Landwirte führen beim nachhaltigen Rapsanbau**  
Pressemitteilung UFOP e.V.  
<http://www.presseportal.de/story.htx?nr=974878&action=bigpic&att=70074>, 05.05.2007
- BURCKHARDT, F. 1960 **Untersuchungen über eine viröse Vergilbung der Stoppelrübe**  
Mitteilungen aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 99, 84-96
- BURCKHARDT, F. 1963 **Untersuchungen über Virose der Kultur-*Brassica*-Arten**  
Mitteilungen aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 108, 66-70
- CLARK, M.F., ADAMS, A.N. 1977 **Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for detection of plant viruses**  
J. Gen. Virology 34, 475-483
- DREWS, G., ADAM, G., HEINZE, C. 2004 **Molekulare Pflanzenvirologie**  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- DREYER, F., GRAICHEN, K., JUNG, C. 2001 **A major quantitative trait locus for resistance to *Turnip yellows virus* (TuYV, syn. *Beet western yellows virus*, BWYV) in rapeseed**  
Plant breeding 120, 457-462
- DUFFUS, J.E., RUSSEL, G.E. 1972 **Serological relationship between *Beet western yellows* and *Turnip yellows viruses***  
Phytopathology 62, 1274-1277
- FRITZSCHE, R., KARL, E., LEHMANN, W., PROESELER, G. 1980 **Übertragung durch tierische Vektoren und die Wechselbeziehung zwischen Vektor, Virus und Wirtspflanze**  
In: KLINKOWSI, M (Hrsg), Pflanzliche Virologie, Band 1: Einführung in die allgemeinen Probleme, Akademie-Verlag Berlin, 3. Auflage, 134-182

- GRAICHEN, K. 1991 **Zum Befall von Winterraps mit dem Westlichen Rübenvergilbungsvirus**  
Zeitschrift Raps 9 (4) 203-205
- GRAICHEN, K. 1994 **Nachweis von Resistenz gegenüber dem *Turnip yellows luteovirus* (TuYV) in Winterraps und verwandten Arten**  
Vorträge für Pflanzenzüchtung 30, 132 -143
- GRAICHEN, K. 1995 **Winterraps, keine Infektionsquelle für das Milde Rübenvergilbungsvirus**  
Zeitschrift Raps 13 (3) 104-107
- GRAICHEN, K. 1995a **Zur Bedeutung von Virusbefall für den Anbau von Winterraps und Leindotter**  
Mitteilungen aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 310, 102-108
- GRAICHEN, K. 1996 **Einlagerung von Resistenzen gegen das Westliche Rübenvergilbungsvirus im Raps mittels genetischer und konventioneller Methoden**  
Teilprojekt Aschersleben, Jahresbericht der BAZ an Kulturpflanzen, 69-71
- GRAICHEN, K. 1997 **Wasserrübenvergilbungsvirus, Ertrags- und Qualitätsminderung beim Winterraps**  
Zeitschrift Raps 15 (4) 156-159
- GRAICHEN, K.  
RABENSTEIN, F.  
KURTZ, E. 2000a **Auftreten des Wasserrübenvergilbungs-Virus (*turnip yellows virus*) an Winterraps in Österreich**  
Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen, Pflanzenschutzberichte 59, 1, 35-46,
- GRAICHEN, K.,  
PETERKA, H.,  
ECKE, W. 1998 **Einlagerung und Kartierung von Virusresistenz in Winterraps als Voraussetzung zur Entwicklung molekularer Selektionsmarker**  
Vorträge zur Pflanzenzüchtung 42, 99-101
- GRAICHEN, K.,  
PETERKA, H.,  
RABENSTEIN, F. 1999 **Erstellung von Basismaterial bei Winterraps mit Resistenz gegen das *Turnip yellows virus* (Luteoviridae, *Polerovirus*)**  
Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) Vorträge zur Pflanzenzüchtung 46, 72-81

- GRAICHEN, K., PETERKA, H. 1995 **Evidence of resistance to *Beet western yellows virus* in oilseed rape**  
Züchtungsforschung Bericht aus der BAZ für Kulturpflanzen 1, 87-90
- GRAICHEN, K., PETERKA, H. 1999 **Generation of oilseed rape with resistance to *Turnip yellows luteovirus***  
Proceedings 10th International Rapeseed Congress Canberra, Australia
- GRAICHEN, K., RABENSTEIN, F. 1996 **European isolates of Beet western yellows virus from oilseed rape (*Brassica napus L. ssp. Napus*) are non-pathogenic on sugar Beet (*Beta vulgaris L. var. altissima*) but represent isolates of *Turnip yellows virus***  
Journal of Plant Diseases and Protection 103, 233-245
- GRAICHEN, K., RABENSTEIN, F. SCHLIEPHAKE, E., 2000a **Bestimmung der Virulenz von Isolaten des *Turnip yellows luteovirus* (Syn. *Beet western yellow luteovirus*)**  
Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen Phytomedizin, 30, 2, 16
- GRAICHEN, K., SCHLIEPHAKE, E. 1996 **Auftreten, Symptome und Vektoren des Wasserrübenvergilbungsvirus (Syn. Westliches Rübenvergilbungsvirus) am Winterraps**  
Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 48, 186-191
- GRAICHEN, K., SCHLIEPHAKE, E. 1999 **Infestation of winter oilseed rape by *Turnip yellows luteovirus* and its effect on yield in Germany**  
Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress, Camberra, 26-29
- GRAICHEN, K., SCHLIEPHAKE, E. 2000 **Virusauftreten im Winterraps**  
Zeitschrift Raps 18 (4), 190-194
- GRAICHEN, K., SCHLIEPHAKE, E., RABENSTEIN, F. 2000 **Auftreten des *Turnip yellows luteovirus* an Winterraps in verschiedenen deutschen Anbauregionen**  
Mitteilungen aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 376, 196

- GRAICHEN, K., 1998 **Sensitivitätsvergleich von Nachweismethoden für das**  
SCHUBERT, J., *Turnip yellows luteovirus*  
RICHTER, K., Mitteilung aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft  
RABENSTEIN, F. Berlin-Dahlem, 357, 292-293
- GRONOW, J. 2007 Mündliche Mitteilung  
UFOP-Außenstelle für Versuchswesen in Osterröfnfeld
- GRONOW, J., 2001 **Virusbefallssituation und Befallsminderung im**  
GRAICHEN, K., **Winterraps**  
KREYE, H. UFOP Außenstelle für Versuchswesen,  
Landwirtschaftskammer S-H, Osterröfnfeld, BAZ an  
Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Resistenz,  
Aschersleben, BBA für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,  
Braunschweig, unveröffentlicht
- HAUSER, S., 2000 **Biological, Serological and Molecular Variability**  
STEVENS, M., **suggest three distinct *polerovirus* Species infecting**  
MOUGEL, C., **Beet or rape**  
SMITH, H.G., Virology, Phytopathology 90 (5), 460-466  
FRITSCH, C.  
HERRBACH, E.,  
LEMAIRE, O.
- HEIMBACH, U. 2007 **Mehr Blattläuse wegen mildem Winter**  
[http://www.vdbiol.de/vdbiol/content/e5/e224/index\\_ger.html?news\\_id=3986](http://www.vdbiol.de/vdbiol/content/e5/e224/index_ger.html?news_id=3986), 13.03.2007
- HEIMBACH, U., 2002 **Möglichkeiten zur Reduzierung der Blattlauszahlen**  
EGGERS, C. **und des Virusbefalls im Raps im Herbst**  
Mitteilung aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem, 388, 67-75
- HEINZE, K. 1967 **Die Vergilbungskrankheit der Kohl- und Wasserrübe**  
**als Krankheitsursache auf Zierpflanzen**  
Mitteilungen aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem, Heft 121, 132-139
- HEITEFUSS, R. 2000 **Pflanzenschutz**  
Grundlagen der praktischen Phytomedizin, 3. Auflage,  
Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 160ff

- HILL, S. A.,  
LANE, A.,  
HARDWICK, N. V.      1989      **The incidence and importance of *Beet western yellows virus* in oilseed rape**  
Aspects of Applied Biol. 23, Production and Protection of Oilseed Rape and other *Brassica* Crops, 1989. Cambridge, UK 311-318.59
- HOFFMANN, G.M.,  
NIENHAUS, F.,  
SCHÖNBECK, F.,  
WELTZIEN, H.C.,  
WILBERT, H.      1976      **Lehrbuch der Phytomedizin**  
Paul Parey, Berlin und Hamburg
- HÖHNLE, M.      2001      **Bestimmung der Kapsidproteindeterminanten für die Übertragung von Geminiviren durch die Weiße Fliege *Bemisia tabaci***  
Dissertation an der Fakultät für Geo- und Biowissenschaften der Universität Stuttgart
- JAY C.N.,  
ROSSAL, S.,  
SMITH, H.G.      1999      **Effects of *Beet western yellows virus* on growth and yield of oilseed rape (*Brassica napus*)**  
Journal of Agricultural Science 133, 131-139
- JONES, R. A. C.  
COUTTS, B. A.  
HAWKES, J.      2007      **Yield limiting potential of *Beet western yellows virus* in *Brassica napus***  
for Review Purposes only, Australia, schriftliche Mitteilung RABENSTEIN
- JUERGENS, M.,  
KRÄMER, I.,  
SNOWDON, R.,  
RABENSTEIN, F.,  
ORDON, F.      2006a      **Genetische Untersuchung zur TuYV Resistenz bei Winterraps und Entwicklung molekularer Marker**  
Bericht über die 57. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreich, HBLFA Raumberg-Gruppenstein
- JÜRGENS, M.,  
PAETSCH, C.,  
KRÄMER, I.,  
SNOWDON, R.,  
ORDON, F.      2006      **Aufklärung der Genetik der Turnip yellows virus (TuYV) Resistenz bei Winterraps (*Brassica napus* L.) und Entwicklung molekularer Marker**  
Vorträge zur Pflanzenzüchtung 68, 60
- KLINKOWSKI, M.      1980      **Pflanzliche Virologie**  
Band 1: Einführung in die allgemeinen Probleme, Akademie-Verlag Berlin

- 
- KOCH, J. 2002 **TuYV-Ertragsrelevanz und Stand der Züchtung**  
Saatzucht Hadmersleben GmbH, Zuchtstation Teendorf  
unveröffentlicht
- KOCH, J. 2004 **SW Seed GmbH**  
[http://www.semundo.de/product/page\\_raps\\_tuyv.htm](http://www.semundo.de/product/page_raps_tuyv.htm),  
13.02.2007
- KOCH, J. 2007 Mündliche Mitteilung  
Mitarbeiter der Firma Pioneer, Buxtehude
- KOLL, H. 2005 **Rapsanbau in Deutschland, Anteil des Rapses an der  
Ackerfläche**  
Information Medien Agrar e.V. [http://www.ima-  
agrار.de/Dateien/Rapsanbau\\_.pdf](http://www.ima-agrar.de/Dateien/Rapsanbau_.pdf), 07,05,2007
- KROPF, U. 2007 Persönliche Mitteilung  
Fachhochschule Kiel, Fachbereich Landbau, 02.04.2007
- LAUCKE, G. 2000 **Molekularbiologische Untersuchungen zur subzellular-  
lären Lokalisierung des putativen Transportproteins-  
P19,5k-des *Beet western yellows virus* (BWYV) und  
Erarbeitung der Grundlagen für eine gentechnisch zu  
erzeugende Resistenz gegen das BWYV**  
Dissertation an der Gemeinsamen Naturwissen-  
schaftlichen Fakultät der Technischen Universität  
Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
- LÖWER, C., 1996 **Untersuchungen zum Befall des Rapses mit BWYV in  
EPPLER, A. Mittelhessen 1992 bis 1996**  
Mitteilungen aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem, Heft 321, 244
- LÜTKEMEIER, D., 2004 **Wasserrübenvergilbungsvirus, Untersuchungen im  
SAUERMAN, W. Frühjahr 2004**  
unveröffentlicht
- MAYO, M.A., 1999 **Family Luteoviridae: a reclassification of luteoviruses**  
D'ARCY, C.J. In: SMITH, H.G., BARKER, H. (Eds.), The  
Luteoviridae. CAB International, Oxford, 15-22

- 
- MEYER-  
KAHSNITZ, S. 1993 **Angewandte Pflanzenvirologie**  
Bernhard Thalacker Verlag Braunschweig
- NEUBAUER, C. 1997 **Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Institut für  
Pflanzenbau und Pflanzenschutz (IPP)**  
[http://www.ulmer.de/GEIZ2DH2oBHIo7Yp7F1onAnQp.  
HTML](http://www.ulmer.de/GEIZ2DH2oBHIo7Yp7F1onAnQp.HTML), 10.03.2007
- NN 2006 Bedienungsanleitung ELISA-Test,  
unveröffentlicht, Amt für ländliche Räume Kiel
- NN 2007 **Raps in der Landwirtschaft: Zahlen und Fakten**  
[http://www.biosicherheit.de/de/raps/landwirtschaft/85.do  
ku.html](http://www.biosicherheit.de/de/raps/landwirtschaft/85.doku.html), 05.05.2007
- NN 2007a **Donald Danforth Plant Science Center**  
[http://www.danforthcenter.org/iltab/ictvnet/asp/iVirusInd  
ex.asp](http://www.danforthcenter.org/iltab/ictvnet/asp/iVirusIndex.asp), 13.03.2007
- NN 2007b **NCBI taxonomy database**  
[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax  
x.cgi?mode=Undef&id=119163&lvl=3&keep=1&srchm  
ode=1&unlock](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Undef&id=119163&lvl=3&keep=1&srchmode=1&unlock), 13.03.2007
- NN 2007c <http://www.dpvweb.net/dpv/showdpv.php?dpvno=089>,  
14.03.2007
- NN 2007d [http://www.dapp.boku.ac.at/fileadmin/\\_/H95/H953-  
bilder/pdf-lehre/953316-02.pdf](http://www.dapp.boku.ac.at/fileadmin/_/H95/H953-bilder/pdf-lehre/953316-02.pdf), 21.03.2007
- NN 2007e [http://www.plantpath.wisc.edu/soyhealth/virus/technique  
s/elisasteps.gif](http://www.plantpath.wisc.edu/soyhealth/virus/techniques/elisasteps.gif), 26.03.2007
- NN 2007f **Auszug aus: Pflanzenschutzempfehlung Ackerbau  
und Grünland**  
Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau  
Sachsen-Anhalt, Dezernat Pflanzenschutz  
[http://www.isip2.de/coremedia/generator/Inhalt/Nachrich  
ten/Deutschland/Sachsen-Anhalt/Feldbau](http://www.isip2.de/coremedia/generator/Inhalt/Nachrichten/Deutschland/Sachsen-Anhalt/Feldbau), 01.05.2007

- NN 2007g [http://www.bba.bund.de/nn\\_805140/DE/Home/pflanzen\\_\\_schuetzen/krankheiten/diagnose\\_\\_nachwverf,templateId=renderPrint.html](http://www.bba.bund.de/nn_805140/DE/Home/pflanzen__schuetzen/krankheiten/diagnose__nachwverf,templateId=renderPrint.html), 12.04.2007
- NN 2007h **Pflanzenschutz Manager Raiffeisen**  
<http://www.raiffeisen.com/pflanzen/psm-manager/splitParams/16/I/f/0/004674-00>
- NN 2007i **Beta-Cyfluthrin**  
PSM-Liste vom Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit  
<http://psm.zadi.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1178371261365>
- PAETSCH, C., GRAICHEN, K., FRAUEN, M., HAUSKA, D., HEMKER, R., KOCH, J., STIEWE, G. 2003 **Infestation of winter oilseed rape by *Turnip yellows luteovirus* and its relevance to yield**  
Proceedings 11th International Rapeseed Congress I, 61-63
- PAETSCH, C., DUCHSCHERER, P.; FRAUEN, M.; HAUSKA, D., HEMKER, R., KOCH, J., STIEWE, G. 2004 **Abschlussbericht zum Forschungsprojekt 2004 Entwicklung ertragreicher Winterrapslinien mit stabiler Resistenz gegen das TuYV zur Gewinnung nachwachsender Rohstoffe**, BBA für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen, Projekt Nr. ÖE 120/01
- PAUL, V.H. 2003 **Raps: Krankheiten, Schädlinge, Schadpflanzen**, Verlag Th.Mann, Gelsenkirchen-Buer
- PETERS, A. 2007 Persönliche Mitteilung, SW-Seed GmbH, 12.03.2007
- POLAK, J., MAIKOWA, L. 1992 **Winter oilseed rape as a likely source and reservoir of Beet western virus**  
Ochrana Rostlin 28, 191-196.
- PRÜFE, M., SCHROD, J., LÖWER, C., EPPLER, A. 1994 **Untersuchungen zum Virusbefall des Rapses in der Umgebung von Gießen**  
Mitteilungen aus BBA für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 301, 94

- 
- PUHL, T. 2007 mündliche Mitteilung  
Bayer CropScience Deutschland GmbH
- RABENSTEIN, F. 2000 **Entwicklung serologischer und molekularbiologischer Methoden zur Differenzierung von *Luteoviren* bei Raps und Zuckerrübe und zur Selektion auf Virusresistenz**  
Jahresbericht Bundessanstalt für Züchtungsforschung, 61
- RABENSTEIN, F., KRÄMER, R., PROESELER, G., MARTHE, F., CLAUSS, E. 2000 **Prüfung von Herkünften aus der Familie Brassicaceae auf Resistenz gegen *Turnip yellows virus* (*Beet western yellows virus*), *Turnip mosaic virus* und Aphiden**  
Mitteilung BBA für Land- Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 376, 556
- READ, M. A., HEWSON, R.T. 1988 **Prevention of *Beet western yellows virus* (BWYV) in winter oilseed rape by control of aphid vectors with deltamethrin**  
Brighton Crop Protection Conference-Pest and Diseases, 989-997
- RICHTER, K., RABENSTEIN, F., SCHUBERT, J. 2000 **Entwicklung einer an die Züchtungspraxis adaptierten Methode zur Prüfung von Winterraps auf Resistenz gegenüber dem Wasserrübenvergilbungsvirus (*Turnip yellows virus* TuYV)**  
Beiträge aus der Züchtungsforschung 6, 2, 17-30
- SAUERMAN, W. 2000 **Anbauinformation für den Versuch auf Sortenresistenz 1999-2001 für die Versuchsstandorte des LSV**  
unveröffentlicht, 08.2000
- SAUERMAN, W. 2007 Persönliche Mitteilung, Referent für Öl- und Proteinpflanzen, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Osterröfeld
- SCHIEMANN, J., LAUCKE, G., GRAICHEN, K., MAISS, E., CASPER, R. 1998 **Das Westliche Rübenvergilbungsvirus beim Winterraps-Nachweis, Epidemiologie, Klonierung sowie Ansätze zur züchterischen und gentechnischen Erzeugung von Virusresistenz**  
Mitteilungen aus der BBA für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 340, 35-61

- SCHLIEPHAKE, E., GRAICHEN K., RABENSTEIN, P. 1997 **Epidemischer Befall von Winterraps durch das Wasserrübenvergilbungsvirus (Syn. Westliches Rübenvergilbungsvirus) im Anbaujahr 1995/1996**  
Nachrichten Blatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes Braunschweig 49, 241-246
- SCHLIEPHAKE, E., GRAICHEN, K. 1996 **Untersuchung der Virus-Vektor-Beziehung zwischen verschiedenen Aphiden und dem Milden Rübenvergilbungsvirus (BMYV) sowie dem Westlichen Rübenvergilbungsvirus (BWYV)**  
Teilprojekt Aschersleben, Jahresbericht der BAZ, 71
- SCHLIEPHAKE, E., GRAICHEN, K., RABENSTEIN, F. 2000 **Investigations on the vector transmission of the Beet mild yellowing virus (BMYV) and the Turnip yellows virus (TuYV)**  
Journal of Plant Diseases and Protection 107 (1), 81-87, Eugen Ulmer GmbH&Co., Stuttgart
- SCHLÜTER, K. 2004 Skript zur Vorlesung Phytomedizin, Fachhochschule Kiel, Fachbereich Landbau, Osterrönfeld
- SCHLÜTER, K. 2007 Persönliche Mitteilung, Dozent der Fachhochschule Kiel, Fachbereich Landbau, Osterrönfeld, 12.03.2007
- SCHRÖDER, M. 1991 **Schädigen Viren nun auch den Raps?**  
DLG-Mitteilungen 8, 57-58
- SCHRÖDER, M. 1994 **Untersuchungen zur Anfälligkeit des Rapses (*Brassica napus L. ssp. napus*) gegenüber verschiedenen Viruskrankheiten**  
Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 101, 576-589, Eugen Ulmer GmbH&Co., Stuttgart
- SCHRÖDER, M. 1996 **Das Westliche Rübenvergilbungsvirus an Winterraps in Baden-Württemberg**  
Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 48, 32-35
- SCHUBERT, J., RICHTER, K., GRAICHEN, K., RABENSTEIN, F. 1999 **Comparison of the 5'-end nucleotide sequences of Turnip yellows luteovirus isolates**  
Phytomedizin, Sonderheft 1, 37

- 
- SEDDAS, P., 2004 **Rack-1, GAPDH3, and actin: proteins of *Myzus persicae* potentially involved in the transcytosis of *Beet western yellows virus* particles in the aphid,**  
BOISSINOT, S.,  
STRUB, J.M.  
DORSELAR, A.  
REGENMORTEL, M.,  
PATTUSD, F.  
*Virology* 325, 399– 412
- SMITH, H. G, 1985 **Studies on Beet western yellows virus in oilseed rape**  
HINCKES, J. A  
*(Brassica napus ssp. oleifera)* and sugar Beet *(Beta vulgaris)*  
*Annals of Applied Biology* 107, 473-484
- STEVENS, M., 1995 **Detection of the luteoviruses, *Beet mild yellowing virus***  
SMITH, H.G.,  
HALLESWORTH,  
P.B.  
**and *Beet western yellows virus*, in aphids caught in sugar-Beet and oilseed rape crops, 1990-1993**  
*Annals of Applied Biology* 127 (2), 309-320
- THOMAS, P. E., 1993 **Potential role of winter rape seed on the epidemiology**  
HANG, A. N.,  
REED, G.,  
GILLILAND, G. C.,  
REISENHAEUER, G.  
**of potato leafroll disease**  
*Plant Disease* 77, 420-423

## Anhang

---

|   |     |
|---|-----|
| Anhang 1: Testprotokoll des ELISA-Tests .....                                       | 98  |
| Anhang 2: Ergebnisse der photometrischen Messung .....                              | 99  |
| Anhang 3: Einfache Regression des Ölertrages in Abhängigkeit vom Befall, 2006 ..... | 100 |
| Anhang 4: Einfache Regression des Ölgehaltes in Abhängigkeit vom Befall, 2006 ..... | 100 |
| Anhang 5: Einfache Regression des Proteingehaltes in Abhängigkeit vom Befall .....  | 100 |
| Anhang 6: Einfache Regression des TKGs in Abhängigkeit vom Befall, 2006 .....       | 101 |
| Anhang 7: Einfache Regression des GSL-Gehaltes in Abhängigkeit vom Befall, 2006     | 101 |
| Anhang 8: Einfache Regression der Pflanzenlänge in Abhängigkeit vom Befall, 2006.   | 101 |
| Anhang 9: TuYV-Befall im Jahr 1998 .....  | 102 |
| Anhang 10: TuYV-Befall im Jahr 2001 .....   | 102 |
| Anhang 11: TuYV-Befall im Jahr 2002 .....   | 103 |
| Anhang 12: TuYV-Befall im Jahr 2003 .....   | 103 |
| Anhang 13: TuYV-Befall im Jahr 2004 .....   | 104 |
| Anhang 14: Testung von Winterraps auf <i>Turnip yellows virus</i> 2006.....         | 104 |

## Anhang 1: Testprotokoll des ELISA-Tests

## VIRUSNACHWEIS IN PFLANZENPROBEN (Testprotokoll)

Probenmaterial: Winterraps „Elektra“  
Aufarbeitung: Blattpresse  
Herkunft: Futterkamp, Kreis Plön, Schleswig-Holstein  
Einsender: Landwirtschaftskammer SH  
Nr. beim ALR-KI: 026/06  
Virustestung auf: TuYV

## PROBENAUFGABESCHEMA :

|   | 1 | 2  | 3   | 4   | 5  | 6   | 7   | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  |
|---|---|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| A |   |    |     |     |    |     |     |    |     |     |     |     |
| B |   | 1a | 7a  | 13a | 4b | 10b | 1c  | 3c | 9c  | 15c | 6d  | 12d |
| C |   | 2a | 8a  | 14a | 5b | 11b | P   | 4c | 10c | 1d  | 7d  | 13d |
| D |   | 3a | 9a  | 15a | 6b | 12b | P   | 5c | 11c | 2d  | 8d  | 14d |
| E |   | 4a | 10a | 1b  | 7b | 13b | Ko- | 6c | 12c | 3d  | 9d  | 15d |
| F |   | 5a | 11a | 2b  | 8b | 14b | Ko+ | 7c | 13c | 4d  | 10d |     |
| G |   | 6a | 12a | 3b  | 9b | 15b | 2c  | 8c | 14c | 5d  | 11d |     |
| H |   |    |     |     |    |     |     |    |     |     |     |     |

## TE7STBEDINGUNGEN:

|              | Datum :         |            | Datum: | Puffer: | Std.: | ° C : | Virus-<br>name: | Nr. des<br>verwendeten<br>Serums,Her-<br>steller : | Verd.: | Positiv<br>kon-<br>trolle |
|--------------|-----------------|------------|--------|---------|-------|-------|-----------------|--|--------|---------------------------|
| Probenahme:  | 24.04.          | Antiserum: | 25.04. | 25.04.  | 4     | 37    | TuYV            | IgG 70<br>Aschersleben                             | 1:1000 | Asch                      |
| Eingang :    | 25.04.          | Probe :    | 25.04. | 19.04.  | 18    | 4     |                 | Konjugat   | 1:2000 |                           |
|              | <b>Info . :</b> | Konjugat:  | 26.04. | 19.04.  | 4     | 37    |                 |  |        |                           |
| Testvolumen: | 100 µl          | Substrat:  | 26.04. | 26.04.  | 1     | 22    |                 |  |        |                           |
| Platte :     | Nunc            |            |        |         |       |       |                 |  |        |                           |
| sonstiges:   |                 |            |        |         |       |       |                 |  |        |                           |

## Anhang 2: Ergebnisse der photometrischen Messung

|             |                           |                   |          |
|-------------|---------------------------|-------------------|----------|
| Testdatei:  | Raps                      | Messwertdatei:    |          |
|             | 02606TUY                  |                   |          |
| Messfilter: | 405 nm                    | Reference filter: | 020 nm   |
| Datum:      | Mittwoch, den 26.04, 2006 | Uhrzeit:          | 15:20:01 |

| Ausdruckreihenfolge |   |              |              |              |              |              |               |              |              |               |              |              |
|---------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| OD-Einzelwerte      |   |              |              |              |              |              |               |              |              |               |              |              |
| Resultate           |   |              |              |              |              |              |               |              |              |               |              |              |
|                     | 1 | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7             | 8            | 9            | 10            | 11           | 12           |
| A                   |   |              |              |              |              |              |               |              |              |               |              |              |
| B                   |   | 0.574<br>+++ | 0.843<br>+++ | 0.658<br>+++ | 0.899<br>+++ | 0.036<br>??? | 0.689<br>+++  | 0.662<br>+++ | 0.792<br>+++ | 0.005<br>neg  | 0.748<br>+++ | 0.010<br>neg |
| C                   |   | 0.586<br>+++ | 0.788<br>+++ | 0.042<br>??? | 0.794<br>+++ | 0.012<br>neg | -0.000<br>neg | 0.728<br>+++ | 0.042<br>??? | -0.604<br>+++ | 0.506<br>+++ | 0.651<br>+++ |
| D                   |   | 0.877<br>+++ | 0.035<br>??? | 0.600<br>+++ | 0.779<br>+++ | 0.814<br>+++ | 0.000<br>neg  | 0.924<br>+++ | 0.002<br>neg | 0.027<br>neg  | 0.538<br>+++ | 0.425<br>+++ |
| E                   |   | 0.663<br>+++ | 0.877<br>+++ | 0.754<br>+++ | 0.656<br>+++ | 0.638<br>+++ | 0.002<br>neg  | 0.342<br>+++ | 0.538<br>+++ | -0.002<br>neg | 0.484<br>+++ | 0.032<br>??? |
| F                   |   | 0.046<br>??? | 0.054<br>??? | 0.850<br>+++ | 0.865<br>+++ | 0.027<br>neg | 0.493<br>+++  | 0.532<br>+++ | 0.657<br>+++ | 0.385<br>+++  | 0.819<br>+++ |              |
| G                   |   | 0.838<br>+++ | 0.012<br>neg | 0.041<br>??? | 0.838<br>+++ | 0.879<br>+++ | 0.031<br>???  | 0.898<br>+++ | 0.374<br>+++ | 0.082<br>???  | 0.036<br>??? |              |
| H                   |   |              |              |              |              |              |               |              |              |               |              |              |

Messgruppe 1 : (C7+D7)/2      Leerwertposition(en)      Leerwert(e)  
0.031

Messgruppe 1 : (F7)/1      Positivkontrolle(n)      PositivK(e)  
0.493

Messgruppe 1      Bereichsunterteilung

negativ zwischen :

Anfang :      -0.2 =      -0.200

Ende :      1\*LW1 =      0.031

fraglich zwischen :

Anfang :      1\*LW1 =      0.031

Ende :      3\*LW1 =      0.095

positiv zwischen :

Anfang :      3\*LW1 =      0.095

Ende :      5\*LW1 =      0.158

zweifach positiv zwischen :

Anfang :      5\*LW1 =      0.158

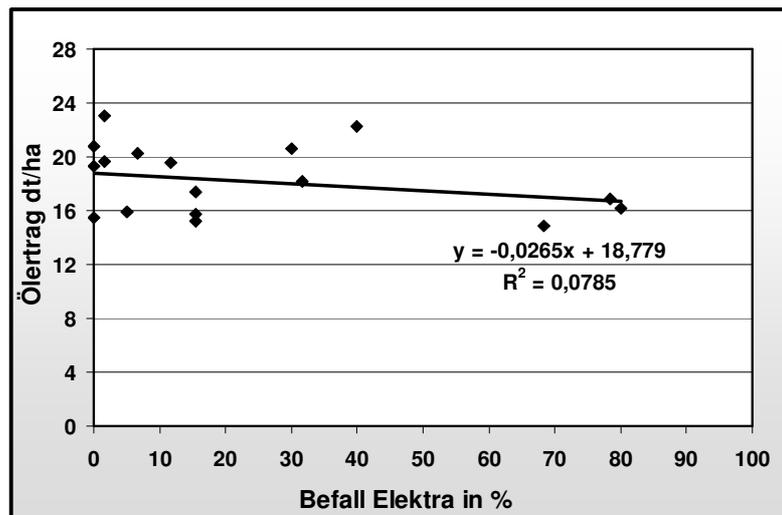
Ende :      10\*LW1 =      0.315

dreifach positiv zwischen :

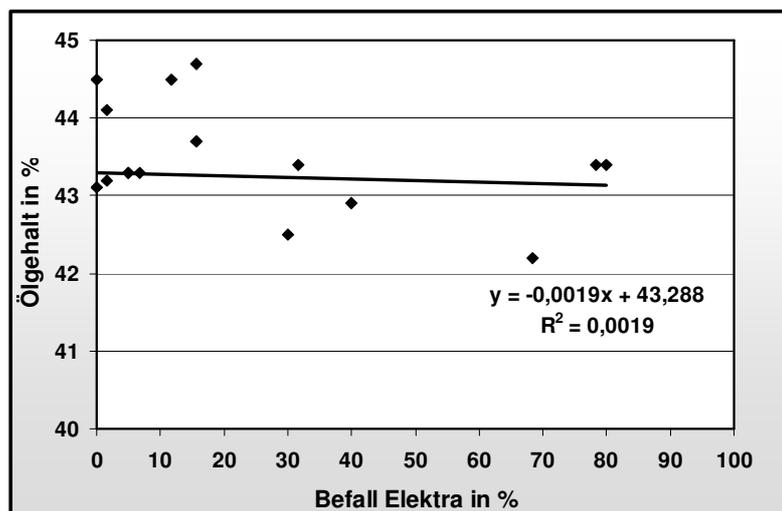
Anfang :      10\*LW1 =      0.315

Ende :      10000\*LW1 =      315.000

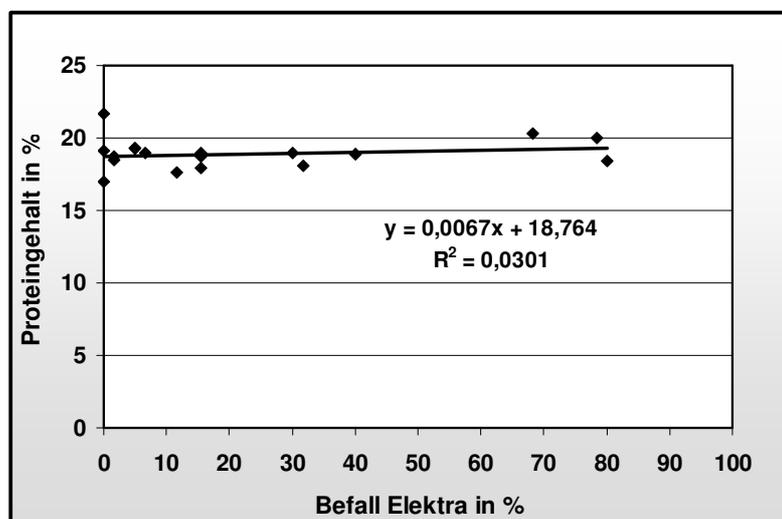
## Anhang 3: Einfache Regression des Ölertrages in Abhängigkeit vom Befall, 2006



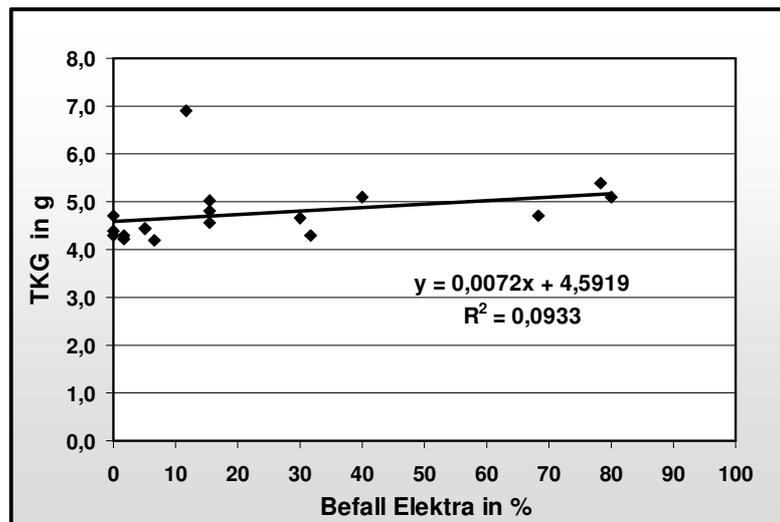
## Anhang 4: Einfache Regression des Ölgehaltes in Abhängigkeit vom Befall, 2006



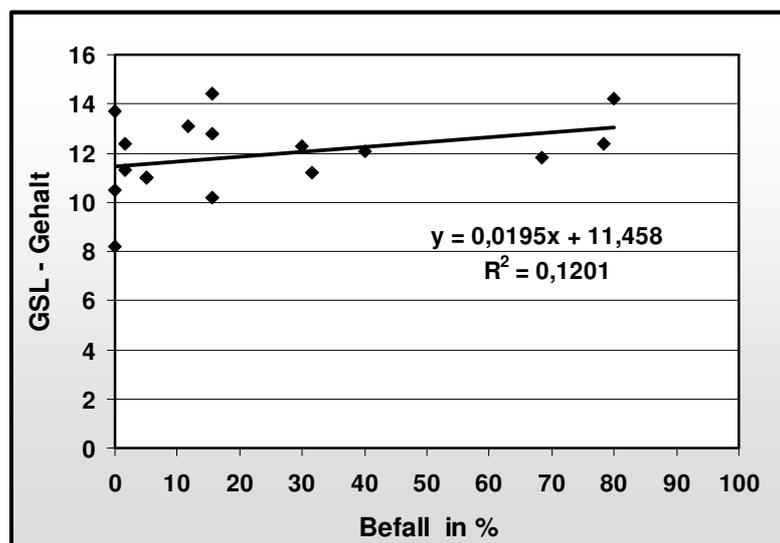
## Anhang 5: Einfache Regression des Proteingehaltes in Abhängigkeit vom Befall, 2006



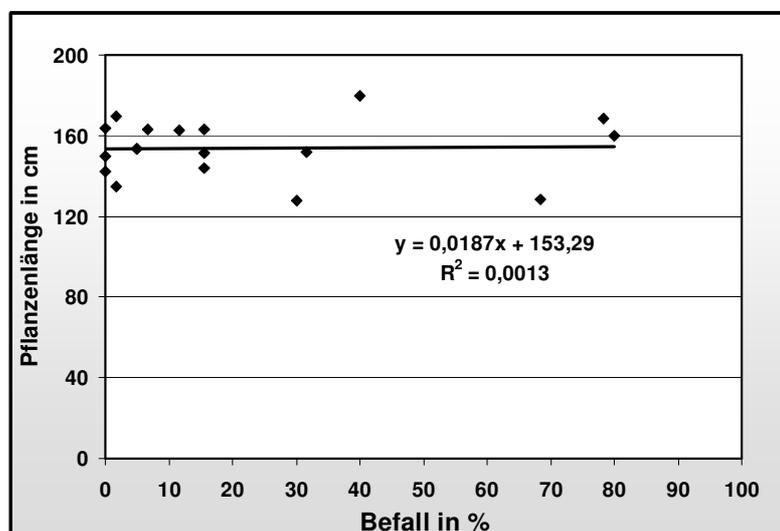
## Anhang 6: Einfache Regression des TKGs in Abhängigkeit vom Befall, 2006



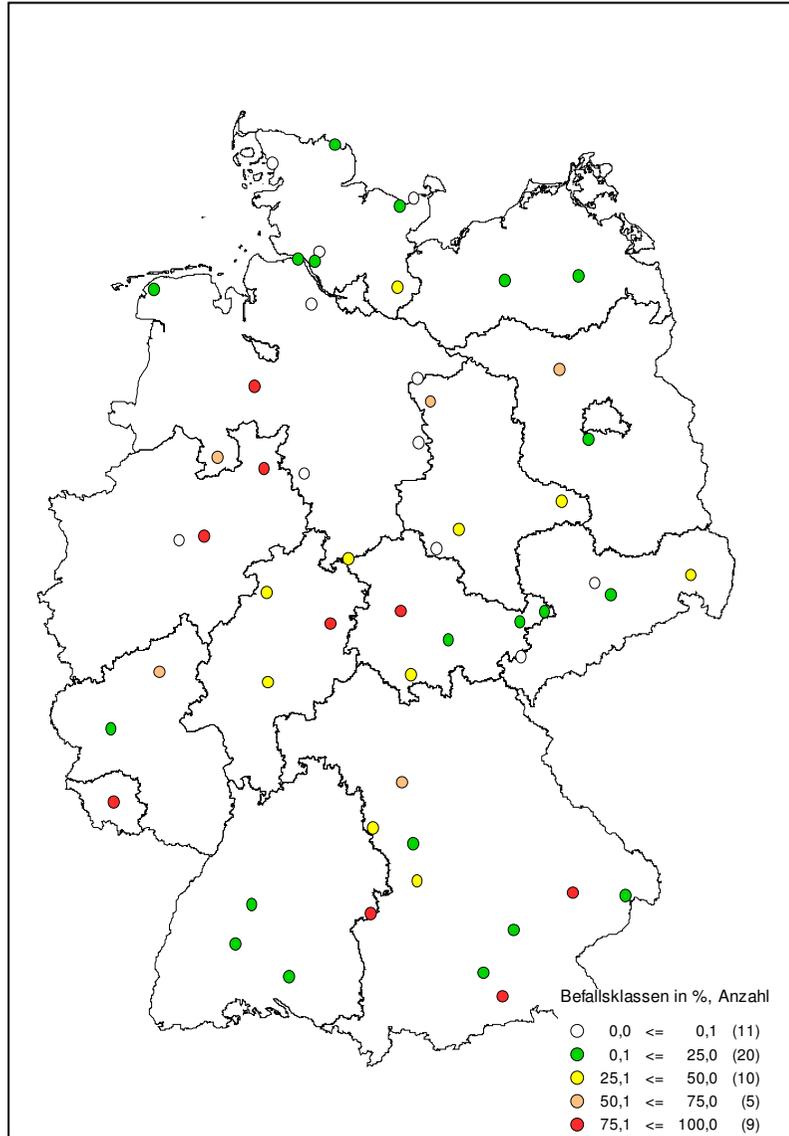
## Anhang 7: Einfache Regression des GSL-Gehaltes in Abhängigkeit vom Befall, 2006



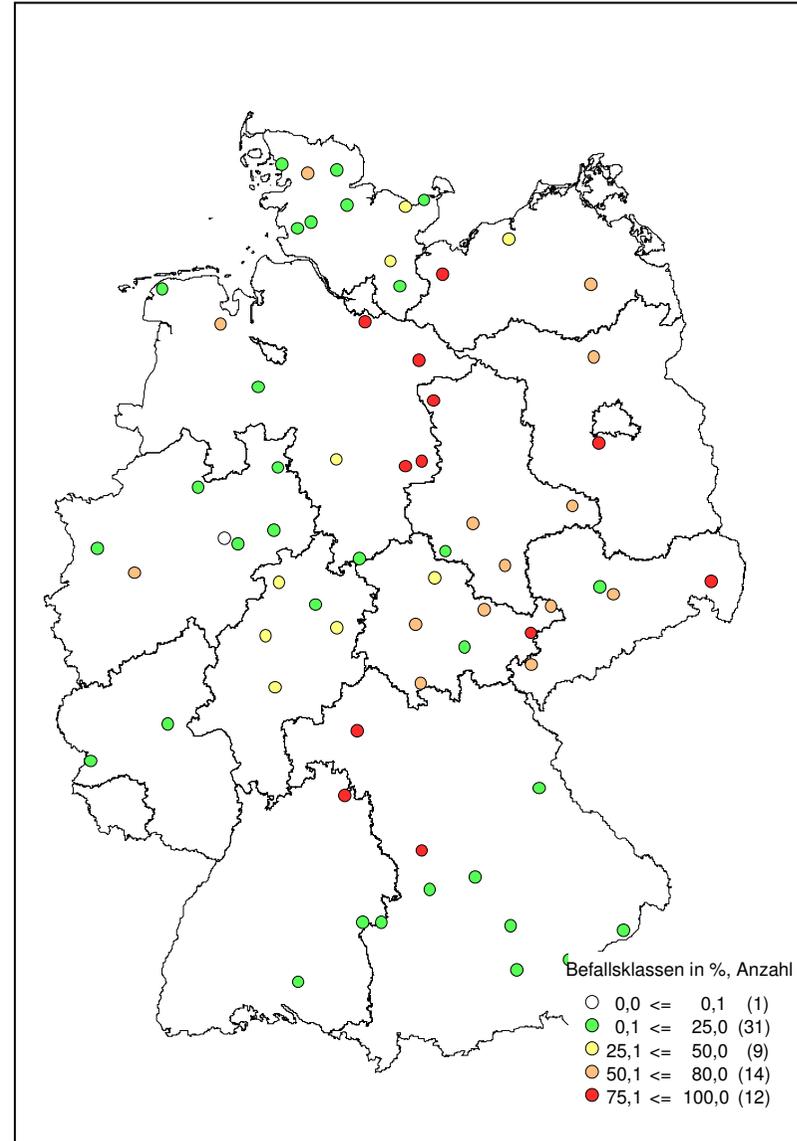
## Anhang 8: Einfache Regression der Pflanzenlänge in Abhängigkeit vom Befall, 2006



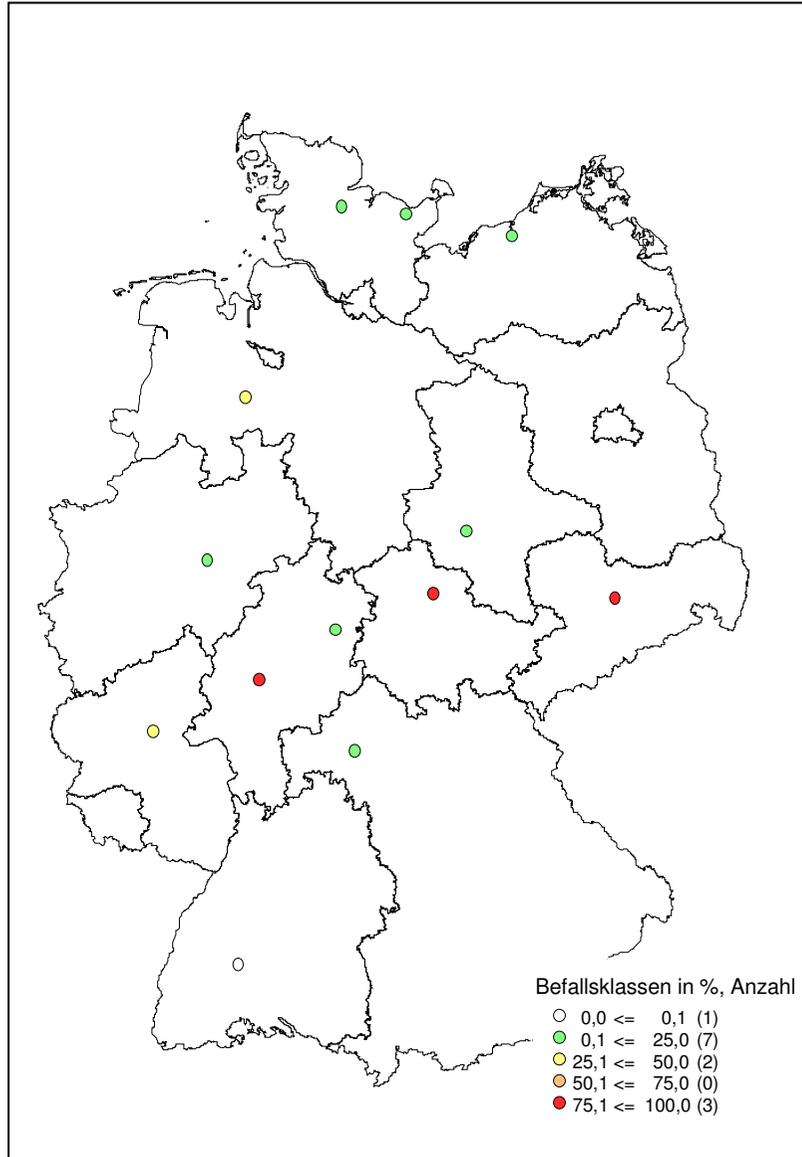
Anhang 9: TuYV-Befall im Jahr 1998



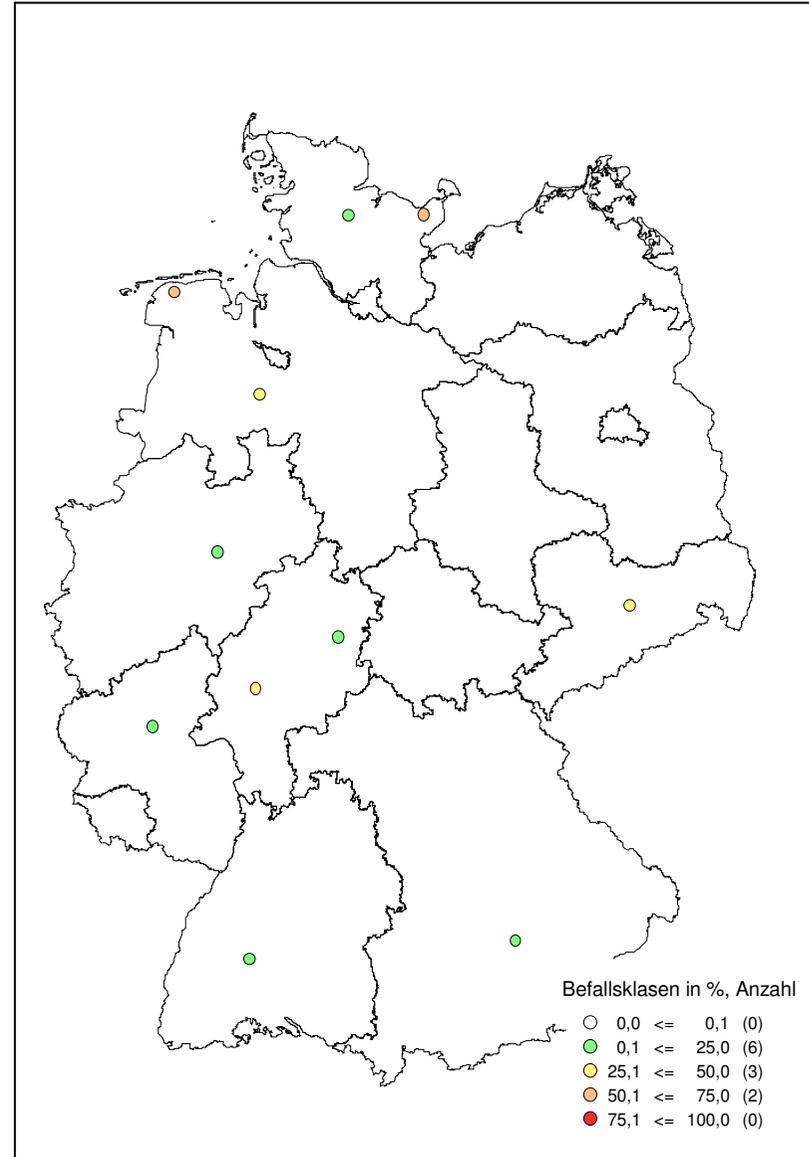
Anhang 10: TuYV-Befall im Jahr 2001



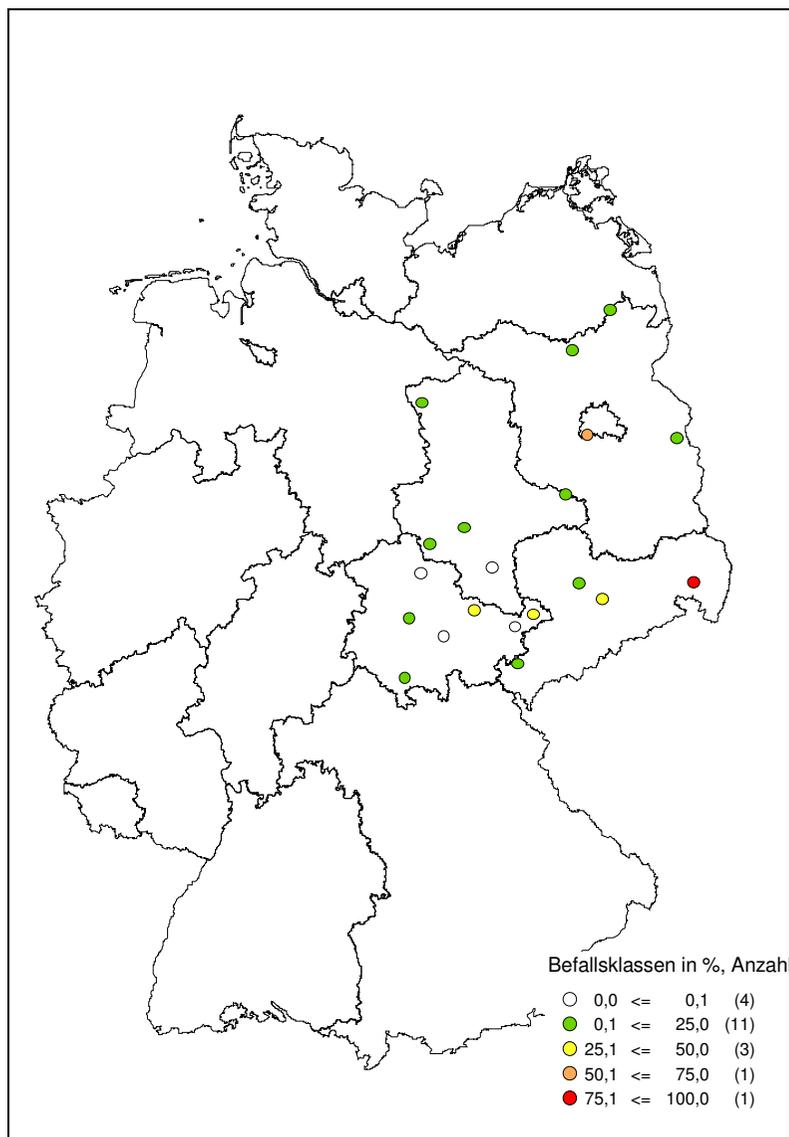
Anhang 11: TuYV-Befall im Jahr 2002



Anhang 12: TuYV-Befall im Jahr 2003



Anhang 13: TuYV-Befall im Jahr 2004



Anhang 14: Testung von Winterraps auf *Turnip yellows virus* 2006

| Standort          | Bundesland          | Wdh | TuYV        |
|-------------------|---------------------|-----|-------------|
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein  | 1   | 13,3        |
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein  | 2   | 40,0        |
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein  | 3   | 66,7        |
| Hohenschulen      | Schleswig-Holstein  | 4   | 0,0         |
| <b>Mittelwert</b> |                     |     | <b>30,0</b> |
| Futterkamp        | Schleswig-Holstein  | 1   | 13,3        |
| Futterkamp        | Schleswig-Holstein  | 2   | 0,0         |
| Futterkamp        | Schleswig-Holstein  | 3   | 6,7         |
| Futterkamp        | Schleswig-Holstein  | 4   | 26,7        |
| <b>Mittelwert</b> |                     |     | <b>11,7</b> |
| Sophienhof        | Niedersachsen       | 1   | 60,0        |
| Sophienhof        | Niedersachsen       | 2   | 40,0        |
| Sophienhof        | Niedersachsen       | 3   | 20,0        |
| Sophienhof        | Niedersachsen       | 4   | <b>6,7</b>  |
| <b>Mittelwert</b> |                     |     | <b>31,7</b> |
| Borwede           | Niedersachsen       | 1   | 73,3        |
| Borwede           | Niedersachsen       | 2   | 100,0       |
| Borwede           | Niedersachsen       | 3   | 60,0        |
| Borwede           | Niedersachsen       | 4   | 86,7        |
| <b>Mittelwert</b> |                     |     | <b>80,0</b> |
| Celle-Altenhagen  | Niedersachsen       | 1   | 40,0        |
| Celle-Altenhagen  | Niedersachsen       | 2   | 0,0         |
| Celle-Altenhagen  | Niedersachsen       | 3   | 6,7         |
| <b>Mittelwert</b> |                     |     | <b>15,6</b> |
| Berlingsen        | Nordrhein-Westfalen | 1   | 20,0        |
| Berlingsen        | Nordrhein-Westfalen | 2   | 20,0        |
| Berlingsen        | Nordrhein-Westfalen | 3   | 6,7         |
| <b>Mittelwert</b> |                     |     | <b>15,6</b> |

|                   |                    |   |             |
|-------------------|--------------------|---|-------------|
| Giessen           | Hessen             | 1 | 66,7        |
| Giessen           | Hessen             | 2 | 80,0        |
| Giessen           | Hessen             | 3 | 66,7        |
| Giessen           | Hessen             | 4 | 100,0       |
| <b>Mittelwert</b> |                    |   | <b>78,4</b> |
| Rauischholzhausen | Hessen             | 1 | 33,3        |
| Rauischholzhausen | Hessen             | 2 | 60,0        |
| Rauischholzhausen | Hessen             | 3 | 40,0        |
| Rauischholzhausen | Hessen             | 4 | 26,7        |
| <b>Mittelwert</b> |                    |   | <b>40,0</b> |
| Uhler             | Schleswig-Holstein | 1 | 0,0         |
| Uhler             | Schleswig-Holstein | 2 | 20,0        |
| Uhler             | Schleswig-Holstein | 3 | 6,7         |
| Uhler             | Schleswig-Holstein | 4 | 0,0         |
| <b>Mittelwert</b> |                    |   | <b>6,7</b>  |
| Bösingen          | Baden-Württemberg  | 1 | 0,0         |
| Bösingen          | Baden-Württemberg  | 2 | 0,0         |
| Bösingen          | Baden-Württemberg  | 3 | 0,0         |
| Bösingen          | Baden-Württemberg  | 4 | 6,7         |
| <b>Mittelwert</b> |                    |   | <b>1,7</b>  |
| Dieterskirch      | Baden-Württemberg  | 1 | 0,0         |
| Dieterskirch      | Baden-Württemberg  | 2 | 0,0         |
| Dieterskirch      | Baden-Württemberg  | 3 | 0,0         |
| <b>Mittelwert</b> |                    |   | <b>0,0</b>  |
| Boxberg           | Baden-Württemberg  | 1 | 0,0         |
| Boxberg           | Baden-Württemberg  | 2 | 0,0         |
| Boxberg           | Baden-Württemberg  | 3 | 0,0         |
| <b>Mittelwert</b> |                    |   | <b>0,0</b>  |
| Arnstein          | Bayern             | 1 | 6,7         |
| Arnstein          | Bayern             | 2 | 13,3        |
| Arnstein          | Bayern             | 3 | 26,7        |
| <b>Mittelwert</b> |                    |   | <b>15,6</b> |

|                   |                        |   |             |
|-------------------|------------------------|---|-------------|
| Oberhummel        | Bayern                 | 1 | 0,0         |
| Oberhummel        | Bayern                 | 2 | 0,0         |
| Oberhummel        | Bayern                 | 3 | 0,0         |
| Oberhummel        | Bayern                 | 4 | 6,7         |
| <b>Mittelwert</b> |                        |   | <b>1,7</b>  |
| Tützpatz          | Mecklenburg-Vorpommern | 1 | 0,0         |
| Tützpatz          | Mecklenburg-Vorpommern | 2 | 0,0         |
| Tützpatz          | Mecklenburg-Vorpommern | 3 | 0,0         |
| Tützpatz          | Mecklenburg-Vorpommern | 4 | 0,0         |
| <b>Mittelwert</b> |                        |   | <b>0,0</b>  |
| Badingen          | Brandenburg            | 1 | 66,7        |
| Badingen          | Brandenburg            | 2 | 80,0        |
| Badingen          | Brandenburg            | 3 | 66,7        |
| Badingen          | Brandenburg            | 4 | 60,0        |
| <b>Mittelwert</b> |                        |   | <b>68,4</b> |
| Kirchengel        | Thüringen              | 1 | 0,0         |
| Kirchengel        | Thüringen              | 2 | 6,7         |
| Kirchengel        | Thüringen              | 3 | 13,3        |
| Kirchengel        | Thüringen              | 4 | 0,0         |
| <b>Mittelwert</b> |                        |   | <b>5,0</b>  |
| Nossen            | Sachsen                | 1 | 13,3        |
| Nossen            | Sachsen                | 2 | 0,0         |
| Nossen            | Sachsen                | 3 | 0,0         |
| Nossen            | Sachsen                | 4 | 33,3        |
| <b>Mittelwert</b> |                        |   | <b>11,7</b> |

## Danksagung

---

Ich möchte mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben:

In erster Linie bei Herrn Prof. Dr. K. Schlüter für die hervorragende Betreuung und die stets hilfreiche und freundliche Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit.

Des Weiteren gilt mein Dank:

- Frau J. Gronow von der UFOP und Herrn Dr. W. Sauer mann von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein für die Überlassung des Themas und die fachliche Unterstützung und anregenden Gespräche, sowie die hilfreichen Erklärungen bei der Auswertung der Daten,
- der UFOP (Geschäftsstelle Berlin), die die Kosten für die Virusuntersuchung im Jahr 2006 übernommen hat,
- dem ALR in Kiel, in dessen Labor der ELISA-Test durchgeführt werden konnten, auch gilt mein Dank den Mitarbeitern, die mir bei den Untersuchungen im Labor geholfen haben,
- Prof. Dr. V. Dolenc, der mich bei der statistischen Auswertung sehr unterstützt hat,
- Frau B. Klein für die Unterstützung bei der Literaturrecherche,
- Frau U. Kropf für ihr Interesse am Thema und die anregenden Gespräche,
- Frau S. Paulsen, Frau T. Kälber und Frau S. Schardt für die Durchsicht dieser Diplomarbeit.

Meinen Eltern möchte ich an dieser Stelle ebenfalls Danke sagen, dafür dass sie mich während meiner ganzen Ausbildung in all meinen Entscheidungen bestärkt und mir immer Rückhalt gegeben haben.

Meinem Freund A. Overath möchte ich für das aufgebrachte Verständnis, die aufbauenden Worte und die schöne Zeit danken.

## **Eidesstattliche Erklärung**

---

Hiermit versichere ich, dass ich den Inhalt dieser Diplomarbeit ohne fremde Hilfe selbstständig angefertigt habe. Als Hilfsmittel habe ich nur die von mir angegebenen Quellen genutzt. Wörtlich oder dem Sinn nach aus diesen Quellen entnommene Informationen sind als solche gekennzeichnet.

Bühnsdorf, im Mai 2007

---

Mareike Schardt

# Das Wasserrübenvergilbungsvirus (TuYV) im Winterraps

erstellt von stud. ing. Mareike Schaardt, betreut durch Prof. Dr. K. Schlüter, Juli 2007

---

**Das Wasserrübenvergilbungsvirus (TuYV) gehört zu der Familie der Luteoviridae und zum Genus *Polerovirus* und wird ausschließlich durch Blattläuse in persistenter Weise übertragen. Das Virus verursacht an den infizierten Pflanzen rote bis violette Blattverfärbungen, Wuchsminderungen und Ertragsverluste. Das Virus tritt weltweit auf und kann im Raps zu Ertragseinbußen von 12 bis 34 % führen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Daten verschiedener Versuche mit unterschiedlichen Fragestellungen ausgewertet. Hierbei handelte es sich um die Feststellung der Befallssituation in den Jahren 1999 bis 2006, die Wirkung der Saatgutbeize und der Resistenz gegenüber dem TuYV auf den Befall durch dieses Virus sowie die damit verbundenen etwaigen Ertragsminderungen.**

Bei dem im Raps auftretenden, persistent durch Blattläuse übertragenen Virus handelt es sich um das Wasserrübenvergilbungsvirus (*Turnip yellows luteovirus*, TuYV). Es gehört zu der Familie der Luteoviridae und zum Genus *Polerovirus*. Erste Berichte des Auftretens dieser Virose stammen aus den 1950er Jahren, damals wurde sie als Vergilbung der Stoppelrübe beschrieben. Die Bezeichnung des hier zu behandelnden Virus ist in der Literatur nicht einheitlich, so wurde es anfangs aufgrund der ähnlichen Symptomausprägung als *Beet western yellows virus* (BWYV) bezeichnet. Es stellte sich jedoch heraus, dass es sich um unterschiedliche Stämme handelt, das TuYV infiziert bevorzugt Pflanzen aus der Familie der Brassicaceae, wohingegen das BWYV hauptsächlich an Beta- Arten vorzufinden ist. Aus diesem Grunde geht, wie lange Zeit angenommen, keine gegenseitige Infektionsgefahr von Raps- und Zuckerrübenbeständen aus. Dem tatsächlichen Wirtspflanzenkreis entsprechend, wurde der Name *Brassica yellows virus* (BrYW) vorgeschlagen, welcher sich in der Literatur jedoch noch nicht durchgesetzt hat und so wird weiterhin der Name TuYV (syn. BWYV) verwendet. Die Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) hat neben einigen anderen Blattlausarten die größte Bedeutung und Effektivität für die Übertragung des TuYV. Bei der Art der Weitergabe des Virus durch Blattläuse handelt es sich um die persistent-zirkulativ, nicht propagative Übertragung. Das bedeutet, dass das Virus von der Blattlaus aufgenommen und in der Haemolymphe verteilt wird und lange Zeit seine Infektiosität behält. Bei der holozyklischen Entwicklung wird es jedoch nicht über das Ei an die Nachkommen weitergegeben.

In der Rapszüchtung ist die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Zuchtmaterials gegenüber verschiedenen Krankheitserregern eine wirtschaftlich wichtige Herausforderung. Für eine züchterische Bearbeitung ist ein sicherer Nachweis des TuYV im Pflanzenmaterial nötig. Der optische Nachweis im Feld wird dadurch erschwert, dass die Symptome leicht mit den Erscheinungen zu verwechseln sind, die durch abiotische Faktoren wie Staunässe, Kälte und Nährstoffmangel hervorgerufen werden. Eine Symptombonitur unter Freilandbedingungen bringt somit keine sicheren Resultate. Um festzustellen, ob die Pflanzen befallen sind, bzw. ob im Pflanzenmaterial Resistenzen gegenüber dem TuYV vorhanden sind, sind spezifische Nachweisverfahren für *Luteoviren* erforderlich. Bei den dafür verwendeten Methoden handelt es sich in erster Linie um den ELISA-Test. Dieser Test weist eine hohe Empfindlichkeit, Schnelligkeit sowie Sparsamkeit im Antiserum-Verbrauch auf. Weitere Verfahren sind die empfindlichere und aufwändigere Polymerasekettenreaktion (PCR) sowie die DTBIA- Methode, mit welcher nur stark infizierte Pflanzen nachgewiesen werden können.

Das Wasserrübenvergilbungsvirus gehört zu den wichtigen Pathogenen der heute bedeutenden Kulturpflanzen, wobei besonders der Raps zu erwähnen ist. Da dieses Virus ausschließlich von Blattläusen übertragen wird, kann es besonders in Jahren mit hohem Blattlausvorkommen zu erheblichen Ertragseinbußen in der Landwirtschaft führen. Die geographische Verbreitung ist als weltweit anzusehen, wobei der Befall oft flächendeckend ist und stark von der Witterung und der damit verbundenen Vektorverbreitung abhängt. So ergaben z.B. bundesweite Untersuchungen in den Jahren 1999/2000 einen durchschnittlichen Befallsgrad von 69 % mit Ertragseinbußen von 12

bis 34 %. Ein Grund für die zum Teil sehr hohen Befallsgrade ist die große Anzahl von potentiellen Wirtspflanzen des TuYV, welche dem Virus als Infektionsquelle und den Vektoren als Zwischenwirt dienen.

Die in einigen Jahren sehr starke Verbreitung des TuYV und die dadurch entstehenden Schäden an Kulturpflanzen erfordern die Durchführung von Regulierungsmaßnahmen. Da eine direkte Bekämpfung von Viren nicht möglich ist, bleibt nur die Regulierung des Blattlausbefalls sowie die Züchtung resistenter Sorten. Die Bekämpfung der Vektoren kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen: Insektizidmaßnahme im Feld und Saatgutbeizung.

Wie sich die Beizung des Saatgutes und die damit verbundene Reduzierung des Blattlaus- bzw. Virusbefalls auf die verschiedenen Ertragsparameter auswirkt, wurde in dieser Arbeit anhand bestehender Versuche der Landwirtschaftskammer und der UFOP statistisch ausgewertet. Des Weiteren wurden die Daten eines Versuchs analysiert, dessen Ziel es war, die Auswirkungen einer Resistenz gegenüber dem TuYV auf den Virusbefall und die einzelnen Ertragskomponenten festzustellen. Eine weitere Fragestellung dieser Arbeit war die Befallssituation in Deutschland in den einzelnen untersuchten Jahren. Da für das Jahr 2006 keine Ergebnisse vorlagen und es aufgrund des warmen Winters im Jahr 2005 zu einem sehr hohen Blattlausvorkommen kam, wurden eigene Untersuchungen zum bundesweiten Auftreten des TuYV-Befalls beim ALR in Kiel mit Unterstützung der UFOP durchgeführt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Daten in Bezug auf die Merkmale Kornertrag (dt/ha), Ölertrag (dt/ha), Ölgehalt (%), Proteingehalt (%), Tausenkorngewicht (TKG in g), Glucosinolatgehalt (GSL in  $\mu\text{mol}$ ) und Pflanzenlänge (cm) im Zusammenhang mit dem Befall durch das TuYV ausgewertet. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der einfachen bzw. multiplen Regressionsanalyse, wobei die Beziehungen der einzelnen Merkmale zum Befall ermittelt wurden. Im Folgenden werden zusammenfassend die ausgewerteten Aspekte aufgeführt: Untersuchung der Virus reduzierenden Wirkung einer Spezialbeize mit den Wirkstoffen Imidacloprid und Beta-Cyfluthrin gegenüber der damaligen Standardbeize 'Oftanol-T' (Isophenfos) in den Jahren 1999 bis 2001; Ermittlung der Wirkung des Virusbefall auf die resistente Sorte 'Caletta' im Vergleich zu anfälligen Sorten in den Jahren 2002 bis 2004; Bestimmung der aktuellen Befallssituation im Jahr 2006; Wirkung des Virusbefalls auf die einzelnen Ertragsparameter; Verbreitung des TuYV im Bundesgebiet.

Der Befall der Rapsbestände mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus in den einzelnen Jahren unterliegt sehr großen Schwankungen, hinzu kommen erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen Deutschlands. In den ausgewerteten Jahren liegt der Virusbefall mit einer Spanne von 17 bis 62 % bei durchschnittlich 30 %. Er ist abhängig von der Besiedlung der Bestände mit Virus infizierten Blattläusen. Diese werden sehr stark durch die Witterung in den einzelnen Jahren sowie vom Virusreservoir, das heißt von der Vorkommensdichte der Wirtspflanzen in einer Region beeinflusst. In den südlichen Bundesländern wurde im Vergleich zum übrigen Bundesgebiet nur ein geringer Virusgehalt festgestellt.

Die untersuchte Spezialbeizung mit den Wirkstoffen Imidacloprid und Beta-Cyfluthrin hat im Vergleich zu der Standardbeize mit dem Wirkstoff Isophenfos den Befall signifikant reduziert und dadurch zu einer Steigerung des Ertrages geführt. Durch die TuYV-Resistenz der Sorte 'Caletta' konnte der Befall gegenüber den anfälligen Vergleichssorten signifikant reduziert werden. Ertraglich sind die anfälligen Standardsorten der Sorte 'Caletta' und anderen untersuchten resistenten Stämmen noch überlegen. Erst ab einem Befall von etwa 40 % bringt 'Caletta' relativ zu den Vergleichssorten höhere Kornerträge. Die eigenen Untersuchungen zum Auftreten des TuYV im Jahr 2006 ergaben, dass der durchschnittliche Befall der 23 untersuchten Standorte in diesem Jahr mit einer Streuung von 0 bis 100 % bei 25 % lag. Der Kornertrag in dt/ha wird signifikant durch das Virus reduziert. Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Ertragsverluste liegen bei 7 % bzw. 2,4 dt/ha. Die Pflanzenlänge wird den Auswertungen in dieser Arbeit zufolge nicht signifikant verringert. Demgegenüber stehen Untersuchungen nach denen eindeutige Wuchsminderungen durch das Virus hervorgerufen wurden. Die anderen Ertragsparameter Ölgehalt, Ölertrag, Proteingehalt, TKG und GSL-Gehalt werden nicht signifikant durch den TuYV-Befall beeinflusst.

Trotz des zum Teil sehr hohen Befalls, sind die Auswirkungen auf die verschiedenen Ertragsparameter geringer als bisher beschrieben. Andere Einflüsse, wie zum Beispiel der Standort und die Witterung wirken sich weit stärker auf den Ertrag aus als der Befall mit dem Wasserrübenvergilbungsvirus.