

Eckard Moll, Kerstin Flath

# Die Bewertung von partieller Resistenz mit Hilfe der SAS-Applikation RESI

Das wesentlich erweiterte SAS-Programm RESI liegt in der Version 3.1 vor. Es umfasst die Planung, Datenerhebung und statistische Auswertung von Einzelversuchen und Versuchsserien zur Bewertung der partiellen Resistenz von Getreidesortimenten gegen wirtschaftlich bedeutsame Krankheitserreger. Der europaweite Getreideanbau und gemeinsame europäische Forschungsvorhaben erfordern eine einheitliche Methodik und Bewertung der partiellen Resistenz. Deshalb kann das SAS-Programm RESI umschaltbar mit deutscher und englischer Oberfläche genutzt werden. Mit der Wahl der Sprache für die Oberfläche wird auch die Sprache bestimmt, in der die Ergebnisse abgespeichert werden. Für die Nutzung des SAS-Programms RESI sind keinerlei SAS-Kenntnisse notwendig.

## 1 Einführung

Die partielle Resistenz von Sorten gegen Getreidekrankheiten zeichnet sich vor allem durch ihre Dauerhaftigkeit aus. Zur Bewertung dieser Resistenzform ist der Krankheitsverlauf durch mehrmalige Bonitur des prozentualen Befalls der Blattfläche oder Ähre zu erfassen (Abbildung 1 nach: WALTHER u. a. 2000).

Aus beispielsweise fünf in zeitlichen Abständen ermittelten Befallswerten wird in Anlehnung an WILCOXON u. a. (1974) die Fläche unter der Befallsverlaufskurve betrachtet. Dieser Wert berücksichtigt den Befallsverlauf und entspricht dem mittleren Befall je Teilstück. Für das in Abbildung 1 dargestellte Beispiel ist der mittlere Befall des Teilstückes:

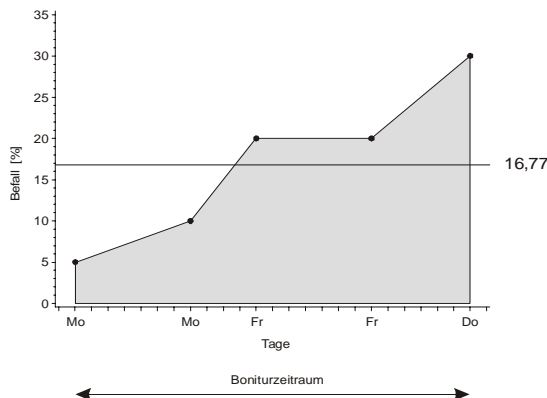


Abb.1: Fläche unter der Befallsverlaufskurve

mittlerer Befall<sub>Teilstück</sub> =

$$\left[ \frac{5+10}{2} * 7 + \frac{10+20}{2} * 4 + \frac{20+20}{2} * 7 + \frac{20+30}{2} * 6 \right] / (7 + 4 + 7 + 6) = 16,77$$

Allgemein wird der mittlere Befall eines Teilstückes berechnet nach

$$\text{mittlerer Befall}_{\text{Teilstück}} = \frac{1}{D} * \sum_{i=1}^{t-1} \frac{1}{2} (B_i + B_{i+1}) * d_i,$$

wobei

- i: Boniturtermin (i = 1, ..., t),
- D: Anzahl Tage zwischen dem ersten und t-ten Boniturtermin (Boniturzeitraum),
- B<sub>i</sub>: prozentualer Befall des Teilstückes zum i-ten Boniturtermin,
- d<sub>i</sub>: Anzahl Tage zwischen dem i-ten und (i+1)-ten Boniturtermin (Boniturabstand).

Diese mittleren Befallswerte jedes Teilstückes beschreiben nicht nur den Befall über den Boniturzeitraum hinweg, sondern sie sind die Werte, die sowohl im Einzelversuch als auch in der Versuchsserie statistisch ausgewertet werden.

## 2 Die Teilbereiche der SAS-Applikation RESI

RESI (MOLL 2000) ist eine SAS/AF-Applikation mit den drei Teilbereichen

- Schadbilder,
- Konstruktion eines Lageplanes,
- Auswertung und Resistenzeinschätzung .

Der Komplex der Auswertung und Resistenzeinschätzung unterteilt sich noch einmal in die Auswertung eines Einzelversuches und die statistische Analyse einer Versuchsserie.

### 3 Schadbilder

Um den prozentualen Anteil befallener Blattfläche oder Ähre möglichst gut schätzen zu können, sind in RESI verschiedene Getreidekrankheiten visualisiert. Für

- Zwergrost [Puccinia hordei Otth] und Braunrost [Puccinia recondita Rob. ex Desm.],
- Gelbrost [Puccinia striiformis Westend],
- Mehltau [Erysiphe graminis DC],
- Netzfleckenkrankheit [Drechslera teres (Sacc.) Shoemaker],
- Rhynchosporium-Blattfleckenkrankheit [Rhynchosporium secalis (Oudem.) Davis],
- Blattbräune und Spelzenbräune [Septoria nodorum (Berk.) Berk.],
- Blattdürre [Mycoshaerella graminicola (Funkel) Schröter],
- Partielle Weißährigkeit [Fusarium culmorum (W. G. Sm.) Sacc.],
- DTR-Blattfleckenkrankheit [Drechslera tritici-repentis (Died.) Shoemaker]

werden Boniturhilfen und natürliche Befallssymptome (Abbildung 2) gezeigt.

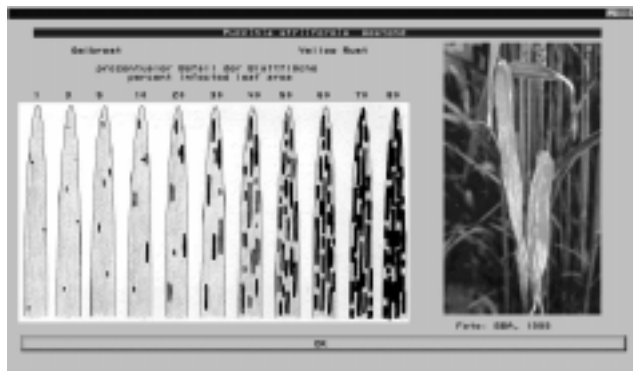


Abb.2: Boniturhilfe und natürliche Befallssymptome am Beispiel des Gelbrostes

### 4 Konstruktion eines Lageplanes

Die in RESI berücksichtigte Versuchsanlage zur Bewertung der partiellen Resistenz in Getreidesortimenten ist eine einfaktorielle randomisierte Blockanlage A-B1. Häufig erfolgt die Bewertung eines Prüfsortimentes im Vergleich zu bekannten Sorten. Dem entsprechend können in den Lageplan zusätzliche resistente, anfällige und/oder lokale Standardsorten aufgenommen werden. Die Standards werden häufiger wiederholt als die anderen Prüfglieder, da sie als Vergleichsbasis dienen. Die Wiederholung eines Standards je Block sollte nach WALTHER u. a. (2000)

$$r_{\text{Standard}} = \sqrt{[\text{Anzahl Prüfglieder (Sorten)}]}$$

mindestens aber

$$r_{\text{Standard}} = \sqrt{[\text{Anzahl Prüfglieder (Sorten)}]/10}$$

sein. Für die Konstruktion des randomisierten Lageplans wird eine Text-Datei mit dem Prüfsortiment benötigt. Zur Demonstration ist ein kleines Beispiel in der Tabelle 1 aufgeführt. Die Spalten der Datei enthalten dabei in ihrer Reihenfolge die Prüfgliedernummer, die Kennnummer oder ein Kennzeichen, den Anmelder und die Sorte.

Tab.1: Demonstrationsbeispiel für ein Prüfsortiment

1	0815	ANME1	Sorte1
2	1816	ANME2	Sorte2
3	2817	ANME3	Sorte3
7	3818	ANME4	Sorte4
8	4819	ANME5	Sorte5
9	5820	ANME6	Sorte6
19	6821	ANME7	Sorte7
5	7822	ANME8	Sorte8
11	8823	ANME9	Sorte9

Neben der Anzahl zu prüfender Sorten - für das Demonstrationsbeispiel in Tabelle 1 sind es neun - sind dem SAS-Programm RESI noch die Anzahl der Wiederholungen der Standards je Block und die Anzahl der Blocks mitzuteilen. Zur Demonstration wird nur ein anfälliger Standard mit drei Wiederholungen gewählt. Die Anzahl der Blocks soll für das Beispiel vier sein. Zu benennen sind zwei Ausgabedateien. Das ist zum einen eine Datei für den Lageplan (s. Output 1) und zum anderen eine Datei (s. Output 2), die den Grundstock der Datendatei aufnimmt.

Output 1: Lageplan

Lageplan für eine einfaktorielle Blockanlage A-B1 mit  $9+0+0+3 = 12$  Prüfgliedern und 4 Blocks. Jede Spalte des Lageplanes ist ein Block.

Standard anfällig: SS - 3 x

LAGEPLAN			
19	3	9	19
8	SS_2	8	SS_2
2	7	SS_3	8
SS_3	9	5	5
7	8	19	11
1	SS_1	3	SS_1
11	11	SS_1	3
SS_1	1	11	1
5	5	2	7
9	SS_3	7	SS_3
3	2	SS_2	2
SS_2	19	1	9

Der Output 1 enthält neben dem Hinweis auf das Anlagemodell eine Summe der Prüfglieder, die aus der Anzahl der Sorten des Prüfsortiments (9) sowie den Wiederholungszahlen des resistenten (0), des lokalen (0) und des anfälligen Standards (3) gebildet wird. Der resistente Standard wird mit RR, der lokale mit LL und der anfällige mit SS gekennzeichnet. Der Output 2 zeigt, dass mit dem Lageplan gleichzeitig eine Struktur bereitgestellt wird, die, um die prozentualen Befallswerte zu den einzelnen Boniturterminen ergänzt, die Datendatei bilden wird. Für den anfälligen Standard steht SSS. Dieses Symbol kann durch die tatsächlich im Versuch eingesetzte Sorte ersetzt werden. Die negativen Prüfgliedernummern sind Kennzeichen für die Standards.

Output 2: Grundstock der Datendatei

KENNZ	ANMELDER	PGL	PGL-NR	BLOCK
0815	ANME1	Sorte1	1	1
0815	ANME1	Sorte1	1	2
0815	ANME1	Sorte1	1	3
0815	ANME1	Sorte1	1	4
1816	ANME2	Sorte2	2	1
1816	ANME2	Sorte2	2	2
1816	ANME2	Sorte2	2	3
1816	ANME2	Sorte2	2	4
2817	ANME3	Sorte3	3	1
2817	ANME3	Sorte3	3	2
2817	ANME3	Sorte3	3	3
2817	ANME3	Sorte3	3	4
3818	ANME4	Sorte4	7	1
3818	ANME4	Sorte4	7	2
3818	ANME4	Sorte4	7	3





Abb 4: Fenster der statistischen Analyse einer Versuchsserie

Der Hilfe-Button gibt unter anderem auch mit den Beschreibungen der Aussagebereiche der acht Modelle Unterstützung für die festzulegende Zielstellung der Versuchsserie. In eine zu benennende Textdatei (s. Abbildung 4) werden die Varianztabelle mit den fixen Effekten und optional die Ergebnisse der multiplen Testprozeduren t-Test, Tukey-Prozedur und Dunnett-Prozedur ausgegeben. Ähnlich wie bei der statistischen Analyse eines Einzelversuches ist es auch bei der Auswertung einer Versuchsserie möglich, zusätzlich zu den als Standard bezeichneten eine andere Sorte des Prüfsortiments als Standard zu benennen.

Wie bereits eingangs erwähnt, benötigt der Anwender von RESI keinerlei SAS-Kenntnisse. Deshalb wird hier auch auf eine detaillierte Darlegung der SAS-Programme verzichtet. Für den SAS-Kundigen ist der Hinweis wichtig, dass die Auswertung mit der SAS-Prozedur MIXED erfolgt. Mit der Nutzung dieser Standardprozedur von SAS alleine ist es aber nicht getan. Programmseitig wird berücksichtigt, ob die Versuchsserie balanciert und orthogonal in den Versuchsorten, -jahren und Sorten ist, d. h. die Versuche wurden mit jeweils derselben Anzahl Wiederholungen in den Versuchsjahren an allen Versuchsorten mit demselben Prüfsortiment angelegt. Ist das Getreidesortiment unterschiedlich und liegen hinsichtlich der Versuchsorte oder -jahre zufällige Effekte vor, sind die Ergebnisse multipler Testprozeduren mit versuchsbezogenem Risiko 1. Art nicht zu verwenden (PIEPHO und SPILKE 1999). Tukey- und/oder Dunnett-Prozedur werden dann nur für den orthogonalen Kern der Sorten durchgeführt, nachdem als Alternative zu diesen nicht durchführbaren Tests die Bonferroni-Prozedur gerechnet wird. Ist die Versuchsserie nichtorthogonal in den Versuchsorten und -jahren, dann wird sie über die Umwelten, also den Kombinationen aus Versuchsort und -jahr der Einzelversuche ausgewertet (MOLL, PIEPHO, KRÜGER 2000). Die multiplen Mittelwertvergleiche werden unter Beachtung signifikanter Wechselwirkungen der fixen Effekte durchgeführt.

### 5.3 Demonstrationsbeispiel für die Auswertung einer Versuchsserie

Zur Demonstration der Resistenzbewertung mit RESI (Version 3.1) wird ein kleines Beispiel für eine Versuchsserie aus vier Einzelversuchen an verschiedenen Versuchsorten eines Jahres (MOLL 2000) herangezogen. Die Daten sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Der Faktor Orte ist zufällig. Als multiple Test-Prozedur wird der Dunnett-Test zum Vergleich des mittleren Befalls der Sorten mit dem des anfälligen

Standards =SS= (s. Tabelle 2) gewählt, wobei das Risiko 1. Art (Irrtumswahrscheinlichkeit) mit 0.05 festgesetzt wird. In der Ergebnisdatei werden zuerst die Dateibezeichnungen, Orte und Jahre der Einzelversuche, aus denen die Versuchsserie zusammengestellt wird, aufgelistet. Dem folgen, wie im Output 3 aufgeführt, das Modell der Versuchsserie, die adjustierten Mittelwerte (LSMeans) und die Varianztabelle. Ein Blick auf die Daten der Versuchsserie (Tabelle 2) zeigt, dass nicht alle Sorten in allen Einzelversuchen geprüft wurden. Deshalb wird der Hinweis gegeben, dass wegen der Nichtorthogonalität anstelle der gewünschten Dunnett-Prozedur die Bonferroni-Prozedur gerechnet wird. Anschließend wird der orthogonale Kern, also die Sorten, die in allen Einzelversuchen gemeinsam geprüft wurden, ausgewertet. Bei den Mittelwerten, der Varianztabelle und den Ergebnissen der Dunnett-Prozedur fehlt nun die Sorte Ritmo.

## 6 Erfahrungen mit RESI

Die SAS-Applikation RESI wurde bereits in mehreren Versionen für die Bewertung der partiellen Resistenz von Getreidesortimenten gegenüber wirtschaftlich bedeutsamen Blattkrankheiten erprobt. Diese von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft durchgeführten Resistenzprüfungen erfolgten im Auftrag des Bundessortenamtes. RESI wurde auch für die Planung und Auswertung europäischer Ringtests zur partiellen Resistenz gegen Getreidemehltau und Rostkrankheiten im Rahmen des EU-Projektes COST 817 „Population studies of airborne pathogens on cereals as a means of improving strategies for disease control“ erfolgreich eingesetzt.

Das für die Realisierung der methodischen Richtlinien zur Bewertung der partiellen Resistenz und den Einsatz des Programms unabdingbar notwendige Randomisieren der Prüfglieder sowie deren Anbau in mehrfacher Wiederholung und das mindestens dreimalige Schätzen des Befalls haben sich als praktisch durchführbar erwiesen. Die Versuchsaussage konnte durch Hinzuziehen statistischer Analysen wesentlich erhöht werden (FLATH et al. 1979).

Präsentationen von RESI hatten breite in- und ausländische Resonanz zur Folge (FLATH, MOLL, WALTER 1997; MOLL, FLATH 1998; FLATH, MOLL 2000). Mit der deutsch- und englischsprachigen Fassung des SAS-Programms ist eine stärkere Anwendung im In- und Ausland zu erwarten und damit der Austausch vergleichbarer Daten möglich. Die vorliegende Version 3.1 ist ein umfangreiches Programmsystem.

Es umfasst von der Planung der Versuchsanlage über die effektivere Bonitur mit Hilfe virtualisierter Schadsymptome bis hin zur statistischen Analyse des Einzelversuches auch die Analyse von Versuchsserien. Dadurch werden mehrjährige und mehrortige statistische Analysen von Resistenzprüfungen unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Sorten und Umwelten möglich.

Tab.2: Demonstrationsbeispiel für die Auswertung einer Versuchsserie

Ort1 / 2000			Ort2 / 2000			Ort3 / 2000			Ort4 / 2000		
Sorten	Blocks	Befall	Sorten	Blocks	Befall	Sorten	Blocks	Befall	Sorten	Blocks	Befall
=SS=	1	18.50	=SS=	1	19.75	=SS=	1	20.00	=SS=	1	20.00
=SS=	2	22.40	=SS=	2	20.50	=SS=	2	21.65	=SS=	2	23.90
=SS=	3	28.15	=SS=	3	22.00	=SS=	3	26.65	=SS=	3	26.65
=SS=	4	19.75	=SS=	4	17.00	=SS=	4	19.75	=SS=	4	23.25
=SS=	1	18.50	=SS=	1	18.50	=SS=	1	18.50	=SS=	1	18.50
=SS=	2	21.50	=SS=	2	21.65	=SS=	2	16.75	=SS=	2	18.50
=SS=	3	20.50	=SS=	3	25.75	=SS=	3	20.50	=SS=	3	20.50
=SS=	4	28.75	=SS=	4	19.75	=SS=	4	25.75	=SS=	4	27.25
=SS=	1	18.50	=SS=	1	18.50	=SS=	1	16.75	=SS=	1	16.75
=SS=	2	12.75	=SS=	2	12.75	=SS=	2	11.25	=SS=	2	14.75
=SS=	3	21.65	=SS=	3	19.90	=SS=	3	18.65	=SS=	3	21.65
=SS=	4	22.75	=SS=	4	19.75	=SS=	4	19.75	=SS=	4	24.75
Florida	1	21.50	Florida	1	8.25	Florida	1	14.50	Florida	1	13.00
Florida	2	12.75	Florida	2	6.50	Florida	2	9.75	Florida	2	9.75
Florida	3	8.70	Florida	3	4.75	Florida	3	6.25	Florida	3	6.25
Florida	4	15.75	Florida	4	15.50	Florida	4	23.75	Florida	4	16.40
Longos	1	2.50	Longos	1	4.70	Longos	1	2.50	Longos	1	1.45
Longos	2	0.00	Longos	2	1.45	Longos	2	3.25	Longos	2	3.25
Longos	3	0.75	Longos	3	0.75	Longos	3	0.75	Longos	3	0.75
Longos	4	1.10	Longos	4	2.50	Longos	4	1.50	Longos	4	4.30
Herzog	1	4.35	Herzog	1	57.75	Herzog	1	57.75	Herzog	1	57.75
Herzog	2	5.75	Herzog	2	39.25	Herzog	2	50.00	Herzog	2	50.00
Herzog	3	6.75	Herzog	3	36.50	Herzog	3	41.50	Herzog	3	41.50
Herzog	4	7.50	Herzog	4	42.75	Herzog	4	49.25	Herzog	4	49.25
Orestis	1	10.75	Orestis	1	10.00	Orestis	1	10.75	Orestis	1	10.75
Orestis	2	11.00	Orestis	2	10.00	Orestis	2	9.00	Orestis	2	9.00
Orestis	3	10.00	Orestis	3	9.00	Orestis	3	13.25	Orestis	3	10.75
Orestis	4	6.75	Orestis	4	9.00	Orestis	4	9.75	Orestis	4	8.25
Astron	1	10.00	Astron	1	4.00	Astron	1	3.25	Astron	1	3.25
Astron	2	6.65	Astron	2	9.50	Astron	2	6.75	Astron	2	10.00
Astron	3	8.00	Astron	3	10.00	Astron	3	3.60	Astron	3	3.25
Astron	4	8.00	Astron	4	5.75	Astron	4	4.75	Astron	4	10.75
Toronto	1	8.35	Toronto	1	4.35	Toronto	1	6.85	Toronto	1	7.50
Toronto	2	8.00	Toronto	2	4.00	Toronto	2	4.50	Toronto	2	4.50
Toronto	3	7.75	Toronto	3	4.75	Toronto	3	16.25	Toronto	3	14.50
Toronto	4	14.50	Toronto	4	8.25	Toronto	4	11.50	Toronto	4	11.50
Ohio	1	2.05	Ohio	1	4.00	Ohio	1	1.45	Ohio	1	1.45
Ohio	2	0.45	Ohio	2	0.75	Ohio	2	0.45	Ohio	2	0.75
Ohio	3	3.25	Ohio	3	5.75	Ohio	3	0.75	Ohio	3	1.50
Ohio	4	0.00	Ohio	4	5.05	Ohio	4	0.15	Ohio	4	3.25
Renan	1	1.10	Renan	1	0.00	Renan	1	3.25	Renan	1	4.00
Renan	2	0.30	Renan	2	0.45	Renan	2	2.60	Renan	2	7.50
Renan	3	0.00	Renan	3	2.50	Renan	3	4.70	Renan	3	4.00
Renan	4	3.25	Renan	4	0.75	Renan	4	0.75	Renan	4	2.50
Ritmo	1	1.80				Ritmo	1	5.00	Ritmo	1	5.75
Ritmo	2	2.55				Ritmo	2	4.35	Ritmo	2	5.75
Ritmo	3	0.00				Ritmo	3	9.00	Ritmo	3	6.20
Ritmo	4	0.75				Ritmo	4	5.75	Ritmo	4	5.90

PIEPHO, H.-P. und Spilke, J. (1999): Anmerkungen zur Analyse balancierter gemischter Modelle mit der SAS-Prozedur MIXED. Zeitschrift für Agrar-informatik, 7: 39-46.  
 WALTHER, U., Flath, K., Mol, E., Prochnow, J. und Sachs, E. (2000): Methodische Anleitung zur Bewertung der partiellen Resistenz von Sorten bzw. Linien unter Berücksichtigung epidemiologischer Aspekte. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 374, S. 8-25.  
 WILCOXSON, R. D., Atif, A. H. and Skovmand, B. (1974): Slow rusting of wheat varieties in the field correlated with stem rust severity on detached leaves in the greenhouse Plant Disease Reporter. Beltsville, USA, 58 : pp. 1085-1087.

**Die Bewertung von partieller Resistenz mit Hilfe der SAS-Applikation RESI (E. Moll, K. Flath)**

**Zusammenfassung**

Die SAS-Applikation RESI (Version 3.1) ist ein umfangreiches, in deutscher oder englischer Sprache nutzbares Programmsystem zur Planung und Auswertung von Versuchen zur Bewertung der partiellen Resistenz von Getreidesortimenten gegen wirtschaftlich bedeutsame Krankheitserreger. Mit Schadbildern zu verschiedenen Befallsstufen unterstützt es die Schätzung des Krankheitsbefalls der Blattfläche oder Ähre. Für die zu prüfenden Sorten werden unter Hinzufügung verschiedener Standards Lagepläne für einfaktorielle randomisierte Blockanlagen A-B1 konstruiert. Die statistischen Analysen basieren auf den mittleren Befallswerten jedes Teilstückes. Der Einzelversuch wird varianzanalytisch ausgewertet, wobei entsprechend der Zielstellung verschiedene multiple Testprozeduren ausgewählt werden können. Die statistischen Analyse einer Versuchsserie erfolgt ausgehend vom Modell, wobei berücksichtigt wird, ob die Versuche balanciert und in den Versuchsorten und Versuchsjahren orthogonal sind. Zum Vergleich der Sortenunterschiede hinsichtlich des Befalls stehen ebenfalls verschiedene multiple Testprozeduren zur Auswahl.

**Stichworte:** partielle Resistenz, Getreidekrankheiten, Schadbilder, Feldversuch, einfaktorielle Blockanlage, SAS, Lageplan, Versuchsauswertung, Einzelversuch, Versuchsserie

**7 Literatur**

FLATH, K. and Moll, E. (2000): Evaluation of partial resistance in cereal cultivars using the SAS application „RESI“. International Symposium „Durable Disease Resistance – Key to Sustainable Agriculture“, Ede-Wageningen, The Netherlands, Book of Abstracts, p. 78. FLATH, K., Moll, E. and Walther, U. (1997): Methodical Guidelines on the Assessment of Partial Resistance and the SAS Application RESI. Proceedings of the conference „Approaches to improving disease resistance to meet future needs: Airborne pathogens of wheat and barley“, Praha, 11.-13.11.1997, pp. 111-112.  
 MOLL, E. (2000): RESI. Bewertung der partiellen Resistenz von Getreidesortimenten - Eine SAS Anwendung – Version 3.1. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 374, S. 35-66.  
 MOLL, E. and Flath, K. (1998): RESI – A SAS-Application to Evaluate Partial Resistance of Cereal Cultivars COST 817 „Population studies of airborne pathogens on cereals“ and NJF-Seminar 302 „Resistance biology of agricultural crops“. Tune, Dänemark, S. 23.  
 MOLL, E., Piepho, H.-P. and Krüger, F. (2000): Grundlagen der statistischen Auswertung einer Versuchsserie zur Bewertung der partiellen Resistenz von Getreidesortimenten. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 374, S. 26-34.



