

SYSTEMATISCH-ÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN RINDENFLECHTEN
IN SÜDWESTDEUTSCHLAND UND SÜDOSTFRANKREICH

von WOLFGANG SEITZ

Von mehreren, modellartig ausgewählten Städten aus Süd- und Südwestdeutschland (Saarbrücken, Trier, Karlsruhe u.a.) sowie dem angrenzenden Frankreich (Strasbourg) wurden nach der Methode von SEITZ (1973) an Laubbäumen Flechtenvegetationsanalysen durchgeführt und mit mit ein und demselben Meßgerät (Ultragas-U 3 S -SO₂; s. Abb. 1) aufgenommenen Daten für SO₂-Emissionen verglichen. Es konnte dabei auf nur eine Schadstoffquelle (vgl. auch SEITZ & SCHADE 1976) zurückgegriffen werden, die für Flechtenthalli jedoch eine Hauptschadensursache darstellt, so daß der lediglich in Spuren vorhandene und zudem meist eng lokal begrenzte Fluorwasserstoff zu vernachlässigen war.



Abb. 1 SO₂-Ultragas-U 3S - Meßgerät (WÖSTHOFF, 1973) mit 10 l - Vorratsflasche (H₂O₂ + ln H₂SO₄ + H₂O-Lösungsgemisch), dem Plastikflakon für die verbrauchte Reaktionslösung sowie rückseitig mit einem 50 cm langen Teflonschlauch zum Einsaugen der Luft.

Bereits eine Reihe früherer Untersuchungen wie z.B. von SKYE (1964) für Stockholm, FENTON (1974) für Belfast, GILBERT (1965) für Newcastle/England, BRODO in LE BLANC & DE SLOOVER (1970) für das Ruhrgebiet, DREISINGER (1965) für Sudbury/Canada (vgl. auch YAMASHITA 1973 für Toronto) sowie von TRASS (1973) für Leningrad deuteten auf eine hohe Streuung der SO_2 -Werte hin. In einer neueren Arbeit berichtet NASH (1976), daß manche Flechten eine Empfindlichkeit aufweisen, die Konzentrationen von 0,5 bis 2,0 mg SO_2/m^3 Luft verträgt. Allerdings konnte bei einigen Arten die beobachtete, relative Toxizität durch Laborbegasungsversuche nicht bestätigt werden. NASH weist ferner darauf hin, daß transplantierte Flechten hohe Mengen von Fe, Zn, Pb oder Cu akkumulieren (z.B. in Sudbury bis zu 5000 μg Fe/g Flechte), daß aber in keinem dieser Fälle eine Toxizität bewiesen werden konnte. Nach Meinung des Autors dürfte auch hier in erster Linie SO_2 der Schad-Faktor sein.

Unsere eigenen, etwa 14 000, über einen Zeitraum von drei Jahren ermittelten SO_2 -Meßdaten, die auszugsweise in nachstehender Tabelle wiedergegeben sind und später an anderer Stelle ausführlich veröffentlicht werden sollen (SEITZ 1979), machen folgendes deutlich (vgl. z.B. die Mittelwerte für Karlsruhe): Die 1970 von HAWSKWORTH & ROSE für Großbritannien und von weiteren Autoren für andere Gebiete (u.a. TRASS 1973) aufgestellte 10-Werte-Schätzskala, mittels der epiphytische Flechten für eine detaillierte, *s e m i q u a n t i t a t i v e* Erfassung von SO_2 -Luftverunreinigungen verwendet werden, ist für den Untersuchungsraum, d.h. für überregionale Gebiete, nicht anwendbar. Im einzelnen dürfte dabei auch der von TRASS angegebene Wert für die "Flechtenwüste" ($> 0,3$ mg SO_2/m^3 Luft; = Zone V) als wesentlich zu hoch zu revidieren sein.

Auffallend war bei unseren Untersuchungen jedoch, daß in dem gewählten Untersuchungsraum Zentraleuropas die Zusammensetzung der mit den Meßdaten verglichenen Flechtenarten sowie die vorkommenden Assoziationen (*Physcietum ascendentis*, *Parmelietum acetabuli*, *Pseudevernetium furfuraceae*, *Lecanoretum conizaeoidis* bzw. *Protococetum viridis* u.a.; vgl. BARKMAN 1958, 1966, FOLLMANN 1976, KLEMENT 1955, SEITZ 1972, 1973, 1979) außerordentlich ähnlich, ja teilweise fast identisch waren. Lediglich im Süden des Untersuchungsareals (z.B. in Karlsruhe) traten einige abweichende Arten wie die zentraleuropäisch verbreitete *Parmelia flaventior* STIRT. auf. Auch ein Vergleich mit der z.B. sowohl von SKYE (1964) für Stockholm wie auch von LE BLANC & DE SLOOVER (1970) für Montreal angegebenen Flechtenart *Lecanora hageni* ACH. weist darauf hin, daß offensichtlich über weite Gebiete hin Lichenenspezies in *q u a l i t a t i v e r* Korrelation zu SO_2 -Emissionen stehen; *L. hageni* gilt nach Freilandbeobachtungen übereinstimmend als eine der immissionsunempfindlichsten Arten.

Abb. 2 zeigt, graphisch aufgetragen, die Unterschiede zweier häufiger Flechten, *Lecanora conizaeoides* NYL. ex CROMB. und *Hypogymnia physodes* (L.) NYL., hinsichtlich ihrer mittleren Frequenz (siehe JUNGBLUTH 1974), d.h. dem Mittelwert ihres mehrfachen Auftretens im Aufnahmefeld an den Untersuchungsstationen in dem durch SO_2 nur relativ wenig verunreinigten Stadtgebiet von Trier (vgl. Tabelle).

Tabelle: Verteilung des monatlichen mittleren SO₂-Gehaltes I₁¹⁾ (mg/m³ Luft) in den Jahren 1973/74 in folgenden Stadtgebieten:

Flech- tenzonen	Karlsruhe	Saarbrücken	Strasbourg	Trier
V	3.1973 0,055 (b)	5.1973 0,050 (a)	4.1974 0,040 (a)	9.1973 0,046 (a)
IV			4.1974 0,042 (c)	8.1973 0,092 (b)
III		5.1973 0,071 (i)		
II	3.1973 0,063 (p)			

1) I₁ stellt dabei das arithmetische Mittel aus über 10 Einzelmessungen (unterstrichen bedeutet mehr als 10 Messungen) über je 30 Minuten dar. Als Meßtage der einzelnen Monate wurden jeweils ein oder mehrere, hintereinanderliegende Tage mit möglichst einheitlichen klimatischen Bedingungen gewählt. Meßstellenstandorte (Schlauchhöhe des Meßgerätes, soweit nicht anders angegeben, in 1,50 - 2,20 m Höhe) in Karlsruhe: (Ludwigsplatz (b); Durlach (p)), Saarbrücken: (Ilseplatz (a) - Meßhöhe bei ca. 6 m; Winterberg (i)), Strasbourg: (Place de Tripiers (a); Rue de la Canadière (c)) und Trier; (Paulinistr. (a); Balduinstr. (b)).

Flechtenzonierungen I/II (= ± "Reinluftzone") bis V (= "Flechtenwüste") nach SEITZ (1973). Weitere Einzelheiten s. bei SEITZ (1979).

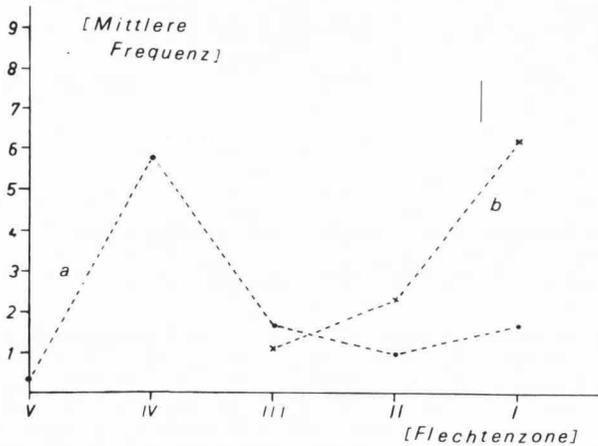


Abb. 2 Frequenz-Mittelwerte von *Lecanora conizaeoides* NYL. ex CROMB. (a) und *Hypogymnia physodes* (L.) (b) in der industrie-armen Stadt Trier (römische Zahlen = Flechtenzonierungen wie in Tabelle; nach JUNGBLUTH 1974).

In ausgesprochenen Industriestädten (u.a. Neunkirchen, Saarbrücken) sind diese relativ deutlichen Unterschiede zwischen der hochtoxitoleranten Krustenflechte (a) und der erheblich empfindlicheren Blattflechte (b) offensichtlich mehr verwischt. *H. physodes* dringt, zumindest in Initialstadien, bis tief in die Stadtgebiete ein (z.B. in Saarbrücken bis nach St. Arnual).

Ferner wurden Proben von aus Friesenried nördlich Kempten (Abb.) stammender *Lecanora varia* (EHRH.) ACH. zur SO₂-Immissionsaussetzung nach Neunkirchen ins Saarland transplantiert. Bei diesen Versuchen, die mit einer Dosis von bis zu 0,6 mg SO₂/m³ Luft über 3 Monate lang durchgeführt wurden, konnte im Freiland erstmals in Deutschland folgendes festgestellt werden: Die über einen längeren Zeitraum einer relativ hohen SO₂-Konzentration ausgesetzte, montanere Art *L. varia* ließ sich zumindest morphologisch in die von WIRTH & TÜRK (1975) in Laborversuchen als toxitoleranteste Lichenenspezies getestete *Lecanora conizaeoides* umwandeln. Dabei entstanden einwandfrei sorediöse Lager- teile, wie sie bereits von PIŠŮT & JELÍNKOVÁ (1971, 1973) in der Tschechoslowakei nachgewiesen wurden. Die beiden oben genannten Sippen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer chemischen Inhalts- stoffe sehr deutlich: *L. conizaeoides* enthält vorwiegend Fumar- protocetrarsäure (Abb.3a), die mit p-Phenylendiamin (= Pd) positiv rot reagiert, während die stets fruchtende *L. varia* Psoromsäure (Abb.3b) aufweist, die sich mit dem gleichen Reagens hellgelb anfärbt (s. CULBERSON 1969, 1970).

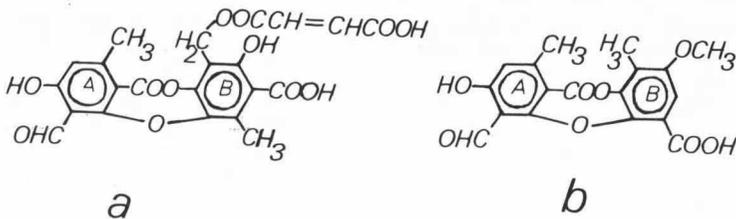


Abb. 3 Chemische Formeln von Fumarprotocetrarsäure (a) und Psoromsäure (b). Ring A identisch, Ring B bei (a) mit 4 verschiedenen Substituenten zu (b).

In morphologischer Hinsicht besitzt *L. varia* als offensichtliche Ursprungsspezies ein soredienloses, ± glattes Lager. Die sich heute geographisch immer weiter ausbreitende *L. conizaeoides* hat dagegen einen völlig sorediös aufgelösten Thallus mit relativ wenigen oder gar keinen Apothezien. PIŠŮT & JELÍNKOVÁ konnten bei ihren Untersuchungen (1973) im Gebiet um Bratislava (134 m - 230 m) ferner feststellen, daß besonders die Früchte der *L. varia* (Herkunft: Kremnica; 620 m) bei SO₂-Einwirkung unter Bildung größerer und kleinerer, konvexer Lagerwäzchen schließlich körnig-sorediös zerfallen. Dies konnte bei unseren Beobachtungen nicht oder nur sehr selten beobachtet werden.

L. varia und *L. conizaeoides* müssen auf Grund der oben angegebenen Merkmalskriterien als zwei auch morphologisch gut trennbare Arten angesehen werden (vgl. OZENDA & CLAUZADE 1970). Eigene chemotaxonomische Analysen konnten allerdings bis jetzt noch nicht eindeutig

klären, ob die sich nach SO₂-Einwirkung rot färbenden Thallusteile von *L. varia* (Herkunft: Friesenried/Obb.) wirklich Fumarprotocetrarsäure enthalten, oder ob durch die SO₂-Immission eine Veränderung der Enzymaktivitäten eingetreten ist und sich eine neue Verbindung eingestellt hat. In den sich makrochemisch mit dem Pd-Reagens orangerot anfärbenden Thallusteilen konnte jedenfalls keine Psoromsäure mehr identifiziert werden, d.h. daß bei der "künstlichen" Soredienbildung durch das SO₂ offensichtlich die Ester- und vielleicht sogar die Ätherbindung des Depsidons (Abb. 3b) gespalten wird und sich möglicherweise einfache Phenole im Thallus anreichern. Weitere Untersuchungen darüber sind noch im Gange. Für *L. conizaeoides* (Herkunft: Oberputzkau i. Sachsen) konnte mit dünnschichtchromatographischen Methoden neben Usninsäure (reichlich) und Fumarprotocetrarsäure (reichlich) auch erstmals Protocetrarsäure (reichlich) nachgewiesen werden, während in *L. varia* (Herkunft: Friesenried/Obb.) einheitlich Usninsäure (reichlich), Psoromsäure (reichlich) und möglicherweise Spuren von Con-Psoromsäure und einem Terpenoid enthalten waren (vgl. auch CULBERSON 1970).

Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhange die im Labor vorgenommenen Begasungsversuche von WIRTH & TÜRK (1975), die mit einer Dosis von 4 (!) mg SO₂/m³ Luft über 14 Stunden - im Gegensatz zu unseren Befunden - nach den Angaben von WIRTH (1974, Tagung Erlangen) keinerlei morphologische oder auch flechtenstoffchemische Umwandlungsreaktionen an *Lecanora varia* finden konnten. Dies scheint neben anderen divergierenden Daten (vgl. NASH 1976, RITSCHEL 1976 u.a. Autoren) daraufhinzuweisen, daß die im Labor simulierten Resistenzversuche vielfach nicht mit dem Verhalten der Flechten an ihrem natürlichen, ökologischen Standort übereinstimmen (s. auch DÄSSLER & RANFT 1969, BÖRTITZ & RANFT 1972). Die Entstehung von *L. conizaeoides* dürfte mit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert infolge steigenden SO₂-Gehaltes der Luft polytop durch Mutationen anzunehmen sein. Zum Beispiel ist in London um 1850 das erste Auftreten dieser Sippe belegt (vgl. LAUNDON 1967).

Kürzlich konnte auch im Saarland *L. varia* (EHRH.) ACH. am Kahlen Berge nördlich Böckweiler an einem alten Kirschbaum (*Prunus avium* L.) entdeckt werden. In der Umgebung dieses Standortes war bisher nur *L. conizaeoides* festgestellt worden. Unmittelbar neben *L. varia* konnte an dem gleichen Baum - offensichtlich ineinander übergehend - auch die sorediöse Parallelart *L. conizaeoides* getroffen werden (Abb. 4). Da die Thalli demzufolge ungefähr gleichen Alters sein müssen, kann die "Entstehung" von *L. conizaeoides*, wenn überhaupt, nur sehr früh durch aus *L. varia* hervorgegangenen Soredien zustande gekommen sein. Außergewöhnlich an diesem Fund ist die niedrige Höhenstufe (370 m !), da *L. varia* normalerweise erst ab 600 bis 700 m Höhe vorkommt. Auch dies scheint daraufhinzuweisen, daß hier durch einen noch ungeklärten Mechanismus - wobei möglicherweise das SO₂ eine Primärrolle spielt - diese Sippe entstanden sein dürfte.

Den Herren Prof. Dr. C. LEUCKERT (Berlin) bin ich für die chromatographischen Analysen, cand.rer.nat. K.O. SATTIG (Karlsruhe) für fachmännische Hilfe bei der Datenauswertung durch den Rechner-Computer, Dr. T.H. NASH III (Tempe/Arizona; U.S.A.) und Prof. Dr. J. POELT (Graz) für kritische Hinweise sowie Dr. W. SCHILD (Saarbrücken) und Dr. P. WUNDERWALD (Tutzing) für die Diskussion

chemischer Fragen sehr zu Dank verpflichtet. Der Universität des Saarlandes danke ich für eine Forschungsbeihilfe.

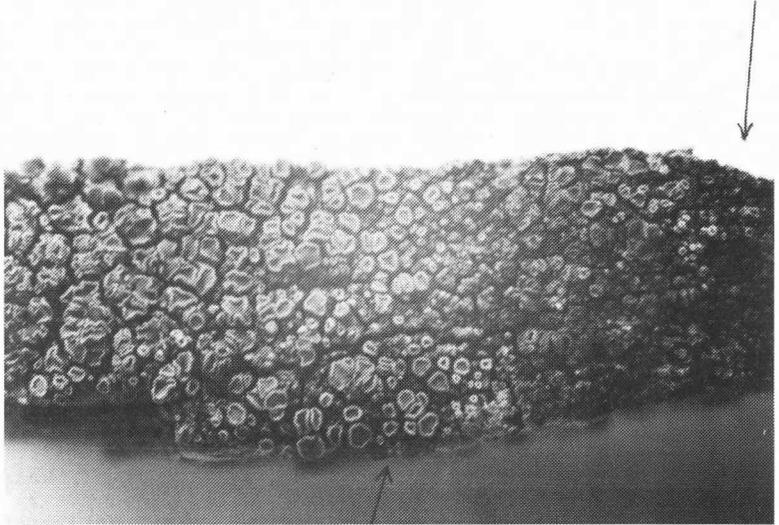


Abb. 4 *Lecanora varia* (EHRH.) ACH. (-links, makrochemische Reaktion mit Pd + hellgelb; Pfeil) und *Lecanora conizaeoides* NYL. ex CROMB. (-rechts, Pd + blutrot; Pfeil) aus dem südlichen Saarland nördlich Böckweiler. Der glatte, vollfertile Thallus der ersteren Art geht ohne erkennbare Trennung in das teils sorediöse, weniger Apothezien besitzende Lager der zweiten Sippe über.

Zusammenfassung

In einigen modellartig ausgewählten Städten Süd- und Südwestdeutschlands (u.a. Saarbrücken) sowie Ostfrankreichs wurden mit einem WÖSTHOFF-Gerät (Ultragas - U 3 S- SO₂) SO₂-Meßdaten aufgenommen. Diese zeigen, daß es nicht möglich ist, mittels epiphytisch wachsender Lichenen - anhand von graduierten Schätzskalen - quantitative Aussagen über SO₂-Luftverunreinigungen zu machen. Weiterhin wird erstmals in Deutschland festgestellt, daß sich die in montanen Gebieten vorkommende, nichtsorediöse *Lecanora varia* (EHRH.) ACH. zumindest morphologisch durch SO₂-Einwirkungen in die hochtoxikolerante, sorediöse Flechtenart *Lecanora conizaeoides* NYL. ex CROMB. umwandeln läßt. Im Saarland nördlich Böckweiler konnten hierzu interessante, mögliche Übergangsstadien gefunden werden. Mit dünschichtchromatographischen Methoden wurde in *L. conizaeoides* neben Fumarprotocetrarsäure und anderen bekannten Substanzen erstmals Protocetrarsäure identifiziert.

Literatur

- BARKMAN, J.J., 1958: Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes (including a taxonomic survey and description of their vegetation units in Europe), 1 - 628. Assen (Niederlande).
- BARKMAN, J.J., 1966: Menschlicher Einfluß auf die Epiphyten-Vegetation West-Europas. Anthropogene Vegetation; Ber. Intern. Symp. Stolzenau/Weser 1961. Den Haag.
- BÖRTITZ, S. & H. RANFT, 1972: Zur SO₂- und HF-Empfindlichkeit von Flechten und Moosen. Biol. Zbl. 91, 613-623.
- BRODO, I.M., 1966: Lichen growth and cities: A study on Long Island, New York. The Bryologist 69, 427-449.
- CULBERSON, Ch.F., 1969: Chemical and botanical guide to lichen products. Chapel Hill (North Carolina, U.S.A.).
- CULBERSON, Ch.F., 1970: Supplement to "Chemical and botanical guide to lichen products". The Bryologist 73, 177-377.
- DÄSSLER, H.-G. & H. RANFT, 1969: Das Verhalten von Flechten und Moosen unter dem Einfluß einer Schwefeldioxidbegasung. Flora (Abt. B) 158, 454-461.
- DREISINGER, B. R., 1965: Sulfur dioxide levels and the effects of the gas on vegetation near Sudbury, Ontario, Ontario. Dep. Mines, Sudbury (Mimeographed report).
- FENTON, A.F., 1964: Atmospheric pollution of Belfast and its relationship to the lichen flora. Irish Natur. J. 14, 237-245.
- FOLLMANN, G., 1974: Nordhessische Flechtengesellschaften II. Das Pseudevernetum furfuraceae (HIL.) OCHSN. Hess. Flor. Briefe 23 (3), 40-47.
- GILBERT, O.L., 1965: Lichens as indicators of air pollution in the Tyne Valley. In: Ecology and the Industrial Society (G.T. GOODMAN et al.), 35-47 London.
- HAWKSWORTH, D.L. & F. ROSE, 1970: Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. Nature 227, 145-148.
- JUNGBLUT, W., 1974: Untersuchungen zum Problem Flechtenwuchs und Luftverunreinigung in Rheinland-Pfalz. Staatsexamensarbeit (unpubl.), Saarbrücken.
- KLEMENT, O., 1955: Prodrromus der mitteleuropäischen Flechtengesellschaften. Fedd. Report. Beih. 135, 5-194.
- LAUNDON, J.R., 1967: A study of the lichen flora of London. London Natur. 49, 20-69.
- LE BLANC, F. & J. DE SLOOVER, 1970: Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Canadian Journal of Botany 48, 1485-1496.
- MOSBACH, K. 1969: Zur Biosynthese von Flechtenstoffen, Produkten einer symbiotischen Lebensgemeinschaft. Angewandte Chemie 81 (7), 233-268.
- NASH III, T.H., 1976: Lichen as indicators of air pollution. Die Naturwissenschaften 63, 364-367.

- OZENDA, P. & G. CLAUZADE, 1970: Les lichens. Étude biologique et flore illustrée. Paris.
- PIŠŮT, I. & E. JELÍNKOVÁ, 1971: Über die Artberechtigung der Flechte *Lecanora conizaeoides* Nyl. ex Cromb. *Preslia* 43, 254-257.
- PIŠŮT, I. & R. JELÍNKOVÁ, 1973: Anmerkungen über die Immissionseinflüsse auf die Variabilität der Flechte *Lecanora varia* (EHRH.) ACH. im Gebiet von Bratislava. *Biologija Bratislava* 28, 279-287.
- RITSCHHEL, G., 1976: Neue und wenig beachtete epiphytische Flechten im Stadtgebiet von Zürich. *Herzogia* 4 (1/2), 33-46.
- SEITZ, W., 1970: Flechten aus dem Saarland. *Faun.-flor. Notizen Saarl.* 3 (1): 1-4.
- SEITZ, W., 1972: Luftverunreinigung und Flechtenwuchs. *Umwelt-Saar*, 41-49. Saarbrücken.
- SEITZ, W., 1973: Flechtenwuchs und Luftverunreinigung im Großraum von Saarbrücken. *Ber.Deutsch.Bot.Ges.* 85 (5/6), 239-247.
- SEITZ, W. & A. SCHADE, 1976: Calciumoxalat, ein bemerkenswertes "Abfallprodukt" in Flechten. *Beiträge z.Biol.d.Pfl.* 52, 355-382.
- SEITZ, W., 1979: Studien an kortizikolen Flechtengesellschaften und ihrer ökologischen Korrelation zur Luftverunreinigung in Süddeutschland und Südostfrankreich. In Vorbereitung.
- SKYE, E., 1964: Epifytfloran och luftföroreningarna. *Svensk Naturvetenskap*, 327-332. Stockholm.
- TRASS, H. 1973: Lichen sensitivity to the air pollution and index of poleotolerance (I.P.). *Folia cryptogamica Estonica* 3, 17-24.
- WIRTH, V. & R. TÜRK, 1975: Über die SO₂-Resistenz von Flechten und die mit ihr interferierenden Faktoren. *Verh.Ges.Ökologie Erlangen* 1974, 173-179.
- YAMASHITA, S., 1973: Air pollution study from measurements of Solar Radiation. *Arch.Met.Geoph.Biokl.* 21 (Ser. B), 243-253.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Wolfgang SEITZ
 In der Mückendell 9
 D-6602 Saarbrücken-Dudweiler (Germany)

Jeden ersten Donnerstag im Monat jeweils um 20 Uhr treffen sich interessierte Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft zum zwanglosen Informationsaustausch im Ratskeller, Saarbrücken.

Schriftleitung: Dr. Harald SCHREIBER, Lehrstuhl für Biogeographie
 Universität des Saarlandes, 6600 Saarbrücken 11

Verlag: A. Balzert, Buchdruckerei, Pickardstraße 31
 6625 Püttlingen

Preis: DM 2.--

Mitgliedsbeiträge können auf das Konto Nr. 2550 bei der Kreis-sparkasse Saarbrücken eingezahlt werden. Sie erleichtern uns die Arbeit, wenn Sie eine Einzugsermächtigung ausfüllen.