

# UV-B Strahlung - Wirkung auf Pflanzen

(7.1.3)

## 1. Was ist Ultraviolette Strahlung?

Als UV Strahlung bezeichnet man den Teil des Sonnenspektrums zwischen einer Wellenlänge von 100 und 400 nm, also zwischen der Röntgenstrahlung (kleiner 100 nm) und dem sichtbaren Licht (400 - 780 nm). Das Band der UV-Strahlung wird wiederum in die drei Teilbereiche UV-A (320 - 400 nm), UV-B (280 - 320 nm) und UV-C (100 - 280 nm) unterteilt. UV-C Strahlung hat die höchste Energie und birgt potentiell die größte Gefahr für biologische Systeme, da es stark mit Proteinen und dem Erbgut (DNA) von lebenden Zellen wechselwirken kann. Diese Strahlungsart hat aber nur eine untergeordnete Bedeutung für die Umwelt, da sie bereits vollständig von der Atmosphäre absorbiert wird und nicht zur Erdoberfläche vordringen kann. UV-B Strahlung, die lebenden Systemen ebenfalls potentiell gefährlich sein kann, wird normalerweise zum größten Teil in der Atmosphäre, und zwar durch das Ozon in der Stratosphäre, absorbiert. Die energieärmere UV-A Strahlung wird nur zu einem geringen Teil durch die Atmosphäre herausgefiltert und erreicht nahezu vollständig die Erdoberfläche.

## 2. Wie beeinflusst die Ozonkonzentration die UV-B Strahlung?

Wissenschaftler haben festgestellt, dass die Ozonkonzentration in den oberen Schichten der Atmosphäre (in der sogenannten Stratosphäre) nicht nur über der Antarktis, sondern auch über der nördlichen Erdhalbkugel abnimmt. Ozon absorbiert kürzere UV-B Wellenlängen effektiver als längere, so dass Qualität und Quantität dieser Strahlung durch Konzentrationsveränderungen von Ozon beeinflusst werden. Eine Abnahme der Ozonkonzentration führt demnach zu einer Intensitätszunahme und gleichzeitig zu einer Verschiebung der zur Erdoberfläche durchkommenden UV-B Strahlung zu kürzeren Wellenlängen hin.

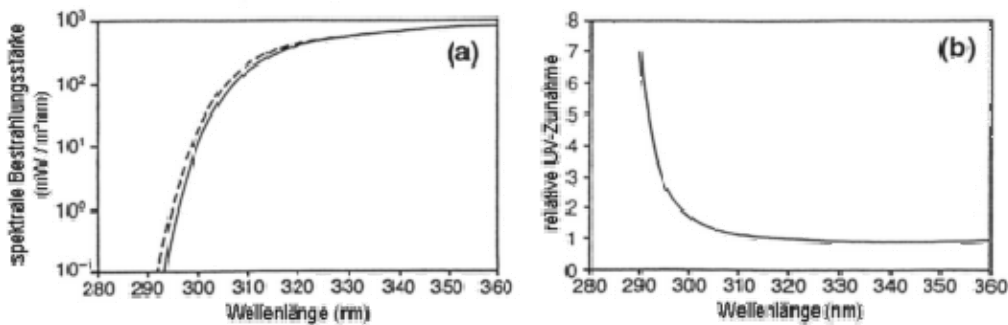


Abb. 1: (a) zeigt das Sonnenspektrum für den UV-Bereich: durchgezogene Linie: normale Ozonkonzentration, gestrichelte Linie: um 16% verminderte Ozonkonzentration. (b) verdeutlicht die relative Zunahme der Strahlung bei verschiedenen Wellenlängen bei verminderter Ozonkonzentration (aus Caldwell et. al 1989).

Als allgemein anerkannte Faustregel gilt: Ozonverminderung um 1% führt zu einer Zunahme von 1,3 - 1,8 % an UV-B Strahlung. In Fachkreisen rechnet man, selbst wenn eine Voraussage aufgrund der komplizierten, globalen Zusammenhänge schwierig ist, bis zum Jahr 2000 mit einem Ozonverlust von bis zu 25%.

### **3. Welche Folgen hat erhöhte UV-B Strahlung auf die molekulare Photochemie und das Gewebe von Pflanzen?**

Pflanzen gelten aufgrund ihrer lichtabhängigen, wuchsortgebundenen Lebensweise neben anderen Organismen als besonders gefährdet. Aktuelle Untersuchungen lassen direkte Schädigungen sowie indirekte morphologische und chemische Reaktionen erkennen, die nicht nur für die einzelne Pflanze selbst sondern auch für ganze Gesellschaften und Ökosysteme Folgen haben können. Um die Frage nach den Folgen sinnvoll beantworten zu können, muß man sich zunächst die wichtigsten für UV-B Strahlung empfindlichen Wirkorte in einer Pflanze vor Augen führen.

#### **3.1. Wirkorte**

##### **Nukleinsäuren**

Diese die Erbinformation tragenden Moleküle (DNS, RNS) können direkt mit UV-B Strahlung interagieren. Sie können durch die Strahlung in einen physikalisch angeregten Zustand überführt werden, in dessen Folge die lokale Basenpaarstruktur der DNS zerstört wird.

##### **Proteine**

Enzyme (Proteine mit biochemisch katalytischen Eigenschaften) können ebenfalls unter Verlust ihrer Funktion bzw. Aktivität mit UV-B reagieren. So kann beispielsweise die Rubisco (Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase), eines der wichtigsten Enzyme von Pflanzen, welches für die Fixierung von CO<sub>2</sub> verantwortlich ist, unter Behandlung mit erhöhtem UV-B einen großen Teil seiner Aktivität verlieren. Es wird nicht nur eine Inaktivierung von Enzymen, sondern auch eine Verringerung der jeweiligen Proteinmenge beobachtet. In einem solchen Fall nimmt man an, dass die UV-B Strahlung ein Signal erzeugt, welches sehr rasch die Transkription der entsprechenden Gene hemmt.

##### **Membran Lipide**

Zellmembranen bestehen in erster Linie aus Lipiden und Proteinen (Verhältnis etwa 1:1). Die Lipidperoxidation, ausgelöst durch erhöhtes UV-B, ist hier der wichtigste Prozeß. Diese Reaktionen, an denen molekularer Sauerstoff beteiligt ist, können über Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren zu dramatischen Membranveränderungen führen. Diese Veränderungen haben häufig eine Destabilisierung der betroffenen Membranen zur Folge. Dies ist besonders bei Chloroplasten und damit für jede grüne Pflanze von enormer Bedeutung, da diese Veränderungen die Photosynthese direkt beeinflussen.

##### **Cytoskelett**

Pflanzliche Zellen besitzen ein inneres Gerüst, Cytoskelett genannt, das ihnen ihre innere Struktur gibt. Dieses dynamische, filamentartige Netzwerk besteht aus Stützelementen (z.B. Mikrotubuli oder Intermediärfilamenten). Diese Einheiten sind hauptsächlich aus Tubulin, das sein Absorptionsmaximum im kurzwelligen UV-B besitzt, aufgebaut. Das Cytoskelett stellt somit ein sehr empfindliches Ziel für diese Strahlung dar. Die Beschädigung bzw. Veränderung dieses strukturellen Netzwerks der Zellen, welches für die Architektur und Regulation vieler Zellfunktionen von größter Wichtigkeit ist, gefährdet über ein verändertes Zellwachstum die Morphologie der gesamten Pflanze.

##### **Photosystem II und Photosynthese**

Produktivität und Struktur von Ökosystemen hängen zum großen Teil von der Photosynthese ab. Damit ist die Photosynthese ein physiologischer Schlüsselprozeß von höchster Wichtigkeit. Die Forschung konnte bisher zeigen, dass hauptsächlich das Photosystem II, das einen zentralen Baustein im Ablauf der biochemischen Prozesse bei der Photosynthese darstellt, durch UV-B Strahlung in Mitleidenschaft gezogen wird. Dies führt in der Regel zu einer geringeren Photosynthese und somit zu einer verminderten CO<sub>2</sub>-Fixierung.

Nachdem die wichtigsten gefährdeten Pflanzenbestandteile aufgeführt wurden, nun einige Effekte von UV-B Strahlung.

### **3.2. Effekte**

#### **Wachstum und Morphologie**

Die Reaktion von Pflanzen auf UV-B Strahlung kann je nach Spezies in Qualität und Quantität sehr unterschiedlich sein, so dass die Auffassung, es gebe eine generelle Antwort auf UV-B Strahlung zu simpel und nicht anwendbar ist. Zu den häufigsten beobachteten Reaktionen gehören Veränderungen in der Gesamtbiomasse, der Verteilung der Biomasse zwischen Sproß und Wurzel, dem Blühverhalten, der Pflanzenhöhe und dem Blattvolumen. So ergaben beispielsweise Experimente mit Reis, einer der wichtigsten tropischen Agrarpflanzen, für einige Sorten teilweise dramatische Biomasseeinbußen.

Eine Verringerung der Pflanzenhöhe sowie des Blattvolumens reflektiert Veränderungen bei der Zellteilung und Zellverlängerung. Es konnte beispielsweise an Sonnenblumenkeimlingen gezeigt werden, dass Indolelessigsäure (IAA), ein wichtiges Wachstumshormon, bei UV-B-Einwirkung oxidiert wird und die entstehenden Photoprodukte die Entwicklung hemmen.

#### **Reproduktion**

In bestimmten Wachstumsstadien wie der Keimungsphase und in frühen Keimlingszuständen sind Pflanzen besonders durch UV-B Strahlung gefährdet, da sie noch nicht adaptiert sind und noch keine Gelegenheit hatten Schutzmechanismen auszubilden. UV-B Strahlung unterdrückt das Blühen oder verändert zumindest je-doch den Blühzeitpunkt. Außerdem ist beobachtet worden, dass die Produktion von Blütenstaub inhibiert und somit nachhaltig die Fortpflanzung negativ beeinflusst werden kann.

### **4. Welche molekularen Schutzmechanismen haben Pflanzen zur Verfügung?**

Pflanzen haben verschiedene Mechanismen entwickelt, um mit Stress fertig zu werden. Neben Licht führen auch andere Faktoren, wie Temperatur, Wasser, Düngung, Verwundung, Schädlingsfraß und Schadgase zu spezifischen Abwehrreaktionen von Pflanzen. Die Stressantwort von Pflanzen reicht von physiologischen, molekularen und biochemischen Veränderungen auf Zellebene bis zu Modifikationen der Morphologie auf Ebene der ganzen Pflanze.

#### **Schirmpigmente**

UV-B Strahlung kann spezifisch die Biosynthese spezieller Schirmpigmente, die zu der Substanzklasse der Flavonoide gehören, induzieren. Diese besonders effektiv wirkende Filtermoleküle haben ihr Hauptabsorptionsmaximum genau im UV Bereich und werden in der äußersten Zellschicht, der Epidermis, eines Blattes abgelagert und schützen so tieferliegendes Gewebe effizient vor der potentiell gefährlichen Strahlung. Die Biosynthese dieser Schutzstoffe wird durch den Einfluß von UV-B Strahlung sehr schnell, d.h. innerhalb von Stunden angeschaltet.

#### **Photolyase**

Dieses Enzym kann bis zu einem gewissen Grad UV-B-geschädigte Erbsubstanz reparieren. Dieser Schutzmechanismus ist aber nicht unbegrenzt belastbar, da hohe UV-Dosen wiederum die Synthese dieses Enzyms hemmen können. Die Pflanze verliert so bei anhaltend hoher UV-B Einwirkung wichtige Schutzfunktionen und erleidet den "Sonnentod".

#### **Epikutikuläre Wachse**

Wachse der Blattoberfläche bestehen aus einer Mischung hoch unpolarer Lipide. Sie absorbieren nicht sonderlich stark im Bereich der UV-B Strahlung, schützen jedoch vermutlich die Pflanze durch Reflexion. UV-B Strahlung kann nicht nur die Biosynthese dieser Wachse induzieren, sondern auch die Zusammensetzung derselben stark verändern. An dieser Stelle sei auch auf die Behaarung hingewiesen, die einigen UV-B resistenten Arten zu eigen ist und vermutlich die Pflanze durch Reflexion von Strahlung schützt.

## **Antioxidative Stoffe**

Viele Schlüsselfunktionen einer Pflanzenzelle, die z.B. mit Membranlipiden, ungesättigten Fettsäuren, Proteinen, Kohlenhydraten und Nukleinsäuren in Zusammenhang stehen, sind durch Oxidantien (freie Radikale oder reaktive Sauerstoffspezies) gefährdet. UV-B Strahlung kann die vermehrte Bildung dieser oxidativ wirkenden Stoffe zur Folge haben. Die Zelle hat zu ihrem Schutz verschiedene antioxidativ wirkende Mechanismen entwickelt. So wird beispielsweise Vitamin E, das besonders freie Radikale sowie Singulett-Sauerstoff in Membranen abfangen kann, schnell vermehrt gebildet. Des Weiteren können auch Enzyme wie Peroxidase oder Superoxid-Dismutase, welche besonders in Chloroplasten und Mitochondrien antioxidativ wirken, induziert werden. Wichtig sind ebenfalls die bereits erwähnten Flavonoide. Sie haben neben den abschirmenden Eigenschaften zusätzlich bemerkenswerte antioxidative Eigenschaften, die sie für das Überleben der Pflanze besonders attraktiv machen.

## **Strukturveränderungen**

Viele Pflanzen reagieren auf erhöhte UV-B Belastung mit der Ausbildung von dickeren und kleineren Blättern. Damit wird ein günstigeres Verhältnis von Oberfläche zu Volumen erreicht. Diese direkte Schutzreaktion reduziert den Anteil des Gewebes welches erhöhten Strahlungsdosen ausgesetzt ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Pflanzen mit molekularen, biochemischen, anatomischen und morphologischen Veränderungen auf UV-B Strahlung reagieren können. Offen ist jedoch, wie groß die Leistungsfähigkeit dieser Schutzreaktionen gegenüber erhöhten UV-B Belastungen sind. Wird dieser Schutz überfordert, so kann mit irreversiblen Schäden gerechnet werden.

## **5. Welche Folgen hat erhöhte UV-B Strahlung auf die ganze Pflanze sowie das Ökosystem?**

### **Ernteerträge (Kulturökosysteme)**

Die globale Nahrungsmittelproduktion und Ernährung der Weltbevölkerung stellt für die Menschheit eine lebenswichtige Problematik dar. Die Untersuchung der Auswirkung erhöhter UV-B Strahlung in ökosystemaren Dimensionen ist besonders wichtig. Die bisherigen Experimente sind jedoch von Fall zu Fall schwierig zu bewerten, da besonders bei Freilandexperimenten natürliche Variationen zentraler klimatischer Parameter wie Temperatur, Luft- und Bodenfeuchte, Gaszusammensetzung oder auch Düngung und Mineralversorgung mit zu berücksichtigen waren. Dennoch wurde bei über der Hälfte der Feldexperimente eine Verminderung der Ernteerträge unter erhöhten UV-B Bedingungen festgestellt.

Nicht nur die Biomasse, sondern auch die Qualität der jeweiligen Pflanzen kann sich teilweise drastisch verändern: So konnten amerikanische Wissenschaftler zeigen, dass der Proteingehalt bei Sojabohnen unter dem Einfluß von UV-B Strahlung stark reduziert wird. Während Basilikum vorteilhafterweise mehr ätherische Öle produziert, beginnen Bohnen sogar giftige Inhaltsstoffe zu bilden.

### **Natürliche Ökosysteme**

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der Effekt zusätzlich applizierter UV-B Strahlung auf wilde Pflanzen und natürliche Ökosysteme stark von den bereits natürlich vorhandenen Strahlungsbedingungen abhängt. Spezies, die in großen Höhen mit viel UV-B Strahlung beheimatet sind, erwiesen sich als resistenter als ihre vergleichbaren Artgenossen aus niedriger gelegenen Gebieten. Pflanzenarten aus alpinen Gegenden konnten sich z.B. über eine verstärkte Biosynthese von Schirmpigmenten besser akklimatisieren als solche aus Mittelgebirgen oder Flachländern.

In natürlichen Ökosystemen ist durch den Ausfall besonders UV-empfindlicher und die Bevorteilung UV-resistenter Pflanzen mit Veränderungen und damit einer möglichen Störung des ökologischen Gleichgewichts zu rechnen. So kann beispielsweise in Waldökosystemen mit einer geänderten Konkurrenz um die photosynthetisch aktive Strahlung (Lichtwettbewerb) gerechnet werden.

Inwieweit diese unter Umständen globalen Umweltveränderungen auf das Leben des Menschen Einfluß nehmen werden kann bisher nur schwer abgeschätzt, sollte aber keinesfalls unterschätzt werden.

## Literatur

Acevedo J., Nolan C. (1993): Environmental UV Radiation, Commission of the European Communities, Directorate-General XII for Science, Research and Development, Bruxelles, Belgium.

Bornman J.F., Teramura A.H. (1993): Effects of Ultraviolet-B Radiation on Terrestrial Plants, In: Environmental UV Photobiologie, Young A.R., Björn L.O., Moan J., Nultsch W. (eds.), Plenum Press, NewYork, U.S.A., pp. 427 - 471.

Caldwell M.M., Teramura A.H., Tevini M. (1989): The Changing Solar Ultraviolet Climate and the Ecological Consequences for Higher Plants, Trends in Ecology and Evolution, **4**, 363 - 367.

Kendrick R.E., Kronenberg G.H.M. (1994): Photomorphogenesis in Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Simm M. (1993): Giftige Bohnen, Bild der Wissenschaft, **2**, 58 - 61.

Schäfer C., Schmid V. (1993): Pflanzen im Lichtstreß, Biologie in unserer Zeit, **23**, 55 - 62.

Stapleton A.E. (1992): Ultraviolet Radiation and Plants, Burning Questions, Plant Cell, **4**, 1353 - 1358.

Tevini M. (1993): Effects of Enhanced UV-B Radiation on Terrestrial Plants, In: UV-B Radiation and Ozone depletion: Effects on Humans, Animals, Plants, Microorganisms and Materials, Tevini M. (ed.), Lewis Publishers, Boca Raton, U.S.A., pp. 125 - 153.

Stand: März 1995

Verfasserin: Barbara Kohmanns und Tim P. Jungblut

---

 © Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 12 - Infozentrum UmweltWissen, E-Mail: [umweltwissen@lfu.bayern.de](mailto:umweltwissen@lfu.bayern.de)

Das Projekt Infozentrum UmweltWissen (früher Umweltberatung Bayern) hat seit 1992 Publikationen veröffentlicht. Seit 2003 werden die Publikationen vom Bayerischen Landesamt für Umwelt herausgegeben. Dieser Beitrag konnte bisher noch nicht überarbeitet werden. Er stellt daher nicht notwendigerweise und in jedem Fall die Haltung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt dar.