

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Saarbrücken 1973.

FLECHTENKARTIERUNG UND ENZYMAKTIVITÄT ALS INDIKATION DER LUFTVERUNREINIGUNG IN ESSLINGEN

E. BAUER & K. KREEB

Abstract

The mapping of the vegetation of lichens in Esslingen showed clearly various zonations of diminution of species. This depends on a different air pollution. In order to get besides observations exact data, a new method was tested: enzymes (phosphatase activity) indicate well the vitality of lichens. Because many locations with fruit trees are found in this area, an "enzyme map" was drawn. It corresponds generally with the vegetation map, but is more detailed.

Die Flechtenindikation zur Charakterisierung klimatischer und atmosphärischer Verhältnisse in Ballungsgebieten ist bereits in zahlreichen Untersuchungen angewandt worden (FERRY, BADDELEY & HAWKSWORTH, 1973). Allerdings hat die Methode der Flechtenkartierung auch bei sorgfältiger Arbeit gewisse unvermeidbare Schwierigkeiten. Es gibt Orte in einem Stadtbezirk, in denen Bäume zufällig fehlen oder von ihren Besitzern durch Baumpflege nahezu flechtenfrei gehalten werden. Zwar könnte hier durch das Anbringen von Transplantaten ein ergänzender Ausgleich versucht werden, doch konnte in eigenen Versuchen im Untersuchungsgebiet Esslingen während des aus praktischen Gründen begrenzten Untersuchungszeitraumes kein durch Verfärben erkennbares Absterben ausgesetzter Flechten, auch nicht im Stadtkern, festgestellt werden. Auch ist bei vielen Flechten durch blossen Augenschein nicht eindeutig festzustellen, in welchem Zustand sie sich befinden, ob im normalen Vegetationszustand oder im absterbenden Zustand oder im bereits abgestorbenen Zustand. Aus dem gleichen Grunde ist das Ausbringen von Flechentransplantaten an Orten, wo natürlicherweise Flechtenbewuchs fehlt, mit Schwierigkeiten und Mängeln verbunden, ganz abgesehen von vielleicht erforderlichen über Jahre sich erstreckenden Beobachtungszeiträumen. Es wurde deshalb nach einer Methode gesucht, mit der Unterschiede in der Vitalität der Flechten eindeutiger und wenn möglich messbar erfasst werden können. Eine solche Methode liesse auch Schadeinflüsse erfassen, die zwar nicht zum Absterben der Flechten führen, aber doch eine mehr oder weniger starke Beeinträchtigung ihrer Vitalität hervorrufen. Ergebnisse einer geeigneten Methode müssten dann zunächst zu einer Bestätigung der Flechtenkartierung führen. Darüber hinaus könnte die Methode aber auch zusätzliche Differenzierungen ermöglichen, weil im Untersuchungsraum vorhandene Flechten durch verschiedene Grade der Vitalitätsschwächung Reaktionen auf Schadeinflüsse belegen. Schliesslich sollte diese Methode auch die Möglichkeit schaffen, etwa ausgebrachte Transplantate auf vorhandene, aber nicht zum Absterben führende Schadeinflüsse zu untersuchen.

In verschiedenen Arbeiten (KLEE 1970, DÄSSLER & RANFT 1969) wurde bereits gezeigt, dass Schädigungen von Flechten durch Schadimmissionen auch in einer Veränderung biochemischer Prozesse sich äussern. Metabolische Prozesse aber sind gekoppelt mit Aktivitätsänderungen daran beteiligter Enzyme. Grundsätzlich wird sich eine Schwächung der Vitalität von Zellen auch im Absinken der Aktivität gewisser Enzyme zeigen. Nach Durchsicht der Literatur erschien für die geschilder-

ten Zwecke geeignet, Untersuchungen über die Aktivität der Phosphatasen in den Flechten anzustellen. Man fasst darunter eine Gruppe von Enzymen zusammen, die durch hydrolytische Spaltung von Phosphatesteren an den Stoffwechselreaktionen und Biosynthesenketten der Zelle intensiv beteiligt sind. Für die Sauren Phosphatasen mit ihrem Wirkungsoptimum im sauren Milieu gibt es eine gut durchgearbeitete verlässliche Bestimmungsmethode, die auch von uns angewandt wurde (BERGMEYER 1970).

Wir schildern kurz die Arbeitsmethode: Die eingesammelten Flechtenproben wurden sofort in einen Klimaschrank unter konstanten Bedingungen bei einer Temperatur von 15 Grad und einer relativen Luftfeuchte von 80 Prozent gebracht. Die

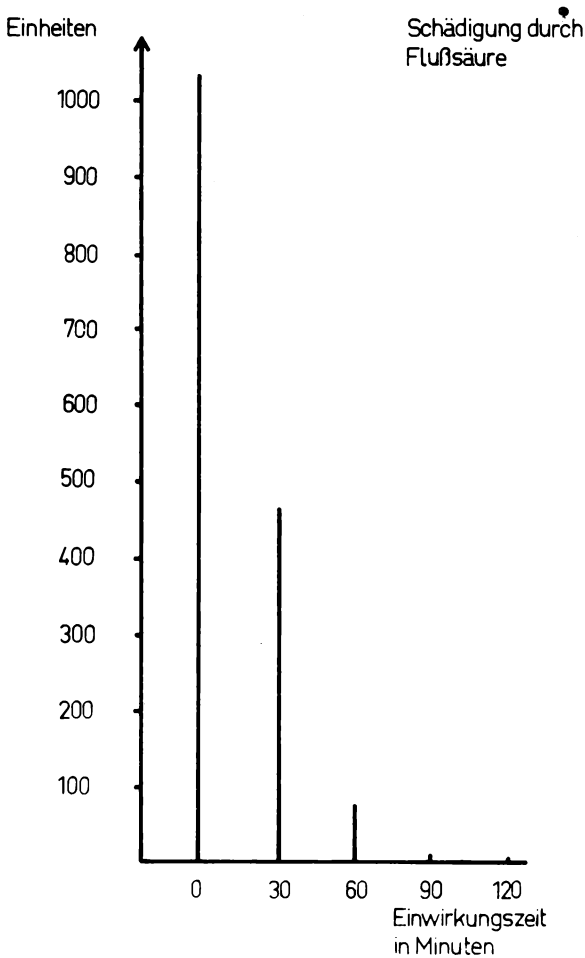


Abb. 1: Enzymschädigung durch Flußsäure.

Beleuchtung des Klimaschranks erfolgte im 12 Stunden-Rhythmus mit 10000 Lux. Nach einer Aufbewahrungszeit von 2 Tagen wurde die Aktivität der Sauren Phosphatase gemessen.

Anschließend wurde ein Thallusstück von 50 bis 80 Milligramm Gewicht, das entspricht der Grösse eines Zehnpfennigstückes, in einem Wägläschen auf 1/10 mg genau gewogen. Nach Zerreiben der Flechtenprobe mit etwas Seesand wurde aus einer Bürette in Teilmengen genau 20 ml Kochsalzlösung hinzugegeben. Das anschließende Abzentrifugieren dauerte zweimal je 5 Minuten. Die Aktivität der Sauren Phosphatase wurde photometrisch mit der Biochemika Testkombination der Firma Boehringer Mannheim bestimmt.

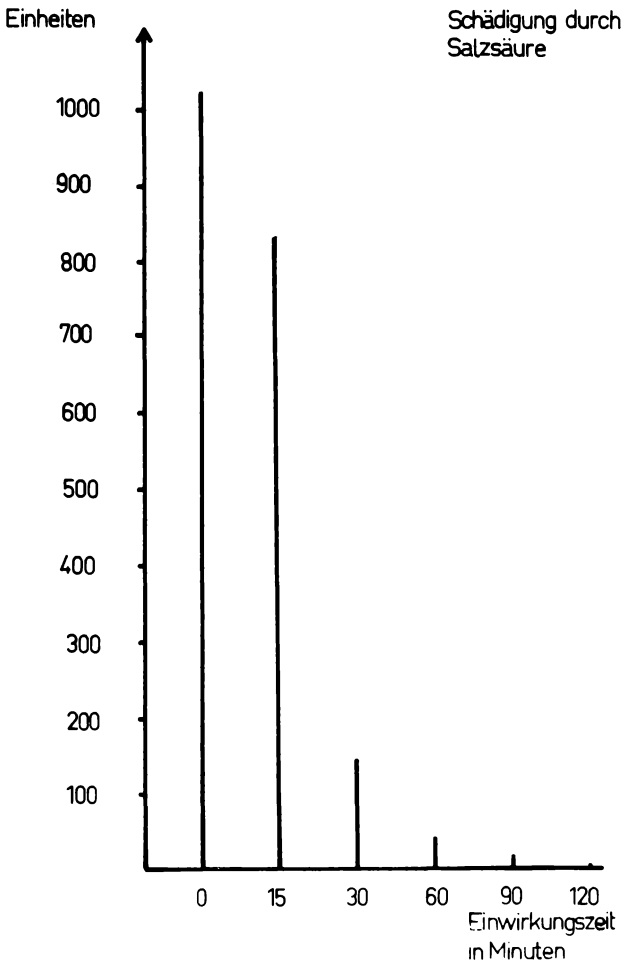


Abb. 2: Enzymschädigung durch Salzsäure.

Die Genauigkeit der Bestimmungsmethode befriedigte. Eine Untersuchung der methodisch bedingten Streuungen an Vergleichsproben ergab eine Abweichung von errechneten Mittelwerten zwischen $\pm 1\%$ und $\pm 3,5\%$.

Grosse Unterschiede in den Enzymaktivitäten zeigten sich allerdings bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten des Flechtenmaterials. Bei einer relativen Luftfeuchte von 50 bis 60% wurden Enzymaktivitäten von etwa 550 Einheiten gemessen, während bei einer relativen Luftfeuchte von nahezu 100% über 1500 Einheiten auftraten.

Weitere Untersuchungen liessen erkennen, dass die Probenahme zur Enzymaktivitätsbestimmung überlegt und sorgfältig erfolgen muss. Stark gekräuselte oder gefaltete Thallusstücke enthalten leicht Verunreinigungen, die sich bei der Aktivitätsbestimmung auswirken. Bei Sorgfalt in der Probenahme und der Aufbereitung der Proben, sowie bei genauer Einhaltung der Bestimmungsmethode, lassen sich nach den gesammelten Erfahrungen hinreichend übereinstimmende Werte über die Enzymaktivität gewinnen. Um zu prüfen, ob eine Enzymaktivitätsabnahme bei Einwirkung von Schadimmissionen auftritt, wurden Flechtenproben mit verschiedenen Schadstoffen behandelt. Die Proben wurden mit Flüssäuredampf behandelt und

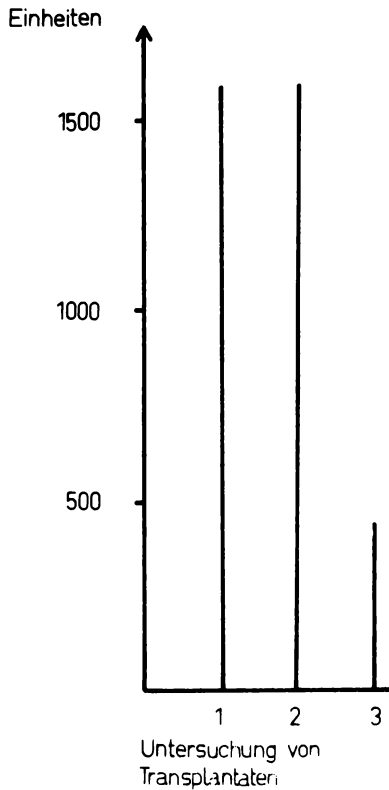


Abb. 3: Enzymaktivität bei Transplantaten.
1, 2 = frische Proben, 3 = im Stadtkern gelagerte Proben.

wie aus der Abbildung 1 ersichtlich, nach 30, 60, 90 und 120 Minuten Einwirkungszeit Stücke entnommen. Die Proben wurden danach im Klimaschrank aufbewahrt bis die Aktivitätsmessung ausgeführt wurde.

Die Aktivität fällt von einem Wert über 1000 auf 0 Einheiten ab. Die Dauer des Schadeinflusses korreliert mit der Abnahme der Enzymaktivität.

Die gleiche Untersuchung wurde mit Chlorwasserstoff durchgeführt (Abb. 2). Auch hier zeigte sich, dass die Intensität des Schadeinflusses mit der Abnahme der Enzymaktivität korrelierte. Die Brauchbarkeit der Methode wurde auch an Transplantaten überprüft. Ein Kirschbaumast aus treier Feldflur, dicht mit *Parmelia physodes* besetzt, wurde in einen Hof im Stadtkern von Esslingen gebracht. Nach 2 Monaten wurde eine Probe entnommen und auf ihre Enzymaktivität hin untersucht. Zum Vergleich dazu wurden frisch eingesammelte Proben vom gleichen natürlichen Standort untersucht (Abb. 3).

Während die frisch eingesammelten Proben (Ziffer 1 und 2) eine Enzymaktivität von etwa 1600 Einheiten zeigten, wiesen die innerhalb des Stadtkerns gelagerten Proben nur noch eine Aktivität von etwa 450 Einheiten auf. Dieses Ergebnis der Aktivitätsdepression wurde auch durch Proben, die 6 Monate im Stadtkern ausgelegt worden waren, bestätigt. Weitere Untersuchungen zeigten, dass sich der Einfluss des Wuchsortes auf die Enzymaktivität auswirkt.

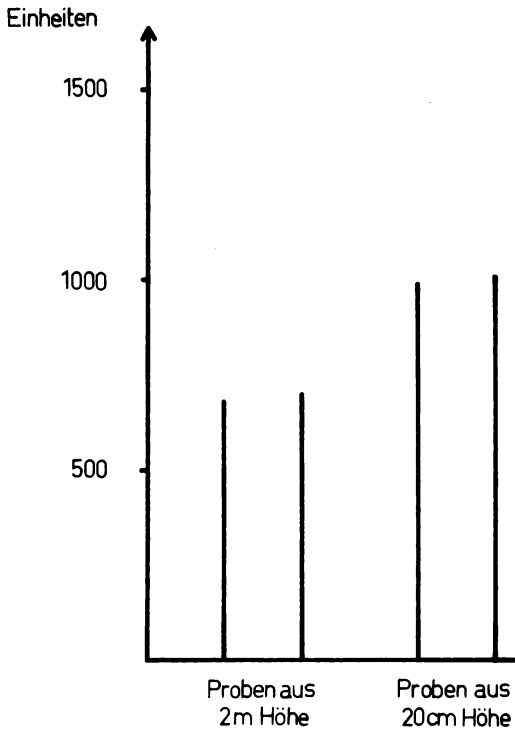


Abb. 4: Enzymaktivität in Abhängigkeit von der Lage der Flechtenproben am Stamm.

Auf einer ausgedehnten Baumwiese wurde ein Kirschbaum ausgewählt, der einen guten Flechtenbesatz aufwies. Es wurden je 2 Proben von *Parmelia physodes* am Sockel des Baumes und in 2 m Höhe entnommen und auf ihre Enzymaktivität hin untersucht (Abb. 4).

Die in 2 Meter Höhe entnommenen Proben ergaben eine Enzymaktivität von etwa 700 Einheiten, während die am Sockel entnommenen Proben eine Enzymaktivität von etwa 1200 Einheiten aufwiesen. Wiederholte Überprüfung der Untersuchung bestätigte, dass am Fuss der Bäume eine wesentlich höhere Enzymaktivität auftritt. Die unterschiedlichen Werte müssen wohl den verschiedenen ökologischen Gegebenheiten am Stammfuss und in 2 Meter Höhe zugeschrieben werden.

Nach diesen klärenden Untersuchungen wurde mit der Aufstellung einer Enzymaktivitätskarte für den Untersuchungsraum begonnen. Dazu wurden im August 1972 an 68 Stellen im Stadtgebiet Esslingen Proben von *Parmelia physodes* an Baumstämmen entnommen.

Da die Enzymaktivität von Flechtenproben, die von verschiedenen Stellen an einem Baumstamm stammen, stark differierte, wurden die Proben sorgfältig nach gleichen Wuchsbedingungen ausgewählt, möglichst von 1.50 Meter Stammhöhe, und vorsichtig vom Untergrund abgelöst. Dabei berücksichtigten wir auch das Aussehen. Es wurden nur jüngere Flechten, soweit man das Alter morphologisch beurteilen kann, ausgesucht. Waren am Stamm selbst keine Flechten zu finden, wurden Proben von Zweigen entnommen, soweit diese unter den gleichen Lichtverhältnissen wuchsen, wie sie am Stamm herrschten.

Flechten aus Borkennischen wurden nicht verwendet. Gleichzeitig eingesammelt wurden auch Proben von 14 Flechtentransplantaten, die an Baumstämmen im Stadtgebiet angebracht waren. Die Proben wurden 2 Tage lang im Klimaschrank aufbewahrt. Anschliessend wurde ihre Enzymaktivität bestimmt und die ermittelten Werte in den Stadtplan von Esslingen eingetragen (Abb. 5).

Die Enzymaktivität wurde in Stufen zusammengefasst und jede Stufe mit einer bestimmten Signatur gekennzeichnet. So entstanden 3 Zonen. Die Zone 1, kleine und grosse Punkte, umfasst Enzymaktivitäten bis 500 Einheiten, die Zone 2, waagrechte Schraffur, Enzymaktivitäten zwischen 500 und 850 Einheiten, und die Zone 3, kleine und grosse Karos, Enzymaktivitäten über 850 Einheiten. Innerhalb dieser 3 Zonen wurde noch weiter differenziert. Die Gebiete mit Enzymaktivitäten bis 400 Einheiten sind mit kleinen Karos ausgelegt. Gebiete mit Enzymaktivitäten über 1000 Einheiten sind mit grossen Karos gekennzeichnet.

Vergleicht man nun mit der Bebauungsdichte, so zeigt sich bei lockerer, industrie-freier Bauweise keine wesentliche Aktivitätsminderung bei den dort entnommenen Flechten gegenüber der Normalsituation im freien Gelände. Dies darf als Zeichen für eine nur geringe Verschlechterung der Umweltbedingungen gedeutet werden. Andererseits wirkt sich jede dichte Bebauung, auch ohne Industrie, wie im Neckartal und im Siedlungsbereich Esslinger Burg, stark auf die Enzymaktivität aus.

Abb. 6 zeigt die Ergebnisse der Flechtenkartierung. Es ergaben sich gewisse Übereinstimmungen mit der Karte der Enzymaktivitäten. Der Bereich der Punkte und ebenso der Bereich der Karos der Kartierungskarte liegt innerhalb des Punkt- und Karobereiches der Aktivitätskarte.

Die Karte der Flechtenkartierung kam folgendermassen zustande: Strauch- und Blattflechten wurden nach Art und Ausdehnung des Vorkommens aufgezeichnet. Die Bäume im Stadtbereich Esslingen zeigten in sehr vielen Fällen deutliche Hin-

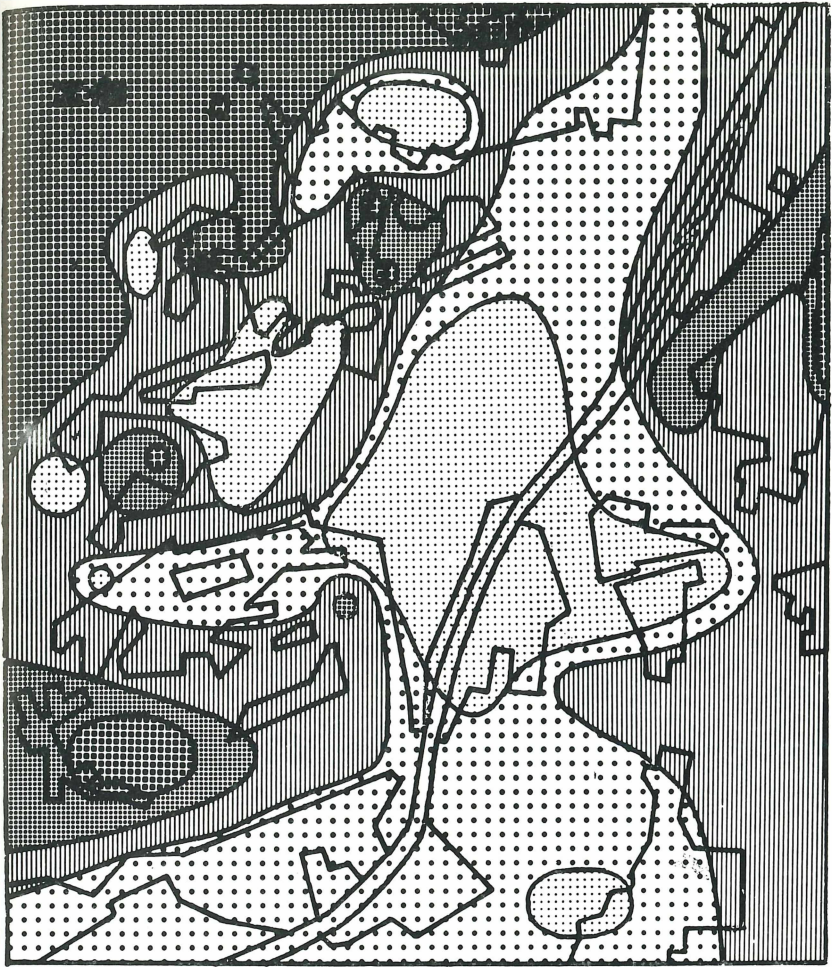


Abb. 5: Enzymaktivitätskarte von Esslingen. Enzymaktivitäten bis 400 Einheiten kleine Punkte; bis 500 Einheiten grosse Punkte; bis 850 Einheiten waagrechte Schraffur; bis 1000 Einheiten kleine Karos; über 1000 Einheiten grosse Karos.

weise von Rindenpflege. Die vorgefundenen Verhältnisse entsprechen daher nicht der natürlichen Situation. Der karierte Bereich entspricht einer Normalzone mit ungestörtem Flechtenbewuchs. Der Bedeckungsgrad der Flechten überschreitet 50% der Bezugsfläche. Die schraffierte Zone kennzeichnet ein Gebiet mit eingeschränktem Flechtenbewuchs, also eine Kampfzone. Der Bedeckungsgrad der Flechten liegt zwischen 1% und 50%. In dem Gebiet, das durch Punkte gekennzeichnet ist, fehlt Flechtenwuchs bis auf vereinzelte punktuelle Vorkommen mit Kümmerwuchs.

Wie zu erwarten zeigen die Gebiete mit dichtester Besiedlung – das Neckartal und der Stadtbereich Esslingen Burg – keinen Flechtenbewuchs. Diese beiden Teile sind

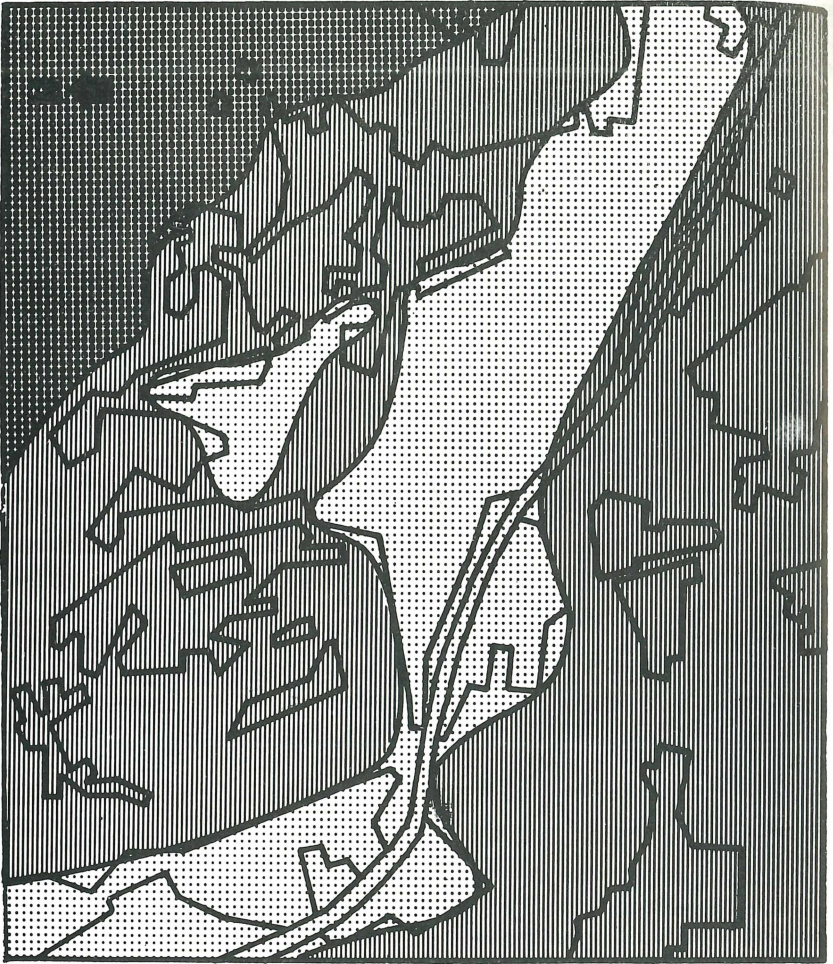


Abb. 6: Flechtenkartierung im Stadtgebiet Esslingen. Zone 1 kariert; Zone 2 schraffiert; Zone 3 punktiert.

durch einen Grüngürtel getrennt, in dem Flechten gedeihen.

Da eine feinere Untergliederung nicht möglich war, erlaubt die Kenntnis der Enzymaktivität eine weiterführende Differenzierung nach Stufen des Vitalitätszustandes der Flechten gegenüber der Flechtenkartierung.

Auffallend ist hier der grosse punktierte Bereich (Abb. 5). Es werden hier Gebiete erfasst, in denen durch ökologisch ungünstige Veränderungen der Flechtenbewuchs stark eingeschränkt ist. Auch in der für das Flechtengedeihen günstigen Zone lässt sich eine Differenzierung vornehmen.

Selbst in Gebieten, wo durch anthropogene Einflüsse nur vereinzelt Reste von Flechten zu finden sind, können diese in die Aktivitätsbestimmung einbezogen wer-

den und geben Auskunft über die Standortverhältnisse. Bei der Flechtenkartierung erscheinen Gebiete mit Dislokation als Kampfzone. Hier konnte aber in unserem Fall mit der Aktivitätsbestimmung nachgewiesen werden, dass dieser Stadtbereich nahezu ideale Wuchsbedingungen für Flechten aufweist. Die Bestimmung der Enzymaktivitäten lässt sich auch auf Transplantate anwenden, die dem Augenschein nach noch keine Reaktion auf ungünstige Ausseneinflüsse zeigen. Deshalb können an Orten, an denen durch zufällige menschliche Einflüsse Flechten fehlen, Transplantate ausgesetzt und Veränderungen ihres Vitalitätszustandes durch Messen ihrer Enzymaktivität erfasst werden.

LITERATUR

- BERGMEYER, U. (1970): Methoden der enzymatischen Analyse. Weinheim.
FERRY, D., BADDELEY, M. & HAWKSWORTH, D.L. (1973): Air Pollution and Lichens. London, 38–76.
DÄSSLER, H.S. & RANFT, H. (1969): Das Verhalten von Flechten und Moosen unter dem Einfluss einer Schwefeldioxidbegasung. *Flora* 158: 454–461.
KLEE, R. (1970): Die Wirkung von gas- und staubförmigen Immissionen auf Respiration und Inhaltsstoffe von *Parmelia physodes*. *Angew. Botanik* 14: 253–261.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. K. KREEB, Dr. E. BAUER, Apotheker, Abteilung für Ökophysiologie und Vegetationskunde, Universität Hohenheim, 7 Stuttgart 70 (Hohenheim), Schloss 1.