



443 m ü. M., langjähriges Mittel der Jahresniederschläge 1042 mm, langjähriges Mittel der Jahrestemperatur 8,5 °C. Das Versuchsgelände ist leicht nach Südosten geneigt und besteht grösstenteils aus einer tiefgründigen, schwach gleyigen Braunerde mit geringem Skelettanteil. Der Oberboden (0 bis 20 cm) weist einen Humusgehalt von 2,5 bis 3 % und einen Tongehalt von 20 bis 25 % auf, was einem schwach humosen Lehm Boden entspricht. Solche Verhältnisse finden sich verbreitet im Ackerbaugelände des Schweizer Mittellands. Bei Versuchsbeginn war der Standort genügend mit Nährstoffen versorgt (Tab. 1).

### Versuchsdesign und Düngung

Die ursprünglich als Naturwiese genutzte Fläche wurde zwei Jahre lang (1987 und 1988) vor der Versuchsanlage nicht gedüngt und ackerbaulich einheitlich genutzt. 1989 wurde die Versuchsfläche in Bearbeitungsrichtung in sieben Kulturstreifen (7-jährige Fruchtfolge) und quer dazu in acht Düngungsverfahren-Streifen unterteilt, also 56 Kleinparzellen à 40 m<sup>2</sup> (8 mal 5 m). Da es sich um keinen Exakt- sondern um einen Demonstrationsversuch handelt, weisen die Verfahren keine Wiederholungen auf.

Die Bodenbearbeitung erfolgte kulturabhängig und bei allen Düngungsvarianten identisch mit Pflug, Kulturegge, Fräse und Hacke. Die Pflanzenschutzmassnahmen wurden jeweils so gewählt, dass der Einfluss von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen minimiert wurde, um Wechselwirkungen mit den Düngungsverfahren zu vermeiden. Bei der Ernte wurden alle Ernterückstände vom Feld abgeführt.

Um ein möglichst breites Spektrum an Kulturen mit unterschiedlichen Nährstoffansprüchen und unterschiedlicher Reaktion auf

Nährstoffmangel zu erhalten, wurde die folgende Fruchtfolge gewählt:

Sommerweizen (SW) – Zuckerrüben (ZR) – Körnermais (KM) – Kartoffeln (KA) – Wintergerste (WG) – Kunstwiese 1. Nutzungsjahr (KWI) – Kunstwiese 2. Nutzungsjahr (KWII).

Die acht Düngungsverfahren sind in Tabelle 2 beschrieben.

Die mineralische Stickstoffdüngung erfolgte dem Bedarf der Kultur angepasst nach korrigierter Normdüngung gemäss der N<sub>min</sub>-Methode (Walther *et al.* 2001). Beim Verfahren «Gülle» wurde die Gülle-Menge so bestimmt, dass die mineralische Stickstoffzufuhr mengenmässig der mineralischen Stickstoffgabe des NPK-Verfahrens angenähert war. Das Verfahren «Gülle» erhielt so etwa 90 % der Menge des mineralischen Stickstoffs (N<sub>min</sub>) des Verfahrens «NPK», das Verfahren «Mist» jedoch nur etwa 10 %, da der im Mist enthaltene Stickstoff grösstenteils in organischer Form vorliegt (Tab. 3). In der Gülle war der Stickstoff je zur Hälfte in mineralischer und organischer Form gebunden.

Die Phosphat- und Kalidüngung des Verfahrens «NPK» erfolgte an die bedürftigen Kulturen

**Tab. 1. Chemische Eigenschaften und Nährstoffversorgung des Bodens (0 bis 20 cm Tiefe) bei Versuchsbeginn**

pH (H <sub>2</sub> O)	7,2	neutral
CaCO <sub>3</sub> (%)	2,1	leicht kalkhaltig
Humus (%)	3,1	schwach humos
P-Test (CO <sub>2</sub> )	6,5	genügend
K-Test (CO <sub>2</sub> )	1,3	genügend
Mg-Test (CaCl <sub>2</sub> )	15,0	Vorrat

in der Fruchtfolge angepasst, damit keine schlechte Bodenversorgung auftrat. Die beiden Hofdünger-Verfahren erhielten keine mineralische Ausgleichdüngung (Tab. 3).

### Boden-, Hofdünger- und Pflanzenanalysen

Die Bodenanalysen wurden nach den Schweizerischen Referenzmethoden der Forschungsanstalten Reckenholz-Tänikon ART und Changins-Wädenswil ACW durchgeführt. Für die Phosphat- und Kalibestimmung wurde die Extraktion mit CO<sub>2</sub>-gesättigtem Wasser durchgeführt. Das Magnesium wurde mit CaCl<sub>2</sub> extrahiert.

Pflanzen- und Hofdüngerproben wurden auf ihre Totalgehalte an Nährstoffen untersucht. Bei den Hofdüngern wurden zusätzlich die Nitrat- und Ammoniumgehalte bestimmt.

**Tab. 2. Düngungsverfahren und Kulturen der 7-jährigen Fruchtfolge des Demonstrationsversuchs**

Düngungsverfahren	Ausgebrachte Hauptnährstoffe <sup>1</sup>		
	N	P	K
ohne Düngung	0	0	0
PK (mineralisch)	0	Norm	Norm
NK (mineralisch)	nach N <sub>min</sub>	0	Norm
NP (mineralisch)	nach N <sub>min</sub>	Norm	0
Mist 250 dt / ha	Menge im Mist	Menge im Mist	Menge im Mist
Gülle (Rindergülle)	Menge in Gülle	Menge in Gülle	Menge in Gülle
NPK (mineralisch)	nach N <sub>min</sub>	Norm	Norm
NPK+Kalk (mineralisch)	nach N <sub>min</sub>	Norm	Norm

<sup>1</sup> Nach N<sub>min</sub>: Bedarf der Kulturen mittels N<sub>min</sub>-Methode bestimmt  
Norm: Nach Bodenuntersuchung und Entzug der bedürftigen Kulturen

**Tab. 3. Nährstoffzufuhr (kg pro ha): Summe von 14 Jahren (1989 bis 2002), das heisst von zwei Fruchtfolgezyklen**

Düngungsverfahren	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	CaO	Organische Substanz	N <sub>min</sub>	N <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>
Ohne Düngung	0	0	0	0	0	0	0	0
PK	1'634	4'917	0	0	0	0	0	0
NK	0	4'917	0	0	0	1'590	0	1'590
NP	1'628	0	0	0	0	1'590	0	1'590
Mist	933	1'469	294	1'533	47'268	156	1'334	1'409
Gülle (Rindergülle)	969	4'288	440	1'485	40'189	1'416	1'258	2'674
NPK	1'634	4'917	0	0	0	1'590	0	1'590
NPK+Kalk	2'175*	4'917	437	25'904	7'204	1'590	0	1'590

\* 1991–2002: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gabe erhöht gegenüber «NPK»-Verfahren wegen Ricokalk-P-Gehalt

### Unausgeglichene Düngung mindert die Erträge

In den Düngungsverfahren «NPK», «NPK+Kalk» und «Gülle» erreichten die Kulturen in beiden Fruchtfolgezyklen ähnliche Erträge mit Ausnahme der Kartoffeln (Tab. 4). Beim Verfahren «NPK+Kalk» waren die Kartoffelerträge um 17 bis 19 % kleiner als in den Verfahren «NPK» und «Gülle», möglicherweise bedingt durch den pH-Anstieg des Bodens durch die Kalkung auf den Wert 8, was für Kartoffeln deutlich über dem optimalen Bereich liegt.

Im Verfahren «ohne Düngung» konnten die weniger nährstoffbedürftigen Kulturen ihre Erträge im zweiten Fruchtfolgezyklus verglichen mit dem ersten halten.

Hingegen nahmen die Erträge der Zuckerrüben (minus 29 %) und Kartoffeln (minus 10 %) sowie der zweijährigen Kunstwiese im zweiten Fruchtfolgezyklus (minus 16 %) wesentlich ab (Tab. 4).

Beim Verfahren «Mist» erreichten alle Kulturen mit Ausnahme der Kartoffeln ähnliche Erträge wie im Verfahren «PK», was darauf hindeutet, dass der organische Stickstoff des Mistes kaum ertragswirksam war. Die stark Kalium bedürftigen Kartoffeln erreichten nur 68 bis 81 % des Ertrags des «PK»-Verfahrens, da der Mist die Kartoffelpflanzen ungenügend mit Kalium versorgte (Tab. 3). Im Allgemeinen vermochten die mit Mist gedüngten Kulturen 75 bis 85 % des Ertrags

des Standardverfahrens «NPK» zu bilden.

Die während der Jugendentwicklung stark auf den Bodenphosphor angewiesenen Zuckerrüben (kleine Samen) erzielten im «NK»-Verfahren innerhalb beider Fruchtfolgezyklen den geringsten Rübenantrag aller Düngungsvarianten, wobei die Ertragsreduktion im zweiten Fruchtfolgezyklus noch ausgeprägter war als im ersten, was auf die geringste Bestandesdichte (Anzahl Pflanzen pro m<sup>2</sup>) aller Düngungsverfahren zurückzuführen war. Die tiefe P-Versorgung des Bodens mit gleichzeitig ausreichender Versorgung der übrigen Nährstoffe führte dazu, dass viele Pflanzen nach dem Auflaufen abstarben (unausgeglichene Nährstoffversorgung).

**Tab. 4. Durchschnittliche Jahreserträge der Kulturen des ersten und zweiten Fruchtfolgezyklus in dt Trockensubstanz respektive Frischgewicht pro ha und Jahr**

Düngungsverfahren	Sommerweizen		Zuckerrüben <sup>2</sup>		Körnermais		Kartoffeln <sup>2</sup>		Wintergerste		Kunstwiese I <sup>3</sup>		Kunstwiese II <sup>3</sup>	
	FF1 <sup>1</sup>	FF2	FF1	FF2	FF1	FF2	FF1	FF2	FF1	FF2	FF1	FF2	FF1	FF2
Ohne Düngung	12	18	592	420	67	69	99	89	32	30	100	101	95	80
PK	28	32	772	807	70	79	277	261	39	28	119	127	119	108
NK	22	31	567	338	83	91	293	347	42	45	136	137	125	118
NP	11	16	693	603	69	66	118	97	38	41	123	124	111	90
Mist	21	30	715	785	79	85	224	177	42	39	118	129	97	102
Gülle	30	41	844	941	85	102	379	405	50	53	122	142	113	122
NPK	29	42	850	929	90	109	440	422	52	55	130	151	112	120
NPK+Kalk	28	42	840	970	93	107	358	351	50	53	135	160	122	122

<sup>1</sup> FF1: Fruchtfolgezyklus 1 (Durchschnitt von 1989 bis 1995); FF2: Fruchtfolgezyklus 2 (Durchschnitt von 1996 bis 2002)

<sup>2</sup> Frischgewicht; <sup>3</sup> Kunstwiese SM 330 im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr, intensive Nutzung, vier Schnitte

Auf eine tiefe K-Versorgung des Bodens («NP-Verfahren») reagierten die Kartoffeln sehr empfindlich; das Kraut starb vier bis acht Wochen vor dem üblichen Erntetermin ab. Auch in diesem Verfahren war der Klee im zweiten Hauptnutzungsjahr der Kunstwiese fast nicht mehr zu finden. Beide Pflanzenarten weisen ein Wurzelsystem mit geringer Wurzeldichte und -länge auf, was eine flache und geringe Durchwurzelung des Bodens und somit ein schlechtes Nährstoff-Aufnahmevermögen zur Folge hat. Bei tiefen Nährstoffkonzentrationen im Boden ist bei den Versorgungsklassen «mässig» bis «arm» eine ausreichende Nährstoffversorgung dieser Pflanzen nicht mehr möglich.

Die höheren Erträge in den Verfahren «NPK», «NPK+Kalk» und «Gülle» im zweiten Fruchtfolgezyklus verglichen mit dem ersten dürften teilweise auf die Verwendung neuerer, ertragsstärkerer Sorten zurückzuführen sein. Bei den Kartoffeln wurde hingegen immer die Sorte «Desirée» und bei den Kunstwiesen meistens die Standardmischung SM 330 angebaut. Die Kunstwiese war im zweiten Hauptnutzungsjahr ertragsärmer als im ersten. Dies ist vor allem auf das so genannte Ablöseprinzip zurückzuführen. Im Laufe der Nutzungen werden Rotklee und Englisches Raigras durch die ertragsschwächeren «Ablöser» Weissklee beziehungsweise Knaulgras ersetzt.

Insgesamt wurde in 14 Jahren in den Düngungsverfahren «NPK», «NPK+Kalk» und «Gülle» am meisten und bei den Verfahren ohne Kalidüngung («NP» und «ohne Düngung») am wenigsten oberirdische Biomasse gebildet (Abb. 2).

### Nährstoffbilanzen

Betrachtet man diejenigen Verfahren, bei denen jeweils ein

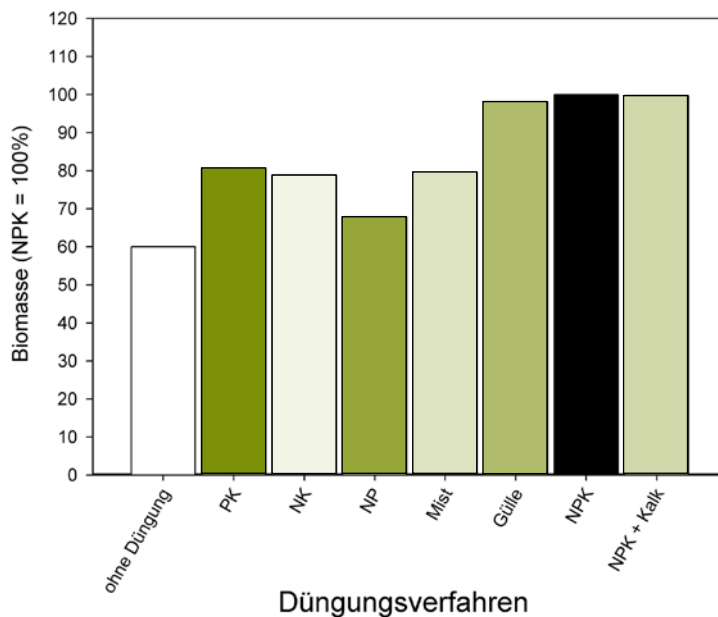


Abb. 2. Biomasseproduktion der Düngungsverfahren im Zeitraum von 1989 bis 2002 (Verfahren NPK = 100 %, entspricht 1967 dt TS/ha oder 140 dt TS/ha und Jahr).

Nährstoff nicht gedüngt wurde, wird ersichtlich, dass die Entzüge dieser Nährstoffe deutlich unter denjenigen des Verfahrens «NPK» lagen (Tab. 5). Obwohl beachtliche Mengen an pflanzenverfügbaren Nährstoffen aus dem Boden nachgeliefert wurden, war die bodenbürtige Nährstoffmenge unzureichend. Die Folge davon waren Mindererträge und/oder reduzierte Nährstoffgehalte in den Ernteprodukten. Die positiven Nährstoffbilanzen der mineralischen Verfahren sind erklärbar durch die Ausrichtung der Düngung auf die bedürftigen Kulturen in der Fruchtfolge.

Das Verfahren «Gülle» mit einer im Vergleich zum «NPK-Verfahren» leicht reduzierten P- und K-

Düngung weist eine mehr oder weniger ausgeglichene Bilanz auf. Im Verfahren «Mist» ist die K-Bilanz negativ trotz des tieferen Ertragsniveaus als beim Verfahren «Gülle».

### Wie reagiert der Boden?

Die pH-Werte des Bodens haben sich bei den verschiedenen Verfahren – mit Ausnahme von «NPK+Kalk» – nicht wesentlich verändert. Während bei den nicht optimal gedüngten Varianten keine Veränderung oder tendenziell eine Abnahme beobachtet werden kann, blieben die Werte der Verfahren «Gülle» und «NPK» fast unverändert. Die markanteste pH-Veränderung von 7,2 auf 8,0 erfolgte erwartungsgemäss im Verfahren «NPK+Kalk».

Tab. 5. Nährstoffentzüge und -bilanzen der Düngungsverfahren (Summe 1989 bis 2002)

Verfahren	Stickstoff (N)		Phosphor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Kali (K <sub>2</sub> O)	
	Entzug	Bilanz	Entzug	Bilanz	Entzug	Bilanz
ohne Düngung	1775	<b>-1775*</b>	545	<b>-545</b>	1565	<b>-1565</b>
PK	2245	-2245	860	774	3200	1717
NK	2435	-844	651	<b>-651</b>	3216	1702
NP	2193	-602	771	857	1683	<b>-1683</b>
Mist	2150	-740	853	80	2510	-1041
Gülle	2603	71	1029	-60	3902	386
NPK	2796	-1205	1074	560	3979	938
NPK+Kalk	2768	-1177	1071	1104	3818	1099

\*Bilanz bei nicht gedüngtem Nährstoff (= fett)



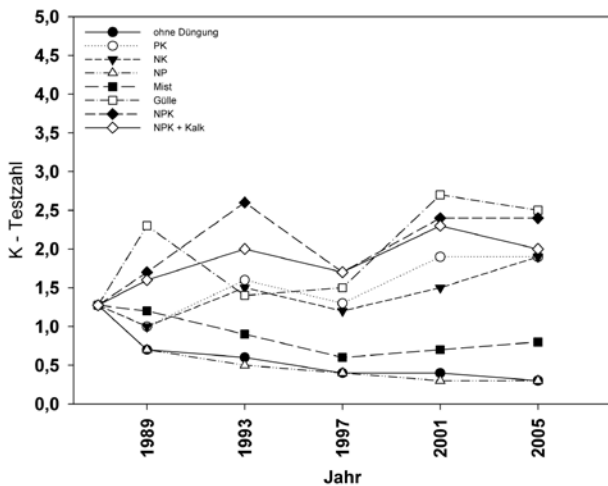


Abb. 3. Entwicklung der K-Testzahl im Boden, 1989 bis 2005.

Abb. 4. Entwicklung verschiedener Kulturen bei unterschiedlicher Düngung und Auftreten von Mangelsymptomen bei Nährstoffmangel (von links): normales Wachstum (NPK), P-Mangel (NK), K-Mangel (NP). (Fotos: René Flisch, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)



Der Humusgehalt hat bei allen Verfahren mehr oder weniger ausgeprägt abgenommen. Der Grund liegt darin, dass das Versuchsfeld bis 1986 als Naturwiese genutzt worden war. Bei der Umstellung auf Ackerbau kann eine leichte Abnahme des Humusgehalts häufig beobachtet werden. Die grösste Abnahme von etwa 0,3 bis 0,4 % erfolgte bei den unausgeglichene mineralischen Düngungsvarianten, bei denen aufgrund der Ertragsabnahmen weniger organisches Material wie Wurzeln oder Stoppeln auf dem Feld zu-

rückbleibt und durch die Düngung kein organisches Material zugeführt wurde.

Die Entwicklung der P-Testzahl widerspiegelt die durchgeführte Düngung und den Nährstoffentzug der Ernteprodukte beziehungsweise die Nährstoffbilanz. Bei Unterlassung der P-Zufuhr sanken die P-Testzahlen bereits nach fünf Jahren auf ein Niveau, das gemäss den Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (Walther *et al.* 2001) als unterversorgt eingestuft wird (Versorgungsklasse A). Die Richtigkeit dieser Einstufung der Nährstoffversorgung des Bodens wird durch die Ertragsdepression und die regelmässig auftretenden P-Mangelsymptome der Kulturen bestätigt. Die durch den Ricokalk zusätzlich zugeführte P-Menge führte zu einer P-Übersorgung (Versorgungsklasse D).

Die K-Testzahl verhielt sich ähnlich wie die P-Testzahl. Auch hier sank der Bodengehalt bei den mit Kali nicht gedüngten Varianten bereits nach vier bis fünf

Jahren in den ungenügenden Bereich. Die negative K-Bilanz im Verfahren «Mist» führte ebenfalls zu einer Reduktion der K-Testzahl, während bei den übrigen Verfahren der Kaligehalt des Bodens unverändert blieb oder leicht erhöht wurde (Abb. 3).

### Ausgewogene Düngung ist ertragsbestimmend

In diesem langjährigen Feldversuch konnten die höchsten Erträge mit einer ausgeglichenen, dem Bedarf der Kulturen angepassten NPK-Düngung in mineralischer Form erzielt werden. Mit zwei bis vier Güllegaben pro Jahr, mengenmässig auf den Stickstoffbedarf der jeweiligen Kultur abgestimmt, konnte der gleiche Ertrag erwirtschaftet werden wie mit einer mineralischen Standarddüngung «NPK».

Das Verfahren «NPK+Kalk» konnte bezüglich Ertrag und Nährstoffgehalte ebenso mit dem Standardverfahren «NPK» mithalten, ausgenommen bei den Kartoffeln. Die Kartoffeln reagierten mit 15 bis 20 % Minderertrag und der Anteil an zu kleinen Knollen (Durchmesser < 42 mm) war um 14 % höher.

«Ohne Düngung» sind bei den Standortbedingungen dieses Feldversuchs mit dieser Fruchtfolge mittelfristig etwa 50 % des Ertrags des mineralischen Standarddüngungsverfahrens «NPK» zu erzielen. Während in den ersten Jahren vor allem der Stickstoff der limitierende Faktor war, wirkten sich die abnehmenden P- und K-Gehalte des Bodens schon nach wenigen Jahren zusätzlich negativ aus.

Bei einer jährlichen Mistgabe von 25 t pro ha wirkte sich nebst der mangelhaften N-Wirkung die vergleichsweise tiefe Kalizufuhr ertragslimitierend aus, was sich vor allem bei den stark kaliumbedürftigen Kartoffeln besonders bemerkbar machte. Über alle

Kulturen dieser Fruchtfolge gemittelt war die Ertragsleistung im Düngungsverfahren «Mist» etwa 80 % des Verfahrens «NPK». Eine ähnliche Ertragreduktion weisen die Verfahren «PK» und «NK» auf. Eine noch deutlichere Ertragsabnahme hatte das Fehlen der Kalidüngung im Verfahren «NP» zur Folge.

Auch wenn sich Stickstoff als der am schnellsten ertragslimitierende Faktor erwies, traten in den suboptimalen Düngungsverfahren «NK» und «NP» sowie beim Verfahren «Mist» vor allem bei den nährstoffbedürftigen Kulturen wie Zuckerrüben, Kartoffeln und Kunstwiese schon in der ersten Fruchtfolgeperiode zusätzlich P- und / oder K-Mangelerscheinungen auf.

### Nährstoffvorrat im Boden

Die auffälligsten Veränderungen bezüglich Bodenreaktion fanden im Düngungsverfahren «NPK+Kalk» statt: der pH-Wert stieg um eine Einheit von 7,2 auf 8,0 an; die P-Test-

zahl stieg infolge der erhöhten P-Zufuhr durch Ricokalk (Gehalt etwa 1,1 %  $P_2O_5$ ) stark an (Versorgungsklasse D).

Der Humusgehalt nimmt unter den mineralischen, suboptimal gedüngten Verfahren am stärksten ab. Durch die Zufuhr von organischem Material mit den Hofdüngern konnte der Humusgehalt mehr oder weniger erhalten, aber nicht erhöht werden.

Die unterschiedliche Düngung sowie die verschiedenen Nährstoffentzüge der Kulturen wirkten sich markant auf die pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte des Bodens aus. Mit der  $CO_2$ -Methode (Extraktion mit  $CO_2$ -gesättigtem Wasser) konnten die Unterschiede bei den Bodengehalten zuverlässig ermittelt werden. Die Interpretation der Resultate gemäss den «Grundlagen für die Düngung im Acker und Futterbau» (Walther *et al.* 2001) entspricht der Reaktion der Pflanzen im Feld und den berechneten Nährstoffbilanzen. Die

Tauglichkeit der Bodenuntersuchung als Hilfsmittel zur Bemessung der Düngung konnte bestätigt werden.

### Literatur

■ Agroscope FAL, FAW & RAC, 2006. Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landw. Forschungsanstalten, Band 1.

■ Bergmann W., 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Dritte erweiterte Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart, 835 S.

■ Finck A., 1992. Dünger und Düngung – Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen; zweite, neubearbeitete Auflage. VCH Weinheim; New York; Basel; Cambridge, 488 S.

■ Von Liebig J., 1855. Gesetz des Minimums, Liebig-Museum Gießen, <http://www.liebig-museum.de/Rundgang/05S.html> [16.7.2007].

■ Walther U., Ryser J.-P. & Flisch R., 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau, *Agrarforschung* 8 (6), 1-80.

## RÉSUMÉ

### Effets d'une fertilisation suboptimale en grandes cultures

Des rendements satisfaisants et une qualité irréprochable des produits ne peuvent être obtenus qu'avec un approvisionnement du sol en éléments fertilisants suffisant et équilibré. L'essai de démonstration réalisé depuis 1989 devait montrer d'une part l'efficacité des différents engrais (lisier, fumier et engrais minéral), et d'autre part les effets d'une fertilisation déséquilibrée.

Aucune différence n'a été observée entre les parcelles fertilisées avec soit du lisier, soit des engrais minéraux en quantités adaptées aux besoins des cultures. L'application par année d'uniquement 25 tonnes de fumier par hectare amène par contre à des pertes de rendement et de qualité, du fait de l'efficacité insuffisante de l'azote et la faible teneur en potasse. L'absence d'un élément nutritif (N, P ou K) dans les variantes minérales agit négativement après peu d'années déjà sur le rendement tout comme sur la teneur des produits et du sol. Des symptômes de carence peuvent en outre être observés dans toutes les cultures de la rotation.

## SUMMARY

### Effects of suboptimal fertilization on arable crops

The production of high yields and adequate product quality requires a sufficient and balanced supply of the soil with nutrients. The field trial, conducted since 1989 for purpose of demonstration, shows the impact of different fertilizer forms (organic and mineral fertilizer) on the one hand and the effects of an unbalanced fertilization on the other hand.

No differences in yield and product quality have been observed between the treatments «cattle slurry» and «mineral fertilizer», both well adapted to the nutrient demand of the crops. But the annual application of 250 decitonnes of farmyard manure per hectare resulted in reduction of crop yield and product quality due to the low availability of nitrogen in manure to the crops and the low content of potash of the manure. The lack of a single nutrient element (N, P or K) in the mineral treatments affected crop yield, nutrient contents of crops and soil negatively already after few years. All crops have revealed deficiency symptoms of N, P or K in these treatments.

**Key words:** Plant nutrition, nutrient deficiency, soil test