

Einfluss von Sorte und Umwelt auf Qualitätsparameter bei Bio-Winterweizen

Samuel Knapp¹, Rosalie Aebi¹, Martin Anders¹, Cécile Brabant² und Jürg Hiltbrunner¹

¹Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 8046 Zürich, Schweiz

²Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Jürg Hiltbrunner, E-Mail: juerg.hiltbrunner@agroscope.admin.ch



Abb. 1 | Freigeschobenes Brot (Grossbackversuch) der Sorten Titlis (links) und Suretta (rechts) vom Standort Vufflens (VD) aus dem Jahr 2013. (Foto: Richemont Fachschule)

Einleitung

Sowohl in der Schweizer Weizenzüchtung als auch -produktion nimmt die Backqualität eine zentrale Rolle ein. Weizen aus biologischem Anbau muss in der industriellen Verarbeitung die gleichen Qualitätsansprüche erfüllen wie Weizen aus konventionellem Anbau (Keiser und Degen 2013). Obwohl den Produzenten ein interessanter Preis bezahlt wird, stammt nur gut 35 % des in der Schweiz verarbeiteten Bio-Brotweizens aus dem Inland. Als Grund wird neben der zu geringen Fläche oft auch die zu geringe Backqualität genannt.

Qualität wird nicht nur über die Form und den Geschmack des Endprodukts definiert, sondern auch aufgrund von Inhaltsstoffen und Verarbeitungseigenschaften. Letzteres ist besonders in der industriellen Verarbeitung wichtig, wo eine hohe und konstante technologische Qualität nachgefragt wird. Aufgrund der Vielzahl an Eigenschaften kann die Qualität nur unzureichend über ein einzelnes oder wenige Kriterien bestimmt werden. Diese Komplexität wird in der Vielzahl an Parametern deutlich (elf Labor- und sechs Brot-Parameter), die zur Bewertung von Weizensorten in der Schweiz verwendet werden (Schema 90, Saurer *et al.* 1991).

Die verschiedenen Qualitätsparameter werden von der Genetik, von der Umwelt (Standort und Witterung), von der Bewirtschaftung und deren Wechselwirkungen beeinflusst. Im biologischen Landbau sind aufgrund der Einschränkung der Hilfsstoffe die Möglichkeiten zur Beeinflussung über die Bewirtschaftung limitiert und somit die Wahl der Sorte und der Einfluss des Standortes von grösserer Bedeutung.

Um Möglichkeiten zur Beeinflussung der Qualität zu eruieren und das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren besser zu verstehen, wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Wie sind die einzelnen Qualitätsmerkmale miteinander korreliert?
- Welche Wirkung haben die Sorte, die Umwelt und die Wechselwirkung auf die verschiedenen Qualitätsmerkmale?
- Wie unterscheiden sich die Sorten in der Stabilität der Qualitätsparameter?

Material und Methoden

Im von Agroscope koordinierten Bio-Weizenversuchsnetz (Kleinparzellenversuche mit drei Wiederholungen, Anders und Hiltbrunner 2014) wurden an zwölf (Kandi-

daten-)Sorten der Klassen I und TOP nach swiss granum in den Jahren 2012 und 2013 die Qualitätsmerkmale des Schema 90 (Saurer *et al.* 1991) sowie das Tausendkorn- (TKG) und das Hektolitergewicht (HLG) erhoben (Tab. 1). Die Versuche wurden ortsüblich und nach Bio-Richtlinien bewirtschaftet. Die Tests fanden in den Labors der Bäckerfachschule Richemont und von Agroscope Changins statt. Die Auswertungen basieren auf 14 Umwelten (Ort-Jahr-Kombinationen), wobei die Merkmale der Backqualität nicht in allen Versuchen erhoben werden konnten (Tab. 1). Zur Charakterisierung der Frühreife der Sorten wurde der Zeitpunkt des Ährenschiebens erfasst.

Varianzkomponenten wurden mit dem Modell ($y = \text{Sorte } [S] + \text{Umwelt } [U]$), bei dem beide Faktoren als zufällig gesetzt wurden, berechnet. Für die Berechnung der Mittelwerte wurde dasselbe Modell mit beiden Faktoren als fix verwendet. Zur graphischen Darstellung der Korrelation zwischen den Merkmalen wurde mit den skalierten Sortenmittelwerten eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Um die Wechselwirkung zwischen den Sorten und der Umwelt detaillierter zu untersuchen, wurden die Residuen des fixen Modells ebenfalls mit einer Hauptkomponentenanalyse analysiert (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction [AMMI], Gauch 2006). Die Umweltkovariable «Hitzestress 25» wurde nach Holzkämper *et al.* (2014) für jede Umwelt aus Daten der nächstgelegenen Wetterstationen berechnet (Durchschnitt der Tagesmaximaltemperaturen während der Vegetationszeit, an denen die Maximaltemperatur $> 25 \text{ }^\circ\text{C}$ betrug). Alle statistischen Auswertungen wurden mit R durchgeführt (R Core Team 2014).

Resultate und Diskussion

Zusammenhang der untersuchten Qualitätsmerkmale

Die ersten zwei Achsen der Hauptkomponentenanalyse erklären 66,8% der Gesamtvariabilität zwischen den Merkmalen (Abb. 2). Merkmale, die in die gleiche (bzw. entgegengesetzte) Richtung zeigen, sind positiv (bzw. negativ) miteinander korreliert. Liegen zwei Merkmale im rechten Winkel zueinander, sind sie nicht korreliert. Die Sortenmittelwerte des Merkmals Farinogramm-Konsistenz wurden mit -1 multipliziert, da dieser Wert möglichst gering sein soll.

Anhand der Korrelationen zwischen den Merkmalen (Daten nicht gezeigt) sind vier Gruppen (G1–G4) identifizierbar, sodass sich alle Merkmale, die signifikant ($p < 0,05$) positiv miteinander korreliert sind, innerhalb einer Gruppe befinden und zwischen den Gruppen keine signifikant positiven Korrelationen bestehen:

Zusammenfassung

Aktuell werden in der Schweizer Weizenproduktion Massnahmen zur Verbesserung der Qualität geprüft. Im Anbau kann die Qualität durch die Standortwahl, die Bewirtschaftung und die Sortenwahl beeinflusst werden. Um die Effekte von Sorte und Umwelt zu untersuchen, wurden im Bio-Weizenversuchsnetz in den Jahren 2012 und 2013 an zwölf Sorten umfassende Qualitätsuntersuchungen durchgeführt. Es wurde ersichtlich, dass viele aufwendig messbare Qualitätsmerkmale mit einfacher messbaren Merkmalen signifikant korrelieren, wobei das Tausendkorngewicht und das Hektolitergewicht in keinem signifikanten Zusammenhang mit anderen Merkmalen stehen. Der Einfluss der Genetik ist bei den meisten Qualitätsmerkmalen stärker als derjenige der Umwelt. Somit sind die Züchtung und die Sortenwahl sehr wichtig. Die Analyse der Wechselwirkung von Sorte und Umwelt zeigte, dass einige Sorten bei hohen Temperaturen während der Kornfüllungsphase bei wichtigen Qualitätsparametern wie z. B. Proteingehalt und Kastenbackvolumen signifikant schlechtere Werte erzielen. Diese unterschiedliche Reaktion der Sorten korrelierte signifikant mit dem Zeitpunkt des Ährenschiebens. Sorten, die auf die hohen Temperaturen reagierten, zeigten bei den entsprechenden Merkmalen auch eine geringere Stabilität. Diese Erkenntnisse können nach erfolgter Validation an einem grösseren Datensatz für die verschiedenen Glieder der Wertschöpfungskette für die Sicherstellung einer qualitativ hochstehenden Schweizer (Bio-) Weizenproduktion hilfreich sein.

- G1: Protein- und Glutengehalt, Resistenz, Wasseraufnahme und Konsistenzabfall (gemessen am Farinogramm), Volumen der drei Backtests, Qualitätspunkte des Grossbackversuchs
- G2: Dehnbarkeit des Extensogramms (Elastizität des Teigs), Sedimentationswert nach Zeleny
- G3: Fläche, Widerstand und Verhältniszahl Widerstand/Dehnbarkeit des Extensogramms, Glutenindex
- G4: Amylogramm, Fallzahl

Die Hauptkomponentenanalyse ermöglicht auch, die Stärken und Schwächen der Sorten bei den Qualitätsmerkmalen zu visualisieren. Die Sorte Molinera ist am

Tab. 1 | Minimum und Maximum der Sorten- und Umweltmittelwerte für die untersuchten Merkmale bei zwölf Winterweizensorten und der angegebenen Anzahl Umwelten in den Jahren 2012 und 2013 im Bio-Sortenversuchsnetz von Agroscope (Min = Minimum; Max = Maximum)

Merkmalsgruppe	Merkmal (Einheit)	Abkürzung	Sorten:	Umwelt:	Anzahl Umwelten
			Min–Max	Min–Max	
Indirekte Merkmale	Hektolitergewicht (kg)	HLG	77–82	76–85	14
	Tausendkorngewicht (g)	TKG	39–50	38–50	14
	Proteingehalt, bei 0 % Feuchtigkeit (%)	PR	12,5–15,6	12,4–15,4	14
	Feuchtglutengehalt, bei 14 % Feuchtigkeit (%)	GL	26–36	25–33	14
	Glutenindex (%)	GI	49–99	69–87	14
	Fallzahl (s)	FZ	303–463	244–447	14
Rheologische Merkmale	Zeleny Sedimentation (ml)	SED	61–72	53–76	14
	Farinogramm Wasseraufnahme (%)	FWA	58–67	59–64	14
	Farinogramm Konsistenzabfall (FE)	FKA	55–103	60–106	14
	Farinogramm Resistenz (min)	FR	2,3–7,3	2,5–6,6	14
	Extensogramm Fläche (cm ²)	EF	79–185	99–143	14
	Extensogramm DW5/DB (Verhältnis)	DW5/DB	1,2–2,7	1,4–2,9	14
Backqualität	Amylogramm Viskosität (AE)	AMY	632–1591	379–1535	14
	Rapid mix test, Volumen (ml)	RMT	431–586	494–542	9
	Kastenbackversuch, Volumen (ml)	KV	456–636	478–579	9
	Grossbackversuch, Volumen (ml)	BV	1404–2105	1608–1936	11
	Grossbackversuch, Qualität (Punkte, 1–100)	BQ	58–85	71–81	11

DW5 = Dehnwiderstand (Höhe der Extensogrammkurve nach 5 cm), DB = Dehnbarkeit.

meisten in Richtung von G1 positioniert; sie weist von den untersuchten Sorten bei beinahe allen Merkmalen dieser Gruppe die höchsten Werte auf (Abb. 2). Hingegen ist die Sorte A7T.9 auf der gegenüberliegenden Seite positioniert. Sie weist bei den Merkmalen von G1 eher tiefere Werte auf, dafür aber den höchsten Glutenindex.

Die Korrelationen einfach zu untersuchender Merkmale (indirekte Merkmale) mit aufwendigeren Merkmalen (rheologische Merkmale, Backqualität) zeigen, dass es möglich ist, mit einfacheren Methoden die Qualität von Sorten grob einzustufen. Insgesamt sind aber mindestens vier Merkmale zu erfassen (Glutenindex, Fallzahl, Zeleny und Protein), um alle der vier hier identifizierten Gruppen zu charakterisieren. TKG und HLG sind nicht mit anderen Qualitätsmerkmalen korreliert. Sie sind somit als separate Eigenschaften zu betrachten.

Dass die Qualität nicht alleine durch den Proteingehalt vorhergesagt werden kann, wurde bereits in anderen Untersuchungen belegt (Fossati *et al.* 2010). Negative Korrelationen bedeuten nicht zwangsweise, dass z. B. ein niedriger Glutenindex zu grösserem Backvolumen führt. Solche Zusammenhänge zeigen, dass es bei der Züchtung schwierig sein kann, gleichzeitig zwei unterschiedliche Merkmale zu verbessern. Die negative Korrelation zwischen den Merkmalen des Extensogramms

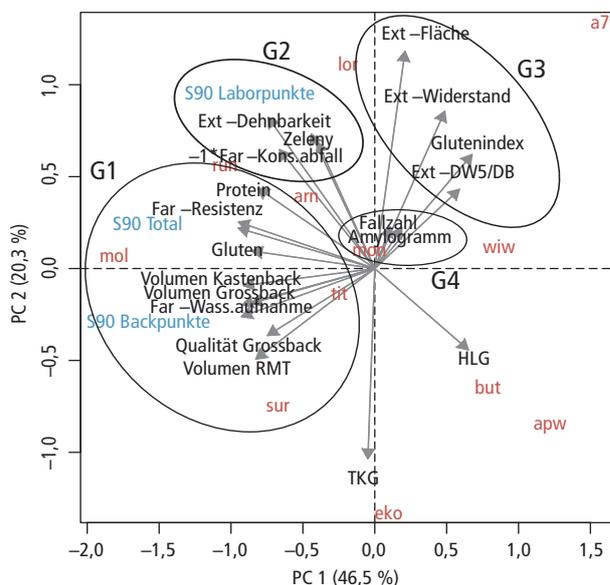


Abb. 2 | Hauptkomponentenanalyse anhand der skalierten Sortenmittelwerte von zwölf Sorten aus den in Tabelle 1 angegebenen Umwelten. Innerhalb der Gruppierungen (G1–G4) bestehen signifikante positive Korrelationen zwischen den Qualitätsmerkmalen (Abkürzungen s. Tab. 1), wobei keine signifikanten positiven Korrelationen zwischen Gruppen bestehen. Abkürzungen der Sorten: a7t = A7T.9, apw = APW.1110, arn = Arnold, but = Butaro, eko = Ekolog, lor = Lorenzo, mol = Molinera, mon = Montdor, run = Runal, sur = Suretta, tit = Titlis, wiiw = Wiwa

Tab. 2 | Durch Sorte und Umwelt erklärte Varianz (%) bei den untersuchten Qualitätsmerkmalen von zwölf Winterweizensorten (Jahre 2012 und 2013). Abkürzungen der Merkmale und verwendete Anzahl Umwelten siehe Tabelle 1.

Effekt	Indirekte Merkmale							Rheologische Merkmale					Backqualität				
	HLG	TKG	PR	GL	GI	FZ	SED	FWA	FKA	FR	EF	DW5/DB	AMY	RMT	KV	BV	BQ
Sorte (S)	40,6***	41***	41***	44,3***	70***	35***	12,8***	61***	44,8***	47,7***	72,8***	33,5***	32,3***	59***	45,6***	56***	68,5***
Umwelt (U)	48,9***	40,5***	36,2***	24,3***	7,3***	48***	62,8***	21,6***	25,8***	19,7***	10,5***	49,1***	52,2***	11,1**	24***	16,9***	5,6**
Restfehler (SxU)	10,5	18,6	22,8	31,4	22,7	17,1	24,4	17,4	29,4	32,6	16,7	17,5	15,5	29,9	30,4	27,1	25,9
Verhältnis S/U	0,8	1	1,1	1,8	9,5	0,7	0,2	2,8	1,7	2,4	6,9	0,7	0,6	5,3	1,9	3,3	12,2

*** = signifikant ($P < 0.001$) nach Likelihood-Ratio-Test

gramms und der Backversuche zeigt, dass sich Verarbeitungs- und Backqualität nicht automatisch decken. Für eine umfassende Qualitätsbewertung der Sorten wird daher die Erhebung aller im Schema 90 festgehaltenen Merkmale weiterhin notwendig sein (Saurer *et al.* 1991).

Einfluss von Sorte und Umwelt auf die Qualität

Die 2012 und 2013 gemessenen Qualitätsmerkmale wurden sowohl von der Sorte als auch von der Umwelt stark beeinflusst (Anders und Hiltbrunner 2014). Der Einfluss der beiden Faktoren auf die Ausprägung der Merkmale kann bestimmt werden, indem der Anteil der Varianzkomponenten an der Gesamtvarianz gemessen wird. Bei den vorliegenden Daten werden die Merkmale Glutenindex, alle drei Farinogramm-Merkmale, die Extensogramm-Fläche und alle Merkmale der Backqualität deutlich stärker von der Sorte als von der Umwelt geprägt (Verhältnis Sorteneffekt/Umwelteffekt $> 1,4$; Tab. 2). Die Merkmale der Backqualität, mit Ausnahme des Volumens beim Kastenbackversuch, werden sogar zu mehr als 50 % von der Sorte geprägt. Im

Gegensatz dazu werden die Fallzahl, der Sedimentationswert, die Verhältniszahl des Extensogramms sowie das Amylogramm zu einem deutlich größeren Anteil von der Umwelt als von der Sorte beeinflusst (Verhältnis Sorteneffekt/Umwelteffekt $< 0,75$). Je nach Merkmal können bis zu 30 % der Varianz nicht direkt der Sorte oder der Umwelt zugeordnet werden.

Aufschlüsselung der Sorten-Umwelt-Interaktion

Die Verteilung der Mittelwerte der Sorten beziehungsweise der Umwelten auf der x-Achse im AMMI-Plot geben Aufschluss über das Verhältnis der Haupteffekte Sorte und Umwelt. Für den Proteingehalt (Abb. 3A) sowie beim Extensogramm-Verhältnis (Abb. 3C) ist die Streuung und somit das Verhältnis von Sorten- und Umwelteffekt ähnlich. Im Gegensatz dazu ist beim Zeleny-Sedimentationswert (Abb. 3B) die Streuung der Umwelten grösser als für die Sorten, was auch in Tabelle 2 erkennbar ist. Ausserdem ist für das Extensogramm-Verhältnis ein deutlicher Jahreseffekt mit höheren Werten im Jahr 2013 erkennbar, der beim Zeleny und beim Prote-

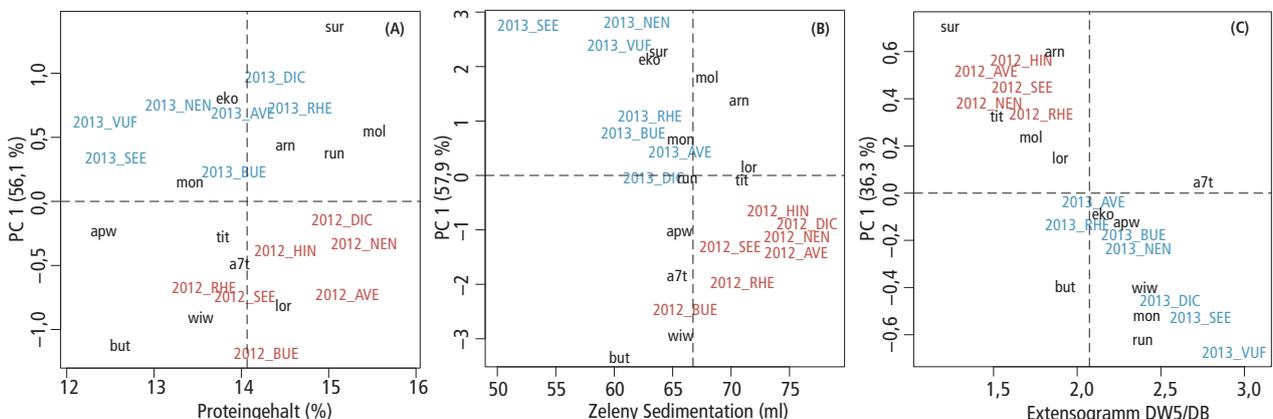


Abb. 3 | AMMI-Plot für Proteingehalt (A), Zeleny-Sedimentation (B) und Extensogramm DW5/DB (C) für zwölf Winterweizensorten in 14 Umwelten. Auf der x-Achse ist der Mittelwert der Sorten (schwarz) und der Umwelten (rot: 2012, blau: 2013) und auf der y-Achse die erste Achse der Hauptkomponentenanalyse dargestellt. AVE = Avenches, BUE = Bünzen, DIC = Dickihof, HIN = Hindelbank, NEN = Nennigkofen, RHE = Rheinau, SEE = Seebach, VUF = Vuflens. (Abkürzungen der Sorten s. Abb. 2).

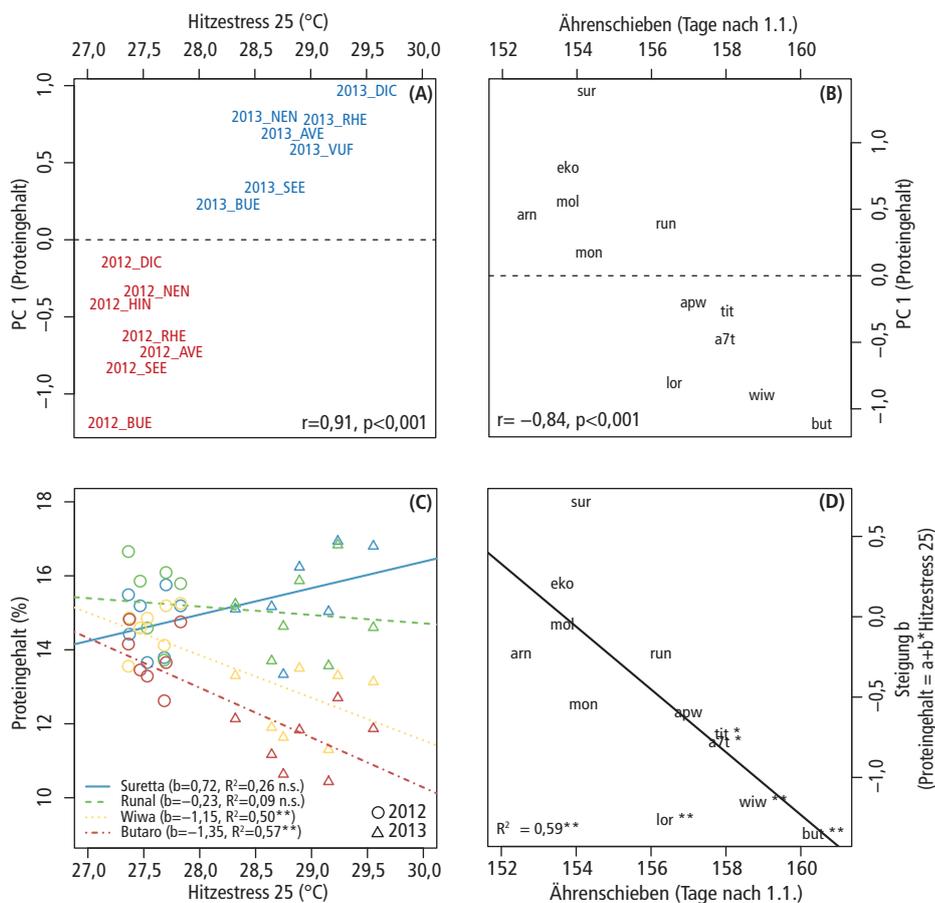


Abb. 4 | Korrelation der PC1-Werte aus der AMMI-Analyse des Proteingehalts für (A) die Umwelten mit der Umweltkovariable «Hitzestress 25» und für (B) die Sorten mit dem Zeitpunkt des Ährenschiebens. (C) Regression des Proteingehalts auf die Umweltkovariable «Hitzestress 25» beispielhaft an vier Sorten aus 14 Umwelten. (D) Regression der Steigung aus (C) auf den Zeitpunkt des Ährenschiebens (Sterne hinter Sortennamen entsprechen der Signifikanz der Steigung: * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$). Abkürzungen der Sorten s. Abb. 2 und für die Umwelten Abb. 3.

ingehalt umgekehrt und weniger stark ausgeprägt ist.

Die y-Achse im AMMI-Plot entspricht der ersten Hauptkomponente (PC1) der Hauptkomponentenanalyse der Residuen (Sorten-Umwelt-Interaktion). Sorten mit einem kleinen absoluten Wert zeigen eine geringe Interaktion und sind somit stabiler, wobei Sorten, die z. B. weiter oben liegen, eher an Umwelten angepasst sind, die sich auch weiter oben befinden. Bei den Merkmalen Proteingehalt und Zeleny erklärt PC1 mehr als 50% der Wechselwirkung.

Die erkennbare Gruppierung der Umwelten nach Jahren bedeutet, dass die Sorten-Jahr-Wechselwirkung bei den dargestellten Merkmalen für einen wesentlichen Anteil der Sorten-Umwelt-Wechselwirkung verantwortlich ist (Abb. 3). Eine ähnliche Gruppierung wurde auch bei allen anderen untersuchten Merkmalen festgestellt (Daten nicht gezeigt). Sowohl beim Proteingehalt (Abb. 3A) wie auch beim Zeleny (Abb. 3B) ist die Reihenfolge der Sorten in y-Richtung sehr ähnlich. Die Sorten

Suretta und Ekolog gruppieren mit den Versuchen des Jahres 2013 zuoberst, die Sorten Wiwa und Butaro mit den Versuchen des Jahres 2012 zuunterst, d. h. Suretta und Ekolog waren bei diesen beiden Merkmalen besser an die Bedingungen im Jahr 2013 und Wiwa und Butaro besser an die Bedingungen im Jahr 2012 angepasst. Die gleiche Reihenfolge der Sorten auf PC1 ist ebenfalls für die Merkmale HLG, Glutengehalt, alle drei Farinogramm-Merkmale sowie für die Volumen der drei Backversuche erkennbar (Spearman-Korrelation von PC1 des zu testenden Merkmals zu PC1(Protein), $P < 0,05$).

Die AMMI-Hauptkomponentenanalyse gibt zwar Hinweise auf die Art der Wechselwirkung, macht aber keine Aussage über die verantwortlichen Faktoren und Mechanismen. Da sich die Jahre 2012 und 2013 unter anderem in den heissen Temperaturen im Juli 2013 unterschieden, wurde die Umweltkovariable «Hitzestress 25» als mögliche Erklärung der PC1-Werte der Umwelten geprüft. Bei den Merkmalen TKG, Protein-

Tab. 3 | Stabilität (Variationskoeffizient in %) für die untersuchten Merkmale von zwölf Winterweizensorten aus der in Tabelle 1 angegebenen Anzahl Umwelten (2012 und 2013). Je kleiner der Wert, desto stabiler die Sorte für dieses Merkmal. Abkürzungen der Merkmale siehe Tabelle 1.

Gruppe	Indirekte Merkmale							Rheologische Merkmale						Backqualität			
Merkmal	HLG	TKG	PR	GL	GI	FZ	SED	FWA	FKA	FR	EF	DW5/ DB	AMY	RMT	KV	BV	BQ
A7T.9	3	7	8	11	1	15	14	2	21	22	12	19	39	4	8	15	11
APW.1110	2	7	8	12	6	17	13	3	14	19	9	29	42	6	6	6	4
Arnold	3	7	7	9	15	25	7	3	28	45	18	14	45	6	13	8	4
Butaro	4	10	11	17	6	20	21	3	18	48	12	36	38	8	5	5	5
Ekolog	2	6	6	10	20	16	10	4	19	37	14	28	33	7	12	6	5
Lorenzo	4	9	10	11	8	6	10	2	15	34	13	28	18	6	9	7	5
Molinera	3	8	7	12	19	18	8	4	21	31	16	29	26	7	14	7	6
Montdor	3	6	8	11	8	14	13	3	27	49	15	33	34	5	14	8	6
Runal	3	8	7	12	20	15	10	4	14	39	12	36	16	3	10	9	5
Suretta	4	14	7	14	19	17	9	5	22	16	17	19	33	8	11	9	7
Titlis	3	6	7	9	15	15	9	2	12	20	14	28	37	6	5	6	6
Wiwa	3	7	9	13	11	9	17	2	17	36	13	29	31	4	6	8	7

und Glutengehalt, Fallzahl, Farinogramm-Wasseraufnahme und den beiden Extensogramm-Merkmalen lag eine höchst signifikante, positive Korrelation zu den PC1-Werten vor (alle $r > 0,8$, $P < 0,001$, Abb. 4A). Des Weiteren wurde für die Erklärung der PC1-Werte der Sorten der Zeitpunkt des Ährenschiebens als genetische Kovariable untersucht. Für die Merkmale HLG, Protein- und Glutengehalt, Zeleny, Farinogramm-Wasseraufnahme und für das RMT (Rapid-mix-test)- und Kastenbackvolumen resultierte eine signifikant negative Korrelation (alle $r < -0,75$, $P < 0,01$, Abb. 4B).

In Abb. 4C ist deutlich zu erkennen, dass der Proteingehalt der Sorten mit späterem Ährenschieben (z. B. Wiwa, Butaro) bei höheren Werten der Umweltkovariablen «Hitzestress 25» abnimmt, wobei Sorten mit frühem Ährenschieben (z. B. Suretta, Runal) keine Reaktion zeigten. Für den Proteingehalt kann diese Abnahme zu 59% durch den Zeitpunkt des Ährenschiebens erklärt werden (Abb. 4D). Diese Erklärung der Abnahme bei zunehmender Hitze durch den Zeitpunkt des Ährenschiebens war ebenfalls für die Merkmale Glutengehalt, Zeleny, Wasseraufnahme des Farinogramms und Kastenbackvolumen signifikant (alle $P < 0,05$). Hingegen nahmen die Werte der Merkmale Amylogramm und Farinogramm-Konsistenzabfall mit zunehmender Hitze signifikant zu ($P < 0,05$).

Aus diesen Zusammenhängen ist daher zu folgern, dass der Proteingehalt früherer Sorten (z. B. Suretta) weniger stark durch die hohen Temperaturen während der Kornfüllungsphase im Jahr 2013 beeinflusst wurde. Ein Grund für die tieferen Proteingehalte der späteren Sorten im Jahr 2013 kann der höhere Kornertrag in diesem Jahr sein, was auf einen möglichen Verdünnungs-

effekt hinweist. Des Weiteren ist anzumerken, dass andere Stressfaktoren zu einer früheren Zeit (z. B. niedrigere Strahlungsintensität während der Meiose) zu Einbussen im Ertrag und als Konsequenz zu einem höheren Proteingehalt führen können. Dies könnte auch zum höheren Proteingehalt von Suretta im Jahr 2013 beigetragen haben. Bei der Reaktion von Qualitätsparametern auf unterschiedliche Umweltbedingungen können aber auch Sortenunterschiede bei den hochmolekularen Glutenin-Allelen (HMWG) von Bedeutung sein.

Insgesamt bedeutet die starke Sorten-Jahr-Wechselwirkung, dass eine mehrjährige Prüfung für eine gute Einstufung der Sorten notwendig ist. Wie eine Analyse der Umweltkovariable «Hitzestress 25» im Verlauf der letzten 50 Jahre für den Standort Zürich zeigte, haben die Tage mit > 25 °C tendenziell zugenommen. Um unerwünschte Auswirkungen von hohen Temperaturen zu vermeiden, könnte die Nutzung von einerseits frühreiferen Sorten oder aber Sorten mit einer geringen Sensitivität auf hohe Temperaturen in dieser Region ein Ansatz sein.

Stabilität der verschiedenen Qualitätsmerkmale

Nebst der Information über die erreichten Werte der Qualitätsmerkmale ist wichtig, wie stabil diese Werte sind. Der Varianzkoeffizient (V. K.) gibt an, wie stabil die Merkmale einer Sorte in den untersuchten Umwelten waren. Keine der untersuchten Sorten ist in allen Merkmalen die stabilste Sorte (Tab. 3). Für den Proteingehalt ist erkennbar, dass die identifizierte Sensibilität einiger Sorten gegenüber Hitze zu einer geringeren Stabilität

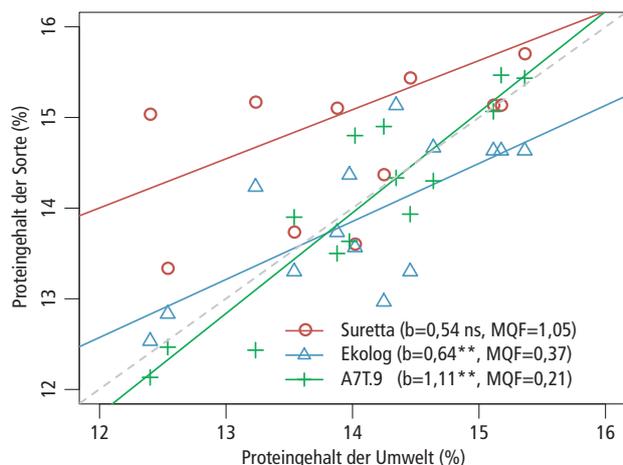


Abb. 5 | Zusammenhang des Proteingehaltes (%) der Sorten Suretta, Ekolog und A7T.9 und dem durchschnittlichen Proteingehalt der jeweiligen Umwelt (b = Steigung der Regression; MQF = mittlerer quadratischer Fehler, **=Steigung unterscheidet sich signifikant ($P < 0,01$) von 0, ns = nicht signifikant).

führt. So haben die Sorten mit späterem Ährenschieben (z.B. Wiwa, Butaro) einen hohen V. K. beim Proteingehalt und sind somit weniger stabil. Mit der Verwendung des Varianzkoeffizienten als Stabilitätsmass wird eine Sorte dann als stabil bezeichnet, wenn sie in allen untersuchten Umwelten den gleichen Wert erzielt (statisches Stabilitätskonzept). Da aber verschiedene Anbauregionen und -jahre mit unterschiedlichen Potenzialen existieren, könnte durchaus auch die Anpassungsfähigkeit einer Sorte an verschiedene Bedingungen von Interesse sein (dynamisches Stabilitätskonzept).

Die Sorte Ekolog weist – u. a. dicht gefolgt von Suretta – den kleinsten V. K. für den Proteingehalt auf und zeigt in Abb. 5 die geringste Steigung b . Allerdings kann bei solch einer geringen Steigung das Potenzial unter besseren Bedingungen (höherer Proteingehalt) schlechter ausgenutzt werden. Sorten wie A7T.9 hingegen, die sich gut an unterschiedliche Niveaus anpassen, haben eine grosse Steigung mit geringen Abweichungen der einzelnen Werte von der Geraden (mittlerer quadratischer Fehler, MQF). Obwohl A7T.9 über die Versuchsstandorte betrachtet einen ähnlichen Proteingehalt wie Ekolog liefert, können in den drei Umwelten mit mehr als 15 % Proteingehalt höhere Gehalte als mit der Sorte Ekolog erreicht werden. Die Sorte Suretta zeigt insgesamt zwar hohe Proteingehalte, allerdings sehr tiefe Werte in einigen Umwelten. Dies zeigt sich auch im erhöhten mittleren quadratischen Fehler (Abb. 5).

Schlussfolgerungen

Für eine korrekte grobe Beurteilung der Qualität von Brotweizen sind mindestens vier Parameter, für eine umfassende Gesamtbeurteilung aber weitere Parameter zu verwenden. Da HLG und TKG nicht mit anderen Qualitätsparametern korrelieren, eignen sich diese Merkmale laut dieser Untersuchung nicht zur Bestimmung der Qualität.

Bei den Merkmalen mit einem grossen Umwelteinfluss ist es wichtig, mit entsprechenden Untersuchungen diese beeinflussenden Faktoren präziser zu bestimmen und daraus Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. Bei den stark durch die Genetik geprägten Merkmalen sind die Verbesserungsmöglichkeiten einerseits in der Züchtung und andererseits bei der Sortenwahl zu nutzen.

Die untersuchten Sorten reagieren bei den verschiedenen Qualitätsmerkmalen unterschiedlich stark auf hohe Temperaturen in der Kornfüllungsphase. Mit Blick auf in Zukunft vielleicht häufigeren hohen Temperaturen, sollten sowohl in der Züchtung als auch in der Sortenwahl Strategien hierfür gefunden werden.

Die Nutzung von Informationen zur Stabilität (nach dem statischen sowie dem dynamischen Ansatz) ermöglicht den Beratern, die Sorten gezielter zu empfehlen, und den Produzenten im Falle der Qualitätsbezahlung durch die Wahl der entsprechenden Sorten den finanziellen Ertrag zu stabilisieren. Von dadurch konstanteren Qualitäten würden auch die nachgelagerten Glieder in der Wertschöpfungskette profitieren.

Da die präsentierten Ergebnisse lediglich auf zweijährigen Ergebnissen mit einer beschränkten Anzahl an Genotypen basieren, ist es wichtig, dass sie mit einem grösseren Datensatz validiert werden. ■

Dank

Die finanzielle Unterstützung dieses Projektes durch BioSuisse, Fenaco, Swissem, Swisssmüll, das EU-Projekt «Solibam» (FP7 KBBE-245058) sowie die Bäckerfachschule Richemont wird an dieser Stelle verdankt, wie auch die angenehme Zusammenarbeit mit den beteiligten Landwirten und den Mitarbeitern der Labore in Richemont und Changins.

Riassunto**Influenza della varietà e dell'ambiente sui parametri qualitativi del frumento autunnale biologico**

Attualmente in Svizzera vengono sperimentate misure volte a migliorare la qualità nella produzione di frumento. Nella coltivazione è possibile influire sulla qualità mediante la selezione del luogo, il tipo di gestione e la selezione varietale. Nel 2012 e nel 2013, per analizzare gli effetti della varietà e dell'ambiente, nella rete per le prove varietali sul frumento biologico sono state eseguite approfondite analisi della qualità su dodici varietà. È emerso che molte caratteristiche qualitative misurabili con mezzi dispendiosi sono correlate in modo significativo con caratteristiche misurabili in modo più semplice, mentre il peso di mille semi e il peso per ettolitro non presentano nessuna relazione significativa con altre caratteristiche. Per la maggior parte delle caratteristiche qualitative, l'influenza della genetica è maggiore rispetto a quella dell'ambiente, pertanto sono importantissime la selezione e la creazione varietale. L'analisi dell'interazione della varietà e dell'ambiente ha dimostrato che alcune varietà raggiungono valori decisamente peggiori in importanti parametri qualitativi (ad es. il tenore di proteine e il volume del pane in cassetta), se esposte a elevate temperature durante la fase di riempimento della cariosside. Questa differenza nella reazione delle varietà presenta una significativa correlazione con il momento di inizio della spigatura. Le varietà che reagivano alle elevate temperature hanno anche mostrato minore stabilità nelle caratteristiche corrispondenti. Dopo che vi sarà stata una conferma in un set di dati più grande, tali nozioni potranno aiutare i vari soggetti della catena di creazione del valore a garantire una produzione di alta qualità del frumento (biologico) svizzero.

Literatur

- Anders M. & Hiltbrunner J., 2014. Resultate der Sortenversuche unter Bio-Bedingungen 2013, Definitive Auswertung, Agroscope, Zürich.
- Fossati D., Brabant C. & Kleijer G., 2010. Yield, protein content, bread making quality and market requirements of wheat. Tagungsband der 61. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 23.–25. November 2010, Raumberg-Gumpenstein, Österreich. 179–182.
- Gauch H.G., 2006. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46(4), 1488.
- Holzschläger A., Fossati D., Hiltbrunner J. & Fuhrer J., 2014. Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for

Summary**Influence of variety and environment on quality traits in organic winter wheat**

Measures for improving quality are currently being tested in Swiss wheat production. In cultivation, quality can be influenced by choice of site, management, and variety. In order to investigate the effects of variety and the environment, comprehensive quality tests were performed on 12 varieties in the Organic Wheat Trial Network in 2012 and 2013. It became apparent that many quality traits which are laborious to measure correlated significantly with traits which are easier to measure, while the thousand-kernel weight and the test weight do not correlate significantly with any other trait. For most quality traits, the influence of the genetic effect is greater than that of the environment; hence, breeding and variety choice are very important. The analysis of the interaction showed that under high temperatures during grain filling some varieties yield significantly lower values for important quality traits such as e.g. protein content and tin baking volumes. This different reaction of the varieties correlated significantly with the time of ear emergence. Varieties which reacted to the high temperatures also showed a lower stability for the respective trait. These findings may be helpful for ensuring high-quality Swiss (organic) wheat production once a larger dataset has been validated for the various actors in the value chain.

Key words: winter wheat, organic farming, baking quality, bread, dough properties.

grain maize and winter wheat in Switzerland. *Regional Environmental Change* 15 (1), 109–122.

- Keiser A. & Degen C., 2013. Mehr Swissness im Bio-Brot: Angebot und Qualität von hiesigem Bio-Weizen steigern. *InfoHAFL* 16, 16–17.
- R Core Team, 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich.
- Saurer W., Achermann J., Tièche D., Rudin P.M. & Mändli K., 1991. Das Bewertungsschema '90 für die Qualitätsbeurteilung von Weizenzüchtungen. *Landwirtschaft Schweiz* 4, 55–57.