

Kontrolle des Roggenschwarzrostes, *Puccinia graminis f. sp. secalis*, im Ökologischen Landbau durch Züchtung resistenter Roggens

Control of stem rust in rye, *Puccinia graminis f. sp. secalis*, by breeding resistant cultivars in Organic Agriculture

FKZ: 10OE077

FKZ: 10OE117

Projektnehmer und Koordination:

Julius Kühn-Institut
Institut für Pflanzenschutz im Ackerbau und
Grünland, Außenstelle Kleinmachnow
Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow
Tel.: +49 531 299-4501
Fax: +49 531 299-3008
E-Mail: a@jki.bund.de
Internet: www.jki.bund.de

Projektnehmer:

KWS Lochow GmbH
Ferdinand-von-Lochow-Straße 5, 29303 Bergen
Tel.: +49 50 51477-0
Fax: +49 50 51477-165
E-Mail: wilde@kws-lochow.de
Internet: www.kws-getreide.de

Autoren:

Flath, Kerstin; Schmitt, Anne-Kristin; Klocke, Bettina; Wilde, Peer; Schmiedchen, Brigitta; Miedaner, Thomas; Koch, Silvia; Spieß, Hartmut; Szabo, Lilla

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Außenstelle Kleinmachnow

Titel des Forschungsvorhabens:

Kontrolle des Roggenschwarzrostes, *Puccinia graminis* f. sp. *secalis*, im Ökologischen Landbau durch Züchtung resistenten Roggens

Förderkennzeichen:

2810OE077

Laufzeit des Vorhabens

01.08.2011 – 31.10.2014

Am Projekt beteiligte Kooperationspartner:

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Außenstelle Kleinmachnow, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow (Koordination)

KWS Getreide GmbH (KWS), Ferdinand-von-Getreide-Straße 5, 29303 Bergen

Unterauftragnehmer:

- **Universität Hohenheim (UHOH)**, Landessaatzuchtanstalt (720, AG Roggen), Fruwirthstr. 21, 70599 Stuttgart
 - **Forschung & Züchtung Dottenfelderhof (FZD)** in der LBS Dottenfelderhof e.V., Holzhausenweg 7, 61118 Bad Vilbel
-

Kurzfassung

Titel: Kontrolle des Roggenschwarzrostes, *Puccinia graminis* f. sp. *secalis*, im Ökologischen Landbau durch Züchtung resistenten Roggens

Autoren:

Dr. Kerstin Flath (JKI)

M.Sc. Anne-Kristin Schmitt (JKI)

Dr. Bettina Klocke (JKI)

Dr. Peer Wilde (KWS Getreide GmbH)

Dipl. Agr. Brigitta Schmiedchen (KWS Getreide GmbH)

Prof. Dr. Thomas Miedaner (Universität Hohenheim)

Silvia Koch (Universität Hohenheim)

Dr. habil. Hartmut Spieß (Forschung und Züchtung Dottenfelderhof)

Dipl.agr.ing. Lilla Szabo (Forschung und Züchtung Dottenfelderhof)

Kontaktinformationen:

Julius Kühn-Institut (JKI):

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Außenstelle Kleinmachnow, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow (Koordination)

E-mail: kerstin.flath@jki.bund.de

KWS Getreide GmbH (KWS), Ferdinand-von-Getreide-Straße 5, 29303 Bergen

E-mail: wilde@kws-Getreide.de
brigitta.schmiedchen@kws-Getreide.de

Universität Hohenheim (UHOH), Landessaatzuchtanstalt (720, AG Roggen), Fruwirthstr. 21, 70599 Stuttgart

E-mail: miedaner@uni-hohenheim.de

Forschung & Züchtung Dottenfelderhof (FZD) in der LBS Dottenfelderhof e.V., Holzhäuserweg 7, 61118 Bad Vilbel

E-Mail: h.spiess@dottenfelderhof.de
lilla.szabo@landbauschule.de

Zusammenfassung

Der Ökologische Landbau (ÖLB) ist von der zunehmenden Ausbreitung des Roggenschwarzrostes, *Puccinia graminis* f. sp. *secalis*, besonders betroffen, da resistente Roggensorten bisher nicht zur Verfügung stehen.

Zur Analyse der Virulenzsituation des Roggenschwarzrostes wurden 389 Einpustelisolat (EPI) hergestellt, von denen 323 mit einem Differentialsortiment aus 15 Inzuchtlinien getestet wurden. Die EPI konnten 226 Pathotypen zugeordnet werden, von denen nur 56 Pathotypen häufiger als einmal vorkamen. Die Mehrzahl der Isolate wies in den Jahren 2011, 2012 und 2013 eine Komplexität von sieben, sechs bzw. fünf auf. Keine der 15 Differentiallinien reagierte vollständig resistent. Mit einem Simpson-Wert von 0,99 zeigt sich eine maximale Diversität der deutschen Schwarzrostpopulation. Das im Rahmen des Projektes entwickelt Isolatesortiment deckt das aktuelle Virulenzspektrum der Schwarzrostpopulationen ab und kann auch zukünftig genutzt werden, um die Wirksamkeit von Schwarzrostresistenzen zu prüfen. Außerdem kann das Auftreten neuer Virulenzen in der Schwarzrostpopulation jetzt rechtzeitig erkannt und wirtschaftlicher Schaden abgewendet werden.

Zur Ermittlung der Adultpflanzen-Resistenz wurden bis zu 70 Genetische Ressourcen sowie adaptiertes, selbstfertiles Roggenmaterial unter ökologischen Bedingungen an fünf Feldstandorten je Jahr angebaut. Das Inokulum für die künstlichen Inokulationen wurde am JKI produziert und die Inokulation fand im Entwicklungsstadium BBCH37 (Mai 2013 und Mai 2014) statt. Die im Ökologischen Landbau verwendeten Sorten Recrut, Conduct, Amilo, Firmament[®], Lichtkornroggen[®], Rolipa und Lautenbacher waren nach künstlicher Infektion hoch anfällig gegenüber Schwarzrost mit Befallsstärken von über 50%. Nach drei Versuchsjahren konnten insgesamt 17 Populationssorten aus Österreich (Tiroler, Kärntner, Oberkärntner), Russland (Hy75/81, Hy2407/87, Talwoskaja 29, Hy9a/86, Talowskija, Zidlochowickane, Instituckie Wcz), den USA (Wheeler, Elbon, Wrens Abruzzi, Gator, Alfa), und Argentinien (Manfredi), mit mittleren Befallswerten von ≤ 30 % für die Züchtung bereitgestellt werden. Das Projekt leistete damit einen erheblichen Beitrag zur Nutzung der Biodiversität des Roggens und zur Optimierung der Resistenzzüchtung im ÖLB. Resistente Roggensorten werden in Zukunft eine effiziente Kontrolle des Roggenschwarzrostes ermöglichen, die den Grundsätzen des ÖLB entspricht. Das Projekt kann den Hauptaufgaben 2.1, 2.3, 2.4 und 2.14 des Forschungsplanes des BMELV zugeordnet werden und ist Grundlage für die Weiterentwicklung von Strategien zur Nutzung von Schwarzrostresistenzen sowie die Bewertung der Widerstandsfähigkeit von Roggen gegenüber Schwarzrost.

Summary

Organic Agriculture (OA) is especially affected by the increasing spread of stem rust in rye, *Puccinia graminis* f. sp. *secalis*, because there is a lack of resistant cultivars in Germany.

To analyze the virulence situation of rye stem rust 389 single-pustule-isolates (SPI) were established of which 323 were tested with a differential set consisting of 15 lines. The 323 SPI were classified into 226 different pathotypes. Only 56 pathotypes could be found more frequently than one time. Most of the isolates showed a complexity of seven (2011), six (2012) and five (2013). None of the 15 differential lines reacted fully resistant. With a Simpson value of 0.99 German stem rust populations showed a maximal genetic diversity. The isolate set developed within the project covers the current spectrum of virulences and will be used in future to assess the effectiveness of stem rust resistances. The emergence of new virulences in the stem rust population will be recognized in time and economic damage will be prevented with the rye differential set.

Up to 70 rye populations were cultivated under organic conditions at five field sites per year together with self-fertile rye materials to determine the level of adult-plant resistance. The inoculum for the artificial inoculations is produced at JKI and the inoculation take place at stage BBCH 37 (May 2013 and May 2014). The cultivars Recrut, Conduct, Amilo, Firmament[®], Lichtkornroggen[®], Rolipa, and Lautenbacher most commonly used in OA were highly susceptible to stem rust under artificial infection with disease severities of about 50%. After three test years 17 genetic resources from Austria (Tiroler, Oberkärntner, Kärntner), Russia (Hy75/81, Hy2407/87, Talwoskaja 29, Hy9a/86, Talowskija, ZidGetreideicke rane, Institutckie Wcz), USA (Wheeler, Elbon, Wrens Abruzzi, Gator, Alfa), Argentina (Manfredi) with mean infestation levels $\leq 30\%$ are selected and can therefore be provided for new varieties.

The project can contribute to the practical use of biodiversity in rye and to optimize resistance breeding for OA. Resistant rye cultivars will allow a natural control system of rye stem rust in agreement with the principles of OA. The project can be assigned to the main roles 2.1, 2.3, 2.4 and 2.14 of the research plan of the BMELV and will enable the development of strategies to use stem rust resistances as well as the assessment of resistance of rye against stem rust.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	10
1.1 Gegenstand des Vorhabens	10
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes	10
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	12
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	14
2.1 Roggenschwarzrost (<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>secalis</i>) - Systematik	14
2.2 Lebenszyklus und Krankheitssymptome.....	15
2.3 Epidemiologie	17
2.4 Schadwirkung und Bekämpfungsmöglichkeiten.....	17
2.5 Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung	18
2.6 Pathogen	19
2.7 Wirt-Pathogen-Interaktion	20
3 Material und Methoden	21
3.1 Virulenzanalysen von Schwarzrostpopulationen (AZ1)	21
3.1.1 Probenahme	21
3.1.2 Etablierung der Methode von Resistenzprüfungen.....	22
3.1.2.1 Sporenvermehrung und Herstellung von Einpustelisolaten (EPI).....	22
3.1.2.2 Konservierung der Einpustelisolate.....	23
3.2 Differentialsortiment	24
3.3 Blattsegmenttest und Bonitur	24
3.4 Parameter zur Beschreibung der Virulenz und Diversität.....	25
3.6 Analyse von Genetischen Ressourcen und adaptiertem Elitematerial - Adultpflanzentest	27
3.6.1 Versuchsstandorte.....	27
3.6.2 Materialgruppen.....	27
3.6.3 Versuchsanlage und Aussaat	29

3.6.4	Inokulation	29
3.6.4.1	Bestimmung des optimalen Inokulationstermins im Freiland	29
3.6.4.2	Inokulumherstellung für die künstliche Schwarzrostinokulation	29
3.6.5	Bonitur	31
4.	Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	33
4.1	Analyse der Virulenzsituation in der deutschen und osteuropäischen Rogenschwarzrostpopulation (AZ2)	33
4.1.1	Virulenzfrequenz	35
4.1.2	Virulenzkomplexität	36
4.1.3	Diversität und Verteilung der Pathotypen	36
4.2	Entwicklung eines Isolate- und Differentialsortimentes (AZ3)	37
4.3	Analyse von Genetischen Ressourcen (AZ 4).....	39
4.3.1	Versuchsjahr 2012	39
4.3.1.1	Populationen aus Osteuropa und mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau im Adultpflanzentest.....	39
4.3.1.2	Überprüfung der Keimpflanzenresistenz – Prüfung der Populationssorten	41
4.3.2	Versuchsjahr 2013	42
4.3.2.1	Populationen aus Osteuropa und mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau	42
4.3.2.2	Überprüfung der Keimpflanzenresistenz – Prüfung der Populationssorten	44
4.3.3	Versuchsjahr 2014 - Populationen aus Osteuropa und mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau	46

4.4.	Ergebnisse der selbstfertilen Materialgruppen (AZ4)	48
4.4.1	Schwarzrostbefall der Linien	48
4.4.2	Schwarzrostbefall von Testkreuzung und deren Elternlinien	50
4.4.3	Einfluss des Schwarzrostbefalls auf Ertrag und Ertragskomponenten	53
4.4.4	Linien mit osteuropäischen Genanteilen	55
5.	Schlussfolgerungen	56
6.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung	57
7.	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	58
8.	Zusammenfassung	58
9.	Literaturverzeichnis	61
10.	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen bzw. Vorträge zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	63
II.	Anhang zum Schlussbericht: Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht	64
1.	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen	64
2.	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen	64
3.	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten	65
4.	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)	65

5. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können 66
6. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse 67
7. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z. B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt) 67
8. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung 67

Abkürzungsverzeichnis

EPI	Einpustelisolat
FZD	Dottenfelderhof
JKI 1	Berlin-Dahlem
JKI 2	Dahnsdorf
KHOH	Kleinhohenheim
PET	Petkus

1. Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Die Anbaufläche des Roggens (*Secale cereale* L.) betrug in Deutschland im Jahr 2013 insgesamt 783.800 ha (Statistisches Bundesamt 2013). Hauptanbauggebiete sind die Bundesländer Brandenburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt. Der Roggen stellt auf sandigen Böden die ertragsstärkste und –stabilste Getreideart dar und liefert auch auf Grenzstandorten des Ackerbaus noch ansprechende Erträge. Die Roggenernte stellte 2013 die höchste seit über zehn Jahren dar. Die Landwirte dehnten auf Grund der recht attraktiven Marktbedingungen im vergangenen Jahr (im Frühjahr 2012 wurde Brotroggen besser bezahlt als Qualitätsweizen) die Anbauflächen deutlich aus. Dabei dürfte für Viele die Anbauentscheidung auch durch die größere Winterhärte von Roggen beeinflusst worden sein, die sich im Winter zuvor erneut gezeigt hatte (BMELV 2013). Interessante Perspektiven bietet der Roggen auch als nachwachsender Rohstoff und Futtermittelkomponente, was zu einer Stabilisierung des Roggenanbaus führen könnte (Barthelmes und Krüger, Gerdes 2003). In Deutschland wird 23 Prozent der Ernte für die Brotherstellung, 30 Prozent für die Fütterung und 44 Prozent für die Herstellung von Biogas und Bioethanol verwendet. Die deutsche Landwirtschaft wird von den Auswirkungen des Klimawandels zukünftig stark betroffen sein, insbesondere die Gebiete Mitteldeutschlands mit leichten, sandigen Böden, wo Roggen aufgrund seiner Nährstoffeffizienz und Stresstoleranz eine der Hauptfruchtarten darstellt. Der prognostizierte Temperaturanstieg ab dem Frühsommer wird nicht nur das Wachstum und die Ertragsleistung des Roggens beeinflussen, sondern auch ein verstärktes Auftreten des wärme liebenden Schwarzrostes zur Folge haben, der bei Winterroggen bereits heute in einigen Regionen Deutschlands Bedeutung erlangt hat und in kontinentalen Klimagebieten einen Hauptschadfaktor darstellt. Schwarzrost ist mit fungiziden Einzelwirkstoffen derzeit nur schwer bekämpfbar, resistente Sorten sind in Deutschland nicht bekannt. Die Rassendynamik ist bei Schwarzrost bekanntermaßen hoch.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Da der Schwarzrost an Roggen mit pflanzenbaulichen Maßnahmen nicht zu bekämpfen ist, stellt er ein erhebliches Problem im ökologischen Landbau dar. Ziel des Projektes war es, neues schwarzrostresistentes Ausgangsmaterial für die Neuzüchtungen von resistenten Roggenpopulationen bereitzustellen, um die Widerstandsfähigkeit deutscher Roggensorten zu

erhöhen, Erträge langfristig zu sichern und die Wirtschaftlichkeit des Roggenanbaus zu verbessern. Im Rahmen des Forschungsprojektes sollten für die praktische Roggenzüchtung nutzbare Resistenzquellen gefunden und sowohl deren Vererbung in Wirtspopulationen als auch die Virulenzdiversität der Schwarzrostpopulationen analysiert werden. Mit Hilfe eines neu zu erstellenden Differenzialsortimentes, klassisch-genetischen Analysen der Resistenz im Labor, Gewächshaus und Feld, sollten schwarzrostresistente Roggenpopulationen und definierte Schwarzrostinokulate entwickelt werden. Dies wird im Interesse einer Vorsorge wirksame Schwarzrost-Resistenzquellen für die Roggenzüchtung erschließen und deren beschleunigte Nutzung und Pyramidisierung ermöglichen.

Die Arbeitsziele des Vorhabens definieren sich wie folgt:

- AZ1: Methodische Entwicklungen zur Etablierung von Resistenzprüfungen in der Klimakammer, im Gewächshaus und im Feld an Blattsegmenten bzw. ganzen Pflanzen,
- AZ2: Zur Abschätzung der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit neuen Resistenzquellen auf ökologisch bewirtschafteten Standorten wird eine bundesweite Analyse der Virulenzstruktur, Diversität und Komplexität von Schwarzrostpopulationen aus Deutschland durchgeführt,
- AZ3: Erstellung eines Isolatesortiment, das zur Selektion von Resistenzen und zur Identifikation unterschiedlicher Resistenzen eingesetzt werden kann,
- AZ4: Analyse von Genetischen Ressourcen und adaptiertem Elitematerial mit Blattsegmenttest und Adultpflanzenprüfung im Feld auf Resistenz gegen Schwarzrost.

Um rasche Fortschritte bei dem Pathosystem Roggen/Schwarzrost zu erzielen, das bisher in Deutschland nicht systematisch untersucht wurde, konzentrierten wir uns in diesem Projekt auf qualitativ wirksame Gene, die im Blattsegmenttest erkannt werden und deren Wirksamkeit in der Adultpflanze auf dem Feld bestätigt werden soll. Diese Kombination von Labor- und Freilandprüfungen ist auch im Zuchtbetrieb leicht durchführbar und führt zur raschen Einlagerung hochwirksamer, einfach vererbter Resistenzen, vor allem wenn diese in adaptiertem Material gefunden werden. Sie muss allerdings begleitet werden durch ein Monitoring der vorhandenen aktuellen Schwarzroststrassen. Diese Virulenzanalysen gelten als wichtiger Faktor

für eine effiziente Resistenzzüchtung und ermöglichen der Züchtung auf Veränderungen des Virulenzspektrums des Pilzes zu reagieren. Nur Resistenzgene, für die bisher keine bzw. nur geringe Virulenzfrequenzen vorliegen, können sinnvoll genutzt werden. Deshalb soll im vorliegenden Projekt im Sinne einer ganzheitlichen Pathosystemanalyse parallel neben der Genetik der Wirtsresistenz auch die Diversität des Schwarzrostes untersucht werden. Da bei uns bisher noch keine qualitativen Schwarzrostresistenzen kommerziell genutzt werden und die derzeit angebauten Hybridroggensorten aus der Kreuzung von vier Inzuchtlinien bestehen (Geiger und Miedaner 2009) und somit im kommerziellen Anbau aufspalten, sind die Prognosen für die Dauerhaftigkeit einer solchen Resistenz *a priori* gut.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Die Arbeiten gliederten sich in drei Arbeitsziele (AZ), die arbeitsteilig durchgeführt wurden. Die zeitliche Abfolge der Arbeitsziele kann dem Balkenplan entnommen werden (Tab. 1). Die 15 Meilensteine korrespondieren mit den Zielen, ihr Erreichen ist im Balkenplan indiziert.

Tabelle 1: Balkenplan

Ziele	2011		2012			2013			2014		
	II	I	I	II	II	I	I	II	II	I	II
Methodische Entwicklung (AZ1)											
Labor-, Klimakammer-, Feldtests (JKI)				M1							
Virulenzuntersuchungen (AZ2)											
Erstellung von Einpustelisolaten (JKI)											
Blattsegmenttests (JKI)			M2			M3			M4	M5	
Differential- und Isolatesortiment (JKI) (AZ3)											
Differential- und Isolatesortiment (JKI) (AZ3)					M6						M7
Analyse von genetischen Ressourcen und adaptiertem Elitematerial (AZ4)											
Blattsegmenttest (JKI)			M8								
Adultpflanzenresistenz (JKI, KWS, UHOH, FZD)				M9			M10				M11
Leistungsprüfung (KWS)							M12				M12
Materialerstellung											
Saatgutherstellung und –vermehrung				M13							
Inokulumproduktion (JKI)			M14			M14			M14		
Zwischen- bzw. Abschlussbericht											
Verrechnung der Daten, Berichte (JKI)											M15

Meilensteine:

- M1 Methodische Vorarbeiten für Prüfungen in Labor, Klimakammer und Feld sind abgeschlossen, reproduzierbare Protokolle liegen vor
- M2 Virulenzanalysen des ersten Sammlungsjahrs der Schwarzrostpopulation liegen vor
- M3 Virulenzanalysen des zweiten Sammlungsjahrs der Schwarzrostpopulation liegen vor
- M4 Virulenzanalysen des dritten Sammlungsjahrs der Schwarzrostpopulation liegen vor
- M5 Zusammenfassende Auswertung und multivariate Verrechnung der Virulenzanalysen liegen vor
- M6 Vorläufiges Differential- und Isolatesortiment wurde erstellt
- M7 Endgültiges Differential- und Isolatesortiment liegt vor
- M8 Blattsegmenttests mit KWS-Züchterlinien liegen vor
- M9 Feldprüfung auf Adultpflanzenresistenz 1. Jahr abgeschlossen
- M10 Feldprüfung auf Adultpflanzenresistenz 2. Jahr abgeschlossen
- M11 Feldprüfung auf Adultpflanzenresistenz 3. Jahr abgeschlossen
- M12 Leistungsprüfung der Testkreuzungsnachkommenschaft beendet
- M13 Erforderliches Saatgut wurde produziert
- M14 Ausreichende Inokulummengen für 3jährige Feldversuche liegen vor.
- M15 Ergebnisse wurden präsentiert und publiziert. Abschlussbericht wurde geschrieben

AZ1: Methodische Entwicklungen zur Etablierung von Resistenzprüfungen in der Klimakammer, im Gewächshaus und im Feld an Blattsegmenten bzw. ganzen Pflanzen, sollen optimale Bedingungen für die Entwicklung, Vermehrung und Konservierung des Schwarzrostes ermitteln. Zur Prüfung der Keimpflanzenresistenz im Labor wurde der bereits für andere Wirt-Pathogen-Systeme etablierte Blattsegmenttest an die höheren Temperaturansprüche des Schwarzrostes angepasst. Die Eignung von Klimakammer- und Feldtests sowie von künstlichen Inokulationen mit Rassengemischen für die Bewertung der Adultpflanzenresistenz wurde ebenfalls untersucht. Es wurde überprüft, ob die in der Literatur beschriebenen Boniturschemata zur Schätzung von Blatt- und Stängelbefall geeignet und reproduzierbar sind.

AZ2: Zur Abschätzung der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit neuer Resistenzquellen wurde eine bundesweite **Virulenzanalyse der deutschen Roggenswarzrostpopulationen** durchgeführt. Aus den wichtigsten Anbauregionen Deutschlands wurden schwarzrostbefallene Stängelproben gesammelt und mit Hilfe eines Blattsegmenttestes unter Laborbedingungen auf die vorhandenen Virulenzen analysiert. Dafür war zunächst ein spezielles Differenzialsortiment, bestehend aus 15 Roggenlinien mit unterschiedlichen

rassenspezifischen Resistenzen, zu entwickeln, das die Identifizierung genetisch unterschiedlicher Einpustelisolat erlaubt.

AZ3: Aus den im Rahmen der Virulenzanalysen gewonnenen Einpustelisolaten sollte ein **Isolatesortiment** entwickelt werden, das innerhalb des Projektes und auch in zukünftigen Zuchtprozessen zur Identifizierung rassenspezifischer Schwarzrostresistenzgene und zur Überprüfung der Wirksamkeit von Resistenzdonoren genutzt werden kann.

AZ4: Zur **Untersuchung des Auftretens und der Genetik der Schwarzrostresistenz** wurde aufgrund der weitgehend fehlenden Vorinformationen genetisch sehr divergentes Pflanzenmaterial geprüft:

- (1) Selbstinkompatible Populationen aus Osteuropa u.a. Herkünften
- (2) Linien mit vorwiegend osteuropäischen Genanteilen
- (3) Linien und CMS-Testkreuzungen
- (4) CMS-Elitelinien

Das Material aller vier Gruppen wurde von der KWS Getreide GmbH bzw. aus der Sammlung der UHOH (Gruppe 1) bereitgestellt.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

2.1 Roggenschwarzrost (*Puccinia graminis* f. sp. *secalis*) - Systematik

Der Schwarzrost an Roggen wird durch den zur Klasse der Basidiomyceten zählenden Pilz *Puccinia graminis* f. sp. *secalis* Eriks. & Henn. verursacht. Die systematische Stellung des Rostpilzes ist nach der Taxonomie der Pilze wie folgt:

- Abteilung: *Eumycota*,
Unterabteilung: *Basidiomycotina*,
Klasse: *Teliomycetes*,
Ordnung: *Uredinales*,
Familie: *Pucciniaceae*,
Gattung: *Puccinia*
Art: *Puccinia graminis* eingeordnet (Hoffmann & Schmutterer 1999).

Der Erreger des Schwarzrostes an Roggen beschränkt sich weitgehend auf Roggen, Gerste, *Agropyron*, *Dactylis* und anderen Gräsern (Obst und Gehring 2004). Als Zwischenwirt dient dem Roggenschwarzrost die Berberitze (*Berberis vulgaris*).

2.2 Lebenszyklus und Krankheitssymptome

Der Roggenschwarzrost ist ein obligater Parasit, dessen Entwicklung nur auf lebendem Wirtsgewebe möglich ist (Börner 1990). *Puccinia graminis* f. sp. *secalis* ist eine wirtswechselnde (heterözische) Rostpilzart und kann einen vollständigen Entwicklungszyklus mit allen fünf Sporenformen durchlaufen (Hoffmann und Schmutterer 1999, Obst 2004). Dabei findet die Sexualphase (Spermatien, Aecidiosporen) des Pilzes auf dem Zwischenwirt Berberitze (*Berberis vulgaris*) und die asexuelle Phase (Uredosporen, Teleutosporen und Basidiosporen) auf dem Hauptwirt Roggen statt.

Der Schwarzrost erhält seinen Namen aus dem gegen Ende der Vegetationsperiode an Halmen und Blattscheiden auftretenden schwarzen Teleutosporenlager (Wintersporenlager). In der Regel überwintert der Rostpilz im Stadium der Teleutosporen auf Strohrefen (Abb. 1). Unter sehr günstigen Klimabedingungen können auch die Sommersporen überwintern, sodass der Zwischenwirt für die sexuelle Vermehrung des Pilzes nicht benötigt wird. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass die Uredosporen (Sommersporen) im Frühjahr über sogenannte Roststraßen aus der Ferne herangeweht werden und das Getreide direkt infizieren können. Im Frühjahr keimen die auf den Ernterückständen überdauernden diploiden Wintersporen nach erfolgter Reduktionsteilung und einfacher Mitose aus und bringen Basidiosporen hervor. Diese Sexualsporen können sich aber nicht auf dem Roggen weiterentwickeln und werden mit Hilfe des Windes auf den Zwischenwirt Berberitze übertragen und infizieren das Blatt. Als Folge der Infektion durch Basidiosporen treten auf der Blattoberseite der Berberitze kleine orange bis rotgefärbte Spermogonien, in denen große Mengen Spermatien gebildet werden, auf. Auf sexuellem Wege entstehen auf der Blattunterseite des Zwischenwirtes in kleinen, gelben becherförmigen Lagern (Äzidien) die Äzidiosporen. Erst die im Äzidium gebildeten dikaryotischen Äzidiosporen können wieder den Hauptwirt infizieren. Sie werden bei feuchtem Wetter ausgeschleudert (Ausbreitungsdistanz < 100m), behalten ihre Keimfähigkeit 3-6 Wochen und mit dem Wind auf das Getreide transportiert (Hoffmann & Schmutterer, 1999). Die Äzidiosporen gelangen mit einem Keimschlauch durch die Spaltöffnungen in das Blatt und leiten die Entwicklung von subepidermalen Sporenlagern ein (Börner, 1997). An den Halmen und Blattscheiden, weniger an den Blattspreiten und Ähren, entstehen dikaryoti-

sche rostfarbene Sommersporenlager mit den Uredosporen. Die Sommersporen liegen auf den Blättern verstreut und sind an den Halmen streifenförmig angeordnet. Dabei reizt die Epidermis am Halm auf. Mithilfe des Windes werden die Uredosporen rasch im Bestand und über weite Strecken verbreitet. Unter günstigen Bedingungen werden mehrere Generationen von Uredosporen gebildet (Börner 1997). Gegen Ende der Getreidereife gehen aus den Uredosporenlagern die schwarzen Wintersporenlager hervor, in denen sich zweizellige Teleutosporen entwickeln (Abb. 2). Dabei werden die Teleutosporenlager nicht von einer Epidermis bedeckt (Obst und Gehring 2004).

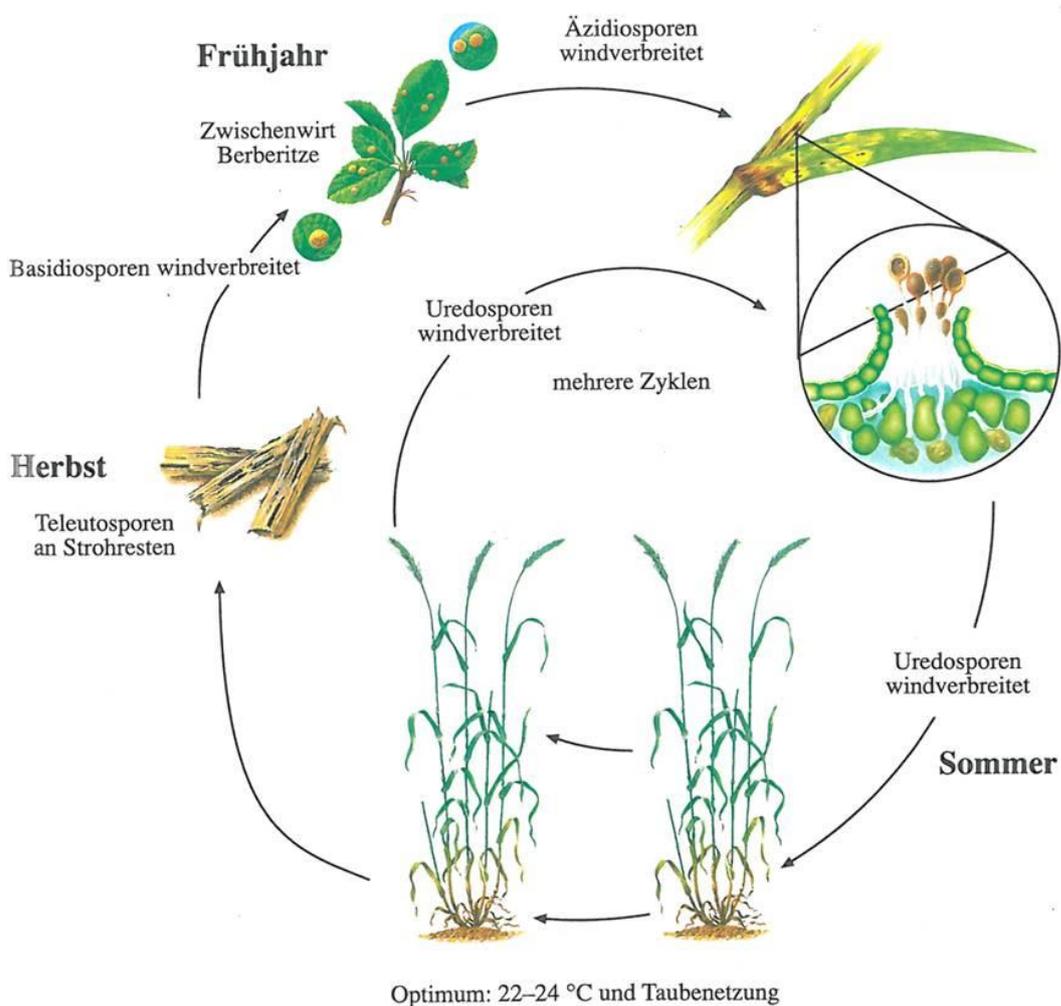


Abbildung 1: Entwicklungszyklus von *Puccinia graminis* f. sp. *secalis* (Obst 2004)



Abbildung 2: Uredosporenlager auf Blattscheide, Halm und Ähre sowie Teleutosporenlager am Halm von Roggen (Bild 1: Klocke; Bild 2: Miedaner)

2.3 Epidemiologie

Der Roggenschwarzrost benötigt für eine epidemische Ausbreitung vor allem Wärme. Nach Obst und Gehring (2004) sind Temperaturen von mehr als 15 °C optimal für die Keimung der Uredosporen von *Puccinia graminis* f. sp. *Secalis*. Eine hohe Sonneneinstrahlung (wolkenlose und sonnige Tage), mäßige Nachttemperaturen über 10°C, Niederschlag gegen Abend oder eine lange Tauphase von über 8 Stunden wirken sich günstig auf die Infektion aus. Bei zu ausgeprägter Trockenheit von 1-2 Wochen verlieren sie ihre Keimfähigkeit und bei höherer Luftfeuchte erst nach 5 Wochen. Bei 22-24 °C können die Uredosporen innerhalb von 8-10 Stunden über die Spaltöffnungen in das Getreide eindringen. Dabei brechen die Uredosporenlager bei einer durchschnittlichen Temperatur von 22 °C etwa 8-10 Tage nach der Infektion auf. Temperaturen von 26 °C und hoher Lichtintensität begünstigen die Bildung einer neuen Sporengeneration (Obst und Gehring 2004).

2.4 Schadwirkung und Bekämpfungsmöglichkeiten

Der Schwarzrost ist eine devastierende Krankheit bei Roggen. Ein Befall der Halme mit Uredolagern erhöht den Wasserverbrauch der Pflanze. Zusätzlich wird die Epidermis durch den Rostpilz beschädigt, was die Verdunstung von Wasser nochmals erhöht. Die Photosyn-

these von befallenen Pflanzen ist reduziert, da ein großer Teil der grünen Pflanzenteile durch den Pilz zerstört ist. Infizierte Pflanzen bleiben im Wachstum zurück, die Ähren bilden weniger Körner aus, das Tausendkorngewicht verringert sich und die Mahl- und Backqualität nimmt ab (Schröder 2000). Stark befallene Pflanzen produzieren nur noch kümmerliche Körner, die für die Ernährung von Mensch und Tier nicht mehr verwertbar sind und erhebliche Ertrags- und Qualitätseinbußen verursachen. Der Pilz kann dabei zu Ertragsverlusten von 50 % und bei einer Frühinfektion sogar zum Totalverlust führen.

Die Möglichkeiten den Schwarzrost an Roggen zu bekämpfen gestalten sich sehr schwierig, da es bislang keine resistenten Sorten gibt. In Deutschland momentan nur der Roggen-schwarzrost von lokaler und jahresabhängiger Bedeutung. Aufgrund der Witterungsansprüche tritt Schwarzrost häufig erst ab dem Ährenschieben auf, so dass er auch im konventionellen Anbau mit Routine-Fungizidmaßnahmen nicht zu bekämpfen ist. Da er auch mit pflanzenbau-lichen Maßnahmen nicht verhindert werden kann, stellt Schwarzrost bei Roggen ein erhebliches Problem auch im Ökologischen Landbau dar. Vorbeugende Maßnahmen beruhen vor allem auf der Förderung einer schnellen Pflanzenentwicklung und Abreife durch die Verwendung von früh reifenden Sorten, da die Krankheit bedingt durch den Wirtswechsel und hohen Wärmeansprüche erst relativ spät im Jahr auftritt. Da das Auftreten der Rostkrankheit durch die standörtliche Nähe des Zwischenwirtes Berberitze begünstigt wird, wird seit langer Zeit die Vernichtung der Haplontenarten (Berberis-Arten) empfohlen (Hoffmann und Schmutterer 1999). Weiterhin sollten die Ernterückstände befallener Bestände vor dem Winter sorgfältig eingearbeitet werden. Eine erhöhte Stickstoffdüngung gilt als befallsfördernd. Der Anbau resistenter Sorten ist derzeit die einzige Alternative zur Schwarzrostbekämpfung im Ökologischen Landbau.

2.5 Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung

Schwarzrost (*Puccinia graminis* f. sp. *secalis*) ist einer der gefährlichsten Krankheitserreger des Roggens (*Secale cereale* L.). Der auf Roggenarten parasitierende Schwarzrosterreger tritt in den kontinentaleren Gebieten Deutschlands regelmäßig auf und wird mit den Folgen des Klimawandels als wärmeliebendes Pathogen in den nächsten Jahren voraussichtlich noch erheblich höhere Schäden bewirken als dies schon heute in Polen und Russland der Fall ist. Ein Befall führt zu Ertragseinbußen von 30-50%.

In Norddeutschland (v.a. Brandenburg) hat sich der Schwarzrost an Roggen von ersten Befallsflächen im Jahr 1992 beginnend in den letzten Jahren zur wirtschaftlich wichtigsten Krankheit entwickelt (Obst und Gehring 2004). Befallsmeldungen kommen seit 2003 auch aus Süddeutschland.

2.6 Pathogen

Die gelb bis goldbraunen, länglich ovalen, stachelwarzigen und gestielten Uredosporen (Abb. 3) sind 17-40 x 13-23 μm groß, besitzen eine 5schichtige Sporenwand und kreuzweise angeordnete 3-4 Keimporen (Hoffmann und Schmutterer 1999). Diese Anordnung der Keimporen ist für die Art typisch und als Erkennungsmerkmal gut geeignet (Schubiger 2014). Die Teleutosporen sind zweizellig, keulenförmig und 27-77 x 19-23 μm groß. In der Mitte sind sie meist eingeschnürt und am Scheitel gerundet oder zugespitzt. Die Teleutosporen sind an der Basis gestielt (50 μm lang) Die Spermogonien sind kugelig und sind durchschnittlich 120 μm groß (Hoffmann & Schmutterer 1999).

Im Inneren der becherförmigen, in Gruppen stehenden Äzidien werden die Äzidiosporen (16-23 x 15-19 μm) gebildet. Sie sind rundlich bis leicht oval und besitzen eine sehr dünne (1 μm), farblose und fein warzige Wand (Schubiger 2014).



Abbildung 3: Uredo- und Teleutosporen von *Puccinia graminis* f. sp. *secalis* (Foto: Sommerfeldt-Impe, 2014)

2.7 Wirt-Pathogen-Interaktion

Besteht die Möglichkeit wechselseitiger Beziehungen zwischen dem Wirt und dem Pathogen, so kann der Wirt anfällig für das Pathogen sein, d.h. das Pathogen kann die Pflanze befallen oder der Wirt ist resistent und verhindert das Eindringen und Wachstum des Pathogens (Börner 1990). Vanderplank (1978) unterscheidet dabei die rassenspezifische (qualitative oder vertikale) und die rassenunspezifische (quantitative oder horizontale) Resistenz. Bei der **rassenspezifischen Resistenz** handelt es sich um die Resistenz bestimmter Sorten gegenüber einem oder einigen wenigen Pathotypen. Die Resistenz wird mono- oder oligogen vererbt und äußert sich phänotypisch in einer Überempfindlichkeit der Wirtspflanze (Börner 1997). Die qualitative Resistenz besitzt den Nachteil, dass sie schon nach kurzer Zeit durch die Selektion neuer Rassen durchbrochen wird. Bei der **rassenunspezifischen Resistenz** handelt es sich um eine unterschiedlich stark ausgeprägte Widerstandsfähigkeit des Wirtes gegenüber allen vorkommenden Pathotypen des Erregers (Börner 1997). Im Gegensatz zu monogen vererbten rassenspezifischen Resistenzen, die bereits durch Punktmutationen des Pathogens überwunden werden können, kann die rassenunspezifische Resistenz aufgrund des meist polygenen Hintergrunds in der Regel nicht durch das Überwinden eines Gens gebrochen werden (Prell 1996, Burdon 1997).

Die Resistenz des Roggens gegen Schwarzrost kann sowohl qualitativ (=mono-/digenisch) als auch quantitativ vererbt werden. Die qualitative Resistenz wirkt häufig vollständig und lässt sich einfach in adaptierte Zuchtpopulationen übertragen. Auch kann sie meist unabhängig von Umweltbedingungen oder dem Entwicklungsstadium der Pflanzen erkannt werden. Viele qualitative Resistenzen lassen sich deshalb schon im Keimlingsstadium im Gewächshaus oder Labor selektieren, z.B. durch einen Blattsegmenttest, der bereits für zahlreiche Wirt-Pathogen-Systeme etabliert ist (Felsenstein et al. 1998, Löwer 1999, Klocke 2004). Daneben gibt es **Adultpflanzen-Resistenzen** (monogenische Resistenzen), die erst nach dem Schossen wirksam werden und am besten im Freiland getestet werden. Quantitative Resistenzen sind bei Roggen bisher nicht beschrieben. Eine besondere Herausforderung stellt bei qualitativen Resistenzen die Dauerhaftigkeit dar, weil sich die ursprünglich avirulenten Pathogenpopulationen durch Selektion von Virulenzen relativ rasch anpassen können. Selbst Gene, die über Jahrzehnte dauerhafte Schwarzrostresistenz bewirkten, wie etwa das aus Roggen stammende Schwarzrostresistenzgen *Sr31* bei Weizen, können durch Auftreten virulenter Rassen (hier *Ug99*) vollständig unwirksam werden (Pretorius et al. 2000). Quantitative Resistenzen gelten dagegen als dauerhafter, da ihre Vererbung komplex ist und sie in der Regel nicht vollständig

wirken. Allerdings sind sie sehr viel aufwändiger zu finden und nicht kurzfristig in Elitezuchtpopulationen einzulagern.

Aufgrund des regelmäßigen, epidemischen Auftretens von Schwarzrost im kontinentalen Klima sind dort Resistenzquellen weit verbreitet und i.d.R. qualitativer Art. Solodukhina und Kobylyanski (2006) beschreiben eine russische Resistenzquelle aus den 1920er Jahren („Derjavinskaya 29“), die 85% schwarzrostresistente Einzelpflanzen enthält. Bei den anderen in dieser Studie getesteten Populationen lag die Frequenz zwischen 0,2 und 18%. Derartige Roggenpopulationen sind selbstinkompatibel und genetisch hochgradig heterogen. Deshalb müssen Einzelpflanzenprüfungen durchgeführt werden. Die identifizierten resistenten Pflanzen können dann zur Blüte mit einer Selbstfertilitätsquelle gekreuzt, um die Resistenzgene in adaptiertes Elitematerial zu übertragen. Alternativ können auch resistente Einzelpflanzen untereinander gekreuzt werden, um Vollgeschwisterfamilien für die Populationszüchtung bereitzustellen. Dennoch ist der Weg bis zu einer in Deutschland nutzbaren Erbkomponente sehr aufwändig und langwierig (Hausmann et al. 2004).

3 Material und Methoden

3.1 Virulenzanalysen von Schwarzrostpopulationen (AZ1)

3.1.1 Probenahme

Für die Untersuchungen zur **Virulenzsituation des Roggenswarzrostes** wurden Schwarzrostpopulationen in den Jahren 2011 bis 2014 in den wichtigsten deutschen Anbaugebieten sowie zusätzlich in Gebieten der Nachbarländer Polen und Russland von ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben gesammelt. Sobald die Uredosporenlager sichtbar waren, wurden pro Standort (mit natürlichem Befall) ca. 10 befallene trockene Roggenstängel gesammelt und jede Sorte in Papier oder Küchenwischtücher eingewickelt. Die Proben wurden anschließend mit folgenden Angaben versehen: Pathogen, Datum, Ort, Sorte und ökologischer oder konventioneller Anbau (Abb. 4).

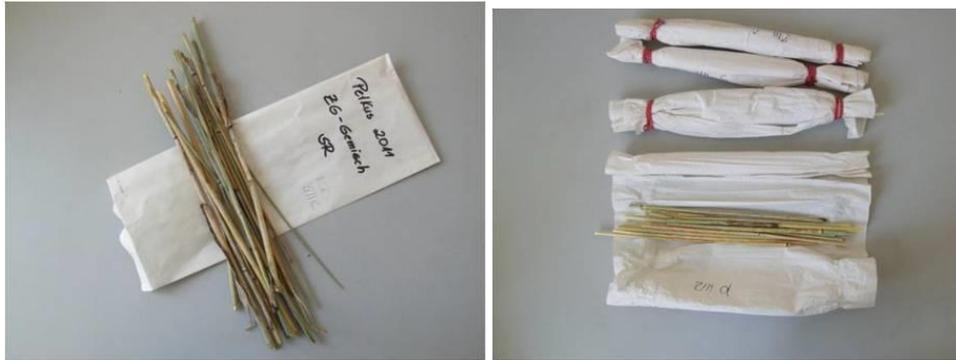


Abbildung 4: Probeneinsendung

3.1.2 Etablierung der Methode von Resistenzprüfungen

Um Resistenzquellen aus genetischen Ressourcen und adaptierten Roggenlinien aufzufinden, deren Vererbung zu analysieren und diese für Neuzüchtungen schwarzrostresistenter Populationssorten nutzen zu können, waren zunächst **Methodische Entwicklungen zur Etablierung von Resistenzprüfungen** erforderlich. Diese dienen der Ermittlung optimaler Bedingungen für die Entwicklung, Vermehrung und Konservierung des Schwarzrostes. Zur Prüfung der Keimpflanzenresistenz im Labor wurde der bereits für andere Wirt-Pathogen-Systeme etablierte Blattsegmenttest an die höheren Temperaturansprüche sowie Licht- und Luftfeuchtigkeitsansprüche des Schwarzrostes angepasst.

3.1.2.1 Sporenvermehrung und Herstellung von Einpustelisolaten (EPI)

Die Anzucht der Keimpflanzen erfolgte unter schwarzrostfreien Bedingungen in einer Klimakammer bei 16-18°C und 10.000 Lux Dauerlicht. Zur **Vermehrung der Schwarzrostisolate** wurden 12 Tage alte Primärblattstücke der anfälligen Roggensorte Palazzo auf Petrischalen mit Wasseragar (6 g l^{-1}), dem 35 mg l^{-1} Benzimidazol und $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ Silbernitrat zugesetzt wurde, ausgelegt und drei Inokulationsmethoden getestet: Für die erste Inokulationsmethode wurden Schwarzrostsporen von befallenen Blättern abgekratzt und in einer 0,1%igen Agarlösung zu einer homogenen Suspension verrührt. Diese Suspension wurde dann mit einem feinen Pinsel auf die in den Petrischalen ausgelegten Blätter gestrichen. Die zweite Methode erfolgte durch das Abkratzen der Sporen von befallenen Blättern mit einer Impföse und das anschließende Abstreifen der Sporen auf die Blattstücke der anfälligen Sorte Palazzo. Zudem wurde im Jahr 2013 noch eine weitere Inokulationsmethode getestet. Mithilfe eines sterilen Wattestäbchens können die Schwarzrostsporen von den befallenen Blättern

vorsichtig abgenommen und auf die schwarzrostanfällige Roggensorte Palazzo übertragen werden. Die Petrischalen wurden dann für 24 Stunden bei 100%iger Luftfeuchte, Dunkelheit und 20° C inkubiert und anschließend bei 20°C und einer Lichtstärke von ca. 2000 bis 2500 Lux aufgestellt. Alle drei Inokulationsmethoden eignen sich für die Vermehrung der Schwarzrostisolate. Die erste Methode führt jedoch zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Uredosporen auf den Blattsegmenten durch das Auftragen der homogenen Agar-Uredosporensuspension, ist aber auch wesentlich zeitaufwendiger. Diese Methode sollte somit für die Prüfung der Keimpflanzenresistenz genutzt werden, da ein gleichmäßiger Befall der Differenzialsorten für die Bewertung der Resistenz zwingend notwendig ist.

Nachdem die Schwarzrostspusteln die Epidermis durchbrochen haben, können die Isolate für 4 Wochen bei ca. 4°C und geringer Lichtstärke (800-1000 Lux) im Kühlschrank gelagert werden.

Zur Herstellung von EPI aus Schwarzrostpopulationen war eine Zwischenvermehrung notwendig. Hierfür wurden Blattsegmente mit einer sehr geringen Menge Inokulum infiziert, einzeln auftretende Pusteln vor Beginn der Sporulation durch Ausschneiden isoliert und auf isoliert angezogenem, anfälligem Blattmaterial der Sorte Palazzo vermehrt. Nach Erreichen einer größeren Sporenmenge wurden die Einzelpustellinien im Blattsegmenttest getestet.

3.1.2.2 Konservierung der Einpustelisolat

Um die wichtigsten Einpustelisolat ohne Verlust der Keimfähigkeit auch für weitere Versuchszwecke nutzen zu können wurden die Sporen konserviert. Dazu wurden die EPI auf ganzen Pflanzen vermehrt und ca. 14 Tage nach der Inokulation geerntet, in 0,2 ml Tubes abgefüllt und für ca. 4-4,5 Stunden auf Silica Gel Orange der Firma Roth im Kühlschrank getrocknet (Knott 1989). Anschließend ist eine Lagerung bei -80°C für ca. 1,5 Jahre und bei -20°C für ca. 1 Jahr möglich. Danach sollte eine Zwischenvermehrung erfolgen, da die Vitalität der Sporen mit der Zeit stark abnimmt. Dazu werden die mit Sporen befüllten, gefrostenen Tubes im Wasserbad bei 35°C aufgetaut, geöffnet und bei Zimmertemperatur in einem verschlossenen Behälter bei 100%iger Luftfeuchte für eine halbe Stunde rehydriert. Die Sporen können dann auf Blattsegmente inokuliert werden (Klocke 2004).

3.2 Differentialsortiment

Die Analyse der deutschen Roggenschwarzrostpopulation erfolgte mit Hilfe eines 50 Linien umfassenden Sortimentes der KWS Getreide GmbH im Blattsegmenttest in zweifacher Wiederholung. Ein Großteil der 50 Differentialsorten erwiesen sich als stark anfällig und trugen somit nicht zur Differenzierung der Isolate bei. Aus diesem Grund wurde das Sortiment auf 15 Linien reduziert (Tab. 2). Das Sortiment wurde unter schwarzrostfreien Bedingungen in einer Klimakammer bei 16-18°C und 10.000 Lux Dauerlicht kultiviert.

Tabelle 2: Differentialsortiment zur Bestimmung der Virulenzdiversität des Roggenschwarzrostes

Differential-Genotyp Nr.	Herkunft	Differential-Genotyp Nr.	Herkunft
25	L-PET	41	L-PET
26	L-PET	43	L-PET
30	L-PET	44	L-PET
31	L-PET	45	L-PET
33	L-PET	46	L-PET
35	L-PET	47	L-PET
36	L-PET	48	L-PET
37	L-PET		

L-PET = KWS Getreide GmbH, Bergen

3.3 Blattsegmenttest und Bonitur

Für die Blattsegmenttests wurden 3 cm lange Primärblattstücke aller Differenzialsorten sowie der schwarzrostanfälligen Kontrollsorte Palazzo in Polystyrol-Kästen mit Wasseragar (6 g l⁻¹), dem 35 mg l⁻¹ Benzimidazol und 1,5 mg l⁻¹ Silbernitrat zugesetzt wurde, ausgelegt. Die Inokulation erfolgte mit Hilfe einer 0,1%igen Agar-Uredosporen-Suspension, die mit einem feinen Pinsel gleichmäßig auf die zu testenden Blattstücke verteilt wurde. Die Sortimentkästen wurden dann für 24 Stunden bei 100%iger Luftfeuchte, Dunkelheit und 20°C inkubiert und anschließend bei 20°C und einer Lichtstärke von ca. 2000 bis 2500 Lux aufgestellt. Nach weiteren 12 bis 14 Tagen erfolgte die Bestimmung des Infektionstyps nach dem veränderten Boniturschema von Stakman et al. (1962) (Tab. 3). Die Infektionstypen 0 bis 2 zeigen inkompatible (avirulent/resistent), die Infektionstypen 2,5 bis 4 kompatible (virulent/anfällig) Reaktionen.

Tabelle 3: Bonitur der Infektionstypen (IT) verändert nach Stakman et al. (1962), Fotos: Klocke

	IT		Wirtsreaktion	Symptome
avirulent	0		Immun	Keine
	1		sehr resistent	Hypersensitive Flecken
	2		resistent	Kleine Pusteln mit Nekrosen
virulent	2,5		moderat resistent	Kleine bis mittlere Pusteln mit grünen Inseln, umrandet von Nekrosen und Chlorosen
	3		moderat anfällig	Mittelgroße Pusteln mit oder ohne Nekrosen
	4		anfällig	Große Pusteln ohne Nekrosen

3.4 Parameter zur Beschreibung der Virulenz und Diversität

Die Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des EXCEL-Programmes HaGiS (Hermann et al. 1999). Es ermöglicht die Bestimmung der Häufigkeit individueller Pathotypen durch die Berechnung eines Zahlencodes nach Gilmour (1973). Dazu werden die Boniturdaten der 0-4 Skala in binäre Vektoren umgewandelt. Die Boniturnoten 0-2 (avirulent, resistent) erhielten den Wert 0 und die Noten 2,5-4 (virulent, anfällig) den Wert 1. Gilmour (1973) verwendet Oktalzahlen, die die Binärcodes in Gruppen von je drei zusammenfassen (Tab. 4). Den Pathotypen werden individuelle Zahlen zugewiesen, um deren Ähnlichkeit bzw. Identität sowie deren Reaktion auf dem Differentialsortiment zu erkennen (Klocke 2004).

Tabelle 4: Transformation der Triplet-Codes in Oktalzahlen nach GILMOUR (1973)

Virulenzen	Sorte A	Sorte B	Sorte C	Oktalzahl
Keine	0	0	0	0
Eine	1	0	0	1
	0	1	0	2
	0	0	1	4
Zwei	1	1	0	3
	1	0	1	5
	0	1	1	6
Drei	1	1	1	7

Die **Virulenzfrequenz** beschreibt die Häufigkeit virulenter Reaktionen aller getesteten Isolate auf einer Differentiallinie (Wels 1986).

Die **Virulenzkomplexität** beschreibt die Häufigkeit virulenter Reaktionen eines Einpustelisolates auf allen Differentiallinien (Welz 1986).

Die Beschreibung der **Diversität** erfolgte mit Hilfe des Simpson (S)- und Shannon (H)-Index, die am häufigsten zur Messung der Diversität von Pathogenpopulationen verwendet werden. Sie lassen sich wie folgt berechnen (Müller et al. 1996):

Simpson-Index:
$$S = 1 - \sum (n_i^2 - n_i) / (N^2 - N)$$

Shannon-Index:
$$H = - \sum P_i * \ln P_i / \ln R$$

N ... Anzahl der Isolate (Stichprobengröße);

R ... Anzahl der Pathotypen

n_i ... Zahl der Isolate des Pathotyps i in der Stichprobe

P_i ... Häufigkeit des Pathotyps i

Je größer der Wert H bzw. S, desto mehr unterschiedliche Pathotypen sind in der untersuchten Population vorhanden. Neben der Anzahl der Pathotypen wird auch deren Verteilung bzw. Dominanz in der Population berücksichtigt. Bei diesen Indizes werden Pathotypen, die unterschiedliche Reaktionen auf den Differenzialgenotypen hervorrufen als gleich unterschiedlich angesehen. Der Evenness-Index (EH) basiert auf dem Shannon-Index und beschreibt die Gleichverteilung der Pathotypen bei der Berechnung der Diversität einer Pathogenpopulation (Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege 1984):

Evenness-Index:
$$EH = H / \ln R$$

H ... Shannon-Index

R ... Anzahl der Pathotypen

Treten die verschiedenen Pathotypen in gleicher Häufigkeit auf, ist der Evenness-Index gleich 1 kommen die Pathotypen sehr unterschiedlich häufig vor, liegt der Wert bei 0.

3.6 Analyse von Genetischen Ressourcen und adaptiertem Elitematerial - Adultpflanzentest

3.6.1 Versuchsstandorte

Zu den Versuchsstandorten zählten die fünf deutschen Standorte Berlin-Dahlem, Dahnsdorf, Kleinhohenheim, Dottenfelderhof und Petkus (Tab. 5). Die Feldexperimente fanden jeweils unter Ökologischem Anbau statt.

Tabelle 5: Charakterisierung der Versuchsstandorte durch Angaben über das Bundesland, die Höhe über dem Meeresspiegel sowie das langjährige Mittel von Niederschlag (NS) und Temperatur (Temp.)

Standort	Bundesland	Höhe über NN [m]	Langjähriges Mittel	
			NS [mm]	Temp. [°C]
Berlin-Dahlem	Berlin	45	600	8,8
Dahnsdorf	Brandenburg	77-85	526	8,5
Hohenheim	Bad.-Württembg	400	697	8,8
Bad Vilbel	Hessen	106-142	705	9,4
Petkus	Brandenburg	145	600	8,4

3.6.2 Materialgruppen

Zur Untersuchung des Auftretens und der Vererbung der **Schwarzrostresistenz in genetischen Ressourcen und adaptierten Roggenlinien** wurde genetisch sehr divergentes Pflanzenmaterial in vier Materialgruppen geprüft. Diese unterschieden sich im Wesentlichen aufgrund ihrer Angepasstheit an unsere Klimabedingungen und dem Anteil ihrer Schwarzrostresistenz. Sie setzten sich wie folgt zusammen:

(1) **Selbstinkompatibles Populationsmaterial:**

- a. **Populationen aus Osteuropa, Österreich, USA:** Solche genetischen Ressourcen enthalten laut Literatur in gewissen Anteilen schwarzrostresistente Einzelpflanzen. Populationen, bei denen diese Anteile besonders hoch sind, können auf Elitematerial ausgekreuzt und so die Schwarzrost-Resistenz in deutsche Elitepopulationen eingelagert werden.
- b. **Populationssorten mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau** (Recrut, Conduct, Amilo, Firmament[®], Lichtkornroggen[®], Rolipa, Lautenbacher): Für die

Öko-Sorten soll ermittelt werden, ob einzelne Populationen besonders günstig/ungünstig hinsichtlich Schwarzrostbefall sind, um eine Anbauempfehlung aussprechen zu können.

(2) **Linien mit osteuropäischen Genanteilen** werden aus demselben Grund geprüft, wie Material (1a). Da sie aber bereits in einen Elitehintergrund eingelagert sind, ist die Nutzung ihrer Resistenzen kurzfristiger und mit größerer Aussicht auf Erfolg möglich.

(3) **Linien und Testkreuzungen**

(4) **Adaptierte Elitelinien.** Materialgruppen (3) und (4) sind unmittelbar für die Hybrid-sortenentwicklung nutzbar bzw. werden bereits dazu eingesetzt. Ihre Prüfung ermöglicht die Abschätzung, ob Schwarzrostresistenz kurzfristig verfügbar ist. Wenn einzelne Linien bereits eine Adultpflanzen-Resistenz enthalten, können sie direkt in neue Sorten eingekreuzt werden. Voraussetzung ist aber die dominante Vererbung der Resistenz, die durch die Auskreuzung auf schwarzrostanfällige Tester geprüft wird. Außerdem können solche Linien zum Aufbau eines Differenzialsortimentes dienen.

Das Material aller Gruppen wurde vom Dottenfelderhof, der KWS Getreide bzw. aus der Sammlung der Universität Hohenheim für die Adultpflanzenprüfungen im Freiland und die Blattsegmenttests im Labor bereitgestellt (Tab. 6).

Tabelle 6: Anbau der Materialgruppen in den Versuchsjahren 2011/2012, 2012/2013 und 2013/2014

Material	Versuchsjahr	Kleinhohenheim (UHOH)	Berlin-Dahlem (JKI 1)	Dahnsdorf (JKI 2)	Dottenfelderhof (FZD)	Petkus (PET)
M1 Populationssorten	2011/2012	70 ^{*a)}	70 ^{*a)}	70 ^{*a)}	30 ^{*a)}	30 ^{*a)}
	2012/2013	70 ^{*a)}	70 ^{*a)}	70 ^{*a)}	30 ^{*a)}	30 ^{*a)}
	2013/2014	30 ^{*a)}	30 ^{*a)}	30 ^{*a)}	30 ^{*a)}	30 ^{*a)}
M2 Testkreuzungen (TK)	2011/2012	20 ^{a)}	20 ^{a)}	20 ^{a)}		20 ^{a)}
	2012/2013	25 ^{a)}	25 ^{a)}	25 ^{a)}		25 ^{a)}
	2013/2014	25 ^{a)}	25 ^{a)}	25 ^{a)}		25 ^{a)}
M3 Linien+TK	2011/2012					90 ^{b)}
	2012/2013					90 ^{b)}
	2013/2014					90 ^{b)}
M4 + M5 Elitelinien	2011/2012	10 ^{a)}	10 ^{a)}	10 ^{a)}		10 ^{a)}
	2012/2013	25 ^{a)}	25 ^{a)}	25 ^{a)}		25 ^{a)}
	2013/2014	12 ^{a)}	12 ^{a)}	12 ^{a)}		12 ^{a)}

* 7 Populationssorten mit besonderer Eignung für den Ökolandbau (Recrut, Conduct, Amilo, Firmament[®], Lichtkornroggen[®], Rolipa, Lautenbacher)

^{a)} 3 Wiederholungen, inkl. Resistente Linien (M5); ^{b)} 4 Wiederholungen

3.6.3 Versuchsanlage und Aussaat

Zur **Ermittlung der Adultpflanzen-Resistenz** wurden alle oben genannten Materialgruppen in den Versuchsjahren 2011 bis 2013 unter ökologischen Bedingungen an fünf Feldstandorten (Berlin-Dahlem, Dahnsdorf, Hohenheim, Dottenfelderhof, Petkus) in dreifacher Wiederholung in randomisierten Blockanlagen angebaut. Die Herbstaussaat erfolgte an allen fünf Standorten Ende September/ Anfang Oktober.

3.6.4 Inokulation

3.6.4.1 Bestimmung des optimalen Inokulationstermins im Freiland

Zur Bestimmung des optimalen Inokulationstermins im Freiland wurde die Infektion ganzer Pflanzen in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht. Insgesamt 9 Töpfe mit jeweils 30 Pflanzen wurden 7 Tage nach der Aussaat mit einer 0,1%igen Agar-Uredosporen-Suspension besprüht. Jeweils drei Töpfe wurden bei Temperaturen von 10°C, 15°C und 20°C in Klimakammern aufgestellt und für 24 Stunden bei 100%iger Luftfeuchte und Dunkelheit inkubiert. Danach erfolgte die Weiterkultivierung bei 10000 Lux und 16h/8h Licht-Dunkel-Rhythmus. Die Pflanzen wurden unter eine Plastikhaube gestellt und jeden Tag einmalig mit Wasser besprüht. Die Bonitur der Symptomausprägung erfolgte täglich. Die Zeit bis zum Auftreten erster Symptome (Inkubationszeit) und erster Uredosporenlager (Latenzzeit) variierte in Abhängigkeit von der Temperatur. Während bei 20°C bereits nach 5 Tagen erste Symptome auftraten, zeigten sich bei 15°C erst nach 7 Tagen Chlorosen auf den Blättern. Auch bei 10°C war eine Infektion möglich. Chlorosen waren hier nach 9 Tagen zu sehen. Uredosporenlager bildeten sich bei 20°C bereits nach 8 Tagen. Bei 15°C bzw. 10°C waren diese erst nach 11 bzw. 14 Tagen sichtbar. Eine Inokulation der Freilandversuche ist somit ab einer Temperatur von 10°C möglich.

3.6.4.2 Inokulumherstellung für die künstliche Schwarzrostinokulation

Für die künstliche Inokulation der Prüfglieder bzw. Infektionsstreifen ist ein definiertes Isolategemisch zu verwenden, das nach Möglichkeit alle aktuellen Virulenzen des jeweiligen Erregers enthält. Als Orientierung dafür dienen die Ergebnisse der Virulenzanalysen des Vorjahres (Moll et al., 2000). Zur **Herstellung großer Mengen Inokulum** für die künstliche

Schwarzrostinokulation wurden in den Versuchsjahren 2011/2012, 2012/2013 und 2013/2014 sechs, fünf bzw. sechs virulente Isolate auf ganzen Pflanzen vermehrt (Tab. 7 und 8).

Tabelle 7: Isolategemisch für die künstliche Schwarzrostinokulation 2012/2013, K=Komplexität

		Differentiallinien														K	Gilmour-Code
Isolat	25	26	30	31	33	35	36	37	41	43	44	45	46	47	48		
3c-3	0	0	0	0	3	0	0	2	3	3	3	3	3	3	4	8	2477
6-1	0	0	0	0	3	0	0	3	1	3	3	3	3	2	4	7	2275
11-4	0	0	0	0	3	3	2	3	3	4	3	3	3	3	0	9	6673
18-5	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	2,5	3	3	1	2	7	2671
33-6	1	0	2	0	3	1	1	3	4	3	1	3	3	1	1	6	2651

avirulent virulent

Tabelle 8: Isolategemisch für die künstliche Schwarzrostinokulation 2013/2014

		Differentiallinien														K	Gilmour-Code
Isolat	25	26	30	31	33	35	36	37	41	43	44	45	46	47	48		
3c-3	0	0	0	0	3	0	0	2	3	3	3	3	3	3	4	8	2477
3c-5	3	0	0	0	3	1	0	2,5	3	3	3	3	3	2,5	2	9	12673
3h-3	3	0	3	2	4	2,5	0	3	4	3	2	2	3	2	0	8	56611
6-1	0	0	0	0	3	0	0	3	1	3	3	3	3	2	4	7	2275
11-4	0	0	0	0	3	3	2	3	3	4	3	3	3	3	0	9	6673
43-1	3	0	0	0	4	4	0	4	4	2,5	2,5	3	3	2,5	1	10	16673

avirulent virulent

Dazu wurden sieben Tage alte Primärblätter mit einer 0,1%igen Agar-Uredosporensuspension besprüht, für 24 Stunden bei 100%iger Luftfeuchte, 21°C und Dunkelheit inkubiert und danach bei 21°C, 10.000 Lux und 16h/8h Licht-Dunkel-Rhythmus in einer Klimakammer aufgestellt. Um auch weiterhin eine hohe Luftfeuchte zu gewährleisten, wurden die Pflanzen unter eine Plastikhaube gestellt und jeden Tag einmalig mit Wasser besprüht. Nach der Entstehung erster Pusteln, wurde die Haube entfernt und nach ca. 12 Tagen konnten die Uredosporen abgeschüttelt und in Glaspetrischalen gesammelt werden. Diese wurden auf Glycerin im Kühlschrank gelagert und sind ca. 2-3 Monate keimfähig. Die künstliche Inokulation der Prüfglieder im Freiland erfolgte im Entwicklungsstadium BBCH 59-65. Mit Hilfe eines Mikrosprayers wurde eine Öl- bzw. Agar-Sporensuspension auf die zu prüfenden Parzellen verteilt. Für 100 m² Prüffläche wurden 120 mg Sporen verwendet (Flath 2000).

3.6.5 Bonitur

Die Bonitur der Materialgruppen erfolgte zum Zeitpunkt der Gelb- oder Vollreife (BBCH 87-89), wenn die Uredo- und/oder Teleutosporenlager deutlich sichtbar sind. Bonitiert wurde der Halmabschnitt zwischen dem 2. Blatt von oben (F-1) und dem darüber liegenden Knoten (Abb. 5). Dieser Abschnitt ist i.d.R. nicht von einer Blattscheide bedeckt. Die Bonitur erfolgte dabei direkt auf dem Feld. Die genetisch homogenen Materialgruppen M2 – M4 wurden mehrfach parzellenweise bonitiert, bei Materialgruppe M1 30 (2011) bzw. 15 Einzelpflanzen (2012-13) je Parzelle zur Teigreife.

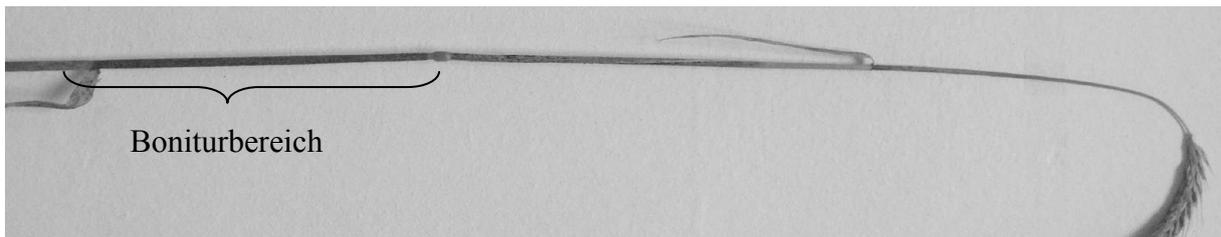


Abbildung 5: Halmabschnitt für die Bonitur

Der prozentuale Anteil befallener Stängelfläche wurde mit Hilfe eines Boniturschemas nach Klocke (2012) (Abb. 6) und daraus der Mittelwert errechnet. Ziel war es, die Populationen zu selektieren, die sich durch einen möglichst hohen Anteil resistenter Einzelpflanzen auszeichneten. Für die Testkreuzungen und Linien (Materialgruppen M2 und M4) erfolgte eine Parzellenbonitur an drei Boniturterminen im wöchentlichen Abstand. Dabei handelt es sich um ein Verfahren, das zur Einschätzung der partiellen Resistenz hinreichend ist. Hierbei wird der Anteil der befallenen Halmfläche geschätzt. Der prozentuale Anteil befallener Stängelfläche wird entsprechend dem Boniturschema (Abb. 6) geschätzt.

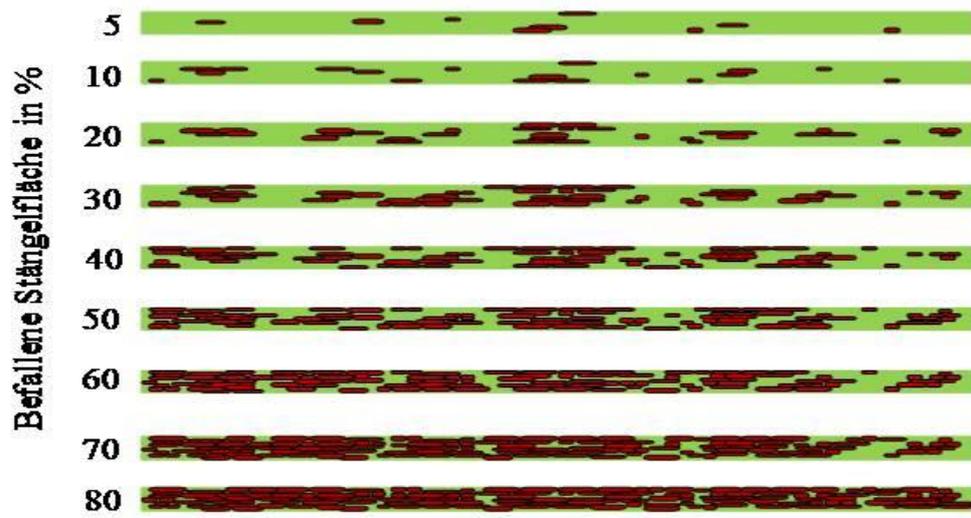


Abbildung 6: Boniturschema (Klocke 2012)

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 Analyse der Virulenzsituation in der deutschen und osteuropäischen Roggenschwarzrostpopulation (AZ2)

Zur Analyse der Virulenzsituation des Roggenschwarzrostes in den wichtigsten deutschen Anbauregionen wurden in den drei Versuchsjahren insgesamt 162 schwarzrostbefallene Stängelproben gewonnen. Die regionale Herkunft der untersuchten Isolate sowie deren Anzahl sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Anzahl der Proben (PA) und der daraus gewonnenen Einpustelisolat (EPI) der in den Jahren 2011 bis 2014 in Deutschland sowie in Polen und Russland gesammelten Stängelproben und deren Verteilung über die Bundesländer

Bundesland	2011		2012		2013		2014	Gesamt (2011-2014)	
	PA	EPI	PA	EPI	PA	EPI	PA	PA	EPI
Baden-Württemberg	6	-	1	2	7	20	7	21	22
Bayern			2	5	5	15	1	8	20
Berlin					1	1		1	1
Brandenburg	14	27	1	-	16	35		31	62
Hessen	23	32	2	4	20	62		45	98
Mecklenburg-Vorpommern			7	11	9	30	6	22	41
Niedersachsen	1	2			1	4	1	3	6
Nordrhein-Westfalen	2	3						2	3
Rheinland-Pfalz					1	2		1	2
Sachsen					2	4	2	4	4
Sachsen-Anhalt					1	1	3	4	1
Schleswig-Holstein	1	-						1	0
Thüringen			4	13	13	39		17	52
Polen	1	5						1	5
Russland			1	6				1	6
Gesamt	48	69	18	41	76	213	20	162	323

Die Abbildung 7 zeigt eine Übersicht der Probenahmestandorte der Roggenschwartzrostpopulationen in Deutschland. In den Jahren 2011 und 2012 konnten jeweils an 11 Standorten in deutschen Roggenanbaugebieten Sporenproben gesammelt werden. Im Jahr 2013 nahm der Befall mit Schwarzrost an Roggen in Deutschland deutlich zu. Insgesamt wurden in diesem Jahr von 39 Standorten Proben eingesendet. Im Jahr 2014 wurden an 11 Standorten Proben eingesendet.

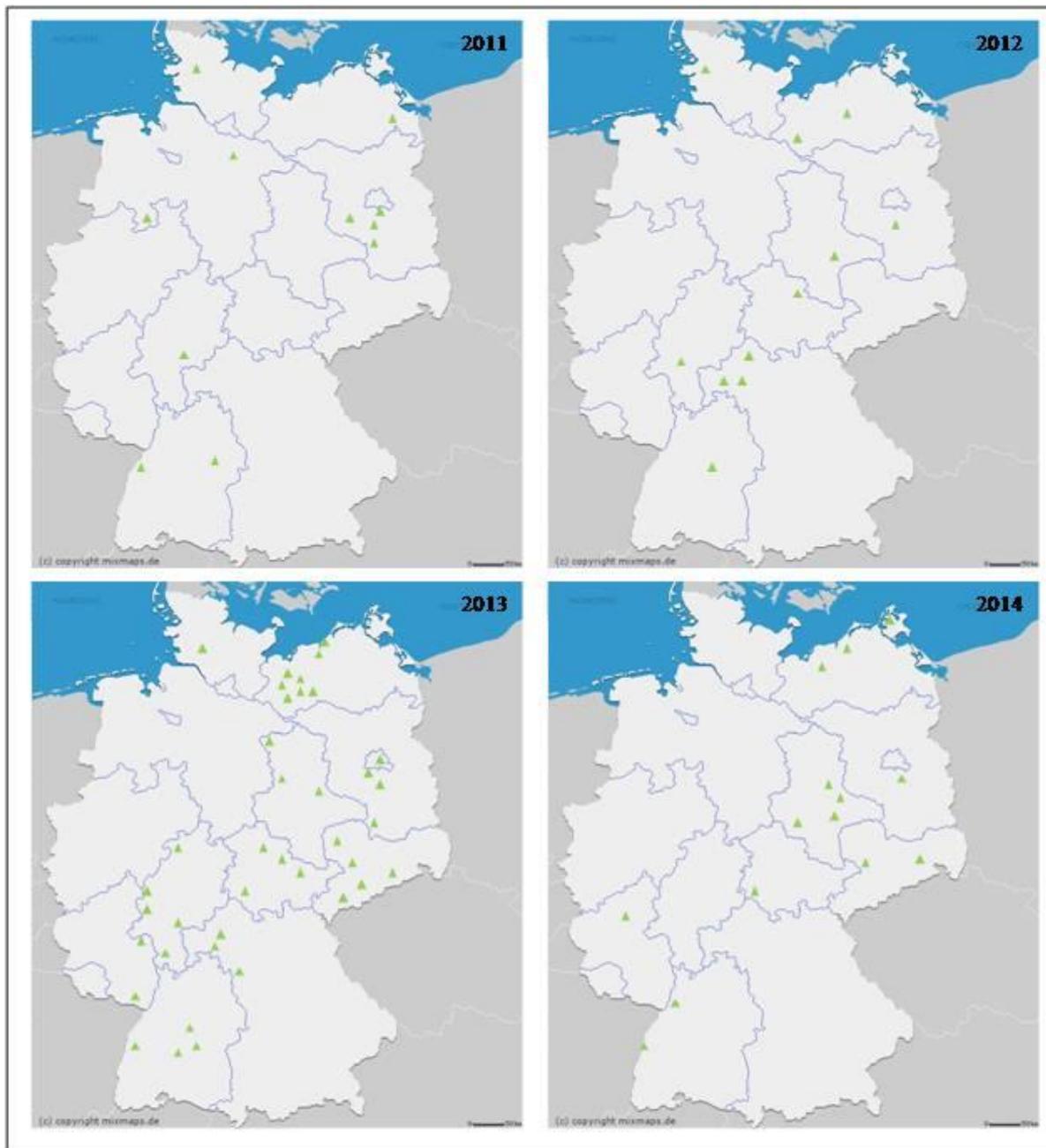


Abbildung 7: Übersicht der Standorte der eingesendeten Roggenschwartzrostproben in den Jahren 2011 bis 2014

4.1.1 Virulenzfrequenz

Zur Analyse der Virulenzsituation des Roggenschwarzrostes wurden in den Jahren 2011, 2012, 2013 und 2014 insgesamt 162 schwarzrostbefallene Stängelproben aus den wichtigsten deutschen Anbauregionen des Roggens von ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben gesammelt. Davon konnten 323 Einpustelisolat (EPI) hergestellt und mit Hilfe des aktuell 15 Linien umfassenden Differentialsortimentes im Blattsegmenttest hinsichtlich Frequenz, Komplexität und Diversität getestet werden. Mit Hilfe der 323 Einpustelisolat konnten 15 Inzuchtlinien gefunden werden, die eine Differenzierung des Befalls zeigten.

Die Abbildung 8 zeigt die Virulenzfrequenz für die 15 Genotypen des Differentialsortimentes in den Jahren 2011, 2012 und 2013. Die Differentiallinien D33 und D46 wurden in allen drei Versuchsjahren von mehr als 50% der Isolate befallen, so dass ihre Resistenzwirkung bezüglich des Schwarzrostes als gering werden muss. Die Linien D41, D37, D43 und D45 zeigten in den Jahren 2011 und 2012 eine Virulenzfrequenz von über 50%. Die Resistenz der Linie D25 war in den Jahren 2011 und 2012 noch sehr gut wirksam, doch im Jahr 2013 stieg die Virulenzfrequenz für die Sorte auf über 50% an. Die Differentiallinien D26 und D31 erwiesen sich in den Jahren 2011 und 2012 bzw. in den Jahren 2011 und 2013 als vollständig resistent. Im Jahr 2012 konnte für die Sorte D31 erstmals ein Isolat und im Jahr 2013 für die Sorte D26 drei Isolate mit Virulenz gefunden werden. Da mit einer weiteren Zunahme virulenter Isolate in den nächsten Jahren zu rechnen ist, wird die Resistenz dieser Sorten wahrscheinlich in wenigen Jahren nicht mehr wirksam sein. Beide Differentiallinien sollten mit weiteren Einpustelisolaten geprüft werden. Es gab keine Differentiallinie die vollständig resistent gegenüber allen getesteten Isolaten in allen drei Versuchsjahren war.

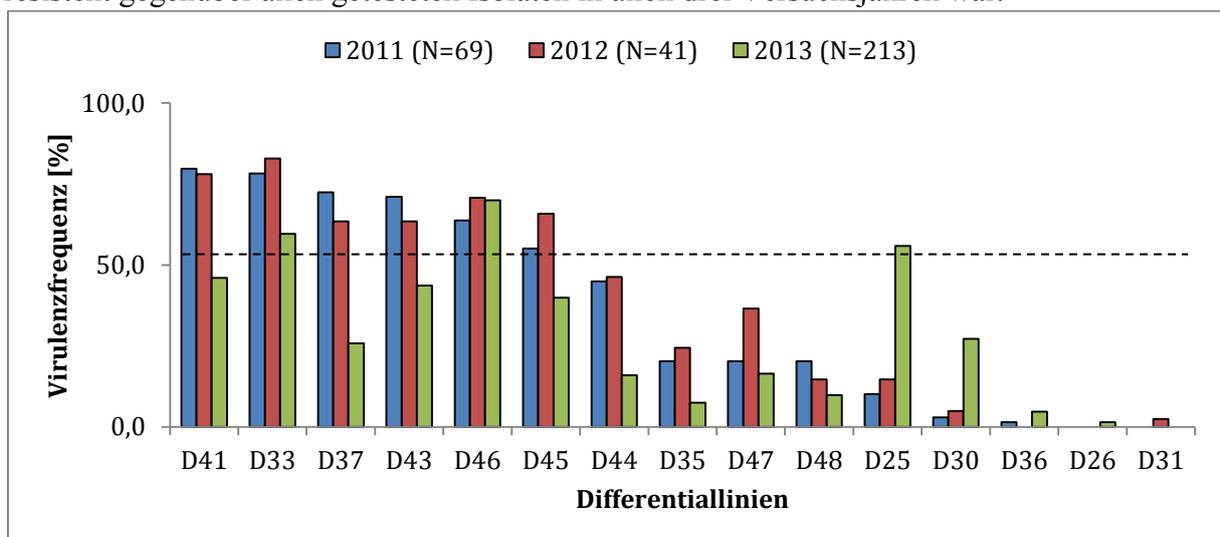


Abbildung 8: Virulenzfrequenz der 15 Differentiallinien in den Jahren 2011, 2012 und 2013 nach Inokulation mit insgesamt 323 EPI

4.1.2 Virulenzkomplexität

Die Abbildung 9 zeigt die Virulenzkomplexitäten der 323 EPI, die in den drei Untersuchungsjahren gesammelt und untersucht wurden. Die **Komplexität** (=Häufigkeit virulenter Reaktionen eines Isolates auf allen Differentiallinien) der Isolate schwankte zwischen 0 und 11 Virulenzen von 15 möglichen Virulenzen. Die Mehrzahl der Isolate wies im Jahr 2011 eine Komplexität von 7, im Jahr 2012 von 6 und im Jahr 2013 von 5 auf (Abb. 9).

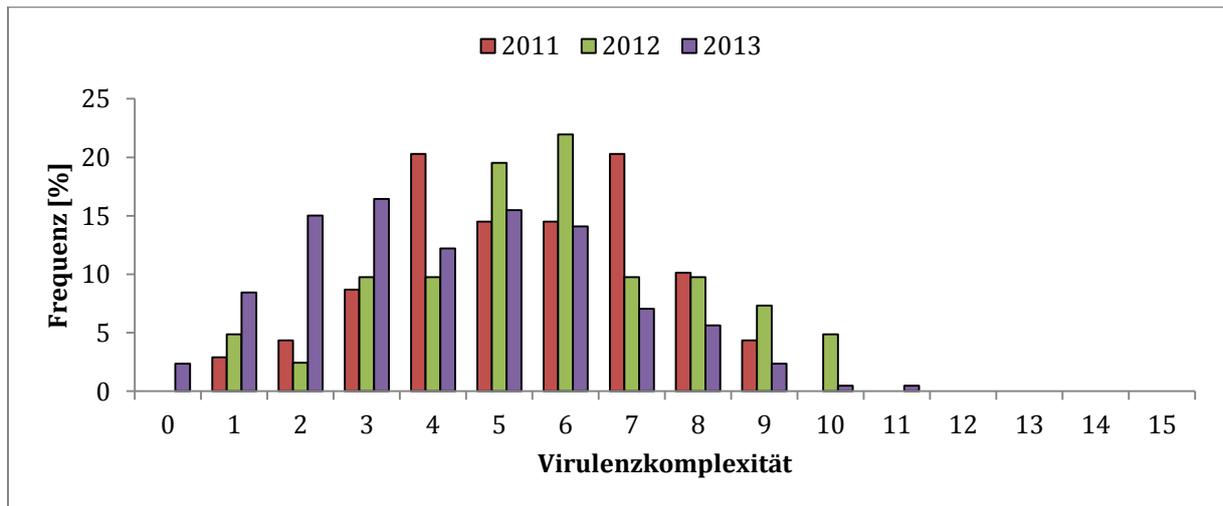


Abbildung 9: Virulenzkomplexität von insgesamt 323 Schwarzrostisolaten in den Jahren 2011 bis 2013

4.1.3 Diversität und Verteilung der Pathotypen

Zur Charakterisierung der Pathotypen erfolgte eine Umwandlung der in den Virulenztests ermittelten Boniturnoten in Oktalcodes nach Gilmour (1973). Die Beschreibung der **Diversität der Pathogenpopulation** erfolgte mit Hilfe des Simpson-Index (S) und des Evenness-Index (EH) nach Shannon. Die Werte des Simpson-Index von 0,98 bis 1,00 und des Evenness-Index von 0,98 bis 1,00 zeigen über alle Versuchsjahre eine hohe Diversität der Schwarzrostpopulation in den 12 Bundesländern sowie in den Nachbarländern Polen und Russland (Tab. 10).

Tabelle 10: Diversität der Pathotypen in 12 Bundesländern, Polen und Russland sowie der Gesamtpopulation in den Jahren 2011-2013, H=Shannon-, S=Simpsen-Index, EH = Evenness

Bundesland	Anzahl Isolate	Anzahl Pathotypen	Anz. Pathotypen, die häufiger als 1x vorkamen	Diversität		
				H	S	EH
Baden-Württemberg	22	22	0	3,09	1,00	1,00
Bayern	20	17	3	2,79	0,98	0,98
Berlin	1	1	0	0,00	1,00	1,00
Brandenburg	62	55	7	3,97	1,00	0,99
Hessen	98	84	10	4,36	1,00	0,98
Mecklenburg-Vorpommern	41	37	4	3,58	1,00	0,99
Niedersachsen	6	6	0	1,79	1,00	1,00
Nordrhein-Westfalen	3	3	0	1,10	1,00	1,00
Rheinland-Pfalz	2	2	0	0,69	1,00	1,00
Sachsen	4	4	0	1,39	1,00	1,00
Sachsen-Anhalt	1	1	0	0,00	1,00	1,00
Thüringen	52	46	6	3,79	1,00	0,99
Polen	5	5	0	1,61	1,00	1,00
Russland	6	6	0	1,79	1,00	1,00
Gesamt Bundesländer, Polen, Russland	323	289	30			
Gesamt Deutschland, Polen, Russland	323	226	56	5,27	1,00	0,97

Von den 323 mit dem Differentialsortiment getesteten Isolaten ließen sich in Deutschland, Polen und Russland 226 unterschiedliche Pathotypen identifizieren, von denen 56 Pathotypen häufiger als einmal vorkamen.

4.2 Entwicklung eines Isolate- und Differentialsortimentes (AZ3)

In den drei Versuchsjahren konnten insgesamt 323 schwach bis hoch komplexe Einpustelisolat mit unterschiedlichen Reaktionen auf einem aus 15 Roggensorten bestehenden Differen-

tialsortiment detektiert werden. Damit ist es möglich ein Isolate- und Differentialsortiment zu erstellen, das in zukünftigen Analysen genutzt werden kann (Tab. 11).

Tabelle 11: Isolate- und Differentialsortiment

Isolate	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Line	121-1	121-5	94-1	85-2	39-4	106-4	44-1	71-1	3h-3	86-1	39-2	43-1
26	0	2	0	3	0	0	2	0	0	1	0	0
31	1	0	1	1	0	0	3	0	2	1	0	0
36	3	3	0	2	0	0	2	3	0	1	1	0
30	1	0	0	2	0	0	1	3	3	3	0	0
35	2	2	0	2	0	0	1	0	3	3	0	4
48	2	2	3	3	0	3	2	2	0	3	3	1
45	0	3	0	2	3	3	2	2	2	3	3	3
44	3	2	1	3	3	2	3	1	2	2	3	3
47	2	3	2	3	0	3	3	1	2	2	3	3
43	0	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3
25	1	1	3	2	3	3	1	3	3	3	0	3
41	0	2	3	0	4	0	3	3	4	0	3	4
37	3	3	2	2	0	2	3	3	3	3	0	4
46	3	3	3	3	0	3	3	2	3	2	3	3
33	2	2	2	3	4	3	3	3	4	4	4	4
Compl.	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	10
Gilmour	321	343	10415	22027	12470	12047	3623	52710	56611	56254	2477	16673

Insgesamt konnten 12 schwach bis hoch komplexe Isolate ausgewählt werden, die von den Züchtern zur Selektion von Roggenschwarzrostresistenzen und zur Unterscheidung rassen-spezifischer Schwarzrostresistenzgene eingesetzt werden können. Die 15 Differentialsorten D25, D26, D30, D31, D33, D35, D36, D37, D41, D43, D44, D45, D46, D47 und D48 die von den Isolaten unterschiedlich befallen werden tragen zur Differenzierung der Pathotypen bei. Damit lässt sich die derzeitige Virulenzsituation des Roggenschwarzrostes gut charakterisieren.

4.3 Analyse von Genetischen Ressourcen (AZ 4)

4.3.1 Versuchsjahr 2012

4.3.1.1 Populationen aus Osteuropa und mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau im Adultpflanzentest

Die Inokulation der Feldversuche (Kleinhohenheim, Berlin-Dahlem, Dahnsdorf, Dottenfelderhof, Petkus) mit Schwarzrostsporen war im Versuchsjahr 2012 an allen fünf Standorten sehr erfolgreich (Tab. 12). Kleinhohenheim zeigte im Mittel die höchste Befallsstärke, knapp gefolgt von Dahlem und Dahnsdorf, während in Petkus die geringste Befallsstärke erfasst wurde. Hier konnte sich aufgrund einer ausgeprägten Vorsommertrockenheit der Befall nicht weiterentwickeln, was auch zu einer geringeren Wiederholbarkeit führte.

Von den in diesem Jahr dreiertig geprüften 70 Populationen erwies sich die Mehrzahl als anfällig bis stark anfällig (Abbildung 10). Zwei russische Populationen waren nur sehr wenig befallen (<20%), sieben weitere Populationen zeigten einen geringen Befall. Die Heritabilität des Versuchs war mit 0,87 sehr hoch.

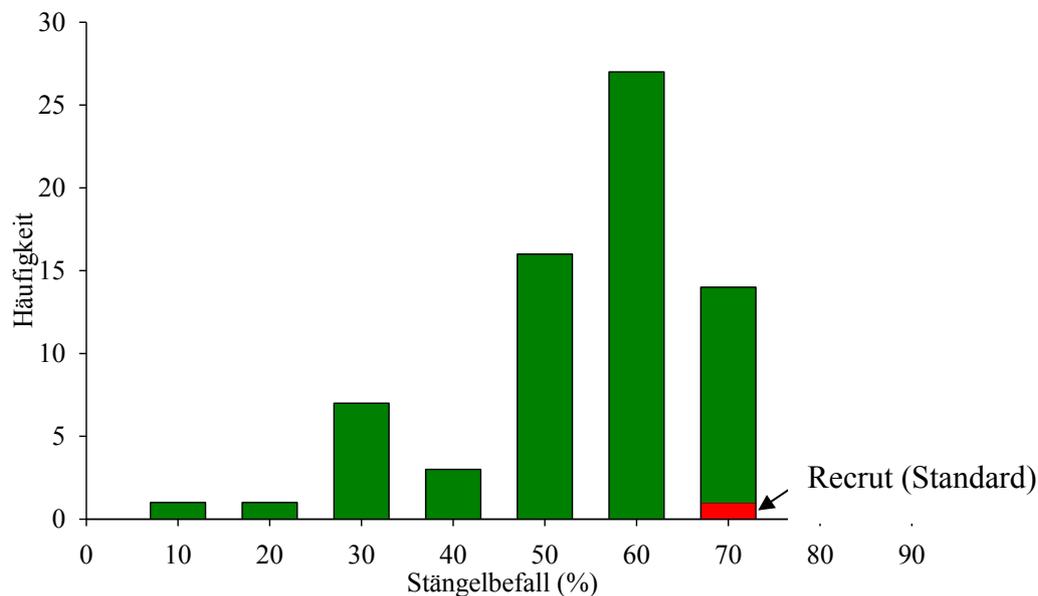


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung des mittleren Schwarzrostbefalls der 70 Populationen einschließlich der anfälligen Standardsorte Recrut, die über drei Orte mit künstlicher Infektion geprüft wurden

Fremdbefruchterpopulationen sind naturgemäß heterogen. Deshalb wurde der Schwarzrostbefall einzelhalmweise erfasst mit der anfälligen Population Recrut als Standard (Abb. 10).

Dabei hatten die russischen Populationen Hy75/81, Hy9a/86 und Talowskaja 29 sowie die US-Population Wrens Abruzzi den höchsten Anteil vollständig nicht-befallener Einzelpflanzen. Die US-Population Wheeler sowie einige weitere russische Populationen erwiesen sich als mäßig resistent.

Unter künstlichen Infektionsbedingungen erwiesen sich die sieben Populationssorten mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau an allen fünf Standorten als schwarzrostanfällig (Tab. 12).

Tabelle 12: Mittlere Befallsstärke (%) ausgewählter Populationssorten an den Standorten Kleinhohenheim (KHOH), Berlin-Dahlem (DAH), Dahnsdorf (DAHN), Dottenfelderhof (FZD) und Petkus (PET)

Populationssorten	KHOH	DAH	DAHN	FZD	PET	Mittel 5 Orte	Mittel 3 Orte
a) mit besonderer Eignung für den Ökolandbau							
Recrut	68,92	70,22	59,67	48,33	28,56	55,14	66,27
Conduct	70,87	60,11	58,22	51,44	27,11	53,55	63,07
Amilo	69,56	60,22	54,56	53,44	22,94	52,14	61,45
Firmament®	68,85	57,11	51,67	45,72	23,83	49,44	59,21
Lichtkornroggen®	64,46	52,67	59,56	52,33	27,44	51,29	58,90
Lautenbacher	73,32	55,22	59,33	39,56	28,56	51,20	62,62
Rolipa	68,98	61,78	54,02	43,00	16,48	48,85	61,59
b) aus Osteuropa und den USA							
Luovskaja	55,58	35,00	32,72	29,06	14,17	33,31	41,10
Vjatka 2	55,89	33,82	40,33	26,39	12,44	33,77	43,35
Novinka	55,47	23,72	47,47	29,00	14,56	34,04	42,22
Institutkie Wczesne	50,64	17,86	33,28	28,28	14,44	28,90	33,93
Gator	47,91	16,44	21,52	25,94	11,00	24,56	28,62
Elbon	49,28	24,47	21,04	14,61		21,88	31,60
Talowskaja 29	33,36	11,91	22,89	23,39	11,89	20,69	22,72
Ortsmittel (14 Sorten)	59,51	41,47	44,02	36,46	18,1	39,91	
Wrens Abruzzi	44,41	12,57	18,08				25,02
ZidGetreideicke rane	43,19	11,59	25,11				26,63
Wheeler	44,84	9,31	17,06				23,74
Hy9a/86	34,12	5,37	13,22				17,57
Hy75/81	5,86	5,22	6,23				5,77
Shitomirskaja	55,54	22,87	46,33				41,58
Ortsmittel (20 Sorten)	53,05	32,37	37,12				

Von den an fünf Orten geprüften 23 Populationen aus Osteuropa und den USA konnten sieben Populationen mit einem hohen Anteil resistenter Einzelpflanzen und mittleren Befallswerten zwischen 20,69% und 34,04% selektiert werden. Bei Prüfungen an drei Standorten erwiesen sich die US-Populationen Wrens Abruzzi und Wheeler sowie die russischen Populationen ZidGetreideicke rane, Shitomirskaja und die Hy9a/86 als mäßig

resistent. Die russische Hy75/81 wies an allen Standorten den höchsten Anteil resistenter Einzelpflanzen auf. So konnten insgesamt 13 Populationen mit einem hohen Anteil resistenter Einzelpflanzen selektiert werden. Alle weiteren Populationen erwiesen sich als stark anfällig.

4.3.1.2 Überprüfung der Keimpflanzenresistenz – Prüfung der Populationssorten

Zusätzlich zu den Feldprüfungen wurden umfangreiche Blattsegmenttests durchgeführt, um (1) zu überprüfen, ob die im Feld ermittelte Resistenz sich auch im Keimlingsstadium ausprägt und (2) um durch die Selektion resistenter Einzelpflanzen die Resistenzquellen züchterisch nutzen zu können. Dafür wurden 13 Populationssorten mit einem hohen Anteil im Feld resistenter Einzelpflanzen mit zwei virulenten Schwarzrostisolaten inokuliert, die sich auf Grund ihrer Reaktionen auf dem Differentialsortiment unterschieden.

Alle 13 Populationssorten zeigten im Blattsegmenttest eine Aufspaltung in anfällige und resistente Genotypen. Dabei hatten die russischen Populationen Hy75/81, Hy9a/86 und Talowskaja 29 den höchsten Anteil resistenter Einzelpflanzen (Abb. 10). Die Populationssorten ZidGetreideicke rane, Wheeler, Institutckie Wczesne, Elbon, Vjatka 2 sowie Wrens Abruzzi erwiesen sich als mäßig resistent. Alle weiteren Populationen waren stark anfällig. Demnach scheinen sich die im Feld festgestellten Resistenzen auch im Keimlingsstadium selektieren zu lassen.

Die russischen Populationen Hy 75/81, Hy 9a/86 und Talowskaja 29 zeigten sowohl bei der Ermittlung der Adult-Pflanzenresistenz im Feldversuch als auch bei der Überprüfung der Keimpflanzenresistenz mit Hilfe des Blattsegmenttests den höchsten Anteil resistenter Einzelpflanzen und können für weitere Kreuzungszwecke verwendet werden.

Die resistenten Genotypen der Populationssorten wurden in der Klimazelle weiterkultiviert. Dafür wurden die Pflanzen umgetopft und auf 2 cm zurückgeschnitten. Die Bestockung der Pflanzen erfolgte innerhalb von zwei Wochen bei 10°C, 10000 Lux und 9h/15h Licht-Dunkel-Rhythmus in einer Klimakammer. Anschließend wurden die resistenten Genotypen der Populationssorten für 8 Wochen bei 4°C, 10000 Lux und 9h/15h Licht-Dunkel-Rhythmus vernalisiert. Von den 1756 geprüften Einzelpflanzen der 13 Populationssorten konnten 310 resistente Genotypen nach Hohenheim versendet und weiterkultiviert werden.

4.3.2 Versuchsjahr 2013

4.3.2.1 Populationen aus Osteuropa und mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau

Zur **Ermittlung der Adultpflanzen-Resistenz** wurden die im Jahr 2012 selektierten 13 Populationen an allen fünf Standorten sowie zusätzlich 50 (Kleinhohenheim, Berlin- Dahlem, Dahnsdorf) bzw. zehn (Dottenfelderhof, Petkus) Populationen aus Osteuropa und USA sowie sieben Populationssorten mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau (Recrut, Conduct, Amilo, Firmament[®], Lichtkornroggen[®], Rolipa, Lautenbacher) im Oktober 2012 unter ökologischen Bedingungen in dreifacher Wiederholung in einer 7x10- bzw. 5x6-Gitteranlage angebaut. Das Inokulum für die künstlichen Inokulationen wurde vom JKI produziert.

Die Inokulation der fünf Feldversuche mit Schwarzrostsporen war auch im Versuchsjahr 2013 sehr erfolgreich (Abb. 11). Petkus zeigte im Mittel die höchste Befallsstärke, gefolgt von Dahnsdorf, Kleinhohenheim, Dahlem und Dottenfelderhof.

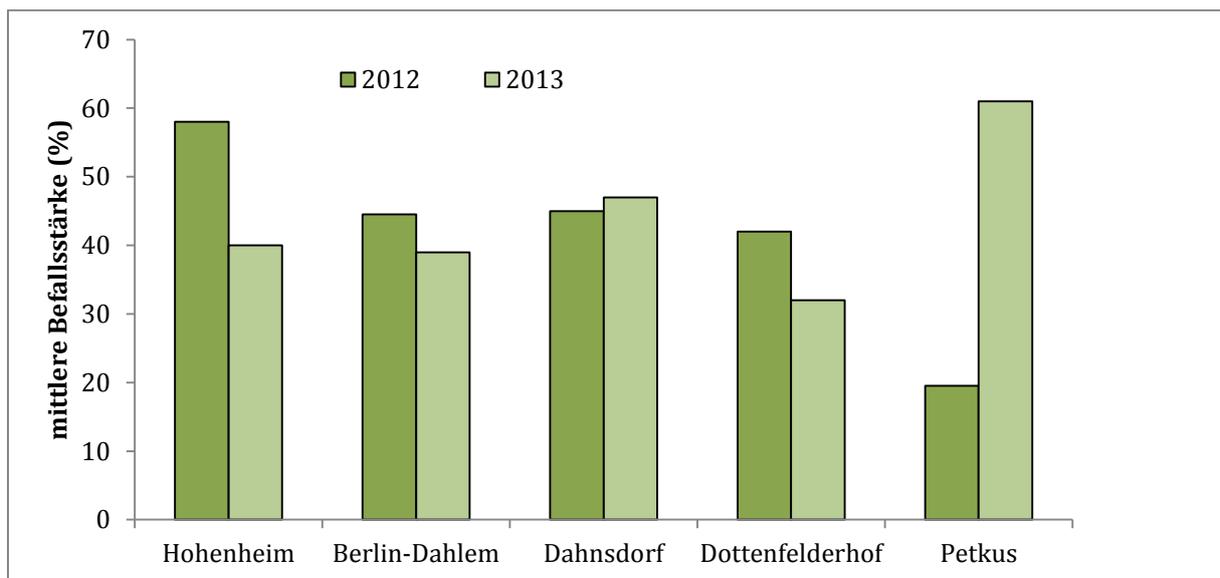


Abbildung 11: Mittlere Befallsstärke (%) von Roggenpopulationen (M1) an den Standorten Kleinhohenheim, Berlin-Dahlem, Dahnsdorf, Dottenfelderhof und Petkus

Alle fünf Standorte korrelieren dabei sehr eng miteinander (Tab. 13).

Tabelle 13: Korrelation der Schwarzrostresistenzen an fünf Standorte mit 30 Populationen im Jahr 2013

	KHOH	DAH	DAHN	FZD
DAH	0,85**			
DAHN	0,84**	0,85**		
FZD	0,82**	0,89**	0,81**	
PET	0,84**	0,81**	0,93**	0,74**

** Signifikant bei $P < 0.01$.

Von den dreierartig geprüften 70 Populationen waren eine österreichische und eine russische Populationssorte nur sehr wenig befallen ($< 10\%$), sechs weitere Populationen zeigten einen geringen Befall unter 20% (Abb. 12). Die Mehrzahl der im Jahr 2013 geprüften Populationssorten erwiesen sich als anfällig bis stark anfällig.

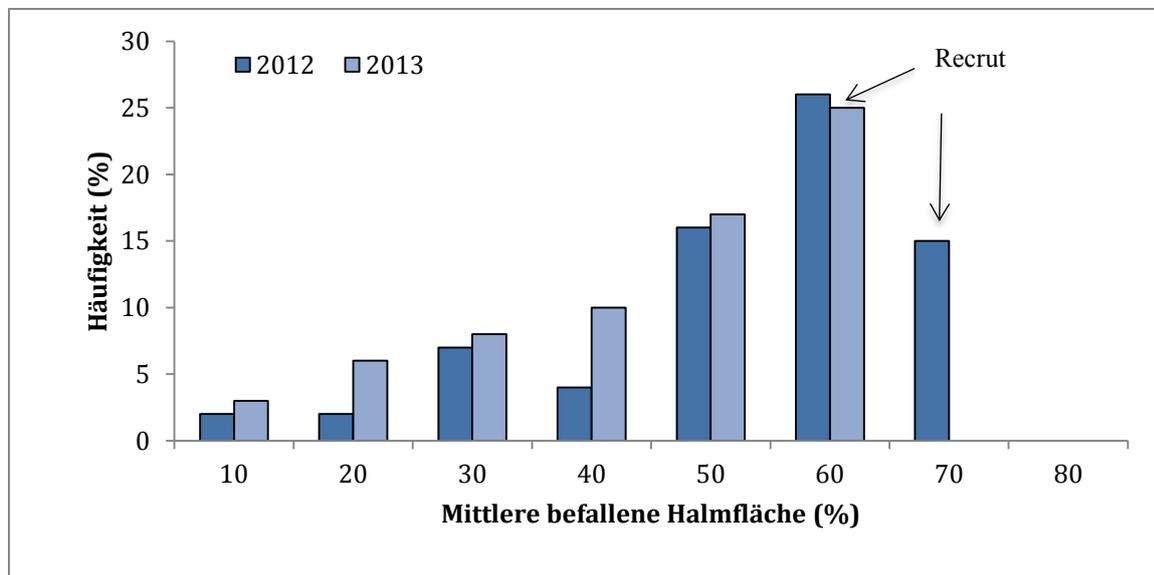


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung des mittleren Schwarzrostbefalls der 70 Populationen einschließlich der anfälligen Standardsorte Recrut, die über drei Orte mit künstlicher Infektion geprüft wurden (Versuchsjahre 2012 und 2013)

Auch im Jahr 2013 erwiesen sich die sieben Populationssorten mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau an allen fünf Standorten als schwarzrostanfällig (Tab. 14).

Tabelle 14: Mittlere Befallsstärke (%) ausgewählter Populationssorten an den Standorten Kleinhohenheim (KHOH), Berlin-Dahlem (DAH), Dahnsdorf (DAH), Dottenfelderhof (FZD) und Petkus (PET)

Populationssorten	KHOH	DAH	DAHN	FZD	PET	Mittel 5 Orte	Mittel 3 Orte
Recrut	50,84	59,50	65,48	41,26	87,43	60,90	58,61
Conduct	47,55	58,09	56,86	54,76	84,48	60,35	54,17
Amilo	46,78	54,30	53,29	46,03	84,84	57,05	51,46
Firmament®	49,55	55,84	53,27	38,54	85,70	56,58	52,89
Lichtkornroggen®	42,82	51,26	56,68	41,87	76,63	53,85	50,25
Lautenbacher	49,52	59,30	61,33	54,90	77,01	60,41	56,72
Rolipa	49,88	56,50	62,27	39,54	80,92	57,82	56,22
Ortsmittel (7 Sorten)	48,13	56,40	58,45	45,27	82,43	58,14	54,33

Von den an drei bzw. fünf Orten geprüften 23 Populationen aus der Österreich, Osteuropa und den USA (einschließlich der 13 Populationssorten die im Jahr 2012 einen hohen Anteil an resistenten Einzelpflanzen aufwiesen) konnten insgesamt 16 Populationen mit einem hohen Anteil resistenter Einzelpflanzen und mittleren Befallswerten zwischen 2,92% und 30,94% selektiert werden. Die Populationen Tiroler und Hy75/81 wiesen dabei an allen Standorten den höchsten Anteil resistenter Einzelpflanzen auf. Die Populationen Elbon, Hungarian_Giant, Wrens_Abruzzi, Gator, Alfa, Manfredi, ZidGetreideicke_rane und Kärntner erwiesen sich dabei als mäßig resistent. Im Jahr 2013 konnten somit zusätzlich 8 Populationssorten (Tiroler, Oberkärntner, Hy2407/87, Talowskija, Hungarian_Giant, Alfa, Manfredi und Kärntner) mit einer mittleren Befallsstärke ≤ 30 % selektiert werden. Alle weiteren Populationen erwiesen sich als stark anfällig.

4.3.2.2 Überprüfung der Keimpflanzenresistenz – Prüfung der Populationssorten

Zusätzlich zu den Feldprüfungen im Jahr 2013 wurden umfangreiche Blattsegmenttests zur Überprüfung der Keimpflanzenresistenz bei vier weiteren Populationssorten durchgeführt. Dafür wurden die Populationssorten Tiroler, Oberkärntner sowie Talowskija und Kärntner, die im Adultpflanzentest einen hohen bzw. mäßigen Anteil resistenter Einzelpflanzen aufwiesen, selektiert und je Population 50 Körner ausgelegt und ca. 10 Tage bei 16-18°C und Dauerlicht kultiviert. Die Primärblattsegmente der vier Populationssorten wurden mit zwei virulenten Schwarzrostisolaten inokuliert, die sich auf Grund ihrer Reaktionen auf dem

Differentialsortiment unterschieden. Dabei handelte es sich um dieselben Schwarzrostisolate die bereits im Jahr 2012 zur Überprüfung der Keimpflanzenresistenz der 13 Populationssorten verwendet wurden.

Alle vier Populationssorten zeigten im Blattsegmenttest eine Aufspaltung in anfällige und resistente Genotypen (Abb. 13). Dabei korrelieren die Ergebnisse zwischen Adultpflanzen-Resistenz im Feldversuch und Keimpflanzenresistenz mit $r=0,96^{**}$ sehr gut miteinander. Die Schweizer Populationen Tiroler und Oberkärntner zeigten sowohl bei der Ermittlung der Adult-Pflanzenresistenz im Feldversuch als auch bei der Überprüfung der Keimpflanzenresistenz mit Hilfe des Blattsegmenttests den höchsten Anteil resistenter Einzelpflanzen und können für weitere Kreuzungszwecke verwendet werden. Die Populationssorten Talowskija und Kärntner erwiesen sich auch im Keimpflanzenzest als mäßig resistent. Wie bereits im Jahr 2012 festgestellt scheinen sich die im Feld festgestellten Resistenzen auch im Keimlingsstadium selektieren zu lassen.

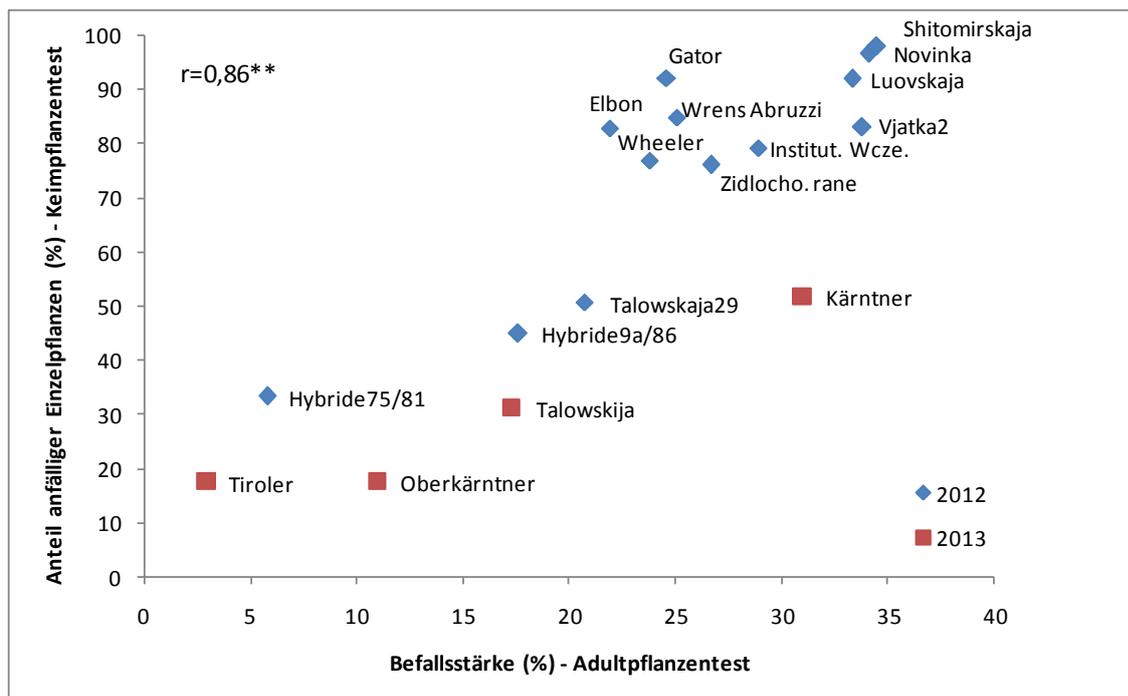


Abbildung 13: Mittlerer Anteil (%) resistenter Einzelpflanzen der 13 und vier Populationssorten nach Überprüfung der Keimpflanzenresistenz in den Jahren 2012 bzw. 2013 im Vergleich zur mittleren Befallsstärke (%) derselben Populationssorten die im Versuchsjahr 2012 bzw. 2013 über drei bzw. fünf Standorte mit künstlicher Infektion geprüft wurden

4.3.3 Versuchsjahr 2014 - Populationen aus Osteuropa und mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau

Die künstliche Schwarzrostinokulation der fünf Feldversuche war im Versuchsjahr 2014 an allen fünf Standorten erfolgreich (Abb. 14).

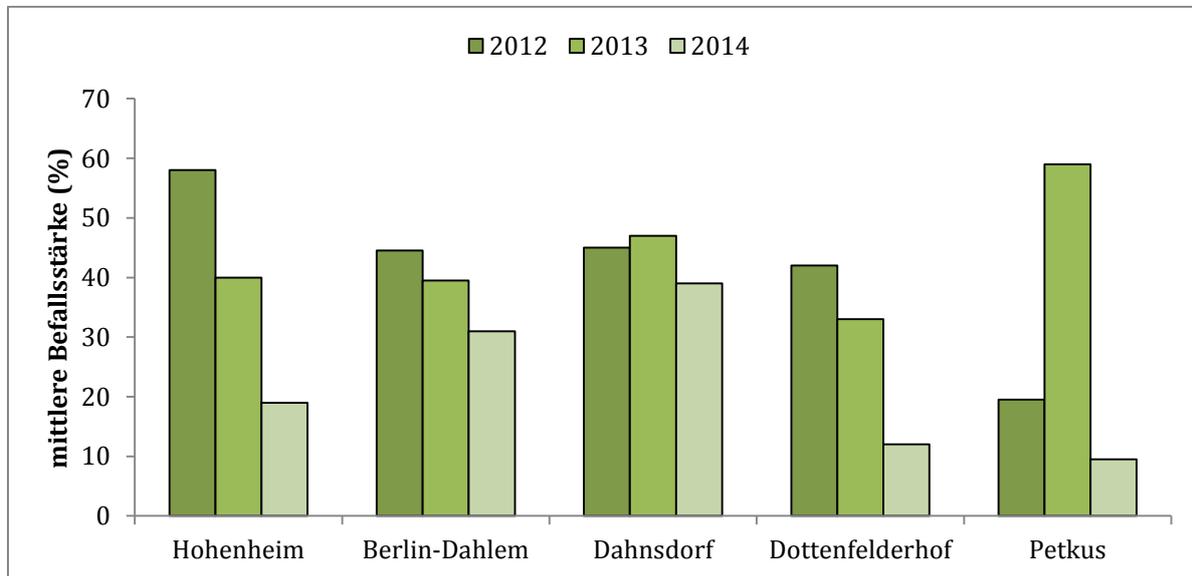


Abbildung 14: Mittlere Befallsstärke (%) von Roggenpopulationen an den fünf Standorten über drei Versuchsjahre

Dahnsdorf zeigte im Mittel die höchste Befallsstärke, knapp gefolgt von Berlin-Dahlem und Kleinhohenheim, während in Petkus und Dottenfelderhof die geringste Befallsstärke erfasst wurde.

In den Jahren 2012 bis 2014 wurden an fünf Standorten die russischen Populationen Hy75/81, Hy9a/86 und Talowskaja 29 sowie die US-Populationen Wrens Abruzzi und Wheeler angebaut. Dabei zeigte die Populationssorte Hy75/81 über die Jahre den höchsten Anteil vollständig nicht-befallener Einzelpflanzen (Abb. 15). Im Jahr 2013 konnten zusätzlich die Populationssorten Tiroler, Hy 2407/87, Oberkärntner und Talowskija mit einem hohen Anteil an resistenten Einzelpflanzen selektiert werden.

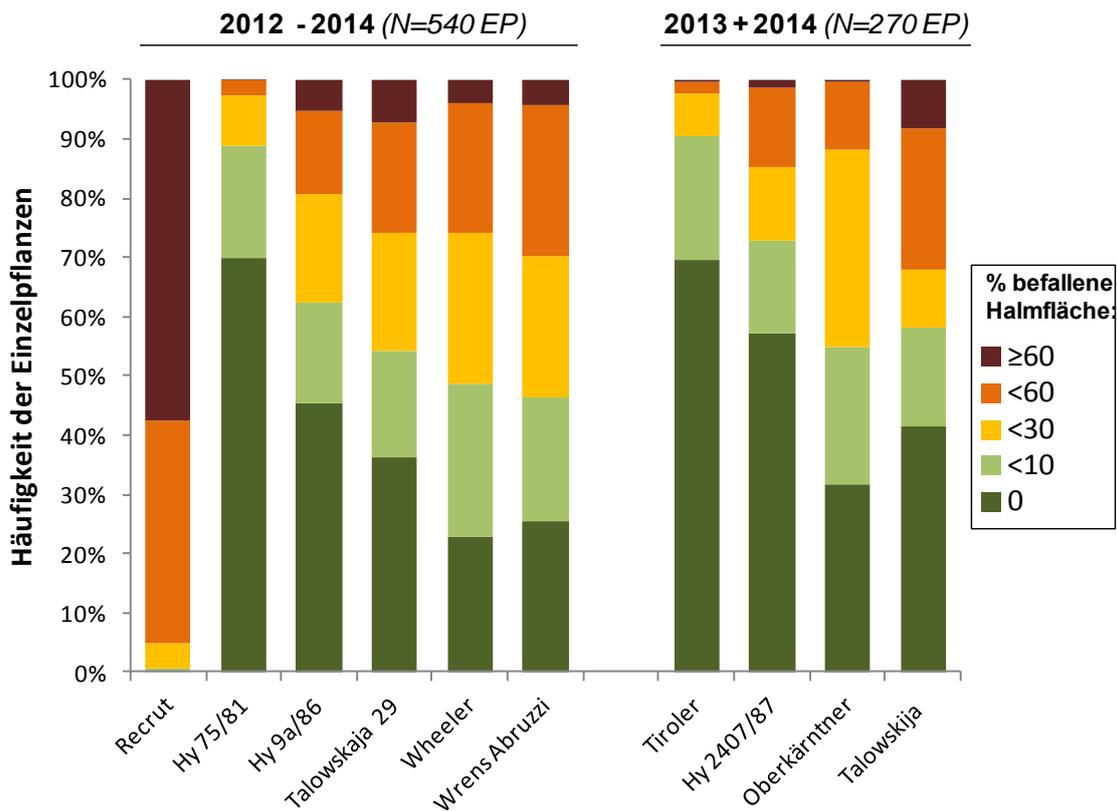


Abbildung 15: Prozentualer Anteil befallener Pflanzen von fünf Populationen in Jahren 2012 bis 2014 und vier Populationen in den Jahren 2013 und 2014 und der anfälligen Standardsorte Recrut (summiert über 30 Pflanzen x drei Wiederholungen x drei Orte, gruppiert in fünf Befallsklassen)

Von den an drei bzw. fünf Orten geprüften 30 Populationen wiesen insbesondere die Populationssorten Tiroler und Hy75/81 in den Jahren 2013 und 2014 den höchsten Anteil an resistenten Einzelpflanzen auf. Nach drei Versuchsjahren konnten insgesamt 17 Populationssorten (Tiroler, Hy75/81, Oberkärntner, Hy2407/87, Talowskaja 29, Hy9a/86, Talowskija, Wheeler, Elbon, Hungarian Giant, Wrens Abruzzi, Gator, Alfa, Manfredi Zidlochowicke rane, Kärntner und Institutckie Wcz) mit mittleren Befallswerten ≤ 30 % selektiert werden und können somit für Neuzüchtungen bereit gestellt werden (Abb. 16).

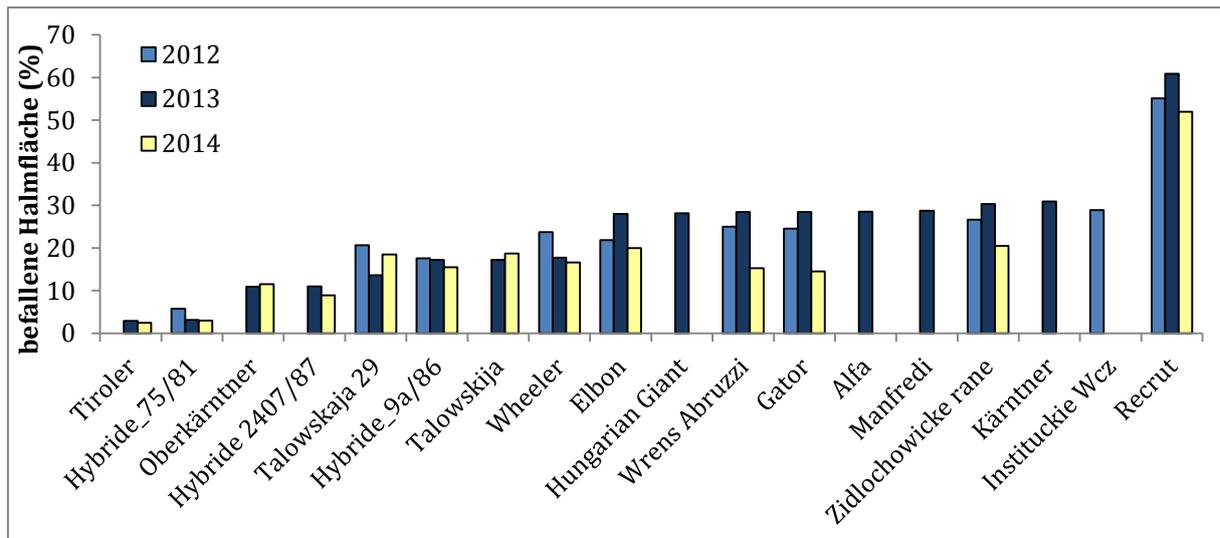


Abbildung 16: Mittlere Befallsstärke ($\leq 30\%$) der Populationsorten (3-5 Orte, künstliche Infektion, 2012, 2013 und 2014)

4.4. Ergebnisse der selbstfertilen Materialgruppen (AZ4)

4.4.1 Schwarzrostbefall der Linien

Bei den adaptierten Elitelinien wurden Befallswerte von 27-31% ermittelt (Abb. 17). Diese geringen Befallswerte im Vergleich zu den anderen Versuchsstandorten lassen sich mit dem späten Inokulationstermin in Beziehung setzen. In Petkus wurde die Schwarzrostinfektion erst im Entwicklungsstadium EC 57-59 (zu kalte Temperaturen Anfang Mai) durchgeführt. Die nach der Inokulation einsetzende Trockenheit und die darauf folgende sehr schnelle Abreife verhinderten die Ausbreitung des Pilzes in den Parzellen. Durch den fehlenden Spreader trockneten die Bestände trotz Zusatzbewässerung schnell aus, und das angestrebte Mikroklima konnte nicht erhalten werden. Dagegen konnten an den Standorten Kleinhohenheim, Berlin-Dahlem und Dahnsdorf deutlich höhere Befallswerte ermittelt werden. Alle im Sortiment geprüften Genotypen erwiesen sich als anfällig. Die Befallsstärke variierte zwischen 39% und 65% (Abb. 20). Die Heritabilität zwischen den Orten lag bei 49%.

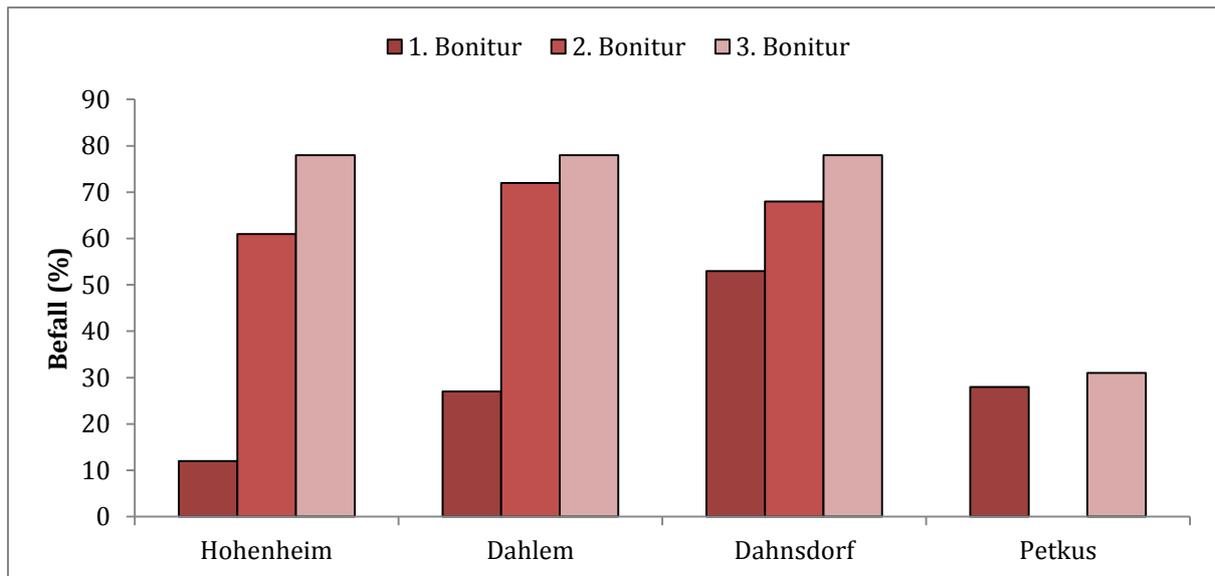


Abbildung 17: Mittlere Befallsstärke (%) der adaptierten Elitelinien (M4) an den Standorten Kleinhohenheim, Berlin-Dahlem, Dahnsdorf und Petkus im Jahr 2012

Das Set der geprüften Linien wurde während der Projektzeit dem aktuellen Leistungslinien-sortiment angepasst. Geprüft wurden jeweils 10 Linien an 4 Standorten in 3-reihigen Mikro-parzellen. Eine anfällige Linie wurde als Spreader eingesetzt. Abbildung 18 zeigt die Befallsentwicklung der Elitelinien an den einzelnen Standorten über den gesamten Testzeitraum.

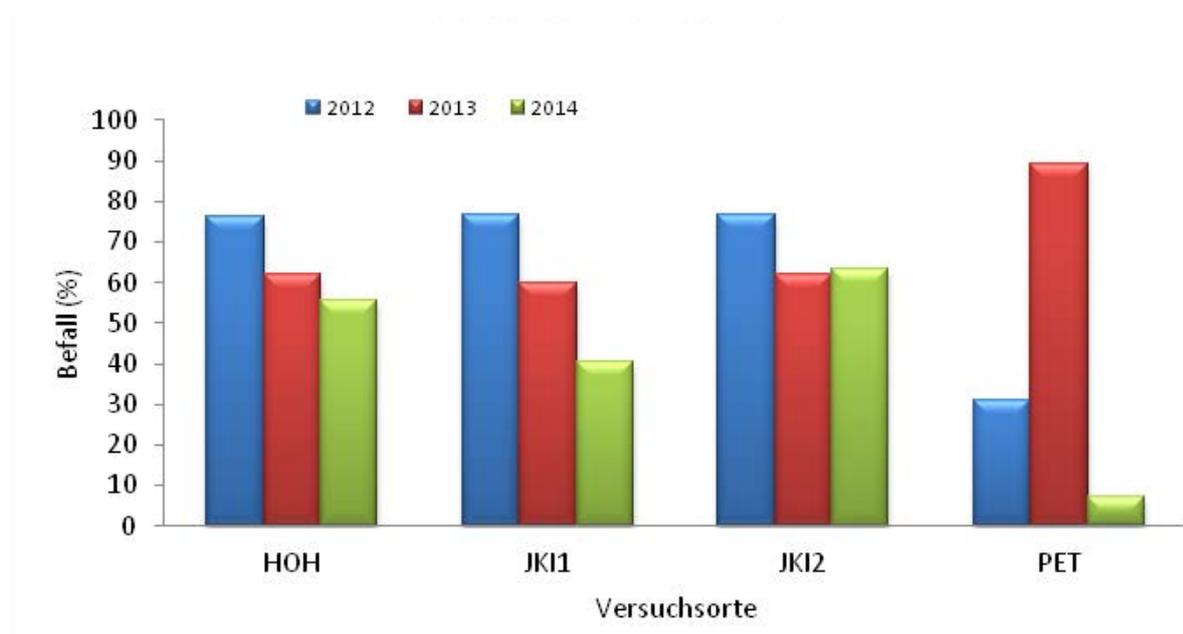


Abbildung 18: Befallsentwicklung der Elitelinien (M4) - 2012-2014

HOH – Universität Hohenheim; JKI – Julius Kühn Institut; PET – KWS Getreide GmbH Standort Petkus

4.4.2 Schwarzrostbefall von Testkreuzung und deren Elternlinien

Die Bonitur der Befallsentwicklung in der M2 zeigte am Standort Petkus eine Befallsstärke von 17% zur ersten Bonitur und 24% zur Endbonitur (Abb. 19). Die Befallsstärke war dabei in den drei Projektjahren am Standort Petkus sehr unterschiedlich ausgeprägt. Während im ersten Projektjahr ein nur geringer Befall dokumentiert wurde, konnte im 2. Jahr eine hervorragende Differenzierung erfasst werden. Im 3. Jahr wurde wieder nur ein geringer Befall beobachtet.

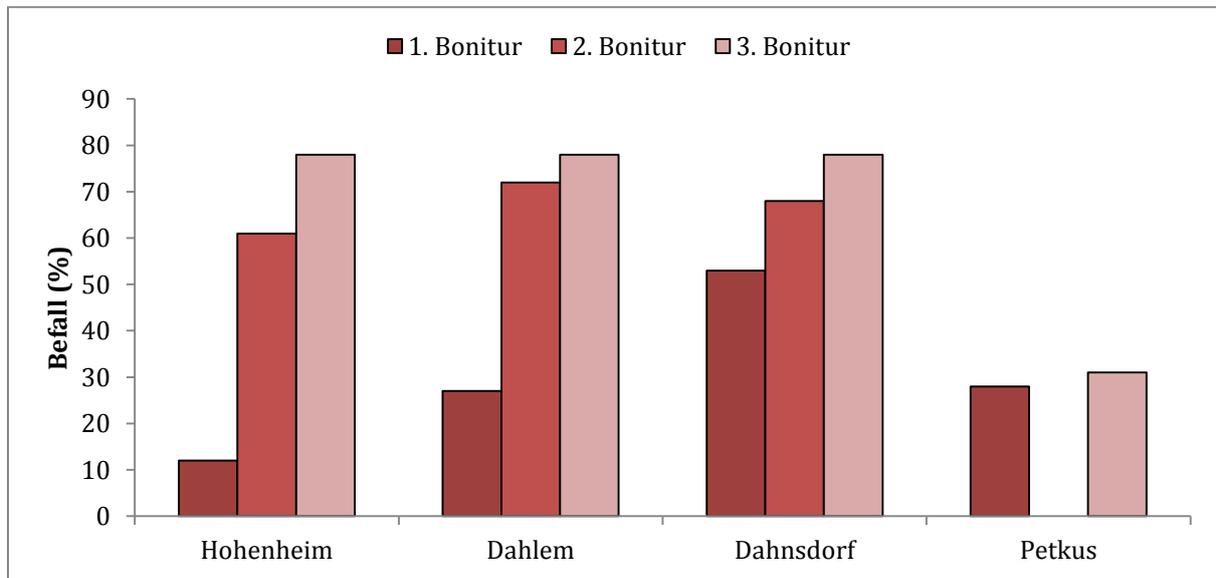


Abbildung 19: Mittlere Befallsstärke (%) der Testkreuzungen (M2) an den Standorten Kleinhohenheim, Berlin-Dahlem, Dahnsdorf und Petkus im Jahr 2012

In Abbildung 20 wird die Befallsstärke der einzelnen Testkreuzungen dargestellt. Das Befallsniveau ist als mittel bis hoch einzustufen. Aus den Ergebnissen des Jahres 2012 zeigt nur die Linie KWL11 ein höheres Resistenzniveau.

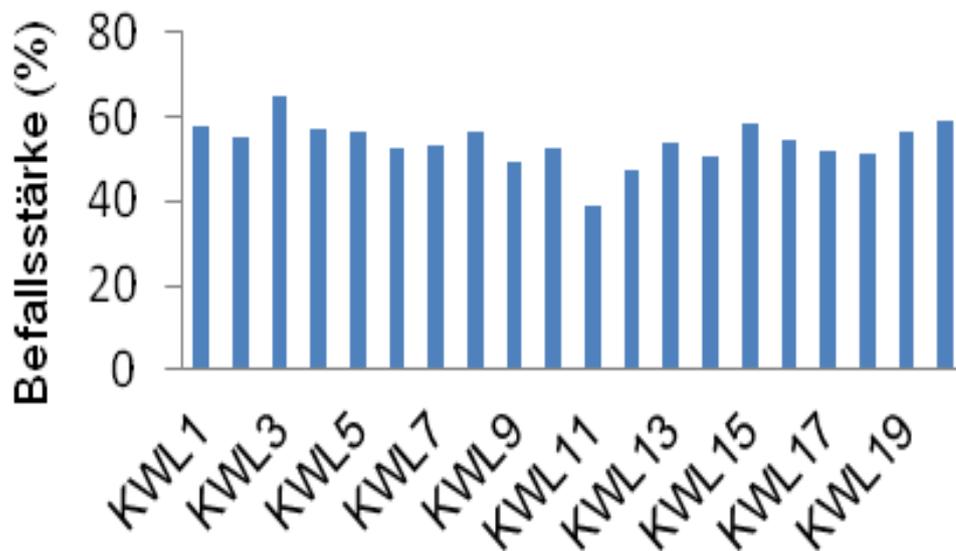


Abbildung 20: Darstellung der mittleren Befallsstärke (%) der Testkreuzungen in der M2 (2012) -KWL – Linien aus dem KWS-Getreide-Zuchtprogramm

Im Blattsegmenttest wurden Linien und deren Testkreuzungen geprüft. Als Standards wurden eine anfällige und eine resistente Linie mit geprüft. Diese dienen der Zuverlässigkeit des Testes (Abb. 21). Die Ergebnisse des Blattsegmenttestes zeigen die Anfälligkeit des Materials gegenüber Schwarzrost und bestätigen die Freilandresultate aus 2012. Der Korrelationskoeffizient zwischen Blattsegment- und Freilandtest ist 0,5.

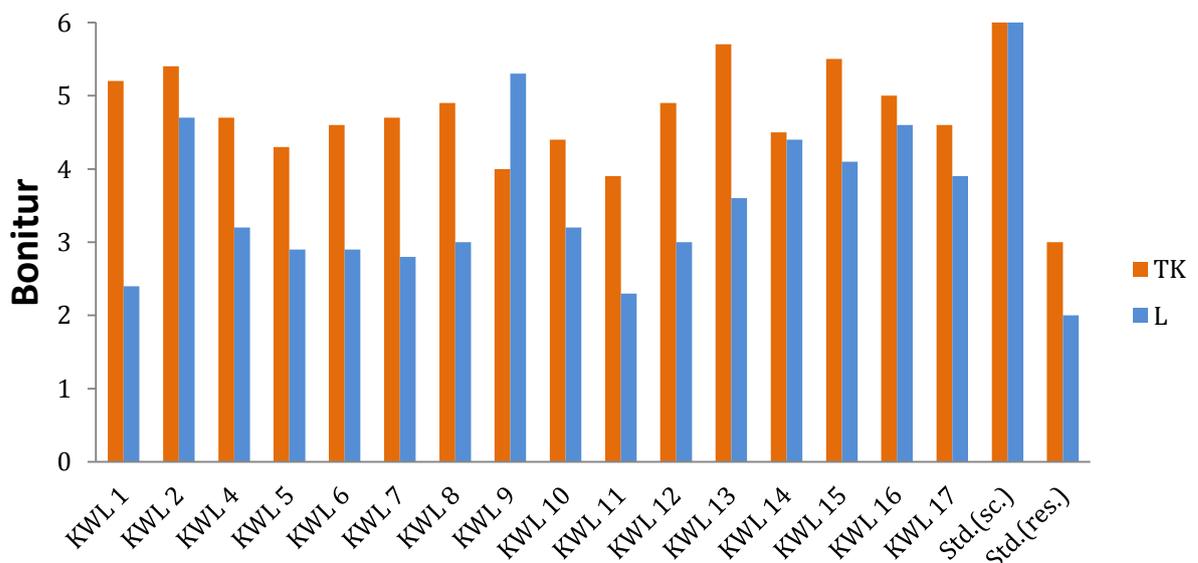


Abbildung 21: Keimpflanzenresistenz von Linien (L) und Testkreuzungen (TK), KWL – Linien aus dem KWS-Getreide-Zuchtprogramm; Std.sc – anfälliger Standard

Im 2. Projektjahr wurde das Testsortiment verändert, da wegen Saatgutmangel nicht alle Prüfglieder erneut angebaut werden konnten. Als Ergänzung wurden neue Prüfglieder in die M2 aufgenommen (Abb. 22). An allen Testumwelten konnte 2013 eine sehr gute Befallsentwicklung und Differenzierung für Schwarzrost in der Materialgruppe beobachtet werden. Es bestätigte sich die Anfälligkeit der Genotypen, die bereits im Vorjahr beobachtet wurde.

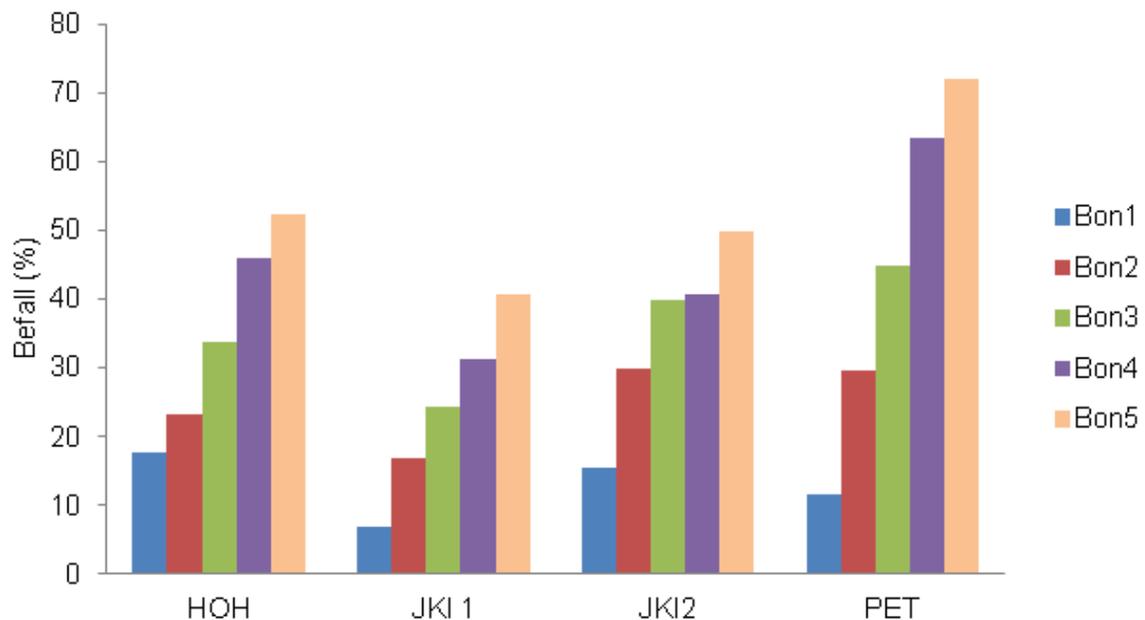


Abbildung 22: Entwicklung der Befallsstärke in der M2 im Jahr 2013,

HOH – Universität Hohenheim; JKI – Julius Kühn Institut; PET – KWS Getreide GmbH Standort Petkus; Bon – Bonitur

Von den neu im Sortiment geprüften Testkreuzungen konnte bei einigen ein verbessertes Resistenzverhalten gegenüber Schwarzrost beobachtet werden (Abb. 23). Der Infektionsdruck in Hohenheim zeigte sich für die Genotypen stärker als an den anderen Testumwelten. Obwohl an allen Standorten mit einem einheitlich definierten Inokulum infiziert wurde, gab es hier vermutlich weitere natürlich vorkommende hochaggressive Rassen, die Einfluss auf die Befallsentwicklung hatten.

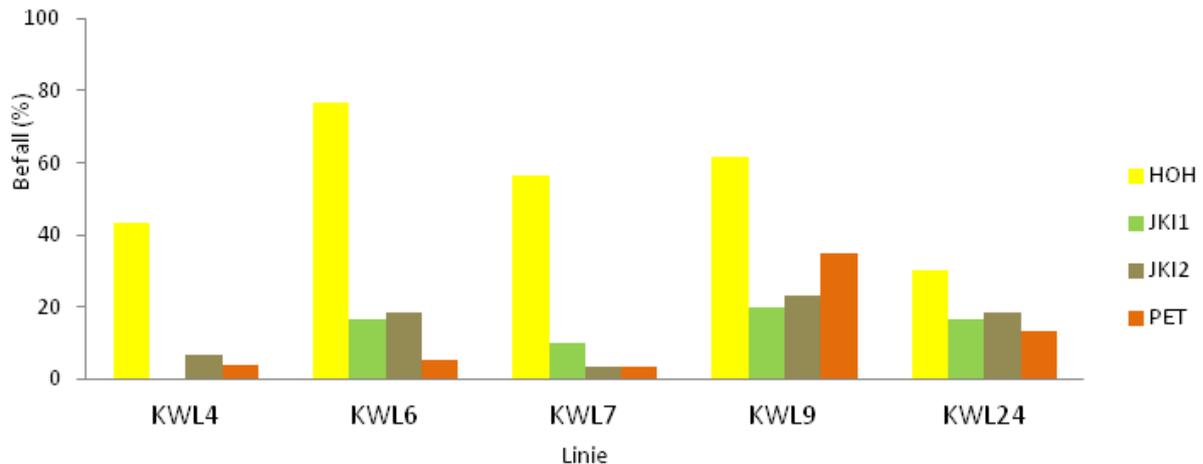


Abbildung 23. Befallsentwicklung in ausgewählten Elternlinien der Testkreuzungen M 2 (2013),

KWL – Linien aus dem KWS-Getreide-Zuchtprogramm; HOH – Universität Hohenheim; JKI – Julius Kühn Institut; PET – KWS Getreide GmbH Standort Petkus

2014 wurde der Anbau des Testsortimentes (M2) wiederholt. Im 3. Projektjahr konnte an den einzelnen Standorten wieder eine sehr differenzierte Befallsentwicklung beobachtet werden. Während am Standort von JKI2 ein hoher Befalldruck auftrat, war der Befall in JKI1 und Petkus geringer. Der Standort Hohenheim (HOH) ist wegen Nässeschäden ausgefallen. In Petkus wurde die Befallsentwicklung nur an 2 Terminen erfasst, da die Bestände sehr schnell abreiften.

4.4.3 Einfluss des Schwarzrostbefalls auf Ertrag und Ertragskomponenten

Ein weiteres Arbeitsziel des Projektes war die Prüfung von Testkreuzungen auf ihre Ertragsleistung unter Befallsbedingungen. Die Genotypen dieser Gruppe sind unmittelbar für die Sortenentwicklung nutzbar. Es handelt sich um Linien und Testkreuzungen aus dem Hybridroggenzuchtprogramm der KWS Getreide GmbH.

Hybridsorten widersprechen beim Roggen nicht den Richtlinien zum ökologischen Landbau, da der zugrundeliegende Mechanismus der cytoplasmatisch-männlichen Sterilität (CMS) spontan auftritt und in einer Probe von argentinischen Waldstaudenroggens gefunden wurde (Geiger und Schnell 1970). Das Cytoplasma kommt natürlicherweise im Roggen vor. Hybridsorten sind durch Einlagerung von natürlich vorkommenden Restorerogenen (Geiger 1972) wieder männlich fertil. Hierbei wird keine Kreuzungsbarriere überschritten, da alle in einer Hybridsorte enthaltenen Linien aus der Art *Secale cereale L.* stammen.

2012 wurde von 25 Linien aus dem Resistenzprogramm und Elitelinien der KWS Getreide GmbH Leistungsprüfungssaatgut zwischen Spannwänden auf einen Tester produziert und 2013 und 2014 an 2 Standorten angebaut. Das Versuchsdesign war eine randomisierte Gitteranlage mit 4 Wiederholungen. Im BBCH 33 erfolgte die Inokulation mit Schwarzrost. Die phänotypischen Merkmale (Ährenschieben (AES); Wuchshöhe (WUH); Schwarzrost (SR) wurden erfasst und die Ertragsmerkmale Kornertrag (KET) und Tausendkorngewicht (TKG) bestimmt. Die Beobachtungen erfolgten als Bonitur (1 – 9) der gesamten Parzelle. Statistisch wurden die Daten mit Hilfe des Programmes „Plabstat“ (Utz 2011) verrechnet (Tab. 14).

Tabelle 15: Mittlerer Kornertrag, Tausendkorngewicht (TKG), Wuchshöhe (WUH) und Schwarzrost (SR)-Befalls nach künstlicher Inokulation aus 2013 und 2014

	Ertrag		TKG		WUH		SR	
	(dt/ha)		(g)		(cm)		(%)	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Check	22	32	33	33	126	128	63	13
LSD_{5%}	5	5	5		6	7		
Versuchsmittel	20	24	33	30	121	142	55	10
Heritabilität	57	85	64		94	94		
Genotyp-Mittel	20	24	33	29	124	142	53	10
Spannweiten	15-24	19 -25	29-40	26-34	112-147	125-166	27 - 73	5-20

Das Ertragsmittel betrug unter Befallsbedingungen 20dt/ha (2013) und 24dt/ha (2014). Die Ertragsspanne bei den Testkandidaten variierte zwischen 15-24dt/ha in 2013 und 19-25dt/ha in 2014. Da die Versuche nur unter Befallsbedingungen angebaut wurden, fehlt hier der Vergleich zur unbehandelten Variante. Innerhalb des Prüfsortimentes ist eine höhere Anfälligkeit des Elitematerials gegenüber Schwarzrost zu erkennen. Die als Checks eingesetzten Elitelinien zeigten eine besonders hohe Anfälligkeit gegenüber Schwarzrost. Diese betrug im Mittel 63%. Bei den Testkreuzungen lag eine größere Differenzierung vor. Interessant sind Kandidaten, die in 2013 trotz sehr starken Krankheitsdrucks eine geringe Befallsausprägung zeigten (Abb. 23).

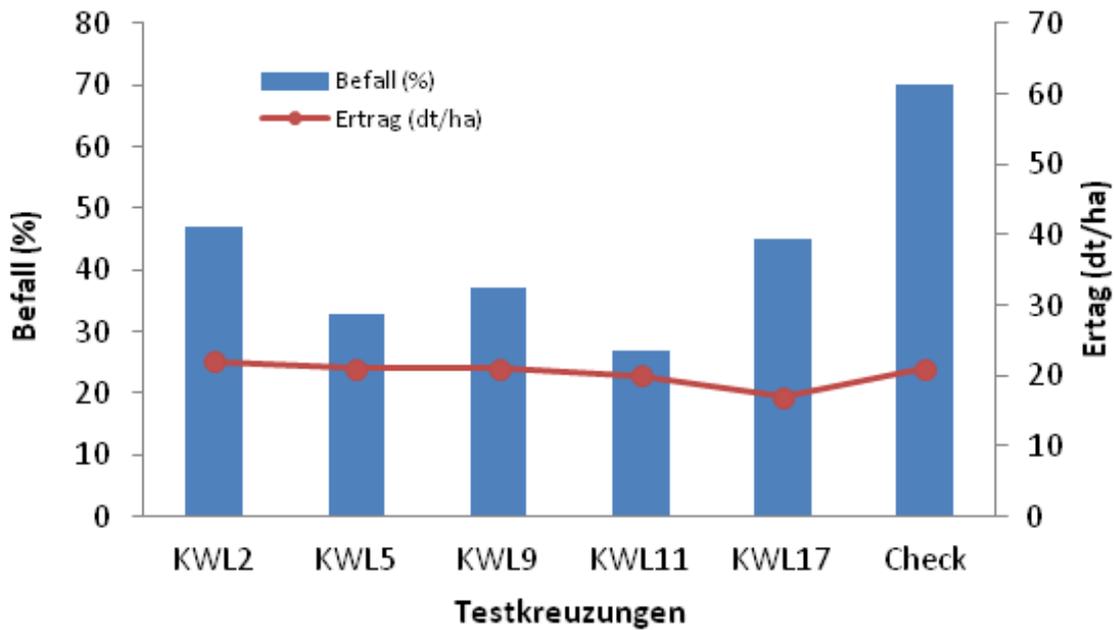
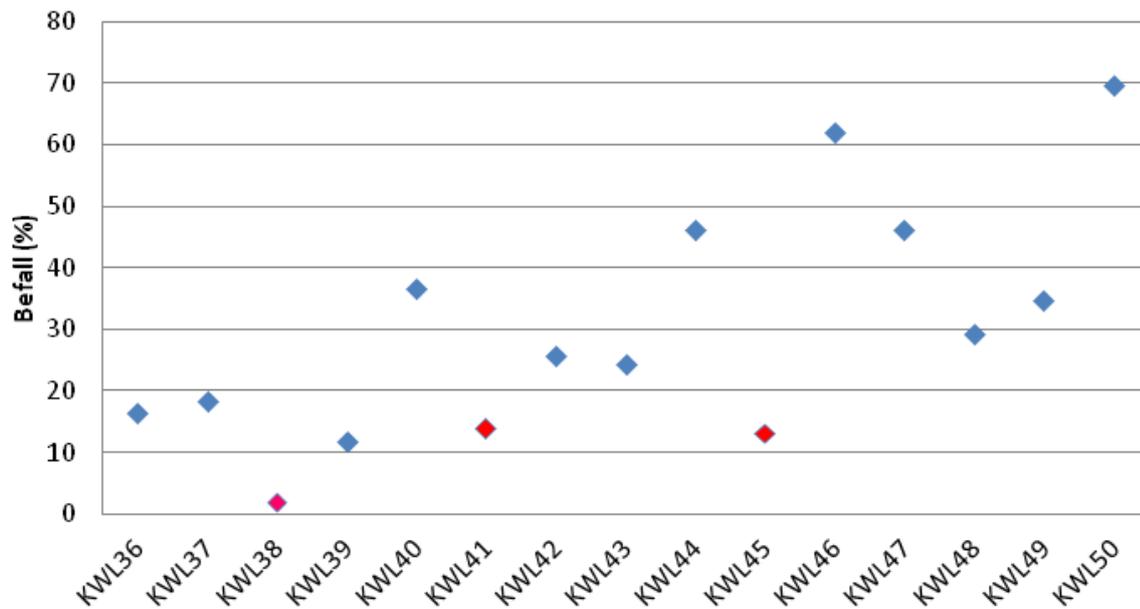


Abbildung 23: Befallsstärke und Ertragsleistung ausgewählter Testkreuzungen 2013 in Leistungsprüfungen, KWL – Linien aus dem KWS-Getreide-Zuchtprogramm

4.4.4 Linien mit osteuropäischen Genanteilen

Die dreijährigen Ergebnisse der Elitelinienprüfung (s. Kap. 4.4.1) zeigen, dass bisher keine Schwarzrostresistenz in dieser Materialgruppe zu finden ist. Die Entwicklung resistenter Sorten wird daher nicht in kurzer Zeit möglich sein. Als Zusatzmaterial wurden 2013 zusätzliche resistente Linien (M5) aus dem Resistenzprogramm der KWS Getreide GmbH an 4 Orten mit künstlicher Inokulation geprüft. Das Befallsniveau zeigt, dass einige schwarzrostresistente Zuchtlinien identifiziert werden konnten, die für den Aufbau resistenter Sorten zukünftig eingesetzt werden können (Abb. 26). Die resistenten Linien KWL38, KWL41 und KWL45 zeigten ein hohes Resistenzniveau über alle Testumwelten. Diese Linien wurden auch in das Differentialsortiment, das beim JKI erarbeitet wurde, aufgenommen.



**Abbildung 26: Befallsstärke resistenter Linien über vier Orte 2013,
KWL – Linien aus dem KWS-Getreide-Zuchtprogramm**

5. Schlussfolgerungen

Im Projekt gelang es, einen Blattsegmenttest für Roggenschwarzrost zu entwickeln. Die Analyse von über 300 Schwarzrostisolaten mit 15 im Projekt selektierten Differentiallinien zeigte, dass die Populationen eine maximale genetische Diversität zeigten, die meisten Pathotypen wurden nur einmal in drei Jahren gefunden. Dies steht in starkem Gegensatz zu der Virulenzsituation bei Weizengelbrost, wo derzeit nur ein Pathotyp dominiert, und erinnert an Pathosysteme ohne künstliche Selektion (Lower 1999). Offensichtlich gibt es auch bei Roggen sowohl auf der Seite des Wirtes als auch auf Seiten des Schwarzrostes eine riesige Diversität.

Während die sieben Populationssorten mit besonderer Eignung für den Ökolandbau an allen Standorten homogen anfällig reagierten, konnten bei einigen Populationen aus Osteuropa, Österreich und den USA bis zu 80% resistente Einzelpflanzen gefunden werden. Zur Erfassung dieser erwartungsgemäß heterogenen Reaktion erwies sich die Bonitur von 15-30 Einzelpflanzen pro Parzelle als erfolgreich. Die meisten der im Adultpflanzentest als resistent bestimmten Populationen waren auch im Blattsegmenttest resistent. Offensichtlich wirken die entsprechenden Resistenzgene über die gesamte Lebensdauer der Pflanze.

Trotz des hohen Infektionsdruckes durch die künstliche Inokulation konnten über fünf Ökostandorte in drei Jahren vielversprechende Resistenzquellen selektiert werden, die zur Züchtung schwarzrostresistenter Sorten genutzt werden können. Dabei sollten entweder die resistenten Einzelpflanzen untereinander gekreuzt werden, um Vollgeschwisterfamilien für die Populationszüchtung zu entwickeln, oder mit selbstfertilen Linien, um die effektiven Gene in das Hybridmaterial zu überführen. Da der Bioland-Verband den Anbau von Hybridroggen zulässt, kann beides dem Ökologischen Landbau zu Gute kommen.

Während bei der Untersuchung von nicht auf Resistenz vorselektierten Linien mit osteuropäischen Genanteilen und in Elitezuchtlinien höchstens mäßig resistente Linien identifiziert werden konnten, waren in der Materialgruppe M5 Linien enthalten, die ein hohes Resistenzniveau gegenüber Schwarzrost zeigten. Sie waren aus genetischen Ressourcen mit osteuropäischem Hintergrund entwickelt worden. Allerdings ist die Linieneigenleistung dieser Kandidaten unzureichend. Besonders die hohe Lageranfälligkeit, die zu lange Wuchshöhe und die geringe Ertragsleistung lassen es nicht zu, diese Linien sofort in die Sortenentwicklung zu integrieren. Deshalb ist es notwendig, neue Zuchtprogramme anzulegen und die schwarzrostresistenten Linien als Resistenzdonoren einzusetzen, mit dem Ziel, widerstandsfähige Sorten für die Landwirtschaft zu entwickeln und damit die Erträge langfristig zu sichern.

6. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung

In diesem Projekt sollten Grundlagen geschaffen werden, um die Züchtung von Roggensorten mit wirksamer Resistenz gegen Schwarzrost voranzutreiben. Nicht nur die Roggenzüchter profitieren durch eine verbesserte Marktpositionierung davon, auch landwirtschaftliche Unternehmen können durch die Einsparung von Fungiziden ihre Kosten reduzieren. Zudem erhöht sich die Ertragsstabilität der Sorten und ihr Einsatz im ökologischen Anbau wird möglich.

Das im Rahmen des Projektes entwickelte Isolatesortiment deckt das aktuelle Virulenzspektrum der Schwarzrostpopulationen ab und kann auch zukünftig von den Züchtern genutzt werden, um weitere genetische Ressourcen zu erschließen. Mit dem Roggen-Differentialsortiment kann das Auftreten neuer Virulenzen in der Schwarzrostpopulation rechtzeitig erkannt und wirtschaftlicher Schaden abgewendet werden.

7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Folgende ursprünglich geplanten Arbeitsziele

AZ1: Methodische Entwicklungen zur Etablierung von Resistenzprüfungen in der Klimakammer, im Gewächshaus und im Feld an Blattsegmenten bzw. ganzen Pflanzen,

AZ2: Zur Abschätzung der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit neuen Resistenzquellen auf ökologisch bewirtschafteten Standorten wird eine bundesweite Analyse der Virulenzstruktur, Diversität und Komplexität von Schwarzrostpopulationen aus Deutschland durchgeführt,

AZ3: Erstellung eines Isolatesortiment, das zur Selektion von Resistenzen und zur Identifikation unterschiedlicher Resistenzen eingesetzt werden kann,

AZ4: Analyse von Genetischen Ressourcen und adaptiertem Elitematerial mit Blattsegmenttest und Adultpflanzenprüfung im Feld auf Resistenz gegen Schwarzrost

konnten im Projektzeitraum realisiert werden.

8. Zusammenfassung

Die deutsche Landwirtschaft wird von den Auswirkungen des Klimawandels zukünftig stark betroffen sein, insbesondere die Gebiete Mitteldeutschlands mit leichten, sandigen Böden, wo Roggen aufgrund seiner Nährstoffeffizienz und Stresstoleranz eine der Hauptfruchtarten darstellt. Der prognostizierte Temperaturanstieg ab dem Frühsommer wird nicht nur das Wachstum und die Ertragsleistung des Roggens beeinflussen, sondern auch ein verstärktes Auftreten des Wärme liebenden Schwarzrostes zur Folge haben. Dieser hat bereits heute in einigen Regionen Deutschlands Bedeutung erlangt und stellt in kontinentalen Klimagebieten einen Hauptschadfaktor dar. Schwarzrost ist mit fungiziden Einzelwirkstoffen derzeit nicht bekämpfbar, resistente Sorten sind in Deutschland nicht bekannt. Die Rassendynamik ist bei Schwarzrost bekanntermaßen hoch.

Ziel des Projektes war es, für die praktische Roggenzüchtung nutzbare Resistenzquellen aufzufinden und sowohl deren Vererbung in Wirtspopulationen als auch die Virulenzdiversität der Schwarzrostpopulationen zu analysieren. Mit Hilfe eines neu zu erstellenden Differenzialsortimentes, klassisch-genetischen Analysen der Resistenz im Labor, Gewächshaus und

Feld sollten schwarzrostresistente Roggenpopulationen und definierte Schwarzrostinokula entwickelt werden. Dies wird im Interesse einer Vorsorge wirksame Schwarzrost-Resistenzquellen für die Roggenzüchtung erschließen und deren beschleunigte Nutzung und Pyramidisierung ermöglichen.

Das Forschungsvorhaben wurde vom Julius Kühn-Institut (JKI) unter Beteiligung der KWS Getreide GmbH (KWS) durchgeführt. Unterauftragnehmer waren die Landessaatzuchtanstalt der Universität Hohenheim (UHOH) und die Züchtungsforschung Dottenfelderhof (FZD) in der LBS Dottenfelderhof e.V. Die wissenschaftliche Leitung und Durchführung des Projektes lag beim JKI. Die KWS und die Unterauftragnehmer steuerten je einen Versuchsstandort pro Jahr sowie auf Schwarzrostresistenz zu prüfendes Roggenmaterial bei.

Zur Ermittlung optimaler Bedingungen für die Entwicklung, Vermehrung und Konservierung des Schwarzrostes wurden **methodische Entwicklungen zur Etablierung von Resistenzprüfungen** (AZ1) durchgeführt. Dazu wurden für die Erhaltung der Isolate und zur Prüfung der Keimpflanzenresistenz im Labor bereits für andere Wirt-Pathogen-Systeme etablierten Blattsegmenttest an die veränderten Temperatur-, Licht- und Luftfeuchtigkeitsansprüche des Schwarzrostes angepasst. Insgesamt wurden drei Inokulationsmethoden getestet:

- (1) Abkratzen der Schwarzrostsporen und Übertragung der Sporen in einer 0,1%igen Agarlösung auf die anfällige Roggensorte Palazzo
- (2) Abkratzen der Sporen mit einer Impföse und Abstreifen der Sporen auf die Blattstücke der anfälligen Sorte Palazzo
- (3) Schwarzrostsporen mit einem sterilem Wattestäbchen von den befallenen Blättern vorsichtig abnehmen und auf die schwarzrostanfällige Roggensorte Palazzo übertragen

Alle drei Inokulationsmethoden eignen sich für die Vermehrung der Schwarzrostisolate. Die erste Methode führt jedoch zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Uredosporen auf den Blattsegmenten durch das Auftragen der homogenen Agar-Uredosporen-Suspension, ist aber auch wesentlich zeitaufwendiger. Diese Methode sollte somit für die Prüfung der Keimpflanzenresistenz genutzt werden, da ein gleichmäßiger Befall der Differenzialsorten für die Bewertung der Resistenz zwingend notwendig ist.

Für die **Analyse der Virulenzsituation** (AZ2) des Roggen-schwarzrostes wurden in den Jahren 2011, 2012, 2013 und 2014 insgesamt 162 schwarzrostbefallene Stängelproben aus

den wichtigsten deutschen Anbauregionen des Roggens von ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben gesammelt. Davon konnten 323 Einpustelisolat (EPI) hergestellt und mit Hilfe des aktuell 15 Linien umfassenden Differentialsortimentes im Blattsegmenttest hinsichtlich Frequenz, Komplexität und Diversität getestet werden. Mit Hilfe der 323 Einpustelisolat konnten 15 Inzuchtlinien gefunden werden, die eine Differenzierung des Befalls zeigten. Die Virulenzkomplexität der Isolate schwankte zwischen 0 und 11 Virulenzen von 15 möglichen Virulenzen. Die Mehrzahl der Isolate wies im Jahr 2011 eine Komplexität von 7, im Jahr 2012 von 6 und im Jahr 2013 von 5 auf.

Die Beschreibung der Diversität der Pathogenpopulation erfolgte mit Hilfe des Simpson-Index (S) und des Evenness-Index (EH) nach Shannon. Die Werte des Simpson-Index von 0,98 bis 1,00 und des Evenness-Index von 0,98 bis 1,00 zeigen über alle Versuchsjahre eine hohe Diversität der Schwarzrostpopulation in den 12 Bundesländern sowie in den Nachbarländern Polen und Russland

Von den 323 mit dem Differentialsortiment getesteten Isolaten ließen sich in Deutschland, Polen und Russland 226 unterschiedliche Pathotypen identifizieren, von denen 56 Pathotypen häufiger als einmal vorkamen.

9. Literaturverzeichnis

- Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (1984): Begriffe aus der Ökologie, Umweltschutz und Landnutzung. Laufen/Salzbach
- Barthelms, G., Krüger, F. (2002): Sortenratgeber – Winterroggen. Landesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft – Brandenburg.
<http://www.brandenburg.de/land/mlur/l/pflanze/sortrat.htm>.
- BMELV (2013): Ernte 2013: Mengen und Preise.
- Börner, H (1997): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Börner, H. (1990): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Burdon, J. J. (1997): The evolution of gene-for-gene interactions in natural pathosystems. 427 In: Crute, I. R., E. B. Holub and J. J. Burdon: The gene-for-gene relationship in plant-parasite interactions. CAB International, Wallingford.
- Felsenstein, F. G., Park, R. F., Zeller, F. J. (1998): The use of detached seedling leaves of *Triticum aestivum* to study pathogenicity in *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. J. Phytopathology 146, 115-121.
- Flath, K., 2000: Getreidemehltau, Braunrost des Weizens und Roggens; Zwergrost der Gerste, Gelbrost. In: Bartels, G., und G. F Backhaus: Die Prüfung von Pflanzen auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Schadorganismen in der Biologischen Bundesanstalt. Teil 2. Resistenzprüfung von Kulturpflanzen im Acker- und Gartenbau gegen Pilze, Bakterien und Viren. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem 373, 6–14.
- Geiger, H.H. (1972): Wiederherstellung der Pollenfertilität in cytoplasmatisch-männlich sterilem Roggen. Theoretical and Applied Genetics 42, 32-33.
- Geiger, H.H. , Schnell F.W. (1970) Cytoplasmic male sterility in rye (*Secale cereale* L.). Crop Sci 10:590-593.
- Gerdes, J. T. (2003): Noch erhebliches Potenzial für Roggen-Roggenforum setzt Arbeitsschwerpunkt weiterhin auf Futtermittelverwertung. Pressemitteilung 17.02.2003.
http://www.roggenforum.de/images/downloads/Downloads/ GGTSPU-969-946451-DAT/pm_rf_mv_02_2003.doc
- Gilmour, J. (1973): Octal notation for designation physiological races of plant pathogens. Nature 242, 620.
- Hausmann, B.I.G., Parzies, H.K., Presterl, T. Sušić Z., Miedaner, T. (2004): Plant genetic resources in crop improvement (Review). Plant Genetic Resources 2, 3-21.
- Herrmann, A., Löwer, C., Schachtel, G. A. (1999): A new tool for entry and analysis of virulence data for plant pathogens. Plant Pathology 48, 154-158.
- Hoffmann, G. M., Schmutterer, H. (1999): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

- Klocke, B. (2004): Virulenzstruktur und –dynamik des Roggenbraunrostes (*Puccinia recondita* f. sp. *secalis*) in der Bundesrepublik Deutschland. Dissertation.
- Knott, D. R. (1989): The Wheat Rusts-Breeding for Resistance. Springer Verlag Berlin-Heidelberg.
- Löwer, C. (1999): Koevolution in *Hordeum spontaneum* und *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* in Populationen der Westtürkei. Giessen, Univ., Diss., Shaker Verlag Aachen.
- Müller, K., McDermott, J. M., Wolfe, M. S., Limpert, E. (1996): Analysis of diversity in populations of plant pathogens: the barley powdery mildew pathogen across Europe. European Journal of Plant Pathology 102, 385-395.
- Oberforster, M. (2011): Bei Roggen nicht den Schwarzrost übersehen! Der Pflanzenarzt 10-12.
- Obst, A., Gehring, K. (2004): Getreide - Krankheiten Schädlinge, Unkräuter. DLG Verlag.
- Prell, H. H. (1996): Interaktion von Pflanzen und phytopathogenen Pilzen. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Pretorius, Z. A., Singh, R. P., Wagoire, W. W., Payne, T. S. (2000): Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. Plant Dis. 84, 203.
- Schröder, G. (2000): Der Schwarzrost (*Puccinia graminis*) erreicht an Winterroggen in einigen Regionen von Brandenburg wirtschaftliche Bedeutung. - Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch., 376, 80.
- Schubiger, F. X. (2014): Schwarzrost des Getreides.
<http://www.pflanzenkrankheiten.ch/index.php/de/krankheiten-an-kulturpflanzen/getreide-mais/roggen/265-puccinia-graminis-secalis>
- Solodukhina, O., Kobylanski, V. (2006): Possibility of rye breeding for long-term resistance to leaf and stem rust. Votr. Pflanzenzüchtung, 71, 151-157.
- Stakman, E. C., Stewart, D. M., Loening, W. Q. (1962): Identification of physiological races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. U.S. Dept. Agric. Res. Serv. E 617.
- Statistisches Bundesamt (2013): Deutsche Landwirte bewirtschaften 11,9 Millionen Hektar Ackerland. Pressemitteilung vom 30. Juli 2013 – 252/13.
- Utz, H.F. (2011): Plabstat – Ein Computerprogramm zur statistischen Analyse von pflanzenzüchterischen Experimenten.
- Vanderplank, J. E. (1978): Genetic and Molecular Basis of Plant Pathogenesis. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Welz, G. (1986): Struktur und Dynamik der Virulenz in Populationen von *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*. Marchal. Diss., Univ. Gießen.

10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen bzw. Vorträge zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Schmitt, A.-K., Klocke, B., Flath, K. (2012): Diagnose von Schwarzrost im Getreide – Kontrolle des Roggenschwarzrostes, *Puccinia graminis* f. sp. *secalis*, im Ökologischen Landbau durch Züchtung resistenten Roggens. Klausurtagung des amtlichen Pflanzenschutzdienstes Sachsen-Anhalt vom 11. bis 13.12.2012 in der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau in Bernburg. Vortrag

Flath, K., Klocke, B., Schmitt, A.-K., Schmiedchen, L., Wilde, P., Spieß, H., Miedaner, T. (2013): Roggenschwarzrost, *Puccinia graminis* f. sp. *secalis*, mit resistenten Sorten kontrollieren. 63. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2012, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, S. 1 – 3.

Klocke, B., Flath, K., Schmitt, A.-K., Miedaner, T., Schmiedchen, B., Spieß, H., Szabo, L., Wilde, P. (2013): Analyse der Virulenzsituation des Roggenschwarzrostes (*Puccinia graminis* f. sp. *secalis*) im Ökologischen Landbau zur Züchtung resistenten Roggen. In: Neuhoff, D., Stumm, C., Ziegler, S., Rahmann, G., Hamm, U. & Köpke, U. (Hrsg.): Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung, Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 5.-8. März 2013, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. S. 252-255. Vortrag

Schmitt, A.-K., Klocke, B., Flath, K., Schmitt, A.-K., Miedaner, T., Schmiedchen, B., Spieß, H., Szabo, L., Wilde, P. (2013): Neue Resistenzen für Schwarzrost bei Roggen aus Genetischen Ressourcen. Resistenztagung in Fulda, 10. Dezember 2013.

Miedaner, T., Schmitt, A.-K., Flath, K., Schmiedchen, B., Spieß, H., Szabo, L., Wilde, P., Klocke, B. (2014): Resistances to stem rust (*Puccinia graminis* f.sp. *secalis*) in genetic resources of winter. Fachgespräch Rost in Kleinmachnow, 18. Juli 2014.

Miedaner, T., Schmitt, A.-K., Flath, K., Schmiedchen, B., Spieß, H., Szabo, L., Wilde, P., Klocke, B. (2014): Virulence analyses of rye stem rust populations in Germany. Fachgespräch Rost in Kleinmachnow, 18. Juli 2014.

Flath, K., T. Miedaner. 2014. Roste. Langsam wird's bedrohlich. DLG-Mitteilungen 7/14. DLG-Saatgutmagazin Sommer 2014 S. 14-16.

Miedaner, T., Schmitt, A.-K., Flath, K., Schmiedchen, B., Spieß, H., Szabo, L., Wilde, P., Klocke, B. (2014): Mehrjährige Ergebnisse zur Kontrolle des Schwarzrostes bei Roggen im Ökologischen Landbau. 59. Deutsche Pflanzenschutztagung Freiburg, 23.-26. Oktober 2014.

Es wird angestrebt die Ergebnisse des Projektes in Kürze in peer-reviewten Fachzeitschriften zu veröffentlichen, was zur Reputation der Forschungseinrichtung beiträgt und einen institutsübergreifenden Wissenstransfer fördert.

II. Anhang zum Schlussbericht: Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Die Ergebnisse dieses Projektes sind ein wichtiger, hochinnovativer Beitrag zur Nutzung der in genetischen Ressourcen und Zuchtmaterial vorhandenen Biodiversität für Schwarzrost-Resistenz für die praktische Roggenzüchtung und tragen entscheidend zur umweltgerechten und ressourcenschonenden Landwirtschaft bei, da der momentan wirtschaftlich unverzichtbare Einsatz von Pflanzenschutzmitteln durch den Anbau resistenter Sorten stark reduziert werden kann. Da der Schwarzrost an Roggen mit pflanzenbaulichen Maßnahmen alleine nicht zu bekämpfen ist, stellt er ein erhebliches Problem im Ökologischen Landbau dar. Die Ergebnisse schwarzrostresistentes Ausgangsmaterial für die Neuzüchtungen von resistenten Roggenpopulationen bereitzustellen unterstützen die praktische Pflanzenzüchtung zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit deutscher Roggensorten gegenüber Schwarzrost und helfen, Erträge langfristig zu sichern und die Wirtschaftlichkeit des Roggenanbaus zu verbessern.

2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

Zur Abschätzung der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit neuen Resistenzquellen auf ökologisch bewirtschafteten Standorten wurde eine bundesweite Analyse der Virulenzstruktur, Diversität und Komplexität von Schwarzrostpopulationen aus Deutschland und den Nachbarländern Polen und Russland durchgeführt. Zur Analyse der Virulenzsituation des Roggen-schwarzrostes in den wichtigsten deutschen Anbauregionen wurden Einpustelisolat (EPI) aus schwarzrostbefallenen Stängelproben hergestellt. Blattsegmenttests mit einem Differenzialsortiment aus 15 ausgewählten Roggensorten konnten die untersuchten 323 EPI insgesamt 226 unterschiedlichen Pathotypen zuordnen, von denen nur 56 Pathotypen häufiger als einmal vorkamen. Die Roggen-schwarzrostpopulation erwies sich als hoch divers und komplex.

Aus den im Rahmen der Virulenzanalysen gewonnenen Einsporisolen wurde ein Sortiment bestehend aus 12 schwach bis hoch virulenten Isolen zusammengestellt, das in zukünftigen

Zuchtprozessen zur Identifizierung rassenspezifischer Schwarzrostresistenzgene und zur Überprüfung der Wirksamkeit von Resistenzdonoren genutzt werden kann. Mit dem Roggen-Differentialsortiment können Pathotypen erkannt und differenziert werden.

17 Populationssorten, die zur Überprüfung der Adultpflanzen-Resistenz an den Versuchsstandorten Kleinhohenheim, Berlin-Dahlem, Dahnsdorf, Dottenfelderhof und Petkus mit künstlicher Infektion über drei Jahre getestet wurden zeigten eine wirksame Adultpflanzenresistenz und können zukünftig zur Erzeugung neuer, widerstandsfähiger Roggensorten genutzt werden.

3. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten

Es wurden keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte in Anspruch genommen.

4. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)

In diesem Projekt wurden Grundlagen geschaffen, um die Züchtung von Roggensorten mit wirksamer Resistenz gegen Schwarzrost voranzutreiben. Die Sortenentwicklung mit verbesserten Resistenzeigenschaften wird in den Züchtungsunternehmen bis zur Marktfähigkeit weitere 8 bis 10 Jahre Entwicklungsarbeit beanspruchen.

Nicht nur die Roggenzüchter profitieren durch eine verbesserte Marktpositionierung, auch landwirtschaftliche Unternehmen können durch die Einsparung von Fungiziden ihre Kosten reduzieren. Zudem erhöht sich die Ertragsstabilität der Sorten und ihr Einsatz im ökologischen Anbau wird möglich.

5. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können

Bisher gab es keine verlässlichen Daten zur Befallssituation mit Schwarzrost, seiner Verbreitung in Abhängigkeit von der Jahreswitterung und möglicher Resistenzquellen im mitteleuropäischen Roggenmaterial. Deshalb sind die im Rahmen des Projektes gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse sowie die neu entwickelten Methoden zur Beurteilung von Keimlings- und Adultpflanzenresistenz die wesentliche Grundlage für die zukünftige Selektion im Zuchtbetrieb, gleich ob ökologisch oder konventionell orientiert, und können unmittelbar verwertet werden.

Das im Rahmen des Projektes entwickelte Isolatesortiment deckt das aktuelle Virulenzspektrum der Schwarzrostpopulationen ab und kann auch zukünftig von den Züchtern genutzt werden, um die Wirksamkeit von Schwarzrostresistenzen abzuschätzen und um weitere genetische Ressourcen zu erschließen.

Mit dem Roggen-Differentialsortiment kann das Auftreten neuer Virulenzen in der Schwarzrostpopulation rechtzeitig erkannt und wirtschaftlicher Schaden abgewendet werden.

Im ökologischen Landbau hat der Winterroggen neben dem Weizen die größte Bedeutung. Er wird hauptsächlich als Brotgetreide verwendet. Da es sich bei den untersuchten Materialien zum großen Teil um adaptiertes Material handelt, kann ein Zuchtfortschritt den Landwirten in Form von neuen Sorten zur Verfügung gestellt werden. Außerdem sind die untersuchten Populationen wertvolle Resistenzquellen für die weitere Züchtungsarbeit. Für die Züchtungsunternehmen sind neue Sorten von größter wirtschaftlicher Bedeutung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und von Arbeitsplätzen, da die Lebensdauer einzelner Sorten aufgrund des Züchtungsfortschrittes sich tendenziell auf wenige Jahre verkürzt. Das vorliegende Projekt bezieht sich ausschließlich auf die Verbesserung eines Resistenzmerkmals, das einen unmittelbaren Marktvorteil bietet. Angaben zur geplanten Verbreitung neuer rostresistenter Sorten sind erst möglich, wenn im Rahmen der Leistungsprüfungen beim Bundessortenamt oder den Landessortenversuchen Daten aus verschiedenen Regionen Deutschlands vorliegen, die dann die Grundlagen für die Sortenvermarktung bilden.

Es wird angestrebt die Ergebnisse des Projektes in Kürze in Fachzeitschriften zu veröffentlichen, was zur Reputation der Forschungseinrichtung beiträgt und einen institutsübergreifenden Wissenstransfer fördert.

6. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse

Die beteiligten Forschungsinstitute werden durch die geplanten Arbeiten ihre Stellung im Ökologischen Landbau ausbauen können und durch die Verknüpfung mit einem Ökozüchter diese Technologien in die Praxis einführen. Dadurch werden sie als kompetente Partner für weitere Kooperationen interessant und haben bessere Chancen für weitere Anschlussaufträge. Gleichzeitig tragen entsprechende Veröffentlichungen in Fachzeitschriften zur Reputation der Forschungseinrichtungen bei und fördern einen institutsübergreifenden Wissenstransfer.

Die geprüften Genetischen Ressourcen stehen unmittelbar jedem Interessierten zur Verfügung. Die Populationssorten mit besonderer Eignung für den Öko-Landbau sowie die selbstfertilen Linien und deren Testkreuzungen gehören den jeweiligen Ursprungszüchtern. Sie können nach ihrer Zulassung als Sorte im Rahmen des Züchterprivilegs unentgeltlich zu Kreuzungszwecken genutzt werden.

7. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z. B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)

Es wurde im Projektverlauf auf sechs Tagungen (s. Pkt II, 10) über die Ergebnisse des Projektes berichtet. Zum Abschluss des Projektes fand am 18. Juli 2014 ein „Fachgespräch Getreideroste“ im JKI in Kleinmachnow mit internationaler Beteiligung statt. Außerdem erfolgten Vorträge im Rahmen der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GFP), so dass alle Beteiligten (Ökoverbände, Züchter, Pflanzenschutzdienst, Landwirte) ständig und umfassend informiert wurden.

8. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Die während der Projektzeit erreichten Ergebnisse entsprechen dem zu Beginn des Projektes geplanten Arbeits- und Zeitplan. Die Kosten überschritten nicht das beantragte Volumen.