

Kleberqualität als Bewertungskriterium der Backqualität von Weizen - Neue Erkenntnisse zu einem alten Thema

L. Linnemann, Kassel, G. Leithold, Gießen, und R. Rauber, Göttingen

1. Einleitung

In der Beschäftigung mit dem Thema Weizenqualität ist man heute mit einer beinahe unüberschaubaren Fülle an wissenschaftlichen Erkenntnissen konfrontiert, die jedoch ebenso verwirrend wie widersprüchlich sind. Dadurch wird es notwendig, eine Entscheidung für diese oder jene Anschauung zu treffen, ohne daß in allen Fällen wirklich nachvollziehbar ist, ob die Entscheidung richtig ist. Stärker als noch vor 10 Jahren besteht daher heute eine Notwendigkeit, insbesondere Widersprüche und ungeklärte Phänomene allgemein nachvollziehbar wissenschaftlich zu bearbeiten und letztlich auch aufzuklären. Hierzu ist jedoch eine kritische Herangehensweise, das heißt eine Methodik notwendig, die in der Lage ist, systematische Fehler aufzudecken. Ergebnisse einer solchen Arbeit am Lehrstuhl für Organischen Landbau der Justus-Liebig-Universität Gießen (Prof. Dr. G. Leithold, vordem Prof. Dr. R. Rauber) werden nachfolgend dargestellt. Anhand der Resultate ergeben sich teilweise neue und ungewohnte Zusammenhänge, die im Hinblick auf die bisherige Bewertung von Weizenqualität ein Umdenken notwendig machen. Die Ergebnisse stimmen im wesentlichen mit den aktuellen Forschungsergebnissen verschiedener internationaler Arbeitsgruppen überein. Hieraus resultierende Konsequenzen für die Bereiche Anbau, Züchtung und Verarbeitung lenken vom bisherigen Blickpunkt (indirekte, eher quantitative Parameter der Qualitätsbeurteilung) in Richtung Proteinqualität. Einige notwendigerweise zum Verständnis des Begriffes Backqualität benötigte Zusammenhänge werden nachfolgend dargestellt. Sie können als Diskussionsbasis für eigene Fragestellungen und Forschungen dienen.

2. Problemstellung

Weizen nimmt für die Ernährung des Menschen eine Sonderstellung un-

ter den Getreidearten ein, da aus dem Mehl seiner Körner hefegelockertes Brot gebacken werden kann. Schon seit langem ist bekannt, daß die Backqualität eines Weizenmehles in starkem Maße von den Proteintypen Glutenin und Gliadin, kurz Kleber genannt, abhängig ist. Daher kann man berechtigterweise die Kleberqualität bzw. Proteinqualität mit der Backqualität gleichsetzen.

Weizenprotein besteht zu etwa 20 % bis 30 % aus konstitutivem Albumin/Globulin und zu etwa 70 % bis 80 % aus Kleber (Tab. 1). Der Kleber besteht zu etwa gleichen Teilen aus den Speicherproteinen Glutenin und Gliadin, die in ihren Anteilen sortenspezifisch und umweltbedingt stark variieren können, was als ein Hauptgrund für Qualitätsänderungen angesehen werden kann. Die exakte Kleber-Zusammensetzung wird in der Qualitätsanalyse selten erfaßt, da ein Teil des Proteins nur schwer löslich ist. Nach einer Gluteninextraktion mit z. B. 1-Propanol/DTT muß demzufolge je nach Methode und Sorte mit einem unlöslichen Proteinanteil von etwa 10 % bis 20 % im Mehlrückstand (Tab. 1) gerechnet werden (1), was zu deutlichen Abweichungen zwischen den errechneten und den gemessenen Werten führt. In der Folge solcher Ungenauigkeiten treten nicht nur widersprüchliche Untersuchungsergebnisse, sondern auch Fehlinterpretationen bei Beurteilungen der Backqualität auf (20). Das Ausmaß dieser unvollständigen Extraktion ist um so gravierender, da die Zusammensetzung des nicht erfaßten Proteinanteils in der Regel nicht berücksichtigt wird. Das Restprotein besteht überwiegend aus schwerlöslichem Glutenin, dem sogenannten GMP oder Glutenin-Makropolymer (2, 3, 4). Von diesem GMP gehen maßgebliche Einflüsse aus, deren Bedeutung für die Backqualität in den letzten 10 Jahren herausgearbeitet worden ist. Seit geraumer Zeit liegt daher das Augenmerk der Getreidechemiker auf einem wichtigen, bisher wenig beachteten Aspekt in der Bewertung der Weizenqualität: die sogenannte Proteinqua-

lität. Wir können von einer in starkem Maße sortenspezifisch geprägten Proteinqualität ausgehen, die bei Sorten mit gleicher Qualitätseinstufung zu meist nur dann in Erscheinung tritt, wenn Unterschiede auf der Basis vergleichbarer Rohprotein-(RP-)Konzentrationen bzw. Klebermengen feststellbar sind (5, 6). Dieses Phänomen wurde erst kürzlich in dieser Zeitschrift aus Sicht der Züchtung erwähnt (7).

Im Vordergrund bisheriger Forschungen stand das Ziel, Faktoren der Protein-

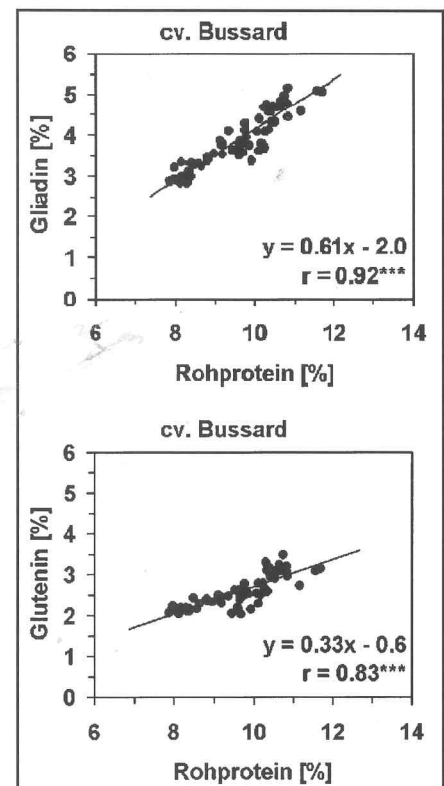


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Rohprotein-Konzentration und Gliadin-Konzentration bzw. Glutenin-Konzentration über zwei Jahre (1995/96) und Orte (n=64)

qualität zu isolieren und einfache Methoden für die Routineanalytik zu entwickeln. Nachdem die herausragende Bedeutung des Glutenins und insbesondere der hochmolekularen (HMW-) Glutenin-Untergruppen für die technologi-

sche Qualität des Weizens erkannt waren (9; 10; 11), versuchte man zunächst, ein rein qualitatives Bewertungsschema zu entwerfen, in dem der Einfluß individueller HMW-Untereinheiten auf die Backqualität im Mittelpunkt stand (12). Tatsächlich ließen sich 54 % der Variation in der sortenspezifischen Backqualität (als SDS-Sedimentationsvolumen (SDSS) erfaßt) auf die Variation hochmolekularer (HMW-) Glutenin-Untereinheiten zurückführen (12). Auf deutsche Sorten angewandt, stand das Bewertungsschema in Übereinstimmung mit der Sorteneinstufung durch das Bundessortenamt (10).

Neuere Arbeiten zeigten jedoch, daß die Proteinqualität nicht allein durch genetische Determinanten erklärbar ist, da Sorten mit gleichen HMW-Untereinheiten häufig Unterschiede in der Kleberqualität aufweisen (13, 14). Vielmehr lassen sich Mehle mit hoher technologischer Qualität sowohl auf quantitative und qualitative als auch umweltbedingte Änderungen der Glutenin-Zusammensetzung zurückführen (15, 16). Die ohnehin nur lockere Beziehung der Backqualität mit der vererbten Zusammensetzung an HMW-Untereinheiten läßt demnach zumindest indirekt auf die Backqualität von Weizen konnte jedoch erst vor kurzem weitestgehend aufgeklärt werden (4, 17, 18, 19), so daß

im Laufe der letzten 10 Jahre die Möglichkeiten zur Darstellung und Bewertung von Aspekten der Weizenqualität stark zugenommen haben. Trotzdem besteht in weiten Kreisen von Anbauern und Verarbeitern gegenüber den Ergebnissen der Forschung Skepsis, die zwar wegen der Vielzahl sich widersprechender Untersuchungsergebnisse berechtigt ist, zu deren Aufrechterhaltung aber derzeit kaum noch Veranlassung besteht. Vielmehr können die Zusammenhänge zwischen Backqualität und Proteinqualität bzw. -quantität heute als weitestgehend geklärt gelten (20). So ist es nicht verwunderlich, daß GMP-Bestimmungen und die SDS-Sedimentation bisher nur vereinzelt als Standard-Mehluntersuchungen eingesetzt werden. Große Aufgaben liegen daher in der Umsetzung der vorhandenen Erkenntnisse durch Ausarbeitung praxisreifer Methoden und Verfahren zur Charakterisierung der Backqualität. Erste Ansätze, diese Aufgaben zu verwirklichen, liegen bereits vor und werden im folgenden Teil beschrieben (8, 19, 25).

In den Jahren 1995 und 1996 wurden von uns verschiedene Einflüsse (Boden, Standortwitterung, Sorte) auf die Backqualität von Winterweizen in faktoriellen Exaktversuchen an zwei Standorten in Hessen (Alsfeld, Gladbacherhof) untersucht. Geprüft wurden zwei Sorten mit unterschiedlicher Qualitätseinstufung (cv. Bussard (E), cv. Orestis (B)), die nach vier verschiedenen Vorfrüchten (legume, nichtlegume) im Organischen Landbau angebaut wurden. Die Standorte wiesen zudem unterschiedliche Stickstoff-(N-)Verfügbarkeiten und Witterungsverhältnisse auf. Diese Methode ermöglichte eine differenzierte N-Aufnahme der Pflanzen und damit ein Probenspektrum an Korn-RP-Konzentration

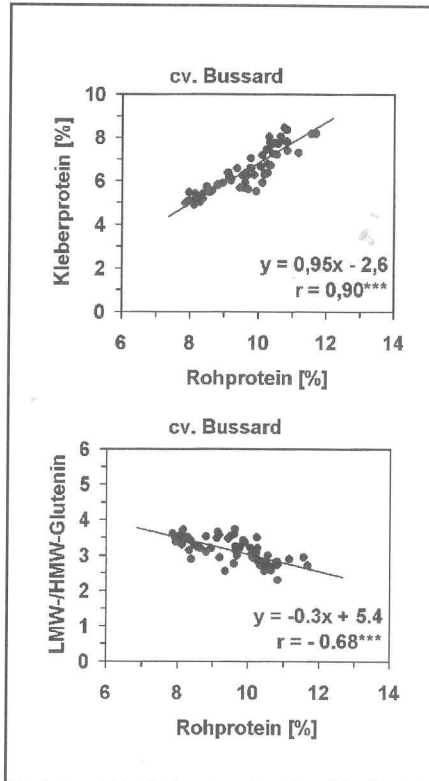


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Rohprotein- und Kleberprotein-Konzentration bzw. LMW/HMW-Glutenin-Verhältnis über zwei Jahre (1995/96) und Orte (n=64)

Tabelle 1: Relative Anteile von Protein-Untergruppen an der Rohprotein-Konzentration in Abhängigkeit von Weizensorte und Jahr am Standort Alsfeld (n=8)

Parameter	1995			1996			T-J §	
	Bussard	Orestis	T-S#	Bussard	Orestis	T-S	B	O
SDS-Sedimentation [ml]	75	40	***	49	17	***	**	**
Alsfeld: Rohprotein [%]	10,5	9,4	**	10,4	8,4	**	ns	**
Albumin/Globulin [%]	21,2	23,4	ns	25,2	26,3	ns	*	*
Glutenin [%]	29,6	27,9	**	26,3	24,1	**	*	*
HMW-Glutenin [%]	8,0	6,8	*	6,4	4,9	**	**	*
LMW-Glutenin [%]	21,6	21,1	*	20,0	19,1	**	*	*
Gliadin [%]	44,0	39,2	*	41,5	35,4	**	*	*
α-Gliadin [%]	16,8	15,8	*	14,6	13,0	*	*	*
γ-Gliadin [%]	22,5	18,9	*	22,3	18,9	**	ns	ns
Kleber [%]	73,6	67,1	---	67,8	59,5	---	---	---
Proteinwiederfindung [%]	94,8	90,5	---	93,0	85,8	---	---	---
Restprotein [%]	5,2	9,5	---	7,0	14,2	---	---	---
Kleber [%] ¹⁾	78,8	76,6	---	74,8	73,7	---	---	---
Glutenin ²⁾	34,8	37,4	---	33,3	38,3	---	---	---
Glutenin-Makropolymer [%]	17,4	14,4	**	13,8	13,3	ns	*	*

Tukey-Test zwischen Sorten = T-S und Jahren = T-J § B = cv. Bussard, O = cv. Orestis ns = nicht signifikant

¹⁾ errechnet: 100 - Albumin/Globulin ²⁾ errechnet: 100 - (Albumin/Globulin + Gliadin).

nen (RP % = Stickstoff (N) % x 5,7) von 6,8 % bis 12,1 %.

Vollkornmehle wurden mit Umkehrphasen-Hochleistungsflüssigchromatographie (RP-HPLC), SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese (SDS-PAGE) auf ihre quantitative und qualitative Zusammensetzung an Kleberprotein-Untergruppen hin untersucht (ω -, α - und γ -Gliadin, niedermolekulares (LMW), hochmolekulares (HMW) Glutenin (Abb. 5), Glutenin-Makropolymer (GMP) und HMW-Untereinheiten) und in Beziehung zur Weizenqualität (SDS-Sedimentation) gesetzt. Detaillierte Literaturangaben und weitere Sachbezüge (Schwefel-Konzentrationen, Farinographmessungen, Mübkeks-Backversuche) sind der Arbeit von Linnemann (8) zu entnehmen.

3. Beziehungen zwischen Rohprotein und Proteinqualität

Wenn verschiedene Sorten oder Proben einer vergleichenden Untersuchung der Backqualität unterzogen werden, erfordert dies gleiche Korn-RP-Konzentration. Nur so lassen sich quantitative Einflüsse der Korn-RP % auf die Backqualität vermeiden. Rein rechnerische Verfahren zur Angleichung von Proben mit unterschiedlicher Korn-RP % stellen verständlicherweise ungeeignete Voraussetzungen zur Bestimmung der Backqualität dar. Eine solche Vorgehensweise setzt nicht vorhandene lineare Qualitätsverhältnisse zwischen Sorten voraus (Abb. 3). Andererseits kann man dann von qualitativen Parametern sprechen, wenn Methoden verwendet werden, die einen nachvollziehbaren Zusammenhang mit dem Prozeß der Brotherstellung (Anteilverhalten, Backverhalten) und damit eine definierte technologische Qualität vorhanden ist. Die Grundlage für solche Zusammenhänge beruht im Hinblick auf die Kleberproteine im wesentlichen auf der Fähigkeit von Gliadin und Glutenin zur Aggregation bzw. zur De- und Repolymerisation während der Teigbildung (18; 21).

Auf die N-Bestimmung im Mehl trifft diese Voraussetzung nicht zu, da Stickstoff lediglich ein Bestandteil von Proteinen ist und nur in diesem Zusammenhang von Bedeutung sein kann. So ist beispielsweise Albumin zweifellos ohne große Bedeutung für den Backprozeß, während Gliadin und Glutenin entscheidend sind. Bei einer Bestimmung der Mehl-Stickstoff-Konzentration bleibt dieser für den Backprozeß entscheidende Zusammenhang jedoch völlig unberücksichtigt.

Betrachtet man die jeweiligen Proteintypen danach, wie sie speziellen quantitativen Gesetzmäßigkeiten unterliegen (Abb. 1 und 2), kann festgestellt werden, daß diese mehr oder weniger aussage-schwach sind. Hinzu kommt, daß sowohl absolute Konzentrationen an Proteintypen als auch relative Anteile an

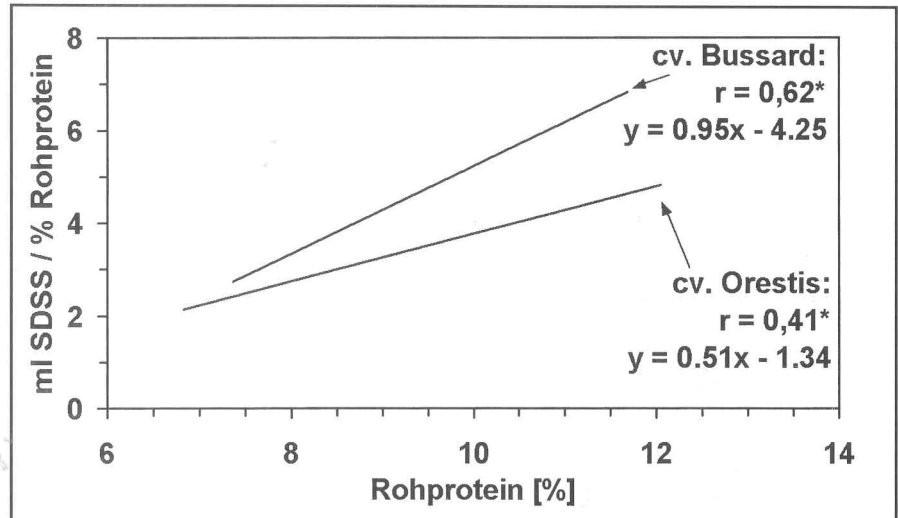


Abbildung 3: Beziehung zwischen Rohprotein-Konzentration und spezifischem SDS-Sedimentationsvolumen (SDSS je % Rohprotein) in Abhängigkeit von der Weizensorte in den Jahren 1995/96 über zwei Orte (n=64).

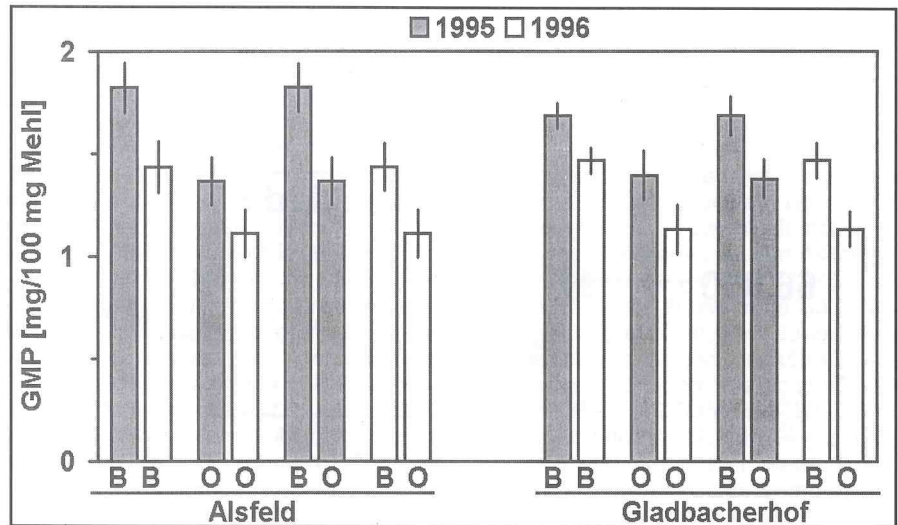


Abbildung 4: Glutenin Makropolymer-(GMP-) Konzentration (Mittelwert \pm GD, Tukey $\alpha = 5\%$) der Weizensorten Bussard (B) und Orestis (O) an zwei Standorten.

Gliadin oder Glutenin am Gesamtprotein (Tab. 1) keine sicheren Rückschlüsse auf die Backqualität zulassen (8). Der Hauptgrund hierfür ist in der Tatsache zu sehen, daß die technologische Qualität vor allem mit den funktionellen Eigenschaften der verschiedenen Proteintypen verknüpft ist, die ihrerseits ein spezifisches Verhältnis zu Veränderungen der Korn-N-Konzentration haben. Anders ausgedrückt, weisen Kleber im Vergleich starke Unterschiede in der technologischen Qualität auf.

Ein Beispiel kann diesen Zusammenhang veranschaulichen: Mit zunehmender N-Konzentration und unabhängig von der Sorte wird von der Pflanze in der Regel mehr Gliadin als Glutenin in das Korn eingelagert. Als Resultat entsteht eine sortenspezifische und nicht gleich erkennbare qualitative Veränderung (vgl. Abb. 2: LMW/HMW-Verhältnis), die

zwar quantitativ betrachtet geringfügig erscheint, aber qualitativ um so bedeutender ist, wie im folgenden noch gezeigt werden wird. Verschiebungen in der Proteinzusammensetzung sind folglich komplexer Natur, respektive kann man die RP-Konzentration als eine quantitative Basis ansehen, die die primär qualitative Seite der Protein-Zusammensetzung unterstützt und sogar verstärken kann (Abb. 3). Für die technologische Weizenqualität ist daher die Klebermenge oder Mehl-N % generell als sekundäre, quantitative Basis zu verstehen.

Es entspricht einer wenig beachteten Tatsache, daß an einem Standort bzw. innerhalb eines Jahres zwar eine lineare Beziehung zwischen der RP-Konzentration und der Backqualität besteht (22). Für Sorten- und Standortvergleiche ergeben sich aber wegen unterschiedlicher Pro-

teinqualitäten verschiedene Steigungen der Geraden, was auf die Notwendigkeit verweist, qualitative wie quantitative Aspekte der Weizenqualität zu berücksichtigen (Abb. 3). Anders gesagt kann eine schlechte Proteinqualität durch eine hohe RP-Konzentration mehr oder weniger verdeckt werden und ein Mehl mit vergleichsweise geringer RP-Konzentration eine hohe Backqualität auf-

weisen. Denn zwischen verschiedenen Sorten auf Basis gleicher Rohprotein-Konzentration ist die Kleberqualität eines Mehles qualitätsbestimmend, was anhand der unterschiedlichen Steigungen aus linearen Regressionen zu ersehen ist. Insofern sind Düngungsmaßnahmen zur Erhöhung der RP-Konzentration ohne Berücksichtigung der sorten-

spezifischen Proteinqualität weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll.

4. Grenzen der technologischen Erfassung von Proteinqualität

Die technologische Weizenqualität wird von uns synonym mit dem Begriff Backqualität bzw. Proteinqualität verwendet und durch das SDS-Sedimentationsvolumen (SDSS) dargestellt. Für diese methodische Vorgehensweise gibt es gute Gründe, da erst die Verwendung des SDSS es ermöglichte, eine Fehlerquelle auszuschließen, die in der Verwendung der weitverbreiteten Sedimentation nach Zeleny liegt.

Das SDSS wurde nach einer optimierten Methode von McDonald (23) bestimmt. Der wichtigste Unterschied zur Zeleny-Methode ist das Reagenz Natriumdodecylsulfat (SDS), welches neben einer hohen Proteinlöslichkeit (2) in der Lage ist, polymeres Glutenin (zum Teil auch GMP) über die Aktivität eines Redoxsystems teilweise in Lösung zu bringen (16). Das Redoxsystem arbeitet in Abhängigkeit von mechanischem Streß und höheren Temperaturen (> 20°C), was in der optimierten Methode von McDonald (23) berücksichtigt wird. Sie hat die Sedimentation nach Zeleny außerhalb der Bundesrepublik Deutschland wegen ihrer einfachen, reproduzierbaren Durchführung und einer hohen Übereinstimmung mit dem Backvolumen ersetzt (16, 24). Die Durchführung von Backversuchen ist aufwendig bzw. weltweit gesehen nicht standardisiert und damit nicht ohne weiteres vergleichbar. Bestätigt wird die Vorgehensweise durch den erst kürzlich gemachten Nachweis, daß der in Deutschland verwendete Standardbackversuch RMT (Rapid-Mix-Test) nicht umfassend optimiert und insbesondere ungeeignet ist, Proben mit RP-Konzentrationen von 8,7 bis 12 % sicher zu differenzieren, was infolgedessen zur Entwicklung eines optimierten Backversuchs führte (25). Aus einem ähnlichen Grund wurde auch in der Züchtungsforschung die wesentlich leichter durchzuführende SDS-Sedimentation beispielsweise in Kombination mit Extensogrammen ungenauen Backversuchen vorgezogen (26).

Aus der Arbeit von Wirries (27) geht hervor, daß 1996 höhere Zeleny-Sedimentationswerte als 1995 festgestellt wurden, obwohl die Backvolumina 1996 niedriger als 1995 ausfielen, was im krassen Gegensatz zu den ermittelten SDS-Sedimentationsvolumina in Tabelle 1 steht (8). Worauf dieser Widerspruch zurückzuführen ist, bleibt zunächst unklar. Es liegt jedoch nahe, daß der Zeleny-Sedimentationstest stärker mit der Proteinmenge als mit der Back- bzw. Proteinqualität korreliert ist. In diesem Fall müßte ein methodischer Einfluß vorliegen, da das von Wirries beschriebene Phänomen auch bei Untersuchungs-

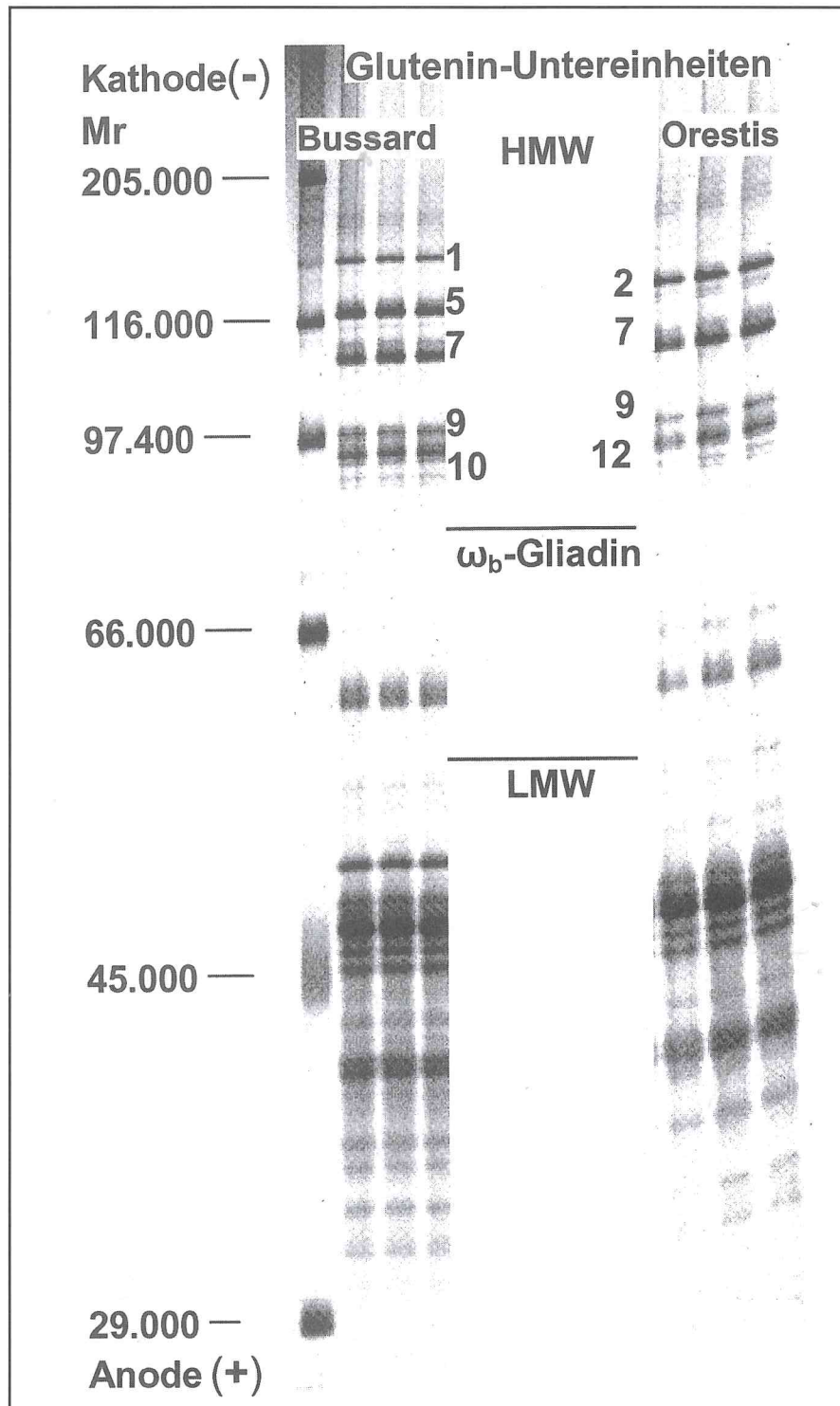


Abbildung 5: Charakterisierung von Glutenin-Untergruppen (ωb = glutenin gebundenes ω -Gliadin; niedermolekulares (LMW), hochmolekulares (HMW) Glutenin) der Weizensorten Bussard und Orestis anhand des Molekulargewichtes nach SDS-PAGE (15-17 % T, 0,8 % C).

gebnissen an der deutschen Weizenerte auftrat (28) und somit repräsentativen Charakter hat. Dieser Zusammenhang verdeutlicht andererseits den Wert des SDS-Sedimentationstestes, der in der Lage ist, qualitative Veränderungen der Backqualität bzw. des Proteinmusters sicher widerzuspiegeln.

In diesem Kontext können auch die Ergebnisse von Stöppler und Mitarbeiter (29) gesehen werden, die über 15 Standorte, 20 Sorten und zwei Jahre eine enge Beziehung zwischen RP-Konzentration und Zeleny-Sedimentationswert ($r = 0,94$; $n = 15$) feststellten. Auswertungskritisch betrachtet lagen der Korrelation Mittelwerte über Sorten und Jahre zugrunde, wodurch die sorten- und jahresbedingten Varianzen unberücksichtigt blieben, was zu Fehlinterpretationen verleitet. Bei einer derartigen Darstellung von Ergebnissen kann nämlich die Höhe der Mehl-RP-Konzentration mit der Backqualität gleichgesetzt werden, was nachweislich insbesondere zwischen Sorten nicht richtig ist.

Die dargestellten Zusammenhänge verdeutlichen, daß ein besonderer Handlungsbedarf zur Entwicklung weiterer zuverlässiger Methoden der Qualitätsbestimmung besteht. Ein möglicher Ausweg aus der schwierigen Situation im wissenschaftlichen Bereich kann Abbildung 3 entnommen werden, die anhand vergleichender Studien unter Berücksichtigung von Sorte, Standort und Witterung entwickelt wurde. Die Beschreibung und Herleitung der Backqualität wird im folgenden Teil ausgeführt.

5. Einflußfaktoren der Backweizenqualität

5.1 Kleberprotein-Untergruppen

Zur Herleitung der Backqualität werden nun Ergebnisse vorgestellt, bei denen Proben mit gleicher RP-Konzentration verwendet wurden. Dies hat den Vorteil, daß die Proteinqualität vom Stickstoffeffekt getrennt und Qualitätsindikatoren isoliert werden können. Eine Beziehung zwischen SDS-Sedimentation und RP-Konzentration war folglich nicht vorhanden, und Unterschiede in dem SDSS ließen sich insbesondere bei cv. Bussard auf qualitative Einflüsse von Kleberprotein-Untergruppen zurückführen. Der sogenannte Kleber kann in biochemisch und genetisch genau definierten Protein-Untergruppen erfaßt werden. Insbesondere die Kenntnis der Zusammensetzung des Klebers ist entscheidend für die Bewertung seiner Qualität. Man kann recht gut erkennen, daß die komplexen Ergebnisse aus Tabelle 1 kaum Rückschlüsse auf die Backqualität ermöglichen. Generell können Korrelationen zwar Hinweise auf Beziehungen zwischen Parametern liefern, es darf aber die Stärke des Zusammenhanges

nicht mit der Ursache der Beziehung verwechselt werden. Korrelationen haben in diesem Sinne keine Beweiskraft.

Im Detail ließen sich am Standort Alsfeld Beziehungen der Backqualität zu den Parametern LMW/HMW-Verhältnis, HMW-Glutenin und GMP-Konzentration feststellen. Qualitätssteigerungen wurden also in dem Maß beobachtet, wie der HMW-Anteil am Glutenin zunahm. Vergleichbar mit der dargestellten stärkeren Gliadin-Zunahme je % Rohprotein (Geradensteigung Abb. 1) gegenüber Glutenin konnte auch mit zunehmender RP-Konzentration ein sinkendes LMW/HMW-Verhältnis festgestellt werden, was bedeutet, daß die HMW-Zunahme größer als die LMW-Zunahme war (Abb. 2).

Diesem qualitativen Sachverhalt entspricht eine Erhöhung des Molekulargewichtes innerhalb des Gluteninpolymers, da HMW-Glutenine gegenüber den LMW-Gluteninen eine mehr als doppelt so hohe Anzahl an Aminosäureresten besitzen (30) und damit scheinbar geringfügige Änderungen in der Glutenin-Zusammensetzung überproportionale Auswirkungen auf die Backqualität nach sich ziehen. So führt eine derart veränderte Proteinqualität im wesentlichen zu verbesserten viskoelastischen Eigenschaften des Klebers (31, 4). Die Bedeutung der HMW-Glutenine liegt also hauptsächlich im qualitativen Bereich, so daß die qualitätsfördernde Wirkung von etwa 8 % HMW-Glutenin am Rohprotein (Tab. 1) nur auf der Basis seines polymeren Charakters verständlich wird.

Generell lassen sich anhand des LMW/HMW-Verhältnisses Veränderungen der Weizenqualität gut beschreiben, obgleich wegen der dargelegten analytischen Mängel (unvollständige Erfassung) Unterschiede zwischen den Jahren in der SDSS bei den Glutenin-Fraktionen nicht immer eindeutig waren. Dies gelang erst durch eine Quantifizierung des Glutenin-Makropolymeren (GMP, Abb. 4), das einen beachtlichen Anteil von etwa 13% bis 18 % an der RP-Konzentration im Vollkornmehl ausmachte (Tab. 1).

5.2 Glutenin-Makropolymer

Die vorgestellten Ergebnisse (Abb. 3 und 4) stimmen allgemein mit Untersuchungen überein, nach denen eine Zunahme des Backvolumens bzw. der Weizenqualität am stärksten auf eine Zunahme der GMP-Konzentration zurückzuführen war (16, 17, 4, 18, 32). Besondere Bedeutung erlangen die vorliegenden Ergebnisse dadurch, daß sowohl die GMP-Anteile am Rohprotein (Tab. 1) als auch die GMP-Konzentrationen im Mehl 1995 signifikant höher als 1996 waren (Abb. 4). Andere Proteine hingegen, wie beispielsweise Glutenin waren weniger in der Lage, den Jahresunterschied im SDSS zu reflektieren (Tab. 1). Dies dürfte, wie bereits diskutiert, im wesentlichen

auf eine mangelhafte Erfassung des polymeren Glutenins im Mehl mit 1-Propanol als Lösungsmittel zurückzuführen sein, da GMP am besten bzw. vollständig in SDS-Puffer unter Einwirkung von Ultraschall löslich ist (33). Daher besteht auch keine Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Glutenin- bzw. Kleber-Konzentrationen (Tab. 1).

Aus Abbildung 4 geht hervor, daß vor allem Sorten- und Jahreseinflüsse zu signifikanten Unterschieden in der GMP-Konzentration führten, während die Standorteinflüsse geringer waren. Da die GMP-Bestimmung in dieser Arbeit mit einer für die SDS-PAGE adaptierten Methode erfolgte, ist zu erwarten, daß eine Optimierung zu einer noch besseren Diskriminierung führt. Andererseits zeigen vielversprechende Untersuchungen aus jüngster Zeit, daß die Backqualität von Sorten auch mit den kombinierten Parametern RP-Konzentration, polymeres Protein und in SDS-Puffer unlösliches polymeres Protein (GMP) sehr gut zu beschreiben ist (19).

Als eine Besonderheit kann gelten, daß durch polymeres Glutenin und GMP die Molekulargewichtsverteilung im polymeren Protein erfaßt wird, die einen besonders stark genotypisch beeinflussten Aspekt der Weizenqualität darstellt. GMP ist ein Bestandteil des polymeren Glutenins, besitzt jedoch ein wesentlich höheres Molekulargewicht als das übrige polymere Glutenin, da sein Anteil an HMW-Glutenin gegenüber LMW-Glutenin erhöht ist (17). Will man zur Erfassung der Backqualität diese Zusammenhänge berücksichtigen, so können sowohl neue Methoden, wie sie zur Erfassung der Protein-Zusammensetzung angewendet werden (17, 18, 19), als auch die SDSS (23) verwendet werden. Die SDSS ist insbesondere in Kombination mit einem quantitativen Parameter sinnvoll einsetzbar (vgl. Abb. 3).

5.3 Standortwitterung

Im Zusammenhang mit einer umweltbedingten Genese von Weizenkaryopsen ist es möglich, daß durch unterschiedliche Prozesse in der Proteinbiosynthese zwar vergleichbare RP-Konzentrationen, aber unterschiedliche Weizenqualitäten entstehen. So führten Proben mit gleicher RP-Konzentration zu einer qualitativ unterschiedlichen technologischen Qualität (Tab. 1), was grundsätzlich in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen steht (5) und nochmals die geringe Aussagekraft der RP-Konzentration belegt. Tatsächlich ist die Proteineinlagerung ins Korn im Gegensatz zur Stärkeeinlagerung relativ temperaturunabhängig (34), das heißt, daß ein qualitativer Einfluß, wie er durch die Temperatur während der Reife vorliegt, in der RP-Konzentration des Kornes nicht deutlich widergespiegelt wird. So nimmt bei Erhöhung der Temperatur während der



Kornfüllung von z. B. 15°C auf 20°C zwar die Wachstumsrate der Körner zu, die Dauer der Kornfüllungsphase nimmt jedoch ab. Im Fall niedriger Temperaturen kommt es folglich durch eine längere Kornfüllungsphase zu einer Proteinkonzentration, die bei der höheren Temperatur während der Kornfüllung zwar auf gleichem Niveau liegen kann, aber durch einen anderen Prozeß bewirkt wurde. Höhere Temperaturen während der Kornfüllung führen nämlich durch eine verkürzte Kornfüllungsphase, daß heißt einer geringeren Stärkeeinlagerung zu niedrigeren Kornerträgen und folglich zu höheren Proteinkonzentrationen (8; 35). Diese Zusammenhänge weisen auf Einflüsse hin - in diesem Fall von der Temperatur während der Kornfüllung ausgehend -, die zwar mit der Proteinqualität, nicht aber mit der Proteinquantität in Verbindung stehen.

Wir haben aufgrund dessen umweltbedingte Effekte auf die Backqualität durch den Vergleich von Proben gleichen RP-Niveaus herausgearbeitet. Die Proben unterschieden sich insbesondere darin, daß während der Kornfüllung 1995 (Alsfeld: 19,2°C) höhere Temperaturmittel als 1996 (Alsfeld: 16,1°C) auftraten (8). Infolgedessen wies beispielsweise am Standort Alsfeld die Sorte Bussard im warmen Jahr gereift ein um 65 % höheres SDSS als im kühlen Jahr gereift auf. Die RP-Konzentration ist demnach ein wenig geeigneter Qualitätsparameter, da sie Umweltwirkungen einseitig auf den quantitativen Aspekt reduziert und dabei qualitative Unterschiede unberücksichtigt läßt. Nach neueren Untersuchungen (5, 37, 38) geht dieser Zusammenhang auch aus Klimastudien hervor. In Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen zeigte sich, daß mit zunehmender Temperatur während der Kornfüllung zwar die RP-Konzentration zunahm, aber Qualitätsveränderungen anhand des SDSS nicht durch Unterschiede in der RP-Konzentration erklärt werden konnten (38). Vielmehr war die Backqualität auf die veränderte Zusammensetzung der Kleberproteine und damit auf qualitative Aspekte zurückzuführen.

5.4 Sorteneigenschaften

Die Ergebnisse in Abbildung 3 verdeutlichen, daß bei der qualitativ hocheingestuften Sorte Bussard die Proteinqualität mit zunehmender RP-Konzentration stärker zunahm als bei der niedrigeingestuften Sorte Orestis (8). Diese Erscheinung ist demnach sortenspezifisch und stellt ein geeignetes Qualitätskriterium z.B. für die Züchtung dar. Sorten müßten idealerweise ein hohes spezifisches SDSS (SDSS / % RP) aufweisen bzw. geringe RP-Konzentrationen in hohe Backvolumina umsetzen. Dies ist bei einigen Sorten der Fall und sollte zukünftig für alle Sorten verifiziert werden (7, 27).

Obwohl Bussard generell höhere RP-Konzentrationen aufwies, ist es bemerkenswert, daß der Qualitätsunterschied im unteren RP-Bereich gering war und eine zunehmend stärker werdende Sortendifferenzierung erst ab etwa 10 % Rohprotein eintrat. Ein ähnliches Ergebnis wurde auch von Kolster et al. beschrieben (39). Sie stellten fest, daß ab 9,2 % Rohprotein im Mehl zunehmend höhere Brotvolumina bei Zuchtstämmen mit den Allelen 5 + 10 des Genortes Glu-D1 auftraten als bei Stämmen, die die Allele 2 + 12 des selben Genortes kodieren. Über die Variation der Allele allein konnten bisher jedoch nur zwischen 20 % bis 37 % der Variation im Brotvolumen erklärt werden, was auf weitere Einflußgrößen hinweist. Eine weitere Variation im Backvolumen trat dadurch auf, daß bei gleicher Anzahl an identischen Untereinheiten durch Unterschiede in der Expressionsrate eines Gens ein umweltbedingter Einfluß vorlag. In der Regel konnte die Variation im Backvolumen bzw. der RP-Konzentration jedoch mit der positiven Beziehung zwischen der Anzahl an Untereinheiten des hochmolekularen Glutenins (HMW) und der HMW-Menge im Mehl erklärt werden (40).

Die Sorte Bussard besitzt die Allele 5 + 10, Orestis die Allele 2 + 12 (Abb. 5). Die Bedeutung dieses Untersuchungsergebnisses liegt darin, daß damit eine genetische Basis für höhere RP-Konzentrationen und eine bessere Proteinqualität zu bestehen scheint. Letzteres geht daraus hervor, daß im Jahr 1996 die Sorte Bussard eine deutlich bessere Proteinstabilität besaß als Orestis, bei der eine deutliche Proteinzunahme nur eine geringe Qualitätszunahme bewirkte (8). Bestätigt wird dies durch Untersuchungen, nach denen bei hocheingestuften Sorten die Proteinstabilität mit zunehmender RP-Konzentration relativ hoch bleibt, während sie bei Sorten mit schwacher bis mittlerer Qualitätsausprägung (z. B. Orestis) abnimmt (5, 6). Ausnahmen zeigen aber (14, 16), daß auch hier keine einfache Regel abgeleitet werden kann. Vielmehr müssen Sorten zur Erfassung ihrer Backqualität systematisch, das heißt unter Einbeziehung von Einflußfaktoren wie Boden, Witterung und Standort untersucht werden.

5.5 Schwellenwerte der Proteinqualität

Bisher wurde allgemein davon ausgegangen, daß die Backqualität linear mit der RP-Konzentration zunimmt (Abb. 3) und Sortenunterschiede grafisch durch parallel verlaufende Geraden charakterisiert werden können. Demgegenüber kann man Abbildung 3 entnehmen, daß Geraden unterschiedlicher Sorten nicht idealerweise parallel verlaufen, sondern unterschiedliche Steigungen zeigen. Als Folge tritt eine unterschied-

lich stark zunehmende Proteinqualität auf, d.h. die Geradensteigung von Bussard betrug 0,95 gegenüber 0,51 bei Orestis, was speziell im unteren RP-Bereich zu vergleichbaren Backqualitäten führte. Unterschiede in der Steigung sind nur durch Unterschiede in der Proteinqualität zu erklären (Abb. 3).

Interessanterweise nähern sich die Geraden im unteren RP-Bereich so stark an, daß sie qualitativ kaum unterscheidbar waren; und statt einer Parallelität der Geraden entsteht eine sogenannte Scherenfunktion. Dieser Mangel an Differenzierung im unteren RP-Bereich weist auf das Vorhandensein von Schwellenwerten hin. Ein ähnliches Phänomen wurde auch von Wirries beschrieben (27).

Mit Hilfe eines schrittweise arbeitenden multiplen Regressionsverfahrens konnten wir eine starke Beziehung des α -Gliadins zum SDSS in Proben mit einem niedrigen RP-Niveau von 7,4 bis 8,1 % bei der Sorte Orestis, bzw. 8,4 bis 9,4 % RP bei der Sorte Bussard errechnen (8). Oberhalb eines sortenspezifischen RP-Niveaus, welches für die Sorte Bussard bei etwa 10 % und bei der Sorte Orestis bei etwa 9 % lag, zeigte zudem das LMW/HMW-Verhältnis und die HMW-Konzentration eine starke Beziehung zum SDSS. Daher dominierten umweltbedingt am Standort Gladbacherhof (geringe N-Verfügbarkeit) in der Hauptsache der Einfluß von α -Gliadin und Gliadin/Glutenin-Verhältnis, während in Alsfeld (höhere N-Verfügbarkeit) das LMW/HMW-Glutenin-Verhältnis bzw. GMP qualitätsbestimmend war.

Der Schlüssel zum Verständnis der Backqualität liegt darin, daß die quaternäre Struktur von Kleberprotein ein dreidimensionales intermolekulares Netzwerk darstellt, in dem unter anderen Verbindungen auch α -Gliadine und α -Gliadine über Disulfid-Brücken mit LMW-Gluteninen in Glutenin Polymeren verbunden werden (41). Besondere Beachtung verdient die Tatsache, daß in Abhängigkeit von einem kritischen RP-Niveau sowohl Gliadin- als auch Glutenin-Untergruppen qualitätsbildend sind. Da Gliadin- und Glutenin-Untergruppen anhand von HPLC-Chromatogrammen keine qualitativen Veränderungen in Abhängigkeit vom RP-Niveau zeigten, dürften die beobachteten Unterschiede im wesentlichen auf Konformationsänderungen im Klebernetzwerk bzw. auf unterschiedliche GMP-Konzentrationen zurückzuführen sein (19, 41). Dafür spricht auch die Tatsache, daß insbesondere in der Teigbereitung durch De- und Repolymerisationsprozesse starke Qualitätsänderungen auftreten (21).

Obwohl Schwellenwerte als kritische Punkte nicht exakt bestimmt werden können, dürften die hier vorgestellten Werte zukünftig eine approximative und überprüfbare Basis zur Bewertung der sortenspezifischen Backqualität von Bussard und Orestis darstellen. Darüber hinaus ließen die Schwellenwerte erken-

nen, daß für eine hohe Weizenqualität der Qualitätssorte Bussard in der Hauptsache Glutenin und hier besonders ein zunehmender Polymerisierungsgrad des Proteins von Bedeutung war, was durch Ergebnisse aus der Literatur mit Hinweis auf die Beteiligung von GMP bestätigt wird (4, 18, 19).

Die Wirksamkeit des Glutenins schlägt nach unseren Untersuchungen bei einem unteren Schwellenwert vom Quantitativen ins Qualitative um. Wenn der kritische Wert erreicht wird, übernimmt offenbar eine andere, qualitativ weniger wirksame Kleber-Untergruppe alternative Funktionen. Solche Schwellenwerte treten im oberen RP-Bereich in sogenannten Sättigungskurven in Erscheinung und sind unseres Wissens nach in bezug auf die Backqualität bisher selten untersucht worden (24). Im Fall von Düngungsmaßnahmen sind die genannten Sachverhalte in Erwägung zu ziehen, um einer unnötigen Überdüngung entgegenzuwirken. So können bei hocheingestufteten Sorten bereits ab etwa 11,5 % RP in Mehl der Type 550 bei guten Teigeigenschaften eine verminderte Krumenelastizität und verminderter Geschmack auftreten (42). Als qualitätssichernde Maßnahme bei extensivem Weizenanbau wurde daher in der Vergangenheit ein Optimum von durchschnittlich 11,5 % Rohprotein angegeben, zumal die Verbraucher maximale Brötchenvolumina nicht wünschen. Für die Qualitätssicherung von Backweizen läßt sich ableiten, daß Vollkornmehle der Sorte Orestis bzw. Bussard SDS-Sedimentationsvolumina (Meßbereich von 0 bis 100 ml) etwa 40 bzw. 60 ml haben sollten. Für Bussard dürften damit in Jahren mit schwacher Qualitätsausprägung RP-Konzentrationen von mindestens 10,5 bis 11,5 % Rohprotein notwendig sein, um die genetisch veranlagte Qualität annähernd zu erreichen. Zukünftig werden Sorten gebraucht, deren RP-Schwellenwert möglichst niedrig liegt, das heißt, deren Qualitätsentfaltung bereits im unteren RP-Bereich < 9 % mit einer spezifischen SDSS > 4,5 beginnt.

6. Schlußbetrachtung

Aus den vorgestellten Ergebnissen und dem Stand der Forschung resultiert, daß im Lauf der letzten 10 Jahre die Möglichkeiten zur Darstellung und Bewertung von Faktoren der Backqualität von Weizen stark zugenommen hat. Kritisch bemerkt werden muß die Tatsache, daß Qualitätsbeschreibungen bis in die jüngste Zeit hinein in ihrer Genauigkeit und Zuverlässigkeit durch die verwendeten Methoden limitiert waren. Es besteht dringender Bedarf an Methodenoptimierungen (Backversuch, Sedimentation, Proteinextraktion), damit Untersuchungen einen nachvollziehbaren und reproduzierbaren Charakter bekommen. Die allgemeine Feststellung, daß

die Backqualität, als SDS-Sedimentation dargestellt, sowohl sortenbedingt als auch umweltbedingt stark variieren kann und daß eine mangelnde Übereinstimmung zwischen RP-Konzentration und Backqualität besteht, macht zukünftig eine neuzufassende Qualitätsbeurteilung notwendig. In erster Annäherung daran haben wir in Abbildung 3 dargestellt, wie die RP-Konzentration als quantitativer Faktor bzw. als allgemeine Standort- und Umweltdeterminante in eine Qualitätsbeurteilung einbezogen werden kann. Da das SDSS auch genotypische Unterschiede widerspiegelt, konnten mit dem spezifischen SDSS (SDSS je % Rohprotein) gleichzeitig die wichtigsten bekannten Einflußgrößen erfaßt werden. Die SDSS-Methode ist voraussichtlich noch verbesserungsfähig, indem die Zylinder mit der Mehl-Suspension vor der automatischen Schüttelung für 30 Sekunden in ein Ultraschallbad gestellt werden. Dieser Schritt dürfte zu einer vollständigen GMP-Freisetzung führen (33) und die Beziehung der SDSS zur Backqualität optimieren. Untersuchungen hierzu liegen noch nicht vor.

Für die Praxis sind neben der bereits obligatorischen Verwendung von Qualitätsweizen verschiedene Voraussetzungen zur Qualitätssicherung wichtig. Da innerhalb der Qualitätssorten große Unterschiede in der spezifischen Proteinqualität bestehen, werden Sorten benötigt, die bereits mit geringen RP-Konzentrationen eine hohe Backqualität erreichen. Welchen quantitativen Parameter man letztlich mit der SDSS kombiniert, ob RP- oder Kleber-Konzentration, ist eher von der Laborausstattung und von der Genauigkeit der verwendeten Methode abhängig. Bei quantitativen Methoden sollten zur Kontrolle selbstverständlich Meßstandards verwendet werden und die so gewonnenen Ergebnisse standardisiert auf die absolute Trockenmasse bezogen sein (z. B. die Kleberbestimmung).

Die Eignung einer Methode zur Qualitätsbeurteilung ergibt sich aus den verschiedenen Notwendigkeiten. Einerseits werden einfache Methoden bei gleichzeitig geringem Probenbedarf (Mikro-SDS-Sedimentation (10 ml): 600 mg, SDS-PAGE, SE-HPLC: 40 mg Vollkornmehl) benötigt, andererseits stellen teigrheologische Methoden in Verbindung mit quantitativer SE-HPLC, Kapillarelektrophorese oder SDS-PAGE komplementäre Methoden zur SDS-Sedimentation dar. Elektrophoretische Methoden bieten den Vorteil, daß sie sowohl quantitative als auch qualitative Ergebnisse (HMW-Untereinheiten) liefern. Elite-Sorten (E-) können z.B. am besten durch den Anteil polymeren Proteins am Gesamt-Protein eines Mehls differenziert werden (19), denn letztlich wird der Backprozeß wesentlich durch das Polymerisationsverhalten des Teiges beim Backen bestimmt, was die starke Beziehung des GMP bzw. polymeren Proteins zur Backqualität

ausmacht. Weiterhin muß man berücksichtigen, daß höhere RP-Konzentrationen (etwa > 11,5 %) bereits zu verminderter Krumenelastizität und verminderter Geschmack führen können. Zukünftig stellt eine Qualitätszüchtung, die hohe Proteinqualitäten mit geringen, aber optimalen RP-Konzentrationen verbindet, nicht nur eine realistische, sondern auch ein ökologisch sinnvolle Zielsetzung dar.

7. Zusammenfassung

Aktuelle Forschungsergebnisse der letzten 10 Jahre, die den wissenschaftlichen Fortschritt für eine verbesserte Qualitätsbeschreibung von Backweizen verdeutlichen, wurden dargestellt. Die Weizenqualität als SDS-Sedimentationsvolumina erfaßt, lag 1995 bei warmer, trockener Witterung während der Kornfüllung bei gleicher RP-Konzentration um etwa 65 % höher als im Jahr 1996 mit kühler, feuchter Witterung während der Kornfüllung. Es war nicht möglich, die Qualität einer Mehlprobe allein anhand der Stickstoff-Konzentration zu beurteilen, da kein gesicherter Einfluß der Stickstoffmenge auf die Proteinqualität vorhanden war. Unterschiede in der Weizenqualität waren sowohl auf quantitative als auch qualitative Unterschiede in der Zusammensetzung von Kleberprotein-Untergruppen zurückzuführen, und Veränderungen in der Kleberprotein-Zusammensetzung zeigten eine deutliche Abhängigkeit vom RP-Niveau. Oberhalb eines sortenspezifischen Schwellenwertes, der für die Sorte Bussard bei etwa 10 % und bei der Sorte Orestis bei etwa 9 % lag, waren das LMW/HMW-Verhältnis und die HMW-Konzentration des Mehles qualitätsbestimmend, während unterhalb des Schwellenwertes die α -Gliadin-Konzentration des Mehles qualitätsbestimmend war. Daraus ließen sich zur Qualitätssicherung SDSS-Schwellenwerte ableiten, denen zufolge cv. Orestis bzw. cv. Bussard zur Entfaltung ihrer spezifischen Proteinqualität ein SDS-Sedimentationsvolumen von etwa 40 ml bzw. 60 ml benötigten.

Untersuchungen an Proben mit unterschiedlicher Qualität bei gleicher Mehl-N-Konzentration zeigten weiterhin, daß eine Verbesserung der Weizenqualität auf eine Zunahme des Glutenin-Polymerisierungsgrades zurückzuführen war. Dies konnte sowohl durch ein enger werdendes LMW/HMW-Glutenin-Verhältnis als auch anhand einer Zunahme der Konzentrationen an HMW-Glutenin bzw. Glutenin-Makropolymer (GMP) nachgewiesen werden. Für eine Qualitätsprognose sind daher am besten solche Methoden geeignet, mit denen polymeres Protein und Glutenin-Makropolymer bestimmt werden. Es wurde zudem festgestellt, daß mit dem spezifischen SDS-Sedimentationsvolumen (SDSS / % Rohpro-

tein) durch die Kombination eines qualitativen mit einem quantitativen Parameter ein geeigneter Indikator für Weizenqualität zur Verfügung steht.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben wurde dankenswerter Weise von der Fa. Drei Pauly Diät & Reform, Ebsdorfergrund sowie der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück finanziert. Unser Dank gilt zudem Frau Maria Nägele und Herrn Franz Schulz für ihre ausgezeichnete Arbeit im Labor und im Versuchswesen.

Literatur

- Wieser H., S. Antes und W. Seilmeier: Quantitative determination of gluten protein types in wheat flour by reversed-phase high-performance liquid chromatography.- *Cereal Chemistry* 75 (1998) 5, S. 644-650
- Gao, L., und W. Bushuk: Solubilization of glutenin in urea/SDS solutions at elevated temperature.- *Journal of Cereal Science* 16 (1992) 1, S. 81-89
- Liu, C.-Y., K.W. Shepherd und P.W. Gras: Development of F2-derived chromosome 1D and 1B substitution lines in durum wheat cultivar Langdon and yield and quality comparisons with normal durum and bread wheat controls.- In: Association of Cereal Research (Hrsg.): *Gluten Proteins 1993*.- Detmold: ACR (1994) S. 299-307
- Popineau, Y., M. Cornec, J. Lefebvre und B. Marchylo: Influence of high Mr glutenin subunits on glutenin polymers and rheological properties of gluteins and gluten subfractions of near-isogenic lines of wheat Sicco.- *Journal of Cereal Science* 19 (1994) 3, S. 231-241
- Schipper, A.: Modifizierbarkeit teigphysikalischer Eigenschaften verschiedener Weizensorten durch Umwelteinflüsse.- *Agrobiological Research* 44 (1991) 2-3, S. 114-132
- Eisenberg, B.: Elektrophoretische Untersuchungen zur Qualitätsdifferenzierung bei Weizen.- Hamburg, Univ., Diss. 1992
- Spanakakis, A.: Nutzung des Züchtungsfortschrittes in der Weizenproduktion.- *Getreide Mehl und Brot* 55 (2001) 4, S. 195-203
- Linnemann, L.: Kleberprotein-Zusammensetzung und Umwelteinfluß als Bedingung der Weizenqualität.- Gießen, Univ., Diss. 2001 (Verlag Dr. Köster, Berlin (2001), ISBN 3-89574-428-X (www.scientific-news.de))
- Graveland, A.: Struktur und funktionelle Eigenschaften von Glutenin.- *Getreide Mehl und Brot* 42 (1988) 2, S. 35-38
- Bushuk, W.: Glutenin-Struktur und Einfluß des Glutenins auf die Backqualität.- *Getreide Mehl und Brot* 43 (1989) 9, S. 259-263
- Gao, L., P.K.W. Ng und W. Bushuk: Structure of glutenin based on farinograph and electrophoretic results.- *Cereal Chemistry* 69 (1992) 4, S. 452-455
- Rogers, W.J., P. Payne und K. Harinder: The HMW glutenin subunit and gliadin compositions of german-grown wheat varieties and their relationship with bread-making quality.- *Plant Breeding* 103 (1989) S. 89-100
- Van Lonkhuijsen, H.J., R.J. Hamer und C. Schreuder: Influence of specific gliadins on the breadmaking quality of wheat.- *Cereal Chemistry* 69 (1992) 2, S. 174-177
- Hussain, A., O.M. Lukow und R.I.H. McKenzie: Rheological properties of gluten derived from wheat cultivars with identical HMW glutenin subunit composition.- *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78 (1998) 4, S. 551-558
- Schipper, A., und W. Jahn-Deesbach: Zusammensetzung der Getreideproteine in Abhängigkeit von genetischen, ökologischen und physiologischen Faktoren.- *Getreide Mehl und Brot* 35 (1981) 12, S. 314-320
- Moonen, J.H.E., A. Scheepstra und A. Graveland: Use of the SDS-sedimentation test and SDS-polyacrylamidgel electrophoresis for screening breeders samples of wheat for bread making quality.- *Euphytica* 31 (1982) S. 677-690
- Gupta, R.B., K. Khan und F. MacRitchie: Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein.- *Journal of Cereal Science* 18 (1993) 1, S. 23-41
- Weegels, P.L., A.M. van de Pijpekamp, A. Graveland, R.J. Hamer und J.D. Schofield: Depolymerisation and re-polymerisation of wheat glutenin during dough processing. I. Relationship between glutenin macropolymer content and quality parameters.- *Journal of Cereal Science* 23 (1996) 2, S. 103-111
- Larroque, O., M.C. Gianibell und F. MacRitchie: Protein composition for pairs of wheat lines with contrasting dough extensibility.- *Journal of Cereal Science* 29 (1999) 1, S. 27-31
- Weegels, P.L., R.J. Hamer und J.D. Schofield: Functional properties of wheat glutenin.- *Journal of Cereal Science* 23 (1996) 1, S. 1-18
- Weegels, P.L., R.J. Hamer und J.D. Schofield: Depolymerisation and re-polymerisation of wheat glutenin during dough processing. II. Changes in composition.- *Journal of Cereal Science* 25 (1997) 2, S. 155-163
- Brümmer, J.-M., und W. Seibel: Extensivierter Weizenanbau und seine Auswirkungen auf die Müllerlei.- *Getreide Mehl und Brot* 46 (1992) 4, S. 99-102
- McDonald, C.E.: Sodium dodecylsulfat sedimentation test for durum wheat.- *Cereal Foods World* 30 (1985) 9, S. 674-677
- Lorenzo, A., und W. Kronstad: Reliability of two laboratory techniques to predict bread wheat protein quality in nontraditional growing areas.- *Crop Science* 27 (1987) S. 247-252
- Kieffer, R., H. Wieser, M.H. Henderson und A. Graveland: Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale.- *Journal of Cereal Science* 27 (1998) 1, S. 53-60
- Rogers, W.J., P.I. Payne, J.A. Seekings und E.J. Sayers: Effect on breadmaking quality of x-type and y-type high molecular weight subunits of glutenin.- *Journal of Cereal Science* 14 (1991) 3, S. 209-221
- Wirries, F.-M.: Die Bedeutung verschiedener Weizenkleberfraktionen für die Backqualität. Untersuchungen an Weizen aus Organischem Landbau.- Bonn, Univ., Diss. 1998
- Gerstenkorn, P., und H. Zwingelberg: Die Qualität der deutschen Weizenerte 1996.- *Mühle und Mischfuttertechnik* 133 (1996) 42, S. 693-696
- Stöppler, H., H. Vogtmann, W. Seibel, H. Bolling und P. Gerstenkorn: Moderne Winterweizensorten in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen in der Bundesrepublik Deutschland.- *Getreide Mehl und Brot* 43 (1989) 9, S. 272-278
- Grosch, W., und H. Wieser: Redox reactions in wheat dough as affected by ascorbic acid.- *Journal of Cereal Science* 29 (1999) 1, S. 1-16
- MacRitchie, F., und R.B. Gupta: Functionality-composition relationships of wheat flour as a result of variation in sulfur availability.- *Australian Journal of Agricultural Research* 44 (1993) S. 1767-1774
- Zhao, F.J., S.E. Salmon, P.J.A. Withers, J.M. Monaghan, E.J. Evans, P.R. Shewry und S.P. McGrath: Variation in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions.- *Journal of Cereal Science* 30 (1999) 1, S. 19-31
- Singh, N.K., G.R. Donovan, I.L. Batey und F. MacRitchie: Use of sonication and size-exclusion high-performance liquid chromatography in the study of wheat flour proteins. I. Dissolution of total proteins in the absence of reducing agents.- *Cereal Chemistry* 67 (1990) 2, S. 150-161
- Jenner, C.F., T.D. Ugalde und D. Aspinall: The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. Review.- *Australian Journal of Plant Physiology* 18 (1991) S. 211-226
- Spiertz, J.H.J.: Grain growth and distribution of dry matter in the wheat plant as influenced by temperature, light energy and ear size.- *Netherlands Journal of Agricultural Science* 22 (1977) S. 207-220
- Spiertz, J.H.J.: The influence of temperature and light intensity on grain growth in relation to the carbohydrate and nitrogen economy of the wheat plant.- *Netherlands Journal of Agricultural Science* 25 (1977) S. 182-197
- Rao, A.C.S., J.L. Smith, V.K. Jandhyala, R.I. Papendick und J.F. Parr: Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat.- *Agronomy Journal* 85 (1993) S. 1023-1028
- Uhlen, A.K., R. Hafskjold, A.-H. Kalhovd, S. Sahlström, Å. Longva und E.M. Magnus: Effects of cultivar and temperature during grain filling on wheat protein content, composition and dough mixing properties.- *Cereal Chemistry* 75 (1998) 4, S. 460-465
- Kolster, P., F.A. van Eeuwijk und W.M.J. van Gelder: Additive and epistatic effects of allelic variation at the high molecular weight glutenin subunit loci in determining the bread-making quality of breeding lines of wheat.- *Euphytica* 55 (1991b) S. 277-285
- Kolster, P., und J.M. Vereijken: Evaluating HMW glutenin subunits to improve bread-making quality of wheat.- *Cereal Foods World* 38 (1993) 2, S. 76-82
- Shewry, P.R., und A.S. Tatham: Disulphide bonds in wheat gluten proteins.- *Journal of Cereal Science* 25 (1997) 3, S. 207-227
- Brümmer, J.-M., und W. Seibel: Extensivierter Anbau und seine Auswirkungen auf Verarbeitungseigenschaften und Gebäckqualität.- *Getreide Mehl und Brot* (1992) 6, S. 187-191

Verfasser:

Dr. Ludger Linnemann
 Institut für Pflanzenbau und
 Pflanzenzüchtung II,
 Deckerweg 13,
 D-34131 Kassel
 und
 Prof. Dr. Günter Leithold,
 Professur für Organischen Landbau,
 Universität Gießen
 Karl-Glöckner Str. 21C,
 D-35394 Gießen
 und
 Prof. Dr. Rolf Rauber,
 Institut für Pflanzenbau und Pflanzen-
 züchtung, Universität Göttingen,
 Von-Siebold-Str. 8,
 D-37075 Göttingen.