

Kupfermangel auf organischen Böden Südbayerns

Von R. Gutser

Zusammenfassung

Auf organischen Böden Südbayerns mit meist höheren Gehalten an freiem Kalk (Niedermoore, Auenböden) traten Wachstumsstörungen an Sommerweizen auf (Weißspitzigkeit, mangelhafte Einkörnigkeit), die in den Gefäß- und Feldversuchen eindeutig als Cu-Mangel identifiziert wurden. Hafer, Gerste und insbesondere Sommerweizen, aber auch Luzerne und Spinat erwiesen sich als empfindlich, während Kartoffeln, Mais, Weißkohl und Roggen auf ein geringes Cu-Angebot aus den Böden unempfindlich waren. Kritische Gehalte, unter denen mit einer Cu-Wirkung zu empfindlichen Kulturen, z. B. Sommerweizen, zu rechnen ist, liegen bei ca. 2 mg Cu (EDTA)/l Boden bzw. 3–4 mg Cu/kg TS (Sproß, Stadium EC 25–29). Die ermittelten Beziehungen zwischen Cu-Gehalten der Böden und Mehrerträgen durch Cu-Düngung waren statistisch nicht abzuschern. Sowohl eine Cu-Zufuhr zum Boden (Legierungsdünger „Excello“ bzw. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) als auch Blattdüngung (Cu-Chelat als „Folicin-Cu“, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) erzielten gute Erfolge, letztere allerdings nur bei früher Anwendung (zu Getreide im Stadium EC 25–31). Neben Cu- ist auf diesen Problemböden stets mit Mn-Mangel zu rechnen, der durch kulturbegleitende Blattspritzungen behoben werden kann.

Eingang des Manuskripts: 12. 12. 1989

Summary

Copper deficiency on organic soils in Southern Bavaria

On organic soils in Southern Bavaria with mostly higher contents of free calcium carbonate (low moors, fluvisols), summer wheat showed inhibited growth (white-tipped ears, low filling of grains), which was identified as copper deficiency in pot and field trials. Oats, barley and especially summer wheat and also alfalfa and spinach were susceptible, but potatoes, maize,

white cabbage and especially rye unsusceptible to low Cu supply from soils. Critical contents below which effects with Cu fertilizing to sensitive plants like summer wheat are expected, are nearly 2 mg Cu (EDTA)/l soil resp. 3–4 mg Cu/kg dry matter (shoots, growth stages EC 25–29). The correlations between Cu contents of soils and yield increase by Cu fertilizing were statistically insignificant. Cu application to soil (fertilizer as metallic alloys like „Excello“ or $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) as well as foliar application (Cu-chelates like „Folicin-Cu“, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) at early growth stages (for cereals stages EC 25–31) were successful. On these difficult soils beside Cu also Mn deficiency is possible, which can be eliminated by foliar applications during growth.

Einleitung

In Südbayern treten auf kalkreichen organischen Böden vereinzelt Wachstumsprobleme an landwirtschaftlichen Kulturen, insbesondere Sommerweizen auf; die an Getreide beobachteten Schadsymptome – vertrocknete und z.T. eingedrehte Blattspitzen, mangelnde Einkörnigkeit und Weißspitzigkeit der Ähren bzw. totale Weißährigkeit – weisen auf Cu-Mangel hin. Organische Böden enthalten häufig nur wenig Kupfer; dessen Mobilität ist als Folge der hohen Affinität an Fulvo- und Huminsäuren der organischen Substanz insbesondere im neutral-alkalischen Reaktionsbereich sehr gering (LONERAGAN u. a., 1981, BERGMANN 1988, u. a.). In Gefäß- und Feldversuchen sollten diese Wachstumsstörungen näher untersucht und Abhilfemaßnahmen vorgeschlagen werden.

Versuchsdurchführung und Ergebnisse

1. Feld- und Gefäßversuche – Freising/ Erdinger Niedermoor

Die ersten umfangreicheren Versuche wur-

den im Freising/Erdinger Niedermoor auf anmoorigen Böden über Alm (Raum Hallbergmoos - Goldach) durchgeführt.

Chemische Daten des Bodenprofils (Tab. 1) Diese Böden besitzen ein hohes N-Potential, wurden durch langjährige intensive Ackernutzung mit P und insbesondere K aufgedüngt (K-Auswaschung!) und weisen EDTA-lösliche Kupfermengen um 1 mg/kg Boden auf. Der Unterboden besteht fast ausschließlich als Almkalk. Häufig tritt auf diesen Böden, insbesondere bei Trockenheit, Manganmangel auf, so daß kulturbegeleitende Mn-Spritzungen in der landwirtschaftlichen Praxis allgemeine Anwendung finden.

Düngerformen (für sämtliche Versuche)

Bodendüngung:

Cu-Legierung = Excello (2,65 % Cu)

Cu-Sulfat = $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Blattdüngung:

Cu-Chelat (EDTA/HEDTA-Basis) = Folicin-Cu (14 % Cu) bzw. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Ergebnisse:

Sowohl im Feld- als auch Gefäßversuch (Tab. 2 und 3) zeigten die Pflanzen ohne Kupferdüngung typische Kupfermangelsymptome; die Einkörnigkeit war praktisch vollständig unterbunden. Die sicherste Ertragswirkung zeigte eine Cu-Chelat-Spritzung zur Bestockung, z. T. auch in Kombination mit einer vorausgehenden Bodendüngung. Letztere wirkte auf diesem Boden

Tab. 1: Anmoor über Almkalk - Goldach bei Freising

Bodendaten			
Parameter		Tiefe	
		0-25 cm	30-80 cm
pH (CaCl ₂)		7,5	7,7
freier Kalk	(% CaCO ₃)	61	84
C _i	%	11,3	-
N _i	%	1,0	-
Sorptionskapazität			
(T=S-Wert - mval/100 g B.)			
Ges.-P ₂ O ₅		64,2	28,9
CAL-P ₂ O ₅	} mg/100 g Boden	271	-
H ₂ O-P ₂ O ₅		15	1
CAL-K ₂ O		8,6	-
CaCl ₂ -Mg		36	12
		17	8
aktiv. Mn	mg/kg	30	10
EDTA-Cu	Boden	1	1

Anlagedaten:

Versuchsfrucht: Sommerweizen (Walther)

Grunddüngung: NPK und Mn optimal

Cu z. Boden (Cu-Boden):

Cu-Legierung (2,5 % Cu) - 7,5 kg Cu/ha bzw. 6-24 mg Cu/Mitscherlichgefäß (5 l)

Cu-Blattspritzung (Cu-Blatt):

Cu-Chelat - 0,5 kg/ha bzw. 1,5 mg Cu/Gef. - Stadium EC 25

Spurenelemente-Kombinationsdünger (4 % Mn, 4 % Fe, 1,5 % Cu, 1,5 % Zn, 0,5 % B, 0,1 % Mo) - 1 kg/ha

allerdings etwas unsicher, da die Mn-Versorgung der Pflanzen als Folge des höheren Cu-Angebotes über die Wurzeln (Cu/Mn-Antagonismus) erschwert war und durch die Mn-Blattdüngung offensichtlich nicht gewährleistet werden konnte. Spurennährstoff-Mischdünger eignen sich nicht zur Behebung der Mängel; die applizierten Cu-Mengen betragen z. B. nur 15 g/ha und sind für extrem unterversorgte Pflanzen zu gering.

Tab. 2: Feldversuch zu Sommerweizen - Anmoor über Alm, Goldach

Düngung	Kornerträge (dt/ha)	
	1980	1982
Kontrolle	2	7
Cu-Boden (1982 Nachwirkung)	6	38
Cu-Blatt (EC 25)	38	39
Cu-Blatt (EC 25+51)	—	36
Spurennährstoff-Mischdünger über Blatt (EC 25)	5	—

Tab. 3: Gefäßversuch zu Sommerweizen-Anmoor, Goldach

Düngung	Kornerträge (g TS/Gefäß)	
	- Mn	+ Mn
Kontrolle	0	0
Cu-Boden	0	17
Cu-Blatt (EC 25)	28	42
Cu-Boden + Cu-Blatt	29	48
Spurennährstoff-Mischdünger über Blatt	0	0
Cu-Boden + Spurennährstoff-Mischdünger	0	30

Tab. 4: Pollensterilität* von Sommerweizen in Abhängigkeit von der Cu-Düngung

Düngung	% Sterilität	
	Anmoor	Niedermoor
Kontrolle	100	92
Cu-Boden	—	52**
Cu-Blatt	31	1**

* Färbung mit Jod-Kalium-Jodid

** Unterschiede im Blühbeginn

Tab. 5: Stroherträge von Sommerweizen (Sorte Walther)

Düngung	Erträge (g TS/Gef.)	
	(Ø 4 Standorte)	
Kontrolle	63	
Cu-Boden	69	GD 5%=3
Cu-Blatt	69	

Der starke Kupfermangel wirkte sich demnach besonders stark auf das generative Wachstum aus; die unterbundene Kornbildung ist im wesentlichen auf Pollensterilität zurückzuführen, die durch Cu-Düngung nahezu behoben wird (Tab. 4). Bedingt durch den sehr unterschiedlichen Blühbeginn der Pflanzen traten allerdings einige Probleme in der für die jeweiligen Varianten repräsentativen Probenentnahme auf. Dagegen war das vegetative Wachstum, gemessen am Strohertrag, nur wenig beeinträchtigt (Tab. 5). In einigen Versuchen (s. später) wurden auf den Nullvarianten auch höhere Erträge festgestellt.

Auf dem kalkreichen Anmoor wurde die Veränderung der Cu-Gehalte von Sommerweizen während des Wachstums in Abhängigkeit von der Cu-Düngung (z. Boden) festgestellt (Tab. 6).

Demnach dürften die für das Pflanzenwachstum kritischen Cu-Gehalte im Stadium von Mitte Bestockung bis Schoßbeginn um 4-5 mg Cu/kg TS liegen. Mit Ausnahme dieses Versuches lagen die Cu-Gehalte im Stroh von Mangelpflanzen meist unter 3 mg/kg. Auffallend waren die auf den Nullvarianten öfters festgestellten hohen Cu-Gehalte der Körner (bis 4,5 mg/kg) - während der Kornausbildung wurde in die wenigen angelegten Kornanlagen überdurchschnittlich viel Kupfer eingelagert (Konzentrationseffekt).

Tab. 6: Cu-Gehalte eines mangelhaft und optimal ernährten Sommerweizens (Turbo) (mg Cu/kg TS)

Wachstums- stadium	Gesamter Aufwuchs		jüngstes vollentwickeltes Blatt	
	Mangel ¹⁾	Opt. Dg. ²⁾	Mangel	Opt. Dg.
EC 25	3,3	5,0-8,0	3,3	5,0-8,0
EC 31	5,4	5,7	4,3	6,0
EC 55	1,7	2,9	2,1	2,7
EC 91				
Korn	- (1,5-4,5) ³⁾	3,1	-	-
Stroh	3,6 (1,3-2,3) ³⁾	4,7	-	-

¹⁾ Mangel = keine Kornbildung ²⁾ Opt. Dg = 1 mg Cu/kg Boden ³⁾ aus ähnl. Versuchen (ger. Kornträge)

2. Gefäßversuche - ausgewählte Standorte Südbayerns

Die Versuche konzentrierten sich im wesentlichen auf landwirtschaftlich genutzte Niedermoorböden mit unterschiedlichem Kalkzustand sowie auf kalkreiche Auenböden.

Niedermoores:

1. Donauried (Riedheim/Günzburg)
2. Donaumoos (Karlshuld)
3. Dachauer Moos (Oberschleißheim)

Auenböden:

4. Freising-Vötting
5. Griesenbach/Landshut

Die pH-Werte der Niedermoores streuten zwischen 5,6 und 7,3, die EDTA-löslichen Cu-Mengen zwischen 3 und 5 mg/kg Boden (Tab. 7); auffallend war der niedrige Mn-Gehalt des Standortes 3 (Schleißheim). Die beiden Auenböden (humose bis anmoorige Böden über Flußmergel der Isar) wiesen mit 2 und 5 mg Cu/kg Boden stark differierende Cu-Gehalte auf.

Anlagedaten der Gefäßversuche:

Versuchsfucht:

Sommerweizen (Walther-Böden 1, 2, 4 bzw. Turbo-Böden 3,5)

Grunddüngung:

NPK und Mn optimal; bezüglich Mn traten jedoch größere Probleme auf (s. später)

Tab. 7: Chemische Daten der Krume ausgewählter Standorte

Untersuchung	Standorte				
	1	2	3	4	5
pH (CaCl ₂)	5,6	6,9	7,3	7,6	7,4
C %	40	37	20	6	13
N %	2,9	1,7	1,4	0,5	1,1
CAL-P ₂ O ₅ mg/	13	19	21	11	18
K ₂ O 100 g B	61	62	36	4	12
aktiv. Mn mg/	111	60	21	61	47
EDTA-Cu kg Boden	3	4	5	5	2
Vol-Gew. g/l	280	300	600	800	440

Cu-Boden:
6-12 mg Cu als Cu-Sulfat/Mitscherlichgefäß
Cu-Blatt:
1,5 mg Cu als Chelat/Gefäß Stadium EC 25

Ergebnisse:

Auf den 3 Niedermoorböden zeigte sich eine beachtliche Cu-Wirkung; die Kontrollpflanzen der Böden aus dem Donaured

gelegten und befruchteten Ährchen in der Kontrolle nur etwas schlechter als nach Optimaldüngung (Tab. 9).

Die gelegentlich etwas höheren Ährendichten der Nullvariante dürften auf einer gegenüber der Optimaldüngung schwächeren Triebreduktion (höheres Nährstoffangebot für das vegetative Wachstum) beruhen.

Tab. 8: Kornerträge von Sommerweizen auf verschiedenen Böden Südbayerns

Düngung	Erträge (g TS/Gef.)				
	Niedermoorböden			Auenböden	
	1	2	3 ^a	4	5
Kontrolle	9	1	32	53	32
Cu-Boden	68	65	42	52	41
Cu-Blatt	59	59	-	45	41
GD 5%	3	3	3	3	7
EDTA-Cu des Bodens zur Ernte				(mg/kg Boden)	
Kontrolle	2	4	3	5	2
Cu-Boden	5	7	6	6	-

* Nachwirkung, 2. Versuchsjahr (1. Jahr starker Mn-Mangel)

Tab. 9: Ertragsfaktoren - Sommerweizen (Ø Standorte 1, 2, 3, 5)

Düngung	Ähren/Gefäß	Körner/Ähre	Tausendkorngewicht (g)
Kontrolle	43	15	28,3
Cu-Düngung	39	42	33,0

und dem Donaumoos wiesen eine schlechte Einkörnigkeit als Folge eines starken Cu-Mangels auf (Tab. 8). Auf dem alkalischen Niedermoor Schleißheim traten erhebliche Probleme mit der Mn-Versorgung der Pflanzen auf; erst eine Kombination von Boden- und Blattdüngung (2. Versuchsjahr) konnte die Mn-Ernährung der Pflanzen sicherstellen.

Auch auf dem Auenboden aus Landshut (höhere C-Gehalte) konnten im Gegensatz zu dem aus Vötting (höhere Cu-Gehalte des Bodens) durch Cu-Düngung signifikante Kornmehrerträge erzielt werden.

Von den ertragsbildenden Faktoren erhöhte die Versuchsdüngung im wesentlichen die mittlere Kornzahl je Ähre; gemessen am Korngewicht entwickelten sich die an-

3. Modellversuche zur Prüfung spezieller Düngungsprobleme

In Gefäßversuchen auf Cu-Mangelböden (z. B. Anmoor über Alm) wurde die **Nachwirkung** einer Cu-Bodendüngung sowie Form und Häufigkeit einer Cu-Blattspritzung geprüft.

Anlagedaten:

Versuchsfrucht: Sommerweizen (Walther)

Grunddüngung: NPK und Mn optimal

Cu-Boden: 25 mg Cu als Cu-Legierung (2,65 %)/Gef. = ca. 8 kg Cu/ha

Cu-Blatt: 1,5 mg Cu als Chelat

Ergebnisse:

Die zur Vorfrucht ausgebrachte Bodendün-

gung (Cu-Excello) zeigte auch im Folgejahr eine gute Cu-Wirkung zu Sommerweizen (Tab. 10). Eine im Bestockungsstadium (EC 25/29) applizierte Blattdüngung erwies sich für ein optimales Pflanzenwachstum als völlig ausreichend; eine zusätzliche Maßnahme im Stadium EC 51/55 brachte eher Nachteile. Dabei sollte allerdings berücksichtigt werden, daß die Aufwandmenge der Blattspritzung mit 1,5 mg Cu/Gefäß sehr hoch lag; ähnlich gute Effekte wurden auch mit 0,2-0,5 mg Cu/Gefäß erzielt. Die zur Blattdüngung verwendeten Cu-Dünger (CuSO₄/Cu-Chelat) brachten eine gleich gute Wirkung.

Einfluß der Bodenfeuchte und der Phosphatversorgung der Böden auf die Verfügbarkeit des Kupfers für die Pflanzen:

Anlagedaten:

Versuchsfrucht: Sommerweizen (Walther)
Einfluß Bodenfeuchte: NPK und Mn optimal

I. optimale Feuchte:
60-80% der max. Wasserkapazität, angepaßt an das Pflanzenwachstum
II. geringere Feuchte: 45-65% vom WKmax
Cu-Boden:
12, 24, 48 mg Cu als Cu-Sulfat/Gef., appliziert zur Vorfrucht
Cu-Blatt: 1,5 mg Cu als Chelat
Einfluß P-Versorgung: NK und Mn optimal
Versuchsfrüchte:
Sommerweizen (Walther und 2 x Turbo)
P-Gehalt des Bodens: (2. Jahr)
P₀ = 7)
P₁ = 21) mg P₂O₅/100 g Boden
P₂ = 41) CAL-Extraktion
Cu-Boden: 6 mg Cu als Cu-Sulfat/Gef.
Cu-Blatt: 1 mg Cu als Chelat

Auf dem feuchteren Boden war die Cu-Düngung wirksamer; der höchste Kornertrag wurde in Reihe I bereits mit 2 x Cu, in Reihe II erst mit 4 x Cu (Nachwirkung vom Vorjahr) erzielt.

Tab. 10: Cu-Düngung zu Sommerweizen (Walther) auf kalkreichem Anmoor

Düngung	Kornerträge (g TS/Gef.)
Kontrolle	0
Cu-Boden (Nachwirkung v. Vorjahr)	42
Cu-Blatt: Cu-Sulfat (EC 25)	48
Cu-Blatt: Cu-Chelat (EC 25)	50
Cu-Blatt: Cu-Chelat (EC 25 u. 51)	43
GD 5%	5

Tab. 11: Einfluß der Bodenfeuchte auf die Cu-Wirkung zu Sommerweizen (Walther)

Düngung	Kornerträge (g TS/Gef.) Feuchte	
	I optimal (WK _{max} : 60-80%)	II trockener (WK _{max} : 45-65%)
Kontrolle	0	0
1x	18	19
2x Cu-Boden	29	19
4x	25	29
Cu-Blatt	16	13
GD 5%	4	

Tab. 12: Einfluß der P-Versorgung der Böden auf die Cu-Wirkung zu Sommerweizen (Turbo)

Düngung	P ₀	P ₁	P ₂	
Kornerträge g TS/Gef. - Ø 3 Jahre				
Kontrolle	0	0	0	
Cu-Boden Cu-Sulfat	36	32	29	Gd 5%
Cu-Boden „Excello“	31	17	10	= 3
Cu-Blatt	31	25	26	
P-Gehalte der Körner - % i. TS (3. Jahr)				
Kontrolle	-	0,55	-	
Cu-Boden Cu-Sulfat	0,28	0,40	0,49	
Cu-Boden „Excello“	0,26	0,46	0,56	
Cu-Blatt	0,27	0,49	0,52	
Cu-Gehalte der Körner mg/kg TS (3. Jahr)				
Kontrolle		3,6		
Cu-Boden Cu-Sulfat	5,4	3,0	2,6	
Cu-Boden „Excello“	6,0	2,1	3,8	
Cu-Blatt	3,7	3,0	3,1	
EDTA-Cu des Bodens nach 2. Ernte (mg/kg)				
Kontrolle	-	0,8	-	
Cu-Boden ø	2,0	1,5	1,5	

Tab. 13: Cu-Wirkung in Abhängigkeit von der Mn-Versorgung - Sommerweizen (Turbo)

Düngung	Mn ₀	Kornerträge (g TS/Gefäß)	
		Mn-Blatt	Mn-Boden
Kontrolle	0	0	0
Cu-Boden (12 mg Cu)	3	6	22
Cu-Boden (48 mg Cu)	4	14	24
Cu-Blatt	1	7	14
Gd 5%		3	

Auf dem P-ärmeren Boden zeigte die Cu-Düngung eine gesichert bessere Wirkung (Tab. 12); der stärkste Abfall war in der Variante „Excello“ gegeben. Die P-Steigerung erhöhte deutlich die P-Gehalte der Körner. Die mit steigendem P-Angebot verminderte Verfügbarkeit des Kupfers (sowohl im Boden als auch in der Pflanze s. später) äußerte sich i. d. R. in geringeren Cu-Gehalten der Körner und verminderten EDTA-löslichen Cu-Mengen im Boden.

Auch das EDTA lösliche Cu des Bodens war zum Erntezeitpunkt nach P-Düngung (P₁, P₂) gegenüber dem P₀-Glieb merklich geringer.

Kalkreiche organische Böden sind stets Problemböden für Mangan (hohes Redoxpotential, geringe Löslichkeit von Mn⁴⁺). Eine Cu-Düngung führt nur in Kombination mit einer optimierten Mn-Versorgung der Pflanzen zum Erfolg; diese wird aber durch Kupferdüngung erschwert, da beide Katio-

nen bei der Ionenaufnahme über die Wurzeln konkurrieren.

Anlagedaten:

Versuchsfrucht: Sommerweizen (Turbo)
Cu-Boden: 12-48 mg Cu als Cu-Sulfat/Gefäß
Cu-Blatt: 1,0 mg Cu als Chelat
Mn-Boden: 200 mg Mn als Mn-Sulfat/Gefäß
Mn-Blatt: 3 x 2,0 mg Mn als Chelat

Ergebnisse:

Auf dem kalkreichen Anmoor konnte durch ausschließliche Zufuhr von Mangan über das Blatt die Mn-Versorgung der Pflanzen nicht sichergestellt werden; folglich war auch die Wirkung der Cu-Düngung unbefriedigend (Tab. 13). Die Mn-Bodendüngung (200 mg Mn/Gefäß!) war erfolgreicher - doch auch in dieser Versuchsreihe zeigten die Weizenpflanzen noch Manganmangel. Eine Kombination Boden-/Blattbehandlung war nicht vorgesehen.

4. Zusammenhänge zwischen der Wirkung einer Kupferdüngung zu Sommerweizen in Gefäßversuchen und ausgewählten Bodenparametern

Auf insgesamt 10 Versuchsböden mit Verdacht auf Kupfermangel wurde unter weitgehend gleichen Versuchsbedingungen (Düngung, Wasserversorgung etc.) die Wirkung einer Boden- und Blattdüngung mit

Kupfer zu Sommerweizen ermittelt und zu den Cu-Gehalten der Böden und anderen, die Cu-Verfügbarkeit im Boden beeinflussenden Faktoren in Beziehung gesetzt.

Böden: 5 kalkreiche Anmoore, 3 Niedermoore, 2 Auenböden

ermittelte Bodenparameter: pH (CaCl₂), C, N, CAL-, H₂O-, Gesamt-P sowie EDTA-Cu, DTPA-Cu, -Mn, NH₄Cl-Mn, -Zn, -Fe (s. Methodenbuch des VDLUFA), Ges. Cu, -Mn, aktives Mn

Ergebnisse:

In Tab. 14 sind Mittelwerte und Streubreiten einiger Parameter der 10 Böden angegeben. Die Wirkung einer Cu-Düngung (ø Blatt- und Bodenbehandlung) zu Sommerweizen, gemessen am Kornertrag, korreliert insgesamt nur schwach mit den untersuchten Kenngrößen der Böden (keine Signifikanz). Am höchsten ist auf C- und N-reichen, aber Cu-ärmeren Böden eine gute Kupferwirkung zu erwarten (Tab. 14); zwischen den verschiedenen Cu-Extraktionsverfahren bestanden kaum Unterschiede. Steigende Mengen an austauschbarem Eisen sollten die Cu-Düngewirkung günstig beeinflussen im Gegensatz zu CAL-, H₂O- oder Gesamt-Phosphat, die auf diesen Böden zu den Mehrerträgen praktisch keine Beziehung zeigten.

Tab. 14: Mittelwerte und Streubreite einiger Bodenparameter sowie Beziehung zur Cu-Düngewirkung auf 10 Versuchsböden (Versuchsfrucht: Sommerweizen)

Parameter	Mittelwert	Streubreite	Korrelationskoeffizient r
N, %	1,25	0,5-2,90	0,49
org. Subst. (Cx1,72)%	31,7	11,0-68,6	0,57
Ges. Cu (mg/l Boden)	11,5	4,4-24,0	-0,55
EDTA-Cu (mg/l Boden)	1,2	0,4- 4,0	-0,53
DTPA-Cu (mg/l Boden)	0,9	0,2- 2,8	-0,52
NH ₄ Cl-Fe (mg/l Boden)	6,8	1,9-12,1	0,45
Vol.-Gew. (g TS/l)	527	280-800	-0,46

5. Empfindlichkeit verschiedener Getreidearten auf Cu-Mangelböden

Anlagedaten:

Versuchsfrüchte: Sommerweizen (Walther)
Sommergerste (Roland)
Hafer (Pirol)
Sommerroggen (Sorom)

Cu-Boden: 12-48 mg Cu als Cu-Sulfat/Gefäß
Cu-Blatt: 1x/2x 1,5 mg Cu als Chelat/Gefäß

Ergebnisse:

Sommerweizen und Sommergerste erwiesen sich als besonders empfindlich gegenüber dem niedrigen Cu-Angebot aus dem Boden - es kam zu keinerlei Kornausbildung (Tab. 15). Hafer reagierte mit deutlichen Mehrerträgen auf die Cu-Düngung,

während Sommerroggen sich optimal entwickelte. Das hohe Cu-Bedürfnis von Sommerweizen äußerte sich auch in den Strohmeerträgen, die Mindererträge von Gerste und Hafer dürften auf die in den Cu-Gliedern stärkere Nährstoffkonkurrenz zwischen Korn- und Strohwachstum zurückzuführen sein.

Der unterschiedliche Cu-Anspruch von Sommerweizen und Sommerroggen wurde auch in einem Wasserkulturversuch überprüft.

Anlagedaten:

Versuchsfrüchte: So.Weizen (Schirokko) und So.Roggen (Sorom)

Nährlösung: Hoagland; 1. ohne Cu
2. 0,01 mg Cu/l

Laufzeit: 1-Blattstadium bis Teigreife

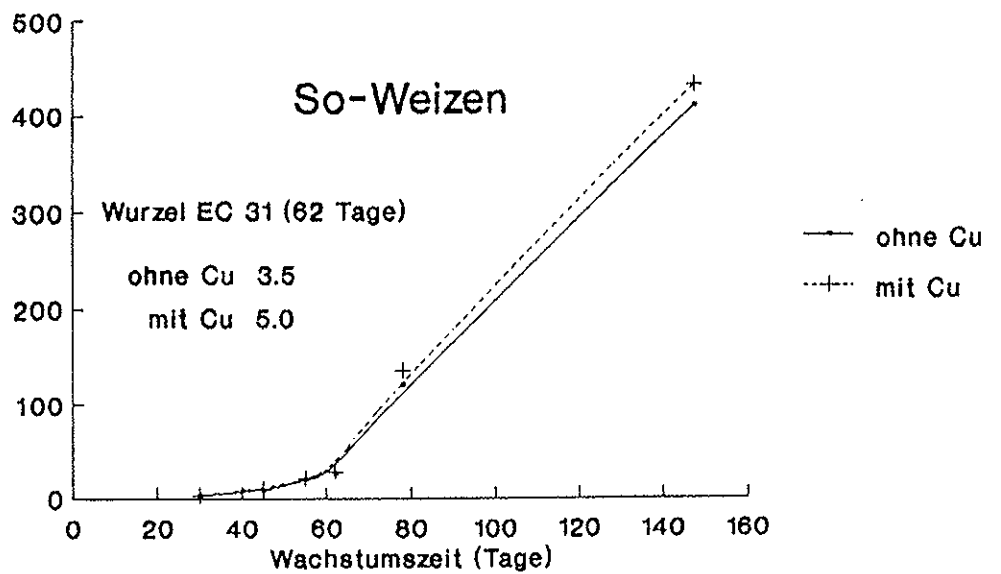
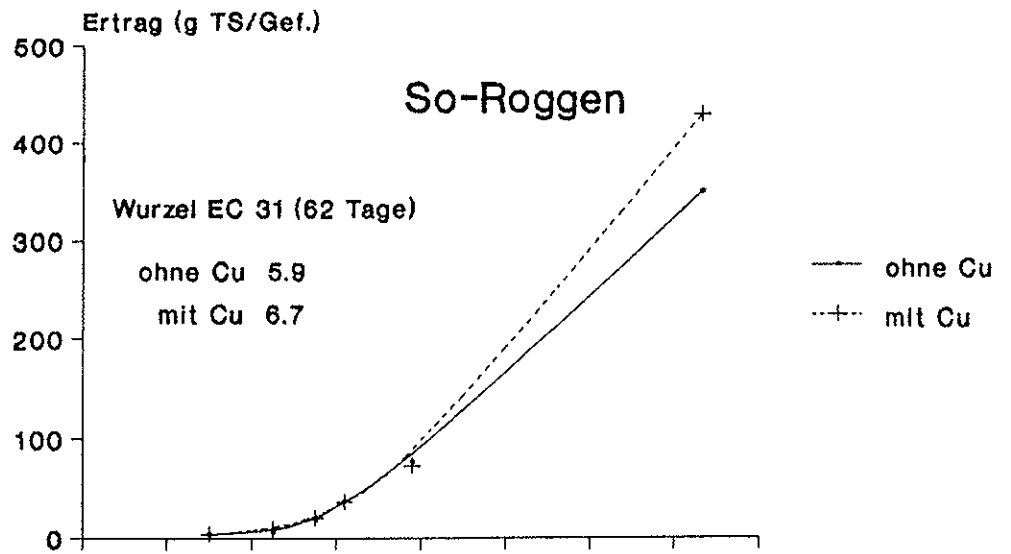
Tab. 15: Empfindlichkeit verschiedener Getreidearten gegenüber geringem Cu-Angebot aus dem Boden Anmoor (Alm)

Düngung	So-Weizen	So-Gerste	Hafer	So-Roggen	
Kornerträge (g TS/Gef.)					
Kontrolle	0	0	29	44	GD 5%
Cu-Boden	48	39	61	43	3
Cu-Blatt	48	36	52	47	
Stroherträge (g TS/Gef.)					
Kontrolle	42	66	84	83	
Cu-Boden	61	44	66	74	3
Cu-Blatt	55	54	71	84	

Tab. 16: Cu-Wirkung zu Weizen und Roggen in Nährlösungskultur

Parameter	So-Weizen Cu		So-Roggen Cu	
	-	+	-	+
Kornerträge (g TS/Gef.)	51	77	56	85
Cu-Gehalte (mg/kg TS)				
Stadium EC	21	6,9	8,6	16,1
25		6,3	10,5	15,1
29		6,3	10,5	11,1
31		4,2	5,7	8,9
(jüngst. Blatt)	51	3,7	8,2	8,2
Cu-Aufnahme (mg Cu/Gef.)				
Stadium EC	85	2,7	3,1	8,7

Abb.: Sproßerträge von Weizen und Roggen mit Cu-Düngung bis zur Teigreife (Nährlösungskultur)



Ergebnisse:

Beide Arten zeigten während der gesamten Wachstumszeit ein meist geringfügig besseres Wachstum; besonders die generative Entwicklung (Kornertrag) wurde durch die Cu-Düngung gefördert (Abb., Tab. 16). Auch das Wurzelwachstum war ab Mitte Bestockung bis zum Ährenschieben (Roggen bis Teigreife) um 10–35 % höher (Daten unvollständig wiedergegeben). Gemessen an den Cu-Gehalten der Pflanzen während der Vegetationszeit und insbesondere der Cu-Aufnahme bis zur Teigreife zeigte Roggen ein stärkeres Aufnahmevermögen des über die Nährlösung angebotenen Kupfers (Tab. 16).

Roggen benötigt demnach ebenso wie Weizen ein gewisses Mindestangebot an Cu (Mehrerträge gegenüber Cu₀), unterscheidet sich aber von diesem durch ein besseres Aufnahmevermögen, das offensichtlich auf Cu-armen Böden im Gegensatz zum Weizen noch ein optimales Wachstum gestattet.

Versuche zur Prüfung von Sortenunterschieden bei Sommerweizen brachten infolge einer fehlenden Cu-Wirkung auf kalkreichem Anmoor keine Aussage. Von den 4 Sorten (Arkas, Horizont, Schirokko und Turbo) zeigte besonders Schirokko stärker-

re Mn-Mangelsymptome und erzielte den mit Abstand schwächsten Kornertrag (32 gegenüber 41–49 g TS/Gefäß).

Eine sortenspezifische Empfindlichkeit gegenüber geringem Cu-Angebot konnte allerdings für Winterweizen nachgewiesen werden.

Anlagedaten:

Boden: Anmoor (Alm)

Sorten: Kronjuwel (BRD)

Blaukorn

(Weizen-Roggen-Substitutionslinie
4A-5R)* (hairy neck) (Ungarn)

Viking

(Weizen-Roggen-Translokationslinie
4A/5R)* (behaart)

-Saatgutgewinnung nach Anbau auf Cu-Mangelböden -

Cu-Blatt: 1 mg Cu als Chelat zur Bestockung

Ergebnisse:

Winterweizen erwies sich auf dem Cu-armen Anmoor allgemein unempfindlicher als Sommerweizen; in der Kontrolle wurden beachtliche Kornerträge erzielt (Sommerweizen i. d. R. keine Kornbildung). Kronjuwel und Viking reagierten auf eine Cu-Applikation über das Blatt mit deutlichen Mehrerträgen; die Erträge von Blaukorn wurden hingegen etwas vermindert

Tab. 17: Cu-Wirkung zu verschiedenen Winterweizen-Sorten auf Anmoor

Sorte	Kornerträge		Stroherträge	
	Kontrolle g TS/Gef.	Cu-Blatt Kontrolle = 100	Kontrolle g TS/Gef.	Cu-Blatt Kontrolle = 100
Kronjuwel	33	157	84	81
Viking	52	142	108	99
Blaukorn	57	81	106	84
Cu-Gehalte des jüngsten, voll entwickelten Blattes Kontrolle o. Cu - (mg Cu/kg TS)				
Sorte	EC25	EC31	EC39	EC55
Kronjuwel	3,1	6,5	5,4	2,9
Viking	3,7	9,4	4,7	1,7
Blaukorn	4,8	16,0	5,9	3,0

* Die beiden Weizensorten wurden dankenswerterweise von Herrn Prof. Dr. ZELLER, Institut für Pflanzenbau und -züchtung der TU München-Weihenstephan zur Verfügung gestellt.

(Tab. 17) und belegen somit die Toleranz dieser Sorte gegenüber geringem Cu-Angebot.

Blaukorn wies in vergleichbaren Blättern während der gesamten Vegetationszeit mehr oder weniger deutlich höhere Cu-Gehalte auf als die empfindlichen Vergleichssorten; offensichtlich besaß erstere Sorte ein besseres Aneignungsvermögen für Cu. Blaukorn und Viking sind Weizen-Roggen-Substitutions- bzw. Translokationslinien (Weizenchromosom 4A - Roggenchromosom 5R). Die hohe Toleranz von Blaukorn gegenüber geringem Cu-Angebot aus dem Boden ist im wesentlichen auf das Roggenchromosom 5R zurückzuführen.

6. Wirkung einer Cu-Düngung zu anderen Kulturpflanzen

Auf den humosen bis anmoorigen Böden der Auen- und Niedermoorgebiete werden neben Roggen und Sommerweizen insbesondere Mais und Kartoffeln, z. T. auch Feldgemüse (z. B. Kohl, Möhren) und Feldfutter (z. B. Leguminosen) angebaut. In einjährigen Feld- und Gefäßversuchen auf einem Boden, auf dem stets deutliche Cu-Wirkungen zu Sommerweizen erzielt worden sind (Anmoor über Alm), zeigten die Versuchspflanzen sehr unterschiedliche Reaktionen auf eine Cu-Düngung (sowohl Boden- als auch Blattdüngung): Spinat, aber insbesondere Luzerne brachten deutliche Mehrerträge, Kohl, Kartoffeln und meist auch Silomais hingegen keine Unterschiede zwischen den Kontroll- und Kupferparzellen (Tab. 18). Diese einjährigen Versuchsergebnisse sollten jedoch nur als

Tab. 18:
Mehrerträge verschiedener Pflanzen auf Anmoor durch Cu-Düngung in % - (1-jähriger Versuch)

Feldversuche		Gefäßversuche	
Silomais	0-8	Luzerne	15-40
Kartoffeln	0	Spinat	14
Weißkohl	0		

grobe Orientierung dienen, da der Erfolg einer Düngungsmaßnahme sehr wesentlich von der Jahreswitterung abhängt (Temperatur, Bodenfeuchte usw.)

Diskussion

Die besonders an Sommerweizen beobachteten Schadsymptome auf ausgewählten kalkreichen, anmoorigen Böden Südbayerns haben sich eindeutig als Kupfermangel herausgestellt: Einrollen der jüngeren Blätter (ab Schossen), Weißspitzigkeit, Weißährigkeit (s. a. LONERAGAN u. a., 1981; BERGMANN, 1988). Sommerweizen und Sommergerste, aber auch Luzerne erwiesen sich gegenüber niedrigem Cu-Angebot aus dem Boden als viel empfindlicher als Hafer und Spinat; Roggen, Mais, Kartoffeln oder Kohl waren hingegen weitgehend unempfindlich (s. a. ALLOWAY und TILL, 1984 bzw. BERGMANN, 1988).

Cu-Mangel wirkte sich bei Sommerweizen auf einen starken Rückgang der Pollenfertilität aus, im Extremfall auf totale Sterilität und folglich Ausbleiben jeglicher Kornbildung (Weißährigkeit) - der Strohertrag wurde nur wenig beeinflusst (GRAHAM, 1980; GRAHAM und NAMBIAR, 1981, u. a.). Im Gegensatz zu Sommerweizen, Sommergerste und Hafer zeigte Roggen keinerlei Reaktion auf eine Cu-Düngung; diese Getreideart ist bekanntlich gegenüber niedrigem Cu-Angebot sehr tolerant und besitzt ein gutes Aneignungsvermögen für dieses Schwermetall (SMILDE und HENKENS, 1967) - das für diese Eigenart verantwortliche Chromosom (R5) wird in der Pflanzenzüchtung zur Chromosomen-Substitution oder -Translokation verwendet (GRAHAM, 1978).

Ausgehend von einem typischen Cu-Mangelstandort im Erdinger Moos bei Freising (Anmoor über Alm) konnte auch auf anderen organischen Böden Südbayerns (z. B. Niedermoore: Dachauer Moos, Donaumoos, Donauried und Auenböden im Raum Landshut/Griessenbach) eindeutig Cu-Mangel an Sommerweizen nachgewiesen werden. Organische Böden besitzen

häufig wenig Kupfer, das zudem stark an die organischen Bodenbestandteile (Hummin- und Fulvosäuren) sorbiert ist (LONERAGAN u. a., 1981; BERGMANN, 1988, u. a.) - Cu bildet mit den Porphin-Ringen stabile Komplexe (GOODMAN und CHE-SIRE, 1976) - auch das Düngerkupfer wird mit steigenden Gehalten an organischer Substanz zunehmend immobilisiert (MATHUR u. a., 1979; RAIKHY und TAKKAR, 1981). Hinzu kommt, daß auch Zusammenhänge zwischen N-Versorgung der Pflanzen und Cu-Mobilität in der Pflanze gefunden wurden (LONERAGAN u. a., 1980). Ein hohes N-Angebot, vor allem auf den untersuchten organischen Böden, verzögert die Seneszens und folglich auch die Retranslokation von Cu aus älteren Pflanzenorganen.

Die in den Modellversuchen gefundenen Beziehungen zwischen geringerer Bodenfeuchte bzw. stärkerer Düngung der Böden mit Phosphat und damit Verschlechterung der Verfügbarkeit von Kupfer bestätigen Ergebnisse von BERGMANN, 1988, DOLLAR und KEENEY, 1971 u. a.

Auf den organischen und zumeist kalkreichen Böden treten stets Probleme mit der Manganversorgung der Pflanzen auf (Immobilisierung zum Mn^{4+}). Durch Kupferzufuhr vor allem über den Boden wird die Mangan-Versorgung der Pflanzen erschwert; zwischen Mn und Cu besteht eine Konkurrenz in der Nährstoffaufnahme über die Wurzel (BERGMANN, 1988, S. 278); kulturbegleitende Mn-Düngungsmaßnahmen sichern eine optimale Ernährung der Pflanze und den Erfolg der Cu-Zufuhr.

Auf 10 verschiedenen organischen (humos bis anmoorig) Böden wurde versucht, Beziehungen zwischen dem Kornmehrertrag von Sommerweizen durch Kupferdüngung und die Cu-Verfügbarkeit im Boden beeinflussenden Parametern herzustellen (EDINGER, 1986). Die in den Gefäßversuchen (+ 1 Feldversuch) ermittelten Korrelationen ließen sich zwar statistisch nicht absichern, wiesen jedoch neben dem Cu-Gehalt auf die Bedeutung der organischen

Substanz für die Cu-Wirkung hin; der Phosphatgehalt der Böden (CAL-, H_2O -löslich oder Gesamt-P) hatte in diesem Fall keinen Einfluß. Aus dem Zahlenmaterial ließ sich unabhängig vom Extraktionsverfahren (EDTA, DTPA, Ges.-Cu) kein kritischer Cu-Gehalt der Böden nachweisen, von dem ab mit einer Düngewirkung von Kupfer zu rechnen ist. Mit Sommerweizen wurden auf Böden mit EDTA-löslichen Cu-Mengen von 0,6 bis 5,0 mg/kg Boden bzw. 0,4-3,0 mg/l Boden Mehrerträge durch Cu-Düngung erzielt. Der Erfolg war bei Gehalten von 0,4-1,2 mg Cu/l Boden besonders groß.

Wie für den Boden war auch die Ableitung von kritischen Gehalten für Sommerweizen (gesamter Sproß, jüngste Blätter), bis zu denen noch mit einer Düngewirkung zu rechnen ist, schwierig. Diese dürften ab Mitte Bestockung bis Beginn des Schossens etwa zwischen 4-5 mg Cu/kg TS liegen (die Gehalte des gesamten Aufwuchses und die der jüngsten Blätter unterschieden sich nur wenig). Gleiche Gehalte nennt BERGMANN (1988, S. 229).

Der Kupfermangel ließ sich auf sämtlichen geprüften Böden sowohl durch Düngung über den Boden als auch über das Blatt beheben. Zur Bodendüngung waren Cu-Sulfat und Spezialdünger auf Legierungsbasis (Excello), zur Blattdüngung Cu-Sulfat oder Cu-Chelate (Folicin-Cu) wirksam. Letzteres war etwas pflanzenverträglicher als Kupfersulfat. Wichtig für den Erfolg der Blattdüngung war die rechtzeitige Applikation, für Sommerweizen etwa im Stadium Mitte/Ende Bestockung (EC 25-29). Die Cu-Behandlung hat demnach vorbeugend zu erfolgen; beim Auftreten der ersten Symptome (sichtbar frühestens ab Ende des Schossens) wirkte sie nur noch unbefriedigend. Die Bodendüngung mit $CuSO_4$ erschwerte die optimale Versorgung der Pflanzen mit Mangan.

Im Gegensatz zu diesen speziellen Cu-Düngern blieben Spurennährstoff-Mischdünger ohne nennenswerte Wirkung. Akuter Cu-Mangel läßt sich nur durch gezielte Cu-Düngung beheben. Mit den Mischdü-

gern werden nur ca. 15 g Cu/ha ausgebracht; die empfohlene Düngung auf Mangelstandorten in Form einer Blattspritzung beträgt dagegen 80–150 g Cu/ha bzw. 5–15 kg Cu/ha als Bodendüngung.

Zusammenfassend lassen sich für die untersuchten Cu-Problemböden – organische Böden mit mehr oder weniger hohem Gehalt an freiem Kalk – folgende Anbau- und Düngungsempfehlungen ableiten:

1. Sofern Cu-empfindliche Kulturen wie z. B. Weizen oder Gerste angebaut werden, sollte durch rechtzeitige Düngungsmaßnahmen die Ertragsbildung gesichert werden. Kritische Cu-Gehalte (EDTA) der organischen Böden liegen meist unter 2 mg Cu/l, die der Pflanzen unter 3–4 mg Cu/kg TS (Stadium EC 25–29). Für eine Düngung zum Boden eignen sich Legierungsdünger oder $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in Mengen von 5–10 kg Cu/ha, die 5–10 Jahre nachwirken können (BERGMANN, 1988). Gute Erfolge werden auch mit Cu-Blattdüngung erzielt. Besonders pflanzenverträglich erwies sich Cu-Chelat (EDTA, HEDTA-Basis) in Mengen von 0,5–1,0 kg/ha (= 75–150 g Cu/ha). Ein früher Anwendungszeitpunkt (EC 25–31) ist Voraussetzung für eine gute Wirkung.
2. Besonderes Augenmerk ist auf eine ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Mangan zu richten. Kulturbegleitende Düngungsmaßnahmen sind nahezu in sämtlichen Jahren notwendig (Blattspritzung). Cu-Düngung kann die Mn-Versorgung der Pflanzen erschweren.
3. Die Verfügbarkeit des Kupfers im Boden geht mit steigenden Phosphatgehalten und abnehmender Bodenfeuchte zurück. Die P-Düngung sollte sich deshalb am Entzug der Pflanzen (40–70 kg P_2O_5 /ha) orientieren. Die Bodenbearbeitung hat auf eine Verdichtung dieser organischen Böden hinzuwirken; abgesetzte Oberböden speichern mehr Bodenwasser und besitzen deshalb eine bessere Nährstoffverfügbarkeit, vor allem in Trockenperioden.

Literaturverzeichnis

ALLOWAY, B. J., TILLS, A. R.: Copper deficiency in world crops; Outlook on Agriculture 13 (1984), S. 32–42

BERGMANN, W.: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen; Gustav Fischer Verlag, 2. Auflage (1988), 762 S.

DOLAR, S. G., KEENEY, D. R.: Availability of Cu, Zn and Mn in soils. I. Influence of soil pH, organic matter, and extractable phosphorus; J. Sci. Fd. Chem. 22 (1971), S. 273–278

EDINGER, H.: Gefäßversuche mit Sommerweizen zur Wirkung einer Kupferdüngung auf verschiedenen Böden Südbayerns; Dipl.Arbeit, LST Pflanzenernährung d. TU München-Weihenstephan (1986)

GOODMAN, B. A., CHESHIRE, M. V.: The occurrences of copper-porphyrin complex in soil humic acids; J. Soil Sci. 27 (1976) S. 337–347

GRAHAM, R. D.: Nutrient efficiency objection in cereal breedings; In: Plant Nutrition (1978) Proc. 8th. Int. Coll. Plant Anal and Fert. Probl., Auckland (1978), N. Z. S. 165–170

– : The distribution of copper and soluble carbohydrates in wheat plants grown at high and low levels of copper supply. Z. Pflanzenernährg. Bodenkd. 143 (1980), S. 161–169

– and NAMBIAR, E. K. S.: Advances in research on copper deficiency in cereals. Aust. J. Agric. Res. 32, (1981), 1009–1037

LONERAGAN, J. F., ROBSON, A. D., GRAHAM, R. D.: Copper in soils and plants; Adademic Press (Australia) (1981), 380 S.

–, SNOWBALL, K., ROBSON, A. D.: Copper supply in relation to content and redistribution of copper among organs of the wheat plant; Ann.Bot. 45 (1980), S. 621–632

MATHUR, S. P., HAMILTON, H. A., PRESTON, C. M.: The influence of variation in copper content of an organic soil on the mineral nutrition of oats grown in situ. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 10 (1979), S. 1399-1409

RAIKHY, N. P., TAKKAR, P. N.: Copper adsorption by soils and its relation with plant growth; *Z. Pflanzenernähr., Bodenkde.* 144 (1981), S. 597-612

SMILDE, K. W. und HENKENS, CH.: Sensitivity to copper deficiency of different cereals and strains of cereals. *Neth. J. Agric. Sci.* 15 (1967), 249-258

VDLUFA = VERBAND DTSCH. LANDW. UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN: Untersuchung von Böden. 3. Aufl. (1955), S. 271 (4. Aufl. in Vorbereitung), J. Neumann-Neudamm K. G.-Verlag, Melsungen