

## Cultandüngung – ein Beitrag zum Grundwasserschutz durch Verringerung des Nitrataustrages

Stefan Köhler<sup>1</sup>, Wolf-Anno Bischoff<sup>1</sup>, Hans-Peter Liebig<sup>2</sup>

### Einleitung

Die Belastung des Grundwassers durch Stoffeinträge, insbesondere durch Nitrat, nehmen seit den 50er Jahren zu (Obermann, 1985). Die Richtlinien zur Trinkwasserqualität geben Grenzwerte vor, so dass Belastungen im Grundwasser als primärer Trinkwasserquelle Wasserversorger zu aufwändigen Sanierungs- und Aufbereitungsmaßnahmen zwingen.

Landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Flächen tragen mit zur Belastung von Trinkwasser durch Nitrat bei (Johnston, 1989). Die Reduzierung von Nitratausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen gestaltet sich durch die komplexen Zusammenhänge von Standortfaktoren, Bewirtschaftungsweise und insbesondere der unterschiedlichen Düngetechniken schwierig. Der Gesetzgeber versucht Instrumente zu schaffen (z.B. SchALVO in Baden-Württemberg), durch deren Anwendung Nitratausträge in der Landwirtschaft reduziert werden sollen.

Um in den Problemgebieten eine Senkung der Nitratgehalte in den Sickerwässern zu erreichen, besteht Handlungsbedarf in der Entwicklung adaptierter Anbaumethoden mit verringertem Nitrataustrag (Matitschka et al., 2000). Gemüsebauflächen stellen aufgrund des hohen N-Düngeniveaus, der hohen organischen Substanz sowie der geringen Durchwurzelungstiefe der Böden und kurzer Kulturzeiten Flächen mit besonderen Auswaschungspotenzialen dar (Sommer, 1989, Bischoff et al., 2001). Auswaschungsgefährdete Nitratrestmengen stammen aus Düngemitteln, die nicht von Pflanzen aufgenommen wurden oder aus der Mineralisation organischer Substanz.

Chancen zur besseren N-Ausnutzung und damit der Verringerung der Austräge ergeben sich eventuell aus modernen Düngetechniken wie dem Cultan-Verfahren. Beim Cultan-Verfahren (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) kommen Düngemittel auf Ammoniumbasis zum Einsatz. Diese werden in Wurzelnähe zum Vegetationsbeginn als Depot in den Boden injiziert (Sommer et al., 1993b). Ziel ist es, eine Verbesserung der Pflanzenqualität sowie

eine Reduzierung der Nitratauswaschung zu erreichen (Sommer, 1989). Die hohe Ammoniumkonzentration wirkt toxisch auf Mikroorganismen und verhindert so in der Verdünnungszone eine Umsetzung zu Nitrat. Die Pflanzen umwurzeln den Depotbereich und erschließen sich so die Nährstoffquelle. Zum Ende der Vegetationsperiode sollte das Depot entleert sein (Sommer, 1989; Kost, 1998). Eine Verringerung der Düngemittelreste, die veränderte Stickstoffform des Düngers und dessen geringere Auswaschungsgefährdung sollen zu einer Verminderung des Nitrataustrages unter landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen führen (Sommer, 1989).

Um den N-Austrag messen zu können, sind Kenntnisse über Eigenschaften der Stickstoffverbindungen und deren Transportwege im Boden notwendig. Stickstoffverbindungen zeichnen sich durch unterschiedliche Mobilität im Bodenkörper aus. Ammonium wird leicht am Kationenaustauscherkomplex sorbiert und unterliegt damit einer geringeren Auswaschungsgefährdung. Nitrat hingegen zeigt eine hohe Mobilität, und stellt damit ein hohes Gefährdungspotenzial für das Grundwasser dar. Ammonium wird in oxischen Böden normalerweise rasch in Nitrat umgewandelt.

Neben der Mobilität ist auch das Transportsystem, welches Sickerwasser in den Unterboden transportiert, zur Verlagerung von Stoffen entscheidend. Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass bevorzugte Fließwege in Makroporen (preferential flow) erheblich zur Verlagerung von mobilen Stoffen ins Grundwasser beitragen. Bevorzugte Fließwege sind:

- Wurzel- und Regenwurmröhren sowie Risse (z.B. Trockenrisse)
- Hydrophile Bereiche, deren Oberflächen leichter benetzbar sind und dadurch ein schnelleres Eindringen des Wassers ermöglichen (Fingering)
- Ableiten von Sickerwasser auf hydraulischen Hindernisse (Tonlinsen, Steine...) und somit Ausbildung von „Trichtern“ (Funneling)

Bevorzugte Fließwege, die Sickerwasser innerhalb kurzer Zeit unterhalb der Wurzelzone transportieren, kommen auf nahezu allen Standorten vor und können auch auf grundwasserfernen Standorten zu einer Belastung des Grundwassers führen. Eine ausführliche Zusammenfassung über

<sup>1</sup>Gutachterbüro TerrAquat, Schilfweg 8, 70599 Stuttgart,

<sup>2</sup>Universität Hohenheim, Institut für Obst-, Gemüse- und Weinbau, Emil-Wolf-Strasse 27, 70599 Stuttgart

bevorzugte Fließwege findet sich bei Knoblauch, (1996).

Problematisch gestaltet sich die Überprüfung der N-Auswaschung (Kost, 1998). Methodisch sind langsame Mineralisation, Entleerung von Stickstoffdepots, die Unterscheidung von Pflanzenaufnahme, Einbau in die Biomasse und andere Prozesse schwierig von Austrägen ins Grundwasser zu unterscheiden oder oft nur sehr kostenaufwändig zu erfassen. Ein Übersicht der gängigen Methoden sowie die Bewertung findet sich bei Bischoff et al., 1999.

#### *Ziele der Untersuchung:*

Ziel der Untersuchung war es festzustellen, ob die Cultandüngung gegenüber einer konventionellen KAS-Düngung unter Praxisbedingungen zu einer Verminderung der Nitratausträge ohne Ertrags- und Qualitätseinbußen führt.

### **Material und Methoden**

#### *Standorte*

Der Versuch sollte in Trinkwasserschutzgebieten durchgeführt werden. Dazu wurden fünf Praxisbetriebe ausgewählt, die bereits mit der Cultandüngung vertraut waren. Die Flächen des Versuches wurden auf verschiedene Regionen in Baden-Württemberg verteilt. Eine Übersicht über die Standorte zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1:  
Die Standorte und deren Bodentyp

<b>Standorte</b>	<b>Region</b>	<b>Bodentyp</b>
<b>Baustetten</b>	Ulm	Parabraunerde
<b>Bondorf</b>	Tübingen	Parabraunerde
<b>Bietigheim</b>	Stuttgart	Parabraunerde
<b>Heilbronn/ Bad Wimpfen/ Oedheim</b>	Heilbronn	Kolluvium / Pseudogley / Parabraunerde
<b>Postweiler/ Dossenheim</b>	Karlsruhe	Pseudogley / Parabraunerde

Zusätzlich wurden in der Auswertung zwei andere Standorte berücksichtigt, die nicht in diesem Projekt direkt beteiligt waren, deren Flächen aber ebenfalls mit dem Cultan-Verfahren bewirtschaftet wurden.

Tabelle 2:  
Zusätzliche Standorte und deren Bodentyp.

<b>Standorte</b>	<b>Region</b>	<b>Bodentyp</b>
<b>Hohenheim</b>	Stuttgart	Parabraunerde
<b>Weil am Rhein</b>	Basel	Pseudogley

Da die Versuche auf Praxisbetrieben durchgeführt wurden, blieben die Versuchsflächen zunächst nicht konstant. Durch Betriebsaufgaben, Düngfehler oder Bewirtschaftungsfehler wurden Flächen verlegt oder konnten in der Gesamtauswertung nicht berücksichtigt (so Bad Wimpfen, Postweiler) werden. Kontinuierlich wurde auf den Flächen der Betriebe in Baustetten, Bondorf und Bietigheim gemessen.

#### *Bewirtschaftung*

Die Bewirtschaftung der Flächen wurde von den entsprechenden Landwirten nach deren eigenen Bewirtschaftungsmethoden durchgeführt. Alle Betriebe bewirtschafteten die Gemüsebauflächen üblicherweise mit dem Cultanverfahren. Als Ammoniumdünger wurde Harnstoff-Ammonsulfatlösung (HAS) verwendet, die mit betriebseigenen Cultan-Geräten injiziert wurde. Die KAS-Variante wurde mit unterschiedlichen Verfahren ausgebracht. Die Düngestufe betrug in beiden Varianten 100%.

Die Flächen wurden zum Winter umgebrochen und Zwischenfrüchte eingesät. Die Anbau- und Düngemaßnahmen wurden von den zuständigen Beratern der Landwirtschaftsämter begleitet. Von den Beratern wurde ebenfalls eine  $N_{\min.}$ -Beprobung sowie eine Bonitierung der Kulturen durchgeführt.

#### *Messperioden der Flächen und angebaute Kulturen*

Im Sommer 1999 wurde nur ein Satz Salat beprobt. In Weil am Rhein wurde die Winterauswaschung nach Lauch gemessen. Ab Sommer 2000 wurde kontinuierlich auf den Flächen der Betriebe in Baustetten, Bondorf und Bietigheim gemessen. Ein- und Ausbautermine der SIA (Selektiv, Integrativ und Akkumulierende)-Systeme zur Nitratmessung orientierten sich an betrieblichen Vorgaben. In der folgenden Tabelle 3 wird ein Überblick über die Messzeiträume sowie die angebauten Kulturen auf den Standorten gegeben. Die Unterschiede der Kulturen sind in der unterschiedlichen Lage und den verschiedenen Vermarktungsstrategien der Betriebe zu suchen.

Tabelle 3:

Übersicht über die Messperioden sowie die angebaute Kulturen in den Jahren 1999-2001 auf den Versuchsflächen

Messperioden und angebaute Kulturen						
Standort	Sommer 1999	Winter 1999/2000	Sommer 2000	Winter 2000/2001	Sommer 2001	Bemerkungen
Baustetten	April-Juni Salat		April-November Salat/ Blumenkohl	November-März Zwischenfrucht	März-November Salat / Kohlrabi	Ab Sommer 2000 direkt im Anschluss
Bondorf	April-Juni Salat		März-November Salat/ Blumenkohl	November-März Zwischenfrucht	März-November Salat/Kohlrabi	Ab Sommer 2000 direkt im Anschluss
Bietigheim	April-Juni Salat		Mai-Dezember Petersilie	Dezember-April Zwischenfrucht	April-Oktober Möhren	Ab Sommer 2000 direkt im Anschluss
Heilbronn	April-Juni Salat					Betriebsaufgabe
Bad Wimpfen			Mai-November Brache/ Sellerie	November-April		Sehr später Setztermin
Oedheim					Mai-September Salat	
Postweiler	April-Juni Salat		März-November Chinakohl	November- März		Düngefehler
Dossen- heim					März-September Kohlrabi	
Hohen- heim			April-Oktober Blumenkohl	Oktober- Mai Umbruch/Brache		
Weil am Rhein		November-März Lauch				Einzelne Messperiode

Die Flächen wurden nach Bedarf in den verschiedenen Regionen ausreichend bewässert. Das Frühjahr 2001 war sehr niederschlagsreich. Dies führte auf verschiedenen Flächen zu einem verzögerten Setztermin. Anzunehmen ist, dass in diesem Jahr die Sickerperiode länger anhielt als in den Jahren zuvor.

#### *Anlage der Versuchspartzellen*

Auf den Feldern der Praxisbetriebe wurden pro Düngevariante jeweils zwei Pflanzbeete mit der entsprechenden Düngevariante beprobt. Die Beete lagen nahe nebeneinander, um Unterschiede durch die Bodenheterogenität so gering wie möglich zu halten. Pro Variante wurden jeweils zwei Profile mit fünf Messsystemen bestückt (pro Variante und Fläche 10 Wiederholungen). Durch den Wechsel während der Kultur konnte überprüft werden, ob die Landwirte exakt die Versuchspartzellen abgedüngt hatten (Fahrspuren). Erfasst wurde bei den Versuchen sowohl die Fahrspur, der Raum direkt unter den Pflanzen bzw. dem Depot und die Zwischenräume zwischen den Pflanzen. Vom Ackerrand wurden Mindestabstände

von 30 m eingehalten. Zwischen den Profilen der selben Variante lagen mindestens 10 m.

#### *Austragsmessung*

Zur Messung wurde eine flächenbezogene Methode mit Passivsammlern zur Erfassung von Stoffflüssen eingesetzt (Abb.1). Diese sogenannten SIA-Systeme ermöglichen die Erfassung des Stoffaustrages durch Akkumulation von Nitrat im Messsystem. SIA-Systeme bestehen aus einem Zylinder, der mit einem angepassten Substrat-Adsorber-Gemisch gefüllt ist.

SIA-Systeme sind geeignet, bei ausreichender Wiederholungszahl flächenrepräsentativ Stoffausträge zu erfassen (Bischoff et al., 1999, 2001). Das Substrat entwickelt beim Austrocknen des Bodens eine eigene Saugspannung, so dass auch ungesättigte Flüsse erfasst werden können. Die hohe Leitfähigkeit der Box ermöglicht das Messen von hohen Wasserflüssen, wie sie bei bevorzugten Fließwegen auftreten können. Um ein Überschätzen der Stofffrachten zu vermeiden, werden um die Boxen beim Einbau Dränagen installiert (Abb.1)

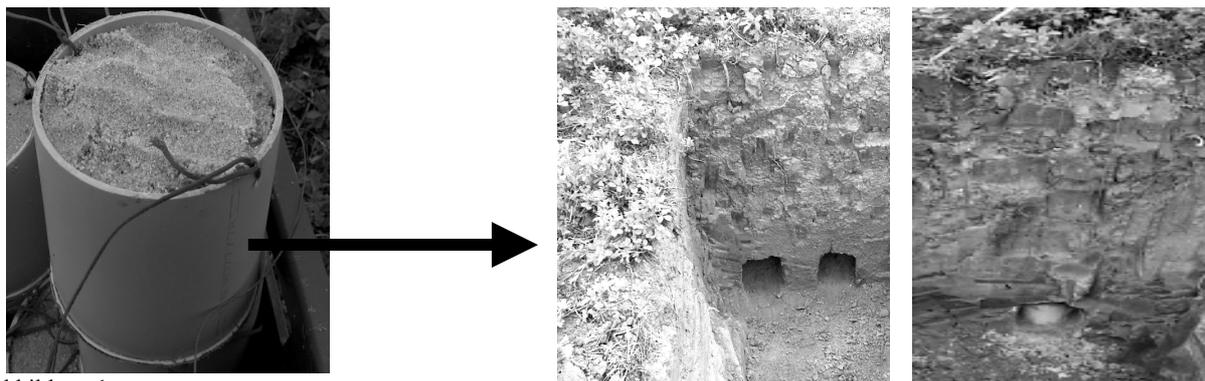


Abbildung 1:  
SIA-Systeme und deren Installation

Durch den direkten Anschluss der SIA-Systeme an den Bodenkörper kann Sickerwasser ungehindert infiltrieren. Die Stofffracht wird durch Sorption dem Wasser entzogen und in der Box festgelegt, während das Wasser die Box passiert und am unteren Rand verlässt. Diffusion wird durch eine Sperre am oberen Rand der Box verhindert.

Zum Einbau der Boxen wurden Profilgruben über ein Beet angelegt. Die SIA-Systeme wurden in einer Tiefe von 60 cm von der Grube aus seitlich unter dem ungestörten Bodenkörper eingebaut, um Fließfeld und Struktur des Bodens möglichst wenig zu stören. Nach der Installation wurden die Profilgruben verfüllt. Pro Variante wurde in zwei Profilen jeweils fünf Messsysteme installiert. Die zehn Systeme pro Variante waren notwendig, um die kleinskalige Heterogenität des Bodens zu erfassen. Nach der Messperiode wurden die Boxen entnommen und nach entsprechenden Einbauarbeiten neue Boxen installiert

#### *Analyse*

Die Füllung der Boxen wurde im Labor in 3 Schichten zerlegt. Die gesammelten Stoffe wurden durch Extraktion aufbereitet und das Nitrat an einem N-Analyser photometrisch gemessen. Bei diesem Trennverfahren wird kontrolliert, ob die Sorptionskapazität der SIA-Systeme ausreichend bemessen war.

#### *Daten*

Die Messwerte aus 10 Wiederholungen je Fläche wurden gemittelt und auf Hektarausträge umgerechnet.

#### **Ergebnisse**

Im folgenden werden die Einzelergebnisse der Standorte Baustetten und Bondorf im ersten Jahr der kontinuierlichen Messung vorgestellt. Im weiteren

werden nur noch Mittelwerte der Standorte und Messperioden dargestellt, um eine Übersicht über die Messergebnisse des Versuches zu geben. Es werden Mittelwerte von den Standorten Baustetten und Bondorf über mehrere Messperioden vorgestellt, um Jahreseinflüsse aufzuzeigen. Zum Schluss werden die Mittelwerte der Standorte und Jahre zusammengefasst, um einen Vergleich einerseits zwischen den Auswaschungshalbjahren zu zeigen, zum anderen um die Düngevarianten direkt miteinander zu vergleichen. In den Darstellungen werden die Cultanvariante immer blau die KAS-Variante immer rot dargestellt.

Am Standort Baustetten wurden im Sommer 2000 für die Cultan-Variante Werte von 0-9 kg Nitrat-N/ ha ausgetragen, für die KAS-Variante 6-20 kg Nitrat-N/ha (Abb. 2). Für den gleichen Versuchszeitraum ergab sich am Standort Bondorf für die Cultan-Variante ein Austrag von 0-10 kg Nitrat-N/ha, und für die KAS-Variante ein Austrag von 0-9 kg Nitrat-N/ha (Abb. 3).

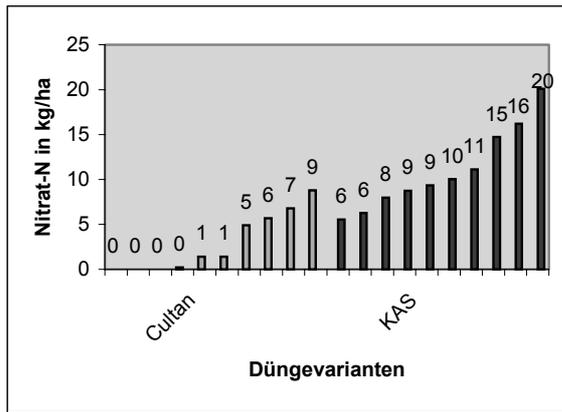


Abbildung 2:  
NO<sub>3</sub>-Austräge in Baustetten, Sommer 2000

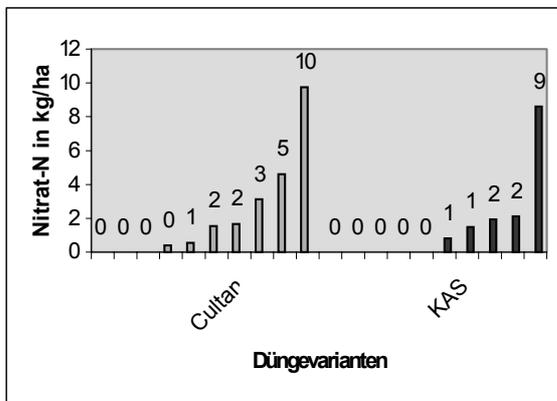


Abbildung 3:  
NO<sub>3</sub>-Austräge in Bondorf, Sommer 2000

In der Tabelle 4 werden Austräge des Sommers 2000 der Standorte Bad Wimpfen und Postweiler dargestellt. Für Bad Wimpfen ergaben die Mittelwerte der Einzellergebnisse eine Auswaschung von 321 kg Nitrat-N/ha in der Cultan-Variante und 186 kg Nitrat-N/ha in der KAS-Variante. Am Standort Postweiler lagen die mittleren Werte bei 1 kg Nitrat-N/ha für die Cultan-Variante sowie 2 kg Nitrat-N/ha für die KAS-Variante.

Tabelle 4:  
Nitrat-N-Austrag am Standort Bad Wimpfen und Postweiler im Sommer 2000

Mittelwerte der Standorte in kg Nitrat-N/ha		
	Bad Wimpfen	Postweiler
Cultan	321	1
KAS	186	2

Aufgrund eines verzögerten Anbautermins (August des Jahres) kam es zu hohen Nitratausträgen, die nicht auf die Düngungsvarianten zurückgeführt

werden können. In Postweiler wurde zur gepflanzten Kultur keine Düngung appliziert. Beide Standorte werden bei weiteren Auswertungen nicht mehr berücksichtigt.

Für die Austräge des Sommers 2000 wurden die in Tabelle 5 dargestellten Mittelwerte gemessen. Die Austräge lagen für die Cultanvariante in Baustetten bei 3 kg Nitrat-N/ha, in Bondorf bei 2 kg Nitrat-N/ha, in Bietigheim bei 8 kg Nitrat-N/ha und in Hohenheim bei 4 kg Nitrat-N/ha. Für die KAS-Variante wurden in Baustetten 11 kg Nitrat-N/ha, in Bondorf 1 kg Nitrat-N/ha, in Bietigheim 1 kg Nitrat-N/ha und in Hohenheim 2 kg Nitrat-N/ha gemessen.

Tabelle 5:  
Austragsmittelwerte der Standorte des Sommerhalbjahres 2000

Mittelwerte der Standorte in kg Nitrat-N/ha				
	Baustetten	Bondorf	Bietigheim	Hohenheim
Cultan	3	2	8	4
KAS	11	1	1	2

Im Winter 2000/2001 (Tab. 6) wurden für das Cultanverfahren am Standort Baustetten Austräge von 0-117 kg Nitrat-N/ha und für die KAS-Variante 27-201 kg Nitrat-N/ha gemessen. Am Standort Bondorf wurden im selben Versuchszeitraum unter der Cultanvariante 0-105 kg Nitrat-N und unter der KAS-Variante 10-102 kg Nitrat-N/ha ausgetragen. Im Mittel wurden in der Cultanvariante im Winter 2000/2001 in Baustetten 74 kg Nitrat-N/ha, in Bondorf 37 kg Nitrat-N/ha, in Bietigheim 103 kg Nitrat-N/ha und in Hohenheim 82 kg Nitrat-N/ha gemessen. Die Austräge der KAS-Variante betragen im selben Zeitraum für Baustetten 122 kg Nitrat-N/ha, in Bondorf 35 kg Nitrat-N/ha, in Bietigheim 149 kg Nitrat-N/ha und in Hohenheim 91 kg Nitrat-N/ha. Die Mittelwerte der Austräge des Winterhalbjahres 2000/2001 sind in der Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6:  
Austragsmittelwerte der Standorte des Winterhalbjahres 2000/2001

	Baustetten	Bondorf	Bietigheim	Hohenheim
Cultan	74	37	103	82
KAS	122	35	149	91

Die Mittelwerte (Tab. 7) der Sommerhalbjahre 1999, 2000 und 2001 in der Cultanvariante betragen an Standort Baustetten 4, 3 und 88 kg Nitrat-N/ha, am Standort Bondorf 4, 2 und 39 kg Nitrat-N/ha. In der KAS-Variante wurden in den Sommerhalbjahren

Tabelle 7:  
Mittelwerte der Austräge über alle Messperioden der Standorte Baustetten und Bondorf

Mittelwerte der Standorte in kg Nitrat-N/ha					
Messperioden		Baustetten	Baustetten	Bondorf	Bondorf
		Cultan	KAS	Cultan	KAS
Sommer	1999	4	12	4	3
Sommer	2000	3	11	2	1
Winter	2000/2001	74	122	37	35
Sommer	2001	88	68	39	31

1999, 2000 und 2001 in Baustetten 12, 11 und 68 kg Nitrat-N/ha sowie in Bondorf 3, 1 und 31 kg Nitrat-N/ha verlagert. Die Winterauswaschungen 2000/2001 der Cultanvariante am Standort Baustetten betrug 74 kg Nitrat-N/ha und in Bondorf 37 kg Nitrat-N/ha. In der KAS-Variante wurden im Mittel in der im selben Zeitraum 122 kg Nitrat-N/ha am Standort Baustetten und 35 kg Nitrat-N/ha am Standort Bondorf verlagert. Die Mittelwerte der Austräge aller Halbjahre in Baustetten und Bondorf sind in Tabelle 7 dargestellt. Im Sommer 2001 wurde auf dem Standort Oedheim in der Cultanvariante 3 kg Nitrat-N/ha, für die KAS-Variante 54 kg Nitrat-N/ha ermittelt

Die Zusammenfassung der Standortmittelwerte aller Standorte ergab für den Sommer 1999, 2000 und 2001 einen Austrag von 4, 4 und 43 kg Nitrat-N/ha in den Cultanvarianten sowie 10, 4 und 52 kg Nitrat-N/ha in den KAS-Varianten. Im Winter 1999/2000 und 2000/2001 wurden in den Cultanvarianten 87 und 74 kg Nitrat-N/ha sowie 144 und 99 kg Nitrat-N/ha in den KAS-Varianten ermittelt. Die Winterauswaschungen 1999/2000 beziehen sich nur auf die Messwerte des Standortes Weil am Rhein. Die Ergebnisse werden in der Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8:  
Mittelwerte der Halbjahresausträge über alle Standorte in den entsprechenden Messperioden

Mittelwerte in kg Nitrat-N/ha			
Halbjahr		Cultan100	KAS100
Sommer	1999	4	10
Winter	1999/2000	87*	144*
Sommer	2000	4	4
Winter	2000/2001	74	99
Sommer	2001	43	52

\*nur Weil am Rhein

Im Überblick über die Halbjahre ergaben sich für die Cultanvariante in den Sommerauswaschungen 17 kg Nitrat-N/ha in den Winterauswaschungen 81 kg Nitrat-N/ha. Für die KAS-Variante ergaben die Mittelwerte in den Sommerauswaschungen 22 kg Nitrat-N/ha, in den Winterauswaschungen 122 kg Nitrat-N/ha. Die durchschnittlichen Jahresausträge der Cultanvariante über alle Messzeiträume und Versuchsflächen ergaben 98 kg Nitrat-N/(ha\*a) gegenüber 144 kg Nitrat-N/(ha\*a) bei KAS. Bei den Halbjahresausträgen sowie den Gesamtjahresausträgen wurden die Standorte Bad Wimpfen und Postweiler nicht berücksichtigt (s.o.).

## Diskussion

### Die Streuung der Einzelwerte

Die Einzelergebnisse der Standorte (Abbildung 2 und 3) zeigen je nach Höhe der Nitrat-N-Austräge eine starke Streuung, die charakteristisch ist für Austragsmessungen mit SIA-Systemen in Böden (Bischoff et al., 2001). Für Baustetten lagen im Sommer die Austräge im Bereich von 0-9 kg Nitrat-N/ha für das Cultan-Verfahren bzw. 6-20 kg Nitrat-N/ha für die KAS-Variante. In Bondorf wurden Austräge zwischen 0-10 kg Nitrat-N/ha für das Cultanverfahren und 0-9 kg Nitrat-N/ha für die KAS-Variante gemessen. Jede Einzelmessung stellt einen flächenrepräsentativen Messwert dar. Diese Streuung der Messwerte innerhalb der kleinräumigen Verteilung im Profil wird als ein Abbild der Bodenheterogenität aufgefasst. Geringe Werte repräsentieren Flächenbereiche, in denen keine oder kaum Verlagerung stattfindet, während die hohen Werte des Sommerzeitraums von 10 kg Nitrat-N /ha und mehr verlagerungsintensivere Zonen abbilden. Solche Zonen können durch bevorzugte Fließwege im Boden erklärt werden. Ähnliche Verteilungen wurden auf allen Standorten

gefunden und gelten auf höherem Niveau auch für die Winterauswaschungen (Tab. 6). Die Bildung der Mittelwerte aus den Einzelausträgen einer Fläche gibt den durchschnittlichen Nitrat-N-Austrag einer Fläche an, wobei hohe und tiefe Werte uneingeschränkt einfließen. Die Ergebnisse der Mittelwerte sind damit von der absoluten Menge des verlagerten Nitrats abhängig, aber auch von der Art des Transportes der sich aus der Heterogenität des Bodenkörpers ergibt. Bei ausreichender Wiederholungszahl werden mit SIA-Systemen beide Faktoren berücksichtigt (Bischoff et al., 2001).

#### Nitrat- und Nitratausträge der Standorte

Der Vergleich der Mittelwerte aus der Sommerauswaschung 2000 zeigt, dass die Austräge, generell gering waren (Abb. 4). Am Standort Baustetten und Bietigheim konnten in dieser Messperiode geringere Austräge für die Cultanvariante gegenüber der KAS-Variante gemessen werden. Der entgegengesetzte Trend zeigte sich allerdings bei den Standorten Bondorf und Hohenheim. Der Sommer 2000 war trocken und von wenigen intensiven Starkregenereignissen begleitet, so dass insgesamt wenig Nitrat-N ausgetragen wurde (Abb. 4). Die Differenzen zwischen den Düngevarianten sind zu gering, um eine Bewertung der beiden Verfahren zuzulassen. Abweichend von diesem Trend zeigte sich der Standort Bad Wimpfen. Aufgrund von Anbauschwierigkeiten war der Nitratgehalt sowie der Wassergehalt im Boden vermutlich höher. Dies führte zu erheblich höheren Austrägen, die jedoch nicht der Düngevariante zugeschrieben werden können. Beim Anbau der Kulturen in Postweiler wurde keine Düngung appliziert. Aus diesen Gründen wurden die Standorte Bad Wimpfen und Postweiler nicht weiter beim Düngevariantenvergleich berücksichtigt.

Die Werte der Winterauswaschung 2000/2001 (Abb. 5) auf den Standorten bewegen sich auf einem deutlich höheren Niveau. Für Baustetten wurden Werte von 74 kg Nitrat-N/ha bei der Cultanvariante und 122 kg Nitrat-N/ha in der KAS-Variante ermittelt. Deutlicher treten auch Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten bzw. Bewirtschaftern hervor. In Bondorf wurde für den selben Zeitraum Austräge von 37 kg Nitrat-N/ha für die Cultanvariante gegenüber 35 kg Nitrat-N/ha bei der KAS-Variante gemessen. Die Mittelwerte der Winterauswaschung 2000/2001, dargestellt in Abb. 5, zeigen, dass Baustetten im Trend der Auswaschungshöhe liegt. Dass die Winterausträge höher sind, lässt sich durch die Mineralisation der

org. Restsubstanz, durch Ernterückstände und den eventuellen Restbestand an Düngemittel erklären, die durch die höheren Sickerwasserflüsse der Winterperioden in den Unterboden verlagert werden. In allen Varianten zeigte sich jedoch, dass im Winter 2000/2001 das Cultan-Verfahren geringere oder gleiche Austräge hatte wie das KAS-Verfahren (Abb. 5). In Baustetten war der Austrag um 48 kg Nitrat-N /ha, in Bietigheim um 46 kg Nitrat-N /ha und in Hohenheim um 9 kg Nitrat-N/ha vermindert. Die Austräge in Bondorf mit 37 kg Nitrat-N/ha gegenüber 35 kg Nitrat-N/ha liegen im Messfehlerbereich.

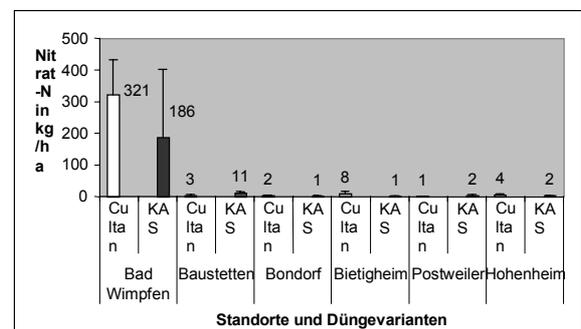


Abbildung 4: Mittelwerte der Nitrat-N-Austräge im Sommer 2000 (Fehlerbalken = Standardabweichung)

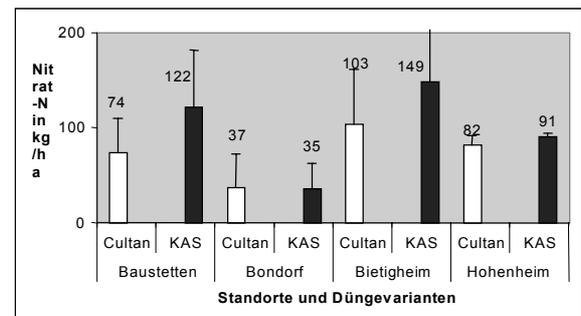


Abbildung 5: Mittelwerte der Nitrat-N-Austräge im Winter 2000/2001 (Fehlerbalken = Standardabweichung)

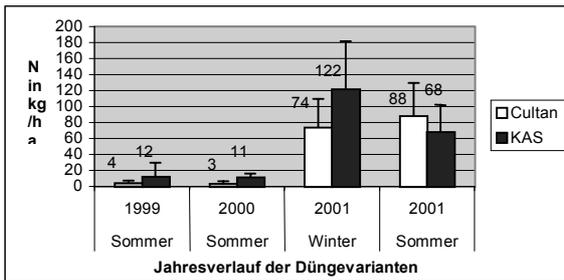


Abbildung 6: Verlauf der Nitrat-N-Austräge über mehrere Perioden am Standort Baustetten (Fehlerbalken = Standardabweichung)

Der Unterschied zwischen den Varianten kann nicht durch unterschiedlich hohe Erträge der Varianten erklärt werden. Nach mündlichen Mitteilungen der Landwirtschaftsämter waren die Erträge in beiden Varianten nahezu gleich, sowie die Bonituren der Cultanvariante gleich oder besser. Dies bedeutet, dass die org. Masse an Ernterückständen auf beiden Flächen zu dem selben Niveau an Austrägen führen müsste. Der Nitrat austrag wird als Summe aus verschiedenen N-Pools (den Restdüngemitteln, den Restpflanzenbestand, dem in der org. Substanz gebundenen mikrobiellen Stickstoff) verstanden. Restbestände aus Düngerdepots werden beim Umbruch aus den Depot mobilisiert. Durch das geringe Wurzelwachstum der Gemüsepflanzen und die ganzflächige Ausbringung des KAS-Düngers ist zu vermuten, dass die Restbestände an Nitrat in der KAS-Variante höher sind. Während die Depots der Cultanvariante entleert sind, befinden sich auf den Flächen der KAS-Variante noch Düngerrückstände. Einerseits werden diese Restbestände leicht verlagert, auf der anderen Seite könnten sie zu einer stärkeren Nitratfreisetzung aus den Ernteresten führen, die nicht durch die Zwischenfrüchte aufgenommen werden kann. Kommen solche Effekte zum Tragen, würde auf den Cultanflächen ein Zuwachs an org. C und N im Boden zu verzeichnen sein.

Der Verlauf der Austräge über mehrere Jahre an einzelnen Standorten zeigt, dass Witterung und Bewirtschaftung ebenfalls einen Einfluss auf die Verlagerungsintensität haben.

In Baustetten wurden in den Sommern 1999 und 2000 nur geringe Austräge im Bereich um 10 kg Nitrat-N/ha gemessen. Im Sommer 2001 hingegen waren die Auswaschungen mit 88 kg Nitrat-N /ha für Cultan und 68 kg Nitrat-N/ha für KAS deutlich höher als in den Jahren zuvor (Abb. 6).

Der Trend hoher Austräge unter den Gemüsebauflächen im Sommer 2001 spiegelte sich

in Bondorf und Bietigheim wider. In Bondorf war der Austrag für die Cultanvariante mit 39 kg Nitrat-N /ha und 31 kg Nitrat-N /ha zwar geringer als in Baustetten, aber doch unerwartet hoch für Sommerauswaschungen. Nur in Oedheim konnten für die Cultanvariante geringe Austräge von 3 kg Nitrat-N/ha gemessen werden.

Ursache für diese hohen Sommerausträge sind möglicherweise das feuchte Frühjahr und die späten Pflanztermine der Kulturen. An den Standorten Baustetten und Bondorf lag das Mittel der Niederschläge über dem jährlichen Mittel. Das lange, nasse Frühjahr kann einen Teil der Nitratfracht also schon vor der Sommertrockenheit in die Boxen transportiert haben, so dass die eigentlichen Sommerausträge überdeckt wurden. Einen Hinweis darauf ergeben Austragsmessungen unter Ackerbausschlägen des Wasserversorgungszweck-verband Grünbachgruppe (Walter), deren Werte ebenfalls in diesem Band veröffentlicht werden. Die SIA-Systeme dort wurden wie in Oedheim später installiert und zeigten die gewohnten geringen Sommerausträge.

Einen weiteren großen Einfluss scheint die Bewirtschaftung der Schläge zu besitzen. Der Verlauf der Austräge des Standortes Bondorf zeigt in der Tendenz einen leicht höheren Austrag an Nitrat in der Cultanvariante als bei der KAS-Variante, wobei dies aufgrund der geringen Unterschiede nicht statistisch absicherbar ist (Abb. 7).

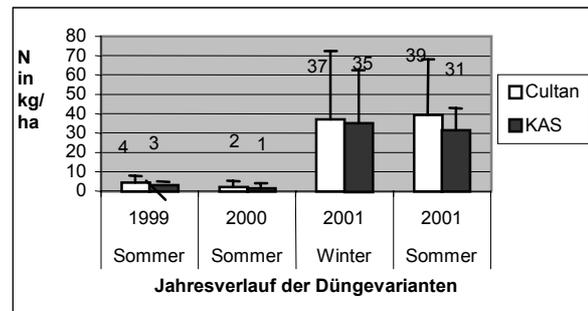


Abbildung 7: Verlauf der Austräge über mehrere Perioden am Standort Bondorf (Fehlerbalken = Standardabweichung)

Dennoch sind in allen Messperioden die Austragswerte auf dem Standort Bondorf geringer als auf den anderen im Versuch. Direkte Ursachen können hier nicht zugewiesen werden. Dass Bewirtschaftungsfehler zu Extremausträgen führen können, wurde bereits am Standort Bad Wimpfen gezeigt. Bondorf steht hier für eine gute Bewirtschaftungspraxis in Bezug auf Düngermanagement, Fruchtfolge und

Bodenbearbeitung. Allerdings sind auch Standortvorteile nicht generell auszuschließen.

*Nitratausträge der Düngervarianten*

Im Gesamtüberblick bestätigt sich der am Beispiel Baustetten aufgezeigte Trend, dass die Cultandüngervariante, über Bewirtschaftungs- und Standorteinflüsse hinweg, geringere Nitrat-N-Austräge zur Folge hat als die KAS-Variante. Die Auswertung aller Standorte, die mit beiden Düngervarianten bewirtschaftet wurden, zeigten, dass die Sommerausträge in den Cultan- und KAS-Varianten mit 4 zu 10 kg Nitrat-N/ha 1999 bzw. 4 zu 4 kg Nitrat-N/ha 2000 gering sind. Bei geringen Austrägen lässt sich kein Vorteil der Cultanvariante gegenüber der KAS-Variante erkennen (Abb. 8)

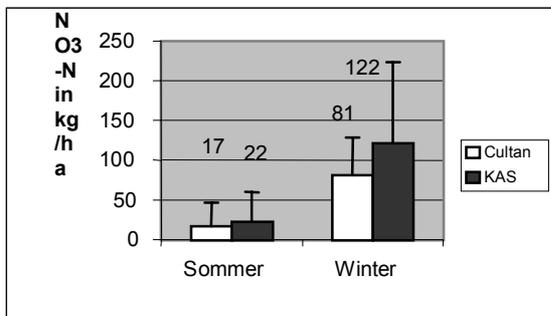


Abbildung 8: Jahreszeitliche Verläufe der Nitrat-N-Austräge (Fehlerbalken = Standardabweichung)

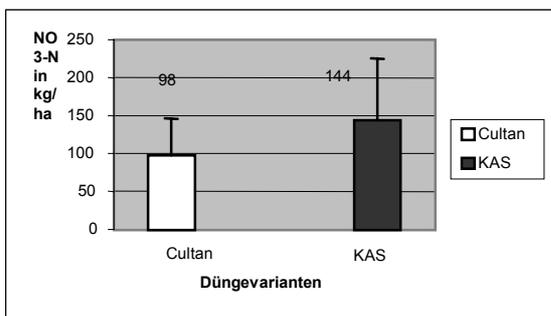


Abbildung 9: Mittlere Werte der Varianten mehrerer Halbjahre (Fehlerbalken = Standardabweichung)

Demgegenüber stehen die Winterausträge in den Cultan- und KAS-Varianten mit 87/144 kg Nitrat-N/ha 1999 am Standort Weil am Rhein bzw. 74/99 kg Nitrat-N/ha 2000. Es zeigt sich, dass bewirtschaftungs- und standortübergreifend in den

Winterausträgen der Nitrat-N-Verlust unter der Cultanvariante geringer ist.

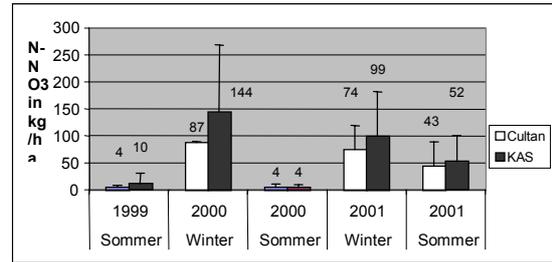


Abbildung 10: Mittlere Jahresausträge der Düngervarianten (Fehlerbalken = Standardabweichung)

Bestätigt wird dies durch Zusammenfassung aller Standorte und Messperioden, außer Bad Wimpfen und Postweiler, mit 17/22 kg Nitrat-N/ha für die Cultan-/ KAS-Variante in den Sommerauswaschungen und 81/122 kg Nitrat-N/ha für die Cultan-/ KAS-Variante in den Winterperioden (Abb.9).

In der Tendenz ähnlich bezüglich der Cultandüngung, aber im Wert des N-Verlustes deutlich geringer wurden Werte auch auf Ackerschlagkulturen des Wasserversorgungszweckverbandes Grünbachgruppe /Herrn Walter mit SIA-Systemen ermittelt.

Als Fazit kann daraus gezogen werden, dass die Cultanvariante als Düngesystem mit einem mittleren Jahresaustrag von 98 kg Nitrat-N/ha den Nitrataustrag um etwa ein Drittel verringert hat gegenüber 144 kg Nitrat-N/ha aus der KAS-Variante (Abb. 10). Bei richtiger Anwendung wird durch das Cultanverfahren ein erheblicher Beitrag von 46 kg Nitrat-N/ha im Mittel zum Grundwasserschutz geleistet. Jedoch ist das erreichte Niveau von ca. 100 kg Nitrat-N/(ha\*a) in Trinkwasserschutzgebieten immer noch zu hoch.

Durch die Mineralisierung der Ernterückstände auf Gemüsebauflächen lässt sich generell ein Austrag von Nitrat-N nicht vermeiden, kann aber durch Düngestrategien reduziert werden. Die Austräge sind neben den Standortfaktoren wie Heterogenität des Bodens und Klimaereignissen von der Bewirtschaftung abhängig und spiegeln diese in den N-Verlusten wider.

*Ausblick*

Durch weitere Forschung auf den bereits beprobten Standorten und auf Standorten mit verändertem Klima und anderen Bodentypen wäre der in der Untersuchung gezeigte Trend zu untermauern. Gegebenfalls können besonders gefährdete

Standorte in der Zukunft in besonderem Maße berücksichtigt werden.

Ein wesentlicher Beitrag dazu könnte die zeitliche Auflösung der Austräge sein, um Beziehungen zu Verlagerungsprozesse im Boden zu klären sowie einen direkten Bezug zu Bewässerungs- und Niederschlagsintensitäten zu erhalten, insbesondere in den Winterhalbjahren. Ein Vergleich zeitlich hochauflösender Messungen mit den SIA-Systemen wäre dann sinnvoll.

Aufgrund der Ergebnisse wird festgestellt, dass etwa ein Drittel weniger Nitrat-N unter den Cultan-Varianten ausgewaschen wurde als unter den KAS-Varianten. Da keine deutlichen Erntesteigerungen erzielt wurden, ist nicht zu erwarten, dass diese Bilanzlücke vollständig im Erntegut enthalten ist. Der Verbleib des Fehlbetrages könnte durch Ammoniakausgasungsverluste oder den Verbleib in Ernterückständen und den Einbau in den N-Pool des Bodens erklärt werden.

Untersuchungen auf Flächen mit permanenter Cultandüngung könnten Aufschluss darüber geben, ob eine Anreicherung des organischen C- und N-Pools stattfindet. Sollte dies der Fall sein, würde bei der Stabilisierung des N-Gehaltes auf höherem Niveau keine Verminderung der Austräge mehr stattfinden.

Des weiteren sind Zusammenhänge zwischen der Bodenbearbeitung und dem Dünagesystem zu untersuchen. Die Bewirtschaftung ausgewählter Flächen muss näher mit den Düngevarianten in Verbindung gebracht werden, um einzelne Parameter, die zu starken Verlusten führen, isolieren zu können. Besonders die Untersuchung des Einflusses verschiedener Methoden der Bodenbearbeitung auf die Stickstoffverluste könnte zu verbesserten Bewirtschaftungssystemen führen.

Eine Untersuchung, inwieweit sich Nitratverluste durch  $N_{\min}$ -Werte abschätzen lassen, könnte in einer Erhebung durch Vergleich der  $N_{\min}$ -Werte mit den Auswaschungsdaten geklärt werden.

### Danksagung

Die Autoren danken dem Ministerium für Ernährung und Ländlicher Raum Baden-Württemberg für die Bereitstellung der finanziellen Mittel. Besonders bedanken möchten wir uns bei den kooperierenden Betrieben und Wasserschutzberatern der Landwirtschaftsämter aus den entsprechenden Regionen, insbesondere bei Frau Köhler/Reutlingen und Herrn Kost/Reutlingen, für die gute Zusammenarbeit.

### Zusammenfassung

Grundwasser wird zunehmend mit Nitrat belastet, das teilweise aus landwirtschaftlichen Nutzflächen stammt. Unter Vorsorge- und Sanierungsaspekten ist eine Entwicklung verbesserter Düngetechniken notwendig.

Ziel der Untersuchung war festzustellen, ob moderne Düngetechniken wie Cultan bei etwa gleichem Ertragsniveau geringere Nitrat-N-Austräge zur Folge haben als konventionelle KAS-Düngung.

Um das Cultan-Verfahren mit konventioneller KAS-Düngung zu vergleichen, wurden auf Flächen mehrerer Gemüsebaubetriebe in Baden-Württemberg unter Praxisbedingungen die Nitrat-N-Austräge beider Düngevarianten über mehrere Jahre erfasst. Die Bewirtschaftung der Flächen erfolgte durch die Betriebe. Die Auswaschung wurde mit SIA-Systemen gemessen. SIA-Systeme sind Passivsammler, die unter ungestörten Bodenkörpern die Stofffrachten aus unterschiedlichen Sickerwassertransportsystemen flächentreu erfassen können. Um die Heterogenität des Stoffaustrags abzubilden, wurde in 10facher Wiederholung je Parzelle gemessen.

Die Ergebnisse: Auf allen Standorten wurde eine Streuung der Austragswerte gemessen, die durchaus üblich ist und auf die Bodenheterogenität zurück geführt wird. Generell lagen die Sommerauswaschungen mit 17 zu 22 in der Cultan-/KAS-Variante deutlich unter denen der Winterausträge mit 81 zu 122 kg Nitrat-N in der Cultan- und KAS-Variante. Als Ursachen hierfür werden die geringeren Sickerwasserraten im Sommer angeführt. Die hohen Winterausträge stammen vermutlich aus Düngerrestbeständen und der Teilmineralisierung der Pflanzenrückstände.

Hinweise, dass neben der Düngevariante die betriebliche Bewirtschaftung einen Einfluss hat, wurden in den unterschiedlichen N-Austragsniveaus der verschiedenen Standorte gesehen.

Die Zusammenfassung der Nitrat-N-Austräge über alle Standorte und Messperioden ergab, dass die mittleren Jahresausträge unter den Cultan-Varianten mit 98 kg Nitrat-N um ca. ein Drittel geringer waren als die KAS-Varianten mit 144 kg Nitrat-N/ha. Damit konnte gezeigt werden, dass die Cultandüngung als Maßnahme zum Gewässerschutz beiträgt, Nitrat-N-Verluste auf hohem Niveau sich jedoch zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht verhindern lassen.

## Literatur

- Bischoff W-A, Siemens J, Kaupenhojann M** (1999) Stoffeintrag ins Grundwasser- Feldmethodenvergleich unter Berücksichtigung von preferential flow; Wasser & Boden 51 (12), 37-42
- Bischoff W-A, Köhler S, Kaupenjohann M** (2001) Variabilität flächenhafter Austräge von Nitrat unter landwirtschaftlicher Nutzung; Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.
- Johnston AE** (1989) Potable waters and the nitrate problem; British Sugar-Beet Review, 57 (4), 22-23
- Knoblauch S** (1996) Wasser- und Stofftransport über präferenzielle Fließbahnen in Böden – eine Literaturübersicht, Wasserwirtschaft 86; 598 – 602
- Kost W** (1998) Hohenheimer Cultan-Gespräche, Gemüse 34 (6), 14-17
- Matitschka G, Wagner F, Liebig H-P,** (2000) [www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/forschung/2000/Pflanzenpr](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/forschung/2000/Pflanzenpr).
- Obermann P** (1985): Die Belastung des Grundwassers aus landwirtschaftlicher Nutzung und heutigem Kenntnisstand; Nieder, H. (Hrsg, 1985): Nitrat im Grundwasser, 53- 64; VCH Verlagsgesellschaft mbH., Weinheim.
- Sommer K** (1989) Gemüsebau auf Ammonium-Basis; Gartenbaureport, 10; 20-21
- Sommer K, Fischer D von** (1993) Ergebnisse aus 6-jährigen Fruchtfolgeversuchen: Z-Rüben, W-Weizen und W-Gerste bei einer N-Düngung nach dem „ Cultan“-Verfahren; VDLUFA- Schrifreihe 37, Kongressband, 75-78
- Sommer K** (1993b) Ammonium-Depot „Cultan“ Cropping System; Zakosek, H. (Hrsg.): Nitrat in Boden und Pflanze, 161-173, Ulmer