

Schwefel-Informationstag der FAL

Schwefel im Ökologischen Landbau -Biobrot aus Schwefelmangelweizen-

Dr. Ingo Hagel

Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Brandschneise 5, 64295 Darmstadt

INGO HAGEL

BIOBROT AUS SCHWEFELMANGELWEIZEN?

Ein Beitrag zur Qualitätsbeurteilung
der festen Proteinstruktur moderner Weizensorten



Schriftenreihe: Band 14
Institut für Biologisch-Dynamische Forschung e.V.
Darmstadt 2000

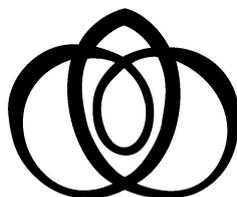


INGO HAGEL

BIOBROT AUS SCHWEFELMANGELWEIZEN?

Ein Beitrag zur Qualitätsbeurteilung
der festen Proteinstruktur moderner Weizensorten

Schriftenreihe: Band 14
Institut für Biologisch-Dynamische Forschung e.V.
Darmstadt 2000



Schriftenreihe des Instituts für Biologisch-Dynamische Forschung

Band 14

© 2000 by Ingo Hagel
c/o Institut für Biologisch-Dynamische Forschung
Brandschneise 5
D – 64295 Darmstadt

ISBN 3-928949-14-4

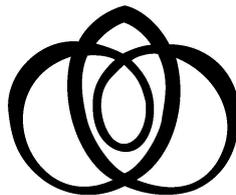
BIOBROT AUS SCHWEFELMANGELWEIZEN?

Ein Beitrag zur Qualitätsbeurteilung
der festen Proteinstruktur moderner Weizensorten

INGO HAGEL

Institut für Biologisch-Dynamische Forschung

Darmstadt



INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	1
Faktoren der Backqualität des Weizens	3
Veränderung der Proteineigenschaften unter dem Einfluß von Schwefelmangel.....	8
Schwefelversorgung und Backqualität im Organischen Landbau.....	17
Der Einfluß der Wärme auf die Weizenqualität	28
Beurteilung der Veränderungen und mögliche Konsequenzen für die Ernährung...	33
Zusammenfassung	42
Literatur.....	44

Einleitung

Nicht immer waren die deutschen Weizensorten bezüglich ihrer backtechnologischen Eigenschaften so positiv zu beurteilen wie in den letzten Jahren. KLEMT (1934) beschreibt Untersuchungen von vor über 60 Jahren: Darin erhielten von 25 untersuchten Mehlen verschiedener Sorten und Herkünfte nur 8 Mehle im Backtest die Note "gut". Zu dieser Zeit betrug der Anbau von A-Weizen in Deutschland erst 4,7 %. Der Anteil von Weizen mit sehr weichen Klebern war also sehr hoch. Nicht allein aus nationalem Stolz (man wollte durch eigene Züchtungen unabhängiger werden von den notwendigen Importen hochwertiger amerikanischer und kanadischer Weizen) wurde in diesen Jahren auf das Problem der mangelhaften Backfähigkeit des Weizen aufmerksam gemacht. Nach dem 2. Weltkrieg schließlich nahmen sich Pflanzenzüchter und Getreidechemiker in aller Welt in intensiver Weise dieses Problems an, um den einem guten Backergebnis zugrundeliegenden "Mechanismus" zu entschlüsseln und damit gezielt handhaben zu können. Aber noch zu Beginn der 60er Jahre mußte der eigene inländische Weizen - der damals mit 10,5 – 11 % auch noch niedrigere Proteingehalte als heute aufwies, mit 25 – 28 % kanadischem bzw. amerikanischem Weizen aufgemischt werden (BOLLING 1989). Heute braucht kein Bäcker mehr eine schlechte Backqualität deutscher Winterweizensorten zu fürchten. Zwar wünschen sich Weizen aus Ökologischem Landbau verarbeitende Mühlen und Biobäcker zuweilen höhere Protein- d.h. Klebergehalte im Weizen. Jedoch scheint dieses Problem nicht sehr drängend zu sein, denn die Zuschläge der Mühlen für Ökoweizen mit höheren Klebergehalten halten sich in Grenzen.

An dieser Stelle sollen einige Aspekte behandelt werden, die in den letzten Jahrzehnten mit Blick auf ein gutes Backergebnis entdeckt und von der Pflanzenzüchtung genutzt wurden. Werden diese Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Rolle des Schwefels in der Pflanzenphysiologie betrachtet, so stellt sich die Frage, ob die Pflanzenzüchtung in ihrem Streben nach festeren Klebern nicht unbewußt auf Weizensorten mit hohem Schwefelbedarf hingearbeitet hat. Wird dieser z.B. infolge sinkender S-Einträge in die Ökosysteme nicht gedeckt, kann die Proteinstruktur der Teige so fest werden, daß Minderungen des Backvolumens die Folge sind. Grundlage für die Broterzeugung wären heute demnach Weizenpflanzen, die bezüglich des Proteinstoffwechsels an Schwefelmangel leiden. Dies beträfe natürlich nicht nur das Biobrot sondern auch das Brot aus konventionell erzeugtem Weizen. Das Problem

dürfte jedoch für die ökologischen Landwirtschaftsbewegungen mit ihrem zu Recht bewußteren Umgang mit Ernährungsfragen von besonderer Bedeutung sein.

Faktoren der Backqualität des Weizens

Der Bäcker und der Kunde ist mit einem Brot vor allem dann zufrieden, wenn es im Herstellungsprozeß gut gelockert werden konnte und damit ein hohes Backvolumen aufweist. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für diese gute Backqualität sind beim Weizen Menge und Qualität des Klebers, auch Feuchtkleber genannt. Was ist der Kleber? Wenn man zur Erntezeit des Weizens durch die Felder geht, kann man sich aus den Ähren der zum Drusch anstehenden Bestände einige Körner herauslesen und zerkauen. Nach einer Weile wird man bemerken, daß man die Schalen- (Kleie) sowie die Mehlbestandteile des Kornes heruntergeschluckt hat und eine speichelunlösliche, kaugummiartig-viskose Masse im Mund zurückgeblieben ist, auf der man lange weiter herumkauen kann, ohne daß sie sich auflöst. Diese Substanz ist der Kleber. Er ist das für die Backtechnologie wesentliche Korneiweiß, welches dazu führt, daß die durch die Teiggärung entstehende Kohlensäure nicht einfach an die Oberfläche des Gebäckstückes entweicht, sondern im Zusammenspiel mit dem Stärkekleister des Teiges die Gasblasen mit einer elastischen Membran umschließt und im Gebäck fixiert. Auf diese Weise bekommt das Gebäck (Brot, Brötchen etc.) eine feine Porung und wird gelockert. Dabei verleihen ihm die feinen Proteinstränge der Klebermatrix ähnlich wie der Stahl im Stahlbeton Festigkeit, Elastizität und guten Stand und verhindern, daß es zu einem flachen Fladen ausfließt. Sein Aussehen und seine sensorischen Eigenschaften werden positiv beeinflusst. Wie oben schon angesprochen, ist die im Mehl vorhandene Kleber- bzw. Proteinmenge ein wichtiges Kriterium für ein gutes Backergebnis. Bei niedrigen Gehalten fehlt die strukturgebende Funktion dieses Eiweißes, und das Backvolumen wird reduziert.

Jedoch liefert nicht jedes Mehl einer Sorte mit einem hohem Klebergehalt auch ein gutes Backergebnis: die Zusammensetzung des Klebers ist wichtig. Dieser besteht aus den zwei Eiweißgruppen Gliadin und Glutenin. Gliadin ist in wässrigen Alkoholen sehr gut löslich, Glutenin dagegen unlöslich. Diese beiden Proteingruppen (die jeweils wieder aus verschiedenen Untergruppen bestehen) vermitteln unterschiedliche Eigenschaften. Während Glutenin dem Kleber und dem Teig Festigkeit und Elastizität verleiht, induziert Gliadin Viskosität, d.h. Kleber und Teig werden weicher und dehnbarer. Gliadin und Glutenin zusammen verleihen dem Kleber die kohäsiven sowie die "kaugummiartigen" Eigenschaften (WRIGLEY und BIETZ 1988). Daraus folgt, daß z.B. höhere Anteile Glutenin (bzw. geringere Anteile Gliadin) den Kleber

fester machen (KIM et al. 1988). Das Gebäckvolumen erfährt dadurch eine deutliche Zunahme, wie ORTH und BUSHUK 1972 schon in einer Untersuchung an 26 Weizensorten mit steigenden Anteilen Glutenin im Protein zeigten (Abb. 1).

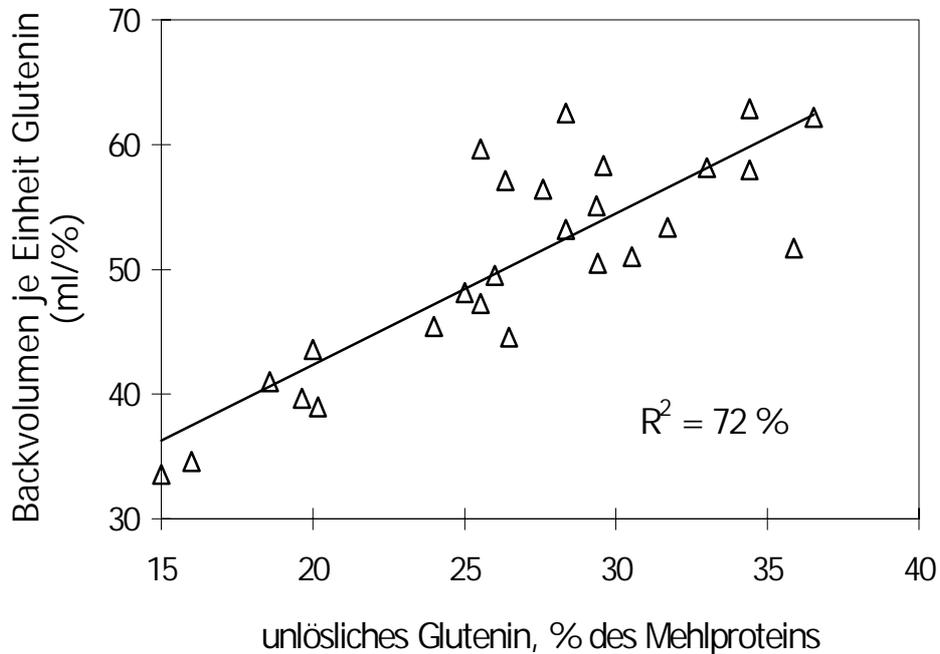


Abb. 1: Beziehung zwischen dem Gehalt an in Essigsäure unlöslichem Glutenin und dem Backvolumen je Prozepteinheit dieses im Mehl vorhandenen Proteins (Abb. erstellt nach einer Grafik von ORTH und BUSHUK (1972), aus BUSHUK (1989))

Dabei unterschieden sie zwischen essigsäurelöslichen bzw. -unlöslichem Glutenin, was uns in diesem Zusammenhang aber nicht näher zu interessieren braucht, da das essigsäureunlösliche Glutenin bei weitem den Hauptbestandteil des Glutenins ausmacht. Die positive Beziehung zwischen dieser essigsäureunlöslichen Untergruppe des Kleberproteins und dem Backergebnis war statistisch sehr gut gesichert ($R^2 = 72\%^{**}$). Dagegen bestand keine Beziehung zwischen dem Gehalt an essigsäurelöslichem Glutenin und dem Backergebnis.

Somit war also in hohen Gluteningehalten ein wichtiger Faktor für eine gute Backqualität gefunden. Jedoch lässt sich auch mit seiner Hilfe das Backergebnis nicht mit absoluter, sondern - wie z.B. in den o.a. Versuchen - "nur" mit 72 %iger Sicherheit voraussagen. Auch wurden, obwohl die Ergebnisse von ORTH und BUSHUK (1972) von anderen Laboratorien bestätigt wurden, auch gegenteilige Beobachtungen gemacht (BUSHUK 1989).

Die Beziehungen zwischen Backergebnis und Glutenin waren also noch komplizierter. Deshalb differenzierte man das Glutenin weiter in Untereinheiten mit niedrigem (= LMW-Glutenin) und hohem (= HMW-Glutenin) Molekulargewicht. Sie liegen im Weizen in einem Verhältnis von ca. 2:1 vor (SEILMEIER et al. 1991). LMW-Glutenine weisen Molekulargewichte von 28.000 -39.000 auf, HMW-Glutenine dagegen von 90.000 - 124.000 (WIESER et al. 1991). Besondere backtechnologische Effizienz wird den HMW-, kaum dagegen den LMW-Gluteninen zugeschrieben (SHEWRY et al. 1992, WIESER et al. 1994 a und 1994 b). Versuche von SCHROPP und WIESER (1994) bestätigten die backtechnologische Bedeutung der HMW-Glutenine, indem sie zeigten, daß deren Zusatz (bis zu einer Menge von 1 %, bezogen auf das Mehl) zu Mehl der Sorte REKTOR den maximalen Dehnwiderstand des Klebers steigerte. In der Literatur existieren allerdings auch Beispiele (z.B. KIEFFER und WIESER 1996) wonach das LMW-Glutenin in gleich starker Beziehung wie das HMW-Glutenin zu den Zugfestigkeiten von Teig und Klebern steht, so daß möglicherweise die große Bedeutung des HMW-Glutenins für die Backqualität auch überbewertet wird bzw. im Zusammenhang mit noch anderen Faktoren betrachtet werden müßte.

Ein mit Blick auf die backtechnologische Qualität von Weizen sehr aussagekräftiges Prüfverfahren ist (neben dem aufwendigen Backversuch) die Messung des Dehnwiderstandes seines Teiges oder Klebers (KIEFFER et al. 1981). Dazu wird der Teig oder Kleber mittels eines Extensographen einer Dehnung unterzogen. Das dabei aufgezeichnete Kraft-Weg-Diagramm "gibt Auskunft über den zu erwartenden Stand des Teiges, sein Gashaltevermögen und die Gärtoleranz" (BELITZ und GROSCH 1992). Die maximalen Dehnwiderstände von Teig und Kleber stehen in starker Beziehung zu den Gebäckvolumina (KIEFFER 1995, KIEFFER et al. 1998). Durch Extensogramme kann also gut das Backverhalten der verschiedenen Weizensorten charakterisiert werden. Abbildung 2 zeigt Beispiele für diesen Sachverhalt, nämlich Extensogramme von Teigen und Klebern verschiedener Weizensorten, die von KIEFFER et al. (1981) im Mikromaßstab durchgeführt wurden.

a)

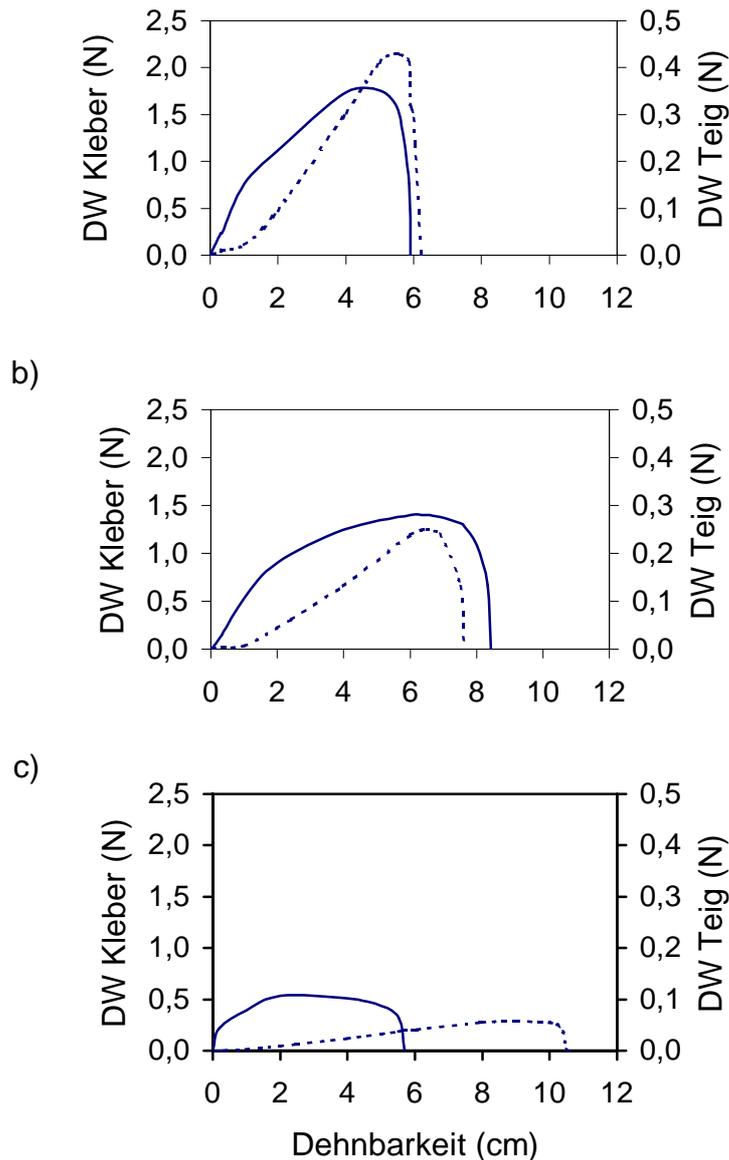


Abb. 2: Zugversuche verschiedener Weizensorten mit Teig (—) und Kleber(- - -) a) starker kanadischer Weizen, b) KOLIBRI, c) CLEMENT (nach einer Abbildung von KIEFFER et al. 1981). DW = Dehnwiderstand, gemessen in Newton (N)

Den höchsten Dehnwiderstand des Teiges besaß der starke kanadische Weizen gefolgt von der Sorte KOLIBRI. Dagegen wies die C-Weizensorte CLEMENT mit einem sehr niedrigen Dehnwiderstand auf ihre schlechten Backeigenschaften hin.

Um Weizensorten mit hohem Gebäckvolumen zu erhalten, werden die Pflanzenzüchter also Stämme mit höheren Gluteninanteilen am Gesamtprotein und damit auch höheren Glutenin:Gliadin-Verhältnissen sowie festen Klebern bzw. Teigen selektieren. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 3 dargestellt:

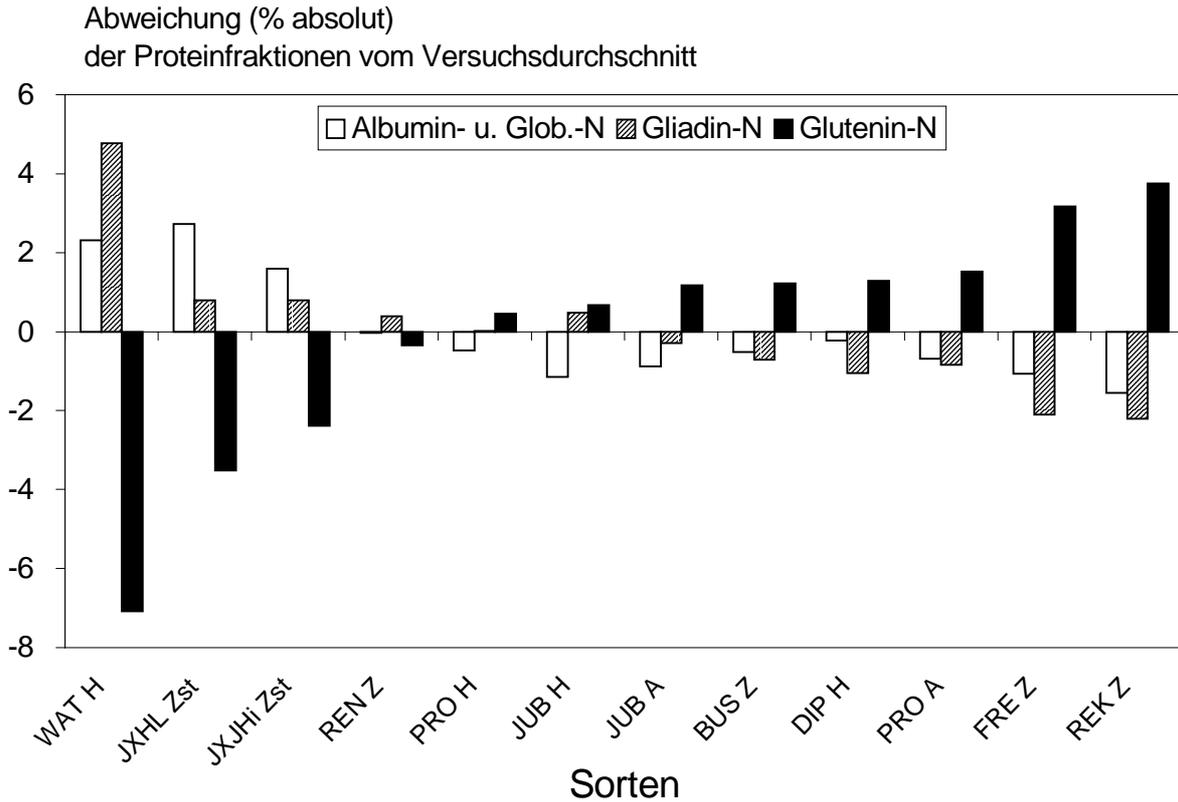


Abb. 3: Differenzen (% absolut) der Proteinfractionen vom Versuchsdurchschnitt von Weizen eines Sortenversuchs (Ernte 1994). (Aus HAGEL et al. 1998).

Sorten: BUSSARD Z (BUS Z), DIPLOMAT H (DIP H), FREGATT Z (FRE Z), JUBILAR A (JUB A), JUBILAR H (JUB H), JXHL Zst. (JXHL Zst.), JXJHi Zst (JXJHi Zst), PROGRESS A (PRO A), PROGRESS H (PRO H), REKTOR Z (REK Z), RENAN Z (REN Z), WEISSER AMMERTALER H (WAT H)

Z = Zuchtsorte, Zst = Zuchtstamm, A = Auslese, H = Hofsorte

Die alte Hofsorte AMMERTALER (WAT H) sowie die durch Einkreuzung des Hessischen Landweizens erhaltenen Zuchtstämme JxHL Zst und JxJ Hi Zst wiesen unter dem Versuchsdurchschnitt liegende Gluteningehalte und entsprechend weiche Kleber auf (Glutenindices unter 60). Deutlich über dem Versuchsmittel liegende Gluteningehalte wiesen besonders die modernen Sorten FREGATT (FRE Z) und REKTOR (REK Z) auf, deren Kleber entsprechend fest waren (Glutenindices >90).

Veränderung der Proteineigenschaften unter dem Einfluß von Schwefelmangel

Die Schwefelgehalte der verschiedenen Proteinfractionen des Weizens unterscheiden sich stark: Während die Albumine und Globuline des Weizens rund 4,9 - 5,8 Mol-% Cystein und Methionin aufweisen, liegen die Gehalte von Gliadin (2,9 - 3,6 Mol-%) und Glutenin (2,7 Mol-%) ca. nur halb so hoch (WIESER et al. 1980 a, Tab. 1).

Tab. 1: Gehalte (Mol-%) an Cystein, Methionin und Lysin von Proteinfractionen der Weizensorten KOLIBRI (Albumine, Globuline, Gliadine und Glutenine (gesamt)) und REKTOR (übrige Fractionen). (Daten aus WIESER et al. 1980, 1991)

	Cystein	Methionin	Cystein + Methionin	Lysin
Albumine	3,3	1,6	4,9	3,1
Globuline	3,2 - 3,7	2,0 - 2,1	5,8	4,1
Gliadine Gesamt	1,8 - 2,2	1,1 - 1,4	2,9 - 3,6	0,8
ω 5-Gliadine	0	0	0	0,4 - 0,5
ω 1,2-Gliadine	0	0,0 - 0,3	0,0 - 0,3	0,3 - 0,6
Glutenine Gesamt	1,4	1,3	2,7	2,1
HMW-Glutenine	0,6 - 1,3	0,1 - 0,3	0,7 - 1,6	0,7 - 1,1
LMW-Glutenin	1,9 - 2,6	1,2 - 1,6	3,1 - 4,2	0,2 - 0,6

Bemerkenswert sind die ω -Gliadine, die (fast) schwefelfrei sind. Von den Gluteninen weist das LMW-Glutenin mit 3,1 - 4,2 Mol-% schwefelhaltiger Aminosäuren besonders hohe Werte auf, während die HMW-Untereinheiten mit 0,7 - 1,6 Mol-% sehr niedrig liegen (WIESER et al. 1991). Somit ist es naheliegend, daß unter dem Einfluß einer unzureichenden Schwefelversorgung der Pflanze neben einer Verfrühung des Beginns der Reserveproteinproduktion im sich entwickelnden Korn (vom zehnten auf den achten Tag) höhere Gehalte an HMW-Gluteninen beobachtet wurden (CASTLE und RANDALL 1987). Auch WRIGLEY et al. (1984 a) fanden, daß Schwefelmangel einerseits zu einer Verminderung der Polypeptide mit niedrigerem Molekulargewicht (8.000 - 28.000, hauptsächlich Albumine) führte, andererseits zu einem Anstieg der höhermolekularen Polypeptide mit Molekulargewichten von 51.000 - 80.000. MacRITCHIE und GUPTA (1993) beobachteten ein mit sinkendem S-Gehalt des Mehls steigendes Verhältnis HMW-:LMW-Glutenin. Möglicherweise liegt es in diesen Verschiebungen der Proteinzusammensetzung begründet, daß Schwefelmangel auch zu einer Verfestigung der Teige führte (MOSS et al. 1981, WRIG-

LEY et al. 1984 a, MacRITCHIE und GUPTA 1993). Abbildung 4 zeigt in klassischer Weise die Wirkung des Schwefelmangels auf das Teig-Extensogramm.

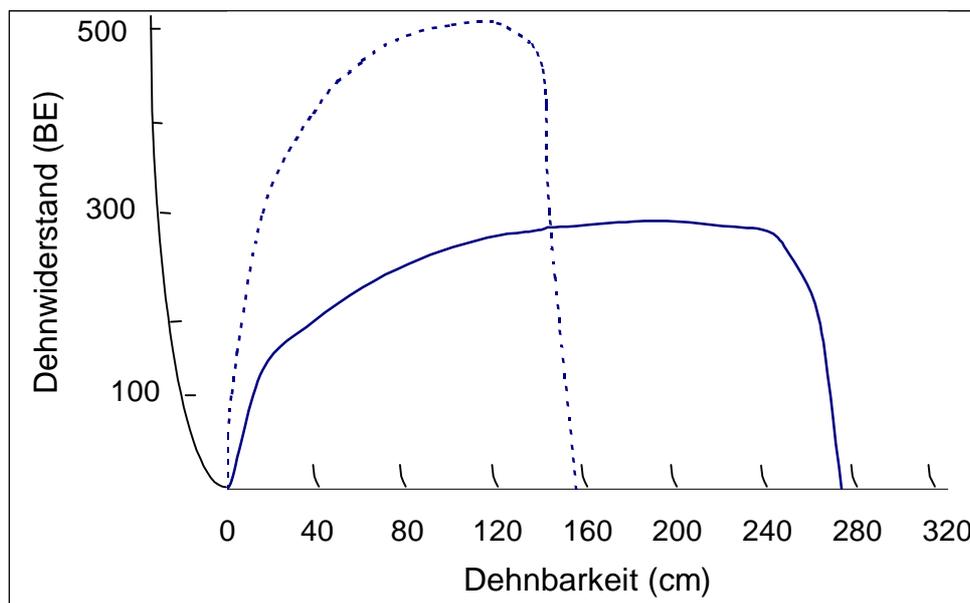


Abb. 4: Extensogrammkurven für Mehle (Sorte OLYMPIC) mit unterschiedlichen Schwefelgehalten. Kontrolle (—): 0,146 % S, 1,82 % N, N:S-Verhältnis: 12,5. Mehl mit niedrigem S-Gehalt (- - - -): 0,089 % S, 1,72 % N, N:S-Verhältnis: 19,3 (Abb. erstellt nach einer Grafik von WRIGLEY et al. 1984 a).

Das Mehl der ausreichend mit Schwefel versorgten Variante ergab einen Teig mit geringer Energieaufnahme (175 Brabender Einheiten bei 50 mm Dehnung). Die Schwefelmangelvariante hatte bei nur geringfügig niedrigerem N-Gehalt (vgl. Legende Abb. 4) nur einen S-Gehalt von 0,089 % (im Vergleich dazu die Kontrolle: 0,146 % S). Ihr Teig war bedeutend zäher und kräftiger, so daß der Dehnwiderstand bei 50 mm Dehnung 365 Einheiten betrug (gegenüber 175 Einheiten bei der Kontrolle). Die Teige wurden mit sinkenden S-Gehalten des Korns immer fester (Abb. 5a). Dagegen wurde das Backvolumen durch eine S-Düngung bzw. höhere S-Gehalte gesteigert (Abb. 5b), indem die zu festen Teige eine Erweichung erfuhren (MOSS et al. 1981).

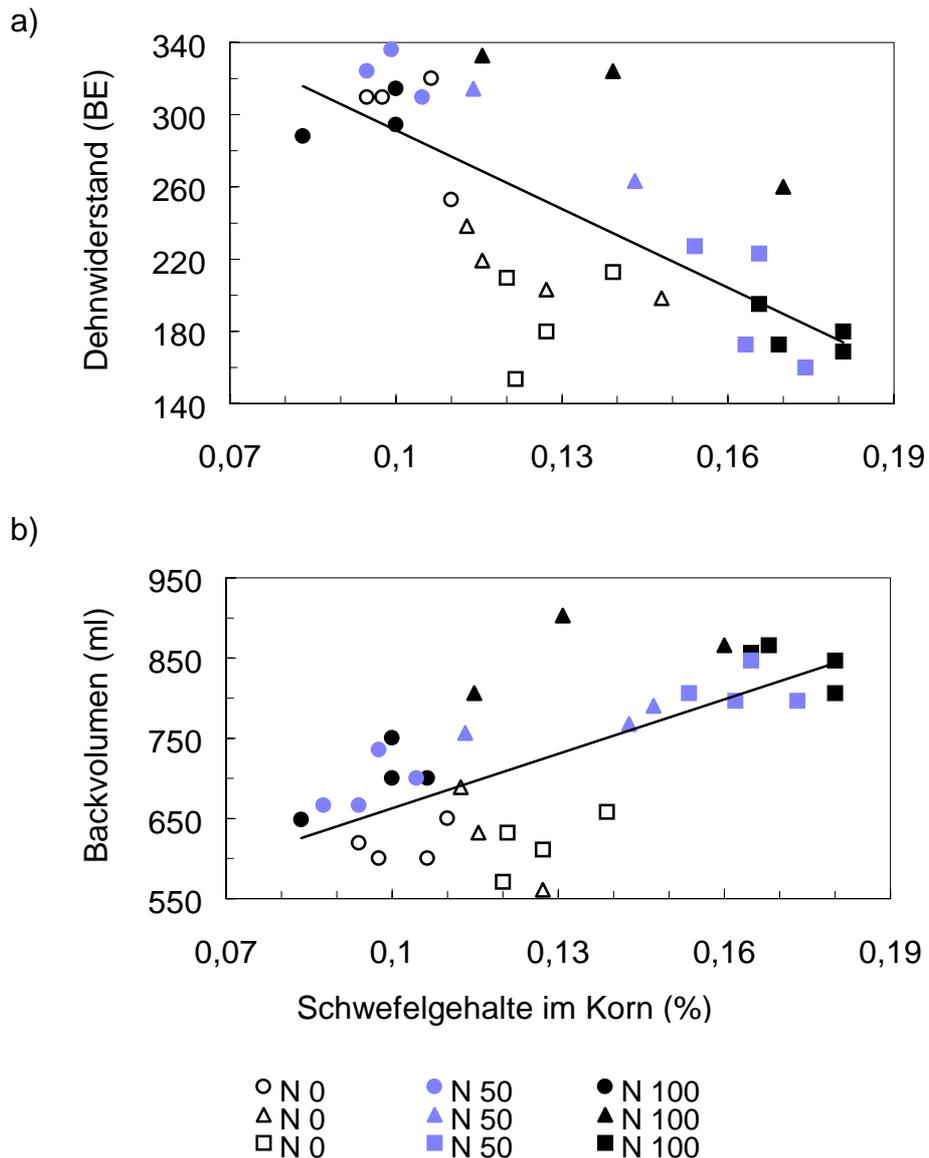


Abb. 5: Beziehungen zwischen Schwefelgehalten von Weizen eines Düngungsversuchs und a) Dehnwiderstand des Teiges sowie b) Backvolumen. N0, 50 und 100 = kg N/ha bei jeweils unterschiedlichen S-Applikationen von 0 – 50 kg/ha, BE = Brabender-Einheiten. (Abb. erstellt nach Grafiken von MOSS et al. 1981).

Die die Proteinmatrix erweichende Wirkung einer S-Düngung wurde auch für Weizen bestätigt, der durch die natürlichen Verhältnisse des Standorts ausreichend mit Schwefel versorgt war (HAGEL et al. 1999). Dazu wurden bis zu 400 kg S/ha (als Kalimagnesia) auf Weizen der Sorte BUSSARD appliziert. Diese S-Mengen steigerten zwar den S-Gehalt des Strohs um über 50 %, nicht aber den des ganzen Kornes bzw. des Endospermmehl (Tab. 2). Auch die N-Gehalte sowie die N:S-Verhältnisse des Endospermmehl blieben unverändert. Dagegen wurde ab einer S-Gabe von 200 kg/ha der Dehnwiderstand des Klebers signifikant gesenkt (Tab. 2, Abb. 6).

Tab. 2: N- und S-Gehalte, N:S-Verhältnisse von Endospermmehl und maximaler Dehnwiderstand (DW, gemessen in Newton) von Kleber von Weizenproben eines Schwefeldüngungsversuchs. Multipler t-Test, $\alpha = 5\%$. RP-HPLC-Analysen von Mischproben der Düngungsvarianten: Gliadin und Glutenin: Anteile (%) der verschiedenen Untereinheiten am Gesamtgliadin und -glutenin. (HAGEL et al. 1999)

kg S/ha	% N	% S	N:S	DW	Gliadin					Glutenin			
					$\omega 5$	$\omega 1,2$	$\Sigma \omega$	α	γ	ωb	HMW	LMW	
0	1,80	0,103	17,5	0,54	a	3,9	4,5	8,4	49,4	42,2	3,7	21,9	74,4
50	1,77	0,103	17,2	0,52	ab	3,6	4,2	7,8	47,9	44,3	3,7	20,6	75,7
100	1,86	0,107	17,4	0,44	ab	3,7	4,4	8,1	47,8	44,1	3,8	21,6	74,6
200	1,83	0,100	18,3	0,44	bc	3,6	4,2	7,8	48,0	44,2	3,4	21,4	75,2
400	1,95	0,105	18,6	0,37	c	3,6	4,3	7,9	49,0	43,1	3,6	22,7	73,7

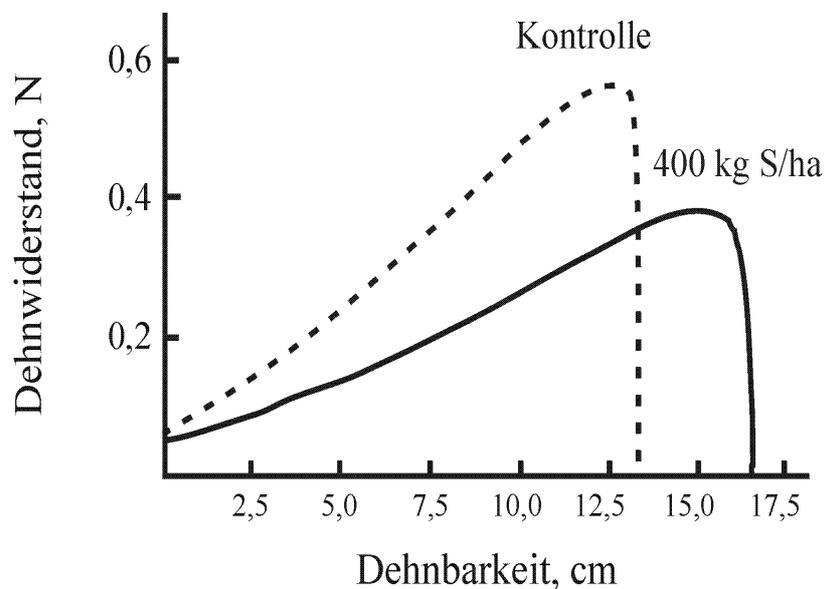


Abb. 6: Zugverhalten von Weizenklebern der Varianten 0 und 400 kg S/ha eines S-Düngungsversuchs. (HAGEL et al. 1999)

Dieser Effekt stand nicht mit den verschiedenen Proteinfractionen, speziell dem HMW-Glutenin, in einer Beziehung (Tab. 2). Auch den Kleber erweichende Austauschreaktionen des endogenen Glutathions sind nach KIEFFER et al. (1998) als Erklärung unwahrscheinlich, wenn die Untersuchungen - wie in vorliegendem Fall - an abgelagerten Mehlen durchgeführt werden.

Mit Blick auf die in der Einleitung erwähnten Züchtungsziele von Qualitätsweizen stellt der in Abbildung 4 dargestellte Effekt einer Erhöhung des Dehnwiderstandes des Teiges unter Schwefelmangelverhältnissen zweifellos eine Verbesserung dar.

Auch die bei Schwefelmangel beobachteten Steigerungen an HMW-Gluteninen (WRIGLEY et al. 1984 a, CASTLE und RANDALL 1987, MacRITCHIE und GUPTA 1993) werden unter den Gesichtspunkten moderner Weizenzüchtungsprogramme natürlich nicht als Defekt sondern als Ziel bewertet. Oben wurde geschildert, daß die alten deutschen Weizensorten sehr weiche und dehnbare Kleber aufwiesen. Mehle mit diesen Qualitäten sind für die industrielle Brotherstellung und ihre hohen Ansprüche an den Rohstoff Weizen nicht erwünscht, da sie Gebäcke mit reduzierten Volumina hervorbringen und durch ihren schlechten Stand die Herstellung von freigeschobenen Broten, Brötchen etc., die nicht zerfließen, erschweren oder unmöglich machen. Deswegen wurden neue Sorten mit höheren Dehnwiderständen und verminderten Dehnbarkeiten ihrer Kleber bzw. Teige gezüchtet. Dies wurde zum einen über höhere Anteile Glutenin am Gesamtprotein (vgl. Abb. 1 und 3) (und damit auch über höhere Glutenin:Gliadin-Verhältnisse) erreicht. Zum anderen erkannte man die vom backtechnologischen Gesichtspunkt förderliche Wirkung höherer Anteile HMW-Glutenin vom Gesamt-Glutenin und setzte sie züchterisch entsprechend um. Damit wurden also solche Eigenschaften in den modernen Weizensorten realisiert, wie sie auch unter dem Einfluß von Schwefelmangel auftreten.

Diese züchterischen Veränderungen, verbesserten in den Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg solange die Backqualität, d.h. steigerten das Backvolumen, als der Schwefeleintrag ins landwirtschaftliche Ökosystem durch die hohen SO₂-Emissionen (Stichwort: saurer Regen) mehr als gedeckt war. In den letzten 20 Jahren erfolgte jedoch durch die Installierung von Rauchgasentschwefelungsanlagen eine drastische Reduzierung der Schwefeleinträge. Auch wurden zunehmend schwefelarme Mineraldünger appliziert. Noch 1980 betrug der durchschnittliche jährliche Schwefeleintrag in Norddeutschland 35 kg S/ha x Jahr. Dieser Betrag sank bis 1990 um 60 % (SCHNUG und HANEKLAUS 1994, Abb. 7). Die Schwefelkonzentrationen in Rapsblättern sanken in derselben Zeit von 8 auf 3 mg/g. Beim Raps waren Anfang der 80er Jahre noch keine schweren und relativ wenige Fälle von verdecktem S-Mangel (24 % der untersuchten Proben) zu verzeichnen. Gegen Ende der 80er Jahre hatte sich die Situation dramatisch verändert: Nur noch 1 % der untersuchten Rapsproben waren ausreichend mit Schwefel versorgt (SCHNUG und HANEKLAUS 1994). Um Ertragsausfälle durch S-Mangel zu vermeiden wird für den Rapsanbau in Norddeutschland eine Schwefeldüngung von 50 kg S/ha empfohlen (SCHNUG 1991).

Schwefelversorgung von Raps in Norddeutschland

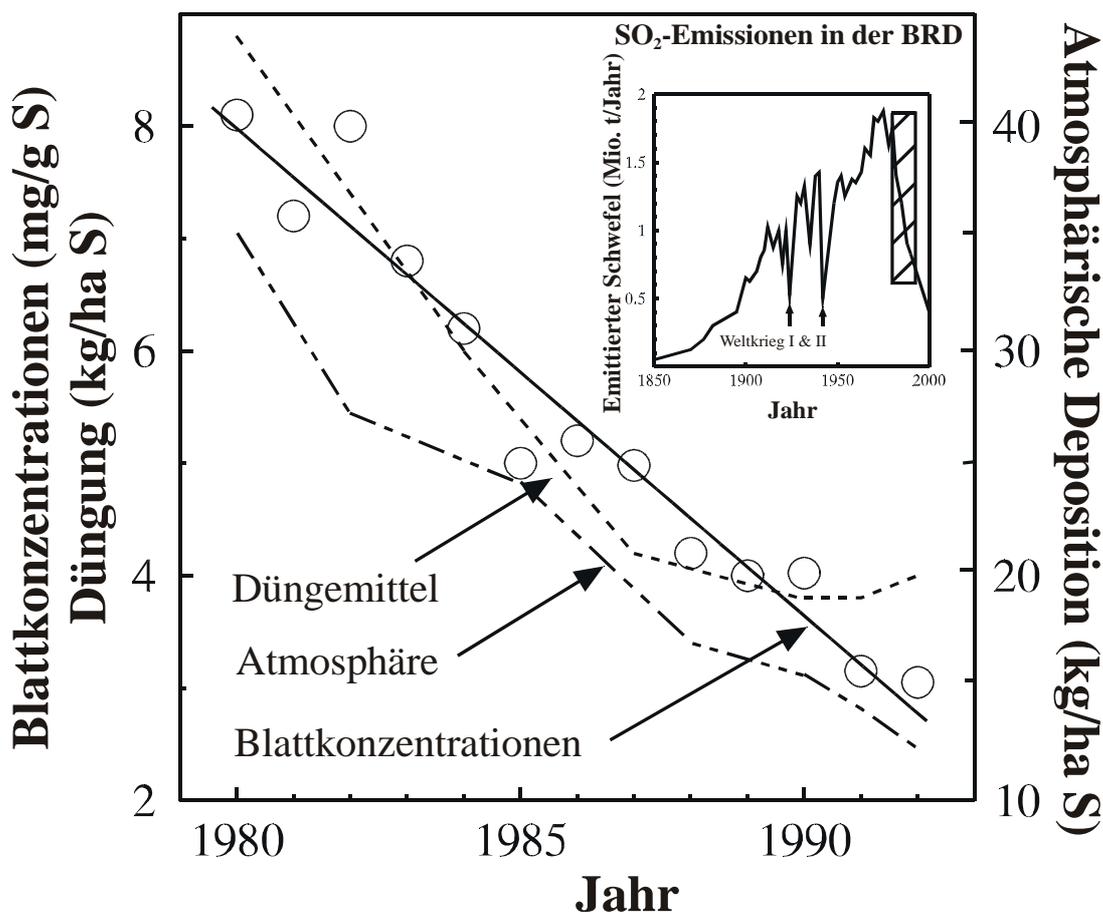


Abb. 7: Entwicklung der Einträge an atmosphärischem SO₂-S, Anwendung S-enthaltender Dünger und S-Gehalten in Blättern von Raps (*Brassica napus*) in Norddeutschland (SCHNUG und HANEKLAUS 1994)

Aber auch beim bedeutend geringer schwefelbedürftigen Weizen ist Schwefelmangel mittlerweile zu einem Problem geworden, welcher zu Ertragsverlusten bis zu 30 % führen kann (BLOEM et al. 1995). Anders als beim Raps kann S-Mangel beim Weizen nicht durch Blattspritzungen sulfathaltiger Dünger ausgeglichen werden (SCHNUG et al. 1993), da überschüssiger Schwefel schnell in die Vakuolen transportiert wird, aus denen eine Wiedernutzbarmachung (Retranslokation) für das Protoplasma der Zelle und seiner Funktionen nur sehr mäßig erfolgt (BELL et al. 1990, CRAM 1990, CLARKSON et al. 1993). Wenn Korn von unzureichend mit Schwefel versorgtem Weizen ein weiteres N:S-Verhältnis als 17:1 aufweist, sind zu feste Teige und demzufolge geringere Backvolumina die Folge (WRIGLEY et al. 1984 b, BYERS et al. 1987, HANEKLAUS et al. 1992, BLOEM et al. 1995). Eine S-Düngung und damit steigende S-Gehalte des Kornes führten dagegen zu einer Abnahme des

Dehnwiderstands der Teige (MOSS et al. 1981, vgl. Abb. 5) sowie zu einer Steigerung der Backvolumina.

Untersuchungen von HANEKLAUS et al. (1992) an 23 deutschen Weizensorten zehn verschiedener Standorte belegen neben dem Proteingehalt die herausragende Bedeutung ausreichend hoher Schwefelgehalte für das Backvolumen (Abb. 8).

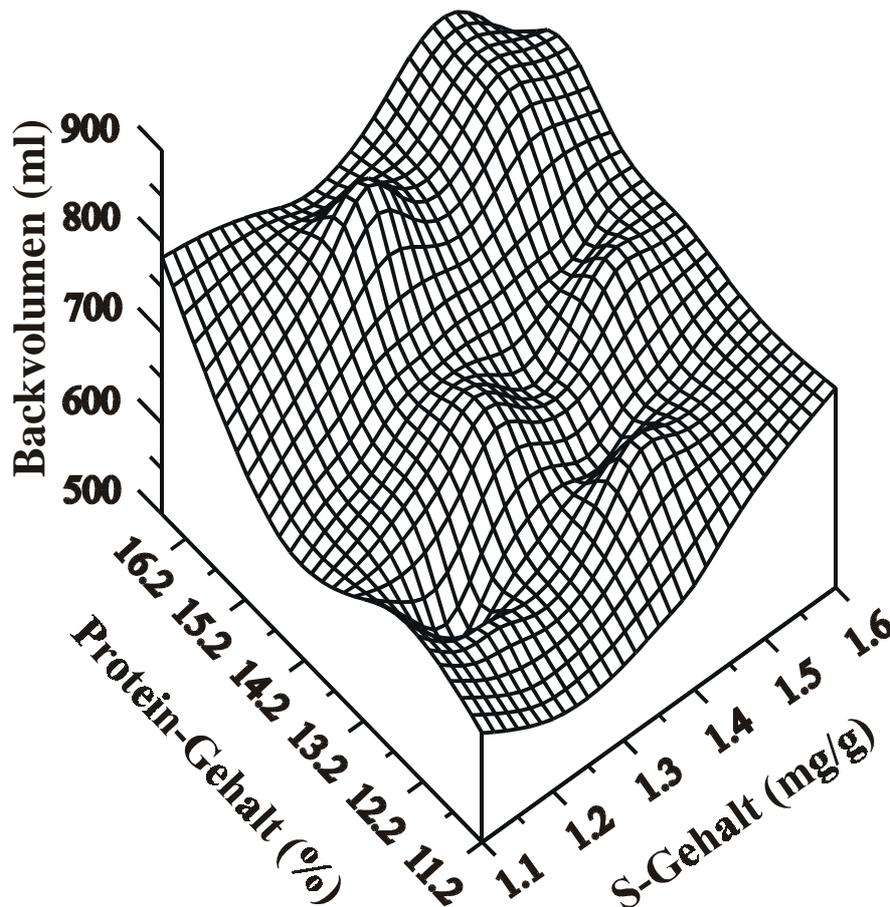


Abb. 8: Beziehungen zwischen Protein- und Schwefelgehalten sowie dem Backvolumen 23 verschiedener deutscher Weizensorten (Ernte 1989) (HANEKLAUS et al. 1992)

Auch Schwefeldüngungsversuche von SCHNUG et al. (1993) belegen, daß bei annähernd gleichen Proteingehalten des Korns (13,6 - 14,5 %) eine Erhöhung des Schwefelgehaltes um 0,03 % zu einer signifikanten Zunahme des Backvolumens um 49 ml führte (Abb. 9). Diese Steigerung entspricht einer Verbesserung im Bewertungsschema für Backversuche (Tab. 3) um zwei Klassen.

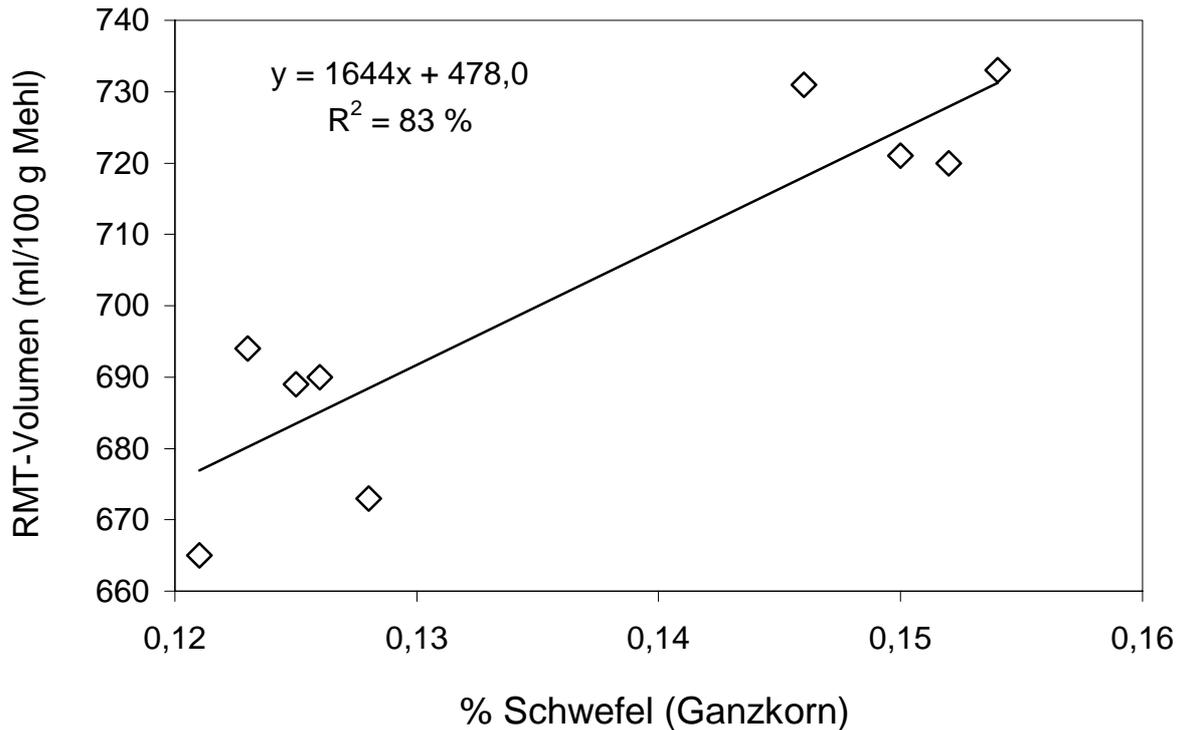


Abb. 9: Beziehungen zwischen S-Gehalten und Backvolumen im Rapid-Mix-Test von Winterweizen. Jedem Datenpunkt liegen die Ergebnisse von drei Versuchsstandorten in Schleswig-Holstein (Ernte 1990) zugrunde. Die Proteingehalte des Weizens variieren wenig (13,6 – 14,5 %). (Abb. erstellt nach Daten von SCHNUG et al. (1993))

Tab. 3: Bewertungsschema für Backvolumina (ml/100 g Mehl) im Rapid-Mix-Test (ANONYM 1994)

ml Backvolumen	Bewertung
> 660	sehr gut
631 - 660	gut
601 - 630	befriedigend
< 600	nicht befriedigend

Es muß aber betont werden, daß die oben geschilderten Versuche nicht über eine Straffung und Verfestigung der Kleber- und Teigstruktur zu einer Verbesserung der Backqualität, d.h. zu einer Erhöhung des Backvolumens führten. Vielmehr wird durch eine S-Düngung ein infolge eines Schwefelmangels zu *stark* ausgeprägter Dehnwiderstand der Teige verringert und dadurch das Backergebnis verbessert. Offenbar hatte die mit Blick auf ein höheres Backvolumen angestrebten Veränderungen der Weizenproteine schon Anfang der 80er Jahre ein Optimum erreicht. Man denke z.B. nur an die Sorte REKTOR, die 1980 auf den Markt kam und heute noch angebaut

und wegen ihrer hohen Backqualität geschätzt wird. Die ökologisch-historische Absenkung der Schwefeleinträge in die landwirtschaftlichen Nutzflächen (vgl. Abb. 7) bewirkte eine weitere Veränderung des Weizens in Richtung festerer Teige. Die über Veränderungen des Ökosystems induzierten Wirkungen kollidierten damit mit der seit Jahrzehnten von der Pflanzenzüchtung angestrebten genetischen Konzeption der Sorten. Die unzureichende S-Versorgung bewirkte zu feste Teige, diese setzten den Gärgasen zu viel Widerstand entgegen, was dann zu einer Reduzierung des Backvolumens führen mußte. Auch die von SYLVESTER-BRADLEY (1990) gemachte Beobachtung, daß die durch zusätzliche N-Gaben erzielten Proteinsteigerungen des Weizens sich häufig nicht in der erwarteten Steigerung des Backvolumens niederschlugen, wurde vermutlich durch diesen Zusammenhang (zu zähe Teige durch zu weite N:S-Verhältnisse) bewirkt. Nicht von ungefähr verweisen HANEKLAUS et al. (1992) deshalb neben einer S-Düngung auf die prinzipielle Möglichkeit einer Verbesserung der Backqualität des Weizenmehls durch die Zugabe von L-Cystein während der Teigbereitung. Diese Aminosäure führt aber (im Gegensatz zu den Zielen aller Züchtungsprogramme) nicht über eine Straffung der Eiweißstruktur zu einer Verbesserung der Backqualität, sondern indem sie zu feste Teige durch Reduktion der Disulfidbrücken weicher macht (BRÜMMER et al. 1980). So behandelte Teige müssen nachfolgend jedoch durch Zusätze oxidierender Substanzen (z.B. Kaliumbromat) stabilisiert werden (BUSHUK 1989).

Schwefelversorgung und Backqualität im Organischen Landbau

Während der konventionelle Landbau längst auf die reduzierten atmosphärischen S-Einträge mit einer Änderung des S-Düngungsregimes nicht nur zum S-zehrenden Raps, sondern auch zum Weizen reagiert hat, ist man im Organischen Landbau und speziell im biologisch-dynamischen Landbau sowohl hinsichtlich der Problematik als auch einer S-Düngung eher skeptisch. Dies ist wegen des niedrigeren Ertragspotentials im Organischen Landbau (und damit geringeren S-Bedarfs) sicher teilweise verständlich. Dennoch muß bedacht werden, daß durch den im Organischen Landbau praktizierten Leguminosenanbau zwar Stickstoff, aber kein Schwefel in den Betriebskreislauf eingebunden wird. Dies dürfte mit der Zeit zu weiter werdenden N:S-Verhältnissen der organischen Substanz des Bodens und damit auch zu einem veränderten S-Mineralisierungspotential führen. Dabei ist der Beitrag der Wirtschaftsdünger zur S-Versorgung gering. Die mit ihnen ausgebrachte Menge an Schwefel beträgt nur 1/15 ihrer N-Menge (BLOEM et al. 1995). Besonders für die S-zehrenden Gemüse (Kohl, Zwiebelgewächse) aber auch für die Leguminosen sollte deshalb die S-Versorgung der Betriebe im Auge behalten werden. In diesem Kapitel wird deshalb auf den S-Status sowie auf die Auswirkungen einer S-Düngung auf die Backqualität von Weizen des Ökologischen Landbaus eingegangen.

Schwefel ist Bestandteil des Proteins. Bereits oben wurde auf den im Vergleich zu den Enzymeiweißen Albumin und Globulin niedrigen S-Gehalt der den Feuchtkleber konstituierenden Speichereiweiße Gliadin und Glutenin hingewiesen (Tab. 1). Bekanntermaßen reagieren nur die Speichereiweiße auf eine N-Düngung der Weizenpflanze mit einer Zunahme, während der Gehalt an Albuminen und Globulinen konstant bleibt (WIESER und SEILMEIER 1998). Die mit steigendem N-Gehalt des Korns steigenden Anteile S-armer Speicherproteine führen damit zwangsläufig zu einem unterproportionalen Anstieg der S-Gehalte des Korns, wie an Weizenproben aus konventionellem und biologisch-dynamischem Anbau der Ernte 1997 deutlich wird (Abb. 10).

Die im Vergleich zu den biologisch-dynamischen Proben weiteren N:S-Verhältnisse der konventionellen Proben (Abb. 10 und 11) sind somit zum großen Teil durch deren höhere N-Gehalte bedingt. Sollen die oft sehr niedrigen N-Gehalte von Weizen des Ökologischen Landbaus angehoben werden, muß auch dort mit weiter werden-

den N:S-Verhältnissen gerechnet werden. Trotz des niedrigen N-Niveaus lagen im Erntejahr 1997 immerhin 15 % der biologisch-dynamischen Proben mit N:S-Verhältnissen von 16 - <17 nur knapp unter dem S-Mangel anzeigenden Grenzwert von 17:1, während 2,5 % der Proben darüber lagen (Abb. 11).

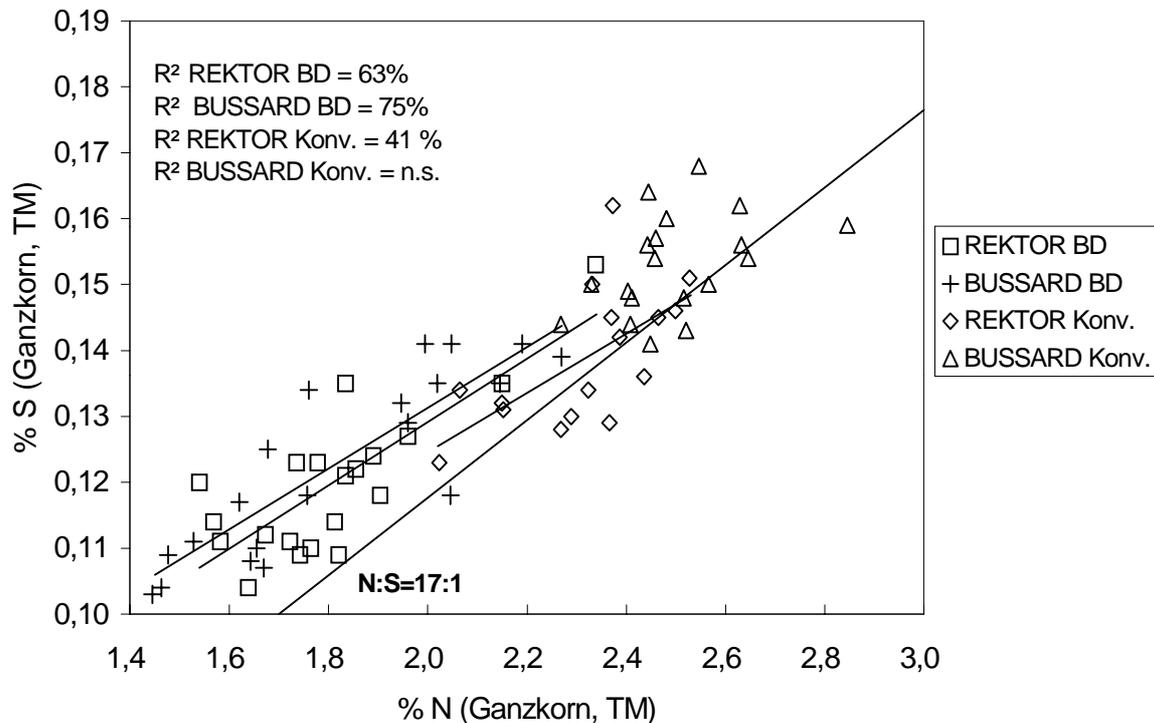


Abb. 10: Beziehungen zwischen N- und S-Gehalten von Winterweizen (Sorten REKTOR und BUSSARD, Ganzkorn) aus biologisch-dynamischem und konventionellem Anbau (Ernte 1997). (HAGEL und SCHNUG 1999)

Bei einem gegebenen N-Gehalt kann der S-Gehalt, bedingt durch variierende Gehalte verschiedener S-haltiger Substanzen (Albumine und Globuline, Purothionine, Biotin, Glutathion etc.), dennoch sehr unterschiedlich sein. So wies der biologisch-dynamische Weizen bei einem N-Gehalt von 1,80 % S-Gehalte zwischen 0,11 und 0,135 % auf (Abb. 10).

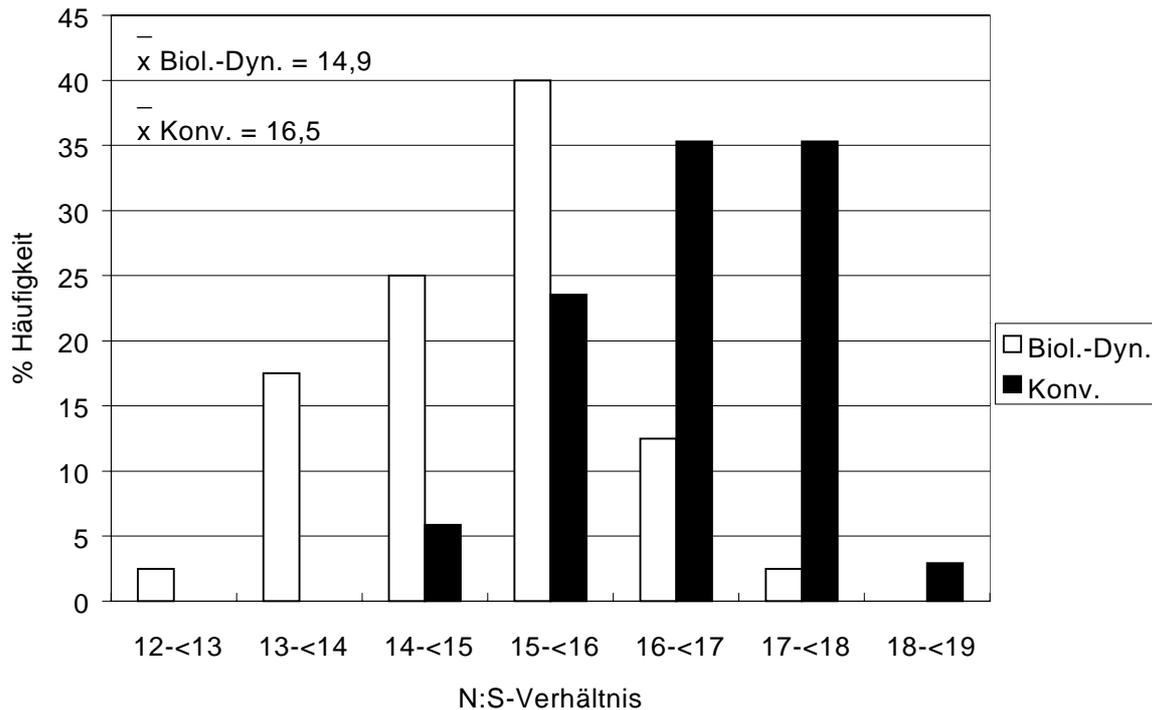


Abb. 11: Relative Häufigkeit der N:S-Verhältnisse von Winterweizen (Sorten REKTOR und BUSSARD, Ganzkorn) aus biologisch-dynamischem und konventionellem Anbau (Ernte 1997). (BD: n=40, Konv.: n=20) (HAGEL und SCHNUG 1999)

Eine ausgeprägte Variabilität zeigte sich an Weizenproben des Erntejahres 1996 (Abb. 12). Der mittlere S-Gehalt der biologisch-dynamischen Proben lag mit 0,12 % deutlich niedriger als der der konventionellen Proben mit 0,15 %. Der Grund dafür ist die geschilderte Abhängigkeit des S-Gehaltes (als Eiweißbestandteil) vom N-Gehalt, der ja bei den konventionellen Proben stets höher ausfiel. Mit steigendem N-Gehalt des Korns stieg der S-Gehalt nur unterproportional, was in Abbildung 12 am größer werdenden Abstand der Symbole zur bildhalberenden ersichtlich ist. Besonders die eiweißreichen konventionellen Proben kamen dadurch im N:S-Verhältnis der S-Mangel anzeigenden Grenzwertlinie von 17:1 sehr nahe. Bei den biologisch-dynamischen Proben (REKTOR und BUSSARD) zeigten sich zwei parallel zueinander liegende Punktwolken, die sich auch als Maxima in den Verteilungsdiagrammen der N:S-Verhältnisse (N:S = 13 - <14 sowie 15 - <16) fanden (Abb. 13). Dieses Phänomen war bei den Proben aus konventionellem Anbau nicht zu beobachten. Die mittleren N:S-Verhältnisse betragen 14,1 (BD) bzw. 15,8 (Konv., Abb. 13). Dieser Unterschied war hoch signifikant.

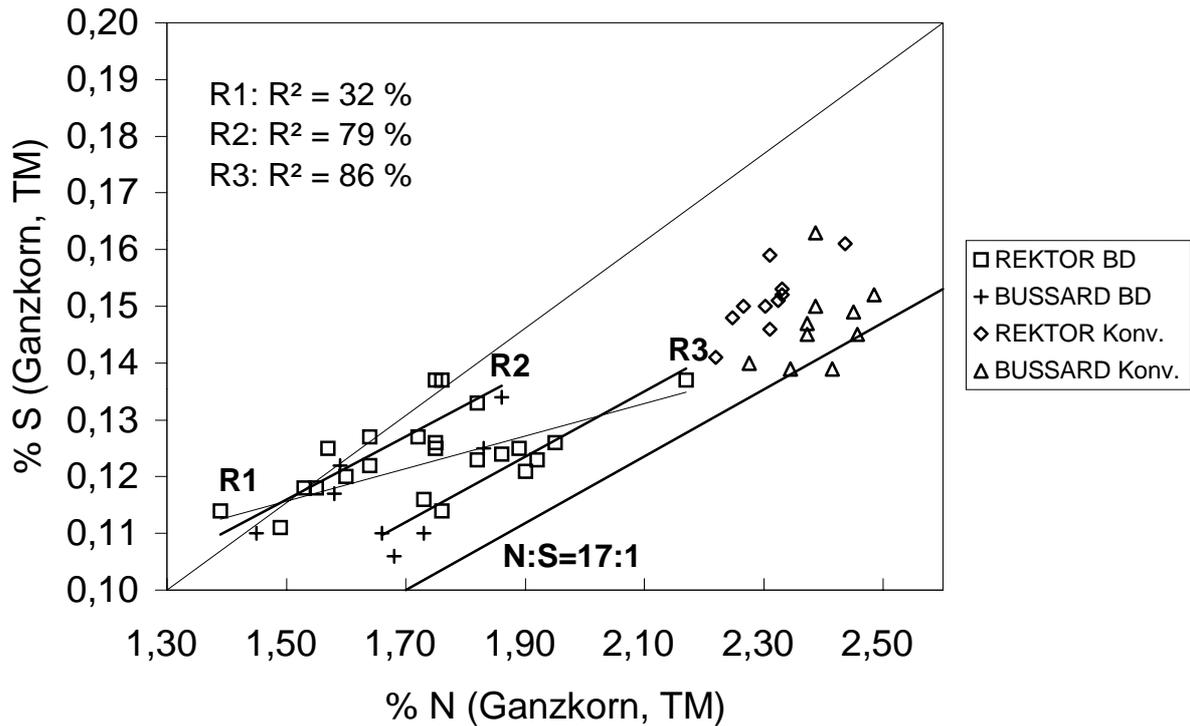


Abb. 12: N- und S-Gehalte in Winterweizen (Sorten REKTOR und BUSSARD, Ganzkorn) aus biologisch-dynamischem (BD) und konventionellem (Konv.) Anbau (Ernte 1996). Regressionslinien R2 und R3 bei Trennung der Grundgesamtheit in Proben mit N:S-Verhältnissen < und > 14,5:1. (HAGEL et al. 1998)

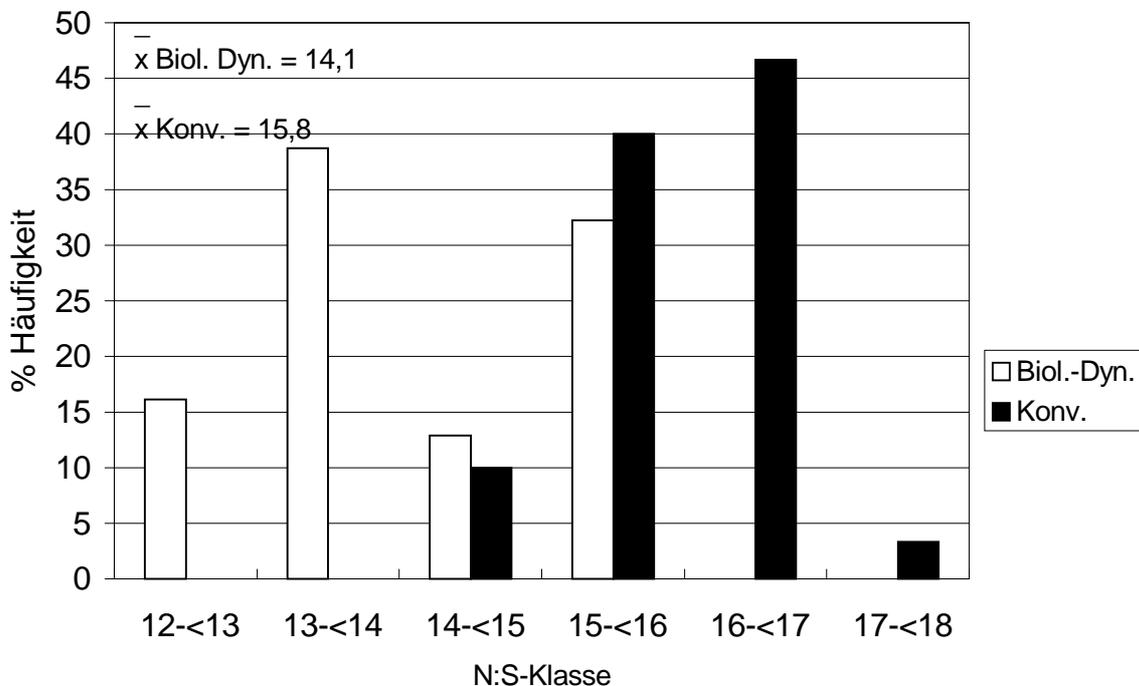


Abb. 13: Relative Häufigkeit (% der Grundgesamtheit) der N:S-Verhältnisse in Winterweizen (Sorten REKTOR und BUSSARD, Ganzkorn) aus biologisch-dynamischem (BD) und konventionellem (Konv.) Anbau (Ernte 1996, BD: n = 31, Konv.: n = 20). (HAGEL et al. 1998)

Wurden die Werte der Sorten REKTOR und BUSSARD aus biologisch-dynamischem Anbau der Abbildung 12 gemeinsam verrechnet, so ergab sich eine Regressionsgerade R1 mit flacherer Steigung, die zu falschen Aussagen führen würde. Mit steigenden N-Gehalten würden die biologisch-dynamischen Proben unverhältnismäßig schnell in den Bereich weiterer N:S-Verhältnisse (>17:1) gelangen. Eine Trennung der Proben in zwei Gruppen mit N:S-Verhältnissen < bzw. > 14,5:1 ergab dagegen zwei parallel zueinander liegende Regressionen R2 und R3 mit steilerem Anstieg der S-Gehalte sowie mit gegenüber R1 ($R^2 = 32\%$) deutlich höheren Bestimmtheitsmaßen (R2: $R^2 = 79\%$, R3: $R^2 = 86\%$).

Die in Abbildung 12 für Weizen aus biologisch-dynamischen Anbau geschilderten Verhältnisse könnten eventuell auf Probleme der S-Translokation vom Stroh ins Korn hinweisen. Wahrscheinlicher sind jedoch unterschiedliche Niveaus der S-Versorgung der Betriebe. Auch biologisch-dynamischer Weizen der Ernte 1995 wies mit einer Aufteilung der Proben in zwei Gruppen mit N:S-Verhältnissen < bzw. >14:1 auf sehr unterschiedliche S-Versorgung hin (Abb. 14).

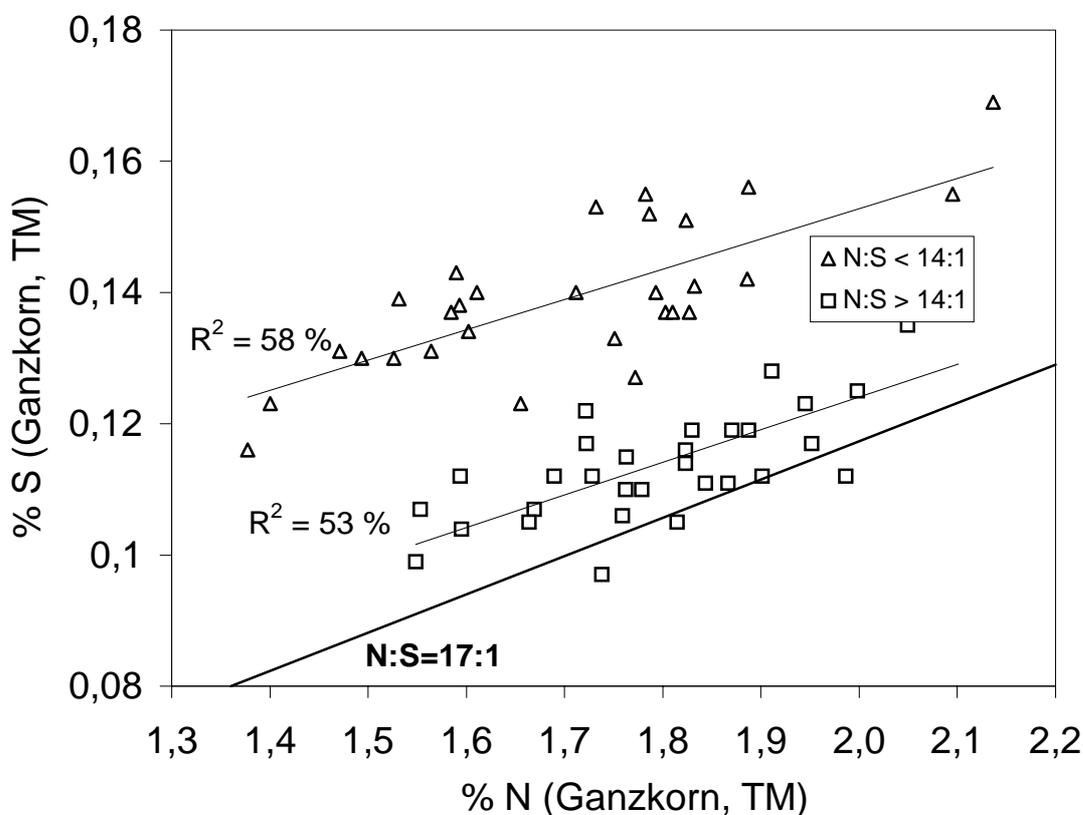


Abb. 14: N- und S-Gehalte von Weizen aus biologisch-dynamischem Anbau (Ernte 1995). (HAGEL und SCHNUG 1997)

Der S-Gehalt einer Pflanze wird von verschiedenen Faktoren (SO₂-Einträge, SO₄-Auswaschung, Vorfrucht, Grundwasseranschluß etc.) bestimmt. Es ist unklar warum diese vielfältigen und an jedem Standort variierenden Einflüsse nicht einen sondern zwei Häufungsschwerpunkte bilden. Weitere Versuche werden klären müssen, durch welche Faktoren diese Differenzierung in Richtung engerer und weiterer N:S-Verhältnisse zustandekommt.

Eine sehr heterogene S-Versorgung der in Abbildung 14 dargestellten Untersuchung zeigte sich auch bis in die einzelnen Schläge der verschiedenen Betriebe (Tab. 4). So wiesen z.B. die drei Weizenproben der Sorte REKTOR des Betriebs A bei kaum differierenden N-Gehalten N:S-Verhältnisse zwischen 11,5 und 16,0 auf. Und während auf dem Betrieb D die Sorte BUSSARD mit einem N:S-Verhältniss von 12,6 auf eine sehr gute S-Versorgung hinwies, zeigte die Sorte REKTOR eines anderen Schlages mit einem Wert von 17,3 S-Mangel an (Tab. 4). Für die landwirtschaftliche Praxis gilt also für die gewöhnliche Bodenuntersuchung wie auch für die Bestimmung der S-Versorgung seiner Flächen, daß nicht eine einzige Probe den Zustand des ganzen Betriebes anzeigen kann. Aufgrund der geschilderten Phänomene sollte deshalb der Entwicklung der S-Gehalte im Organischen Landbau besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Tab. 4: N- und S-Gehalte (Ganzkorn, TM) sowie N:S-Verhältnisse von Weizenproben (Ernte 1995) verschiedener biologisch-dynamischer Betriebe (HAGEL und SCHNUG 1997)

Betrieb	Sorte	% N	% S	N:S
A	REKTOR	1,78	0,16	11,5
	REKTOR	1,82	0,11	16,0
	REKTOR	1,72	0,12	14,1
B	FREGATT	1,66	0,12	13,5
	BUSSARD	1,73	0,11	15,4
	PROGREß	1,53	0,14	11,0
	DIPLOMAT	1,56	0,13	11,9
C	ASTRON	1,84	0,11	16,6
	BUSSARD	1,76	0,11	16,6
	SPERBER	1,80	0,14	13,2
D	REKTOR	1,81	0,11	17,3
	BUSSARD	2,14	0,17	12,6

Aufgrund der in den Jahren 1995 - 1997 an Weizenproben des biologisch-dynamischen Landbaus beobachteten stark divergierenden N:S-Verhältnisse, die auf eine

sehr unterschiedliche S-Versorgung der Betriebe hinweisen, wurde in den Jahren 1998 und 1999 auf je zwei Ökobetrieben in Ostholstein Schwefeldüngungsversuche durchgeführt (HAGEL 2000). Aus der umfangreichen Arbeit, die die Wirkung verschiedener S-Formen (elementarer S und Bittersalz ($MgSO_4$)) und -mengen (20, 40 und 60 kg S/ha) auf den Ertrag, N-, S- und Mineralstoffgehalt von Korn und Stroh sowie Proteinfractionen und Backqualität des Korns untersuchte, können hier nur einige Aspekte im Zusammenhang mit der Backqualität angeführt werden.

Entsprechend jahresbedingter Unterschiede im N-Gehalt des Korns gestalteten sich auch die Backvolumina (Abb. 15). Bei der Sorte RENAN der proteinstärkeren Ernte 1998 führten die verschiedenen S-Applikationen zwar zu engeren N:S-Verhältnissen des ganzen Korns, nicht aber des Endospermmehl, aus dem immer die Backversuche durchgeführt werden (Tab. 5).

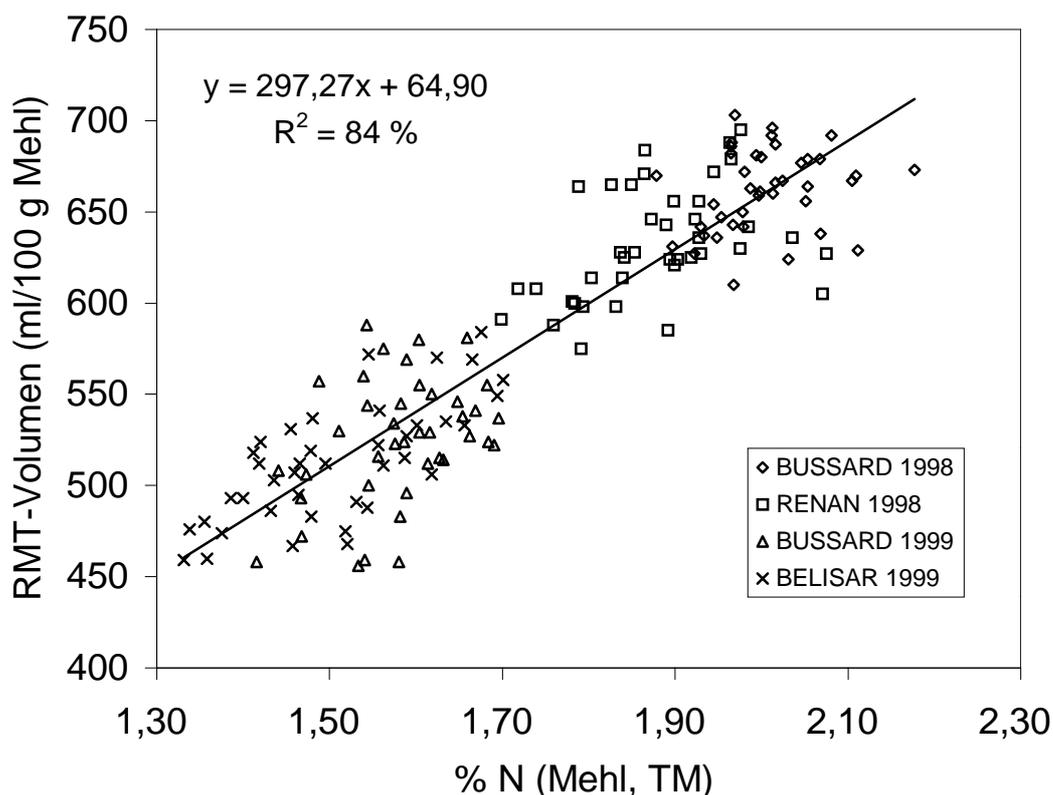


Abb. 15: Beziehungen zwischen N-Gehalten und Backvolumina im Rapid-Mix-Test von Weizen (Sorten BUSSARD, RENAN und BELISAR) verschiedener Düngungsversuche (Jahre 1998 und 1999) auf zwei Betrieben des Ökologischen Landbaus (HAGEL 2000)

Tab. 5: Erträge (dt/ha, 86 % TM), Tausendkornmassen (TKM, g), N-Gehalte (TM), N:S-Verhältnisse sowie Backvolumina im Rapid Mix Test (RMT, ml/100 g Mehl) von Winterweizen (Sorte RENAN) eines Schwefeldüngungsversuchs auf einem Betrieb des Ökologischen Landbaus. Ernte 1998; Standort Tröndel; S = elementarer Schwefel

fel, SO₄ = Magnesiumsulfat; MgCl₂ = Magnesiumchlorid; 20, 40, 60 = S-Applikationsmengen in kg/ha; α = 5 % (HAGEL 2000)

Variante	Ertrag	TKM	Ganzkorn		Mehl		RMT
			% N	N:S	% N	N:S	
Kontrolle	22,5 a	50,1 a	2,14 a	15,4 e	1,92 a	19,8 a	614 a
S-20	23,4 a	48,4 a	2,06 a	14,8 cde	1,89 a	18,8 a	651 a
S-40	25,4 a	49,7 a	2,04 a	13,8 abc	1,89 a	18,9 a	664 a
S-60	21,9 a	49,4 a	2,07 a	13,7 a	1,91 a	19,6 a	648 a
SO ₄ -20	21,7 a	48,0 a	1,98 a	13,8 abc	1,83 a	20,5 a	628 a
SO ₄ -40	23,3 a	48,7 a	1,97 a	14,2 abcd	1,78 a	18,7 a	615 a
SO ₄ -60	21,2 a	49,7 a	2,00 a	13,7 ab	1,81 a	18,9 a	630 a
MgCl ₂ -1	24,0 a	50,2 a	2,06 a	15,3 de	1,89 a	19,7 a	628 a
MgCl ₂ -2	24,3 a	49,8 a	2,09 a	15,2 de	1,92 a	19,9 a	616 a
MgCl ₂ -3	25,8 a	51,9 a	2,06 a	14,8 bcde	1,93 a	20,9 a	630 a

Trotz mit Werten zwischen 615 – 664 ml tendenziell höherer Backvolumina bei Anwendung der verschiedenen S-Dünger war der Unterschied zur ungedüngten Kontrolle (614 ml) nicht signifikant (Tab. 5). Wurden dagegen die N-Gehalte der einzelnen Proben in die Betrachtung einbezogen, so zeigte sich, daß höhere N-Gehalte nur bei einer S-Düngung auch zu höheren Backvolumina führte (Abb. 16). Bei den Proben dagegen, die keine S-Düngung erhalten hatten (Kontrolle sowie mit Magnesiumchlorid zur Berechnung eines eventuell Mg-bedingten Ertragsanteils bei MgSO₄-Düngung gedüngte Varianten), war bei N-Gehalten von rund 2,0 % längst das Optimum der Backqualität erreicht und eine weitere Steigerung führte zu sinkenden Volumina im Rapid-Mix-Test. Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten waren also sowohl vom N-Gehalt als auch von einer S-Düngung abhängig.

Ganz anders lagen die Verhältnisse bei der Sorte BUSSARD des Erntejahres 1999. Bedingt durch sehr niedrige N-Gehalte von rund 1,40 - 1,70 % (Abb. 15) fielen die Backvolumina aller Varianten mit Werten zwischen 460 und 590 ml nicht befriedigend aus. Hier führten S-Applikationen zu engeren N:S-Verhältnissen und signifikant reduzierten Backvolumina (Abb. 17).

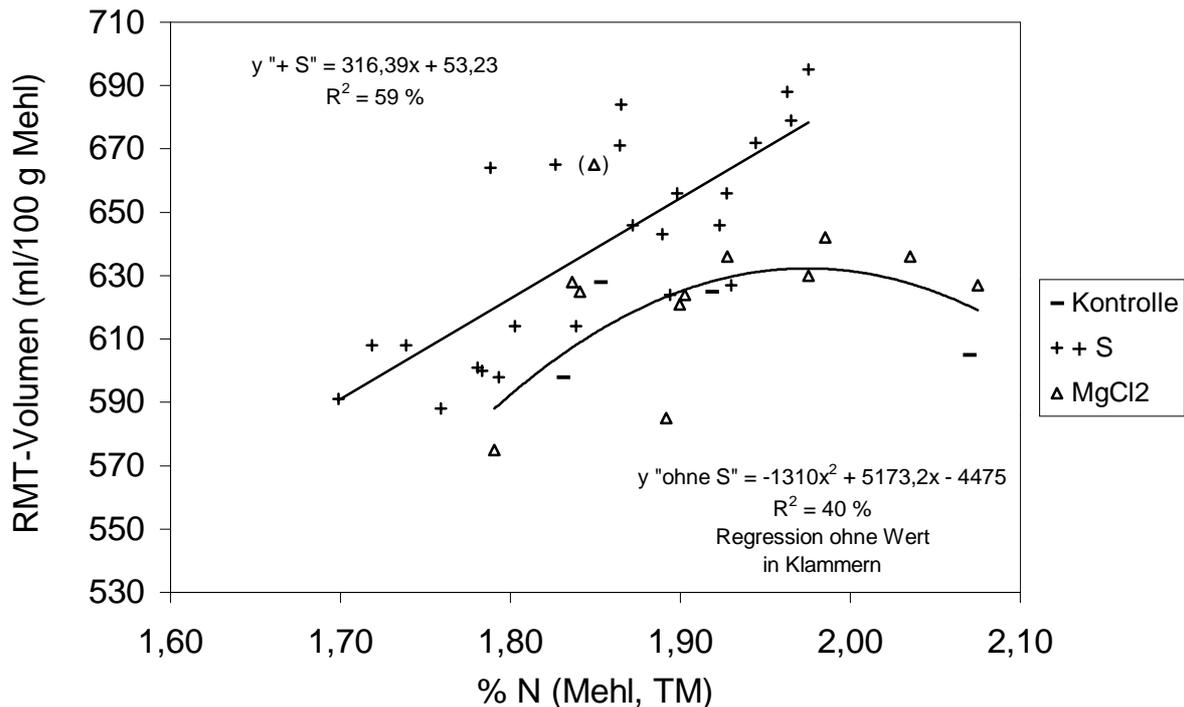


Abb. 16: Beziehung zwischen N-Gehalten des Mehls und Backvolumina im Rapid-Mix-Test von Winterweizen (Sorte RENAN) eines Schwefeldüngungsversuchs auf einem Betrieb des Ökologischen Landbaus. Ernte 1998; Versuchsstandort Tröndel; + S = Schwefeldüngung: 20, 40 und 60 kg S/ha als elementarer S und MgSO₄-S, MgCl₂ = Magnesiumchloriddüngung; (HAGEL 2000)

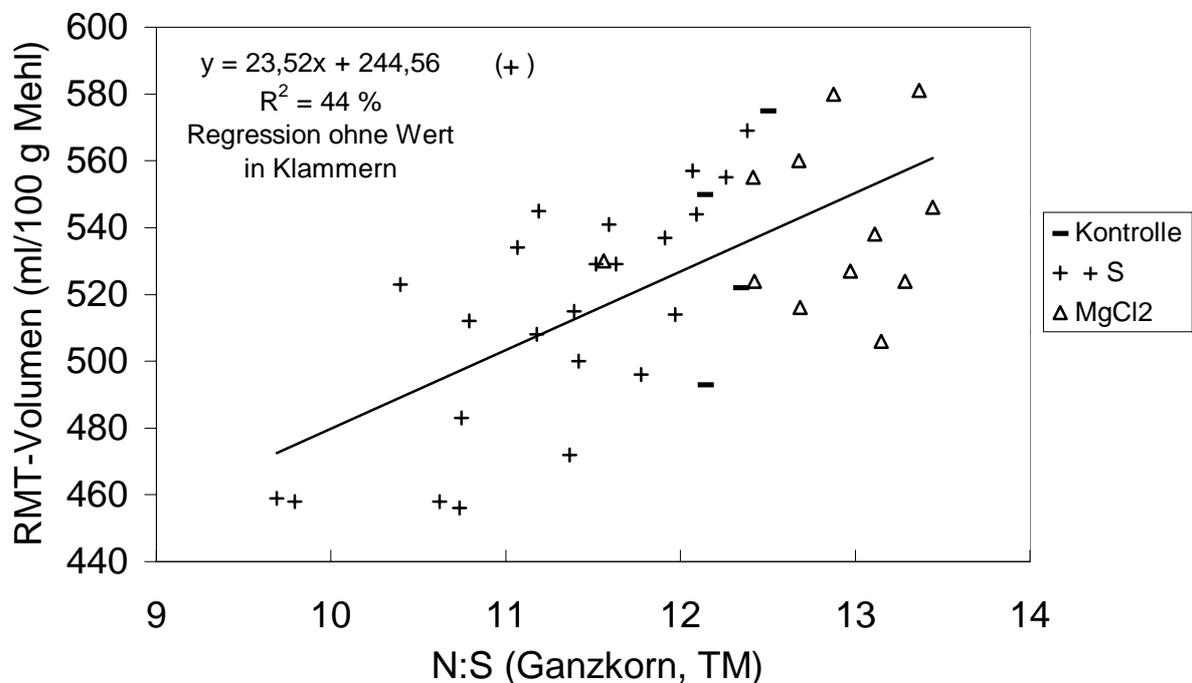


Abb. 17: Beziehung zwischen N:S-Verhältnissen und Backvolumina im Rapid-Mix-Test von Weizen (Sorte BUSSARD, Ganzkorn) eines Schwefeldüngungsversuchs auf einem Betrieb des Ökologischen Landbaus. Ernte 1999; Versuchsstandort Bentfeld; + S = Schwefeldüngung: 20, 40 und 60 kg S/ha als elementarer S und MgSO₄-S, MgCl₂ = Magnesiumchloriddüngung (HAGEL 2000)

Gemäß diesen Untersuchungen an Weizen des Ökologischen Landbaus kann eine S-Düngung also nicht nur höhere (Abb. 16) sondern auch niedrigere Backvolumina induzieren (Abb. 17). Dies steht vermutlich mit den unterschiedlichen N-Gehalten des Materials der beiden Versuchsjahre im Zusammenhang: Die Proteingehalte der Sorte RENAN der Ernte 1998 waren ausreichend hoch (je nach S-Düngung), um die Grundlage für eine mit bis zu „sehr gut“ bewertete Backqualität (> 660 ml) abzugeben (vgl. Tab. 3, Abb. 15). Ohne eine S-Düngung war die Eiweißmatrix des Teiges aber schon zu fest (vgl. Abb. 16), so daß bei vergleichbaren N-Gehalten von rund 2,0 % nur Backvolumina von knapp 630 ml erzielt werden konnten. Hier führte eine S-Düngung (wohl über weniger zähe Teige, vgl. Abb. 8a) zu einem bis auf 700 ml gesteigerten Backergebnis.

Dagegen bedeuteten bei der proteinarmen Sorte BUSSARD des Erntejahres 1999 (Abb. 17) die zäheren Teige der Varianten ohne S-Düngung eine das Proteindefizit ausgleichende, stützende Wirkung. Eine Teigerweichung durch eine S-Düngung mußte damit über eine Verengung der N:S-Verhältnisse auch das sowieso schon nicht befriedigende Backergebnis weiter reduzieren.

Dieser hier geschilderte Zusammenhang einer durch den Proteingehalt des Kornes differenzierten Wirkung einer S-Düngung auf die Backqualität wird durch eine nähere Betrachtung der schon dargestellten Untersuchungen von MOSS et al. (1981) bestätigt (vgl. Abb. 5 b und 18). Während die N-Gehalte der mit 50 und 100 kg N/ha gedüngten Varianten Werte zwischen 1,95 und 2,55 % aufwiesen, lag die Gruppe ohne eine N-Düngung mit Werten zwischen rund 1,35 und 1,65 % N deutlich darunter (MOSS et al. 1981) und damit im Bereich der N-Gehalte der Sorte BUSSARD aus Abbildung 17. Der Korrelationskoeffizient der Beziehung zwischen S-Gehalten und Backvolumina fiel bei Einbeziehung der Proben aller drei N-Düngungsgruppen mit $R^2 = 46,6 \%$ geringer aus (Abb. 18 a) als bei Einbeziehung nur der Proben der mittleren und hohen N-Düngungsstufen ($R^2 = 66,1 \%$, Abb. 18 b). Und analog zur proteinarmen Sorte BUSSARD des Erntejahres 1999 (Abb. 15 und 17) führte auch bei den nicht mit N-gedüngten und daher eiweißarmen Proben der Untersuchung von MOSS et al. (1981) eine Erhöhung der S-Gehalte nicht zu höheren Backvolumina (Abb. 18 c).

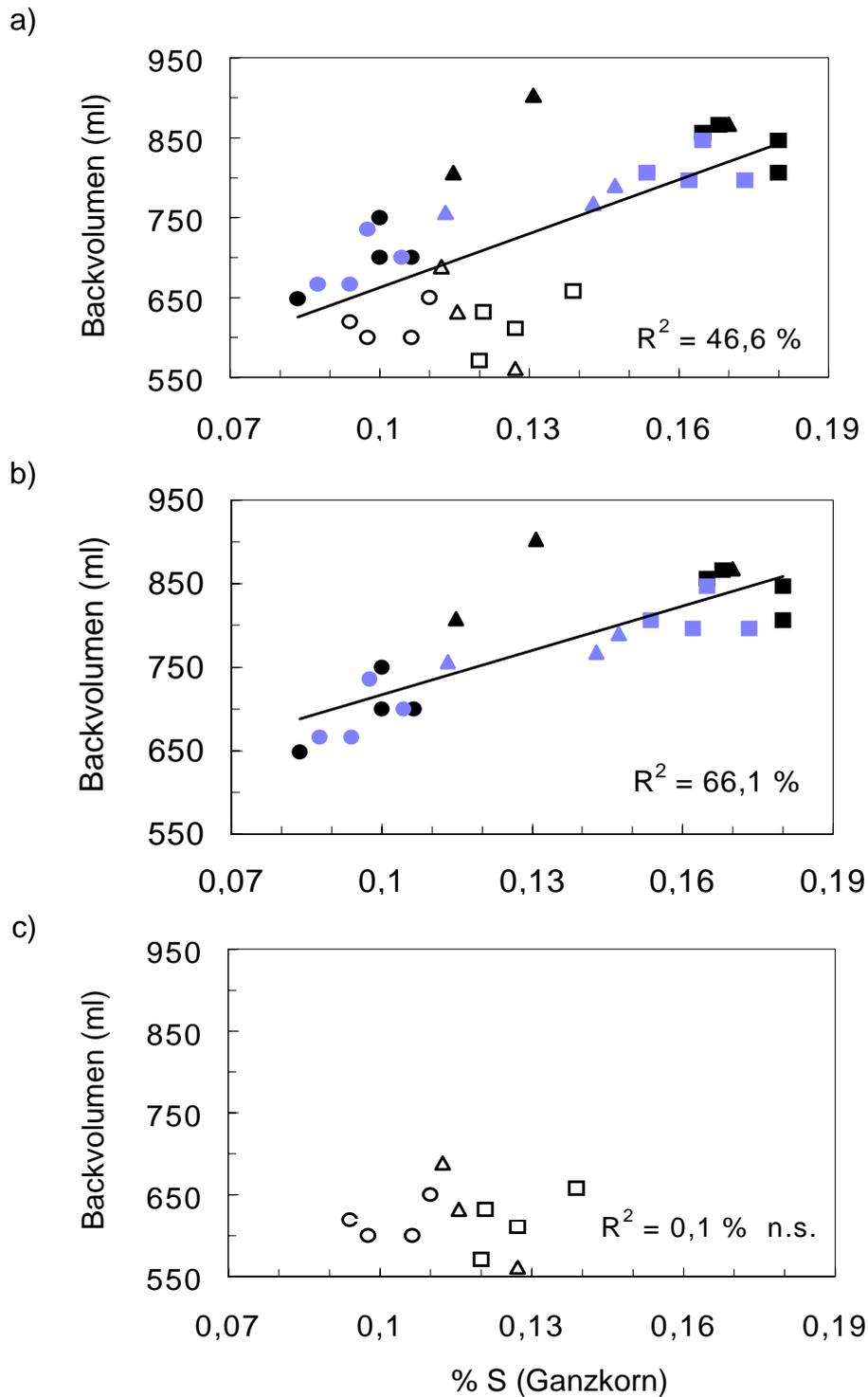


Abb. 18: Beziehungen zwischen Schwefelgehalten und Backvolumina von Weizen eines Düngungsversuchs. N0, 50, 100 = kg N/ha bei jeweils unterschiedlichen S-Applikationen von 0 – 50 kg/ha . (Abb. erstellt nach Grafiken von MOSS et al. (1981, Abb. 18 a) sowie bei veränderter Gruppenbildung (Abb. 18 b und c). n.s. = nicht signifikante Beziehung

Der Einfluß der Wärme auf die Weizenqualität

Es erscheint mir wichtig, zusätzlich zu den oben geschilderten und mit der Schwefelversorgung zusammenhängenden Qualitätseigenschaften des Weizens auch deren Beeinflussbarkeit durch die Wärme zu schildern, da Schwefel und Wärme viel miteinander zu tun haben (s.u.). Die Wirkungen unterschiedlicher Wärmeeinflüsse über Klima, Witterung und geographische Lage sind den Züchtern und Getreidetechnologen sowie den Praktikern im Mühlen- und Backgewerbe seit langem bekannt (z.B. FAJERSSON 1975, Abb. 19).

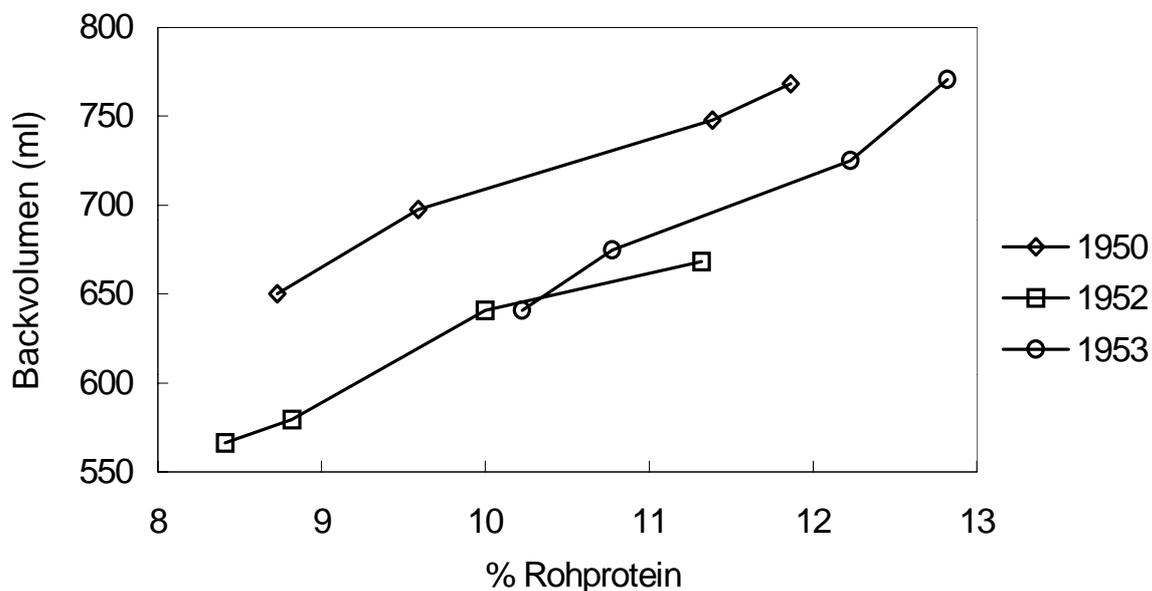


Abb. 19: Beziehungen zwischen Rohproteingehalt und Backvolumen von Weizen klimatisch verschiedener Erntejahre (1950, 1952, 1953). Mittelwerte von je fünf Sorten. (FAJERSSON 1975)

Neben den Erfahrungen in diesen Arbeitsbereichen existieren allerdings kaum Exaktversuche zum Einfluß der Wärme während der Vegetationszeit des Weizens auf dessen rheologische Eigenschaften. Die einzigen mir bekannten Beiträge dazu stammen von SCHIPPER et al. (1986) sowie SCHIPPER (1991). Diese Forscher bauten Weizen sowohl in der Klimakammer mit deutlich unterschiedlichen Temperaturen während der Kornbildungsphase an als auch auf klimatisch verschiedenen Standorten (Tab. 6). Durch ein differenziertes N-Angebot zum Ährenschieben erhielten sie Kornmaterial mit vergleichbaren Protein-Gehalten, so daß Unterschiede im Teigextensogramm – im Gegensatz zu einer Arbeit von JAHN-DEESBACH (1981) - nicht auf diesen Faktor zurückzuführen sind.

Tab. 6: Temperaturverhältnisse während der Kornbildungsphase von Weizen verschiedener Vegetationsversuche (SCHIPPER 1991)

<u>Klimakammer – Gefäßversuch</u>		
	Kammer kühl	Kammer warm
Tagestemperatur	16 °C	24 °C
Nachttemperatur	8 °C	16 °C
<u>Klimastandort – Gefäßversuch</u>		
	Rauischholzhausen	Limburgerhof
Juli 1984	17,7 °C	19,0 °C
August 1984	16,8 °C	19,5 °C
<u>Klima – Feldversuch</u>		
	Otterndorf	Gießen
Juli 1985	16,3 °C	18,4 °C
August 1985	16,2 °C	16,9 °C
	Grimersum	Gießen
Juli 1986	16,0 °C	19,1 °C
August 1986	15,0 °C	18,0 °C

Sowohl im Klimakammer-Gefäßversuch 1984 als auch im Klimastandort-Gefäßversuch 1984 fielen die Dehnwiderstände im Teigextensogramm bedeutend höher aus, wenn zur Zeit der Kornbildung höhere Temperaturen geherrscht hatten (Abb. 20 und 21). Auch die Extensogramme der Klima-Feldversuche 1985 und 1986 bestätigen, daß wärmere Temperaturen während der Kornbildungsphase (Standort Gießen) die Dehnwiderstände aller untersuchten Weizensorten im Vergleich zu den kühleren Standorten Otterndorf und Grimersum steigerten (Abb. 22 und 23).

Welche einzelnen proteinchemischen Faktoren den in den Abbildungen 20 bis 23 geschilderten Effekten zugrunde liegen, ist unklar. Zwar ergab die Proteinfractionierung bei höheren Temperaturen etwas weitere Glutenin:Gliadin-Verhältnisse. Jedoch konnten durch sie die z.T. drastischen Unterschiede im Extensogramm nicht ausreichend erklärt werden (SCHIPPER et al. 1986, SCHIPPER 1991). Möglicherweise spielen zusätzlich durch den Wärmeeinfluß induzierte Strukturveränderungen eine Rolle. ROHRLICH und ESSNER (1966) fanden einen Anstieg des Anteils der für die Vernetzung und damit für die Verfestigung der Kleberproteine wichtigen Disulfidbrücken mit dem Reifungsverlauf sowie eine starke Beeinflussung dieser Vorgänge durch die Witterungsverhältnisse.

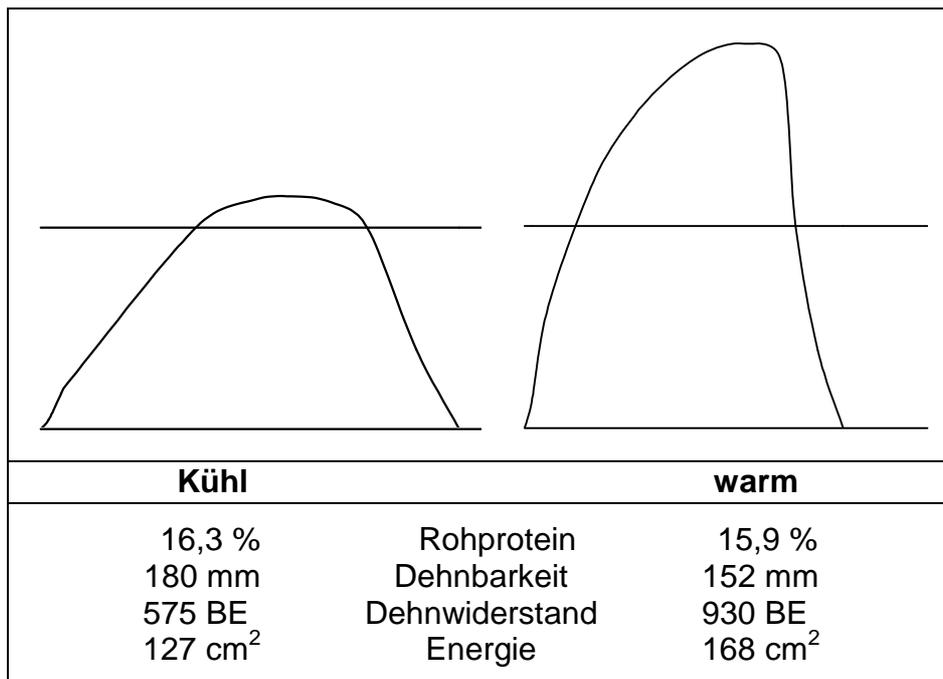


Abb. 20: Einfluß unterschiedlicher Temperaturen während der Kornbildungsphase von Weizen (Sorte SCHIROKKO) des Klimakammer-Gefäßversuches 1984 (vgl. Tab. 6) auf das Teigextensogramm. BE = Brabender Einheiten. (Abb. erstellt nach Grafiken von SCHIPPER 1991)

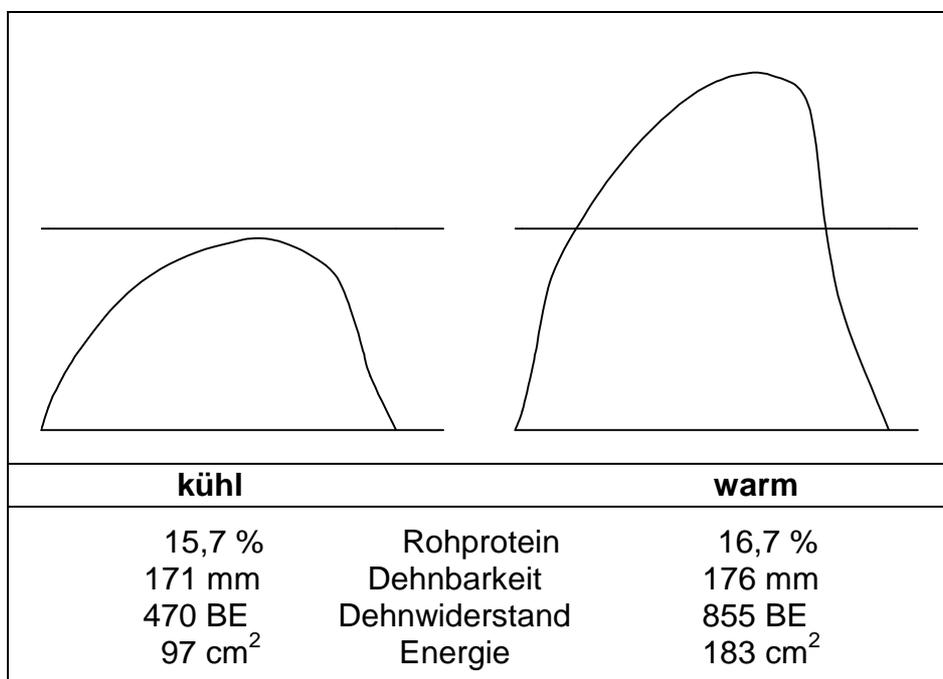


Abb. 21: Einfluß unterschiedlicher Temperaturen während der Kornbildungsphase von Weizen (Sorte SCHIROKKO) des Klimastandort-Gefäßversuches 1984 (vgl. Tab. 6) auf das Teigextensogramm. BE = Brabender Einheiten. (Abb. erstellt nach Grafiken von SCHIPPER 1991)

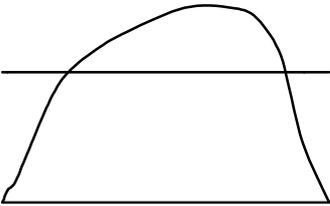
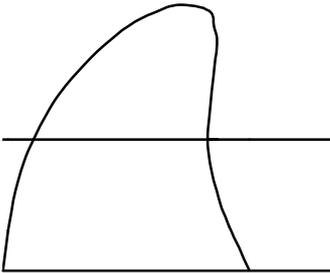
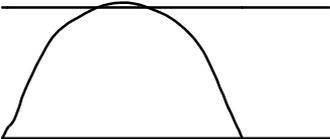
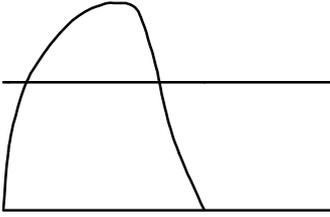
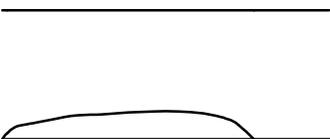
Otterndorf (OT)		Gießen (GI)						
					RP (% TM)	DB (mm)	DW (BE)	E (cm ²)
				OT	12,6	187	745	
				GI	12,8	134	1005	171
MONOPOL								
					RP (% TM)	DB (mm)	DW (BE)	E (cm ²)
				OT	12,5	132	505	
				GI	12,1	110	790	82
CARIBO								
					RP (% TM)	DB (mm)	DW (BE)	E (cm ²)
				OT	11,4	131	120	
				GI	12,0	126	325	22
DOZENT								

Abb. 22: Einfluß unterschiedlicher Temperaturen während der Kornbildungsphase von Weizen (Sorten: MONOPOL, CARIBO, DOZENT) des Klima-Feldversuchs 1985 (vgl. Tab. 6) auf das Teigextensogramm sowie Extensogrammdaten. Standorte: OT = Otterndorf (kühl); GI = Gießen (warm). Extensogrammdaten: RP = Rohproteingehalt; BE = Brabender Einheiten; DB = Dehnbarkeit; DW = Dehnwiderstand, E = Energie. (Abb. erstellt nach Grafiken von SCHIPPER 1991)

Auch eine nachträgliche Erhitzung des totreifen Korns unter Laborbedingungen bewirkt eine Verringerung der Dehnbarkeit und Steigerung des Dehnwiderstandes im Teigextensogramm (KIEFFER und BELITZ 1993). Dafür waren allerdings Temperaturen (bei nur kurzzeitiger Erhitzung von 6 Minuten) erforderlich, die mit 50 – 65 °C weit über den geringen aber wirksamen Wärmedifferenzen der Untersuchungen von SCHIPPER (1991) lagen.

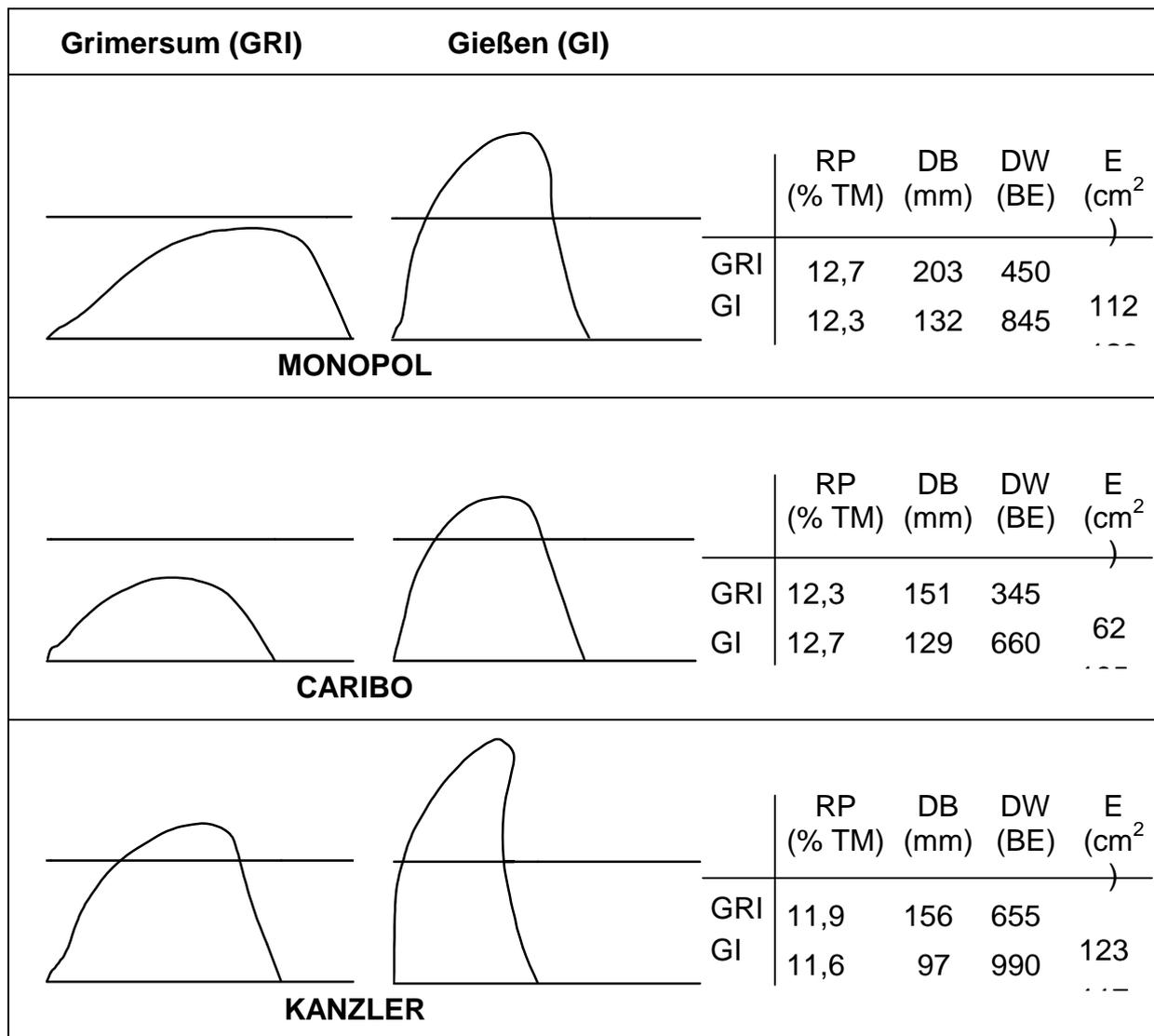


Abb. 23: Einfluß unterschiedlicher Temperaturen während der Kornbildungsphase von Weizen (Sorten: MONOPOL, CARIBO, KANZLER) des Klima-Feldversuchs 1986 (vgl. Tab. 6) auf das Teigextensogramm sowie Extensogrammdaten. Standorte: GRI = Grimersum (kühl); GI = Gießen (warm). Extensogrammdaten: RP = Rohproteingehalt; BE = Brabender Einheiten; DB = Dehnbarkeit; DW = Dehnwiderstand, E = Energie. (Abb. erstellt nach Grafiken von SCHIPPER 1991)

Bei dieser Art von Wärmeeinwirkung sind vermutlich Konformationsänderungen der Kleberproteine und nicht Veränderungen des Disulfidstatus für die geschilderten Wirkungen verantwortlich (KIEFFER et al. 1993). Das Backvolumen im Mikrobackversuch wurde durch diese kurze und starke Erhitzung des Korns jedoch reduziert (KIEFFER et al. 1993).

Beurteilung der Veränderungen und mögliche Konsequenzen für die Ernährung

Die biochemischen Faktoren, die den rheologischen Veränderungen durch die verschiedenen Wärmeeinflüsse zugrunde liegen, sind sehr komplex. Sie umfassen neben den Proportionen der Proteinfractionen Gliadin und Glutenin zueinander nicht nur den Disulfidstatus der Kleberproteine und den Glutathiongehalt des Mehls. Ich halte es auch für möglich, daß mit einem durch unterschiedliche S-Ernährung der Pflanze veränderten Proteinspektrum unterschiedliche Gewichtungen nicht kovalenter Bindungen der Proteinmatrix (Ionen-, hydrophobe und Wasserstoffbindungen) oder Konformationsänderungen die beobachteten rheologischen Effekte verursachen. Auf die kausalen Details dazu braucht an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Festzuhalten ist jedoch, daß Wärme den Dehnwiderstand der Teige erhöht, während im Gegensatz dazu die Düngung von Schwefel den Dehnwiderstand verringert.

Nun steht aber die Wärme in einer engen Beziehung zum Schwefel, denn die Zustandsformen (rhombisch kristallin, nadelförmig, amorph plastisch) gerade dieses chemischen Elementes sind in ganz ausgeprägter Weise von den Wärmebedingungen, denen es ausgesetzt wird, abhängig. Der Chemiker bezeichnet dies als Allotropie (LÜTHJE und HEFELE 1968). Im organischen Bereich vermittelt der Schwefel über die Senf- und Lauchöle der Kreuzblütler (z.B. Senf) und Zwiebelgewächse (Lauch, Zwiebeln, Knoblauch) deren anregende Wärmeprozesse in den Vorgängen sowohl der Nahrungsaufnahme und Verdauung als auch der Therapie (z.B. Senf-fußbäder). Somit kann sich die Frage aufdrängen, ob nicht der Schwefel (des Düngers oder des Bodens) und die auf die Pflanze einwirkende Wärme der Witterung zwei Seiten derselben Sache sind, bzw. in welcher Beziehung sie zu den oben geschilderten Phänomenen der Kleberstruktur stehen.

„Sulfur“ umfaßte in der vorwissenschaftlichen Zeit als eines der sogenannten „Drei Prinzipien“ Sal, Merkur und Sulfur (vgl. GEBELEIN 1996) viel mehr als nur den stofflichen elementaren Schwefel, sondern wies auch auf den Vorgang der Verbrennung sowie die Wärme selber hin, sei diese nun physikalisch-chemischer oder seelisch-geistiger Natur (z.B. Feuer der Leidenschaften oder Begeisterung im Menschen, vgl. dazu KALISCH (1997)).

Die ganze Pflanze selber lebt und entwickelt sich zwischen den Polen des quellenden, vegetativen Wachstums und den entvitalisierenden Reifungsvorgängen. Man kann aus den oben geschilderten Phänomenen den Eindruck bekommen, daß dieses Spannungsverhältnis auch für den Kleber und die damit verbundenen rheologischen Erscheinungen zutrifft. Die in aller Regel über den Boden wirksame Schwefel**substanz** vitalisiert nicht nur das Pflanzenwachstum, was am dunkleren Grün der Bestände und höheren Erträgen sichtbar wird. Sie führt auch zu weicheren Teigen und Klebern. Dagegen entvitalisiert die von oberhalb der Erde wirkende Wärme, die man als Sulfur**prozeß** ansehen kann, nicht nur die Pflanze, sondern sie führt auch zu festeren Klebern und Teigen. Weder die von „unten“ wirkende vitalisierende Schwefelsubstanz noch der von „oben“ wirkende Sulfurprozeß der Wärme sind für sich grundsätzlich negativ zu bewerten, denn sie bedingen sowohl Wachstum als auch Reife der Pflanze, Substanzbildung und deren Gestaltung. Die Frage ist nur, ob sich diese Kräfte bei den modernen Weizensorten noch im Gleichgewicht befinden.

Ein stoffwechselaktives, Lebensvorgänge vermittelndes Protein muß in Wasser oder salzhaltiger Lösung löslich sein, um z.B. als Enzym seine Aufgaben erfüllen zu können. Dies trifft für die Albumine und Globuline des Weizens zu. Man kann in dem in wässrigem Medium unlöslich gewordenen Kleberprotein das Resultat eines Entvitalisierungsprozesses sehen, bei dem dieses Eiweiß schließlich jegliche vitale Bedeutung für das Korn verloren hat und nur noch mechanische Funktionen im Teig erfüllt. Die Getreidechemiker wundern sich, daß das Klebereiweiß für das Korn anscheinend nur noch die Bedeutung eines Speicherproteins aufweist (SHEWRY et al. 1986). Die in ihm enthaltenen Aminosäuren müssen erst durch die Enzymproteine im Keimungsvorgang für das Leben der neuen Pflanze verfügbar gemacht werden. Der Entvitalisierungs- d.h. Verfestigungsgrad des Klebers kann gesteigert werden, indem wie beim S-Mangel der über den Boden wirksame belebende stoffliche „Sulfur“ begrenzt (S-Mangel) oder der von oben wirkende Sulfurprozeß der Wärme gesteigert wird. Auch durch Selektion im Züchtungsprozeß kann die Konstitution d.h. die „Offenheit“ der Pflanze für bestimmte Wirkungen in die eine oder andere Richtung verändert werden. Es wurde geschildert, daß die modernen Weizensorten von hoher technologischer Qualität Resultat einer solchen Veränderung sind. Das Leben eines Organismus ist eng an das Vorhandensein von Eiweiß geknüpft. Die Proteinqualität des Weizens ist als Bild für das Gleichgewicht seiner vitalen Kräfte aufzufassen. Die alten Weizensorten mit ihren (sehr) weichen Klebern müßten demnach in geringe-

rem Maße von den Entvitalisierungskräften ergriffen sein als die modernen Sorten mit ihren harten Klebern.

Dieser Gedanke wird dadurch bestätigt, daß die Untersuchung von Dinkelsorten mit einem sehr festen Kleber mittels bildschaffender Methoden (Kupferchloridkristallisation, Steigbilder) „Anzeichen einer verminderten Vitalität und zum Teil auch sklerotisierende Tendenzen“ zeigten (KUNZ 1998). Die modernen Weizensorten BUSSARD und BATIS zeigten im Test mit bildschaffenden Methoden einen Vitalitätsverlust von 50 % gegenüber zwei älteren Sorten (BALZER-GRAF 1998, OLBRICH-MAJER 1999). Diese Ergebnisse bestätigen durch eine andere Art von Untersuchungsmethode die in dieser Arbeit anhand physiko-chemischer Parameter entwickelten Gedanken. Der starke Zusammenhang von Parametern bildschaffender und physiko-chemischer Untersuchungsmethoden wurde in neuerer Zeit wieder bestätigt (HAGEL et al. 2000).

Aus Gesprächen mit biologisch-dynamischen Züchtern zu deren Weizen-Ringversuch (vgl. KUNZ et. al 1997) ergab sich, daß die Abreife der modernen Weizensorten unter Verhältnissen des Ökologischen Landbaus gestört ist. Statt eines kontinuierlichen Vergilbens und Verfärbens, das die Pflanze von unten nach oben ergreift, erfolgt ein plötzlicher Zusammenbruch und abruptes Vertrocknen der Pflanze. Ich selber hatte beim Anschauen dieser Vorgänge immer den Eindruck, als ob diese Pflanzen sozusagen „heiß abgebrüht“ worden wären. Auch KARUTZ (1998) beschreibt, daß fast alle modernen Hohertragsorten ohne die typisch leuchtenden Farben und sehr schnell absterben. In diesen Phänomenen sind ebenfalls Symptome eines abrupten, fast gewalttätig anmutenden plötzlichen Entvitalisierungs- und Absterbevorganges zu sehen, dem ebenso wie den zu festen Klebern und Teigen die nötige Geschmeidigkeit fehlt. Neben Fragen des Schwefelhaushalts kommen hier aber auch Aspekte der N-Versorgung bzw. des N-Bedarfs in Betracht.

Noch aus einem anderen, morphologischen Gesichtspunkt heraus ist dieser Aspekt der Entvitalisierung der Weizenpflanze mit der Folge festerer Kleber zu verstehen (und ist deshalb Sorten mit weicherer Proteinstruktur der Vorzug zu geben): Schaut man sich das Getreidekorn näher an, so kann einem auffallen, daß es in die zwei Gebiete der **Randschichten** und des **Endosperms** mit jeweils sehr unterschiedlichen Eigenschaften unterteilt werden kann. Die Randschichten umfassen die Kleie

(diese machen ca. 22 % des ganzen Korns aus) sowie das direkt unter dieser gelegene sogenannte Schleudermehl, mit einem Anteil von ca. 12 – 20 % des ganzen Korns (HAGEL 2000). Diese Gewebe zeichnen sich durch folgende Aspekte aus:

- Die lebendige Entwicklung des sich nach der Befruchtung aus dem Fruchtblatt gestaltenden Getreidekorns erfolgt aus einem unter der Frucht/Samenschale gelegenen lebendigen Gewebe (**Kambium**) von außen nach innen. Dieses bildet Endospermzellen aus, die nur noch mit Stärke und Eiweiß gefüllt werden. Es gestaltet sich am Ende dieser Zellteilungsperiode zur Aleuronschicht mit ihren außergewöhnlich hohen Gehalten (30-50 %) an ernährungsphysiologisch wertvollem Eiweiß um.
- die **Kleie**: Diese ist für den Menschen zwar kaum verdaulich, bringt aber Leben in die Peristaltik des Darms. Obstipationsprobleme (Verstopfung) gibt es für Menschen mit Vollkornbroternährung anstelle von Brot aus Auszugsmehl eigentlich nicht.
- hoher **Mineralstoffgehalt**: Auch dieser unterstützt den Nährstoffbedarf und die Lebensvorgänge des Menschen. Das weiße Endospermmehl ist dagegen ausgesprochen mineralstoffarm. Angesichts der offenbar einen erhöhten Bedarf anzeigenden steigenden Supplementierung von Mineralstoffen in Tablettenform kommt diesem Ernährungsfaktor des Getreidekorns eine nicht zu unterschätzende Bedeutung zu.
- **Vitamine**: Für sie gilt dasselbe, was für die Mineralstoffe gesagt wurde.
- **sekundäre Pflanzenstoffe**: Auch sie sind von erheblicher Bedeutung für die Vitalität des zu ernährenden Organismus. Sie weisen u.a. vitaminähnliche sowie verschiedenste positive gesundheitsfördernde Wirkungen auf und unterstützen den Organismus in der Entgiftung von toxischen Substanzen (Umweltgifte, Ozon, freie Radikale etc.). Die sekundären Pflanzenstoffe (Proteinasen) des Weizens befinden sich in der Fraktion der Albumine und Globuline (POGNA et al. 1998) und weisen ebenso wie die Ballaststoffe des Getreides anticancerogene Wirkungen auf (ANONYM 1998, SCHMITT-DOSSOU 1998, WATZL und LEITZMANN 1995).
- **Albumine und Globuline**: Von den vier im Weizen vorkommenden Eiweißgruppen (Albumin, Globulin, Gliadin und Glutenin) sind die Randschichten besonders reich an den ersten beiden. Diese Eiweiße werden als Enzymeiweiße bezeichnet, da sie das beginnende Leben des keimenden Korns durch ihre physiologischen

Funktionen (Proteolyse der Speicherproteine, Bereitstellung von Energie aus der Stärkespaltung) erst ermöglichen. Hohe Gehalte der essentiellen Aminosäure Lysin verleihen den Albuminen und Globulinen eine hohe Nährhaftigkeit, was sich in Fütterungsversuchen immer wieder bestätigt. Aber auch andere essentielle Aminosäuren (Methionin, Tryptophan) sind in diesen Eiweißen deutlich erhöht. Schließlich ist der (im Vergleich zu Gliadin und Glutenin) hohe Gehalt an schwefelhaltigen Aminosäuren dieser Eiweiße bedeutungsvoll (Tab. 1).

Dagegen ist das Endospermeiweiß reich an Gliadin und Glutenin. Diese sind für die Ernährung und die Lebensvorgänge des Menschen höchstens im negativen Sinne bedeutend (Gliadin ist Auslöser der Coeliakie oder Sprue). Sie sind schwefelarm bis -frei sind und arm an essentiellen Aminosäuren. Wie schon erwähnt, ist es ein anschauliches Bild für den Lebenscharakter der Albumine und Globuline, daß sie in salzhaltigem Medium löslich sind. Dagegen sind Gliadin und Glutenin nur in speziellen Chemikalien (Alkohol, Lauge, Disulfidbrücken spaltende Reagenzien) löslich.

Während man also sagen kann, daß von den Randschichten des Korns und deren Inhaltstoffen intensive, das Leben des sie verzehrenden Organismus fördernde Wirkungen ausgehen, kann man dies von dem Endosperm und seinen Eiweißen sicher nicht behaupten. Bezeichnenderweise ist der Kleber der Schleudermehle trotz sehr hoher Glutenin:Gliadin-Verhältnisse ausgesprochen weich, wie an den niedrigen Glutenindizes von Weizen des von ABELE (1987) am Institut für Biologisch-Dynamische Forschung angelegten Langzeitdüngungsversuchs (s. dazu auch RAUPP 1995) ersichtlich ist (Abb. 24). Die unterschiedlichen Backeigenschaften von Randschichten- bzw. Endospermmehlen sind bekannt. Ob dies auf den (klebererweichenden) höheren Glutathiongehalten des Randschichtenmaterials, Strukturunterschieden deren Gliadine und Glutenine oder anderen Faktoren beruht ist nicht untersucht worden. Festzuhalten ist jedoch, daß der Kleber des auch hinsichtlich seiner Nährstoffe als ausgesprochen lebendig bzw. belebend (ernährend) zu bezeichnenden Randschichtenmehls (s.o.) bedeutend weicher ist als der des als entvitalisiert zu bezeichnenden Endospermmehls.

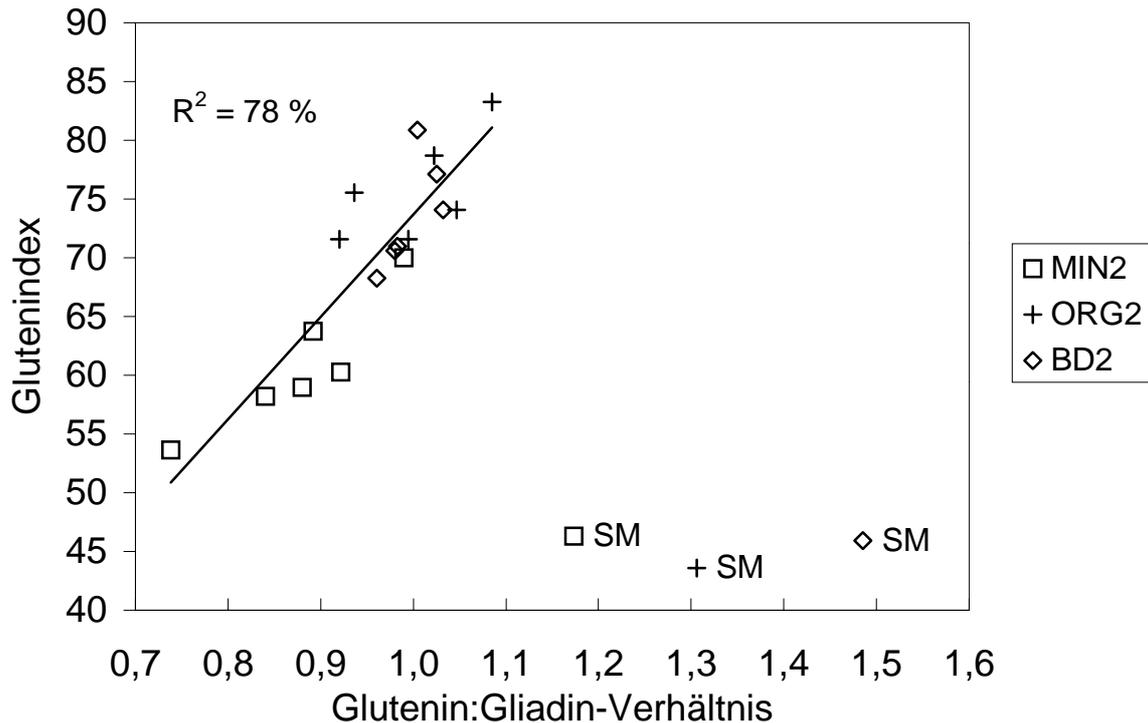


Abb. 24: Beziehung zwischen Glutenin:Gliadin-Verhältnissen von Endospermmehlen (B- und C-Mehlen) und Glutenindices von Winterweizen (Sorte OBELISK) eines Langzeitdüngungsversuches (Ernte 1993). Regression ohne Schleudermehle (SM). Düngungsvarianten (mittlere Düngungsstufe): MIN = mineralisch; ORG = organisch; BD = biologisch-dynamisch. (HAGEL 2000)

Nicht nur im konventionellen sondern auch im Ökologischen und biologisch-dynamischen Landbau werden fast ausschließlich die modernen Weizensorten angebaut (FEHLHABER 1996, KUNZ 1998), da Müller und Bäcker dies verlangen und erst seit relativ kurzer Zeit an Alternativen gearbeitet wird. Damit werden solche Weizensorten angebaut und zu Biobrot verarbeitet, die in ihren guten technologischen Eigenschaften Charakteristika zeigen, wie sie auch bei einem S-Mangel bzw. einem gestörten Gleichgewicht zu Ungunsten der vitalisierenden Schwefelwirkungen auftreten. Welche Konsequenzen könnte dies für den sich mit Brot aus diesen Sorten ernährenden Menschen haben?

Es ist nicht möglich, an dieser Stelle eine umfassende Antwort zu geben, denn es gibt keine Untersuchungen zur Verträglichkeit von Weizensorten mit festeren und weicheren Klebern. Hier wären mehr Erfahrungsberichte und spezielle Studien wünschenswert. Andererseits ist bekannt, daß Unverträglichkeitserscheinungen gegenüber Nahrungsmitteln in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen haben. Die Ursachen dürften sowohl in einer zivilisatorisch bedingten Schwächung des Immunsys-

tems als auch in einer allgemeinen Erhöhung des allergenen Potentials (Belastung durch Verarbeitung, Zusatzstoffe, Umweltgifte etc.) zu suchen sein. Zu unterscheiden ist zwischen der über Antikörper des Blut nachzuweisenden echten Allergie sowie der Nahrungsmittelintoleranz bzw. Pseudoallergie, die andere Ursachen hat. Unter den Nahrungsmittelallergenen liegt Sellerie mit 42,8 % an der Spitze, während nur 2,5 % der Patienten echte Allergien gegen Weizen oder Roggen aufwiesen (WÜTHRICH 1993). Erfahrungsberichten zufolge ist die Toleranz des Weizenallergikers gegenüber Dinkelprodukten höher als die gegenüber Weizenprodukten (KLOCKENBRING 1998). Dies ist interessant, da Dinkel (abgesehen von neuen Sorten mit Weizeneinkreuzungen zur Erhöhung von Standfestigkeit, Ertrag und Backqualität) im Gegensatz zum Weizen kaum züchterisch bearbeitet wurde und weichere Kleber aufweist. Auch KÜHNE (1997) empfiehlt bei Weizenallergie von Weizen auf Dinkelprodukte umzusteigen (sowie als stärkende Maßnahme u.a. viel schwefelhaltiges Gemüse zur Entgiftung). Ich selber kenne zwei Menschen, die an ihren Hautreaktionen sofort feststellen, ob in das für sie verträgliche reine Dinkelbrot unverträgliches Weizenmehl zugemischt wurde. Neurodermitis Patienten reagierten stärker auf eine Testmahlzeit mit Roggenmehl (54 %) mit einer Erhöhung der Antikörperbildung als auf Weizenmehl (35 %) (IONESCU et al. 1985). Auch dies ist bemerkenswert, da die Backqualität beim Roggen nicht auf der Proteinstruktur beruht und in dieser Richtung ganz im Gegensatz zum Weizen keine züchterischen Veränderungen angestrebt wurden. Empfindlichkeit gegenüber Getreideproteinen wird als eines der möglichen auslösenden Momente für die Schizophrenie vermutet. Blindversuche mit Schizophreniekranken sollten diese These prüfen. Die Verabreichung von 30 – 45 g Weizenkleber pro Tag verschlimmerte den schizophrenen Prozeß und verringerte den Effekt der medikamentösen Behandlung (SINGH und KAY 1976), was die Beziehung zwischen Ernährung und Psyche unterstreicht.

Die oben geschilderten Fälle sind sicher außergewöhnlich und schildern extreme Sensibilitäten. Viele Menschen vertragen Weizenprodukte (noch?) gut, obwohl Berichte über Unverträglichkeiten zunehmen. Mir selber und anderen Menschen ist jedoch aus eigener Erfahrung die stärker kräftigende Wirkung des Roggenbrotes im Vergleich zum Weizenbrot bekannt. Der Arzt Dr. O. WOLFF (Arlesheim, Schweiz) hat in seinen Vorträgen ja immer wieder betont, daß in älteren Zeiten das Überleben einer jahrelangen Kerkerhaft nur bei Wasser und Brot als Nahrung in dem damals fast durchweg verbreiteten Roggenbrot begründet war. Bei einer Bereitung des täglich

chen Brotes (so wie heute) überwiegend aus Weizen wäre dies nicht möglich gewesen, da Weizen u.a. aufgrund seiner niedrigeren Lysin- und S-Gehalte im Vergleich zum Roggen nicht vollwertig ist. Dies beruht wiederum darauf, daß das Proteinspektrum beim Roggen im Vergleich zum Weizen doppelt so hohe Anteile an den lysinreichen Enzymeiweißen Albumin- und Globulin aufweist und natürlich entsprechend geringere Anteile der entvitalisierten schwefel- und lysinarmen Struktureiweiße Gliadin und Glutenin (WIESER et al. 1980, vgl. Tab.1).

Beim Weizen wiederum bewirken Brötchen aus Weizenauszugsmehl eine geringere anhaltende Sättigung und Kräfte regenerierung als Vollkornbrötchen. Auch dies ist nicht nur eine persönliche Erfahrung und dürfte auf den niedrigen Gehalten an Mineralstoffen, Ballaststoffen, Vitaminen, sekundären Pflanzenstoffen und salzlöslichen Proteinen des Endospermmehl gegenüber den Randschichten zusammenhängen (s.o. sowie HAGEL 1999 a und b). Für die Zukunft sollten Ernährungsversuche, die die Wirkungen der verschiedenen Proteinfractionen bzw. von Brot aus Sorten mit weichen oder festen Klebern nicht nur auf die Gewichtszunahme junger Laborratten, sondern auf die körperliche und seelisch-geistige Leistungsfähigkeit erwachsener Menschen prüfen, angestrebt werden. Erste Konzepte für die Auswirkungen unterschiedlicher Nahrungsqualitäten liegen vor (HAGEL 1992, 1998, 2001) und wären mit Blick auf die Eiweißfrage näher zu bearbeiten.

Man kann sich ja aus dem oben Geschilderten heraus fragen: Wenn die Randschichten und ihre Substanzen die Lebensvorgänge des sie verzehrenden Organismus fördern, welche Wirkungen könnte das verdichtete und durch niedrige Lysin- und S-Gehalte als entvitalisiert zu bezeichnende Reserveeiweiß Glutenin und Gliadin auf den Menschen ausüben? Es ist anzunehmen, daß ein entvitalisiertes Eiweiß auch keine vitalisierenden Wirkungen im es verzehrenden Organismus stimulieren kann. Das entvitalisierteste Eiweiß im Menschen selber ist das Protein des Nervensystems. Denn Bewußtsein kann nur dort entstehen, wo das vegetative Leben weicht. Die Nerven, das Gehirn stehen immer auf der Schwelle zum Sterben und können dadurch Träger des Bewußtseins werden. Das Nerveneiweiß muß durch die Bewußtseinstätigkeit abgebaut werden. Müdigkeit, geistig-seelische Abgeschlagenheit und Nervosität sind die Folge. Die Regenerierung der erschöpften Kräfte erfolgt einmal über den Schlaf. Aber auch eine Mahlzeit aus gesunden und frischen Produkten kann deutlich als wirksame Erfrischung für die erschöpften Bewußt-

seinskräfte erlebt werden. Fehlen diese Kräfte (durch Schlafdefizit oder schlechte Nahrungsqualität) wird auch die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit des Menschen beeinträchtigt. In diesem Zusammenhang ist es durchaus erlebbar, daß das Nervensinnensystem (d.h. das sogenannte „Nervenkostüm“) durch den Verzehr z.B. eines (durchaus schmackhaften) Sonntagsfrühstücks mit Weißmehlprodukten nur eine unzureichende Stärkung erfährt. Eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Nervosität kann die Folge sein. Wer dafür etwas empfänglich ist, wird diese Beobachtung bestätigen können. Zu starke Abbauprozesse über das Nervensinnensystem (mit den geschilderten Folgen der Müdigkeit und Nervosität) sind aber sowie das Kennzeichen des „modernen“ Lebens und seiner Berufe. Deshalb ist es so wichtig, sich mit Lebensmitteln zu versorgen, die den Menschen in ausgewogener Weise beleben und erschöpfte Kräfte wieder regsam machen. Ein Weg in diese Richtung ist meines Erachtens die Einführung von solchen Weizensorten in den Biomarkt, die in ihrer weicheren Kleberstruktur das Bild für ein ausgewogenes Zusammenwirken von vitalisierender Schwefelsubstanz und entvitalisierenden Sulfurprozessen erkennen lassen.

Die an Auszugsmehl erarbeiteten Differenzierungen der technologischen Qualität der verschiedenen Sorten nivellieren sich durch das im Ökobereich hauptsächlich verbackene Vollkornmehl bzw. -schrot (DREIER 1984, ZWINGELBERG et al. 1984). Da Weizen in Biobäckereien fast ausschließlich zu Vollkornbackwaren (SEIBEL 1993) und außerdem meistens im Kasten verbacken wird (SPIESS 1996, STÖPPLER 1988), bieten sich unter diesen Bedingungen durchaus praktikable Möglichkeiten für die Einführung entsprechender Weizensorten in den Biomarkt an.

Zusammenfassung

Aus den geschilderten Phänomenen entsteht der Eindruck, daß die exzellenten backtechnologischen Eigenschaften der modernen Qualitäts-Weizensorten auf einem veränderten Verhältnis der Pflanze zum Schwefel beruhen. Dabei wurden polare Schwefelwirkungen beschrieben: Applikationen der Nähr**substanz** Schwefel führen zu weicheren Teigen und Klebern. Dagegen kann in wärmeren Temperaturverhältnissen des Standorts ein (nichtstofflicher) Schwefel- oder Sulfur**prozeß** gesehen werden. Er induziert festere Proteinstrukturen. Durch die Züchtung wurden Pflanzentypen mit solchen proteinchemischen (höhere Anteile (HMW-) Glutenin am Gesamtprotein) und rheologischen Eigenschaften (festere Kleber und Teige) selektiert, wie sie auch unter S-Mangel-Verhältnissen auftreten. Diese Sorten werden nicht nur im konventionellen sondern auch im Ökologischen Landbau sowie dem biologisch-dynamischen Landbau mit seinen besonderen Ansprüchen an die Qualität der erzeugten Nahrungsmittel angebaut. Deshalb muß speziell für diesen Bereich die Frage gestellt werden, ob der Konsument mit diesen Sorten "Biobrot aus Schwefelmangelweizen" verzehrt. Damit ist nicht in erster Linie ein Schwefelmangel im üblichen Sinne der Pflanzenzüchtung gemeint, der sich in Mindererträgen und/oder S-Mangel anzeigenden N:S-Verhältnissen von über 17:1 manifestiert, obwohl auch diese Fälle im Ökologischen Landbau auftreten. Es ist eher an eine Verschiebung der Pflanzenkonstitution durch die Züchtung in Richtung eines Typs zu denken, wie er hinsichtlich seiner Proteineigenschaften auch bei einem Schwefelmangel auftritt.

Ansatzweise wurden Auswirkungen für die menschliche Ernährung diskutiert. Möglicherweise sind die Weizenunverträglichkeiten, unter denen viele Menschen heute leiden, auf diese Veränderungen der Sorten zurückzuführen. Die Nahrung wirkt aber sicher nicht nur in das lebendige Geschehen des Menschen ein, sondern dürfte auch seine geistig-seelische Konstitution beeinflussen. Es ist zu vermuten, daß die Ernährung mit Brot aus Schwefelmangelweizen ein Eiweiß liefert, welches in ungenügender Weise die erschöpften Kräfte des Menschen regeneriert.

Deshalb scheint die Forderung berechtigt zu sein, sich mit Weizensorten zu ernähren, die anders mit dem Wärmeelement Schwefel umgehen können. Hier wäre die Einführung von Weizensorten mit weicheren Klebern zu prüfen. Noch sind sie als Kreuzungspartner für die Entwicklung neuer Sorten verfügbar und verschiedene biologisch-dynamische Weizenzüchter arbeiten mit ihnen. Auch aus backtechnologi-

scher Sicht gibt es somit durchaus praktikable Möglichkeiten für die Einführung entsprechender Weizensorten in den Biomarkt.

Literatur

- ABELE, U. (1987): Produktqualität und Düngung - mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Heft 345, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- ANONYM (1994): Standardmethoden für Getreide, Mehl und Brot. Verlag Moritz Schäfer, Detmold, 188-192.
- BALZER-Graf, U. (1998): Untersuchung der Vitalqualität von Lebensmitteln – Beurteilung Weizen und Roggensorten. Untersuchung im Auftrag des Beratungsdienst Ökologischer Landbau Ulm e.V., Pfefflinger Str. 2, 89073 Ulm.
- BELITZ, H. D. und W. GROSCH (1992): Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Kapitel 15: Getreide und Getreideprodukte; Springer Verlag, Berlin.
- BELL, C.I., W.J. CRAM and D.T. CLARKSON (1990): Turnover of sulfate in leaf vacuoles limits retranslocation under sulfur stress. In: RENNENBERG, H. et al. (eds.): Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants, SPB academic Publishing bv. The Hague, The Netherlands, 163-165.
- BLOEM, E., H. M. PAULSEN und E. SCHNUG (1995): Schwefelmangel nun auch in Getreide. DLG-Mitteilungen, Nr. 8, 18-19.
- BOLLING, H. (1989): Qualitätsentwicklung bei Weizen und Roggen in den letzten 25 Jahren. Brot und Backweizen, Nr. 9, 314-327.
- BRÜMMER, J.-M., W. SEIBEL und S. STEPHAN (1980): Backtechnische Wirkung von L-Cystein-Hydrochlorid und L-Cystin bei der Herstellung von Brot und Kleingebäck. Getreide, Mehl und Brot, Nr. 7, 173-178.
- BUSHUK, W. (1989): Glutenin-Struktur und Einfluß des Glutenins auf die Backqualität. Getreide, Mehl und Brot, Nr. 9, 259-63.
- BYERS, M., J. FRANKLIN and S. J. SMITH (1987): The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effect on the composition and baking quality of the grain. Aspects of Applied Biol. 15, 327-344.
- CASTLE, S.L. and P.J. RANDALL (1987): Effects of sulfur deficiency on the synthesis and accumulation of proteins in the developing wheat seed. Aust. J. Plant Physiol. 14, 503-516.
- CLARKSON, D.T., M.J. HAWKESFORD and J.-C. DAVIDIAN (1993): Membrane and long distance transport of sulfate. In: De KOK, L.J. et al. (eds.): Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants, SPB Academic Publishing bv. The Hague, The Netherlands, 3-19.
- CRAM, W. J. (1990): Uptake and transport of sulphate. In: H. RENNENBERG et al. (eds.): Sulphur nutrition and sulphur assimilation in higher plants. SPB Academic Publishing, Den Haag, Niederlande, 3-13.
- DREIER, E. (1984): Untersuchung über die Eignung verschiedener Weizensorten und Verarbeitungsverfahren für die Herstellung von Vollkorn-Backwaren. Diss., Gießen.
- FAJERSSON, F. (1975): Klima, Düngung, Sorte – wichtige Faktoren für die Weizenqualität. Die Mühle und Mischfuttertechnik 112, 671-679.
- FEHLHABER, R. (1996): Demeter-Gütestelle: Getreideuntersuchungen 1995. Lebendige Erde, Nr. 2, 137-139.
- GEBELEIN, H: (1996): Alchemie. Diederichs Verlag, München.
- HAGEL, I. (1992): Warum Lebensmittel in Demeter-Qualität? - Ein Beitrag zum Problem der mineralischen Stickstoffdüngung im Hinblick auf die Ernährungsqualität der erzeugten Produkte. Lebendige Erde Nr. 4,5 und 6.
- HAGEL, I. (1998): Mehr Marktchancen durch biologisch-dynamische Qualitätsaspekte? Lebendige Erde 1/1998, 21-30.

- HAGEL, I. (1999 a): Zur Frage der Proteinqualität von Weizen aus biologisch-dynamischem Anbau. Arbeitsbericht 1998 des Instituts für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt, 29-40.
- HAGEL, I. (1999 b): Zur Proteinqualität von Weizen. - Der Zusammenhang zwischen Eiweißfunktion, Düngung und Ernährung. *Lebendige Erde*, 4/1999, 38-40
- HAGEL, I. (2000): Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Qualität von Weizen schwefelmangelgefährdeter Standorte des Ökologischen Landbaus. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft (im Druck).
- HAGEL, I. (2001): Kosmische und irdische Aspekte für die Entwicklung eines menschenkundlich orientierten Leitbildes zur Nahrungsqualität. 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 6. – 8.3.2001, Freising-Weihenstephan (in Vorbereitung).
- HAGEL, I. H. WIESER und E. SCHNUG (1999): Wirkungen hoher Schwefelgaben auf Mineralstoffgehalte, Proteinfractionen und Kleberqualität von Weizen aus biologisch-dynamischem Anbau. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V., 34. Vortragstagung, 22./23. März 1999, Freising-Weihenstephan, 329-334.
- HAGEL, I. und E. SCHNUG (1997): Schwefelgehalte in biologisch-dynamischem Weizen. *Getreide, Mehl und Brot* 51; 201-202.
- HAGEL, I. und E. SCHNUG (1999): Proteinfractionen und Schwefelgehalte von Winterweizen aus konventionellem und biologisch-dynamischem Anbau des Erntejahres 1997. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V., 34. Vortragstagung, 22./23. März 1999, Freising-Weihenstephan, 335-340.
- HAGEL, I.; H. SPIESS und E. SCHNUG (1998): Proteinqualität alter und moderner Winterweizensorten und -zuchtstämme. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V., XXXIII. Vortragstagung, 23./24. März 1998, Dresden, 165-170.
- HAGEL, I. (2000): Differenzierung und Charakterisierung von Weizen verschiedener Anbausysteme und Sorten durch Proteinfractionierung. Diss., Braunschweig. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 208.
- HAGEL, I. D. BAUER, S. HANEKLAUS and E. SCHNUG (2000): Quality Assessment of Summer and Autumn Carrots from a Biodynamic Breeding Project and Correlations of Physico-Chemical Parameters and Features Determined by Picture Forming Methods. *Proceedings of the 13th IFOAM Scientific Conference*, Basel, Switzerland, 284-287.
- HANEKLAUS, S., E. EVANS and E. SCHNUG (1992): Baking quality and sulphur content of wheat. I. Influence of grain sulphur and protein concentrations on loaf volume. *Sulphur in Agric.* 16, 31-34.
- HANEKLAUS, S. and E. SCHNUG (1992): Baking quality and sulphur content of wheat. II. Evaluation of the relative importance of genetics and environment including sulphur fertilization. *Sulphur in Agric.* 16, 35-38.
- IONESCU, G., D. RADOUCI, A. NEGOESCU, I. PREDA und H. MAHAL (1985): Zirkulierende Immunkomplexe, spezifisches IgE gegen Nahrungsmittel- und Inhalationsallergene, Serumhistaminspiegel und Darmpermeabilitätsstörungen bei Neurodermitikern vor und nach Testmahlzeiten. *Immun. Infekt.* 13, 147-155.
- JAHN-DEESBACH, W. (1981): Untersuchungen über den Einfluß von Klimafaktoren auf Ertrag und Qualität von Weizen (Klimakammerversuche). *Getreide, Mehl und Brot* 35, 281-286.

- KALISCH, M. (1997): „Salz, Merkur und Sulfur“ bei Rudolf Steiner – Welche fundamentalen Prozesse lassen sich beschreiben? *Elemente der Naturwissenschaft* 2/1997, 24-53.
- KARUTZ, C. (1998): Ökologische Getreidezüchtung und Gentechnik – ein Arbeitspapier. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, Schweiz.
- KIEFFER, R. (1995): Direkter Vergleich des Dehnverhaltens von Weizenteig und -kleber durch Mikrozugversuche. *Food Technologie Magazin*, Nr. 6, 28-31.
- KIEFFER, R. und H. D. BELITZ (1993): Erhitzen von Weizen. 1. Mitteilung: Zugversuche mit Teig und Kleber. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 196, 441-445.
- KIEFFER, R., J. J. KIM und H. D. BELITZ (1981): Zugversuche mit Weizenkleber im Mikromaßstab. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 172, 190-192.
- KIEFFER, R., J.-J. KIM und H. D. BELITZ (1993): Erhitzen von Weizen. 2. Mitteilung: Rheologische, calorimetrische und backtechnologische Untersuchungen sowie Osbornefraktionierungen. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 196, 526-531.
- KIEFFER, R. und H. WIESER (1996): Bedeutung einzelner Kleberproteintypen für die im Mikromaßstab bestimmten Verarbeitungseigenschaften von Weizenmehl. Bericht 1996, Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching, 151-164.
- KIEFFER, R., H. WIESER, M.H. HENDERSON and A. GRAVELAND (1998): Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a microscale. *J. Cereal Sci.* 27, 53-60.
- KLEMT, G. (1934): Mehllagerung und Backfähigkeit. *Z. für das ges. Getreidewesen* 10, 217-221.
- KLOCKENBRING, T., I. SCHMIDT und R. GOERLICH (1998): Vergleichende Untersuchungen von Weizen/Dinkel-Extrakten auf Grundlage von IgE-Bindungsmustern. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (pflanzliche Nahrungsmittel). 33. Vortragstagung, Dresden, 197-200.
- KÜHNE, P. (1997): Lebensmittelallergien - ein Eiweißproblem? *Forum*, Nr. 3, 45-51.
- KUNZ, P. (1998): Züchtung standortangepaßter Weizen- und Dinkelsorten für den biologisch-dynamischen und ökologischen Anbau. Jahresbericht 1997. Getreidezüchtung Peter Kunz, Hof Breitlen 5, CH-8634 Hombrechtikon.
- KUNZ, P., K.-J. MÜLLER, H. SPIESS, B. HEYDEN und E. IRION (1997): Der Weizen-Ringversuch: biologisch-dynamische Pflanzenzüchter schließen sich zusammen. *Lebendige Erde* Nr. 2, 110-114.
- LÜTHJE, H. und G. HEFELE (1968): *Chemie für sprachliche Gymnasien*. Otto Salle Verlag, Frankfurt/M.
- MacRITCHIE, F. and R.B. GUPTA (1993): Functionality-composition relationships of wheat flour as a result of variation in sulfur availability. *Aust. J. Agric. Res.* 44, 1767-1774.
- MOSS, H.J., C.W. WRIGLEY, F. MacRITCHIE and P.J. RANDALL (1981): Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. II Influence on grain Quality. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 213-226.
- OLBRICH-MAJER (1999): Populationssorten sind vitaler als Hybride. *Lebendige Erde*, Nr. 1, 45.
- ORTH, R.A. and W. BUSHUK (1972): A comparative study of proteins of wheats of diverse baking qualities. *Cereal Chem.* 49, 268-275.
- RAUPP, J. (1995): The long-term trial in Darmstadt: Mineral fertilizer, composted manure and composted manure plus all biodynamic preparations. In: RAUPP, J. (editor) (1995): Main effects of various organic and mineral fertilization on soil organic matter turnover and plant growth. Proceedings of the first meeting: Fertilization Systems in Organic Farming (concerted action), Darmstadt, May

1995. Band 5 der Schriftenreihe des Instituts für biologisch-dynamische Forschung.
- ROHRLICH, M. und W. ESSNER (1966): Menge und Verteilung der SH-Gruppen und SS-Bindungen in Weizenmehlprodukten. *Brot und Gebäck* 20, 4-10.
- SCHIPPER, A. (1991): Modifizierbarkeit teigphysikalischer Eigenschaften verschiedener Weizensorten durch Umwelteinflüsse. *Agribiol. Res.* 44, 114-132.
- SCHIPPER, A., W. JAHN-DEESBACH und D. WEIPERT (1986): Untersuchungen zum Klimaeinfluß auf die Weizenqualität. *Getreide, Mehl und Brot.* 40, 99-103.
- SCHNUG, E. (1991): Sulphur nutritional status of european crops and consequences for agriculture. *Sulphur in Agric.* 15, 7-12.
- SCHNUG, E. and S. HANEKLAUS (1994): Sulphur deficiency in brassica napus. *Biochemistry - Symptomatology - Morphogenesis.* Wissenschaftliche Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig - Völkenrode, Sonderheft 144.
- SCHNUG, E., S. HANEKLAUS and D. MURPHY (1993): Impact of sulphur supply on the baking quality of wheat. *Aspects of Applied Biology* 36, Cereal Quality III, 337-345.
- SCHROPP, P. und H. WIESER (1994): Wirkung von HMW-Untereinheiten des Glutenins auf die rheologischen Eigenschaften von Weizenkleber. *Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Jahresbericht*, 136-147.
- SEIBEL, W. (1993): Einfluß verschiedener Extensivierungsstufen im Brotgetreideanbau auf die Backqualität und den Nährwert. *Allgemeiner Mühlen-Markt*, 94, 55-61.
- SEILMEIER, W., H.-D. BELITZ and H. WIESER (1991): Separation and quantitative determination of high-molecular-weight subunits of glutenin from different wheat varieties and genetic variants of the variety sicco. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 192, 124-129.
- SHEWRY, P.R., A.S. TATHAM, J. FORDE, M. KREIS and B.J. MIFLIN (1986): The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *J. Cereal Sci.* 4, 97-106.
- SHEWRY, P.R., N.G. HALFORD and A.S. TATHAM (1992): High Molecular Weight Subunits of Wheat GLUTENIN. *J. Cereal Sci.* 15, 105-120.
- SINGH, M.M. and S.R. KAY (1976): Wheat gluten as a pathogenic factor in schizophrenia. *Science* 191, 401-402.
- SPIESS, H. (1996): Was bringt der Anbau von Hofsorten? *Ökologie und Landbau* 1996/3, 6-10.
- STÖPPLER, H. (1988): Zur Eignung von Winterweizensorten hinsichtlich des Anbaues und der Qualität der Produkte in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen. *Diss., Witzenhausen.*
- SYLVESTER-BRADLEY, R. (1990): Does extra nitrogen applied to bread-making wheat benefit the baker? *Aspects of Applied Biology* 25, Cereal Quality II, 217-227.
- WIESER, H. and W. SEILMEIER (1998): The influence of nitrogen fertilisation on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *J. Sci. Food Agric.* 76, 49-55.
- WIESER, H., W. SEILMEIER und H.-D. BELITZ (1980): Vergleichende Untersuchungen über partielle Aminosäuresequenzen von Prolaminen und Glutelinen verschiedener Getreidearten. I Proteinfraktionierung nach Osborne. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 170, 17-26.
- WIESER, H., W. SEILMEIER und H.-D. BELITZ (1991): Klassifizierung der Protein-komponenten des Weizenklebers. *Getreide, Mehl und Brot* 45, 35-38.

- WIESER, H., W. SEILMEIER and H.-D. BELITZ (1994 a): Use of RP-HPLC for a better understanding of the structure and functionality of wheat gluten proteins. In: KRUGER, J.E. and J.A. BIETZ (eds.): High-performance liquid chromatography of Cereal and Legume Proteins. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- WIESER, H., W. SEILMEIER and R. KIEFFER (1994 b): Relationships between the amount of Glutenprotein types and the rheological properties of different wheat cultivars. In: Gluten Proteins 1993 (Association of Cereal Research, Detmold (eds.)), 141-150.
- WRIGLEY, C.W. and J.A. BIETZ (1988): Proteins and amino acids. In: Y. POME-RANZ (ed.): Wheat: Chemistry and Technology (Vol. I), AACCC, St. Paul, USA, 159-275.
- WRIGLEY, C. W., D. L. DU CROS, J. G. FULLINGTON and D. D. KASARDA (1984 a): Changes in polypeptide composition and grain quality due to sulfur deficiency in wheat. *J. Cereal Sci.* 2, 15-24.
- WRIGLEY, D. L. DU CROS, H. J. MOSS, P. J. RANDALL, J. G. FULLINGTON and D. D. KASARDA (1984 b): Effect of sulphur deficiency on wheat quality. *Sulphur in Agric.* 8, 2-7.
- WÜTHRICH, B. (1993): Zur Nahrungsmittelallergie. Häufigkeit der Symptome und der allergieauslösenden Nahrungsmittel bei 402 Patienten - Kuhmilchallergie - Nahrungsmittel und Neurodermitis atopica. *Allergologie* 16, 280-287.
- ZWINGELBERG, H., W. SEIBEL und H. STEPHAN (1984): Vollkornmehle aus Weizen und Roggen - Zusammenhänge zwischen Vermahlung, Korngrößenverteilung und Backergebnis. Veröffentlichungs-Nr. 5246 der Bundesforschungsanstalt für Getreide- und Kartoffelverarbeitung, Detmold.

Danksagung

Nikolai Fuchs (Forschungsring für Biologisch-Dynamische Wirtschaftsweise, Darmstadt) danke ich für sein Interesse an dieser Thematik und für die Vermittlung dieses Projektes an die Heller-Rogau Stiftung.

Der Heller-Rogau Stiftung danke ich für ihre finanzielle Unterstützung. Sie ermöglichte es, diese Ideen zu bearbeiten und ihnen die vorliegende Form zu geben.

Dr. Erhard Breda danke ich für seine selbstlose Unterstützung der Weizenqualitätsforschung besonders in Zeiten knappster Finanzierung. Ohne seine Hilfe wären die Grundlagen zu dieser Studie nicht erarbeitet worden.

Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug und Dr. Silvia Haneklaus (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig) danke ich für die fruchtbare Zusammenarbeit der letzten Jahre in verschiedenen Projekten nicht nur zur Schwefelversorgung und Backqualität von Weizen sowie die Überlassung der Abbildungen 7 und 8.

Anke Fleck danke ich für die gute redaktionelle Bearbeitung des Textes sowie die sorgfältige Erstellung etlicher komplizierter Grafiken.

Schriftenreihe des Instituts für biologisch-dynamische Forschung:

- Band 1: H.-J. Reents (1991): Luftstickstoffbindung von Rotklee bei biologisch-dynamischen Maßnahmen (ISBN 3-928949-00-4) DM 26,00
- Band 2: B.D. Pettersson, H.J. Reents und E.v. Wistinghausen (1992): Düngung und Bodeneigenschaften. Ergebnisse eines 32-jährigen Feldversuches in Järna (ISBN 3-928949-01-2) DM 12,00
- Band 3: H. Spieß (1994): Chronobiologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung lunarer Rhythmen im biologisch-dynamischen Pflanzenbau (ISBN 3-928949-02-0) DM 20,00
- Band 4: H. Spieß (1994): Anhang zu: Chronobiologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung lunarer Rhythmen im biologisch-dynamischen Pflanzenbau - Beschreibung der Einzelergebnisse (ISBN 3-928949-03-9) DM 48,00
- Band 5: J. Raupp (ed.) (1995): Main effects of various organic and mineral fertilization on soil organic matter turnover and plant growth. Proc. 1st meeting: Fertilization Systems in Organic Farming, Darmstadt, May 1995 (ISBN 3-928949-04-7) DM 18,00
- Band 6: U.J. König (1996): Zwischenfruchtanbau von Leguminosen. Verfahren zur Minimierung der Nitratausträge und Optimierung des N-Transfers in die Folgefrüchte (ISBN 3-928949-05-5) DM 28,00
- Band 7: J. Bachinger (1996): Der Einfluß unterschiedlicher Düngungsarten (mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch) auf die zeitliche Dynamik und räumliche Verteilung von bodenchemischen und -mikrobiologischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen- und Wurzelwachstum von Winterroggen (ISBN 3-928949-06-3) DM 28,00
- Band 8: J. Raupp (editor) (1996): Symbiotic nitrogen fixation in crop rotations with manure fertilization. Proc. 3rd meeting: Fertilization Systems in Organic Farming, Copenhagen, March 1996 (ISBN 3-928949-07-1) DM 18,00
- Band 9: J. Raupp (ed.) (1997): Quality of plant products grown with manure fertilization. Proc. 4th meeting: Fertilization systems in Organic Farming, Partala/Finland, July 1996 (ISBN 3-928949-08-X) DM 18,00
- Band 10: H.-J. Reents & U. Mück (1999): Alte und neue Dinkelsorten. Anbaueignung, Back- und Nahrungsqualität (ISBN 3-928949-09-8) DM 20,00
- Band 11: J. Raupp (ed.) (1999): Fertilization systems in organic farming based on long-term experiments. Final report of the concerted action (AIR3-CT94-1940) (ISBN 3-928949-10-1) DM 22,00
- Band 12: U.J. König: Ergebnisse aus der Präparateforschung. Lose-Blatt-Sammlung. ISBN: 3-928949-11-X (Papier-Fassung) DM 49,00
ISBN: 3-928949-12-8 (Folien-Fassung) DM 98,00
- Band 13: J. Raupp (ed.) (2000): (AIR3-CT94-1940) Düngungssysteme im Ökologischen Landbau auf der Basis von Langzeitversuchen (ISBN 3-928949-13-6) DM 22,00
- Band 14: I. Hagel (2000): Biobrot aus Schwefelmangelweizen? (ISBN 3-928949-14-4) DM 22,00

ISBN 3-928949-14-4