

## PHYSIOLOGISCHE ASPEKTE DER UNTERSCHIEDLICHEN SO<sub>2</sub>- RESISTENZ VON PFLANZEN

Von

WEIGEL H.J. und JÄGER H.J.

Institut für Pflanzenökologie der Justus Liebig-Universität Gießen

### E I N L E I T U N G

Schon seit längerer Zeit ist bekannt, daß Pflanzen unterschiedlich auf die Einwirkung von SO<sub>2</sub>-Immissionen reagieren. Zahlreiche Freiland- und Laboruntersuchungen haben zu einer Eingruppierung in SO<sub>2</sub>-empfindliche und weniger SO<sub>2</sub>-empfindliche Pflanzenarten<sup>2</sup> geführt (WENTZEL 1968, GUDERIAN und VAN HAUT 1970, VAN HAUT und STRATMAN 1970), wobei sich vor allem Kulturen mit langlebigen Assimilationsorganen durch anhaltende SO<sub>2</sub>-Einwirkung als besonders gefährdet erweisen. Untersuchungen an Klonen von Nadelhölzern und an krautigen Pflanzen zeigen, daß innerhalb einer Pflanzenart erhebliche Empfindlichkeitsunterschiede gegenüber SO<sub>2</sub> bestehen können (MILLER et al. 1974, LAURENCE and HODSON 1979). Art- und Individualunterschiede in der Rauchhärte haben dabei vor allem bei Koniferen eine erhebliche Bedeutung für die Forstwirtschaft und die Praxis der Landeskultur gewonnen.

Während wir über die Mechanismen, die zu einer Schädigung von Pflanzen durch SO<sub>2</sub>-Einwirkung führen, relativ gut unterrichtet sind (JÄGER 1974, ZIEGLER 1975, MALHOTRA und HOCKING 1976), fehlt es dagegen noch weitgehend an vergleichenden Untersuchungen besonders auf physiologisch-biochemischer Basis, die Aussagen über die Ursachen der SO<sub>2</sub>-Resistenz erlauben.

Kausalanalytische Untersuchungen zur unterschiedlichen Empfindlichkeit von Pflanzen gegenüber Immissionswirkungen setzen Modellversuche an krautigen Pflanzen voraus, die u.a. aufgrund der leichteren experimentellen Handhabung besser für derartige Untersuchungen geeignet sind als z.B. Koniferen.

Im vorliegenden Beitrag wird daher über Untersuchungen an den unterschiedlich SO<sub>2</sub>-empfindlichen, krautigen Pflanzen Erbse und Mais berichtet, wobei durch Messung einiger charakteristischer Parameter der Schwefelaufnahme und des Schwefelmetabolismus der beiden Pflanzen Mechanismen der SO<sub>2</sub>-Resistenz aufgezeigt werden.

## M A T E R I A L U N D M E T H O D E N

## 1. Kultivierung und Kontamination der Pflanzen

Die Versuche wurden mit Erbsen (*Pisum sativum* L. Var. "Wunder von Kelvedon") und Mais (*Zea mays* L. Var. "Prior") durchgeführt. Die Kultivierung der Pflanzen geschah in Hydrokulturgefäßen in der von KLEIN und JÄGER (1976) beschriebenen Nährlösung, deren Schwefelgehalt auf 23 mg S/L (Normalversorgung) und 115 mg S/L eingestellt wurde.

Die Versuche zur Schwefelaufnahme über die Nährlösung wurden im Gewächshaus bei 50 % rel. Feuchte, einem Tag/Nacht Rhythmus von 16:8 Std., einer Beleuchtungsstärke von 15 klx und einer Tag/Nacht Temperatur von 25°/20°C durchgeführt.

Die SO<sub>2</sub>-Begasung der ebenfalls auf Hydrokultur gezogenen Pflanzen erfolgte in Pflanzenwuchsschränken nach JÄGER und STEUBING (1970) bei einer rel. Feuchte von 75 %, einem Tag/Nacht Rhythmus von 12:12 Std., einer Beleuchtungsstärke von 19 klx, einer Tag/Nacht Temperatur von 25°/20°C und einer 10fachen stündlichen Lüfterneuerung. Die durchschnittliche SO<sub>2</sub>-Konzentration betrug 0,3 mg/m<sup>3</sup>.

Nach 25 Tagen wurden die Pflanzen bonitiert und getrennt in Wurzeln und Sproßfraktionen verschiedenen Alters gefriergetrocknet.

In den Begasungsversuchen mit <sup>35</sup>SO<sub>2</sub> wurden 25 Tage alte Erbsen- und Maispflanzen 4 Std. mit 2,6 mg <sup>35</sup>SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (82 mCi/mmol; Amersham Buchler) bei 21°C und 60 % rel. Feuchte begast und nach 16 Std. in SO<sub>2</sub>-freier Atmosphäre geerntet.

## 2. Analytik

**Schwefelgehalt:** Die Bestimmung des organischen und anorganischen Schwefelgehaltes erfolgte nach dem von JÄGER und STEUBING (1970) beschriebenen Verfahren.

**Gehalt an wasserlöslichen Sulphydrylgruppen:** Der Gehalt an wasserlöslichen Sulphydrylgruppen wurde spektralphotometrisch mit dem Färbereagenz 2,2'-Dinitro-5,5'-dithiodibenzoesäure nach GRILL et al. (1979) bestimmt.

**Aktivität der Glutathionreduktase:** Nach Pufferextraktion des gefriergetrockneten Pflanzenmaterials wurde die Aktivität des Enzyms in Richtung der Bildung von reduziertem Glutathion durch Extinktionsänderung des Coenzyms NADPH bei 340 nm nach ESTERBAUER und GRILL (1978) gemessen.

**Messung des radioaktiv markierten Schwefels:** Blattstücke der mit <sup>35</sup>SO<sub>2</sub> begasten Versuchspflanzen wurden 20 min bei Zimmertemperatur in einer 0,2 %igen, tritonhaltigen N-Ethylmaleinimid-Lösung gewaschen und ein Aliquot der Waschlösung mit dem Flüssigkeitsszintillationszähler (Isocap/300, Searle) ausgezählt.

## E R G E B N I S S E U N D D I S K U S S I O N

Die vorliegende Untersuchung schließt an die experimentell gesicherten Befunde anderer Autoren an, daß Erbsenpflanzen bei Begasung mit  $\text{SO}_2$  empfindlicher reagieren als Maispflanzen (WENTZEL 1968, VAN HAUT und STRATMANN 1970, KLEIN et al. 1978). Das symptomatologisch und ertragsmäßig unterschiedliche Verhalten beider Pflanzen nach  $\text{SO}_2$ -Begasung ( $0,3 \text{ mg/m}^3$ ) in der vorliegenden Untersuchung korreliert gut mit den Befunden von KLEIN et al. (1978), so daß auf eine Darstellung dieser Ergebnisse verzichtet wird.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Beantwortung der Frage, ob die größere  $\text{SO}_2$ -Resistenz von Mais im Vergleich zur Erbse auf einer geringeren Schadstoffaufnahme, also auf einer Vermeidungsreaktion beruht, oder ob Mechanismen vorhanden sind, die die  $\text{SO}_2$ -Folgeprodukte an bestimmte Strukturen der Pflanze binden und damit unschädlich machen, ist die Analyse des Schwefelgehaltes in den verschiedenen Teilen der Pflanze nach  $\text{SO}_2$ -Begasung.

Anorganischer Schwefelgehalt ( % d. TS ) unbegaster und begaster (  $0,3 \text{ mg SO}_2 / \text{m}^3$  )  
Erbsen- und Maispflanzen ( I = 4. - jüngste, II = 1. - 3. Blattfraktion, W = Wurzel )

	Fraktion	unbegast	begast	% d. Kontrolle	
Erbse	I	0,32 $\pm 0,01$	0,50 $\pm 0,02$	156	
		0,52 $\pm 0,008$	1,07 $\pm 0,18$		
	II	1,70 $\pm 0,10$	2,84 $\pm 0,18$	167	
	Mais	I	0,24 $\pm 0,01$	0,34 $\pm 0,03$	142
			0,25 $\pm 0,01$	0,28 $\pm 0,01$	
II		0,59 $\pm 0,07$	0,59 $\pm 0,07$		

Tabelle 1 zeigt den anorganischen Schwefelgehalt unbegaster und begaster Erbsen- und Maispflanzen in Blattstadien verschiedenen Alters und in der Wurzel.  $\text{SO}_2$ -Begasung führt danach zu einem Anstieg des anorganischen Schwefelgehaltes in beiden Versuchspflanzen, während die organische Schwefelfraktion keinen  $\text{SO}_2$ -bedingten Veränderungen unterliegt und nicht aufgeführt ist. Vergleicht man das Ausmaß dieser Schwefelanreicherung, die nahezu ausschließlich durch Sulfatschwe-

fel repräsentiert wird (LIHNELL 1968, JÄGER 1975) und als ein erster Indikator einer Schwefelbelastung gilt, so zeigen beide Pflanzen jedoch eine unterschiedliche Zunahme dieser Schwefelfraktion. Vor allem in den älteren Blättern und in der Wurzel reichern Erbsen mehr Schwefel nach  $\text{SO}_2$ -Begasung an als Mais in den entsprechenden Pflanzenteilen<sup>2</sup> (Tab. 1). Im Hinblick auf die unterschiedliche  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit von Erbse und Mais dokumentiert die Sulfatanreicherung als verlässliches Maß für die  $\text{SO}_2$ -Absorption damit eine geringere  $\text{SO}_2$ -Aufnahme von Maispflanzen bei gleicher  $\text{SO}_2$ -Konzentration und Exposition als von Erbsenpflanzen.

Den Grad der  $\text{SO}_2$ -Aufnahme als bedeutender Faktor für die unterschiedliche  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit von Erbse und Mais konnten KLEIN et al. (1978) durch Messung der Blattdiffusionswiderstände für Wasserdampf belegen. Der Blattdiffusionswiderstand ist ein experimentell leicht meßbarer Grad der Öffnungsweite der Stomata und erlaubt damit Rückschlüsse auf den Gasaustausch der Pflanze. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse von KLEIN et al. (1978) erneut aufgeführt und zeigen,

Tabelle 2

Blattdiffusionswiderstände ( $\text{sec} \times \text{cm}^{-1}$ ) der unteren und oberen Epidermis sowie des Gesamtblattes von Erbsen- und Maispflanzen (aus: KLEIN et al. 1978)

	Obere Epidermis	Untere Epidermis	Gesamtblatt
Erbse	5,87 ± 1,06	1,45 ± 0,07	1,16
Mais	> 20	2,83 ± 0,74	2,48

daß der Blattdiffusionswiderstand der Maisblätter sowohl der Blattunterseite als auch der Blattoberseite und des Gesamtblattes signifikant größer ist als bei Erbsenblättern. Dies bedeutet für eine Schädwirkung des  $\text{SO}_2$  einen im Vergleich zur Erbse höheren Widerstand der Maisblätter gegen das Eindringen von  $\text{SO}_2$  ins Blattinnere. Die Zugehörigkeit beider Pflanzen zu unterschiedlichen  $\text{CO}_2$ -Fixierungstypen (BLACK et al. 1969, KINZEL 1971) und die damit verbundene unterschiedliche Effektivität des Gasstoffwechsels liefern die Erklärung für diesen Befund.

Zusätzlich zu dem durch die Messung der Blattdiffusionswiderstände belegten größeren Widerstand der Maisblätter gegen das Eindringen von  $\text{SO}_2$  ins Blattinnere spielt der Anteil von adsorptiv an die Blattoberfläche gebundenem radioaktiv markiertem Schwefel eine mitentscheidende Rolle für die unterschiedliche  $\text{SO}_2$ -Aufnahme durch beide Pflanzen. Wie Tabelle 3 zeigt, läßt sich von Maisblättern nach Begasung mit  $^{35}\text{SO}_2$  pro Flächeneinheit erheblich mehr markierter Schwefel abwaschen als von Erbsenblättern. Dieser geringere Anteil von

Tabelle 3

Adsorptiv an die Blattoberfläche gebundener radioaktiv markierter Schwefel ( $\text{cpm}/\text{cm}^2$ ) nach Begasung von Erbsen- und Maispflanzen mit  $^{35}\text{SO}_2$  ( $2,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ )

Erbse	87 - 289
Mais	3448 - 31689

adsorptiv an die Blattoberfläche der Erbse gebundenem Schwefel muß daher für die Erbse in einem steileren Gradienten für die Diffusion des  $\text{SO}_2$  zum Blatt hin resultieren als für Mais und damit die  $\text{SO}_2$ -Aufnahme durch die Erbse im Vergleich zu Mais begünstigen. Auch ELKIEY and ORMROD (1980) konnten die steigende  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit einer Reihe von Petunia-Varietäten mit abnehmendem Anteil von adsorptiv an die Blattoberfläche gebundenem Schwefel korrelieren, d.h. die empfindlichste Varietät adsorbierte das meiste  $\text{SO}_2$  an die Blattoberfläche. UNSWORTH et al. (1976) und Garsed and READ (1977) geben den Anteil des adsorptiv an die Blattoberfläche gebundenen Schwefels bei *Lolium perenne*, *Phaseolus vulgaris*, *Medicago sativa* und *Vicia faba* mit 15 - 40 % des gesamten Schwefelgehaltes der Blätter an, wobei jedoch keine Korrelation mit der unterschiedlichen  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit dieser Pflanzen erkennbar war.

Unterschiede in den morphologischen Charakteristika der Blattoberflächen (Haare, Emergenzen) von Erbse und Mais scheiden als Ursache für den unterschiedlichen Anteil von adsorptiv gebundenem Schwefel aus, wie die relative Ähnlichkeit der Blattoberflächen im Rasterelektronenmikroskopischen Bild zeigt. Inwieweit chemische Faktoren, wie z.B. die chemische Zusammensetzung der Wachsschicht bzw. der Kutikula beider Pflanzen für die  $\text{SO}_2$ -Absorption verantwortlich sind (RENTSCHLER 1973, WINNER and MOONEY 1980), muß noch überprüft werden.

Die Messung der Blattdiffusionswiderstände sowie die Absorption von markiertem Schwefel an die Blattoberflächen von Erbse und Mais zeigen jedoch erneut, daß der Grad der  $\text{SO}_2$ -Aufnahme als ein bedeutender Faktor die  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit von Pflanzen bestimmt (vgl. Garsed and READ 1977).

Die Schwefelaufnahme durch Erbse und Mais, vor allem durch die älteren Blätter, differiert allerdings stärker als die entsprechenden Blattdiffusionswiderstände bezogen auf das Gesamtblatt (vgl. Tabelle 1 und 2), d.h. die größere  $\text{SO}_2$ -Aufnahme durch die Erbse kann nicht allein mit deren niedrigerem Blattdiffusionswiderstand erklärt werden.

Ähnlich wie für  $\text{CO}_2$  bestehen in der wässrigen Phase der Zelle für die  $\text{SO}_2$ -Folgeprodukte weitere Reaktionswege (WEIGL and ZIEGLER 1962), die eine Umwandlung bzw. Metabolisierung von  $\text{SO}_2$ -Folgeprodukten bewirken und somit einen "internen sink" (KLEIN et al. 1978) für die Diffusion des  $\text{SO}_2$  ins Blattinnere schaffen. Da bisher kaum vergleichende Untersuchungen über den Schwefelmetabolismus unterschiedlich

SO<sub>2</sub>-empfindlicher Pflanzen bekannt sind (GARSEED and READ 1977), stellt sich im Hinblick auf die unterschiedliche SO<sub>2</sub>-Aufnahme von Erbse und Mais die Frage, inwieweit sich die Schwefelaufnahmekapazität bzw. der Schwefelmetabolismus und damit das "interne Gefälle" für die Diffusion des SO<sub>2</sub> ins Blattinnere bei beiden Pflanzen unterscheidet.

Ein Vergleich unbegaster, auf Nährlösung gezogener Erbsen- und Maispflanzen zeigt (Tabelle 4), daß Erbsen über

Anorganischer Schwefelgehalt ( mg / g TS ) von Erbsen- und Maispflanzen in Abhängigkeit von Schwefelgehalt der Nährlösung ( mg / L ) sowie nach Begasung mit SO<sub>2</sub> ( 0,3 mg / m<sup>3</sup> ) ( I = 4. - Jüngste, II = 1. - 3. Blattfraktion, W = Wurzel )

Fraktion		23 mg / L	115 mg / L	% d. Kontr.	unbegast	begast	% d. Kontr.
Erbsen	I	344,0 ±20,0	478,0 ±39,7	139	326,0 ±10,5	506,0 ±20,7	155
		600,0 ±58,0	791,0 ±120		520,5 ± 8,4	1072,6 ±182,5	
		2050,0 ±123,0	2668,0 ±392,0		1700,0 ±108,0	2847,6 ±184,5	
Mais	I	245,0 ±43,0	283,0 ±26,5	116	242,5 ±10,7	340,3 ±30,2	
		182,0 ±23,0	226,0 ±14,0		249,5 ±12,8	280,0 ±12,7	
		454,6 ±14,0	592,0 ±37,0		590,0 ±72,0	599,0 ±76,6	

signifikant höhere anorganische Schwefelgehalte verfügen als Mais, wobei besonders die Schwefelgehalte der Erbsenwurzeln und der älteren Erbsenblätter höher liegen als in den entsprechenden Fraktionen des Mais. Daraus resultiert ein insgesamt höherer Grundschwefelgehalt der Erbse gegenüber Mais, der auf einen größeren Schwefelbedarf der Erbse zurückzuführen läßt. Tabelle 4 zeigt außerdem, daß der anorganische Schwefelgehalt der Erbsenblätter prozentual stärker zunimmt als bei Maisblättern, wenn beiden Pflanzen vermehrt Schwefel angeboten wird. Die Zunahme des Schwefelgehaltes ist dabei unabhängig von der Art der Schwefelversorgung, da sowohl bei Schwefelmehrversorgung über die Nährlösung (115 mg/L) als auch bei gasförmigem Schwefelangebot Erbsen pro Gewichtseinheit mehr Schwefel anreichern als Mais. Der Vergleich der Schwefelgehalte unbegaster und begaster Erbsenwurzeln deutet auf einen Basaltransport von Schwefel aus dem Sproß in die Wurzel hin, während in Maispflanzen ein solcher Basaltransport von SO<sub>2</sub>-bürtigem Schwefel nicht stattfindet. Dieser Basaltransport von Schwefel, wie er auch von BIDDULPH (1956), FURRER (1967) und FALLER et al. (1970) beschrieben wird, trägt möglicherweise ebenfalls zu dem höheren Gefälle für die Diffusion von SO<sub>2</sub> in den Erbsensproß im Vergleich zum Maisproß bei. Unterschiede in der organischen Schwefelfraktion zwischen beiden Pflanzen waren nicht nachweisbar und sind nicht dargestellt.

Der Vergleich der anorganischen Schwefelgehalte von Erbse und Mais unter normaler Schwefelversorgung und bei vermehrter Schwefelversorgung dokumentiert damit einen höheren Schwefelgrundumsatz bzw. eine höhere Schwefelaufnahmekapazität der Erbse und ein daraus resultierendes höheres Gefälle für die Diffusion von  $\text{SO}_2$  ins Blattinnere.

Ein höherer Umsatz der Erbse auch in der organischen Schwefelfraktion, der sich durch die Messung der organischen Schwefelgehalte nicht nachweisen ließ, wird durch die Bestimmung der Aktivität eines schwefelmetabolisierenden Enzyms deutlich. Tabelle 5 zeigt, daß die Aktivität der Glutathionreduktase, eines Enzyms, das die Reduktionsreaktion

Tabelle 5

Aktivität der Glutathionreduktase ( Units / g TS ) von Erbsen- und Maispflanzen in Abhängigkeit vom Schwefelgehalt der Nährlösung ( mg / L ) sowie nach Begasung mit  $\text{SO}_2$  ( 0,3 mg / m<sup>3</sup> ) ( I = 4. - jüngste, II = 1. - 3. Blattfraktion, W = Wurzel )

Fraktion		23 mg / L	115 mg / L	unbegast	begast
Erbse	I	5,97 ±1,77	6,38 ±1,40	4,50 ±0,44	8,85 ±0,80
		5,20 ±0,50	5,34 ±1,80	2,08 ±0,22	5,41 ±0,35
		1,85 ±0,30	1,91 ±0,30	3,10 ±0,24	2,95 ±0,38
Mais	I	0,74 ±0,15	0,89 ±0,05	0,52 ±0,17	1,43 ±0,20
		0,59 ±0,08	0,73 ±0,20	0,55 ±0,12	1,21 ±0,00
		0,79 ±0,07	2,05 ±0,50	0,86 ±0,20	2,64 ±0,20

von oxidiertem Glutathion zu reduziertem Glutathion katalysiert, in Erbsenpflanzen signifikant höher ist als in Maispflanzen. Besonders in den jüngeren Blattfraktionen der Erbse erreicht die Aktivität etwa 7 - 8 mal höhere Werte als in den entsprechenden Maisfraktionen. Lediglich in den mit mehr Schwefel versorgten (115 mg/L) und begasten Maiswurzeln erreicht die Aktivität die gleiche Größenordnung wie in Erbsenwurzeln. Die signifikante Stimulation der Glutathionreduktase in beiden Pflanzen nach  $\text{SO}_2$ -Begasung (Tabelle 5) reflektiert einen direkten Eingriff von  $\text{SO}_2$ -Folgeprodukten in den Glutathionstoffwechsel, ähnlich wie ihn GRILL und ESTERBAUER (1973) und GRILL et al. (1979) durch die erhöhten Gehalte an reduziertem Glutathion in  $\text{SO}_2$ -belasteten Fichtennadeln sowie nach  $\text{SO}_2$ -Begasung fanden. Die Stimulation der Glutathionreduktase findet bei einer vermehrten Schwefelversorgung über die Nährlösung nicht statt (Tabelle 5).

Zusammen mit den deutlich höheren Gehalten der Erbse an

wasserlöslichen Sulfhydrylgruppen, Methionin und Cystein (Ergebnisse nicht dargestellt) ist die höhere Glutathion-reduktaseaktivität der Erbse im Vergleich zu Mais damit ein weiteres Indiz für einen intensiveren Schwefelmetabolismus der Erbse.

Die vorliegende Untersuchung zeigt erneut, daß Unterschiede in der  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit von Pflanzen vornehmlich auf differierende  $^{35}\text{SO}_2$ -Aufnahmeraten zurückzuführen sind. Dies bedeutet, daß in erster Linie "Avoidance-Mechanismen", wie sie Mais mit hohem Blattdiffusionswiderstand und geringem "internen sink" zeigt, die  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit mitbestimmen, während die Erbse solch effektive "Avoidance-Mechanismen" nicht besitzt bzw. durch das hohe Gefälle für die Diffusion von  $\text{SO}_2$  ins Blattinnere die  $\text{SO}_2$ -Aufnahme noch verstärkt. Daß auch echte plasmatische "Tolerance-Mechanismen" für die Unterschiede in der  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit von Pflanzen mitbestimmend sind, zeigen die Untersuchungen von ZIEGLER (1972, 1973) über die unterschiedliche Sulfitempfindlichkeit der  $\text{CO}_2$ -fixierenden Enzyme Ribulose-1,5-Diphosphat Carboxylase und Phosphoenolpyruvat Carboxylase von  $\text{C}_3$  und  $\text{C}_4$  Pflanzen.

Die Kenntnis solcher grundlegender Mechanismen der  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit ist nicht nur aus der Sicht der Grundlagenforschung sondern in erster Linie auch von wirtschaftlicher bzw. forstwirtschaftlicher Bedeutung, da sie u.a. Aussagen über die Gasaufnahmekapazität und die qualitativen Veränderungen der Pflanzen aufgrund der  $\text{SO}_2$ -bedingten Stoffwechselreaktionen liefern.

## Z U S A M M E N F A S S U N G

Unter definierten Kultivierungs- und Begasungsbedingungen wurden physiologisch-biochemische Grundlagen der unterschiedlichen  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit von Erbsen- und Maispflanzen untersucht. Die höhere Empfindlichkeit der Erbse nach  $\text{SO}_2$ -Begasung in Form von makroskopisch sichtbaren Schädigungssymptomen und Ertragsdepressionen korreliert mit einem im Vergleich zum Mais signifikant höheren anorganischen Schwefelgehalt. Durch Messung der Blattdiffusionswiderstände beider Pflanzen für Wasserdampf wird dokumentiert, daß die größere Schwefelanreicherung der Erbse auf einer höheren  $\text{SO}_2$ -Aufnahmerate im Vergleich zu Mais beruht. Begünstigt wird die höhere  $\text{SO}_2$ -Aufnahmerate der Erbse durch einen im Vergleich zum Mais signifikant höheren Anteil von adsorptiv an die Blattoberfläche gebundenem markiertem Schwefel, wie Begasungsversuche mit  $^{35}\text{SO}_2$  ergaben. Da sich die Schwefelgehalte beider Pflanzen nach  $\text{SO}_2$ -Begasung stärker unterscheiden als die entsprechenden Diffusionswiderstände für Wasserdampf, werden die Unterschiede in der Schwefelakkumulation durch beide Pflanzen auf differierende "interne Gefälle" für die Diffusion von  $\text{SO}_2$  ins Blattinnere zurückgeführt. Nährlösungsversuche unter normaler und vermehrter

Schwefelversorgung beweisen, daß Erbsen über höhere Grundschwefelgehalte sowie über größere Schwefelaufnahmekapazitäten verfügen als Mais. Zusätzlich dokumentiert die 7-8 fach höhere Aktivität der Glutathionreduktase der Erbse einen höheren Schwefelumsatz gegenüber Mais auch in der organischen Schwefelfraktion. Die Bedeutung der Unterschiede im "internen sink" für  $\text{SO}_2$ -bürtigen Schwefel zwischen Erbse und Mais im Hinblick auf die Mechanismen der  $\text{SO}_2$ -Resistenz wird diskutiert.

Schlüsselwörter: Erbse, Mais,  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit,  $\text{SO}_2$ -Aufnahme und -Adsorption, interner Schwefel-sink, Mechanismen der  $\text{SO}_2$ -Resistenz

#### S U M M A R Y

Physiological and biochemical mechanisms contributing to differential sensitivities of pea and corn plants to  $\text{SO}_2$  were investigated under controlled environmental and  $\text{SO}_2$ -fumigation conditions. The inorganic sulfur content of the more sensitive pea plants after fumigation with  $\text{SO}_2$  is considerable higher than in corn. Porometric measurements of the diffusion resistances of pea and corn leaves showed that the greater  $\text{SO}_2$ -uptake of pea plants is related to their lower diffusion resistance. Adsorption of  $^{35}\text{SO}_2$  by leaf surfaces was much lower on pea than on corn leaves thus favouring  $\text{SO}_2$  uptake by pea plants. As the sulfur accumulation of both plants differed more than the corresponding diffusion resistances the greater  $\text{SO}_2$  uptake by pea plants cannot be fully explained by its lower diffusion resistance. Therefore, differences in the sulfur accumulation of both plants were attributed to additional internal sinks for  $\text{SO}_2$  uptake which should differ in pea and corn plants. This was confirmed by solution culture experiments under different sulfur supply, which revealed a higher sulfur content and sulfur uptake capacity for pea than for corn plants. A more intensive sulfur metabolism of peas was also reflected by the more than sevenfold higher activity of the enzyme glutathione reductase. The significance of these different internal sinks for  $\text{SO}_2$  uptake is discussed in terms of mechanisms of  $\text{SO}_2$  resistance.

Key words: Pea and corn plants,  $\text{SO}_2$ -susceptibility, uptake and adsorption of  $\text{SO}_2$ , internal sink, mechanisms of  $\text{SO}_2$  resistance

#### L I T E R A T U R

- Biddulph, S.F., 1956: Visual indications of  $\text{S}^{35}$  and  $\text{P}^{32}$  translocation in the phloem. *Amer.J.Bot.* 43, S.143-148.  
Black, C.C., Chen, T.M. and Brown, R.H., 1969: Biochemical basis for plant competition. *Weed Science*, 17, S.338-347.  
Elkley, T. and Ormrod, D.P., 1980: Sorption of ozone and

- sulphur dioxide by Petunia leaves. *J.Environment.Qual.*, 9, S. 93-95.
- Faller, N., Herwig, K. und Kühn, H., 1970: Die Aufnahme von  $^{35}\text{SO}_2$  aus der Luft. I. Einfluß auf den pflanzlichen Ertrag<sup>2</sup> II. Aufnahme, Umbau und Verteilung in der Pflanze. *Plant and Soil*, 33, S. 283-295.
- Furrer, C.S., 1967: The amount of  $\text{SO}_2$  by plants from the atmosphere. Rep. Isotopes in Plant Nutrition and Physiology, IAEA, S. 403-407.
- Garsed, S.G. and Read, D.J., 1977: The uptake and metabolism of  $^{35}\text{SO}_2$  in plants of differing sensitivity to sulfur dioxide<sup>2</sup>. *Environ. Pollut.*, 13, S. 173-187.
- Grill, D. und Esterbauer, H., 1973: Cystein und Glutathion in gesunden und  $\text{SO}_2$ -geschädigten Fichtennadeln. *Europ.J. Forst.Pathol*, 3<sup>2</sup>, S. 65-71.
- Esterbauer, H. and Grill, D., 1978: Seasonal variation of glutathione and glutathione reductase in needles of *Picea abies*. *Plant Physiol.*, 61, S. 119-121.
- Grill, D., Esterbauer, H. and Klösch, U., 1979: Effect of sulfur dioxide on glutathione in leaves of plants. *Environ.Pollut.* 19, S. 187-194.
- Guderian, R. und Haut van, H., 1970: Nachweis von  $\text{SO}_2$ -Wirkungen an Pflanzen. Staub, Reinhaltung Luft, 30, S. 17-26.
- Haut van, H. und Stratmann, H., 1970: Farbatlas über Schwefeldioxidwirkungen an Pflanzen. Verlag W.Girardet, Essen.
- Jäger, H.J. und Steubing, L., 1970: Fraktionierte Schwefelbestimmung in Pflanzenmaterial zur Beurteilung einer  $\text{SO}_2$ -Einwirkung. *Angew.Bot.*, 44, S. 209-221.
- Jäger, H.J., 1974: Mechanismen der Schädigung von Pflanzen. Tagungsbericht der IX. internat.Tagung über die Luftverunreinigung und Forstwirtschaft in Marianske Lazne (Tschechoslowakei), S. 415-425.
- Jäger, H.J., 1975: Wirkung von  $\text{SO}_2$ -Begasung auf die Aktivität von Enzymen des Aminosäurestoffwechsels und den Gehalt freier Aminosäuren in unterschiedlich resistenten Pflanzen. *Z.Pflanzenkrankh., Pflanzenschutz*, 82, S. 139-148.
- Kinzel, H., 1971: Biochemische Ökologie-Ergebnisse und Aufgaben. *Ber.dtsch.bot.Ges.*, 84, S. 381-403.
- Klein, H. und Jäger, H.J., 1976: Der Einfluß der Nährstoffversorgung auf die  $\text{SO}_2$ -Empfindlichkeit von Erbsenpflanzen. *Z.Pflanzenkrankh., Pflanzenschutz*, 83, S.555-568.
- Klein, H., Jäger, H.J., Domes, W. and Wong, C.H., 1978: Mechanisms contributing to differential sensitivities of plants to  $\text{SO}_2$ . *Oecologia*, 33, S. 203-208.
- Laurence, J.A. and Hodson, R.C., 1979: Responses of maize and wheat to sulfur dioxide. *Plant Disease Reporter*, 63, S. 468-471.
- Lihnell, D., 1968: Sulfate content of three leaves as an indicator of  $\text{SO}_2$  air pollution in individual areas. *Air Pollution Proc.*<sup>2</sup>First Europ. Congr., Influence of Air Pollution on Plants and Animals, Wageningen, S. 341-352.
- Malhotra, S.S. and Hocking, D., 1976: Biochemical and cytological effects of sulfur dioxide on plant metabolism. *New Phytol.*, 76, S. 227-237.
- Miller, V.L., Howell, R.K. and Caldwell, B.F., 1974: Relative sensitivity of soybean genotypes to ozone and sulfur

- dioxide. *J. Environm.* 3, S. 35-46.
- Rentschler, I., 1973: Die Bedeutung der Wachsstruktur auf den Blättern für die Empfindlichkeit der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigungen. *Proc. of the 3rd Intern. Clean Air Congr.*, Düsseldorf, FRG, VDI Verlag, S. A139-A142.
- Unsworth, M.H., Biscoe, P.V. and Black, V., 1976: Analysis of gas exchange between plants and polluted atmospheres. In: Mansfield, T.A., Ed.: *Effects of air pollution on plants*. Cambridge University Press, S. 5-16.
- Weigl, J. und Ziegler, H., 1962: Die räumliche Verteilung von  $^{35}\text{S}$  und die Art der markierten Verbindungen in Spinatblättern nach Begasung mit  $^{35}\text{SO}_2$ . *Planta*, 58, S. 435-447.
- Wentzel, K.F., 1968: Empfindlichkeit und Resistenzunterschiede der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigungen. *Forstarchiv*, 39, S. 189-194.
- Winner, W.E. and Mooney, H.A., 1980: Ecology of  $\text{SO}_2$  resistance. II. Photosynthetic changes of shrubs in relation to  $\text{SO}_2$  absorption and stomatal behaviour. *Oecologia*, 44, S. 296-302.
- Ziegler, I., 1972: The effect of  $\text{SO}_2$  on the activity of the ribulose-1,5-diphosphate carboxylase in isolated spinach chloroplasts. *Planta*, 103, S. 155-163.
- Ziegler, I., 1973: Effect of sulfite on phosphoenolpyruvate carboxylase and malate formation in extracts of *Zea mays*. *Phytochem.*, 12, S. 1027-1030.
- Ziegler, I., 1975: The effect of  $\text{SO}_2$  pollution on plant metabolism. *Residue Rev.*, 56, S. 79-105.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [137\\_1\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Weigel Hans-Jochen, Jäger Hans-Jürgen

Artikel/Article: [Phydiologische Aspekte der unterschiedlichen SO<sub>2</sub>-Resistenz von Pflanzen 127-137](#)