

# Leistung und Stickstoffeffizienz von Schweizer Weizensorten aus dem 20. Jahrhundert

Anastase Hategekimana, David Schneider, Dario Fossati und Fabio Mascher  
 Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon 1  
 Auskünfte: Fabio Mascher, E-mail: fabio.mascher@acw.admin.ch, Tel. +41 22 363 47 33



Letzte Erhebungen in den Versuchen vor der Ernte. (Foto: ACW)

## Einleitung

Die Schweizer Weizenzüchtung verfolgt seit ihrem Beginn, Ende des 19. Jahrhunderts, drei Ziele: hoher und stabiler Ertrag, gute Krankheitsresistenz und hervorragende Backqualität (Fossati und Brabant 2003). Der nationale Durchschnittsertrag von Brotweizen ist deutlich gestiegen. Im Jahr 1850 betrug er rund 13 dt/ha, heute über 60 dt/ha (Fossati und Brabant 2003; SWISSGRANUM 2011). Dieser enorme Zuwachs ist auf verbesserte Anbaumethoden, den Einsatz von Düngemitteln, insbesondere Mineralstickstoff, und auf den Fortschritt bei der Züch-

tung zurückzuführen. Der Beitrag jedes einzelnen Faktors am Gesamtfortschritt ist nur schwer zu bewerten. Was die Entwicklung der Sorten anbelangt, so stellt man fest, dass das Verhältnis des Kornertrags zur gesamten oberirdischen Pflanzenmasse (Ernteindex) von 35 % im Jahr 1930 auf 50 % im Jahr 1980 (Fossati und Paccaud 1986) angestiegen ist. Begleitet wurde diese Verschiebung durch eine Verkürzung der Halme, womit die Stickstoffzufuhr erhöht und zugleich Lagerung vermieden werden konnten (Fossati und Paccaud 1986). Der grosse Einfluss der Stickstoffgabe bei der Steigerung der Weizenenerträge ist wohl bekannt (Ladha *et al.* 2005). Nur sehr

wenig ist jedoch bekannt über die Effizienz der Stickstoffnutzung durch die Schweizer Winterweizensorten, trotz der bekannten Umweltbelastungen durch übermässige Stickstoffverwendung (Spiess und Richner 2005). Wenn man bedenkt, dass die ältesten Sorten unter Bedingungen nur mit wenig verfügbarem Stickstoff gezüchtet wurden, ist es denkbar, dass sie den Stickstoff wirksamer aufnehmen und verwerten. Die Effizienz der Stickstoffnutzung durch die Pflanze ist ein agronomischer Indikator zur Beurteilung der Effizienz, mit welcher die Pflanze den zugeführten Stickstoff aufnimmt, ihn anschliessend verwertet und daraufhin den Körnern zuführt. Die Effizienz wird als Körnermasse pro verfügbare Stickstoffeinheit im Boden definiert. Dies erlaubt eine Charakterisierung und einen Vergleich der Sorten (Foulkes *et al.* 2009). Die Effizienz der Stickstoffnutzung kann in zwei Komponenten unterteilt werden: (1) die Effizienz der Stickstoffaufnahme aus dem Boden und (2) die Effizienz der Nutzung des Stickstoffs zur Körnerproduktion (Moll *et al.* 1982).

Die vorliegende Studie vergleicht den Ertrag, die Ertragskomponenten und die Effizienz der Stickstoffnutzung von sieben Schweizer Weizensorten, die zwischen 1926 und 2003 auf den Markt gebracht wurden sowie der modernen französischen Sorte Caphorn. Mit Hilfe dieses Versuchsansatzes soll untersucht werden, wie die Pflanzenzüchtung zur gesamten Ertragssteigerung beigetragen hat. Um die Unterschiede in der Stickstoffeffizienz bei alten und modernen Sorten besser miteinander vergleichen zu können wurden Versuche mit zwei Stickstoffdüngungsstufen durchgeführt (praxisüblich nach Extensonorm und niedrige Stickstoffgabe). Diese Informationen sind für die künftige Ausrichtung der Züchtung auf wettbewerbsfähige und stickstoffgenügsamere Sorten hilfreich.

## Material und Methoden

### Verwendete Sorten und Eigenschaften

Im Versuch wurden die zu jeder Epoche am meisten angebauten Schweizer Winterweizensorten sowie zum Vergleich die beiden modernen Sorten Piotta (Agroscope/DSP) und die französische Sorte Caphorn (Florimont-Desprez; Tab. 1) einbezogen. Sämtliche Sorten weisen Backqualität der Klassen 1 oder 2 auf und sind daher miteinander vergleichbar.

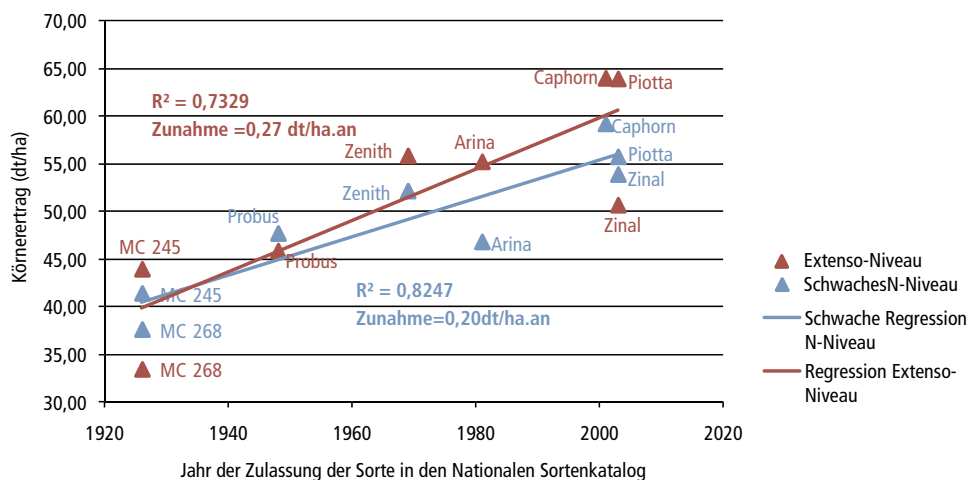
### Versuchsaufbau

Der Versuch wurde während zwei Jahren (2005 und 2006) am Standort Changins auf 440 m ü. M. durchgeführt. In den Versuchsjahren 2004 – 2005 belief sich die Niederschlagsmenge während der Wachstumsphase auf

**Zusammenfassung** ■ Der durchschnittliche Weizenertrag in der Schweiz ist von 13dt/ha im Jahre 1850 auf heute 60dt/ha gestiegen. Diese Studie befasst sich mit dem Faktor Weizensorte in dieser beeindruckenden Ertragssteigerung. Die Erträge, die Ertragskomponenten und die Stickstoffeffizienz von sieben Schweizer Weizensorten, die zwischen 1926 und 2003 in den Sortenkatalog aufgenommen wurden, sowie die Französische Sorte Caphorn (2001) wurden in standardisierten Parzellenversuchen über zwei Jahre und auf zwei Stickstoffdüngungsstufen getestet (niedrige und extenso Düngungsstufen). Der Körnerertrag zeigt eine stetige Steigerung von 0,24 dt/ha/Jahr in Funktion des Einschreibungsjahres der Sorten. Diese gewaltige Steigerung kann auf eine deutliche Vergrösserung der Anzahl der Körner pro Quadratmeter zurückgeführt werden. Die stetige Verbesserung der Stickstoffeffizienz durch die Pflanzen hat jedoch ebenfalls stark zu dieser Entwicklung beigetragen. Ein besseres Verständnis diese morphologischen und physiologischen Entwicklung der Pflanzen wird dazu beitragen Pflanzen züchten zu können, die noch effizienter mit dem vorhandenen Stickstoff umgehen können.

Tab. 1 | Zulassungsjahr und Qualitätsklasse der untersuchten Weizensorten

Name	Züchter	Eintragungsjahr in den Nationalen Sortenkatalog	Qualitätsklasse
MC 245	Agroscope	1926	II
MC 268	Agroscope	1926	II
Probus	Agroscope	1948	I
Zénith	Agroscope	1969	II
Arina	Agroscope/DSP	1981	I
Zinal	Agroscope/DSP	2003	I
Piotta	Agroscope/DSP	2003	II
Caphorn	Florimont-Desprez	2001	III



**Abb. 1** | Korrelation zwischen Körnerertrag und Zulassungsjahr der in der Schweiz im Laufe des 20. Jahrhunderts gezüchteten Winterweizensorten bei niedriger Stickstoffgabe (blaue Linie und Dreieck) und bei Extens (rote Linie und Dreieck). Mittel von zwei Versuchsjahren.

755 mm, in den Jahren 2005 – 2006 auf 707 mm. Im Jahr 2004 setzte sich der Boden der Parzelle aus 24,3 % Ton, 47,4 % Lehm und 28,3 % Sand zusammen. Der Boden im Jahr 2005 bestand aus 26,6 % Ton, 42,2 % Lehm und 31,6 % Sand. Die Vorfrucht war in beiden Fällen Winterweissebse ohne Stickstoffdüngung. Zur Vermeidung von Interferenzen durch die unterschiedlichen Pflanzhöhen wurde jede Sorte auf drei nebeneinander liegenden Parzellen von je 4,7 m Länge und 1,5 m Breite ausgesät. Die mittlere Parzelle wurde für die Ertragsuntersuchungen verwendet. Die Aussaat erfolgte mit einer Dichte von 350 Körnern/m<sup>2</sup> in 8 Reihen.

Zur Verhinderung der Lagerung auf den Parzellen mit grosser Stickstoffzufuhr im Jahr 2006 wurde der Wachstumsregulator Moddus (Syngenta, Basel, Schweiz) im «Zweiknotenstadium» (BBCH32) mit 0,4 l/ha eingesetzt.

### Stickstoffstufen und Aufteilung der Gaben

Der Stickstoff (N) wurde nach der Methode der korrigierten Norm (Sinaj *et al.* 2009) gegeben. Im Jahr 2005, entsprach das höhere Düngungsniveau (Extensio-Niveau) 120 kg N/ha. Im Jahr 2006 wurde eine Extensio plus 60 kg Düngung vorgenommen: 180 kg N/ha. Das niedrige Stickstoffniveau entsprach der korrigierten Norm abzüglich 50 Einheiten N (d. h. 70 kg N/ha) im Jahr 2005, und der korrigierten Norm abzüglich 90 Einheiten N (d. h. 20 kg N/ha) im Jahr 2006. Die Stickstoffgaben erfolgten in Form von Ammoniumnitrat (27,5 % Stickstoff) vor dem Ährenschieben – im Jahr 2005 in zwei Gaben, im Jahr 2006 in vier Gaben.

### Beobachtete Parameter

Die Ährendichte und die Körnerzahl pro Ähre wurden

auf einer repräsentativen Probe in jeder Parzelle erhoben. Nach der Ernte wurden das Tausendkorngewicht (TKG) und das Hektolitergewicht gemessen.

Zur Untersuchung der Biomasse und des Stickstoffgehalts der Pflanze in der Blüte- und in der Reifezeit wurden von jeder Sorte auf einer Länge von 25 cm in der Mitte der dritten Reihe einer Seitenparzelle Pflanzen entnommen.

Der Stickstoffgehalt der Körner sowie der ganzen Pflanze (während der Blüte- und Reifezeit) wurde mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) auf gemahlene Proben bestimmt (NIRS6500, FOSS NIRSystems, Inc., Laurel, MD, USA). Die durchgeführten Messungen basieren auf Kalibrierungen mit Pflanzmaterial, das nach der Referenzmethode nach Kjeldahl untersucht wurde. In dieser Studie wurde die NIRS-Referenzkurve mit zusätzlichen Proben validiert (Fossati *et al.* 1993).

Die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) sowie ihre zwei Komponenten Stickstoffaufnahmeeffizienz (NUpE) und die Stickstoffverwertungseffizienz (NutE) wurden mit der von Moll *et al.* (1982) vorgeschlagenen Methode berechnet. Die Berechnung der Effizienz der Stickstoffremobilisierung (ERemN) basiert auf der Methode von Barbottin *et al.* (2005).

### Statistische Untersuchung

Die Versuchsanlage bestand aus einer Split-Plot-Anlage mit drei unterteilten Wiederholungen. Hauptfaktor war dabei die Düngung, Nebenfaktor war die Sorte. Alle statistischen Untersuchungen wurden mit der Software Sigma Plot 11 (Systat Software Inc., Chicago, USA) durchgeführt. Die verschiedenen Faktoren und deren Interaktionen wurden statistisch mit dem Modul ANOVA vergli-

**Tab. 2 | Körnerertrag und seine Komponenten. Mittel der während zwei Beobachtungsjahren und bei zwei Stickstoffniveaus zusammengetragenen Daten**

Sorten	Körnerertrag (dt/ ha)	Ährenzahl pro m <sup>2</sup> (NE2)	Körnerzahl pro Ähre (NGE)	Körnerzahl pro m <sup>2</sup> (NG2)	Tausendkorngewicht (TKG)
MC 245	42,70 (±8,53)	369 (±51)	28 (±6)	10092 (±2042)	42,48 (±0,65)
MC 268	35,56 (±5,19)	311 (±44)	30 (±5)	9124 (±1060)	40,26 (±1,08)
Probus	46,78 (±11,59)	324 (±57)	36 (±6)	11586 (±2986)	40,33 (±1,21)
Zénith	53,99 (±10,40)	376 (±65)	39 (±6)	14503 (±3344)	37,74 (±1,44)
Arina	51,03 (±10,05)	409 (±93)	33 (±6)	13104 (±2500)	38,99 (±0,57)
Zinal	52,28 (±13,21)	392 (±80)	32 (±6)	12537 (±3082)	41,80 (±1,39)
Piotta	59,82 (±10,96)	461 (±67)	32 (±3)	14627 (±3229)	40,82 (±1,31)
Caphorn	61,58 (±16,22)	361 (±48)	42 (±9)	15092 (±3895)	40,76 (±0,94)

chen, nachdem mit dem Modul «test Normalverteilung» sichergestellt wurde, dass die Residuen normal verteilt waren. Die Regressions- und Korrelationsanalysen wurden mit den entsprechenden Modulen durchgeführt.

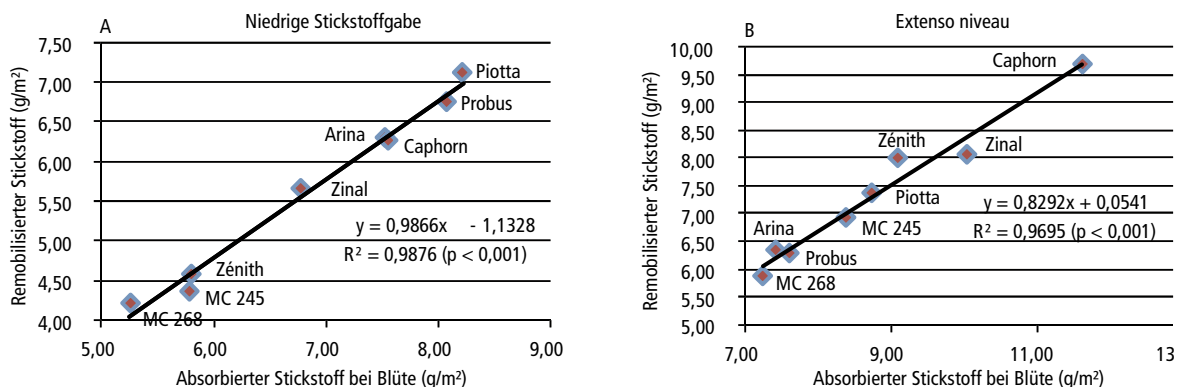
## Resultate

### Körnerertrag und Ertragskomponenten

Der höchste Ertrag wurde mit der französischen Sorte Caphorn erzielt (61,58 dt/ha), eng gefolgt von der Schweizer Sorte Piotta (59,82 dt/ha). Der tiefste Ertrag (35,56 dt/ha) wurde mit der Sorte MC 268 (Tab. 2) erzielt. Die Regression des Ertrags gegen das Jahr der Zulas-

sung der acht Sorten (Abb. 1) zeigt eine Ertragszunahme um rund 0,24 dt/ha/Jahr.

Um besser zu verstehen welche Ertragskomponenten durch die Züchtung verändert wurden, wurden Ährenzahl pro m<sup>2</sup>, Körnerzahl pro Ähre, Körnerzahl pro m<sup>2</sup> und Tausendkorngewicht erhoben und zwischen den Sorten verglichen (Tab. 2). Die Resultate zeigen eine deutliche Zunahme der Körnerzahl pro Ähre, die sich selbstverständlich auf die Körnerzahl pro m<sup>2</sup> auswirkt. Während die Sorten Mont Calme rund 10000 Körner pro m<sup>2</sup> ausbilden, erreichen die neueren Sorten bis zu 15000 Körner pro m<sup>2</sup>. Das Tausendkorngewicht ist sortenabhängig, doch ist dieser Ertragsfaktor nicht mit dem

**Abb. 2 | Beziehung zwischen der absorbierten und an die Körner remobilisierten Stickstoffmenge und der von der Pflanze vor der Blüte absorbierten Stickstoffmenge, bei niedriger Stickstoffgabe (2A) und bei Extenso (2B).**

Tab. 3 | Varianzanalyse des Körnerertrags und seiner Komponenten

Varianzquelle	Freiheitsgrad	Körnerertrag (g/m <sup>2</sup> )	Ährenzahl pro m <sup>2</sup> (NE2)	Körneranzahl pro Ähre (NGE)	Körneranzahl pro m <sup>2</sup> (NG2)	Tausend-korngewicht (TKG)
Jahr (J)	1	*	ns	ns	**	***
Sorte (S)	7	***	***	***	***	***
Stickstoff (N)	1	ns	*	ns	ns	**
J x S	7	ns	ns	*	ns	**
J x N	1	ns	ns	ns	ns	ns
V x N	7	ns	ns	ns	ns	ns
J x S x N	7	ns	ns	ns	ns	ns

\*\*\*hoch signifikant ( $P \leq 0,1\%$ ); \*\*sehr signifikant ( $P \leq 1\%$ ); \*signifikant ( $P \leq 5\%$ ); ns: nicht signifikant.

Zulassungsjahr korreliert. Die Varianzanalyse (Tab. 3) zeigt, dass der Sortenfaktor starken Einfluss auf die unterschiedlichen Erträge und sämtliche Ertragskomponenten hatte. Auch die Faktoren Versuchsjahr und Düngung haben gewisse Ertragskomponenten beeinflusst, wenn auch in geringerem Ausmass.

#### Stickstoffabsorption und -remobilisierung

Im Schnitt haben die Sorten in allen Verfahren vor der Blüte 7,82 g N/m<sup>2</sup> absorbiert und nach der Blüte 6,48 g N/m<sup>2</sup> remobilisiert und in den Körnern untergebracht (Tab. 4). Abbildung 2 zeigt für die acht Sorten die Relation zwischen der vor der Blüte absorbierten Stickstoffmasse und der in die Körner deponierten Masse. Die Absorption und die Remobilisierung sind stark miteinander korreliert und der Anteil des remobili-

serten Stickstoffs (ERemN) beträgt im Schnitt bei allen Sorten 82 %. Die absorbierte und remobilisierte Stickstoffmenge hängt vom für die Pflanze im Boden verfügbaren Stickstoff ab (Tab. 5). Abbildung 2 legt nahe, dass die neueren Sorten mehr Stickstoff absorbieren als ältere Sorten. Diese Tendenz wird jedoch nicht durch die Varianzanalyse bestätigt (Tab. 5). Man kann jedoch feststellen, dass die Sorten, die bei allen Verfahren den höchsten Ertrag erzielten, vor der Blütezeit am meisten Stickstoff lagerten und in der Lage sind, den Stickstoff schnell in die Körner zu remobilisieren.

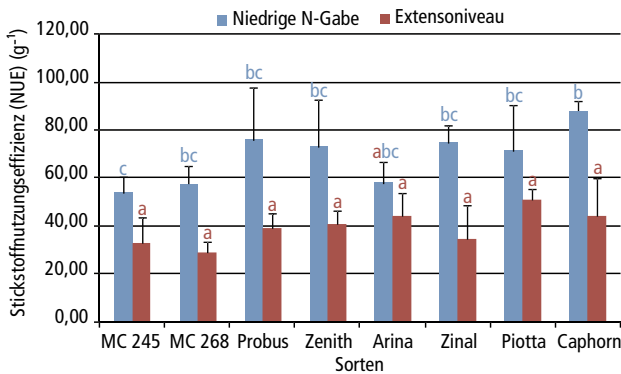
#### Effizienz der Stickstoffabsorption und -nutzung

Die Effizienz der Stickstoffnutzung der getesteten Weizensorten ist in Abbildung 3 ersichtlich. Mit Ausnahme von Arina zeigen alle Sorten eine grössere Effizienz bei

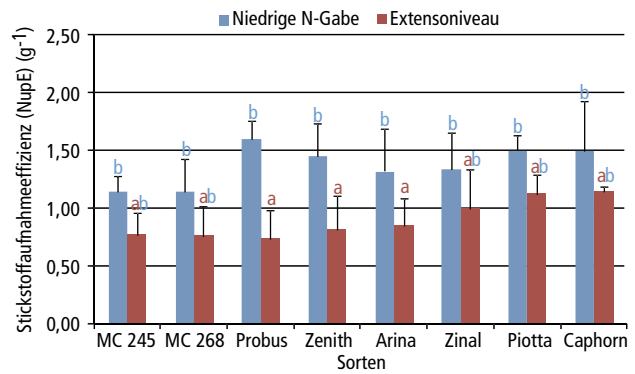
Tab. 4 | Stickstoffabsorption und -remobilisierung

Sorte	Stickstoffabsorption vor der Blüte	Stickstoffabsorption nach der Blüte (g/m <sup>2</sup> ) Napf	Bei Reife im Stroh vorhandener Stickstoff (g/m <sup>2</sup> ) Npm	Nach der Blüte in die Körner remobilisierter Stickstoff (g/m <sup>2</sup> ) NRem*	Effizienz der Stickstoffremobilisierung (Index) ERemN*	Proteingehalt im Korn (%)
MC 245	7,08 (±0,09)	1,69 (±1,76)	1,44 (±0,66)	5,64 (±1,97)	0,78 (±0,10)	12,25 (±1,42)
MC 268	6,25 (±0,83)	2,39 (±1,74)	1,21 (±0,35)	5,04 (±0,57)	0,81 (±0,05)	12,26 (±1,67)
Probus	7,84 (±1,56)	2,16 (±1,48)	1,33 (±0,37)	6,51 (±1,41)	0,83 (±0,04)	12,14 (±0,76)
Zénith	7,44 (±1,11)	2,83 (2,31)±	1,16 (±0,34)	6,29 (±1,20)	0,83 (±0,05)	10,42 (±0,92)
Arina	7,47 (±3,06)	2,26 (±0,87)	1,16 (±0,52)	6,32 (±2,57)	0,85 (±0,02)	11,49 (±0,76)
Zinal	8,41 (±0,99)	2,55 (±2,30)	1,55 (±0,39)	6,86 (±0,99)	0,82 (±0,05)	11,09 (±0,52)
Piotta	8,48 (±1,21)	3,54 (±0,93)	1,24 (±0,12)	7,24 (±1,11)	0,86 (±0,01)	10,60 (±0,36)
Caphorn	9,59 (±2,26)	2,43 (±1,64)	1,61 (±0,19)	7,98 (±2,21)	0,83 (±0,05)	10,27 (±0,42)
Moyenne	7,82 (±1,64)	2,48 (±1,63)	1,33 (±0,37)	6,48 (±1,50)	0,82 (±0,05)	11,32 (±0,85)

\*NRem = Nf-Npm und ERemN = (NRem/Nf)\*100.



**Abb. 3 |** Die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) von sieben in der Schweiz im Laufe des 20. Jahrhunderts gezüchteten Winterweizensorten sowie der französischen Sorte Caphorn wurden während zwei Jahren bei zwei Stickstoffniveaus getestet. Der Standardfehler ist durch die Balken dargestellt. Die verschiedenen Buchstaben zeigen die statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten.



**Abb. 4 |** Die Stickstoffaufnahmeeffizienz (NUpE) von sieben in der Schweiz im Laufe des 20. Jahrhunderts gezüchteten Winterweizensorten sowie der französischen Sorte Caphorn wurden während zwei Jahren bei zwei Stickstoffniveaus getestet. Der Standardfehler ist durch die Balken dargestellt. Die verschiedenen Buchstaben zeigen die statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten.

einem schwachen Stickstoffniveau als bei einem Extensniveau. Die Sortenunterschiede werden bei einem niedrigen Stickstoffniveau offensichtlicher. So zeigt beispielsweise Caphorn gegenüber MC 245 eine signifikant höhere Effizienz. Im Allgemeinen tendieren die neuen Sorten bei einem schwachen Stickstoffniveau dazu, den Stickstoff besser zu verwerten als die Sorten Mont Calme 245 und 268 oder Arina. Die Effizienz der Stickstoffabsorption der acht Sorten (Abb. 4) zeigt eine ähnliche Tendenz wie die Effizienz der Stickstoffnutzung.

## Diskussion

Die im Verlaufe des 20. Jahrhunderts entwickelten Schweizer Weizensorten, die in der vorliegenden Studie verwendet wurden, haben eine konstante Ertragssteigerung von rund 0,24 dt/ha/Jahr gezeigt. Obwohl jede Sorte eine individuelle Ertragsstruktur besitzt, sind es hauptsächlich die morphologischen Änderungen der

Pflanze, welche die Ertragssteigerung ermöglicht haben. Es handelt sich insbesondere um die Steigerung der Körnerzahl pro Ähre und die Ährenzahl pro m<sup>2</sup>. Das Tausendkorngewicht hingegen, ein wichtiges Indiz der Verbesserung von Triticale (Schori *et al.* 2011), wurde kaum verändert. Die hier mit einigen der am häufigsten zwischen 1926 und 2003 vermarkteten Sorten erzielten Resultate bestätigen die Beobachtungen, die Fossati und Paccaud bei einem beschränkteren Sortensortiment gemacht haben (1986). In verschiedenen Studien über die zwischen 1946 und 1992 eingetragenen französischen Weizensorten wird von einer analogen Entwicklung des Ertrags und der morphologischen Veränderungen der Pflanze berichtet (Le Buanec, 1999; Trotter und Doussinault, 2002).

Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurde die Stickstoffdüngung zur Ertragssteigerung deutlich erhöht. Die Züchtung stellte Sorten zur Verfügung, welche gegen Lagerung resistent waren und beträchtliche Stickstoff-

**Tab. 5 |** Varianzanalyse der Absorptionsparameter und der Stickstoffremobilisierung

Varianzquelle	Freiheitsgrad	Stickstoffabsorption vor der Blüte (g/m <sup>2</sup> ) (Nf)	Stickstoffabsorption nach der Blüte (en g/m <sup>2</sup> ) (Napf)	Nach der Blüte in die Körner remobilisierter Stickstoff (g/m <sup>2</sup> ) NRem	Effizienz der Stickstoffremobilisierung (in %) (ERemN)	Proteingehalt im Korn (%)
Sorte (S)	7	ns	ns	ns	ns	***
Stickstoff (N)	1	***	ns	***	ns	***
S x N	7	ns	ns	ns	ns	ns

\*\*\*hoch signifikant (P ≤ 0,1 %); \*\*sehr signifikant (P ≤ 1 %); \*signifikant (P ≤ 5 %); ns: nicht signifikant.

Tab. 5 | Varianzanalyse der Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) und ihrer Komponenten (NUpE und NUtE) bei zwei Stickstoffniveaus

Varianzquelle	Freiheitsgrad	Stickstoffausnutzungseffizienz (NUE)	Stickstoffaufnahmeeffizienz (NUpE)	Stickstoffverwertungseffizienz (NUtE)
Sorte (S)	7	*	ns	ns
Stickstoff (N)	1	***	***	ns
S x N	7	ns	ns	ns

\*\*\*hoch signifikant ( $P \leq 0,1\%$ ); \*\*sehr signifikant ( $P \leq 1\%$ ); \*signifikant ( $P \leq 5\%$ ); ns: nicht signifikant.

gaben verwerten konnten. Die in dieser Studie erarbeiteten Resultate zeigen auch, dass die neueren Sorten den Stickstoff in Bezug auf die Erträge immer besser nutzen. In der Tat ist der Einfluss der Sorte auf die Effizienz der Stickstoffnutzung statistisch signifikant. Die Verbesserung beider Kriterien, d.h. die Stickstoffabsorption und die Stickstoffnutzung, ermöglicht selbst bei beschränkter Stickstoffverfügbarkeit eine bessere Leistung der Sorten. Eine Verbesserung der Stickstoffabsorption kann durch ein grösseres Wurzelsystem (Le Gouis *et al.* 2000; Foulkes *et al.* 2009) sowie durch eine verbesserte Stickstoffabsorption über die Wurzeln (Slimane 2010) erreicht werden. Architektur und Funktionalität der Wurzeln der hier getesteten Sorten konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht erforscht werden.

Zwischen 60 und 95 % des durch die Pflanze assimilierten Stickstoffs wird bei der Reife in die Körner remobilisiert (Barbottin *et al.* 2005). Die hier zusammengetragenen Werte zeigen, dass alle Sorten im oberen Feld dieser Skala liegen. Bei diesem Merkmal gibt es zwischen den Sorten keine Unterschiede. Bei den Sorten Mont Calme ist der Anteil an remobilisiertem Stickstoff bereits ziemlich hoch. Dieses Merkmal wurden während des Züchtungsverlaufs nicht noch weiter verbessert.

## Schlussfolgerungen

- Die Züchtung von Weizentypen, die mehr Körner pro m<sup>2</sup> produzieren, führte zu einer deutlichen Steigerung des Ertragspotenzials der in der Schweiz im Verlauf des 20. Jahrhunderts gezüchteten Weizensorten.
- Parallel dazu konnte die Effizienz der Stickstoffnutzung im Verlaufe der Jahre verbessert werden, dies hauptsächlich durch eine effizientere Stickstoffabsorption.
- Die Frage welchen Beitrag die beiden Schlüsselfaktoren Wurzelarchitektur und Stickstoffabsorption an diese Entwicklung leisten, müssten zusätzliche Forschungen angestellt werden.
- Die in dieser Studie erforschten modernen Sorten konnten den Stickstoff bei schwacher Stickstoffverfügbarkeit besser nutzen als die herkömmlichen Sorten.
- Ein besseres Verständnis des durch die modernen Sorten erzielten Fortschritts wird erlauben, Genotypen zu züchten, welche über einen noch höhere Stickstoffeffizienz verfügen. ■

### Dank

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Aktion COST 860 SUSVAR (Sustainable low-input cereal production: required varietal characteristics and crop diversity) durchgeführt. Die Autoren danken dem Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF für die finanzielle Unterstützung (Vertragsnummer C04.0203).

## Riassunto

### Evoluzione della resa e dell'efficacia d'utilizzazione di varietà di frumento selezionate in Svizzera durante il novecento

La resa media di frumento in Svizzera è passata da 13q/ha nel 1850 all'attuale 60q/ha. Questo studio ha analizzato il fattore varietale in questa impressionante progressione della resa. Attraverso delle prove standardizzate sull'arco di due anni e con due regimi di fertilizzazione d'azoto (livello basso e livello Estenso), si è esaminato le rese, i componenti di essa e l'efficacia dell'impiego dell'azoto di sette varietà di frumento svizzere omologate tra il 1926 ed il 2003 e della varietà francese Caphorn (2001). La resa in grani mostra un aumento costante in funzione dell'anno d'iscrizione al catalogo nazionale delle varietà e ammonta a ca. 0,24q/ha/anno. Questo incremento straordinario è sicuramente dovuto ad un aumento del numero di grani per m<sup>2</sup>. Tuttavia, anche il miglioramento costante nell'uso dell'azoto ricopre un ruolo primordiale in quest'evoluzione. La comprensione di questo progresso, realizzato a livello morfologico e fisiologico della pianta, permetterà, in futuro, di selezionare le varietà con un'elevata efficacia nell'uso dell'azoto.

## Literatur

- Barbottin A., Lecomte C., Bouchard C. & Jeuffroy M.-H., 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science* **45**, 1141–1150.
- Spiess E. & Richner W., 2005. L'azote dans l'Agriculture. *Cahiers de la FAL* **57**, 24–25.
- Fossati A. & Paccaud F.-X., 1986. La sélection du blé en Suisse: passé, présent, futur. *Revue suisse d'Agriculture* **18** (2), 73–80.
- Fossati D., Fossati A. & Feil B., 1993. Relationship between grain yield and grain nitrogen concentration in winter triticale. *Euphytica* **71**, 115–123.
- Fossati D. & Brabant C., 2003. La sélection du blé en Suisse: Le programme des stations fédérales. *Revue suisse d'Agriculture* **35** (4), 169–180.
- Foulkes M. J., Hawkesford M. J., Barraclough P. B., Holdsworth M. J., Kerr S., Kightley S. & Shewry P. R., 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: recent advances and future prospects. *Field Crops Research* **114**, 329–342.
- Ladha J. K., Pathak H., Krupnik T. J., Six J. & van Kessel C., 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy* **87**, 85–156.
- Le Buanec B., 1999. La diversité génétique des variétés de blé tendre cultivées en France au cours du vingtième siècle: Evolution variétale, données techniques et économiques. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France* **85** (8), 37–59.

## Summary

### Performance and nitrogen efficiency of Swiss wheat varieties of the 20<sup>th</sup> century

The average wheat yield in Switzerland has increased from 13dt/ha in 1850 to 60dt/ha today. The present study investigates the factor variety in this spectacular yield improvement. Yield, yield components and nitrogen efficiency efficacy of seven Swiss wheat varieties released between 1926 and 2003 and the French variety Caphorn (released in 2001) have been studied in standardized plot trials for 2 years and at 2 nitrogen fertilization levels (low nitrogen level and medium extenso level). Grain yield shows a constant increase of about 0.24dt/ha/year, in direct correlation with the year of release of the varieties. This impressive increase is due to the net increase of the number of grains produced per square meter. However, constant improvement of nitrogen utilization by the plants has strongly contributed to this evolution. Understanding of the evolution at both the morphological and the physiological level will contribute, in future, to breed varieties displaying an even more elevated efficacy of nitrogen utilization.

**Key words:** wheat, breeding, low input agriculture, breeding for undemanding varieties.

- Le Gouis, J. Béghin D., Heumez E., & Pluchard P., 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *European Journal Agronomy* **12**, 163–173.
- Moll R.-H., Kamprath J. & Jackson W.-A., 1982. Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization. *Agronomy Journal* **74**, 562–564.
- Schori A., Mascher F. & Fossati D., 2011. Verbesserung des Ertrags, der Standfestigkeit und des spezifischen Gewichts bei Triticale. 61. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 69–72.
- Slimane R.-B., 2010. Effets de la septoriose foliaire sur la sénescence et les flux d'azote pendant le remplissage des grains chez le blé tendre. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech)-Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité Environnement et Grandes cultures.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH 2009). *Revue suisse d'Agriculture* **41** (1), 98 p.
- swissgranum, 2011. Rendements moyens utilisables. Accès: [http://swissgranum.ch/pdf/5df1\\_F\\_Marche\\_rendements.pdf](http://swissgranum.ch/pdf/5df1_F_Marche_rendements.pdf) (Accès: 30 juillet 2011).
- Trottet M. & Doussinault G., 2002. Analyse du progrès génétique chez le blé tendre au cours du XX<sup>e</sup> siècle. *Le Sélectionneur français* **53**, 2–18.