

**Wirkung von Hühnerstallabluft auf Pflanzen**

von S. Hauk, R. Gutser, H.D. Zeisig<sup>1</sup>

Lehrstuhl für Pflanzenernährung TU-München-Weihenstephan  
und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik  
Freising-Weihenstephan

**Zusammenfassung**

In Gewächshausversuchen wurden verschiedene Kulturpflanzen (Weidelgras, Rotklee, Kopfsalat, Hafer, Tomaten, Buschbohnen, Fichten) mit Hühnerstallabluft ( $\text{NH}_3$ -Konzentration 3-5ppm) be-  
gast.

Das Ammoniak der Abluft verursachte folgende Pflanzenschädigungen: Blattbrandchlorosen, Welkeerscheinungen bis zu Nekrotisierungen des Pflanzengewebes, Absterben der Blätter, Nadelabwurf, "Blütenendfäule" an Tomate, Schmachtkornausbildung an Hafer.

Die Stallluft führte zu ca. 1,5-2mal höheren Frischmasseeerträgen und zu einer N-Überversorgung der Pflanzen, die sich insbesondere in Nährstoffungleichgewichten (z.B. N/K, N/Ca, N/Mg-Relation) oder niedrigeren Kationengehalten (K, Ca, Mg) als Folge eines Verdünnungseffektes bzw. Antagonismen in der Nährstoffaufnahme äußerten. Z.T. konnte der mit dem raschen Pflanzenwachstum einhergehende höhere Mineralstoffbedarf von dem gewählten Pflanzensubstrat (Einheitserde) nicht in ausreichendem Maße gedeckt werden (z.B. Mn, Cu).

Murden begaste Pflanzen wieder optimalen Bedingungen ausgesetzt, entwickelten sich diese normal weiter; die stark erhöhten N-Gehalte gingen zurück und die neuausgetriebenen Blätter wiesen keine Blattschädigungen mehr auf.

<sup>1</sup>S. Hauk und Dr. R. Gutser, Lehrstuhl für Pflanzenernährung und Dr. H.D. Zeisig, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik

### **Einleitung**

In den letzten Jahren sind in der Nähe von Stallungen mit intensiver Tierhaltung verstärkte Waldschäden zu beobachten (KÜHNE 1966, GARBBER u. SCHÜRMANN 1971, EWERT 1978).

Das mit der Stallabluft entweichende  $\text{NH}_3$  wird übereinstimmend für die Vegetationsschäden verantwortlich gemacht, da alle anderen Schadstoffe der Abluft nur in geringen Konzentrationen vorkommen. In Begasungsversuchen mit  $\text{NH}_3$  (BREDEMANN u. RADELLOFF 1932; GARBBER 1935) und Nährlösungsversuchen (SCHENK u. WEHRMANN 1979 zit. in HOOK u. ELSTNER 1988) versuchte man Auswirkung und Grenzkonzentrationen zu ermitteln. Versuche zum unmittelbaren Einfluß von Stallabluft auf Pflanzen sind uns nicht bekannt.

Das Ziel der folgenden Arbeit war es, anhand von Modellversuchen in dafür entwickelten Gewächshausanlagen die Wirkung von Hühnerstallabluft auf das Wachstum verschiedener Kulturpflanzen zu ermitteln. Ferner sollte überprüft werden, ob durch Hühnerstallabluft aufgetretene Pflanzenschädigungen unter unbelasteten Umweltbedingungen wieder rückgängig zu machen sind.

### **Versuchsdurchführung und Methodik**

Die Versuche wurden in Kleingewächshäusern mit einer Grundfläche von je  $8,8 \text{ m}^2$ , angebaut an einen Legehennenstall mit Käfighaltung, durchgeführt. Der Luftdurchsatz (Frischlufte bzw. Stallabluft) stieg von April bis August von  $900$  auf  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$  (Volumen der Gewächshäuser  $25 \text{ m}^3$ ) an. Im April und Mai sorgte eine Zusatzheizung für einen Temperaturausgleich in den Gewächshäusern. Die  $\text{NH}_3$ -Konzentration blieb während des Versuchszeitraumes weitgehend konstant ( $3\text{--}5 \text{ ppm}$ ). Der Wasserbedarf der Versuchspflanzen wurde mittels einer automatisch arbeitenden Tröpfchenbewässerung gedeckt.

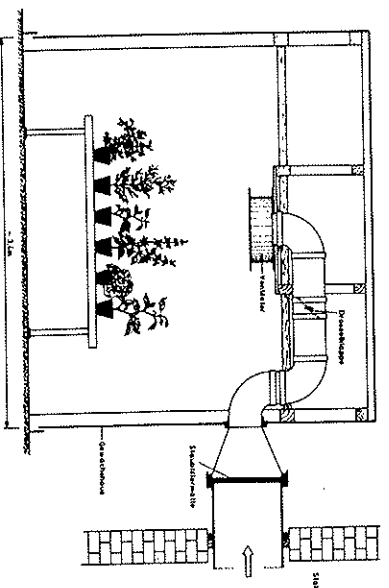


Abb. 1 Versuchsanordnung (schematisch) für Pflanzenversuche mit Hühnerstallabluftbegasung

Gefäße: nach Mitscherlich,  $5 \text{ l}$  Volumen

Substrat: Einheitserde (Typ 0)

optimale Versorgung mit P und Spurenelementen N-, K-, Mg- und Mn-Düngung erfolgte in Teilgaben je nach Bedarf

Pflanzen: ausgewählt nach Schnellwüchsigkeit,  $\text{NH}_3$ -Empfindlichkeit, Blattfläche und Nutzungshäufigkeit:

- Weidelgras (Perma) - 3 Schnitte
- Rotklee (Zuchtstamm) - 3 Schnitte
- Hafer (Pirrol)
- Kopfsalat (Britt) - 2 Aufwüchse
- Tomate (Maja)
- Buschbohne (Saxa)

Parallelzellen: 6-8

Untersuchungen:

- a) Abluft:  $\text{NH}_3$  mit Dräger-Gaspürgerät
- b) Pflanzenmaterial: N (Kjeldahl), K, Ca, Mg nach Säureaufschluß-Flammen- bzw. absorptionspektrophotometrisch

**Ergebnisse**

An nahezu sämtlichen mit Stallabluft behandelten Pflanzen wurden Schäden bzw. abnormales Wachstum beobachtet:

- Mit Ausnahme von Weidelgras, an den älteren Blätter be-  
ginnend, Chlorosen und später Blattbrandnekrosen, z.T. auf  
die gesamte Blattfläche übergreifend (z.B. Tomaten)
- Schmachtkörner bzw. Taubährigkeit an Hafer; "Blütenendfäule"  
an Tomaten
- Abnormale Größe und z.T. Abwurf der Nadeln, Seitentriebbil-  
dung ("Johannistriebe") an Fichten

Die Stallabluftbegasung beeinträchtigte deutlich Erträge und Mineralstoffgehalte der Pflanzen.

**1. Erträge**

Das Ertragsniveau der "Stallluftvarianten" war stets höher als das der Kontrollen (Tab.1).

Tab. 1 Wirkung von Hühnerstallabluft auf den Ertrag (TS) verschiedener Kulturpflanzen

Kulturpflanze	relativ	100
Frischluff	100	
Kopfsalat	177	
Rotklee	158	
Hafer (9 Wochen)	156	
Weidelgras	141	
Buschbohnen	140	
Fichten ("Walttriebe")	133	
Tomaten (13 Wo.)	118	
Tomaten (18 Wo.)	92	

Mit Abluft erreichten Weidelgras und Rotklee (je 3 Schnitte) 2 (2. Schnitt) bzw. 1,5 fach (3. Schnitt) höhere Erträge als die Kontrolle (Abb.2).

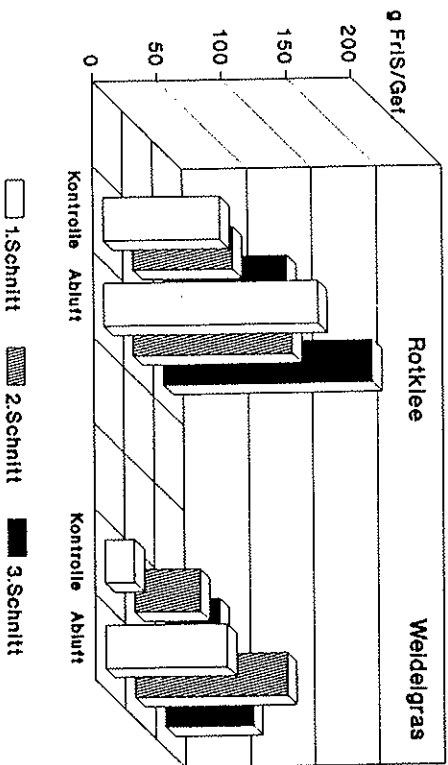


Abb. 2 Wirkung von Hühnerstallabluft auf den Ertragsverlauf von Rotklee und Weidelgras

Ähnliche Wirkungen traten an Hafer und Tomaten auf; die vegetative und generative Phase wurde allerdings unterschiedlich beeinflusst (Tab.2 und Tab.3).

Tab. 2 Erträge von Hafer

Entwicklungs- Organe stadium	Frischluff g TS/Gef.	Abluft Frischluft=100
Stadium EC 55 (9 Wo. Abluft)		
Ähren	8,3	140
Fahnenblatt	2,3	226
Halm	5,7	112
Restpflanze	15,0	207
Stadium EC 87 (12 Wo. Abluft)		
Ähren	59,8	40
Tausendkorngewicht (g)	37,8	34

Tab. 3 Erträge von Tomaten

Entwicklungs- stadium	Organe	Frischluft g TS/Gef.	Abluft Frischluft=100
<b>vegetative Phase</b> (13 Wo. Abluft)			
	ges. Sproß	65,7	118
	Stengel	21,1	108
	ältere Blätter	17,9	136
	mittlere Blätter	22,0	124
	jüngere Blätter	4,7	64
<b>generative Phase</b> (18 Wo. Abluft)			
	Sproß o. Früchte	108,9	116
	Früchte	73,1	56

Das NH<sub>3</sub> der Abluft wurde offenbar von den Pflanzen über die Blätter aufgenommen und regte das vegetative Wachstum stark an. Eine erhöhte Bestockung (Hafer) wirkte sich allerdings nachteilig auf die Ähren- und Kornausbildung aus. Auch an Tomaten war ein verstärktes vegetatives Wachstum zu beobachten, die Fruchtausbildung war jedoch gestört (Blütenendfäule).

2. Mineralstoffgehalte

Alle mit der Stallabluf begasten Versuchspflanzen zeigten höhere N-Gehalte, aber stets niedrigere K-Gehalte. Die Auswirkung auf die Ca- und Mg-Gehalte war nicht immer eindeutig (Abb. 3 - Rotklee).

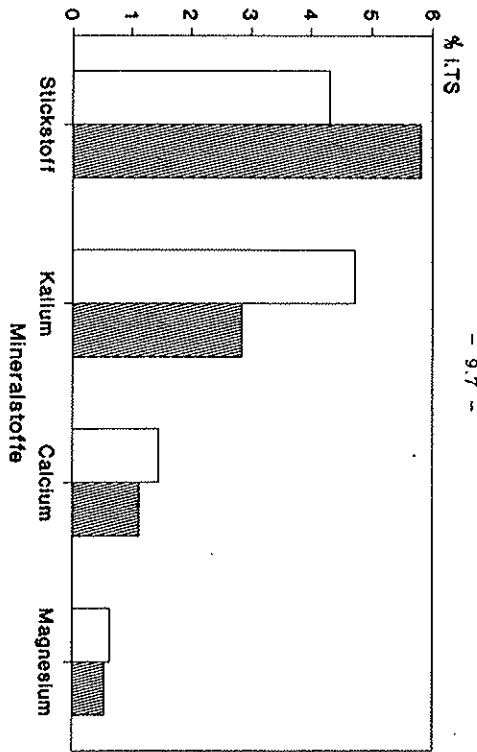


Abb. 3 Wirkung von Hühnerstallabluf auf die Mineralstoffgehalte von Rotklee

Auch Kopfsalat reagierte im wesentlichen durch höhere N- und niedrigere K-Gehalte - die NH<sub>3</sub>-Gehalte jüngerer Blätter betragen in der "Abluftvariante" 9mg N dagegen in der Kontrolle nur 0,6mg N/100g Fris.

Trotz geringerer K-Gehalte der Pflanzen lag der K-Entzug in den "Stallluftvarianten" z.T. höher als in der Kontrolle (Tab. 4), bedingt durch eine höhere TS-Produktion (Verdünnungseffekt).

Tab. 4 K-Gehalt (% i.TS) und K-Entzug (mg) verschiedener Versuchspflanzen

Pflanzentyp	K-Gehalt (% i.TS)		K-Entzug (mg)	
	Frischluft	Abluft	Frischluft	Abluft
<b>Rotklee (3. Schnitt)</b>				
K-Gehalt	4,59	3,44		
K-Entzug	49,0	69,5		
<b>Weidelgras (2. Schnitt)</b>				
K-Gehalt	4,27	3,03		
K-Entzug	27,8	45,5		
<b>Kopfsalat</b>				
K-Gehalt	3,05	2,04		
K-Entzug	36,6	45,1		

Das durch die erhöhte  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Aufnahme hervorgerufene Nährstoffungleichgewicht zwischen N einerseits und  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  und  $\text{Mg}^{++}$  andererseits läßt sich durch den Quotienten N/Kationen gut aufzeigen (Tab.5). So weisen z.B. Tomaten der "Stallluftvariante" mit 22 einen sehr hohen N/Ca-Quotienten auf (6,0% N und 0,27% Ca i.TS). Die Folge dieser Nährstoffimbalance war u.a. die beobachtete "Blütenendfäule", eine typische Störung der Ca-Versorgung während der Fruchtansatzbildung der Tomate. Auch Nadelanalysen an Koniferen bestätigen den schon erwähnten Sachverhalt.

Tab. 5 N-Gehalt und Quotient N/Kationen verschiedener Pflanzen

Pflanze Behandlung	% N i. TS	N/K	N/Ca	N/Mg
Weidelgras (geringe Blattschäden) - 2. Aufwuchs				
Frischluft	4,6	1,1	9,3	11,2
Abluft	5,1	1,7	7,9	13,7
Rotklee (Chlorosen und Blattrandnekrosen) - 3. Aufwuchs				
Frischluft	4,7	1,0	3,3	8,5
Abluft	5,9	1,7	5,4	11,1
Tomaten (Blütenendfäule) - jüngere Blätter				
Frischluft	2,9	1,0	3,1	11,2
Abluft	6,0	2,5	22,3	30,2
Kopfsalat (Innenblattnekrosen, Fäulnis) - Sproß				
Frischluft	1,3	0,4	1,3	4,9
Abluft	4,7	2,3	4,3	14,7
Fichten (Seitentriebbildung) - Nadeln des letztjährigen Triebes				
Frischluft	1,6	2,5	5,0	26,7
Abluft	3,7	7,4	8,4	46,3

### 3. Regeneration

Nach einer 4 wöchigen Regenerationsphase (mit Stallluft begaste Pflanzen wurden unbelasteten Umweltbedingungen ausgesetzt) zeigten die Pflanzen ein weitgehend normales Wachstum. Die Ertragsunterschiede der zu vergleichenden Varianten waren nicht mehr signifikant. Die höheren Erträge der "Abluftvarianten" dürften im wesentlichen auf höhere N-Reste des Substrates (nicht ausgenutzter Dünger-N) zurückzuführen sein (Tab.6). Die stark erhöhten N-Gehalte der behandelten Pflanzen gleichen sich denen der Kontrollpflanzen weitgehend an; die neu ausgetriebenen Pflanzenteile wiesen keine Blattschädigungen mehr auf.

Tab. 6 Regeneration (4 Wo.) von Rotklee und Weidelgras nach 2 wöchiger Abluft-Einwirkung  
Erträge (g TS/Gef.) und N-Gehalte (% i. TS) im letzten Begassungs- bzw. 1. Regenerations-Aufwuchs

Pflanzenart Behandlung	g TS/Gef. Begassung Rege- neration	% N i. TS Begassung Rege- neration
Rotklee		
Frischluft	10,7	18,2
Abluft	20,2	23,4
Weidelgras		
Frischluft	6,2	17,7
Abluft	10,4	12,8

### Diskussion

Das mit der Abluft aus Intensivstallhaltungen entweichende  $\text{NH}_3$  führte zu einem stark angeregten Pflanzenwachstum:  $\text{NH}_3$  wird über die Spaltöffnungen aufgenommen und dient der Pflanze als Stickstoffquelle (SCHWERDTREGER 1957). Nach ca. einwöchiger Begassung traten erste Schädigungen auf: Blattrandchlorosen und Nekrosen bis hin zu Absterbeerscheinungen der Blätter bzw. Nadelabwurf an Koniferen.

Weiteres Einwirken von  $\text{NH}_3$  führte schließlich zum Welken und Vertrocknen der Blätter (s.a. VAN HAUF, 1979). An Tomaten waren Gerbstoff- od. Eiweiß-Ausfällungen zu erkennen - nach BOKORNY (1915) und GARBER (1935) führen  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Ionen zu einer Erhöhung des pH-Wertes des Cytosols und folglich zu einer Koagulation des Zelleiweißes, die sich nach GARBER und SCHÜR-MANN (1971) als dunkle Färbungen an Blättern manifestieren. Die von VAN DER ERDEN (1982) festgestellte unterschiedliche Empfindlichkeit der Pflanzen gegenüber  $\text{NH}_3$  konnte bestätigt werden. Weidelgras war weitgehend unempfindlich; Tomaten, Buschbohnen und Kopfsalat erwiesen sich hingegen als wesentlich empfindlicher und zeigten erhebliche Blattschädigungen. Neben morphologischen Eigenschaften (starke Cuticula, große Assimilationsflächen) sind Entwicklungs- und Ernährungszustand der Pflanzen mitentscheidend für die Empfindlichkeit gegenüber  $\text{NH}_3$ . Gut ernährte Pflanzen mit hohen Kohlenhydratreserven vertragen Ammoniak wesentlich besser als schlecht ernährte (BREDEMANN u. RADELOFF 1932). Wohl deshalb zeigten die optimal kultivierten Pflanzen erst nach 8-14 Tagen erste Schäd- bzw. Mangelsymptome.

Aufgetretene Chlorosen lassen auf eine Schädigung der Chloroplasten durch  $\text{NH}_3$  schließen. Das Wirkungsprinzip von  $\text{NH}_3$  bzw.  $\text{NH}_4^+$  ist noch nicht exakt geklärt. Nach HEBBER u. PURZELD (1977) zit. in MENGEL (1984) kann nur  $\text{NH}_3$ , die Chloroplastenmembran durchdringen (biologische Membranen sind für  $\text{NH}_3$ , gut permeabel), d.h.  $\text{NH}_4^+$  muß zunächst an der äußeren Chloroplastenmembran deprotoniert werden (pH-Absenkung des Außenmediums).  $\text{NH}_3$  dringt durch das Stroma bis in das Thylakoid-Innere vor und wird aufgrund des vorliegenden niedrigen pH-Wertes (pH 5) protoniert. Der für die ATP-Synthese notwendige  $\text{H}^+$ -Gradient wird abgebaut und letztlich die Photophosphorylierung durch  $\text{NH}_3$  entkoppelt.

Damit einhergehender Energiemangel verringert die Stoffwechsellaktivität der Pflanzen, so daß  $\text{NH}_3$  trotz ausreichender Kohlenhydratversorgung nicht mehr in Aminosäuren bzw. Amide entgiftet werden kann.

Nach einer sechswöchigen Stallluftbegasung mit einer  $\text{NH}_3$ -Konzentration von 3-5ppm konnte in Pflanzenextrakten (Tomatenblätter) ein pH-Anstieg von 0,2-0,4 gemessen werden (pH-Frischlufte: 5,4; pH-Abluft: 5,7). THORNTON u. SETTERSTOM (1939/41) zit. in GARBER (1967) berichten von sehr deutlichen pH-Veränderungen im Zellsaft von Tomatenblättern (1000 ppm  $\text{NH}_3$  erhöhten den pH-Wert nach einer Minute um 0,8, nach zwei Minuten um 2,0 und nach 40 Stunden um 3,1 Einheiten). Durch den Übertritt von  $\text{NH}_3$  in die Vakuole (pH 5 bis 5,5) wird  $\text{NH}_3$  protoniert und der  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt in der Vakuole steigt an (GOLDBACH 1989). In Blättern von Kopfsalat der "Stallluftvariante" konnten wir  $\text{NH}_4^+$ -Gehalte von 8-9 mg N gegenüber der Kontrolle mit 0,6 mg N/100g Fris feststellen.

Die N-Überversorgung durch die Stallluft führte zu Ungleichgewichten im Mineralstoffhaushalt (z.B. N/K-, N/Ca-, N/Mg-Relation) und möglicherweise auch zu einem induzierten Nährstoffmangel (Mn, Ca, Cu, K, Mg) als Folge eines Verdünnungseffekts, da dem enormen Wachstumsschub der Pflanzen kein adäquates Mineralstoffangebot über die Einheitserde zur Verfügung stand. Hafer war zum Zeitpunkt des größten vegetativen Wachstums von der "Dörrfleckenkrankheit" befallen, die mit einer gezielten Mn-Düngung beseitigt werden konnte. Die z.T. völlig unterbliebene Kornausbildung dürfte substratbedingt auf Cu-Mangel zurückzuführen sein (niedriges Cu-Angebot aus Einheitserde (70% Torf), verzögerte Seneszenz und Retranslokation von Cu aus mit N-überversorgten Pflanzenteilen (LONERAGAN et al., 1980)). An Tomaten kam es zwar zur Fruchtausbildung, aber zu keiner normalen Frucht reife. Diese "Blütenendfäule" ist die Folge einer gestörten Ca-Versorgung der Frucht.

Der Rückgang der Kalium-, und z.T. der Calcium- und Magnesiumgehalte kann auch auf einen Kationenantagonismus zurückgeführt werden. Gasförmiges  $\text{NH}_3$ -Angebot bewirkt sowohl im Boden als auch in der Pflanze (Aufnahme über die Stomata) ein erhöhtes  $\text{NH}_4^+$ -Angebot mit ungünstigen Auswirkungen auf Aufnahme und Translokation von Kationen ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ) in der Pflanze. Die durch die Begasung der Pflanzen mit Stallluft ausgelöste Veränderung des vegetativen Wachstums ist weitestgehend reversibel. In einer 4-5 wöchigen Regenerationsphase unter üblichen Kulturbedingungen zeigten neugebildete Blätter keine Schäden und die Mineralstoffgehalte (N,K) entsprachen normal ernährten Pflanzen.

#### Literaturverzeichnis

- BOKORNY, TH. (1915): Bildung von Ammoniak durch das Zellen-eiweiß.  
Biol. Ztbl. 35, S. 25-30
- BREDEMANN, G.; RADELOFF, H. (1932): Über Schädigungen von Pflanzen durch Ammoniakgase und ihren Nachweis.  
Ztschr. Pflanzenkrankheiten 42, S. 457-465
- ERDEN, I.J.M. van der (1982): Toxicity of Ammonia to plants.  
Agriculture and Environment 7, S. 223-235
- EWERT, E. (1978): Vegetationsschäden in der Umgebung landwirtschaftlicher Tierproduktionsanlagen.  
Luft- und Kältetechnik 4, S. 218-220
- GARBBER, K. (1935): Über die Physiologie der Einwirkung von Ammoniak-Gasen auf die Pflanzen.  
Landwirtsch. Versuchsstat. 123, S. 277-344
- GARBBER, K. (1967): Luftverunreinigung und ihre Wirkungen.  
Gebäude Borntraeger; Berlin-Nikolassee
- GARBBER, K.; SCHÜRMAN, B. (1971): Wirkung und Nachweis von Ammoniak-Immissionen in der Nähe von Großstallungen.  
Landwirtschaftliche Forschung 26/I., S. 36-40
- GOLDBACH, H. (1989): Persönliche Mitteilung

- HAUT, H. van, PRINZ, B.; HÖCKEL, F.E. (1979): Ermittlung der relativen Phytotoxizität von Luftverunreinigungen im LIS-Kurzzeittest - Verschiedene organische Komponenten von Ammoniak -  
Schriftenreihe der Landesanstalt für Emissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 49
- HOCK, B.; ELSNER, E.F. (1988): Schadwirkungen auf Pflanzen.  
Bibliographisches Institut Mannheim / Wien / Zürich.  
B.I.- Wissenschaftsverlag, S. 272/273
- KÜHNLE, H. (1966): Absterbeerscheinungen an Koniferen in der Nähe von Hühnerställen mit Entlüftung durch Ventilatoren.  
Nachrichtentbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) 18, S. 121-123
- IONERAGAN, J.F.; SNOWBALL, K.; ROBSON, A.D. (1980): Copper supply in relation to content redistribution of copper among organs of the wheat plant.  
Ann. Bot. 45 (1980), S. 621-632
- MENGEL, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze.  
Gustav Fischer Verlag Stuttgart, S. 66-73
- SCHMERDTFEGGER, F. (1957): Die Waldkrankheiten.  
2. Aufl. Hamburg und Berlin