

Wirkung von Sorte und Umwelt auf die Viskosität beim Weizen

Lilia Levy, Yosra Ellemsi und Didier Pellet

Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Lilia Levy, E-Mail: lilia.levy@agroscope.admin.ch



Die Weizenvielfalt (und die Vielfalt anderer Arten) wirkt sich auf die Viskosität aus.

Einleitung

Weizen ist zu einem wichtigen Bestandteil von Tierfüttermitteln geworden (Grosjean *et al.* 1998). Grund für seine Verwendung ist sein hoher Energiegehalt und der im Vergleich zu anderen Rohstoffen interessante Preis für diese Energie. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die umsetzbare Energie des Weizens sehr variabel ist. Die Viskosität des wässrigen Weizenextrakts ist ein Qualitätsparameter, der diese umsetzbare Energie beeinflussen kann. So weisen Weizenposten mit einer geringen Viskosität mehr umsetzbare Energie auf als solche mit einer höheren Viskosität (Vilariño 2008).

Obwohl die Kenntnisse über die Wirkung der Viskosität und ihre Bedeutung in der Fütterung von Nicht-Wiederkäuern und auch in der Humanernährung etabliert sind, wurde dieser Qualitätsparameter bisher in der Schweizer Praxis nicht berücksichtigt. Die Beimischung von Zusätzen zum Futter erhöht die umsetzbare Energie des Weizens und vermindert die Viskosität

(Vilariño *et al.* 2009). Doch erlauben es gute Kenntnisse über die Viskosität der Sorten und über den Umwelteinfluss, Futter zu erhalten, das den Bedürfnissen des Viehs gerecht wird.

Die Ziele dieser Arbeit sind:

- Sich über die aktuellen Kenntnisse bezüglich der Viskosität als Qualitätsparameter in der tierischen und menschlichen Ernährung einen Überblick zu verschaffen;
- Die Bandbreite der in den aktuellen Weizensorten vorkommenden Viskosität aufzeigen und die Faktoren, welche ihre Variabilität beeinflussen zu evaluieren;
- Untersuchung der Korrelation zwischen Viskosität und agronomischen sowie qualitativen Parametern.

Was ist Viskosität?

Die Viskosität ist ein indirekter Indikator für die Prävalenz von wasserlöslichen, nicht stärkehaltigen Polysacchariden (Carré *et al.* 1994) in der Zellwand. Die wich-

tigsten für die Viskosität verantwortlichen Polysaccharide sind im Falle von Weizen die Arabinoxylane (Shewry und Ward, 2012) und die Beta-Glucane (vor allem in der Gerste). Diese Strukturen sammeln in ihren verzweigten Molekülen Wasser an (Saulnier *et al.* 2007). Sie gehören zu den Nahrungsfasern, welche die Nahrungsqualität der Getreide erheblich beeinflussen (Saulnier *et al.* 2007).

Die wichtigsten Vorteile der Arabinoxylane für die menschliche Gesundheit sind eine senkende Wirkung auf Lipämie im Blut, einschliesslich auf das schlechte Cholesterin, das bei kardiovaskulären Erkrankungen eine Rolle spielt, sowie ein günstiger Effekt auf die Dickdarmflora, was zu einer Verminderung des Krebsrisikos beitragen kann (Adam *et al.* 2003). Andererseits können Getreide mit einer hohen Viskosität bei der Fütterung von Nicht-Wiederkäuern, vor allem Geflügel und Schweinen, eine antinutritive Wirkung haben (Moss und Givens 2001), nämlich eine verminderte Enzymaktivität im Darmtrakt des Tieres, eine Verlangsamung der Passage des Futterbreis und eine verminderte Futterresorption (Grosjean und Barrier-Guillot 1996; Strnad 2009). Zudem kann eine erhöhte Viskosität des Futters nicht infektiöse Diarrhöen oder ungünstige weiche Ausscheidungen auslösen, was zu einer starken Vermehrung von Mikroben führen kann (Grosjean und Barrier-Guillot, 1996; Strnad 2009). Küken und Schweine reagieren auf eine zu hohe Viskosität des Getreides am empfindlichsten und zeigen den verminderten Energiewert des Getreides am stärksten auf (Vilariño 2008). Dank der Messung der Viskosität verschiedener Getreideposten ist die Wahl des richtigen Futtergetreides für Geflügel und Schweine einfacher (Grosjean *et al.* 1998).

Faktoren, welche die Viskosität beeinflussen

Die Variabilität der Viskosität hängt von mehreren Faktoren ab. Der genetische Determinismus ist der wichtigste bekannte Faktor für die Variabilität der Viskosität (Oury *et al.* 1998; Martinant *et al.* 1998; Gebruers *et al.* 2010; Vilariño 2008).

Verschiedene Studien zeigten widersprüchliche Ergebnisse bezüglich der Umweltwirkung betreffend Viskosität. Zhang *et al.* (2010) wiesen eine Zunahme der Viskosität bei Wasserknappheit oder Hitze nach. Coles *et al.* (1997) fanden eine positive Korrelation zwischen Viskosität und Wasserknappheit. Levy Haener (2011) konnte in einer Untersuchung von sieben verschiedenen Weizensorten nachweisen, dass eine hohe mittlere Tagestemperatur während der kritischen Phase, 15 Tage nach dem Ährenschieben, die Viskosität des Weizens reduziert.

Gemäss Vilariño (2008), haben das Anbauverfahren (vor allem die Düngung, der Saatzeitpunkt und der Fungizideinsatz), der Weizentyp (Brotgetreide oder nicht) >

Zusammenfassung

Die Viskosität des Weizens ist ein qualitatives Merkmal von Getreide. Einige Studien zeigen positive Wirkungen einer erhöhten Viskosität auf die menschliche Gesundheit, wie eine Senkung des Cholesterinspiegels oder eine Reduktion des Krebsrisikos. Bei der Viehfütterung, vor allem von monogastrischen Tieren, ist jedoch eine geringe Viskosität erwünscht. Eine erhöhte Viskosität reduziert nämlich unter anderem die Enzymaktivität im Darm des Tieres, verlangsamt die Passage des Futterbreis und vermindert den Resorptionsgrad des Futters. Um diesen Nachteile entgegenzuwirken, werden den industriellen Futtermischungen Enzyme beigemischt. Die Viskosität von 48 Weizensorten wurde analysiert, 24 Sorten wurden während des dreijährigen Versuchs getestet. Dieses Merkmal ist äusserst sortenabhängig, variiert aber je nach den pedoklimatischen Anbaubedingungen. 70 % der untersuchten Sorten weisen eine mittlere Viskosität auf und sind somit für die Fütterung geeignet. Die Viskosität ist praktisch mit keinem andern agronomischen (insbesondere dem Kornertrag) oder qualitativen Merkmal verknüpft. Allerdings weist eine Teilstichprobe von elf Sorten eine negative Korrelation zwischen der Viskosität und dem Proteingehalt auf. Die Resultate dieser Untersuchung zeigen, dass die von den Produzenten angebauten Sorten in Bezug auf die Viskosität sehr grosse Unterschiede aufweisen. Mit einer genaueren Kenntnis der Viskosität der Sorten und deren gezieltem Einsatz könnte der Gebrauch von Enzymen in den Futtermischungen reduziert werden, vor allem wenn der Züchter den Rohstoff für das Futter selber produziert.

Tab. 1 | Anbautechnik der Versuche und meteorologische Daten: mittlere Temperatur (mittl. T) und kumulierte Niederschläge (kum. N) vom 1. Februar bis 10. Juli für jedes Versuchsjahr

Ort	Höhe ü. Meer (m)	Saatzeitpunkt	Stickstoffdüngung		Erntedatum	mittl. T (°C)	kum. N (mm)
			Datum	N-Gabe (kg N/ha)			
Changins	430	07.10.2009	5/03 und 30/03/2010	40+70	12.07.2010	10,9	337
		11.10.2010	21/02 und 10/03/2011	40+50	07.07.2011	12,6	216
		12.10.2011	26/02,21/03 und 17/04/2012	43+62+35	18.07.2012	11,1	421
Goumoëns	610	14.10.2009	6/03, 20/03 und 8/04 2010	50+60+30	21.07.2010	9,4	266
		12.10.2010	23/02 und 25/03/2011	55+55	28.07.2011	11,6	325
		13.10.2011	07/03 und 26/03/2012	50+90	23.07.2012	9,8	368

und die Art der Kornlagerung keinen Einfluss auf die Variabilität der Viskosität. Die Bewässerung und die Wasserknappheit haben nur einen geringen Einfluss auf die Viskosität (Levy Haener 2011).

Viskosität sowie agronomische und qualitative Parameter

Wenige agronomische und qualitative Parameter scheinen mit der Viskosität verknüpft. Der Kornertrag, das Hektolitergewicht oder das Tausendkorngewicht sind nicht mit der Viskosität korreliert (Dornez *et al.*, 2008a; Levy Haener 2011). Bei den qualitativen Parametern haben einige Studien einen Zusammenhang zwischen Viskosität und Proteinen nachgewiesen (Dornez *et al.* 2008b; Levy Haener 2011), andere Untersuchungen haben keinen Zusammenhang gezeigt (Carré und Oury 2001).

Material und Methoden

In den Jahren 2010, 2011 und 2012 wurden insgesamt achtundvierzig Weizensorten getestet. Diese Sorten gehören zu unterschiedlichen Qualitätsklassen. Die Feldversuche wurden als Gitteranlage angelegt, gesät als Kleinparzelle (7,1 m²) in dreifacher Wiederholung. Die Hälfte der Sorten (24) war während allen drei Versuchsjahren angebaut worden und diente als Grundlage für die statistischen Analysen. Die Versuche wurden als Extenso durchgeführt (ohne den Einsatz von Wachstumsregulatoren noch von Fungiziden), mit maximal 140 kg N/ha/Jahr (Tab. 1), an zwei sehr gegensätzlichen Orten des Kantons Waadt (Changins und Goumoëns). Goumoëns zeichnet sich gegenüber Changins durch tief-

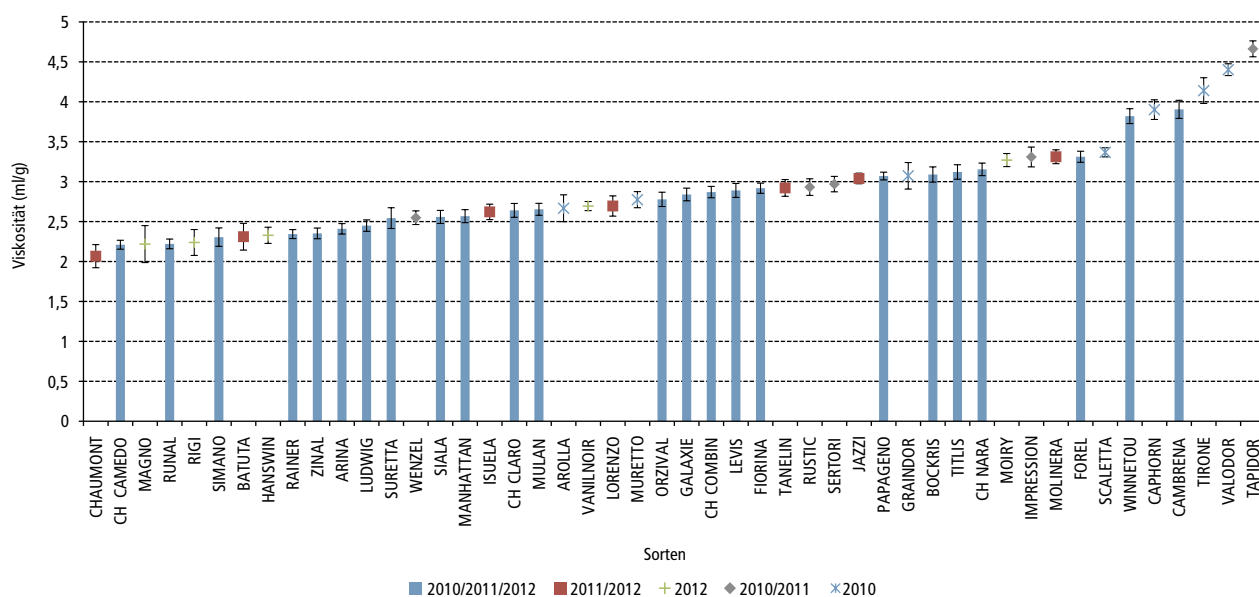


Abb. 1 | Mittlere Viskosität von 48 Sorten, die in den Jahren 2010, 2011 und 2012 in Changins und in Goumoëns angebaut wurden. Nur die 24 Sorten, die in allen drei Jahren analysiert wurden, werden als Säulendiagramm dargestellt (n = 18); die Symbole zeigen den Durchschnittswert der während eines Jahres (2010, 2012; n = 6) oder während zwei Jahren (2010/2011, 2011/2012; n = 12) getesteten Sorten. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

Tab. 2 | Qualitative (Viskosität und Proteingehalt) und agronomische (Ertrag, TKG und HLG) Parameter der 24 Sorten, die über drei Jahre (2010, 2011 und 2012) an zwei Orten (Changins und Goumoëns) angebaut wurden. Die Mittelwerte sind mit der Standardabweichung (n= 18) angegeben

		Viskosität (ml/g)	Proteingehalt (%)	Ertrag (dt/ha)	TKG (g)	HLG (kg)
Sorten	Qualitäts- klasse					
CH CAMEDO	TOP	2,2 ±0,06	13,1 ±0,29	67,0 ±4,42	45,8	79,2
RUNAL	TOP	2,2 ±0,06	14,1 ±0,20	63,8 ±3,77	47,5	80,9
RAINER	II	2,3 ±0,06	11,7 ±0,31	73,0 ±5,31	46,1	80,5
SIMANO	I	2,3 ±0,12	13,0 ±0,34	66,4 ±4,05	48,1	78,9
ARINA	I	2,4 ±0,07	13,9 ±0,24	61,7 ±3,78	44,9	81,6
LUDWIG	II	2,4 ±0,07	11,8 ±0,30	68,9 ±3,85	49,8	79,7
ZINAL	I	2,4 ±0,07	13,1 ±0,25	66,3 ±4,42	46,8	82,1
SURETTA	I	2,5 ±0,13	13,6 ±0,27	62,3 ±4,11	43,2	77,7
CH CLARO	TOP	2,6 ±0,09	13,0 ±0,26	68,0 ±4,85	46,1	79,5
MANHATTAN	TOP	2,6 ±0,08	10,5 ±0,30	75,5 ±5,11	44,7	76,1
SIALA	TOP	2,6 ±0,08	13,5 ±0,29	63,6 ±4,76	46,8	80,9
MULAN	F	2,7 ±0,07	10,9 ±0,26	73,2 ±4,30	46,8	79,3
GALAXIE	II	2,8 ±0,08	12,3 ±0,35	63,5 ±4,39	43,8	78,4
ORZIVAL	I	2,8 ±0,09	13,0 ±0,22	72,0 ±3,89	47,0	79,0
CH COMBIN	I	2,9 ±0,07	12,5 ±0,35	65,4 ±4,63	51,8	78,9
FIORINA	I	2,9 ±0,06	13,0 ±0,40	67,3 ±4,23	47,3	81,2
LEVIS	II	2,9 ±0,09	12,9 ±0,23	65,6 ±3,89	47,9	80,0
BOCKRIS	F	3,1 ±0,09	11,5 ±0,27	75,7 ±4,53	49,4	77,6
PAPAGENO	F	3,1 ±0,05	10,8 ±0,31	72,6 ±5,20	42,8	80,2
TITLIS	TOP	3,1 ±0,09	13,8 ±0,29	63,4 ±3,91	46,8	81,1
CH NARA	TOP	3,2 ±0,08	14,1 ±0,22	63,4 ±4,25	43,0	82,1
FOREL	II	3,2 ±0,11	13,2 ±0,26	67,0 ±4,25	42,1	81,0
WINNETOU	F	3,8 ±0,09	10,7 ±0,20	75,8 ±4,38	43,4	76,9
CAMBRENA	B	3,9 ±0,11	11,4 ±0,27	71,1 ±4,05	42,8	78,6
LSD (%)		0,12 **	0,44 **	5,81 **	1,28 **	1,82 **
Jahr						
2010		2,9 ±0,05	12,4 ±0,12	76,0 ±0,94	48,0	78,7
2011		2,7 ±0,04	13,0 ±0,16	68,2 ±2,15	46,8	80,6
2012		2,8 ±0,05	12,3 ±0,11	60,0 ±0,91	43,4	79,6
LSD (%)		0,04 **	0,16 **	2,06 **	0,45 **	0,64 **
Ort						
Changins		2,9 ±0,04	12,8 ±0,13	56,3 ±0,99	46,0	80,5
Goumoëns		2,7 ±0,41	12,4 ±0,97	79,7 ±3,71	46,1	78,8
LSD (%)		0,04 **	0,13 **	1,68 **	n.s.	0,52 **

*signifikant mit P = 0, 05; ** signifikant mit P = 0,01; n.s.: nicht signifikant.
B = Biskuitsorte und F = Futtersorte.

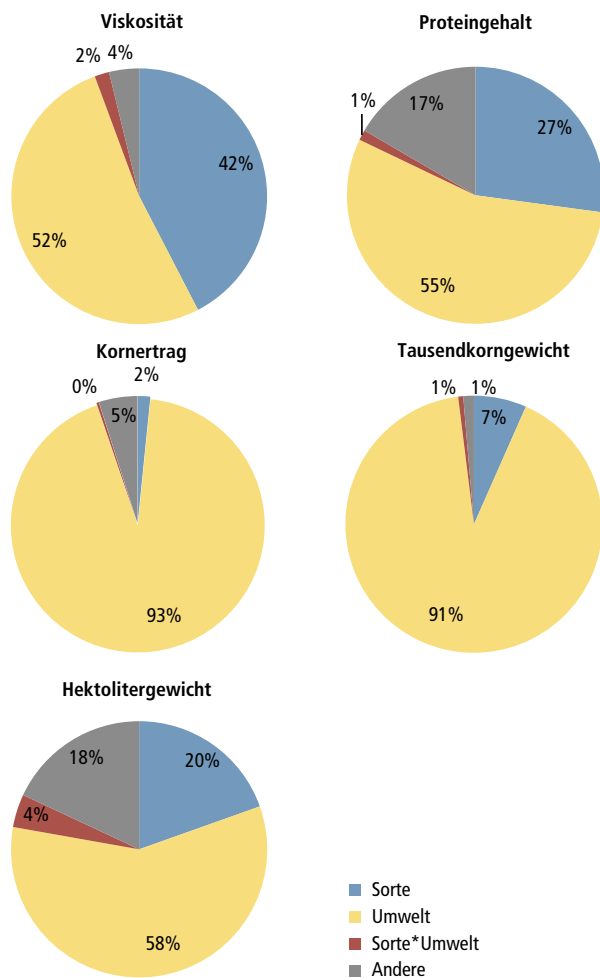


Abb. 2 | Anteil der gesamten Variabilität (mittlere Quadratsummen der Varianzanalyse) der verschiedenen Parameter (Viskosität, Proteingehalt, Kornertrag, Tausendkorngewicht und Hektolitergewicht), der durch Sorte (24), Umwelt (6 Kombinationen Ort x Jahr) und die Sorte*Umwelt Interaktion bedingt wird. Andere Interaktionen und Fehler sind unter «Andere» zusammengefasst.

gründigere Böden aus, reich an organischer Substanz. In Changins sind die Böden lehmig. Betrachtet man die Periode vom Vegetationsbeginn – Reife (anfangs Februar – 10. Juli), so war das Jahr 2012 am feuchtesten, 2011 war das wärmste und 2010 das kälteste Jahr. Changins war im 2011 trockener, in Goumoëns war es hingegen im Jahr 2010 trockener als in Changins.

Beobachtungen und Messungen

Für jede Wiederholung wurden der Ertrag (bei 15 % Feuchtigkeit standardisiert), das Tausendkorngewicht (TKG), das Hektolitergewicht (HLG), der Proteingehalt und die Viskosität gemessen. Der Zeleny-Index, ein Test für die Proteinqualität, wurde über eine Mischung der drei Wiederholungen ermittelt.

Der Proteingehalt der Körner wurde mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS, Büchi Nirflex N-500, Büchi Labor-technik AG, Flawil) gemessen. Die potenzielle Viskosität wurde mit einem Viskosimeter (AVS370, Schott-Instruments, Deutschland) mit Mikro-Ostwald Kapillaren von 2 ml Volumen gemessen. Die Resultate wurden in (ml/g Mehl) ausgedrückt und als Logarithmus der Viskosität des Extrakts im Vergleich zur Pufferlösung berechnet.

Statistische Analyse

Die Varianzanalyse und der Fisher-Test wurden mit dem Programm WIDAS (Delivery and Analysis System, Waelti AG, Buchs, Schweiz) berechnet. Die Korrelationen nach Pearson wurden mit XLSTAT 2011.2.04 ermittelt, die Signifikanz der Steigung wurde mit dem Programm Sigma-Plot 12.0 eruiert.

Resultate und Diskussion

Viskosität

In den drei Versuchsjahren wurde die Viskosität von 48 Sorten analysiert. Die Viskosität der Sorten ist sehr unterschiedlich und variiert bei den Einzelproben von 2,1 bis zu 5,7 ml/g. Die Proben wurden in fünf Kategorien aufgeteilt (Abb. 1): 24 Sorten in den Jahren 2010, 2011 und 2012 vorkommend, zwölf Sorten vorkommend in zwei aufeinander folgenden Jahren (2010 und 2011 oder 2011 und 2012), sechs Sorten, die nur in einem einzigen Jahr angebaut wurden (2010 oder 2012).

Tabelle 2 zeigt die statistischen Resultate für die 24 über alle drei Versuchsjahre untersuchten Sorten. Die Futterweizensorten Winnetou und Bockris sind mit einem Ertrag von 70 dt/ha am produktivsten. Sie zeichnen sich durch erhöhte Viskosität der Körner (3,8 respektive 3,1 ml/g) und einen geringen Proteingehalt (10,7 respektive 11,5 %) aus. Die Biskuitweizensorte Cambrena zeigt ähnliche Eigenschaften wie die Futterweizen und die höchste Viskosität (3,9 ml/g). Die Sorten der Klasse TOP CH Camedo und Runal haben die geringste Viskosität (in der Höhe von 2,2 ml/g), einen bedeutenden Proteingehalt (13,1 respektive 14,1 %) aber unterdurchschnittliche Erträge (67 respektive 63,8 dt/ha; Abb. 1). Die Sorten Titlis und CH Nara haben einen grossen Proteingehalt (13,8 respektive 14,1 %) und eine hohe Viskosität (3,1 respektive 3,2 ml/g).

Klimatisch betrachtet waren die Jahre 2010, 2011 und 2012 sehr unterschiedlich. Dies zeigt sich bei allen beobachteten Kriterien (Tab. 2). In diesem Versuch schlagen sich die pedoklimatischen Unterschiede zwischen den beiden Versuchsorten in ausgeprägten Unterschieden bei den meisten beobachteten Kriterien nieder. Nur das TKG unterscheidet sich zwischen den beiden Standorten nicht.

Tab. 3 | Pearson-Korrelationen (r) zwischen den verschiedenen Parametern mit Signifikanzniveau (Analyse von 24 Sorten, an zwei Standorten während drei Jahren getestet)

Parameter	Kornertrag (dt/ha)	TKG (g)	HLG (kg/ha)	Proteingehalt (%)
TKG (g)	0,39 ***			
HLG(kg/ha)	-0,21 ***	0,09 n.s.		
Proteingehalt (%)	-0,38 ***	-0,18 ***	0,21 ***	
Proteinertrag (kg/ha)	0,90 ***	0,33 ***	-0,13 **	0,04 n.s.
Viskosität (ml/g)	0,08 n.s.	0,05 n.s.	-0,07 n.s.	-0,36 ***
Frühreife	0,26 ***	-0,04 n.s.	-0,25 ***	-0,38 ***
Pflanzenlänge (cm)	0,47 ***	0,08 n.s.	-0,21 ***	-0,46 ***

Signifikanzniveau: n.s., *, **, *** entspricht $P > 0,05$, $< 0,05$, $< 0,01$, $< 0,001$.

Faktoren, welche die qualitativen und agronomischen Parameter beeinflussen

Die Variabilität der Viskosität wird mit jeweils 52 und 42 % (Abb. 2). vor allem der Wirkung der Umwelt und der Sorte zugeschrieben. Gemäss Literatur (Oury *et al.* 1998; Martinant *et al.* 1998; Gebruers *et al.* 2010; Vilariño, 2008) ist bei der Viskosität der genetische Determinismus ausgeprägt. In dieser Untersuchung erreicht die sortenbedingte Variabilität eine ansehnliche Grösse (42 %), ist aber kleiner als erwartet. In der Tat waren die Unterschiede in der Viskosität der gleichen Sorte, die an verschiedenen Orten angebaut worden war, grösser als die Unterschiede zwischen einer Sorte mit hoher Viskosität gegenüber einer Sorte mit geringer Viskosität. Diese Abweichungen werden hauptsächlich durch einige wenig stabile Sorten verursacht, nämlich Suretta und Simano; diese erzielten 2012 in Goumoëns besonders tiefe Werte (ungefähr 60 % ihres Mittelwerts). Andere Sorten wie Orzival, CH Claro oder Cambrena sind ebenfalls für diese grossen Schwankungen der Werte verantwortlich.

Von einigen Ausnahmen abgesehen bestätigen unsere Resultate gleichwohl die Beobachtungen von Oury *et al.* (1998), wonach die Viskosität ein relativ stabiles Merkmal ist und hauptsächlich vom Genotyp abhängt. Im Vergleich zu den restlichen analysierten Kriterien, wie dem Proteingehalt oder dem Kornertrag, wird die Viskosität vor allem durch die Sortenwahl beeinflusst.

Die Schwankungen im Proteingehalt der Körner und im HLG lassen sich ebenfalls zu einem guten Teil durch die Wahl der Sorte erklären (27 % respektive 20 %), doch den entscheidenden Einfluss hat die Umwelt (55 % respektive 58 %). Was den Proteingehalt angeht, so haben Mut *et al.* (2010) ähnliche Resultate wie wir erzielt.

Die Variabilität des Kornertrags und des TKG sind beinahe ganz auf die Umweltwirkung zurückzuführen (93 % respektive 91 %). Die wichtigsten Faktoren, welche das Wachstum des Weizens limitieren, sind in der

Schweiz die zu grosse Nässe bis zum 3-Blattstadium und während des vegetativen Wachstums, eine ungenügende Sonneneinstrahlung (während des reproduktiven Wachstums), aber auch Frostschäden (in der höheren Lagen) und die Hitze (Holzkaemper *et al.* 2014). Im Jahr 2010 herrschten ideale Bedingungen für eine reichliche Ernte, im Gegensatz dazu fiel im 2012 der Kornertrag im Mittel um 16 dt/ha kleiner aus als im 2010. Die beiden Versuchsorte waren ebenfalls sehr unterschiedlich (Ertragsdifferenz durchschnittlich 23 dt/ha). Aus diesem Grund muss die Variabilität des Kornertrags hauptsächlich mit den verschiedenartigen pedoklimatischen Bedingungen erklärt werden.

Korrelation zwischen den verschiedenen qualitativen und agronomischen Parametern

Der Ertrag ist positiv mit dem TKG, dem Datum des Ährenschiebens sowie der Pflanzenlänge korreliert (Tab. 3). Konform zu den Beobachtungen von Grant und McCalla (1949), sind der Kornertrag und der Proteingehalt negativ ($r=-0,38$) miteinander korreliert. Die geerntete Proteinmenge (in kg/ha) korreliert aber stark mit dem Kornertrag. Wie in der Literatur beschrieben (Dornez *et al.* 2008a; Levy Haener *et al.* 2013), sind der Kornertrag und die Viskosität nicht miteinander korreliert. Innerhalb jeder Qualitätsklasse kann die Viskosität stark voneinander abweichen: Runal und CH Nara, zwei Sorten der Klasse Top, haben vergleichbare Ertrag und Proteingehalt, während sie sich in der Viskosität stark voneinander unterscheiden (2,2 respektive 3,2 ml/g). Die gleiche Beobachtung kann bei den Futtersorten Mulan (2,7 ml/g) und Winnetou (3,8 ml/g) gemacht werden.

Die negative Korrelation zwischen Viskosität und Proteingehalt ($r=-0,36$) wurde bereits von Dornez *et al.* (2008b) festgehalten, diese hatten indessen eine stärkere Korrelation beobachtet ($r=-0,52$), die aber statistisch nicht gesichert war. Unsere Resultate bestätigen auch eine frühere Untersuchung von Levy Haener (2011),

Tab. 4 | Merkmale der linearen Regression zwischen Viskosität und Proteingehalt für 11 Sorten mit einem Bestimmtheitsmass (R^2), das signifikant ungleich 0 ist

Sorte	Bestimmtheitsmass	Steigung	Anzahl Beobachtungen
CH CLARO	$R^2 = 0,57^{**}$	$a = -0,24^{**}$	n=16
CH COMBIN	$R^2 = 0,62^{**}$	$a = -0,16^{**}$	n=18
FOREL	$R^2 = 0,36^*$	$a = -0,16^{**}$	n=17
GALAXIE	$R^2 = 0,29^*$	$a = -0,12^*$	n=17
LEVIS	$R^2 = 0,26^*$	$a = -0,20^*$	n=18
LUDWIG	$R^2 = 0,26^*$	$a = -0,12^*$	n=17
MULAN	$R^2 = 0,25^*$	$a = -0,14^*$	n=18
PAPAGENO	$R^2 = 0,33^*$	$a = -0,09^*$	n=18
RAINER	$R^2 = 0,26^*$	$a = -0,09^*$	n=18
SIALA	$R^2 = 0,52^{**}$	$a = -0,20^{**}$	n=18
WINNETOU	$R^2 = 0,40^{**}$	$a = -0,30^*$	n=18

Signifikanzniveau: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.

die zeigt, dass die potenzielle Viskosität des Weizens abnimmt, wenn der Proteingehalt zunimmt, dies ist für die Tierproduktion interessant. Carré und Oury hingegen haben (2001) gezeigt, dass eine Zunahme der Proteinkonzentration keine Veränderungen der potenziellen Viskosität nach sich zieht. Unsere Resultate könnten dazu beitragen, diesen Widerspruch aufzuklären. Wenn man die Resultate für die Viskosität und den Proteingehalt für jede Sorte separat analysiert, stellt man nämlich fest, dass elf der analysierten Sorten eine negative Korrelation zwischen den beiden Parametern (Tab. 4) aufweisen, wohingegen dreizehn Sorten keine Relation zeigen. Eine weitere Analyse nach Umwelt, über alle Sorten zusammen, zeigt eine signifikante negative Korrelation in vier von sechs Fällen. Es sieht so aus, als ob der Antagonismus zwischen Viskosität und Proteingehalt keine allgemeingültige Regel ist, sondern vom analysierten Sorten-Set und von den pedoklimatischen Eigenschaften abhängt.

Nur wenige Sorten erfüllen die gestellten Bedingungen: hoher Proteingehalt und geringe Viskosität bei gleichzeitig gutem Kornertrag. Die Sorte Mulan hat für die Viskosität die tiefsten Werte, doch beim Proteingehalt ist die Sorte Bockris deutlich interessanter. Bouguennec *et al.* (2001) sind der Meinung, dass bei Futterweizen die Viskosität 3 ml/g nicht übersteigen sollte, um in Futtermischung verwendet zu werden. Bockris übersteigt diesen Grenzwert durchschnittlich um 0,1 ml/g, doch unser Versuch hat gezeigt, dass die Viskosität je nach Umwelt stark variiert. Deshalb könnte Bockris durchaus eine interessante Sorte sein, wenn sie an Standorten angebaut wird, wo die Viskosität gering bleibt.

Schlussfolgerungen

Ein stark signifikanter Einfluss der Sorte auf die Viskosität wurde beobachtet, diese Viskosität hängt aber auch sehr von den pedoklimatischen Bedingungen ab. Über alle Sorten zusammen wurde eine negative Korrelation (schwach, aber signifikant) zwischen der Viskosität und dem Proteingehalt des Kornes festgestellt; eine Analyse nach Sorte zeigt eine signifikante negative Korrelation bei beinahe der Hälfte der getesteten Sorten.

Sieht man vom Einfluss der Umwelt auf die Ausprägung der Viskosität ab, wären beinahe 70% der untersuchten Weizensorten für die Fütterung von monogastriischen Tieren geeignet. Weil aktuelle Kenntnisse über die Viskosität der Sorten fehlen, wird immer noch eine grosse Anzahl von Sorten mit einer erhöhten Viskosität im Futterbau angebaut. Die in dieser Studie ermittelten Viskositätsunterschiede zwischen den Sorten belegen, dass bereits heute Sorten existieren, die sowohl eine geringe Viskosität besitzen, aber gleichzeitig ebenso ertragreich sind, wie Sorten mit hoher Viskosität.

Die Zukunft wird zeigen, ob diesem Kriterium genügend Bedeutung zugeschrieben wird, damit es künftig in die Empfehlungen an die Produzenten einfließt. ■

Riassunto**Effetti della varietà e dell'ambiente sulla viscosità del frumento**

La viscosità del frumento è una caratteristica qualitativa dei cereali. Alcuni studi rivelano una correlazione tra una viscosità elevata ed effetti positivi sulla salute umana, quali l'abbassamento del colesterolo o la riduzione del rischio di cancro. Ma nel contesto del foraggiamento del bestiame, soprattutto nel caso degli animali monogastrici, sono preferibili viscosità basse. Una viscosità elevata, riduce infatti, tra le altre cose, l'attività enzimatica nell'intestino dell'animale, rallenta il passaggio del bolo alimentare e diminuisce il tasso di assorbimento degli alimenti. Per contrastare questi inconvenienti, l'industria arricchisce di enzimi le miscele per la foraggicoltura. È stata analizzata la viscosità di 48 varietà di frumento, e 24 varietà sono state testate nei tre anni di sperimentazione. Questa caratteristica dipende in larga misura dalla varietà, ma varia anche in base alle condizioni pedoclimatiche della coltura. Il 70 % delle varietà studiate presenta una viscosità media adatta al foraggiamento. La viscosità non è correlata praticamente con nessun'altra caratteristica agronomica (in particolare il rendimento in grano) o qualitativa. Tuttavia, un sottocampione di 11 varietà mostra una correlazione negativa tra viscosità e tenore di proteine.

I risultati dello studio mostrano che i produttori dispongono di varietà con viscosità molto diverse. Una conoscenza approfondita della viscosità delle varietà e il loro utilizzo mirato potrebbero contribuire a ridurre l'utilizzo di enzimi nelle miscele, soprattutto nel caso in cui l'allevatore produca egli stesso la materia prima per il foraggiamento degli animali.

Literatur

Das Literaturverzeichnis ist bei der Autorin erhältlich.

Summary**Effects of variety and environment on wheat viscosity**

Wheat viscosity is a qualitative characteristic of cereals. Certain studies indicate positive effects for human health linked to high viscosity, such as the lowering of cholesterol or a reduction in cancer risks. Where the feeding of livestock is concerned, however – especially monogastric animals – low levels of viscosity are desirable. In fact, among other things, a high viscosity reduces enzymatic activity in the animal's gut, slows down the passage of the alimentary bolus, and reduces the rate of absorption of the feed. To counteract these disadvantages, the industry enriches forage mixtures with enzymes. The viscosity of 48 varieties of wheat was analysed, with 24 varieties being tested during the three years of the trial. Although this trait is highly dependent upon variety, it also varies according to the pedoclimatic conditions of the crop. Seventy per cent of the varieties studied have an average viscosity that is suitable for feed. Viscosity is linked to practically no other agronomic or qualitative characteristic (particularly kernel yield). Despite this, a sub-sample of 11 varieties shows a negative correlation between viscosity and protein content. The results of this study show that producers have access to varieties with highly contrasting viscosities. In-depth knowledge of the viscosities of the different varieties and their targeted usage might contribute to a reduction in the use of enzymes in the mixtures, especially where the breeders themselves produce the raw material for feeding their livestock.

Key words: viscosity, wheat, varieties, protein content, GxE interaction.