

Schwefelgehalte, Proteinfractionen und Kleberzugfestigkeit von Weizen – Ergebnisse eines Ringversuches biologisch-dynamischer Züchter

Ingo Hagel¹, Silvia Haneklaus² und Ewald Schnug²

¹Umkreis-Institut, Martinstr. 73, D-64285 Darmstadt

²Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

Zusammenfassung

In 91 Weizenproben der Ernte 1997 aus einem Ringversuch biologisch-dynamischer Züchter (fünf verschiedene Standorte) wurde der N- und S-Gehalt sowie verschiedene Proteinfractionen (Gliadin, Gesamt- und HMW-Glutenin) bestimmt. Am Kleber wurden Zugfestigkeitsmessungen durchgeführt.

Zwischen den verschiedenen Sorten bestanden starke Unterschiede in den N:S-Verhältnissen. Keine der Proben wies einen S-Mangel auf, das heißt die N:S-Verhältnisse waren < 17:1; auch die S-Gehalte waren ausreichend für eine hohe Backqualität. Die Kleberzugfestigkeit sank mit steigendem N-Gehalt der Proben. Sie konnte durch die Glutenin: Gliadin-Verhältnisse nur unzureichend erklärt werden: Bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen > ca. 0,35 stieg die Kleberzugfestigkeit mit sinkenden N- bzw. HMW-Glutenin-Gehalten des Mehls. Diesbezüglich trug HMW-Glutenin nicht zur Erklärung der Klebereigenschaften dieses biologisch-dynamisch angebauten Sortimentes bei. Vermutlich ist nicht nur der Versorgungszustand der Pflanze mit Schwefel, sondern auch mit Stickstoff für die Proteinstruktur bedeutsam, da sinkende Gehalte verfestigend wirkten, insbesondere unter dem Gesichtspunkt vergleichbarer Glutenin:Gliadin-Verhältnisse. Weizentypen mit festen Klebern scheinen daher Ausdruck einer unzureichenden N-Ernährung beziehungsweise eines zu hohen N-Bedarfs der Pflanze zu sein. Die Eignung dieser Sorten für die Verwendung im ökologischen, hier insbesondere im biologisch-dynamischen Landbau, ist daher nur bedingt gegeben.

Einleitung

Schwefelmangel führt bei Weizen zu erheblich festere Teigen (Wrigley et al., 1984). Daher kollidierte in den 80er Jahren unvorhergesehen das Zuchtziel einer Steigerung der Backqualität durch eine Straffung der Proteinstruktur mit einer exogen bewirkten zusätzlichen Verfestigung der Proteinmatrix infolge drastisch reduzierter Schwefel-Einträge in die Ökosysteme (Schnug & Haneklaus, 1994). Eine S-Düngung führte dann auch zu einer Steigerung des Backvolumens (Haneklaus et al., 1992). Und zwar nicht weil die Kleber der modernen Weizensorten zu weich, sondern weil sie durch die Züchtung bereits zu stark verfestigt waren und den neuen Umweltverhältnissen nicht mehr angepasst waren. Die hohe technologische Qualität dieser Sorten kann daher als Resultat eines züch-

terisch unbewusst induzierten S-Mangels angesehen werden, denn sie weisen Kennzeichen auf, wie sie unter S-Mangel-Verhältnissen auftreten: höhere Gehalte besonders an (schwefelarmem) hochmolekularem Glutenin, festere Kleber- und Teigstruktur (Hagel, 2000, 2002). Im Rahmen eines Ringversuches biologisch-dynamischer Züchter wurden verschiedene Weizen-Sorten hinsichtlich ihrer Schwefel- und Stickstoffgehalte, Proteinfractionen und Kleberzugfestigkeit untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass der Kleber bei abnehmender N-Versorgung des Korns und – was zu beachten ist – bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen fester wird.

Schlüsselwörter: *Backqualität, Schwefel, Stickstoff, Weizen*

Material und Methoden

Die untersuchten Proben stammten aus einem Winterweizenringversuch (Kunz et al., 1997; Müller et al., 1997) von fünf biologisch-dynamischen Züchtern (Dr. B. Heyden, E. Irion, P. Kunz, Dr. K.J. Müller, Dr. H. Spieß) der Ernte 1997. Diese Züchtungsinitiativen sind an verschiedenen Standorten aktiv: Bad Vilbel (bei Frankfurt), Grub (ca. 50 km östlich von München), Köhlingen (Rand der Ostheide im Naturpark Elbufer-Drawehn), Rimpertsweiler (Bodenseebecken), Egg (zwischen Zürichsee und Greifensee, Schweiz). Jeder Züchter brachte drei bis vier eigene Selektionen (vgl. Abschnitt Ergebnisse) in die Prüfung an den fünf Standorten des Ringversuchs ein, die gemäß den unterschiedlichen Züchtungszielen und der Abstammung (moderne, ältere Sorten und alte Landsorten) festere oder weichere Kleberstruktur aufwiesen. Dazu wurden an allen Standorten drei Vergleichssorten (Standard) angebaut (in Klammern die Qualitätseinstufungen): Bussard (E), Batis (A), Tambor (A). Die Feldversuche wurden auf jedem Standort mit 2 - 4 Wiederholungen angelegt. Untersucht wurden jeweils Mischproben dieser Wiederholungen (n = 90). Die Varianten wurden im Folgenden, auch wenn es sich um Zuchtstämme handelte, als Sorten bezeichnet.

Folgende Analysen wurden durchgeführt:

Vermahlung:

Die Proben wurden für die Ganzkornanalysen mittels einer Ultrazentrifugalmühle ZM1 (Fa Retsch, Siebgröße 120 µm) sowie für die Bereitung des Endospermmehls mittels einer Laborwalzenstuhlmühle AQC 109 (baugleich mit Brabender Quadrumat Juni-

or) vermahlen. Letzteres Produkt wird im Text als Mehl bezeichnet. N- und S-Analyse: Die Schwefelanalyse erfolgte mittels Röntgenfluoreszenzanalyse nach Schnug und Haneklaus (1999). Der N-Gehalt der Proben wurde nach *Kjeldahl* bestimmt.

Proteinfraktionierung:

Die Analyse von Gliadin und Glutenin (Gesamt- und HMW-Glutenin) erfolgte nach Wieser (2000 a) mittels fraktionierter Extraktion und nachfolgender Quantifizierung durch Fällung der Proteine und photometrischer Trübungsmessung bei 450 nm. Die für die Trübungsmessung der verschiedenen Proteinfraktionen anfallenden Aliquote differieren, und die gemessenen Absorptionseinheiten dieser Methode stellen keine absoluten Proteingehalte dar. Die erhaltenen Werte von Gesamt- und HMW-Glutenin wurden daher auf das Aliquot des Gliadins (von 0,1 ml) sowie gleiche Ansätze in der Kuvette (von 1,5 ml) umgerechnet, besonders um für die Glutenin:Gliadin-Verhältnisse mit anderen Methoden vergleichbare Werte zu erhalten. Die Variationskoeffizienten der Proteinfraktionen (zusammen für Extraktion, Fällung, Messung) betragen im Mittel aller Untersuchungen 1,8 % (Gliadin), 3,0 % (Gesamt-Glutenin) und 2,8 % (HMW-Glutenin) und lagen damit in dem von Wieser (2000 a) für dieses Verfahren als ausreichend angegebenen Bereich.

Zugfestigkeitsmessungen an Weizenklebern:

Die Kleberpräparation erfolgte mit einer Glutomatic (Fa. Falling Number). Hierzu wurden 10 g Mehl mit ca. 6 ml 2 %iger NaCl angeteigt, und nach 2 Min. Teigruhe wurde der Kleber in der Glutomatic ausgewaschen. Die Zugfestigkeit des präparierten Klebers wurde nach Kieffer et al. (1981, 1998) mit einem SMS Texture Analyzer (Fa. Winopal) bestimmt.

Ergebnisse

Die N-Gehalte der Proben variierten mit Werten von 1,50 – 2,79 % um fast das Doppelte (Abb. 1). Da Schwefel ein Bestandteil des Proteins ist, stieg auch dessen Gehalt mit dem N-Gehalt an (Abb. 1). Alle Proben wiesen ausreichende S-Gehalte auf, und das N:S-Verhältnis war stets enger als 17:1, welches als Grenzwert für eine hohe Backqualität gilt. Die S-Gehalte und N:S-Verhältnisses zeigten jedoch deutliche Sortenunterschiede: Die S-Gehalte der Sorten Imu, Inntaler, Hafi, S2.27.3, S1.09.1, SDA, B7 und Rastatter (im Folgenden bezeichnet als Sortengruppe S+) lagen deutlich höher und stets oberhalb des Mittels (Regressionslinie) der Sorten Batis, Bussard, Tambor, BP-130, C7, EPG-18, F113, FMH-144, Jacoby 2, PGR und PK54 (bezeichnet als Sortengruppe S-) (Abb. 1). Die mittleren N:S-Verhältnisse unterschieden sich mit 14,0 (Sortiment S-) und 12,2 (Sortiment S+) signifikant. Mit Blick auf einzelne Sorten wiesen Imu und EPG-18 mit Werten von 11,4 und 15,1 die am stärksten sich unterscheidenden N:S-Verhältnisse

auf und kennzeichnen damit sowohl die starke Variabilität des untersuchten Materials, als auch den weiten Selektionsspielraum für die Züchtung.

Auch die Kleberzugfestigkeiten variierten stark, wie an einigen Extensogrammbeispielen ersichtlich wird (Abb. 2). Der Grund dafür liegt natürlich zum einen in den Sortenunterschieden, zum anderen in den N-Gehalten der Mehle begründet: Stiegen letztere, sanken die Dehnwiderstände der Kleber. Diese Beziehung ist exemplarisch in Abb. 3 dargestellt. Die verschiedenen Sorten reagierten auf sinkende N-Gehalte des Mehls sehr unterschiedlich: Die Steigungskoeffizienten der linearen Regressionen aller Sorten lagen zwischen -0,01 (Imu) und -1,0 (B7) (Abb. 3). Dabei wiesen 15 der untersuchten 19 Sorten sehr hohe Bestimmtheitsmaße von 57 bis 95 % auf, was innerhalb einer Sorte die bekannte Bedeutung des N-Gehaltes des Korns für die Kleberstruktur unterstreicht.

Aufgrund der geringen Probenzahl ($n = 5$) fielen trotz hoher Bestimmtheitsmaße nicht alle Regressionen signifikant aus. Dennoch wurden in Abb. 3 zur besseren Darstellung des Spektrums der Steigungen (d.h. des unterschiedlichen Verhaltens der Sorten, auf sinkende N-Gehalte mit steigenden Dehnwiderständen zu reagieren) auch bei nicht signifikanten Beziehungen (n.s.) die Regressionsgeraden angezeigt.

Die Beziehung zwischen den N-Gehalten und den Kleberzugfestigkeiten zeigte deutlich zwei Gruppen (Abb. 4): Die Dehnwiderstände der Sorten EPG-18, Hafi, Imu, Inntaler, PK54, Rastatter, SDA und S2.27.3 (im Folgenden bezeichnet als DW-) lagen bei vergleichbaren N-Gehalten niedriger als die der Sorten Batis, Bussard, Tambor, BP130, B7, C7, F113, FMH144, Jacoby 2, PGR und S1.09.1 (im Folgenden bezeichnet als DW+).

Der über alle Sorten der Gruppe DW- gemittelte Steigungskoeffizient der linearen

Regressionen der Beziehungen zwischen N-Gehalten und Dehnwiderständen (gemäß Abb. 3) lag mit einem Wert von -0,35 signifikant niedriger als der der Sortengruppe DW+ mit einem Wert von -0,58. Damit reagierten die Sorten der Gruppe DW- auf sinkende N-Gehalte des Korns weniger empfindlich mit einer Verfestigung des Klebers als die der Gruppe DW+, wiesen allerdings auch weichere Kleber auf. Zu beachten ist, dass die Sorten der Gruppen DW- und DW+ (Abb. 4) zwar weitgehend, aber nicht vollständig mit den Sorten der Gruppen S+ und S- (Abb. 1) identisch sind. Diese unterschiedliche Klassifizierung ist darauf zurückzuführen, dass die Gruppierung für jedes Merkmal getrennt erfolgte und nicht auf Basis einer Zuordnung zur S- und S+ Gruppe.

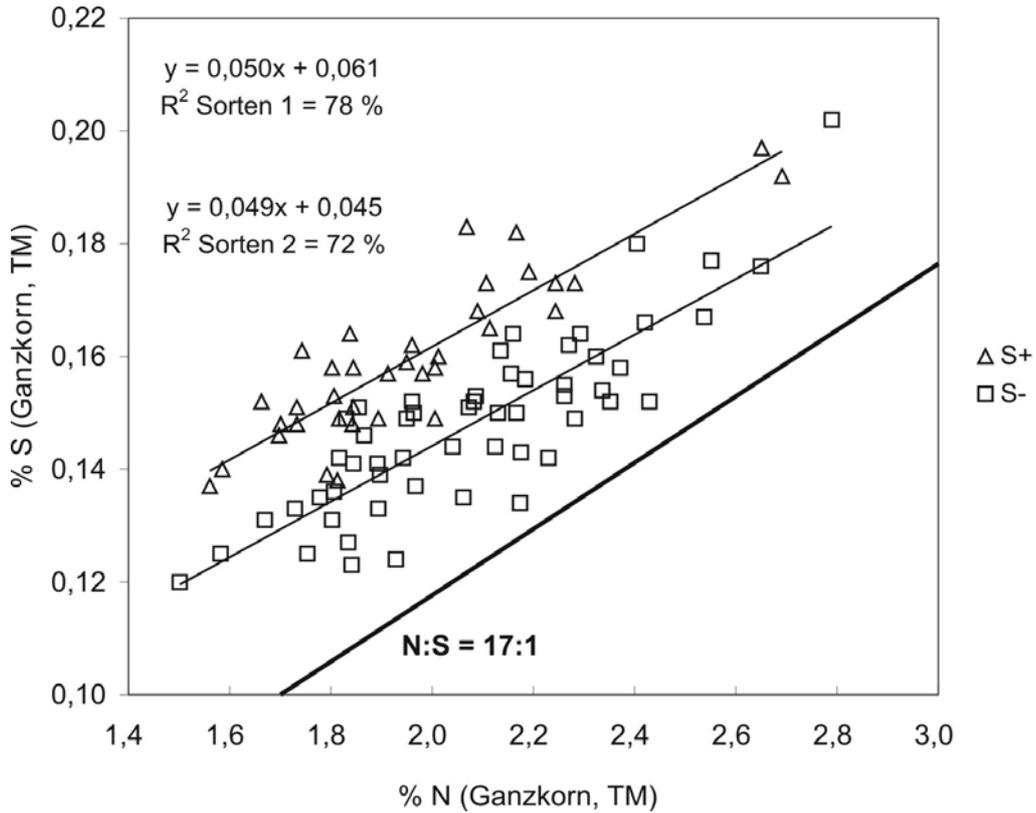


Abb. 1: Beziehung zwischen N- und S-Gehalten von Weizensorten (Ganzkorn) eines Ringversuchs (Erklärungen: S+ = Sorten B7, Hafi, Imu, Inntaler, Rastatter, SDA, S1.09.1 und S.2.27.3; S- = Sorten Batis, BP-130, Bussard, C7, EPG-18, FMH-144, F113, Jacoby 2, PK54 und Tambor)

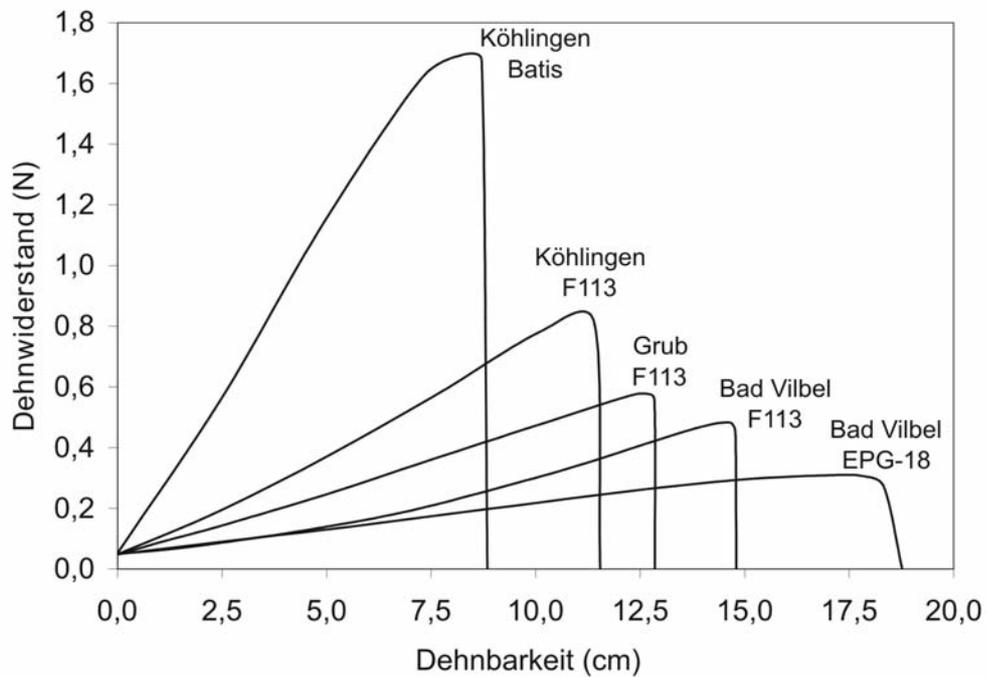


Abb. 2: Spektrum des Zugverhaltens von Weizen eines Ringversuchs anhand verschiedener Weizensorten (Batis, EPG-18, F113) ausgewählter Standorte (Bad Vilbel, Grub, Köhlingen) (Erklärung: N = Newton)

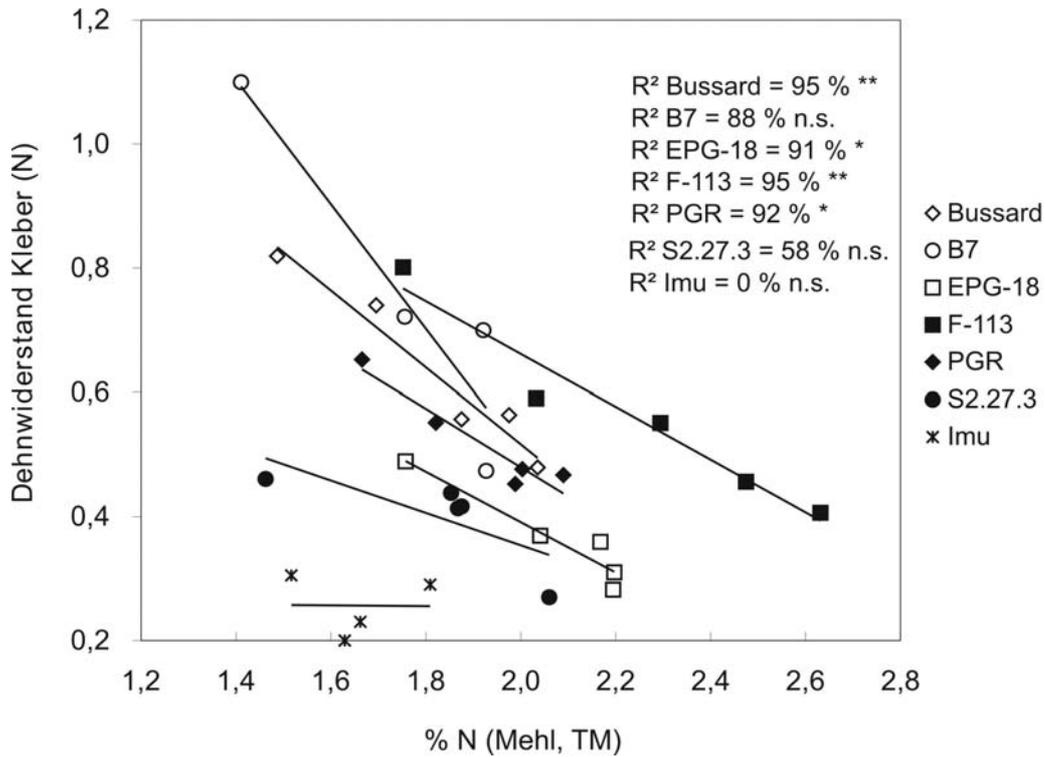


Abb.3: Beziehungen zwischen N-Gehalten (Mehl) und Kleberzugfestigkeiten von Weizensorten eines Ringversuchs (Dehnwiderstand des Klebers, angegeben in Newton (N))

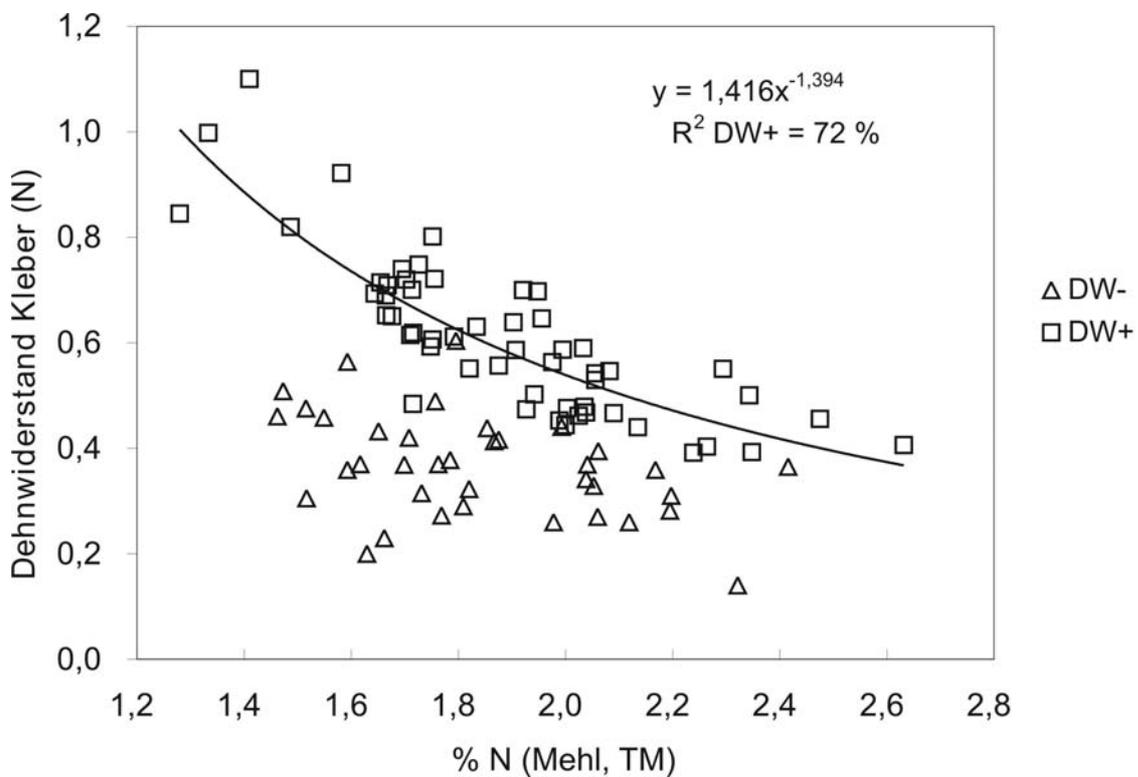


Abb. 4: Beziehungen zwischen N-Gehalten (Mehl) und Kleberzugfestigkeiten von Weizensorten eines Ringversuchs (Erklärungen: N = Newton; DW- = Sorten EPG-18, Hafi, Imu, Inntaler, PK54, Rastatter, SDA, S2.27.3; DW+ = Sorten Batis, Bussard, Tambor, BP-130, B7, C7, FMH-144, F113, Jacoby 2, PGR, S1.09.1)

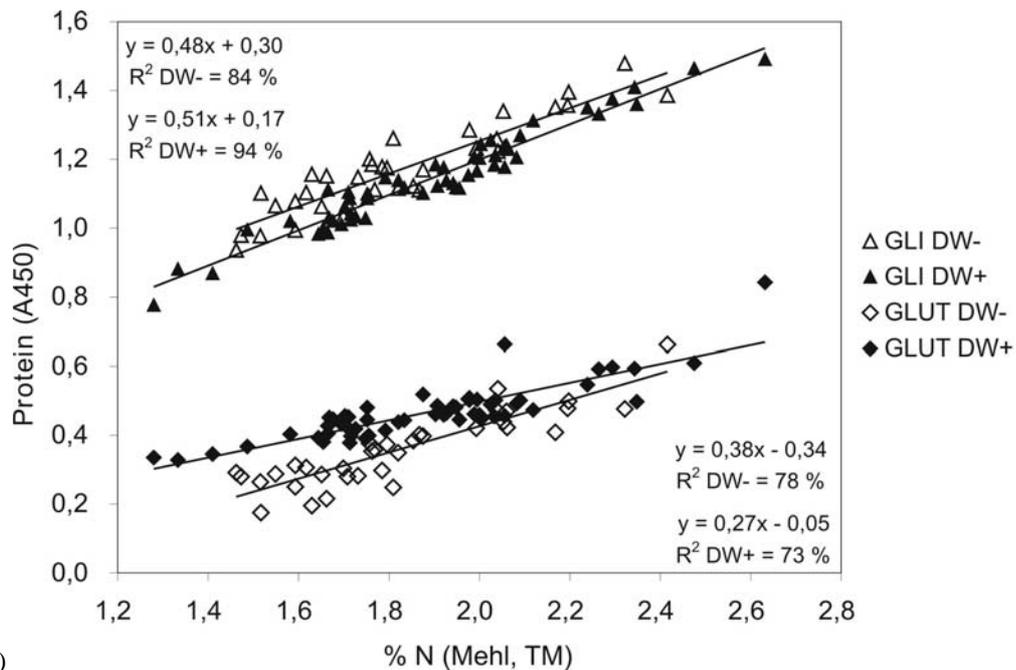


Abb. 5: Beziehungen zwischen den N-Gehalten sowie Gliadin (GLI) und Gesamt-Glutenin (GLUT) von Weizen (Mehl) eines Ringversuchs (Erklärungen: A 450 = Absorptionseinheiten, DW- und DW+ = Sortengruppen gemäß Abb. 4)

Mit steigenden N-Gehalten der Mehle stiegen auch die Gehalte an Gliadin, Gesamt- und HMW-Glutenin (Abb. 5 und 6). Aus den Steigungskoeffizienten der linearen Regressionen ist der gegenüber dem Gesamt-Gluteningehalt stärkere Anstieg des Gliadins ersichtlich. Da die verschiedenen Proteinfractionen von großem Einfluß auf den Dehnwiderstand des Klebers sind, wurden die in den Abb. 5–7 dargestellten Beziehungen gemäß den Sortengruppen DW- und DW+ (Abb. 4) untergliedert: Die Gruppe DW+ wies gegenüber der Gruppe DW- auf niedrigerem Niveau liegende Gliadin-Gehalte sowie auf höherem Niveau liegende Gesamt- und HMW-Glutenin-Gehalte auf. Dementsprechend unterschiedlich fielen auch die Beziehungen der N-Gehalte zu den Glutenin:Gliadin-Verhältnissen aus (Abb. 7). Während die der Sortengruppe DW- mit steigendem N-Gehalt ebenfalls stieg ($R^2 = 47\%$), fiel die Beziehung der Gruppe DW+ nicht signifikant aus. Deren Proben wiesen schon bei niedrigen N-Gehalten hohe Glutenin:Gliadin-Verhältnisse auf, die mit steigenden N-Gehalten nicht mit einer weiteren Steigerung reagierten. Insgesamt variierten die Glutenin:Gliadin-Verhältnisse mit Werten von 0,16 bis 0,56 stark, was noch einmal die qualitative Heterogenität des untersuchten Materials unterstreicht. Mit steigendem Glutenin:Gliadin-Verhältnis stieg der Dehnwiderstand der Kleber (Abb. 8). Allerdings war diese Beziehung über alle Proben nur schwach ausgeprägt ($R^2 = 19 \%$). Dies änderte sich allerdings, nachdem die Proben in drei Gruppen mit unterschiedlichen N-Gehalten des Korns unter-

gliedert wurden: Die Gruppen mit niedrigen (1,28–1,65 %) und mittleren N-Gehalten (1,66–2,0 %) wiesen starke und positive Beziehungen zwischen dem Glutenin:Gliadin-Verhältnis und dem Dehnwiderstand auf ($R^2 = 79$ und 49% ; Abb. 8). Dagegen wies die Gruppe der Proben mit dem höchsten N-Gehalt (2,02–2,63 %) nur eine schwache Beziehung zum Dehnwiderstand auf ($R^2 = 19 \%$). Je höher der N-Gehalt der Proben war, desto geringer wurde also innerhalb dieser Gruppe die Bedeutung des Glutenin:Gliadin-Verhältnisses für den Dehnwiderstand des Klebers. Die differenzierende Wirkung des N-Gehaltes des Korns auf die Kleberzugfestigkeit war umso deutlicher, je höher das Glutenin:Gliadin-Verhältnis der Proben ausfiel. Das heißt, bei niedrigen Glutenin:Gliadin-Verhältnissen von ca. 0,15–0,35 war der N-Gehalt ohne Einfluss auf die Kleberstruktur (Abb. 8). Bei Betrachtung aller Proben und einem vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnis $>$ ca. 0,35 war damit der N-Gehalt des Korns für die Kleberzugfestigkeitausschlaggebend: Letzterer stieg bei einem Glutenin: Gliadin-Verhältnis von z.B. 0,40 mit sinkendem N-Gehalt von rund 0,4 N auf 0,9 N um mehr als das Doppelte an (Abb. 8). Dies ist insofern bemerkenswert, als die für die Steigerung der Kleberzugfestigkeit wichtigen HMW-Glutenin-Gehalte im Mehl bei einem Glutenin:Gliadin-Verhältnis von 0,40 mit abnehmenden N-Gehalt des Mehls erwartungsgemäß sanken (Abb. 9).

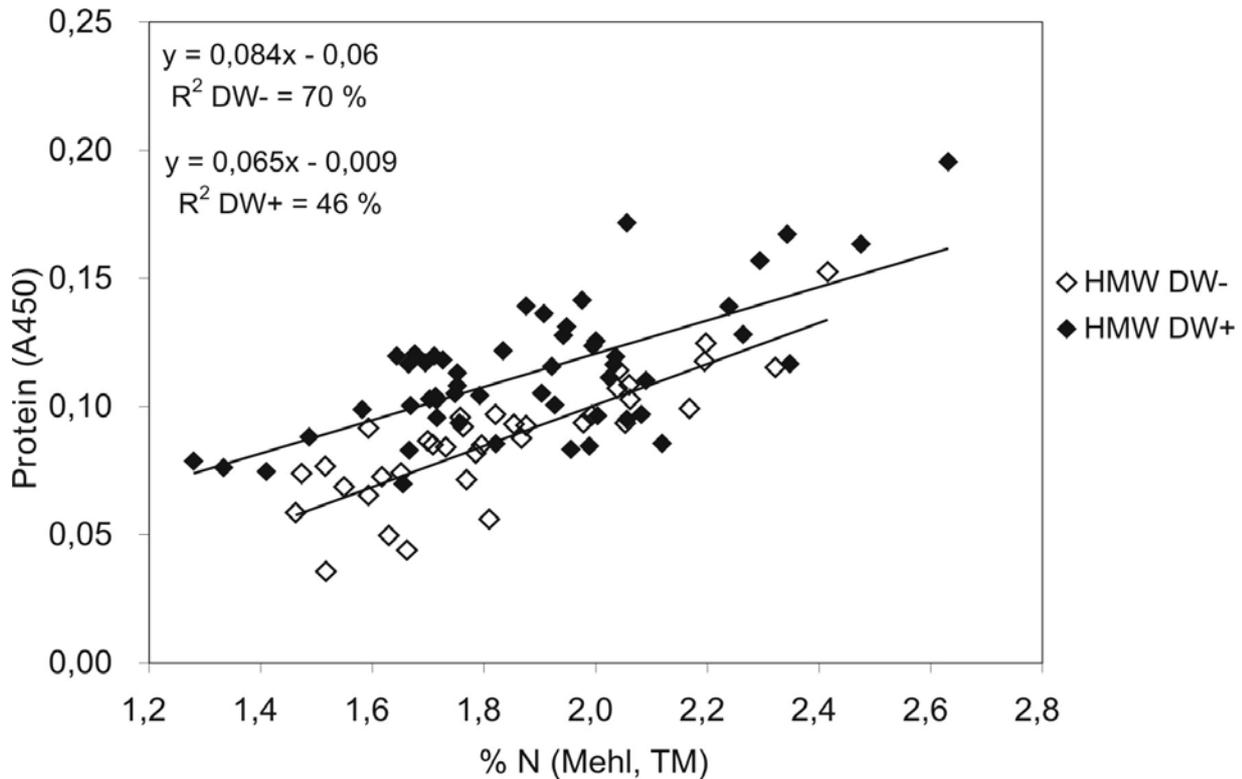


Abb. 6: Beziehungen zwischen den Gehalten an N und HMW-Glutenin (HMW) von Weizen (Mehl) eines Ringversuchs, (Erklärungen: A 450 = Absorptionseinheiten, DW- und DW+ = Sortengruppen gemäß Abb. 4)

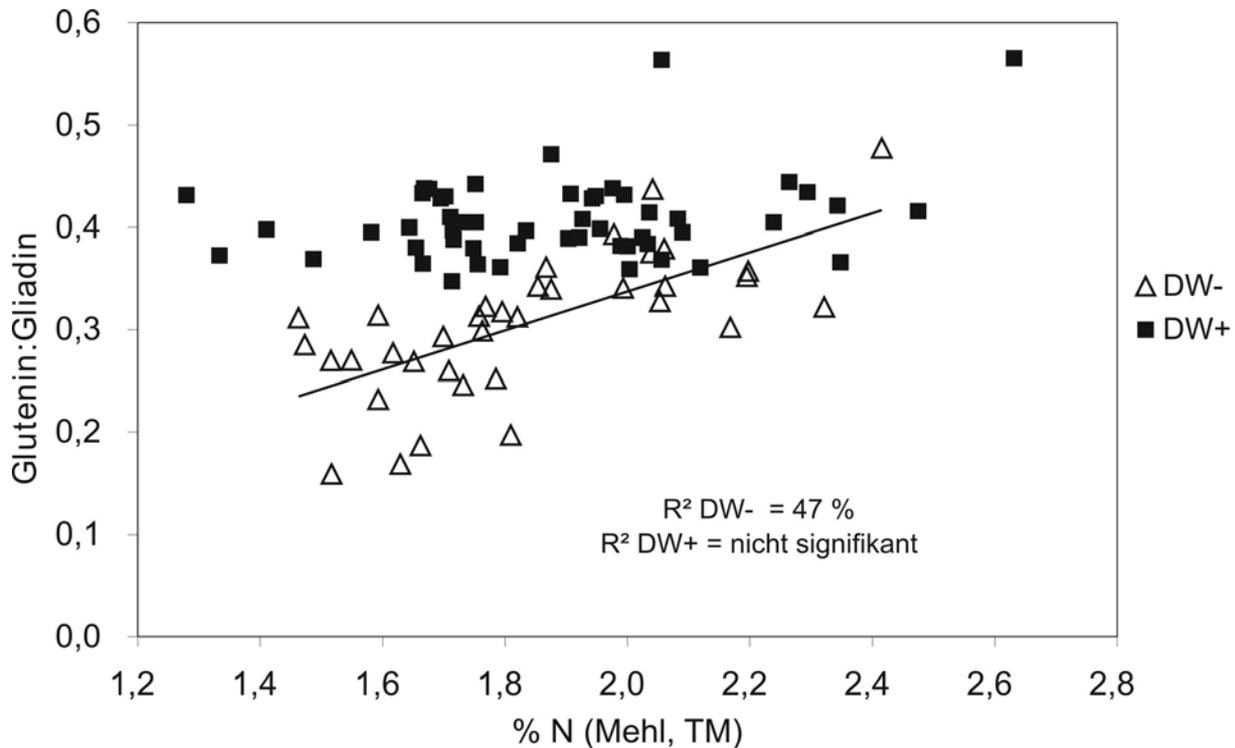


Abb. 7: Beziehung zwischen N-Gehalten und Glutenin:Gliadin-Verhältnissen von Weizen (Mehl) eines Ringversuchs, (Erklärungen: DW- und DW+ = Sortengruppen gemäß Abb. 4)

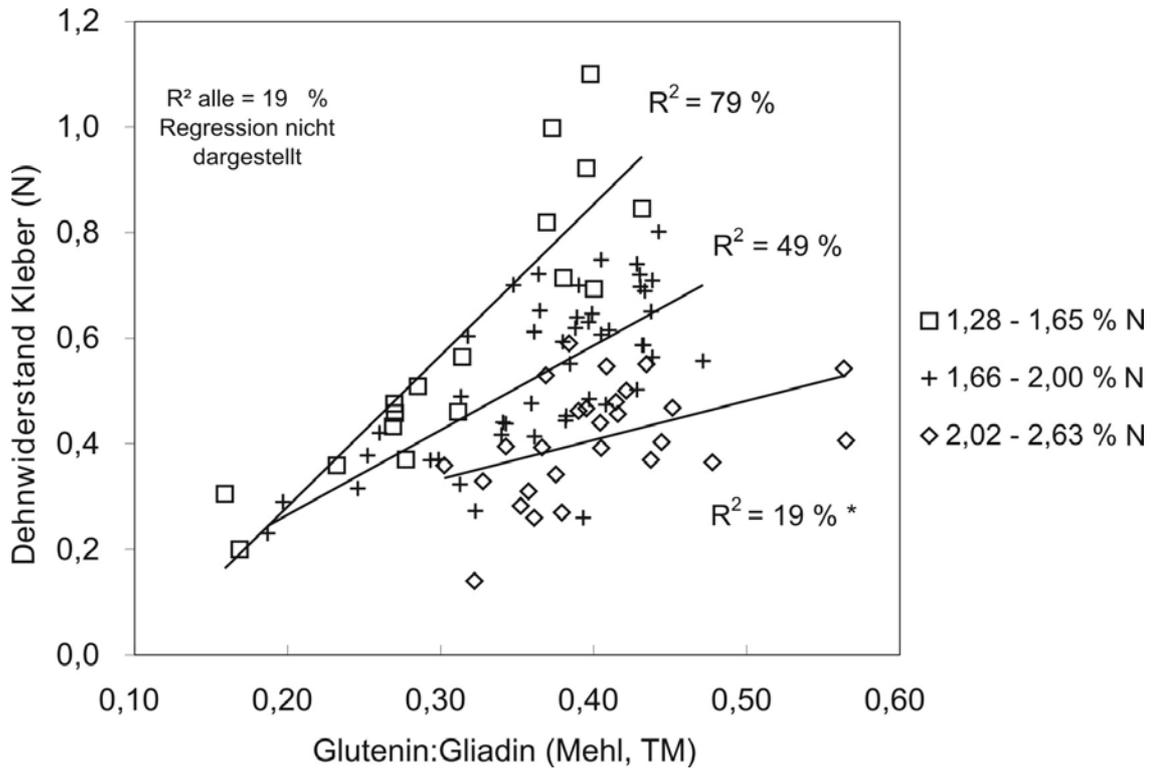


Abb. 8: Beziehungen zwischen Glutenin:Gliadin-Verhältnissen und Kleberzugfestigkeiten von Weizen eines Ringversuchs, gegliedert in drei Gruppen unterschiedlicher N-Gehalte

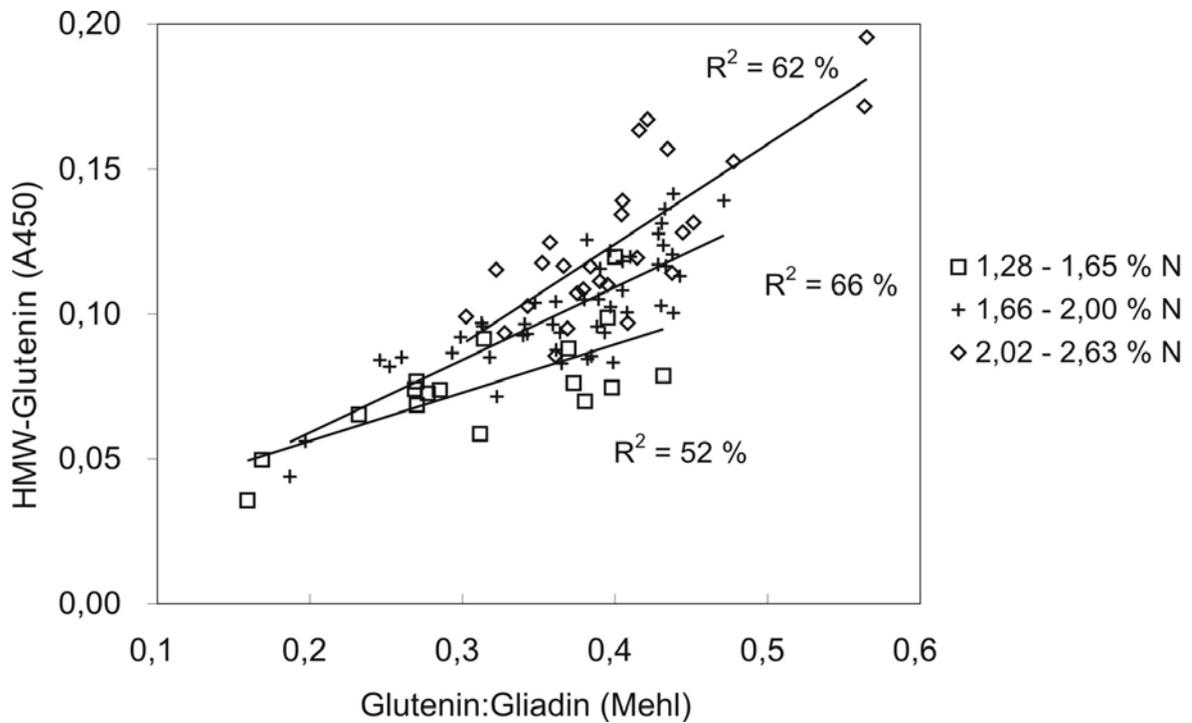


Abb. 9: Beziehung zwischen Glutenin:Gliadin-Verhältnissen und HMW-Glutenin-Gehalten von Weizen eines Ringversuches, gegliedert in drei Gruppen unterschiedlicher N-Gehalte

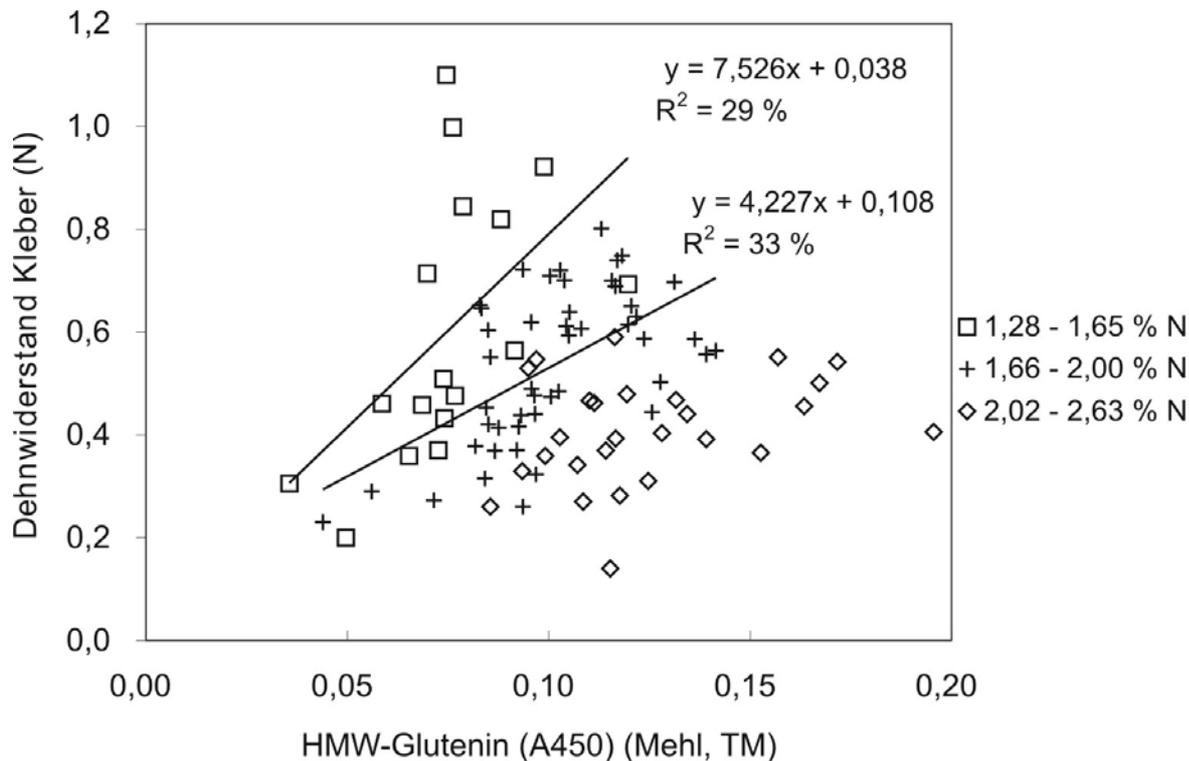


Abb. 10: Beziehungen zwischen HMW-Glutenin-Gehalten und Kleberzugfestigkeiten von Weizen eines Ringversuchs (Erklärung: A450 = Absorptionseinheiten)

Auch der Gehalt an HMW-Glutenin wies nicht auf eine herausragende Bedeutung dieser Proteinfraction für den Dehnwiderstand hin, da die Beziehungen zwischen diesen beiden Parametern nur schwach ausgeprägt waren ($R^2 = 29$ und 33%) bzw. in der Proben-Gruppe mit den höchsten N-Gehalten des Mehls (2,02–2,63 %) nicht signifikant ausfielen (Abb. 10). Im Vergleich hierzu war der N-Gehalt des Mehls bei einem vergleichbaren Gehalt an HMW-Glutenin (von z.B. 0,10 Absorptionseinheiten) ausschlaggebend für die Zugfestigkeit des Klebers, wobei niedrigere N-Gehalte im Mittel festere Kleber lieferten (Abb. 10).

Diskussion

Die Lockerung des Teiges durch die Gärgase ist entscheidend für Aussehen, Textur, sensorische Eigenschaften und Volumenausbeute des Gebäckes. Vor allem Art und Mengenverhältnis der verschiedenen Proteinfractionen des Weizens beeinflussen Kleber- und Teigstruktur und damit das Backergebnis. Während die Gliadine zur Viskosität und Dehnbarkeit beitragen, werden die Glutenine als Hauptfaktor für die Elastizität (d.h. für die Festigkeit) angesehen (Wieser et al., 1994). Zusätze von Gliadin führen zu weicheren und dehnbareren Klebern (Kim et al., 1988). Dagegen wurde seit der grundlegenden Arbeit von Orth und Bushuk (1972) immer wieder die den Kleber und Teig festigende (Seilmeier et al., 1992; Antes & Wieser, 2000; Wieser & Kieffer, 2001) bzw. zu einer besseren

Backqualität (höherem Backvolumen) führende Wirkung des Glutenins bestätigt (Field et al., 1983; Gupta et al., 1993). Besonders das HMW-Glutenin induziert höhere Dehnwiderstände des Klebers (Wieser et al., 1994; Seilmeier et al., 1992; Schropp & Wieser, 1994; Antes & Wieser, 2000; Wieser & Kieffer, 2001) und spielt daher eine Schlüsselrolle in der Kleberstruktur (Wieser & Zimmermann, 2000). Das niedrigere molekulare LMW-Glutenin besitzt diese Fähigkeit nicht bzw. in viel geringerem Maße (Antes & Wieser, 2000; Wieser & Kieffer, 2001). Zwischen der Festigkeit von Kleber und Teig und dem Gebäckvolumen bestehen starke Beziehungen (Field et al., 1983; Kieffer et al., 1998), da festere Kleber und daher eine festere Proteinmatrix des Teiges ein zu starkes Entweichen der Gärgase aus dem Gebäck verhindert. Noch zu Beginn der 60er Jahre musste in Deutschland der inländische Weizen - der damals mit 10,5 bis 11 % auch noch niedrigere Proteingehalte aufwies als heute - mit 25 bis 28 % kanadischem bzw. amerikanischem Weizen aufgemischt werden (Bolling, 1989). Verständlicherweise bestanden daher die züchterischen Intentionen mit Blick auf die Backqualität des Weizens in einer Straffung seiner Proteinstruktur. Trotz der hervorragenden Backeigenschaften der existierenden E- und A-Sorten ist dieser Prozess der züchterischen Steigerung des Backvolumens heute noch nicht beendet.

Bekanntlich wird mit steigender N-Düngung des Weizens der Teig (Jahn-Deesbach et al., 1989; Brümmer & Seibel, 1991; Prieto et al., 1992). bzw. der Kleber weicher (Johansson & Svensson, 1999). Entsprechend belegen Untersuchungen (auch mit Blick auf den Ökolandbau) bei niedrigeren Rohproteingehalten des Korns kürzere (d.h. festere) Teige (Wirries & Büning-Pfaue, 1995) bzw. festere Kleber (Rychener et al., 1992; Münzing, 2001), was durch die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigt wird (Abb. 3 und 4). Ein Hauptfaktor dafür wird in der den Kleber erweichenden Wirkung des Gliadin-Gehaltes gesehen, der mit steigendem Rohproteingehalt des Korns stärker ansteigt als das den Kleber verfestigende Glutenin (Jahn-Deesbach & Weipert, 1967; Doekes & Wennekes, 1982; Gupta et al., 1992; Wieser & Seilmeier, 1998), was ebenfalls durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigt wird (Abb. 5). Aus den oben genannten Eigenschaften von Gliadin und Glutenin ist die herausragende Bedeutung des Glutenin:Gliadin-Verhältnisses für Rheologie und Backvolumen verständlich (Wieser, 2000b; Khatkar et al., 1995; Janssen et al., 1996; Uthayakumaran et al., 1999). Umso erstaunlicher ist die bei den Proben dieser Untersuchung zu konstatierende unzureichende Erklärbarkeit der Kleberzugfestigkeiten aus den Glutenin:Gliadin-Verhältnissen: Die mit ca. 0,4 – 1,1 N sehr großen Unterschiede im Dehnwiderstand der Sortengruppe DW+ (Abb. 4) sind nicht aus deren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen zu erklären, da letztere sich nicht veränderten bzw. keine Beziehung zum N-Gehalt aufwiesen (Abb. 7). Andererseits lagen die Glutenin:Gliadin-Verhältnisse der weichere Kleber aufweisenden Sortengruppe DW- im Bereich niedrigerer N-Gehalte (1,4 – 1,8% N) zwar deutlich unter denen der festere Kleber aufweisenden Gruppe DW+ (Abb. 7), was der bekannten Kausalität dieser beiden Parameter entspricht. Jedoch führten mit steigenden N-Gehalten ebenfalls ansteigende Glutenin:Gliadin-Verhältnisse nicht ebenfalls zu höheren, sondern zu niedrigeren Dehnwiderständen (Abb. 4). Bereits hier muss also die Frage gestellt werden, ob das bekannte Erklärungsschema der Kleberzugfestigkeit vor allem aus den verschiedenen Proteinfractionen und ihren Proportionen zueinander immer zutrifft oder ergänzungsbedürftig ist. Bisher wurden Differenzierungen der Kleberzugfestigkeit durch den N-Gehalt des Korns bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen (Abb. 8) nicht untersucht. Daher stellen die Ergebnisse ein Novum dar. Die bei einem vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnis beobachteten Steigerungen des Dehnwiderstandes von der Gruppe mit den höchsten zu der mit den niedrigsten N-Gehalten waren mit mittleren Kleberzugfestigkeitswerten von rund 0,4 – 0,9 N beträchtlich. Der Gehalt an HMW-Glutenin war hierbei jedoch ohne Bedeutung, da die Beziehungen zwischen den Glutenin:Gliadin-Verhältnissen und den Gehalten an

HMW-Glutenin (Abb. 9) eine inverse Gliederung der drei Probengruppen aufwies, das heißt bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen wies z.B. die Gruppe mit den niedrigsten N-Gehalten von 1,28 – 1,65% (und den höchsten Zugfestigkeiten) die niedrigsten HMW-Glutenin-Gehalte auf. Dasselbe traf für die Beziehungen zwischen den HMW-Glutenin-Gehalten und dem Dehnwiderstand (Abb. 10) zu: Auch hier war es die Gruppe mit den niedrigsten N-Gehalten, die bei vergleichbaren HMW-Glutenin-Gehalten im Mittel die höchsten Zugfestigkeiten aufwies.

Vermutlich kommen daher für die Beeinflussung der Kleberzugfestigkeit bisher nicht berücksichtigte oder bislang unbekannt Faktoren in Betracht. Um Anomalien in der S-Versorgung kann es sich bei dem Weizen dieses Ringversuches nicht gehandelt haben, da keine der Proben S-Mangel anzeigende N:S-Verhältnisse unter 17:1 aufwies und der S-Gehalt mit Werten von $\geq 0,12\%$ als ausreichend versorgt eingestuft werden konnte (Abb. 1). Offenbar ist die N-Versorgung des Weizens für die Kleberkonformation bzw. -struktur ähnlich bedeutungsvoll wie eine ausreichende Schwefelernährung, da eine abnehmende N-Versorgung insbesondere bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen zu festeren Klebern führt.

Die Analyse von Daten einer Studie von Kieffer und Wieser (1996) bestätigt diese Hypothese eines Einflusses des N-Gehaltes auf die Proteinstruktur, allerdings mit umgekehrten Vorzeichen: Diese Autoren untersuchten ein Probensortiment von konventionell angebauten Weizensorten mit stark variierenden Kleberzugfestigkeiten. Die Glutenin:Gliadin-Verhältnisse dieser Sorten (Abb. 11) waren mit denen der vorliegenden eigenen Untersuchung vergleichbar (Abb. 8). Deren Glutenin:Gliadin-Verhältnisse standen in direkter und enger Beziehung zum Dehnwiderstand ($R^2 = 93\%$), sofern nur die Proben ($n = 8$) mit einem N-Gehalt zwischen 1,63 – 1,91% in die Berechnung einfließen (Abb. 11). Die Kleberzugfestigkeit nahm im Gegensatz zu den vorgestellten Untersuchungen (Abb. 8) mit steigendem N-Gehalt der Probe allerdings nicht ab, sondern zu.

Sicher sind weitere Untersuchungen notwendig, um die Bedingungen, die die Kleberzugfestigkeit bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen in Abhängigkeit vom N-Gehalt des Korn beeinflussen, näher zu prüfen. Möglicherweise kommt jedoch dem HMW-Glutenin nicht oder nicht in diesem Maße die ihm zugeschriebene prominente Rolle für die backtechnologischen Eigenschaften des Weizens zu. Zwar belegen seit fast drei Jahrzehnten viele Untersuchungen dessen besondere Bedeutung für Kleberstruktur und Backvolumen. Shewry et al. (1992) bezeichneten daher die 80er Jahre für die Getreidechemiker als «the decade of the HMW-subunit». Die Reihe der Faktoren der Backqualität war um ein wichtiges Element erweitert worden. Nicht ohne Grund wurde ja von Wieser

(1996, 2000a) für Züchtung, Selektion und genetische Verbesserungen des Weizens die (auch in der vorliegenden Arbeit angewandte) Methode einer Quantifizierung der verschiedenen Proteinfractionen durch Trübungsmessung entwickelt, mit der sehr viel schneller und kostengünstiger größere Probenmengen aufgearbeitet werden konnten als mit der aufwendigen High-Performance-Liquid-Chromatography (HPLC). Nichtsdestotrotz sind gute korrelative Beziehungen zwischen proteinchemischen, rheologischen und backtechnologischen Parametern bei ausgewählten Probensortimenten nicht konsistent zu finden. Hier dürfte Standorteinflüssen eine entscheidende Bedeutung zukommen, die in den Untersuchungen der Getreidechemie jedoch nur selten umfassend berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang wurde bereits auf die Bedeutung der S-Versorgung für die Rheologie hingewiesen. Auch höhere Temperaturen während der Abreife der Pflanze beeinflussen die Teigeigenschaften und das Backvolumen von Weizen erheblich (z.B. Schipper, 1991). Weitere Arbeiten zur Modifizierung rheologischer Eigenschaften von Weizen durch den Faktor Wärme wurden erst kürzlich zusammengefasst (Hagel, 2005). Und sicher haben nicht nur Züchtung und Selektion zu einem Anstieg des Glutenin:Gliadin-Verhältnisses geführt (Hagel et al. 1998, Wieser, 2000b). Dieses Merkmal – welches meistens als genetisch fixiert angesehen wird – wird auch durch N-Düngungspraktiken erheblich beeinflusst, und zwar unabhängig von der Höhe des N-Gehaltes des Korns (Martin et al., 1992). Auch sind Einflüsse der Bodenart zu berücksichtigen (Seilmeier et al., 2001).

Die vorliegende Arbeit (Abb. 8) sowie die Ergebnisse von Kieffer und Wieser (1996, Abb. 11) weisen nun auf einen weiteren Faktor hin, der die Kleberzugfestigkeit beeinflusst, nämlich der N-Ernährungszustand der Pflanze beziehungsweise des Korns. Die verschiedenen Standortverhältnisse und Vegetationsbedingungen scheinen somit von ähnlicher Bedeutung für die Backqualität zu sein wie die Proteinfractionen. Dieser Sachverhalt sollte daher bei zukünftigen Arbeiten zu rheologischen und backtechnologischen Fragen bei Weizenuntersuchungen entsprechend berücksichtigt werden.

Nachfolgend wird die Eignung verschiedener Sorten für den biologisch-dynamischen oder ökologischen Landbau auf Basis der vorliegenden Ergebnisse diskutiert.

In früheren Untersuchungen wurde bereits ausführlich die Problematik niedriger S-Gehalte moderner Weizensorten beschrieben (Hagel, 2000, 2001, 2002, 2005): Diese ergab sich unter anderem aus den höheren Anteilen backtechnologischer bedeutsamer, aber S-ärmerer Proteinfractionen (Glutenin, besonders HMW-Glutenin). Höhere N-Düngung bzw. die Züchtung auf höhere Backqualität durch höhere N-Gehalte erhöht nur den Anteil der S-armen Proteinfractionen Glute-

nin und Gliadin, nicht aber den der S-reichen Fraktion der Albumine und Globuline und führt daher zwangsläufig zu steigenden, d. h. in Richtung eines S-Mangels sich entwickelnden N:S-Verhältnissen. S-Mangel induziert festere Kleber und Teige und damit diejenigen Merkmale, welche die Basis der hohen Backqualität der modernen Sorten bilden. Diese können daher als Ergebnis eines ungewollten züchterisch induzierten S-Mangels angesehen werden (Hagel 2005). Die Selektion solcher physiologischen Extremtypen könnte u.U. eine Erklärung für die heute immer stärker um sich greifenden Nahrungsmittelunverträglichkeiten liefern, da neben Milchprotein der Verzehr von Weizen oftmals der Grund für allergische Reaktionen ist (Husemann & Wolff, 1993). So stieg in Schweden das Auftreten von Coeliakie um 300% nachdem der Klebergehalt von Kindernahrung für unter Zweijährige verdoppelt wurde. Nachdem der Zusatz an Kleber in der Nahrung wieder reduziert worden war, gingen auch die Fälle von Coeliakie auf das normale Maß zurück (Ivarsson et al., 2000). Die Empfindlichkeit auf Kleber beschränkt sich nicht nur auf den Dünndarm (Coeliakie). Weizen kann auch eine Entzündung des Nervensystems hervorrufen mit der Folge einer chronischen Migräne. Diese konnte in 9 von 10 Fällen durch eine strikte Eliminierung von Weizen aus dem Speiseplan geheilt werden (Hadjivassiliou et al., 2002).

Die Beziehungen zwischen S-Gehalt und technologischen Eigenschaften des Weizens (Kleberstruktur) erklären, warum in der vorliegenden Untersuchung das Sortenspektrum der Gruppen S- und DW+ sowie S+ und DW- im Hinblick auf die Backeigenschaften fast identisch ist. Die biologisch-dynamischen Sorten BP-130, B7, C7, FMH-144, F113, Jacoby 2, PGR sowie S1.09.1 der Gruppe DW+ beziehungsweise S- unterscheiden sich mit Blick auf die Beziehung zwischen N-Gehalt des Korns und Dehnwiderstand des Klebers nicht von den modernen und backtechnologisch hochwertigen E- und A-Sorten Batis, Bussard und Tambor (Abb. 1 und 4). Aus den oben genannten Gründen sind diese Sorten jedoch insbesondere für eine Verwendung im biologisch-dynamischen Landbau mit seinen besonderen Ansprüchen an die Nahrungsqualität als fragwürdig zu beurteilen bzw. abzulehnen. Im Vergleich hierzu sind die biologisch-dynamischen Sorten EPG-18, Hafi, Imu, Inntaler, PK54, Rastatter, SDA, S2.27.3 der Gruppe DW- beziehungsweise S+ mit ihren höheren S-Gehalten und weicherem Klebern als günstig zu beurteilen (Abb. 1 und 4).

Hinsichtlich der Abhängigkeit der Kleberzugfestigkeit vom N-Gehalt des Korns bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen (Abb. 8) ist mit Blick auf eine Sortenempfehlung für den ökologischen Landbau Folgendes in Betracht zu ziehen:

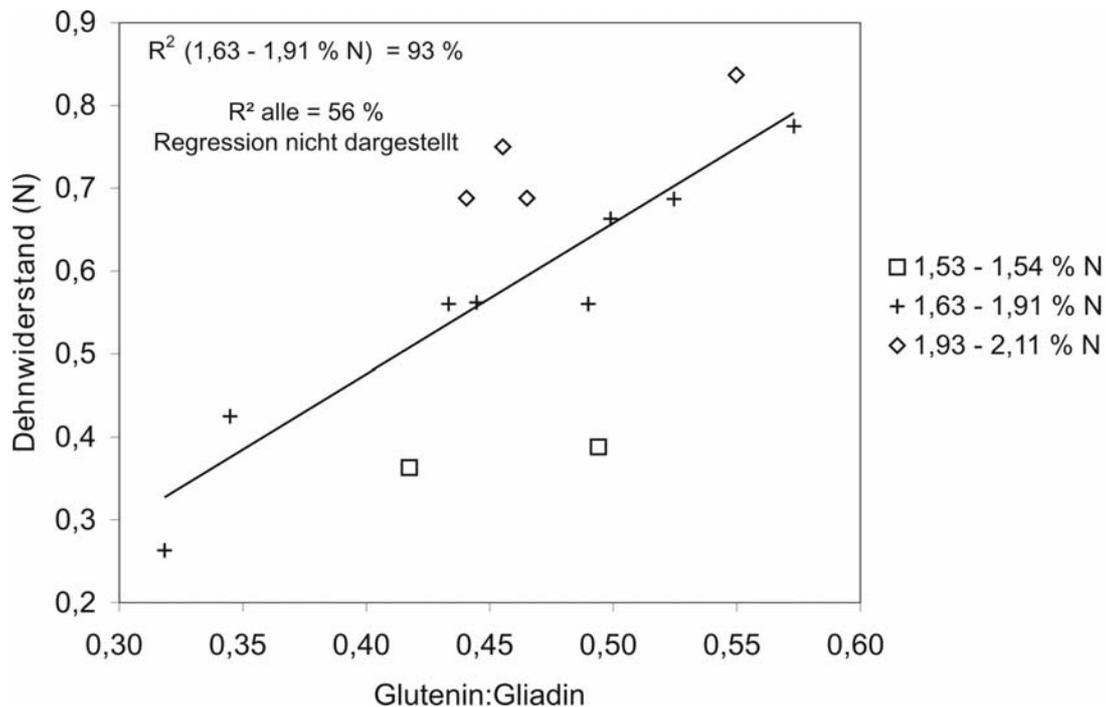


Abb. 11: Beziehungen zwischen Glutenin:Gliadin-Verhältnissen und Dehnwiderständen von Klebern verschiedener Weizensorten aus konventionellem Anbau. (Erläuterungen: Grafik erstellt nach Daten von Kieffer & Wieser, 1996; N = Newton)

Nicht nur Klebermenge, sondern auch -qualität (Festigkeit) sind für die technologische Qualität (Backvolumen) einer Weizensorte ausschlaggebend. Züchterisches Ziel ist die Verbesserung beider Merkmale. Mit steigendem N-Gehalt des Korns (und damit steigender Klebergehalte) sinkt jedoch die Kleberqualität, d.h. die Kleber werden weicher. Die Ergebnisse, dargestellt in den Abb. 3 und 4, bestätigen diese Zusammenhänge. Damit ergibt sich jedoch ein Konflikt zwischen dem Zuchtziel einer höheren Backqualität durch einen höheren Klebergehalt und dem einer höheren Backqualität durch festere Kleber. Bislang wird dieses Problem züchterisch durch die Selektion von Genotypen, die bei höheren Klebergehalten nicht oder in geringerem Maße weichere Kleber bilden und somit ein erhöhtes Backvolumen realisieren, gelöst.

Diese Genotypen bzw. Sorten reagieren auf eine ungenügend hohe N-Versorgung mit einer sehr viel stärkeren Verfestigung des Klebers, da sie einen entsprechend höheren N-Bedarf aufweisen. Bei den Sorten der Gruppe DW- (Abb. 4) war diese züchterische Veränderung noch nicht bzw. in vermindertem Maße feststellbar. Anhand dieser Ergebnisse in kann ferner geschätzt werden, dass die Probengruppe DW- erst bei ca. 1,0 % niedrigeren N-Gehalten eine mit der Gruppe DW+ vergleichbare Verfestigung des Klebers erreichen würde.

Diese Zunahme der Kleberfestigkeit bei sinkendem N-Gehalt vollzieht sich sogar bei vergleichbaren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen von > 0,35 (Abb. 8).

Die Ergebnisse zeigen, dass kleberstarke Weizensorten unter den Anbauverhältnissen des ökologischen Landbaus hinsichtlich ihrer Kleberproteinphysiologie als nicht ausreichend mit N ernährt zu betrachten sind und daher als ungünstig für den ökologischen Landbau zu bewerten sind. Hinsichtlich des Aspekts der Kleberqualität sind die biologisch-dynamischen Sorten EPG-18, Hafi, Imu, Inntaler, PK54, Rastatter, SDA, S2.27.3 der Gruppe DW- beziehungsweise S+ mit ihren weicheren Klebern im ökologischen Landbau zu bevorzugen.

Danksagung

Den biologisch-dynamischen Züchtern Dr. B. Heyden, E. Irion, P. Kunz, Dr. K.J. Müller und Dr. H. Spieß danken wir für die Überlassung von Probenmaterial. Der Firma Winopal Forschungsbedarf GmbH, Ahnsbeck, danken wir für die Bereitstellung eines Texture Analyzers.

Literatur

Antes S, Wieser H (2000) Effect of HMW and LMW subunits of glutenin on the rheological dough properties and bread-making quality of wheat. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Jahresbericht, 180-187

Bolling H (1989) Qualitätsentwicklung bei Weizen und Roggen in den letzten 25 Jahren. Brot und Back-

weizen 9: 314-327

Brümmer JM, Seibel W (1991) Verarbeitungseigenschaften von Weizen aus extensiviertem Anbau. Getreide Mehl Brot 45: 336-341

Doekes GJ, Wennekes LMJ (1982) Effect of nitrogen fertilization on quantity and composition of wheat flour protein. Cereal Chem 59: 276-278

Eisenberg B, Steinhart H, Bosselmann A (1994) Berechnungsmodell zur Vorhersage des Backvolumens (RMT) bei Weizen. Getreide Mehl Brot 48: 48-52

Field JM, Shewry PR, Mifflin BJ (1983) Solubilisation and characterisation of wheat gluten proteins: Correlations between the amount of aggregated proteins and baking quality. J Sci Food Agric 34: 370-377

Gupta RB, Batey IL, MacRitchie F (1992) Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. Cereal Chem 69: 125-131

Gupta RB, Khan K, MacRitchie F (1993) Biochemical basis of flour properties in bread wheats. II Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. J Cereal Sci 18: 23-41

Hadjivassiliou M, Grünewald RA, Davies GAB (2002) Gluten sensitivity as a neurological illness. J Neurol Neurosurg Psychiatry 72, 560-563

Hagel I (2000) Biobrot aus Schwefelmangelweizen? Ein Beitrag zur Qualitätsbeurteilung der festen Proteinstruktur moderner Weizensorten. Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Darmstadt, Schriftenreihe Band 14. zu finden in:

http://www.Umkreis-Institut.de/index_fpub.htm

Hagel I (2001) Unser tägliches Brot aus Schwefelmangelweizen. Der Merkurstab 54: 201-205

Hagel I (2002) Weizenzüchtung auf hohe technologische Qualität durch induzierten Schwefelmangel. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung e.V., XXXVII. Vortragstagung, 4. - 5. März 2002, Hannover, 307-312

Hagel I (2005) Sulfur and baking-quality of breadmaking wheat. In: Schnug E, De Kok LJ (eds) Proceedings of the 1st Sino-German Workshop on Aspects of Sulphur Nutrition of Plants, 23 - 27 May 2004 in Shenyang, China. Landbauforsch Völknerode SH 283, 23-36

Hagel I, Spiess H, Schnug E (1998) Proteinqualität alter und moderner Winterweizensorten und -zuchtstämme. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) XXXIII. Vortragstagung, 23. - 24. März 1998, Dresden, 165-170

Haneklaus S, Evans E, Schnug E (1992) Baking quality and sulphur content of wheat. I. Influence of grain sulphur and protein concentrations on loaf volume. Sulphur in Agric 16: 31-34

Husemann F, Wolff O (1993) Das Bild des Menschen als Grundlage der Heilkunst. Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 533

Ivarsson A, Persson LA, Nyström L, Ascher H, Cavell B, Danielsson L, Dannaeus A, Lindberg T, Lindquist B, Stenhammar L, Hernell O (2000) Epidemic of celiac disease in Swedish children. Acta Paediatr 89, 165-171

Jahn-Deesbach W, Weipert D (1967) Über einige durch Spätdüngung verursachte Veränderungen im Getreidekorn. Z Acker- und Pflanzenbau 125: 211-218

Jahn-Deesbach W, Dreyer E, Seibel W (1989) Über die Eignung verschiedener Weizensorten mit unterschiedlichem Proteinniveau für die Herstellung von Vollkornbackwaren. Getreide Mehl Brot 43: 239-244

Janssen AM, van Vliet T, Vereijken JM (1996) Rheological behaviour of wheat gluten at small and large deformations. Effect of gluten composition. J Cereal Sci 23: 33-42

Johansson E, Svensson G (1999) Influences of yearly weather quality in Swedish grown wheats containing HMW glutenin subunits 2 + 12 or 5 + 10 cultivated during the period 1990 - 96. J Agric Sci 132: 13-22

Khatkar BS, Bell AE, Schofield JD (1995) The dynamic rheological properties of gluten sub-fractions from wheat of good and poor bread making quality. J Cereal Sci 22: 29-44

Kieffer R, Wieser H (1996) Bedeutung einzelner Kleberproteintypen für die im Mikromaßstab bestimmten Verarbeitungseigenschaften von Weizenmehl. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching, Bericht 1996, 151-164

Kieffer R, Kim JJ, Belitz HD (1981) Zugversuche mit Weizenkleber im Mikromaßstab. Z Lebensm Unters Forsch 172: 190-192

Kieffer R, Wieser H, Henderson MH, Graveland A (1998) Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a microscale. J Cereal Sci 27: 53-60

Kim J-J, Kieffer R, Belitz HD (1988) Rheologische Eigenschaften von rekonstituierten Weizenklebern mit variierenden Anteilen an Prolaminfraktionen verschiedener Getreidearten. Z Lebensm Unters Forsch 186: 16-21

Kunz P, Müller KJ, Spieß H, Heyden B, Irion E (1997) Der Weizen-Ringversuch: biologisch-dynamische Pflanzzüchter schließen sich zusammen. Lebendige Erde 2: 110-114

Müller KJ, Irion E, Spieß H, Heyden B, Kunz P (1997) Bericht zum Weizenringversuch (unveröffentlicht)

- Martin RJ, Sutton KH, Moyle TN, Hay RL, Gillespie RN** (1992) Effect of nitrogen fertilizer on the yield and quality of six cultivars of autumn-sown wheat. *New Zealand J Crop Horticult Sci* 20, 273-282
- Münzing K** (2001) Mahl- und Backqualität von Weizenpartien aus dem deutschen Öko-Anbau. Jahresbericht der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung (Veröff. Nr. 7392), 19-21
- Orth RA, Bushuk W** (1972) A comparative study of proteins of wheats of diverse baking qualities. *Cereal Chem* 49: 268-275
- Prieto JA, Kelfkens M, Weegels PL, Hamer RJ** (1992) Variations in the Gliadin pattern of flour and isolated gluten on nitrogen application. *Z Lebensm Unters Forsch* 194: 337-343
- Rychener M, Lanz H, Schärer R, Tieche JD** (1992) Der Glutenindex als Maß für die Proteinqualität: Untersuchung der Weizenernte 1991. *Landwirtschaft Schweiz* 5: 539-543
- Schipper A** (1991) Modifizierbarkeit teigphysikalischer Eigenschaften verschiedener Weizensorten durch Umwelteinflüsse. *Agribiol Res* 44: 114-132
- Schnug E, Haneklaus S** (1994) Sulphur deficiency in brassica napus. *Biochemistry - Symptomatology - Morphogenesis*. Landbauforsch Völkenrode SH 144
- Schnug E, Haneklaus S** (1999) Diagnosis of the Nutritional Status and Quality Assessment of Oilseed Rape by X-Ray Spectroscopy. Proc. 10th Int. Rapeseed Congress, Sept. 26-29, 1999, Canberra, (CD-ROM)
- Schropp P, Wieser H** (1994) Wirkung von HMW-Untereinheiten des Glutenins auf die rheologischen Eigenschaften von Weizenkleber. *Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Jahresbericht*, 136-147
- Seilmeier W, Kieffer R, Belitz HD** (1992) Gluteninfraktionen und rheologische Eigenschaften verschiedener Weizensorten. *Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching, Bericht 1992*, 145-151
- Seilmeier W, Wieser H, Gutser R, von Tucher S** (2001) Einfluss der Schwefeldüngung auf die quantitative Zusammensetzung der Kleberproteine in Weizenmehl. *Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching, Bericht 2001*, 183-190
- Shewry PR, Halford NG, Tatham AS** (1992) High molecular weight subunits of wheat glutenin. *J Cereal Sci* 15: 105-120
- Uthayakumaran S, Gras PW, Stoddard FL, Bekes F** (1999) Effect of varying protein content and Glutenin:Gliadin ratio on the functional properties of wheat dough. *Cereal Chem* 76: 389-394
- Wieser H** (1996) A turbidimetric determination of gluten protein types in wheat flour. *Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Bericht 1996*, 122-132
- Wieser H** (2000 a) Simple determination of Gluten protein types in wheatflour by turbidimetry. *Cereal Chem* 77: 48-52
- Wieser H** (2000 b) Comparative investigations of gluten proteins from different wheat species. *Eur Food Res Technol* 211: 262-268
- Wieser H, Zimmermann G** (2000) Importance of amounts and proportions of high molecular weight subunits of glutenin for wheat quality. *Eur Food Res Technol* 210: 24-330
- Wieser H, Seilmeier W** (1998) The influence of nitrogen fertilisation on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *J Sci Food Agric* 76: 9-55
- Wieser H, Kieffer R** (2001) Correlations of the amount of gluten proteintypes to the technological properties of wheat flours determined on a microscale. *J Cereal Sci* 34:19-27
- Wieser H, Seilmeier W, Belitz HD** (1994) Use of RP-HPLC for a better understanding of the structure and functionality of wheat gluten proteins. In: Kruger, J.E. and J.A. Bietz (eds) *High-performance liquid chromatography of Cereal and Legume Proteins*. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA
- Wirries F-M, Büning-Pfaue H** (1995) Wheat from organic agriculture – An improved analytical description of gluten quality. *Proceedings of the Eighth European Conference on Food Chemistry (EURO FOOF CHEM VIII)*, Vienna, Austria, September 18-20, 1995, Vol. 2, 527-530
- Wrigley CW, du Cros DL, Moss HJ, Randall PJ, Fullington JG, Kasarda DD** (1984) Effect of sulphur deficiency on wheat quality. *Sulphur in Agric* 8: 2-7