

Depot-Injektion von ammoniumhaltigen Düngern nach dem CULTAN-System

Feldversuche bei Kartoffeln und Zuckerrüben bringen vor allem mit konzentrierter Gülle vielversprechende Ergebnisse

Ernst Spiess, Edward Irla und Jakob Heusser, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen
Urs Meier, MERITEC GmbH, Postfach 1, CH-8357 Gunterhausen
Theodor Ballmer, Franz Gut, Walter Richner, Caroline Scherrer, Roger Wüthrich und Thomas Hebeisen, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich

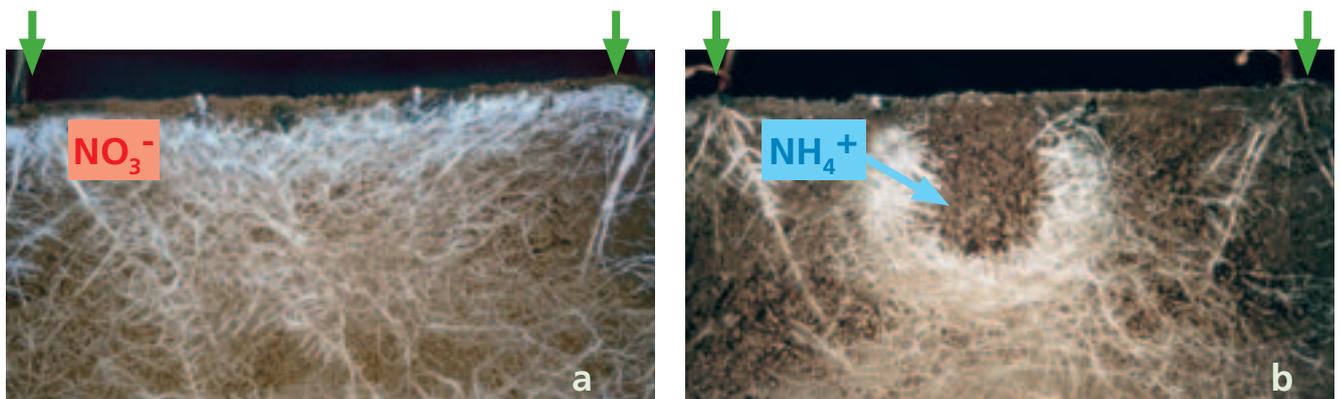


Abb. 1. Wurzelbilder von zwei Maispflanzen (Pfeile) bei breitwürfiger Nitratdüngung (a) und Ammonium-Depotdüngung nach dem CULTAN-System (b) (Fotos Sommer 2005).

Bei der CULTAN-Düngung erfolgt die Stickstoffversorgung durch ein vor allem auf Ammonium ausgerichtetes Düngerdepot. Im Gegensatz zur herkömmlichen Nitrat-fokussierten Düngung läuft die N-Aufnahme kontrolliert über einen längeren Zeitraum ab. Die hohe Dynamik des Nitratstickstoffs kann wesentlich vermindert und die Nitratauswaschung reduziert werden. Für die Anlage des Düngerdepots sind bei Blattfrüchten besondere Geräte, jedoch keine zusätzlichen Arbeitsgänge erforderlich. Neben mineralischen Düngelösungen eignet sich auch mittels Membrantrennung behandelte, konzentrierte Gülle mit einem N-Gehalt um 1%. Neben beträchtlichen Arbeits- und Kosteneinsparungen resultierten in Versuchen bei Kartoffeln und Zuckerrüben durchwegs gute Erträge. Nitrifikationshemmer im Düngerde-

pot brachten bisher keine Vorteile. Die Zukunftsperspektiven der Ammonium-Depotdüngung sind nicht nur für Ackerkulturen vielversprechend: Gute Eignung für Wasserschutzgebiete, Anbausysteme mit Minimalbodenbearbeitung und den Bioanbau; möglicher Einschluss von Zusatzstoffen sowie die sinnvolle Verwendung kostengünstiger Recyclingdünger.

Inhalt: Seite 2



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschafts-
departement EVD

Forschungsanstalt
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Verschiedene Düngetechniken	3
Grundlagen der CULTAN-Düngung	3
CULTAN im Ackerbau; Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Ausland	4
Versuche bei Kartoffeln und Zuckerrüben	6
Ergebnisse	10
Schlussfolgerungen und Perspektiven	13
Literatur	14

Begriffe/Abkürzungen

CULTAN	Controlled U ptake L ong T erm A mmonium N utrition (sinngemäss: Langzeitlich geregelte Ammoniumernährung).
Attraktion	Für die Sicherstellung der Ammoniumaufnahme werden die Wurzelspitzen stärker ausgebildet und auf den Rand des Düngerdepots ausgerichtet.
C/N-Verhältnis	Anteil Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) weites C/N-Verhältnis z.B. Stroh: Org. Substanz schlecht abbaubar (ligninhaltig), enges C/N-Verhältnis z.B. Rübekraut: org. Substanz leicht abbaubar (eiweisshaltig).
AH	Ammoniumnitrat-Harnstoff: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$
DAP	Diammoniumphosphat: $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
KAS	Kalkammonsalpeter: $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$
HAS	Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Entec	Produktbezeichnung: Mit Nitrifikationshemmer stabilisierter Ammoniumdünger.
Randomisierung	Vollständig ausgeglichene Verteilung der Parzellenwiederholungen eines Versuchsverfahrens.
Source/Sinkgefälle	Bewirkt Fluss der Assimilatströme in den Pflanzen ausgelöst durch Organe, die bestimmte Stoffe hervorbringen (Source) und andere, die diese Stoffe benötigen (Sinks).

Problemstellung

Die meistverbreitete Form der Mineraldüngung beruht heute auf der breitflächigen Ausbringung von Granulatdünger auf die Bodenoberfläche. Die Düngernährstoffe sind dabei für die Aufnahme durch die Wurzeln der Kulturpflanze bestimmt, die je nach Anbautechnik jedoch nur einen Teil des Oberbodenvolumens durchdringen. Weil in der oberen Bodenschicht abgelagert, ist der Dünger jedoch auch für das aufgelaufene Unkraut leicht erreichbar (Abb. 1a). Die Stickstoffversorgung beruht hierzulande überwiegend auf Nitrat, eine Aufnahme durch die Pflanze bedingt einerseits ausreichend Wasser. Niederschläge bewirken andererseits eine Verlagerung der Nitrate. Wird die ganze Düngergabe am Anfang der Vegetation verabreicht, kann es zu einer übermässigen bzw. unkontrollierten Aufnahme durch die Pflanzen kommen. Je nach Witterungsverlauf sind zudem beträchtliche Verluste durch Auswaschung in tiefere Bodenschichten und Oberflächenabfluss oder auch durch Verflüchtigung (Denitrifikation) in die Atmosphäre möglich. Bei herkömmlicher Anwendungstechnik

gilt dies jedoch auch für ammoniumhaltige Dünger. Selbst bei mehreren gezielten Düngergaben lassen sich Auswaschung und Verflüchtigung je nach Witterungsverlauf nur bedingt vermindern. Heute hinreichend bekannt sind vor allem die Probleme der Trinkwasserverschmutzung durch Nitrat, die zum grossen Teil der Mineraldüngung in Landwirtschaft und besonders dem Gemüsebau zugeschrieben werden. Um eine längerfristige Wirkung der Dünger zu erreichen, werden heute sogenannte «stabilisierte» Dünger, die Nitrifikationshemmer enthalten (z.B. Entec), zu entsprechend höheren Preisen angeboten. In der Schweiz sind solche Produkte bisher jedoch bewilligungspflichtig. Vor allem bei der N-Düngung kann die Effizienz bedeutend verbessert werden, wenn ammoniumreiche Düngergelösungen durch Injektion in einem Depot nahe der Pflanzenwurzeln im Boden platziert werden (Abb. 1b). Unter CULTAN wird ein spezielles Depot-Düngungssystem auf Ammoniumbasis verstanden, das im Ausland bei verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen und im Gemüsebau zunehmend Verbreitung findet; geschätzte

Anbaufläche zurzeit 40000 ha allein in Deutschland. Versuche vor allem im Getreide-, Kartoffel- und Gemüsebau zeigen positive Ergebnisse hinsichtlich Ertragswirksamkeit sowie Ertragssicherheit, Pflanzengesundheit, Produktqualität, ökologischer und arbeitswirtschaftlicher Aspekte. Für die Injektion von flüssigen und teils auch granulierten Düngern dienen bisher überwiegend synthetische Nährstoffkomponenten. Herkömmliche Gülle scheidet aufgrund des geringen N-Gehaltes aus.

Nebst dem Vergleich der hierzulande verbreiteten Düngungsstrategie auf mineralischer Nitratbasis mit dem CULTAN-Verfahren wurde als Schwerpunkt die Verwendung von aufkonzentrierter Gülle (Membrantrennung bzw. Umkehrosmose) als Depotinjektion vorerst bei Kartoffeln und Zuckerrüben untersucht.

Als **Hauptziel** steht die Nutzung der nachgewiesenen Vorteile einer Ammonium-Depotdüngung und dies auch unter Verwendung von Hofdüngern allenfalls im Hinblick auf den Bioanbau.



Abb. 2. Anlage eines CULTAN-Depots bei Reihenkulturen (Zuckerrüben) mittels Sechinjektoren (Betrieb M. Häberli, Rosshäusern BE). Die Dimensionierung von Flüssigkeitsbehälter, Pumpe, Leitungen und Injektoren richtet sich nach den angestrebten Düngemengen bzw. N-Konzentrationen.

Verschiedene Düngetechniken

Bestimmt für eine Aufnahme über die Wurzeln können Mineraldünger in flüssiger oder granulierter Form, breitverteilt, in Bändern, in Linie oder punktförmig auf die Bodenoberfläche oder mehr oder weniger tief in den Boden ausgebracht werden. Bei bestimmten N-Düngerarten ist die Aufnahme über die Blätter möglich; die Applikation erfolgt in diesem Fall durch Feldspritzen. Mit einer linien- oder bandförmigen Ablage im Boden wird vor allem eine wurzelnahe Platzierung in feuchter Umgebung angestrebt, um der Pflanze die Nährstoffe möglichst bedarfsgerecht, gleichmässig über die ganze Wachstumsperiode bereitzustellen. Die **CULTAN-Technik** ist eine besondere Form einer linien- oder punktförmigen Depotdüngung mit Ammonium als Hauptnährstoffkomponente. In Frage kommen überwiegend Flüssigdünger, die bei Kulturen mit grösseren Reihenabständen (Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Rebanlagen) linienförmig mit Sechinjektoren (Abb. 2) oder bei Raps und Getreide punktförmig mit Radinjektoren (Abb. 3) in den Boden appliziert werden. Bei Getreide wird teilweise auch eine Anlage des Düngerdepots in flüssiger Form zum Beispiel mit Schleppschläuchen auf die Bodenoberfläche praktiziert. Um das ganze Potenzial des Systems nutzen zu können, sind eine gezielte Strohdüngung bei Verzicht auf Nitratgaben sowie der Mitinbezug der Vor- und Nachkulturen eine wichtige Voraussetzung.

Grundlagen der CULTAN-Düngung

Ammonium ist im Gegensatz zu Nitrat sorptionsfähig, es kann an die Bodenbestandteile (inkl. Huminstoffe) gebunden werden. Als Depot ist Ammonium im Zentrum hemmend für Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen. Es hat dadurch die Eigenschaft, relativ stabil zu sein, so dass die Wurzelspitzen das Düngerdepot nur langsam von aussen her erschliessen können. Dabei verläuft der Kohlehydrat- und Proteinstoffwechsel zur herkömmlichen Nitrat- und Ammoniumdüngung unterschiedlich ab. Die Bezeichnung CULTAN (**C**ontrolled **U**ptake **L**ong **T**erm **A**mmonium **N**utrition) wurde von Prof. Karl Sommer vom Agrilkulturchemischen Institut der Universität Bonn geprägt, wo auch die wissenschaft-



Abb. 3. Punkt- oder kugelförmige Ammoniumdepots in einer Bodentiefe um 10 cm haben sich in Engreihenkulturen (Getreide, Raps und Grünland) bewährt. Die Anlage erfolgt mittels Radinjektoren. Die Röhrchen (Speichen) der Räder sind aus Chromstahl gefertigt und am Ende mit einer Kugel verschlossen. Der Flüssigkeitsaustritt erfolgt durch seitliche Öffnungen im Zeitpunkt, in dem die Röhrchen in den Boden einstecken. Durch Pendelaufhängung und Federbelastung der Einzelaggregate wird eine gleichmässige Tiefenführung erreicht.

lichen Grundlagen dieses Verfahrens und praktische Anbauanleitung für viele Kulturpflanzen, teils auch unter Einbezug des Anbausystems und der Vor- und Nachkulturen, seit etwa 1970 eingehend erarbeitet wurden (Sommer 2001a, 2001b, 2005).

Das CULTAN-Verfahren beruht im Wesentlichen auf folgenden **Grundlagen bzw. Fakten**:

- Ammonium kann sich bereits bei niedrigen Konzentrationen auf das Pflanzenwachstum hemmend auswirken, was bei der breitwürfigen Ammoniumdüngung zur Schädigung der Pflanzen (Nekrosen) führen kann. Diese **Eigenschaft des Ammoni- ums** ist eine notwendige Voraussetzung, um das CULTAN-Verfahren wirkungsvoll anwenden zu können. Das CULTAN-Depot beansprucht weniger als 5% des Oberbodens. Relativ wenige Wurzeln einer Pflanze nehmen das Ammonium – unabhängig vom Wassergehalt des Bodens – von aussen her auf. Die Bodenorganismen werden dabei nicht beeinträchtigt.
- Das **Ammoniumdepot** wird von der Bodensubstanz absorbiert und verhält sich dadurch relativ stabil. Eine Auswaschung oder Denitrifikation wie beim Nitrat kann kaum stattfinden. Mindestens in ihrer Anfangsentwicklung ist den Unkrautwurzeln im oberen Bodenbereich das Ammoniumdepot nicht zugänglich. Infolge der hemmenden Wirkung kann das Depot nur am Rande von aussen her durch die Wurzeln erschlossen werden. Es entsteht eine **Attraktion auf das Wurzelspitzenwachstum**, was im Vergleich zur Nitratdüngung eine stärkere Ausbildung der Wurzelbiomasse bewirkt.
- In den Wurzelspitzen wird das Ammonium in **Amide und Aminosäuren** einge-

baut und über die Leitungsbahnen zu den Blättern transportiert. Die dort durch die Assimilation gebildeten **Kohlenhydrate** gelangen wiederum in die Wurzeln, wo sie für die Aufnahme und Umwandlung des Ammoniums als Energieträger benötigt werden. Im Gegensatz zur Nitratdüngung, wo auch die Bildung der Aminosäuren im Blattwerk stattfindet, entsteht bei der Ammoniumdepotdüngung ein **Gegenstromprinzip** (Amide und Aminosäuren/Kohlenhydrate), das sich allgemein positiv auf die Entwicklung der Pflanze auswirkt.

- Die Ammoniumaufnahme durch die Pflanzenwurzeln erfolgt kontrolliert je nach den assimilatorischen Leistungen im Spross und den Blättern nach dem **Prinzip eines Selbstregulativs**. Ein gegenseitig hoher Bedarf an Stoffwechselprodukten in Wurzeln und Spross (Sinkeffekte) führt zu intensivem Wachstum ohne übermäßige Anlagerung von Nitrat in den Blättern (Leufen et al. 2005).

- Ammonium als Depot hat nur einen **geringen Einfluss auf die Bakterientätigkeit** bzw. die Umsetzung von Ernterückständen. Auch wird die bei der Nitratdüngung festzustellende Bindung des Stickstoffes durch Algenwachstum nahe der Bodenoberfläche verhindert. Trotzdem kann sich die Kulturpflanze ausreichend mit N aus dem Ammoniumdepot versorgen.

- **Ernterückstände** mit weitem C/N-Verhältnis wie Stroh bleiben beim CULTAN länger erhalten und stehen insbesondere den **Regenwürmern als Nahrungsquelle** zur Verfügung. Die Vermehrung der Mikroorganismen wird dadurch gefördert, mit positiven Auswirkungen auf die Bodenstruktur und die Infiltration von Niederschlägen. Nitratdüngergaben zur Förderung der Umsetzung organischer Substanz passen folglich nicht in das CULTAN-Konzept.

- **Spurenelemente und Wirkstoffe** lassen sich allenfalls an das CULTAN anknüpfen. Die Substanzen werden zu diesem Zweck der CULTAN-Lösung hinzugefügt und im gleichen Arbeitsgang appliziert. Erste Versuche zeigen neben Arbeitseinsparung auch verbesserte Wirkungsgrade.

- In **pfluglosen Anbausystemen und Minimalbearbeitung** wird bei Verzicht auf Gründünger und Nitratgaben das CULTAN-Depot unterhalb der Mulchschicht bzw. unter den Bearbeitungshorizont platziert. Die Ernterückstände werden dadurch den Regenwürmern als Nahrungsquelle und den Bodenpilzen als Substrat erhalten, was sich vor allem vorteilhaft auf die Bodenstruktur und Wasserinfiltration auswirkt. Die Anreicherung von Phosphat

wird hauptsächlich auf die Mulchschicht beschränkt und ist dort leichter pflanzenverfügbar als bei einer Anreicherung in der gesamten Ackerkrume mit Bindung an die Bodenkolloide (Sommer 2001a; 2006).

Lösungen und Granulate auf Ammoniumbasis

Für das CULTAN-Verfahren werden vor allem synthetische Flüssigdünger wie HAS-Lösungen (Harnstoff-Ammoniumsulfat), AH-Lösungen (Ammoniumnitrat-Harnstoff) und DAP-Lösungen (Diammoniumphosphat) eingesetzt. Da Harnstoff allein zu einer unkontrollierten bzw. pflanzenschädigenden Aufnahme (schwache Ausbildung der Zellwände) führt, sollten in der Lösung mindestens 25 % des Gesamt-N durch Ammonium-N abgedeckt sein (Sommer 2005). Herkömmliche Gülle scheidet aufgrund des niedrigen N-Gehaltes und dem damit verbundenen Bodenfließen für das CULTAN aus. Geeignet ist Gülle aber durchaus, wenn der N-Gehalt mit Ammoniumsulfat und/oder Harnstoff angereichert wird. Allerdings ist diese Variante nicht für den Bioanbau zulässig. Zudem lässt sich damit nur relativ wenig Gülle einsetzen.

CULTAN im Ackerbau; Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Ausland

Grundlagenuntersuchungen zur Ammonium-Depotdüngung führte seit etwa 1970 vor allem die Universität Bonn durch. In den letzten Jahren haben die Aktivitäten um CULTAN und die Umsetzung in der Praxis in Deutschland stark zugenommen. In der Folge werden die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse der letzten Jahre zusammengefasst:

Pflanzenentwicklung, physiologische Aspekte

Als typisches Merkmal beobachtet man beim CULTAN im Vergleich zur Nitratdüngung (KAS) eine stärkere Grünverfärbung der Pflanzen bei Getreide und Blattfrüchten, was als Folge einer länger anhaltenden Assimilation und geringeren N-Verlusten gewertet wird (z.B. Kücke 2001a, 2001b). In Versuchen bei Getreide zeigten die CULTAN-Bestände eine geringere Pflanzenhöhe und bessere Standfestigkeit sowie Trockenstress-Widerstandsfähigkeit. Eine Reduzierung der Wachstumsreglermen-

gen erscheint naheliegend (Kraatz 2001). Die Möglichkeit der N-Aufnahme aus dem Ammoniumdepot, weitgehend unabhängig von den Niederschlägen, wirkt sich bei Trockenheit für Kartoffeln und Zuckerrüben sehr positiv aus (Beck 2004a, 2004b, Keutmann 2004). Bei verschiedenen Kulturen weisen die Blätter eine längere Lebensdauer infolge stärker ausgeprägter Zellwände auf, bei positiven Auswirkungen auf die Pflanzengesundheit (Kücke 2004). Bei Kartoffeln wird der Blütenansatz erhöht und die Zellteilung positiv beeinflusst (Hormonhaushalt wird durch Ammonium beeinflusst) und die Blattalterung verzögert (Knittel 2003).

Erträge, Qualität

Bei **Kartoffeln** zeigt das CULTAN vor allem im Vergleich zur breitwürfigen KAS-Düngung in keinem Fall Nachteile, bei mehreren Versuchen jedoch deutliche Vorteile beim Knollenertrag (Sommer 2001b, Weimar 2001b, Leufen et al. 2005). In einer anderen Versuchsreihe stellen sich beim CULTAN Ertragsvorteile nur bei entzugsentsprechenden und leicht reduzierten N-Gaben ein, bei einer über dem Entzug liegenden N-Gabe fallen die Erträge gleich aus (Beck 2004a, 2004b). In mehreren Versuchen bringt das CULTAN bei geringeren N-Gaben als bei der KAS-Düngung mittlere bis gute Knollenerträge und Stärkegehalte, dies vor allem auch in Trockenjahren (Beck 2004, Leufen et al. 2005). In anderen Fällen resultieren beim CULTAN im Vergleich zu praxisüblichen Verfahren (vor allem KAS) etwa die gleichen Erträge bei allerdings geringeren Nitratgehalten in den Knollen. Bei hohen N-Gaben fallen die Stärkegehalte beim CULTAN-Verfahren teilweise etwas geringer aus (Weimar 2001b, Leufen et al. 2005).

Die Vergleiche bei **Getreide** zeigen beim CULTAN zwar geringere Unterschiede als bei Kartoffeln, in keinem Versuch jedoch Ertrags- und Qualitätsnachteile im Vergleich mit KAS. Neben gleichen oder tendenziell etwas höheren Erträgen und Qualitäten resultierten teils gesicherte Mehrerträge und signifikant höhere Rohproteingehalte (Sommer 2001, Weimar 2001b, Boelcke 2001, Kücke 2001b, Kraatz 2001 und Walter 2001). In Vergleichen mit stabilisiertem Ammoniumdünger (Entec) ergaben sich beim CULTAN etwa gleich hohe Erträge. Die Injektion in den Boden wird etwas vorteilhafter beurteilt als ein Oberflächen-depot mit der Schleppschlauchapplikation (Weimar 2001b). Aus einer Versuchsreihe kommt man zum Schluss, dass bei Winterweizen auch beim CULTAN auf eine

N-Spättdüngung nicht verzichtet werden sollte (Boelcke 2001). Die Ertragszunahmen durch CULTAN werden mit zunehmendem N-Nachlieferungsvermögen des Bodens abnehmend beurteilt (Kücke 2001a).

Nicht so zahlreich sind die Versuchserfahrungen mit CULTAN bisher bei **Körnermais, Raps und Zuckerrüben**. Bei Körnermais resultieren im Vergleich zu KAS und Entec gleiche bis leicht höhere Erträge, dabei ist die Injektion dem Schleppschauchverfahren immer leicht überlegen (Weimar 2001b). Geringfügige Unterschiede, jedoch keine Ertragsnachteile zeigen Rapsversuche mit CULTAN und herkömmlicher Düngung. Die Protein- und Glycosinolatgehalte fallen beim CULTAN etwas höher, die Ölgehalte jedoch etwas tiefer aus (Boelcke 2001).

Gewisse Vorteile des CULTAN-Verfahrens werden betreffend der Pflanzengesundheit bei Raps erwähnt (Felgentreu 2001). Auch bei Zuckerrüben beurteilt man die Ertrags-sicherheit etwa gleich der herkömmlichen Düngungstechnik, wobei beim CULTAN mit geringeren N-Gaben optimale Zuckererträge resultieren können (Weimar 2001b).

Besondere ökologische Aspekte

Bei der ökologischen Beurteilung des CULTAN-Verfahrens steht vor allem der Gemüsebau im Vordergrund. Höchste **Nitrat-Auswaschungswerte** werden hier infolge der vergleichsweise geringen Durchwurzelungstiefe festgestellt. Beim CULTAN liegt

die Auswaschungsrate vor allem im Frühjahr um etwa einen Drittel tiefer als bei der KAS-Düngung; mehrfach werden dabei beim CULTAN auch viel geringere **Nitratgehalte im Gemüse** ermittelt. Hohe Auswaschungsraten in den Wintermonaten lassen sich jedoch auch mit der CULTAN-Düngung nicht verhindern (Walter 2001, Köhler et al. 2001). Auch bei Kartoffeln wird die Verminderung der Auswaschung durch die Ammonium-Depotdüngung zur KAS-Düngung um etwa ein Drittel ausgewiesen (Knittel 2003). Dies deckt sich mit der Feststellung, dass die N-Wirkungsgrade für die KAS-Düngung bei 60 bis 70 % und bei CULTAN bei 90 bis 95 % liegen (Sommer 2001b).

Von mehreren Institutionen wird die CUL-

Tab. 1: Kartoffel-CULTAN-Versuche 2003 bis 2005, Sorte Agria, Reihenabstand 75 cm

	Reckenholz 03	Tänikon 03	Reckenholz 04	Tänikon 04	Reckenholz 05	Tänikon 05
Bodenart	sandiger Lehm skelettarm	m. sandiger Lehm skelettarm	sandiger Lehm skelettarm	s. sandiger Lehm skelettreich	sandiger Lehm skelettarm	Lehmboden
Jahresniederschlag mm	750	920	976	1052	910	1063
Niederschlag mm April bis August	342	358	540	501	642	693
Legezeitpunkt	1.4.	16.4.	22.4.	21.4.	2.5	2.5
Mineral-/CULTAN-Düngung N/P/K/Mg kg/ha	140/90/120/730	140/130/297/24	140/120/300 (30)/+Mist	140/80/210/11	140/ (+ Mist)	140/90/138
Güllegaben*			23.4/24.5./10.6		10.5/25./5./8.6./17.6.	10.5./25.5./8.6./17.6.
– N %	–	–	0.11	–	0.11	0.11
– kg N/ha	–	–	3 x 34 kg	–	3 x 36/1 x 20	3 x 36/1 x 20
– kg N/ha gesamt	–	–	102	–	128	128
Hacken/Häufeln	2 x	2 x	3 x	2 x	3 x	2 x
Herbizidspritzung	–	–	–	–	–	–
Fungizidspritzung	4 x	7 x (2x syst.)	6 x (x syst.)2	6 x (2x syst.)	7 x (1 x syst.)	5 x 1 (x syst.)
Krautschlagen	–	–	21.8	–	–	–
Chem. Krautvernichtung	23.8.	20.8.	27.8	18.8	14.9	1.9.
Erntezeitpunkt	17.9.	12.9.	6,9	13.9.	23.9	21.9
Bunkervollerter**	Grimme LK 750	Wisent RM	Grimme LK 750	Samro Master	Grimme LK 750	Samro Master
– R'geschw. m/h	853	862	852	860	852	860
– Siebband m/s	1.2	0.8	1.2	0.8	1.2	0.8

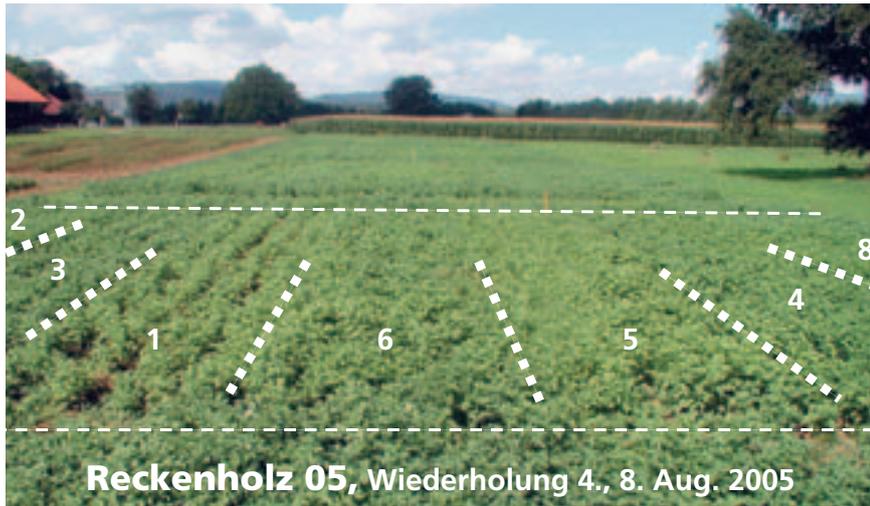
* nur beim Verfahren 5 «Normal-Gülle»

** 1-reihig, Rodetiefe 15 bis 17 cm

Tab. 2: Zuckerrüben-CULTAN-Versuche, Tänikon 2003/04, Sorte Cyntia, Reihenabstand 50 cm

	2003	2004
Bodenart	Lehmboden	Sandiger Lehm
Vorfrucht	Winterweizen	Winterweizen, Klee-Gras
Pflügen	12.12.2002	11.12.2003
Düngung	28.03. Gülle 25 m ³ /ha = 40 kg N 16.05. Hornmehl 666 kg/ha = 80 kg N, CULTAN-Gülle konz. 1,5 % N 80 und 120 kg/ha N	17.10. Gülle 28 m ³ /ha 10.12. Rindermist 200 dt/ha 28.05. Hornmehl 666 kg/ha = 80 kg N, CULTAN-Gülle konz. 1,5 % N 40 und 80 kg N/ha
Eggen / Striegeln	11.03. / 21.03.	18.03. / 31.03.
Saatbettbereitung	08.04. Kreiselegge	14.04. Kreiselegge
Einzelkornsaat, Samenabstand	09.04. 6-reihig x 50 cm, 10 cm	15.04. 6-reihig x 50 cm, 20 cm
Feldaufgang %: Kontrolle/CULTAN	86/86	68/78
Hacken am	05.05 / 24.05 / 04.06	17.05 / 07.06 / 24.06
Ertragserhebungen von Hand	02.10. (4 x 10 m ² /Verfahren)	29.09. (4 x 10 m ² /Verfahren)
Verunkrautung	Hirtentäschel, Ackerstiefmütterchen, Taubnessel, Rauhe Gänsedistel, Knöterich, Ackerwinde, Klettenlabkraut, Quecke, Vogelmiere, Amarant, Hühnerhirse	

TAN-Düngung zur Sanierung von stark nitratbelasteten Grundwasservorkommen in Betracht gezogen. In Trinkwasserschutzgebieten Baden-Württembergs wird sie als **Instrument zur Nitratsanierung** eingesetzt und gefördert. An der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig (D) geht man davon aus, dass die Ammonium-Depotdüngung als nachhaltiges Düngeverfahren den **ökologischen Forderungen** (Trinkwasser-, Gewässer-, Atmosphären-, Boden- und Erosionsschutz) am nächsten kommt. Folgende Ziele werden als realistisch bezeichnet: Bessere N-Ausnutzung, reduzierte Ammoniakverluste, geringere N-Auswaschung und geringere N-Ab-



Versuche bei Kartoffeln und Zuckerrüben

Im Rahmen von Anbautechnikversuchen für Kartoffeln und Bio-Zuckerrüben wurden 2003 bis 2005 an zwei Standorten mit typischen sandigen Lehmböden bei geringen (Reckenholz ZH) bis mittleren (Tänikon TG) Skelettanteilen vergleichende Versuche mit CULTAN-Verfahren und Verwertung von Hofdüngern durchgeführt (Tab. 1 und 2). Der **Versuchsordnung** lagen Parzellengrößen von 25,5m² (03 und 04) und 48m² (05) (1,5mx17m / 3mx16m, Reihenabstand 0,75m) bei Kartoffeln und 54m² (3m x18m, Reihenabstand 0,5m, Handernte 10m²) bei Zuckerrüben und vier Wiederholungen in Längsrichtung bei vollständiger Randomisierung der Verfahren zugrunde. Dank 5m breiten Wendestreifen zwischen den Wiederholungen konnte eine praxisüb-

Reckenholz 05, Wiederholung 4., 8. Aug. 2005

Abb. 4. Parzellenversuch bei Kartoffeln mit verschiedenen Düngern und Anwendungstechniken. Durch breite Zwischengassen quer zu den Wiederholungen konnte je nach Verfahren das Mehrfachbefahren der Parzellen verhindert werden. Die Parzellen im Vordergrund sind analog zu den Abbildungen 14 und 16 mit den Nummern der Versuchsvarianten (Tab. 3) gekennzeichnet.

schwemmung in Oberflächengewässer. Ferner werden auch die Möglichkeiten zur Reduzierung der N-Menge und allenfalls der Wirkstoffmengen (z.B. Wachstumsregulatoren und Mikronährstoffe) als ökologischer Vorteil gewertet (Kücke 2004).

Arbeitswirtschaftliche Auswirkung, Kosten

Auf der Kostenseite fällt die meist spezielle und vergleichsweise teure CULTAN-Geräte-technik ins Gewicht. Flüssigdünger müssen bei den Lieferfirmen vorzeitig bestellt werden; sie lassen sich in der Regel nicht selber herstellen und sind im Handel nicht vorrätig. In der Praxis wird diesen Problemen in der Regel durch überbetriebliche Organisation und hohe Auslastungen begegnet. In Deutschland sind die synthetischen N-Düngelösungen (in der Schweiz ist bisher nur das im Vergleich zu Ammonsalpeter etwas teurere AHL erhältlich) auf die Nährstoffeinheit bezogen eher etwas billiger als Granulatdünger. Da sich die Anlage des Ammoniumdepots in der Regel auf einen Arbeitsgang beschränkt, welcher je nach Kulturart mit der Saat oder Pflege kombiniert wird, ergeben sich durch die Einsparungen an Arbeitsgängen und Geräten beträchtliche Kostenvorteile. Dies ganz besonders, wenn allenfalls auch die Grunddüngergaben und der Einsatz von Wachstumsregulatoren mit einbezogen werden.

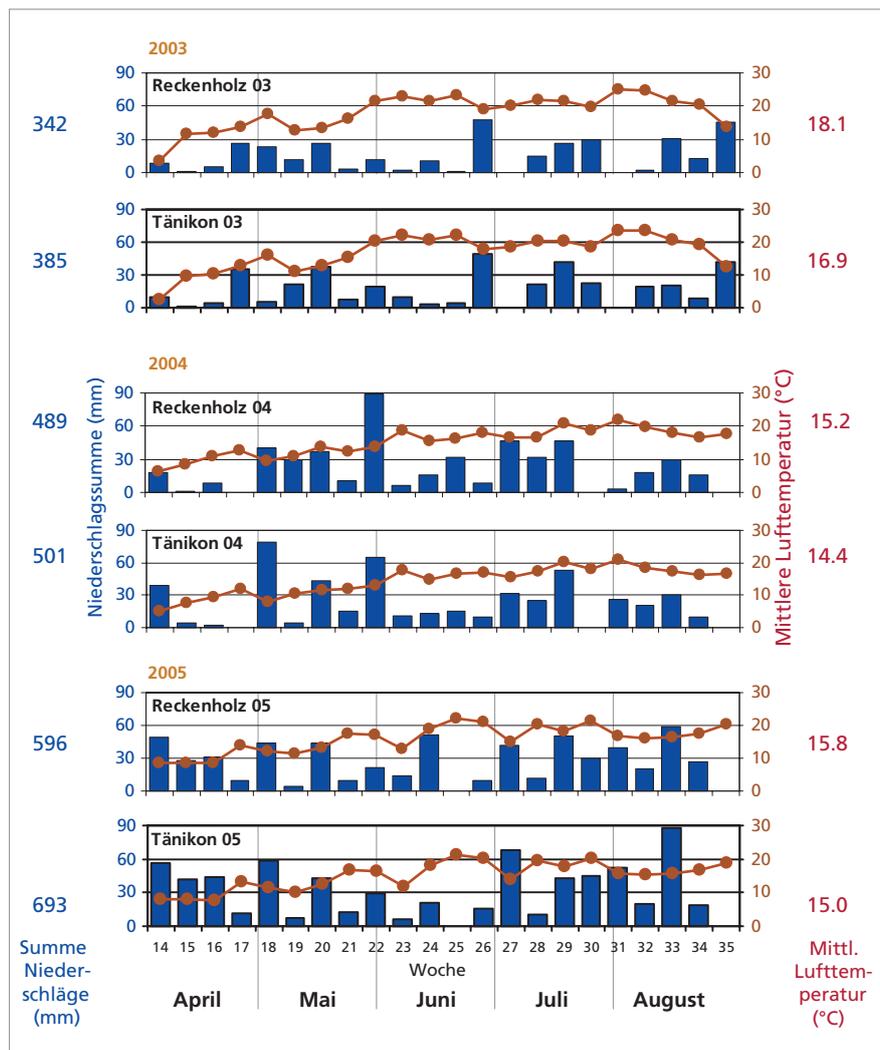


Abb. 5. Witterungsverlauf während der Vegetationszeit der zwei Versuchsstandorte über 3 Jahre.

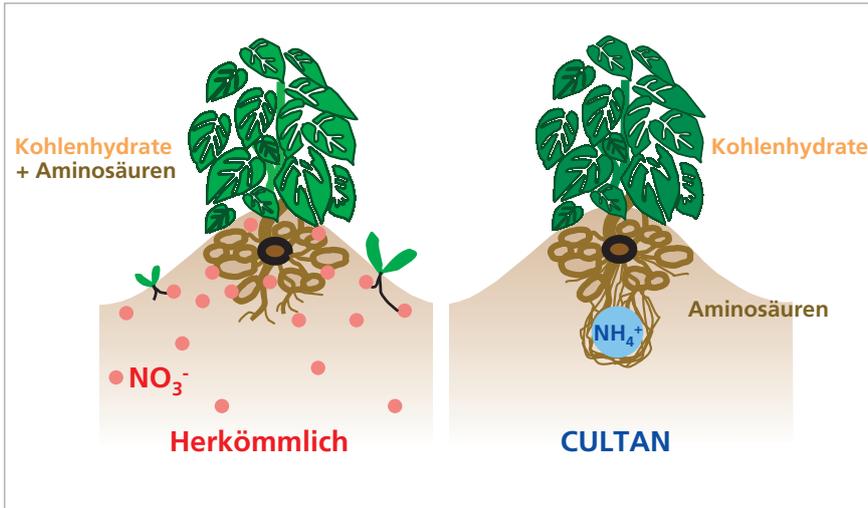


Abb. 6. Vergleich breitwürfige Nitratdüngung (links) und Ammonium-Depotdüngung (rechts) bei Kartoffeln. Das CULTAN-Depot wurde bei Kartoffeln in Kombination mit dem Legen ca. 10 cm bis 15 cm unterhalb der Pflanzknolle platziert.

Tab. 3: Kartoffel-Versuchsverfahren

Verfahren	Beschreibung
1	Keine N-Düngung
2	Ammonsalpeter breit gestreut, 40 N (=kg N/ha) vor dem Legen als Startergabe und 100 N als Kopfdüngung bei zirka 20 bis 30 cm Staudenhöhe.
3	Ammonsalpeter-Unterfuss, 40 N beim Legen linienförmig unmittelbar unterhalb Pflanzknolle als Startergabe und 100 N als Kopfdüngung bei zirka 20 bis 30 cm Staudenhöhe breitgestreut.
4	Ammonsulfat breit gestreut, 40 N vor dem Legen als Startergabe und 100 N als Kopfdüngung bei zirka 20 bis 30 cm Staudenhöhe.
5	Normal-Gülle in mehreren Gaben auf Dammkrone ausgebracht (siehe Tab. 2).
6	CULTAN-HAS, 140 N Harnstoff-Ammonsulfatlösung 2003 mit 24 % N und 2004/2005 mit 12 % N zum Legezeitpunkt 10 bis 15 cm linienförmig 10 bis 15 cm unter Pflanzknolle platziert, mit/ohne Didin.
7	CULTAN-Gülle konzentriert mit Didin, 140 N, N-Gehalt 2003/2004: 1,5 %, 2005: 0,85 % zum Legezeitpunkt 10 bis 15 cm linienförmig 10 bis 15 cm unter Pflanzknolle platziert (Abb. 6).
8	CULTAN-Gülle konzentriert ohne Didin, 140 N, N-Gehalt 2003/2004: 1,5 %, 2005: 0,85 % zum Legezeitpunkt 10 bis 15 cm linienförmig 10 bis 15 cm unter Pflanzknolle platziert.

liche Bearbeitung (ohne Doppelbefahrungen) mit unterschiedlicher Gerätetechnik erreicht werden (Abb. 4). Der **Witterungsverlauf** der Jahre 2004 (eher trocken) und 2005 kann den Standorten entsprechend mit Jahresniederschlagsmengen von 976/910 mm (Reckenholz) und 1052/1063 mm (Tänikon) als mehr oder weniger durchschnittlich bezeichnet werden (Abb. 5). 2003 bewirkte dagegen die extreme Trockenheit (keine Bewässerung) an beiden Versuchsstandorten (Jahresniederschlag Reckenholz: 750 mm, Tänikon: 920 mm) ein stark eingeschränktes Pflanzenwachstum.

Versuchsvarianten

Bei **Kartoffeln** wurden die konventionelle bzw. meistverbreitete Nitratdüngung (KAS) dem CULTAN-Verfahren bei einer Ausgangsbasis von 140 kg N/ha gegen-

übergestellt, wobei beim Legezeitpunkt von einem N-min Wert von ca. 40 kg N/ha ausgegangen werden kann (Abb. 6). Im Laufe der drei Versuchsjahre nahmen wir aufgrund der Ergebnisse und Möglichkeiten bestimmte Ergänzungen/Anpassungen vor (Tab. 3): So wurde 2004/2005 ein Verfahren ohne jegliche N-Düngung (Verfahren 1) und als Vergleich zu Ammonsalpeter (2 und 3) auch Ammonsulfat (4) aufgenommen. Die Herstellung der HAS-Lösung (Harnstoff 67 % N-Anteil, Ammonsulfat 33 % N-Anteil) erfolgte in Eigenregie aus handelsüblichen Granulaten. Für 100 N-Einheiten waren folglich 146 kg Harnstoff 46 % N und 157 kg Ammonsulfat 21 % N erforderlich. Da das Auflösen in der handelsüblichen Konzentration von 24 % N (2003) mit technischen Problemen verbunden ist, wurde die N-Konzentration in der Lösung 2004 und 2005 bei gleicher N-Gabe/ha nur noch auf 12 % gehalten.

Gülle mittels Membrantrennung aufkonzentrieren

Um auch Hofdünger nach der CULTAN-Technik verwerten zu können, wurde als Variante erstmals auch Gülle verwendet, die nach dem Prinzip der Umkehrosmose etwa um den Faktor 4–5 aufkonzentriert wurde. Für eine N-Versorgung von beispielsweise 80 kg/ha sind somit statt 25 bis 50 m³/ha Normalgülle nur noch um 5 m³/ha aufkonzentrierte Gülle erforderlich.

Membrantrennung nach dem Prinzip der Umkehrosmose

Das Verfahren der Umkehrosmose benutzt eine halbdurchlässige Membran, um Salze vom Wasser zu trennen und zu entfernen (Abb. 7), das heißt es fällt auf der einen Seite ein salzreicher Flüssigdünger und auf der anderen Seite ein für betriebliche Zwecke geeignetes Brauchwasser an. Membrananlagen für die Güllebehandlung sind heute erprobt. Als Zielsetzung steht die Reduzierung der Güllemenge bzw. eine Erleichterung für die Verwertung im Vordergrund. Die Eignung der Membrantrennung für Gülle wurde abgeklärt (Meier 1995). Mehrere Anlagen stehen seit einigen Jahren im In- und Ausland vor allem in grossen Schweinemastbetrieben erfolgreich im Einsatz (Abb. 8). Die Behandlung der Gülle erfolgt in einem mehrstufigen Verfahren. Am Schluss der Aufbereitung steht die Umkehrosmose. Die Behandlung mit der Membrantrennung erlaubt eine erhebliche Reduktion der Ausbringungsmenge von bis zu 80 % im Vergleich zu un behandelter Rohgülle. Die Anlage kann mit einer Vergärungsstufe kombiniert werden. Diese Möglichkeit bietet bei ausreichender Verarbeitungsmenge und/oder bei Covergärung von Abfällen die Chance eines kostendeckenden Anlagenbetriebs (Hersener und Meier 2002). Neben der Aussicht, mit dem stickstoffangereicherten Flüssigdünger Mineraldünger zu ersetzen, ermöglicht die Membrantrennung der Gülle eine Erweiterung des Einsatzspektrums bei der Verwendung der Hofdünger. Zudem kann mit einer verlustreduzierten Anwendung vor allem im Bereich der Ammoniakemissionen ausgegangen werden (Heeb et al. 2004).

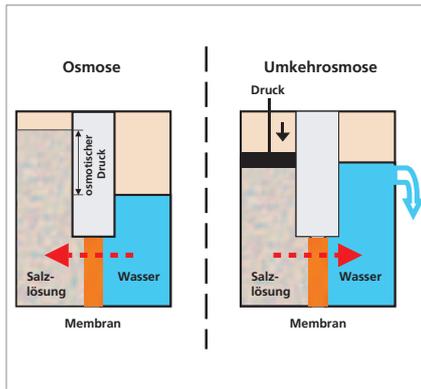


Abb. 7. Gülleaufbereitung: Funktionsprinzip der Osmose (links) im Vergleich zur Umkehrosmose (rechts). Bei der Osmose diffundiert das Wasser so lange durch die Membran in die konzentrierte Lösung, bis ein Konzentrationsausgleich erreicht ist. Der entsprechende hydrostatische Überdruck wird als osmotischer Druck bezeichnet. Bei der Umkehrosmose wird dieser Prozess umgekehrt. Das Wasser tritt unter Druck aus der konzentrierten Lösung in die weniger konzentrierte Lösung.



Abb. 8. Membrantrennanlage zur Aufbereitung der Gülle. Im Vordergrund ist die Umkehrosmose zu sehen. Diese Anlage ist in einem Container untergebracht und kann etwa 700 l Rohgülle pro Stunde behandeln.

Tab. 4: Zuckerrüben-Versuchsverfahren

Verfahren	Beschreibung
Hornmehl	80 N als Kopfdünger
CULTAN, Gülle konzentriert	1,5 % N, nach Saat über Saatreihe 10cm Band angegossen mit 40 N, im 5-Blattstadium Anlage von linienförmigem Depot in 15 cm Bodentiefe zwischen jede zweite Reihe (Abb. 9).
Ammonsalpeter	40 N als Startergabe nach der Saat, Rest als Kopfdünger breitgestreut.
CULTAN, HAS + Didin	(Didinzugabe nur für Depot), 12 % N, nach Saat über Saatreihe 10 cm Band angegossen mit 40 N, im 5-Blattstadium Anlage von linienförmigem Depot in 15 cm Bodentiefe zwischen jeder zweiten Reihe (Abb. 9).

Je höher die geforderte N-Konzentration, desto schwieriger wird das Auflösen der Granulate, dies trotz Erwärmung der Lösung und intensivem Rühren. Die Zugabe von Didin (Dicyandiamid, 6,7 kg/ha; dieser Substanz wurde 2003 die bestmögliche Wirkung zugebilligt) bei den CULTAN-Ver-

fahren (6 und 7) führte 2003/2004 zu kaum ersichtlichen Unterschieden; folglich wurde 2005 auf Nitrifikationshemmer gänzlich verzichtet. Die konzentrierte Gülle für das CULTAN (7 und 8) bereiteten wir nach dem Membrantrennverfahren (siehe Kästchen) auf. Angestrebt wurde dabei eine N-Kon-

zentration von 1,5 %. Je nach Gülle erwies es sich als problematisch, eine konstante Konzentration als einheitliche Ausgangsbasis für die Versuche zu schaffen. So wurden 2003/2004 die Konzentrationen durch die zusätzliche Auflösung von geringen Anteilen Ammonsulfat auf einheitlich 1,5 % ausgeglichen. 2005 verwendeten wir ausschließlich physikalisch aufkonzentrierte Gülle mit 0,85 % N. In Betracht fällt hier sicher auch der doch beachtliche K-Gehalt von zirka 0,5 % in der konzentrierten Gülle. In einer Gabe von 140 kg N/ha sind folglich auch zirka 82 kg K₂O enthalten.

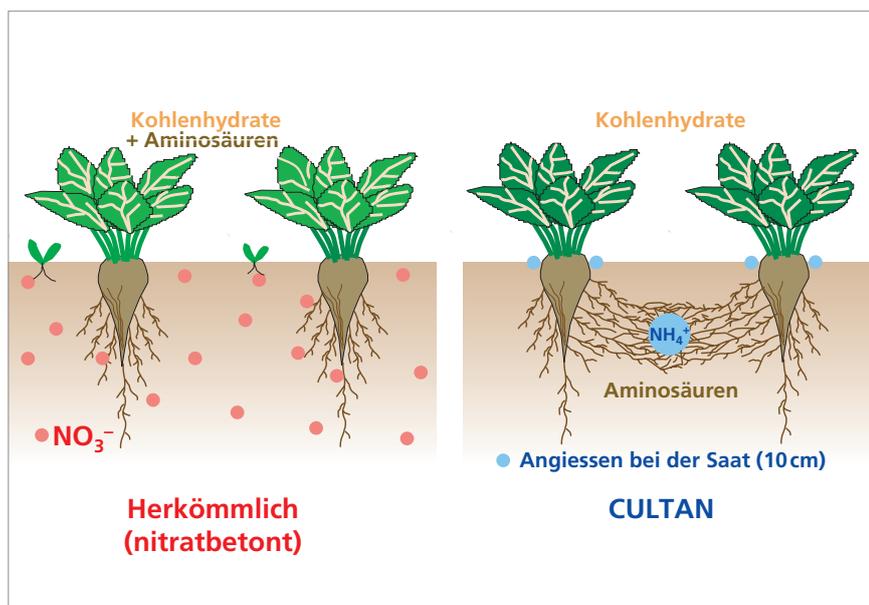


Abb. 9. Vergleich breitwürfige Nitratdüngung (links) und Ammonium-Depotdüngung (rechts) bei Zuckerrüben. Das CULTAN-Depot wird im 4- bis 5-Blattstadium in Kombination mit dem Hacken nur zwischen jede zweite Pflanzenreihe in zirka 15 cm Bodentiefe platziert. Bei der Saat wird jede Reihe mit der CULTAN-Lösung (niedrigere Konzentration, 40 kg N/ha als Startergabe) begossen.

In zweijährigen Versuchen wurden bei **Zuckerrüben** unter Bio-Anbaubedingungen verschiedene anbautechnische Massnahmen, darunter auch das CULTAN-Verfahren mit aufkonzentrierter Gülle, vor allem im Hinblick auf die Unkrautregulierung sowie die Pflanzen- und Ertragsentwicklung verglichen (Irla et al. 2005). Nachfolgend wird diesbezüglich nur auf die Aspekte der CULTAN-Düngung eingetreten (Abb. 9). Als Ergänzung haben wir in dieser Versuchsreihe 2004 auch verschiedene CULTAN-Verfahren mit mineralischen Düngelösungen verglichen, wobei aber auch hier bei allen Verfahren statt einer chemischen Unkrautregulierung ein zweimaliges Hacken von Hand und zwei Einsätze mit dem Scharhackgerät erfolgten (Tab. 4).

Anlage des Ammonium-Liniendepots

Die **technische Ausrüstung** für die Flüssiginjektion des Düngerdepots bei Kartoffeln und Zuckerrüben besteht im Wesentlichen aus einem Behälter mit hydraulischem Rührwerk für den Traktor-Frontanbau, Schlauch-, Membran- oder Kolbenpumpe, Regelarmatur und den Injektionssechen, die am Lege- oder Hackgerät angebaut werden. Von Bedeutung ist, dass alle mit den Düngelösungen in Berührung kommenden Maschinenteile aus korrosionsbeständigen Materialien, aus Kunststoffen oder Chromstahl (ungeeignet ist Messing) ausgelegt werden. Verschiedene Gerätehersteller (siehe Kästchen) bieten vollständige Ausrüstungen für synthetische Düngelösungen auf Wunsch mit automatischer Mengenregulierung an.

Für unsere Versuche mussten wir im Hinblick auf die hohen Ausbringungsmengen bei der konzentrierten Gülle die **Gerätekomponenten** speziell zusammenstellen (Abb. 10 und 11). So erfordert beispielsweise eine synthetische Düngelösung von 20 % N bei 3 km/h Arbeitsgeschwindigkeit für die Ausbringung von 100 kg N/ha pro m Arbeitsbreite eine Pumpenförderleistung von 2,5 l/min. Für konzentrierte Gülle mit 1 % N ist hingegen eine Förderleistung von 50 l/min erforderlich. Dabei können im ersten Fall mit 100 l im Behälter 2000 m² und im zweiten Fall nur 100 m² gedüngt werden. Wir verwendeten sowohl für die Kombination mit der zweireihigen Kartoffellegemaschine als auch mit dem sechsstufigen Zuckerrübenhackgerät einen 600 l Tank und eine Membranpumpe mit einer Förderleistung von 120 l/min und entsprechend dimensionierten Leitungen. Die Feinregulierung erfolgt über den Druck wie bei einer



Abb. 10. Ausrüstung der zweireihigen Kartoffellegemaschine für die Linien-Injektion von Flüssigdüngern. Kleine Bilder: unten Flüssigkeitsbehälter mit Pumpe, Injektionsseche (Pfeil) vor dem Legeschar; oben Druckregelvorrichtung, Flüssigkeitsverteilung.

Feldspritze. Um den weiten Bereich der geforderten Fördermengen abdecken zu können, lassen sich nach dem Druckregelventil bei den Kupplungsstellen der Leitungen entsprechende Lochscheiben für die Querschnittbegrenzung einlegen. Sowohl für Kartoffeln als auch Zuckerrüben kamen die gleichen Injektionsseche zum Einsatz. Für die Anbringung am zweireihigen Legeautomaten musste der Maschinenrahmen verstärkt werden. Die kombinierte Arbeit mit dem Zuckerrübenhackgerät bereitete insofern Probleme, da durch die zu überwindenden höheren Seitenkräfte, die Feinsteuerung des Gerätes über die luftbe-

reiften Stützräder erschwert wurde. Besser geeignet wären hier Sechräder oder ein Lenksystem mit Seitenverschiebung gegen den Traktor. Wird nach dem oben angeführten Beispiel ausgegangen, so kann mit dem 1,5 m Legegerät bzw. dem 3 m Hackgerät bei synthetischer Düngelösung eine Strecke von 8000 m bzw. 4000 m und bei konz. Gülle eine solche von 400 m bzw. 200 m zurückgelegt werden ohne Düngelösung nachzutanken. Für den Einsatz in der Praxis (Behälternachfüllen nur an einem Feldende) wären bei aufkonzentrierter Gülle vor allem bei 3 m Arbeitsbreite Behälterfassungsvermögen von mindestens 1000 l erforderlich.



Abb. 11. Anlage der linienförmigen CULTAN-Depots zwischen jede zweite Pflanzenreihe in Kombination mit dem Hacken bei Zuckerrüben. In Kombination mit der Saat wurde durch bandförmiges Angiessen über jeder Reihe eine erste N-Startergabe appliziert.

Herstellerfirmen von Geräten für die CULTAN-Technik

- Agrarentwicklung Kuhlenkap, D-36396 Steinau
- Alsters, D-47638 Straelen
- Fischer Neue GmbH, CH-8522 Felben-Wellhausen
- Maschinen- und Antriebstechnik Maschinenbau GmbH, D-18273 Güstow
- Stahlbau Kämpfers, D-52525 Heinsberg

Ergebnisse

Pflanzenentwicklung

Bei Zuckerrüben bewirkte das CULTAN mit aufkonzentrierter Gülle infolge des Angiessens im Band zur Saat in beiden Jahren einen schon früh erkennbaren deutlichen **Wachstumsvorsprung**. Dieser Effekt war etwas vermindert auch bei der 12 % HAS-Lösung ersichtlich, allerdings hatte dieses Verfahren einen reduzierten Feldaufgang bzw. geringere Pflanzenzahlen zur Folge, was sich schliesslich negativ auf die Erträge auswirkte. Ganz offensichtlich führte die 12 % N-Nährstofflösung beim Angiessen zu Verätzungen (bzw. Schädigung der Wurzeln), die Lösung sollte in Zukunft bedeutend stärker verdünnt werden. Sowohl bei Kartoffeln als auch Zuckerrüben waren beim CULTAN vor allem bei der Variante mit aufkonzentrierter Gülle nach etwa sieben Wochen eine deutlich **dunklere Pflanzenfarbe** erkennbar (Abb. 12 und 13). Bei Zuckerrüben zeigten die Pflanzen beim letzteren Verfahren im Vergleich mit CULTAN-HAS bis zur Ernte eine etwas kräftigere Entwicklung. Hinsichtlich der Pflanzenentwicklung bzw. des **Bodenbedeckungsgrades** bei Kartoffeln sind bei den Verfahren mit N-Düngung nur im extremen Trockenjahr 2003 gesicherte Unterschiede zugunsten des CULTAN zu erkennen (Abb. 14). Gegen Mitte August war die Restverunkrautung (bzw. die Bodenbedeckung des Unkrautes; die Regulierung erfolgte ausschliesslich durch Hacken) in allen Versuchsjahren beim CULTAN etwas geringer (Unterschiede in drei Versuchen stat. gesichert). In Übereinstimmung damit fiel im Zuckerrüben-Bioanbau der **Arbeitsaufwand für das Handhacken** in beiden Jahren deutlich (um -18%) kleiner aus (Abb. 15)

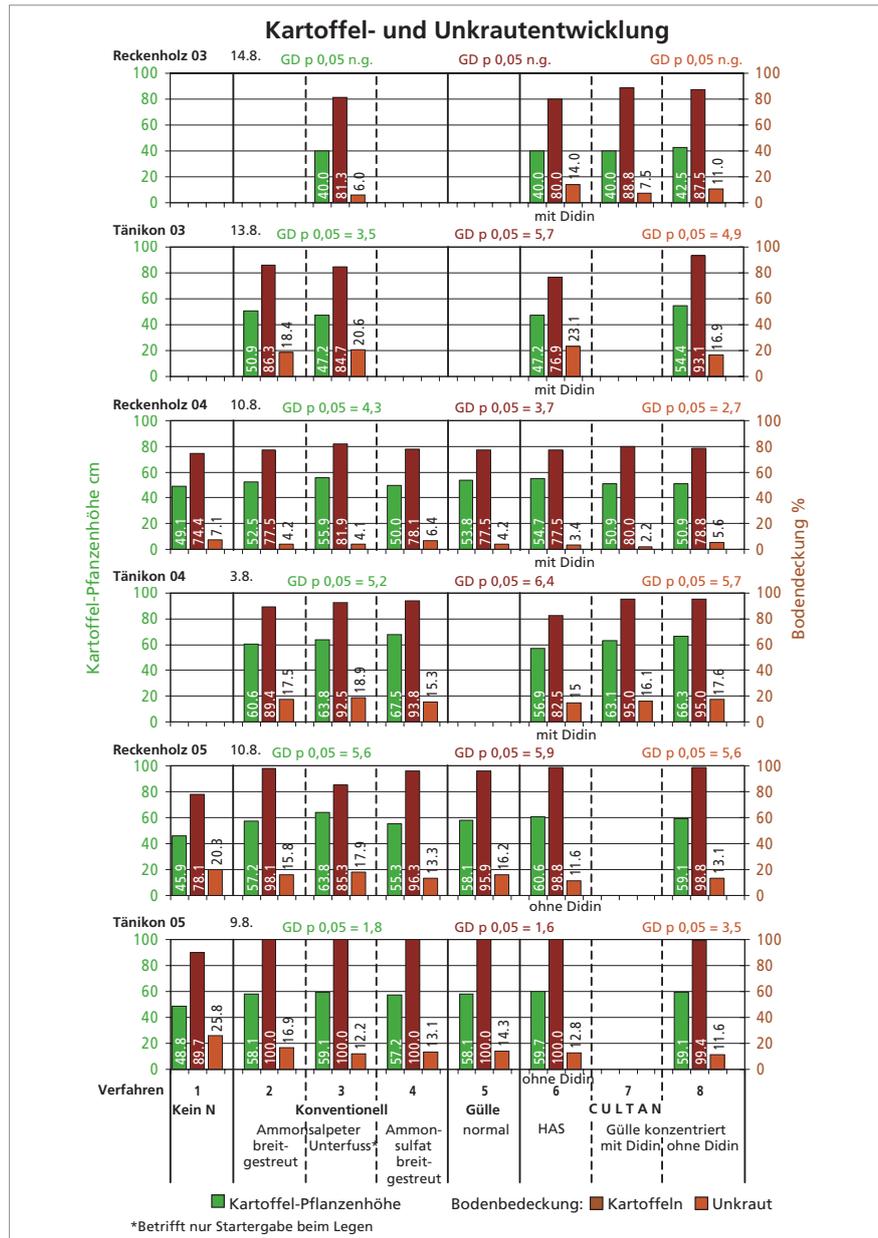


Abb. 14. Pflanzenhöhe und Bodenbedeckung bei Kartoffeln sowie Unkrautbesatz kurz vor der Krautvernichtung. GD p 0.05 = ... entspricht der kleinsten statistisch gesicherten Differenz zwischen den Werten zweier Versuchsvarianten bzw. -verfahren mit einer Sicherheit von 95 %, n.g. bedeutet «nicht gesichert».

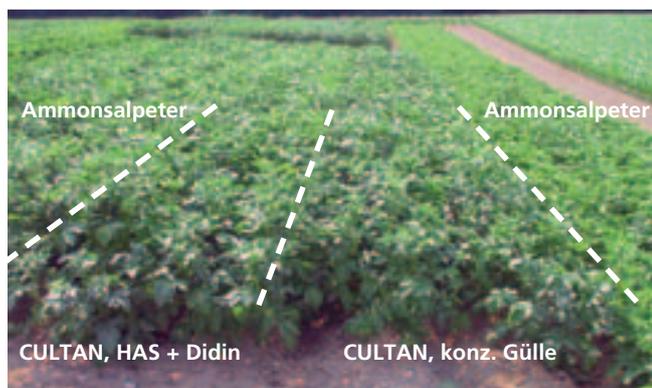


Abb. 12 und 13. Bezeichnend für die Ammonium-Depotdüngung ist das dunklere Grün der Blätter sowohl bei Kartoffeln als auch Zuckerrüben.

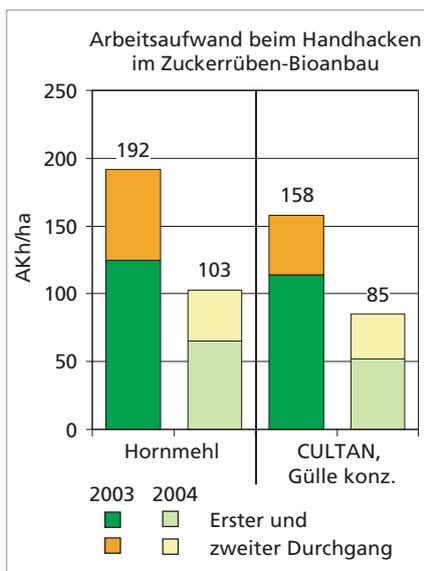


Abb. 15. Arbeitsaufwand für das Handhacken im Bio-Zuckerrübenversuch. Mit dem zweiten Durchgang wurde das Absamen der Unkräuter verhindert; diese Massnahme ist jedoch kaum ertragsrelevant.

Erträge

In Abbildung 16 und Tabelle 5 sind die Knollenerträge und -grössenanteile sowie die Stärkegehalte der **Kartoffelversuche** dargestellt. Die CULTAN-Varianten zeigen in allen Fällen sowohl hinsichtlich des **Gesamtertrages als auch der Knollenausbeute** (42,5–70 mm) gegenüber der konventionellen Düngung mindestens gleichwertige Ergebnisse. Bei der CULTAN-Variante mit konzentrierter Gülle (Verfahren 7 und 8) resultierten mit Ausnahme des Versuches Reckenholz 2004 immer die höchsten Mehrerträge, am grössten sind die Unterschiede (Tänikon 03 gesichert) im Trockenjahr 2003. Bei den Verfahren mit N-Düngung ist nur der Unterschied zwischen Ammonsalpeter breitgestreut (2) und CUL-

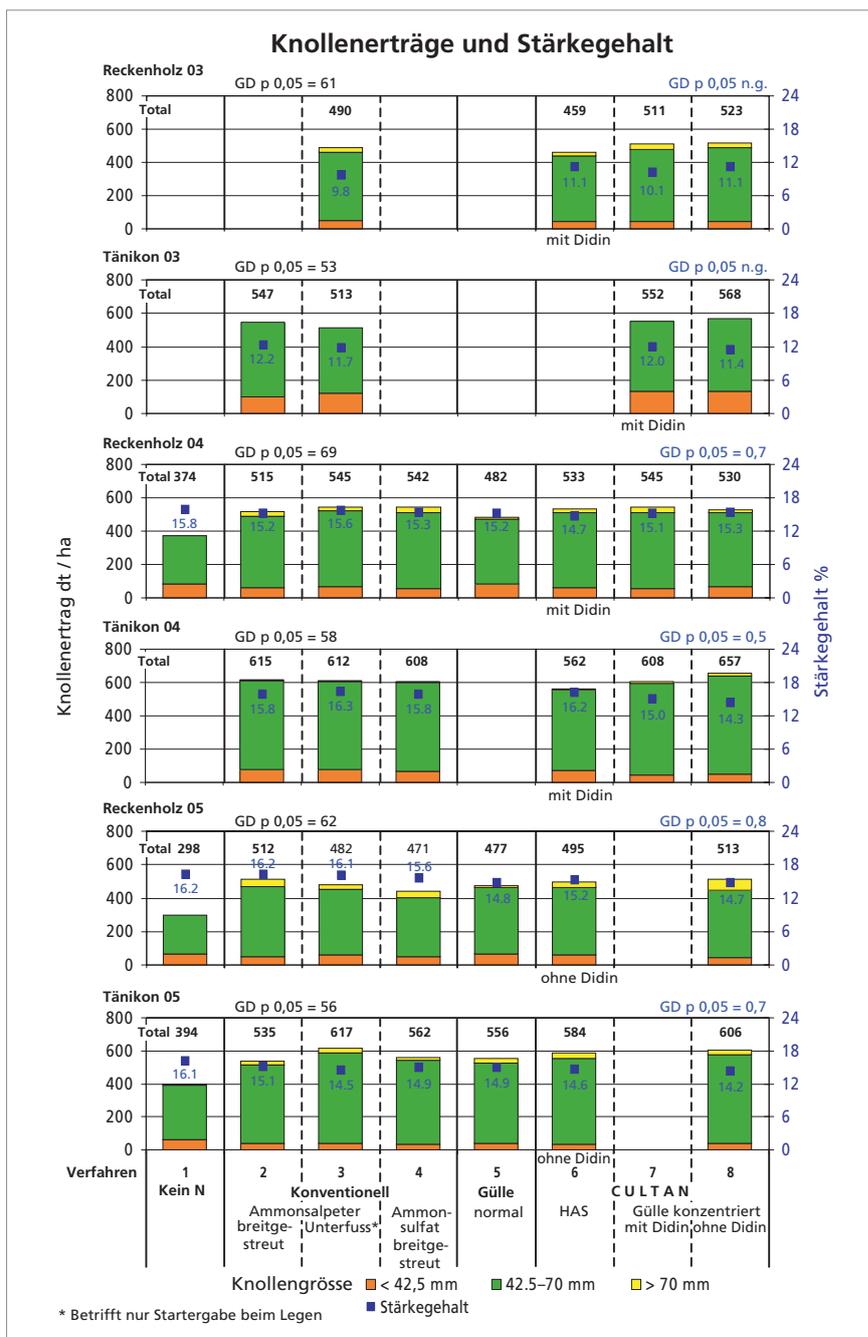


Abb. 16. Erträge und Stärkegehalte bei Kartoffeln.

Tab. 5: Anteil Marktwarenertrag 42,5–70 mm (Ausbeute) in % von Knollenrohertrag bei Kartoffeln

Standort, Jahr	Kein N Verfahren 1	Konventionelle Düngung		Gülle Verfahren 5	HAS Verfahren 6	CULTAN Gülle konzentriert		GD p 0,05 (kleinste gesicherte Differenz)
		Ammonsalpeter breitgestreut Verfahren 2	Unterfuss Verfahren 3			mit Didin Verfahren 7	ohne Didin Verfahren 8	
Reckenholz 03			83,6 a		85,6* a	84,2 a	84,5 a	3,1
Tänikon 03		82,5 a	76,4 a		75,8* a		77,1 a	7,8
Reckenholz 04	77,3 a	83,2 b	83,3 b	81,2 b	84,3* b	83,1 b	84,0 b	3,6
Tänikon 04		86,2 a	86,5 a	88,0 ab	86,5* a	90,5 c	90,0 bc	2,1
Reckenholz 05	77,0 a	81,6 b	80,8 ab	81,8 b	83,0 b	82,3 b	79,5 ab	3,8
Tänikon 05	83,8 a	89,5 bc	89,0 bc	90,8 c	87,5 b	88,8 bc	88,8 bc	2,2
Mittelwert			83,3		83,8		84,0	

* mit Didin
ab = Verfahren mit denselben Buchstaben bzw. -kombinationen unterscheiden sich statistisch nicht signifikant voneinander (p 0,05)

TAN mit Gülle konz. (8) im Versuch Tänikon 2005 statistisch gesichert. Die Ablage der Ammonsalpeter-Startergabe breitgestreut (2) oder unter die Pflanzknolle platziert (3) führte zu unterschiedlichen Ergebnissen. Einen gesicherten Mehrertrag für Verfahren 3 wies nur der Versuch Tänikon 05 auf. Die Normal-Gülle (5) mit 102 kg N/ha (Reckenholz 04) und 128 kg N/ha (Reckenholz und Tänikon 04) brachte dank mehrerer gezielter Gaben (04:3x, 05:4) im Berei-

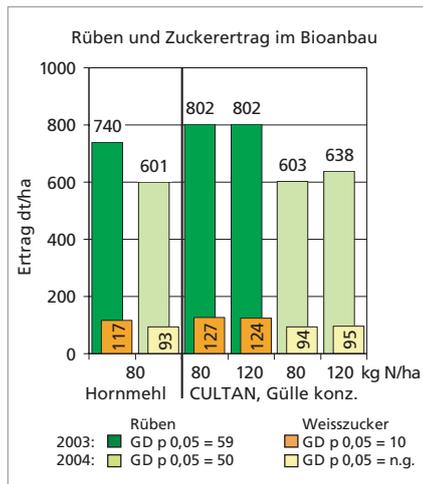


Abb. 17. Rüben- und Zuckererträge bei Bioanbau.

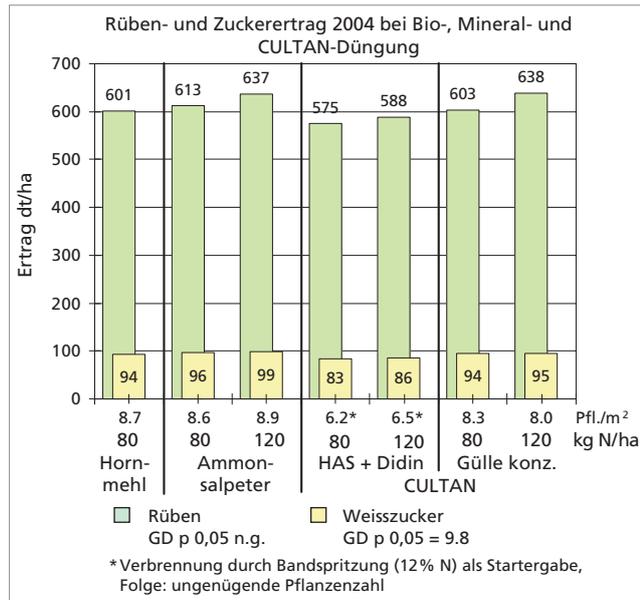


Abb. 18. Rüben- und Zuckererträge bei Bio-, Mineral- und CULTAN-Düngung.

che der Dammkrone durch Handarbeit, in beiden Versuchen zu der konventionellen Düngung durchaus vergleichbare Erträge. Lösungen für eine solche Gülle-Ausbringttechnik für die Umsetzung in der Praxis sind allerdings noch nicht verfügbar. Die Zugabe des Nitrifikationshemmers Didin (7) beim CULTAN ergab keine nennenswerten Unterschiede. Deshalb wurde 2005 ganz auf

Didin verzichtet. Signifikant waren in allen drei Versuchen die Mindererträge (-31 bis -42 %) beim Verfahren ohne N-Düngung (1). Der Verzicht auf N führte jedoch zu den höchsten **Stärkegehalten**. Deutlich zu erkennen ist die gegenläufige Tendenz zwischen Knollenertrag und Stärkegehalt. Den höchsten Erträgen der Verfahren «CULTAN-Gülle konz.» (Verfahren 7 und 8)

Tab. 6: Knollenmängel bei Kartoffeln in %, Mittelwerte der beiden Standorte Reckenholz und Tänikon

Standort, Jahr	Kein N	Konventionell			Gülle	HAS	CULTAN	
		Ammonsalpeter breitgestreut	Ammonsalpeter Unterfuss	Ammonsulfat breitgestreut			Gülle konzentriert mit Didin	Gülle konzentriert ohne Didin
Verfahren	1	2	3	4	5	6	7	8
Grüne Knollen	2003	0 a	0,7 ab			0 a	2,5 ab	0 a
	2004	3,5 a	2,7 a	5,5 a	6,0 a	6,0 a*	7,0 a	4,0 a
	2005	2,5 a	3,5 a	4,3 a	5,0 a	8,5 b	4,5 a	5,3 a
Gewöhnlicher Schorf	2003		12 a	17 ab		31 bc	48 c	29 ab
	2004	3,5 a	4,0 a	1,0 a	1,5 a	4,0 a	4,7 a	2,3 a
	2005	11,5 a	18,3 a	12,3 a	13,5 a	21,5 a	17,5 a	19,8 a
Pulverschorf	2003		0 a	0,3 a		0,5 a	3,5 b	0,3 a
	2004	2,0 bc	17,3 d	1,0 a	0,5 a	1,0 a*	2,8 bc	7,8 b
	2005	1,5 a	2,3 ab	0,3 a	1,0 a	4,3 b	1,0 b	1,0 b
Rhizotonia-Pockenbefall	2003		7,0 a	4,0 a		10,9 a	10,0 a	2,3 a
	2004	0 a	0 a	0 a	0 a	1,7 b	0 a	0 a
	2005	13,8 a	10,8 a	15,0 a	13,3 a	13,0 a	16,0 a	20,3 a
Rhizotonia-Deformationen	2003		0,5 a	2,5 a		3,0 a	3,0 a	1,8 a
	2004	1,0 a	1,0 a	1,0 a	4,5 ab	4,0 ab*	2,0 ab	2,0 ab
	2005	2,8 a	5,0 ab	6,3 ab	5,8 ab	9,3 b	7,5 b	8,0 b
Hohlherzigkeit	2003		0 a	0 a		0 a	0 a	0,3 a
	2004	3,0 a	0 a	0,5 a	0,5 a	1,5 a	0,3 a	0,3 a
	2005	5,5 a	7,3 a	6,0 a	6,0 a	14,0 b	7,8 a	5,8 a
Kindelbildung	2003		1,0 a	1,8 a		1,0 a	1,0 a	2,8 a
	2004	2,5 ab	2,0 ab	2,0 ab	3,0 ab	4,5 a*	1,3 ab	1,0 b
	2005	5,0 a	2,0 a	2,3 a	3,3 a	3,5 a	3,3 a	3,3 a
Graufleckigkeit	2003		0 a	1,0 a		0,3 a	1,0 a	1,3 a
	2004	0,5 a	1,3 a	0 a	0,5 a	0 a*	1,0 a	1,0 a
	2005	4,8 ab	6,0 a	4,0 ab	3,8 ab	3,5 ab	3,5 ab	2,5 b

* mit Didin
ab = Verfahren mit denselben Buchstaben bzw. -kombinationen unterscheiden sich statistisch nicht signifikant voneinander (p 0,05)

stehen dementsprechend auch die tiefsten Stärkegehalte gegenüber. Möglicherweise hätte die N-Zuteilung beim CULTAN infolge der geringeren N-Verluste gegenüber der KAS-Düngung etwas reduziert werden sollen.

Im **Bio-Zuckerrübenversuch** resultierten in beiden Jahren bei CULTAN mit konzentrierter Gülle sowohl beim Rüben- als auch Zuckerertrag höhere Werte als bei der Hornmehl-Düngung (Abb. 17). Dies ebenso auch im Vergleich mit allen untersuchten Anbau- und Unkrautregulierungsverfahren bzw. -techniken (Irla et al. 2005). Die Steigerung von 80 auf 120 kg N/ha beim CULTAN führte bei gleichem Rübenenertrag zu einer Verminderung des Weisszuckergehalts. Im **Versuch 2004 mit Mineraldüngern** fielen die Verfahren CULTAN-HAS + Didin zu allen andern Düngevarianten besonders beim Weisszuckerertrag aufgrund der erwähnten geringen Pflanzanzahlen – verursacht durch Verätzungen durch das Angiessen nach der Saat – bedeutend ab (Abb. 18). Die Rübenenerträge bei CULTAN-Gülle konz. unterscheiden sich zu Ammonsalpeter nur unbedeutend, wogegen die Weisszuckererträge aufgrund geringerer Zuckergehalte etwas tiefer ausfielen. Hinsichtlich der **Anteile an kleinen** (Durchmesser < 5 cm) **und beinigen Rüben** konnten keine verfahrensbedingten Unterschiede festgestellt werden.

Knollenmängel bei Kartoffeln

Die Knollenmuster wurden für die Ertragsbestimmung sortiert sowie auf äussere und innere Mängel untersucht (pro Verfahren und Standort jeweils 200 Knollen, ausser 2004 in Tänikon nur 100 Knollen pro Verfahren).

Generell wurde die äussere und innere Knollenqualität viel stärker durch die **jahresspezifischen Standorts- und Witterungsbedingungen** beeinflusst als durch die verabreichte N-Form oder durch das N-Applikationsverfahren. So war zum Beispiel der Befall mit gewöhnlichem Schorf und mit Rhizoctonia-bedingten Deformationen im 2005 höher als im 2004 (Tab. 6). Zudem traten vermehrt Hohlherzigkeit, Kindelbildung und Graufleckigkeit auf.

Die mehrmalige, oberflächige Applikation von Gülle bewirkte im Vergleich zu den anderen Verfahren einen erhöhten **Anteil an grünen** und mit gewöhnlichem **Schorf** befallenen Knollen (Tab. 6). Dies könnte durch die Einarbeitung der Gülle in den oberen Dammbereich ausgelöst worden sein. Un-

gedüngte Knollen waren tendenziell weniger stark mit gewöhnlichem Schorf befallen als die anderen Verfahren. Demgegenüber fiel der Knollenanteil mit **Kindelbildung** am höchsten aus. Im CULTAN-gedüngten Verfahren mit konzentrierter Gülle zeigten die Knollen aus dem Versuch in Tänikon 2005 einen leicht stärkeren **Rhizotonia-Pockenbefall** als die anderen Verfahren. Auf den Knollen aus dem Reckenholzversuch waren diese Unterschiede jedoch nicht vorhanden. Die geringeren Anteile an Knollen mit **Graufleckigkeit** im mit konzentrierter Gülle gedüngten Verfahren deuten darauf hin, dass die physiologische Reife der Knollen durch die CULTAN-Methode nicht wesentlich verzögert worden ist. Physiologisch wenig abgereifte Knollen werden bei der Ernte und Aufbereitung mechanisch beschädigt, dies äussert sich mit dem Auftreten von **Graufleckigkeit**.

Schlussfolgerungen und Perspektiven

Besonders auch in trockenen Jahren lässt das CULTAN-Verfahren bei Kartoffeln und Zuckerrüben im Vergleich zur herkömmlichen Nitratdüngung gleichwertige bis leicht höhere Erträge erwarten. Bedeutende Ertragssteigerungen können bei CULTAN-Düngung mit konzentrierter Gülle im Vergleich zur breitflächigen Düngung im Bioanbau resultieren. Die Anlage eines Düngedepots mit konzentrierter Gülle unter dem Knollennest ist bei Kartoffeln aus «hygienischer» Sicht für ein Grundnahrungsmittel positiv zu bewerten, da die Knollen nicht mit der Gülle in direkte Berührung kommen. Hinsichtlich des Stärke- bzw. Zuckergehaltes zeigten die durchgeführten Versuche keine Verbesserungen durch das CULTAN. Diesbezüglich müsste noch eingehender geprüft werden, ob im CULTAN die N-Gaben im Vergleich zur herkömmlichen Düngung generell etwas reduziert werden sollten. Die Anwendung der CULTAN-Methode mit mineralischen Lösungen (HAS) oder mit konzentrierter Gülle sollte aufgrund der bisherigen Ergebnisse nicht zu einer Beeinflussung der äusseren und inneren Knollenqualität im Vergleich zur oberflächlichen Ausbringung der Dünger führen.

Nach bisherigen Erkenntnissen erscheint die Zugabe von Nitrifikationshemmern zum CULTAN bei den erwähnten Kulturen nicht erforderlich bzw. sinnvoll. Für eine abschliessende Beurteilung sind jedoch

auch hier noch weitere Erfahrungen erforderlich.

Die Anlage der Ammoniumdepots bedingt zusätzliche, technisch mehr oder weniger aufwendige Ausrüstungen. Spezielle Geräte für synthetische Dünge-lösungen werden von einigen Herstellern angeboten. Allenfalls lassen sich auch bestehende Komponenten wie zum Beispiel Bandspritzen für den Frontanbau verwenden. Die Anwendung von konzentrierter Gülle mit relativ geringen N-Gehalten erfordert jedoch im Vergleich zu den synthetischen Dünge-lösungen höhere Pumpenleistungen und vor allem grössere Flüssigkeitsbehälter. Für die Anforderungen des überbetrieblichen Einsatzes müssten geeignete Ausrüstungen auch hinsichtlich eines rationalen Gülleumschlags erst noch entwickelt und erprobt werden.

Beim CULTAN-Verfahren kann die N-Düngung von Blattfrüchten in der Regel in einem Arbeitsgang und dies in Kombination mit dem Säen/Legen oder Hacken erfolgen. Im Vergleich zur konventionellen, breitflächigen Stickstoffdüngung resultieren dadurch nebst geringerer Bodenbeanspruchung beträchtliche Kosteneinsparungen, insbesondere wenn auch die Grunddüngung, Spurenelemente und in Zukunft eventuell auch Wirkstoffe (z.B. Wachstumsregulatoren) im Depot integriert werden können. Synthetische Flüssigdünger für das CULTAN wie zum Beispiel AHL-, DAP- und HAS-Lösungen sind in der Schweiz bisher nicht ab Lager verfügbar. In Deutschland liegen die Preise im Vergleich zu den granulierten Mineraldüngern bei grösseren Bestellmengen allgemein tiefer. Konzentrierte Gülle ist bisher nur bei einzelnen spezialisierten, grossen Mastbetrieben verfügbar. Die Gülleaufbereitung mittels der Membrantrennung wird dort durchgeführt, um das Problem des grossen Gülleanfalls zu lösen, indem nur noch ein Bruchteil der Gülle zur Verwertung abtransportiert werden muss. Diese Technik ist in den meisten Fällen nur in Kombination mit einer Biogasgewinnung und einer Co-Vergärung sowie im überbetrieblichen Massstab wirtschaftlich gewinnbringend. Bis jetzt wird die konzentrierte Gülle ab Produktionsbetrieb in der Regel kostenlos abgegeben. Sollte sich in Zukunft die Nachfrage erhöhen, könnten auch noch weitere Technologien in Betracht gezogen werden, um die N-Konzentration der Gülle weiter zu steigern.

Mehrfach nachgewiesen ist, dass mit der Ammonium-Depotdüngung im Vergleich zur herkömmlichen N-Düngung die Nitrat-auswaschung und zum Teil auch die Nitrat-

gehalte in den Ernteprodukten bedeutend vermindert werden können. Nicht nur diesbezüglich ist es naheliegend, das CULTAN-System auch bei anderen Kulturen und Grünland sowie auch in Anbausystemen mit Minimalbodenbearbeitung in Betracht zu ziehen. Sicher ist es angezeigt, vor einer aufwendigen, grossflächigen Umsetzung die erforderlichen Erfahrungen für den Einzelbetrieb vorerst mit möglichst einfachen technischen Lösungen zu erarbeiten. Die N-Versorgung durch Ammonium weist schliesslich interessante Potenziale auf hinsichtlich einer sinnvollen, umweltgerechten Verwertung von Recyclingprodukten. So werden zum Beispiel bei der Abwasserreinigung grosse Mengen von ammoniumhaltigem Faul- und Presswasser durch Denitrifikation behandelt ohne Recycling des in die Luft abgegebenen Stickstoffs. An der EAWAG, dem Wasserforschungsinstitut der ETHZ, wird im Rahmen des Projektes NOVAQUATIS an einem innovativen System zur Separierung des Urins aus den Abwässern gearbeitet, um den eigentlichen kostspieligen Klärprozess wesentlich zu vereinfachen. Als aufbereitetes Endprodukt frei von Mikroverunreinigungen könnte zum Beispiel eine Lösung mit relativ hohen N-, P- und K-Gehalten resultieren, möglicherweise geeignet für eine sinnvolle, kostengünstige Ammonium-Depotdüngung (www.novaquatis.eawag.ch).

Literatur

- Beck W., 2004a. N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren. Kartoffelbau 55 (4), 116–121.
- Beck W., 2004b. Was CULTAN zu Kartoffeln bringt. DLZ 5, 32–37.
- Boelcke B., 2001. Effekte der N-Injektionsdüngung auf Ertrag und Qualität von Getreide und Raps in Mecklenburg-Vorpommern. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 45–54.
- Felgentreu C., 2001. Erste Ergebnisse beim Einsatz des Injektionsdüngerverfahrens bei Wintererbsen in Brandenburg. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 55–60.
- Heeb J., Meier U., Hersener J.-L., 2004. Prüfung von Möglichkeiten eines verbesserten Güllemanagements in tierintensiven Gebieten. Herausgeber: Kanton Luzern, Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) mit Unterstützung des Bundesamtes für Landwirtschaft.
- Hersener J.-L., Meier U., 2002. Vergleich von Energieumwandlungsverfahren für Gülle (ENKON), Schlussbericht im Auftrag des Bundesamtes für Energie.
- Irla E., Spiess E. und Heusser J., 2005. Verbesserung der Anbau- und Unkrautregulierungstechnik bei Biozuckerrüben. FAT-Bericht Nr. 633
- Keutmann H.-J., 2004. Verfahren für Trockengebiete? Top Agrar 2, S. 66.
- Knittel H. und Thul Ch., 2003. Trends bei der N-Düngung zu Speisekartoffeln. Kartoffelbau 54 (1/2), 32–37.
- Köhler S., Bischoff W.A., Liebig H.-P., 2001. CULTAN-Düngung – ein Beitrag zum Grundwasserschutz durch Verringerung des Nitrataustrages. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 117–128.
- Kraatz S., 2001. Vierjährige Praxiserfahrungen mit der Injektionsdüngung in Ostbrandenburg. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 93–102.
- Kücke M., 2001a. Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 81–92.
- Kücke M., 2001b. Ertrag und Kornqualität von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 69–80.
- Kücke M., Pahlich A., 2004. Injektions-spritze verabreicht Dünger-Depots.
- Leufen Ch., Sommer K., Scherer H.-W., 2005. Anbau von Kartoffeln nach dem «CULTAN»-Verfahren (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition). Kartoffelbau 55 (4), 148–153.
- Meier U. und Hartmann C., 1995. Güllenaufbereitung mittels Membrantrenntechnik, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Schlussbericht mit Unterstützung der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (KWF).
- Sommer K., 2001a. «CULTAN» und Ackerbau ohne Pflug. Landwirtschaft ohne Pflug (6), S. 11.
- Sommer K., 2001b. Grundlagen des «CULTAN»-Verfahrens. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 1–22.
- Sommer K., und Schuhmacher H.J., 2001c. Kartoffelanbau nach dem «CULTAN»-Verfahren. Kartoffelbau 52 (1/2), 28–30.
- Sommer K., 2005. CULTAN-Düngung (Buch, 218 S.), Verlag Th. Mann, D-Gelsenkirchen-Buer
- Sommer K., Leufen Ch. und Scherrer H.-W., 2006. Bedeutung der N-Formen für die N-Versorgung von Kartoffeln bei platzierter N-Düngung; Kartoffelbau 1+2 (57. Jg.), 29–37.
- Walter E.E., 2001. Die CULTAN-Düngung – Eine weitere Massnahme zur Grundwassersanierung der Wasserversorgung Grünbachgruppe – Mehrjährige Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 103–116.
- Weimar S. und Walg O., 2001a. Bedarfsgerechte Stickstoffversorgung von Rebanlagen durch das CULTAN-Verfahren. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 129–139.
- Weimar S., 2001b. Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 23–44.

Impressum

Herausgeber: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Die ART-Berichte erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement
Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: ART, Bibliothek,
CH-8356 Ettenhausen. Telefon +41 (0)52 368 31 31, Fax +41 (0)52 365 11 90,
doku@art.admin.ch, <http://www.art.admin.ch>

Die ART-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports ART» erhältlich.
ISSN 1661-7568.

Die ART-Berichte sind im Volltext im Internet (www.art.admin.ch)