

Dr. Ute Kastirr, Dr. Angelika Ziegler

Schlussbericht zum Vorhaben
Vorkommen und Schadwirkung des
Soil-borne wheat mosaic virus
(SBWMV) in Winterweizen



Berichte aus dem Julius Kühn-Institut

197

Kontaktadressen/ Contacts

Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik
06484 Quedlinburg
Erwin-Baur-Straße 27

E-Mail: ep@julius-kuehn.de
Telefon +49 (0) 0 39 46 47-0
Telefax +49 (0) 0 39 46 47-500

Wir unterstützen den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen.
Die Berichte aus dem Julius Kühn-Institut erscheinen daher als OPEN ACCESS-Zeitschrift.
Alle Ausgaben stehen kostenfrei im Internet zur Verfügung:
<http://www.julius-kuehn.de> Bereich Veröffentlichungen – Berichte.

We advocate open access to scientific knowledge. Reports from the Julius Kühn Institute are therefore published as open access journal. All issues are available free of charge under <http://www.julius-kuehn.de> (see Publications – Reports).

Herausgeber / Editor

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig, Deutschland
Julius Kühn Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig, Germany

Vertrieb

Saphir Verlag, Gutsstraße 15, 38551 Ribbesbüttel
Telefon +49 (0) 5374 6576
Telefax +49 (0) 5374 6577
verlag@saphirverlag.de

ISSN 1866-590X

DOI 10.5073/berjki.2018.197.000



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons – Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen – 4.0 Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons – Attribution – ShareAlike – 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Schlussbericht

zum Vorhaben

Vorkommen und Schadwirkung des *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV) in Winterweizen

Zuwendungsempfänger und ausführende Stelle:

Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik
06484 Quedlinburg
Erwin-Baur-Straße 27

Projektpartner:

RAGT 2n
Samenzucht und Saatzuchtbetrieb
38855 Wernigerode (Silstedt)
Steinesche 5 A

Förderkennzeichen:

EP-2240 Haushaltsprojekt

Laufzeit:

01. 09. 2013 bis 31. 03. 2018

Monat der Erstellung:

Juni 2018

Datum der Veröffentlichung:

2018

Abschlussbericht von:

Dr. Ute Kastirr, Dr. Angelika Ziegler

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Abkürzungsverzeichnis

Institutionen

JKI	Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
-EP	Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik
-RS	Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz
RAGT2n	Samenzucht und Saatzüchtbetrieb Sielstedt
IPK	Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben

Getreidekulturen

Di	Dinkel
DW	Durumweizen
WG	Wintergerste
WR	Winterroggen
WT	Wintertriticale
WW	Winterweizen
BBCH-Code	zitiert das Entwicklungsstadium der Pflanze, benannt nach den ursprünglich beteiligten Organisationen, nämlich der B iologischen Bundesanstalt, dem B undessortenamt sowie für die chemische Industrie dem Industrieverband

Pathogene

SBCMV	<i>Soil-borne cereal mosaic virus</i>
SBWMV	<i>Soil-borne wheat mosaic virus</i>
SBWMV-N	SBWMV-Stamm Nebraska
SBWMV-NY	SBWMV-Stamm New York
SBBMV	Soil-borne barley mosaic virus
WSSMV	<i>Wheat spindle streak mosaic virus</i>
"type strain"	typischer Vertreter der Virusgruppe
<i>Polymyxa graminis</i>	
	Ribotyp I - <i>temperata</i>
	Ribotyp II - <i>tepida</i>
f. sp.	formae speciales
wpi	'week post inoculation' - Wochen nach der Inokulation

serologischer Virusnachweis

DAS-ELISA	Double Antibody Sandwich Enzyme Linked Immunosorbent Assay Antikörper basiertes Nachweisverfahren
mAK	monoklonale Antikörper
IgG	Immunglobulin G (IgG)- oder Gammaglobulin-Antikörper
Konjugat	IgG gekoppelt mit alkalischer Phosphatase

Molekularbiologische Nachweisverfahren

RT-PCR	Reverse Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion
Real-Time qPCR	quantitative Echtzeit-PCR
DNS	Desoxyribonukleinsäure
cDNS	komplementäre <i>Desoxyribonukleinsäure</i>
RNS	Ribonukleinsäure

Tabelle	Inhalt	Seite
Tabelle 1:	Anfälligkeit unterschiedlicher Getreidearten für das SBWMV	14
Tabelle 2:	Untersuchung der SBWMV-Resistenz in einem Gerstensortiment mit Resistenzgenen (<i>rym</i>) gegen die Gerstengelmosaikviren	16
Tabelle 3:	Herkunft der Gerstengelmosaik-Resistenzträger mit Anfälligkeit für das Furovirus SBWMV	15
Tabelle 4:	Anfälligkeit von <i>Muju covered 2</i> für verschiedene Weizen-Furoviren	16
Tabelle 5:	<i>Hordeum vulgare</i> - Akzessionen mit Anfälligkeit für das Furovirus SBWMV-NY	17
Tabelle 6:	Vererbung der Furovirus-Anfälligkeit von <i>Muju covered 2</i> nach Kreuzung mit der Furovirus resistenten Sorte <i>Spirit</i> in Nachkommenschaften	17
Tabelle 7:	Zugelassene Getreidesorten aus der Bundessortenliste von 2017 mit Resistenz gegen bodenbürtige Viren	19

Abbildung	Inhalt	Seite
Abbildung 1:	Elektronenmikroskopische Darstellung von stäbchenförmigen Partikeln mit Zentralkanal des SBWMV-NY aus infizierten Blättern von Feldpflanzen	7
Abbildung 2:	Verbreitung bodenbürtiger Weizenviren in Schleswig-Holstein	8
Abbildung 3:	Symptome des SBWMV-NY in verschiedenen Winterweizensorten	8
Abbildung 4:	Auftreten des SBWMV in drei Anbauregionen Deutschlands und phylogenetische Zuordnung der Virusisolate zu den Stämmen 'Nebraska' und 'New York'	9
Abbildung 5:	Nachweis der Inokulumverteilung im Versuchsfeld Westerrade 2013/14	10
Abbildung 6:	Schadwirkung des SBWMV-NY in einer Befallsfläche im Landkreis Segeberg	11
Abbildung 7:	Vergleich des Habitus in der Virus infizierten Winterweizensorte 'Tobak' mit der Virus freien Sorte 'Rebell'	12
Abbildung 8:	Vergleich der mittleren Kornerträge im SBWMV-NY infizierten Weizenfeld	12
Abbildung 9:	SBWMV-N - Befall im nördlichen Ilmkreis in Thüringen an der Winterweizensorte 'JB Asano'.	12
Abbildung 10:	Bestimmung der Verluste im Kornertrag bei Infektion von Winterweizen durch das SBWMV-N,	13
Abbildung 11:	SBWMV-NY - Symptome an Winterformen von Roggen, Triticale, Weizen, Gerste und am Fuchsschwanz	13
Abbildung 12:	Gruppierung der SBWMV anfälligen DH-Linien nach Virustiter	18
Abbildung 13:	Vergleich der Virusausbreitung in resistenten und anfälligen Weizensorten	18
Abbildung 14:	Lokalisierung von Resistenzgenen gegen Furoviren in den drei Weizengenomen	19
Abbildung 15:	Ausbreitung des SBWMV-NY nach mechanischer Inokulation in der resistenten Weizensorte <i>Cadenza</i> und der anfälligen Sorte <i>Cezanne</i>	20
Abbildung 16:	Ausbreitung des SBWMV-NY in der resistenten Weizensorte <i>Cadenza</i> und der anfälligen Sorte <i>Cezanne</i> nach Inokulation durch den Virusvektor	21
Abbildung 17:	Einfluss der Temperatur auf die Effektivität der Virusübertragung	22
Abbildung 18:	Vergleich der mittleren Tagestemperaturen während der Inkubationszeit in den verschiedenen Befallsstandorten in 2016/17	22
Abbildung 19:	Vergleich der Inkubationszeit (Tage nach Aussaat bis Probenahme- dpi), der Frosttage [T(d)] mit dem mittleren Virustiter infizierter Weizenpflanzen	23
Abbildung 20:	Vergleich der Virustiterentwicklung von Furo- und Bymoviren währen der Winterweizenvegetation	24
Abbildung 21:	Selektion auf Virusresistenz durch Vektorübertragung des Virus	24

1. Ziele des Forschungsvorhabens

Einleitung

Wintergetreide kann im Herbst durch verschiedene Viren infiziert werden. Eine bedeutende Rolle spielen dabei die bodenbürtigen Viren, die über viele Jahre in ihrem Vektor ortsfest im Boden überdauern. Sie sind durch ackerbauliche Maßnahmen und chemischen Pflanzenschutz nicht zu bekämpfen.

Bodenbürtige Viren im Getreide werden durch den Protisten *Polymyxa graminis* Ledingham übertragen. Er ist in den meisten Kulturflächen verbreitet und besiedelt die Wurzeln von Süßgräsern, zu denen auch Gerste, Weizen, Triticale und Roggen gehören. *Polymyxa* selbst ist kein Pathogen für diese Getreidearten. Durch Bodenerosion, anhaftende Erde, z.B. an Pflanzkartoffeln, Wasser oder Wind und die übliche maschinelle Bodenbearbeitung breitet sich der Virusvektor immer weiter aus. Er bildet Dauersporen, die Jahrzehnte im Boden überleben können und somit eine permanente Infektionsquelle darstellen.

In den Befallsgebieten verschiedener Bundesländer Deutschlands treten durch die Furoviren (bodenbürtiges Getreidemosaikvirus - *Soil-borne cereal mosaic virus* - SBCMV, bodenbürtiges Weizenmosaikvirus - *Soil-borne wheat mosaic virus* - SBWMV) und das Bymovirus (Weizenspindelstrichelmosaikvirus - *Wheat spindle streak mosaic virus* - WSSMV) erhebliche Verluste im Kornertag auf. In infizierten Anbauregionen zeigen die beiden Furoviren unterschiedliche Aggressivität für die Getreidearten. In Niedersachsen und Sachsen-Anhalt werden auf den leichten Böden in kurzer Fruchtfolge Winterroggen und Wintertriticale angebaut. Dort etablierten sich Pathogenpopulationen (*Polymyxa graminis*, SBCMV, WSSMV), die diese Kulturarten mit hoher Schadwirkung infizieren, während der Winterweizen kaum befallen wird. In anderen Regionen (Schleswig-Holstein, Thüringen und Baden-Württemberg) gibt es Anbauggebiete, in denen sich Pathogenpopulationen mit dem SBWMV etablierten. Dieses Virus verursacht nicht nur in den Getreidearten Roggen und Triticale sondern auch im Weizen wirtschaftlichen Schaden.

Gesamtziel des Projektes:

Ziele des Projektes waren Untersuchungen zum Vorkommen des bodenbürtigen Weizenmosaikvirus in Deutschland, die Ermittlung der Schadwirkung dieses Virus im Weizenanbau und die Beschreibung der Resistenz gegen das SBWMV im aktuellen Weizensortiment. Im Rahmen dieser Zielstellung sollte aufgeklärt werden, welche Rolle das SBWMV für den Weizenanbau in Deutschland spielt und welche Maßnahmen für die Züchtung resistenter Sorten notwendig werden. Folgende Schwerpunkte wurden untersucht:

1. Aufgabenstellung
 - 1.1. Erhebungen zum Vorkommen des Weizenmosaikvirus (SBWMV)
 - 1.2. Schadwirkung des Weizenmosaikvirus für die Getreideproduktion
 - 1.2.1. Nachweis von Ertragsverlusten im Winterweizen
 - 1.2.2. Aggressivität des SBWMV in verschiedenen Getreidekulturen
 - 1.3. Stand der Bereitstellung Virus resistenter Weizensorten in Deutschland

Planung des Vorhabens

Den Nachweis des Weizenmosaikvirus in Deutschland plante der Wissenschaftspartner in Form von Erhebungen zum Auftreten bodenbürtiger Getreideviren in Kooperation mit den Pflanzenschutzdiensten der deutschen Bundesländer. Verdächtige Pflanzenproben wurden durch die Mitarbeiter des Pflanzenschutzdienstes und durch Landwirte gesammelt und dem JKI-Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik zugestellt, wo eine spezifische Pathogenanalyse zur Virusdiagnose mittels serologischer und molekularbiologischer Methoden ausgeführt wurde.

Die Ermittlungen von Ertragsverlusten durch diese Virose erfolgten in Zusammenarbeit mit den Landwirten der Befallsflächen (Herrn Mark Heubach in Thüringen, Herrn Volker Rohlf in Schleswig-Holstein) und dem Weizenzüchter, Herrn Hilmar Cöster, der Firma RAGT 2n.

Durch die Firma RAGT 2n wurden in einem Feld, welches mit dem SBWMV-NY kontaminiert ist, mehrjährige Ertragsversuche angelegt und bewertet. Die o.g. Landwirte bestimmten den Kornertrag vergleichsweise in Virus belasteten und Virus freien Feldregionen mittels Ertragsvorausberechnung während des Druschs. Die Bewertung der Resistenz von aktuellen Winterweizensorten wurde in Gemeinschaftsarbeit zwischen dem Wissenschaftspartner und verschiedenen Zuchtfirmen realisiert. Hierfür wurden zum einen die Reaktionen der Weizensorten unter Feldbedingungen beobachtet. Zum anderen wurden unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus Resistenzprüfungen in infektiöser Erde durchgeführt.

Beschreibung des Forschungs- und Technikstandes

Furo- und Bymoviren sind wirtschaftlich relevante Schaderreger, und ihr Vorkommen wird seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts weltweit dokumentiert (in Amerika durch McKinney, 1925; Brakke and Langenberg, 1988; Hunger et al., 1991; Myers et al., 1993, in Brasilien durch Barbosa et al., 2001, in Argentinien und Ägypten (CIMMYT-Report), in Neuseeland durch Lebas et al., 2009, in Japan durch Miyanishi et al., 2002, in China durch Chen et al., 1994, in Deutschland durch Proeseler und Stanarius, 1983, in Frankreich durch Hariri et al., 1987; 1998, in Italien durch Vallega, Rubies-Autonell, 1985, in Polen durch Jezewska, 1995; 2005, in Dänemark durch Nielsen et al., 1999, in Belgien durch Vaianopoulos et al., 2005; 2006, in Großbritannien durch Clover et al., 2001).

In den letzten Jahrzehnten wurde in den Getreideanbaugebieten eine Ausbreitung dieser Virose beobachtet (Gilet, 1996; Huth, 2000; 2004; Kühne, 2009). Bodenbürtige Viren, die Roggen, Triticale und Weizen infizieren, sind in Deutschland besonders in leichten Böden Niedersachsens, Mecklenburg-Vorpommerns und Sachsen-Anhalts weit verbreitet. In diesen Anbaugebieten entstehen in Roggen und Triticale durch das *Soil-borne cereal mosaic virus* (SBCMV) und das *Wheat spindle streak mosaic virus* (WSSMV) wirtschaftlich bedeutende Ertragsausfälle.

Erhebungen zu Ertragsverlusten durch diese Virose in anfälligen Sorten zeigten in Großbritannien (Clover et al. 1999), dass der Kornertrag in Winterweizen um 50% geringer war als unter Nichtbefallsbedingungen. In Italien betrug der Ertragsverlust in Durumweizen 70% bei Mischinfektionen mit dem SBCMV und WSSMV, (Vallega and Rubies-Autonell 1985).

Erhebungen zum Vorkommen bodenbürtiger Viren in Schleswig-Holstein zeigten, dass in vielen Regionen dieses Bundeslandes das *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV) in Weizen- und Roggenanbaugebieten verbreitet ist (Golecki et al., 2012). Während in Baden-Württemberg seit 2003 eine SBWMV-Befallsregion bekannt war, in der der Nebraska (N)-

Stamm dieses Virus vorkommt (Koenig, R. und W.Huth, 2003), wird seit 2006 in Norddeutschland der New York (NY)-Stamm des Virus beobachtet (Kastirr et al., 2012, Ziegler et al., 2013).

Befunde aus Deutschland (Kastirr et al., 2008), den USA, Italien und Japan (Koehler et al., 1952; Shirako and Ehara, 1986; Slykhuis, 1976) belegen, dass beide Stämme des SBWMV auch Wintergerste infizieren.

Sowohl Furo- als auch Bymoviren werden durch den Protisten *Polymyxa graminis* übertragen. Dieser ubiquitäre obligat biotrophe Parasit der Pflanzenwurzeln gehört zu den Plasmodiophoridae. *P. graminis* selbst ist kein Pathogen für Getreide, und seine Rolle im Pathogenkomplex besteht in seiner Fähigkeit, Furo- und Bymoviren in Getreide zu übertragen. Diese Viren können, geschützt in den Dauersporen von *P. graminis*, Jahrzehnte im Boden überdauern. Da *P. graminis* durch chemischen Pflanzenschutz nicht zu eliminiert ist, stellt der Anbau Virus resistenter Sorten die einzige effektive Maßnahme zur Bekämpfung dieser Virose dar (Kanyuka et al., 2003).

Die Informationen über die Resistenz des Weizens gegen die Furoviren sind unvollständig und wenig detailliert (Budge et al., 2008). In Züchtungsprogrammen wurden Sorten und Linien mit Virusresistenz identifiziert, aber bis heute sind die Informationen zur Genetik der Resistenz limitiert und teilweise widersprüchlich. Für die SBCMV/SBWMV Resistenz in hexaploidem Weizen wurde der *Sbm1* Locus auf Chromosom 5DL kartiert (Bass et al., 2006) und es wurden diagnostische SSR-Marker entwickelt (Perovic et al., 2009; Yuanfeng et al. 2012, Perovic et al., 2015). Ein weiterer Resistenzlocus für SBCMV-Resistenz wurde von Marco Maccaferri et al. (2011, 2012) auf dem Chromosom 2 im B-Genom des Weizens (*QSbm.ubo-2BS*) identifiziert. Hinweise für Resistenz auf dem A-Genom des Weizens sind bei Kanyuka et al. (2004) zu finden, die eine *Triticum monococcum* var. *macedonicum* - Akzession mit Resistenz gegen das SBCMV selektierten. In der Literatur werden sowohl monogen-dominante Resistenzen als auch polygen vererbte Resistenzen beschrieben (Modawi et al. 1982, Merkle and Smith 1983, Barbosa et al. 2001, Kanyuka et al. 2003). Rumjaun et al. (1996) berichten von Immunität gegenüber SBWMV in einer Weizen-*Thinopyrum intermedium*-Additionslinie. Für einige Sorten wurde gezeigt, dass die Resistenz temperaturabhängig ist (Myers et al. 1993). Nach bisherigen Beobachtungen unterscheidet sich die Aggressivität von Pathogenpopulationen verschiedener Umwelten an unterschiedlichen Getreidearten (Kastirr und Ziegler, 2015).

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Pflanzenschutzdienste der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Landwirte der Befallsflächen Herrn Mark Heubach in Thüringen und Herrn Volker Rohlf in Schleswig-Holstein

Samenzucht und Saatzuchtbetrieb RAGT 2n (38855 Wernigerode (Silstedt) Steinesche 5 A)

Weizenzüchter der Abteilung Getreide der GFPi

Bundessortenamt

1. Ergebnisse

1. Wissenschaftliche Ergebnisse des Vorhabens

1.1. Erhebungen zum Vorkommen des Weizenmosaikvirus (SBWMV)

Die Differenzierung der beiden Furoviren SBCMV und SBWMV ist mittels polyklonaler Antiseren (PAS) im DAS-ELISA nicht möglich, da die Viren serologisch eng verwandt sind und die PAS beider Viren Kreuzreaktionen zeigen. Mit der Entwicklung für jedes Virus spezifischer (Abb. 1) monoklonaler Antikörper (Rabenstein et al. 2005) bzw. durch Nutzung spezifischer Primer in der RT-PCR können beide Viren eindeutig differenziert werden.

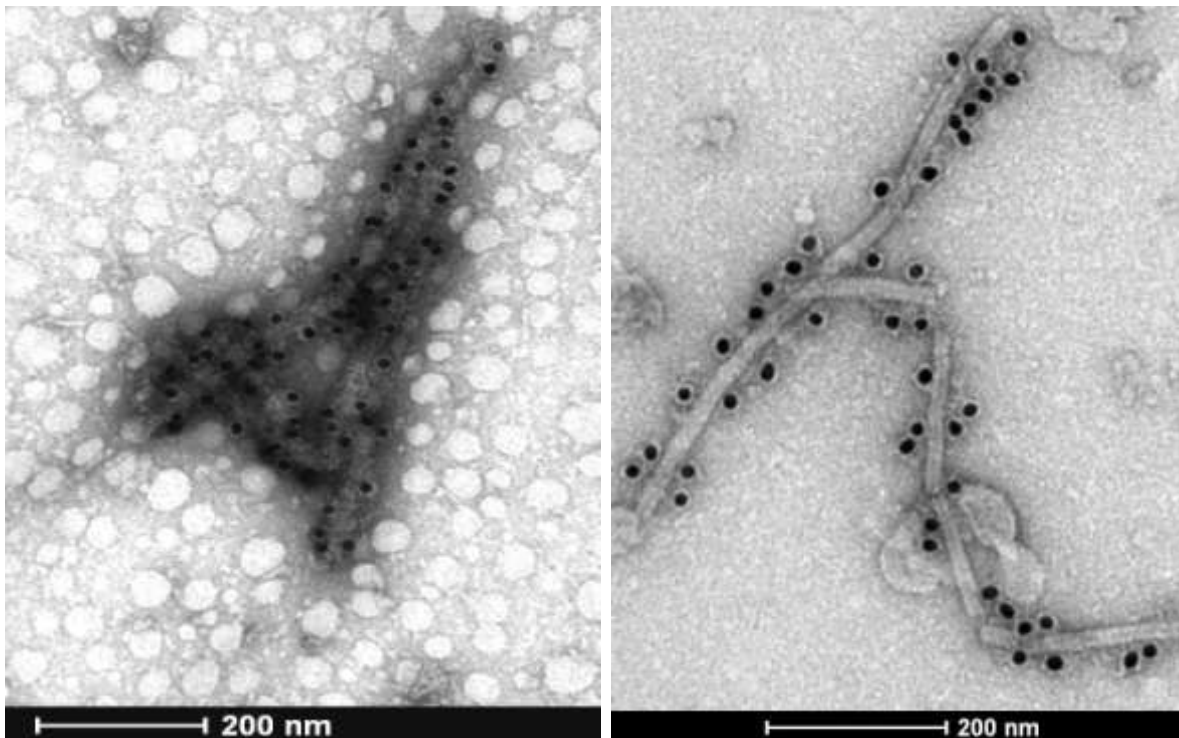


Abbildung 1: Links:Elektronenmikroskopische Darstellung von stäbchenförmigen Partikeln mit Zentralkanal des SBWMV-NY aus infizierten Blättern von Feldpflanzen der Weizensorte *Primus* (Immunogold-Markierung mit mAK 4G4, Rechts: Immunogold-Markierung des SBCMV mit mAK 4G11

Die Erhebungen zum Vorkommen bodenbürtiger Viren in Schleswig-Holstein zeigten (Abb. 2), dass in diesem Bundesland bodenbürtige Viren weit verbreitet sind und das *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV) seit 2006 in Weizen- und Roggenanbaugebieten unterschiedlicher Regionen des Kreises Ostholstein und des östlichen Landkreises Segeberg vorkommt (Golecki et al., 2012). In Norddeutschland tritt der New York (NY)-Stamm des SBWMV auf (Ziegler et al., 2012).

Im Kreis Ostholstein wiesen wir im Mai 2012 mehrere Weizenanbaugebiete mit Befall durch das SBWMV-NY nach (Abb. 3), in denen infizierte Pflanzen verschiedener Weizensorten in ihrer Entwicklung stark beeinträchtigt waren.



Abbildung 2: Verbreitung bodenbürtiger Weizenviren in Schleswig-Holstein



Abbildung 3: Symptome des SBWMV-NY in verschiedenen Winterweizensorten

Die bereits fortgeschrittene Verbreitung dieses Virus in Schleswig-Holstein bedeutet für den Weizenanbau eine ernst zu nehmende Gefahr und erfordert den gezielten Anbau von resistenten Weizensorten in den Befallsflächen.

In Süddeutschland (Heddesheim, Baden Württemberg) wurde 2002 der Nebraska (N)-Stamm des SBWMV nachgewiesen (Koenig und Huth, 2003). Innerhalb dieses Feldareals findet durch die Bodenbearbeitung eine kontinuierliche Verbreitung der *Polymyxa*-Virus-Population und eine jährliche Ausbreitung des Infektionsherdes statt. Jedoch konnten in den letzten Jahren im betroffenen Rhein-Neckar-Kreis keine weitere Befallsflächen mit diesem Virus nachgewiesen werden.

In 2016 wurde eine weitere Fläche mit dem SBWMV-N im nördlichen Ilmkreis Thüringens bekannt (Kastirr et al. 2016).

Somit existieren in Deutschland drei Regionen (Nord-, Mittel- und Süddeutschland), in denen das SBWMV wirtschaftlichen Schaden im Weizenanbau verursacht (Abb. 4), wenn dem nicht durch den Anbau resistenter Sorten Einhalt geboten wird.

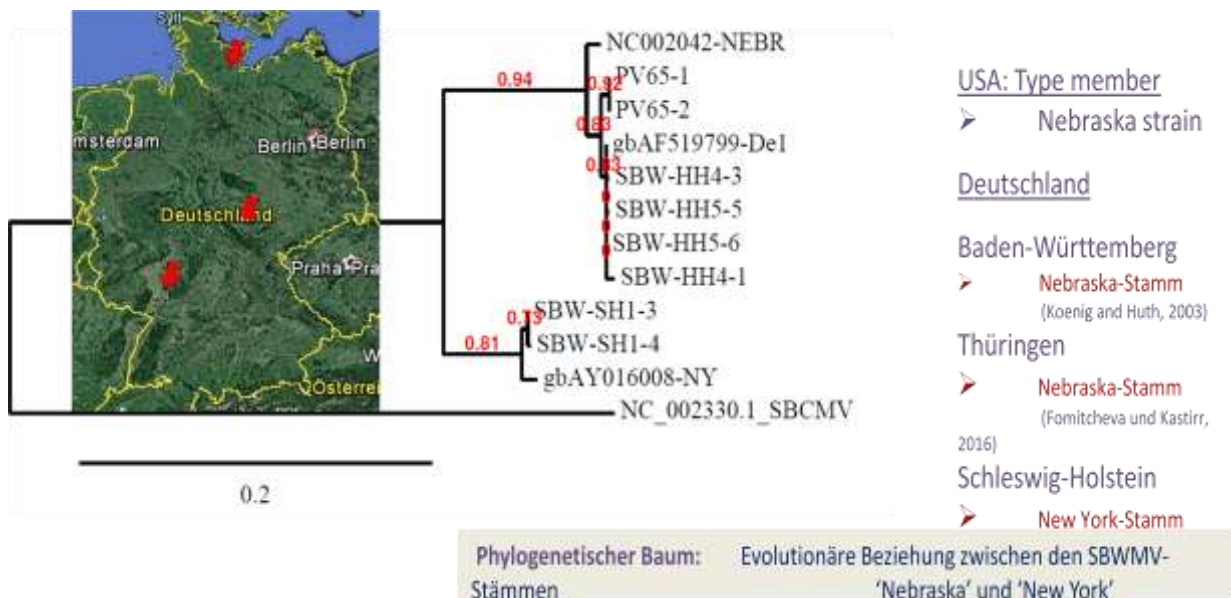


Abbildung 4: Auftreten des SBWMV in drei Anbauregionen Deutschlands und phylogenetische Zuordnung der Virusisolate zu den Stämmen 'Nebraska' und 'New York'

In keiner der SBWMV-Befallsflächen in Deutschland wurde eine Mischkontamination mit SBCMV und/oder WSSMV nachgewiesen.

Das SBWMV-N tritt auch in Polen auf (Trzmiel et al., 2012). Aufgrund dieser neuen Befunde ist anzunehmen, dass die durch den Vektor *P. graminis* übertragenen Furoviren (SBCMV, SBWMV) in Europa weiter verbreitet sind, als bisher bekannt ist. Insbesondere das von uns beschriebene Auftreten eines neuen SBWMV-Stammes in Norddeutschland zeigt, dass es notwendig ist, weitere Forschungsarbeiten zur biologischen Vielfalt bodenbürtiger Viren durchzuführen.

1.2. Schädwirkung des Weizenmosaikvirus für die Getreideproduktion

Um zu dokumentieren, welche Schäden der Weizenproduktion durch das SBWMV entstehen, wurden in Befallsgebieten die Pflanzenentwicklung, der Kornertrag und die Aggressivität des Virus für unterschiedliche Getreidearten bewertet.

1.2.1. Nachweis von Ertragsverlusten im Winterweizen

Die Bewertung der Ertragsverluste durch Befall mit dem SBWMV-NY wurden in dem Versuchsfeld Westerrade (Schleswig-Holstein) durchgeführt.

Zur Einschätzung der Verbreitung des Inokulums in dieser Fläche wurden Bodenproben entnommen und unter Gewächshausbedingungen für die Virusübertragung an einen Virus anfälligen Winterweizenstandard genutzt.

Aus der Versuchsfeldfläche von 60m x 30m (1800m²) wurden im Raster von 5m x 5m 72 Bodenproben mit einem Volumen von je 350 ml aus einer Tiefe von 10 cm entnommen und in Faltschachteln gefüllt. Es erfolgte eine Einsaat des Virus anfälligen Winterweizens *JB Asano*.

Die Inkubation fand bei 17°C bis 20°C statt. Die Bewertung der Virusinfektion wurde nach 5 Wochen (5 wpi) in Wurzeln, Stängel und Blatt, nach 8 und 14 wpi im Blatt durchgeführt.

Bereits 5 Wochen nach der Einsaat waren die Wurzeln des anfälligen Winterweizens bis auf wenige Ausnahmen mit dem Virus infiziert. Die Virusausbreitung in Stängel und Blatt war in einigen Pflanzen ebenfalls nachweisbar.

		Entnahme von Bodenproben im Versuchsfeld						SBWMV-NY in JB Asano (Virustiter E _(405nm))																	
								5 wpi in Wurzeln						8 wpi im Blatt						14 wpi im Blatt					
60 m	12	x	x	x	x	x	x	2	2	2	2	2	2	1	1			1	1	2	2	2	2	2	2
	11	x	x	x	x	x	x	1	1	0	2	2	2	1	1		1	1	1	2	2	2	2	2	2
	10	x	x	x	x	x	x	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2
	9	x	x	x	x	x	x	1	2	1	1	2	2	1	1	0	1	1	1	2	2	0	2	2	2
	8	x	x	x	x	x	x	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	7	x	x	x	x	x	x	1	1	1	1	0	2		1		1		1	0	2	2	2	0	2
	6	x	x	x	x	x	x	0	0	1	1	2	2		1	1			0	0	2	2	2	2	2
	5	x	x	x	x	x	x	1	1	2	1	2	2	1	1			1	1	2	2	2	2	2	2
	4	x	x	x	x	x	x	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	3	x	x	x	x	x	x	2	2	1	1	1	1	1	1	1		1	1	2	2	2	0	2	2
	2	x	x	x	x	x	x	2	2	2	1	1	2	1		1		1	1	2	2	2	2	2	2
	1	x	x	x	x	x	x	2	0	2	2	1	2	1	0	0		1	1	2	2	2	2	2	2
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
		30 m						Homogenität der Infektionsverteilung im Versuchsfeld																	

Abbildung 5: Nachweis der Inokulumverteilung im Versuchsfeld Westerrade 2013/14 (Die Zahlen entsprechen den mittleren Extinktionen der Virustiter im DAS-ELISA)

Der Nachweis der Virusinfektion erfolgte mittels DAS-ELISA mit polyklonalen Antisera als qualitative Antwort auf das Virus-Hüllprotein und in einigen Fällen mittels Real-Time qPCR als quantitative Antwort auf die spezifischen Virus-Ribonukleinsäuren.

Die Virusübertragung in die Blätter nach 14 wpi zeigte, dass im Versuchsfeld eine homogene Verseuchung mit dem Virus vorliegt und die Voraussetzung für eine vergleichende Resistenzbewertung der Weizensorten gegeben ist (Abbildung 5).

Die homogene Verbreitung der *Polymyxa*-SBWMV-NY - Population in der Befallsfläche des Feldes in Westerrade wird auch in der Abbildung 6 deutlich. Die jungen Pflanzen der Winterweizensorte *Elixer* zeigten bereits Ende März 2016 im 2- bis 3-Blattstadium Mosaiksymptome in allen Blättern, die sich zwei Monate später bis ins Fahnenblatt ausgebreiteten. Dieser Befall führte zu einer großflächigen Vergilbung in der Befallsregion. Ende Juni zeigten die infizierte Pflanzen deutliche Wachstumsdepressionen. Die Pflanzenlänge infizierter Pflanzen ist kürzer, die Anzahl ährentragender Halme reduziert und die Ähren sind viel kleiner. Daher ist zu erwarten, dass die Korngröße in der Virusfläche deutlich geringer ausgeprägt ist. Spätere vergleichende Druschergebnisse zwischen dem Kornertrag im befallenen Feldteil und dem Kornertrag in nicht infizierten grünen Feldregionen ergaben Ertragsunterschiede von 30% bis 40% (V. Rohlf).

Die Virosen können zur Auswinterung der infizierten Pflanzen und damit zu Bestandslücken führen. Überlebende infizierte Pflanzen zeigen in frühen Entwicklungsstadien (BBCH 21) starke Vergilbungen, die auf Mosaiksymptome in den frühen Blattstadien zurückzuführen sind. Im Stadium des Schossens zur Bildung der Haupttriebe (BBCH 31) wird bei Virusbefall die Blattmasse durch Chlorosen beeinträchtigt. Die geschwächten Pflanzen bilden nur wenige ährentragende Halme, bleiben im Wuchs zurück und sind stark in der Biomasse reduziert.



Abbildung 6: Schadbildung des SBWMV-NY in einer Befallsfläche im Landkreis Segeberg Ende März 2016 an der Winterweizensorte *Elixer*. Oben: großflächige Vergilbung durch Virus infizierte Pflanzen, unten: Mosaiksymptome an nachwachsenden Blättern (Fotos: Viola Papke)

Um die Schadbildung des SBWMV-NY in Weizen zu bestimmen, wurden 2014 bis 2016 Parzellenversuche ebenfalls im Landkreis Segeberg angestellt. Für den Ertragsvergleich in 2015/16 wurden die vermehrungsstärksten Sorten der Qualitätsgruppen A, B und C (*RGT Reform*, *Tobak*, *Elixer*) und die resistente Sorte *Rebell* ausgewählt. Mitte Mai waren die anfälligen Sorten von Mosaiksymptomen bis ins Fahnenblatt durchsetzt und zeigten Wachstumsdepressionen, während sich der *Rebell* wüchsig und symptomfrei zeigte (Abb. 7).

Mitte August erfolgte die Ernte. Der Ertrag der Virus anfälligen Weizensorten *Tobak* und *Elixer* war um rund 40 % niedriger als der des Virus resistenten *Rebell* (Abb. 8).

Ende Mai 2016



Abbildung 7: Vergleich des Habitus in der Virus infizierten Winterweizensorte 'Tobak' mit der Virus freien Sorte 'Rebell'

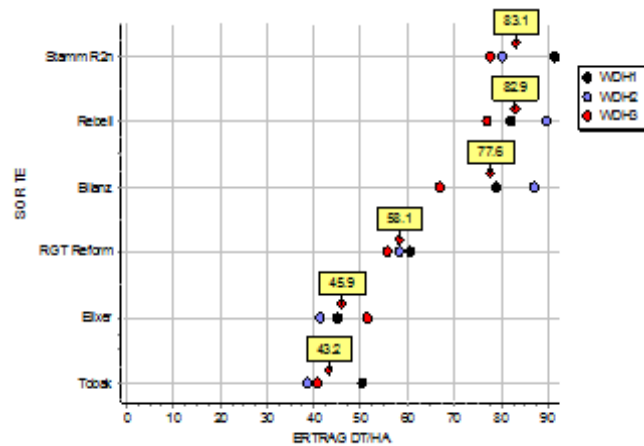


Abbildung 8: Vergleich der mittleren Kornerträge im SBWMV-NY infizierten Weizenfeld (H. Cöster, RAGT 2n)

Vergleichende Ertragserhebungen wurden ebenfalls in der Befallsfläche im Thüringer Ilmkreis durchgeführt.

Die Abbildung 9 zeigt die Schädwirkung des SBWMV-N in einer Weizenfläche im nördlichen Ilmkreis Thüringens im April 2016. In großflächig vergilbten Feldregionen wuchsen die stark mit Mosaiksymptomen gezeichneten infizierten Pflanzen. Mitte Juni zeigten diese Pflanzen Wuchsdepressionen. Der Bestand war deutlich ausgedünnt, die Pflanzenhöhe kürzer und die Körner der Ähren waren schwächlicher.



Abbildung 9: SBWMV-N - Befall im nördlichen Ilmkreis in Thüringen an der Winterweizensorte 'JB Asano'. Links: Symptome Mitte April (U. Kastirr), rechts: Wuchsdepressionen und Ährenqualität Mitte Juni (M. Heubach)

Für die Bestimmung des Kornertrags im Feld wurden unmittelbar bei der Ernte das Hektoliter-Gewicht und die Feuchtigkeit bestimmt. Mittels des Durchlaufsystems des Mähdreschers war es möglich, große Parzellen in einem Stück zu beernten. Viele

Einzelergebnisse aus der gleichen Parzelle wurden von der Software zu einem durchschnittlichen Ergebnis verrechnet.



Abbildung 10: Bestimmung der Verluste im Kornertag bei Infektion von Winterweizen durch das SBWMV-N, links: Luftbildaufnahme von der Hauptbefallsregion (TLL Nußbaum), rechts: Ertragsbestimmung (M. Heubach) in der Befallsregion (orange) und in befallsfreier Region (grün)

Im Verlaufe des Druschs wurde der Kornertag in einem der größeren Befallsherde (orange markiert) und in einem befallsfreien Bereich (grün markiert) bestimmt (Abb. 10). Während gesunde Pflanzen einen Ertrag von 105 dt/ha brachten, konnten mit den kranken Pflanzen nur 72dt/ha geerntet werden (M. Heubach).

Die Bestimmungen des Kornertags im Landkreis Segeberg (Schleswig-Holstein) und im Ilmrandkreis (Thüringen) zeigten, dass durch den SBWMV-Befall Ertragsverlust zwischen 30% bis 40% verursacht werden.

1.2.2. Aggressivität des SBWMV in verschiedenen Getreidekulturen

Die beiden Furoviren (SBCMV und SBWMV) unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Aggressivität für verschiedene Getreidearten.



Abbildung 11: SBWMV-NY - Symptome an Winterformen von Roggen, Triticale, Weizen, Gerste und am Wiesenfuchsschwanz (Fotos: U. Kastirr)

Die Typen des SBCMV infizieren die Winterformen von Roggen und Triticale mit hoher Schadwirkung. Für die Infektion des Winterweizens durch das SBCMV gibt es regionale Unterschiede, die offenbar an unterschiedliche SBCMV-Typen gebunden sind. An Standorten, die mit dem SBCMV-C-Typ kontaminiert sind, wird das Virus in Weizen kaum aggressiv. Der O-Typ des Virus verursacht in Weizen starke Virosen. Die beiden SBWMV-Stämme hingegen infizieren diese drei Getreidearten effektiv und befallen auch Wintergerste und den Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) (Abb. 11).

Tabelle 1: Anfälligkeit unterschiedlicher Getreidearten für das SBWMV-NY

Getreideart	Sorte	Virusbefall SBWMV-NY
Dinkel	<i>Badensonne</i>	0,4
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Comburger</i>	1,1
subsp. <i>spelta</i>	<i>Emiliano</i>	1,6
	<i>Filderstolz</i>	1,2
	<i>Franckenkorn</i>	1,2
	<i>Hohenloher</i>	1,2
	<i>Divimar</i>	1,0
	<i>Oberkulmer Rotkorn</i>	0,1
	<i>Samir</i>	1,2
	<i>Zollernspelz</i>	1,2
Einkorn		
<i>Triticum monococcum</i>	TRI 565 bis 19440 (IPK)	1,5
<i>macedonicum</i>	K-38079 (St. Petersburg)	0,0
Emmer (Zweikorn)	<i>Ramses</i>	0,7
<i>Triticum dicoccum</i>	<i>Heuholzer Kolben</i>	1,2
Hafer	<i>Fleuron gelb</i>	0,0
<i>Avena sativa</i>	<i>Ivory</i>	0,0
	<i>Rhapsody gelb</i>	0,0
Hirse	<i>Amiggo</i>	0,0
<i>Sorghum</i>	<i>Bauländer Spelz</i>	0,0
	<i>Ceralio</i>	0,0
	<i>Farmsugro</i>	0,0
	<i>Joggy</i>	0,0
	<i>KWS Tarzan</i>	0,0
	<i>RGT Gguepard</i>	0,0
Roggen		1,6
<i>Secale cereale</i>		
Triticale		1,6
<i>Triticosecale</i>		
Weizen		1,6
<i>Triticum aestivum</i>		
Durumweizen		1,6
<i>Triticum durum</i>		
Gerste	Wildformen	1,4
<i>Hordeum vulgare</i>		

Für die Charakterisierung der Furovirus-Resistenz in weiteren Getreide-Arten wurden Dinkel, Einkorn, Emmer, Hafer und *Sorghum*-Hirse vergleichend mit Roggen, Triticale, Weich-, Hartweizen und Gerste in SBWMV-NY infektiöser Erde vom Standort Cashagen (Schleswig-Holstein) bei ca. 17°C unter Gewächshausbedingungen inkubiert.

Acht und zwölf Wochen (wpi) nach Einsaat der Getreide wurde der Virusbefall in den Blättern mittels DAS-ELISA bewertet (Tab.1). Die Ergebnisse zeigten, dass neben den Hauptgetreidearten Weizen, Roggen und Triticale auch Dinkel, Einkorn, Emmer und Wildformen der Gerste für das SBWMV-NY anfällig sind. Von Einkorn (*Triticum monococcum* dem A-Genom des Weizens) wurden zwecks Selektion von Resistenzquellen 200 Akzessionen aus der Genbank des IPK (Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben) untersucht. Abgesehen von 3% nicht keimfähiger Akzessionen waren 97% anfällig für das SBWMV-NY. Nur die bulgarische Akzession K-38079 (*T. m. macedonicum*) aus dem Wawilow Institut für Pflanzengenetische Ressourcen in St. Petersburg (VIR) zeigte langjährig Resistenz gegen Furoviren unter Klimakammer-, Gewächshaus- und Feldbedingungen. Damit wurden Ergebnisse von Kanyuka et al. 2004 bestätigt. Diese Resistenzquelle aus dem A-Genom des Weizens soll in zukünftigen Arbeiten lokalisiert und der Züchtungsforschung bereitgestellt werden.

In Hafer und Sorghum-Hirse konnte keine Virusinfektion nachgewiesen werden.

Ein Sortiment von 27 Wintergersten, die Träger der 16 verschiedenen Resistenzgene gegen die Gerstengelmosaikviren (GMV) sind, wurde auf Resistenz gegen das SBWMV-NY getestet (Tab. 2).

Innerhalb dieses Sortiments konnten sechs Herkünfte selektiert werden, in denen die SBWMV-Ausbreitung mit hohen Virustitern bis in die Blätter erfolgte (*Mokusekko 3* - rym 1 und 5, *Chikurin Ibaraki 1* - rym 3 und 15, *Iwate Mensury* - unbekanntes rym, *Mihori Hadaka 3* - rym 2, *Muju covered 2* - rym 12, *HB 81035* - unbekanntes rym). In vier weiteren Akzessionen wurde Virusinfektion in Wurzeln und Stängel nachgewiesen. Siebzehn Akzessionen dieses Sets blieben SBWMV frei.

Die Herkunft der Furovirus anfälligen Akzessionen ist in Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3: Herkunft der Gerstengelmosaik-Resistenzträger mit Anfälligkeit für das Furovirus SBWMV (Wu-Wurzel, St-Stängel, Bl-Blatt)

Gerstengenotyp	SBWMV-NY-Titer (E_{405nm})			
	8 wpi			12 wpi
	Wu	St	Bl	Bl
6-zeilig				
Resistenz gegen BaMMV, BaYMV-1/2				
China				
<i>Mokusekko 3</i>	1,5	3,0	2,6	2,4
Japan				
<i>Chikurin Ibaraki 1</i>	1,6	3,0	3,2	2,6
<i>Iwate Mensury</i>	2,3	3,2	0,0	2,4
<i>Mihori Hadaka 3</i>	2,5	0,8	0,0	2,5
Korea				
<i>HB 81035</i>	2,5	2,8	3,1	2,7
<i>Muju covered 2</i>	1,1	1,0	1,2	2,5

Tabelle 2: Untersuchung der SBWMV-Resistenz in einem Gerstensortiment mit Resistenzgenen (rym) gegen die Gerstengelmosaikviren (Wu-Wurzel, St-Stängel, Bl-Blatt)

Resistenzträger gegen Gerstengelb- mosaikviren	rym	SBWMV-NY - Resistenz		
		8 wpi		
		Wu	St	Bl
<i>Mihori Hadaka 3</i>	2	2,5	0,8	0,0
<i>Ea 52</i>	3	0,0	0,0	0,0
<i>Ischuku Shirazu</i>	3	0,0	0,0	0,0
<i>Resistant ym No1</i>	5	0,0	0,0	0,0
<i>Zairai Rokkaku</i>	5	1,1	0,0	0,0
<i>Misato Golden</i>	5 und 6	0,0	0,0	0,0
<i>Mokusekko 3</i>	5 und 1	1,5	3,0	2,6
<i>Miho Golden</i>	6	0,0	0,0	0,0
<i>HOR 3365</i>	7	0,0	0,0	0,0
<i>10247</i>	8	0,0	0,0	0,0
<i>Bulgarian 347</i>	9	0,0	0,0	0,0
<i>Hiberna</i>	10	0,0	0,0	0,0
<i>Russia 57</i>	11	0,0	0,0	0,0
<i>Muju covered 2</i>	12	1,8	2,7	2,7
<i>Taihoku A</i>	13	0,0	0,0	0,0
<i>BAZ4006 ('06)</i>	14	0,0	0,0	0,0
<i>Kathleen</i>	15	0,0	0,0	0,0
<i>Chikurin Ibaraki 1</i>	15 und 3	1,6	3,0	3,2
<i>BAZ 5061 ('06)</i>	16	0,0	0,0	0,0
<i>HOR1963/58-PI329112</i>	?	0,0	0,0	0,0
<i>HB 81035</i>	?	2,5	2,8	3,1
<i>Hsingwuke 2</i>	?	0,0	0,0	0,0
<i>Iwate Mensury</i>	?	2,3	3,2	0,0
<i>Namgi Milyang Native</i>	?	0,6	0,0	0,0
<i>Ou 1</i>	?	2,4	0,0	0,0
<i>Rokkaku 1</i>	?	0,2	0,0	0,0
<i>Turkey 713</i>	?	0,0	0,0	0,0

Die Anfälligkeit von *Muju covered 2* für Weizen-Furoviren konnte an Befallsstandorten mit den Stämmen des SBWMV, mit dem O-Typ des SBCMV und dem *Chinese wheat mosaic virus* (CWMV - in Asien verbreitet) bestätigt werden (Tab:4).

Tabelle 4: Anfälligkeit von *Muju covered 2* für verschiedene Weizen-Furoviren

Kultur	Furoviren		Westerrade	Heddesheim	Gödnitz	Negenborn	Thören	Nanjing
	Resistenz	Sorten	SBWMV-NY	SBWMV-N	SBCMV			CWMV
WG	resistent	<i>Fee</i>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	anfällig	<i>Muju covered 2</i>	1,6	1,8	4,0	0,8	0,0	1,2

Im Rahmen der Selektion von *Hordeum vulgare*-Akzessionen aus der Genbank des IPK Gatersleben wurden weiterhin eine *H. vulgare. vulgare* aus der Türkei und eine *H. vulgare. intermedium* aus Afghanistan mit Anfälligkeit für das SBWMV-NY nachgewiesen (Tab. 5).

Tabelle 5: *Hordeum vulgare* - Akzessionen mit Anfälligkeit für das Furovirus SBWMV-NY

<i>Hordeum vulgare</i>		Accessionen der IPK-Genbank			SBWMV-NY	
Nr.		Genotyp	Herkunft	Form	8 wpi	12 wpi
HOR	566	<i>H.v.L.convar. vulgare var. hyberum Viborg.</i>	TUR	SoG	0,5	0,9
HOR	1321	<i>H.v.L.convar. intermedium (Körn.) Mansf. var. mortoni (Körn.) Mansf.</i>	AFG	WG	0,3	0,4
anfälliger Standard		<i>Muju covered 2</i>	Korea	WG	0,5	1,0

Für die Züchtung von gegen GGMV resistenten Wintergerstensorten werden bekannten Resistenzgene der Wildformen in Kulturformen der Wintergerste eingekreuzt.

In DH-Linien von Nachkommenschaften aus Kreuzungen zwischen *Muju covered 2* (rym 12-Resistenz gegen GGMV, anfällig für SBWMV) und der englischen Wintergerstensorte *Spirit* (anfällig für GGMV, resistent gegen SBWMV) konnte gezeigt werden, dass die Anfälligkeit für Weizen-Furoviren in *Muju covered 2* in die Kreuzungsnachkommen vererbt wird (Tab. 6). Von 77 in die Prüfung einbezogenen DH-Linien aus dieser Kreuzung wurden 47 DH-Linien (61%) durch beide Stämme des SBWMV infiziert. Dieser Befund weist auf die Gefahr hin, dass bei der Einkreuzung von GGMV-Resistenzgenen aus SBWMV anfälligen GGMV-Resistenzträgern die Anfälligkeit für Weizen-Furoviren in Kulturformen der Wintergerste übertragen werden kann. Unsere bisherigen Erhebungen zeigten jedoch, dass die im Anbau befindlichen Wintergerstensorten für die Furoviren des Weizens nicht anfällig sind.

Tabelle 6: Vererbung der Furovirus-Anfälligkeit von *Muju covered 2* nach Kreuzung mit der Furovirus resistenten Sorte *Spirit* in Nachkommenschaften

Wintergerste		SBWMV	
DH-Linien/Elter	Herkunft	-NY	-N
<i>Muju covered 2</i>	Korea	1,5	0,7
<i>Spirit</i>	Großbritannien	0,0	0,0
501/101	Kreuzungsnachkommen, DH-Linien	1,7	1,2
501/104		0,2	0,3
501/119		1,3	1,1
501/123		1,2	1,4
501/137		0,2	0,1
501/139		1,6	1,2
501/140		0,2	0,3
501/143		1,4	1,1
501/150		0,2	0,1
501/169		1,3	0,9
501/170		0,7	0,8
501/173		1,3	0,5
501/186		0,7	0,2
501/205		1,4	1,1
501/207		1,2	1,5

Die SBWMV anfälligen DH-Linien reagieren auf die Infektion mit unterschiedlich hohen Virustitern (Abb. 12). Eine Gruppierung der infizierten DH-Linien nach Virustitern zeigt, dass 8% der Linien Virustiter zwischen 0 bis 0,5, 39% zwischen 0,4 und 1,1 und 14% zwischen 2,0 und 3,0 aufweisen und eine unterschiedliche Ausprägung der Virose bewirken können.

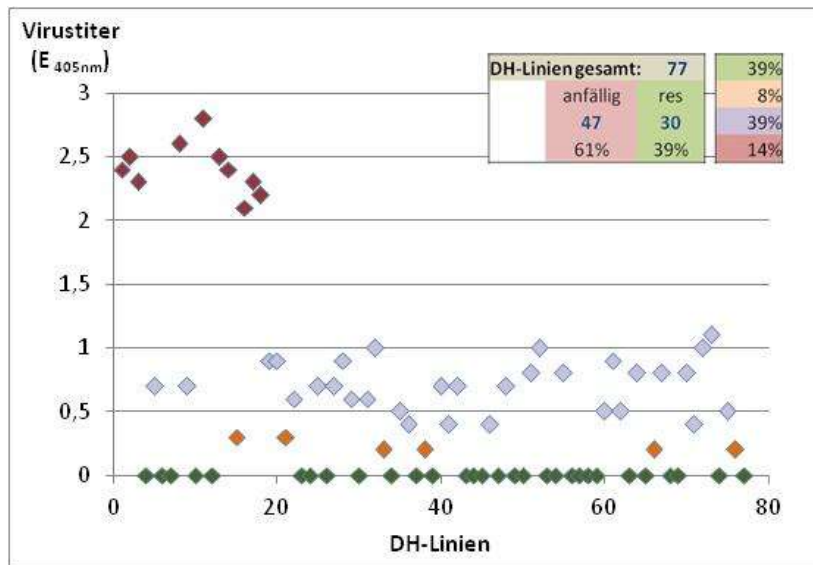


Abbildung 12: Gruppierung der SBWMV anfälligen DH-Linien nach Virustiter

1.3. Stand der Bereitstellung resistenter Weizensorten in Deutschland

Die Furovirus-Resistenz im Weizen basiert auf einer Translokationsresistenz, die dadurch charakterisiert ist, dass die Viren mittels *Polymyxa* in die Wurzeln eindringen und sich dort unterschiedlich intensiv vermehren. Eine Ausbreitung der Viren in die oberirdischen Pflanzenteile wird jedoch blockiert (Abb. 13).

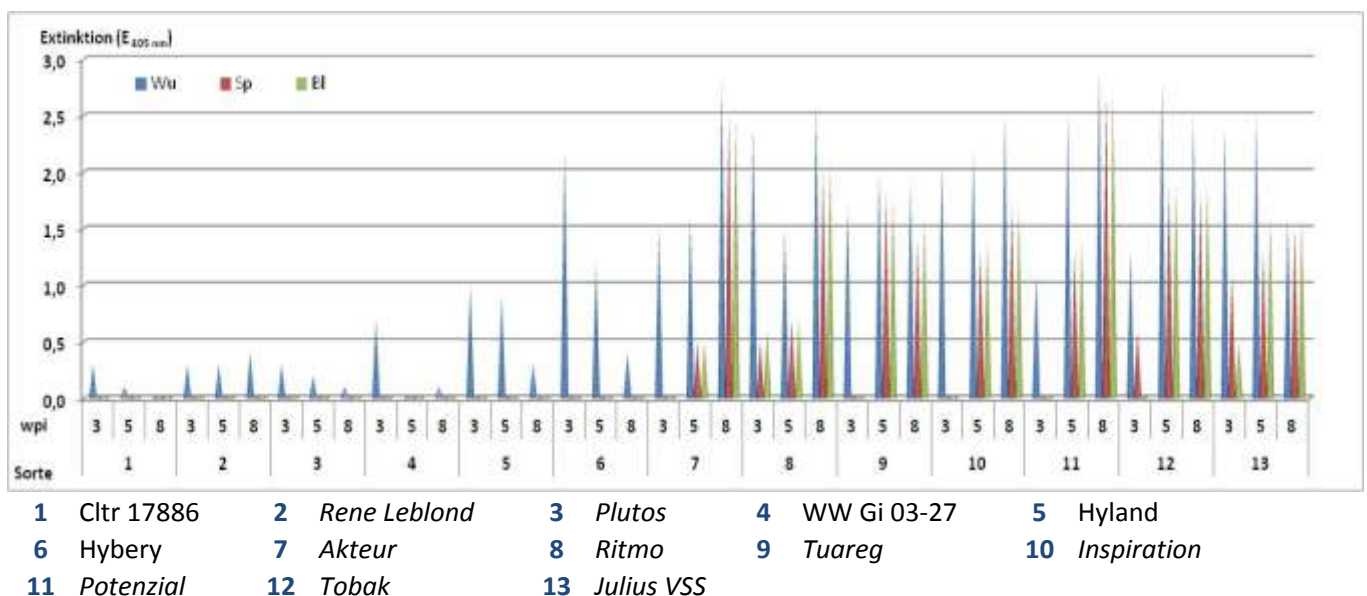


Abbildung 13: Vergleich der Virusausbreitung in resistenten und anfälligen Weizensorten, (blau- Wurzelinfektion, rot-Sprossinfektion, grün-Blattinfektion)

Die Weizensorten wurden unter Gewächshausbedingungen bei ca. 17°C in infektiöser Erde vom Standort Cashagen (SBWMV-NY) inkubiert. Drei, fünf und acht Wochen nach Aussaat (wpi) wurden die Virustiter in Wurzel, Stängel und Blatt erfasst. In den Sorten 1 bis 6 liegt eine Translokationsresistenz vor, die die Virenausbreitung in die oberirdischen Pflanzenteile verhindert. Unter gleichen Bedingungen werden die anfälligen Sorten (7 bis 13) vollständig infiziert.

Im Weichweizen (*Triticum aestivum*) wird diese Resistenz durch das *Sbm1*-Gen, welches im D-Genom auf dem langen Arm von Chromosom 5 lokalisiert ist, kontrolliert.

Im Hartweizen (*Triticum durum*) übernimmt das *Sbm2*-Gen/ *QSbm.ubo-2BS* im B-Genom auf dem kurzen Arm des Chromosom 2 diese Funktion.

In *Triticum monococcum*, dem A-Genom des Weizens, wurde ebenfalls eine Resistenzquelle gefunden, die bisher noch nicht lokalisiert wurde (Abb. 14).

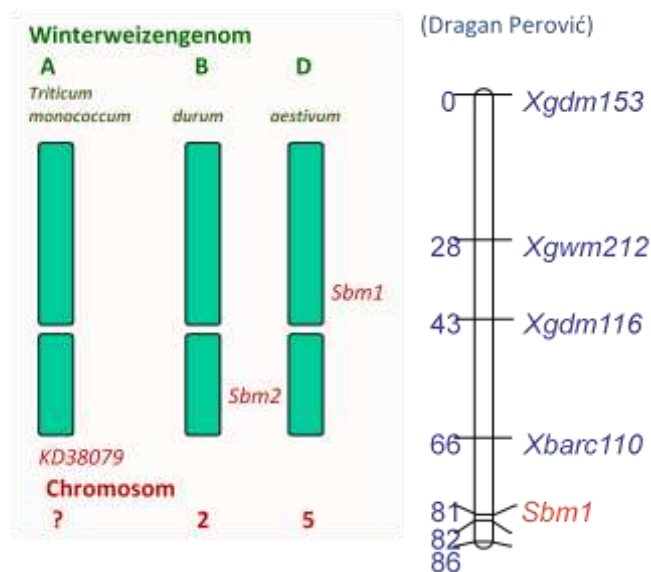


Abbildung 14: Lokalisierung von Resistenzgenen gegen Furoviren in den drei Weizen genomischen Genomen

Ziel der Resistenzzüchtung gegen bodenbürtige Furoviren im Winterweizen ist es, das *Sbm1*-Gen in ertragsreiche Kultursorten einzubringen.

In der Bundessortenliste von 2017 sind 198 zugelassene Weichweizensorten aufgelistet. Nur 5 dieser Sorten (3%) besitzen das *Sbm1*-Gen und zeigen Resistenz gegen die Furoviren in Befallsregionen (Tab. 7). In den zugelassenen Hartweizen-, Roggen- und Triticalesorten sind bisher keine Resistenzen gegen Furoviren vorhanden.

Tabelle 7: Zugelassene Getreidesorten aus der Bundessortenliste von 2017 mit Resistenz gegen bodenbürtige Viren (r-resistent, a-anfällig)

Bundessortenliste 2017		Anzahl Sorten	Resistenz gegen bbV	SBWMV	SBCMV	WSSMV
Winterweizen <i>T. aestivum</i> L.	Weichweizen	198	5 3%	r	r	r
Winter wheat <i>T. durum</i> Desf.	Hartweizen	6	0	a	a	a
Winterroggen <i>Secale cereale</i> L.		76	0	a	a	a
Wintertriticale <i>Triticosecale</i> (W./D.)		44	0 5	a a	a a	a r

In der Bundessortenliste 2018 sind die zugelassenen Weichweizensorten 'KWS Maddox', 'KWS Salix', 'Ribbeck PZO' und 'Rebell' mit Resistenz gegen bodenbürtige Viren ausgewiesen.

Das *Sbm1*-Gen in resistenten Weizensorten scheint nach eigenen Beobachtungen umweltabhängig zu wirken, was vor allem auf Aggressivitätsunterschiede verschiedener Pathogen-Populationen zurückzuführen ist. Wie bisherige Beobachtungen zeigten, kontrolliert das *Sbm1*-Gen die Resistenz gegen das SBWMV recht sicher. Beim Anbau gleicher Sorten in Befallsflächen mit dem SBWMV ist diese Resistenz nicht immer stabil. Die Ursachen für das unterschiedliche Resistenzverhalten gegen die beiden Furoviren sollte durch Feinkartierung der Allelbereiche, die mit der Resistenz korrelieren, und die Genisolation für Funktionsanalysen aufgeklärt werden.

Weiterhin besteht die Notwendigkeit der Selektion neuer Resistenzquellen.

Selektion auf Virusresistenz

➤ Infektionsmethode

Für die Bewertung der Resistenz gegen Furoviren in Weizen wurden methodische Voraussetzungen wie Auswahl der Infektionsmethode, optimale Temperaturbedingungen und Inkubationszeit geprüft.

Die Infektion von Weizensorten kann zum einen durch mechanische Inokulation der Blätter mit infektiösem Blattsaft oder zum anderen durch die Virusübertragung durch den Vektor erfolgen.

Bei der mechanischen Virusübertragung stellten wir fest, dass sowohl anfällige als auch resistente Sorten infiziert wurden und eine Virusausbreitung in der Pflanze stattfand. Bei mechanischer Inokulation werden die Pflanzen im 2- bis 3-Blattstadium mit infektiösem Blattsaft abgerieben (braune Blätter Abb. 15 B). Die Viren dringen ins Blatt ein, vermehren sich und breiten sich in die Wurzel aus, von wo wieder ein Transport in die nachwachsenden Blätter erfolgt (Abb. 15 B).

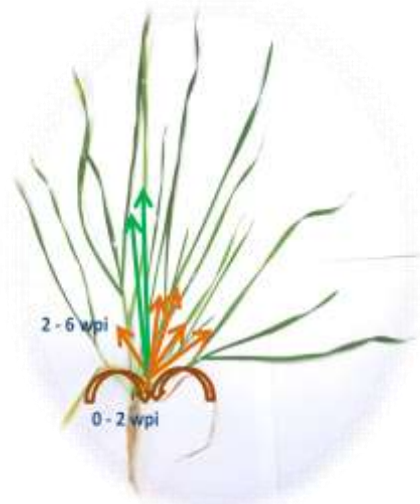
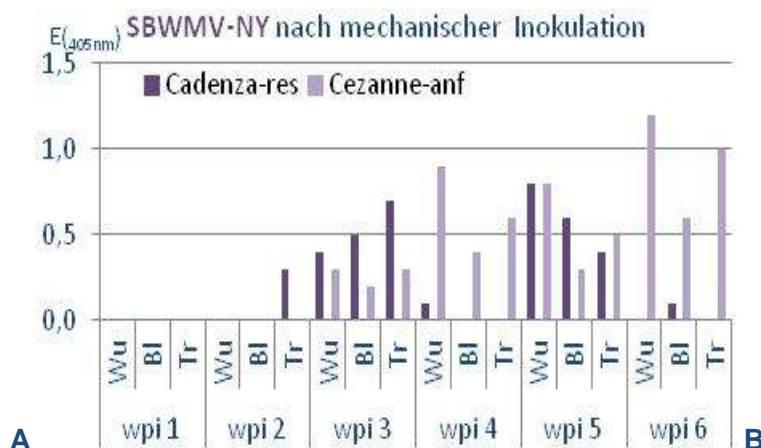


Abbildung 15: Ausbreitung des SBWMV-NY nach mechanischer Inokulation in der resistenten Weizensorte *Cadenza* und der anfälligen Sorte *Cezanne* (Wu-Wurzel, BL-Blatt, Tr-Trieb)

Die Virusausbreitung wurde im Verlauf von sechs Wochen wöchentlich mittels DAS-ELISA in Wurzeln, Trieb und Blättern der resistenten Sorte *Cadenza* und der anfälligen Sorte *Cezanne* erfasst. Wie in Abbildung 15 A ersichtlich ist, wurde die Virusvermehrung und -ausbreitung in beiden Sorten ab der dritten Woche nach Inokulation in Wurzeln, Trieb und Blättern

nachgewiesen. Die Translokationsresistenz von *Cadenza* wird unter diesen Umständen nicht wirksam. Somit eignet sich diese Methode nicht für die Selektion von resistenten Sorten.

Die Virusübertragung durch den Vektor erfolgte durch Einsaat dieser Sorten in infektiöse Erde, in der sich der Virus tragende Vektor befindet. Durch den Reiz der Wirtspflanze keimen die Zoosporen von *P. graminis* aus, dringen aktiv in die Wurzeln ein und schleusen das Virus in die Wurzelzellen, wo es sich vermehrt und ausbreiten kann (Abb.16 B). Drei, fünf, acht und zehn Wochen nach der Aussaat wurde der Virustiter in Wurzeln, Trieb und Blättern mittels DAS-ELISA bestimmt. Die Abbildung 16 A zeigt, dass das Virus in den resistenten Sorten (*KWS Maddox*, *KWS Salix*, *Rebell*, *Pilgrim*, *Musik*, *Dichter* und *Cadenza*) nur in den Wurzeln nachweisbar war, sich jedoch in den anfälligen Sorten (*Cezanne*, *Pescadou* und *JB Asano*) bis in die oberirdischen Pflanzenteile ausbreitete. Bei der Virusübertragung durch den Virusvektor wird die Translokationsresistenz wirksam. Diese Methode ist für Selektion auf Virusresistenz sehr gut geeignet.

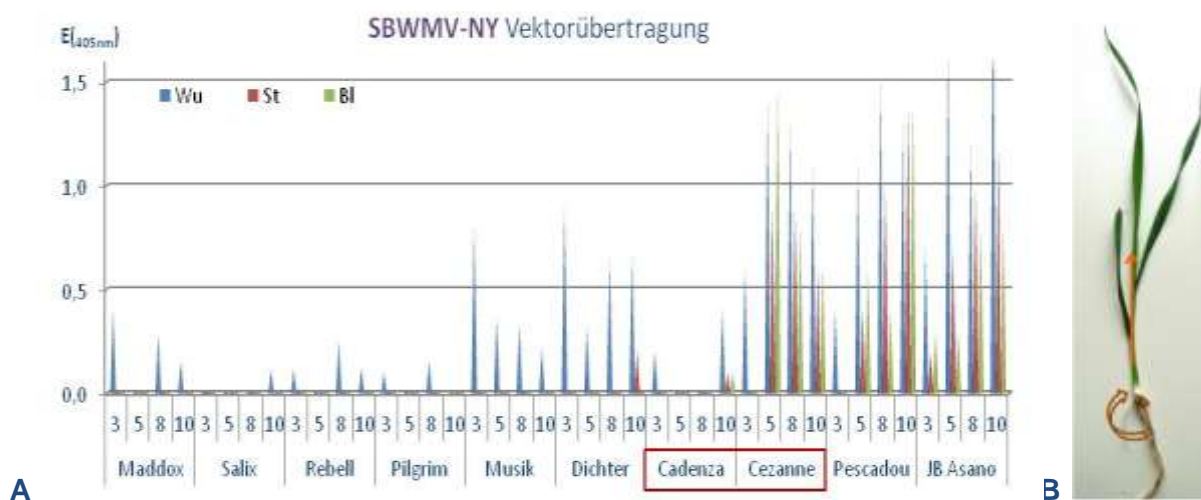


Abbildung 16: Ausbreitung des SBWMV-NY in der resistenten Weizensorte *Cadenza* und der anfälligen Sorte *Cezanne* nach Inokulation durch den Virusvektor (Wu-Wurzel, St-Stängel, Bl-Blatt)

➤ Einfluss der Temperatur und Inkubationszeit

Der Einfluss der Temperatur auf die Virusübertragung in anfälligen Weizensorten wurde in drei Temperaturstufen (12°C, 18°C, 28°C) unter Klimakammerbedingungen und bei 17°C unter Gewächshausbedingungen 4 und 8 Wochen nach Aussaat beobachtet (Abb. 17).

Bereits 4 Wochen nach Aussaat waren die Wurzeln der anfälligen Standards unter Klimakammerbedingungen bei 12°C und 18°C und im Gewächshaus bei 17°C infiziert. Die Virustiter in den Wurzeln stiegen bis zur achten Woche an. Die Virusübertragung in Spross und Blätter verlief bei 12°C verzögert und war erst nach acht Wochen nachweisbar, während sie bei 18°C in der Klimakammer und 17°C im Gewächshaus bereits nach 4 Wochen erfolgte. Bei 28°C wurde die Virusübertragung durch den Vektor unterbunden. Unter Gewächshausbedingungen wurden im Vergleich zu den Klimakammerbedingungen die höchsten Virustiter erreicht. Aus diesem Grund wurden Resistenzprüfungen gegen die Furoviren unter diesem Gewächshausregime durchgeführt.

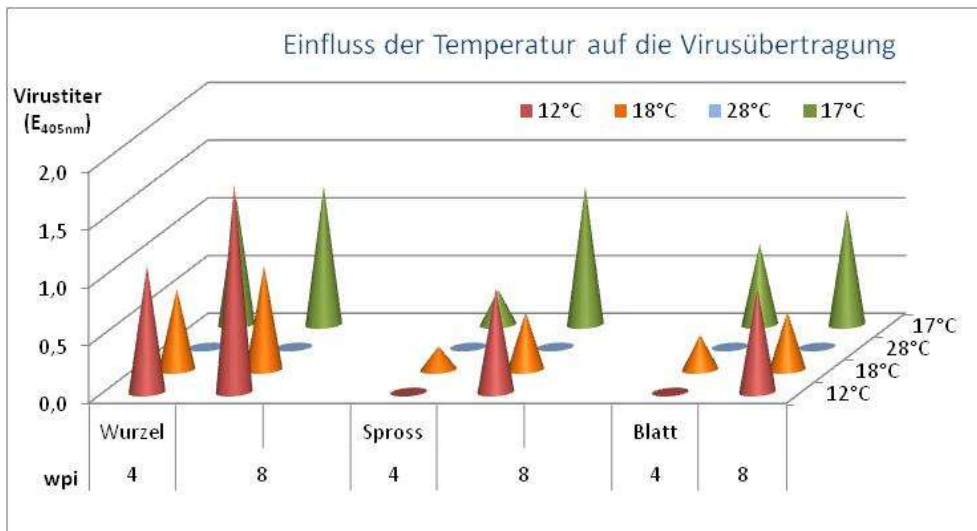


Abbildung 17: Einfluss der Temperatur auf die Effektivität der Virusübertragung

In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst wurden die Temperaturbedingungen während der Vegetation des Wintergetreides unter Feldbedingungen in 2016/17 erfasst und mit den Infektionsbefunden an den unterschiedlichen Befallsstandorten verglichen (Abb. 18).

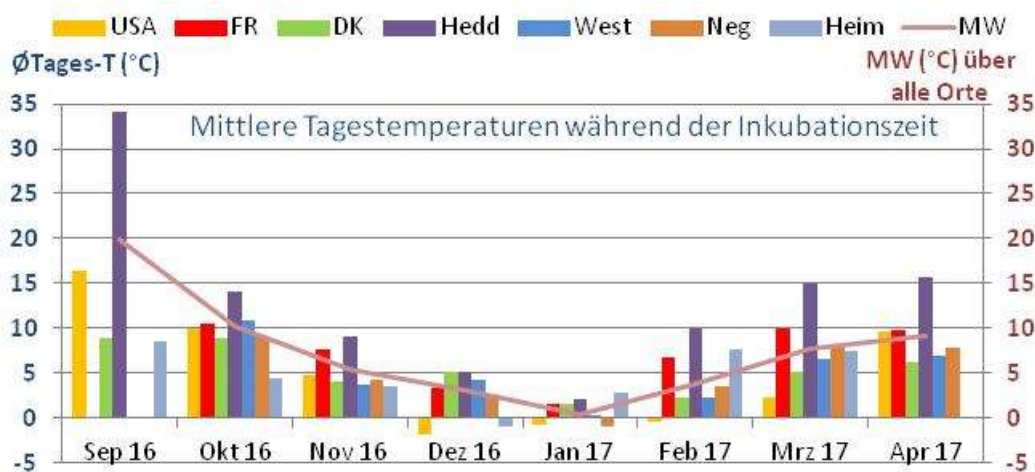


Abbildung 18: Vergleich der mittleren Tagestemperaturen während der Inkubationszeit in den verschiedenen Befallsstandorten in 2016/17

USA-Cornell, Frankreich (FR)-Lucay, Dänemark (DK)-Stubbum, Deutschland- Heddesheim (Hedd), Westerrade (West), Negenborn (Neg), Heimbürg (Heim), MW- Mittelwert über alle Orte.

Die mittleren Tagestemperaturen waren in den einzelnen Monaten für die Standorte mit wenigen Ausnahmen vergleichbar. Die Temperaturen am Standort Heddesheim im Rhein-Neckar-Landkreis Baden-Württembergs lagen von September bis November und von Februar bis April deutlich über dem Mittel der anderen Orte. In Lucay (Zentral-Frankreich) lagen die mittleren Tagestemperaturen im Februar und März ebenfalls deutlich über dem Mittelwert. Die höhere Temperaturen im Frühjahr können eine schnellere Entwicklung der Virose hinsichtlich der Virusausbreitung in die Blätter und der Symptomausprägung bewirken.

Beim Vergleich der Inkubationszeit (Zeit von der Aussaat bis zur Probenahme in Tagen) und den Frosttagen während dieser Zeit mit dem Virustiter in anfälligen Weizenpflanzen zeigten sich folgende Befunde (Abb. 19):

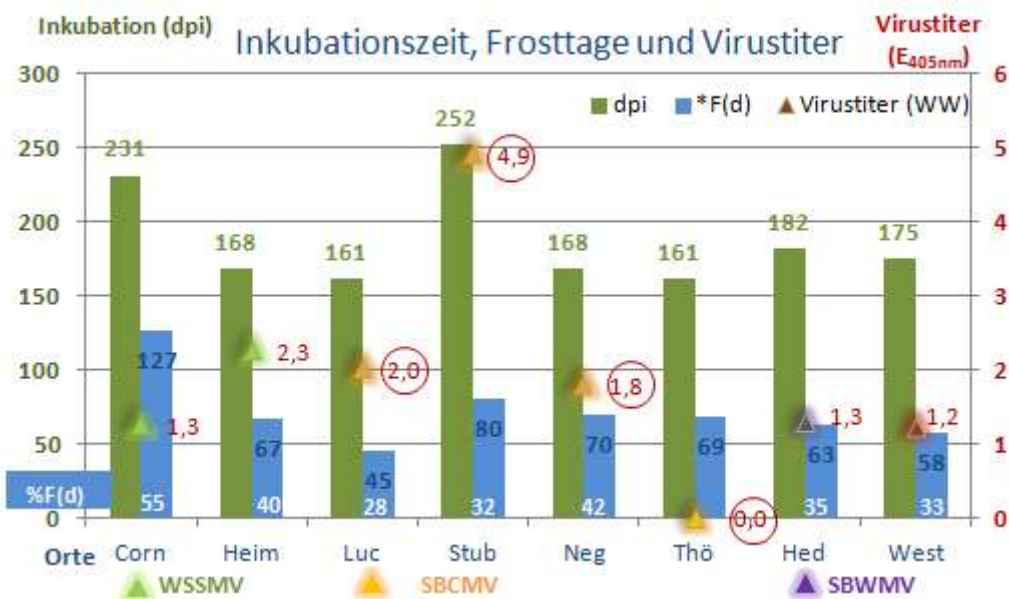


Abbildung 19: Vergleich der Inkubationszeit (Tage nach Aussaat bis Probenahme- dpi), der Frosttage [T(d)] mit dem mittleren Virustiter infizierter Weizenpflanzen

Für das SBWMV mit dem Standort Heddesheim im Süden Deutschlands (N-Stamm) und dem Standort Westerrade im Norden (NY-Stamm) waren Inkubationszeit und Dauer der Frosttage vergleichbar ähnlich. Auch die Virustiter im anfälligen Weizenstandard unterschieden sich nicht.

Für das WSSMV sind deutliche Extinktionsunterschiede in den Virustitern zu sehen. Am Standort Cornell (Ithaca) in den USA nahm die Zeit zwischen Aussaat und Bewertung der Virusinfektion 231 Tage ein. 55% dieser Zeit waren Frosttage, in denen keine Virusvermehrung statt fand. Es wäre möglich, dass dieser Zustand ein Grund für den niedrigeren Virustiter ($E_{(405nm)} = 1,3$) im Vergleich zu Heimbürg (Deutschland) ist ($E_{(405nm)} = 2,3$), wo nur 40% der Inkubationszeit Frosttage waren. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass eventuell unterschiedliche Pathotypen des Virus vorliegen.

Für das SBCMV sind deutliche Standortunterschiede erkennbar. Am Standort Thören (Thö) kommt eine Viruspopulation vor, die sehr aggressiv für Winterroggen und -triticale ist, aber anfälligen Winterweizen nicht infiziert. An den Orten Lucay (24% Frosttage) und Negenborn (42% Frosttage) sind die Virustiter bei vergleichbarer Inkubationszeit und unterschiedlicher Frosteinwirkung vergleichbar. In Stubbum (Dänemark) erfolgte die Probenahme nach einer wesentlich längeren Inkubationszeit (>60 Tage länger) und es wurden im Vergleich zu anderen Orten sehr hohe Virustiter beobachtet.

Dieser Effekt deutet auf die unterschiedliche Vermehrung und Ausbreitung von Furo- und Bymoviren während der Winterweizenvegetation hin (Abb. 20). Während die Virustiter der Furoviren in einer Inkubationszeit bis 26 Wochen (36 Wochen-wpi) anstieg, fiel der Virustiter des WSSMV nach ca. 24 Wochen mit zunehmendem Temperaturanstieg ab.

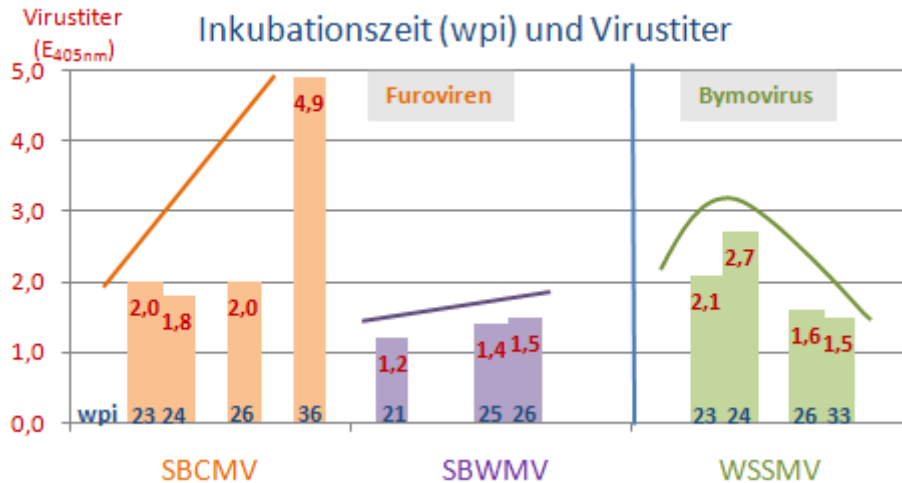


Abbildung 20: Vergleich der Virustiterentwicklung von Furo- und Bymoviren während der Winterweizenvegetation

Durch verspätete Aussaat und niedrige Temperaturen kann die Virusinfektion verzögert werden, jedoch bei Eintritt optimaler Umweltbedingungen werden die Viren übertragen und es erfolgt die Entwicklung der Virose mit den entsprechenden Schadwirkungen.

➤ Resistenzprüfung

Die Resistenzprüfung von Weizenmaterial wurde als Vorscreening unter Gewächshausbedingungen durchgeführt. Als resistent vorselektiertes Material wurde anschließend unter Feldbedingungen in Befallsstandorten verschiedener Umwelten auf Stabilität der Resistenz überprüft (Abb. 21 B).

Zuchtlinien und Weizensorten wurden in Multitopfplatten mit infektiöser Erde (Abb. 21 A) eingesät und unter Gewächshausbedingungen bei 17°C inkubiert. Acht und zwölf Wochen nach Einsaat wurden die Virustiter in den Blättern mittels DAS-ELISA bestimmt.



Abbildung 21: Selektion auf Virusresistenz durch Vektorübertragung des Virus, A-Vorscreening unter Gewächshausbedingungen, B-Selektion auf Virusresistenz im Befallsstandort

Während der Projektlaufzeit wurde in Zusammenarbeit mit den Weizenzüchtern der GFPI-Abteilung Getreide und dem Bundessortenamt umfangreiches Zuchtmaterial, Wertprüfungsstämme, Weizensorten, genetische Ressourcen des Weizens und Winterweizen aus dem EVA II-Programm auf Resistenz gegen bodenbürtige Viren in verschiedenen Umwelten bewertet. Im EVA II-Programm 2016 zeigten die Weizen-Herkünfte WW2016-_022 und _023 Resistenz gegen SBWMV. Innerhalb der genetischen Weizenressourcen konnte eine *Triticum turgidum dinurum*-Akzession (TRI 19112) und eine *Aegilopsis tauschii* (DD)-Akzession (AE193) mit Resistenz gegen SBWMV-NY selektiert werden.

2. Verwertung

Wissenschaftlicher/technischer Nutzen

Das Projekt stärkt die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Weizenzüchtung. Da es mit Ausnahme der Resistenzzüchtung keine erfolgversprechende Bekämpfungsstrategie gegen bodenbürtige Viren gibt, wird durch die Einlagerung spezifischer Resistenz der Anbau dieser Getreideart nachhaltig gesichert. Somit trägt die Entwicklung leistungsstarker Virus resistenter Weizenorten wesentlich zur stabilen Produktion dieser wirtschaftlich bedeutenden Getreideart bei.

Die praktische Landwirtschaft und die Agrar- und Ernährungsindustrie profitieren von verbesserten Sorten. Für die Züchtungsunternehmen sind neue Sorten von größter wirtschaftlicher Bedeutung zur Sicherung von 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 wichtiger Resistenzmerkmale, die einen unmittelbaren Marktvorteil bieten.

Angaben zur geplanten Verbreitung neuer Sorten sind erst möglich, wenn im Rahmen der Leistungsprüfungen beim BSA oder den Landessortenversuchen Daten aus verschiedenen Regionen Deutschlands vorliegen, die dann die Grundlagen für die Sortenvermarktung bilden. Die Entwicklung neuer Weizensorten mit verbessertem Resistenzpotential gegen bodenbürtige Viren dauert in den beteiligten Züchtungsunternehmen weitere 8 bis 10 Jahre.

Wissenschaftlich/technische Erfolgsaussichten

Das Projekt leistete einen wichtigen Beitrag für die Erforschung von Pflanzenviren und der von ihnen verursachten Krankheiten und zur Einführung aktueller effizienter Methoden der Resistenzbewertung in die Praxis. Die Forschungseinrichtung ist als kompetenter Partner für weitere Kooperationen, auch im europäischen Raum interessant und hat damit bessere Chancen für weitere Anschlussaufträge. Gleichzeitig tragen entsprechende Veröffentlichungen in Fachzeitschriften zur Reputation der Forschungseinrichtung bei und fördern einen institutsübergreifenden Wissenstransfer.

Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit besteht in der kontinuierlichen Übergabe von Protokollen für die Methoden der Bewertung der Resistenz gegen bodenbürtige Viren und für die Ergebnisse zur Evaluierung des Weizenmaterials. Die Wirtschaftspartner werden die selektierten Genotypen zur Verbesserung des aktuellen Zuchtmaterials für die Entwicklung

leistungsstarker Weizensorten verwenden. Dadurch wird die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit erheblich gesteigert.

3. Veröffentlichungen

- Kastirr, U.; Ziegler, A.; Perovic, P. and Golecki, B. (2012): Vorkommen des *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV-NY) in Schleswig-Holstein und dessen Bedeutung für den Weizenanbau. *Journal für Kulturpflanzen* 64 (12), 469–477.
- Kastirr, U.; Ziegler, A. (2015): Einfluss von Pathogenpopulationen auf die Resistenzbewertung von Weizen gegen bodenbürtige Viren. GFPi-Sommertagung der Abteilung Getreide, 18.06. 2015, Stuttgart-Hohenheim.
- Kastirr, U.; Ziegler, A. (2015): Getreideviren machen sich breit. *Land & Forst*, 168 (16), 23- 25.
- Kastirr, U.; Ziegler, A. (2016): Erfassung des Vorkommens bodenbürtiger Viren in Weizen, Triticale und Roggen. Flyer, DOI 10.5073/jki.2016.002, Februar 2016.
- Kastirr, U.; Ziegler, A.; Perovic, D.; Ordon, F. (2016): Bedeutung bodenbürtiger Viren bei Weizen Möglichkeiten der Resistenzzüchtung. *KWS Getreide: Blickpunkt*, Issue: Juni, 8-10.
- Kastirr, U.; Ziegler, A.; Fomitcheva, V., Cöster, H.; Heubach, M., Rohlf, V. (2016): Gefahren aus dem Boden. *DLG-Mitteilungen*, 131 (9), 48-51.
- Ziegler, A., Golecki, B. and Kastirr, U. (2013): Occurrence of the New York Strain of *Soil-Borne Wheat Mosaic Virus* in Northern Germany. *J Phytopathology* 161, 290–292.
- Ziegler, A., Klingebiel, K., Papke, V. and Kastirr, U. (2014): Quantification of *Wheat spindle streak mosaic virus* and *Soil borne cereal mosaic virus* in resistance testing of field samples of triticale using real-time RT-PCR. *Journal of Plant Diseases and Protection* 121 (4), 149–155.
- Ziegler, A.; Fomitcheva, V.; Zakri, A.M. and Kastirr, U. (2016): Occurrence of *Polymyxa graminis* ribotypes in Germany and their association with different host plants and viruses. *Cereal Research Communications*, 44 (2), 251-262.
- Ziegler, A und Kastirr, U. (2016): A new sequence variant of *wheat spindle streak mosaic virus* in Germany. *Journal of Plant Diseases and Protection -New Series*123(3), 133-135, DOI: 10.1007/s41348-016-0014-3

Danksagung

An der Schaffung der Ergebnisse zum Vorkommen und der Schadwirkung des SBWMV im Winterweizen waren viele Mitarbeiter unterschiedliche Einrichtungen beteiligt, denen wir für ihre engagierte Unterstützung herzlich danken möchte.

Am Nachweis von Befallsflächen und der Bereitstellung infektiöser Erde waren in Schleswig-Holstein die Mitarbeiter der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein Dr. Bettina Golecki, Dr. Stephan Helge, die Landwirtschaftsberaterin Martje Katharina Ratzow, die Landwirte Bernd Boekhoff und Volker Rohlf und in Thüringen von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Frau Sabine Rode, Dr. Ralph-Peter Nußbaum und der Landwirt Mark Heubach beteiligt.

Die Anlage von Feldversuchen und die Erhebungen zur Schadwirkung des SBWMV in Winterweizen wurden durch Hilmar Cöster und seiner Firma RAGT2n, den Landwirten Mark Heubach und Volker Rohlf, und von Sönke Stoffers von der Firma Staphyt unterstützt.

Die Klimadaten für die zahlreichen Befallsstandorte wurden von Wolfgang Jansen von Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellt.

Der Nachweis und die Differenzierung der SBWMV-Stämme wurde durch die Bereitstellung von Antiseren und monoklonalen Antikörpern aus dem Labor Dr. Frank Rabenstein und durch die molekularbiologische Analyse der Virussequenzen durch Dr. Angelika Ziegler und Dr. Viktoria Fomitcheva möglich.

Die phytopathologische Bedeutung des SBWMV im Getreide konnte nur durch die Bereitstellung von vielseitigem Getreidematerial wie genetische Ressourcen aus der Genbank des IPK durch Michael Grau, DH-Linien aus Weizen- und Gerstekreuzungen und Resistenzträger gegen die Gerstengelbmosaikviren durch Dr. Antje Habekuß und Prof. Frank Ordon, Weizensorten von den Weizenzüchtern der Abteilung Getreide der GFPi und durch das Bundessortenamt durch Dirk Rentel analysiert werden.

Der Vergleich der Aggressivität des SBWMV mit dem asiatischen Furovirus (CWMV) war u.a. nur möglich durch die Kooperation mit Dr. Andreas Jacobi von der Firma Strube Research GmbH & Co. KG und Prof. Cai Shibin von der Jiangsu Academy of Agricultural Sciences (JAAS), in Nanjing, China.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meinen sehr engagierten technischen Assistentinnen Viola Papke, Karin Klingebeil und Marion Urban.

Literatur

- Barbosa, M. M.; Goulart, L. R.; Prestes, A. M.; Juliatti, F. C. (2001): Genetic control of resistance to soil-borne wheat mosaic virus in Brazilian cultivars of *Triticum aestivum* L. *Thell. Euphytica* 122, 417-422.
- Bass, C.; Hendley, R.; Adams, M. J.; Hammond-Kosack, K. E.; Kanyuka, K. (2006): The *Sbm1* locus conferring resistance to *Soilborne cereal mosaic virus* maps to a gene-rich region on 5DL in wheat. *Genome* 49, 1140 – 1149.
- Brakke, M. K. and Langenberg, W. G. (1988): Experiences with *Soil-borne wheat mosaic virus* in North America and elsewhere. In: Cooper, J.I.; Asher, M.J.C., eds. *Developments in Applied Biology II. Viruses with fungal vectors*. Wellesbourne, UK: Association of Applied Biologists, 183-202.
- Budge, G. E.; Ratti, C.; Rubies-Autonell, C.; Lockley, D.; Bonnefoy, M.; Vallega, V.; Pietravalle, S.; Henry, C. M. (2008): Response of UK winter wheat cultivars to *Soil-borne cereal mosaic* and *Wheat spindle streak mosaic viruses* across Europe. *European Journal of Plant Pathology* 120, 259 - 272.
- Chen, J.; MacFarlane, S. A.; Wilson, T. M. A. (1994): Detection and sequence analysis of a spontaneous deletions mutant of *Soil-born wheat mosaic virus* RNA2 associated with increased symptom severity. *Virology* 202, 921 - 929.
- Clover, G. R. G.; Wright, D.; Henry, C.M. (1999): Occurrence of *Soil-borne wheat mosaic virus* in the UK. In *Proceedings of the Fourth Symposium of the International Working Group on Plant Viruses with Fungal Vectors*, 105-108.
- Clover, G. R. G.; Ratti, C.; Henry, C. M. (2001): Molecular characterization and detection of European isolates of *Soil-borne wheat mosaic virus*. *Plant Pathology* 50, 761 - 767.
- Gilet, A. (1996): Cereal mosaic. The viruses advance, the research plods. *Cultivar* 407, 52 – 54.
- Golecki, B., M. Wunderlich, S. Opitz, (2012): Vorkommen und Nachweis bodenbürtiger Viren an Roggen und Weizen im Bundesland Schleswig-Holstein. 44. Tagung des DPG- Arbeitskreises „Viruskrankheiten der Pflanzen“, 08.–09. März 2012, Quedlinburg, Julius Kühn-Institut, Vortrag.
- Hariri, D.; Courtilott, O.; Zaoui, P.; Lapierre, H. (1987): Multiplication of *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV) in wheat roots infected by a soil carrying SBWMV and *Wheat yellow mosaic virus* (WYMV). *Agronomie* 7, 789 - 796.
- Hariri, D.; Fouchard, M.; Lapierre, H. (1998): Cereal mosaic diseases: Soil-transmitted viruses. *Phytoma* 509, 22 - 26.
- Huth, W. (2000): In Germany and in Europe one of the most dangerous phytopathological problems is expected: the soil-borne viruses on wheat and rye. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 52, 196 –198.
- Huth, W. (2004): The most important viruses in cereals. *Getreide Magazin* 4, 224 - 227.
- Hunger, R. M.; Sherwood, J. L.; Smith, E. L.; Armitage, C. A. (1991): Symptomatology and enzyme-linked immunosorbent assay used to facilitate breeding for resistance to wheat soilborne mosaic. *Crop sci.* 31, 900-905.
- Jezewska, M. (1995): Detection of Polish isolate of wheat soil-borne mosaic virus in cereal seeds. *Phytopathologia Polonica* 22, 61 – 67.

- Jezewska, M.; Trzmiel, K. (2005): Occurrence of *Soil-borne cereal mosaic virus* in some regions of Western Poland. *Progress in Plant Protection* 45, 205 - 209.
- Kanyuka, K.; Ward, E.; Adams, M.J. (2003): *Polymyxa graminis* and the cereal viruses it transmits: a research challenge. *Molecular Plant Pathology* 4, 393 - 406.
- K. Kanyuka, D. J. Lovell, O. P. Mitrofanova, K. Hammond-Kosack and M. J. Adams (2004): A controlled environment test for resistance to *Soil-borne cereal mosaic virus* (SBCMV) and its use to determine the mode of inheritance of resistance in wheat cv. Cadenza and for screening *Triticum monococcum* genotypes for sources of SBCMV resistance. *Plant Pathology* 53, 154–160.
- Kastirr, U.; Ehrig, F.; Fomitcheva, V.; Habekuß, A.; Kühne, T. (2008): Investigation of furovirus virulence in winter barley. In: C.M. Rush (Ed.): *Proceedings of the Seventh Symposium of the International Working Group on Plant Viruses with Fungal Vectors*. Julius Kühn-Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants Quedlinburg, Germany, September 1-4, 2008, pp. 117-121.
- Kastirr, U.; Ziegler, A.; Perovic, P. and Golecki, B. (2012): Vorkommen des *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV-NY) in Schleswig-Holstein und dessen Bedeutung für den Weizenanbau. *Journal für Kulturpflanzen* 64 (12), 469–477.
- Kastirr, U.; Ziegler, A. (2015): Einfluss von Pathogenpopulationen auf die Resistenzbewertung von Weizen gegen bodenbürtige Viren. GFPi-Sommertagung der Abteilung Getreide, 18.06. 2015, Stuttgart-Hohenheim.
- Koehler, B.; Bever, W.M.; Bonnett, O.T. (1952): Soil-borne wheat mosaic. University of Illinois Agricultural Experiment Station, Bulletin 556, 567-599.
- Koenig, R.; Huth, W. (2003): Natural infection of wheat by the type strain of *Soil-borne wheat mosaic virus* in a field in Southern Germany. *European Journal of Plant Pathology* 109, 191 – 193.
- Kühne, T. (2009): Soil-borne viruses affecting cereals-Known for long but still a threat. *Virus Research* 141, 174 – 183.
- Lebas, B. S. M.; Ochoa-Corona, F. M.; Elliott, D. R.; Tang, J.; Blouin, A. G.; Timudo, O. E.; Ganev, S.; Alexander, B. J. R. (2009): Investigation of an outbreak of *Soil-borne wheat mosaic virus* in New Zealand. *Australasian Plant Pathology* 38, 85 – 90.
- Maccaferri, M.; Ratti, C.; Rubies-Autonell, C.; Vallega, V.; Demontis, A.; Stefanelli, S.; Roberto Tuberosa, R.; Sanguineti, M.C. (2011): Resistance to *Soil-borne cereal mosaic virus* in durum wheat is controlled by a major QTL on chromosome arm 2BS and minor loci. *Theor Appl Genet* 123, 527–544.
- Maccaferri, M.; Francia, R.; Ratti, C.; Rubies-Autonell, C.; Colalongo, C; Ferrazzano, G; Tuberosa, R.; Sanguineti, M.C. (2012): Genetic analysis of *Soil-borne cereal mosaic virus* response in durum wheat: evidence for the role of a major quantitative trait locus *QSBm.ubo-2BS* and of minor quantitative trait loci. *Mol. Breeding* 29, 973-988.
- McKinney, H.H. (1925): A mosaic disease of winter wheat and winter rye. Bulletin No.1361, Washington, DC, USA: US Department of Agriculture.
- Merkle, O. G.; Smith, E. L. (1983): Inheritance of resistance to soil borne mosaic in wheat. *Crop Sci*23:1075-1076
- Miyaniishi, M.; Roh, S. H.; Yamamiya, A.; Ohsato, S.; Shirako, Y. (2002): Reassortment between genetically distinct Japanese and US strains of *Soil-borne wheat mosaic virus*: RNA1 from a Japanese strain and RNA2 from a US strain make a pseudorecombinant virus. *Archives of Virology* 147, 1141 -1153.
- Modawi, R. S.; Heyne, E. G.; Brunetta, D.; Willis, W. G. (1982): Genetic studies of field reaction to wheat soil-borne mosaic virus. *Plant Disease* 66, 1183-1184.
- Myers, L. D.; Sherwood, J. L.; Siegerist, W. C.; Hunger, R. M. (1993): Temperature-influenced virus movement in expression of resistance to *soil-borne wheat mosaic virus* in hard red winter wheat (*Triticum aestivum*). *Phytopathology* 83, 548 - 551.
- Nielsen, S. L.; Nicolaisen, M.; Koenig, R.; Huth, W. (1999): First Report of Soilborne Rye Mosaic Virus in Rye in Denmark. *Plant Disease* 83, 1074.
- Perovic, D.; Forster, J.; Devaux, P.; Hariri, D.; Guilleroux, M.; Kanyuka, K.; Lyons, R.; Weyen, J.; Feuerhelm, D.; Kastirr, U.; Sourdille, P.; Rooder, M.; Ordon, F. (2009): Mapping and diagnostic marker development for *Soil-borne cereal mosaic virus* resistance in bread wheat. *Molecular Breeding* 23, 641 – 653.
- Perovic, D.; Kastirr, U.; Deavaux, P.; Koch, M.; Ordon, F. (2015): Marker saturation of the *Sbm1* locus in hexaploid wheat conferring resistance to SBCMV and SBWMV using the 90 K iSelect array and KASP technology. XVIII. International Plant Protection Congress - Mission possible: food for all through appropriate plant protection, 24.- 27.08.2015, Berlin, Germany, 71.

- Proeseler, G.; Stanarius, A. (1983): Nachweis des Weizenspindelstrichelmosaik-Virus (*Wheat spindle streak mosaic virus*) in der DDR. Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz, Berlin 19, 345-349.
- Rabenstein, F.; Muhlheim, H.; Kastirr, U.; Kuhne, T. (2005): Monoclonal antibodies for differentiation between *Soil-borne cereal mosaic virus* and *Soil-borne wheat mosaic virus*. Proceedings of the Sixth Symposium of the International Working Group on Plant Viruses with Fungal Vectors, Alma Mater Studiorum Universita di Bologna, Bologna, Italy, 5-7 September, 2005, 55 – 58.
- Rumjaun, A.; Jahier, J.; Trottet, M.; Lapierre, H. (1996): Identification of a potential source of complete resistance to *soilborne wheat mosaic virus* in a wheat-*Thinopyrum intermedium* addition line. J Phytopathology 144,135-138.
- Shirako, Y. and Ehara, Y. (1986): Comparison of the in vitro translation products of wild-type and a deletion mutant of *Soil-borne wheat mosaic virus*. Journal of General Virology 67, 1237-1245.
- Slykhuis, J.T. (1976): Virus and virus-like diseases of cereal crops¹. Annual Review of Phytopathology 14, 189-210.
- Trzmiel, K. Jezewska, M., Zarzynska, A. (2012) First report of *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV) infecting triticale in Poland. Journal of Phytopathology 160, 614-616.
- Vaianopoulos, C.; Legreve, A.; Moreau, V.; Steyer, S.; Maraite, H.; Bragard, C. (2005): Occurrence of bymo- and furoviruses on wheat in Belgium. Parasitica 61, 47 – 53.
- Vallega, V.; Rubies-Autonell, C. (1985): Reaction of Italian *Triticum durum* cultivars to soilborne wheat mosaic. Plant Diseases 69 (1), 64 – 67.
- Ziegler, A., Golecki, B. and Kastirr, U. (2013): Occurrence of the New York Strain of *Soil-Borne Wheat Mosaic Virus* in Northern Germany. J Phytopathology 161, 290–292.
- Yuanfeng, Hao; Yingying, Wang; Zhenbang, Chen; Dan Bland; Sishen, Li; Gina Brown-Guedira; Jerry Jonson (2012): A conserved locus conditioning *Soil-borne wheat mosaic virus* resistance on the long arm of chromosome 5D in common wheat. Mol. Breeding 30, 1453-1464.

Dr. Ute Kastirr

Quedlinburg, den 13. Juni 2018

(Wissenschaftliche Direktorin)

„Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft“ erscheinen seit 1995 in zwangloser Folge

Seit 2008 werden sie unter neuem Namen weitergeführt:
„**Berichte aus dem Julius Kühn-Institut**“

- Heft 173, 2014 Statusbericht Biologischer Pflanzenschutz 2013. Johannes A. Jehle, Annette Herz, Brigitte Keller, Regina G. Kleespies, Eckhard Koch, Andreas Larem, Annegret Schmitt, Dietrich Stephan, 117 S.
- Heft 174, 2014 47th ANNUAL MEETING of the SOCIETY FOR INVERTEBRATE PATHOLOGY and INTERNATIONAL CONGRESS ON INVERTEBRATE PATHOLOGY AND MICROBIAL CONTROL, 176 S.
- Heft 175, 2014 NEPTUN-Gemüsebau 2013. Dietmar Roßberg, Martin Hommes, 44 S.
- Heft 176, 2014 Rodentizidresistenz. Dr. Alexandra Esther, Karl-Heinz Berendes, Dr. Jona F. Freise, 52 S.
- Heft 177, 2014 Siebentes Nachwuchswissenschaftlerforum 2014, 26. - 28. November in Quedlinburg - Abstracts -, 57 S.
- Heft 178, 2015 Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Jahresbericht 2013, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2013. Bearbeitet von Bernd Freier, Jörg Sellmann, Jörn Strassemeyer, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Hella Kehlenbeck, Wolfgang Zornbach, 103 S.
- Heft 179, 2015 Fachgespräch: „Kupfer als Pflanzenschutzmittel“ Berlin-Dahlem, 21. November 2014. Stefan Kühne, Britta Friedrich, Peter Röhrig, 56 S.
- Heft 180, 2015 Fachgespräch: „Gesunderhaltung von Pflanzen im Ökolandbau im Spannungsfeld von Grundwerteorientierung, Innovation und regulatorischen Hemmnissen“ Berlin-Dahlem, 20. November 2014. Stefan Kühne, Britta Friedrich, Peter Röhrig, 40 S.
- Heft 181, 2015 Achtes Nachwuchswissenschaftlerforum 2015, 19. - 21. Oktober in Quedlinburg - Abstracts -, 42 S.
- Heft 182, 2015 Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Jahresbericht 2014, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2014. Bearbeitet von Bernd Freier, Jörg Sellmann, Jörn Strassemeyer, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Silke Dachbrodt-Saaydeh, Hella Kehlenbeck, Wolfgang Zornbach, 42 S.
- Heft 183, 2016 Pflanzen für die Bioökonomie – Welche Herausforderungen ergeben sich für die Qualität nachwachsender Rohstoffe? 50. Vortragstagung - Abstracts -, 94 S.
- Heft 184, 2016 23rd International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers Plant nutrition and fertilizer issues for the cold climates. Bearbeitet von/ Compiled by Silvia Haneklaus, Peder Lombnæs, Ewald Schnug. Son (Norway), September 8-10, 2015, 30 S.
- Heft 185, 2016 24th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers Plant nutrition and fertilizer issues for specialty crops. Bearbeitet von/ Compiled by Silvia Haneklaus, Eduardo Rosa, Ewald Schnug. Coimbra (Portugal), September 6-8, 2016, 65 S.
- Heft 186, 2016 9th Young Scientists Meeting 2016, 9th - 11th November in Quedlinburg – Abstracts –, 2016, 59 S.
- Heft 187, 2017 Handlungsempfehlung zur Anwendung von Glyphosat im Ackerbau und der Grünlandbewirtschaftung der Bund-Länder-Expertengruppe. 11 S.
- Heft 188, 2017 2. Symposium Zierpflanzenzüchtung 13./14. März 2017 in Quedlinburg – Abstracts –, 2017, 48 S.
- Heft 189, 2017 Bericht über Erkenntnisse wissenschaftlicher Untersuchungen über mögliche direkte und indirekte Einflüsse des Pflanzenschutzes auf die Biodiversität in der Agrarlandschaft. Bearbeitet von/ Compiled by Bernd Freier, Sandra Krengel, Christine Kula, Stefan Kühne, Hella Kehlenbeck, 2017, 72 S.
- Heft 190, 2017 Schlussbericht zum Vorhaben Thema des Verbundprojektes: Untersuchung zur Epidemiologie bodenbürtiger Viren in Triticale mit dem Ziel der Entwicklung von virusresistenten Sorten mit hohen Biomasseerträgen für die Biogas- und Ethanolgewinnung. Ute Kastir, Angelika Ziegler, 2017, 50 S.
- Heft 191, 2017 25th International Symposium of the Scientific Centre for Fertilizers "Significance of Sulfur in High-Input Cropping Systems" Groningen (Netherlands), September 5-8, 2017. Bearbeitet von/ Compiled by: Luit J. De Kok, Silvia Haneklaus, Ewald Schnug, 2017, 58 S.
- Heft 192, 2017 9th Young Scientists Meeting 2017, 6th – 7th November in Siebeldingen - Abstracts -, 2017, 80 S.
- Heft 193, 2018 Sekundäre Pflanzenstoffe – Rohstoffe, Verarbeitung und biologische Wirksamkeiten, 52. Vortragstagung, 2018, 65 S.
- Heft 194, 2018 Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Bearbeitet von/ Compiled by: Silke Dachbrodt-Saaydeh, Jörg Sellmann, Jörn Strassemeyer, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Sandra Krengel, Hella Kehlenbeck, 2018.
- Heft 195, 2018 Abschätzung der Habitatwirkung veränderter Produktionsverfahren auf Indikatorvogelarten der Ackerbaugebiete im Forschungsvorhaben „Maisanbau für hohen Ertrag und biologische Vielfalt“ am Beispiel der Feldlerche (*Alauda arvensis*). Jörg Hoffmann, Udo Wittchen, 2018, 48 S.
- Heft 196, 2018 **SPISE 7**, 7th European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe Athens, Greece, September 26-28, 2018. Bearbeitet von/ Compiled by: Paolo Balsari, Hans-Joachim Wehmann, 2018, 302 S.