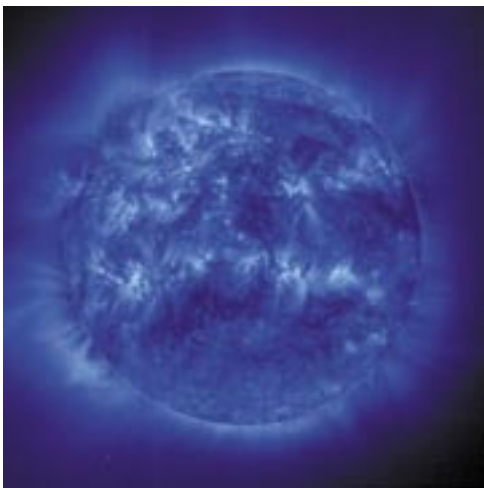


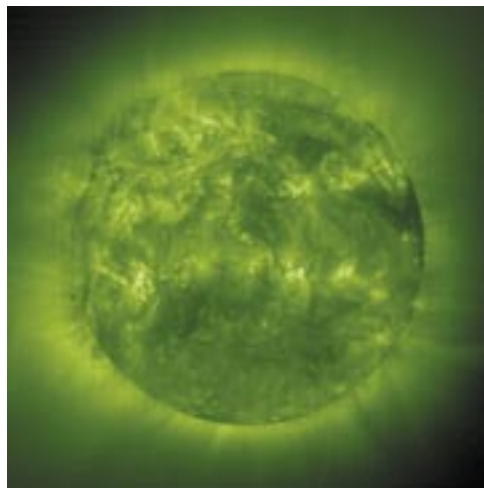
RUNDGESPRÄCH

# Erhöhte UV-Strahlung: Konsequenzen und Maßnahmen

IN EINEM RUNDGESPRÄCH DER KOMMISSION FÜR ÖKOLOGIE AM 9. FEBRUAR 2004 IN DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DISKUTIERTEN WISSENSCHAFTLER DIE RELEVANZ ERHÖHTER UV-STRAHLUNG UND PRAKTISCHE KONSEQUENZEN FÜR MENSCHEN, TIERE UND PFLANZEN.



Aufnahmen von der Sonne mit dem „Extrem ultraviolett Imaging Telescope“.



VON MARKUS RIEDERER

Die elektromagnetische Strahlung der Sonne ist die wichtigste Energiequelle für das Leben auf der Erde. Dies gilt insbesondere für den Spektralbereich, den das menschliche Auge als Licht wahrnehmen kann, also für den Wellenlängenbereich von 400 nm (blau) bis 700 nm (rot). Innerhalb dieser Grenzen absorbieren auch die Lichtsammelpigmente der Photosynthese treibenden Organismen die solare Energie, um sie biochemischen Reaktionen zur Verfügung zu stellen. Das Spektrum der elektromagnetischen Sonnenstrahlung, das die Erdoberfläche erreicht, geht aber über den

Ausschnitt zwischen Blau und Rot hinaus: im langwelligen Bereich hin zur Wärmestrahlung (Infrarot), im kurzwelligen Bereich hin zum Ultravioletten (UV). Bis zur Erdoberfläche kann UV-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 290 nm und 400 nm vordringen, während die Atmosphäre den unter 290 nm liegenden Spektralbereich vollständig abschirmt. Im Hinblick auf die biologische Wirkung wird zwischen UV-B (280 bis 315 nm) und UV-A (315 bis 400 nm) unterschieden.

## Natürlicher UV-Schutz

Ultraviolette Strahlung ist ein vollkommen natürlicher Bestandteil

der physikalischen Umwelt aller Landlebewesen und der Bewohner der oberen Wasserschichten. Die kurzwellige ultraviolette Strahlung ist energiereicher als das für das menschliche Auge sichtbare Licht. Es kann deshalb besser als das sichtbare Licht chemische Reaktionen in der Atmosphäre, auf Oberflächen, im Wasser und vor allem in Organismen antreiben. Die Organismen haben im Verlauf der Evolution Anpassungen an die energiereiche UV-Strahlung erworben. Zum einen sind dabei Biosynthesewege für Pigmente entstanden, die im UV-B und – in geringerem Umfang auch im UV-A – absorbieren und so die empfindlichen Zellbestandteile, vor allem die DNA, vor Strahlungsschäden schützen. So genannte Schirmpigmente stellen eine passive Methode für die Vermeidung von UV-induzierten Schäden dar. Sie sind weit verbreitet und kommen in Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren vor. Auch die Evolution der unterschiedlichen menschlichen Hautfarben geht auf den je nach Lebensraum mehr oder weniger notwendigen UV-Schutz durch Pigmentierung der Haut zurück. Zusätzlich zur Abschirmung hat die Evolution ein Arsenal an aktiven Reparaturmechanismen hervorgebracht, mit denen vor allem Schäden an der DNA behoben werden können. Diese vielseitigen und wichtigen Mecha-

nismen umfassen die Erkennung und Reparatur von UV-verursachten Schäden in den DNA-Strängen im Inneren der Zellen.

### Menschliche Eingriffe

Die industrielle Aktivität des Menschen, insbesondere die Freisetzung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen, hat nun in den letzten Jahren zu einer räumlich und zeitlich variablen Verringerung der Ozonschichtdicke in der Stratosphäre geführt. Damit gehen Änderungen der biologisch aktiven UV-Strahlung einher, die bis zur Erdoberfläche gelangt. Diese Entwicklung hat wissenschaftliche und politische Aktivitäten in Gang gesetzt, bei denen es vor allem um die möglichen Konsequenzen und daraus abzuleitenden Maßnahmen geht.

Die Forschungsaktivität und die wissenschaftliche Diskussion über mögliche, durch erhöhte UV-Strahlungsintensitäten induzierte Effekte konzentrieren sich insbesondere auf folgende Gesichtspunkte:

- Änderungen der Zusammensetzung der bodennahen Atmosphäre und Einflüsse auf die Luftqualität;
- Einfluss der ultravioletten Strahlung auf Materialien;
- Effekte auf die menschliche Gesundheit;
- Auswirkungen der erhöhten UV-Strahlung auf terrestrische und aquatische Ökosysteme;
- UV-induzierte Veränderungen in den biogeochemischen Stoffkreisläufen.

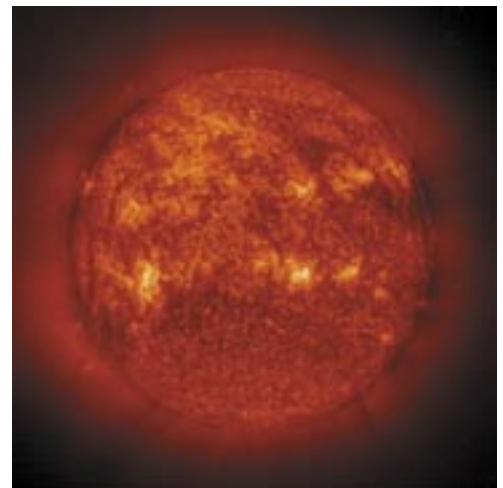
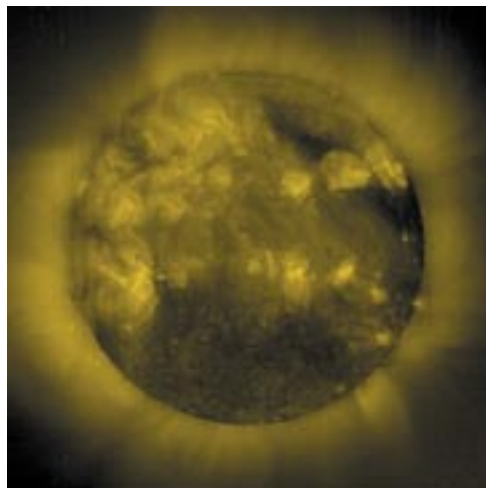
In der letzten Zeit mehren sich die Hinweise darauf, dass diese Gesichtspunkte nicht für sich allein, sondern im größeren Zusammenhang globaler, vom Menschen verursachter Umweltveränderungen gesehen werden müssen. So sind eine Reihe von Wechselwirkungen zwischen den Folgen der Abnahme des strato-

sphärischen Ozons und den Folgen der Zunahme der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration (z. B. veränderte Bewölkungs- und Niederschlagsverhältnisse) nachgewiesen worden.

### Rundgespräch

Zu diesem Thema hat die Kommission für Ökologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften am 9. Februar 2004 ein Rundgespräch mit dem Titel „Veränderte UV-Strahlung: Konsequenzen und

lung der UV-Strahlungsintensität (Dr. P. Köpke, Meteorologisches Institut, Universität München), der Simulation und Risikoabschätzung von UV-Strahlung (Dr. H. Seidlitz, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg), der Wirkung von UV-Strahlen auf Lebewesen (PD Dr. Erhard Pfündel, Julius-von-Sachs-Institut für Biowissenschaften, Universität Würzburg) und der Auswirkung von UV-Strahlung auf die menschliche Gesundheit (Dr. Marianne Placzek, Derma-



Maßnahmen“ veranstaltet. Das Ziel des Rundgesprächs, das Prof. Dr. Markus Riederer, Universität Würzburg, organisiert hatte, war es, die Ergebnisse der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der UV-Wirkung darzustellen und einem größeren Publikum nutzbar zu machen. Insbesondere ging es einerseits darum, Konsequenzen von praktischer Relevanz insbesondere für Bayern aufzuzeigen. Andererseits sollte ein Bezug zwischen den grundlegenden Erkenntnissen und den globalen Szenarien und den spezifischen Verhältnissen Mitteleuropas hergestellt werden. Übersichtsreferate widmeten sich daher der bisherigen und in Zukunft zu erwartenden Entwick-

lungen der UV-Strahlungsintensität (Dr. P. Köpke, Meteorologisches Institut, Universität München). Außerdem wurden in Kurzvorträgen die Ergebnisse von Arbeiten vorgestellt, die im Zeitraum von 1999 bis 2003 im Rahmen des Bayerischen Forschungsverbundes „Erhöhte UV-Strahlung: Konsequenzen und Maßnahmen“ mit Förderung durch das bayerische Wissenschafts- und Umweltministerium durchgeführt worden sind.

In der Folge werden die wichtigsten Resultate des Rundgesprächs zusammengefasst und auf die in den Diskussionen identifizierten Kenntnislücken verwiesen, die durch weitere intensive Forschung gefüllt werden müssen.

### Ozon, globaler Klimawandel und UV-Strahlung

Die Intensität der an der Erdoberfläche wirkenden UV-Strahlung wird durch die Konzentrationen der stratosphärischen und der bodennahen Ozons sowie durch weitere sich gegenwärtig und in Zukunft verändernde Atmosphärenparameter, insbesondere durch die Bewölkung, beeinflusst. Die Ergebnisse, gültig für Mitteleuropa nördlich der Alpen:

- In Zukunft wird sich die stratosphärische Ozonschicht erholen. Dadurch wird sich die UV-Strahlung generell verringern.
- Die Abnahme der UV-Strahlung wird im Frühjahr am geringsten ausfallen.
- Im Zuge der globalen Klimaänderungen wird in Zukunft (bei einer Verdoppelung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre) die Bewölkung im Sommer reduziert sein. Dadurch wird es zu einer Zunahme der UV-Exposition im Sommer kommen, da die Abnahme der Bewölkung die Zunahme des Ozons mehr als kompensiert.
- Dabei wird die Exposition im UV-A Bereich relativ stärker zunehmen als im UV-B, da bei UV-A das Ozon, und damit die Erholung der Ozonschicht, keinen Einfluss hat.

### Photochemie in der Atmosphäre

Die ultraviolette Strahlung liefert die Energie für chemische Reaktionen in der Atmosphäre. Diese Reaktionen können zu einer Verstärkung der Schadstoffbelastung der Luft führen. Es wurde die Photochemie in der bodennahen Luftschicht unter möglichen zukünftigen Klimabedingungen und unveränderten Vorläuferemissionen modelliert, um Aussagen über zukünftige Entwicklungen machen zu können. Die Ergebnisse gültig für Mitteleuropa nördlich der Alpen:

- Die bodennahen Ozonkonzentrationen werden in den Sommermonaten ansteigen.
- In Zukunft wird es häufiger zu Überschreitungen der Ozonegrenzwerte und damit zu einer erhöhten Belastung der menschlichen Gesundheit und der Umwelt kommen.
- An bestimmten Aerosolpartikeln kann es zu einem photokatalytischen Abbau von Schadstoffen kommen.

### UV-Exposition des Menschen

Realistische Vorstellungen über die UV-Belastung des menschlichen Körpers unter unterschiedlichen Strahlungsbedingungen und bei verschiedener Körperorientierung sind die Voraussetzung dafür, dass die Exposition des Menschen abgeschätzt und Vorhersagen über mögliche Gesundheitsbelastungen gemacht werden können. Dazu wurde die UV-Intensität an verschiedenen Orten in Bayern über alle Jahreszeiten hinweg auf unterschiedlich geneigten Flächen gemessen und modelliert, um die Daten anschließend ein virtuelles Oberflächenmodell des menschlichen Körpers übertragen zu können. Die Ergebnisse:

- Die UV-Belastung ist auf geneigten, der Sonne zugewandten Stellen des menschlichen Körpers (z. B. Nase, Stirn und Schulterbereich) viel höher als auf einer horizontalen Fläche, für die die UV-Strahlung üblicherweise angegeben wird.
- Die maximale Bestrahlungsstärke auf diesen geneigten Flächen ist im Winter auf der Zugschulter um bis zu 60 Prozent, in München um bis zu 40 Prozent höher als diejenige, welche auf eine horizontale Fläche einwirkt.

### Effekte an Pflanzen

Die oberirdischen Organe der Pflanzen, vor allem die Blätter, sind



LEHRSTUHL FÜR BOTANIK II, UNIVERSITÄT WÜRZBURG

Schäden an Weintrauben der Sorte Bacchus

der UV-Strahlung permanent ausgesetzt. Das mögliche Ausmaß von UV-Schäden hängt von der relativen Wirkung unterschiedlicher Anteile der UV-Strahlung und den Schutzmechanismen der Pflanzen ab. Die Ergebnisse:

- Die Wirkung von UV-Strahlen auf Pflanzen ist nicht nur auf den Bereich des UV-B (280 bis 315 nm) beschränkt, sondern reicht in den UV-A-Bereich (315 bis 400 nm) hinein. Dies ist ein wichtiger Befund, da in diesem Spektralbereich die solare Strahlungsstärke generell hoch ist und auch durch die zu erwartende Erholung der Ozonschicht nicht abnehmen wird.
- UV-B-Strahlung löst die Biosynthese von Pigmenten aus, welche die UV-Strahlung in den obersten Zellschichten absorbieren und damit die empfindlichen Gewebe darunter schützen.



### Wirkung auf den Menschen

Wird die menschliche Haut der UV-Strahlung ausgesetzt, so kommt es zu einer Reihe von Reaktionen, die vom Sonnenbrand bis zum Hautkrebs reichen können. Die Ergebnisse: (1) Die Gabe von Antioxidantien (z. B. Vitamin C und E) reduziert entzündliche Reaktionen und den Schaden am genetischen Material und verlängert diejenige Phase im Zellzyklus, in dem DNA-Schäden repariert werden können. (2) Die prophylaktische Gabe von Antioxidantien hat somit eine Schutzwirkung gegen schädliche UV-Effekte beim Menschen. Die Aufklärung darüber, wie sich der Mensch durch richtiges Verhalten vor UV-Schäden schützen kann, bleibt trotzdem weiterhin die wichtigste Vorsorgemaßnahme.

### Forschungsbedarf

Durch die Arbeit des Forschungsverbundes BayFORUV konnten viele bis dahin offene Fragen geklärt werden. Gleichzeitig hat die intensive wissenschaftliche Beschäftigung mit der Wirkung und den Konsequenzen der UV-Strahlung für den Menschen und die Umwelt zu der Erkenntnis geführt, dass wichtige Aussagen nicht gemacht und Handlungsempfehlungen nicht gegeben werden können, da entscheidende Sachverhalte noch nicht bekannt sind.

Besonderer Forschungsbedarf besteht dabei zu folgenden Fragen:

- Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen den Auswirkungen des globalen Klimawandels und der UV-Strahlung auf der Erdoberfläche? Wie wird der Klimawandel die verschiedenen Spektralbereiche UV-B, UV-A sowie sichtbare und photosynthetisch aktive Strahlung beeinflussen?
- Was sind die molekularen und physiologischen Grundlagen der UV-Abschirmung und der

Reparaturmechanismen in Organismen? Durch welchen Rezeptor nehmen Organismen ultraviolette Strahlung wahr, und gibt es ein gemeinsames Primärsignal, das anschließend verschiedene Folgeaktionen auslöst?

- Welche biologische Wirkung haben unterschiedliche Spektralbereiche der Sonnenstrahlung, insbesondere deren Anteil im UV-A (315 bis 400 nm)? Wie wirken diese unterschiedlichen Strahlungsqualitäten bei der Auslösung von Schäden, aber auch bei der Induktion von Schutzpigmenten und Reparaturmechanismen zusammen?
- Wie kann die Fähigkeit zum UV-Schutz und zur Reparatur von UV-Schäden zukünftig bei der Züchtung von Kulturpflanzen berücksichtigt werden?
- Welche Effekte hat UV-Strahlung auf Mikroorganismen auf exponierten natürlichen Oberflächen, insbesondere denen von Pflanzen?
- Wie können photokatalytisch wirksame Oberflächen in der Prozesstechnik verwendet werden?
- Welche innovativen Schutzmethoden können eingesetzt werden, um den Menschen vor UV-Schäden zu schützen oder bereits entstandene Schäden zu mildern?
- Die wichtigsten und noch vollkommen offenen Fragen betreffen die langfristigen Wirkungen ultravioletter Strahlung auf Organismen und die Umwelt: Welche langfristigen genetischen Effekte gibt es und wie beeinflussen diese die Lebensfähigkeit und Widerstandskraft der Organismen? Welche Auswirkungen hat UV-Strahlung über längere Zeiträume hinweg auf die Populationen verschiedener Arten, auf Lebensgemeinschaften und auf Ökosysteme? Diese Fragen müssen in Zukunft durch interdisziplinäre Langzeitprojekte beantwortet werden.



*Erhöhte UV-Strahlung: Folgen und Maßnahmen. Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Band 27 (2004), 182 S., 72 Farb- und 20 s/w-Abb., 11 Tab.; Hrsg. Bayerische Akademie der Wissenschaften, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, ISSN 0938 5851, ISBN 3 89937 048 1, € 25,00*

- Die pflanzlichen Reaktionen auf UV-Strahlung werden durch komplexe Interaktionen von UV-B, UV-A und des sichtbaren Strahlungsanteils ausgelöst.
- Auch bei erhöhter UV-B-Strahlung ist die bei den besonders gründlich untersuchten Pflanzen, nämlich Gerste und Ackererschmalwand (*Arabidopsis thaliana*), beobachtete Schutzfunktion ausreichend.
- Bei der Weinrebe wurden UV-induzierte Schäden („Sonnenbrand“) der Beeren beobachtet. Dieses Schadbild ist sortenabhängig: es tritt bei der Sorte Bacchus, nicht aber bei der Sorte Silvaner auf. Es kann kurzfristig durch Änderungen in den Pflegemaßnahmen (keine Entblätterung bei sensitiven Sorten) und langfristig durch die Beachtung des Merkmals UV-Abschirmung bei der Rebenzüchtung vermieden werden.