

Frank Rabenstein, Viktoria Fomitcheva, Thomas Kühne

Viren in der Wintergerste – wird die Produktion in Deutschland durch ein weiteres bodenbürtiges Virus bedroht?

Viruses in winter barley – is the production of this crop in Germany threatened by another soil-borne virus?

Zusammenfassung

Der Wintergerstenanbau wird in Deutschland durch eine Reihe insekten- und pilzübertragbarer Viren bedroht. Die Situation kann sich zukünftig durch ein weiteres bodenbürtiges Virus verschärfen, das aus Gerstenpflanzen, die gegenüber den Erregern der Gelbmosaikvirose resistent waren, isoliert und auf diese rückübertragen werden konnte. In symptomtragenden Pflanzen waren stäbchenförmige Viruspartikeln mit ca. 180 und 300 nm Länge und einem Durchmesser von ca. 20 nm vorhanden, die sich mit goldmarkierten Furovirus-spezifischen Antikörpern dekorieren ließen. Die serologischen Tests und vorläufigen molekularen Analysen weisen auf eine enge Verwandtschaft des neuen Gerstenvirus mit Isolaten des *Soil-borne cereal mosaic virus* bzw. *Soil-borne wheat mosaic virus* hin, die aber bisher in Deutschland nicht an Wintergerste sondern nur in Roggen, Triticale und Winterweizen gefunden wurden. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, welche geographische Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung dieses neue Virus für den Getreideanbau in Deutschland besitzt. Außerdem muss seine genaue Identität zu ähnlichen Furoviren, die in Frankreich bzw. Japan aus Gerste isoliert wurden, aufgeklärt werden.

Stichwörter: Getreideviren, bodenbürtige Viren, Furovirus, *Soil-borne cereal mosaic virus*, *Soil-borne wheat mosaic virus*, Gerste

Abstract

The production of winter barley in Germany is threatened by a number of insect- and fungus- transmitted viruses. The situation is now worsened by the discovery of a new soil-borne virus. It was isolated from barley varieties possessing resistance to viruses of the barley yellow mosaic disease complex. The new virus has two sizes of rod-shaped virions that measure about 180 nm and 300 nm in length and 20 nm in diameter and can be decorated by immunogold labeling using selected furovirus-specific antibodies. Based on results of serological tests and preliminary molecular analysis, the new barley virus was closely related to isolates of *Soil-borne cereal mosaic virus* or *Soil-borne wheat mosaic virus*, two viruses hitherto only isolated in Germany from rye, triticale and winter wheat but never from winter barley. Further investigations will focus on the geographic distribution and relative importance of the new furovirus in Germany and on its identity to similar furoviruses isolated from barley in France and Japan.

Key words: Cereal viruses, soil-borne viruses, furovirus, *Soil-borne cereal mosaic virus*, *Soil-borne wheat mosaic virus*, barley

Viren in der Wintergerste

Mit einer Gesamtanbaufläche von 1,3 Mio. ha im Jahr 2010 (<http://www.destatis.de>) gehört die Wintergerste

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Quedlinburg

Kontaktanschrift

Dr. Frank Rabenstein, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg, E-Mail: frank.rabenstein@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

23. Dezember 2010

nach wie vor zu den wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen in Deutschland. Sie wird durch zahlreiche Krankheitserreger bedroht, wozu in besonderem Maße auch verschiedene Viren, wie z.B. die blattlausübertragbaren Erreger des Barley yellow dwarf (BYD)-Komplexes sowie die gerstenspezifischen Varianten des *Wheat dwarf virus* (WDV) mit dem Zikadenvektor *Psammotettix alienus* gehören. Nach neuesten Erkenntnissen unterscheiden sich die Gerstenisolate deutlich von den Weizenformen des WDV (KÖKLÜ et al., 2007; RAMSELL et al., 2009). Deshalb wurde von SCHUBERT et al. (2007) vorgeschlagen, sie als eigenständige Viruspezies mit der Bezeichnung Barley dwarf virus (BDV) anzuerkennen. Da die Zikade – anders als die Blattläuse – auch heute noch nicht effektiv mit Insektiziden bekämpft werden kann und im Unterschied zum Weizen (BENKOVICS et al., 2010) züchterisch nutzbare natürliche Resistenzen gegen die Gerstenform des WDV im Genpool der Gattung *Hordeum* bisher kaum nachgewiesen werden konnten (HABEKUSS et al., 2009), wird das BDV auf absehbare Zeit seine besondere Bedeutung für die Produktion von Wintergerste behalten.

Im Unterschied hierzu sieht die Situation für das BYDV etwas günstiger aus. Die aktuellen Sorten weisen dank des rezessiven Resistenzgens *ryd1* bzw. des semidominanten Gens *Ryd2* Toleranzeigenschaften auf. Durch Pyramidisierung von *Ryd2*, *Ryd3* sowie eines Quantitative Trait Locus (QTL) auf dem Chromosom 2H bzw. durch Introgression eines neuartigen Resistenzgens aus *Hordeum bulbosum* konnten in jüngster Zeit erste Linien mit deutlich verbesserter Resistenzprägung entwickelt werden, die den Grundstock für die Züchtung neuer, gegenüber BaYDV widerstandsfähiger Sorten bilden können (HABEKUSS et al., 2009; SCHOLZ et al., 2009).

Wie sieht die heutige Situation bezüglich der beiden bodenbürtigen Gelbmosaikviren der Gerste aus? Auch wenn sie in den letzten Jahren scheinbar deutlich weniger wahrgenommen wurden als die Erreger der Gelberzwergung, so sind das *Barley yellow mosaic virus* (BaYMV) und das *Barley mild mosaic virus* (BaMMV) nach wie vor eine ernste Gefahr für die Wintergerste. Nach ihrem Erstnachweis in Deutschland (HUTH und ADAMS, 1990; HUTH und LESEMANN, 1978) war innerhalb weniger Jahre das flächendeckende Vorkommen und damit ein dauerhaftes Infektionspotenzial in den Gerstenanbaugebieten registriert worden. Die Ursache für die anhaltende Verseuchung der Böden liegt in der Biologie des ubiquitären Vektors *Polomyxa graminis*, in dessen dickwandigen Dauersporen die beiden Viren über mehr als 20 Jahre ihre Infektiosität bewahren können (KANYUKA et al., 2003).

Weil die chemische Bekämpfung des mikrobiellen Vektors weder aus ökologischer noch aus ökonomischer Sicht sinnvoll ist, können Ertragsverluste auf virusbelasteten Flächen nur durch den konsequenten Anbau resistenter Sorten vermieden werden. Mit dem rezessiven Gen *rym4* war bereits Anfang der 1980er Jahre eine gegen beide Erreger wirksame qualitative Resistenz in einigen Sorten vorhanden (GRANER und BAUER, 1993;

HUTH, 1982). Dieses Gen wurde in den Folgejahren intensiv genutzt und in nahezu alle Neuzüchtungen eingelagert. Bereits im Jahr 1987 wurde jedoch ein erster Resistenzdurchbruch durch den Pathotyp BaYMV2 beobachtet (HUTH, 1989; KÜHNE et al., 2003). Die gegenüber der Ausgangsform scheinbar geringere Virulenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit in den Anbaugebieten ließen diesen Pathotyp nach anfänglich großer Besorgnis der Fachleute jedoch wieder in den Hintergrund treten und vielfach aus dem Bewusstsein verschwinden. Umfangreiche Erhebungen in den Jahren 2009 und 2010, die gemeinsam von der Deutschen Saatveredelung AG, der Fachhochschule Südwestfalen in Soest und dem Julius Kühn-Institut in Quedlinburg durchgeführt wurden, haben jedoch offenbart, dass das BaYMV2 inzwischen in nahezu sämtlichen Regionen mit Wintergerstenanbau zu finden ist und alle Sorten mit *rym4*-Resistenz infiziert (HILGESLOH et al., 2009; SCHÄFER et al., 2010; RABENSTEIN et al., in Vorbereitung). Um massiven Ertragsverlusten vorzubeugen und die sehr schmale Resistenzbasis im Sortiment zu verbreitern, war bereits vor mehr als 20 Jahren mit der systematischen Suche nach weiteren Resistenzquellen begonnen worden. Mit „Tokyo“ konnte 1996 eine erste Sorte auf den Markt gebracht werden, die das *rym5*-Allel enthielt und auch durch den neuen Pathotyp des BaYMV nicht infiziert werden konnte. Allerdings wurde in Pflanzen dieser Sorte bereits wenige Jahre später – zunächst in Frankreich (HARIRI et al., 2003; KANYUKA et al., 2004), danach auch in Deutschland (HABEKUSS et al., 2008) – ein neuer resistenzbrechender Pathotyp des BaMMV nachgewiesen, über dessen Verbreitung und weitere Eigenschaften bisher kaum Informationen vorliegen.

Mit den Sorten „Nerz“ und „Jorinde“ stehen aktuell eine mehrzeilige bzw. zweizeilige Winterfuttergerste mit *rym5* Allel und somit Resistenz gegen BaYMV2 zur Verfügung. Jüngste Fortschritte der Resistenzzüchtung haben inzwischen zu Sorten wie „Kathleen“ und „Yokohama“ geführt, die einen anderen Resistenzhintergrund aufweisen. Ob und wie lange sie unter Produktionsbedingungen ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber BaYMV und BaMMV behalten, werden die nächsten Jahre zeigen. Mit den beiden Bymoviren muss ebenso wie mit BYDV und BDV auch weiterhin im Anbau von Wintergerste gerechnet werden.

Mehr noch – die Situation könnte sich in Zukunft durch die Ausbreitung weiterer bodenbürtiger Viren in Deutschland deutlich verschärfen. Da ist das im Jahr 2002 erstmals im Raum Heidelberg nachgewiesene *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV), welches neben seinem Hauptwirt Weizen (KOENIG und HUTH, 2003) unter natürlichen Bedingungen auch Gerste infizieren kann (KASTIRR et al., 2008). Entsprechende Beobachtungen liegen auch aus den USA, Italien und Japan vor (KOEHLER et al., 1952; SHIRAKO und EHARA, 1986; SLYKHUIS, 1976). Systematische Untersuchungen zur Verbreitung dieses Erregers in Deutschland wurden bislang nicht durchgeführt.

Eine neue, zusätzliche Gefahr für die Wintergerste ergibt sich in Deutschland nun durch ein weiteres Virus,

welches im Jahr 2010 erstmals in symptomtragenden Pflanzen nachgewiesen werden konnte. Der Fundort in Niedersachsen liegt in einem Gebiet mit intensiver Getreideproduktion. Unabhängig vom Resistenzstatus gegenüber den Gelbmosaikviren konnte der neue Erreger in verschiedenen Sorten nachgewiesen werden (Abb. 1). In der gegen BaYMV und BaMMV resistenten Sorte „Jorinde“ wurden elektronenmikroskopisch stäbchenförmige Virionen mit Zentralkanal und zwei unterschiedlichen Partikellängen beobachtet (Abb. 1A), während dies in den Sorten „Nerz“ und „Saturn“ eindeutig nur mittels ISEM-Technik unter Verwendung eines Antiserums gegen *Soil-borne cereal mosaic virus* (SBCMV) gelang (Abb. 1B). Die serologische Verwandtschaft zum SBCMV ließ sich mit monoklonalen Antikörpern (mAk) bestätigen, wobei sowohl die kürzeren als auch die längeren Virionen durch den spezifischen mAk 4G11 (RABENSTEIN et al., 2005) dekoriert wurden (Abb. 1C und D). Die Dekoration von Partikeln mit einem mAk gegen SBWMV erfolgte dagegen nicht.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden Pflanzen verschiedener Wintergerstensorten vom Fundort des neuen Erregers mit zwei ELISA-Testformaten auf Virusinfektion geprüft. In Tab. 1 sind die Resultate unter Verwendung verschiedener Antiseren (PAS) im DAS-ELISA bzw. von zwei mAk im TAS-ELISA zusammengestellt. Blätter der für BaYMV und BaMMV anfälligen Sorten „Anisette“, „Finesse“ und „Saturn“ enthielten entweder eines der beiden Gelbmosaikviren oder beide. Die resistenten Sorten „Jorinde“ und „Nerz“ ergaben indessen positive Werte im DAS-ELISA nur für SBCMV und

SBWMV. Die PAS zeigten erwartungsgemäß eine Kreuzreaktion mit beiden Furoviren, während die mAk im TAS-ELISA spezifisch nur mit dem homologen Virus reagierten. Anhand der Symptome kann eine Mischinfektion in den Feldproben indes nicht diagnostiziert werden. Die stärksten Effekte in Form von Vergilbungen sowie Strichel- und Mosaiksymptomen waren an Blättern der Sorten „Anisette“ (Abb. 2A) und „Saturn“ zu beobachten; „Finesse“, „Jorinde“ und „Nerz“ reagierten etwas schwächer (Abb. 2B, C und D).

Die morphologischen und serologischen Untersuchungen deuten im konkreten Fall zunächst auf das SBCMV, das bisher in Deutschland an Roggen, Weizen und Triticale aber noch niemals an Gerste nachgewiesen worden war. Andererseits wurde 2007 in Frankreich erstmals über ein ähnliches Virus an Wintergerste berichtet (HARIRI und MEYER, 2007). Für die Identifizierung und weitere Charakterisierung des neuen Erregers wurden deshalb einige biologische Eigenschaften überprüft und erste molekularbiologische Untersuchungen durchgeführt. Hierfür wurde das Isolat Jorinde 1 (Tab. 1) ausgewählt, das im ELISA nur mit Antikörpern gegen SBCMV, jedoch mit keinem der geprüften Antiseren gegen Viren mit vergleichbarer Morphologie, wie z.B. *Barley stripe mosaic virus* oder verschiedenen anderen Viren der Familie *Virgaviridae*, reagiert hatte.

Das Isolat Jorinde 1 ließ sich durch mechanische Inokulation auf verschiedene Gerstensorten, wie z.B. „Erfä“ (Abb. 1E) und „Tokyo“ übertragen (Abb. 2E und F). Aber auch die neu gezüchteten mehrzeiligen Wintergersten „Yokohama“ und „Kathleen“ reagierten z.T. mit starken

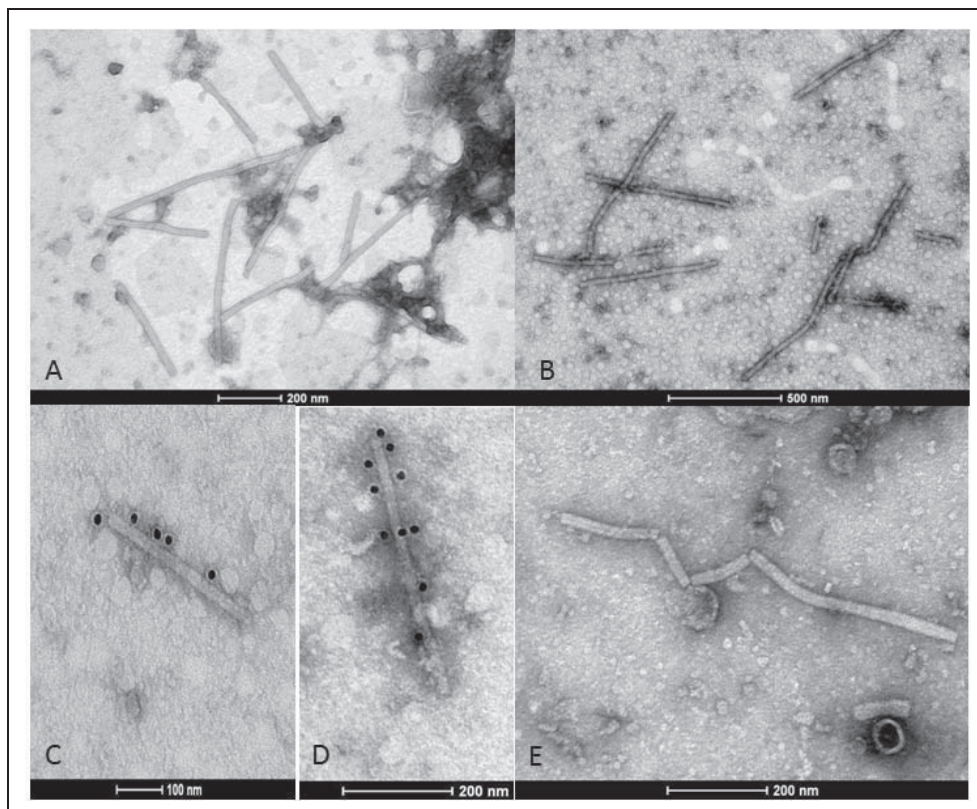


Abb. 1. Elektronenmikroskopische Darstellung von Viruspartikeln in Gerstenproben vom Versuchsstandort in Niedersachsen nach Kontrastierung mit Uranylacetat. A: Vorkommen von stäbchenförmigen Viruspartikeln mit Zentralkanal und zwei Partikellängen in der Wintergerstensorte „Finesse“, B: Nachweis von stäbchenförmigen Viruspartikeln in der Wintergerste „Saturn“ nach ISEM – Behandlung mit Antiserum PAS SBCMV-92, C und D: Immunogold-Markierung von unterschiedlich langen Partikeln mit dem SBCMV spezifischen monoklonalen Antikörper mAk 4G11. E: Stäbchenförmige Viruspartikel von ca. 180 und 300 nm Länge nach mechanischer Übertragung des Isolats Jorinde 1 auf die Testsorte „Erfä“.

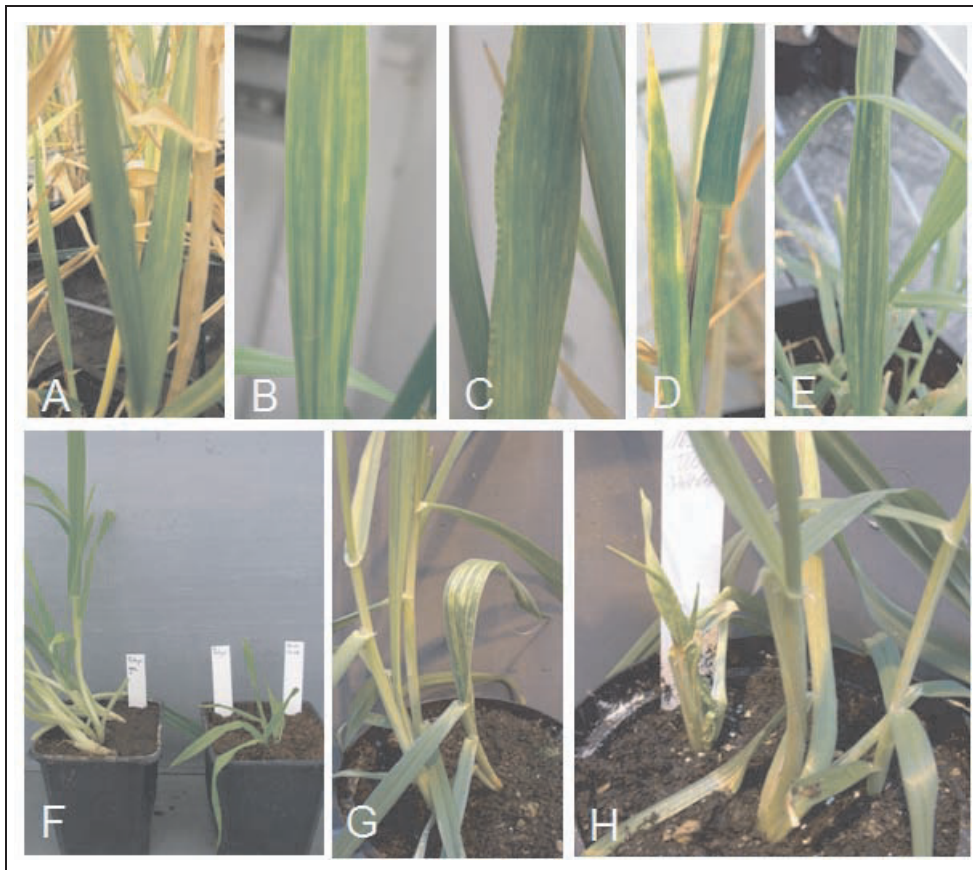


Abb. 2. Symptome an natürlich und künstlich infizierten Gerstenpflanzen. A bis D: Strichel- und Mosaiksymptome an Feldproben der Sorten „Anisette“ (A), „Finesse“ (B), „Jorinde“ (C) und „Nerz“ (D), E bis H: Symptome an Wintergersten nach mechanischer Inokulation mit dem Isolat Jorinde 1: Mosaik und chlorotische Strichel an der Testsorte „Erfa“ 28 d p.i. (E), starke Wuchsdepressionen an der Sorte „Tokyo“ 56 d p. i. (links nicht infizierte Pflanze) (F), chlorotische Streifen an der mehrzeiligen Wintergerste „Yokohama“ 28 d p. i. (G) und starke Wuchsdepressionen an der Sorte „Kathleen“ 28 d p. i. (H).

Tab. 1. Ergebnisse der serologischen Testung von Proben symptomtragender Gerstenpflanzen unter Verwendung von Antisera (PAS) bzw. monoklonalen Antikörpern (mAk) aus der Kollektion des JKI

Testformat Sorte/ Probe-Nr.	DAS-ELISA					TAS-ELISA	
	BaMMV PAS-133	BaYMV PAS-78	SBCMV PAS-92	SBCMV PAS-67	SBWMV PAS-69	SBCMV mAk 4G11	SBWMV mAk 4G4
Anisette 1	3,90	0,22	0,15	0,08	0,04	0,77	0,00
Anisette 2	3,80	0,08	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Finesse 1	0,03*	1,74	0,22	0,17	0,05	3,40	0,00
Finesse 2	0,01	0,96	0,04	0,04	0,03	0,04	0,01
Jorinde 1	0,06	0,01	1,57	0,85	0,43	3,00	0,00
Jorinde 2	0,02	0,01	1,68	0,70	0,22	3,65	0,00
Jorinde 3/4	0,05	0,08	0,97	0,69	0,26	3,07	0,00
Nerz 4/1	0,07	0,01	1,64	0,09	0,03	2,14	0,01
Saturn 1	2,48	3,64	0,20	0,13	0,03	0,33	0,02
Saturn 2	2,58	3,79	0,01	0,02	0,05	0,02	0,01
Saturn 3	2,92	3,02	0,07	0,03	0,05	0,24	0,02
BaMMV**	1,89	0,02	–	–	–	–	–
BaYMV**	0,01	1,26	–	–	–	–	–
SBCMV**	–	–	1,82	1,02	0,18	3,66	0,01
SBWMV**	–	–	0,29	0,08	2,25	0,02	2,78

* alle ELISA-Werte stellen Mittelwerte aus zwei Testen dar,

** jeweilige Positivkontrolle aus der Stammsammlung des JKI, – nicht getestet

Chlorosen bzw. virusbedingten Wuchsdepressionen (Abb. 2G und H). Eine Infektion von Roggensorten wurde bisher nicht diagnostiziert. Hierdurch unterscheidet sich der neue Erreger vom SBCMV. Im Gegensatz zum SBCMV und SBWMV verursachte das neue Gerstenvirus auf *Nicotiana tabacum* der Sorten „Samsun NN“ bzw. „Samsun nn“ bereits 3 bis 4 Tage nach der Inokulation sehr starke Nekrosen. Weitere Tabakarten, wie *N. benthamiana*, *N. clevelandii* und *N. occidentalis* wurden systemisch infiziert.

Die bisher erhaltenen molekularbiologischen Daten zeigten weitere Unterschiede des neuen Virus zu den beiden für Deutschland bereits beschriebenen Furoviren auf. Bei Einsatz sequenzspezifischer Primer für die RNA1 des SBCMV bzw. des SBWMV (SPANAKAKIS und GÖTZ, 2006) wurde nach RT-PCR nur für die homologen Viren, nicht jedoch für den neuen Erreger ein Amplifikationsprodukt erhalten (Abb. 3). Dies weist auf Sequenzunterschiede in RNA1 des neuen Gerste-infizierenden Furovirus hin. Auch die Analyse der Hüllprotein(CP)-kodierenden Sequenz der RNA2 offenbarte deutliche Unterschiede zu Isolaten des SBCMV und SBWMV, obgleich das CP ebenso aus 176 Aminosäuren (aa) gebildet wird. Das Isolat Jorinde 1 besitzt im CP in aa Position 63 im Vergleich zu allen anderen Isolaten anstelle von Phenylalanin (F) ein Leucin (L). Die Tab. 2 präsentiert einen Vergleich der Hüllprotein-Sequenzen von 14 Furoviren, wobei das aus Weizen stammende SBCMV-Isolat C (KOENIG et al., 1999) als Bezug genommen wurde. In der Darstellung sind nur solche Austausche berücksichtigt, die in mindestens 3 Isolaten vorkommen. Die SBCMV-Isolate zeigen untereinander, ebenso wie die SBWMV-Herkünfte aus Weizen, nur einen geringen Grad an Diversität (RATTI et al., 2005). Nur die Isolate C und G weichen in den Positionen 27 und 155 von den übrigen SBCMV-Isolaten ab (s. Tab. 2, blaue Markierung). Die Isolate Marne (F), Jorinde 1 und JT (Japan), die alle aus Gerste stammen, erscheinen sehr ähnlich und besitzen gemeinsame aa Austausche in den Positionen 50, 91, 93, 146 und 168 (s. Tab. 2, grüne Markierung), wodurch sie sich von den übrigen Furoviren des Getreides unterscheiden. Die molekularbiologischen Analysen belegen für das neue Gerstenvirus eine weitgehende Identität mit dem Isolat Marne (F), das bereits 2007 in Frankreich an Gerste gefunden wurde (HARARI und MEYER, 2007) und nahezu identisch mit einem als SBWMV-JT bezeichneten Virus ist, welches in Japan ebenfalls von Gerste isoliert worden war (SHIRAKO et al., 2000).

Für das französische Isolat wurden nach mechanischer Inokulation unterschiedliche Wirtspflanzenarten ermittelt, darunter auch Weizen, Zuckerrübe und Spinat. Diese Befunde konnten für das deutsche Isolat bereits teilweise bestätigt werden. Ob das Virus unter natürlichen Bedingungen neben *P. graminis* auch durch *P. betae* übertragen werden kann, müssen entsprechende Untersuchungen zeigen. Offen bleibt bisher auch die Frage einer möglichen Saatgutübertragung. In Sämlingen aus Körnern infizierter Weizenpflanzen konnten BUDGE et al. (2008) mittels real-time RT-PCR die RNA2 des verwandten

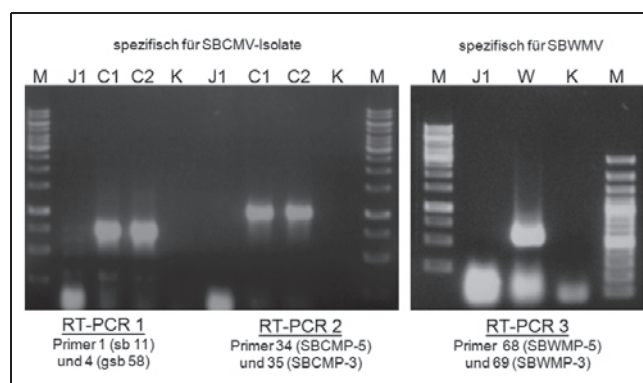


Abb. 3. PCR Analyse mit sequenzspezifischen Primern für die RNA1 des SBCMV (RT-PCR 1 und 2) – bzw. des SBWMV (RT-PCR-3). M = DNA-Marker, J1 = Isolat Jorinde 1, C1 und C2 = zwei Isolate des SBCMV, H = Isolat Heddesheim des SBWMV.

SBCMV nachweisen. Obwohl dieser Arbeit und ähnlichen Mitteilungen aus Polen (GARBACZEWSKA et al., 1997; JEZEWSKA, 1995) zur Samenübertragbarkeit des SBCMV noch mit Skepsis begegnet wird, belegen Untersuchungen an verwandten Viren der Gattung *Pecluvirus* der Familie *Virgaviridae* eine, wenn auch sehr niedrige, Übertragungsrate durch das Saatgut (DELFOSE et al., 1999).

Gänzlich unbeantwortet bleiben im Augenblick noch Fragen nach dem potentiellen Schadenspotential des neuen Erregers (Ertragsdepression, Einfluss auf Winterhärte u.a.) und nach der möglichen biologischen und genetischen Variabilität, wie sie z.B. von dem verwandten, Roggen und Weizen infizierenden SBCMV bekannt ist (KOENIG et al., 1999). Auch fehlen bisher jegliche Angaben zu möglichen Resistenzen im aktuellen Wintergersten-Sortiment sowie in den anderen wirtschaftlich relevanten Wirten. In ersten Infektionsversuchen haben sich die Gelbmosaikresistenzen *rym4* und *rym5* als nicht wirksam erwiesen. Notwendig für die weiteren Forschungsarbeiten ist darüber hinaus die Entwicklung spezifischer Diagnostika zur Identifizierung und Differenzierung der verschiedenen Erreger.

Sollte sich das neue, erstmals an Wintergerste in Deutschland nachgewiesene Furovirus in Zukunft weiter ausbreiten – und dafür sprechen alle bisherigen Erfahrungen mit bodenbürtigen Viren – so muss perspektivisch auch die Frage nach der Möglichkeit und den Konsequenzen von Mischinfektionen in Gerstenpflanzen mit Bymo- und Furoviren bzw. einer Mischinfektion mit insektenübertragbaren Viren gestellt werden. In jedem Fall werden neue resistenzzüchterische Arbeiten erforderlich, die mit der Suche nach Resistenzquellen im Genpool der Gerste beginnen müssen.

Zusammenfassend ist die besondere Bedrohung der Wintergerste sowohl durch insekten- als auch durch pilzübertragbare Viren weiterhin gegeben. Auch wenn seit 2007 die Charakterisierung des neuen Furovirus der Gerste in Frankreich durch den altersbedingten Abschied aller Getreidevirologen nicht weiter vorangetrieben wurde, so zeigen gerade die jüngsten Erhebungen am Beispiel des BaYMV2, dass sich einmal etablierte boden-

bürtige Viren kontinuierlich ausbreiten und in den Anbauregionen ein Infektionspotenzial aufbauen können, dem rechtzeitig begegnet werden muss, will man substantielle Ertragsverluste dauerhaft vermeiden.

Literatur

- BENKOVICS, A.H., G. VIDA, D. NELSON, O. VEISZ, I. BEDFORD, D. SILHAVY, M.I. BOULTON, 2010: Partial resistance to *Wheat dwarf virus* in winter wheat cultivars. *Plant Pathology* **59**, 1144-1151.
- BUDGE, G.E., J. LORAM, G. DONOVAN, N. BOONHAM, 2008: RNA2 of *Soil-borne cereal mosaic virus* is detectable in plants of winter wheat grown from infected seeds. *European Journal of Plant Pathology* **120**, 97-102.
- CHEN, J., N. SHI, T.M.A. WILSON, J.F. ANTONIWI, S.A. MACFARLANE, M.J. ADAMS, 1996: Sequence analysis of wheat and oat furovirus capsid protein genes suggests that oat golden stripe virus is a strain of soil-borne wheat mosaic virus. *Virus Research* **41** (2), 179-183.
- DELFOSSÉ, P., A.S. REDDY, A. LEGREVE, P.S. DEVI, K.T. DEVI, H. MARAITE, D.V.R. REDDY, 1999: Indian peanut clump virus (IPC) infection on wheat and barley: symptoms, yield loss and transmission through seed. *Plant Pathology* **48**, 273-282.
- DIAO, A., J. CHEN, F. GITTON, J.F. ANTONIWI, J. MULLINS, A.M. HALL, M.J. ADAMS, 1999: Sequences of European wheat mosaic virus and oat golden stripe virus and genome analysis of the genus *Furovirus*. *Virology* **261**, 331-339.
- GARBACZEWSKA, G., M. WIECZOREK, M. JEZEWSKA, 1997: Cytological localization of soil-borne wheat mosaic virus/SBWMV/particles in the tissue of three-day-old rye seedlings. *Phytopathologia Polonica* **13**, 59-62.
- GRANER, A., E. BAUER, 1993: RFLP mapping of the *ym4* virus resistance gene in barley. *Theoretical and Applied Genetics* **86**, 689-693.
- HABEKUSS, A., C. RIEDEL, E. SCHLIEPHAKE, F. ORDON, 2009: Breeding for resistance to insect-transmitted viruses in barley – an emerging challenge due to global warming. *Journal für Kulturpflanzen* **61** (2), 53-61.
- HABEKUSS, A., T. KÜHNE, I. KRÄMER, F. RABENSTEIN, F. EHRIG, B. RUGE-WEHLING, W. HUTH, F. ORDON, 2008: Identification of *Barley mild mosaic virus* isolates in Germany breaking *rym5* resistance*. *Journal of Phytopathology* **156**, 36-41.
- HARIRI, D., M. MEYER, 2007: A new furovirus infecting barley in France closely related to the Japanese soil-borne wheat mosaic virus. *European Journal of Plant Pathology* **118**, 1-10.
- HARIRI, D., M. MEYER, H. PRUD'HOMME, 2003: Characterization of a new barley mild mosaic virus pathotype in France. *European Journal of Plant Pathology* **109**, 921-928.
- HILGESLOH, S., A. SÜNDER, A. HÜSEMANN, O. WELLI-STEPHAN, B. SCHÄFER, F. RABENSTEIN, 2009: BaYMV-2 schon weiter verbreitet als angenommen – Ergebnisse des Monitorings 2009. *Innovation* 3/2009, S. 4-5. http://www.dsv-saaten.de/service/innovation/innovation_3_2009/gelbmosaik.html
- HUTH, W., 1982: Evaluation of sources of resistance to barley yellow mosaic virus in winter barley. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* **89**, 158-164.
- HUTH, W., 1989: Ein weiterer Stamm des Barley yellow mosaic virus (BaYMV) gefunden. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **41** (1), 6-7.
- HUTH, W., D.E. LESEMANN, 1978: Eine für die Bundesrepublik neue Virose an Wintergerste. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **30** (12), 184-185.
- HUTH, W., M.J. ADAMS, 1990: Barley yellow mosaic virus (BaYMV) and BaYMV-M: two different viruses. *Intervirology* **31**, 38-42.
- JEZEWSKA, M., 1995: Detection of Polish isolate of wheat soilborne mosaic virus in cereal seeds. *Phytopathologia Polonica* **10**, 61-67.
- KANYUKA, K., E. WARD, M.J. ADAMS, 2003: *Polymyxa graminis* and the cereal viruses it transmits: a research challenge. *Molecular Plant Pathology* **4**, 393-406.
- KANYUKA, K., G. McGRANN, K. ALHUDAIB, D. HARIRI, M.J. ADAMS, 2004: Biological and sequence analysis of a novel European isolate of *Barley mild mosaic virus* that overcomes the barley *rym5* resistance gene. *Archives of Virology* **149**, 1469-1480.
- KASTIRR, U., F. EHRIG, V. FOMITCHEVA, A. HABEKUSS, T. KÜHNE, 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.
- KOEHLER, B., W.M. BEVER, O.T. BONNETT, 1952: Soil-borne wheat mosaic. University of Illinois Agricultural Experiment Station, *Bulletin* **556**, 567-599.
- KOENIG, R., C.W.A. PLEIJ, W. HUTH, 1999: Molecular characterization of a new furovirus mainly infecting rye. *Archives of Virology* **144**, 2125-2140.
- KOENIG, R., W. HUTH, 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.
- KÖKLÜ, G., J.N. RAMSELL, A. KVARNHEDEN, 2007: The complete genome sequence for a Turkish isolate of Wheat dwarf virus (WDV) from barley confirms the presence of two distinct WDV strains. *Virus Genes* **34**, 359-366.
- KÜHNE, T., N. SHI, G. PROESELER, M.J. ADAMS, K. KANYUKA, 2003: The ability of a bymovirus to overcome the *rym4*-mediated resistance in barley correlates with a codon change in the VPg coding region on RNA1. *Journal of General Virology* **84**, 2853-2859.
- RABENSTEIN, F., H. MÜHLHEIM, U. KASTIRR, T. KÜHNE, 2005: Monoclonal antibodies for differentiation between soil-borne cereal mosaic virus and soil-borne wheat mosaic virus. In: C.M. RUSH (Editor) *Proceedings of the Sixth Symposium of the International Working Group on Plant Viruses with Fungal Vectors*. Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna, Italy, September 5-7, 2005 pp. 55-58.
- RAMSELL, J.N.E., M.I. BOULTON, D.P. MARTIN, J.P.T. VALKONEN, A. KVARNHEDEN, 2009: Studies on the host range of the barley strain of *Wheat dwarf virus* using an agroinfectious viral clone. *Plant Pathology* **58**, 1161-1169.
- RATTI, C., A. PISI, V. VALLEGA, C. RUBIES AUTONELL, 2005: Molecular characterization of Italian *Soil-borne cereal mosaic virus* isolates. *Parasitica* **61** (1), 11-16.
- RATTI, C., G. BUDGE, L. WARD, G. CLOVER, C. RUBIES-AUTONELL, C. HENRY, 2004: Detection and relative quantitation of *Soil-borne cereal mosaic virus* (SBCMV) and *Polymyxa graminis* in winter wheat using real-time PCR (TaqMan®). *Journal of Virological Methods* **122** (1), 95-103.
- SCHÄFER, B.C., M. KNIPS, S. CRAMM, O. WELLI-STEPHAN, F. RABENSTEIN, 2010: Wintergerste: Viren auf dem Vormarsch. *top agrar* 10/2010, 44-46.
- SCHOLZ, M., B. RUGE-WEHLING, A. HABEKUSS, O. SCHRADER, G. PENDINEN, K. FISCHER, P. WEHLING, 2009: *Ryd4^{Hb}*: a novel resistance gene introgressed from *Hordeum bulbosum* into barley and conferring complete and dominant resistance to the barley yellow dwarf virus. *Theoretical and Applied Genetics* **119**, 837-849.
- SCHUBERT, J., A. HABEKUSS, K. KAZMAIER, H. JESKE, 2007: Surveying cereal-infecting geminiviruses in Germany – Diagnostics and direct sequencing using rolling circle amplification. *Virus Research* **127**, 61-70.
- SHIRAKO, Y., Y. EHARA, 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.
- SHIRAKO, Y., N. SUZUKI, R.C. FRENCH, 2000: Similarity and divergence among viruses in the genus *Furovirus*. *Virology* **270** (1), 201-207.
- SHIRAKO, Y., T.M.A. WILSON, 1993: Complete nucleotide sequence and organization of the bipartite RNA genome of soil-borne wheat mosaic virus. *Virology* **195** (1), 16-32.
- SLYKHUIS, J.T., 1976: Virus and virus-like diseases of cereal crops 1. *Annual Review of Phytopathology* **14**, 189-210.
- SPANAKAKIS, A., R. GÖTZ, 2006: Abschlussbericht "BioChancePlus: Entwicklung molekularbiologischer Nachweisverfahren A. bei bodenbürtigen Getreideviren" Förderkennzeichen: 0313190, 49 S.
- YANG, J.P., J.P. CHEN, J. CHEN, Y. CHENG, M.J. ADAMS, 2001: Sequence analysis of a soil-borne wheat mosaic virus isolate from Italy shows that it is the same virus as *European wheat mosaic virus* and *Soil-borne rye mosaic virus*. *Science in China (Series C)* **44** (2), 216-224.