

Das CULTAN-Verfahren im Eignungstest für den schweizerischen Ackerbau

René Flisch¹, Urs Zihlmann¹, Peter Briner² und Walter Richner¹

¹Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich, Schweiz

²Peter Briner AG, Farmerprodukte und Dienstleistungen, 8523 Hagenbuch, Schweiz

Auskünfte: René Flisch, E-Mail: rene.flisch@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 73 23



CULTAN-Düngung mit dem Sternrad-Injektionsgerät. (Foto: Peter Briner)

Einleitung

Stickstoff (N) ist für die Landwirtschaft ein Produktionsfaktor, der die Erträge und die Qualität der Erzeugnisse entscheidend mitbestimmt, aber gleichzeitig auch einer der Stoffe, der unsere Umwelt (Luft und Wasser) negativ beeinflussen kann. Ein gezielter und effizienter Einsatz von Stickstoff unter Berücksichtigung von Ertrags-, Qualitäts- und Umweltwirkungen ist daher ein wichtiges Ziel in der nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion.

Das CULTAN-Verfahren – *Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition* (deutsch: kontrollierte Langzeitammoniumernährung) – soll gegenüber der herkömmlichen Stickstoffdüngung viele pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Vorteile haben

und die Stickstoffeffizienz entscheidend verbessern. Bisherige Versuche und Empfehlungen für den Einsatz des CULTAN-Verfahrens stammen häufig aus eher trockenen Regionen des nördlichen und östlichen Europas (Kozlovský *et al.* 2009), da eine ausreichende Verfügbarkeit des Ammoniums (NH_4) auch bei geringer Bodenfeuchte gewährleistet ist. In den letzten Jahren wird das Verfahren auch vermehrt in der Schweiz angewendet, allerdings fehlen Untersuchungen über die Wirkung unter schweizerischen Klima-, Boden- und Anbaubedingungen. Deshalb hat die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART das CULTAN-Düngungsverfahren mit der herkömmlichen Düngung bei Winterweizen und Körnermais verglichen und die Auswirkungen auf Ertrags- und Qualitätseigenschaften geprüft.

Material und Methoden

Versuchsanlage und Standorte

In den Jahren 2008 bis 2010 wurden Parzellenversuche auf je zwei Winterweizen- und Mais-Praxisfeldern im Ackerbaugebiet des Schweizer Mittellandes angelegt. Die Versuchsfelder sind in Tabelle 1 charakterisiert. Um das Risiko unkontrollierter N-Nachlieferungen zu vermeiden, wurden auf den Versuchsfeldern nach der Ernte der Vorkultur keine organischen Dünger ausgebracht und keine Zwischenkulturen beziehungsweise Gründüngungen angebaut. Kunstwiese als Vorkultur wurde aus demselben Grund ausgeschlossen.

Das CULTAN-Düngungsverfahren mit flüssigem Ammonsulfat wurde mit den handelsüblichen Mineraldüngern Ammonsalpeter 27 % N (NAS), Ammonsulfat gekörnt 21 % N (NSu) und einer Null-N-Düngung (0N) verglichen. Um einen allfälligen Einfluss der N-Form festzustellen, wurde nebst der mineralischen Vergleichsvariante Ammonsalpeter auch Ammonsulfat, das bezüglich N-Form dem CULTAN-Verfahren entspricht, eingesetzt. Die gedüngte N-Menge am jeweiligen Standort war beim CULTAN-, NAS- und NSu-Verfahren identisch, im N_{\min} -Verfahren wurde beim Mais Stickstoff in Form von Ammonsalpeter 27 % N, abhängig vom mineralischen N-Gehalt des Bodens (N_{\min} -Methode, Flisch *et al.* 2009) gedüngt. Als Versuchsanlage wurde eine Blockanlage mit vier Wiederholungen gewählt, wobei die Verfahren aus anbau- und gerätetechnischen Gründen nicht vollständig randomisiert werden konnten. Die Parzellenbreite, abgestimmt auf die eingesetzten Praxisgeräte, betrug 6 m und die Parzellenlänge 20 m.

Zusammenfassung In den Jahren 2008 bis 2010 wurde das CULTAN-Verfahren (*Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition*) auf Praxisfeldern im Schweizer Mittelland geprüft. In Parzellenversuchen mit Winterweizen und Körnermais wurde flüssiges Ammonsulfat mit dem CULTAN-Verfahren in einer einmaligen Gabe appliziert und mit Ammonsalpeter und Ammonsulfat verglichen, welche mit einem pneumatischen Düngerstreuer breitflächig ausgebracht wurden. Bei Winterweizen konnten zwischen den geprüften Verfahren weder beim Kornertrag noch beim Proteingehalt Unterschiede festgestellt werden. Der Strohertrag lag beim CULTAN-Verfahren leicht höher, da mehr Halme pro Flächeneinheit gebildet wurden.

Auch beim Körnermais zeigten sich beim Ertrag und Stickstoffgehalt der Körner keine Unterschiede zwischen dem CULTAN-Verfahren und der herkömmlichen Düngung. Die Gesamt-Trockensubstanzerträge lagen beim CULTAN-Verfahren aufgrund der grösseren Stängelträge geringfügig höher.

Die mit dem CULTAN-Verfahren beabsichtigte Anlage von Ammoniumdepots im Boden und damit eine kontinuierliche Langzeiternährung der Pflanzen mit Ammonium konnte in den Versuchen nicht bestätigt werden. Ammonium- und Nitratmessungen im Boden haben gezeigt, dass das Ammonium innert weniger Wochen praktisch vollständig nitrifiziert wird.

Tab. 1 | Charakterisierung der Versuchsstandorte

Jahr	PLZ	Versuchs-Standort	m.ü.M.	Jahres-Niederschlag ¹ (mm)	Mittlere Jahres-Temperatur ¹ (°C)	Kultur	Bodencharakterisierung ²					Nährstoffversorgung ²		
							Humus (%)	Ton (%)	Schluff (%)	pH	Kalk	P-Test	K-Test	Mg-Test
2008	8115	Mettmenhasli	420	1040	8,5	WW	2,6	23	36	6,8	–	8,3	1,9	10,4
2008	8544	Bertschikon	510	1070	8,2	WW	2,8	19	29	7,0	–	22,8	4,8	9,9
2009	8182	Hochfelden	450	1030	8,5	WW	2,2	20	47	6,0	–	10,2	5,6	6,1
2009	8544	Attikon	455	1070	8,2	WW	4,8	26	31	7,2	+	46,0	6,7	16,4
2010	8182	Hochfelden	450	1030	8,5	WW	2,7	17	47	6,2	–	11,9	2,9	7,3
2010	8543	Gundetswil	470	1070	8,2	WW	3,5	26	36	6,9	–	9,2	1,8	22,7
2008	8115	Mettmenhasli	420	1040	8,5	KM	1,7	14	36	7,2	+	11,3	4,3	7,0
2008	8544	Bertschikon	510	1070	8,2	KM	2,2	14	31	6,7	–	14,1	5,2	7,8
2009	8404	Winterthur	450	1070	8,2	KM	3,7	20	34	6,9	–	27,5	8,8	10,1
2009	8425	Oberembrach	455	1030	8,5	KM	3,8	32	31	6,6	–	12,3	4,5	30,2
2010	8415	Berg am Irchel	450	1050	8,5	KM	3,7	24	22	7,6	+	23,5	8,7	12,6
2010	8544	Bertschikon	470	1070	8,2	KM	3,4	23	34	7,1	+	8,4	2,8	27,2

¹Regionale langjährige Mittelwerte

²Bodenanalysen nach den Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, 1996

Tab. 2 | Ertrags- und Qualitätsparameter bei Winterweizen

Verfahren	TS ¹ -Ertrag Körner (kg / a)		TS ¹ -Ertrag Stroh (kg / a)		TKG ² (g)		Ähren pro m ²		Kornzahl pro Ähre		Protein Körner (g/kg TS ¹)		N-Entzug (kg N/ha)		N-Düngung (kg N/ha)
2008: Mettmehasli, Sorte Ludwig															
ON	33,6	B	42,7	B	44,8	A	340	B	26	B	114,3	B	84	B	0
CULTAN	52,9	A	68,3	A	43,1	B	538	A	27	AB	135,4	A	160	A	120
NAS	54,2	A	66,8	A	42,8	B	523	A	28	AB	132,5	A	162	A	120
NSu	53,6	A	66,3	A	43,3	B	495	A	29	A	128,0	A	159	A	120
2008: Bertschikon, Sorte Siala															
ON	53,8	B	46,7	C	46,5	B	412	B	33	B	106,3	B	117	B	0
CULTAN	80,1	A	78,2	AB	46,5	B	546	A	37	AB	128,9	A	220	A	120
NAS	80,7	A	72,5	AB	47,9	A	494	B	40	A	126,1	A	211	A	120
NSu	82,2	A	71,1	B	48,3	A	478	B	42	A	128,1	A	218	A	120
2009: Hochfelden, Sorte Zinal															
ON	40,2	B	33,4	C	49,2	A	375	B	25	C	99,0	C	81	B	0
CULTAN	67,5	A	64,7	A	46,4	C	588	A	29	B	107,9	B	154	A	152
NAS	66,7	A	58,6	B	47,4	B	545	A	30	AB	112,7	A	157	A	150
NSu	69,4	A	59,2	B	47,5	B	538	A	32	A	112,7	A	163	A	150
2009: Attikon, Sorte Siala															
ON	38,9	C	37,4	D	49,9	BC	459	C	21	B	100,2	B	82	C	0
CULTAN	69,4	A	66,1	A	49,4	BC	633	A	26	A	116,6	A	170	A	118
NAS	66,4	A	57,9	BC	50,4	AB	503	BC	31	A	115,1	A	157	AB	120
NSu	62,5	B	54,9	C	51,0	A	476	BC	30	A	110,6	A	144	B	120
2010: Hochfelden, Sorte Zinal															
ON	29,2	C	28,7	C	39,3	A	326	C	27	A	105,5	C	65	C	0
CULTAN	43,8	B	63,6	AB	34,0	C	540	AB	28	A	134,4	A	161	A	162
NAS	50,9	A	58,4	B	35,9	B	534	AB	31	A	128,5	B	150	B	160
NSu	49,4	A	60,0	B	35,5	B	488	B	35	A	128,0	B	151	B	160
2010: Gundetswil, Sorte Arina															
ON	37,9	B	39,8	C	41,9	A	384	C	27	B	118,8	B	93	C	0
CULTAN	57,6	A	70,8	A	41,5	A	566	A	29	AB	132,2	A	161	A	103
NAS	54,4	A	61,3	B	41,5	A	484	B	32	A	123,3	B	140	B	105
NSu	54,8	A	61,6	B	41,6	A	485	B	32	A	126,1	AB	144	B	105
Mittelwert aller Standorte															
ON	38,9	B	38,1	C	45,2	A	383	C	27	C	107,4	C	87	D	0
CULTAN	61,9	A	68,6	A	43,5	C	568	A	29	B	125,9	A	171	A	129
NAS	62,2	A	62,6	B	44,3	B	514	B	32	A	123,0	A	163	B	129
NSu	62,0	A	62,2	B	44,5	B	493	B	33	A	122,3	A	163	B	129

¹Trockensubstanz ²Tausendkorngewicht

Verschiedene Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten (pro Standort bzw. Mittelwert über alle Orte) der verschiedenen Verfahren bei der 5-%-Schwelle gemäss Duncan-Test hin.

Das flüssige Ammonsulfat wurde in einer Gabe mittels eines Sternradinjektionsgeräts des Lohnunternehmens Peter Briner AG bei Vegetationsbeginn (Weizen) beziehungsweise zur Saat (Mais) appliziert und als «Punktdepot» 5 bis 7 cm tief in den Boden eingebracht, während die Mineraldünger mit einem pneumatischen Düngerstreuer breitwürfig in drei Gaben (Weizen) und ein bis zwei Gaben beim (Mais) zu den in den «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau; GRUDAF» (Flisch *et al.* 2009) empfohlenen Entwicklungsstadien verabreicht wurden. Die Höhe der N-Gaben sowie die Pflanzenschutzmassnahmen richteten sich nach den Vorgaben der jeweiligen Betriebsleitenden. In den vorliegenden Versuchen wurden jeweils vor der Düngung sowie nach der Ernte bei allen Düngungsverfahren N_{\min} -Proben (0–90 cm Bodentiefe) entnommen. Bei Winterweizen wurden 30 m² (1,5 m × 20 m) mit einem Parzellenmähdrescher «Wintersteiger» geerntet. Die Stroherträge wurden aus dem Korn: Stroh-Verhältnis, das aus einer Stichprobe erhoben wurde, berechnet. Beim Körnermais wurden die mittleren vier Reihen auf einer Parzellenlänge von 10 m (entspricht einer Fläche von 3 m × 10 m) geerntet.

Datenerhebung und statistische Analysen

Die Erträge wurden getrennt nach den Pflanzenteilen Körner und Stroh (bzw. Körner, Stängel, Spindeln bei Körnermais) erhoben. Bei Winterweizen wurden zudem die ertragsbestimmenden Komponenten Anzahl Ähren pro Quadratmeter, Kornzahl pro Ähre und Tausendkorngewicht bestimmt. Als Qualitätsparameter wurde der Stickstoffgehalt der geernteten Pflanzenteile mit der DUMAS-Methode bestimmt. Für die Körner kann daraus der Proteingehalt errechnet werden. Die Ertragserhebung und N-Analyse der einzelnen Pflanzenteile ermöglichte eine genaue Berechnung des Gesamt-N-Entzuges. Für die statistische Auswertung zur Beurteilung der Verfahrensunterschiede wurden die ANOVA-Varianzanalyse sowie der Duncan-Test herangezogen.

Resultate und Diskussion

Ertrags- und Qualitätsparameter von Winterweizen

Die Kornerträge von Winterweizen waren bei den gedüngten Varianten über alle Standorte betrachtet mit 50 bis 80 kg Trockensubstanz (TS) pro Hektare recht unterschiedlich. Das Ertragsniveau wurde im Wesentlichen von den Faktoren Jahr, Standort und Sorte bestimmt. Die Kornerträge des CULTAN-Verfahrens unterschieden sich nicht im Vergleich zu den herkömmlichen Düngungsverfahren NAS und NSu, die in drei breitwürfig ausgebrachten Teilgaben wurden (Tab. 2).

Die Erträge der 0N-Variante lagen im Mittel bei zirka 60 % der gedüngten Varianten. Am Standort Gundetswil 2010 mit im Vergleich zur Normdüngung (Flisch *et al.* 2009) reduzierter N-Düngung (105 kg N/ha) erreichte die 0N-Variante 70 % des Kornertrages der gedüngten Varianten. Dies lässt den Schluss zu, dass in diesem Falle der optimale Ertrag nicht erreicht wurde. Erhebliche Ertragsvorteile des CULTAN-Verfahrens bei reduzierter N-Düngung (Sommer 2003) konnten in unserer Versuchsreihe wie auch in mehrjährigen Versuchen in Deutschland (Kücke 2003) nicht bestätigt werden. Auch bei gegenüber der schweizerischen Düngungsnorm erhöhter N-Düngung (Tab. 2) traten keine Verfahrensunterschiede auf.

Die für die Ertragsbildung wichtigsten Faktoren sind die Anzahl Ähren pro Quadratmeter, Kornzahl je Ähre und das Tausendkorngewicht (TKG). Die Ertragsbildung im CULTAN-Verfahren unterschied sich im Vergleich zu konventioneller N-Düngung insofern, als durchschnittlich etwa 50 Ähren pro Quadratmeter mehr gebildet wurden, die Kornzahl je Ähre und insbesondere das TKG hingegen tiefer waren. Die hohe Bestandesdichte dürfte auf die starke Bestockung aufgrund der hohen einmaligen N-Gabe beim CULTAN-Verfahren bei guten Wachstumsbedingungen und ausreichender Wasserversorgung in den Jahren 2008 bis 2010 zurückzuführen sein. Nach Angaben von Kozlovský *et al.* (2009) stellten diverse Autoren beim CULTAN-Verfahren im Vergleich zur breitflächigen N-Düngung in mehreren Gaben ähnliche Bestandesdichten, jedoch erhöhte Anzahl Körner pro Ähre und ein statistisch gesichertes tieferes TKG fest, was letztlich zu gleichen bis tendenziell tieferen Erträgen führte. Die verbreitete Meinung, dass bei Trockenheit mit dem CULTAN-Verfahren eine bessere N-Wirkung und N-Ausnutzung erreicht werden kann, da der Dünger in Wurzelnähe appliziert wird, konnten diese Autoren nicht feststellen.

Bezüglich des Proteingehalts der Körner konnten zwischen den gedüngten Verfahren keine Unterschiede festgestellt werden. Dieses Ergebnis wird auch mehrheitlich durch die ausländischen Versuche bestätigt. Bei der 0N-Variante lag der Proteingehalt absolut um etwa 2 % tiefer. Auch das Ausbringen von gekörntem Ammonsulfat als einmalige Gabe bei Vegetationsbeginn (Resultate hier nicht gezeigt) ergab signifikant tiefere Proteingehalte. Die übrigen erhobenen Parameter waren mit dem CULTAN-Verfahren vergleichbar.

Der Gesamt-N-Entzug war aufgrund der signifikant höheren Stroherträge beim CULTAN-Verfahren (Tab. 2) durchschnittlich 10 kg N/ha höher als bei den Verfahren NAS und NSu.

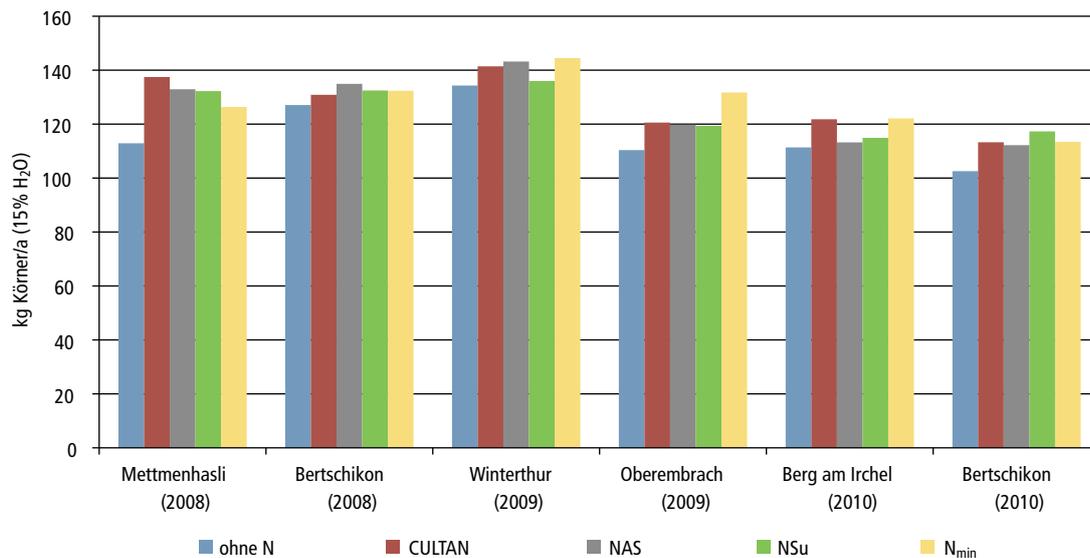


Abb. 1 | Kornerträge der N-Düngungsverfahren an den einzelnen Versuchsstandorten bei Mais.

Ertrags- und Qualitätsparameter von Körnermais

Die Erträge beim Mais können bekanntlich aufgrund von jahres-, standort- und sortenbedingten Unterschieden stark schwanken. Die unterschiedliche Reaktion von Sorten bei unterschiedlichen Umweltbedingungen und verschiedenen Düngerformen hat Bustamante Morales (2009) aufgezeigt, wobei die Ammoniumernährung gegenüber der Nitraternährung zu Vor- oder Nachteilen führen konnte.

In der vorliegenden Versuchsreihe wurden hohe bis sehr hohe Kornerträge erzielt, die mit 110 bis 140 kg/a (15 % H₂O) bei den gedüngten Verfahren deutlich über dem langjährigen schweizerischen Mittel (Flisch *et al.* 2009) lagen. Die Kornerträge der 0N-Varianten erreichten mit 100 bis 130 kg/a annähernd das Ertragsniveau der gedüngten Varianten. Der Trockensubstanzertrag der Gesamtpflanzen fiel bei den 0N-Varianten aufgrund der geringeren Stängelertäge gegenüber den übrigen Düngungsvarianten deutlicher ab.

Bei den Kornerträgen der verschiedenen Düngungsvarianten konnten im Mittel über alle Versuchsstandorte keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden. An den einzelnen Standorten hatte sporadisch mal das eine, mal das andere Verfahren leichte Vorteile (Abb. 1), die zwar statistisch abgesichert werden konnten, für die Praxis jedoch kaum relevant sind, da die Unterschiede deutlich kleiner sind als die üblichen standort- und jahresbedingten Ertragschwankungen.

Die Trockensubstanzerträge der Gesamtpflanze lagen im CULTAN-Verfahren im Mittel um 10 kg/a höher als bei den herkömmlich gedüngten Varianten, da bei

diesem Verfahren die Stängelertäge teils statistisch gesichert, teils tendenziell leicht höher ausfielen. Dieselben Beobachtungen betreffend Korn- und Gesamtpflanzenertägen konnte auch Maier *et al.* (2011) in Versuchen im Süddeutschen Breisgau machen.

Die Stickstoffgehalte der Maiskörner waren bei allen gedüngten Varianten mit 15,5 (± 0,1) g/kg TS praktisch identisch – lediglich beim ungedüngten Verfahren waren die N-Gehalte um etwa 1 g/kg TS reduziert, lagen aber dennoch im oberen Bereich der in den «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2009; GRUDAF» (Flisch *et al.* 2009) angegebenen Gehaltswerte.

Bemerkenswert ist, dass das nach der N_{min}-Methode gedüngte Verfahren, bei dem im Durchschnitt aller Versuche 50 kg N/ha weniger ausgebracht wurden, dieselben Erträge bei gleicher Qualität erreichte. Dies deutet darauf hin, dass die von den Betriebsleitenden vorgegebene Düngung, die im Durchschnitt zirka 10 kg N/ha über der empfohlenen Normdüngung (Flisch *et al.* 2009) lag, in den meisten Fällen zu hoch war.

Das Ammonium-Depot im Boden

Beim CULTAN-Verfahren wird der Stickstoff als Ammonium stets in einer N-Gabe bei Vegetationsbeginn als Depots in den Wurzelbereich der Pflanzen ausgebracht. Durch die hohe Ammoniumkonzentration im Depotbereich wird gemäss Sommer (2003) die mikrobielle Nitrifikation des Ammoniumstickstoffs gehemmt. Dadurch ist eine Optimierung und der kontinuierliche Verlauf der N-Aufnahme durch die Pflanzen gewährleistet und der in Ammoniumform vorliegende Stickstoff des Depots wird nicht ins Grundwasser verlagert.

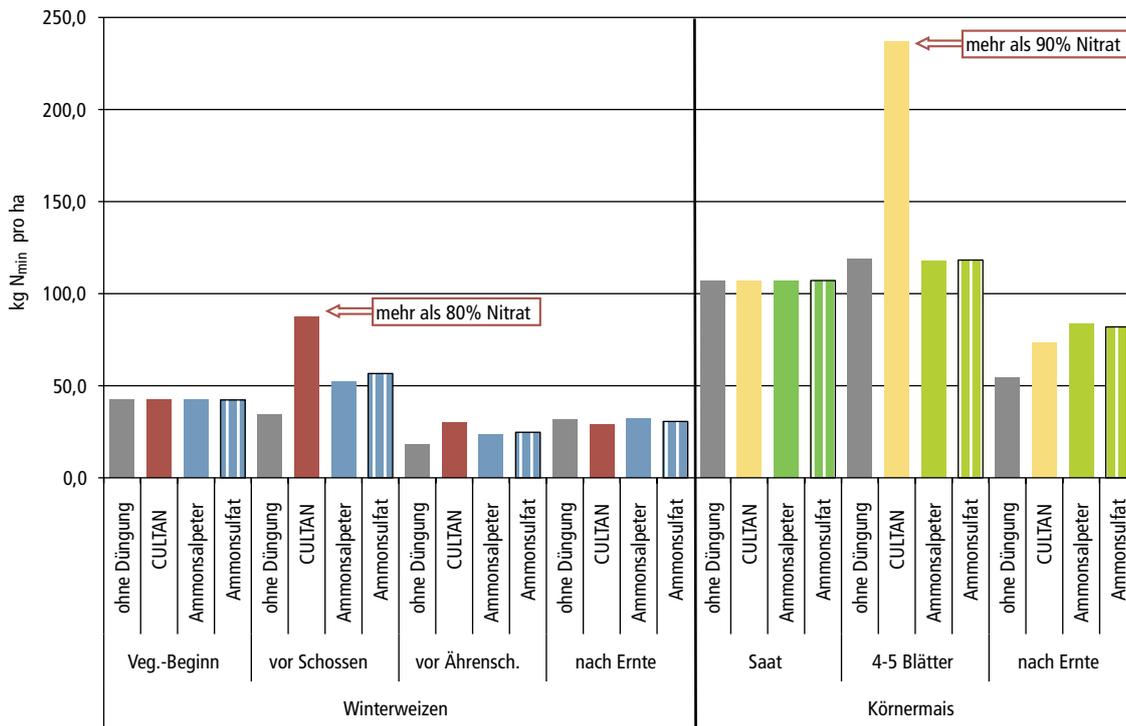


Abb. 2 | Verlauf der N_{\min} -Gehalte in Abhängigkeit des N-Düngungsverfahrens bei Winterweizen und Körnermais. Durchschnitt aus je sechs Versuchen.

In unseren Winterweizenversuchen lagen die N_{\min} -Gehalte des Bodens vor dem zweiten und dritten Düngungstermin jeweils zwischen 30 und 60 kg N/ha. Höhere Werte wurden im Jahr 2010 gemessen, da die erste N-Gabe wetterbedingt sehr spät ausgebracht werden konnte und entsprechend nahe beim zweiten Düngungstermin lag. Die relativ tiefen N_{\min} -Gehalte zeigten sich auch beim CULTAN-Verfahren mit der einmaligen hohen ersten Stickstoffgabe. Sie waren tendenziell nur leicht höher (10–15 kg N/ha) als bei breitflächiger N-Düngung und der mineralische Stickstoff lag zu diesen Zeitpunkt grösstenteils als Nitrat-N vor. Der Winterweizen war offensichtlich in der Lage, einen grossen Teil der sehr hohen N-Mengen beim CULTAN-Verfahren in kurzer Zeit aufzunehmen, was sich im Vergleich zu den übrigen Düngungsverfahren in einer hohen Bestockungsrate und intensiv grün gefärbten Pflanzen äusserte. Ob der Stickstoff dabei als Nitrat oder als Ammonium aufgenommen wurde, wurde nicht untersucht. Die Rest- N_{\min} -Gehalte des Bodens nach der Weizenernte lagen bei allen Düngungsverfahren zwischen 20 und 40 kg N/ha (Abb. 2).

Körnermais wurde bei den herkömmlichen Düngungsvarianten im 4- bis 6-Blatt-Stadium gedüngt. N-Gaben über 80 kg N/ha wurden in zwei Teilgaben im Abstand von zirka zehn Tagen ausgebracht. Die N_{\min} -Gehalte des Bodens lagen im CULTAN-Verfahren zu die-

sem Zeitpunkt bei 180 bis 250 kg N/ha. Im Vergleich zu den übrigen Verfahren, die bis zu diesem Zeitpunkt nicht gedüngt wurden, waren dies 100 bis 150 kg N/ha mehr, also etwa die N-Menge, die im CULTAN-Verfahren zur Saat gedüngt wurde (Abb. 2). Über 90 % des gemessenen Mineralstickstoffs im Boden lag in Form von Nitrat vor, das heisst, das Ammonium wurde innerhalb von vier bis sechs Wochen praktisch vollständig nitrifiziert. Die Hemmung der Nitrifikation aufgrund der hohen NH_4 -Konzentration, ein stabiles NH_4 -Depot sowie eine langandauernde NH_4 -Ernährung der Pflanzen (Sommer 2003) konnten wir nicht bestätigen.

Auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» Rütli/Zollkofen (Sturny *et al.* 2007) wird das CULTAN-Verfahren seit 2007 eingesetzt. In mehreren Kulturen und Anbaujahren wurden die mittels Sternrad-Injektion im Oberboden platzierten Ammoniumdepots beziehungsweise die sie umgebende Erde mit einem Hohlmeissel ausgestochen (Durchmesser 2,6 cm, Tiefe 15 cm) und die Ammonium-N-Konzentration bestimmt. Die im Rhythmus von ein bis zwei Wochen ab dem Düngungszeitpunkt durchgeführten Beprobungen zeigten jeweils eine rasche Abnahme der Ammonium-N-Konzentration im Depotbereich (Abb. 3). In keiner der Untersuchungsreihen konnten mit dieser Beprobungsmethode zeitlich «stabile» Ammoniumdepots nachgewiesen werden. »

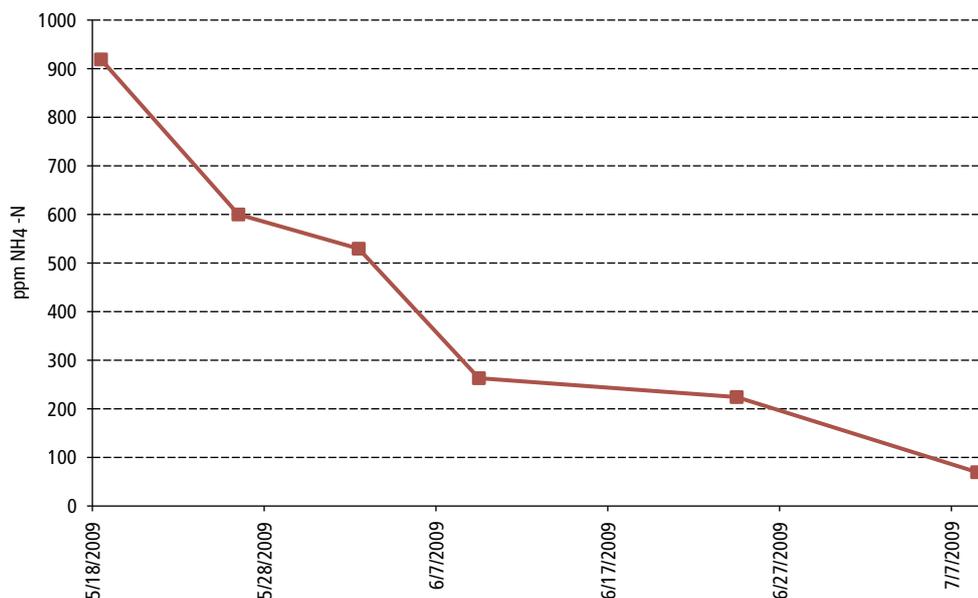


Abb. 3 | Verlauf der Ammonium-N-Konzentration in den Ammoniumdepots bzw. der umgebenden Erde unter Mais im Direktsaatsystem; Saat: 22.4.2009; CULTAN-Einsatz: 13.5.2009; Beprobungstiefe 0–15 cm, zirka 80 cm³ Bodenvolumen; 110 kg NH₄-N/ha platziert in zirka 80 000 Depots pro Hektare, «Oberacker» Rütli/Zollikofen, 2009.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Bezüglich Ertrag und Qualität der Ernteprodukte bei Weizen und Mais haben die geprüften Düngungssysteme sehr ähnliche Resultate gezeigt. Obwohl die Kulturen nach der Düngung mit dem CULTAN-Verfahren oft intensiver grün gefärbt sind, wird weder ein höherer Ertrag, noch eine bessere N-Ausnutzung erzielt. Wie bei der herkömmlichen Düngung sind auch beim CULTAN-Verfahren hohe Stickstoffgaben zu einem frühen Zeitpunkt als kritisch zu beurteilen, da der «Depotefekt» nicht nachgewiesen werden konnte. Insbesondere bei Hackfrüchten, die in der Anfangsphase nur einen geringen N-Bedarf haben, liegen grosse N-Mengen (auch beim CULTAN-Verfahren meist in Form von Nitrat) ungenutzt im Boden, was das Risiko von N-Verlusten erhöht. Um einer bedarfs- und umweltgerechten N-Düngung mit dem CULTAN-Verfahren gerecht zu werden, ist eine Weiterentwicklung der Ausbringtechnik erforderlich, welche die Applikation von flüssigem Ammonsulfat zu einem späteren, dem Bedarf der Kulturen angepassten Zeitpunkt erlaubt. Damit kann der bereits im Boden vorhandene Stickstoff besser abgeschätzt (N_{min}-Methode) und die zu düngende N-Menge dem Bedarf der Kulturen angepasst werden.

Wie ein Pilotprojekt in der Kläranlage Kloten/Opfikon zeigt, gibt es bei der Abwasserreinigung ein sehr grosses Potenzial, Stickstoff in Form von Ammonsulfat zurückzugewinnen und mit dem CULTAN-Verfahren in der Landwirtschaft als Dünger einzusetzen. Im Hinblick auf möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe sollte eine solche Rückgewinnung und ihre Anwendung in der Landwirtschaft angestrebt und gefördert werden. Unter dem Aspekt der künftig zu erwartenden Verknappung von Ressourcen und steigenden Preisen bei den Handelsdüngern könnte das CULTAN-Verfahren mit dem Einsatz von recyceltem Stickstoff aus Kläranlagen auch ökonomisch eine interessante Alternative darstellen. ■

Dank

Wir möchten der Fachstelle Bodenschutz des Kantons Bern und der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) für die Unterstützung im Versuch «Oberacker», sowie den Landwirten W. Landert (Hochfelden), H. Meier (Niederhasli) und der Betriebsgemeinschaft Ammann und Briner (Attikon) für die Bereitstellung und Bewirtschaftung der Versuchsflächen, bestens danken.

Riassunto**Procedura CULTAN nel test attitudinale per la coltura di grano e mais in Svizzera**

La procedura CULTAN (*Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition*) è stata testata nella pratica, nell'Altipiano svizzero, tra il 2008 e il 2010. Negli esperimenti parcellari con frumento autunnale e mais da granella è stato applicato in un'unica dose solfato di ammonio con la procedura CULTAN e confrontato con nitrato di ammonio e solfato di ammonio, distribuiti con uno spandiconcime pneumatico su un'ampia superficie. Per il frumento autunnale non si sono riscontrate differenze tra le due procedure applicate né nella resa in grani, né nel contenuto proteico. Con la procedura CULTAN si è ottenuta una resa in paglia leggermente superiore, poiché si sono formati più culmi per unità di superficie. Anche nel caso del mais da granella, la resa e il tenore di azoto dei grani non hanno presentato differenze a seconda che si sia fatto ricorso alla procedura CULTAN o alla concimazione tradizionale. Le rese superiori degli steli hanno però generato una sostanza secca totale leggermente superiore nel caso della procedura CULTAN. La formazione di depositi di ammonio nel suolo, prevista con la procedura CULTAN, e il relativo apporto continuo a lungo termine di ammonio alle piante, non hanno potuto essere confermati dagli esperimenti. Dai rilevamenti di nitrato e ammonio nel suolo è emerso che la nitrificazione dell'ammonio è praticamente completa nel giro di poche settimane.

Literatur

- Bustamante Morales O. E., 2009. Water Relations and Drought Tolerance of Different Zea mays Cultivars as Influenced by Nitrogen Form and Application. Dissertation an der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. GRUDAF 2009 – Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung* 16 (2), 1–97.
- Kozlovský O. et al. 2009. Influence of nitrogen fertilizer injection (CULTAN) on yield, yield components formation and quality of winter wheat grain. *Plant Soil Environm.* 55 (12), 536–543.
- Kücke M., 2003. Ertrag und Kornqualität von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. In: Kücke M. (Hrsg.), Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN): Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völknerode, FAL Agricultural Research, ISBN 3–933140–67–6, 71–83.

Summary**The CULTAN system in a screening test for Swiss arable farming**

The CULTAN (*Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition*) system was tested on farmers fields in the Swiss Midlands from 2008 to 2010. In plot trials with winter wheat and grain maize, liquid ammonium sulphate was applied in a single dose according to the CULTAN system and compared with ammonium nitrate and ammonium sulphate, which were spread over the whole area with a pneumatic fertiliser spreader. For winter wheat, no differences were detected between the systems tested in terms of either grain yield or protein content. Straw yield was slightly higher with the CULTAN system, since more stalks per unit of area were formed. Nor did we find any differences for grain maize in terms of grain yield and nitrogen content between the CULTAN and conventional fertilising systems. Total dry-matter yields for the CULTAN system were slightly higher owing to the higher stalk yields. The placement of ammonium deposits in the soil, and hence the steady, long-term feeding of the plants with ammonium intended by the CULTAN system, could not be confirmed in the trials. Ammonium and nitrate measurements in the soil have shown that the ammonium is almost completely nitrified within just a few weeks.

Key words: CULTAN, winter wheat, maize, nitrogen, ammonium injection.

- Maier J. et al. 2011. Platzierung von Harnstoff-Ammoniumsulfat-Lösung bei Mais und Kartoffel am Oberrhein. Zugang: https://www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche_1/stab_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2008_5/2008-02_AB_CULTAN.pdf.
- Sommer K. & Fischer D., 1993. Ergebnisse aus 6-jährigen Fruchtfolgeversuchen: Z-Rüben, W-Weizen und W-Gerste bei einer N-Düngung nach dem «CULTAN»-Verfahren. In: VDLUFA-Kongressband, 37, Hamburg, 75–78.
- Sommer K., 2003. Grundlagen des CULTAN-Verfahrens. In: Kücke M. (Hrsg.), Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN): Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völknerode FAL Agricultural Research, ISBN 3–933140–67–6, Braunschweig, 1–23.
- Sturny W. G. et al., 2007. Direktsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese. *Agrarforschung* 14 (08), 350–357.