

»Erhöhte UV-Strahlung: Folgen und Maßnahmen«

Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

Markus Riederer*

Der Bayerische Forschungsverbund »Erhöhte UV-Strahlung in Bayern: Folgen und Maßnahmen« (BayFORUV) legt nach vierjähriger Arbeit in 13 Projekten an bayerischen Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen die Ergebnisse vor. In der Folge werden die wichtigsten Resultate zusammengefasst und es wird auf die sich daraus ergebenden Konsequenzen für das Handeln des Einzelnen, der Gesellschaft und der Politik verwiesen. Außerdem werden wichtige Kenntnislücken identifiziert, die durch weitere intensive Forschung gefüllt werden müssen.

- 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 haben.

Ozon, globaler Klimawandel und UV-Strahlung

Die Intensität der an der Erdoberfläche wirkenden UV-Strahlung wird durch die Konzentrationen des stratosphärischen und des 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.

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.

* Riederer, Markus, Prof. Dr., Universität Würzburg, Lehrstuhl für Botanik II, Julius-von-Sachs-Platz 3, D-87082 Würzburg. E-Mail: riederer@botanik.uni-wuerzburg.de.

- In Zukunft wird es häufiger zu Überschreitungen der Ozongrenzwerte 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 auf 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 Zugspitze um bis zu 60 %, in München um bis zu 40 % höher als diejenige, welche auf eine horizontale Fläche einwirkt.

UV-Effekte auf Organismen

Effekte an Pflanzen:

Die oberirdischen Organe der Pflanzen, vor allem die Blätter, sind 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.
- 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 Ackerschmalwand (*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.

Nichtparasitäre Blattverbräunung bei der Gerste:

In Gerstenbeständen treten seit einigen Jahren Schäden auf, die sich durch Blattverbräunungen manifestieren, aber nicht durch Schadorganismen erklärbar sind. Es gibt empfindliche und weniger empfindliche Gerstensorten.

Die Ergebnisse:

- Die Ursache für die Blattverbräunungen ist oxidativer Stress, zu dem es in denjenigen Gerstensorten kommt, die nur über eine ungenügende Fähigkeit zur Entgiftung von Superoxidationradikalen verfügen.
- Der Auslöser für den oxidativen Stress ist eine hohe Strahlungsintensität; dabei ist kein eindeutiger UV-B-Effekt nachweisbar.
- Es wurde ein Zuchtstamm (IPZ 24272) erarbeitet, der eine hervorragende Resistenz gegen diesen Schadtyp besitzt. Da die für die Resistenz verantwortlichen Gene bekannt sind, kann zukünftig eine markergestützte

Selektion bei der Pflanzenzüchtung durchgeführt werden.

- Es wurden Modelle entwickelt, die es erlauben, die UV-Strahlung innerhalb des Pflanzenbestandes unter Berücksichtigung des aktuellen Wachstums sowie der aktuellen, wetterabhängigen Bestrahlung zu berechnen. Damit kann u. a. der zeitabhängige Effekt der Blattverbräunung weiter untersucht werden.

Einfluss auf Fische:

UV-Strahlung kann auch in die obersten Schichten von (klaren) Gewässern eindringen und so dort lebende Organismen beeinflussen. Dies gilt insbesondere für Fischbrut, da diese sich überwiegend im Flachwasserbereich aufhält.

Die Ergebnisse:

- UV-Strahlung führt bei Fischbrut zu einem veränderten Schwimmverhalten, einer Degeneration der Schleimzellen der Haut, einer vermehrten Bildung von Stresshormonen und letztendlich zu einer erhöhten Sterblichkeit.
- Diese UV-Folgen hängen von der Art des Gewässers und der jeweiligen Fischart ab. Lachsähnliche Fische sind generell empfindlicher als karpfenähnliche.
- Die UV-Effekte auf die Fischbrut können durch die Erhaltung und Wiederherstellung naturnaher, strukturreicher Fließgewässer vermieden werden.

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:

- 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.
- 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 Bay-FORUV 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 Folgereaktionen 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.