

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Entwicklung einer prozessnahen Diagnostik der Mehlqualität und Teigbereitung zur optimierten Herstellung von Backwaren aus Öko-Weizensorten

Development of a process related diagnostic of quality of flour and making of dough for an optimized production of bakery products based on eco wheat varieties

FKZ: 06OE296

Projektnehmer:

Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise e.V.
Brandschneise 5, 64295 Darmstadt
Tel.: +49 6155 8421-0
Fax: +49 6155 8421-25
E-Mail: info@forschungsring.de
Internet: www.forschungsring.de

Autoren:

Linnemann, Ludger

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft (BÖLN)

Abschlussbericht

Entwicklung einer prozessnahen Diagnostik der Mehlqualität und Teigbereitung zur optimierten Herstellung von Backwaren aus Öko-Weizensorten

Projekt Nr.	06OE296
Auftraggeber:	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
Auftragnehmer:	Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise e.V. Darmstadt Brandschneise 5 D-64295 Darmstadt
Projektlaufzeit:	01.08.2007 - 31.07.2010
Projektleiter:	Dr. agr. Ludger Linnemann
Bundesprogramm:	Ökologischer Landbau Bereich F.3.2 „Lebensmittel- Verarbeitung im ökologischen Landbau“

Danksagung

Für die Förderung des Projektes

„Entwicklung einer prozessnahen Diagnostik der Mehlqualität und Teigbereitung zur optimierten Herstellung von Backwaren aus Öko-Weizensorten“ möchten wir uns beim Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft sowie bei der Geschäftsstelle „Bundesprogramm Ökologischer Landbau“ recht herzlich bedanken.

Besonderen Dank schulden wir dem Kooperationspartner „Herzberger“ Bäckerei aus Fulda. Sie hat dem Projekt großes Interesse entgegengebracht und in ihrer Öko-Bäckerei unsere Laborergebnisse unter praktischen Bedingungen überprüft. Dadurch und durch ihre wertvollen fachlichen Ratschläge und praktischen Hilfestellungen war es möglich, ein sehr umfassendes Bild zum Stand und zu den Problemen der Produktionsverfahren von Öko-Backwaren aus Weizen zu gewinnen, wofür wir insbesondere Herrn Dr. Schlinzig, Herrn Groll und Herrn Wagner großen Dank schulden.

Ebenso wichtig und hilfreich war die Mitarbeit der drei Landwirte K.H. Kasper, Th. Schubert und Klaus Wais im Bereich der Streifenversuche. Ihre professionelle Arbeit hat uns die Basis gegeben, erstklassige Rohstoffe verarbeiten zu können.

Dem Müllermeister Zinn von der Ulstermühle in Tann sei an dieser Stelle auch für die hervorragende sortenreine Vermahlung von Kleinstmengen auf seinem „Probat-Walzenstuhl“ herzlich gedankt.

Nicht zuletzt möchten wir Frau Dr. Ute Williges und Herrn Thomas Schindler vom Landesamt Landwirtschaft Hessen in Marburg bzw. Alsfeld (LLH Ökoteam Hessen) für ihr tätiges Interesse am Projekt danken.

Inhaltsverzeichnis

Abschlussbericht	I
Entwicklung einer prozessnahen Diagnostik der Mehlqualität und Teigbereitung zur optimierten Herstellung von Backwaren aus Öko-Weizensorten	I
Danksagung.....	II
Inhaltsverzeichnis	III
1 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes	1
1.1 Planung und Ablauf des Projektes	1
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	2
2 Material und Methoden.....	5
2.1 Standorte.....	5
2.2 Versuchsaufbau und Durchführung der Streifenversuche.....	6
2.2.1 Versuchsanlage.....	6
2.2.2 Sorten.....	7
2.2.3 Probenaufarbeitung.....	7
2.3 Untersuchungsmethoden	8
2.3.1 Qualitätsbeschreibung von Weizen	8
2.3.1 Teigrheologie	9
2.3.1 SE-HPLC.....	9
2.3.2 Backtest	11
2.3.2 Praxis Backversuche.....	14
2.3.2 Statistische Auswertung	14
3 Ergebnisse und Diskussion.....	16
3.1 Optimierung eines Backtests	16
3.2 Backvolumina in 2008 und 2009	24
3.2.1 Sortenmischungen	30
4 Diagnose der Mehlqualität und des Backvolumens.....	32
4.1 Rohprotein und Kleber	33
4.2 Beziehungen zwischen Backvolumen und Parametern der Mehlqualität	38
6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	45
7 Literaturverzeichnis	49
8 Anhang.....	52

1 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Auf Grundlage der Volumenausbeute von neuen Weizensorten, die im Ökologischen Landbau (ÖL) gezüchtet wurden, soll deren potenzielle Verarbeitungsqualität untersucht und die Beziehung des Brotvolumens zur Kleber-Proteinqualität analysiert werden.

Durch die Bearbeitung dieser wissenschaftlichen Arbeitsziele sollen die zugrunde liegenden Wirkungszusammenhänge erkannt und hierüber Sortenempfehlungen für die Qualitätssicherung in der Praxis in der ökologischen Lebensmittel-Verarbeitung abgeleitet werden.

Zu folgenden Fragestellungen sollen die Untersuchungen den Kenntnisstand erweitern:

1. Wie kann ein Standard-Backtest unter Berücksichtigung der Mehl-Kleberqualität optimiert werden?
2. Welchen Einfluss auf die Volumenausbeute hat das Glutenin-Makropolymer (GMP) als Bestandteil des Mehl-Kleberproteins?
3. Wie sind die neuen Öko-Weizensorten im Vergleich mit konventionell gezüchteten Sorten auf Basis des optimierten Backtests zu bewerten?
4. Lassen sich Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften so kombinieren, dass positive Mischeffekte auftreten?
5. Kann die Volumenausbeute mit indirekten Parametern der Mehl-Qualität sicher vorhergesagt werden?
6. Stimmen die Ergebnisse des optimierten Backtests mit Ergebnissen aus der Praxis überein?
7. Lassen sich analytische Grenzwerte für die Bewertung von Weizenproben aus den Ergebnissen ableiten?

1.1 Planung und Ablauf des Projektes

Zur Diagnose der Verarbeitungsqualität wurde ein Backtest (Mehltype 550) auf Kleber-Proteinqualität optimiert, der eine standardisierte Ermittlung der Volumenausbeute im Mikro- Maßstab (50 Gramm Mehl) ermöglicht. Hierzu konnten Proben aus bundesweit angelegten Öko-Sortenversuchen verwendet werden.

Parallel dazu wurden in 2007 und 2008 an drei Standorten Streifenversuche mit je 9 Sorten angelegt und aus etwa 500 kg Weizen je Sorte und Standort in einer Walzenstuhl-Mühle Mehl für die Backversuche hergestellt. Allgemein wurden die Mehle mit den gängigen Parametern zur Diagnose der Mehlqualität von Öko-Weizen über mehrere Standorte und Jahre hinweg geprüft. Darüber hinaus wurde mit einer HPLC-Methode zur Bestimmung einer schwer löslichen Kleberfraktion (Glutenin-Makropolymer, GMP) die Bedeutung der Kleberqualität für die Ausprägung der Volumenausbeute untersucht.

Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis zu gewährleisten, wurde die Verarbeitbarkeit der Sorten zusammen mit dem Projektpartner Herzberger unter Praxisbedingungen untersucht.

In einem weiteren Schritt galt es zu überprüfen, inwieweit die Volumenausbeute anhand der untersuchten indirekten Qualitätsparameter Rohprotein, Kleber, SDS-Sedimentation, Glutenin-Makropolymer und Extensogramm hergeleitet werden kann. Mit der gezielten Mischung von Sorten mit unterschiedlichen Klebereigenschaften sollte in Erfahrung gebracht werden, in welchem Umfang eine gezielte Sicherung hoher Verarbeitungsqualität bereits im Anbau bzw. in der Mühle mit den untersuchten Sorten möglich ist. Es wurden hierfür sowohl Mischungen im Labor entwickelt und zusammen mit Herzberger untersucht, als auch auf angebaute Sortenmischungen vom Standort Alsfeld (Thomas Schindler LLH) zurückgegriffen, um die Fragestellung anfänglich bearbeiten zu können.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Verarbeitungseigenschaften von Weizenmehlen werden im Wesentlichen von den Kleberproteinen bestimmt, die im Teig ein kohärentes Netzwerk formen, das viskoelastische Eigenschaften hat (Belitz et al. 1986). Für die Bestimmung des Verarbeitungswertes von Weizen wird auf den Rapid-Mix-Test (RMT) zurückgegriffen. Die Kernkompetenz des RMT ist jedoch die Ermittlung von Volumenausbeute und Teigeigenschaften im Rahmen der Sortenzulassung des Bundes unter konventionellen Bedingungen. Die wesentlichen Ziele waren damals dadurch geprägt, dass Mehle herzustellen waren, die sich gegenüber verschiedenen Verarbeitungsbedingungen und höheren Knettemperaturen als robust erwiesen (Kieffer et al. 1998). Dem entsprechend wurde für den RMT ein praxisunüblicher

Universal-Schnellknetter (Arbeitsgemeinschaft 1994) verwendet, der für 1 Minute mit 1.400 UPM den Teig in der Art eines Mixers mit stumpfen, rotierenden Messern am Gefäßgrund bearbeitet, was einer extrem starken Kleberbeanspruchung gleichkommt. Praxisübliche Knetter arbeiten mit Knetwerkzeugen bei 60-300 UPM.

Seitdem haben sich durch züchterische Maßnahmen Sorten mit anderen Klebereigenschaften etabliert. Insbesondere weichere Kleber sowie Mehle mit Rohproteinwerten $< 12\%$ werden mit dem RMT potenziell unterbewertet, wie systematische Untersuchungen von Kieffer et al. (1998) zeigten. Demnach kann der RMT die optimale Verarbeitung von Öko-Weizen nicht wirklich abbilden und müsste daher auf mittlere Kleberkonzentrationen optimiert werden (Münzing et al. 2004). Als Richtwert für eine optimale Verarbeitungsqualität bezogen auf Brötchen (RMT) wurde von Brümmer & Seibel (1992) ein Optimum von etwa 11,5% Rohprotein (RP) in Mehlen der Type 550 bzw. etwa 12,3 % RP im Korn bei guten Teigeigenschaften angegeben. Die Autoren verweisen darauf, dass höhere RP-Konzentrationen bereits zu verminderter Krumenelastizität und vermindertem Geschmack führen können.

In der Öko-Landbauforschung gelang es in der Vergangenheit nicht, trotz erheblicher Steigerung der Mehl-Proteinkonzentration in Düngungsversuchen mit wirtschaftseigenen Düngern hohe Volumenausbeuten > 660 ml/100 g Mehl zu erreichen (Wirries 1998, Kühlsen 2001). Die Erzeugung von Backweizen unter diesen Bedingungen war für viele Betriebe nicht wirtschaftlich. Auf der anderen Seite gab es Hinweise von Bäckern, dass Weizen mit angeblich wenig Kleber gute Verarbeitungseigenschaften zeigten.

In neuerer Zeit wurden zudem vermehrt Weizensorten aus ökologischer Züchtung angemeldet. Diese sogenannten Öko-Weizensorten traten durch besondere Eigenschaften positiv hervor und standen in dem Ruf, über eine hohe Backeignung zu verfügen. Daher lag es nahe, diese Sorten in eine Prüfung mit einzubeziehen.

Der theoretische Wert legt nahe, dass mit mittleren Rohprotein- bzw. Kleberkonzentrationen eine durchaus optimale Verarbeitung möglich ist und die Optimierung eines Backtests auf die Bedingungen von Öko-Weizen sinnvoll erscheint.

Die Hypothese für das Projekt lautet daher, dass die heute gängigen Prüfmethode nur eingeschränkt für die Beurteilung von Teigeigenschaften bzw. Volumenausbeute von Weizen aus Ökologischem Landbau (ÖL) einsetzbar sind. Den Hintergrund für die Hypothese bilden zudem wissenschaftliche Erkenntnisse zur Proteinqualität von Weizenkleber (Glutenin-Makropolymer GMP) aus Holland und dem angelsächsischen Raum, die eine nur untergeordnete Bedeutung der Klebermenge für die Herleitung der Volumenausbeute nachwies (Uhlen et al. 1998,).

2 Material und Methoden

2.1 Standorte

Als Standorte für die Streifenversuche wurden drei verschiedene Klimaräume und Böden gewählt, um eine möglichst große Spreizung der Daten zu erreichen. Eine Übersicht über die Standorteigenschaften der drei Streifenversuchsstandorte zeigt Tabelle 1.

Am Standort Alsfeld (Betrieb Kasper) handelt es sich um eine Mittelgebirgslage im Vogelsberg (Alsfeld-Liederbach) mit einer langjährigen Jahres-Durchschnittstemperatur von 7,8°C. Die Böden weisen ein mittleres Ertragsniveau von etwa 50 dt/ha auf. Am Standort Liederbach stehen die Öko-Landessortenversuche des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen (LLH).

Am Standort Halle/Saale (Betrieb Gut Döllnitz KG, Th. Schubert) handelt es sich um eine Tieflandlage im Bereich von Schwemmlanden der Saale und Elster mit sehr heterogenen Böden. Prägend für die Ertragsbildung sind Frühsommer-Trockenheiten und kontinentales Klima.

Am Standort Stuttgart-Möhringen (Betrieb K. Wais) handelt es sich um fruchtbare Böden in Tallagen mit einer langjährigen Jahres-Durchschnittstemperatur von 8,8°C.

Tab. 1: Standorteigenschaften der Streifenversuchsstandorte in 2008 und 2009

Standort	Ackerzahl	Ertragsniveau *dt/ha	Bodentyp	Bodenart
Alsfeld	51	50	Braunerde aus Basalt	sandiger Lehm
Halle/Saale	50	35	Sandlöss	sandiger Lehm
Stuttgart	70	60	pseudovergleyte Parabraunerde	toniger Lehm

* im Mittel der Jahre unter anderem als Auswirkung von Boden und Witterung

2.2 Versuchsaufbau und Durchführung der Streifenversuche

2.2.1 Versuchsanlage

Die Versuche wurden in den Anbaujahren 2007/2008 und 2008/2009 an drei Standorten als **Streifenversuche** mit insgesamt 9 Sorten auf drei Praxisbetrieben angelegt (Abbildung 1).



Abb. 1: Streifenversuch mit 9 Weizensorten am Standort Alsfeld (2009)

Die **Aussaat** der Streifen erfolgte betriebsüblich mit den am Hof vorhandenen Drillmaschinen auf einer Fläche von etwa 800 m² je Sorte. Das Getreide wurde vor der Aussaat mit Tillecur gegen Steinbrand behandelt. Auf allen Aussaatflächen standen Leguminosen als Vorfrucht. Nach der Aussaat einer Sorte wurde die Drillmaschine entleert und eine neue Sorte eingefüllt. Die Sorten des Streifenversuches sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Beim **Mähdrusch** jedes Streifens wurde das Korn in einem BigBag gelagert. Mähdrusch sind generell nicht hundertprozentig zu reinigen, das heißt, dass ein

kleiner Teil Getreide im Tank verblieb. Bei etwa 500 kg Erntegut je Sorte dürfte der relative Fremdanteil von etwa < 0,5 % jedoch zu vernachlässigen sein.

2.2.2 Sorten

Alle verwendeten Sorten wurden entweder vom Züchter direkt oder als ökologisches Saatgut von Öko-Vermehrern bezogen. Die konventionell gezüchteten Sorten Certo (C), Capo und Achat dienten als Vergleichssorten. Butaro erhielt 2008 eine Zulassung und wurde im zweiten Jahr zusätzlich mit ins Sortiment aufgenommen.

Tab. 2: Weizensorten, Herkünfte und Qualitätseinstufungen (Klasse)

Nr	Sorte	Züchter, Land***	Klasse
1	Aszita	GPK, CH	B*
2	Ataro	GPK, CH	Klasse 1**
3	Goldblume [®] / Ludwig (3/7)	GD/ Pflanzenzucht Oberlimpurg, D	---
4	Wiwa	GPK, CH	TOP Klasse**
5	Hermes	Dr. Heyden, D	---
6	Pollux	GPK, CH	Klasse 1
7	Butaro (nur 2009)	Dr. Spieß, D	E
8	Capo	Probstdorfer, A	E
9	Achat	Probstdorfer, A	E

*Deutschland: Elite = E: sehr hoch, Qualität = A: hoch, Brot = B: mittel, Futterweizen = C: mangelhaft.

** Schweizer Klassifizierung: TOP Klasse (höhere Einstufung als Klasse 1, Klasse 1 (entspricht der deutschen E-Klasse),

*** GPK: Getreidezüchtung Peter Kunz, CH-8634 Hombrechtikon/ZH,

Dr. B. Heyden, J. und C. Keyserlingk-Institut, D-88682 Salem,

Dr. habil. H. Spieß, Züchtungsforschung Dottenfelder Hof, D-61118 Bad Vilbel

Probstdorfer Saatzucht, A-1011 Wien,

GD=Getreidezüchtung Darzau, Dr. K.-J. Müller, D-29490 Neu Darchau,

CH=Schweiz; D=Deutschland; A= Österreich.

2.2.3 Probenaufarbeitung

Alle Proben der Ernte 2007 wurden auf einem Laborwalzenstuhl Agromatic AQC mit drei Passagen ohne Zwischensiebung zur Mehltypen 550 vermahlen. Der Ausmahlungsgrad bei einer Sieb-Maschenweite von 250 µm betrug etwa 62 %. In

2008 wurden alle Proben in einer Walzenstuhl-Mühle (Ulstermühle in Tann, 10 T/Tag) über 12 Passagen zur Mehltypen 550 mit einem Ausmahlungsgrad von etwa 79 % vermahlen.

In 2009 wurden nur die Proben der Standorte Alsfeld und Stuttgart wie im Vorjahr vermahlen. Die Proben des Standorts Halle/Saale wurden in der Züchtungsforschungsstelle des Dottenfelder Hofes gereinigt (Mini Petkus) und dann vermahlen (Agromatic AQC).

2.3 Untersuchungsmethoden

2.3.1 Qualitätsbeschreibung von Weizen

Stickstoff-Konzentration nach ICC 105/2 (MRI, Detmold). Aufschluss nach Kjeldahl mit Mehl der Typen 550. Umrechnung in Rohprotein mit $N \% \times 5,7$.

Feuchtkleber [%], **Trockenkleber** (%), **TS** mit Feuchtigkeit nach ICC 110/1 und **Glutenindex** nach ICC 155 (MRI, Detmold). Kleber wird aus dem Mehl mittels einer Kochsalzlösung (2 %) maschinell ausgewaschen und für die Glutenindexbestimmung mittels Zentrifugalkraft durch ein definiertes Sieb gepresst.

Fallzahl (s) nach ICC 107 (MRI, Detmold). Bei der Fallzahl als Indikator für die Auswuchsschädigung (α -Amylaseaktivität) wird mittels Rührviskosimeter die Verkleisterungsfähigkeit einer Mehl-Wasser-Suspension bzw. der Stärke geprüft. Bei hoher α -Amylaseaktivität ergeben sich geringe Fallzahlen. Die Messeinheit ist Sekunden.

SDS-Sedimentation nach McDonald (1985). Axford et al. (1978) modifizierten den Zeleny-Test, indem sie Isopropanol durch das Detergenz Natrium-Dodecylsulfat ersetzen. Nach Untersuchungen von Eckert (1993) kommt es zu einer Quellung des Mehles in der Sedimentationslösung, die auch bei Strängen des Klebernetzwerkes beobachtet wurde, wobei die SDS-Lösung zu einer stärkeren Quellung als die Zeleny-Lösung führte. Ferner beobachtete Eckert bei seinen Untersuchungen im Lichtmikroskop, dass von den Kleberproteinen nur Glutenine zur Quellung beitragen, während Gliadine in Lösung gingen. Glutenine wiederum sind für die Elastizität eines Teiges verantwortlich.

Im Detail wurde 0,5 g Mehl der Type 550 in einen 10 ml-Messzylinder eingewogen und mit 5 ml Wasser suspendiert. Anschließend wurden 5 ml einer SDS/Milchsäure-Lösung 8 min. über Kopf geschüttelt (Zeleny-Schüttelapparat) und für 20 min. in ein Wasserbad bei 25°C zur Sedimentation gestellt. In einem Messgang wurden 16 Proben im 30 Sekundentakt bearbeitet.

2.3.1 Teig rheologie

Extensogramm nach ICC 114 (MRI, Detmold). Anhand des Extensographen werden die rheologischen Teigeigenschaften mit 20 ppm Ascorbinsäure im Mehl über die standardisierte Dehnung bestimmt und als Extensogramm abgebildet. Dieser Zugversuch stellt eine uniaxiale Dehnung von definierten Weizenmehlteigen (T550) dar. Als Ergebnis werden einerseits der Dehnwiderstand (DW), der Dehnwiderstand im Maximum (DW_{max}) und andererseits die Dehnbarkeit (DB) aus dem Kurvenzug sichtbar. Aus diesen Parametern wird anschließend das Verhältnis DW/DB errechnet. Die integrierte Fläche unter der Kurve liefert die „Extensogramm-Energie“. Die Messungen erfolgen in drei Zeitabständen (Teigruhezeit 45, 90 und 135 min.), wobei aufgrund der zeitabhängigen Reaktion der Ascorbinsäure im Teig und der Teigruhe im Backtest von insgesamt 90 Minuten die 90 Minuten Extensogramme ausgewertet wurden.

2.3.1 SE-HPLC

Verschiedene Weizen Endosperm Proteine wurden mit einer Beckman System Gold HPLC (zwei 126 Pumpen, ein 166 Detektor, Säulenheizung und ein 507E automatischer Probengeber) auf einer Phenomenex Biosep SEC-4000 (5 μ m, 450 Å, 7,8 x 300 mm) mit Vorsäule in Anlehnung an Singh et al. (1990) nach Größe getrennt (Abbildung 2).

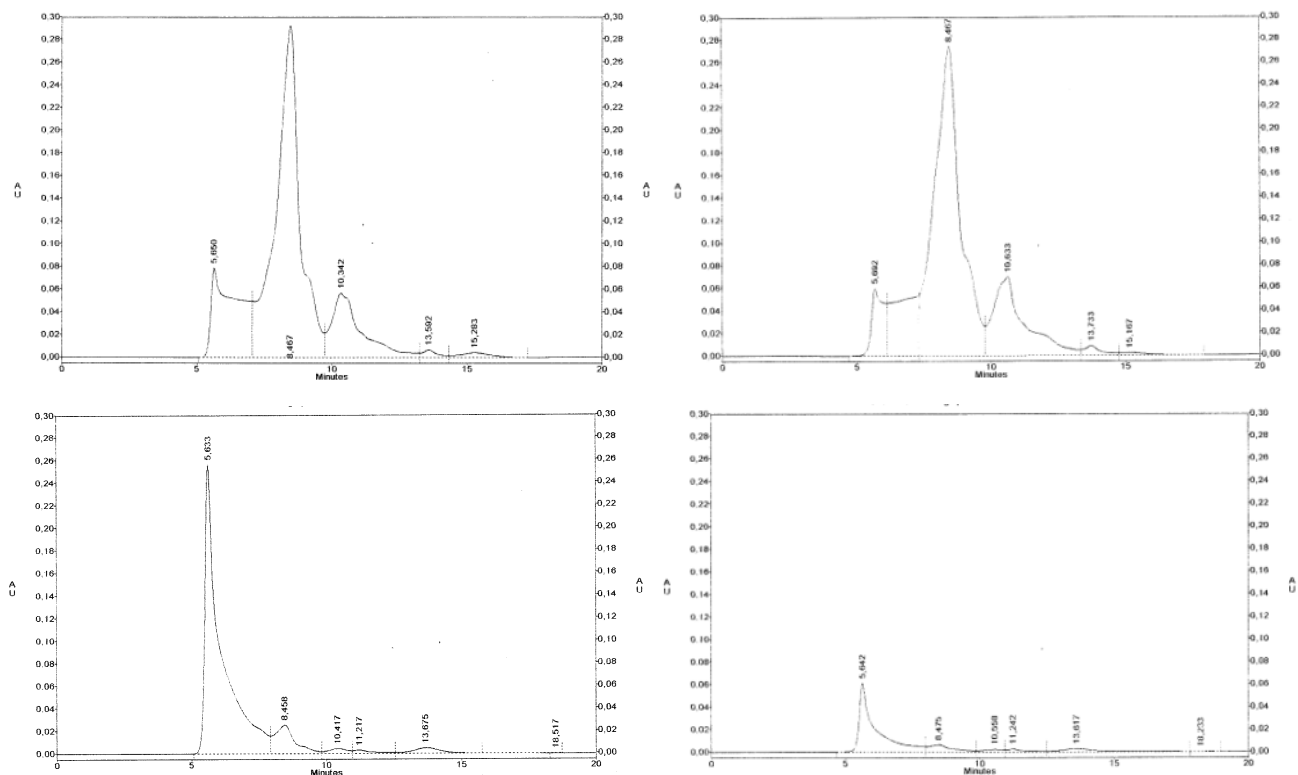


Abb. 2: SE-HPLC Trennungen von Mehl-Proteinen. Links E-Weizen 793 ml Backvolumen, rechts C-Weizen 483 ml Backvolumen. Oben: SDS-lösliche Proteine (erster Peak bei 5,6 min. = polymere Glutenine). Unten: in SDS unlösliche Proteine (erster Peak = polymeres Glutenin-Makropolymer GMP).

Die Mehl-Proben (15-20 mg) wurden zuvor in drei Extraktionsschritten in 2 % SDS (Na-Dodecylsulfat) und 0,05 M Natrium Phosphat Puffer (Na_2HPO_4) pH 6,9 extrahiert. Im verwendeten Extraktionsverfahren wurden etwa 100 % Protein wiedergefunden bezogen auf die Rohproteinkonzentration des Mehles (RP%). Bei relativen Abweichungen vom RP% > 3% wurde die Messung wiederholt.

SDS-lösliche Proteine wurden mit 1 ml Puffer in einem 2 ml Reaktionsgefäß mit Magnetrührer bei 20°C/700 UPM im Rühr-Wasserbad (15-Stellenrührer) extrahiert und in einer Zentrifuge bei RT/14.500 UPM für 20 min. abzentrifugiert. Die klaren Überstände wurden in HPLC-Gefäße dekantiert und direkt analysiert, um einen enzymatischen Proteinabbau zu vermeiden.

SDS-unlösliche Proteine wurden aus dem Rückstand in 1 ml Puffer suspendiert und bei 65°C/700 UPM im Wasserrührbad für 20 min. extrahiert. Dann wurde jede Probe im Reaktionsgefäß mit Rührfisch in einem Ultraschallbad mittig über dem Ultraschallerzeuger platziert und bei einem Wasserstand bis zur Füllhöhe des Reaktionsgefäßes für 1 min. beschallt. Es folgte eine Zentrifugation wie oben beschrieben. Die Extraktion wurde mit 1 ml Puffer wiederholt. Die hohe Extraktions-

Temperatur von ≥ 60 °C im Reaktionsgefäß verbesserte die Proteinwiederfindung und reduzierte den enzymatischen Probenabbau innerhalb eines Tages nahezu vollständig. Die Trennsäule wurde bei 25°C mit 0,05 mol/L Na_2HPO_4 -Puffer + 0,5 % (w/v) SDS pH 6,9 eluiert. Bei einer Flussrate von 1 ml/min. wurden 20 μl Proben injiziert und Proteine im UV-Bereich bei 210 nm in 20 min. Läufen detektiert. Zur Proteinquantifizierung wurde das System mit Bovine Serumalbumin als Standard kalibriert und die Chromatogrammflächen in mg Protein/100 g Mehl umgerechnet. Die Reproduzierbarkeit der Analysen lag bei Messwiederholungen < 1 % und bei mehrfacher Analyse eines Mehles < 4 %.

Die Konzentration an unextrahierbarem polymeren Proteinen (UPP %) wurde wie folgt errechnet:

$$\% \text{ UPP} = \frac{\text{Fläche von Peak 1 (unextrahierbar in SDS)}}{\text{Fläche von Peak 1 (extrahierbar in SDS)} + \text{Fläche von Peak 1 (unextrahierbar in SDS)}} \times 100$$

Die Konzentration an polymeren Proteinen im gesamten Protein (PPP %) wurde wie folgt errechnet:

$$\% \text{ PPP} = \frac{\text{Fläche von beiden Peak 1}}{\text{Fläche beider Chromatogramme}} \times 100$$

Die Konzentration an polymeren Proteinen im Mehl (FPP %) wurde wie folgt errechnet:

$$\% \text{ FPP} = \frac{(\% \text{ PPP} \times \% \text{ Protein im Mehl})}{100}.$$

2.3.2 Backtest

Die Optimierung des Backtestes erfolgte in Anlehnung an Angaben aus der internationalen Literatur (Finney 1984, Preston et al. 1997, Kieffer et al. 1998, Faergestad 2000) und der Arbeitsvorschrift des deutschen Rapid-Mix-Tests (AGF, 1994). Sie basiert auf einer praxisnahen Teigverarbeitung mit optimierter Knetdauer. Hierfür wurde ein elektronisch geregelter DoughLab **Messknetter** (Newport Scientific, AU) mit 63 bis 200 Umdrehungen pro Minute verwendet, ausgerüstet mit einem temperierbaren 50 Gramm Brabender Doppel Z-Arm Knetter (siehe Abb. 3).



Abb. 3: DoughLab Messkneteter mit Brabender Doppel-Z-Armkneteter für 50 Gramm Mehl mit Temperiereinrichtung (Umlaufkühler, links).

Als **Rezeptur** wurden 50 g Mehl (100 %), 2 % reines Meersalz, 1 % Rohrohrucker, 3 % Fett (Alsan-Bio), 5% Presshefe (Uniform), 0.5 % Gersten-Malzmehl (Lindenmeyer, Heilbronn) und Ökostolz Vit.-C (Dinkel/Acerolamark-Mehl, Meyermühle, Landshut) verwendet. Um mit dem Dinkel/Acerola-Mehl 50 mg/kg Ascorbinsäure applizieren zu können, wurde auf eine Analyse vom Hersteller zurückgegriffen. Die Dosierung schwankte von Charge zu Charge und betrug etwa 1% bezogen auf 50 g Mehl. Die Malzmehlwirkung wurde vor Verwendung einer neuen Charge geprüft. Gersten-Malzmehl wurde mit etwa 0,5% bei Fallzahlen < 280 s bzw. bei Fallzahlen darüber mit 1% bezogen auf 50 g Mehl eingesetzt. Als Maßstab dienten Bräunung und Volumenausbeute. Lediglich bei Proben mit Fallzahlen < 170 s entfiel die Zugabe von Malzmehl. Die Ermittlung der **Wasserzugabe** erfolgte gemäß der DoughLab Wasseraufnahme des Mehles mit den gesamten Zutaten der Rezeptur bei einer

Konsistenz von etwa 500 N, 25 °C und 63 UPM. Mehl mit allen Zutaten wurde in den Knetter gefüllt und die Hefe mit der ermittelten Wassermenge auf einem Magnetrührer homogenisiert und bei laufendem Messknetter zugegossen. Knetdauer und Knetenergie wurden aus der Konsistenzkurve ermittelt und entsprachen dem ersten bzw. zweiten Kurvenoptimum. In 2009 traten generell nachlassende Teige auch bei Sorten mit festen Klebern (Glutenindex > 80) auf. Daher wurde die Teigkonsistenz bei 63 UPM auf etwa 650 erhöht, um die schwächer ausgeprägten Stabilitäts-Maxima zu verstärken. Für die Untersuchung der Volumenausbeute wurde in einem zweiten Messlauf der Teig bei 100 UPM nach Energieeintrag geknetet, dem Knetter entnommen, von Hand zu einer Kugel gerollt. Nach einer Teigruhe von 20 min. bei Raumtemperatur (RT) auf einem Holzbrett unter einer Holzschale wurde die entspannte Teigkugel anschließend dreimal in einem Mono Mini-Moulder gewalzt/aufgerollt (3 mm Walzenabstand, Druckeinstellung Nr. 6) und in eine rechteckige Backform gelegt (innen oben LxBxH: 10 cm x 5,5 cm x 3 cm; innen unten LxBxH: 8,5 cm x 4 cm x 3 cm). Nach einer Fermentation von 60 min. in einem Gärschrank (Miwe econo) bei 32°C/85% rel. Feuchte wurden die Teige in einem Umluft-Backofen (Miwe Gusto CS) mit anfänglicher Schwadengabe für 9 min. bei 230°C gebacken. Das **Brotvolumen** wurde nach einer Abkühlzeit von mindestens 120 min. ermittelt. Hierzu wurden die Brote mit einem eigens angefertigten Volumeter aus Edelstahl mit den Grundmaßen 10 cm x 10 cm x 10 cm (Höhe x Breite x Tiefe) vermessen. Das Volumeter wurde in Anlehnung an Vanhamel et al. (1991) so konstruiert, dass es eine trapezförmige Haube aufweist, die nach oben in einen mittig angelegten 4 cm x 4 cm x 4 cm Einfüllschacht ausläuft. Das Volumeter arbeitet mit Glaskugeln (\varnothing 2 mm \pm 0,2 mm, Lindner, Warmensteinach) und kann innerhalb der genannten Maße Brötchenvolumina von 1000 ml aufnehmen. Diese Bauweise ermöglichte eine hohe **Reproduzierbarkeit** der Messungen. Die Eichung des Volumeters wurde mit Hartholzklötzen verschiedener Größen durchgeführt: 7 cm x 7 cm mit verschiedenen Längen von 5 cm bis 8 cm entsprechend 490 ml, 588 ml, 686 ml und 784 ml/100 g Mehl. Die Korrelation zwischen den berechneten und den gemessenen Volumina betrug bei 6 Messwiederholungen $r = 0,9981$ (siehe Abb. 4 in 3.1). Der Variationskoeffizient CV (%) lag deutlich < 1 % (490 ml = 0,57 %, 588 ml = 0,74 %, 686 ml = 0,61%, 784 ml = 0,83 %). Bei jeder Messung wurde ein Eichholz auf eine Schicht Glaskugeln gelegt, dann das geschlossene Gefäß mit weiteren Glaskugeln bis zum Rand aufgeschüttet. Nach dreimaligem Verdichten des

Kugelbettes durch leichtes Aufstoßen des Volumeters wurde erneut bis zum Rand aufgefüllt, abgestrichen und das verdrängte Kugelgewicht bestimmt. Unter Verwendung der Dichte der verwendeten Glaskugeln (1,59 kg/L) wurde das jeweilige Volumen errechnet. Die Angaben wurden dann auf ml/100 g Mehl umgerechnet. Wiederholte Backversuche mit einem Mehl führten zu Streuungen im Volumen von $\leq 5\%$ oder etwa 20 bis 30 ml. Proben mit Werten im Grenzbereich von 660 ml oder bei nicht plausiblen Ergebnissen wurden solange untersucht, bis die Ergebnisse erklärbar waren.

2.3.2 Praxis Backversuche

Im Rahmen der Kooperation mit der Herzberger Bäckerei in Fulda wurden sortenreine Mehle in der Bäckerei praxisüblich zu Kaiserbrötchen verarbeitet. Hierzu wurden je 38 kg Mehl mit folgender Rezeptur verarbeitet: 2 % Meersalz, 1 % Maragarine, 3,6 % Hefe, 4% Backmittel Bio-Weizengold (Acerola, Lecithine, Enzyme), 2 % Sauerteig, 56 % Wasser. Die Teige wurden im Spiralknetter etwa 12 min. mit einer Teigendtemperatur von 26 °C geknetet. Nach einer Ruhezeit von 20 min. wurde der Teig vollautomatisch von einer Kemper Quaddro Round aufgearbeitet und für 60 min. in einem Gärschrank bei 32°C/85% rel. Feuchte aufbewahrt. Das Abbacken erfolgte in Thermoöl-Öfen bei 240°C abfallend bis 210°C. Nach einer Abkühlzeit von 120 min. wurde das Volumen von 6 Brötchen je Sorte ermittelt. Parallel dazu wurden die gleichen Mehle am selben Tag mit der gleichen Rezeptur (ohne Sauerteig, mit 5% Hefe) in der Versuchsbäckerei mit dem optimierten Backtest gebacken und vermessen.

2.3.2 Statistische Auswertung

Durch den Versuchsaufbau bedingt (Streifenversuch ohne Wiederholungen) stellen die Ergebnisse verbundene Stichproben dar. Es werden je Auswertung mehrere Sorten miteinander verglichen; eine Normalverteilung der Daten wurde nicht vorausgesetzt.

Zur Charakterisierung der Messdaten wurden Mittelwerte bzw. Variationskoeffizienten (%) angegeben. Zur Charakterisierung von Zusammenhängen zwischen einzelnen Qualitätsparametern und den Daten zum Backvolumen wurde das Bestimmtheitsmaß (R^2) errechnet. Ein R^2 -Wert kann interpretiert werden als der relative Anteil

(%) der Varianz von Y, der durch die Varianz von X erklärt wird. Bei Paarvergleichen wurde ein T-Test durchgeführt, mit dessen Hilfe getestet wurde, ob sich die Mittelwerte zweier Stichproben aus zwei Grundgesamtheiten unterscheiden.

3 Ergebnisse und Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde von neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen ausgegangen, welche nachweisen, dass der Proteinqualität von Weizenmehl eine größere Bedeutung als der Proteinmenge zukommt (Uhlen et al. 2004, Schipper 1991, Eisenberg 1993) und dass Proben einer Sorte auf gleichem Proteinniveau sehr unterschiedliche Volumenausbeuten aufweisen können, was auch für den Bereich der Kleberqualität von Weizen aus Organischem Landbau gilt (Linnemann 2002, 2005). In Untersuchungen der Kleberprotein-Zusammensetzung zeigte sich mit zunehmender Mehl-Rohproteinkonzentration (RP %) eine sortenspezifisch ausgeprägte Zunahme der Kleberqualität, die einer absoluten Zunahme an Glutenin-Makropolymer und der SDS-Sedimentation entsprach, nicht aber mit der Klebermenge korrelierte. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen, dass wenn ein wesentlich engerer Bezug zur Kleberqualität als zur Klebermenge für die Höhe der Volumenausbeute bestimmend sein soll, dies im Backtest berücksichtigt werden muss. Zur Überprüfung dieser Hypothese bedurfte es aus wissenschaftlicher Sicht zunächst einer Optimierung des Backtests in Richtung auf eine Differenzierung der Mehl-Kleberproteinqualität. Erst im Anschluss daran ließ sich die Eignung gängiger Untersuchungsmethoden der Mehlqualität wie Rohprotein, Sedimentationswert, Feuchtkleberkonzentration und Extensogramm zur Vorhersage der Volumenausbeute bzw. deren Bezug zur Volumenausbeute prüfen. Ferner war auch zu prüfen, ob Sorten in Mischung positive Kombinationseffekte erwarten ließen, um Hinweise für zukünftige Qualitätsverbesserungen zu erhalten. Dabei sollte vor allem gewährleistet werden, dass der optimierte Backtest auf die Bedingungen in der Praxis übertragbar ist und dort vergleichbare Ergebnisse in der Endproduktqualität auftreten.

3.1 Optimierung eines Backtests

Der angestrebte Backtest sollte reproduzierbar sein und empfindlich auf Unterschiede in der Kleberqualität reagieren. In erster Annäherung an diese Vorgaben wurde ein Volumeter entwickelt, das es erlaubte, sehr hohe Backvolumina von > 660 ml/100g Mehl mit einer hohen Genauigkeit zu bestimmen. In Abbildung 4 wird die Genauigkeit (CV < 1 %) des im Projekt verwendeten Volumeters dokumentiert. Die verwendeten 2 mm Glaskugeln gewährleisteten durch

ihre Härte und Gleichförmigkeit eine hohe Übereinstimmung zwischen dem berechneten Volumen und dem tatsächlich gemessenen Volumen, was mit brüchigem und ungleichmäßig geformtem Material wie Rapssamen nicht so leicht zu erreichen war.

Ferner ist bekannt, dass die Höhe der Volumenausbeute im Wesentlichen auf die Mehl-Kleberqualität und die **Art der Verarbeitung** zurückgeführt werden kann (Uhlen et al. 2004, Tronsmo et al. 2003, Kieffer et al. 1998). Als wissenschaftliche Voraussetzung einer Optimierung im Labormaßstab wird in diesem Zusammenhang die direkte Kontrolle der Prozessparameter Knettemperatur, Knetdauer bzw. Teigstabilität und Wasserzugabe durch einen Messknetter angesehen (Roels et al. 1993, Zounis & Quail 1997, Kieffer et al. 1998, Faergestad et al. 2000). Diese Voraussetzungen wurden im vorgestellten Backtest überprüft und falls notwendig erfüllt.

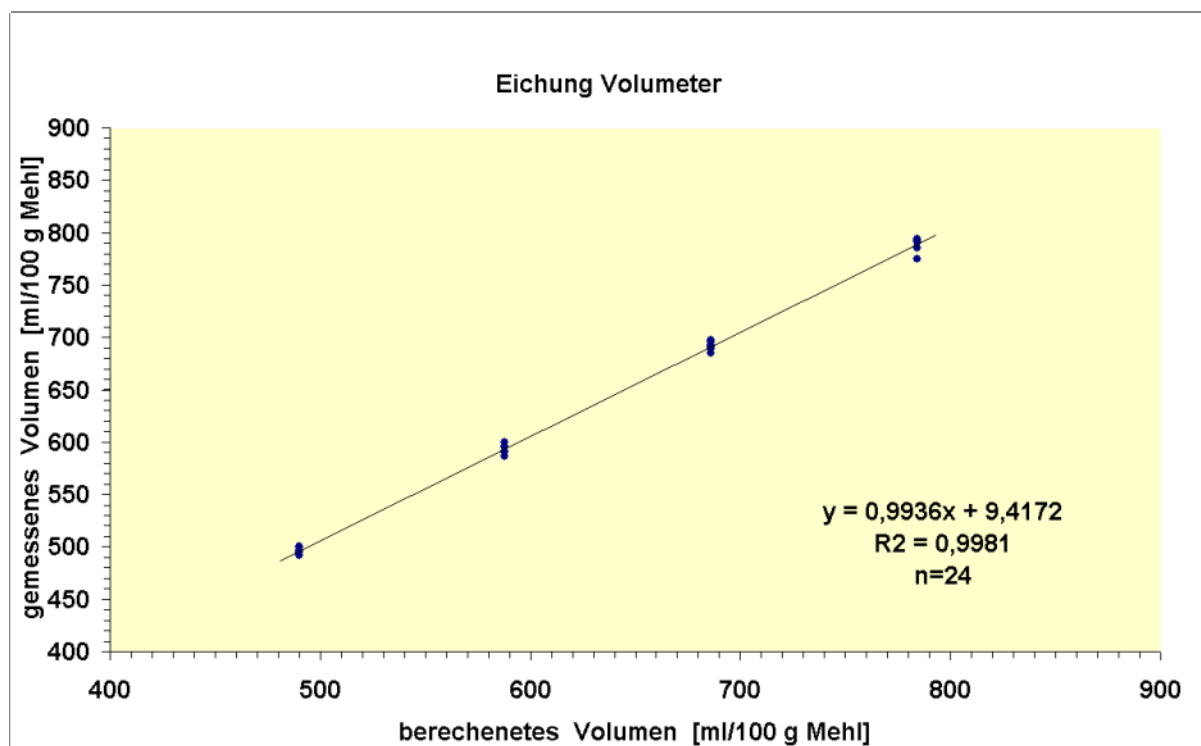


Abb. 4: Zusammenhang zwischen berechnetem und gemessenem Volumen unterschiedlich großer Kalibrier-Blöcke mit einem Volumen von jeweils 245 ml, 294 ml, 343 ml und 394 ml, welche auf ml/100 g Mehl umgerechnet wurde.

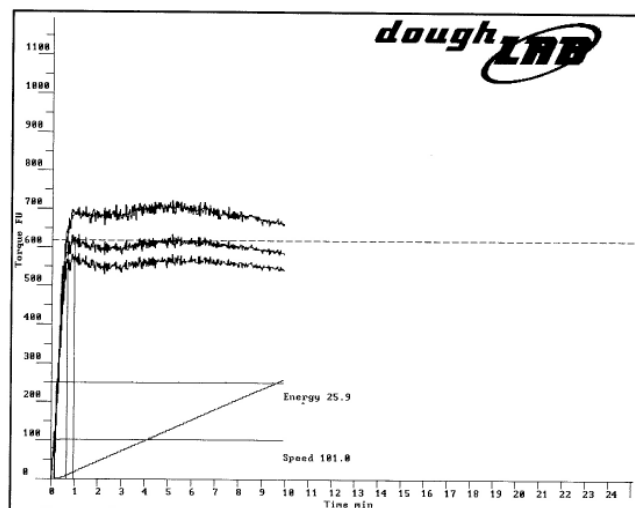
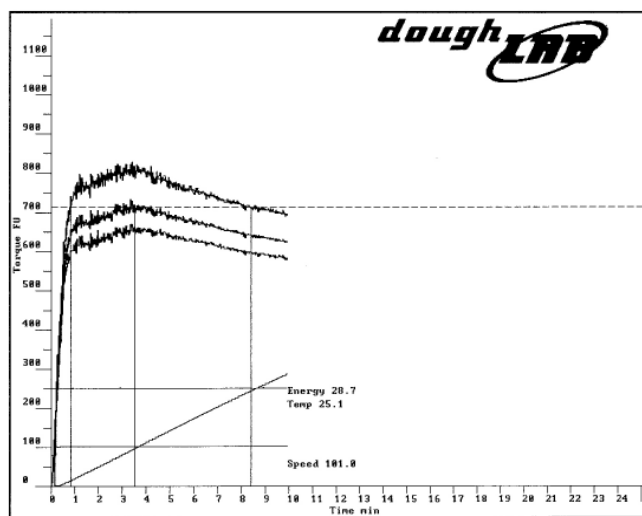
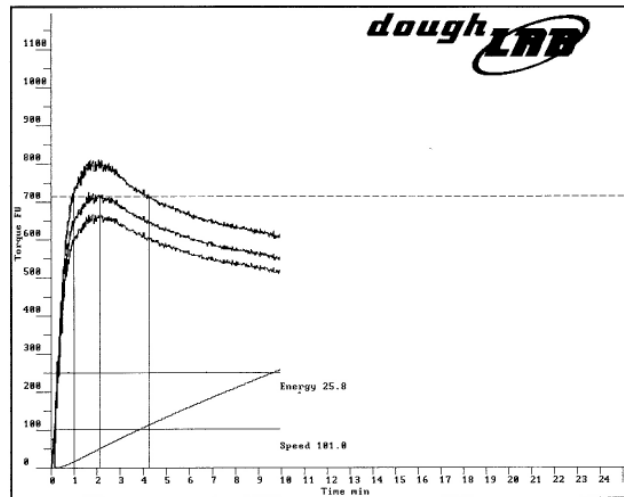


Abb. 5: Typische Zeit-Kraft Kurven von Teigen mit Vollrezeptur aus sortenreinen Mehlen (T550) und Volumenausbeuten (ml/100g Mehl): Links = 671 ml; Mitte = 830 ml ; Rechts = 829 ml. Das Knetoptimum wurde dem Kurvenverlauf entnommen: Links = erstes Kurvenmaximum mit mindestens 8 Wh/kg, Mitte = erstes Kurvenmaximum, Rechts = zweites Kurvenmaximum.

Im Detail wurde insbesondere eine **vollständige Teigentwicklung** für alle Kleberqualitäten erreicht, da nach Roels et al. (1993) eine maximale Teigkonsistenz die wichtigste Prozessgröße darstellt, um maximale Volumenausbeuten zu erreichen. Diese Voraussetzung konnte in den vorliegenden Untersuchungen am besten durch die Kontrolle der Teigentwicklung mit Hilfe eines Messkneters erfüllt werden. Anhand der Ergebnisse in Abbildung 3 wurde deutlich, dass Teige (Vollrezeptur) während des Knetvorganges eine sortenspezifische oder jahresbedingte Zeit-Kraft-Dynamik und damit unterschiedliche Knettoleranzen aufweisen. In der optimierten Methode wurde die Knettoleranz jeder Probe ermittelt und in die Teigbereitung integriert. Fixe Knetzeiten hingegen führen in der Regel dazu, dass einzelne Sorten über- bzw. unterbewertet werden (Finney 1984), was am Beispiel von Proben der Ernte 2007 in Abbildung 6 ersichtlich wurde. In den darauf folgenden Hauptuntersuchungen der Streifenversuche traten mit optimierten Knetzeiten bei den untersuchten E-Sorten keine Volumina < 660 ml/100 g Mehl auf.

Besonders wichtig im Zusammenhang mit der Teigkonsistenz war die **empirische Feststellung**, dass bei weichen oder extrem festen Klebern der notwendige Energieeintrag in den Teig nicht mehr exakt mit dem Kurvenverlauf übereinstimmte. So benötigten weiche Kleber wie Dinkel oder die Sorte Aszita mit mindestens 8,0 Wh/kg Energieeintrag eine längere Knetzeit als aus dem Kurvenmaximum ersichtlich war und stabile, wenig nachlassende Teige maximal 12,5 Wh/kg auch wenn beispielsweise das Konsistenzmaximum bei 17 Wh/kg lag. Für Proben im mittleren Bereich stimmten Knetoptimum und Kurvenmaximum überein. Aus den genannten Zusammenhängen wird deutlich, dass eine optimale Verarbeitung von Mehlen nicht anhand eines standardisierten Verfahrens möglich war, da es hierbei zu einem Über- bzw. Unterkneten des Teiges gekommen wäre, was zu höheren Streuungen in den Messergebnissen und in Folge zu falschen Korrelationen geführt hätte.

Ferner konnte kein besonderer **Einfluss der Wasserzugabe** zum Mehl im Bereich einer Teigkonsistenz von 500 Torque bis 700 Torque auf die Höhe des Backvolumens festgestellt werden, solange eine maximale Teigkonsistenz eingehalten wurde und geschmeidige Teige vorlagen. Dies stimmt überein mit Ergebnissen von Sliwinski et al. (2004), die herausfanden, dass die von ihnen untersuchten Sorten eine relativ große Toleranz bei der Wasserzugabe aufwiesen.

In der weiteren Verarbeitung des Teiges wurde der Backtest so ausgelegt, dass eine **hohe Reproduzierbarkeit** des Backtests gewährleistet werden konnte. Dies

erforderte insbesondere die Verwendung einer Teigwirkmaschine (Mono Universal Mini-Moulder), die den Teig so walzt und aufrollt, dass er nach der Ruhephase in einen elastischen Zustand hoher Dehnbarkeit überführt wird, woran insbesondere GMP beteiligt ist (Sutton et al. 2003). Mit dem Walzen verbunden war zudem, dass keine das Ergebnis verfälschende großen Gasblasen im Brot auftraten. In Vorversuchen mit halbmanueller Brötchen-Herstellung waren derartige Blasen nicht zu vermeiden gewesen. In Bäckereien werden Brötchenteige aus diesem Grund entweder gewalzt oder mit einem Stempel bearbeitet, der dem Kaiserbrötchen das spezielle Muster verleiht.

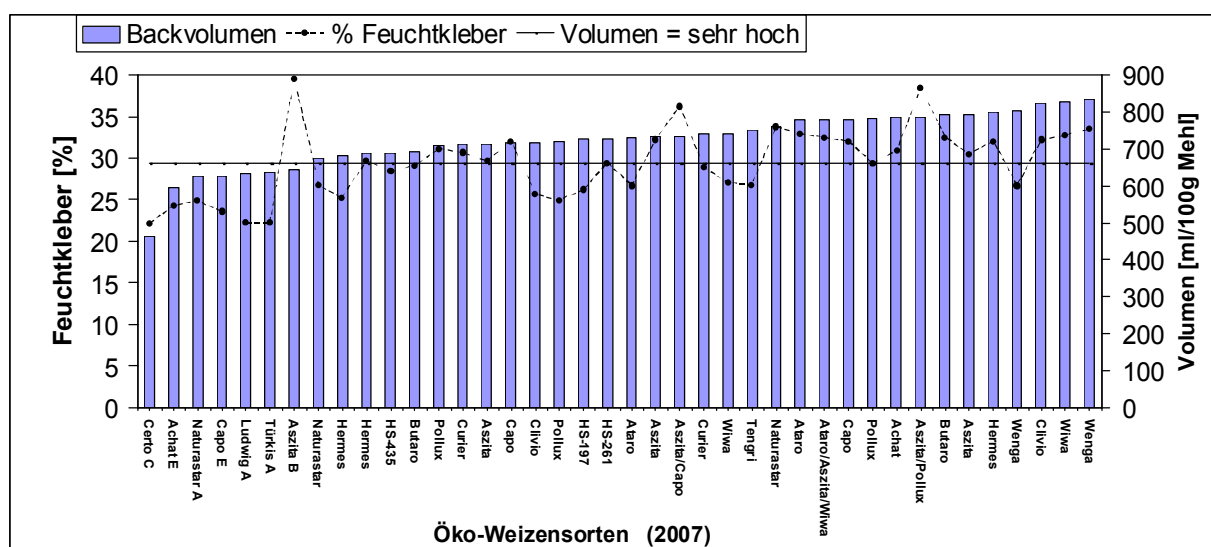


Abb. 6: Kastenbrot-Volumen (standardisierter Kastenbackversuch mit fixer Knetzeit von 7 min, Mehle T550) in Abhängigkeit von Weizensorte und Feuchtkleber (%), nicht orthogonal über 9 Standorte (Ernte 2007). Horizontale Linie = Grenzwert für Backweizen mit der Qualitätseinstufung sehr hoch ≥ 660 ml.

Ein weiterer Aspekt der Optimierung betraf die **Praxisnähe der Ergebnisse**. Hierzu wurden in Kooperation mit der Herzberger Bäckerei in Fulda vergleichende Untersuchungen durchgeführt, bei denen jeweils bei gleicher Rezeptur mit unterschiedlichen Anlagen gearbeitet wurde (Tabelle 3 und 4). In der Herzberger Bäckerei wurden Kaiserbrötchen auf einer Brötchenanlage hergestellt und anschließend im Labor auf ihre Volumenausbeute hin untersucht. Parallel dazu wurden Kastenbrote mit dem optimierten Backtest und derselben Rezeptur hergestellt und ausgewertet. Der größte Unterschied zwischen beiden Verfahren lag in der Teigbereitung mit einem Spiralknetzer, bei dem die Teigentwicklung vom Bäcker sensorisch beurteilt wurde, während die anschließenden Teigbearbeitungen beider Verfahren ähnlich waren (Teigruhe, Walzen, Rundwirken, Gärzeiten). Die

Ergebnisse aus zwei Jahren zeigten, dass eine Übertragbarkeit trotz unterschiedlicher Bedingungen gegeben war. Im Detail betrachtet konnte in der Praxis das Potenzial einzelner Sorten zwar nicht immer völlig ausgeschöpft werden, was jedoch darin begründet lag, dass die untersuchten Sorten tatsächlich über sehr verschiedene Teigeigenschaften verfügten, welche vom Bäcker ohne Vorlauf nicht immer richtig eingeschätzt wurden. In der Praxis wurde jede Sorte einmalig mit Spiralknetern verarbeitet und die Konsistenz mit Fingerprobe bestimmt. Auffällig waren die unerwartet hohen Volumina, welche mit dem Backmittel erreicht wurde. Dem zufolge muss einem Versuchsansteller klar sein, dass insbesondere das Backmittel über das Niveau der Volumenausbeute bestimmt. In dem dargestellten Fall wurde allein mit dem komplexer zusammengesetzten EU-Bio-Backmittel ein Mehrvolumen von 97 ml erreicht. Anders ausgedrückt arbeitet der vorgestellte Backtest nicht auf Basis maximaler Volumenausbeute sondern auf Basis optimaler Verarbeitung und damit möglichst voll entwickelter Klebernetzwerke, welche eine hohe Volumenausbeute ermöglichen.

In Bezug auf die **Aussagekraft** des optimierten Backtests wurde nicht nur darauf Wert gelegt, dass Proben differenziert werden, sondern dass auch deren Potenzial in der Volumenausbeute zum Ausdruck kam. In der Praxis möchte man je nach Fokus entweder das Potenzial einer Probe wissen oder die Kleberqualität einer Zuchtsorte von anderen unterscheiden. Beide Aussagen können mit dem Test getroffen werden, da die Verarbeitung optimiert wurde und davon die Aussagekraft des Backtests abhängt. Tatsächlich erreichte der hier vorgestellte Test im Vergleich mit anderen optimierten Backtests (Finney 1984, Preston et al. 1997) innerhalb konventioneller Anbausysteme vergleichsweise hohe Volumenausbeuten. Damit ist es erstmals möglich, die potenzielle Verarbeitungsqualität von Weizen aus Ökologischer Erzeugung darzustellen.

Tabelle 3: Vergleich zweier Methoden zur Herstellung von Backwaren. Herzberger (Kaiserbrötchen), optimierter Backtest (Kastenbrot) bei vergleichbarer Rezeptur mit dem EU-Bio Backmittel Weizengold (mit Lecithine und Enzyme) bzw. dem Backmittel Ökostolz Vit.-C. ohne Enzyme und Lecithine (Mehl Type 550, Alsfeld, Halle 2008).

Sorte	Rohprotein (% TS) ICC 105/2	Herzberger Volumen* (ml /100g Mehl)	optimierter Backtest Volumen (ml /100g Mehl)
Ataro	11,0	782	851
Wiwa	11,7	854	896
Ataro/Wiwa (1/1)	11,4	853	823
Ataro/Wiwa Ökostolz	11,4	756	779
Goldblume/Ludwig (30/70)	10,7	874	857
Hermes (Halle)	11,5	836	850
Mittelwert	11,3	826 a ‡	843 a ‡

* Volumina > 660 werden als sehr hoch gewertet ‡ t-Test: ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (P=0,05) innerhalb der Blöcke

Tabelle 4: Vergleich zweier Methoden zur Herstellung von Backwaren. Herzberger (Kaiserbrötchen), optimierter Backtest (Kastenbrot) bei vergleichbarer Rezeptur mit dem EU-Bio Backmittel Weizengold. (Mehl Type 550, Alsfeld 2009).

Sorte	Rohprotein (% TS) ICC 105/2	Herzberger Volumen* (ml /100g Mehl)	optimierter Backtest Volumen * (ml /100g Mehl)
Wiwa	10,5	821	821
Ataro/Wiwa/Aszita	10,3	834	859
Goldblume/Ludwig (30/70)	9,6	722	804
Achat	8,8	739	750
Mittelwert	9,8	779 a ‡	809 a ‡

* Volumina > 660 werden als sehr hoch gewertet ‡ t-Test: ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (P=0,05) innerhalb der Blöcke

Bei Verwendung einer Brötchenanlage in der Praxis (Quaddro Round, Kemper) wurde bei 6 Brötchen je Sorte eine Genauigkeit der Volumen-Messwerte mit

Variationskoeffizienten von 0,6 bis maximal 3,1 % erreicht, so dass auch in diesem Punkt beide Verfahren vergleichbar waren.

Die Ergebnisse belegen neben einer sehr hohen **Verarbeitungsqualität** von Öko-Weizenmehlen darüber hinaus, dass für derartige Leistungen weniger hohe Rohprotein-Konzentrationen notwendig waren als bisher angenommen. Nach Aussage von Brümmer und Seibel (1992) wurde als qualitätssichernde Maßnahme im extensiven Weizenanbau ein Optimum von durchschnittlich 11,5 % RP im Mehl (T550) bzw. etwa 12,3 % RP im Korn bei guten Teigeigenschaften angegeben. Die Autoren wiesen damals darauf hin, dass höhere RP-Konzentrationen im Rapid-Mix-Test bereits zu verminderter Krumenelastizität und vermindertem Geschmack führen können. Insbesondere die genannten Werte wurden bis heute ungeprüft als Maßstab für die Rohstoff- bzw. Mehlqualität im Rahmen des Öko-Landbaus verwendet. Tatsächlich sind jedoch teils neue Sorten im Anbau, welche zudem unter völlig anderen Wachstumsbedingungen als im konventionellen Landbau angebaut werden, was in seiner Auswirkung auf die Mehlqualität mit optimierten Methoden bis heute kaum untersucht wurde.

Aus den Tabellen 3 und 4 wird ersichtlich, dass bei einer optimalen Verarbeitung der bisherige Maßstab für sehr hohe Verarbeitungsqualität mit den untersuchten Sorten erfüllt wurde.

Tabelle 3 kann zudem entnommen werden, dass hierfür mehrere Faktoren von Bedeutung waren. So kam neben einer optimalen Verarbeitung der Wahl des **Backmittels** eine herausragende Bedeutung zu. Im Bereich von EU-Bio Anbausystemen lassen sich demnach allein auf Grundlage eines komplexen Backmittels sehr hohe Volumenausbeuten mit den entsprechenden Sorten bereits ab 9,6 % Rohprotein erzielt (vgl. Tab. 4). Inwieweit die RP-Konzentration ein geeigneter Maßstab zur Bewertung der Mehlqualität ist, wird in Kapitel 4 näher dargestellt. Grundsätzlich steht jedoch fest, dass die Volumenausbeuten natürlich nicht in dem Maße zunehmen können, wie es möglich ist die Konzentration an Speicherproteinen im Korn zu erhöhen. Hier muss theoretisch vielmehr ein Sättigungsverlauf angenommen werden, der in der Natur biologischer Systeme begründet ist. Für den Öko-Landbau von entscheidender Bedeutung ist die Beobachtung, dass nennenswerte Steigerungen der Volumenausbeute weniger aufgrund von höheren Proteinkonzentrationen als vielmehr durch eine geeignete **Sortenwahl** oder die Auswahl eines geeigneten Backmittels erreicht wurden. Bei Volumenausbeuten ab

800 ml liegt jedoch der Bereich, in dem die Gebäcklockerung zu einer zunehmenden Verschlechterung der **Schnittfestigkeit** führte.

Nicht gemessen wurde darüber hinaus die **Maschinengängigkeit** bzw. die Geschmeidigkeit der Teige, die mit steigender Rohprotein-Konzentration ebenfalls zunahm und ganz deutlich stärker durch die Sorte als durch die RP-Konzentration allein bedingt wurde. Allerdings traten bei keiner Probe Schwierigkeiten in der Verarbeitung auf, weshalb insgesamt keine Einschränkungen von den Bäckermeistern in der Praxis geltend gemacht wurden.

Diese Tatsache spricht für die sehr gute Kleberqualität der untersuchten Elitesorten. Für A- und B-Sorten liegen nur wenige Ergebnisse vor. Eine Ausnahme bildete hier die B-Sorte Aszita, die generell geschmeidige Teige lieferte, während Teige der A-Sorte Naturstar durch ihre Klebrigkeit im unteren Proteinbereich negativ auffielen. Dies galt generell für die wenigen Sorten aus dem A-Bereich, die untersucht wurden, kann jedoch aus dem Umstand, dass zu dem Zeitpunkt der Backtest noch nicht optimiert war, nicht als gesichert angesehen werden. Möglicherweise befinden sich im Bereich der A-Sorten Typen mit relativ hoher Qualitätsausprägung, die neben einer hohen Mehlqualität auch über ein hohes Ertragspotenzial verfügen.

3.2 Backvolumina in 2008 und 2009

Im Erntejahr 2008 wurden am Standort Alsfeld bzw. Halle im Mittel aller Sorten mit 757 ml bzw. 752 ml vergleichbare Backvolumina erzielt. Bei einem Variationskoeffizienten von 1,6 % in Alsfeld mit einem Minimum von 723 ml mit der ertragreichen konventionell gezüchteten Sorte Achat und einem Maximum von 781 ml mit der Sorte Ataro waren die Unterschiede relativ gering. In Halle lag der CV etwas höher (4,3 %), was auf das Minimum von Aszita mit 707 ml und das Maximum von Wiwa mit 791 ml zurückzuführen war. Aufgrund der besseren Standortbedingungen lag in Stuttgart der Mittelwert bei 787 ml bei einem CV von 3,9 %. Damit lagen alle Mehlproben unabhängig vom Standort im Bereich von Aufmischqualität (>701 ml). Die sehr hohen Volumenausbeuten wurden in Alsfeld bzw. Halle im Mittel mit etwa 11 % Rohprotein erreicht, während in Stuttgart der Wert mit 13,8 % deutlich höher lag.

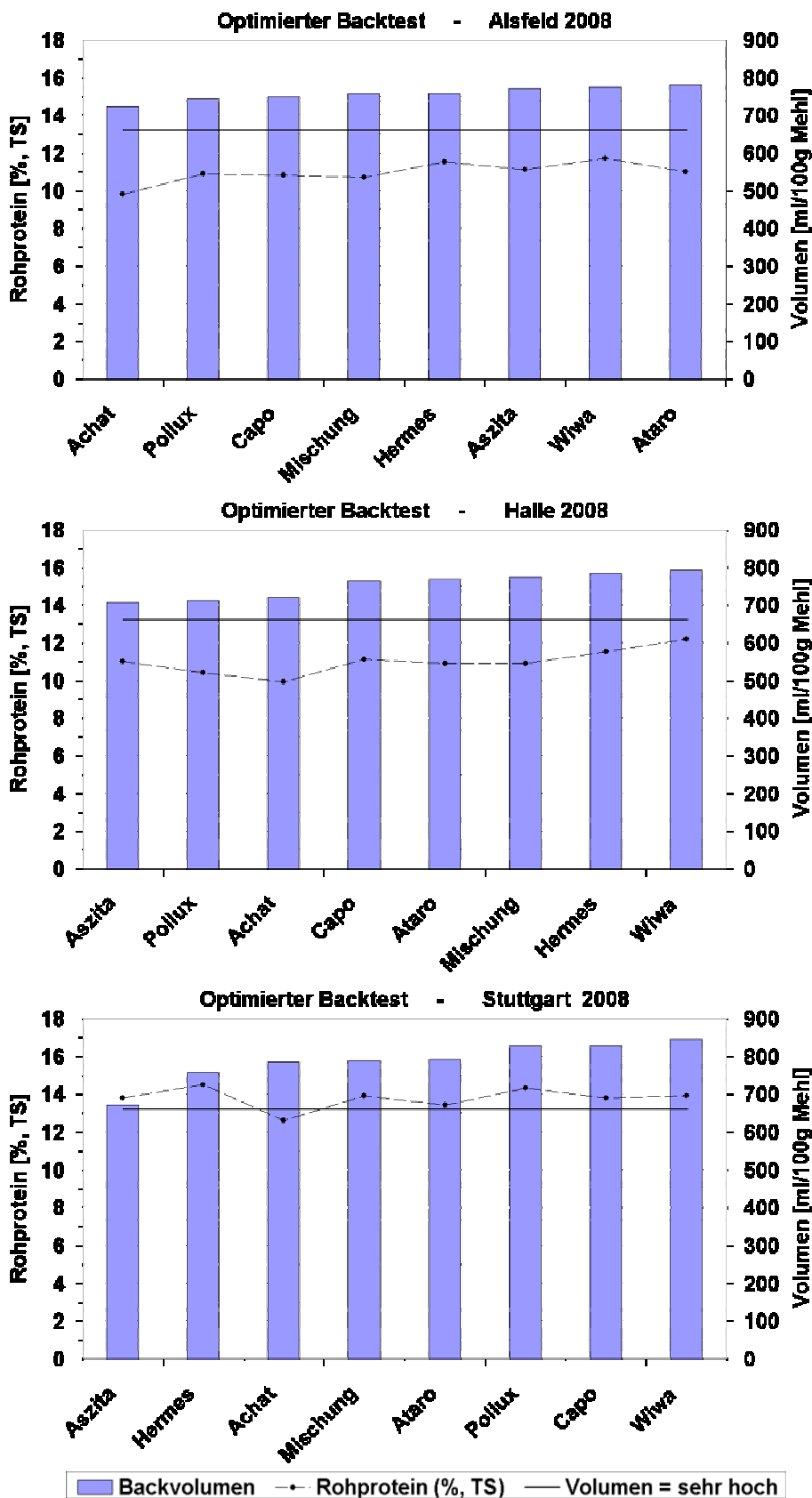


Abb. 7: Volumenausbeute von Weizenmehl (T550) in Abhängigkeit von Standort, Sorte und Rohproteinkonzentration (2008).

Ausgehend vom Quotienten ml Volumen / % Rohprotein verschlechterte sich der Wert in Stuttgart (57) im Vergleich zu Halle/Alsfeld (69) um 17 %. Anders ausgedrückt konnte eine nichtlineare Zunahme in der Volumenausbeute in Abhängigkeit von der Mehl- Rohproteinkonzentration beobachtet werden.

Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass prinzipiell mit zunehmender Mehl- Rohproteinkonzentration der Anteil an Gliadinen am Kleber stärker als der Anteil an Gluteninen zunimmt (Linnemann 2001, 2005), was den Teig viskoser machte und zu niedrigeren Glutenindices führte (Mittel Alsfeld 95, Mittel Stuttgart 81). Dadurch wurde die relative Volumenzunahme signifikant begrenzt. In den Praxis-Backversuchen war dieser Effekt zudem deutlich als eine Verbreiterung der Brötchen festzustellen, welche von den Bäckern als unerwünscht eingestuft wurde (siehe Abb. 8).



Abb. 8: Brötchenform im Praxisversuch in Abhängigkeit vom Standort und der Mehl- Rohproteinkonzentration bei der Sorte Butaro: links Alsfeld 9,6 % Rohprotein, Glutenindex 99, recht Stuttgart 12,2 % Rohprotein, Glutenindex 87 (2009).

Deutlich zu sehen war auch ein Unterschied in der Bräunung trotz vergleichbarer Fallzahlen (Alsfeld 312 s, Stuttgart 354 s), was auf einen proteinbedingten Bräunungseffekt schließen lässt. Im Erntejahr 2009 wurden am Standort Alsfeld im Mittel aller Sorten mit 719 ml sehr hohe Backvolumina erzielt. Bei einem Variationskoeffizienten von 3,1 % in Alsfeld wies die Sorte Ataro ein Minimum von 696 ml und die Sorte Butaro (nur 2009 im Sortiment) ein Maximum von 760 ml auf.

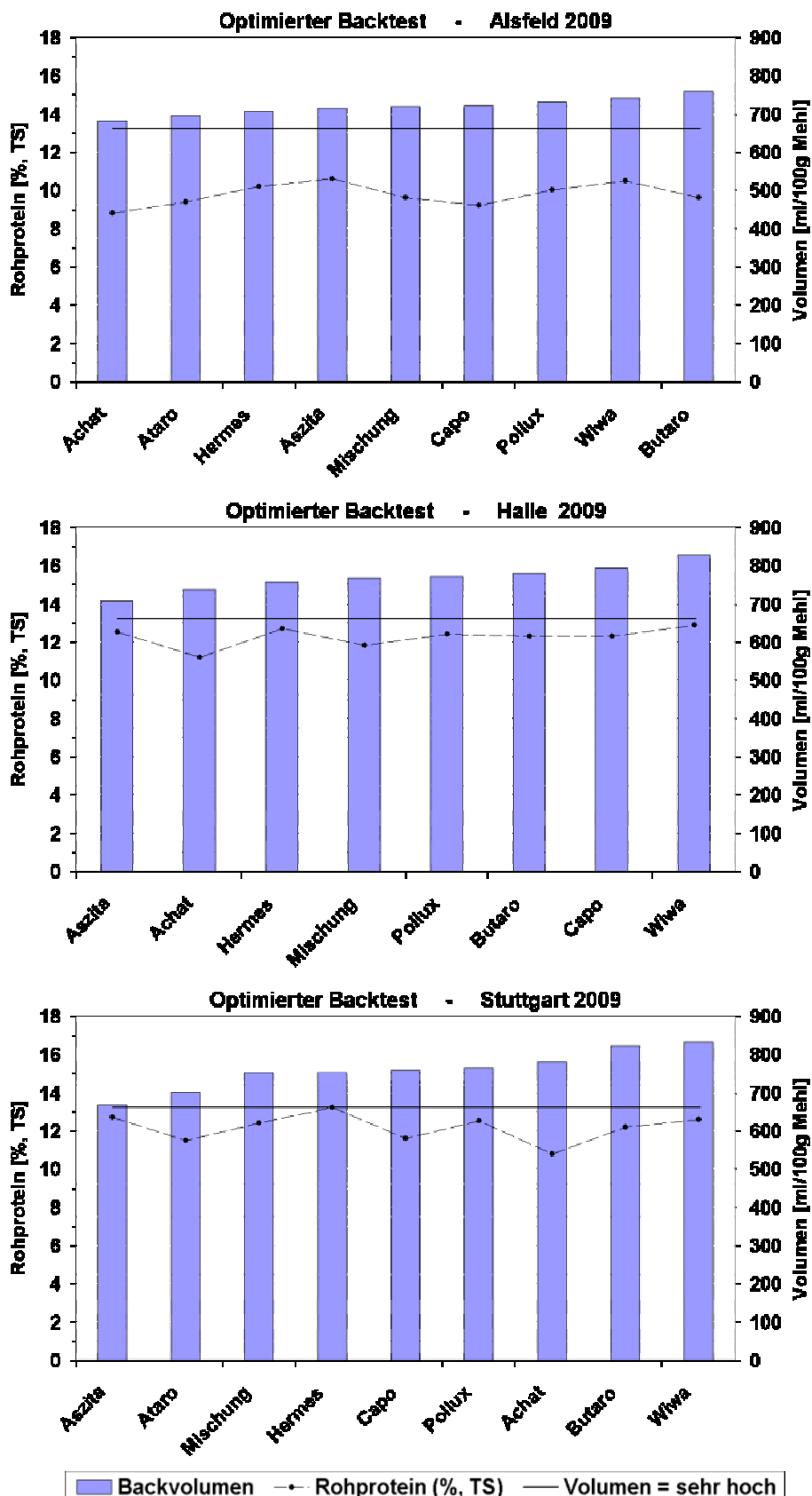


Abb. 9: Volumenausbeute von Weizenmehl (T550) in Abhängigkeit von Standort, Sorte und Rohproteinkonzentration (2009).

Am Standort Halle wurde in 2009 ein mittleres Volumen von 768 ml ermittelt. Der CV betrug 4,4 % mit einer Spannbreite von 706 ml bei Aszita und 829 ml bei Wiwa. Wegen eines Ernteverlustes lag keine Probe der Sorte Ataro in Halle vor.

Am Standort Stuttgart betrug der Mittelwert 760 ml mit einem vergleichsweise hohen CV von 6,5 %, da die Spannbreite von 668 ml bei Aszita (weicher Kleber, geringer GI) bis 834 ml bei Wiwa reichte. Damit lagen auch im zweiten Jahr fast alle Mehlsproben unabhängig vom Standort im Bereich von Aufmischqualität (>701 ml). Die sehr hohen Volumenausbeuten wurden in Alsfeld im Mittel mit 9,6 % Rohprotein erreicht, während in Halle bzw. Stuttgart die Werte mit 11,9 % bzw. 12,2 % deutlich höher lagen.

Damit lagen am Standort Alsfeld die Rohprotein-Werte deutlich unter dem von Brümmer und Seibel (1992) genannten Grenzbereich von 11,5 % RP vor. Trotzdem schnitten die beiden Sorten mit den geringsten Rohproteinkonzentrationen im Mehl, die Sorte Ataro mit 9,4 % RP und die Sorte Achat mit 8,8 % RP, mit sehr hohen Backvolumina > 660 ml ab.

Im Vergleich dazu gab das MRI (MRI 2010) in einer offiziellen **Erhebung zu Öko-Weizenqualität 2010** für Mühlenmuster Werte von 9,6 % bis 16,5 % Rohprotein an, welche im Volumen von 480 bis 758 ml schwankten. Man erkennt gleich, dass die Werte gemessen an den in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnissen mit dem optimierten Backtest die Frage nach der Sorte aufwerfen. Die gemachten Angaben führen zu der Frage, ob es sich bei dem Wert von 480 ml Volumen bei mindestens 9,6 % RP um eine E-Sorte handelte oder ob der Rapid-Mix-Test (RMT) für Angaben, die über eine Einstufung von Sorten in eine Qualitätsstufe hinaus gehen, überhaupt geeignet ist. Die einsendenden Mühlen wollten das Potenzial ihrer Mehle kennen und bekamen Werte, die zumindest im unteren Bereich eher auf Futterweizen als auf Backweizen schließen ließen. Da die Sortenidentität nicht mitgeteilt wurde und im Öko-Landbau bevorzugt E-Weizen angebaut wird, dürfte es für die Mühlen von großer Bedeutung sein, ob ihre Proben in Wirklichkeit auf einem so niedrigen Niveau einzustufen sind, oder ob der nicht optimierte Backtest (RMT) der Praxis ein falsches Ergebnis liefert. Insbesondere Mehlsproben von E-Sorten im Bereich < 10 % Rohprotein wurden bisher vom RMT ausgehend als höchstens befriedigend eingestuft. Es ist in der **Öko-Landbauforschung** nachgewiesen worden, dass es in der Vergangenheit trotz erheblicher Steigerung der Mehl-Proteinkonzentration in Düngungsversuchen mit wirtschaftseigenen Düngern nicht gelang, hohe

Volumenausbeuten > 660 ml/100 g Mehl zu erreichen (Wirries 1998, Kühlsen 2001). Die Erzeugung von Backweizen unter diesen Bedingungen war und ist für viele Betriebe nicht wirtschaftlich. Auf der anderen Seite zeigten die vorliegenden Ergebnisse einen Weg hin zu einer wissenschaftlich nachvollziehbaren und geprüften Methode, mit der aufgezeigt wurde, dass die Mehlqualität der verwendeten E-Sorten sehr hoch war. Eine Folge der verbesserten Analytik würde für die **verarbeitende Praxis** wie für die Anbauer des Getreides sein, dass bei entsprechender Sortenwahl weitaus mehr inländischer Weizen erzeugt werden könnte als bisher vermutet. Dies würde ferner auch zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft beitragen, da eine bessere Rohstoffqualität auch zu höheren Erlösen führt, die den Getreideanbau wirtschaftlicher machen. Auf den Import von Weizen könnte folglich weitestgehend verzichtet werden.

Hierfür spricht auch die Tatsache, dass ausgehend vom Quotienten ml Volumen/ % Rohprotein in 2009 in Alsfeld weniger Rohprotein im Mittel der Sorten zu höheren Quotienten von 74 führte, gegenüber Werten um 63 bei Rohproteinwerten um 12 %. Daraus kann geschlossen werden, dass es leichter war, aus Mehlen mit Rohproteinkonzentrationen < 10 % sehr hohe Volumenausbeuten zu erreichen, als bei höheren RP-Werten wie in Halle/Alsfeld. Andererseits könnte dies auch bedeuten, dass das Potenzial von Sorten mit Rohprotein > 10 % unter den gewählten Bedingungen des Backtests schwerer zu ermitteln ist. Dagegen spricht die Erfahrung, welche später noch belegt wird, dass man von der Rohproteinkonzentration nicht auf die Volumenausbeute schließen kann, da diese von der Kleberqualität mitbestimmt wird. Beispielsweise lässt sich dies am Standort Alsfeld sehr gut an der Sorte Butaro aufzeigen, die mit 9,6 % RP ein Volumen von 760 ml erreichte. Abschließend sei betont, dass bei Verwendung eines komplexeren Backmittels (vgl. Tab. 3) zwar bis zu 100 ml höhere Backvolumina gemessen wurden, die Reihung der Sorten aber gleich blieb (nicht dargestellt) und es folglich zu einer Anhebung des Backpotenzials kam. Insbesondere bei Verwendung komplexer Backmittel trat das beobachtete „Breitfliessen“ der Brötchen auf, sodass es auch bei Verwendung dieses Backmittels zu einem nach oben abfallenden Kurvenverlauf kam. Die spezifische Volumenausbeute je % Protein fiel prinzipiell im unteren bis mittleren Bereich etwa < 10 % RP höher aus, während die Kleber mit zunehmender Proteinkonzentration durch eine erhöhte Gliadinkonzentration an Elastizität abnahmen und an Viskosität zunahmen.

3.2.1 Sortenmischungen

Bisher wurden ausschließlich Untersuchungen an sortenreinen Mehlen vorgestellt. In der Mühle werden jedoch in der Regel Mischungen hergestellt aus den unterschiedlichen Qualitäten, die angeliefert werden. Aus pflanzenbaulichen wie verarbeitungstechnischen Gründen dürfte eine Verarbeitung von Mehlmischungen bekannter Sorten jedoch eindeutig von Vorteil sein (Dreyer et al. 1989). Da die überwiegende Zahl der zugelassenen E-Sorten harte Kleber aufweist, wurde daher der Einfluss einer gezielten Beimengung von Mehl der Sorte Aszita mit einem niedrigen Glutenindex auf das Backvolumen geprüft (Abb. 10). Bereits innerhalb der Praxisversuche in der Herzberger Bäckerei (vgl. Tab. 4) hatte sich ein positiver Einfluss einer eigens geprüften Mehlmischung mit Mehlen der Sorten Aszita/Ataro/Wiwa (25/25/50) gezeigt. Anhand der Ergebnisse fiel auf, dass das errechnete Mittel aus der Volumenausbeute der einzelnen Mischungspartner von 723 ml im Backtest mit 798 ml um 10 % übertroffen wurde. Geht man bei den Mischungspartnern von der Sorte Wiwa mit dem vergleichsweise höchsten Volumen von 741 ml aus, so übertraf die Mischung das Volumen des Mischungspartners Wiwa noch um 7 %.

Für den Öko-Landbau bedeutet dieses Beispiel, dass gezielt Sorten mit bekannter Qualität eingesetzt werden können, um hohe Anforderungen an die Verarbeitung auch auf marginalen Standorten sicher zu erfüllen. Im gezeigten Beispiel war die Volumenzunahme der Mischung unabhängig von der Rohproteinkonzentration, welche in der Mischung 10,3 % und bei Wiwa 10,5 % betrug.

Bei einem mittleren Ertrag von 52,3 dt/ha über alle Sorten im Versuch schwankten die relativen Erträge der Mischungen von -1,6 % bis 2,6 % um den Mittelwert, was für Feldversuche als vernachlässigbar gering zu bezeichnen ist. Berechnet man jedoch die theoretischen Erträge aus den sortenreinen Ernteerhebungen als Mittelwerte der jeweiligen Mischungspartner, so traten rechnerisch geringe aber tendenziell Mindererträge (-2,3 % bis 5,1 %) in den sortenreinen Beständen auf. Daraus lässt sich vorsichtig ableiten, dass Mischbau verschiedener Sorten ertragsstabilisierend wirkte, was durch Ergebnisse verschiedener Studien im Ökolandbau prinzipiell bestätigt wurde (Finckh 2005, Müller 2009).

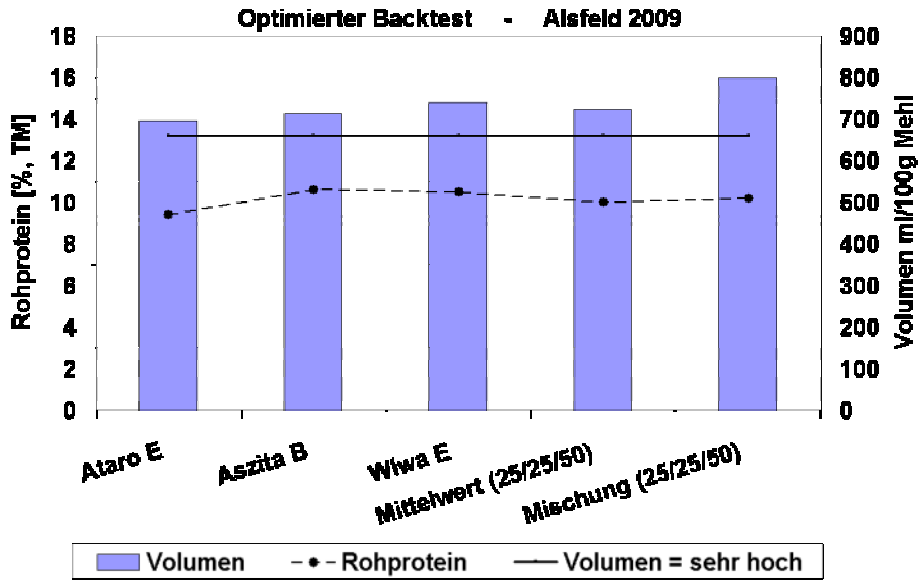


Abb. 10: Einfluss einer Mehlmischung aus drei sortenreinen Mehlen (T550) mit Aszita: Glutenindex 65; Ataro/Wiwa: Glutenindex 97 auf das Volumen. Mittelwert der Mischung errechnet (2009).

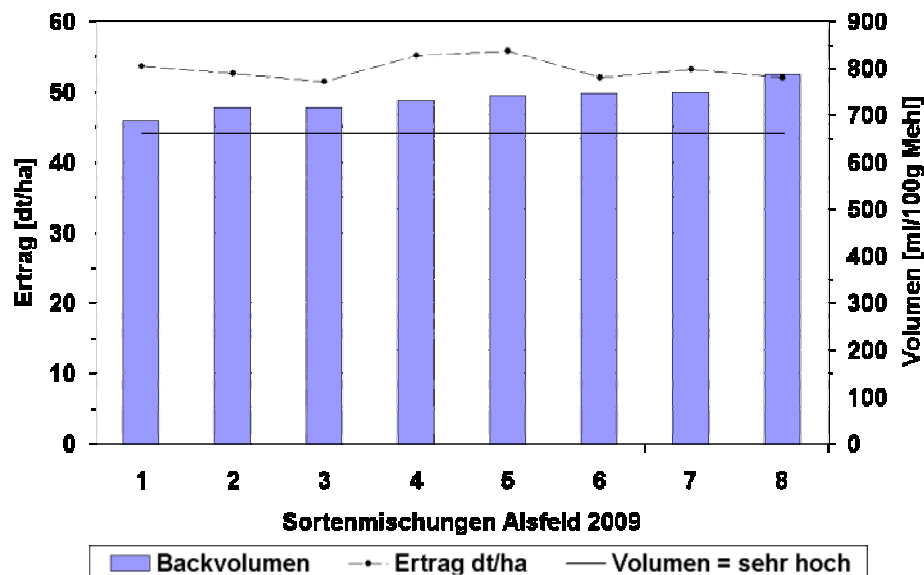


Abb. 11: Einfluss von Weizen-Sortenmischungen (400 kf/Kö/m²) auf Volumenausbeute und Ertrag (Öko-LSV Alsfeld 2009). 1= Ataro/Goldblume 70/30; 2= Achat/Goldblume 70/30; 3= Achat/Goldblume/Tamaro 33/33/33; 4= Aszita/Capo 50/50; 5= Capo/Tengri 50/50; 6= Aszita/Pollux 50/50; 7= Wiwa/Aszita/Ataro 33/33/33; 8= Wiwa/Achat 50/50.

Bereits in die Streifenversuche war eine Mischung integriert, welche aus einer ertragsstarken A-Sorte (Ludwig) und einer zugelassenen bzw. geschützten Sorte (Goldblume®) im Verhältnis 70/30 gemischt ausgesät wurde. Diese Mischung konnte über alle Proben gesehen sehr hohe Volumenausbeuten realisieren, was von der Sorte Ludwig bei hohen Erträgen ohne Mischungspartner in diesem Ausmaß nicht zu erwarten sein dürfte.

In der vorliegenden Arbeit interessierte jedoch insbesondere die Möglichkeit, mit Mischungen gesichert hohe Volumenausbeuten mit Synergieeffekten zu erreichen, welche einen gezielten Einsatz von Sorten ermöglicht. In der Auswertung zeigte sich, dass alle Mehlmischungen mit Ausnahmen von Ataro/Goldblume (688 ml) Aufmischqualität (> 701 ml) erreichten. Am besten schnitten wie erwartet Mehle mit Aszita als Mischungspartner und die Mischung Achat/Wiwa mit 787 ml ab. Bemerkenswert war, dass eine Mehlmischung aus Aszita/Ataro/Wiwa (vgl. Tab. 4), mehrjährig vom Praxispartner Herzberger mit Erfolg geprüft wurde und inzwischen über einen Vertragsanbau im Umfang von 500 Tonnen verbacken wird.

Abschließend kann festgestellt werden, dass mit Sortenmischungen eine bisher wenig untersuchte Möglichkeit zur Erzeugung hochwertigen Getreides auch unter weniger günstigen Standortverhältnissen möglich wäre. Dazu könnten die hier vorgestellten Mischungen als Grundlage verwendet werden.

4 Diagnose der Mehlqualität und des Backvolumens

Es stehen verschiedene Methoden zur Vorhersage der Weizenqualität zur Verfügung. Im Öko-Bereich sind vor allem die Parameter Proteinkonzentration, Feuchtkleberkonzentration und Sedimentationswert verbreitet. Bisher gingen alle Marktteilnehmern von einer linearen und engen Beziehung zwischen Protein- bzw. Kleberkonzentration und dem Backvolumen im Rapid-Mix-Test (RMT) aus. Tatsächlich ist im wissenschaftlichen Bereich bereits seit längerem bekannt, dass keine enge Beziehung zwischen Protein- bzw. Kleberkonzentration besteht (siehe Linnemann 2001, Seling 2010). Der Widerspruch entstand durch wissenschaftliche Untersuchungen, in denen auf Grundlage der Sortenwahl bzw. geringer Sortenunterschiede in der Kleberqualität, des Versuchsaufbaus (Düngungsversuch) oder der Auswertung (z.B. Mittelwertbildung über Standorte) eine nur zufällige Beziehung entstand, welche verallgemeinert wurde. Aus wissenschaftlicher Sicht

kann es aufgrund veränderlicher und sortenspezifischer Kleberqualitäten (Linnemann 2001, 2002 Linnemann & Leithold 2005) keine enge Beziehung zum Backvolumen geben. Dies wurde neuerdings durch eine umfassende Studie von Seling bestätigt (2010), aus der auch die genannten Widersprüche erklärlich werden.

In der vorliegenden Arbeit sollte mit Bezug auf den optimierten Backtest geprüft werden, welche Parameter zur Vorhersage des Backvolumens geeignet sind.

4.1 Rohprotein und Kleber

Die gängigsten Methoden zur Bestimmung der Mehlqualität sind bis heute Rohprotein und Feuchtkleber. Im folgenden Teil wird die Beziehung der Parameter untereinander und zum Backvolumen systematisch dargestellt und zur Diskussion auf notwendige Grundlagen eingegangen.

Im Weizenkorn können die drei Weizenproteintypen Albumine/Globuline (konstitutiv), Gliadine und Glutenine (Speicherproteine, Kleber) quantifiziert werden (Linnemann 2001). Während die konstitutiven Proteine des Weizenkorns mit relativ konstanten 2 mg/100 g Mehl im Wesentlichen aus Enzymen bestehen und für die Wachstumsphysiologie von Bedeutung sind, treten Kleberproteine als variable Speicher für Stickstoff aus der Pflanze auf. Daraus folgt, dass zwischen Kleberprotein und Rohprotein eine enge Beziehung bestehen muss. Welche der Methoden für eine Beurteilung der Mehlqualität verwendet werden kann, hängt von zwei Voraussetzungen ab. Zunächst muss eine Methode reproduzierbare Ergebnisse liefern und kalibriert sein. International akzeptierte Methoden mit ICC Nummer sollten diese Voraussetzung erfüllen. Quantitative Methoden sollten **Reproduzierbarkeit** gewährleisten und Schwankungsbreiten $< 5\%$ nicht überschreiten. Dabei sollten nicht nur Laborwiederholungen, sondern auch verschiedene Sorten mit bekannten Rohproteinkonzentrationen verwendet werden, um die Plausibilität der Messergebnisse zu überprüfen. Wie aus Abb. 12 ersichtlich kann eine Korrelation hierfür nicht verwendet werden. Bei 10 % Rohprotein kann man davon ausgehen, dass Abweichungen vom Standard $\pm 0,5\%$ nicht überschreiten. Damit können bei ordnungsgemäßer Durchführung die hier verwendete Bestimmung des Stickstoffs nach Kjeldahl (ICC 105/2) und die Bestimmung nach Duma (ICC 167) die genannten Voraussetzung erfüllen. Aus nicht näher bekannten Gründen wurde bei der Klebermessung nach ICC 155 diese Voraussetzung nicht erfüllt. Da Rohprotein und

Feuchtkleber als quantitative Parameter dieselben Substanzen (Proteine) erfassen und prinzipiell eine enge Korrelation zwischen beiden Werten bestehen muss (Abb. 12), konnte die kalibrierte Rohproteinbestimmung als Maßstab für die Genauigkeit der Klebermessung gewählt werden. Tatsächlich zeigten die über alle Orte, Sorten und Jahre verrechneten Proben für Rohprotein einen Variationskoeffizienten (CV) von 11,5 % auf und für Feuchtkleber einen deutlich größeren CV von 28,4 %. Obwohl die Werte eine enge Korrelation von $r = 0,91$ aufwiesen, lagen zahlreiche Klebermesswerte vor allem im mittleren und oberen Messbereich bei gleicher Rohproteinkonzentration teilweise sehr weit auseinander (Abb. 12).

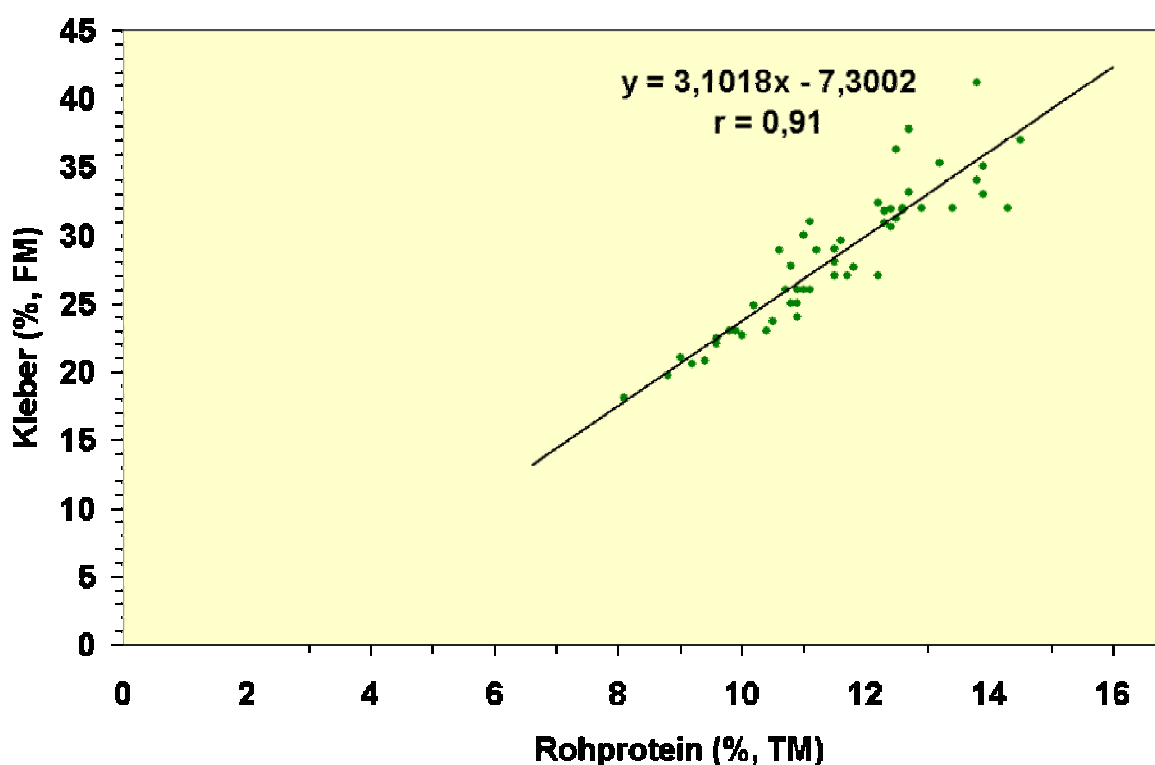


Abb. 12: Korrelation zwischen Rohprotein und Feuchtkleber von 9 Weizensorten an den Standorten Alsfeld, Halle/Saale und Stuttgart der Ernte 2008 und 2009.

Im Detail betrachtet wiesen beispielsweise Proben bei einer Rohproteinkonzentration von 13,8 % relative Unterschiede in der Feuchtkleberkonzentration von 21 % und in der Trockenkleberkonzentration von 13 % auf (Tab. 5), was aus wissenschaftlicher Sicht nicht akzeptiert werden kann. Die tatsächliche Kleberkonzentration konnte vom Kooperationspartner MRI (Detmold) weder exakt noch reproduzierbar ermittelt

werden. Besonders fielen die Feuchtkleberwerte der Sorte Aszita auf, die deutlich höher lagen als die der anderen Sorten. Aszita zeichnete sich gegenüber den anderen Sorten durch einen sehr weichen Kleber aus, der entweder eine vollständigere Auswaschung ermöglichte oder mehr Wasser gebunden hatte.

Für eine Diagnose der Mehlqualität kann daher eine quantitative Proteinbestimmung nur mit kalibrierten Methoden wie ICC 105/2 (Kjeldahl) oder ICC 167 (Dumas) verlässlich durchgeführt werden. Es ist zwar nicht bekannt, worauf die starke Ungenauigkeit der Feuchtkleber Messungen mit der Glutomatic (Perten) zurückzuführen ist, es wurde aber unlängst berichtet, dass unvollständige Proteinauswaschungen in Abhängigkeit von der Kleberqualität respektive Kleberstärke auftreten können (Hussain et al. 1998). Die untersuchten Sorten wiesen dieselben Glutenin HMW-Untereinheiten auf, sodass neben der Proteinkonzentration vor allem die Kleberqualität (z.B. Gliadin/Glutenin-Verhältnis) für die unterschiedliche Auswaschbarkeit des Klebers verantwortlich gemacht wurde. Da das Brotvolumen hauptsächlich auf die Kleberqualität zurück zu führen ist, scheidet die Klebermessung aufgrund der genannten Schwierigkeiten prinzipiell aus, da mit der Methode systematische Fehler verbunden sind, die noch beseitigt werden müssten, bevor der Methode eine größere Bedeutung beigemessen werden könnte.

Bedeutsam wird der aufgezeigte Zusammenhang durch die Tatsache, dass in Mühlen, im Handel und in der Verarbeitung überwiegend der Feuchtkleber als ein Parameter zur Bewertung der Mehlqualität eingesetzt wird. Anhand eines Beispiels lassen sich die Folgen dieser Vorgehensweise deutlich machen.

Beispiel: Für eine Bäckerei mit einer Mehlspezifikation von 26 % Feuchtkleber könnte laut Tabelle 5 eine Charge mit 10,8 % Rohprotein Werte von 25 % oder 27,8 % aufweisen. Im ersten Fall würde die von der Mühle gelieferte Charge zurückgewiesen werden, im zweiten Fall würde sie angenommen werden. Die beiden Mehle wiesen Backvolumina von 750 ml bzw. 781 ml auf, was die Untauglichkeit der Methodik verdeutlicht.

Tab. 5: Rohprotein, Feuchtkleber und Trockenkleber in Abhängigkeit von Sorte, Standort und Anbaujahr (aufsteigend nach Rohprotein sortiert).

Sorte	Ort	Jahr	Rohprotein (%, TM)	Kleber (%, FM)	Kleber (%, TM)
Certo-C ≠	Alsfeld	2009	8,1	18,1	6,0
Achat	Alsfeld	2009	8,8	19,7	6,5
Certo-C ≠	Alsfeld	2008	9,0	21,0	7,0
Capo	Alsfeld	2009	9,2	20,6	7,2
Ataro	Alsfeld	2009	9,4	20,8	7,2
Mischung*	Alsfeld	2009	9,6	22,0	7,6
Butaro	Alsfeld	2009	9,6	22,5	7,8
Achat	Alsfeld	2008	9,8	23,0	7,8
Achat	Halle	2008	9,9	23,0	7,9
Pollux	Alsfeld	2009	10,0	22,7	7,8
Hermes	Alsfeld	2009	10,2	24,8	8,6
Pollux	Halle	2008	10,4	23,0	7,5
Wiwa	Alsfeld	2009	10,5	23,7	8,3
Aszita	Alsfeld	2009	10,6	28,9	9,5
Mischung	Alsfeld	2008	10,7	26,0	8,7
Capo	Alsfeld	2008	10,8	25,0	9,1
Achat	Stuttgart	2009	10,8	27,8	9,1
Pollux	Alsfeld	2008	10,9	24,0	8,3
Ataro	Halle	2008	10,9	25,0	7,8
Mischung	Halle	2008	10,9	26,0	8,8
Ataro	Alsfeld	2008	11,0	26,0	9,1
Aszita	Halle	2008	11,0	30,0	9,6
Aszita	Alsfeld	2008	11,1	31,0	9,9
Capo	Halle	2008	11,1	26,0	8,7
Achat	Halle	2009	11,2	28,9	10,2
Hermes	Alsfeld	2008	11,5	29,0	9,8
Hermes	Halle	2008	11,5	27,0	9,3
Ataro	Stuttgart	2009	11,5	28,1	9,4
Capo	Stuttgart	2009	11,6	29,6	9,9
Wiwa	Alsfeld	2008	11,7	27,0	9,7
Mischung	Halle	2009	11,8	27,6	9,7
Wiwa	Halle	2008	12,2	27,0	9,7
Butaro	Stuttgart	2009	12,2	32,4	10,7
Butaro	Halle	2009	12,3	31,8	11,1
Capo	Halle	2009	12,3	30,9	11,1
Pollux	Halle	2009	12,4	30,6	11,1
Mischung	Stuttgart	2009	12,4	31,9	10,8
Aszita	Halle	2009	12,5	36,3	11,8
Pollux	Stuttgart	2009	12,5	31,3	10,8
Achat	Stuttgart	2008	12,6	32,0	10,9
Wiwa	Stuttgart	2009	12,6	31,8	10,6
Hermes	Halle	2009	12,7	33,2	11,7
Aszita	Stuttgart	2009	12,7	37,8	12,0
Wiwa	Halle	2009	12,9	32,0	11,5
Hermes	Stuttgart	2009	13,2	35,3	11,7
Ataro	Stuttgart	2008	13,4	32,0	11,1
Aszita	Stuttgart	2008	13,8	41,2	12,1
Capo	Stuttgart	2008	13,8	34,0	11,8
Mischung	Stuttgart	2008	13,9	33,0	11,9
Wiwa	Stuttgart	2008	13,9	35,0	12,1
Pollux	Stuttgart	2008	14,3	32,0	11,7
Hermes	Stuttgart	2008	14,5	37,0	12,4

* Mischung: Goldblume/Ludwig (30/70) ≠ Landessortenversuch Alsfeld

Bei der beschriebenen Problematik handelt es sich nicht um eine Ausnahme, sondern um einen systematischen Methodenfehler, welcher in vergleichenden Untersuchungen zwischen verschiedenen Laboren sehr leicht zu entdecken sein dürfte. Im Rahmen des Projektes wurde bereits in Voruntersuchungen an Proben der Ernte 2007 (Abb. 13) dieser Fehler entdeckt.

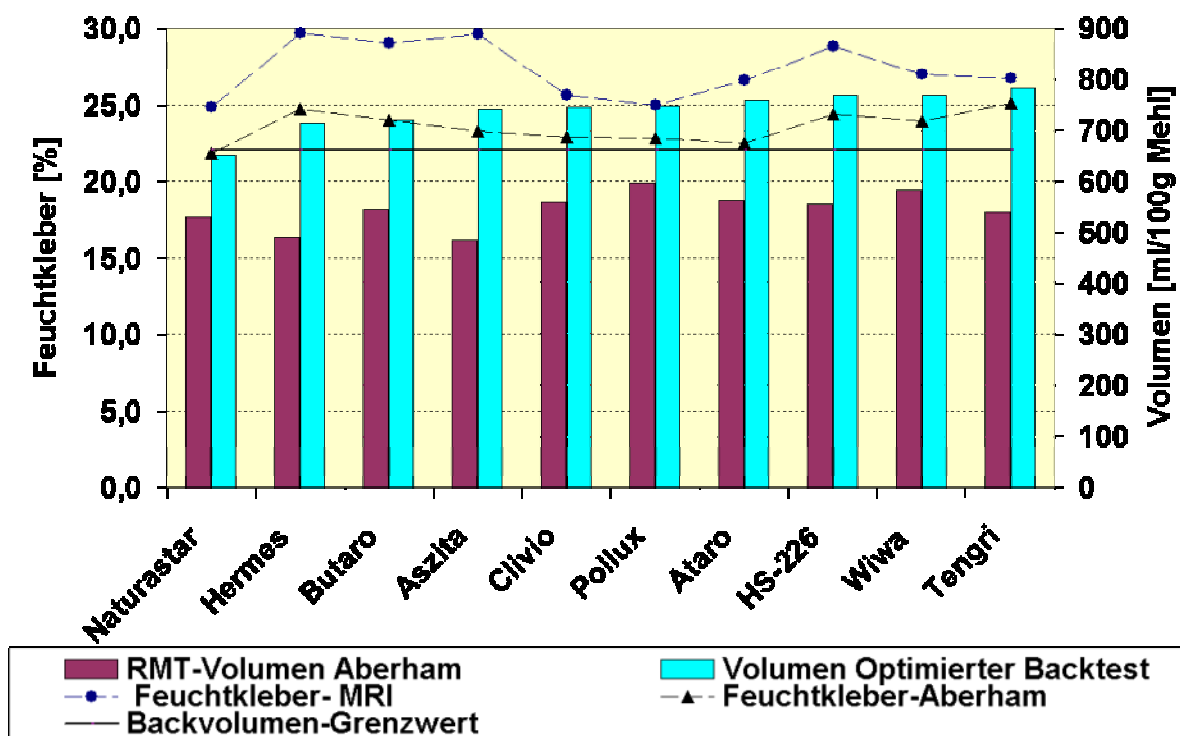


Abb. 13: Vergleichende Messungen von Backvolumen und Feuchtkleber mit 10 Weizensorten vom Öko-Weizensortenversuch Standort Kirchberg/Jagst der Ernte 2007.

Die Proben wurden auf Feuchtkleber sowohl vom Labor Aberham (Großaitingen) als auch vom MRI (Detmold) untersucht. Zudem wurde der von Aberham durchgeführte Rapid-Mix-Test mit dem neu entwickelten Backtest verglichen. Die Feuchtkleberwerte variierten mindestens 6,6 % bis zu maximal 27,1 % zwischen den zwei Laboratorien. Geht man von einem willkürlichen Grenzwert von 24 % Feuchtkleber aus, der für eine Annahme in einer Mühle erreicht werden soll, so würden nach Messungen des Labor Aberham nur 40 % der Proben diesen Wert erreicht haben, während nach Messungen des MRI alle Proben über dem Grenzwert lagen, was jedoch kein Hinweis auf die Richtigkeit der Ergebnisse darstellte.

Ferner zeigte die Untersuchung, dass den Ergebnissen des RMT entsprechend alle Proben mit höchstens „nicht befriedigend“ (< 600 ml) eingestuft wurden, der optimierte Backtest hingegen im Mittel 36 % höhere Werte ergab. Mit Ausnahme von Naturstar (651 ml) wurden die Volumenausbeuten alle Sorten mit „Aufmischqualität“ > 700 ml ausgewiesen.

Die statistische Auswertung der Daten aus den Jahren 2008 und 2009 über drei Orte in einer logarithmischen Regression zeigte folgendes Ergebnis:

Rohprotein	erklärte rund 39 % der Variation im Backvolumen
Feuchtkleber	erklärte rund 23 % der Variation im Backvolumen

Abschließend kann festgestellt werden, dass quantitative Rohprotein- und Klebermessungen zur Diagnose der Mehlqualität völlig ungeeignet sind. Zur gleichen Aussage mit einem größeren Probenumfang und einem anderen Backtest (RMT) kommt auch die aktuelle Studie von Seling (2010). In wieweit eine Beziehung anderer indirekter Parameter zur Volumenausbeute bestand, wird im nächsten Kapitel dargestellt.

4.2 Beziehungen zwischen Backvolumen und Parametern der Mehlqualität

Im vorigen Kapitel wurde auf methodische Schwierigkeiten bei der Untersuchung der Klebermenge hingewiesen und eine weitere Anwendung der Methode zur Vorhersage der Backqualität damit ausgeschlossen. Im nächsten Schritt wurden weitere Methoden in ihrer Übereinstimmung mit der Volumenausbeute geprüft (siehe Abbildung 14).

Abb. 14 enthält von allen untersuchten Parametern diejenigen mit den engsten Beziehungen zum Backvolumen, wobei die Beziehungen nicht unbedingt linearer Natur sein müssen, da sich die Kleberqualität in Abhängigkeit von der Rohproteinkonzentration entwickelt (Linnemann 2001, 2005). Außer bei der SDS-Sedimentation handelte es sich in Abb. 14 um quantitative Parameter, bei denen sämtliche Getreideproteine, insbesondere aber polymere Glutenine als Bestandteil der Kleberproteine untersucht wurden.

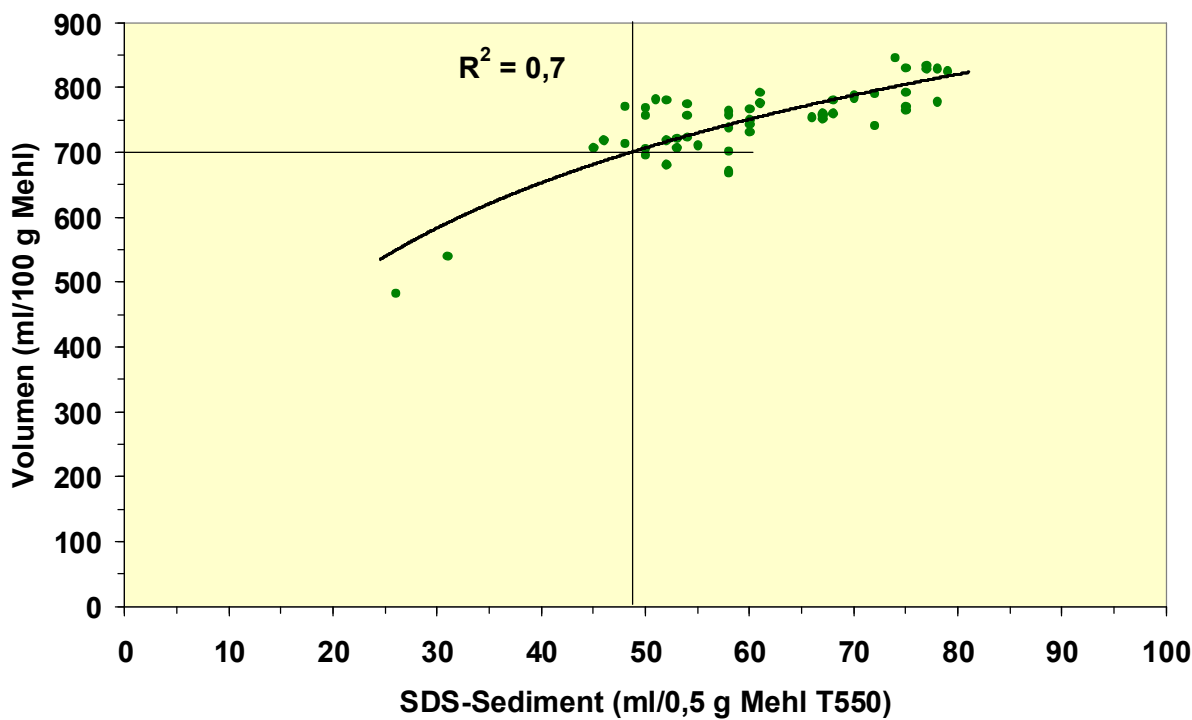
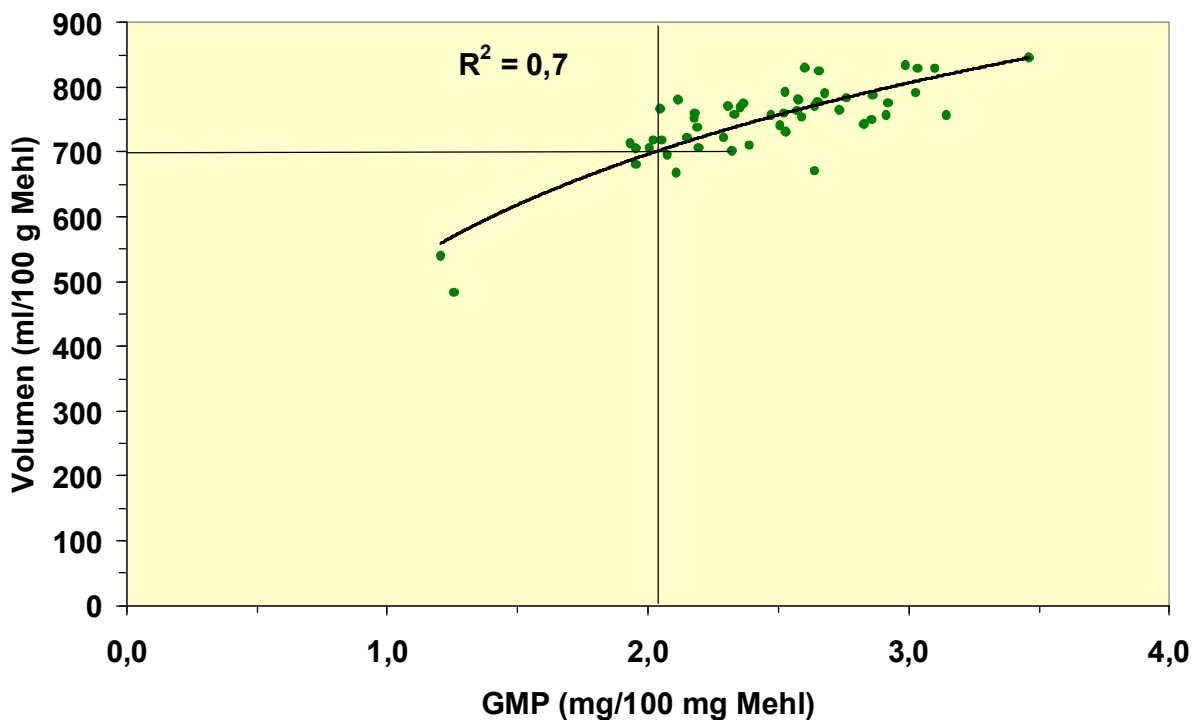


Abb. 14.: Zusammenhang zwischen Glutenin-Makropolymer (GMP) bzw. SDS-Sedimentation und dem Backvolumen über 9 Weizensorten, drei Standorte (Alsfeld, Halle/Saale und Stuttgart) und zwei Anbaujahre (2008 und 2009). Bestimmtheitsmaß (R^2) und Trendlinie (logarithmisch).

In der Literatur wurde eine enge Beziehung ($R^2 = 0,85$) zwischen der Konzentration an unextrahierbarem Polymeren Protein (UPP) und dem Brotvolumen beschrieben (siehe Tronsmo et al. 2003), welche mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nicht übereinstimmte. Derselben Arbeit kann jedoch auch ein deutlicher Einfluss des Backtests (CBP bzw. hearth bread) auf den Zusammenhang mit UPP entnommen werden. Andererseits zeigt Abb. 14, dass GMP und FPP eine engere Beziehung zum Backvolumen aufwiesen. Insbesondere GMP war in der Lage, 70 % der Variation des Backvolumens zu erklären, obwohl das untersuchte Sortiment mit der Ausnahme der B-Sorte Aszita nach E ein gestuft war und die Kleberqualität gemessen am Backvolumen einer vergleichsweise geringen Streuung entsprach.

Allgemein bestätigen die vorliegenden Ergebnisse die Bedeutung polymerer Proteine bzw. der Glutenine, welche nach Eckert et al. (1993) bei der SDS-Sedimentation für die Quellung von Mehlpartikeln und Klebersträngen verantwortlich sind. Die Autoren fanden heraus, dass die SDS-Sedimentationslösung zu einer stärkeren Quellung führte als das Zeleny-Reagens. Das Ausmaß an Quellfähigkeit dürfte demnach ein indirekter Nachweis für die Kleberqualität eines Mehles sein. Die Kleberqualität wiederum wies unter anderem als SDS-Sedimentation eine enge Beziehung zum optimierten Backtest auf. Da GMP eine ebenso enge Beziehung zum Backtest zeigte, kann demnach auch von einem quantitativen Effekt ausgegangen werden, der im Rahmen der Untersuchungen jedoch nicht vom qualitativen Effekt zu trennen war.

Hierfür müssten gezielte Untersuchungen an Proben mit definierten Unterschieden in den HMW-Untereinheiten bzw. dem Backvolumen erarbeitet werden. Theoretisch könnten jedoch Unterschiede in der Zusammensetzung der Glutenine vorhanden sein, ohne gravierende Unterschiede zu bewirken. In so einem Fall käme es tatsächlich in der Hauptsache auf das GMP an, wofür auch der Einfluss von GMP auf rheologische Eigenschaften spricht (Don 2005). Klare Indizien hierfür liegen in den Arbeiten von Popineau et al. (1994) und Hussain et al. (1998) vor, die vor allem einen Einfluss der Kleberqualität unabhängig von den HMW-Glutenin Untereinheiten feststellten. Das führt zu dem Schluss, dass ein qualitativer Wert wie die SDS-Sedimentation gleichbedeutend mit der quantitativen GMP-Analyse ist und die Kleberqualität beider Methoden auf dieselben Proteine zurückzuführen ist. Diese Vermutung muss durch ein größeres Sortiment, in dem Weizen aus allen Klassen enthalten sind, überprüft werden. In Abbildung 14 klafft eine Lücke zwischen den C-

Weizen und den überwiegend nach E eingestuften Weizen. Dazwischen dürften Sorten der B- und A-Klasse liegen, falls sie in ihrer Einstufung der Kleberqualität folgen.

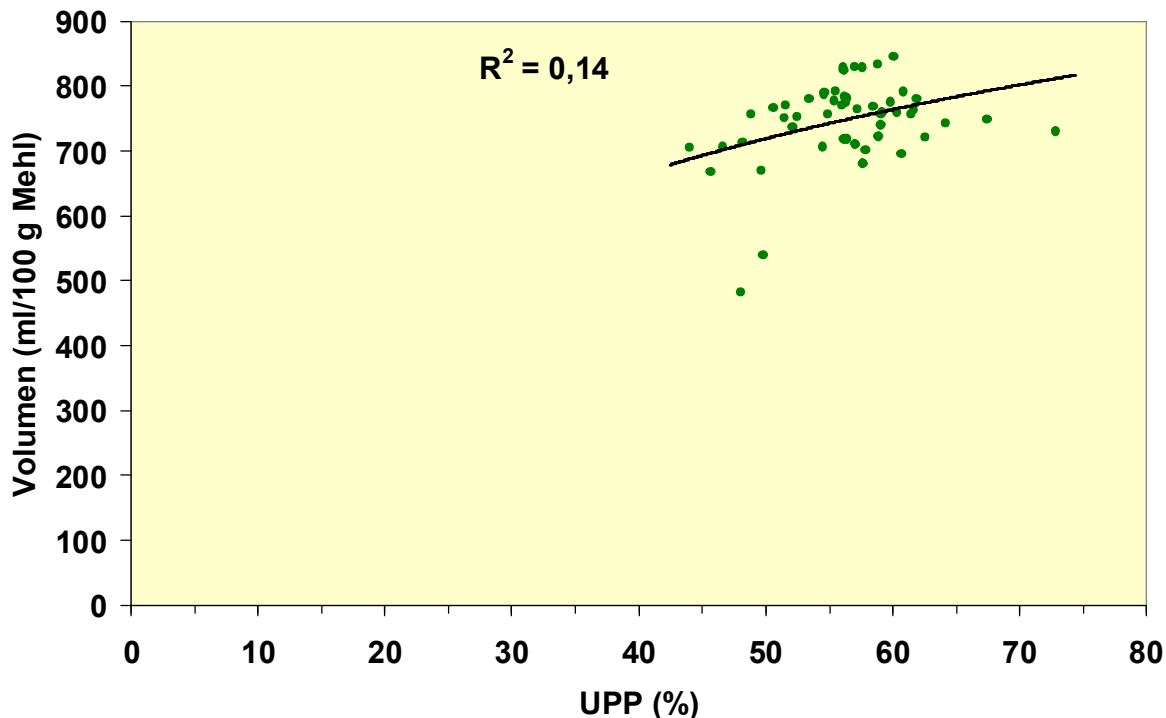
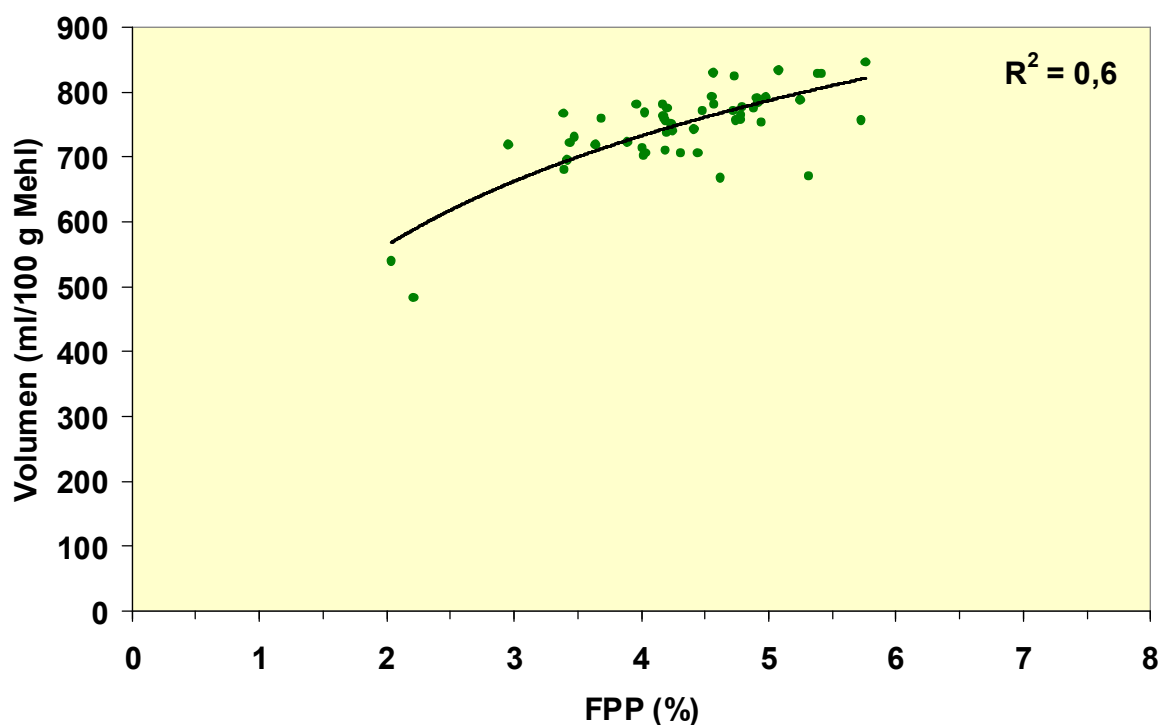


Abb. 15: Zusammenhang zwischen der Konzentration an polymeren Proteinen im Mehl (FFP) bzw. der Konzentration an unextrahierbaren polymeren Proteinen (UPP) und dem Brotvolumen über 9 Weizensorten, drei Standorte (Alsfeld, Halle/Saale und Stuttgart) und zwei Anbaujahre (2008 und 2009). Bestimmtheitsmaß (R^2) und Trendlinie (logarithmisch).

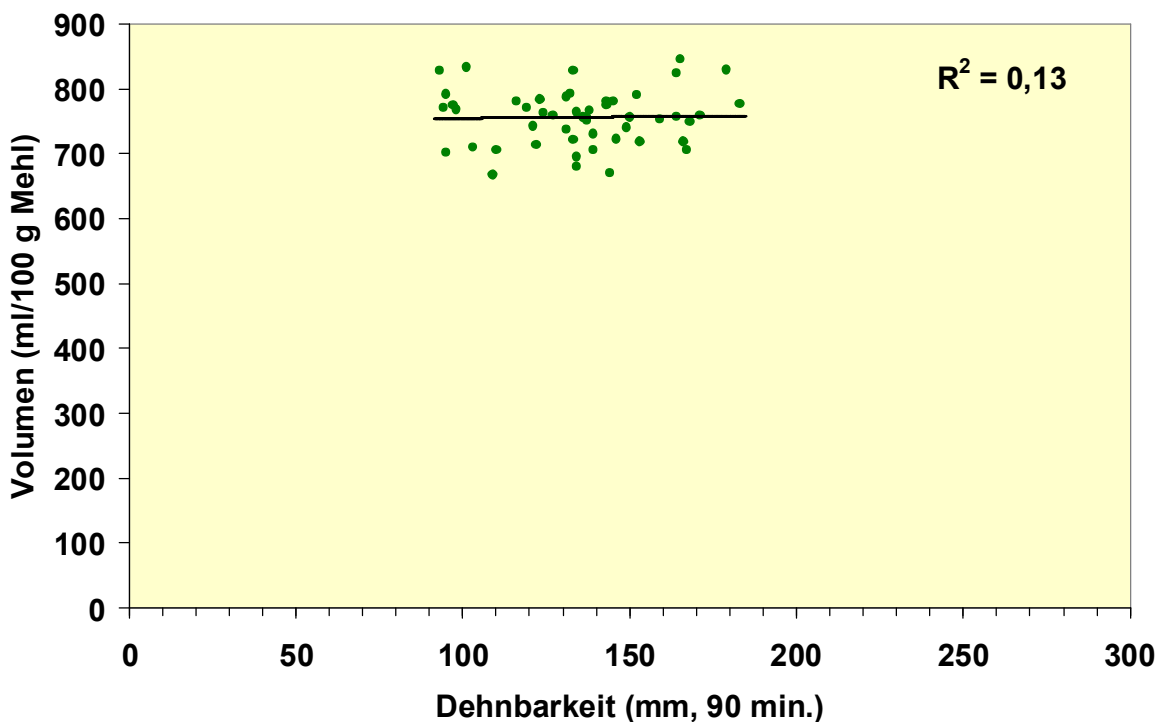
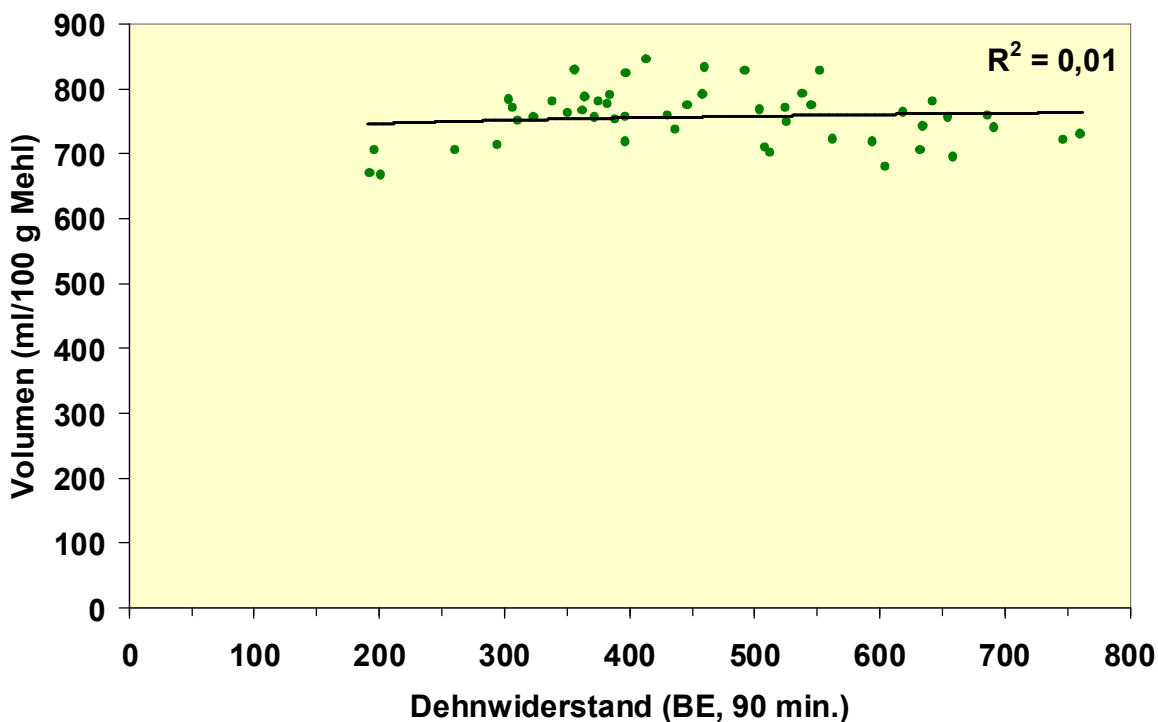


Abb. 16.: Zusammenhang zwischen maximalem Dehnwiderstand bzw. maximaler Dehnbarkeit nach 90 min. des Teiges (20 mg/kg Ascorbinsäure) und dem Backvolumen über 9 Weizensorten, drei Standorte (Alsfeld, Halle/Saale und Stuttgart) und zwei Anbaujahre (2008 und 2009). Bestimmtheitsmaß (R^2) und Trendlinie (logarithmisch, linear).

Im Weiteren werden statistische Auswertungen mit Ergebnissen zur **Teigrheologie** dargestellt.

Der optimierte Backtest zeigte keine Beziehung zu Extensograph-Werten. Dies steht im Widerspruch zu Ergebnissen von Kieffer et al (1998), die mehrere Backtests miteinander verglichen und stets Korrelationen $> 0,44$ feststellten. Ein Grund für die fehlenden Beziehungen kann im untersuchten Sortiment liegen, welches ein enges Qualitätsspektrum darstellte. Dagegen spricht jedoch, dass im Proteinbereich ein Spektrum von 8,8 % bis 14,5 % Rohprotein mit Dehnwiderständen von 192 BE bis 760 BE hinreichend Differenzierung bot. Plausibler dürfte sein, dass in der Arbeit von Kieffer et al. (1998) eine Scheinbeziehung zwischen Extensograph-Werten und Backvolumen vorgelegen hat, welche nur durch Auswahl der Sorten auftrat und das Backvolumen in Wirklichkeit von einem dritten Faktor, der Kleberqualität, hervorgerufen wurde. Dafür spricht auch die Tatsache, dass mit den von Kieffer et al. (1998) durchgeführten verschiedenen Backtests im Sortiment 2 eine vergleichsweise geringe mittlere Volumenausbeute von 511 ml (345 ml bis 641 ml) bei 8,7 % bis 12 % Rohprotein mit hoher Spreizung der Ergebnisse zugrunde lag. Anders ausgedrückt würde das Sortiment 2 bei Verwendung des optimierten Backtests eine geringere Datenspreizung aufweisen, welche in Folge zu einer erstens deutlich geringeren Geradensteigung und zweitens zu einer nicht vorhandene Beziehung führen würde. Daher lautet die Interpretation der vorliegenden Ergebnisse, dass innerhalb der untersuchten Sorten zwar eine Beziehung zur Kleberqualität, nicht aber zu Extensograph-Werten bestand. Neu an der Beobachtung war, dass Dehnwiderstand und Dehnbarkeit keine Auswirkung auf die Höhe des Backvolumens hatte, während die optimierte Verarbeitung offensichtlich entscheidend für die Umsetzung der Kleberqualität in Backvolumen war.

Daraus folgt eindeutig ein dringlicher Bedarf zur Optimierung bestehender Methoden, um falsche Schlussfolgerungen aus der Anwendung von standardisierten Methoden zu vermeiden. Optimierung und Standardisierung sind wissenschaftliche Werkzeuge, welche in der genannten Reihenfolge durchzuführen sind. Bei standardisierten aber nicht optimierten Methoden wie dem Rapid-Mix-Test und der Klebermessung sollte deren allgemeine Verwendung, die bis in monetäre Bewertungen von Handelsware gängig ist, unbedingt vermieden werden. Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Anwendung der genannten Methoden im öffentlichen Bereich nicht zu verantworten, da die Folgen einer Unterbewertung der tatsächlichen Qualität von Ökoweizen

bereits in den vergangenen Jahren zu einem erheblichen Schaden geführt haben. Da dies nicht erkannt wurde, trat im deutschen Öko-Landbau eine feststellbare Schwächung der Nachhaltigkeit des Weizenanbaus und der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber ausländisch erzeugtem Weizen auf.

Für den konventionellen Landbau kann bereits jetzt gesagt werden, dass das notwendige Maß für Backweizen mit Mindestwerten von 14,0 % Rohprotein im Handel über dem Optimum liegen dürfte. Unter anderem als Folge einer falschen Qualitätseinschätzung wurde in der Vergangenheit ein Übermaß an Stickstoff gedüngt, der ohne Zweifel zu einer unerwünschten Umweltbelastung beigetragen hat. Seling (2010) fasst einen Teil der Problematik wie folgt zusammen: „... dass die Steigerung des Proteingehaltes von 12% auf 13% durchaus die doppelte N-Spätdüngungsgabe erfordert, welche je nach Standort und Witterung nur zu 15 bis 75 % ausgenutzt wird...“. Dieser Aussage kommt unter Einbeziehung des optimierten Backtests umso mehr Bedeutung zu, da mit dem optimierten Backtests etwa 20 bis 30 % höhere Backvolumina gemessen wurden (vgl. Abb. 13), was für einen deutlich geringeren N-Düngungsbedarf auch für A-Sorten spricht. Systematische Untersuchungen zum Backpotenzial von E-, A- und B-Sorten mit dem optimierten Backtest stehen noch aus. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf mit sehr hohen Erfolgsaussichten.

Dabei dürfte zukünftig vor allem die SDS-Sedimentation, der optimierte Backtest und erst in dritter Linie und nur als begleitende Untersuchung die Rohproteinbestimmung eine Rolle in der Qualitätsuntersuchung von Mehlen spielen. Dies kann auch nur für den Fall überhaupt zu vertreten sein, in dem die untersuchte Sorte bekannt ist, unvermischt vorliegt und ein qualitativer Parameter wie Backtest oder SDS-Sedimentation den tatsächlichen Wert der Probe als Backweizen nahe legen kann. Des Weiteren sollte bei der Rohproteinmessung über NIR/NIT-Methoden eine möglichst mit der ICC 167 vergleichbare Genauigkeit gewährleistet sein, um eine allgemeine Verbreitung als zusätzliche Methode aus wissenschaftlicher Sicht akzeptieren zu können.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Projekt wurde ein Backtest optimiert und das Verhältnis des Backvolumens zu gängigen indirekten Parametern zur Beurteilung der Mehlqualität untersucht. Als qualitative bzw. quantitative Parameter wurden die SDS-Sedimentation, Rohprotein nach Kjeldahl, Feuchtkleber, Dehnwiderstand, Dehnbarkeit von Teig und die Proteinzusammensetzung von Mehl (Glutenin-Makropolymer, UPP, FPP) mittels Größenausschluss-HPLC untersucht. Um sortenreine Mehle zur Untersuchung der Verarbeitungsqualität zu erhalten, wurden in 2008 und 2009 Streifenversuche mit je 7 biologisch-dynamisch gezüchteten Sorten und zwei Referenzsorten in drei Klimaräumen (Alsfeld, Halle/Saale, Stuttgart) angelegt. Nach Vermahlung der sortenreinen Chargen zu Mehlen der Type 550 lagen insgesamt über 50 Proben zur Untersuchung im Labor vor. Aufgrund der Verwendung von Proben aus Ökoweizen-Landessortenversuchen der Ernte 2007 stand für Vorversuche eine repräsentative Sortenauswahl von 9 Standorten zur Verfügung. Ausgewählte Proben der Streifenversuche wurden zudem vom Kooperationspartner Herzberger-Bäckerei in Fulda unter Praxisbedingungen getestet. Aufgrund der Praxisergebnisse konnte für die Fragestellung von weiteren Untersuchungen im Technikummaßstab (1 kg) abgesehen werden.

Die Erkenntnisse aus den hier vorgestellten Forschungsergebnissen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Als Hauptmerkmal der Mehlqualität konnte das Backvolumen mit einem optimierten Backtest auf 50 Gramm Basis im Kasten mit Mehlen der Type 550 reproduzierbar durchgeführt werden. Alle untersuchten E-Sorten wiesen eine sehr hohe Mehlqualität > 660 ml/100 g Mehl auf, die etwa 20 bis 30 % über den bisher mit dem RMT festgestellten Werten lagen. Die Ergebnisse des Backtests stimmten bei optimaler Verarbeitung in der Praxis mit den dort gewonnenen Ergebnissen vollständig überein.
- ▶ Die Höhe des Backvolumens wurde in der Regel nicht durch die Kleberqualität begrenzt, sondern durch das Backmittel bzw. die Verarbeitung. Je komplexer die Zusammensetzung des Backmittels, desto höher das Backvolumen, wobei mit Werten > 700 ml/100 g Mehl die Streichfähigkeit bzw. Schnittfestigkeit der Brote stärker abnahm.

- ▶ Das Optimum der Verarbeitungsqualität lag bei den untersuchten E-Sorten bei etwa 700 ml Volumen entsprechend 50 ml SDS-Sedimentation bzw. 2,1 mg /100 mg Mehl an GMP.
- ▶ Bei den untersuchten Sorten zeigten sich je nach Standort unterschiedliche Auswirkungen auf die Volumenausbeute. Die Sorte Achat wies in Alsfeld über beide Jahre hinweg das geringste Volumen auf, während an den Standorten Halle und Stuttgart die Sorte Aszita diese Stellung einnahm. Auf der anderen Seite zeigten die Sorten Wiwa und Butaro höchste Verarbeitungsqualitäten, wobei der Abstand zu den anderen Sorten eher als gering zu bezeichnen war.
- ▶ Die Sorte Aszita bildete über alle Jahre und Standorte hinweg zwar einen weichen Kleber aus (Glutenindex im Mittel 62), lieferte jedoch hohe Volumenausbeuten. Die Nachteile des weichen Klebers konnten durch Mischungspartner mit festen Klebereigenschaften in ideale Verarbeitungseigenschaften überführt werden.
- ▶ Bei Sortenmischungen allgemein konnten in einjährigen Untersuchungen überdurchschnittliche Volumenausbeuten ohne Ertragseinbußen beobachtet werden. Die Synergieeffekte waren jedoch an aufeinander abgestimmte Mischungspartner gebunden, die neben dem Ertrag auch im Volumen überdurchschnittlich waren.
- ▶ Alle untersuchten Sorten mit festen Klebern ab 9,6 % Rohprotein im Mehl (etwa 10,4 % RP im Korn) lieferten Mehle mit Aufmischqualität > 701 ml Volumen bei einem Glutenindex im Mittel über alle Sorten, Jahre und Orte > 94 (von min. 75 bis max. 99).
- ▶ Die Streuung des Backvolumens war im untersuchten Sortiment zu 70 % mit der Streuung von SDS-Sedimentation (ml) zu erklären. Anhand der SDS-Sedimentation konnten 70 % das Backvolumen vorausgesagt werden, wobei etwa 50 ml Sediment mit 700 ml Volumen korrespondierte.
- ▶ Eine Erfassung von Rohprotein (%) und Kleber (%; FM und TM) zeigten eine sehr geringe Beziehung zum Backvolumen, da letzteres maßgeblich von der Kleberqualität (z.B. GMP) und erst nachgeordnet durch die Klebermenge bestimmt wird. Vielmehr zeigte sich, dass mit zunehmender Klebermenge ein abnehmender

Volumenzuwachs auftrat, der mit einer zunehmenden Klebererweichung verbunden war.

- ▶ Eine Erfassung von Dehnwiderstand (BE) und Dehnbarkeit (mm) von sortenreinen Teigen zeigten eine sehr geringe Beziehung zum Backvolumen, da offenbar nicht diese Werte begrenzend wirken, sondern die Verarbeitung. Im Zusammenhang mit optimal verarbeiteten Mehlen traten dem entsprechend keine Abhängigkeiten zu teigrheologischen Unterschieden in den untersuchten Proben auf.
- ▶ Einige Methoden zur Untersuchung der Kleberqualität mittels SE-HPLC wurden angewandt. Die Ergebnisse zeigten, dass der Anteil an polymeren Gluteninen am polymeren Protein (% UPP) keine Beziehung zum Backvolumen aufwies, hingegen der Anteil an polymeren Gluteninen im Mehl (% FPP) eine Bedeutung für die Höhe des Backvolumens zukam ($R^2 = 0,6$). Als noch bedeutender erwies sich jedoch eine in SDS unlösliche Gluteninfraktion (GMP). Anhand der GMP-Konzentration konnte 70 % des Backvolumens vorausgesagt werden, wobei etwa 2,1 mg/100g Mehl ml Sediment mit 700 ml Volumen korrespondierte.
- ▶ Anhand der Ergebnisse wurde erkannt, dass die Verarbeitungsqualität von Weizen aus dem Öko-Landbau bisher stark unterbewertet wurde und dies auf eine nicht optimierte Verarbeitung im Backtest zurückgeführt werden konnte. Die Kleberqualität und zu 30 % andere Faktoren bestimmten im Wesentlichen das Backvolumen der untersuchten Sorten. Bei einer durchschnittlichen Volumenausbeute von 747 ml/100 g Mehl über drei Klimazonen und zwei Anbaujahre mit überwiegend E-Sorten und wenigen C-Weizen, B-Weizen und A-Weizen im Sortiment. Am Standort mit einer geringen Bonität (51 BP) wurden im Mittel ein Volumen von 723 ml/100 g Mehl erreicht, während am Standort mit der höchsten Bonität (70 BP) im Mittel 773 ml/100 g Mehl gemessen wurden.
- ▶ Zukünftig wird eine Diagnose der Weizenqualität anhand der SDS-Sedimentation (ICC 151) als dem bisher am besten geeigneten indirekten Qualitätsparameter vorgenommen werden können. Für den Öko-Landbau wird das in dieser Arbeit vorgestellte Bewertungssystem dazu führen können, dass hochwertige Weizenpartien erkannt und als solche vermarktet werden. Damit der Weizenanbau im Öko-Landbau eine Nachhaltigkeit erlangt, muss die Bewertung der Mehlqualität die hier vorgestellten neuen Grenzwerte einführen, ihre Erfassung verbreiten und

die Richtigkeit wissenschaftlich verifizieren. Dazu werden Hilfestellungen in allen Bereichen der Marktkette notwendig sein.

- ▶ Nicht zuletzt werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit auch für den konventionellen Landbau bzw. dem Umweltschutz, die Wasserqualität und die Wirtschaftlichkeit eine große Bedeutung haben, da der optimierte Backtest geeignet ist zu zeigen, dass zur Erzeugung hochwertigen Backweizens deutlich geringere N-Düngermengen notwendig sind als heute üblich.

7 Literaturverzeichnis

- AGF, Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung (Hrsg.): Standard-Methoden für Getreide Mehl und Brot. Schäfer, Detmold (1994).
- Belitz H.-D., R. Kieffer, W. Seilmeier & H. Wieser (1986): Structure and function of gluten proteins. *Cereal Chem.* 63, 336-341.
- Brümmer J.-M. & W. Seibel (1992): Extensivierter Anbau und seine Auswirkungen auf Verarbeitungseigenschaften und Gebäckqualität. *Getreide Mehl & Brot* 46, 187-191.
- Don, C: The effect of mixing on glutenin particle properties (2005): Aggregation Factors that affect Gluten Function in Dough. *J. Cereal Sci.* 41, 69-83.
- Dreyer, E., W. Jahn-Deesbach und W. Seibel: Über den Einfluss verschiedener Weizensorten mit unterschiedlicher Teigbeschaffenheit auf den Aufmischeffekt bei Vollkornmehl. *Getreide Mehl & Brot* 43 (1989) 208-210.
- Eisenberg, B. (1993): Elektrophoretische Untersuchungen zur Qualitätsdifferenzierung bei Weizen. Dissertation, Universität Hamburg.
- Eckert, B., T. Amend und H.-D. Grosch (1993): The course of the SDS and Zeleny sedimentation test for gluten quality and related phenomena studied using the light microscope. *Z. Lebensm. Forsch.* 196, 122-125.
- Faergestad E.M., E.L. Molteberg & E.M. Magnus (2000): Interrelationship of Protein Composition, Protein Level, Baking Process and the Characteristics of Hearth Bread and Pan Bread. *J. Cereal Sci.* 31,309-320.
- Finckh, M.R.; Butz, A.; Lützkendorf, K.; Greiner, E. und Schulze-Schilddorf, G. (2005) Ertragsstabilität und Qualität von Weizensortenmischungen im Ökologischen Anbau. <http://orgprints.org/3656/1/3656.pdf> .
- Finney K.F.: An Optimized, Straight-Dough, Bread-Making Method After 44 Years. *Cereal Chem.* 61 (1984) 20-27.
- Gupta R.B., Khan K. and MacRitchie (1993): Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J. Cereal Sci.* 18, 23-41.
- Hussain A., O.M. Lukow & R.I.H McKenzie (1998): Rheological Properties of Gluten derived from wheat cultivars with identical HMW Glutenin Subunit Composition. *J. Sci. Food Agric.* 78, 551-558.
- Kieffer R., H. Wieser, M.H. Henderson & A. Graveland (1998): Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *J. Cereal Sci.* 27, 53-60.
- Kühlsen, N (2001): Empfehlungen von Winterweizensorten im Organischen Landbau über die Kleberproteinfraktionen und deren Einfluß auf die Backqualität. Dissertation, Universität Bonn.
- Linnemann L. (2001) Kleberprotein-Zusammensetzung und Umwelteinfluss als Bedingung der Weizenqualität. Dissertation, Universität Gießen. Verlag Köster, Berlin.
- Linnemann L., G. Leithold & R. Rauber (2002): Kleberqualität als Bewertungskriterium der Backqualität von Weizen – Neue Erkenntnisse zu einem alten Thema. *Getreide Mehl & Brot*, 56, 147-154.
- Linnemann L. (2003): Glutenin-Makropolymer – Ein Schlüssel zum Verständnis der Backqualität von Weizen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 15,167–170.

- Linnemann L. (2005): Vorhersage der Backeignung bei Weizen (*Triticum aestivum* L.) basierend auf strukturellen Unterschieden in der Glutenin-Komposition. In: Ende der Nische. J. Heß & G. Rahmann (Hrsg.), Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel 2005, 577-580. <http://orgprints.org/3646/1/3646.pdf> .
- Linnemann L. & G. Leithold (2005): Instabilität der Glutenin-Komposition von Weizen führt zu verminderter Backqualität. In: Qualitätssicherung in landwirtschaftlichen Produktionssystemen. Rostock 2004, VDLUFA Speyer (Hrsg.), VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 60, 567-576.
- McDonald C.E. (1985): Sodium dodecylsulfat sedimentation test for durum wheat. *Cereal Foods World* 30, 674-677.
- MRI (Hrsg.): Brotgetreideernte 2010 Qualität der Deutschen Brotgetreideernte (Weizen, Roggen und Dinkel) Institut für Sicherheit und Qualität bei Getreide, Detmold. http://www.mri.bund.de/fileadmin/Service/Pressemitteilungen/MRI_PM_100929.pdf .
- Müller K.J. (2009): Verbesserung der Verarbeitungsqualität von Winterweizen durch Mischanbau von Sorten in Niedersachsen. <http://www.darzau.de/fileadmin/PDF/weizenmischanbau.pdf> .
- Münzing K., D. Meyer, D. Rentel & J. Steinberger: Vergleichende Untersuchungen über Weizen aus ökologischem und konventionellem Anbau. *Getreidetechnologie* 58 (2004), 5-12.
- Popineau Y., M. Cornec, J. Lefebvre & 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. *J. Cereal Sci.* 19 (1994) 231-241.
- Preston K.R., K.J. Quail, S. Zounis & P.W. Gras (1997): No-time dough baking performance and mixing properties of Canadian Red Spring wheat cultivars using Canadian and Australian test procedures. *Aust. J. Agric. Res.* 48, 587-593.
- Roels S.P., G. Cleemput, X. Vandewalle, M. Nys & J.A. Delcour (1993): Bread Volume Potential of Variable-Quality Flours with Constant Protein Level as Determined by Factors Governing Mixing Time and Baking Absorption Levels. *Cereal Chem.* 70, 318-323.
- Singh N.K., R. Donovan & F. McRitchie (1990): Use of Sonication and Size-Exclusion High Performance Liquid Chromatography in the Study of Wheat Flour Proteins. II. Relative Quantity of Glutenin as a Measure of Breadmaking Quality. *Cereal Chem.* 67, 161-170.
- Seling, S. (2010): Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus Sicht der Wissenschaft. *Getreidetechnologie* 2, 103-110.
- Schipper, A. (1991): Modifizierbarkeit teigphysikalischer Eigenschaften verschiedener Weizensorten durch Umwelteinflüsse. *Agribiol. Res.* 44, 2-3, 114-132.
- Sliwinski E.L., P. Kolster, T. van Vliet (2004): On the relationship between large-deformation properties of wheat flour dough and baking quality. *J. Cereal Sci.* 39 (2004) 231-245.
- Sutton K.H., N.G. Larsen, M.P. Morgenstern, M. Ross, L.D. Simmons & A.J. Wilson (2003): Differing Effects of Mechanical Dough Development and Sheeting Development Methods on Aggregated Glutenin Proteins. *Cereal Chem.* 80, 707-711.
- Tronsmo, K. M., E.M. Faergestad, J.D. Schofield and E.M. Magnus: Wheat protein quality in relation to baking performance evaluated by the chorleywood bread process and a hearth bread baking test. *J. Cereal Sci.* 38 (2003) 205-215.
- Uhlen A.K., S. Sahlström, E.M. Magnus, E.M. Faergestad, J.A. Dieseth & K. Ringlund (2004): Influence of genotype and protein content on the baking quality of hearth bread. *J. Sci. Food Agric.* 84, 887-894.
- Uhlen A.K., R. Hafskjold, A.-H. Kalhovd, S. Sahlström, Å. Longva & E.M. Magnus (1998):

Effects of cultivar and temperature during grain filling on wheat protein content, composition and dough mixing properties. *Cereal Chemistry* 75, 460-465.

Wirries F.-M.: Die Bedeutung verschiedener Weizenkleberfraktionen für die Backqualität, Untersuchungen an Weizen aus Organischem Landbau. Dissertation, Universität Bonn (1998).

Zounis, S. & K.J. Quail (1997): Predicting test bakery mixing requirements from laboratory mixing tests. *J. Cereal Sci.* 25, 185-196.

8 Anhang

Tab. A1: Teig rheologie Dehnwiderstand (DW), Dehnbarkeit (DB) und DW/DB (90 min).

Sorte	Ort	Jahr	DW [BE]	DB [mm]	DW/DB
Aszita	Alsfeld	2008	306	119	2,6
Aszita	Halle	2008	260	139	1,9
Aszita	Stuttgart	2008	192	144	1,3
Ataro	Alsfeld	2008	642	143	4,5
Ataro	Halle	2008	504	98	5,1
Ataro	Stuttgart	2008	458	95	4,8
Mischung	Alsfeld	2008	654	137	4,8
Mischung	Halle	2008	446	97	4,6
Mischung	Stuttgart	2008	364	131	2,8
Wiwa	Alsfeld	2008	545	143	3,8
Wiwa	Halle	2008	384	152	2,5
Wiwa	Stuttgart	2008	413	165	2,5
Hermes	Alsfeld	2008	372	136	2,7
Hermes	Halle	2008	375	145	2,6
Hermes	Stuttgart	2008	323	150	2,2
Pollux	Alsfeld	2008	634	121	5,2
Pollux	Halle	2008	508	103	4,9
Pollux	Stuttgart	2008	492	93	5,3
Achat	Alsfeld	2008	562	146	3,8
Achat	Halle	2008	396	166	2,4
Achat	Stuttgart	2008	303	123	2,5
Capo	Alsfeld	2008	525	168	3,1
Capo	Halle	2008	350	124	2,8
Capo	Stuttgart	2008	356	179	2,0
Aszita	Alsfeld	2009	294	122	2,4
Aszita	Halle	2009	196	110	1,8
Aszita	Stuttgart	2009	201	109	1,8
Ataro	Alsfeld	2009	658	134	4,9
Ataro	Stuttgart	2009	512	95	5,4
Mischung*	Alsfeld	2009	594	153	3,9
Mischung*	Halle	2009	362	138	2,6
Mischung*	Stuttgart	2009	310	137	2,3
Wiwa	Alsfeld	2009	691	149	4,6
Wiwa	Halle	2009	552	133	4,2
Wiwa	Stuttgart	2009	460	101	4,6
Hermes	Alsfeld	2009	632	167	3,8
Hermes	Halle	2009	396	164	2,4
Hermes	Stuttgart	2009	388	159	2,4
Pollux	Alsfeld	2009	760	139	5,5
Pollux	Halle	2009	524	94	5,6
Pollux	Stuttgart	2009	618	134	4,6
Butaro	Alsfeld	2009	686	127	5,4
Butaro	Halle	2009	382	183	2,1
Butaro	Stuttgart	2009	397	164	2,4
Achat	Alsfeld	2009	604	134	4,5
Achat	Halle	2009	436	131	3,3
Achat	Stuttgart	2009	338	116	2,9
Capo	Alsfeld	2009	746	133	5,6
Capo	Halle	2009	538	132	4,1
Capo	Stuttgart	2009	430	171	2,5

* Mischung: Goldblume/Ludwig (30/70)

Tab. A2: SE-HPLC der Mehlpoteine

Sorte	Ort	Jahr	GMP mg/100mg Mehl	UPP %	PPP %	FPP %
Aszita	Alsfeld	2008	2,31	51,5	38,1	4,5
Ataro	Alsfeld	2008	2,58	61,9	37,6	4,2
Mischung	Alsfeld	2008	2,47	59,1	37,4	4,2
Wiwa	Alsfeld	2008	2,92	59,8	40,8	4,9
Hermes	Alsfeld	2008	2,91	61,4	39,4	4,7
Pollux	Alsfeld	2008	2,83	64,1	40,5	4,4
Achat	Alsfeld	2008	2,29	58,9	39,4	3,9
Capo	Alsfeld	2008	2,86	67,4	39,1	4,2
Certo	Alsfeld	2008	1,26	48,0	24,7	2,2
Aszita	Halle	2008	2,01	46,6	37,5	4,3
Ataro	Halle	2008	2,35	58,4	36,2	4,0
Mischung*	Halle	2008	2,37	56,3	37,4	4,2
Wiwa	Halle	2008	2,68	54,6	39,5	4,9
Hermes	Halle	2008	2,57	56,3	40,1	4,6
Pollux	Halle	2008	2,39	57,0	40,0	4,2
Achat	Halle	2008	2,02	56,1	28,7	3,0
Capo	Halle	2008	2,57	61,6	37,9	4,2
Aszita	Stuttgart	2008	2,64	49,6	37,7	5,3
Ataro	Stuttgart	2008	3,03	60,8	36,8	5,0
Mischung*	Stuttgart	2008	2,86	54,5	36,5	5,2
Wiwa	Stuttgart	2008	3,46	60,1	40,5	5,8
Hermes	Stuttgart	2008	3,14	54,9	39,5	5,7
Pollux	Stuttgart	2008	3,10	57,6	38,5	5,4
Achat	Stuttgart	2008	2,76	56,2	38,8	4,9
Capo	Stuttgart	2008	2,60	57,0	34,7	4,6
Aszita	Alsfeld	2009	1,93	48,2	37,5	4,0
Ataro	Alsfeld	2009	2,07	60,7	35,7	3,4
Mischung*	Alsfeld	2009	2,05	56,4	37,3	3,6
Wiwa	Alsfeld	2009	2,51	59,0	40,3	4,2
Hermes	Alsfeld	2009	2,19	54,4	37,5	4,0
Pollux	Alsfeld	2009	2,53	72,8	33,5	3,5
Butaro	Alsfeld	2009	2,18	59,1	36,9	3,7
Achat	Alsfeld	2009	1,95	57,6	37,7	3,4
Capo	Alsfeld	2009	2,15	62,5	36,1	3,4
Certo-C	Alsfeld	2010	1,21	49,8	25,0	2,0
Aszita	Halle	2009	1,95	44,0	35,8	4,4
Mischung*	Halle	2009	2,05	50,6	27,1	3,4
Wiwa	Halle	2009	3,03	56,1	39,7	5,4
Hermes	Halle	2009	2,33	48,8	37,3	4,8
Pollux	Halle	2009	2,64	55,9	37,8	4,7
Butaro	Halle	2009	2,65	55,4	38,2	4,8
Achat	Halle	2009	2,19	52,1	36,9	4,2
Capo	Halle	2009	2,53	55,5	36,3	4,6
Aszita	Stuttgart	2009	2,11	45,6	36,5	4,6
Ataro	Stuttgart	2009	2,32	57,8	35,2	4,0
Mischung*	Stuttgart	2009	2,18	51,4	34,9	4,2
Wiwa	Stuttgart	2009	2,99	58,8	40,1	5,1
Hermes	Stuttgart	2009	2,59	52,4	36,4	4,9
Pollux	Stuttgart	2009	2,73	57,2	37,5	4,8
Butaro	Stuttgart	2009	2,66	56,1	37,4	4,7
Achat	Stuttgart	2009	2,11	53,4	36,0	4,0
Capo	Stuttgart	2009	2,52	60,3	35,2	4,2

* Mischung: Goldblume/Ludwig (30/70) UPP= Konzentration an unextrahierbarem polymeren Proteinen; FPP= Die Konzentration an polymeren Proteinen im Mehl; PPP= Konzentration an polymeren Proteinen im gesamten Protein.

Tab. A3: Mehl-Kennwerte Rohprotein und SDS-Sedimentation

Sorte	Ort	Jahr	Rohprotein [%]	SDS-Sedimentation [ml]
Aszita	Alsfeld	2008	11,1	48
Ataro	Alsfeld	2008	11,0	52
Mischung	Alsfeld	2008	10,7	54
Wiwa	Alsfeld	2008	11,7	61
Hermes	Alsfeld	2008	11,5	50
Pollux	Alsfeld	2008	10,9	60
Achat	Alsfeld	2008	9,8	54
Capo	Alsfeld	2008	10,8	60
Certo	Alsfeld	2008	9,0	26
Aszita	Halle	2008	11,0	45
Ataro	Halle	2008	10,9	50
Mischung*	Halle	2008	10,9	54
Wiwa	Halle	2008	12,2	72
Hermes	Halle	2008	11,5	51
Pollux	Halle	2008	10,4	55
Achat	Halle	2008	9,9	46
Capo	Halle	2008	11,1	58
Aszita	Stuttgart	2008	13,8	58
Ataro	Stuttgart	2008	13,4	61
Mischung*	Stuttgart	2008	13,9	70
Wiwa	Stuttgart	2008	13,9	74
Hermes	Stuttgart	2008	14,5	67
Pollux	Stuttgart	2008	14,3	77
Achat	Stuttgart	2008	12,6	70
Capo	Stuttgart	2008	13,8	75
Aszita	Alsfeld	2009	10,6	48
Ataro	Alsfeld	2009	9,4	50
Mischung*	Alsfeld	2009	9,6	52
Wiwa	Alsfeld	2009	10,5	72
Hermes	Alsfeld	2009	10,2	53
Pollux	Alsfeld	2009	10,0	60
Butaro	Alsfeld	2009	9,6	67
Achat	Alsfeld	2009	8,8	52
Capo	Alsfeld	2009	9,2	53
Certo-C	Alsfeld	2010	8,1	31
Aszita	Halle	2009	12,5	50
Mischung*	Halle	2009	11,8	60
Wiwa	Halle	2009	12,9	78
Hermes	Halle	2009	12,7	58
Pollux	Halle	2009	12,4	75
Butaro	Halle	2009	12,3	78
Achat	Halle	2009	11,2	58
Capo	Halle	2009	12,3	75
Aszita	Stuttgart	2009	12,7	58
Ataro	Stuttgart	2009	11,5	58
Mischung*	Stuttgart	2009	12,4	67
Wiwa	Stuttgart	2009	12,6	77
Hermes	Stuttgart	2009	13,2	66
Pollux	Stuttgart	2009	12,5	75
Butaro	Stuttgart	2009	12,2	79
Achat	Stuttgart	2009	10,8	68
Capo	Stuttgart	2009	11,6	68

* Mischung: Goldblume/Ludwig (30/70)

Tab. A4: Mehl-Kennwerte Fallzahl und Glutenindex

Sorte	Ort	Jahr	Fallzahl [s]	Glutenindex [%]
Aszita	Alsfeld	2008	336	56
Ataro	Alsfeld	2008	350	99
Mischung	Alsfeld	2008	342	97
Wiwa	Alsfeld	2008	412	99
Hermes	Alsfeld	2008	305	84
Pollux	Alsfeld	2008	331	100
Achat	Alsfeld	2008	372	98
Capo	Alsfeld	2008	339	99
Aszita	Halle	2008	382	68
Ataro	Halle	2008	315	97
Mischung*	Halle	2008	279	94
Wiwa	Halle	2008	396	99
Hermes	Halle	2008	314	96
Pollux	Halle	2008	347	99
Achat	Halle	2008	354	98
Capo	Halle	2008	295	97
Aszita	Stuttgart	2008	382	48
Ataro	Stuttgart	2008	356	91
Mischung*	Stuttgart	2008	351	75
Wiwa	Stuttgart	2008	356	93
Hermes	Stuttgart	2008	313	77
Pollux	Stuttgart	2008	287	99
Achat	Stuttgart	2008	387	88
Capo	Stuttgart	2008	378	98
Aszita	Alsfeld	2009	396	65
Ataro	Alsfeld	2009	385	100
Mischung*	Alsfeld	2009	369	98
Wiwa	Alsfeld	2009	444	99
Hermes	Alsfeld	2009	284	92
Pollux	Alsfeld	2009	363	99
Butaro	Alsfeld	2009	312	99
Achat	Alsfeld	2009	405	99
Capo	Alsfeld	2009	264	99
Aszita	Halle	2009	406	58
Mischung*	Halle	2009	409	97
Wiwa	Halle	2009	466	98
Hermes	Halle	2009	360	88
Pollux	Halle	2009	434	99
Butaro	Halle	2009	406	96
Achat	Halle	2009	421	96
Capo	Halle	2009	410	98
Aszita	Stuttgart	2009	416	43
Ataro	Stuttgart	2009	325	90
Mischung*	Stuttgart	2009	372	73
Wiwa	Stuttgart	2009	409	88
Hermes	Stuttgart	2009	336	67
Pollux	Stuttgart	2009	348	98
Butaro	Stuttgart	2009	354	87
Achat	Stuttgart	2009	390	88
Capo	Stuttgart	2009	383	92

* Mischung: Goldblume/Ludwig (30/70)