

DER EINFLUSS DES WASSERZUSTANDES UND DES PH-WERTES AUF DIE SO₂-SCHÄDIGUNG VON FLECHTEN

R. TÜRK & V. WIRTH¹

Abstract

The sensitivity of the lichens to SO₂ is closely dependent upon the water potential and the pH, both of the thallus and the substrate. When the water potential is lowered the SO₂ uptake is reduced and with it the injury. Dried thalli survive high SO₂ concentrations in their surroundings without damage. The damage caused to the lichens by the Na₂S₂O₅ solutions and the treatment with buffer solutions and subsequent SO₂ fumigation is dependent upon the pH of the medium. At a low pH the damaging effect is much more pronounced than at high pH. This can be interpreted on the one hand as due to the concentration of damaging ions, which changes according to the degree of dissociation of the solution, which is pH dependent. On the other hand SO₂ causes a lowering of pH which can damage the lichen, too.

Die SO₂-Resistenz von Flechten wird neben physiologischen und morphologischen Eigenschaften des Thallus vom Wasserzustand wesentlich beeinflusst. Denn Flechten sind poikilohydre Organismen, die sich mit dem Wasserpotential der umgebenden Luft und des Substrates ins Gleichgewicht setzen. Damit ist der Quellungsgrad der Flechten großen Schwankungen unterworfen, und es ist für die Flechten von entscheidender Bedeutung, in welchem Quellungsgrad sie sich befinden, wenn eine SO₂-Belastung vorliegt.

Weiters spielt der pH-Wert (des Thallus und des Substrates) für das Überleben und Wachstum in immissionsbelasteten Zonen eine entscheidende Rolle (vgl. BRIGHTMAN 1959, GILBERT 1970).

Im Experiment wurde der Einfluß des Wasserzustandes folgendermaßen untersucht. Nach der ersten Messung des CO₂-Gaswechsels (vgl. LANGE 1965) bei optimaler Einquellung wurden die Flechtenproben von *Hypogymnia physodes* lufttrocken in Exsikkatoren eingebaut, in denen sich Schwefelsäurelösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen zur Einstellung der gewünschten Wasserdampfdruckgleichgewichte im Luftraum befanden. Durch kurzzeitige Wägung der Flechtenproben wurde festgestellt, wann sie mit dem Wasserdampfpartialdruck der Schwefelsäurelösungen im Gleichgewicht standen. Die relativen Luftfeuchten betragen 60; 80; 90; und 95%, der Wassergehalt der Flechtproben 14; 23; 29 und 35% des Trockengewichtes. Nach Erreichen des Sättigungsgleichgewichtes wurden die Flechten im SO₂-Gasstrom einer Konzentration von 4 mg SO₂/m³ Luft mit den entsprechenden Luftfeuchtigkeiten 14 Stunden lang begast (vgl. TÜRK et al. 1974).

Vollkommen trockene Flechten nehmen kein SO₂ auf und erleiden keinerlei Schädigung (Abb. 1). Mit ansteigendem Wassergehalt steigt auch die SO₂-Aufnahme durch den Flechtenthallus und damit auch die Schädigung an. SO₂ ist also nur in

1 mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

wässriger Lösung wirksam. Demnach können artspezifische Eigenschaften des Flechtenthallus oder bestimmte Standortbedingungen, die eine Herabsetzung bzw. eine Erhöhung des Quellungsgrades bewirken, die SO_2 -Resistenz wesentlich beeinflussen (vgl. WIRTH & TÜRK in diesem Heft).

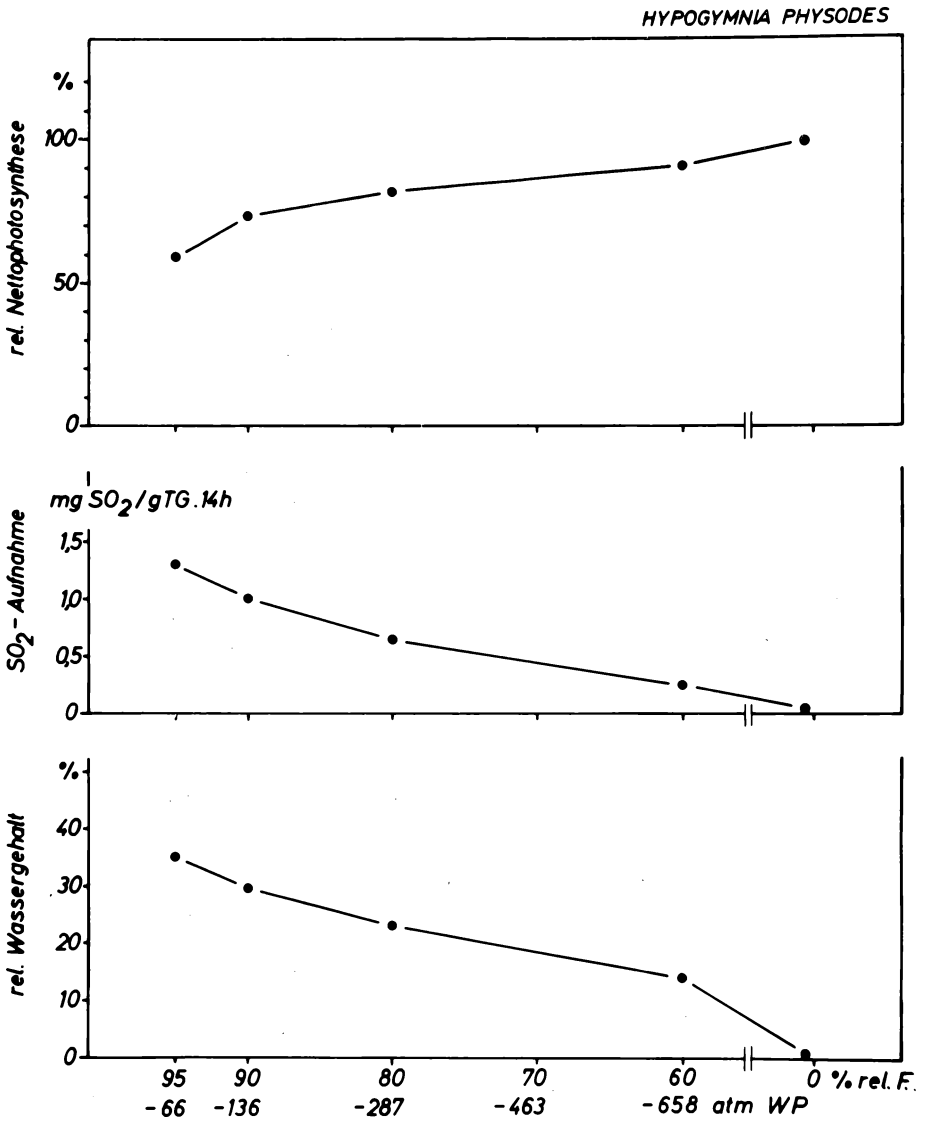


Abb. 1. *Hypogymnia physodes*: Relative Nettphotosynthese (in % der Normalwerte), SO_2 -Aufnahme und relativer Wassergehalt (in % des Trockengewichts) in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit bzw. dem Wasserpotential der Flechte; 14stündige Begasung mit $4 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (nach TÜRK, WIRTH & LANGE 1974).

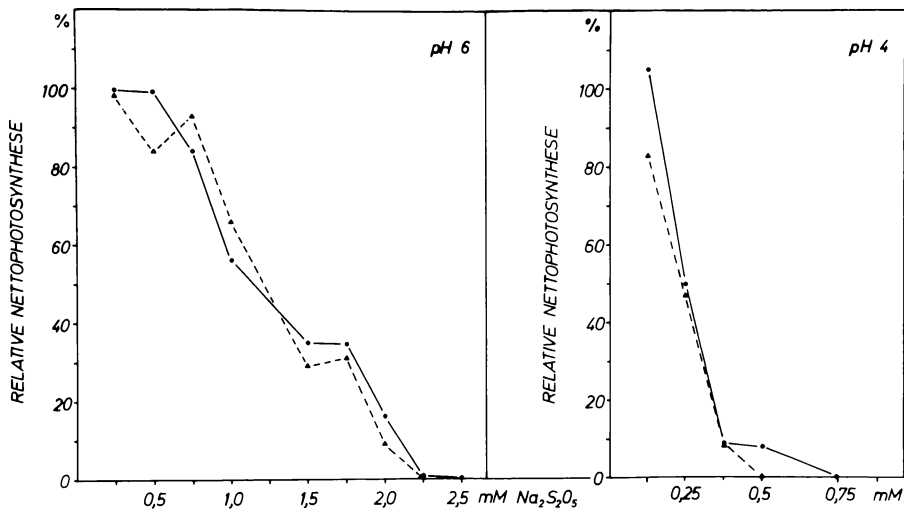


Abb. 2. *Hypogymnia physodes*: Relative Nettophotosynthese (in % der Normalwerte) im Anschluß an 24stündige Submersion in $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ -Lösungen bei pH 6 und pH 4, in Abhängigkeit von der Konzentration; unmittelbar (—) bzw. eine Woche (---) nach der Behandlung (nach TÜRK, WIRTH & LANGE, 1974).

Der Einfluß des zweiten, sehr wesentlichen Faktors, des pH-Wertes wurde 1. durch 24-stündige Submersion der Flechtenproben in $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ -Lösungen von unterschiedlichen Konzentrationen und pH-Werten und 2. durch volles Aufquellen der Thalli in Pufferlösungen und anschließender SO_2 -Begasung verfolgt.

Nach Submersion in Natriumdisulfidlösungen von einem pH 6 wird ein völliges Erliegen der Nettophotosynthese erst nach Anwendung von 2,25 mM konzentrierten Lösungen erreicht, bei einem pH 4 werden die gleichen Einschränkungen der CO_2 -Aufnahme durch weitaus geringere Konzentrationen der Natriumdisulfidlösungen bewirkt (Abb. 2). Die starke Herabsetzung der Nettophotosynthese bei einem pH 4 ist ab bestimmten Lösungskonzentrationen offensichtlich auf eine Zerstörung des Chlorophylls zurückzuführen (Abb. 3). Nach einer Behandlung mit 0,5 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ -Lösungen ist bei einem pH 4 intaktes Chlorophyll nur mehr in Spuren festzustellen. Bei einem pH 6 ist die Chlorophyllzerstörung erheblich geringer.

In der zweiten Versuchsreihe wurden Flechtenthalli von *Hypogymnia physodes* in Pufferlösungen von einem pH 3 bis pH 8 submergiert. Ein Teil der Flechtenproben wurde anschließend bei 10 °C und Dunkelheit begast, die anderen Proben unter entsprechenden Bedingungen gehalten. Als Parallelproben dienten Flechtenthalli, die in destilliertem Wasser submergiert worden waren. Auf sie wurden die Nettophotosyntheseraten der mit den Pufferlösungen behandelten und begasten Proben bezogen. Als Pufferlösungen dienten in einem Bereich von pH 3–5 Kaliumhydrogenphthalat mit HCl bzw. NaOH, von pH 6 Natriumhydrogenphosphat und Natriumdihydrogenphosphat, von pH 7 und 8 Tris-Puffer mit HCl, alle mit einer Konzentration von 20 mM (nähere Einzelheiten über die Methodik siehe TÜRK & WIRTH 1975).

In der folgenden Abb. 4 ist die Wirkung der Wasserstoffionenkonzentration an

sich (weiße Säulen) und der zusätzlichen SO_2 -Belastung (schwarze Säulen) von *Hypogymnia physodes* wiedergegeben. *Hypogymnia* erleidet bei einem pH 3 eine erhebliche Schädigung, die SO_2 -Belastung bringt die Nettophotosynthese zum Erliegen. Mit zunehmenden pH-Wert nimmt die SO_2 -Schädigung ab. Im schwach sauren bzw. neutralen Bereich erleiden die Flechten durch die Behandlung mit Puffer-

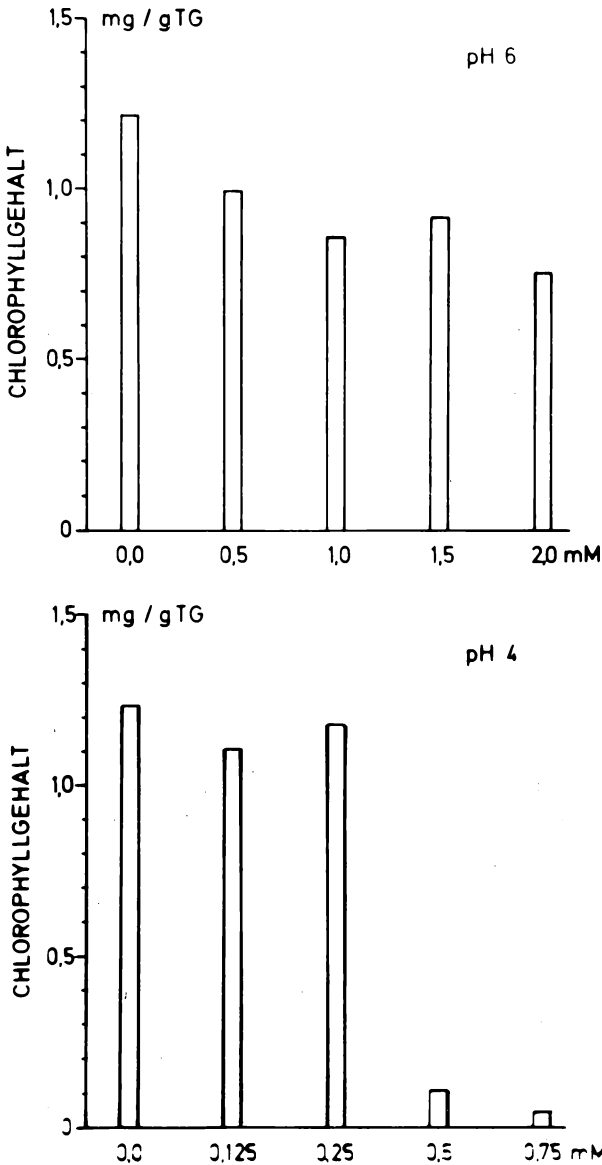


Abb. 3. Chlorophyllgehalt von *Hypogymnia physodes* nach 24stündiger Submersion in $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ -Lösungen bei pH (oben) und pH 4 (unten) (nach TÜRK, WIRTH & LANGE, 1974).

lösungen keinerlei Schädigung, im basischen dagegen zeigen sie wieder Abbauerscheinungen. Hier wirkt die SO_2 -Begasung sogar als Puffer gegen den hohen pH.

Wir haben gesehen, daß eine Verschiebung des pH-Milieus schädigen kann und daß die Wirksamkeit des SO_2 vom pH-Wert des Milieus abhängig ist. Weiters ist SO_2 nur in Verbindung mit Wasser wirksam, sodaß den Folgeprodukten des im Wasser gelösten SO_2 eine zweifache Wirkung zuzuschreiben ist.

1. Bedingen SO_2 und seine Folgeprodukte eine Verschiebung des pH-Wertes der Flechtenthalli und des Substrates in den sauren Bereich (TURK et al. 1974; LÖTSCHERT & KÖHM 1973).
2. Entstehen als Folgeprodukte von SO_2 in Wasser H_2SO_3 , HSO_3^- , SO_3^{--} und $\text{S}_2\text{O}_5^{--}$ (SCHMIDT 1972), die in sehr unterschiedlicher Konzentration vorhanden sind und deren Gleichgewichte von der Temperatur und dem pH-Wert abhängen. Besondere Bedeutung kommt dabei der Beziehung $\text{HSO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_3^{--}$ zu, denn das Konzentrationsverhältnis von $\text{HSO}_3^-/\text{SO}_3^{--}$ -Ionen ist vom pH-Wert abhängig. Nach SEEL (1967) ist der pK_s -Wert von $\text{HSO}_3^- : \text{H}^+ + \text{SO}_3^{--}$ gleich 7; demnach sind im sauren Bereich HSO_3^- -Ionen vorherrschend. Gerade im stark sauren Bereich ist die Schädigung von *Hypogymnia physodes* besonders groß, sodaß die Annahme gerechtfertigt erscheint, daß das HSO_3^- -Ion die toxischere Komponente ist. Außerdem werden, wie PUCKETT et al. (1973) ausführten, alle Formen von im Wasser gelösten SO_2 um so stärkere Oxydantien, je stärker der pH-Wert des Mediums abfällt. Das zunehmende Ausbleichen der Thallusloben mit sinkendem pH infolge der Chlorophyllzerstörung weist darauf hin.

Betrachtet man die vorliegenden Versuche mit den Pufferlösungen als Modellversuche für Flechten, die in engem Kontakt mit dem Substrat stehen, so wird die Rolle des Substrat-pH als „avoidance“-Faktor gegenüber SO_2 -Einwirkungen deutlich. Dies scheint jedoch hauptsächlich für Krustenflechten, die auf neutralem oder basischem Substrat siedeln, zuzutreffen. Denn Untersuchungen über die Verbreitung

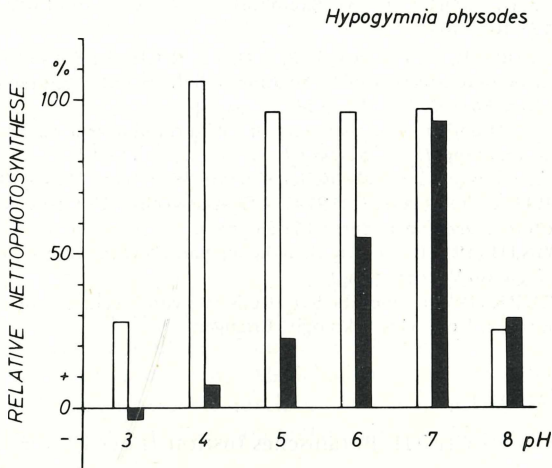


Abb. 4. Mittel der Nettophotosynthese (in % der Normalwerte) nach Abklingen der Primärreaktionen im Anschluß an Submersion in Pufferlösungen (weiße Säulen) und zusätzlicher SO_2 -Begasung (schwarze Säulen) von *Hypogymnia physodes*.

von Flechten in SO₂-belasteten Stadt- und Industriezonen, in denen auch gesteinsbewohnende Flechten miteinbezogen wurden, hatten zum Ergebnis, daß Krustenflechten auf basischen Substraten mit hoher Pufferkapazität (Kalkstein, Mörtel, Asbest usw.) hohe SO₂-Immissionen ertragen können. Krustenflechten stehen im engen Kontakt mit dem Substrat, sodaß eine Aufnahme von puffernden Substanzen in den Flechtenthallus sehr erleichtert ist. Die Untersuchungen von LANGE & ZIEGLER (1963) über den Schwermetallgehalt von Flechten belegen die große Ionenaufnahmefähigkeit der Krustenflechten aus dem Substrat. In Hinblick auf eine SO₂-Belastung spielen die in den Flechtenthallus aufgenommenen Ionen eine bedeutende Rolle. So konnte auch bei unseren Untersuchungen gezeigt werden, daß die mit Pufferlösungen getränkten Flechtenthalli bei pH-Werten um den Neutralbereich fast gar nicht auf eine SO₂-Belastung reagierten.

Die Wirkung der hier dargestellten Faktoren Wassergehalt und pH-Wert geben nur zwei mögliche Mechanismen der „avoidance“ wieder. Neben diesen beiden gibt es noch eine Fülle anderer, interferierender Faktoren, die in eine kausale Deutung des Überlebens bzw. Absterbens von Flechten in urbanen und industrialisierten Gebieten herangezogen werden müssen.

LITERATUR

- BRIGHTMAN, F.H. (1959): Some factors influencing lichen growth in towns. *Lichenologist* 1: 104–108.
- GILBERT, O.L. (1970): Further studies on the effect of sulphur dioxide on lichens and bryophytes. *New Phytol.* 69: 605–627.
- LANGE, O.L., (1965): Der CO₂-Gaswechsel von Flechten nach Erwärmung im feuchten Zustand. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 78: 441–454.
- LANGE, O.L. & H. ZIEGLER (1963): Der Schwermetallgehalt von Flechten aus dem Acarosporium sinopiceae auf Erzschlackenhalde des Harzes. I. Eisen und Kupfer. *Mitt. Flor. Soziol. Arbeitsgemeinschaft.* (N.F.) 10: 156–183.
- LÖTSCHERT, W. & H.J. KÖHM (1973): Baumborke als Anzeiger von Luftverschmutzungen. *Umschau* 73, 13: 403–404.
- PUCKETT, K.J., NIEBOER, E., FLORA, W.P. & D.H.S. RICHARDSON (1973): Sulphur dioxide: Its effect on photosynthetic ¹⁴C fixation in lichens and suggested mechanisms of phytotoxicity. *New Phytol.* 72: 141–154.
- SCHMIDT, M. (1972): Fundamental chemistry of sulfur dioxide removal and subsequent recovery via aqueous scrubbing. *Int. J. Sulfur Chem.* Part B, 7: 11–19.
- SEEL, F. (1967): Grundlagen der analytischen Chemie. Weinheim: Verlag Chemie.
- TÜRK, R., V. WIRTH & O.L. LANGE (1974): CO₂-Gaswechsel-Untersuchungen zur SO₂-Resistenz von Flechten. *Oecologia* (Berl.) 15: 33–64.
- TÜRK, R. & V. WIRTH (1975): Die SO₂-Schädigung von Flechten in ihrer Abhängigkeit vom pH-Wert. *Oecologia* (in Vorbereitung).
- WIRTH, V. & R. TÜRK (1975): Über die SO₂-Resistenz von Flechten und die mit ihr interferierenden Faktoren. *Verh. Ges. Ökologie*, Erlangen.

Anschrift der Verfasser:

Dr. R. TÜRK & V. WIRTH, Botanisches Institut II der Universität Würzburg, D 87 Würzburg.