

# Die Kunst, den Stickstoffdünger für einen optimalen Ertrag und Proteingehalt von Weizen aufzuteilen

Lilia Levy Häner und Cécile Brabant

Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

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



Abb. 1 | Auswirkung der Stickstoffdüngung auf verschiedene Weizensorten. Die Parzellen im Vordergrund erhielten keinen Stickstoffdünger.

## Einleitung

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

Agroscope hat verschiedene Möglichkeiten getestet, um den Proteingehalt (und entsprechend den Feuchtklebergehalt) in den Weizenkörnern zu erhöhen und den Einfluss dieser Kriterien auf die Backqualität zu bestimmen. Der Kornertrag ist ein grundlegender Faktor für die Produktion. Daher zielten die Versuche ebenfalls darauf ab, Düngungsmethoden oder Anbautechniken zu bestimmen, die zu einem Optimum zwischen Ertrag und Qualität führen. Dieser Artikel behandelt landwirtschaftliche Aspekte, während im zweiten Artikel (Brabant und Levy 2016) der Schwerpunkt auf der Qualität der Ernte liegt.

### Experimentelle Anordnung, Beobachtungen und Analysen

Sechs Sorten unterschiedlicher Qualitätsklassen – Runal und CH Claro (Top), Suretta und CH Combin (Klasse I), Levis (Klasse II) sowie Premio (französische Kontrolle, entspricht Klasse II) – wurden an zwei Standorten (Changins, VD und Goumoëns, VD) während drei Jahren (Ernten 2011 bis 2013) getestet. Acht Stickstoffdüngungsverfahren wurden

verglichen: drei verschiedene Düngemengen 0, 140 und 200 kg N/ha, kombiniert mit verschiedenen Aufteilungen.

Die Stickstoffmenge 140 kg N/ha wurde nach fünf Düngungsverfahren eingesetzt, die sich hinsichtlich Aufteilung und Entwicklungsstadium des Weizens zu den Düngungszeitpunkten unterschieden (Tab. 1). Der Stickstoff wurde in Form von Ammoniumnitrat 27,5% ausgebracht.

Die Wirksamkeit der Stickstoffdüngung konnte in Changins mit einer Bewässerung nach der Düngergabe gewährleistet werden, nicht aber in Goumoëns. Es wurden weder Fungizide noch Wachstumsregulatoren eingesetzt. Die Versuche waren als Split-Plot mit drei Wiederholungen angelegt, mit dem N-Dünger als Hauptfaktor und der Sorte als untergeordneter Faktor.

Die folgenden Parameter wurden beobachtet und gemessen: Frühreife, Pflanzenlänge, Anzahl Ähren pro m<sup>2</sup>, Kornertrag, Hektolitergewicht (HLG), Tausendkorngewicht (TKG) und Proteingehalt. Auf dieser Grundlage wurden zwei ergänzende Parameter berechnet: Proteinertrag (Kornertrag \* Proteingehalt) und die scheinbare N-Ausnutzung (*Apparent Nitrogen Recovery, ANR*) in den Körnern (siehe Gleichung 1, die an die Formel nach Collin 2012 angepasst ist). Die ANR misst die Verwertung des eingetragenen Stickstoffs durch die Körner und wurde für jede mit Stickstoff gedüngte Parzelle berechnet. Dieser Parameter setzt die zusätzliche Stickstoffmenge in

den untersuchten Körnern bei Stickstoffdüngung im Vergleich zur Stickstoffmenge in den Körnern ohne Stickstoffdüngung in Beziehung mit der durch Düngung zugeführten Stickstoffmenge.

**Gleichung 1** | Scheinbare N-Ausnutzung (ANR) in den Körnern

$$\text{ANR} = [(QN_D - QN_0)/D]$$

$QN_D$ : [Kornertrag pro ha beim Düngungsverfahren D bei 0% Feuchtigkeit \* Proteingehalt / 5.7]

$QN_0$ : [durchschnittlicher Kornertrag pro ha beim Verfahren V1 bei 0% Feuchtigkeit \* Proteingehalt / 5.7]

D: beim entsprechenden Düngungsverfahren eingetragene Stickstoffmenge

Die Qualitätsanalysen wie Feuchtkleber-Bestimmung, Zeleny-Wert, rheologische Analysen und die verschiedenen Versuche zur Brotherstellung werden im Artikel von Brabant und Levy (2016) vorgestellt und diskutiert.

Es wurde eine grobe wirtschaftliche Prüfung durchgeführt (nach Bruttomargen), unter Berücksichtigung der Getreide-Richtpreise 2015 (Top: 52.– CHF/dt, Klasse I: 50.– CHF/dt, Klasse II: 49.– CHF/dt), eines Durchschnittspreises für Ammoniumnitrat von 1,80 CHF/kg N, durchschnittlicher Kosten für das Ausbringen des Düngers von 89 CHF pro ha und Durchgang (Düngerstreuer, Traktor und Chauffeur, Tarif FAT), der Zuschlags- und Abzugsskalen für das Hektolitergewicht von swiss granum sowie der neuen Regelung zur Bezahlung nach Proteingehalt für Sorten der Klasse Top (Sonderegger und Scheuner 2014).

Die Varianzanalysen (ANOVA) und die Homogenitätstests wurden mit dem Programm Statistica 12 durchgeführt, die Auswertung der Korrelationskoeffizienten erfolgte mit XLSTAT 2014.

**Tab. 1** | Gesamtmenge des pro Jahr ausgebrachten Stickstoffs und Aufteilung dieser Menge bei den acht untersuchten Düngungsverfahren. V2 stellt die vereinfachte Praxis dar, V3 entspricht der klassischen Aufteilung in drei Düngergaben, V4, V5 und V6 mit einer dritten höheren und/oder verzögerten Gabe im Hinblick auf die Unterstützung der Proteinsynthese, V7 und V8 sind Verfahren mit einer intensiveren Düngung mit Schwerpunkt auf dem Kornertrag (V7) bzw. auf dem Proteingehalt (V8).

Düng.- verf.	N total [kg N/ha]	1. Gabe [kg N/ha]	Stadium	2. Gabe [kg N/ha]	Stadium	3. Gabe [kg N/ha]	Stadium
V1	0	–	–	–	–	–	–
V2	140	60	DC 21	80	DC 30	–	–
V3	140	40	DC 21	60	DC 30	40	DC 37
V4	140	40	DC 21	60	DC 30	40	DC 59-61
V5	140	20	DC 21	40	DC 30	80	DC 37
V6	140	20	DC 21	40	DC 30	80	DC 59-61
V7	200	60	DC 21	80	DC 30	60	DC 37
V8	200	20	DC 21	40	DC 30	140	DC 59-61

DC 21: Beginn der Bestockung, bei Vegetationsbeginn; DC 30: Schossen (Ähren 1 cm);  
DC 37: Erscheinen des Fahnenblatts; DC 59-61: Ende Ährenschieben - Beginn Blüte

**Zusammenfassung**

Die Branchenorganisation Getreide hat ein System zur Bezahlung der Ernte von Weizen der Klasse Top nach ihrem Proteingehalt eingerichtet. Agroscope hat Versuche durchgeführt, um die Auswirkungen einer Aufteilung der Stickstoffdüngung auf den Ertrag und die Qualität von Weizen zu untersuchen. Bei unseren Klima- und Bodenbedingungen ergab eine Aufteilung von 20-40-80 kg N/ha (3. Gabe im Stadium CD 37: Erscheinen des Fahnenblattes) hervorragende Resultate, sowohl in Bezug auf den Kornertrag als auch auf den Proteingehalt. Die Produzenten, die auf die Produktion von Körnern mit möglichst hohem Proteingehalt bedacht sind, könnten versucht sein, einfach die eiweissreichste Sorte zu wählen und einen sehr intensiven Anbau mit einer dritten Düngergabe zum Zeitpunkt der Blüte zu betreiben. Diese Strategie birgt jedoch ein hohes Risiko, dass der Stickstoff von den Pflanzen nicht assimiliert werden kann und es zu Ertragsverlusten kommt. Aus wirtschaftlicher Sicht sind die ertragreichsten Sorten am rentabelsten, selbst wenn sie zu einer tieferen Qualitätsklasse gehören. Die Studie hat auch gezeigt, dass in Situationen mit eingeschränkter Stickstoffverfügbarkeit eine grosse Pflanzenlänge und eine grosse Zahl Ähren pro m<sup>2</sup> vorteilhaft sind. Dagegen wird die Pflanzenlänge zum Nachteil für die Kornbildung bei intensiv bewirtschafteten Systemen.

## Resultate und Diskussion

### Vergleich des Einflusses von Umweltbedingungen, Sorte und Stickstoffdüngung

Die Sorte und die Umweltbedingungen (Kombination Standort x Jahr) spielen eine wichtige Rolle für die meisten untersuchten Faktoren (Tab. 2). Die Stickstoffdüngung beeinflusst ebenfalls alle geprüften Kriterien signifikant, mit Ausnahme des Hektolitergewichts. Verschiedene Wechselwirkungen stellten sich zwar als hoch signifikant heraus, ihr Einfluss ist allerdings gering.

Für die Schwankungen des Kornertrags und des Proteingehalts sind zu etwa gleichen Teilen Boden- und Klimafaktoren (Umweltbedingungen), die Stickstoffdüngung und die Sorte verantwortlich (Abb. 2). Die Sortenwahl ist damit der Faktor, mit dem sich der Proteingehalt am einfachsten beeinflussen lässt. Von den untersuchten Parametern wird der Proteinertrag am stärksten von der Stickstoffdüngung beeinflusst (44%). Beim ANR erklären die Umweltbedingungen mehr als drei Viertel der beobachteten Schwankungen.

Die Schwankungen der Dichte der fertilen Halme (Ähren/m<sup>2</sup>) werden zu 88% durch die Umweltbedingungen bestimmt (Einfluss der Bestockung), während die Sortenwahl und die Stickstoffdüngung einen moderaten Einfluss ausüben (5%). Die Pflanzenlänge kann beträchtlich variieren. Nach den Umweltbedingungen (61%) lassen sich die Unterschiede hauptsächlich durch

die Sortenwahl (24%) und die Stickstoffdüngung (12%) erklären. Die Boden- und Klimafaktoren wie fehlende Niederschläge zum Zeitpunkt der Ernte sind entscheidend für ein gutes Hektolitergewicht (69%). Dieses Merkmal ist auch stark sortenabhängig (20%). Im Gegensatz zu den Ergebnissen früherer Versuche (Levy *et al.* 2007) trug die Stickstoffdüngung nicht zu einem besseren HLG bei, wie dies auch von Charles *et al.* (2012) beobachtet worden war. Für die Korngrösse waren im Wesentlichen die Bedingungen des jeweiligen Jahres am Ende des Zyklus verantwortlich (Umweltbedingungen), welche zu Schwankungen des TKG führten (94%).

### Wirkungen der Stickstoffdüngung

Betrachtet man den Kornertrag, unterscheidet sich das Verfahren V1 (keine Stickstoffdüngung) sehr klar von den übrigen Düngungsverfahren (Tab. 3; Abb. 3A). Die Ertragsunterschiede innerhalb der verschiedenen Verfahren mit Stickstoffdüngung sind geringer. Diese Versuche zeigen, dass der Düngeraufteilung eine ebenso grosse Bedeutung zufällt, wie der Düngermenge, da mit einer Aufteilung des Düngereintrags bei einer unterschiedlichen Gesamtmenge des Stickstoffs ein vergleichbarer Ertrag erreicht wird. Die Reduktion der beiden ersten Stickstoffgaben um jeweils 20 kg N/ha zugunsten der dritten Gabe (V3 -> V5, V4 -> V6) hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag. Dagegen spielte der Zeitpunkt der dritten Gabe eine wichtige

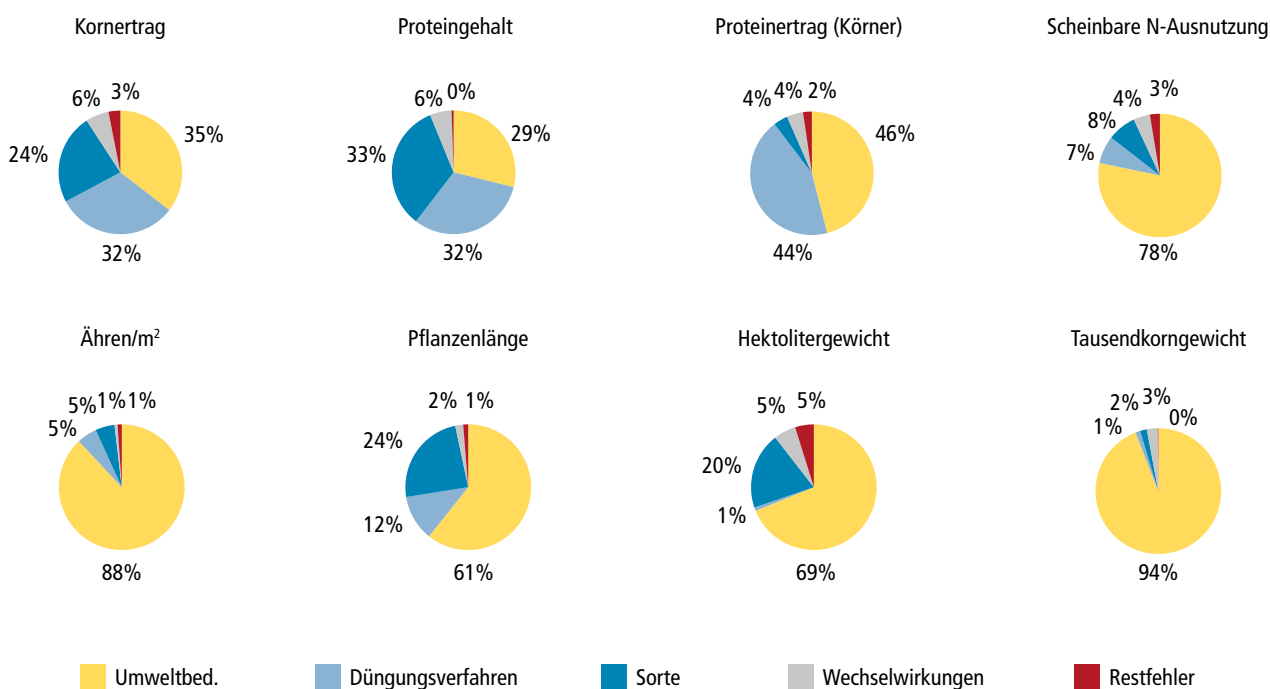


Abb. 2 | Einfluss der Umweltbedingungen, der Stickstoffdüngung und der Sorte auf verschiedene landwirtschaftliche Merkmale von Winterweizen: mittlere Quadrate aus der Varianzanalyse, dargestellt als prozentuale Anteile.

**Tab. 2 | Einfluss der Umweltbedingungen, der Stickstoffdüngung und der Sorte auf verschiedene landwirtschaftliche Merkmale von Winterweizen: F-Werte der Varianzanalyse und Signifikanzniveau (n.s.: nicht signifikant, \*: P<0,05, \*\*: P<0,01, \*\*\*: P<0,001) der analysierten Faktoren.**

	Ertrag	Proteine	Prot.Ertrag	ANR	Ähren/m <sup>2</sup>	Länge	HLG	TKG
Umweltbedingungen	18,2 ***	135,9 ***	32,6 ***	59,0 ***	121,9 ***	106,0 ***	22,5 ***	5053,6 ***
Düngungsverfahren (DV)	31,5 ***	146,3 ***	56,5 ***	6,6 ***	20,2 ***	18,6 ***	0,6 n.s.	17,9 ***
Sorte	172,5 ***	402,4 ***	33,1 ***	43,8 ***	51,1 ***	287,8 ***	51,9 ***	52,3 ***
Umweltbed.*DV	2,5 ***	17,9 ***	2,9 ***	1,6 n.s.	0,8 n.s.	2,3 **	1,9 **	9,6 ***
Umweltbed.*Sorte	23,2 ***	18,2 ***	14,4 ***	12,8 ***	3,8 ***	4,1 ***	5,3 ***	59,1 ***
DV*Sorte	1,8 **	2,1 ***	2,0 **	1,0 n.s.	1,4 n.s.	1,6 *	1,4 n.s.	2,7 ***
Umweltbed.*DV*Sorte	1,2 n.s.	1,3 *	1,2 n.s.	0,9 n.s.	0,9 n.s.	1,2 n.s.	1,3 *	2,2 ***

DV: Düngungsverfahren; Proteine: Proteingehalt; Prot.Ertrag: Proteinertrag; ANR: Scheinbare N-Ausnutzung; HLG: Hektolitergewicht; TKG: Tausendkorngewicht

**Tab. 3 | Einfluss der Stickstoffdüngung auf die verschiedenen landwirtschaftlichen Merkmale von Winterweizen: Durchschnitt aus zwei Standorten, drei Jahren, sechs Sorten und drei Wiederholungen (n=108). Die Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Durchschnitten bei einem Signifikanzniveau von P<0,05.**

Düngungsverfahren [kg N/ha]	Ertrag [dt/ha]	Proteine [%]	Prot. Ertrag [kg/ha]	ANR	Ähren /m <sup>2</sup>	Länge [cm]	HLG [kg/hl]	TKG [g/1000 Körner]	Wirtsch. [CHF]
V1: 0	44,6 d	11,0 e	415 c		497 c	70,8 d	77,2 a	46,5 b	2228 d
V2: 60-80	66,9 abc	12,8 d	723 b	0,39 a	631 a	84,0 ab	77,2 a	46,0 c	2928 a
V3: 40-60-40 (FB)	67,1 ab	12,9 d	730 b	0,40 a	616 a	84,0 ab	77,9 a	47,4 a	2853 ab
V4: 40-60-40 (FLO)	65,8 abc	13,1 c	731 b	0,40 a	603 ab	82,8 abc	77,4 a	47,4 a	2789 ab
V5: 20-40-80 (FB)	67,8 ab	13,3 bc	759 ab	0,43 a	603 ab	83,5 ab	77,8 a	47,7 a	2891 ab
V6: 20-40-80 (FLO)	63,4 bc	13,3 b	721 b	0,39 a	579 b	81,7 bc	77,9 a	47,5 a	2674 bc
V7: 60-80-60 (FB)	68,6 a	13,7 a	792 a	0,33 b	623 a	85,2 a	77,2 a	47,8 a	2824 ab
V8: 20-40-140 (FLO)	62,7 c	13,9 a	740 b	0,29 b	584 b	80,1 c	77,9 a	47,6 a	2531 c

Proteine: Proteingehalt; Prot.Ertrag: Proteinertrag; ANR: Scheinbare N-Ausnutzung; HLG: Hektolitergewicht; TKG: Tausendkorngewicht; Wirtsch.:Wirtschaftlichkeit

Rolle. Eine spätere Ausbringung zum Zeitpunkt der Blüte hatte eine Reduktion des Ertrags zur Folge (-1,3 dt/ha zwischen V3 und V4 und -4,4 dt/ha zwischen V5 und V6), wobei diese Verminderung statistisch nicht signifikant war.

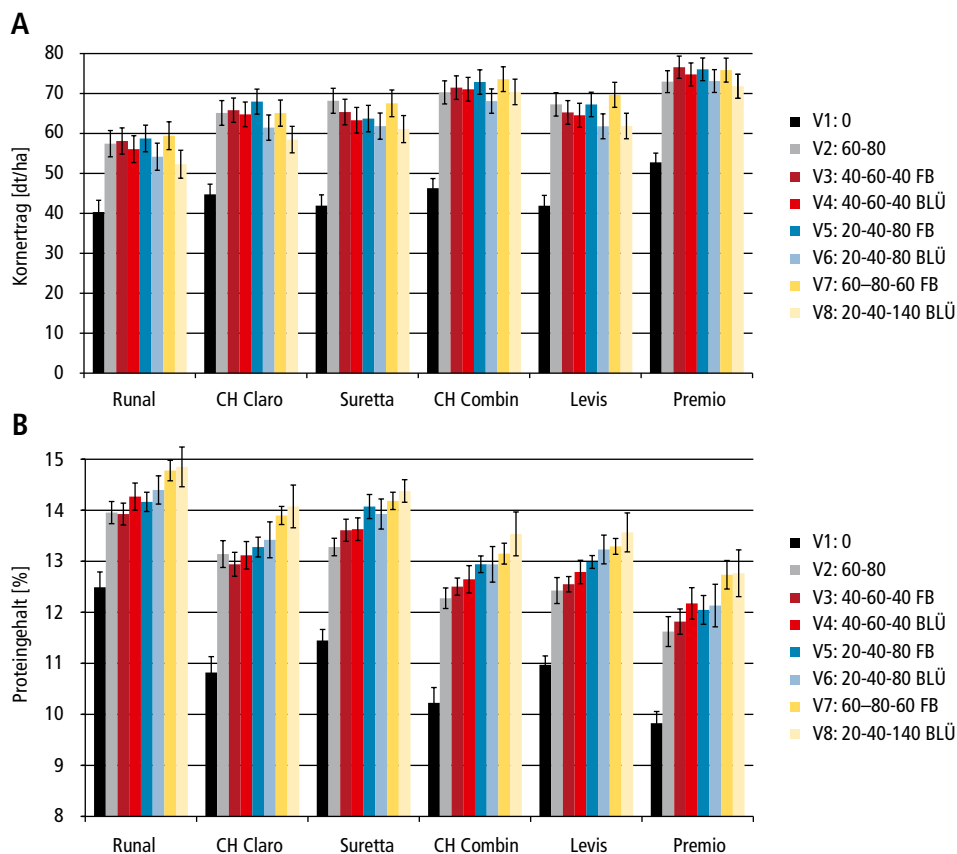
Wie beim Kornertrag beeinflusste der Verzicht auf eine Stickstoffdüngung auch den Proteingehalt stark (Tab. 3; Abb. 3B). Die auf eine Verbesserung des Proteingehalts ausgelegte Versuchsanordnung vermochte die Erwartungen zu erfüllen: Der Proteingehalt steigt stetig vom Verfahren V1 bis zum Verfahren V8. Der Proteinertrag, der die beiden Faktoren Kornertrag und Proteingehalt kombiniert, wird stärker durch den Kornertrag als durch den Proteingehalt beeinflusst (Tab. 3).

Durch den Verzicht auf eine Stickstoffdüngung betrug die Zahl fertiger Halme nur 79% im Vergleich zur dichtesten Variante, die mit 60 kg N/ha bei der ersten Gabe (V2) erreicht wurde.

Die Werte für den durchschnittlichen Proteingehalt (Abb. 3B) erwecken den irreführenden Eindruck, dass

eine Intensivierung der Stickstoffdüngung eine systematische Zunahme des Proteingehalts bewirkte. Die Düngung bei der Blüte war 2013 in Goumoëns aufgrund der Trockenheit unwirksam. Es ist bekannt, dass ein Wassermangel, die Stickstoffaufnahme durch die Pflanze reduziert (Sadras *et al.* 2004). Deshalb wurde in diesem Jahr in Goumoëns mit dem Verfahren V5 der höchste Proteingehalt erreicht (13,2%), während die Verfahren V6 und V8 mit insgesamt jeweils nur 60 kg N/ha vor der Blüte nur einen Proteingehalt von 10,5% bzw. 10,6% ergaben. Selbst wenn der Proteingehalt also mit einer zunehmenden Stickstoffdüngung tendenziell steigt, stellt die verzögerte Ausbringung ein nicht vernachlässigbares Risiko dar.

Es wurde eine grobe wirtschaftliche Auswertung (nach Bruttomargen) unter Berücksichtigung der Anzahl Ausbringungen, der Menge des eingesetzten Stickstoffdüngers, des Ertrags der Parzelle, des Preises für die betreffende Qualitätsklasse, des Hektolitergewichts sowie des Proteingehalts vorgenommen. Die Ergebnisse



**Abb. 3 |** Durchschnitte (mit Standardabweichung) A) des Kornertrags und B) des Proteingehalts nach Sorte und Düngungsverfahren (n = 18 bei jeder Säule des Diagramms).

**Tab. 4 |** Einfluss der Sorte auf die verschiedenen landwirtschaftlichen Merkmale von Winterweizen: Durchschnitt aus zwei Standorten, drei Jahren, acht Düngungsverfahren und drei Wiederholungen (n = 144). Die Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Durchschnitten an bei einem Signifikanzniveau von P<0,05.

Sorte	Ertrag [dt/ha]	Proteine [%]	Prot. Ertrag [kg/ha]	ANR	Ähren/m <sup>2</sup>	Länge [cm]	HLG [kg/hl]	TKG [g/1000 Körner]	Wirtsch. [CHF]
Runal	54,5 d	14,1 a	656 d	0,29 d	589 c	89,8 a	79,1 a	47,2 b	2397 e
CH Claro	61,7 c	13,1 c	691 c	0,36 c	626 a	87,3 b	78,1 b	47,3 b	2737 c
Suretta	61,6 c	13,6 b	715 b	0,40 b	562 d	79,4 c	77,5 c	47,8 a	2608 d
CH Combin	68,0 b	12,5 e	732 a	0,42 a	609 b	75,6 e	77,2 c	48,0 a	2924 b
Levis	62,4 c	12,7 d	683 c	0,38 c	537 e	79,8 c	78,5 b	47,1 b	2593 d
Premio	71,9 a	11,9 f	735 a	0,38 c	628 a	77,2 d	75,1 d	46,1 c	3031 a

Proteine: Proteingehalt; Prot.Ertrag: Proteinertrag; ANR: Scheinbare N-Ausnutzung; HLG: Hektolitergewicht; TKG: Tausendkorngewicht; Wirtsch.:Wirtschaftlichkeit

zeigen, dass das Verfahren V2 mit nur zwei Düngerausbringungen sowie das Verfahren V5 am interessantesten sind (Tab. 3). Die Variante ohne Stickstoffdüngung (V1) sowie die Verfahren mit einer dritten Ausbringung zum Zeitpunkt der Blüte (V4, V6 und V8) sind dagegen weniger rentabel.

### Einfluss der Sorte

Obwohl die Sorten Runal und Suretta den höchsten Proteingehalt erreichten, ergaben Premio und CH Combin

den höchsten Ertrag an Protein (Tab. 4). CH Combin und Suretta sind in Bezug auf die Ausnutzung des eingetragenen Stickstoffs (ANR) am effizientesten und Runal ist am wenigsten effizient: Die N-Ausnutzung von CH Combin liegt um 40% über jener von Runal. Für den hohen Ertrag von Premio ist die sehr hohe Zahl von Ähren/m<sup>2</sup> verantwortlich, während die Leistungsfähigkeit der Sorte CH Combin auf ihrem hohen Korngewicht (TKG) beruht. Runal zeichnet sich durch die grössten Pflanzlängen und HLG der Serie aus. Bei den aktuell geltenden

Übernahmebedingungen für die Ernte sind die ertragsstärksten Sorten auch die profitabelsten.

Bei der Analyse aller Kombinationen Sorte x Düngungsverfahren (Abb. 3A) fällt ein tendenziell gegensätzliches Verhalten der Sorte Suretta auf: Während sie die hohen frühzeitigen N-Gaben (60 kg N/ha) besonders gut nutzen konnte, wirkte sich bei ihr eine Erhöhung der 2. und 3. Einträge auf Kosten der ersten Gabe (V4, V6 und V8) sehr ungünstig aus.

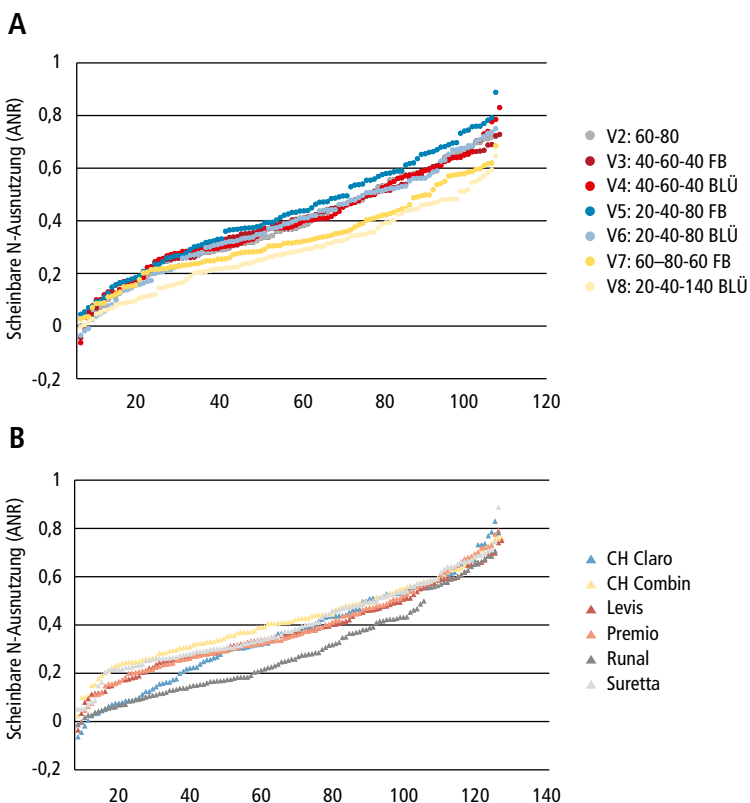
### Scheinbare N-Ausnutzung (ANR)

Die scheinbare Stickstoffausnutzung (Apparent Nitrogen Recovery, ANR) in den Körnern ist ein Mass für die Effizienz, mit welcher der Stickstoffdünger verwertet wird. Während das Verfahren V5 die Spitze einnimmt, schneiden die Verfahren V7 und V8 am schlechtesten ab (Abb. 4A). Selbst wenn der Kornertrag bei Verfahren V7 am höchsten ist, rechtfertigt der erreichte Zuwachs die gegenüber V2 bis V6 eingesetzten zusätzlichen 60 kg N/ha nicht. Sadras und Rodriguez (2010) bestätigen, dass die N-Ausnutzung mit zunehmendem Düngereinsatz sinkt. Andere Studien (Arvalis 2014) haben gezeigt, dass die Kapazität zur Stickstoffverwertung vom Entwicklungsstadium der Kultur abhängig ist. Am Ende des Stadiums Schossen wird der Stickstoff beispielsweise doppelt so gut verwertet wie zum Zeitpunkt der Bestockung.

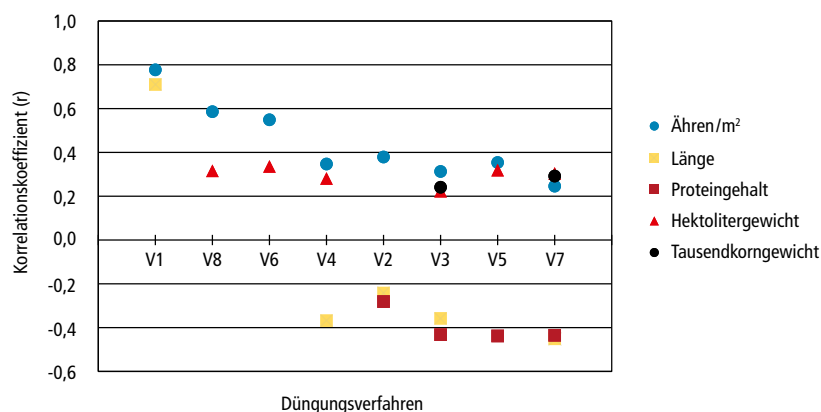
Beim Sortenvergleich (Abb. 4B) zeigt sich, dass Runal den Stickstoffdünger sehr schlecht verwertet. Die meisten Parzellen der Sorte CH Combin erreichten dagegen eine hohe N-Ausnutzung, was die Spitzenleistung dieser Sorte erklärt. Auch die grosse Bandbreite der ANR-Werte von CH Claro ist bemerkenswert. Etwa 30% der Parzellen dieser Sorte weisen sehr tiefe ANR-Werte auf, wohingegen einige Parzellen sehr hohe Werte erreichen. Diese Beobachtung liefert eine Erklärung dafür, weshalb diese Sorte oft so kontrovers bewertet wird: Während ein Teil der Landwirte extrem zufrieden ist, sind andere enttäuscht von der Leistung dieser Sorte.

### Einflussfaktoren des Kornertrags

Der Kornertrag wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Je nach Düngermenge und Aufteilung haben unterschiedliche Parameter einen Einfluss auf den Kornertrag. Ein Faktor, der bei einem Düngungsverfahren einen positiven Effekt hat, kann bei einem anderen Verfahren negative Auswirkungen haben. Ohne Stickstoffdüngung (V1) besteht eine enge positive Korrelation zwischen dem Kornertrag und der Anzahl Ähren pro m<sup>2</sup> ( $r=0,777^{***}$ ) sowie der Pflanzenlänge ( $r=0,701^{***}$ ). Bei allen Verfahren mit Düngung korreliert der Kornertrag signifikant mit der Anzahl Ähren pro m<sup>2</sup>, aber dieser Faktor verliert an Einfluss



**Abb. 4 |** Scheinbare N-Ausnutzung (ANR) in den Körnern A) nach Düngungsverfahren (n=108 Parzellen pro Verfahren) und B) nach Sorte (n=126 Parzellen pro Sorte). Innerhalb eines Verfahrens sind die Parzellen in aufsteigender Reihenfolge ihres ANR-Werts geordnet.



**Abb. 5 |** Korrelationskoeffizient ( $r$ ) zwischen Kornertrag und den verschiedenen untersuchten Parametern nach den verschiedenen Düngungsverfahren ( $n = 108$ ). Die Düngungsverfahren sind in aufsteigender Reihenfolge nach dem Kornertrag geordnet. Es sind nur Punkte mit einem signifikanten ( $P < 0,05$ ) Korrelationskoeffizienten  $r$  dargestellt.

bei den Verfahren, welche die höchsten Erträge ergaben. Während die Pflanzenlänge ohne Stickstoffdüngung (V1) zu einem hohen Kornertrag beitrug, wirkte sich eine grosse Höhe nachteilig auf den Ertrag von gut mit Stickstoff versorgten Pflanzen aus (negativer Korrelationskoeffizient). Es lässt sich in diesen Fällen vermuten, dass die Vorteile eines gut ausgebildeten Blattapparates durch die Konkurrenz zwischen Blättern und Körnern um verfügbare Nährstoffe aufgehoben wurden. Die Dichte der Körner (HLG) korreliert positiv mit dem Kornertrag bei den meisten Düngungsverfahren. Ein hohes Tausendkorngewicht trug nur bei zwei Düngungsverfahren (V3 und V7) zu einem guten Ertrag bei.

Der Verdünnungseffekt der Proteine in den Körnern mit zunehmendem Ertrag wurde bereits eingehend untersucht (Waldon 1933; Grant und McCalla 1949; Stuber *et al.* 1962). Unsere Versuche zeigen, dass diese negative Korrelation nicht statistisch signifikant ist, solange der Kornertrag gering ist. Wenn bei den bei uns herrschenden Boden- und Klimabedingungen jedoch der Ertrag über etwa 65 dt/ha liegt, wird diese negative Korrelation signifikant und enger ( $r$  zwischen  $-0,281^{**}$  und  $-0,438^{***}$ )

## Schlussfolgerungen

- Um einen interessanten Kornertrag und Proteingehalt zu erzielen, ist eine minimale Stickstoffdüngung erforderlich.
- Für 33% der Variabilität des Proteingehalts ist die Sorte verantwortlich. Die Produzenten können den Proteingehalt des Weizens am einfachsten durch die Sortenwahl beeinflussen.
- Durch die Aufteilung des Stickstoffdüngers auf drei Gaben (statt zwei) lässt sich der Proteingehalt bei den

meisten Sorten signifikant erhöhen. Bei günstigen Bedingungen ergibt eine Aufteilung von 20-40-80 kg N/ha mit der dritten Düngergabe beim Erscheinen des Fahnenblattes (V5) einen zufriedenstellenden Proteingehalt ohne den Ertrag signifikant zu beeinflussen. Wenn die letzte Gabe später erfolgt (Blüte), wird bei (pedologischen und klimatischen) Bedingungen, die für die Stickstoffaufnahme der Pflanze günstig sind, der Proteingehalt erhöht, der Kornertrag allerdings vermindert.

- Die untersuchten Sorten unterscheiden sich stark bezüglich ihrer Verwertung des eingetragenen Stickstoffdüngers. CH Combin nutzt den Stickstoff viel besser als Runal (ANR um 40% höher). Auch die Aufteilung der Stickstoffdüngung beeinflusst die N-Ausnutzung. In unseren Versuchen war das Düngungsverfahren V5 am effizientesten, bei dem etwa die Hälfte des eingetragenen Stickstoffs von den Körnern verwertet werden konnte. Die zusätzlich eingetragenen 60 kg N/ha in den beiden intensivsten Düngungsverfahren (V7 und V8) konnten relativ schlecht verwertet werden (tiefere ANR-Werte).
- Die Faktoren, die den Kornertrag beeinflussen, unterscheiden sich je nach Intensität der Stickstoffdüngung. Wäre dies verständlicher? Bei knapper Stickstoffversorgung erzielen längere Pflanzen und jene mit höherer Ährendichte einen bedeutenderen Ertrag. Bei günstigeren Bedingungen tritt die Biomasse der Blätter dagegen in Konkurrenz mit der Bildung von Körnern. Ausserdem wird die negative Korrelation zwischen Kornertrag und Proteingehalt mit zunehmendem Ertrag immer ausgeprägter.
- Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Variante V2 mit nur zwei Stickstoff-Gaben am interessantesten, dicht gefolgt vom Verfahren V5. Von einer Dünger-Gabe zum Zeitpunkt der Blüte wird unabhängig von der Menge abgeraten. ■

**Riassunto****L'arte di frazionare l'azoto per ottimizzare la resa e il tenore proteico del grano**

L'interprofessione nel settore dei cereali ha instaurato un sistema di pagamento dei raccolti basato sul tenore proteico del grano della classe TOP. Agroscope ha effettuato degli esperimenti per studiare l'impatto del frazionamento della concimazione azotata sulla resa e sulla qualità del grano. Nelle nostre condizioni pedoclimatiche una ripartizione di 20-40-80 kg N/ha – con il 3o apporto allo stadio CD 37 (comparsa dell'ultima foglia) - ha portato a risultati eccellenti, per quanto riguarda sia la resa in semi sia il tenore proteico. I produttori desiderosi di ottenere semi dall'elevato tenore proteico sono probabilmente tentati di scegliere le varietà più ricche di proteine e di coltivarle in maniera molto intensiva con un 3o apporto importante al momento della fioritura. Tuttavia, questa strategia presenta un altissimo rischio di non assimilazione dell'azoto da parte della pianta nonché di perdita di resa in semi. Da un punto di vista economico, le varietà più produttive sono al contempo le più redditizie, anche se appartengono a classi qualitative inferiori. Lo studio ha altresì messo in evidenza che, nelle situazioni di scarsa disponibilità di azoto, risulta avvantaggiata una varietà a paglia alta e in grado di produrre un grande numero di spighe per m<sup>2</sup>. Al contrario, la statura della pianta diventa un elemento negativo per la formazione dei semi nei sistemi più intensivi.

**Literatur**

- Arvalis 2014. Optimiser l'alimentation de la plante en fractionnant l'azote. Zugang: [http://www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/kiosque/arvalis-info/2014janvier/ACI\\_janvier2014\\_interventions\\_printemps\\_cereales.pdf](http://www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/kiosque/arvalis-info/2014janvier/ACI_janvier2014_interventions_printemps_cereales.pdf) [23.11.2015].
- Brabant C. et Levy L., 2016. Einfluss der Stickstoffdüngung und ihrer Aufteilung auf die Backqualität von Weizen. *Agrarforschung Schweiz* 7 (2), 88–97.
- Charles R., Collaud J.-F., Levy L. & Sinaj S., 2012. Sorten, Saatchichte und Stickstoffdüngung bei Wintergerste. *Agrarforschung Schweiz* 3 (2), 88–95.
- Collin F., 2012. Modélisation du coefficient apparent d'utilisation de l'azote issu d'un engrais minéral apporté sur blé tendre d'hiver. *Agricultural sciences*. 2012. <dumas-00741001> Zugang: <http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00741001/document> [23.11.2015].
- Grant M. N. & McCalla A. G., 1949. Yield and protein content of wheat and barley. I. Interrelations of yields and protein content of random selections from single crosses. *Canad. J. Res.* 27c (5), 230-240.
- Levy L., Schwaerzel R. & Kleijer G., 2007. Stickstoffdüngung und Brotgetreidequalität. *Agrarforschung* 14 (10), 484–489.

**Summary****The art of splitting nitrogen applications to optimise wheat yield and protein content**

The cereals trade association has set up a harvest payment system based on the protein content of 'TOP' class wheats. Agroscope has implemented tests to study the impact of splitting the application of nitrogen fertiliser on wheat yield and quality. In Swiss soil and weather conditions, a 20-40-80 kg N/ha split – the third input being made at the CD-37 stage (flag-leaf sprouting) – yielded excellent results, both in terms of grain yield and protein content. Producers keen to produce grains with a high protein content may be tempted to choose the varieties highest in protein, and to manage them very intensively, with a significant third input at flowering; however, this strategy carries a very high risk of non-assimilation of the nitrogen by the plant, and of loss of grain yield. From an economic perspective, the most productive varieties are also the most profitable, even if they belong to lower quality categories. The study also highlighted the fact that in situations of low nitrogen availability, a high-straw variety developing a large number of spikes per m<sup>2</sup> has the edge. By contrast, the size of the plant militates against grain formation in the more intensive systems.

**Key words:** nitrogen fertilization, winter wheat, grain yield, varieties, protein content, apparent coefficient of nitrogen use.

- Sadras V.O., Baldock J., Cox J., Bellotti B., 2004. Crop rotation effect on wheat grain yield as mediated by changes in the degree of water and nitrogen co-limitation. *Aust. J. Agric. Res.* 55, 599-607.
- Sadras V. O. et Rodriguez D., 2010. Modelling the nitrogen-driven trade-off between nitrogen utilization efficiency and water use efficiency of wheat in eastern Australia. *Field Crops Res.* 118, 297-305.
- Sonderegger O. et Scheuner S., 2014. Bekenntnis zur Qualitätsstrategie – Getreidebranche einigt sich auf Proteinbezahlung. Zugang: [http://www.swiss-granum.ch/files/2014-05-28\\_mm\\_loesung\\_proteingehalt\\_d.pdf](http://www.swiss-granum.ch/files/2014-05-28_mm_loesung_proteingehalt_d.pdf) [23.11.2015].
- Stuber C. W., Johnson V. A. & Schmidt J. W., 1962. Grain protein content and its relationship to other plant and seed characters in the parents and progeny of a cross of *Triticum aestivum*. *Crop Sci.* 2, 502-508.
- Waldon L. R., 1933. Yield and protein content of hard red spring wheat under conditions of high temperature and low moisture. *J. agric. Res.* 47, 129-149.