

# Gibt es bei Wassertieren unterschiedliche UV-Toleranzen in Abhängigkeit von der Strahlenbelastung ihres Lebensraumes?

O. Siebeck und U. Böhm

## Einführung

In den ökologischen, meeresbiologischen und limnologischen Lehrbüchern sucht man vergebens nach Hinweisen über die Bedeutung der ultravioletten Strahlung in aquatischen Lebensräumen. Bis vor ca. 10-15 Jahren blieb die weit verbreitete Ansicht erhalten, daß diese Strahlung ohne ökologische Bedeutung sei, obgleich die Messungen von JERLOV (1950) vor über 35 Jahren die z.T. beträchtliche Transparenz im uferfernen Ozeanwasser und im östlichen Mittelmeer aufgezeigt hatten. So wurde für Strahlung der Wellenlänge um 313 nm eine Transmission pro m von ca. 80 % und um 375 nm von ca. 94 % nachgewiesen. Demnach wäre die Oberflächenintensität im ersten Fall erst in 10 m Wassertiefe auf 10 % abgesunken und im zweiten Fall sogar erst in 35 m Wassertiefe.

Neuere Messungen mit verbesserten Geräten (SMITH and BAKER, 1978) haben die Ergebnisse von JERLOV bestätigt, sofern die Chlorophyll-a-Werte nicht wesentlich über  $0,025 \text{ mg/m}^3$  liegen. Aufgrund sorgfältiger Schätzungen rechnen die genannten Autoren, daß unter diesen Bedingungen für Strahlung der Wellenlänge um 290 nm noch mit einer Transmission von ca. 70 % zu rechnen ist. Der 10-%-Wert würde demnach immerhin noch tiefer als 6 m liegen. Eigene unpublizierte Transmissionsmessungen bei 313 nm (HWB 8 nm, Vakuum-Photodiode Pt 172 UW und IL 1700 Research Radiometer der Fa. International Light INC Dexter Industrial Green, Newburyport, USA) im küstennahen Teil des GROSSEN BARRIERE RIFF an der Ostküste Australiens (Fitzroy Island) ergaben ebenfalls Werte um 70 %, bei 297 nm um 54 % pro m.

In produktiven Teilen des Ozeans ist die UV-Transmission erwartungsgemäß erheblich geringer. Bei Chlorophyll-a-Werten um  $0,5 \text{ mg/m}^3$  wurden bei einer Wellenlänge um 313 nm nur noch ca. 50 % gemessen (SMITH and BAKER, 1978) und in eutrophen Binnengewässern sind Werte unter 1 % anscheinend nicht selten. Die Transmissionschwankungen, die sich durch wechselnde Phytoplanktondichten und unterschiedliche Niederschlagsmengen ergeben können, sind erheblich, so daß Verallgemeinerungen nicht möglich sind (SIEBECK, 1983).

Aus diesen wenigen Angaben folgt, daß die ultraviolette Strahlung zumindest in aquatischen Lebensräumen mit hoher Transmission als Umweltfaktor nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann. In der Tat wurden in den letzten zehn Jahren Ergebnisse bekannt, die auf UV-Wirkungen zurückzuführen sind (Übersicht CALKINS, 1982). Inzwischen geht es daher längst um speziellere Fragen, z.B. welche Wirkungen durch ultraviolette

Strahlung bis zu welcher Tiefe nachweisbar sind (KARANAS, 1979; JOKIEL, 1980; DAMKAER et al., 1980; WORREST, 1982).

Aufgrund des beobachteten Ozonabbaues in der Stratosphäre (FARMAN et al., 1986) und der mit Sorge erwarteten Zunahme der UV-Einstrahlung sind in jüngster Zeit weitere Fragestellungen hinzugekommen, die im Prinzip auf eine Abschätzung der möglichen Schäden bei Pflanzen und Tieren hinauslaufen (CALKINS, 1982). Zu diesen gehören auch die Fragen nach der UV-Toleranz, z.B. bei den Bewohnern von Lebensräumen mit unterschiedlicher Strahlenbelastung.

UV-induzierte Schäden, die sich auf Primärschäden in Nukleinsäuren und ihre Verbindungen zurückführen lassen, sind bekanntlich innerhalb gewisser Grenzen durch zelleigene Mechanismen reparierbar (Übersicht: KIEFER und WIENHARD, 1977). Als Schutz vor UV-Strahlung kommen somit neben speziellen Verhaltensweisen, die zum Rückzug aus gefährlichen Bereichen führen (z.B. durch die tagesperiodische Vertikalwanderung der pelagischen Organismen oder durch Kontraktion exponierter Körperteile bei sessilen Organismen), auch physiologische Mechanismen in Betracht. Dabei ist vor allem an die Abschirmung der empfindlichen Zellstrukturen durch geeignete Substanzen und an die „Erholung“ im Anschluß an erfolgte Schädigungen zu denken. Eine Anpassung an erhöhte UV-Dosen würde somit prinzipiell sowohl durch eine Verstärkung des Abschirmeffekts (Erhöhung der Konzentration der hierfür infrage kommenden Substanzen), als auch durch eine Verbesserung der „Erholungsfähigkeit“ zu erreichen sein.

Hier wird über Untersuchungen zu folgenden Fragestellungen berichtet:

1. Reicht der in der natürlichen Globalstrahlung enthaltene UV-Anteil aus, um aquatische Organismen unter der Wasseroberfläche zu töten?
2. Gibt es Unterschiede in der UV-Toleranz zwischen Vertretern verschiedener Taxa und korrelieren diese mit der Strahlenbelastung der betreffenden Biotop bzw. Habitate?
3. Gibt es Hinweise auf physiologische Mechanismen, die im Sinne eines Strahlenschutzes wirksam sind?

**1. Fragestellung:** Reicht der in der natürlichen Globalstrahlung enthaltene UV-Anteil aus, um aquatische Organismen unter der Wasseroberfläche zu töten?

Für diese Untersuchungen wurden drei Daphnia-Arten ausgewählt: *Daphnia galeata*, *Daphnia longispina* und *Daphnia pulex obtusa*. Die ersten beiden Arten stammen aus tieferen Seen (Klostersee

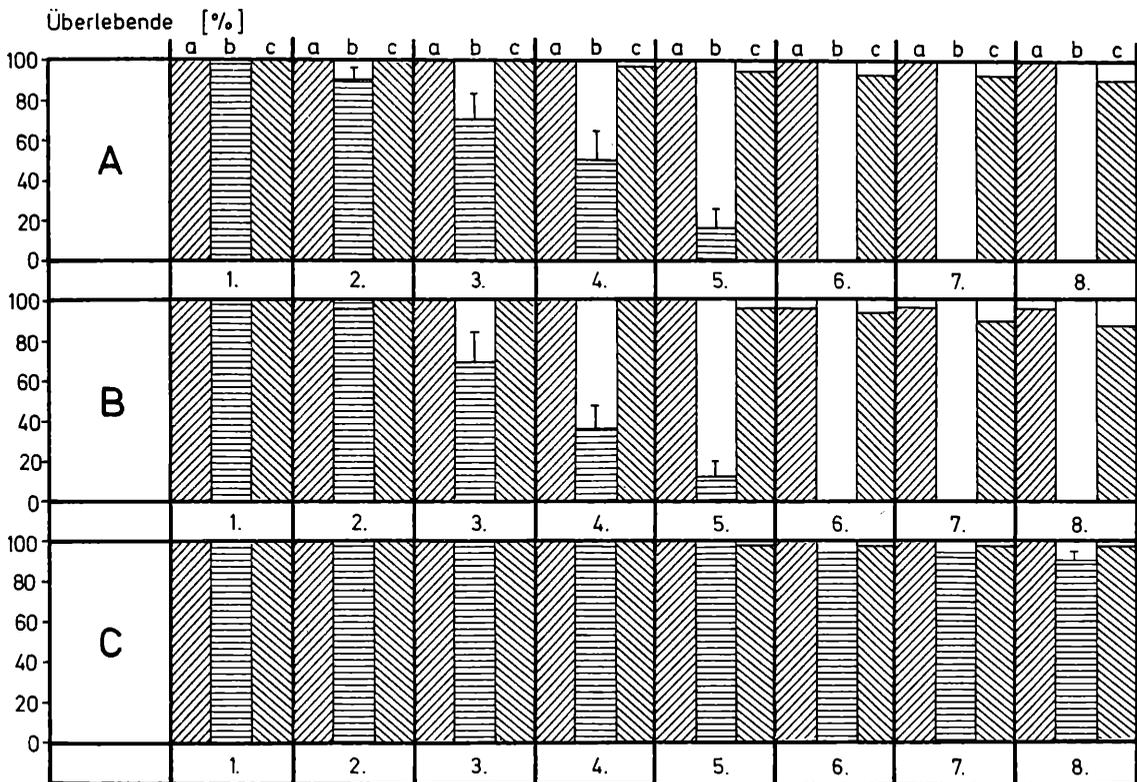


Abbildung 1

Anzahl der Überlebenden in Abhängigkeit von der Expositionsdauer nach der 1., 2., 3. usw. Stunde eingetragen. A: *Daphnia galeata*, B: *Daphnia longispina*, C: *Daphnia pulex obtusa*. a = Kontrolle (mit Graufilter), b = ohne Glasabdeckung, c = mit Glasabdeckung (aus SIEBECK und BÖHM, 1987).

b. Seon bzw. Chiemsee), in welchen sie sich bei Tag meist in ca. 6-15 m Wassertiefe aufhalten. Die 3. Art lebt in flachen Almtümpeln im Gebirge (z.B. Lattenbergalm, Wassertiefe ca. 20 cm).

Die Daphnien wurden in flachen Behältern von 1 cm Wassertiefe der direkten Sonnenstrahlung im Freien ausgesetzt (500 m ü.NN., 0/10 Bewölkung, Mitte Juni, weitere Einzelheiten zur Methodik vgl. SIEBECK und BÖHM, 1987). Die Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt. Die Anzahl der Überlebenden ist nach der 1., 2., 3., usw. bis zur 8. Stunde ununterbrochener Sonnenexposition jeweils in Prozent der Ausgangszahl (20) angegeben, wobei drei unterschiedliche Bedingungen geprüft worden sind: 1. Abdeckung der Schälchen mit Graufilter zur Ausschaltung des UV-Anteils und Herabsetzung der übrigen Globalstrahlung etwa um den Faktor 10 (= Kontrolle a), 2. ohne Abdeckung (=b), 3. Abdeckung der Schälchen mit Glas (3 cm dickes Fensterglas) zur Ausschaltung des UV-Anteils (=c).

Die Ergebnisse zeigen, daß in den Kontrollgefäßen keine bzw. nur sehr wenige Tiere zugrundegegangen sind. In den Gefäßen mit Glasabdeckung sind bei *D. galeata* und *D. longispina* am Ende der 8. Expositionsstunde höchstens bis zu 10 %, bei *D. pulex obtusa* weniger als 2 % umgekommen. Auffällig hoch ist die Zahl der Toten bei *D. galeata* und *D. longispina* in den unbedeckten Schälchen: Bis zum Ende der 6. Expositionsstunde gab es bei beiden Arten keine Überlebenden mehr, während bei *D. pulex obtusa* immerhin noch über 90 % am Leben waren.

Aus den während der Expositionszeit durchgeführten Strahlungsmessungen folgt, daß bis zum Ende der 3. Expositionsstunde eine UV-B (290-320 nm)-Strahlungssumme von ca. 18,5 KJ/m<sup>2</sup> erreicht wor-

den ist. Mit der 6. Stunde betrug die Strahlungssumme ca. 44,0 KJ/m<sup>2</sup> und mit der 8. Expositionsstunde ca. 52,6 KJ/m<sup>2</sup>.

Wesentlich unempfindlicher ist der Ostrakode *Heterocypris incongruens*: Alle Tiere überlebten unter den genannten Bedingungen. Die in Australien aus Eiern bis zum Adultstadium aufgezogenen Tiere waren nach der 8. Expositionsstunde (7-15 Uhr) jedoch alle eingegangen. Bis dahin betrug die Strahlungssumme ca. 80,9 KJ/m<sup>2</sup> (SIEBECK, 1987, unpubl.), die in unseren Breiten innerhalb eines Tages nicht erreicht wird.

Steinkorallen (Scleractinia), wie z.B. *Favia pallida* (DANA, 1846), *Favites complanata* (EHRENBERG, 1834) und *Turbenaria mesenterina*, die im flachen Wasser bis zu maximal 1 m Wassertiefe (bei Ebbe) gesammelt worden waren, überlebten die volle Sonnenexposition eines ganzen Tages (ca. 89 KJ/m<sup>2</sup>), während die gleichen Arten aus größerer Tiefe (18-20 m) am folgenden Tag entweder ganz abgestorben waren oder unübersehbare Flächen mit toten Polypen enthielten (SIEBECK, 1981, unpubl.). Aus diesen Freilandexperimenten folgt somit, daß die im flachen Wasser (1 cm unter der Wasseroberfläche) zustande kommenden UV-B-Strahlungssummen für die betreffenden Tiere tödlich sind.

**2. Fragestellung:** Gibt es Unterschiede in der UV-Toleranz zwischen Vertretern verschiedener Taxa und korrelieren diese mit der Strahlenbelastung der betreffenden Biotope bzw. Habitate?

Ogleich die im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse diese Frage im Prinzip bereits bejahen, soll sie in diesem Abschnitt anhand von Laborexperimenten nochmals aufgegriffen werden. Wir beschränken uns dabei auf den Vergleich zwi-

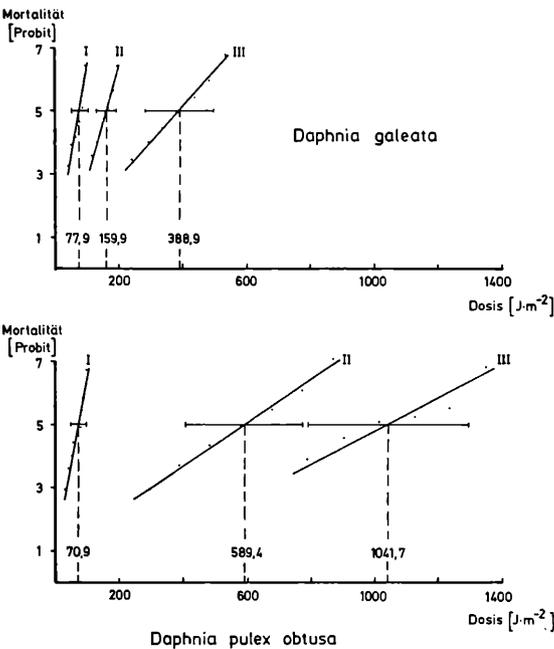
schen *Daphnia galeata* (als Vertreter einer Seeform) und *Daphnia pulex obtusa* (als Vertreter einer Almtümpelform).

Die Daphnien wurden mit UV-B der Wellenlänge  $\lambda = 295 \pm 10$  nm bestrahlt (1000 Watt Xenon-Hochdruckbogenlampe in Verbindung mit dem Hochleistungs-Gitter-Monochromator GM 252 der Firma Schoeffel) und die LD-50 (dosis letalis media, 50 %) (SIEBECK und BÖHM, 1987) bestimmt, wobei drei Varianten geprüft worden sind: I. Die UV-Bestrahlung ist auf die oben angegebene Wellenlänge beschränkt. Im Anschluß an diese Bestrahlung werden die Daphnien bei Dunkelheit gehalten. Die Mortalität wird am Ende der 24. Stunde nach der UV-Exposition bestimmt.

II. Die UV-Bestrahlung ist auf die oben angegebene Wellenlänge beschränkt. Im Anschluß an diese Bestrahlung werden die Daphnien mit einer Blaulicht-Minileuchtstoffröhre (390-470 nm) (FLE 2 der Firma Seitner, München) bis zum Ende der 24. Stunde nach der UV-Exposition bestrahlt (25,9 KJ/m<sup>2</sup>) und anschließend die Mortalität bestimmt.

III. Die UV-Bestrahlung (wie oben) wird von Anfang an mit der Blaulichtbestrahlung kombiniert und nach Beendigung der UV-Bestrahlung bis zum Ende der 24. Stunde fortgesetzt (25,9 KJ/m<sup>2</sup>). Anschließend wird die Mortalität bestimmt.

Die Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt. Sie lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:



**Abbildung 2**

**LD-50 bei *Daphnia galeata* und *Daphnia pulex obtusa* in Abhängigkeit von drei Versuchsvarianten (I-III)** (Näheres im Text) (aus SIEBECK und BÖHM, 1987).

Die erste Versuchsvariante (I) liefert für *D. galeata* und *D. pulex obtusa* eine LD-50 von  $77,98 \pm 25,29$  J·m<sup>-2</sup> bzw.  $70,87 \pm 22,18$  J·m<sup>-2</sup>. Der Unterschied ist nicht signifikant. Neueste Untersuchungen (ZEITLER, 1988), die unter sonst gleichen Bedingungen, aber mit anderen Wellenlängen (280 nm und 310 nm) durchgeführt worden sind, ergaben im Gegensatz zu diesen Ergebnissen verhältnismäßig geringfügige, aber doch signifikante Unterschiede zwischen beiden Arten: *D. galeata* LD-50:  $20,41 \pm 0,7$  J·m<sup>-2</sup>, *D. pulex obtusa*:  $23,92 \pm 1,03$  J·m<sup>-2</sup> (280 nm)

bzw. *D. galeata*  $2,18 \pm 0,05$  KJ m<sup>-2</sup>, *D. pulex obtusa*:  $3,04 \pm 0,11$  KJ m<sup>-2</sup> (310 nm).

Die zweite Versuchsvariante (II) ergibt für *D. galeata* und *D. pulex obtusa* eine LD-50 von  $159,99 \pm 32,29$  J m<sup>-2</sup> bzw.  $589,4 \pm 184,0$  J m<sup>-2</sup>. Der Unterschied ist hoch signifikant.

Die dritte Versuchsvariante (III) ergibt für *D. galeata* und *D. pulex obtusa* eine LD-50 von  $388,93 \pm 108,29$  J m<sup>-2</sup> bzw.  $1041,73 \pm 254,41$  J m<sup>-2</sup>. Der Unterschied ist hoch signifikant.

Aus diesen Ergebnissen folgt, daß bei alleiniger UV-Bestrahlung höchstens geringfügige Unterschiede in der Toleranz zwischen den beiden Daphnia-Arten nachweisbar sind. Durch das Blaulicht ist offensichtlich eine Erholung möglich, die bei *D. pulex obtusa* jedoch erheblich ausgeprägter ist als bei *D. galeata*. Dieser Erholungseffekt kann durch den Dosismodifikationsfaktor (DMF) angegeben werden (KIEFER und WIENHARD, 1977). Er ergibt sich aus dem Verhältnis:

$$DMF = \frac{LD_{50l} \text{ (bei nachfolgender Beleuchtung)}}{LD_{50d} \text{ (bei nachfolgender Dunkelheit)}}$$

bzw.

$$DMF = \frac{LD_{50 \text{ I}} \text{ (bei gleichzeitiger und nachfolgender Beleuchtung)}}{LD_{50d} \text{ (bei nachfolgender Dunkelheit)}}$$

Die DMF der geschilderten drei Versuchsvarianten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie zeigen die beträchtliche Erholungsfähigkeit beider Arten bei nachfolgender bzw. gleichzeitiger und nachfolgender Beleuchtung. Wie sich aus früheren Untersuchungen bereits ergeben hatte (SIEBECK und BÖHM, 1987), liegt die maximale Wirksamkeit der für die Erholung erforderlichen Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 410-460 nm. Darauf wird bei der Behandlung der 3. Fragestellung eingegangen werden. Es ist sehr wahrscheinlich, daß dieser Erholungseffekt mit zunehmender Strahlungsintensität noch gesteigert werden kann. Entsprechende Untersuchungen laufen zur Zeit.

Das wichtigste Ergebnis dieser Versuche besagt, daß die unterschiedliche UV-Toleranz der beiden Daphnia-Arten vor allem auf die unterschiedliche Fähigkeit zurückzuführen ist, sich von UV-bedingten Schäden wieder zu erholen. Die dadurch bewirkte erhöhte UV-Toleranz des Bewohners flacher Gebirgsgewässer gegenüber dem Bewohner tiefer Gewässer im Tiefland spricht für eine Bezie-

| <b>Tabelle 1</b>                                 |  | Dosismodifikationsfaktor bei verschiedenen Versuchsvarianten: |
|--|--|---|
|  |  | $\frac{LD_{50l}}{LD_{50d}}$                                   |
| 1. <u>Nach</u> UV-Exposition:                    |  | Blaulicht   |
| <i>Daphnia galeata</i>                           |  | 2,05  |
| <i>Daphnia pulex obtusa</i>                      |  | 8,32  |
| 2. <u>Während</u> und <u>nach</u> UV-Exposition: |  | Blaulicht   |
| <i>Daphnia galeata</i>                           |  | 4,99  |
| <i>Daphnia pulex obtusa</i>                      |  | 14,70   |

hung zwischen UV-Toleranz und Strahlenbelastung, sofern man unterstellt, daß *D. pulex obtusa* in den Flachgewässern im Gebirge einer höheren Strahlenbelastung ausgesetzt ist. Dafür spricht die höhenabhängige Zunahme der UV-Strahlung, die zwischen 500-1500 m im UV-B bei ca. 15 % liegt (SCHULZE, 1970) und noch mehr die unterschiedliche Wohntiefe der beiden Arten, die im Flachwasser des betreffenden Almtümpels bei maximal 20 cm, bei der Seeform aber im allgemeinen in Tiefen über 6 m liegt. Da die Transmissionswerte, wie bereits angedeutet, stark variieren und keine fortlaufenden Registrierungen vorliegen, ist zur tatsächlichen Strahlenbelastung aber keine genaue Angabe möglich.

Da Daphnien in der Lage sind, in Seen in die Tiefe zu wandern und in Flachgewässern u.U. schattige Stellen aufzusuchen, ist ihr Schutz gegenüber ultravioletter Strahlung von vornherein nicht auf physiologische Mechanismen beschränkt, wie es bei sessilen Formen zu fordern ist. Bei Letzteren sollte eine vom Habitat abhängige UV-Toleranz daher besonders stark ausgeprägt sein. Abgesehen davon ist ein möglicher Zusammenhang zwischen Strahlenbelastung und UV-Toleranz leichter zu erkennen, weil die betreffenden Organismen im gleichen Gewässer vorkommen und sich in verschiedenen Wohntiefen aufhalten.

Die betreffenden Untersuchungen wurden innerhalb von drei jeweils ca. sechswöchigen Forschungsaufenthalten (1981, 1984, 1987) am Australian Institute of Marine Science in Townsville mit folgenden Steinkorallen durchgeführt:

*Favia pallida* (DANA, 1846), *Favia fava* (FORSHAL, 1775), *Favia matthei* (VAUGHAN, 1918), *Favites complanata* (EHRENBERG, 1834), *Coeloseris mayeri* (VAUGHAN, 1918), *Goniastrea edwardsi* (CHEVALIER, 1971), *Goniastrea pectinata* (EHRENBERG, 1834) und *Platygyra sinensis* (MILNE, EDWARDS et HAIME, 1834).

Da der Hochleistungsmonochromator aus dem Münchener Labor nicht transportabel war, mußten die betreffenden Bestrahlungsexperimente mit UV-Lampen von Philips (TL 40W/12) bzw. Tageslichtlampen von Osram (L 25W/19) durchgeführt werden.

Die Korallen wurden in der Regel als Bruchstücke größerer Kolonien angeliefert. Soweit ihre Oberfläche wesentlich größer war als 300 cm<sup>2</sup>, wurden sie in entsprechend kleinere Stücke zerlegt und anschließend in Aquarien bei kontinuierlichem Wasseraustausch und bei 22°C gehalten. Weitere Details zur Methodik sind bei SIEBECK (1988) beschrieben. Hier sei lediglich erwähnt, daß die Korallen ähnlich wie in den zuvor mit Daphnien geschilderten Versuchen im Anschluß an die UV-Bestrahlung entweder im Dunkeln gehalten oder mit den genannten Tageslichtlampen beleuchtet worden sind.

Die Korallen stammten vor allem aus Tiefen zwischen 0-1,5 m und 18-20 m (bei Ebbe), einzelne auch aus Zwischentiefen wie in Abb. 3 angegeben. Im oberen Teil der Abbildung sind die LD-50 *l* eingetragen, die sich mit Beleuchtung ergeben haben, darunter die Ergebnisse, die bei nachfolgender Dunkelheit erzielt worden sind (LD-50 *d*).

Aus der Darstellung folgt, daß die LD-50 *d* bzw. LD-50 *l* für beide Versuchsvarianten mit zunehmender Tiefe sinkt, d.h. die Toleranz gegenüber UV-B nimmt ab. Damit ist erwiesen, daß bei den

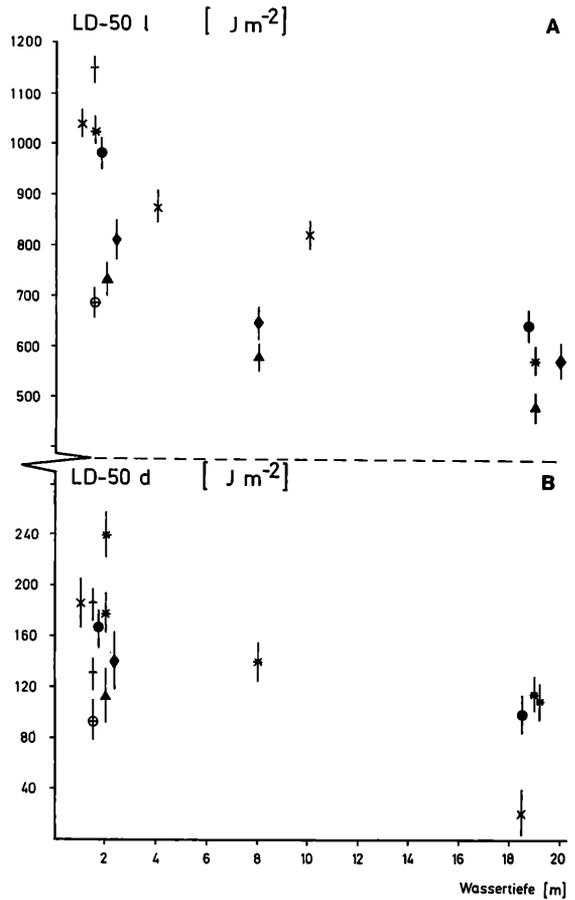


Abbildung 3

(A) LD-50 *l*; (B) LD-50 *d* in Abhängigkeit von der Wohntiefe der betreffenden Korallen. \* *Favia pallida*, x *Favia fava*, ▲ *Favia matthei*, ⊕ *Favites complanata*, ◆ *Goniastrea edwardsi*, - *Goniastrea pectinata*, ● *Platygyra sinensis*. Die senkrechten Balken geben die Grenzen des 95 % Vertrauensbereiches an. 1 = Bestrahlung mit sichtbarem Licht nach der UV-Exposition, d = Dunkelaufenthalt nach der UV-Exposition (aus SIEBECK, 1988).

getesteten Korallen eine tiefenabhängige UV-Toleranz vorliegt. Die LD-50 *d* der Flachwasserbewohner ist etwa zweimal so groß, wie die LD-50 *d* der Tiefenbewohner (Tabelle 2). Prüft man den Unterschied zwischen der LD-50 *d* bei Dunkelheit und der LD-50 *l* bei Beleuchtung, so erhält man die in Tabelle 3 zusammengestellten Werte. Demnach wird die UV-Toleranz durch den Erholungseffekt um den Faktor 5-6 erhöht. Auch in diesem Fall ist eine weitere Steigerung durch Erhöhung der Intensität der kurzwelligen sichtbaren Strahlung sehr wahrscheinlich.

| Tabelle 2                  |                         | Relative LD-50 <i>d</i> -Werte der Korallen aus flachen und tiefen Wohnbereichen. |  |
|----------------------------|-------------------------|---|--|
| Arten                      | Flachwasser (bis 1,5 m) | Tiefenwasser (18-20 m)  |  |
| <i>Favia fava</i>          | 1,9                     | 1   |  |
| <i>Favia pallida</i>       | 2,1                     | 1   |  |
| <i>Goniastrea edwardsi</i> | 2,1                     | 1   |  |
| <i>Platygyra sinensis</i>  | 2,5                     | 1   |  |

| Tabelle 3                   |         | Relative LD-50-Werte mit und ohne Tageslicht |  |
|-----------------------------|---------|--|--|
| Arten <sup>*)</sup>         | LD-50 d | LD-50 l                                      |  |
| <i>Goniastrea edwardsi</i>  | 1       | 5,8  |  |
| <i>Goniastrea pectinata</i> | 1       | 6,3  |  |
| <i>Favia matthei</i>        | 1       | 6,8  |  |
| <i>Favia fava</i>           | 1       | 5,6  |  |
| <i>Favia pallida</i>        | 1       | 5,2  |  |
| <i>Favia complanata</i>     | 1       | 7,3  |  |
| <i>Platygyra sinensis</i>   | 1       | 5,9  |  |

<sup>\*)</sup> alle Korallen stammten aus einer Wassertiefe zwischen 1-3 m

### Zusammenfassend können wir somit feststellen:

1. Die an wolkenlosen Sommertagen im UV-B-Bereich (290-320 nm) zustandekommenden Tagessummen (Raum München, 48 n.B., 500 m ü.NN Junimitte ca. 70 KJ·m<sup>-2</sup> bzw. Townsville/Australien 19,25 s.B., 0 m ü.NN ca. 89 KJ·m<sup>-2</sup>) überschreiten zumindest knapp (1 cm) unter der Wasseroberfläche die letale Dosis. Diese Aussage gilt für *Daphnia longispina*, *Daphnia galeata*, m.E. *Daphnia pulex obtusa* bzw. für die Steinkorallen *Favia pallida*, *Favites complanata* und *Turbenaria mesenterina*, soweit sie aus Tiefen über 18 m stammen. Diese Aussage gilt nicht für *Heterocypris incongruens* und für alle in Oberflächennähe lebenden Steinkorallen (0-1 m Wassertiefe) der oben genannten Taxa.
2. Die UV-Toleranz der getesteten Organismen (zwei *Daphnia*-Arten, sieben Taxa von Steinkorallen) ist von der UV-Strahlenbelastung ihres Habitats abhängig (Tiefenabhängigkeit der LD-50).
3. Bei allen bisher getesteten Organismen (zwei *Daphnia*-Arten, sieben Taxa von Steinkorallen) bewirkt sichtbare kurzwellige Strahlung (390-460 nm) gleichzeitig mit der UV-B-Strahlung und/oder nach der UV-B-Strahlung geboten, einen erheblichen Erholungseffekt.
4. Der unter dem Einfluß sichtbarer kurzwelliger Strahlung zustandekommende Erholungseffekt ist beim Flachwasserbewohner *D. pulex obtusa* unter allen bisher getesteten Bedingungen wesentlich höher als beim Seebewohner *D. galeata*.

### 3. Fragestellung: Gibt es Hinweise auf physiologische Mechanismen, die im Sinne eines Schutzes vor UV-Strahlung wirksam sind?

Die Behandlung dieser Frage setzt voraus, daß bekannt ist, welcher Wellenlängenbereich der Ultraviolettstrahlung für die Schäden verantwortlich ist, die bei hinreichender Dosis zum Tode führt. Im allgemeinen wird das Ultraviolett aufgrund unterschiedlicher physiologischer Wirkungen in drei Bereiche aufgeteilt: UV-C: 100-280 nm, UV-B: 280-320 nm und UV-A: 320-380 nm. Aus ökologischer Sicht ist aber nur der Teil des UV-Spektrums wesentlich, der in der Globalstrahlung an der Erdoberfläche bzw. im Wasser noch vorhanden ist. Das sind im allgemeinen Wellenlängen über 290 nm, d.h. Teile des UV-B und das gesamte UV-A. Ermittelt man das Wirkungsspektrum der schädigenden UV-Strahlung bei den getesteten Daphnien, so findet man, daß das Maximum der Schädigung im UV-C liegt – etwa bei 260 nm. Nach beiden Seiten, d.h. nach kleineren wie nach größeren Wellenlängen, nimmt die Wirksamkeit energiegleicher Strahlung ab, ganz besonders auffällig bei Wellen-

längen oberhalb 290 nm (Abb. 4). Unter Freilandbedingungen ist es somit vor allem Strahlung der Wellenlängen 290-310 nm, die im Laufe eines Tages eine letale Dosis überschreiten kann. Eine Substanz, die eine wirksame Schutzfunktion erfüllen soll, müßte in diesem Wellenlängenbereich hinreichend stark absorbieren.

Im Falle der getesteten Daphnien liegen hierüber bisher keine Informationen vor, wohl aber bei Korallen. MARAGOS (1972) konnte bei der Steinkoralle *Porites lobata* UV-absorbierende Substanzen nachweisen, deren Konzentration mit zunehmender Wohntiefe abnimmt. JOKIEL und YORK (1982) fanden bei der Steinkoralle *Pocillopora damicornis* eine entsprechende Beziehung.

DUNLAP, CHALKER und OLIVER (1986) konnten das UV-absorbierende Substanzgemisch bei *Acropora formosa* in mehrere mycosporinähnliche Aminosäuren aufteilen, unter welchen eine Komponente im Bereich von 310 nm ein breites Absorptionsband aufweist und gerade die Konzentration dieser Komponente nimmt mit zunehmender Tiefe ab.

Alle diese Befunde sprechen dafür, daß es – zumindest bei den Korallen – wirksame Schutzsubstanzen gegenüber der schädigenden UV-Strahlung gibt.

Die mit den Daphnien durchgeführten Experimente haben die Bedeutung des unter Lichteinfluß erfolgenden Erholungseffekts herausgestellt, der möglicherweise der Photoreaktivierung zugeordnet werden kann. Die Beziehung zwischen „Erholungserfolg“ und Wellenlänge ist in Abb. 5 dargestellt. Die betreffenden Tiere wurden zunächst mit einer UV-Dosis bestrahlt, die bei anschließendem Dunkelauhalt zum Tod (100 %-Mortalität) geführt haben würde (wie durch Kontrollen stets zu prüfen war). Durch anschließende energiegleiche monochromatische Bestrahlung mit Wellenlängen zwischen 400-460 nm blieben sie mit steigender Dosis zu einem wachsenden Anteil am Leben. Der 50 % Erholungserfolg (ED-50) wurde bei Wellenlängen zwischen 420-450 nm mit den geringsten Dosen erreicht. Strahlung dieser Wellenlänge zeigt somit die größte Wirksamkeit.

Damit ist erwiesen, daß am UV-Schutz zumindest zwei verschiedene physiologische Mechanismen beteiligt sind.

### Literaturverzeichnis

- CALKINS, J. (ed.) (1982):  
The role of solar ultraviolet radiation in marine ecosystems. – Plenum press, New York, pp. 724.
- DAMKAER, D.M., DEY, D.B., HERAN, G.A., PRENTICE, E.F. (1980):  
Effects of UV-B radiation on nearsurface zooplankton of Puget Sound. – *Oecologia* (Berl.) 44: 149-158.
- DUNLAP, W.C., CHALKER, B.E., OLIVER, J.K. (1986):  
Bathymetric adaptations of reefbuilding corals at Davies Reef, Great Barrier Reef, Australia. III. UV-B absorbing compounds. – *J. exp.mar.Biol.Ecol.* 104: 239-248.
- FARMAN, J.C., GARDINER, B.G., OLIVER, J.K. (1986):  
Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction. – *Nature*, Lond. 315: 207-210.

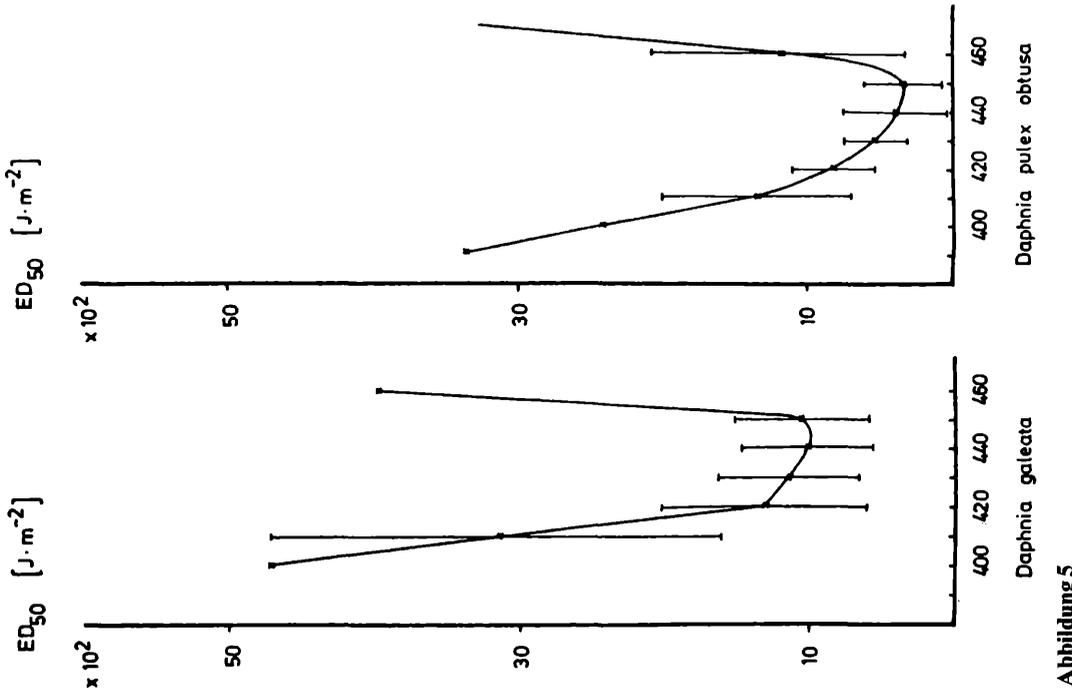


Abbildung 5

Beziehung zwischen der ED-50 und der Wellenlänge monochromatischer, sichtbarer Strahlung, welcher die Tiere nach erfolgter UV-Strahlung ausgesetzt worden sind. (nach SIEBECK und BOHM 1987, verändert).

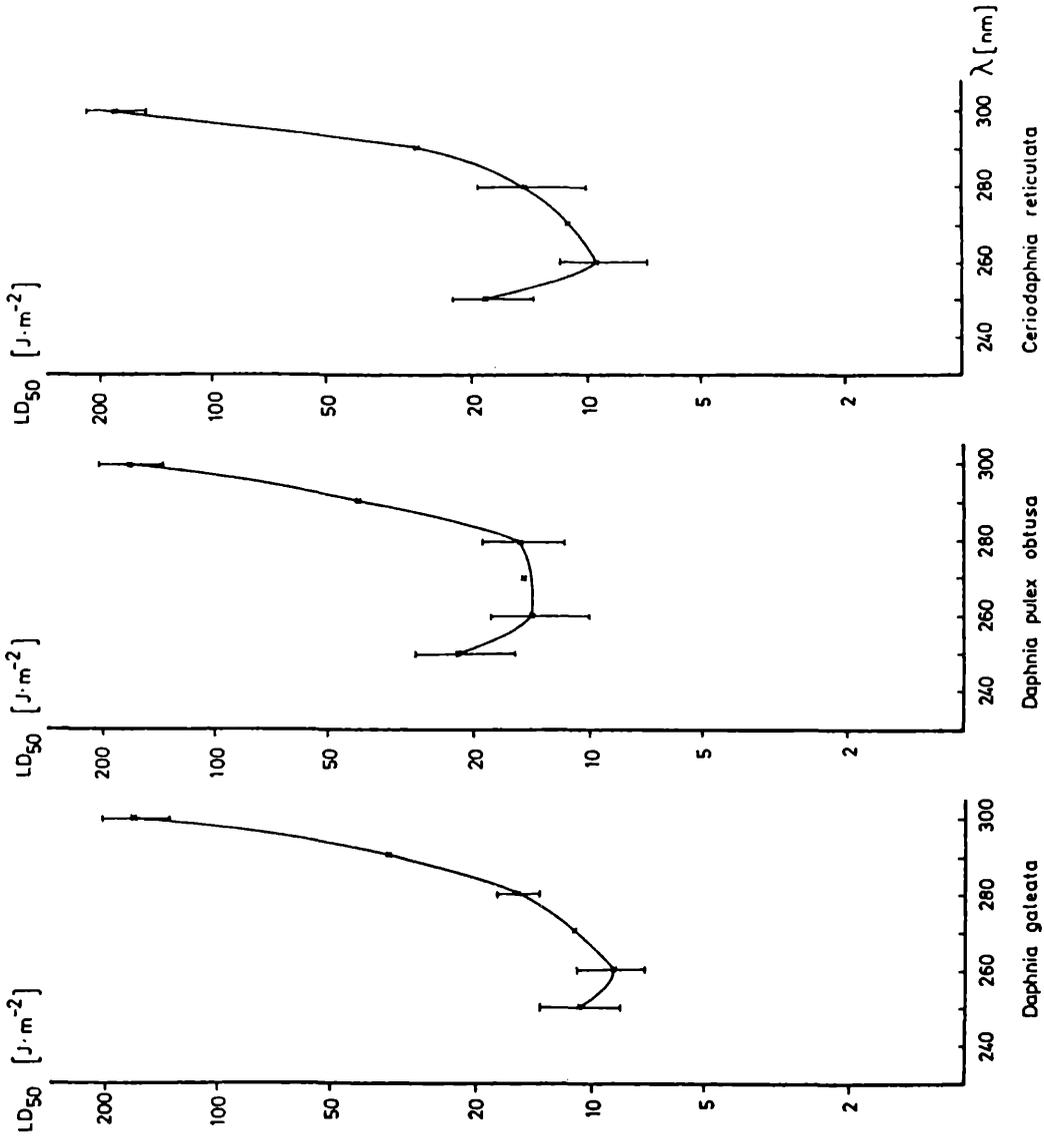


Abbildung 4

Beziehung zwischen der LD-50 und der Wellenlänge der gewählten UV-Strahlung. (aus SIEBECK und BÖHM, 1987).

- JERLOV, N.G. (1950):  
Ultraviolet radiation in the sea. – *Nature*, Lond. 116: 111-112.
- JOKIEL, P.L. (1980):  
Solar ultraviolet radiation and coral reef epifauna. – *Science* 207: 1069-1071.
- JOKIEL, P.L., YORK, R.H. (1982):  
Solar ultraviolet photobiology of the reef coral *Pocillopora damicornis* and symbiotic zooxanthellae. *Bull.-Mar.Sci.*, 32: 301-315.
- KARANAS, J.J. (1979):  
Impact of UV-B radiation on the fecundity of the copepod *Acartia clausii*. – *Mar.Biol.* 65: 125-133.
- KIEFER, J., WIENHARD, I. (1977):  
Biologische Wirkungen; in: KIEFER, J. (ed.) *Ultraviolette Strahlen*; Walter de Gruyter, Berlin, p. 445-567.
- MARAGOS, J.E. (1972):  
A study of the ecology of Hawaiian reef corals; Ph.D. dissertation, University of Hawaii.
- SCHULZE, R. (1970):  
*Strahlenklima der Erde*; Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt, pp. 217.
- SIEBECK, O. (1981):  
Photoreactivation and depth-dependent UV tolerance in reef coral in the Great Barrier Reef/Australia. – *Naturwiss.* 67: 426.
- SIEBECK, O. (1983):  
UV als Umweltfaktor in aquatischen Biotopen. – *Verh. Ges.f.Ökol.* 10: 583-589.
- SIEBECK, O. (1988):  
Experimental investigation of UV-tolerance in hermatypic corals (Scleractinia). – *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 43: 95-103.
- SIEBECK, O., BÖHM, U. (1987):  
Untersuchungen zur Wirkung der UV-B-Strahlung auf kleine Wassertiere; BPT-Bericht, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, München 1, pp. 84.
- SMITH, R.C., BAKER, K.S. (1978):  
Penetration of UV-B and biologically effective dose-rates in natural waters. – *Photochem. Photobiol.* 29: 311-323.
- WORREST, R.C. (1982):  
Review of literature concerning the impact of UV-B radiation upon marine organisms; in: CALKINS J. (ed.): *The role of solar ultraviolet radiation in marine ecosystems*; Plenum Press, New York, p. 429-457.
- ZEITLER, N. (1988):  
UV-Toleranz und Photoreaktivierung bei *Daphnia pulex obtusa* und *Daphnia galeata*; Diplom-Arbeit, München.

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. O. Siebeck  
Dipl.Biol. U. Böhm  
Zoologisches Institut  
der Universität München  
Seidlstraße 25  
8000 München 2

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: [3\\_1988](#)

Autor(en)/Author(s): Siebeck Otto, Böhm U.

Artikel/Article: [Gibt es bei Wassertieren unterschiedliche UV-Toleranzen in Abhängigkeit von der Strahlenbelastung ihres Lebensraumes? 92-98](#)