

# Was können Pflanzen zur Entgiftung von Formaldehyd und anderen Innenraumverunreinigungen beitragen ?

C. Langebartels, B. Nasse, L. Gößl, M. Giese, J. Fliegmann, U. Wippermann, H. Sandermann

 GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Biochemische Pflanzenpathologie, Neuherberg, 85764 Oberschleißheim

Mitte der 80er Jahre haben Studien der NASA gezeigt, daß Zimmerpflanzen die Konzentration von Formaldehyd und anderen Schadgasen wie Trichlorethylen und Benzol in Kurzzeitexperimenten unter kontrollierten Bedingungen reduzieren können (Wolverton et al., 1984). "Unter den Bedingungen dieser Studie stellten sich Grünstauden als am geeignetsten heraus, um bis zu 2.27 µg Formaldehyd pro cm<sup>2</sup> Blattfläche in 6 Stunden zu sorbieren und/oder einen Abbau zu bewirken. Die sofortige Anwendung dieses neuen botanischen Luftreinigungs-Systems sollte vor allem in energiesparenden Häusern geschehen. Diese besitzen ein hohes Risiko, daß sich diese organische Verbindung in der Luft anreichert, da sie aus Harnstoff-Formaldehyd-Isolierungen, Spanplatten und verschiedenen anderen synthetischen Materialien entweicht" (Wolverton et al., 1984). Durch diese Studien der NASA wurden jedoch wichtige Fragen nicht beantwortet. Es war zum einen unklar, ob Schadgase nur auf der Blattoberfläche oder am Boden adsorbiert werden oder ob sie wirklich in die Pflanzen aufgenommen und von ihnen entgiftet werden. Zu einer Abnahme der Schadgaskonzentrationen kam es außerdem auch dann, wenn große Teile der Blattmasse abgeschnitten wurden. Damit war grundsätzlich die Frage offen, ob Pflanzen selber über ihre grüne Blattmasse eine Entgiftung bewirken oder ob sie nur die Tätigkeit von Bodenmikroorganismen unterstützen.

Diese Unklarheiten waren vor einigen Jahren Anlaß, am Institut für Biochemische Pflanzenpathologie der GSF mit grundlegenden Arbeiten zum Metabolismus von Formaldehyd und anderen Spurengasen in Pflanzen zu beginnen. Dabei sollten folgende Fragen geklärt werden:

- Werden Formaldehyd und andere organische Spurengase über die Blattmasse von Pflanzen aufgenommen und in pflanzeneigene Inhaltsstoffe überführt ?
- Gibt es Formaldehyd-abbauende Enzyme in Pflanzen ?
- Wie effektiv sind Zimmerpflanzen als Luftfilter ?
- Welchen Beitrag können Pflanzen allgemein zur Entgiftung von Umweltchemikalien leisten (das Konzept "Grüne Leber") ?

Um eine echte Entgiftung von Formaldehyd in Zimmerpflanzen von einer bloßen Adsorption unterscheiden zu können, wurde die Substanz mit radioaktiver Markierung eingesetzt. Dadurch war möglich, eine Aufnahme von Formaldehyd in die Blätter nachzuweisen sowie Stoffwechselprodukte von Formaldehyd in der Pflanze zu erfassen. Diese Versuche wurden mit Grünstilben (*Chlorophytum comosum* (Thunb.) Jacques) durchgeführt. Es zeigte sich, daß ca. 40% der angebotenen Formaldehydmenge von den Pflanzen aufgenommen wurden. Radioaktiv markierte Stoffe (entstanden aus Formaldehyd) wurden in verschiedenen Stoffklassen gefunden, darunter Aminosäuren, organische Säuren, Zucker und Bestandteile der pflanzlichen Zellwand (Abb. 1). Um deutlich zu zeigen, daß es sich um einen echten pflanzlichen Stoffwechsel handelt und die Umsetzung nicht auf Mikroorganismen zurückzuführen ist, wurden diese Versuche mit sterilen Zellkulturen der Sojabohne (*Glycine max.* L.) wiederholt. Wurde diesen Zellkulturen radioaktiv markierter Formaldehyd angeboten, so trat ein vergleichbarer Umsatz wie bei dem Versuch mit Grünstilben auf, außerdem war das Spektrum der Stoffwechselprodukte sehr ähnlich.

Fraktionen	Grünlilie % Radioaktivität	Soja-Zellkultur % Radioaktivität
I. Methanol / Wasser-Phase des löslichen Extrakts von Blättern bzw. Zellen	68.1	31.1
II. Dichlormethan-Phase	8.4	21.8
III. gebundene Rückstände	<u>23.5</u>	<u>47.1</u>
	100.0	100.0
IV. Nährmedium der Zellkultur		
Methanol / Wasser-Phase		90.0
Dichlormethan-Phase		<u>10.0</u>
		100.0
V. wässrige Phase (von I.)		
Aminosäuren	0.6	42.9
organische Säuren	11.8	31.5
Zucker	86.2	19.7
Phosphatester	<u>1.4</u>	<u>5.9</u>
	100.0	100.0

Abb. 1 Verteilung der Radioaktivität nach Inkubation von Grünlilien und Soja-Zellkulturen mit radioaktiv markiertem Formaldehyd.

Formaldehyd wurde in Grünlilien und in Soja-Zellkulturen in ähnliche pflanzliche Inhaltsstoffe wie die Aminosäure Serin, in bestimmte Fette und in das Lignin der Zellwand eingebaut. Diese breite Verteilung spricht für einen Einbau von Formaldehyd über normale Stoffwechselwege, möglicherweise nach einer Umsetzung zum Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>).

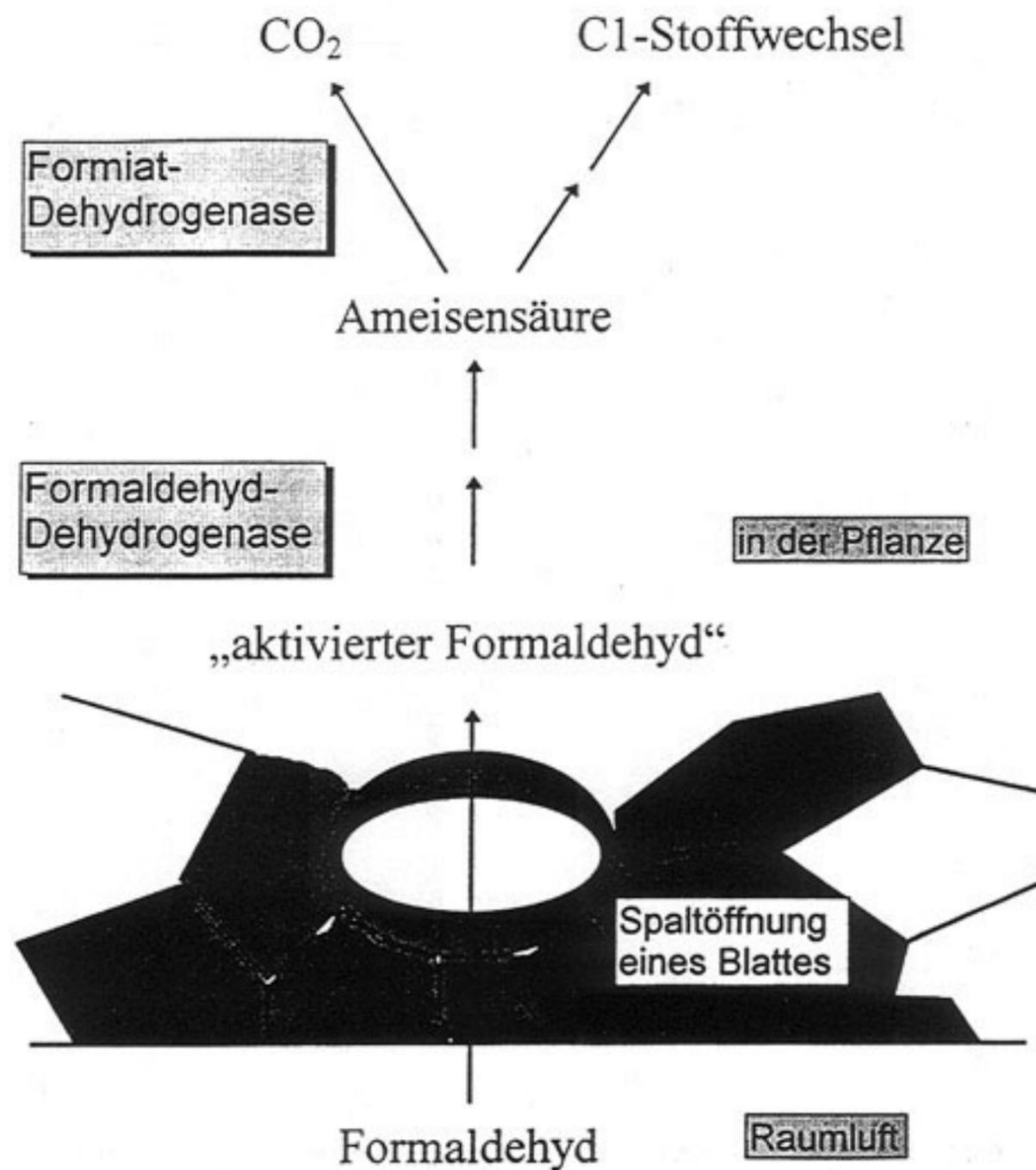
**Formaldehyd-abbauende Enzyme.**

Abb. 2. Formaldehyd-abbauende Enzyme

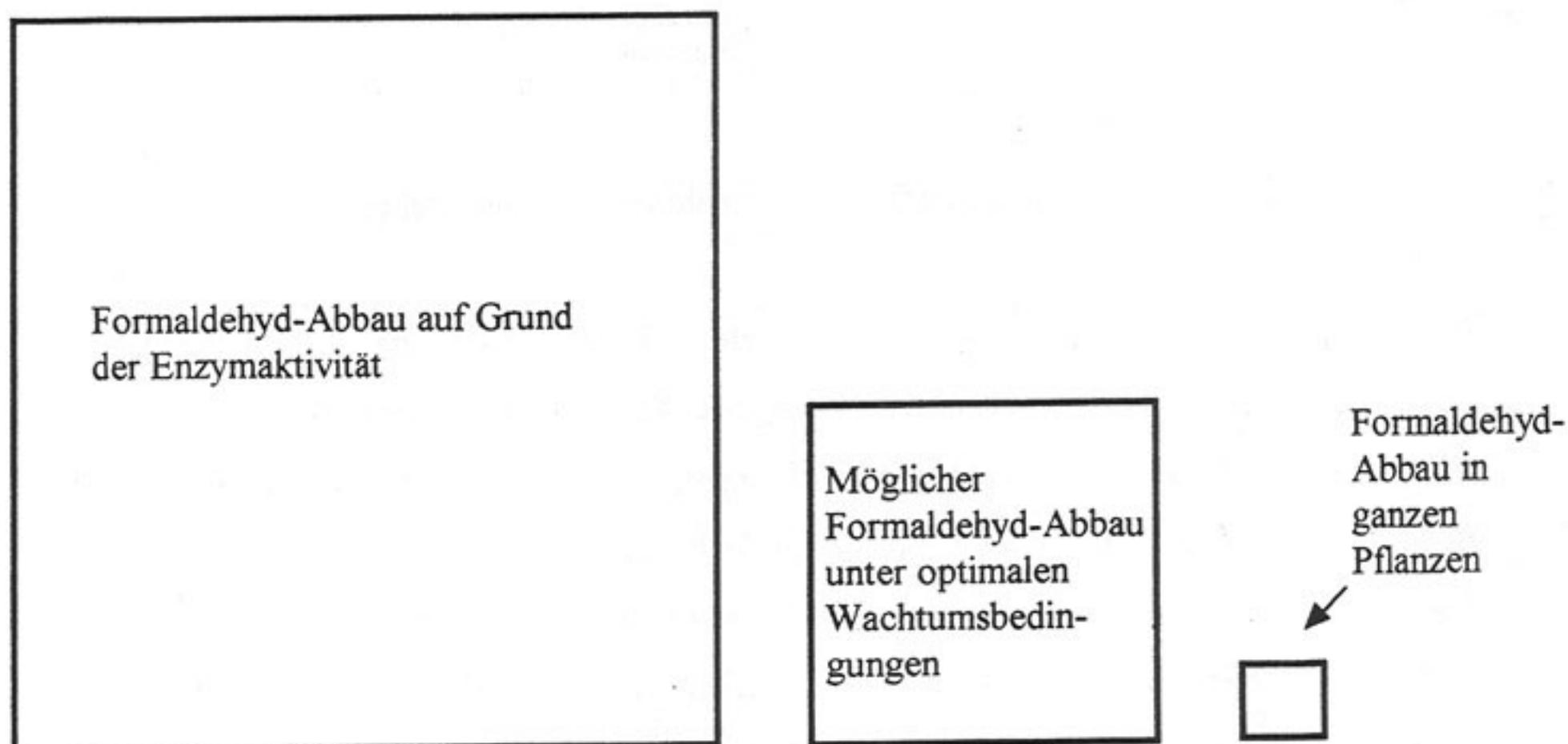
Ergänzend zu diesen Versuchen mit radioaktiv markiertem Formaldehyd wurde der Mechanismus der Entgiftung untersucht. Aus der Literatur war bekannt, daß es ein Enzym in Mikroorganismen und in Tieren gibt, welches Formaldehyd zu Ameisensäure abbauen kann (Abb. 2). Dieses Enzym mit dem Namen Formaldehyd-Dehydrogenase war bis dahin im Pflanzenbereich nur aus Erbsensamen bekannt. In Blättern wurden, wenn überhaupt, nur Spuren der Enzymaktivität nachgewiesen. Ein zweites Enzym, die Formiat-Dehydrogenase, kann Ameisensäure dann zu CO<sub>2</sub> umwandeln, was einer vollständigen Entgiftung von Formaldehyd entsprechen würde. In Blättern von Grünstilben wurden von uns erstmals hohe Aktivitäten von Formaldehyd-Dehydrogenase nachgewiesen.

Abb. 3 Vergleich des Formaldehyd-Abbaus auf Grund der Enzymaktivität (Potential) und durch intakte Grönlilienpflanzen.

Aktivität: 15 nmol Formaldehyd pro Minute und mg Protein  
 = 12.8 µg Formaldehyd pro Stunde und g Blatt

Die Enzymaktivität einer 300g schweren Grönlilie reicht damit theoretisch aus, um in 1.5 h einen Raum von 20 m<sup>2</sup> (50 m<sup>3</sup>) zu reinigen, der mit 0.1 ppm (120 µg/m<sup>3</sup>) Formaldehyd belastet ist (links).

Der *in vivo* gemessene Wert liegt 100-fach niedriger (rechts).



Diese hohe Aktivität von Formaldehyd-Dehydrogenase zeigt das enorme Potential von Grönlilien, Formaldehyd zu entgiften. In der Zwischenzeit wurden die Aktivitäten dieser beiden Formaldehyd-abbauenden Enzyme in wichtigen Zimmerpflanzenarten gemessen. Es zeigte sich, daß Formaldehyd-Dehydrogenase-Aktivitäten in fast allen Zimmerpflanzenarten nachzuweisen sind. Die Unterschiede in der Aktivität zwischen den einzelnen Arten betragen aber fast einen Faktor 100.

lat. Artname	Sorte	dt. Name	Familie
<i>Dracaena marginata</i>	„Tricolor“	Drachenbaum	Agavaceae (Monoc.)
<i>Aglaonema commutatum</i>	„Silver Queen“	Kolbenfaden	Araceae (Monoc.)
<i>Epipremnum pinnatum</i>	„Aureum“	Efeutute	Araceae (Monoc.)
<i>Spathiphyllum wallisii</i>	„White Lilliput“	Einblatt	Araceae (Monoc.)
<i>Syngonium podophyllum</i>	„Butterfly“	Purpurtute	Araceae (Monoc.)
<i>Chlorophytum comosum</i>	„Variegatum“	Grünlilie	Liliaceae (Monoc.)
<i>Schefflera arboricola</i>	„Janet Craig“	Strahlenaralie	Araliaceae (Dicot.)
<i>Ficus benjamina</i>	„Exotica“	Birkenfeige	Moraceae (Dicot.)
<i>Ficus pumila</i>	„Sunny“	Kletter-Ficus	Moraceae (Dicot.)
<i>Cissus rhombifolia</i>	„Ellen Danica“	Königswein	Vitaceae (Dicot.)
<i>Kalanchoe daigremontiana</i>		Brutblatt	Crassulaceae (Dicot.)
<i>Croton pictum</i>			Euphorbiaceae (Dicot.)
<i>Clusia minor</i>		(brasil. Baumwürger)	Clusiaceae (Dicot.)

Abb. 4 Zimmerpflanzen, an denen der Formaldehydstoffwechsel untersucht wurde.

Wie entstehen nun diese Unterschiede, die zwischen dem Entgiftungspotential (Enzymaktivität) und den in der Wirklichkeit an ganzen Pflanzen bestimmten Werten (Versuche mit radioaktiv markiertem Formaldehyd) gemessen werden? Zum einen wurden bei den Enzymaktivitäten Werte unter optimalen Bedingungen ermittelt. Auch müssen Enzym und Formaldehyd am selben Ort der Zelle zusammenkommen. Vor allem aber wird die Umsetzung von Formaldehyd durch die Aufnahme in die Pflanze begrenzt. Dieses geschieht durch kleinste Öffnungen im Blatt, sogenannte Spaltöffnungen. Es wurden demzufolge Zimmerpflanzen unter typischen Innenraumbedingungen gehalten und die Gasaufnahme (Leitfähigkeit der Spaltöffnungen) sowie die Photosynthese gemessen (Abb. 5). Die Aufnahme hängt insbesondere von den Lichtbedingungen, aber auch von sonstigen Standortfaktoren wie Luftfeuchte, Ernährung etc. ab. Wie in Abb. 5 dargestellt, zeigen sich große Unterschiede in Photosynthese und Gasaufnahme zwischen den einzelnen Pflanzenarten mit hohen Werten bei *Ficus benjamina* und geringen Werten bei *Cissus rhombifolia*. Deutlich ist auch der Einfluß des Lichtes zu erkennen: die Photosynthese erreicht sofort nach Anschalten des Lichtes um 7 Uhr hohe Werte und nach Abschalten um 21 Uhr sinkt die Photosynthese sehr rasch wieder ab.

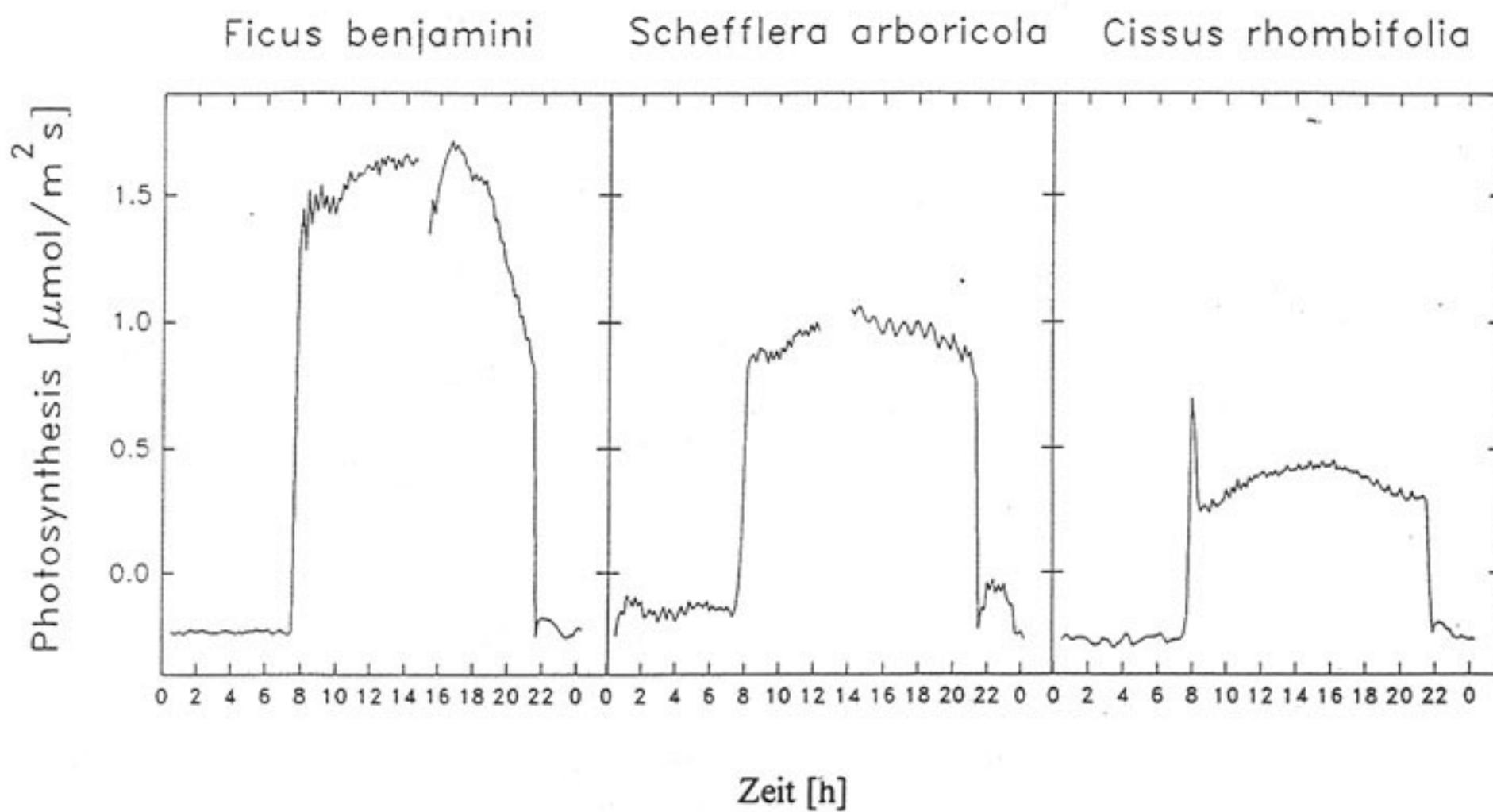


Abb. 5 Tagesverlauf der Photosynthese bei drei Zimmerpflanzenarten. Lichtphase 7-21 Uhr.

Wie Untersuchungen der letzten Jahre gezeigt haben, können Pflanzen nicht nur Formaldehyd, sondern auch andere Schadgase und Umweltchemikalien entgiften. So wurde gezeigt, daß das als Holzschutzmittelwirkstoff bekannte Pentachlorphenol (PCP) aus wässriger Lösung von Pflanzen entgiftet werden kann (Abb. 6).



2. Aus Grünstauden und anderen Zimmerpflanzen wurden Enzyme isoliert, die Formaldehyd abbauen können. Formaldehyd-Dehydrogenase baut dabei Formaldehyd zu Ameisensäure ab und zeigt in vielen Arten hohe Aktivitäten. Formiat-Dehydrogenase baut Ameisensäure weiter zu CO<sub>2</sub> ab.

3. Pflanzen können alle bisher untersuchten Umweltchemikalien "verstoffwechseln", und zwar auch solche, die als schwer abbaubar gelten, wie z.B. DDT. Pflanzen können damit als "Grüne Leber" in Analogie zu der Entgiftungsleistung der Säugerleber bezeichnet werden. Insgesamt können Zimmerpflanzen einen langdauernden Beitrag zur Reduktion von Innenraumverunreinigungen leisten, aber keine vollständige Entfernung von Schadgasen bewirken.

### Danksagung

Die Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit der Gruppe Xenobiotika unseres Institutes, und den Instituten für Inhalationsbiologie und Ökologische Chemie der GSF durchgeführt. Standardisiertes Pflanzenmaterial in Hydrokultur wurde von L. von Eisenhart, Gärtnerei Hollern (HPCA-Werkstätten), Unterschleißheim, bezogen.

### Literaturverzeichnis

Giese M, Bauer-Doranth U, Langebartels C, Sandermann H (1994): Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum* L.) and by soybean (*Glycine max.* L.) cell-suspension cultures. *Plant Physiol.* **104**, 1301-1309

Giese M, Langebartels C, Fliegmann J, Wippermann U, Sandermann H: Abbau von Formaldehyd durch Grünstauden (*Chlorophytum comosum* L.). Ein Beispiel für die Bedeutung von Pflanzen als "Grüne Leber", in: Luftreinigung durch Pflanzen - Innenraumbegrünung. Hrsg.: Zentralverband Gartenbau, Bonn, 49-58, 1995.

Komosa D, Langebartels C, Sandermann H (1995): Metabolic processes for organic chemicals in plants. In: Trapp S, McFarlane C (eds.) *Plant Contamination. Modeling and Simulation of Organic Chemical Processes*. CRC Press, Boca Raton, FL,

Wolverton BC, McDonald RC, Watkins EA (1984): Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Econ. Bot.* **38**, 224-228