

UV als Umweltfaktor in aquatischen Biotopen

Otto Siebeck

UV transmission measurements in various bodies of water show that UV-B penetrates water. Field and laboratory experiments have proved that in shallow water UV can attain doses lethal both to cladocerans and to the hard corals of the Great Barrier Reef. There is no doubt whatsoever that UV-B in shallow water must be considered an environmental factor. The phenomenon of photoreactivation was observed in all organisms tested. Various possibilities of UV protection are discussed.

UV in aquatic biotops, UV tolerance, UV transmission.

1. Einführung und Problemstellung

Die an das kurzwellige Ende der sichtbaren Strahlung anschließende ultraviolette Strahlung wird auf Grund ihrer unterschiedlichen physiologischen Wirkungen bekanntlich in 3 Spektralbereiche aufgeteilt: UV-A (380-315 nm), UV-B (315-280 nm) und UV-C (280-100 nm) (SCHULZE 1970).

Betrachten wir die verschiedenen physiologischen Wirkungen am Menschen, so liegt im UV-A-Bereich z.B. das Wirkungsmaximum der sogenannten direkten Pigmentierung (340 nm), im UV-B-Bereich das Wirkungsmaximum der Erythembildung (295 nm) mit nachfolgender sogenannter sekundärer Pigmentierung und im UV-C-Bereich das Maximum der bakteriziden Wirkung sowie ein weiteres Maximum der Erythemwirkung (BLUM 1959).

Die betreffenden spektralen Wirkungskurven haben jedoch z.T. erhebliche 'Halbwertsbreiten' (Abb. 1), so daß die langwelligen Anteile des UV-B auch noch in der die Erdoberfläche erreichenden Globalstrahlung enthalten sind. Da ihre spezifischen Wirkungen mit abnehmender Wellenlänge rasch zunehmen, ist nicht nur die Strahlungsenergie, sondern auch die Lage des kurzwelligen Endes der Globalstrahlung wesentlich. Beide Größen hängen von der Sonnenhöhe, der Höhe der Erdoberfläche über Meeresniveau und von der Beschaffenheit der Atmosphäre ab. In

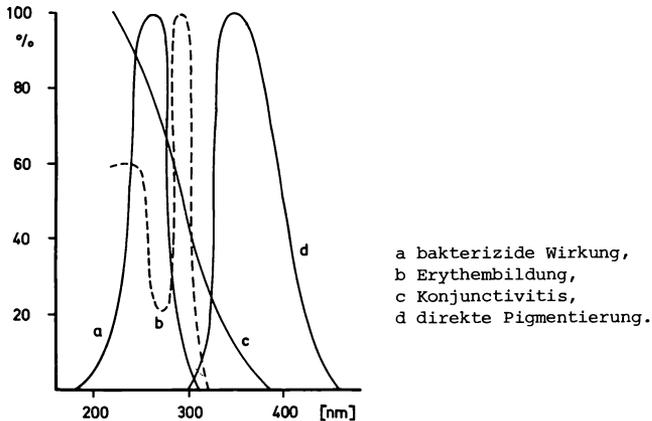


Abb. 1: Relative spektrale Wirkungskurven ultravioletter Strahlung für verschiedene physiologische Effekte, nach verschiedenen Autoren zusammengestellt.

den Niederungen reicht das UV bei hohem Sonnenstand bis ca. 300 nm, im Gebirge bis etwa 290 nm (DIRMHIRN 1964). Die relative Zunahme der UV-B-Strahlung als Anteil der Sonnen- bzw. Himmelsstrahlung ergibt sich aus der folgenden Tabelle (SAUBERER, DIRMHIRN 1958):

Seehöhe (m)		200	1000	2000	3000
Sommer	Sonne %	100	145	182	195
	Himmel %	100	118	130	134

Die Frage ist nun, ob die schädigenden Strahlen des UV-B auch in das Wasser eindringen und so für aquatische Organismen zu einem Umweltfaktor werden. Da die Transmission der sichtbaren Strahlung in den Gewässern sowohl am kurzwelligen als auch am langwelligen Ende rasch abnimmt, wurde dem am kurzwelligen Ende des sichtbaren Spektrums gelegenen UV im allgemeinen keine ökologische Bedeutung zugemessen. Es zeigt sich jedoch, daß eine differenziertere Betrachtung angemessen ist, und zwar nicht nur hinsichtlich der von der geographischen Lage und Meereshöhe abhängigen Strahlungsenergie und der Lage des kurzwelligen Endes der UV-Strahlung, sondern auch hinsichtlich der erheblichen Unterschiede in den Absorptionseigenschaften verschiedener Gewässer.

2. UV-Transmissionsmessungen

In Abb. 2 sind drei Beispiele von UV-Messungen dargestellt (Meßinstrument: Vakuum Photodiode PT 172-UW in Verbindung mit einem Research Radiometer und Photomultiplier), die in flachen Almtümpeln der bayerischen Alpen durchgeführt wurden, wobei die Beispiele 2 und 3 (Lattenbergalm I und II) m.E. auch auf nährstoffarme (nicht jedoch auf dystrophe) Seen übertragbar sind. Es zeigt sich, daß die in jedem Fall schädigende, zum UV-B gehörige Strahlung um 313 nm u.U. erst nach einigen Dezimetern Wassertiefe durch Absorption ausgelöscht worden ist. Daraus folgt, daß in den oberflächennahen Wasserschichten eine schädigende Wirkung des UV-B nicht ohne weiteres auszuschließen ist. Es fragt sich jedoch, ob die betreffenden UV-B-Strahlungsdosen (z.B. Tagessummen oder Stundensummen) ausreichen, um feststellbare Schädigungen zu bewirken.

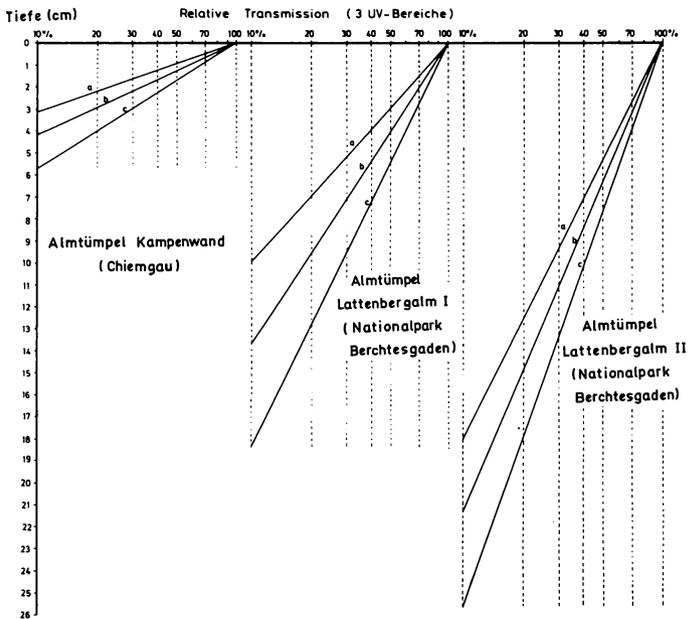


Abb. 2: Relative UV-Transmission in 3 alpinen Kleingewässern.
 Meßgerät: Vakuum-Photodiode mit drei Schmalbandinterferenzfiltern:
 313 nm (a), 320 nm (b) und 365 nm (c).

3. Freilandexperimente mit verschiedenen *Daphnia*-Arten

Beobachtet man das Verhalten der in flachen Almtümpeln lebenden *Daphnia pulex obtusa* (KURZ) (= *D.p.o.*), so fällt auf, daß diese Tiere sich zumindest zeitweise auch im grellen Sonnenlicht um die Mittagszeit knapp unter der Wasseroberfläche aufhalten. Dieses Verhalten steht in auffälligem Gegensatz zu jenen Daphnien, die unsere Binnenseen bevölkern und die sich im Zuge der tagesperiodischen Vertikalwanderungen schon im Morgengrauen oft viele Meter in die Tiefe zurückziehen. Das hier nur angedeutete unterschiedliche Verhalten war der Anlaß, Vertreter beider Habitats hinsichtlich ihrer UV-Toleranz zu testen.

Zu diesem Zweck würden die betreffenden Versuchstiere in flache Glasküvetten mit nur 1 cm Wasserstand gesetzt und der direkten Sonnenstrahlung im Freien ausgesetzt. Um sicher zu gehen, daß die UV-Wirkung erfaßt wird, wurden die Küvetten in Parallelversuchen mit Glasfiltern bedeckt, welche das UV bekanntlich weitgehend absorbieren, wie auch die diesbezüglichen Messungen mit einem Research Radiometer in Verbindung mit einem Monochromator und Photomultiplier ober- und unterhalb der betreffenden Glasfilter zeigen (Abb. 3). Mißt man die spektrale Energieverteilung zu verschiedenen Tageszeiten während der Strahlungsexposition der Versuchstiere an wolkenlosen Tagen, so läßt sich die innerhalb eines gewissen Zeitabschnitts auf die Küvette eingefallene Strahlungssumme - z.B. in Ws/cm^2 - für beide Anordnungen (d.h. mit bzw. ohne Filter) berechnen (SIEBECK 1978). Sie wird hier als Strahlungsdosis bezeichnet.

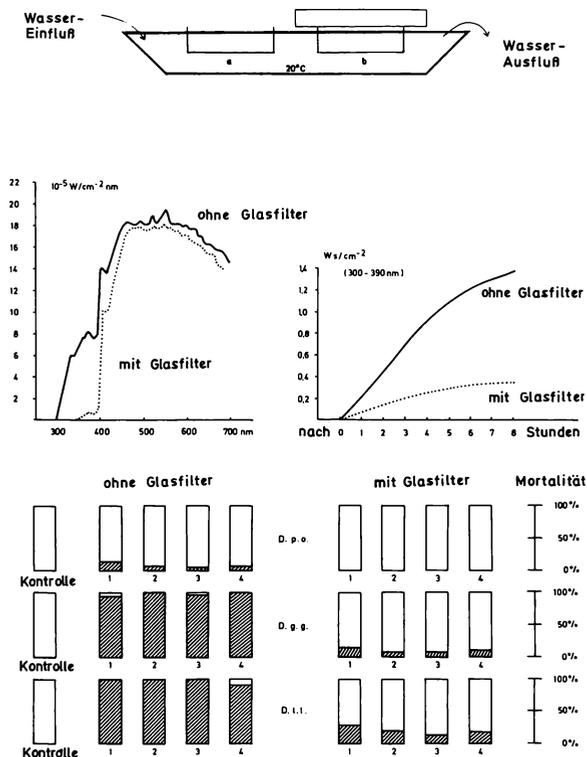


Abb. 3: Freilandexperimente mit Daphnien (*D.p.o.* = *Daphnia pulex obtusa* aus dem alpinen Raum, *D.g.g.* = *Daphnia galeata gracilis* und *D.l.l.* = *Daphnia longispina longispina* aus Seen der Niederung). Oben: Versuchsanordnung mit Bestrahlungskammer ohne (a) und mit UV-Schutzfilter (b). Darunter links: Spektrale Energieverteilung ohne bzw. mit UV-Schutzfilter gemessen; rechts: UV-Dosis in Abhängigkeit von der Expositionszeit an einem wolkenlosen Junitag. Unten: Die schraffierten Flächen geben den relativen Anteil der Mortalität unter verschiedenen Bedingungen (mit und ohne UV-Schutzfilter) an. Die Nummern 1-4 entsprechen Parallelexperimenten.

Die an wolkenlosen Sommertagen im Freiland an der Peripherie Münchens durchgeführten Experimente führten zu folgenden Ergebnissen (Abb. 3):

- I. Unter dem Glasfilter starben entweder überhaupt keine Tiere oder nur verhältnismäßig wenige.
- II. Ohne Glasfilterschutz war die Sterblichkeit wesentlich höher, wobei besonders auffällig war, daß der Almtümpelbewohner *D.p.o.* gegenüber den beiden Seebewohnern *Daphnia galeata gracilis* (= *D.g.g.*) und *Daphnia longispina longispina* (= *D.l.l.*) eine erheblich geringere Sterblichkeit zeigt.

Daraus ergibt sich nicht nur die tödliche Wirkung der UV-Strahlung im - allerdings sehr flachen - Wasser, sondern darüber hinaus eine unterschiedliche UV-Toleranz zwischen dem alpinen Flachwasserbewohner (*D.p.o.*) einerseits und den Bewohnern der Seen in der Niederung (*D.g.g.* und *D.l.l.*) andererseits, welche sich tagsüber in größere Wassertiefen zurückziehen können und dies auch tun.

4. Laborexperimente mit verschiedenen *Daphnia*-Arten

Mit Hilfe einer UV-B-Lampe (Philips TL 40 W/12) ließen sich diese Experimente im Labor wiederholen, wobei in diesem Falle als Maß für die UV-Toleranz die "dosis letalis media" (= dlm) gewählt wurde. Sie ist bekanntlich diejenige Dosis, durch welche 50% der bestrahlten Tiere getötet werden.

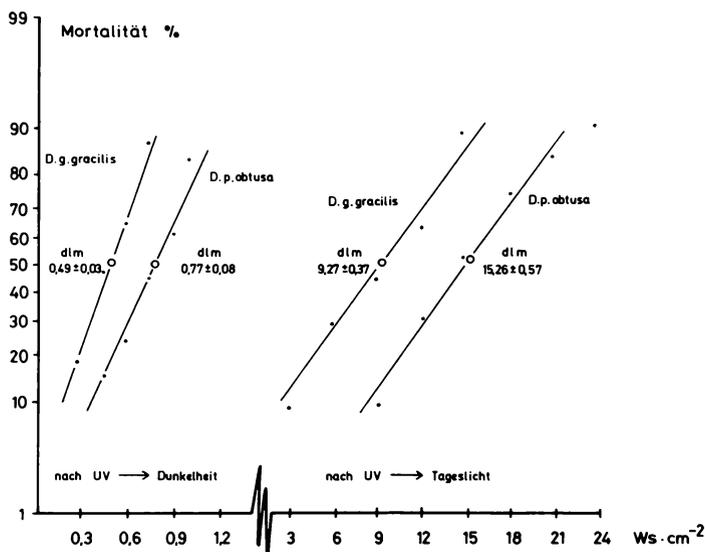


Abb. 4: Laborexperimente mit Daphnien.

Beziehung zwischen Mortalität und UV-Bestrahlungsdosis zur Ermittlung der dlm. Näheres s. Text.

Die Laborexperimente zeigen ebenfalls, daß der Almtümpelbewohner *D.p.o.* UV-unempfindlicher ist, und zwar etwa um das eineinhalbfache gegenüber *D.g.g.* Das ist jedoch nicht der einzige Befund: Setzt man die Tiere nach erfolgter UV-Bestrahlung ins Dunkle, so findet man für die dlm einen relativ niedrigen Wert (0.49 bzw. 0.77 Ws/cm²). Setzt man sie nach der UV-Bestrahlung in UV-freies Tageslicht, so sind jedoch erheblich höhere Dosen erforderlich, um den gleichen Effekt (= 50% Mortalität) zu erzielen (9.3 bzw. 15.3 Ws/cm²). Dieses Ergebnis entspricht zumindest phänomenologisch der sogenannten Photoreaktivierung, die von KELNER (1949) an den Konidien von *Streptomyces griseus* entdeckt worden ist, sich inzwischen aber im Tier- und Pflanzenreich als weit verbreitet erwiesen hat. Man versteht darunter die Wiederherstellung von UV-Schäden in einem Organismus durch Strahlung, deren Wellenlänge größer ist als die Wellenlänge der schädigenden Strahlung (JAGGER 1958). Aus vielen Untersuchungen ist bekannt, daß eine Photoreaktivierung mit langwelligem UV und kurzwelligem Licht gelingt. Bei *D.g.g.* liegt das Wirkungsmaximum - wie meine Schülerin, Fräulein U. Böhm kürzlich ermittelt hat (Abb. 5) - zwischen 435-445 nm.

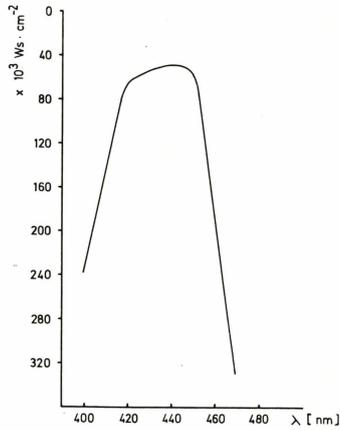


Abb. 5: Wirkungsspektrum der photoreaktivierenden Strahlung bei *Daphnia galeata gracilis*.

5. Freiland- und Laborexperimente mit Steinkorallen

Die bisher geschilderten Experimente mit Planktoncrustaceen gelten im Prinzip auch für Steinkorallen. Freilandexperimente, die in flachen Seewasserbehältern auf der Veranda des Australian Instituts of Marine Science in Townsville/QLD durchgeführt worden sind, haben gezeigt, daß Steinkorallen, die im Großen Barriere Riff an der Westküste Australiens bei Ebbe in einer Wassertiefe von 3 m und darunter gesammelt worden waren, im 20 cm tiefen Seewasser durch Sonnenbestrahlung innerhalb eines Tages getötet werden, sofern nicht dafür gesorgt wird, daß das UV durch Glasfilter ferngehalten wird. Steinkorallen gleicher oder anderer Arten bzw. Gattungen aus Gebieten, die sich bei Ebbe knapp unter der Wasseroberfläche befinden, bleiben jedoch auch ohne Glasfilterschutz am Leben.

Auch die im Laborexperiment durchgeführte weitere Analyse führte zu dem Ergebnis, daß Steinkorallen aus größerer Wassertiefe UV-empfindlicher sind als Steinkorallen aus dem Flachwasserbereich. Um den Bedarf an Steinkorallen möglichst gering zu halten und dennoch rasch zu verwertbaren Ergebnissen zu gelangen, wurde das in Abb. 6 dargestellte Verfahren entwickelt: Der Korallenstock wurde mit einer UV- und lichtdichten Platte von 25 cm Ø abgedeckt, die mit 5 kreisrunden Öffnungen für die Bestrahlung versehen war. Durch unterschiedliche Abdunklungszeit bzw. Filterwahl während der UV-Exposition bzw. der nachfolgenden Bestrahlung mit UV-freiem Licht an demselben Korallenstock konnten unterschiedliche Versuchs-

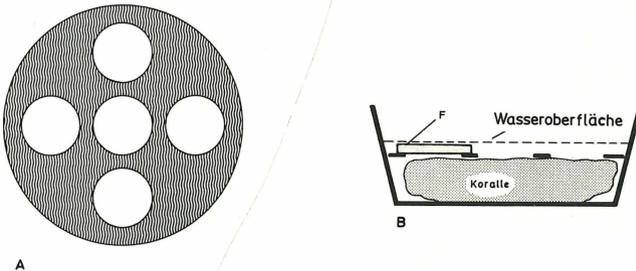


Abb. 6: Bestrahlungskammer für Steinkorallen.
Näheres s. Text.

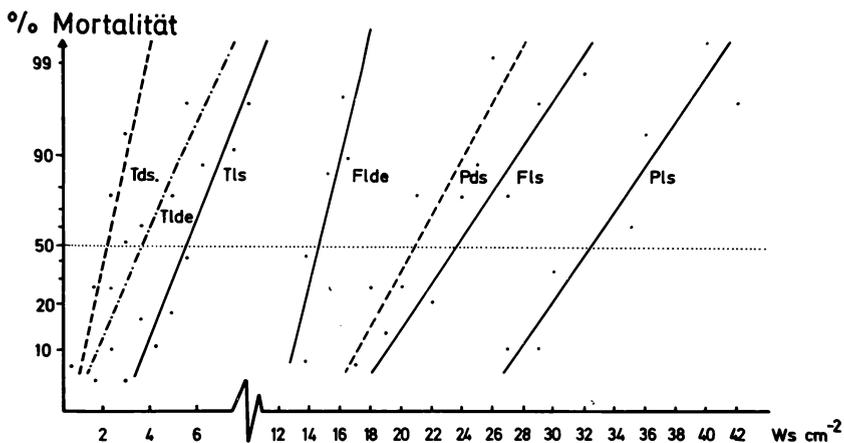


Abb. 7: Ergebnisse der Laborexperimente mit Steinkorallen.
 Beziehung zwischen Mortalität und UV-Bestrahlungsdosis zur Ermittlung der dlm.
 Näheres s. Text.

bedingungen getestet werden. Ein Teil der Laborergebnisse ist in Abb. 7 dargestellt. Aus ihnen ergibt sich folgendes:

- I. Experimente mit *Turbenaria mesenterica* (LAMARCK 1816) und *Platygyria sinensis* (EDWARDS & HAIME 1849): Bei nachfolgender Lichtexposition (Tls bzw. Pls) liegt die dlm wesentlich höher als bei nachfolgender Dunkelheit (Tds bzw. Pds).
- II. Experimente mit *Favia pallida* (DANA 1846) und *Turbenaria mesenterica* (LAMARCK 1816): Bei Tieren aus relativ großer Wassertiefe (Flde bzw. Tlde) ist die dlm kleiner als bei Tieren aus geringer Wassertiefe (Fls bzw. Tls).
- III. Die UV-Empfindlichkeit von Steinkorallen verschiedener Gattungen aus dem gleichen Tiefenbereich ist z.T. auffällig verschieden (vgl. *Turbenaria* (Tls), *Favia* (Fls) und *Platygyria* (Pls)).

Die bisher getesteten Steinkorallen zeigen das Phänomen der Photoreaktivierung ausnahmslos, wobei die von einem Breitbandfilter vom Typ K 40 (Balzer $\lambda_{\text{max.}}$: 400 nm, Halbwertsbreite ca. 50 nm) durchgelassene Reststrahlung einer Tageslichtlampe (Osram L 25 W/19) die größte Wirkung zeigt (SIEBECK 1981).

6. Schlussfolgerungen

Sowohl die mit einheimischen Planktoncrustaceen als auch die mit Steinkorallen aus dem Großen Barriere Riff gewonnenen experimentellen Freiland- und Laborergebnisse lassen den Schluß zu, daß der in der Globalstrahlung enthaltene UV-Anteil im flachen Wasser zumindest im Verlauf eines wolkenlosen Sonnentages letale Dosen erreichen kann.

Die Bedeutung von UV im Wasser ist aber selbstverständlich nicht auf den Tiefenbereich seiner letalen Wirkung begrenzt, obgleich in diesem Fall das Fehlen der einen oder anderen Art möglicherweise auf diesen Effekt zurückzuführen ist. Als nicht weniger bedeutsam sind aber auch die in größere Tiefen reichenden subletalen Dosen zu betrachten, sofern sie hier bei den verschiedenen Organismen je nach deren Anpassungsgrad gegenüber UV zu unterschiedlichen Beeinträchtigungen ihrer Fitness führen.

Nicht weniger interessant ist die Frage nach den Schutzeinrichtungen gegenüber der ultravioletten Strahlung. Die Süßwassercladocere *Scapholeberis mucronata* zeigt eine auffallende Pigmentierung gerade an jenen Körperstellen, die der Sonnenstrahlung besonders ausgesetzt sind, wenn sich die Tiere - mit ihren ventralen Borsten an der Wasseroberfläche 'aufgehängt' und daher auf dem Rücken schwimmend - unmittelbar unter der Wasseroberfläche bewegen: Nur das Rostrum, die Stirn und die ventrale Körperperipherie sind geschwärzt. *D.p.o.*, von welcher anfangs die Rede war, ist ebenfalls gefärbt, wenn auch nur verhältnismäßig wenig. LÖFFLER (1968) berichtet, daß in den klaren Moränenseen des Mt. Everest-Gebietes, die

über 4500 m hoch gelegen sind, durchweg stark pigmentierte Daphnien vorkommen, während in trüben Seen unpigmentierte vorherrschen.

Ein Strahlenschutz durch Pigmente ist prinzipiell denkbar. Die Frage, ob die verschiedenen Stoffklassen angehörenden Pigmente bevorzugt dem Schutz vor UV dienen, ist bisher aber nicht beantwortet. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß sie auch diese Funktion ausüben. In diesem Fall wäre zu fordern, daß sie das UV absorbieren und in Wärmestrahlung transformieren. Ein anderes Verfahren zum Schutz vor UV wäre im Prinzip sehr ähnlich: die Transformation des absorbierten UV in sichtbares Licht. Dieser Vorgang, der bekanntlich Fluoreszenz genannt wird, läßt sich bei vielen Steinkorallen beobachten. Eine dritte Schutzmöglichkeit wäre auf Grund der beobachteten Photoreaktivierung denkbar: Da blauviolette Strahlung die größte Wirksamkeit zeigt, könnte ein Schutz vor UV darin bestehen, daß Pigmente entwickelt werden, die zur Absorption der photoreaktivierenden Strahlung besonders geeignet sind.

Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung dieser Untersuchungen (Si 71/11 + 12) und der Deutschen Philips GmbH, die mir die UV-B-Strahler zur Verfügung gestellt hat. Für die Untersuchungen mit Steinkorallen gewährte mir das Australian Institute of Marine Science/Townsville einen Arbeitsplatz. Seinem Direktor Dr. J. Bunt danke ich für die Unterstützung meines Arbeitsprogramms, seinen Mitarbeitern Dr. R. Strickler, Dr. Z. Dinesen, Dr. E.J. Veron und Dr. T. Done für mannigfache Hilfe.

Literatur

- BLUM H.F., 1959: The physiological effects of sunlight on man. *Physiol. Rev.* 25: 483-530.
- DIRMHIRN I., 1964: Das Strahlungsfeld im Lebensraum Frankfurt (Akad. Verlagsges.): 426 S.
- JAGGER I., 1958: Photoreactivation. *Bact. Rev.* 22: 99-142.
- KELNER A., 1949: Effect of visible light on the recovery of *Streptomyces griseus* conidia from ultraviolet irradiation injury. *Nat. Acad. Sci. (U.S.) Proc.* 35: 73-79.
- LÖFFLER H., 1968: High altitude lakes in the Mt. Everest regions. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 17: 373-385.
- SAUBERER F., DIRMHIRN I., 1958: Das Strahlungsklima. In: (Ed. STEINHAUSER F.): *Klimatographie von Österreich*. Denkschr. Österr. Akad. Wiss. 3: 13-102.
- SCHULZ R., 1970: *Strahlenklima der Erde*. Darmstadt (Steinkopff): 217 S.
- SIEBECK O., 1978: Ultraviolet tolerance of planctonic crustaceans. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 20: 2469-2473.
- SIEBECK O., 1981: Photoreactivation and depth-dependent uv-tolerance in Reef Corals in the Great Barriere Reef/Australia. *Naturw.* 67: 426.

Adresse

Prof. Dr. Otto Siebeck
Abteilung Limnologie
Zoologisches Institut Univ.
Luisenstr. 14
D-8000 München 2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: [10_1983](#)

Autor(en)/Author(s): Siebeck Otto

Artikel/Article: [UV als Umweltfaktor in aquatischen Biotopen 583-589](#)