

Winterweizen: Bilanz aus 15 Jahren Sortenprüfung unter extensiven Anbaubedingungen

Lilia Levy¹, Numa Courvoisier¹, Sandro Rechsteiner², Juan Herrera¹, Cécile Brabant¹, Andreas Hund², Thomas Weissflog³, Hansueli Dierauer⁴ und Didier Pellet¹

¹Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

²ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, 8092 Zürich, Schweiz

³Swiss granum, 3001 Bern, Schweiz

⁴Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, 5070 Frick, Schweiz

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



In der Sortenprüfung werden mehrere Weizensorten unter diversen Boden- und klimatischen Bedingungen getestet.

(Foto: Carole Parodi, Agroscope)

Einleitung

Agroscope prüft jedes Jahr verschiedene Winterweizen-Züchtungen aus der Schweiz und aus dem Ausland bezüglich ihres agronomischen und technologischen Werts. Bewertet werden dabei die Produktivität, die agronomischen Eigenschaften, die Qualität und die Krankheits-

resistenz. Nach erfolgreichem Absolvieren dieses Tests sowie einer Überprüfung auf Unterscheidbarkeit, Homogenität und Beständigkeit (im Ausland durchgeführt) werden die Sorten in den Nationalen Sortenkatalog (NSK) der Schweiz aufgenommen (Abb. 1) und dürfen

nun sowohl in der Schweiz als auch in der Europäischen Union vermarktet werden. Zusätzliche Tests finden danach in den Versuchsnetzen der Branchenorganisationen statt, entweder bei swiss granum in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern (darunter Agroscope), oder in Versuchen unter biologischen Anbaubedingungen. Diese Tests führen zur Herausgabe einer «Liste der empfohlenen Getreidesorten» (ESL) von swiss granum bzw. des FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau). Mit diesen Versuchen sollen die Sorten bestimmt werden, die am besten an die Schweizer Produktionsbedingungen angepasst sind – ausgewählt wird «vom Guten das Beste». Trotz dieser Erklärungen bleiben die Sortenprüfung und die damit verknüpften Prozesse für viele Personen unklar: Es erscheinen neue Sorten auf den Listen, ohne dass die vorangehenden Schritte und Arbeiten direkt ersichtlich sind. Daher kommt es zu folgenden Fragen: Ist es das Hauptziel der Sortenprüfung, Jahr für Jahr Hunderte von Parzellen zu bewirtschaften, um schliesslich einige neue Namen auf eine Liste setzen zu können? Von welchem Mehrwert profitiert die Branche aus der Bestimmung der besten Sorten? Was würde geschehen, wenn auf die Sortenprüfung ganz verzichtet würde? In diesem Artikel wird die Bilanz aus den vergangenen 15 Jahren Sortenprüfung unter extensiven Bedingungen im Versuchsnetz von Agroscope gezogen und versucht, eine Antwort auf diese Fragen zu finden.

Material und Methoden

Das Winterweizen-Versuchsnetz

Die Versuche fanden an zehn Standorten verteilt auf die wichtigsten Getreideanbauggebiete der Schweiz statt. Die Parzellen mit einer Fläche von 7 m² wurden in drei Wiederholungen pro Standort ohne Einsatz von Wachs-

Zusammenfassung

Damit eine neue Weizensorte in der Schweiz oder im Ausland auf den Markt kommen kann, muss sie eine Reihe von Tests bestehen und beweisen, dass sie bereits angebauten Sorten bezüglich Kornertrag, Qualität oder Krankheitsresistenz überlegen ist. In diesem als Sortenprüfung bezeichneten Verfahren, wird «vom Guten das Beste» ausgewählt. Ist es möglich, diesem Verfahren einen Wert zu geben? Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, wurden die Ergebnisse zu allen während der vergangenen 15 Jahre getesteten Sorten untersucht. Es wurden drei Ansätze ausgewählt, um eine Bilanz über die Sortenprüfung bei Winterweizen zu ziehen: Zuerst wurde die Zahl der getesteten Sorten mit der Zahl der Sorten verglichen, die in den Nationalen Sortenkatalog und in die Listen der empfohlenen Sorten aufgenommen wurden. Anschliessend wurde die Entwicklung der Leistung verschiedener Sorten im Lauf der Zeit berechnet. Schliesslich wurde mit einem ökonomischen Ansatz die Grössenordnung des wirtschaftlichen Mehrwerts geschätzt, der durch die Auswahl im Rahmen der Sortenprüfung und durch die Identifikation der besten Sorten erzielt wurde (Vergleich der Bruttoeinnahmen der drei besten getesteten Sorten jedes Jahres mit den durchschnittlichen Bruttoeinnahmen der aktuellen Sorten). Die Ergebnisse heben den Mehrwert hervor, der durch die Sortenprüfung für die ganze Produktionskette von der Züchtung über die Produktion und Verarbeitung bis hin zu den Konsumentinnen und Konsumenten erzeugt wird.

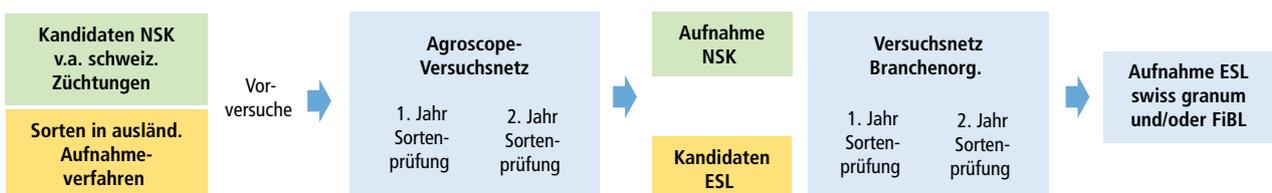


Abb. 1 | Schema zum zurückgelegten Weg einer Sorte von der Anmeldung als Kandidatensorte bis zur Aufnahme in eine Liste der empfohlenen Sorten. Bei den Kandidaten für den Nationalen Sortenkatalog (NSK) handelt es sich hauptsächlich um Sorten, die in der Schweiz gezüchtet wurden. Nach zwei Jahren erfolgreicher Tests im Agroscope-Versuchsnetz kann die Sorte in den NSK aufgenommen werden. Nun wird sie während mindestens zwei Jahren in den Branchennetzwerken geprüft, bis sie gegebenenfalls in die Listen der empfohlenen Sorten (ESL) von swiss granum und/oder des FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) eingeschrieben wird. Sorten, die sich im Ausland im Prüfverfahren befinden, müssen die Hürde von Vorversuchen nehmen und durchlaufen anschliessend die vier Jahre dauernden Tests, die sie für die Aufnahme in die ESL bestehen müssen.

tumsregulatoren oder Fungiziden angebaut, um krankheitsanfällige Sorten erkennen zu können. Das Saatgut wurde vor der Aussaat mit Fludioxonil/Difenoconazol behandelt. Insektizide wurden nur eingesetzt, wenn dies unbedingt erforderlich war. Die Stickstoffdüngermenge wurde gemäss Grundlagen für die Düngung (Sinaj *et al.* 2009) bestimmt und die Düngung wurde auf drei Gaben aufgeteilt. Die beobachteten Hauptmerkmale (gemäss Bestimmungen der Saat- und Pflanzgut-Verordnung SR 916.151.1 für die Aufnahme in den NSK) sind der relative Kornertrag bezogen auf die Standardsorten, die Standfestigkeit, die Frühreife, die Widerstandsfähigkeit gegenüber Mehltau, Rost, Septoria und Fusarium, das Hektolitergewicht, der Proteingehalt, der Zelenywert und die Backfähigkeit (auch bekannt als «Bewertungsschema 90», Saurer *et al.* 1991). Daneben werden weitere Merkmale erhoben wie Pflanzenhöhe, Tausendkorngewicht, Winterfestigkeit oder Auswuchs. Für die Aufnahme in den NSK werden die Sorten nach einem agronomischen Index, der auf der Grundlage von beobachteten agronomischen Parametern berechnet wird, und nach einem Qualitätsindex, der auf der Basis von Laboranalysen und Backversuchen berechnet wird, beurteilt.

Bilanz der Einschreibungen

Sobald die Sorten in einem NSK eingeschrieben sind, können die Sorten aus der Züchtung von Agroscope/Delley Samen und Pflanzen und aus der Getreidezüchtung Peter Kunz (GZPK) sowie aus ausländischer Züchtung für die Aufnahme in die Listen der empfohlenen Sorten ESL ausgewählt werden. Es wurde die Anzahl Sorten erhoben, die zwischen 2001 und 2015 im Agroscope Versuchsnetz getestet wurden (einmal auf der Ebene NSK und einmal auf der Ebene ESL). Diese Zahl wurde in Beziehung gesetzt mit der Anzahl Sorten, die in den NSK bzw. in die ESL von swiss granum und FiBL aufgenommen wurden.

Entwicklung der Sorten

Die Rahmenbedingungen der Sortenprüfung bei Agroscope blieben im betrachteten Zeitraum konstant, selbst wenn die Auswahl der Standardsorten angepasst wurde. Damit lässt sich die Leistungsentwicklung einer Sorte über die Zeit prüfen, wobei Einflüsse der Anbaumethoden ausgeschlossen sind (Brancourt-Hulmel *et al.* 1999). Diese Evaluation erfolgte hauptsächlich im Rahmen einer Masterarbeit (Rechsteiner, in Vorbereitung). Für die Auswertung wurden alle Sorten berücksichtigt, die im Zeitraum von 2001 bis 2015 während mindestens sechs Jahren im Agroscope-Versuchsnetz angebaut wurden. Die Konsistenz der Daten wurde geprüft und Ausreisser (Werte deren Residuen \pm die vierfache residuale Stan-

dardabweichung überschritten) wurden entfernt. Für die fehlenden Jahre wurden die Durchschnittswerte für die einzelnen Sorten gemäss einem Modell (Gleichung 1) berechnet.

$$y_{ik} = \mu + G_i + Y_{nk} + (GYn)_{ik} + Y_k + e_{ik}$$

Gleichung 1 | Modell für die Schätzung fehlender Daten. y_{ik} ist der Mittelwert des Genotyps im Jahr k . Der Genotyp (G_i) und die Interaktion $(GY)_{ik}$ werden als unveränderliche Faktoren angenommen. Das Erntejahr (Y_{nk}) wurde in einen numerischen Vektor umgewandelt und als fester Wert betrachtet. Der Faktor Y_k wurde als zufällig angenommen, e_{ik} ist der Restfehler. Dieses Modell wurde angewendet, um die Leistung der Sorten (G_i) in der Mitte des Untersuchungszeitraums (Jahr 2008) zu schätzen, sowie ihre Entwicklung im Verlaufe der Jahre.

Die statistischen Analysen wurden mit R (Version 3.2.5, R Core Team 2016) durchgeführt. Die Trends (Steigungen der Regressionsgeraden) wurden mit dem Paket «lsmest» (Lenth 2016) berechnet. Mit einer Varianzanalyse konnte geprüft werden, ob die Trends signifikant waren. Die Steigungen der Regressionsgeraden zu den einzelnen Sorten wurden mit dem Tukey-Test verglichen (Lenth 2016).

Schätzung des wirtschaftlichen Mehrwerts

Es wurden die Bruttoeinnahmen für jede im Agroscope-Versuchsnetz getestete Sorte geschätzt (Ertrag \times Preis). Falls die betreffende Sorte in eine ESL aufgenommen wurde, erfolgte die Berechnung auf der Grundlage der schliesslich zugeteilten Qualitätsklasse. Falls die Sorte ausschied, wurde die Qualitätsklasse der Sorte basierend auf den verfügbaren Daten geschätzt. Für diese Schät-

Tab. 1 | Beispiel für die Richtpreise verschiedener Qualitätsklassen zu Beginn bzw. am Ende des Untersuchungszeitraums. Zur Berechnung des wirtschaftlichen Wertes der Ernte der geprüften Sorten wurden jeweils die Richtpreise von swiss granum für die entsprechenden Jahre zu laufenden Preisen des Jahres angewendet. Bei Jahren, für die keine Richtpreise festgelegt waren, wurden die Preise des vorangehenden Jahres berücksichtigt. Die Preise des Jahres 2002 für die Klasse 3 und Futterweizen wurden auch für die Berechnungen 2001 verwendet.

Klasse	2001	2015
	CHF	CHF
Top	62.50	52.00
I	57.00	50.00
II	51.50	49.00
III	47.50	45.00
Biskuit	53.00	49.00
Futterweizen	46.00	36.50

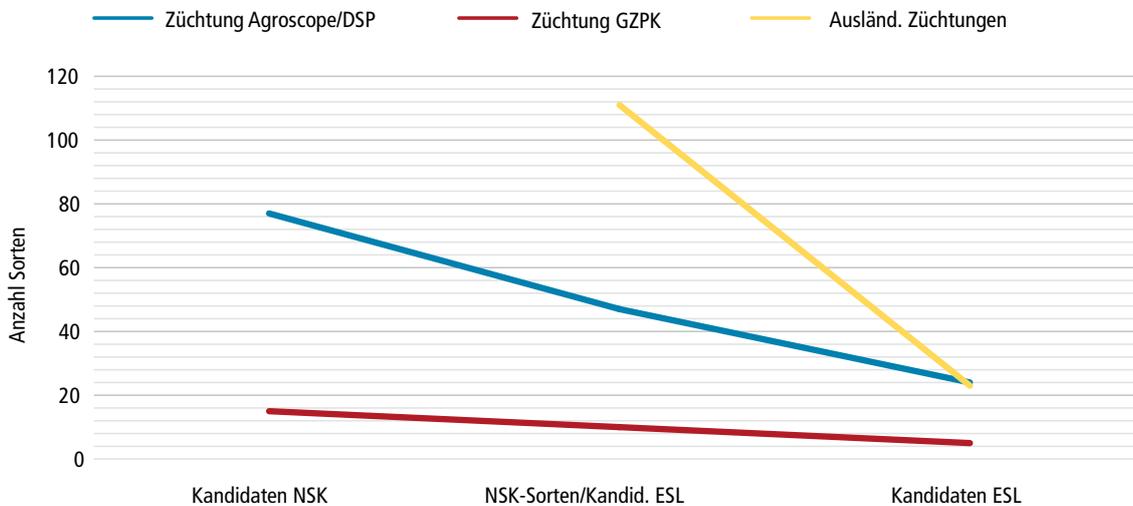


Abb. 2 | Anzahl getestete Sorten im Agroscope-Versuchsnetz für die Sortenprüfung in den vergangenen 15 Jahren. Beim Auswahlverfahren für einheimische Sorten werden die Kandidaten zuerst im Hinblick auf die Aufnahme in den Nationalen Sortenkatalog (NSK) der Schweiz getestet. Anschliessend werden sie hinsichtlich der Aufnahme in die Sortenliste (ESL) für den konventionellen Anbau (swiss granum) oder für den biologischen Anbau (FiBL) getestet. Sorten, die sich im Ausland im Aufnahmeverfahren für den europäischen Sortenkatalog befinden oder in diesen aufgenommen sind, können ihre Laufbahn in der Schweiz als Kandidaten für die ESL beginnen, nachdem sie zuerst die Sortenprüfung im Agroscope-Versuchsnetz erfolgreich durchlaufen haben.

zung wurde das bei swiss granum bis zur Ernte 2016 angewendete System mit sechs Klassen (Top, I, II, III, Biskuit, Futterweizen) verwendet. Gestützt auf den Richtpreisen für die Ernte von swiss granum konnte der wirtschaftliche Wert des Kornertrags jeder im Agroscope-Versuchsnetz getesteten Sorte festgelegt werden. Es wurden die Preise des entsprechenden Jahres berücksichtigt. Durch diesen Ansatz konnten die Sorten unabhängig von ihrer Qualitätsklasse miteinander verglichen werden.

Um den durch die Sortenprüfung erzeugten wirtschaftlichen Mehrwert zu schätzen, wurden für jedes Jahr die Bruttoeinnahmen für die drei besten im Agroscope-Versuchsnetz getesteten Sorten des betreffenden Jahres mit dem Gesamtdurchschnitt aller Sorten des Versuchsnetzes und mit den drei besten Sorten jedes einzelnen Standorts und Jahres verglichen. So konnte der Wert der Interaktion Genotyp \times Umwelt im Hinblick auf eine spezifische regionale Empfehlung geschätzt werden. Der Mehrwert der Sortenprüfung (auf nationaler Ebene) und der Wert der Interaktion Genotyp \times Umwelt lassen sich addieren.

Resultate und Diskussion

Bilanz der Aufnahmen

Zwischen 2001 und 2015 wurden 235 Sorten im Agroscope-Versuchsnetz für die Sortenprüfung untersucht, wobei jede Sorte im Allgemeinen auf mindestens 60 Einheitsparzellen (zu 7 m²) angebaut wurde, das heisst

mit drei Wiederholungen pro Standort, an zehn über die Schweiz verteilten Standorten und dies während zwei Jahren.

Im Durchschnitt dieser 15 Jahre wurden etwas weniger als zwei Drittel der geprüften Sorten in den NSK der Schweiz aufgenommen (Abb. 2). Die meisten dieser Sorten waren aufgrund ihrer Ergebnisse erfolgreich, während bei einem Teil (16 % der aufgenommenen Sorten) die Aufnahme in den Katalog durch Wiedererwägung erfolgte, indem der Züchter oder der Sortenvertreter dem Bundesamt für Landwirtschaft bestimmte zusätzliche Parameter vorlegte, welche die bei der Sortenprüfung festgestellten Mängel kompensieren. Dieser Test deckt mit zahlreichen untersuchten Parametern die Minimalanforderungen an eine Sorte, die auf den Markt kommen soll. Diese Anforderungen werden bei den Tests der Branchenorganisation noch verschärft, um die spezifischen Bedürfnisse des Marktes auf verschiedenen Ebenen zu berücksichtigen (Züchtung, Saatgutproduktion, Produktion, Sammelstellen, Müllereien, Bäckereien).

Damit eine Sorte eine reelle Chance hat, von den Landwirtschaftsbetrieben angebaut zu werden, muss sie auf der ESL der Branchenorganisation für konventionellen Anbau (swiss granum) oder für biologischen Anbau (FiBL) aufgeführt sein. Etwa die Hälfte der im NSK der Schweiz eingeschriebenen Sorten wird schlussendlich in eine ESL aufgenommen. Sorten, die sich im Ausland in einem Aufnahmeverfahren befinden, müssen sich erst ein Jahr in

Vorversuchen und zwei Jahre im Agroscope-Versuchsnetz bewähren, ehe sie in den Versuchsnetzen der Branchenorganisationen getestet werden. Von diesen Sorten erfüllen weniger als ein Viertel die Anforderungen der Schweizer Branche.

Zusammengefasst stellt die komplex organisierte Schweizer Getreidebranche, vertreten durch die Sektoren Bäckerei, Müllerei, Sammelzentren, Produktion, Saatgutproduktion und Züchtung, hohe Ansprüche an die Sorten, um die Erwartungen der Konsumentinnen und Konsumenten zu erfüllen. Die Sortenprüfung dient der Branche als Werkzeug, um die besten unter denjenigen Sorten auszuwählen, die von den Züchtern und ihren Vertretern vorgeschlagen werden. Dieses Anforderungsniveau widerspiegelt sich in den verschiedenen Erfolgsraten des gesamten Auswahlverfahrens von der Anmeldung einer für den NSK der Schweiz vorgeschlagenen Sorte (ab dem ersten Prüfljahr im Agroscope-Versuchsnetz) bis zur Aufnahme in eine ESL. Bei den einheimischen Arten werden ein Drittel der Sorten schliesslich in eine ESL aufgenommen und zwei Drittel scheiden aus, bei den ausländischen Sorten werden ein Viertel in eine ESL eingeschrieben. Die meisten in der Schweiz getesteten ausländischen Sorten sind im europäischen Sortenkatalog aufgeführt.

Entwicklung der Leistung der Sorten

Es ist normalerweise schwierig, die Entwicklung einer Sorte zu messen, weil verschiedene Faktoren ihre Leistung beeinflussen. In der Sortenprüfung werden die Rahmenbedingungen jedoch konstant gehalten, um den Einfluss der Sorte isoliert betrachten zu können. Die Gesamtentwicklung über die Zeit sowie die Entwicklung der einzelnen Sorten konnte für verschiedene Kriterien gezeigt werden (Tab. 2).

Insgesamt blieben die Kornerträge stabil (statistisch nicht signifikanter negativer Trend). Der Ertrag ist von Sorte zu Sorte jedoch sehr unterschiedlich und die Sorten reagieren nicht in gleicher Weise. CH Claro, die produktivste Sorte der Klasse Top, weist die steilste Steigung auf (-1,044 dt/ha und Jahr). Im Gegensatz dazu sind Arina und Runal, die ältesten Sorten der Reihe (im NSK der Schweiz seit 1981 bzw. 1995) auf einem relativ tiefen Niveau stabil. Klarer wird das Bild beim Relativertrag: hier ist der negative Trend statistisch signifikant (Abb. 3). Insgesamt büssen die getesteten Sorten im Vergleich zu den Standardsorten jedes Jahr 1,045 % an Ertrag ein. Die Standardsorten werden im Hinblick auf eine Prüfung auf hohem agronomischem Niveau ausgewählt. Die Wahl der Standardsorten wird über die Jahre angepasst, um ein

Tab. 2 | Untersuchung der Entwicklung der Leistung von Weizensorten, die zwischen 2001 und 2015 mindestens sechs Jahre im Agroscope-Versuchsnetz angebaut wurden. Oben in der Tabelle sind die p-Werte der Varianzanalyse aufgeführt. Im zweiten Teil der Tabelle ist zu jeder Sorte der Trend (Steigung einer Regressionsgeraden) für verschiedene Kriterien angegeben. Die Buchstaben zeigen die homogenen Gruppen nach dem Tukey-Test an.

ANOVA, p-Werte	FG	Ertrag	Relativertrag	Proteingeh.	Feuchtgluten	Zeleny	Punkte Labor	Punkte Backv.	Schema 90
Trend	1	0,356	0***	0,025*	0,5	0,412	0,341	0,114	0,132
Sorte	10	0***	0***	0***	0***	0***	0***	0***	0***
Trend: Sorte	10	0,059†	0,074†	0,146	0,368	0,148	0,002**	0,103	0,003**
Trends (Steigungen) einzelner Sorten		[dt*ha ⁻¹ *a ⁻¹]	[%*a ⁻¹]	[%*a ⁻¹]	[%*a ⁻¹]	[ml*a ⁻¹]	[pts*a ⁻¹]	[pts*a ⁻¹]	[pts*a ⁻¹]
RUNAL (Top)		-0,116 B	-0,778 AB	-0,128 A	0,200 A	-0,644 A	-0,247 ABC	0,457 A	0,261 AB
SIALA (Top)		-0,250 AB	-0,985 AB	-0,126 A	0,401 A	-0,041 A	1,213 C	-0,093 A	1,227 AB
CH CLARO (Top)		-1,044 A	-1,978 A	-0,069 A	0,042 A	-0,509 A	-0,850 ABC	-0,825 A	-1,717 AB
CH CAMEDO (Top)		-0,189 AB	-0,773 AB	-0,101 A	0,119 A	-1,099 A	-1,508 A	-1,232 A	-2,747 A
ARINA (I)		0,047 B	-0,480 B	-0,107 A	0,163 A	-0,156 A	0,609 BC	0,669 A	1,340 B
ZINAL (I)		-0,260 AB	-1,008 AB	-0,080 A	-0,002 A	-0,104 A	-0,377 ABC	-0,646 A	-0,998 AB
FOREL (I)		-0,644 AB	-1,434 AB	-0,122 A	-0,021 A	-0,607 A	-1,039 ABC	-1,429 A	-2,427 AB
SIMANO (I)		-0,644 AB	-1,335 AB	-0,140 A	-0,010 A	-1,017 A	-1,594 AB	-1,144 A	-2,862 AB
CH COMBIN (I)		-0,444 AB	-1,209 AB	-0,029 A	0,333 A	0,721 A	0,806 BC	-0,132 A	0,736 AB
SURETTA (I)		0,025 AB	-0,511 AB	-0,245 A	0,028 A	0,850 A	-1,484 ABC	-2,382 A	-3,829 AB
LEVIS (II)		-0,279 AB	-1,002 AB	-0,100 A	0,110 A	-0,412 A	-0,407 ABC	-0,293 A	-0,700 AB
Durchschn. Trend (Steigung)		-0,345	-1,045	-0,113	0,124	-0,274	-0,444	-0,641	-1,065

Signifikanzniveau: †, *, **, *** entspricht P < 0,1, < 0,05, < 0,01, < 0,001; FG = Freiheitsgrad; a = Jahr

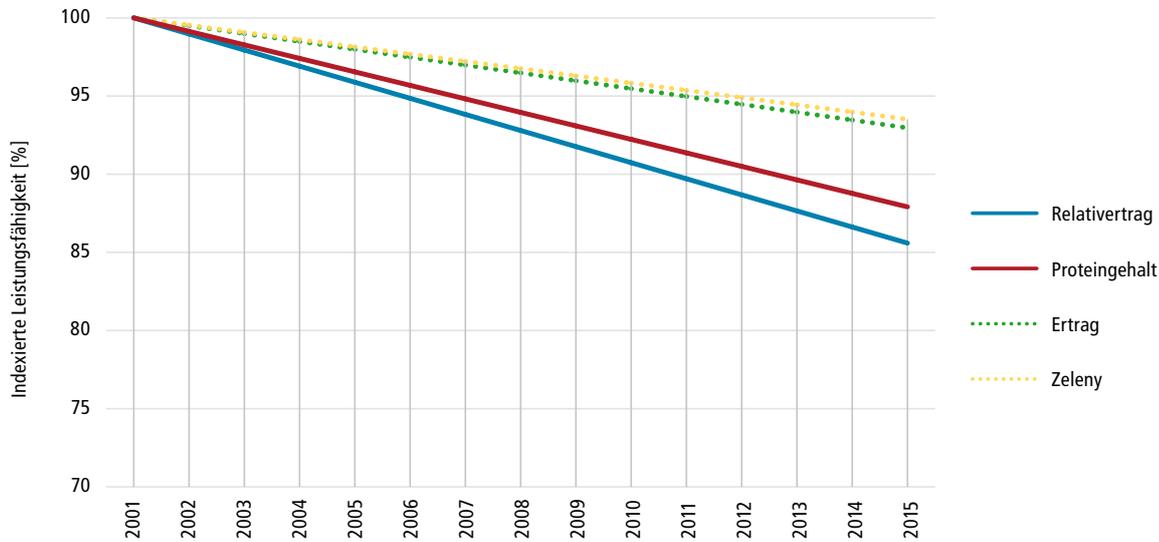


Abb. 3 | Trends der durchschnittlichen Leistung der Sorten bezogen auf das Jahr 2001. Der Relativertrag (im Vergleich zu den Standardsorten) sowie der Proteingehalt haben statistisch signifikant abgenommen. Die Abnahme des Ertrags und der Qualität der Proteine (Zeleny) ist nicht statistisch signifikant.

geeignetes Anforderungsniveau aufrechtzuerhalten. Die Tatsache, dass alle getesteten Sorten eine negative Steigung aufweisen, deutet darauf hin, dass alle Sorten ihren Wettbewerbsvorteil verlieren; sie unterscheiden sich untereinander nur in der Geschwindigkeit, mit der sie diesen Vorteil einbüßen. Auch der Proteingehalt nahm bei allen Sorten statistisch signifikant ab, insgesamt um $-0,113\%$ pro Jahr. Dasselbe Phänomen wie beim Kornertrag von CH Claro zeigt sich hier auch bei Suretta: Diese Sorte, die den höchsten Proteingehalt ihrer Qualitätsklasse besaß, zeigt die steilste negative Steigung, die sich allerdings nicht statistisch signifikant von anderen Sorten unterscheidet. Bei allen anderen analysierten Kriterien lässt sich kein eindeutiger Trend feststellen, obwohl die Werte mit Ausnahme von Feuchtgluten immer negativ sind. Es sind zwei Interpretationen möglich. Erstens kann vermutet werden, dass die Abnahme des Proteingehaltes entweder keine so starken Auswirkungen hatte, dass sie sich auf die Parameter der Labormessungen oder der Backversuche niederschlagen, die im Schema 90 (Saurer *et al.* 1991) berücksichtigt werden, oder dass die Abnahme durch die gute Qualität der Proteine aufgefangen wurde. Als zweite mögliche Erklärung lassen sich unterschiedliche Datensets vermuten. Um eine korrekte Durchführung der Backversuche sicherzustellen, werden Orte mit gekeimten Posten vor dem Mischen für das Mahlen ausgeschieden. Aus diesem Grund ist je nach den meteorologischen Bedingungen des Jahres das Material für die Proteinanalysen sowie für die teigphysikalischen Tests

und die Backversuche nicht immer identisch. Selbst wenn das Ausscheiden der Orte, an denen der Weizen gekeimt ist, die Fallzahl der Sorten direkt beeinflusst, könnten unbeabsichtigte Wirkungen auf den Proteingehalt entstehen. Es ist jedoch bekannt dass sich die Umwelt stärker auf den Proteingehalt als auf die Qualität der Proteine auswirkt (Bilgin *et al.* 2016). Aktuelle Studien in Deutschland kommen zu ähnlichen Ergebnissen (Laidig *et al.* 2017). Über einen Zeitraum von 30 Jahren (Analyse auf der Grundlage von Sorten derselben Qualitätsklasse) hat der Proteingehalt demnach abgenommen, ohne dass deshalb die Gesamtqualität zwingend beeinflusst wurde. Bei den in Tabelle 3 dargestellten Sorten handelt es sich um eingeschriebene Sorten aus der ESL – sie wurden durch die Sortenprüfung als die «besten» Sorten ausgezeichnet. Die Bewertungen zeigen aber, dass diese Sorten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt die genetische Spitze einnahmen, ihre absoluten oder relativen Vorteile nach und nach einbüßten (z.B. reduzierter Proteingehalt oder Relativertrag). Selbst die vormals interessantesten Sorten werden im Laufe der Zeit von leistungsfähigeren Sorten überholt, was gerade die Notwendigkeit der Züchtung und Sortenprüfung bestätigt.

Es bestehen verschiedene Hypothesen, mit denen sich die Abnahme der Leistungsfähigkeit einer Sorte erklären lassen. Erstens ist denkbar, dass die Sorte einem immer stärkeren Krankheitsdruck ausgesetzt ist: Während sich die Krankheitserreger schnell weiterentwickeln, bleibt die Sorte stabil und wird schliesslich überholt. Nach der

zweiten Hypothese ist die Umwelt verantwortlich: Tritt ein aussergewöhnliches klimatisches Ereignis auf, wird dessen Wirkung je nach Stadium der Pflanzenentwicklung verschiedentlich ausfallen. Ein weiterer Parameter, der die Anreicherung von Proteinen in der Pflanze bekanntermassen beeinflusst, ist die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Höhere Konzentrationen hemmen die Aufnahme von Nährstoffen durch die Pflanze sowie deren Transport in die Körner (Wieser *et al.* 2008). Eine Verdoppelung der aktuellen Konzentration würde eine Abnahme des Proteingehalts um 10 bis 15% verursachen (Taub *et al.* 2008). Die CO₂-Konzentration der Atmosphäre in der Schweiz nahm im fünfzehnjährigen Beobachtungszeitraum um etwa 9% zu (von 370 auf 402 ppm) (Leuenberger 2015). Diese CO₂-Zunahme erklärt allerdings nur etwa 10% der in der vorliegenden Studie beobachteten Abnahme des Proteingehalts durch direkte Wirkungen. Die indirekte Wirkung des CO₂ als Treibhausgas lässt sich nur schwer über die Klimaerwärmung messen. Diese Wirkung machte sich durch die extremeren Klimaereignisse der vergangenen Jahre bemerkbar, wie der Wasserüberschuss während der vegetativen Phase (Erstickung der Pflanze), die Trockenheit während des Schossens (reduzierte Stickstoffaufnahme), begrenzte Sonneneinstrahlung oder Kälte während der Meiose (ver-

minderte Fruchtbarkeit), hohe Temperatur während des Wachstums der Körner (Schmackkörner) usw. Diese Klimaschwankungen haben einen starken Einfluss auf den Proteingehalt aber auch auf den Kornertrag des Weizens. Die beobachtete Abnahme bei den bereits eingeschriebenen Sorten ist also das Ergebnis mehrerer Einflüsse.

Wirtschaftliche Untersuchung

Die Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Weizen über die Zeit hängt von mehreren Faktoren ab. Einerseits arbeitet die Züchtung intensiv daran, den Landwirtschaftsbetrieben immer bessere, leistungsfähigere und krankheitsresistentere Sorten zur Verfügung stellen zu können. Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Weizen beruht also in erster Linie auf genetischen Anpassungen und damit auf der Pflanzenzüchtung. Ausserdem ist es die Aufgabe der Sortenprüfung, unter allen Kandidaten, die von der Züchtung vorgeschlagen werden, die besten Sorten zu identifizieren. Die Sortenprüfung ist deshalb die zweite Quelle für die Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Weizen: die Auswahl der besten Sorten.

Die Leistung der im Agroscope-Versuchsnetz geprüften Weizensorten wurde über die vergangenen 15 Jahre untersucht. Jedes Jahr schlagen die Züchter ihre besten Sorten für die Prüfung vor. Die Hypothese ist zulässig,

Tab. 3 a | Schätzung des Mehrwerts, der durch die Sortenprüfung bei Winterweizen erzeugt wird. Differenz zwischen den Bruttoeinnahmen der drei besten Sorten jedes Jahres des gesamten Versuchsnetzes und den Bruttoeinnahmen des Versuchsnetzeses, jeweils multipliziert mit der Winterweizen-Anbaufläche.

Jahr	Bruttoeinnahmen pro ha			Winterweizenfläche ha	Bruttoeinnahmen Schweiz erzeugt durch Sortenprüfung CHF
	Durchschnitt 3 beste Sorten des Jahres	Gesamtdurchschnitt	erzeugt durch die Sortenprüfung		
	CHF	CHF	CHF		
2001	3933	3467	466	86 872	40 457 410
2002	4405	3866	539	86 801	46 797 291
2003	3858	3392	466	75 387	35 108 792
2004	4877	4262	614	83 546	51 337 997
2005	4548	3977	571	88 010	50 253 405
2006	4133	3688	445	89 695	39 909 034
2007	3969	3416	554	87 084	48 215 336
2008	4108	3468	640	87 234	55 790 810
2009	3778	3431	347	86 053	29 834 266
2010	3769	3402	366	85 714	31 410 008
2011	4400	3931	469	82 029	38 434 374
2012	3743	3271	471	83 632	39 425 949
2013	3232	2812	420	83 071	34 889 743
2014	3915	3406	509	79 010	40 218 475
2015	3958	3493	465	80 360	37 373 650
Mittel	4042	3552	489	84 300	41 297 103

Tab. 3 b | Schätzung des zusätzlichen Mehrwerts, der aufgrund der Interaktion Genotyp \times Umwelt (G \times U) erzeugt werden könnte, das heisst durch die Möglichkeit, die besten Sorten für jeden Versuchsstandort zu bestimmen.

Jahr	Bruttoeinnahmen pro ha			Winterweizen- fläche	zusätzliche Bruttoeinnahmen erzeugt durch Empfehlung nach Standort
	Durchschnitt 3 beste Sorten pro Jahr und Standort	Durchschnitt 3 beste Sorten des Jahres	zusätzliches Potential der Prüfung G \times U		
	CHF	CHF	CHF		
2001	4051	3933	118	86 872	10 290 168
2002	4523	4405	118	86 801	10 219 123
2003	4037	3858	180	75 387	13 534 567
2004	4930	4877	54	83 546	4 479 305
2005	4690	4548	141	88 010	12 447 502
2006	4262	4133	130	89 695	11 633 807
2007	4090	3969	121	87 084	10 495 036
2008	4228	4108	120	87 234	10 511 518
2009	3900	3778	123	86 053	10 562 839
2010	3902	3769	133	85 714	11 409 464
2011	4541	4400	141	82 029	11 580 350
2012	3945	3743	203	83 632	16 940 886
2013	3413	3232	181	83 071	15 050 870
2014	4034	3915	119	79 010	9 422 963
2015	4097	3958	140	80 360	11 220 868
Mittel	4176	4042	135	84 300	11 319 951

das ohne Sortenprüfung, die Landwirtschaftsbetriebe wahrscheinlich all diese Neuheiten ohne Unterscheidung anbauen würden. Bezüglich Bruttoeinnahmen (Kornertrag \times Preis) würde dies dem Gesamtdurchschnitt aller im Netzwerk zu einem bestimmten Zeitpunkt getesteten Sorten entsprechen (Tab. 3 a). Mit der Sortenprüfung können in diesem Fall die drei besten Sorten des Netzwerks (etwa 10 %) eindeutig bestimmt werden. Der Unterschied zwischen den durchschnittlichen Bruttoeinnahmen und den Bruttoeinnahmen der drei besten Sorten des Netzwerks lässt sich als Wertschöpfung der Sortenprüfung (Identifikation der besten Sorten) interpretieren. Dieser Unterschied der Bruttoeinnahmen der drei besten Sorten im Vergleich zum Durchschnitt aller geprüften Sorten des Netzwerks liegt bei 489 Fr. pro Hektare angebaute Fläche und Jahr. Dies entspricht einer Verbesserung der Bruttoeinnahmen um 14 % gegenüber dem Gesamtdurchschnitt. Hochgerechnet auf die gesamte Anbaufläche von Winterweizen in der Schweiz kommt dies auf nationaler Ebene einem wirtschaftlichen Wert von rund 40 Millionen Franken pro Jahr gleich. Dies ist ein bedeutender Betrag und ein Hinweis auf die Grössenordnung des durch die Sortenprüfung geschaffenen Mehrwerts. Da diese Studie auf den Erträgen kleiner Parzellen beruht, muss bei der Hochrechnung auf die landwirtschaftliche Praxis mit ei-

nem etwas geringeren Wertzuwachs gerechnet werden. Andererseits wurde nur die Produktivität untersucht, ohne Berücksichtigung zusätzlicher Faktoren wie die Marktbedürfnisse, die ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Ausscheidung im Rahmen der Sortenprüfung spielen. Dieser Beitrag müsste für die hier angewendete Bestimmung des Mehrwerts ebenfalls beziffert werden. Selbst wenn diese Tätigkeit einen bedeutenden Mehrwert erzeugt, ist dies noch keine Garantie, dass sie auch effizient ist (Kostenmanagement). Um die Frage der Effizienz zu klären, wurden die Gesamtkosten des Agroscope-Versuchsnetzes sowie der Branchenorganisationen geschätzt und in Beziehung gesetzt zum geschätzten wirtschaftlichen Mehrwert, der durch die Sortenprüfung erzeugt wird. Eine zusammenfassende Kosten-Nutzen-Analyse zeigt, dass die Kosten der Sortenprüfung von Winterweizen bei weniger als 3 % des durch sie erzeugten jährlichen Gewinns liegen (Kosten des Agroscope-Versuchsnetzes und der Branchenorganisationen dividiert durch 32 Millionen Franken [80 % der zusätzlichen Bruttoeinnahmen aufgrund der Sortenprüfung]; Tab. 3 a), selbst wenn nur 80 % des geschätzten Mehrwerts berücksichtigt werden, um einer möglichen Überschätzung des Ertrags aufgrund der Versuchsanordnungen oder anderer Faktoren Rechnung zu tragen. Jeder in die Sortenprüfung

und -forschung investierte Franken generiert damit einen sehr hohen Mehrwert. Zum Vergleich: Diese Rendite ist mit Projekten vergleichbar, die von der Kommission für Technologie und Innovation unterstützt und von dieser als *Success Stories* bezeichnet werden.

Die Sortenprüfung ist in den Verordnungen aber auch in den bilateralen Verträgen zwischen der Schweiz und der EU (Bilaterales Abkommen 1999) verankert. Ein Verzicht auf diese Dienstleistung für die Landwirtschaft hätte einen Verlust der Produktivität um rund 14 % zur Folge, mit entsprechenden wirtschaftlichen Auswirkungen. Ausserdem wäre mit einer proportionalen Abnahme der Effizienz der Ressourcennutzung zu rechnen, wenn der Ertrag bei unverändertem Input sinkt. Offensichtlich darf nicht vernachlässigt werden, dass die Landwirtschaftsbetriebe die Sorten selbst auch prüfen und weniger gute Sorten ausscheiden. Schlechte Erfahrungen können sie allerdings teuer zu stehen können, da die Verluste proportional zur Anbaufläche sind. Ausserdem wäre es in schwierigen Jahren mit klimatischen Extremsituationen (zum Beispiel die Ernte 2016, als die meisten Sorten enttäuschend abschnitten) für die Betriebe nicht einfach zu unterscheiden, ob die schlechte Leistung der Sorte auf die widrigen klimatischen Bedingungen oder eine weniger gute genetische Anpassung zurückzuführen ist. Aus diesem Grund müssten die Betriebe den Anbau für eine sicherere Einschätzung wiederholen. Kurz: Ein Verzicht auf die Sortenprüfung und ihr Ersatz durch Sortenmarketing oder Demonstrationsversuche mit kommerziellen Absichten hätten beträchtliche wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen. Ausserdem lassen sich die krankheitsanfälligsten Sorten ausscheiden, da Agroscope die Sorten unter extensiven Anbaubedingungen testet. Durch diese Strategie sind die ausgewählten Sorten auch für einen extensiven Anbau geeignet. In der Schweiz wird etwa die Hälfte der Weizenfläche ohne Einsatz von Fungiziden oder Wachstumsregulatoren angebaut. Das ermöglicht nicht nur finanzielle Einsparungen, sondern schützt auch die Umwelt.

Ein zusätzlicher Nutzen der Sortenprüfung könnte sich aus den zusätzlichen Empfehlungen für Parzellen oder Regionen ergeben (Tab. 3b). Wenn durch die Sortenprüfung nicht nur Empfehlungen für die ganze Schweiz sondern für die einzelnen Regionen ermöglicht werden, könnten zusätzliche Bruttoeinnahmen in der Grössenordnung von zehn Millionen Franken realisiert werden. Agroscope unternimmt bereits Anstrengungen in der Sortenprüfung, um mittelfristig verfeinerte Empfehlungen abgeben zu können.

Schlussfolgerungen

Der Wert der Sortenprüfung wurde mit drei verschiedenen Ansätzen untersucht:

- Durch eine Bilanz der Vollzugsaufgabe – die Prüfung für den Nationalen Sortenkatalog (NSK) der Schweiz und für eine Liste der empfohlenen Sorten (ESL). Etwa ein Drittel der geprüften einheimischen Sorten wird in eine ESL aufgenommen. Bei den ausländischen Sorten liegt die Erfolgsquote bei unter einem Viertel.
- Durch eine Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Leistungsfähigkeit der Sorten. Selbst die zu einem bestimmten Zeitpunkt leistungsfähigsten Sorten büssen an Wettbewerbsvorteilen ein, wenn sie an noch neueren Sorten gemessen werden. Abnahmen bei Ertrag und Qualität sind ohne Züchtung und Sortenprüfung unvermeidbar.
- Durch die Abschätzung der wirtschaftlichen Auswirkungen. Durch die klassische Sortenprüfung bei Winterweizen wird ein Mehrwert in der Grössenordnung von 40 Millionen Franken pro Jahr erzeugt, das heisst fast 500 Fr./ha Weizen. Durch eine Empfehlung auf der Ebene von Parzellen könnten diese Mehreinnahmen um weitere 25 % erhöht werden (rund 10 Millionen Fr./Jahr). Das Kosten/Nutzen-Verhältnis (Investitionen in Sortenprüfung / durch Sortenprüfung erzeugter Mehrwert) liegt bei unter 3 %, selbst wenn die Mehreinnahmen in der Praxis auf 80 % der Mehreinnahmen in den Versuchen reduziert wird.

Die Sortenprüfung stellt sicher, dass der Landwirtschaft immer die am besten an die schweizerischen und/oder lokalen Bedingungen angepassten Sorten zur Verfügung stehen. Es findet ein objektiver Sortenvergleich statt, der durch eine unparteiische, unabhängige und neutrale Einrichtung vorgenommen wird. Dass die besten Sorten zum Einsatz kommen, ist auch Garant für einen effizienten Einsatz der Ressourcen und des Inputs, die für den Anbau dieser Kultur erforderlich sind. Den Züchtern steht durch die Sortenprüfung und die Aufnahme einer Sorte in den NSK die Möglichkeit offen, die Sorte nicht nur in der Schweiz sondern in ganz Europa zu vermarkten. Für die Konsumentinnen und Konsumenten schliesslich ist die Sortenprüfung Gewähr, dass die auf dem Markt erhältlichen Sorten umweltschonend und nachhaltig angebaut werden. ■

Riassunto**Grano autunnale: bilancio dopo 15 anni di studi varietali estensivi**

Affinché una nuova varietà di grano sia commerciabile in Svizzera o all'estero deve passare una serie di test al fine di assicurare che sia superiore a quelle già coltivate sul piano del rendimento in grano, della qualità e della resistenza alle malattie. In un processo di questo tipo, chiamato studio varietale, si sceglie solo il «meglio del meglio». È possibile stimare il valore di un tale processo? Per rispondere a questa domanda, è stato effettuato uno studio sulla base dei risultati di tutte le varietà testate negli ultimi 15 anni. Per stilare un bilancio dello studio varietale del grano autunnale, sono stati scelti tre approcci: in un primo tempo, la quantità di varietà testate è stata confrontata con il numero di varietà iscritte nel Catalogo nazionale svizzero e nelle liste raccomandate. In seguito è stata calcolata l'evoluzione della prestazione di diverse varietà nel corso degli anni. Per concludere, un approccio economico ha permesso di stimare l'ordine di grandezza del valore aggiunto economico realizzato grazie alla selezione effettuata dallo studio varietale e all'identificazione delle migliori varietà (confronto del prodotto lordo medio delle varietà più recenti con quello delle tre migliori testate annualmente). I risultati evidenziano il valore aggiunto generato dallo studio varietale per tutta la catena di produzione: dalla selezione al consumo, passando per la produzione e la trasformazione.

Literatur

- Bilaterales Abkommen 1999. Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Gemeinschaft über den Handel mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen Zugang: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19994645/index.html>.
- Bilgin O., Guzman C., Baser I., Crossa J. & Korkut K. Z., 2016. Evaluation of Grain Yield and Quality Traits of Bread Wheat Genotypes Cultivated in Northwest Turkey. *Crop Science* **56**, 73-84.
- Brancourt-Hulmel M., Lecomte C. & Meynard J.M., 1999. A diagnosis of yield-limiting factors on probe genotypes for characterizing environments in winter wheat trials. *Crop Science* **39** (6), 1798-1808.
- Courvoisier N., Levy Häner L., Bertossa M., Thévoz E., Anders M., Stoll P., Weisflog T., Dugon J. & Grünig K., 2015. Liste der empfohlenen Getreidesorten für die Ernte 2016. *Agrarforschung Schweiz* **6** (6).
- Laidig F., Piepho H.P., Rentel D., Drobek T., Meyer U. & Huesken A., 2017. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theoretical and Applied Genetics* **130**, 223–245.
- Lenth R. V., 2016. Least-Squares Means: The R Package lsmmeans. *Journal of Statistical Software* **69**, article 69 online.

Summary**Winter wheat: a review of 15 years of variety research on extensively managed land**

For a new variety of wheat to be marketable in Switzerland or abroad, it must go through a series of tests to ensure its superiority to already-cultivated varieties in terms of grain yield, quality, and resistance to disease. In this process, which is termed a «variety testing», the «best of the best» is chosen. That being said, is it possible to assign a value to this process? To answer this question, a study was conducted based on the results of all the varieties tested over the last 15 years. Three approaches were chosen to assess the variety testing of winter wheat: first of all, the number of varieties tested was compared to the number of varieties registered in the Swiss National Catalogue and in the Lists of Recommended Varieties. Next, changes in the performance of different varieties over time were calculated. Lastly, an economic approach allowed us to estimate the order of magnitude of the economic value-added achieved thanks to the sorting performed by the variety testing and the identification of the best varieties (comparison of the average gross product of the latest varieties with that of the three best varieties tested annually). The results highlight the value-added resulting from the variety study for the entire production chain, from the selector to the consumer, by way of the producer and the processing stage.

Key words: wheat, value for cultivation and use (VCU), variety testing, benchmarking, yield, quality.

- Leuenberger M., 2015. Uni Bern beteiligt sich an europäischem Netzwerk für CO₂-Forschung http://www.unibe.ch/aktuell/uniaktuell/das_online_magazin_der_universitaet_bern/uniaktuell_ab_2015/rubriken/forschung/uni_bern_beteiligt_sich_an_europaeischem_netzwerk_fuer_cosub2_sub_forschung/index_ger.html.
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Zugang: <https://www.R-project.org>.
- 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.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. GRUDAF 2009 – Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung Schweiz* **16** (2), 6–31.
- Taub D. R., Miller B. & Allen H., 2008. Effects of elevated CO₂ on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Global Change Biology* **14**, 565–575.
- Wieser H., Manderscheid R., Erbs, M. & Weigel H. J., 2008. Effects of elevated atmospheric CO₂ concentrations on the quantitative protein composition of wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**, 6531–6535.