

# Potenzieller Proteingehalt von Winterweizensorten

Lilia Levy Häner, Numa Courvoisier, Juan Herrera, Cécile Brabant und Didier Pellet

Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

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



Bewässerung der Weizenparzellen in Changins nach der Stickstoffgabe, damit die Düngerabsorption durch die Pflanzen gewährleistet ist.

## Einleitung

Seit 2015 bezahlen die Mühlen den Sammelstellen den Weizen der Klasse Top aufgrund des Proteingehalts (Sonderegger und Scheuner 2014). Jede Sammelstelle kann diese Massnahme je nach ihrer Strategie an die Produzenten weitergeben.

Der Proteingehalt ist sehr variabel und beträgt zwischen 8 und 18% des Weizenkorns (Agroscope und Fenaco GOF, nicht veröffentlicht). Agroscope hat verschiedene Möglichkeiten getestet, um den Proteingehalt zu steigern. In einer Studie zu einer einzigen Sorte haben Triboi und Triboi-Blondel (2002) gezeigt, dass mit der Gabe von 150 kg N/ha zum Zeitpunkt der Blüte ein maximaler Proteingehalt erreicht wird.

### Potenzieller Proteingehalt

Der Proteingehalt ist ein sehr aktuelles Thema. Für die Produzenten stellt sich nicht nur die Frage, welchen Proteingehalt die Sorten aufweisen, sondern auch, wie ihr Potenzial ausgeschöpft werden kann: Habe ich das Maximum aus meiner Sorte geholt? Könnte ich den Proteingehalt erhöhen, indem ich die Stickstoffdüngung besser aufteile? Verhält sich die Sorte im Hinblick auf den Proteingehalt stabil? Das Konzept des Potenzials

wurde in den 90er-Jahren für den Kornertrag entwickelt (Evans und Fischer 1999) und unter anderem vom ICARDA angepasst (Solh 2015). Auf dieser Grundlage und dank Arbeiten von Triboi und Triboi-Blondel (2002) haben wir das Konzept des potenziellen Proteingehalts entwickelt (Abb. 1).

### Parameter zur Beschreibung des Proteins

Die Proteinmenge des Weizens kann mit verschiedenen Parametern beschrieben werden. Am häufigsten wird der **Proteingehalt**, ausgedrückt als prozentualer Anteil, verwendet. Es handelt sich dabei um eine relative Grösse, die auch von anderen Bestandteilen des Weizenkorns abhängt, wie die Stärke. Eine weitere wichtige Grösse ist die **Proteinmenge pro Korn**, die in Mikrogramm pro Korn angegeben wird. Diese Grösse hängt mit der Qualitätsklasse der Sorte zusammen und wird insbesondere von den Züchtern verwendet. In bestimmten Studien wird darauf hingewiesen, dass sie aufschlussreicher als der Proteingehalt ist (Triboi und Triboi-Blondel, 2002). Eine dritte Grösse ist die pro Flächeneinheit produzierte Proteinmenge in dt/ha, aus der sich der mit der Ernte exportierte **Proteinertrag** ergibt.

### Umwelteinflüsse auf die Proteine

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Proteinmenge. Triboi und Triboi-Blondel (2002) unterstreichen den Einfluss der Temperatur während der Bildung der Weizenkörner auf verschiedene Parameter (Tab. 1). Hohe Temperaturen haben negative Auswirkungen auf das Tausendkorngewicht (TKG), sowie auf die Protein- und Stärkemenge pro Korn. Da die negative Wirkung auf die Stärkemenge aber grösser ist, steigt der Proteingehalt. Neuere Studien (Feng *et al.* 2015) haben gezeigt, dass die Zunahme des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre die Fähigkeit der Pflanzen begrenzt, die Nährstoffe aus dem Boden aufzunehmen, und den Transport des aufgenommenen Stickstoffs in die Körner beeinträchtigt. Eine Verdoppelung der gegenwärtigen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen hat eine Verminderung des Proteingehalts um 10 bis 15% zur Folge (Taub *et al.* 2008). Ebenso hat ein Mangel an **Sonneneinstrahlung** einen negativen Einfluss auf die



**Abb. 1 |** Der potenzielle Proteingehalt bezieht sich auf den Proteingehalt einer Sorte unter nicht-limitierenden Bedingungen. Je nach den Rahmenbedingungen (die durch die Einflussfaktoren festgelegt werden) wird ein geringerer oder höherer Anteil dieses Potenzials erreicht.

Photosyntheseaktivität der Pflanze, wodurch der Proteingehalt begrenzt wird und in extremen Fällen ein Teil der Ährchen steril bleibt (nicht veröffentlichte Ergebnisse).

In zahlreichen Studien wurde die Beziehung zwischen **Stickstoffdüngung** und Proteingehalt untersucht (Halvorson et al. 1976; Levy et al. 2007; Varga et al. 2003). Solange der im Boden verfügbare N unter dem N-Bedarf der Kultur liegt, steigt der Kornertrag mit zunehmender Stickstoffdüngung gemäss einer quadratischen Kurve (mit einem Maximum). Der Proteingehalt steigt dagegen in ziemlich linearer Weise (Halvorson et al. 1976). Die **Aufteilung der Stickstoffdüngung** sowie der jeweilige Zeitpunkt der Gabe haben ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die Proteinsynthese in den Pflanzen (Levy und Brabant 2016). Triboi und Triboi-Blondel (2002) haben gezeigt, dass durch eine verstärkte Stickstoffdüngung zum Zeitpunkt der Blüte (150 kg N/ha im

**Tab. 1 |** Auswirkungen der Temperatur während der Bildung des Weizenkorns auf verschiedene Parameter (Triboi und Triboi-Blondel 2002)

Kornzusammensetzung	< 20 °C	< 30 °C	30–35 °C	Differenz zwischen < 20 °C und 30–35 °C
TKG (g)	54,8	39,9	30,6	↓ -44,2%
Protein/Korn (mg)	6,32	5,74	4,63	↓ -26,7%
Stärke/Korn (mg)	38,6	27,0	20,5	↓ -46,9%
Proteingehalt (%)	11,6	14,5	15,4	↑ +32,8%
Stärkegehalt (%)	70,4	67,5	66,6	↓ -5,4%

**Zusammenfassung**

Es wurde analog zum potenziellen Kornertrag das Konzept des potenziellen Proteingehalts entwickelt, mit dem Ziel, die Faktoren besser zu verstehen, die den Proteingehalt von Weizen beeinflussen, die stabilsten Sorten zu identifizieren und die Proteinmengen zu bestimmen, die sich zusätzlich gewinnen lassen. Mit Versuchen wurde der potenzielle Proteingehalt von 18 Winterweizensorten aus allen Qualitätsklassen bestimmt. Er bewegte sich je nach Sorte zwischen 13,0% und 16,6%. Aus zusätzlichen Versuchen wurden Daten verwendet, um zu untersuchen, wie häufig der potenzielle Proteingehalt unter verschiedenen Bedingungen erreicht wurde. Mit fast 5000 aus der Praxis stammenden Werten für den Proteingehalt (Fenaco GOF) konnten die Leistung der Sorten in der Praxis und in den Versuchen verglichen werden. Die Auswertung dieser Daten hat gezeigt, dass die Stickstoffdüngung (Gesamtdosis und Aufteilung) einen Einfluss darauf hat, welcher Anteil des potenziellen Proteingehalts erreicht wird. Bestimmte Sorten verhalten sich stabil, andere instabil, sei es in den Versuchen oder in der Praxis. Da sich die Ergebnisse der beiden Quellen decken, kann davon ausgegangen werden, dass die Forschung eine gute Prognose zur Leistung der verschiedenen unter Praxisbedingungen angebauten Sorten ermöglicht.

Stadium 59–61) der Proteingehalt der Körner maximal wird, unabhängig davon, wieviel Dünger zuvor bereits gegeben wurde. Ihre Studie belegt auch, dass eine bedeutende Stickstoffgabe zu einem früheren Stadium eine ausbleibende Düngung zum Zeitpunkt der Blüte kompensiert und zu einem vergleichbaren Proteingehalt führt. Eine ausreichende Versorgung mit **Wasser** während des Wachstums der Pflanze aber auch nach der Stickstoffdüngergabe ist entscheidend für die Verfügbarkeit des Stickstoffs für die Pflanze.

Der Proteingehalt wird also durch zahlreiche Umweltfaktoren, die Anbaumethoden aber auch durch die Sorte beeinflusst.

Die vorliegende Arbeit verfolgt folgende Ziele:

- Den potenziellen Proteingehalt verschiedener Winterweizensorten unterschiedlicher Qualitätsklassen zu bestimmen.

- ii) Untersuchen, in welchem Ausmass die Stickstoffdüngung und ihre Aufteilung die Ausschöpfung des potenziellen Proteingehalts ermöglichen.
- iii) Bestimmen, mit welcher Häufigkeit die Sorten ihren potenziellen Proteingehalt im Rahmen von Versuchen und in der Praxis erreichen können (Sortenprofil).

## Material und Methoden

In einem ersten Schritt wurden mit ausgewählten Sorten Versuche zur Maximierung des Proteingehalts (bzw. zur Bestimmung des potenziellen Proteingehalts) unter semi-kontrollierten Bedingungen durchgeführt.

**Protein-Versuche:** Zwölf Sorten wurden auf Parzellen von 10 m<sup>2</sup> an zwei Standorten (Changins und Goumoëns, VD) während drei Jahren (Ernten 2011 bis 2013) angebaut. Die Versuche wurden als Split-Plot mit zwei Wiederholungen angelegt. Es wurden zwei Düngungsverfahren (Hauptplot, mit der Sorte als Subplot) verglichen: 140 kg N/ha Ammoniumnitrat (60 kg/ha im DC-Stadium 21 Bestockung und 80 kg N/ha im Stadium 30 Schossen) bzw. 200 kg N/ha (20 kg N/ha im DC 21, 40 kg N/ha im DC 30 und 140 kg N/ha im DC 59-61 Blüte). In Changins wurden die Parzellen falls erforderlich nach der Stickstoffdüngergabe bewässert. Die Versuche wurden ohne Anwendung von Fungiziden oder Wachstumsregulatoren durchgeführt. Der **potenzielle Proteingehalt** entspricht dem maximalen Proteingehalt, der von einer Sorte unter intensiven Anbaubedingungen (200 kg N/ha, mit Bewässerung, Durchschnittswert aus allen Wiederholungen an einem Standort in einem gegebenen Jahr), bei günstigen Boden- und Klimabedingungen und bei einem Kornertrag von über 60 dt/ha erreicht wird. In unserer Studie war dies der in Changins 2011 durchgeführte Versuch mit einem durchschnittlichen Ertrag von 70,8 dt/ha (200 kg N/ha). Anschliessend wurde für jede Sorte die Häufigkeit des erreichten Proteingehalts untersucht (Untersuchung zum erreichten Anteil des potenziellen Proteingehalts). Im ersten Jahr wurden pro Parzelle zwei Zählungen der Anzahl Ähren pro m<sup>2</sup> durchgeführt. Der Krankheitsdruck und Standfestigkeitsprobleme waren vernachlässigbar. Im Anschluss an die Ernte wurden der Kornertrag (bei 15% Feuchtigkeit), das TKG (bei 15% Feuchtigkeit), das Hektolitergewicht (HLG) sowie der Proteingehalt (gemessen mit einem NIRS Büchi) bestimmt. Es wurde der Proteinерtrag pro Parzelle berechnet, indem der Kornertrag mit dem Proteingehalt multipliziert wurde. Um die Proteinmenge pro Korn zu bestimmen (Trockenmasse), haben wir das TKG, den Kornertrag und den Proteingehalt berücksichtigt. Die Auswertung der Daten erfolgte mit Statistica 12, wobei die Auswirkungen der Umwelt

und die Wiederholungen als Faktoren mit zufälligen Effekten, die Sorten und Düngungsverfahren als Faktoren mit festen Effekten angesehen wurden. Da diese Versuche bisher noch nie beschrieben wurden, sind nachfolgend die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

**Gluten-Versuche:** Ziel dieses Versuchs war es, die Auswirkungen der Aufteilung der Düngergaben bei drei Stickstoffdüngermengen (0, 140 und 200 kg N/ha) für sechs Winterweizensorten zu untersuchen (Levy und Brabant 2016). Die gesammelten Daten zeigen die Häufigkeit, mit welcher der potenzielle Proteingehalt in Abhängigkeit der verschiedenen Düngermengen und der Aufteilung der Stickstoffgaben erreicht wurden. Der potenzielle Proteingehalt dieser sechs Sorten wurde wie im Proteinversuch bestimmt, mit Berücksichtigung der Daten von 2011 in Changins (200 kg N/ha, mit Bewässerung).

**Daten aus der Praxis:** Mit Hilfe der Daten der Sammelstellen, die grosszügigerweise von der Fenaco GOF zur Verfügung gestellt wurden, konnte der Anteil des potenziellen Proteingehalts bestimmt werden, der in der Praxis erreicht wurde. 4777 Werte zu insgesamt neun Sorten wurden in die statistische Analyse einbezogen, wobei jeweils ein Wert dem Proteingehalt einer an die Sammelstelle gelieferten Charge entspricht (gemessen mit einem NIRS-Gerät von Perten). Diese Studie konzentriert sich auf die Daten von 2012 (1131 Werte) und 2013 (3646 Daten). Die untersuchten Sorten waren in beiden Jahren vertreten und hatten je mindestens 100 untersuchte Proben.

## Resultate und Diskussion

### Protein-Versuche

Im Allgemeinen konnte durch eine Düngung mit 200 kg N/ha im Vergleich zum Verfahren mit 140 kg N/ha kein höherer Proteingehalt erreicht werden (Tab. 2). In einem Drittel der Fälle hatte die Strategie, Stickstoffdünger für eine späte, dritte Gabe zu sparen den gegenteiligen Effekt und erwies sich als sehr riskant. Diese Ergebnisse

**Tab. 2 |** Durchschnittswerte (mit homogenen Gruppen nach Duncan) für die beiden Stickstoffdüngungsverfahren (n=144, d.h. zwölf Sorten, angebaut während drei Jahren an zwei Standorten mit zwei Wiederholungen)

Dünger [kg N/ha]	Prot. gehalt [%]	Ertrag [dt/ha]	Prot.ertrag [dt/ha]	Prot./Korn [µg]	HLG [kg]	TKG [g]
140 (60–80)	12,7 b	70,4 a	7,57 a	4,94 b	79,2 a	43,5 b
200 (20–40–140)	13,4 a	64,7 a	7,36 a	5,42 a	79,3 a	45,6 a

Prot. = Protein, HLG = Hektolitergewicht, TKG = Tausendkorngewicht, a,b = homogene Gruppen. Werte mit einem gleichen Buchstaben (für dasselbe Kriterium) unterscheiden sich nicht.

werden durch die Resultate der Gluten-Versuche bestätigt (Levy und Brabant 2016). Die Proteinmenge pro Korn und das TKG wurden ebenfalls durch die Stickstoffdüngung beeinflusst. Selbst wenn das Düngungsverfahren keinen signifikanten Einfluss auf diesen Parameter zeigte, hat der höhere Kornertrag beim Düngungsverfahren mit 140 kg N/ha in hohem Masse dazu beigetragen, den Proteinertrag bei den beiden Verfahren anzugleichen. So exportiert eine Sorte wie Magno (Tab. 3) mit einem sehr hohen Kornertrag und einem tiefen Proteingehalt die gleiche Proteinmenge wie die Sorte Lorenzo, die ein umgekehrtes Profil aufweist (hoher Proteingehalt und tiefer Kornertrag). Es ist bekannt, dass der Proteinertrag stärker durch den Kornertrag beeinflusst wird als durch den Proteingehalt (Simmonds 1995). 2011, als die Anzahl Ähren pro m<sup>2</sup> für jede Wiederholung ausgezählt wurde, ergab sich eine leichte positive Korrelation ( $r = 0,535^{***}$ ) zwischen der Anzahl Ähren pro m<sup>2</sup> und dem Kornertrag. Der Verdünnungseffekt des Stickstoffs in den Körnern (bei hohen Erträgen) ist bereits beschrieben worden (Slafer et al. 1990). Die vorliegenden Arbeiten bestätigen eine negative Korrelation zwischen dem Kornertrag und dem Proteingehalt ( $r = -0,71^{***}$ ) und zwischen dem Kornertrag und der Proteinmenge pro Korn ( $r = -0,724^{***}$ ). Die Sorten haben einen sehr breit gestreuten poten-

ziellen Proteingehalt (Tab. 3). Molinera, Arina und CH Nara weisen den höchsten potenziellen Proteingehalt auf (2011 in Changins erreichter Wert). Lorenzo gehört ebenfalls zu dieser Gruppe von Sorten mit hohem potenziellem Proteingehalt, wenn man die über die ganzen Versuche erreichten Werte berücksichtigt. In diesen Versuchen korreliert die Proteinmenge pro Korn sehr eng mit dem Proteingehalt. Manhattan hat den höchsten Proteinertrag pro Parzelle, während Arina auf dem letzten Rang steht. Lorenzo ist die Sorte, die den grössten Anteil des potenziellen Proteingehalts erreicht. Je nach den pedoklimatischen Bedingungen hat die Stickstoffdüngung eine sehr unterschiedliche Wirkung auf den Proteingehalt, was sich in der starken Abhängigkeit des Proteingehalts von der Kombination Umwelt\*Düngung äussert (Tab. 4). Für die anderen untersuchten Parameter ist diese Wechselwirkung viel kleiner. Auch die in dieser Studie festgestellten sehr grossen Unterschiede je nach Jahr wiederspiegeln sich in der Varianzanalyse, mit einer ausgeprägten Wirkung der Umwelt auf die verschiedenen untersuchten Parameter. Die Düngung hat einen wichtigen Einfluss auf den Proteingehalt, den Kornertrag und das TKG. Die Sorten reagierten hinsichtlich aller Kriterien in gleicher Weise auf die Stickstoffdüngung (Zusammenhang mit Düngung\*Sorte

**Tab. 3 |** Ergebnisse von zwölf Sorten, die während drei Jahren (2011, 2012 und 2013) an zwei Standorten (Changins und Goumoëns) nach zwei Düngungsverfahren und mit zwei Wiederholungen angebaut wurden. Angegeben sind die Durchschnittswerte mit den entsprechenden homogenen Gruppen nach Duncan (n=24). In Klammern steht die Qualitätsklasse der betreffenden Sorte.

Sorte	pot. Prot.# [%]	Anteil pot. Prot. [%]	Proteingehalt [%]		Ertrag [dt/ha]		Prot.ertrag [dt/ha]	Prot./Korn [µg]	HLG [kg]	TKG [g]
			200	140	200	140				
Molinera (Top)	15,5	90,3 bc	14,6 a	13,6 de	56,8 ij	64,1 fg	7,24 c	5,59 a	78,7 bc	46,1 ab
Arina (I)	15,5	89,7 bc	14,2 bc	13,7 de	55,1 j	57,7 hij	6,71 d	5,54 a	81,6 a	43,9 cd
CH Nara (Top)	15,4	90,4 bc	14,3 ab	13,7 de	58,1 hij	63,1 fgh	7,25 c	5,47 ab	81,0 a	42,0 ef
Zinal (I)	15,1	88,5 cd	13,9 cd	13,1 fg	61,5 ghi	69,1 def	7,52 bc	5,40 bc	81,8 a	45,3 bc
Orzival (I)	14,8	89,5 c	13,6 de	13,1 fg	68,2 ef	69,0 def	7,87 ab	5,35 c	79,4 b	46,4 ab
Simano (I)	14,5	89,5 c	13,4 ef	12,8 gh	62,1 ghi	71,3 cde	7,46 bc	5,22 d	79,7 b	46,6 ab
Lorenzo (Top)	14,3	98,8 a	14,6 ab	13,6 de	57,5 hij	67,0 efg	7,45 bc	5,56 a	77,8 cd	43,5 de
Cambrena (Bisc.)	14,2	86,9 de	12,8 gh	12,2 ij	70,2 de	72,4 cde	7,59 bc	4,94 e	78,5 bcd	41,6 f
Mulan (Four.)	13,9	85,3 ef	12,5 hi	11,5 l	70,9 cde	76,7 abc	7,53 bc	4,80 f	77,9 cd	47,0 a
Magno (II)	13,5	83,6 f	11,9 jk	11,1 m	71,1 cde	81,2 a	7,44 bc	4,59 g	77,3 d	46,1 ab
Rustic (Four.)	13,3	91,9 b	12,6 hi	12,0 jk	71,0 cde	75,1 bcd	7,64 abc	4,74 f	78,6 bc	46,1 ab
Manhattan (Bisc.)	13,0	90,1 bc	12,0 jk	11,7 kl	78,6 ab	81,2 a	8,05 a	4,85 ef	78,4 bcd	40,6 f

Prot. = Protein, pot.Prot. = potenzieller Proteingehalt, HLG = Hektolitergewicht, TKG = Tausendkorngewicht, Bisc. = Biskuit, # entspricht dem Proteingehalt, der 2011 in Changins mit dem Düngungsverfahren 200 kg N/ha erreicht wurde. a–l = homogene Gruppen. Werte (desselben Kriteriums) mit einem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht.

**Tab. 4 | Anteil verschiedener Faktoren an der gesamten Variabilität (mittlere Quadratsummen der Varianzanalyse), die sich durch die Sorte (12), die Umwelt (6 Kombinationen Standort\*Jahr), die Stickstoffdüngung (2) und verschiedene Interaktionen erklärt**

Faktoren	FG	Proteingehalt [%]	Ertrag [dt/ha]	Exp. Prot. [dt/ha]	HLG [kg]	TKG [g]
Umwelt	5	21,8% *	55,3% ***	75,2% ***	55,6% ***	55,1% ***
N-Düngung	1	24,2% **	22,3% °	1,4% n.s.	0,1% n.s.	25,2% **
Umwelt* N-Düngung	5	34,8% ***	3,5% n.s.	12,6% °	7,8% **	5,5% *
Sorte	11	13,9% ***	10,3% ***	1,4% ***	24,7% ***	8,6% ***
Umwelt*Sorte	54	0,5% ***	1,1% ***	0,9% ***	3,1% *	1,4% ***
N-Düngung* Sorte	11	0,1% n.s.	0,6% n.s.	0,6% °	2,2% n.s.	0,9% *
Umwelt* N-Düngung *Sorte	54	0,3% **	0,6% °	0,5% °	2,3% n.s.	0,4% n.s.
Fehler	138	4,5%	6,1%	7,4%	4,2%	2,9%

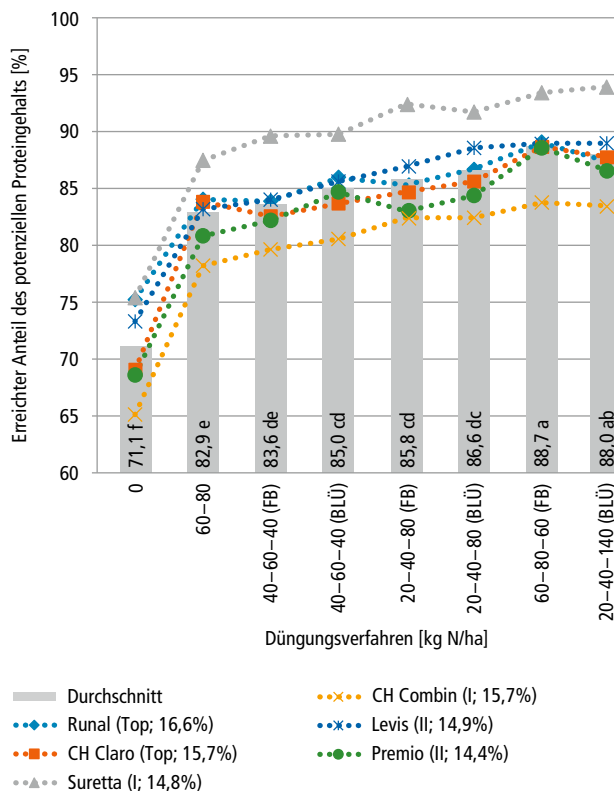
Signifikanzniveau: n.s.; °, \*, \*\*, \*\*\* entspricht P > 0,1, < 0,1, < 0,05, < 0,01, < 0,001  
FG = Freiheitsgrad

nicht signifikant, abgesehen vom TKG), während die Sorte als einzelner Faktor bei mehreren Parametern die Variabilität in signifikanter Weise erklärt.

### Potenzieller Proteingehalt

Die «Gluten-Versuche» umfassten Sorten von Brotweizen der Klasse II bis Top. Ohne Stickstoffdüngung erreichten die Sorten rund 71,1% ihres potenziellen Proteingehalts (Abb. 1). Die Stickstoffdüngung verbessert den erreichten Anteil des potenziellen Proteingehalts beträchtlich auf durchschnittlich 88,7%. Sowohl die Menge als auch die Aufteilung des Düngers sind für dieses Kriterium wichtig. Der Einfluss der Sorte ist ebenfalls sehr ausgeprägt: Suretta erreicht immer einen höheren prozentualen Anteil des potenziellen Proteingehalts als die anderen Sorten, CH Combin durchgehend den geringsten Anteil. Mit einem Proteingehalt von 15,7% erreichten allerdings auch CH Combin und CH Claro unter intensiven Anbaubedingungen sehr hohe Werte.

Die Sorten Suretta und CH Combin verhalten sich sehr unterschiedlich (Abb. 3A), obwohl sie zur selben Qualitätsklasse gehören. In 60% der Fälle erreicht Suretta mindestens 90% ihres relativ tiefen potenziellen Proteingehalts (14,8%). Damit ist Suretta eine sehr stabile Sorte, die oft einen Wert nahe am potenziellen Proteingehalt erreicht. CH Combin reagierte dagegen sehr gut auf die Intensivierung der Bestandesführung und kam auf einen sehr hohen Proteingehalt (15,7%), vermochte aber dieses Niveau unter ungünstigeren Verhältnissen nicht aufrechtzuerhalten. Der von Triboi und Triboi-



**Abb. 2 | Erreichter Anteil des potenziellen Proteingehalts der jeweiligen Sorte bei verschiedenen Stickstoffdüngungsverfahren (Gluten-Versuche). Der potenzielle Proteingehalt ist festgelegt als Proteingehalt, der unter günstigen Versuchsbedingungen erreicht wird (200 kg N/ha verteilt auf drei Gaben, wobei die dritte Gabe von 140 kg N/ha bei der Blüte mit anschließender Bewässerung erfolgte, in Changins, Ernte 2011). Die Qualitätsklasse und der potenzielle Proteingehalt jeder Sorte sind in Klammern angegeben. Die Histogramme stellen den Durchschnittswert aller Sorten dar, mit Angabe des absoluten Wertes und der homogenen Gruppen. (Werte mit einem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht). BLÜ= Blüte; FB= Fahrenblatt.**

Blondel (2002) vorgeschlagene Ansatz zur Plafonierung des Proteingehalts (der sich auf eine einzige Sorte bezog) kann also mit bemerkenswerten Ergebnissen auf eine grössere Auswahl von Sorten übertragen werden. Beim Vergleich der Sorten des Proteinversuchs lässt sich feststellen, dass die Sorten der Klasse Top (Abb. 3B) stabiler erscheinen, wobei sie mehrheitlich einen hohen prozentualen Anteil des potenziellen Proteingehalts erreichen. Bei diesen Sorten war der Anteil der Proben, deren Proteingehalt unter 70% des potenziellen Proteingehalts lag, gering oder Null. Ausserdem ist zu bemerken, dass es mit wenigen Ausnahmen keinen Zusammenhang gab zwischen dem potenziellen Proteingehalt und der Stabilität, mit welcher ein bestimmter Anteil dieses potenziellen Proteingehalts von der Sorte erreicht wurde. Mit diesem Ansatz können also die Sorten hin-

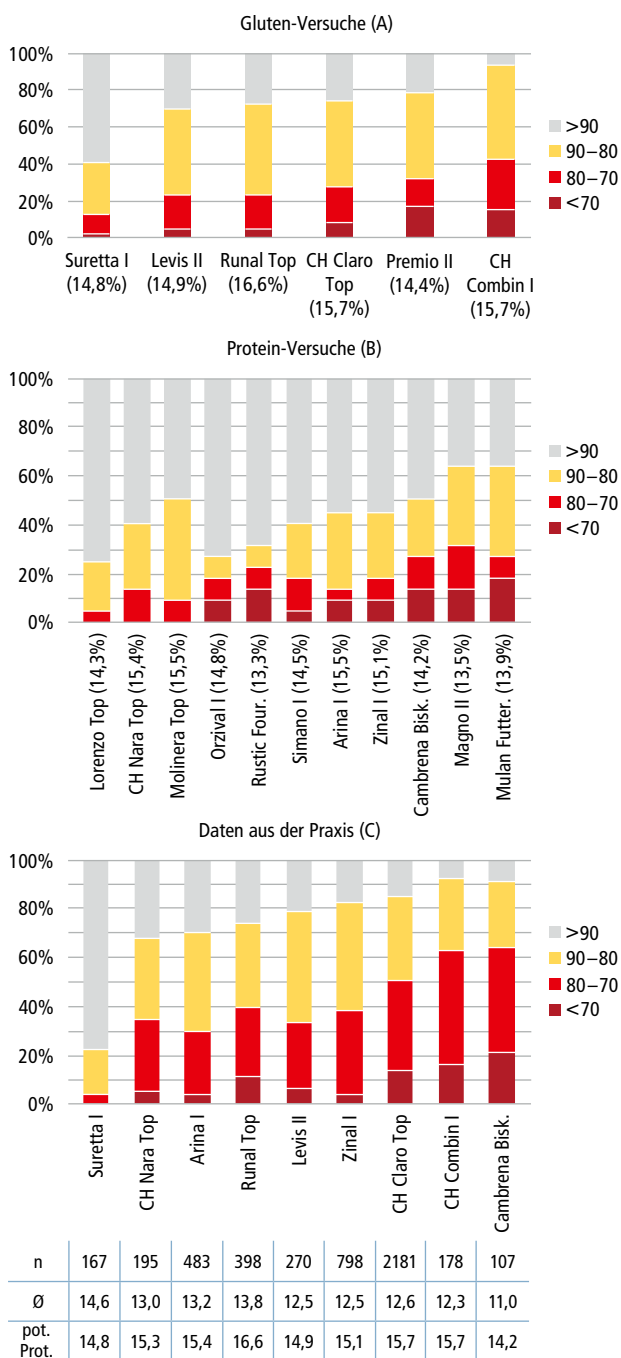
sichtlich ihres Verhaltens verglichen werden, und zwar unabhängig vom tatsächlichen Proteingehalt oder von der Qualitätsklasse (beispielsweise die Sorte Orzival der Klasse I oder der Futterweizen Rustic).

Die Daten aus der Praxis (Abb. 3C) wurden mit demselben Beurteilungsraster bewertet wie die Daten aus den Agroscope-Versuchen. Bei einigen Sorten war die Datenbasis sehr repräsentativ (z. B. CH Claro mit mehr als 2000 Proben). Die Daten der Praxis bestätigen das in den Gluten-Versuchen (A) beobachtete völlig unterschiedliche Verhalten der Sorten Suretta und CH Combin, wobei der Gegensatz sogar tendenziell akzentuiert wurde. Bei CH Claro präsentiert sich die Verteilung der Daten von Fenaco GOF (C) sehr ähnlich wie bei den Versuchsdaten (A). Der Vergleich der Praxisdaten (C) mit den Daten aus den Protein-Versuchen (B) zeigt, dass die Rangfolge für die Sorten CH Nara, Arina, Zinal und Cambrena erhalten bleibt. Der höhere Anteil von Werten nahe am potenziellen Proteingehalt in den Protein-Versuchen (B) im Vergleich zu den Daten der Praxis (C) lässt sich damit erklären, dass die Stickstoffdüngung in den Versuchen bis 200 kg N/ha beträgt (Abb. 1).

Bei der Überlagerung der Kurven zum erreichten Anteil des potenziellen Proteingehalts im Versuch beziehungsweise in der Praxis (Abb. 4) lässt sich eine sehr gute (Runal und CH Claro) oder fast vollständige Übereinstimmung (CH Combin) feststellen. Diese Ergebnisse sind einerseits eindrücklich, weil die Daten der beiden Serien nicht aus denselben Jahren stammen. Andererseits zeigen sie, dass die Versuchsdaten eine gute Vorhersage des Verhaltens der Sorten in der Produktion liefern, selbst bei einer viel tieferen Zahl von Proben (CH Claro: 141 Proben im Versuch gegenüber 2181 Proben aus der Produktion).

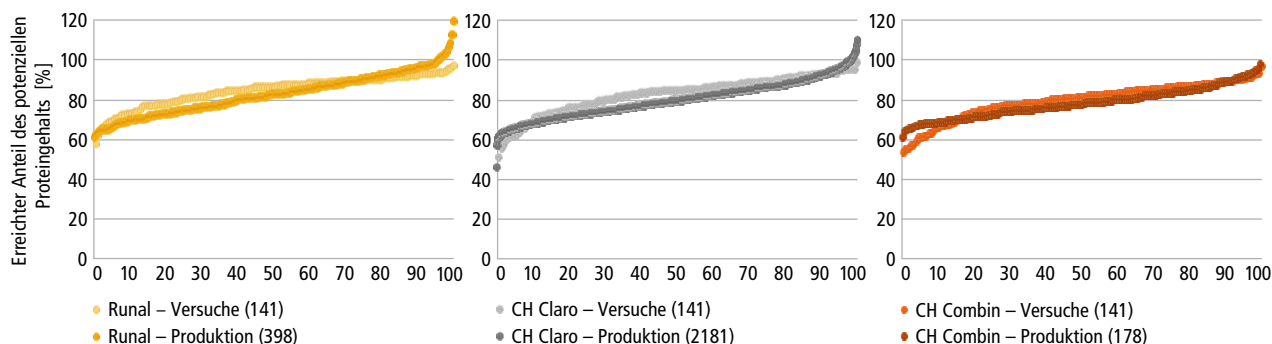
Der Proteingehalt, aber auch die Qualität der Proteine sind entscheidend für die Backeignung einer Sorte, wobei beide Eigenschaften stark durch die Stickstoffdüngung beeinflusst werden (Brabant und Levy 2016). Beim hier vorgestellten Ansatz wurde der potenzielle Proteingehalt der wichtigsten Winterweizensorten sowie die Häufigkeit bestimmt, mit welcher der potenzielle Proteingehalt erreicht wurde. Ziel war es nicht, den Proteingehalt zu maximieren, sondern die stabilsten Sorten festzustellen und Faktoren wie die Stickstoffdüngung besser zu verstehen, welche einen Einfluss darauf haben, wie oft eine Sorte den potenziellen Proteingehalt erreicht. Eine instabile Sorte weist im Allgemeinen ein hohes Potenzial auf, das sie aber nur schwer erreicht, während eine stabile Sorte oft ein bescheideneres Potenzial besitzt, das aber häufig erreicht wird.

Unsere Versuche erfolgten unter sechs verschiedenen teilweise semi-kontrollierten Umweltbedingungen (3 Jah-



n = Anzahl berücksichtigte Analysen von Fenaco GOF (C) pro Sorte über zwei Jahre  
 Ø = Sortendurchschnitt über zwei Jahre aus den NIRS-Daten von Fenaco GOF (C)  
 pot. Prot. = potenzieller Proteingehalt gemäss den Agroscope-Versuchen

**Abb. 3 |** Untersuchung der Häufigkeit, mit der ein bestimmter Anteil des potenziellen Proteingehalts von Sorten erreicht wurde, die unter verschiedenen Stickstoffdüngungsverfahren angebaut wurden. Der Bezugswert (d.h. der potenzielle Proteingehalt) ist festgelegt als Proteingehalt, der unter günstigen Versuchsbedingungen erreicht wird (200 kg N/ha verteilt auf drei Gaben, wobei die dritte Gabe von 140 kg N/ha bei der Blüte mit anschliessender Bewässerung erfolgt, in Changins, Ernte 2011). In der Grafik (A) beruht die Untersuchung der Häufigkeit auf den Daten aus drei Versuchsjahren mit zunehmender Stickstoffdüngung (Gluten-Versuche). Grafik (B) umfasst eine breitere Auswahl von Sorten (Brotweizen, Futterweizen, Biskuit), angebaut unter zwei Stickstoffdüngungsverfahren (Protein-Versuche). In den Grafiken (A) und (B) ist der potenzielle Proteingehalt in Klammern angegeben. Grafik (C) gibt die in der Praxis (Fenaco GOF) über zwei Jahre gesammelten Daten wieder, beurteilt nach den potenziellen Proteingehalts-Werten, die von Agroscope in den Gluten- und Protein-Versuchen ermittelt wurden.



**Abb. 4 |** Vergleich der Verteilungskurven zum erreichten Proteingehalt (bezogen auf den potenziellen Proteingehalt) im Versuch (Gluten-Versuch, Ernten 2011, 2012 und 2013) bzw. in der Praxis (Fenaco GOF, Ernten 2012 und 2013) für drei Sorten. Der potenzielle Proteingehalt ist festgelegt als Proteingehalt, der unter günstigen Versuchsbedingungen erreicht wird (200 kg N/ha verteilt auf drei Gaben, wobei die dritte Gabe von 140 kg N/ha bei der Blüte mit anschließender Bewässerung erfolgt, in Changins, Ernte 2011). Die Zahl der Proben ist in Klammern angegeben.

ren×2 Standorten). Weil die Versuche unter unterschiedlichen pedoklimatischen Bedingungen durchgeführt wurden, konnten wir von nicht-kontrollierbaren pedoklimatischen Faktoren im Versuch absehen und nachträglich ideale pedoklimatische Bedingungen annehmen, um einen Wert zu erhalten, der einer für die Pflanze idealen Situation entspricht. Mit dieser Methode konnte zwar das Ziel erreicht werden, sie ist aber ziemlich schwierig umzusetzen. Trotz den Bemühungen, diese Versuche unter semi-kontrollierten Bedingungen durchzuführen, hatte die Umwelt einen sehr grossen Einfluss auf verschiedene Kriterien. Die Wirkung pedoklimatischer Faktoren auf die untersuchten Parameter während der verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanze müssen noch besser untersucht werden, damit die Massnahmen besser auf die Bedürfnisse der Sorten abgestimmt werden können. Aus methodologischer Sicht könnte man den verwendeten Ansatz des potenziellen Proteingehalts weiterentwickeln zu einem für jede Sorte optimalen Proteingehalt, d.h. zu einem Gehalt, der mit einer guten Kornbildung der betreffenden Sorte einhergeht und ideale Verarbeitungseigenschaften zu Brot oder zu Futter gewährleistet. Schliesslich zeigt diese Studie, dass sich die in der Praxis von einer Sorte erreichten Ergebnisse aufgrund der in den Versuchen ermittelten Werte vorhersehen lassen. Durch die Forschung können also wirtschaftlich unerfreuliche Überraschungen in den Landwirtschaftsbetrieben aufgrund der Wahl einer ungeeigneten Sorte vermieden werden.

## Schlussfolgerungen und Perspektiven

- Mit dem Konzept des potenziellen Proteingehalts kann die Stabilität der Sorten unabhängig von der Höhe des Proteingehalts geprüft werden und es lassen sich Sorten unterschiedlicher Qualitätsklassen vergleichen.
- Der Vergleich der Daten aus der Praxis (Daten der Sammelstellen der Fenaco GOF) mit den Daten aus den Agroscope-Versuchen zeigt, dass sich die Stabilität der Sorten in der Produktion ausgehend von den Agroscope-Versuchen sehr zuverlässig vorhersagen lässt. Es gibt keine Umstellungen in der Klassifizierung der Sorten. Sehr gegensätzliches Verhalten von Sorten wie Suretta (stabil) und CH Combin (instabil) bestätigt sich in der Praxis.
- Sorten der Klasse Top erreichten in der Praxis in mindestens 50% der Fälle 80% oder mehr ihres potenziellen Proteingehalts.
- Bei einer suboptimalen Stickstoffdüngung erreichten die Sorten im Allgemeinen nur 65 bis 75% ihres potenziellen Proteingehalts.
- Sorten einer tieferen Qualitätsklasse reagieren teilweise sehr vorteilhaft auf die Intensivierung der Stickstoffdüngung. Allerdings verhalten sie sich oft instabil und erreichen ihren potenziellen Proteingehalt nicht zuverlässig.
- Der Ansatz hat seine Grenzen. Um den potenziellen Proteingehalt einer Sorte zu bestimmen, sind aufwändige und anspruchsvolle Versuche mit nicht-limitierenden Bedingungen erforderlich. Weil die pedoklimatischen Bedingungen schwer zu kontrollieren sind, ist die Bestimmung des potenziellen Proteingehalts der einzelnen Sorten schwierig. ■

**Riassunto**

**Potenziale proteico delle varietà di frumento autunnale**

Per capire meglio i fattori che influenzano il tenore proteico delle varietà di frumento e individuare le varietà più stabili e i quantitativi di proteine ancora da sfruttare è stato sviluppato un concetto di potenziale proteico analogo a quello di potenziale di resa in semi. Per mezzo di esperimenti è stato determinato il potenziale proteico di 18 varietà di frumento autunnale di tutte le classi qualitative; a seconda della varietà, sono stati riscontrati valori dal 13,0% al 16,6%. Ulteriori dati sperimentali sono stati utilizzati per valutare la frequenza con cui il potenziale proteico veniva raggiunto nelle diverse condizioni. Quasi 5000 valori di tenore proteico rilevati nella prassi (fenaco GOF) hanno inoltre permesso di confrontare l'evoluzione della resa delle diverse varietà negli esperimenti e nella pratica. L'analisi di questi dati ha mostrato che la concimazione azotata (dose e frazionamento) influenzava il tasso di raggiungimento del potenziale proteico. Alcune varietà sono stabili e altre instabili a prescindere che siano coltivate in condizioni sperimentali o reali. I risultati dei due scenari sono coerenti tra loro; questa congruenza fa supporre che i dati sperimentali permettano di prevedere con buona approssimazione l'evoluzione della resa delle varietà coltivate in condizioni reali.

**Summary**

**Protein potential of winter wheat varieties**

A 'protein potential' concept has been developed by analogy with the 'grain yield' concept, with the aim of better understanding the factors influencing wheat protein content and identifying the most stable varieties as well as the amount of protein that remains to be reached. The protein potential of 18 varieties of winter wheat covering all quality categories was established experimentally, and varied from 13.0% to 16.6%, according to the variety. Additional experimental data were used to evaluate the frequency at which the protein potential was achieved in the various conditions. Close to 5000 protein-content values stemming from practice (Fenaco GOF) also enabled a comparison of the performances of the varieties in both tests and practice. The analysis of these data demonstrated that the amount of nitrogen fertiliser applied as well as the splitting of applications influenced the rate of achievement of protein potential. Certain varieties are stable and others unstable, whether they are cultivated under test or practical conditions. The results from both sources are consistent, suggesting that the research data allow an accurate prediction of the performance of the varieties grown under practical conditions.

**Key words:** protein potential, winter wheat, variety stability, nitrogen fertilization.

#### Literatur

- Brabant C. & Levy L., 2016. Einfluss der Stickstoffdüngung und ihrer Aufteilung auf die Backqualität von Weizen. *Agrarforschung Schweiz* **7** (2), 88–97.
- Evans L. T. & Fischer R. A., 1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. *Crop Sci.* **39**, 1544–1551.
- Halvorson A.D., Black A. L., Sobolik F. & Riveland N., 1976. Proper Management – Key to successful winter wheat recropping in Northern Great Plains. *Farm Research* **33** (4).
- Levy L., Schwaerzel R. & Kleijer G., 2007. Stickstoffdüngung und Brotgetreidequalität. *Agrarforschung* **14**, 484–489.
- Levy L. & Brabant C., 2016. Die Kunst, den Stickstoffdünger für einen optimalen Ertrag und Proteingehalt von Weizen aufzuteilen. *Agrarforschung Schweiz* **7** (2), 80–87.
- Simmonds, Norman W., 1995. The Relation Between Yield and Protein in Cereal Grain. *J Sci Food Agric.* **67**, 309–315.
- Slafer G. A., Andrade F. H. & Feingold S. E., 1990. Genetic improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: relationships between nitrogen and dry matter. *Euphytica* **50**, 63–71.
- Solh M., 2015. Pulses for Food Security, Nutrition and Environment: the Role of Science & Technology to Enhance Productivity and Production of Pulses in FAO Launch Ceremony of the International Year of Pulses 2016. Accés: 21 juin 2016 <http://iyp2016.org/resources/documents/related-documents/72-iyp-launch-drm-solh-presentation/file>
- Sonderegger O. & Scheuner S., 2014. Consolidation de la stratégie qualité – la branche céréalière s'accorde sur un paiement selon la teneur en protéines. Communiqué de presse. Accés [http://www.swissgranum.ch/files/2014-05-28\\_mm\\_loesung\\_proteingehalt\\_f.pdf](http://www.swissgranum.ch/files/2014-05-28_mm_loesung_proteingehalt_f.pdf) [21 juin 2016]
- Taub D. R., Miller B. & Allen H., 2008. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Global Change Biology* **14**, 565–575.
- Triboui E. & Triboui-Blondel A. M., 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem – invited paper. *Eur. J. Agron.* **16**, 163–186.
- Varga B., Svecnjak Z., Jurkovic Z., Kovacevic J. & Jukic Z., 2003. Wheat grain and flour quality as affected by cropping intensity. *Food Tech. and Biotech.* **41**, 321–329.
- Feng Z., Rütting T., Pleijel H., Wallin G., Reich P. B., Kammann C. I., Newton P. C. D., Kobayashi K., Luo Y. & Uddling J., 2015. Constraints to nitrogen acquisition of terrestrial plants under elevated CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* **21**, 3152–3168.