

Bedeutung des Kupfers für Ackerbau und Grünland

(Aus dem Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen)

VON CH. H. HENKENS

Beim Studium des Spurenelementes *Kupfer* empfiehlt es sich, Ackerbau und Grünland *getrennt* zu besprechen, da es sich bei ihnen beim Mangel an diesem Element um ganz verschiedene Probleme handelt. Im Ackerbau beeinflußt der Kupfermangel den *Ertrag*, während beim *Grünland* der Mangel besonders das *Tier*, welches das Gras konsumiert, betrifft. Dazu kommt, daß der Kupfergehalt im Gras bisweilen recht hoch ist, während das Tier das Kupfer nicht ausnutzen kann.

Kupfermangel auf Ackerland wird in den Niederlanden vor allem in *Getreidearten* gefunden. Die Forschung hat sich bis jetzt hauptsächlich mit der Prüfung des Bodens befaßt. Diese Bodenanalyse ist auf Ackerland unentbehrlich, da zuweilen durch Kupfermangel auch Ertragsverluste ohne Mangelerscheinungen vorkommen.

Zur Bestimmung des für die Pflanzen verfügbaren Kupfers im Boden wurde bis vor kurzem in den Niederlanden die *Aspergillus niger-Methode* verwendet (1). Obgleich diese Methode befriedigende Resultate lieferte, hatte sie doch auch *Nachteile*. Im Vergleich mit den rein chemischen Methoden ist sie nämlich komplizierter und zeitraubender, so daß sie für Serienbestimmungen weniger geeignet ist. Überdies ist die Skala bei hohem Kupfergehalt nicht kontinuierlich, wodurch die Analysenfehler sich vergrößern. Deswegen war es erwünscht, diese mikrobiologische Methode durch eine chemische zu ersetzen.

Wir haben das *Aspergillus-Verfahren* mit zwei chemischen Methoden verglichen, und zwar mit der *Salpetersäuremethode* und der *Komplexonmethode* (2). Es erwies sich, daß die *Salpetersäuremethode* den beiden anderen überlegen ist. Der Kürze wegen sei hier nur die *Salpetersäuremethode* besprochen. Wir haben diese Methode in Gefäßversuchen und in Feldversuchen auf Sandböden mit schwankendem Humusgehalt und auf Fehnkolonieböden geprüft. Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen der *Kupfersalpetersäurezahl* und dem *relativen Kornertag* des Sommerweizens bei 70 verschiedenen Böden in einem Gefäßversuch

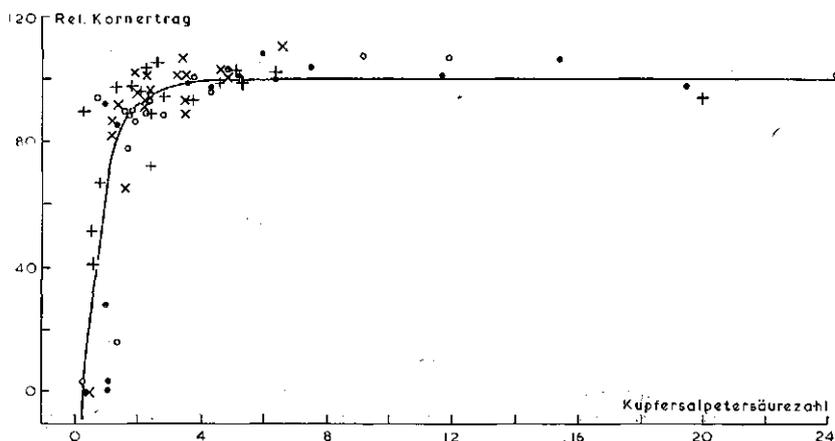


Abb. 1

Zusammenhang zwischen der *Kupfersalpetersäurezahl* und dem *relativen Kornertag* des Sommerweizens bei 70 verschiedenen Böden in einem Gefäßversuch

Sommerweizens (Rasse Peko) bei 70 verschiedenen Böden in einem Gefäßversuch. Hieraus folgt, daß die Kupfersalpetersäurezahl für Weizen 4 oder höher sein soll.

Abbildung 2 zeigt denselben Zusammenhang für 68 Versuchsfelder. Hier fand man denselben Grenzwert. Wie beide Abbildungen zeigen, kann die Schwankung in der Reaktion auf eine Kupferdüngung bei Böden mit niedrigem Kupfergehalt groß sein. Dies konnte nicht auf Unterschiede in den bekannten Bodenfaktoren [pH (KCl), K- und P-Zustand, Tongehalt, Gehalt an organischer Substanz] zurückgeführt werden.

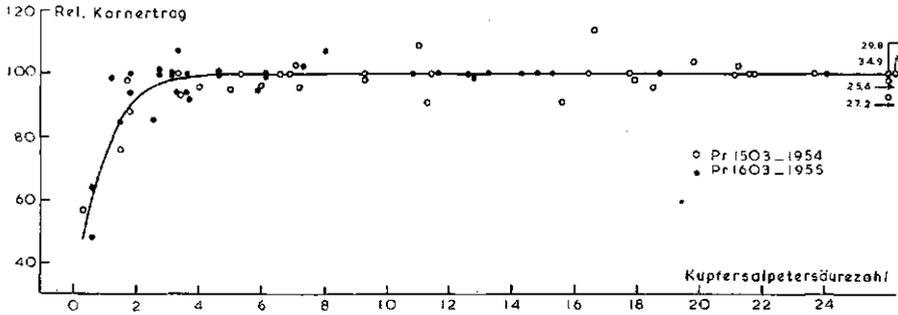


Abb. 2

Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem relativen Kornertrag des Sommerweizens auf 68 Versuchsfeldern

Hafer ist gegen Kupfermangel weniger empfindlich als Weizen. Das zeigt sich auch in dem Grenzwert. In Abbildung 3 wird der Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem relativen Kornertrag des *Hafers* (Rasse Marne) angegeben. Hieraus kann ein Grenzwert von ca. 3 abgeleitet werden.

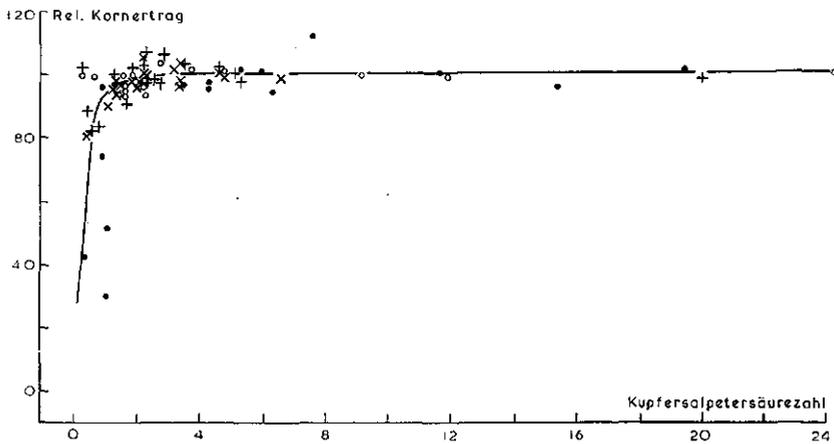


Abb. 3

Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem relativen Kornertrag des *Hafers* bei 70 verschiedenen Böden in einem Gefäßversuch

Wenn der Kupfergehalt des Bodens zu niedrig ist, kann er auf verschiedene Weise erhöht werden. Eine Düngung mit 50 kg *Kupfersulfat* pro ha genügt fast immer. Es versteht sich, daß bei leichtem Mangel eine geringere Menge genügt.

Eine Düngung mit 400 kg Kupferschlackenmehl hat denselben Effekt. Es sei noch bemerkt, daß eine nicht unbedeutende Kupfermenge dem Boden durch Spritzung der Kartoffeln mit kupferhaltigen Präparaten gegen Phytophthora zugeführt wird.

Wie schon angedeutet, wurde bei den Feld- und Gefäßversuchen kein Einfluß des pH-Wertes auf den Grad des Kupfermangels festgestellt. Jedoch zeigte sich, daß eine frische Kalkung den Grad des Kupfermangels erhöht und damit den Ertrag erniedrigt [Abb. 4 (3)]. Auch fand MULDER (4), daß bei größeren Stickstoffgaben mehr Kupfer benötigt wird.

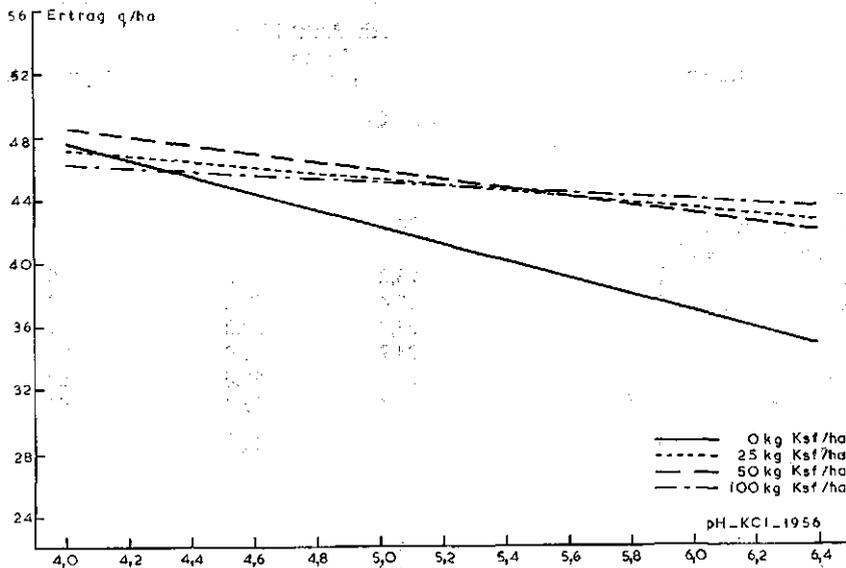


Abb. 4

Einfluß der Kalkung eines Bodens mit niedrigem Kupfergehalt bei verschiedenen Mengen Kupfersulfat auf den Ertrag ($q = 100$ kg)

Oben wurde gezeigt, daß Hafer und Weizen ungleich empfindlich sind. Es gibt jedoch auch Unterschiede zwischen den Rassen. In Tabelle 1 werden Beispiele hierfür gegeben. Die hier genannten Rassen wurden in einem Gefäßversuch auf einem Boden mit niedrigem Kupfergehalt kultiviert. Die Haferrasse „Schwarzer Präsident“ ist am wenigsten empfindlich, daher sehr beliebt bei der Urbarmachung. Sowohl bei den gelben wie bei den weißen Rassen sind die Unterschiede sehr groß. Die gelbe „Civena“ gibt ohne Kupfergabe noch 85% des Ertrags bei einer Düngung mit 50 kg Kupfersulfat. „Svalöfs Goldregen“ gibt dagegen nur 31%. Von den weißen Rassen ist „Marne“ am wenigsten empfindlich mit einem relativen Ertrag von 81%, während der sehr empfindliche „Svalöfs Siege“ nur 31% lieferte.

Alle in diesen Versuch aufgenommenen Weizenrassen sind empfindlicher für Kupfermangel als die Haferrassen. Zwischen den Weizenrassen gibt es aber auch Unterschiede.

Kupfermangel auf Grünland beeinflusst nicht so sehr den Ertrag als vielmehr den Gesundheitszustand des Viehs. Hierbei muß man absoluten und induzierten Kupfermangel des Tieres unterscheiden. Absoluter Kupfermangel wird durch eine

zu geringe Aufnahme von Kupfer herbeigeführt. Sein Auftreten ist also vom Kupfergehalt des Grases abhängig. Es ist jedoch möglich, daß dessen Kupfergehalt hoch ist und die Tiere doch unter Kupfermangel leiden, weil sie das Kupfer aus irgendwelchen Ursachen nicht verwerten können. Diese Form nennt man *induzierten* Kupfermangel.

Tab. 1:

Einfluß einer Düngung mit Kupfersulfat (50 kg/ha) auf den Ertrag verschiedener Hafer- und Weizenrassen in einem Gefäßversuch mit einem Boden mit niedrigem Kupfergehalt

Rasse	durchschnittlicher Ertrag g/Gefäß		relativer Ertrag
	ohne Cu	mit Cu	
Hafer:			
Schwarzer Präsident (Niederländische Landrasse)	24,9	25,9	96
Civena	23,2	27,2	85
Svalöfs Goldregen II	10,4	27,2	38
Marne	23,6	29,2	81
Nestor	24,7	31,8	78
Zandster	23,0	33,6	68
Svalöfs Adler	18,4	27,4	67
Abed Minor	13,9	28,7	48
Svalöfs Siege	9,1	29,0	31
Weizen:			
Japhet	1,8	7,8	23
Heines Koga II	4,9	23,3	21
von Hoek	1,7	19,0	9
Blanka	0	17,7	0
Heines Peko	0	18,6	0
Carpo	0	20,0	0

Bei diesen Untersuchungen haben wir uns die Frage gestellt, ob der Kupfergehalt des Grases mittels Bodenanalyse vorauszusagen ist. Dazu wurde bei 70 verschiedenen Böden in Gefäßversuchen der Einfluß einer Kupferdüngung auf den Kupfergehalt des *Weidelgrases* (*Lolium perenne*) und des Rotklees studiert. Die Kupferdüngung wurde ein Jahr vor dem Einsäen des Grases bzw. des Rotklees verabreicht.

Der Kürze wegen sollen nicht die verschiedenen Schnitte einzeln besprochen werden, sondern die Mittelwerte der drei Schnitte. Abbildung 5 gibt den Zusammenhang zwischen der *Kupfersalpetersäurezahl* des Bodens und dem *Kupfergehalt* des Grases an.

Sie zeigt, daß der Zusammenhang gut ist. Die Streuung kann z.T. auf Unterschiede im *Humusgehalt* und *pH-Wert* zurückgeführt werden, mit welchen Faktoren eine Korrelation festgestellt werden konnte. Bei einem Humusgehalt niedriger als 4% wurde eine negative Korrelation zwischen dem Humusgehalt und dem Kupfergehalt des Grases gefunden; bei höherem Gehalt wurde kein Einfluß des Humusgehaltes festgestellt (Abb. 6).

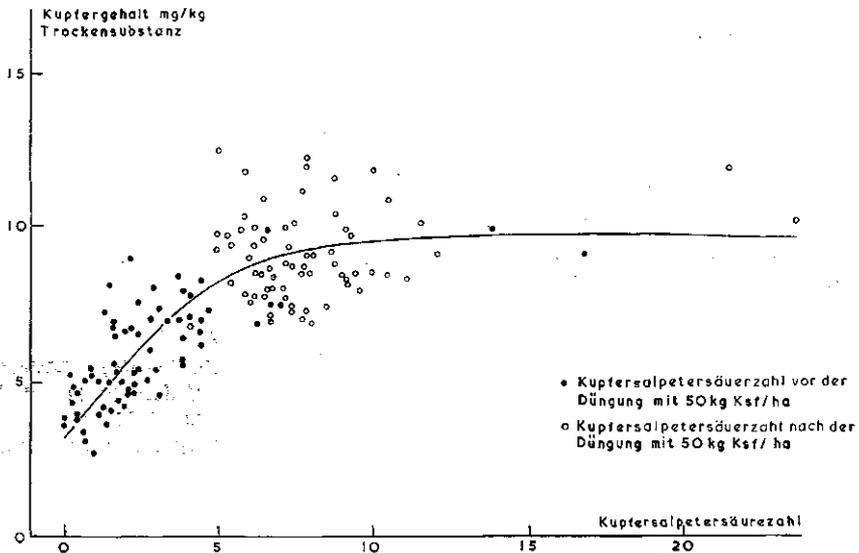


Abb. 5

Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem Kupfergehalt des Weidelgrases (*Lolium perenne*). Mittelwerte von 3 Schnitten in einem Gefäßversuch (Ksf = Kupfersulfat).

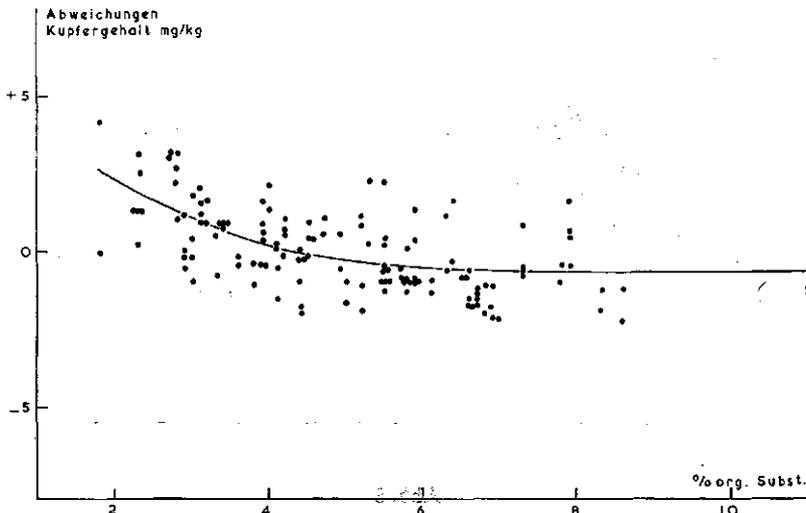


Abb. 6

Einfluß des Gehaltes an organischer Substanz auf den Kupfergehalt des Weidelgrases (abgeleitet aus Abb. 5)

Aus Abbildung 7 folgt, daß bei sehr niedrigen ($< 4,0$) und sehr hohen pH (KCl)-Werten ($> 6,0$) der Kupfergehalt deutlich geringer ist.

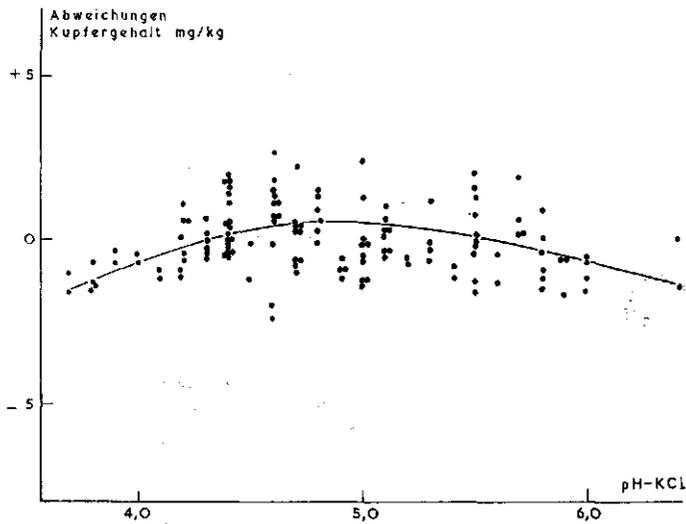


Abb. 7
Einfluß des pH-Wertes
auf den Kupfergehalt
des Weidelgrases
(abgeleitet aus Abb. 5)

Abbildung 8 gibt den Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl des Bodens und dem Kupfergehalt des Grases nach Korrektur auf Humusgehalt (4%) und pH-Wert (pH (KCl) 4,2 oder 5,7).

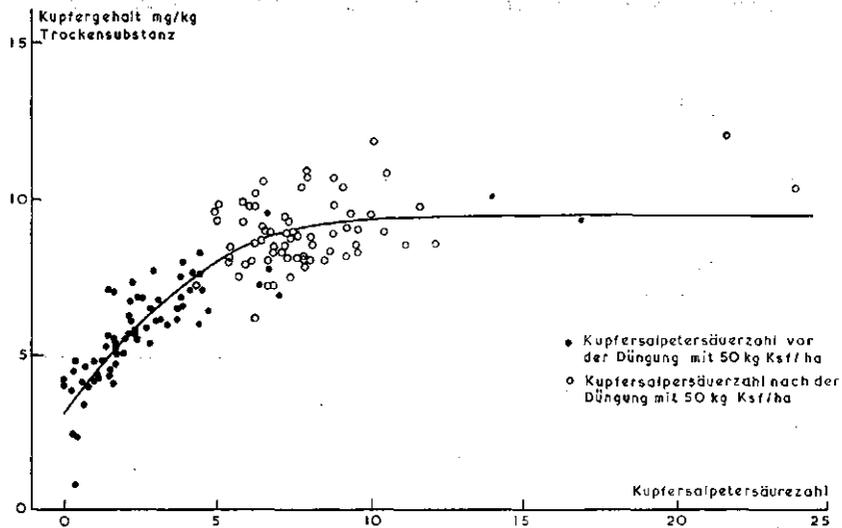


Abb. 8

Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem Kupfergehalt des Weidelgrases nach Korrektur auf den Gehalt an organischer Substanz (4%) und pH-Wert (pH (KCl) 4,2 oder 5,7) (Ksf = Kupfersulfat)

Auch zwischen dem Kupfergehalt des Rotklees und der Kupfersalpetersäurezahl des Bodens besteht ein deutlicher Zusammenhang (Abb. 9). Die Streuung wird hauptsächlich durch den großen Unterschied im Ertrag verursacht. Wenn man nur die Böden mit guten Erträgen in Betracht zieht, ist der Zusammenhang viel besser.

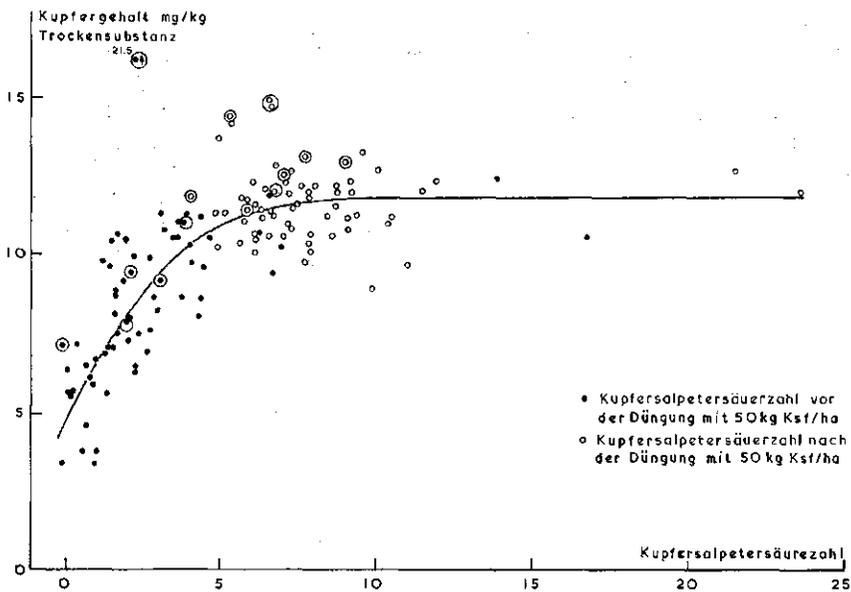


Abb. 9

Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem Kupfergehalt des Rotklee, Mittelwerte von 3 Schnitten in einem Gefäßversuch. Die umkreisten Punkte beziehen sich auf die Böden mit einem schlechten Ertrag an Klee (Ksf = Kupfersulfat).

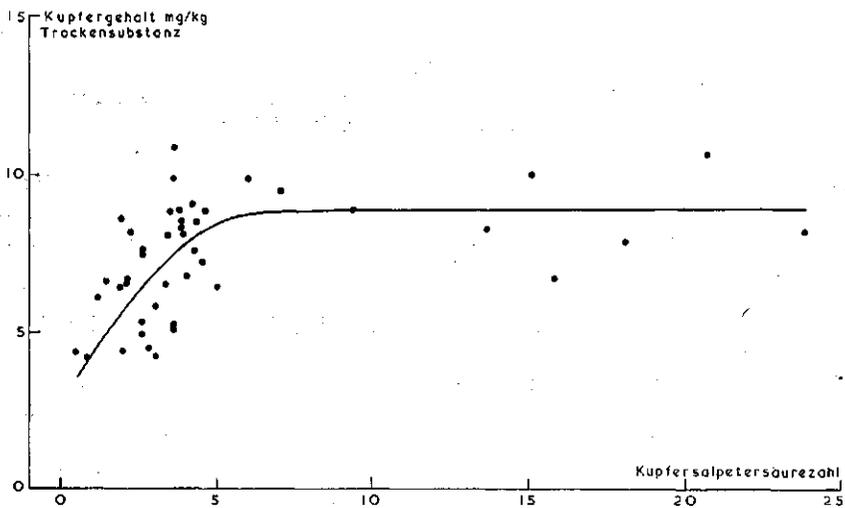


Abb. 10

Zusammenhang zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem Kupfergehalt des Grases auf Dauergrasland

Sowohl Abbildung 8 als auch Abbildung 9 zeigen, daß eine Kupfersalpetersäurezahl über 5 den Kupfergehalt der Pflanzen kaum steigert. Dasselbe ist der Fall auf Dauergrasland (Abb. 10). Man kann also sagen, daß eine Düngung mit Kupfer bei einer Kupfersalpetersäurezahl des Bodens über 5 keinen Sinn hat.

Es ist nun die Frage, ob es sich empfiehlt, Grasland mit Kupfer zu düngen. Leider ist noch nicht genügend bekannt, welcher Kupfergehalt des Grases erwünscht ist. Allgemein wird angenommen, daß keine Gefahr für absoluten Kupfermangel besteht, wenn der Kupfergehalt wenigstens 6—7 mg/kg Trockensubstanz beträgt.

Aus den Abbildungen 8 und 10 ergibt sich, daß ein Kupfergehalt des Grases von etwa 7 mg erreicht wird bei einer Kupfersalpetersäurezahl des Bodens von etwa 4, also bei dem Grenzwert, der notwendig ist, um bei Weizen gegen Kupfermangel gesichert zu sein. Abbildung 11 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kupfergehalt des Weidelgrases und dem relativen Ertrag des Sommerweizens, wie dieser in Gefäßversuchen festgestellt wurde.

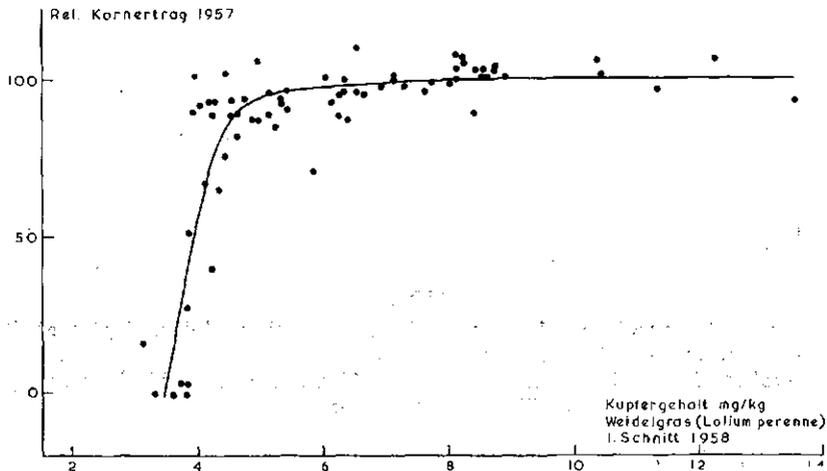


Abb. 11

Zusammenhang zwischen dem Kornertrag des Sommerweizens
und dem Kupfergehalt des Weidelgrases

Nun sieht man deutlich, daß ein Kupfergehalt des Weidelgrases von 7 mg einen maximalen Ertrag des Weizens sichert. Daher glauben wir, daß man beim Einsäen des Graslands Sorge tragen muß, daß die Kupfersalpetersäurezahl höher ist als 4. Man hat dann die Sicherheit, daß der Kupfergehalt des Grases höher sein wird als 7 mg/kg Trockensubstanz. Die Düngung soll im letzten Jahre des Ackerbaues stattfinden, da man dann den Vorteil hat, daß das Kupfer gut mit der Krume vermischt wird.

Auch bei Dauergrünland könnte man sagen, daß ein niedriger Kupfergehalt des Bodens nicht erwünscht ist, da dann ein niedriger Kupfergehalt des Grases wahrscheinlich ist. Hier macht aber das Einbringen des Kupfers in den Boden Schwierigkeiten. Die Verteilung in der ganzen Krume ist unserer Ansicht nach sehr wichtig, da GOEDEWAAGEN (pers. Mitt.) fand, daß in einer Dürreperiode die Wurzeln des Grases in der Schicht von 0—2 cm tot oder wenigstens weniger aktiv sind. Außerdem ist vielfach konstatiert worden, daß der Kupfergehalt des Grases im Sommer durch eine Kupferdüngung im Frühjahr nicht erhöht wird.

Unsere Feldversuche haben gezeigt, daß im Jahre der Düngung das Kupfer kaum tiefer als 2,5 cm in den Boden eindringt. Der Einfluß einer Kupferdüngung auf den Kupfergehalt eines Tonbodens in verschiedenen Tiefen ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Die Düngung wurde im Frühjahr 1959 ausgeführt und im Frühjahr 1960 wiederholt.

Aus Tabelle 2 sieht man, daß die 1959 durchgeführte Kupferdüngung den Kupfergehalt des Bodens bis zu 2 cm Tiefe im Dezember 1960 stark erhöht hat. Der Gehalt in der Schicht 2—5 cm wurde dabei kaum erhöht.

Tab. 2:

Einfluß einer Düngung mit Kupfersulfat (Ksf) und Kupferschlackenmehl (Ksm) im Frühjahr 1959 und im Frühjahr 1960 auf den Kupfergehalt (Cu-HNO₃-Zahl) eines Tonbodens in mg/kg in verschiedenen Tiefen im Dezember 1960

Kupferdüngung im Frühjahr 1959	Kupfergehalt des Bodens in mg/kg im Dezember 1960					
	Düngung nicht wiederholt			Düngung 1960 wiederholt		
	0—2 cm	2—5 cm	0—5 cm	0—2,5 cm	2,5—5 cm	0—5 cm
0	4,9	3,7	4,9	5,2	3,8	4,9
12,5 kg Ksf (3,14 kg Cu)/ha	10,1	3,5	7,1	16,2	3,6	11,2
25,0 kg Ksf (6,28 kg Cu)/ha	17,0	4,1	9,9	37,2	4,8	16,6
50,0 kg Ksf (12,55 kg Cu)/ha	34,4	4,2	17,0	62,8	4,2	32,4
312 kg Ksm (6,24 kg Cu)/ha	11,0	3,6	8,7	25,8	4,2	16,4

Das Eindringen in den ersten zwei Jahren nach der Düngung ist also gering. Aus den Ergebnissen eines Feldversuches auf Sandböden folgt, daß das Eindringen hier schneller verlief als auf den Tonböden, wenigstens in den nachfolgenden Jahren. Abbildung 12 zeigt den Einfluß einer Kupferdüngung auf den Kupfergehalt in der Schicht 2,5—5 cm eines Sandbodens. Hieraus folgt, daß eine Düngung mit Kupfersulfat im Jahre 1958 den Kupfergehalt dieser Schicht im September 1960 gesteigert hat. Diese Steigerung ist um so größer, je mehr Kupfer dem Boden zugeführt wurde.

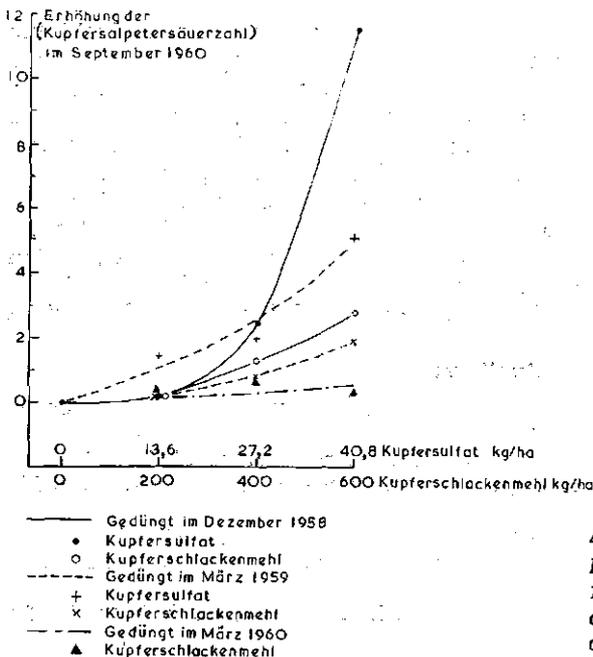


Abb. 12

Einfluß von Kupferdüngung 1958—1960 auf den Kupfergehalt der Schicht 2,5—5 cm im Jahre 1960 auf einem Sandboden

Mit 600 kg Kupferschlackenmehl wurden 9,6 kg reines Kupfer gegeben. Dies verursachte eine Steigerung des Kupfergehaltes in der Schicht von 2,5—5 cm um 2,8 mg/kg, also um nur 0,4 mg/kg mehr als durch 27,2 kg Kupfersulfat, womit nur 6,4 kg reines Kupfer verabreicht wurden. Das Eindringen des *Sulfatkupfers* verläuft also viel schneller als aus *Schlackenmehl*.

Bei einer Düngung im März 1959 war die Erhöhung des Kupfergehaltes in der Schicht 2,5—5 cm im September 1960 (sowohl mit Kupfersulfat als mit Kupferschlackenmehl) bereits geringer; das im März 1960 gegebene Kupferschlackenmehl beeinflusste den Kupfergehalt dieser Schicht im September 1960 nicht mehr nachweisbar. Hierbei muß bemerkt werden, daß 1960 der große Regenfall erst Ende Juni einsetzte. Die Möglichkeit, daß viel Regen kurz nach der Düngung eine Einsickerung verursacht, soll nicht ausgeschlossen werden (5).

Obgleich es noch unbekannt ist, welche Folgen diese Tatsachen für den Kupfergehalt des Grases haben, ist es unserer Ansicht nach empfehlenswert, eine Kupferdüngung auf Grasland möglichst früh durchzuführen. Vor dem Einsäen soll der Kupferzustand des Bodens richtiggestellt werden.

Zusammenfassung

Im Institut für Bodenfruchtbarkeit in Groningen wurden zwei chemische Methoden zur Bestimmung des für die Pflanzen verfügbaren Kupfers im Boden mit dem Aspergillus-Verfahren verglichen. Hieraus erwies sich, daß die Salpetersäuremethode den beiden anderen überlegen ist.

Die Salpetersäuremethode wurde in vielen Feldversuchen mit Weizen und Hafer geprüft. Hieraus ist zu folgern, daß die Kupfersalpetersäurezahl (Kupfergehalt in mg/kg Boden) 3 oder höher sein soll für Hafer und 4 oder höher für Weizen.

Neben dem Kupfergehalt des Bodens beeinflussen auch andere Faktoren den Kupfermangel. Die Kupferdüngung soll bei Bekalkung kupferarmer Böden extra gegeben werden. Der Grad des Kupfermangels wird weiterhin durch die Stickstoffgabe beeinflusst. Er schwankt auch mit der angebauten Varietät.

Es wurde auch eine gute Korrelation zwischen der Kupfersalpetersäurezahl und dem Kupfergehalt des Grases festgestellt. Eine Kupfersalpetersäurezahl über 5 steigert den Kupfergehalt des Grases kaum, so daß man sagen kann, daß eine Düngung mit Kupfer bei einer Zahl über 5 keinen Zweck hat. Wir glauben, daß man beim Einsäen des Grünlands Sorge tragen muß, daß die Kupfersalpetersäurezahl höher ist als 4. Man hat dann die Sicherheit, daß der Kupfergehalt des Grases höher sein wird als 7 mg/kg Trockensubstanz. Auch auf Dauergrünland ist ein niedriger Kupfergehalt des Bodens nicht erwünscht, da dann ein niedriger Kupfergehalt des Grases wahrscheinlich ist. Da das Einbringen des Kupfers in den Boden schwierig ist, ist es zu empfehlen eine Kupferdüngung auf Grünland möglichst früh durchzuführen. Vor dem Einsäen soll der Kupferzustand des Bodens festgestellt werden.

Schrifttum

1. HENKENS, CH. H.: De waarde van de koperbepalingen met *Aspergillus niger* op bouwland. Versl. van Landbk. Onderz. **64**, 3, 1958.
2. HENKENS, CH. H.: Koperbepaling op bouwland. De waarde van chemische bepalingmethoden in vergelijking met de *Aspergillus niger* methode. Versl. van Landbk. Onderz. **67**, 10, 1961.
3. HENKENS, CH. H.: Koper op bouwland. Landbouvoorl. **14**, 581—589, 1957.
4. MULDER, E. G.: Investigation on trace elements in the Netherlands. Proc. Soil Sci. Soc. Florida **10**, 190—202, 1950.
5. HENKENS, CH. H.: Vertikale verplaatsing van koper in de grond. Landbk. T. **74**, 16—23, 1962.