

Erhöhte UV-B-Strahlung: ein Problem für die Landwirtschaft?

Christian ZINSER^{1,2*}, Werner HELLER², Werner RAU¹ und Heinrich SANDERMANN, Jr.²

¹Botanisches Institut der Ludwig Maximilian-Universität, Menzinger Strasse 67, D-80638 München

²GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Biochemische Pflanzenpathologie, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 Oberschleissheim

* Korrespondenzautor, E-Mail: czinser@gsf.de

Durch die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht nimmt seit einigen Jahren auch über Europa die UV-B-Strahlung zu. Bekanntlich kann UV-B-Strahlung neben seiner schädigenden Wirkung auf Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere auch die menschliche Gesundheit beeinträchtigen, kurzfristig durch Sonnenbrand, langfristig in Form mancher Hautkrebsarten. Eine Reihe von Untersuchungen ist der Frage nachgegangen, ob und inwieweit auch landwirtschaftliche Nutzpflanzen durch UV-B-Strahlung geschädigt werden. Dabei sind erhebliche Unterschiede in der Empfindlichkeit zwischen verschiedenen Pflanzenarten und Kultursorten festgestellt worden.

Unter UV-B-Strahlung versteht man elektromagnetische Strahlung einer Wellenlänge von 280 bis 320 nm im Bereich unterhalb des sichtbaren Lichts. Etwa 1,5 % der Sonnenstrahlung trifft als UV-B auf die Erdatmosphäre. Dieser Anteil wird, bis er die Erdoberfläche erreicht, um zwei Drittel verringert, hauptsächlich durch die stratosphärische Ozonschicht in 15 bis 50 km Höhe (Runeckles und Krupa 1994). Ozon (O₃) absorbiert UV-A-Strahlung (320 - 400 nm) nur sehr wenig, UV-B jedoch stark und UV-C-Strahlung (unter 280 nm) vollständig. Wenn man die Messergebnisse zwischen 1971 und 1991 hochrechnet, ist in Europa in der nächsten Zeit im Jahresmittel eine Abnahme des Gesamt-Ozongehalts der Atmosphäre von etwa 1,8 % pro Dekade zu erwarten (Stolarski *et al.* 1992). Die relativen Veränderungen innerhalb des UV-B-Bereichs nehmen vor allem bei den energiereicheren und damit schädlicheren kürzeren Wellenlängen zu.

Ozon in der Stratosphäre

Ozon entsteht in der oberen Stratosphäre (25 - 50 km Höhe) durch die Photolyse (Lichtspaltung) von molekularem Sauerstoff (O₂) unter der Einwirkung von UV-Strahlung mit Wellenlängen kürzer als 250 nm (UV-C), gefolgt von einer Reaktion der beiden Sauerstoffatome (2O) mit je einem weiteren Sauerstoffmolekül. Für ein Gleichgewicht, in dem Ozon nur in Spuren vorliegt, sorgt die erneute Spaltung von Ozon in molekularen und atomaren Sauerstoff durch UV-Strahlung um 300 nm (UV-B).

Durch Konvektion wird ein Teil des Ozons aus höheren in tiefere Schichten der Stratosphäre (15 - 25 km) transportiert. Dort finden seit einigen Jahren Reaktionen statt, die zu einer Verschiebung des natürlichen Gleichgewichts zwischen O₃ und O₂ hin zu einer niedrigeren Ozonkonzentration führen. Eine Hauptquelle Ozon-zerstörender Verbindungen sind die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Diese werden in der Stratosphäre photolytisch leicht gespalten. Die dabei freiwerdenden Chloratome (Cl) reagieren mit O₃ unter Bildung von O₂ und ClO, aus dem durch weitere Reaktionen in einem Kreislauf immer wieder Cl freigesetzt wird. Das kann zum Beispiel durch die Reaktion von zwei ClO-Molekülen zu Cl₂O₂ und die anschließende photolytische Abspaltung von zwei Chloratomen unter Entstehung von O₂ geschehen (Solomon 1990; graphische Darstellung: siehe Stolarski 1990). Das Chlor wirkt somit beim Ozonabbau als Katalysator. Diese Wirkung wird normalerweise dadurch begrenzt, dass ein grosser Teil des ClO durch Reaktion mit Stickstoffdioxid (NO₂) abgefangen und in eine stabile Form (ClONO₂) überführt wird.

Über der Antarktis ist ein zweiter Kreislauf an der Entstehung des bekannten Ozonlöchs beteiligt: Bei Temperaturen unter -80°C, wie sie in der Stratosphäre während der antarktischen Polarnacht auftreten, bilden sich Eiswolken aus Salz- und Salpetersäure. In diesen polaren Stratosphärenwolken (PSC für «polar stratospheric clouds») finden an der Oberfläche der Eiskristalle Reaktionen statt, durch die aus ClONO₂ wieder molekulares Chlor (Cl₂) gebildet wird. Dieses zerfällt in der

noch schwachen UV-Strahlung des polaren Frühjahrs wieder, womit grosse Mengen Cl für den Ozonabbau zur Verfügung stehen. Zusätzlich entziehen die PSC als Kondensationskeime der Gasphase NO₂ und verhindern so die Bildung stabiler Chlorverbindungen (Solomon 1990). Die für die Entstehung von PSC erforderlichen tiefen Temperaturen wurden über dem Nordpol bisher nur selten erreicht. Der Treibhauseffekt verringert jedoch die Reflektion der Wärmestrahlung von der Erdoberfläche in die Stratosphäre, was zu einer zunehmenden Abkühlung derselben führt. Damit treten auch über der Arktis die Bedingungen für die Bildung von PSC mitsamt den Konsequenzen für die Ozonschicht häufiger auf.

Molekulare Grundlagen von UV-B-Schäden

UV-B kann in Pflanzenzellen an verschiedenen Stellen Schaden anrichten (Tevini 1993): Im Zellkern werden durch Quervernetzung von bestimmten DNA-Bausteinen, den Pyrimidinbasen, Pyrimidin-Cyclodimere beziehungsweise Pyrimidin-(6-4)-Pyrimidon-Photoaddukte gebildet. Dies führt bei der Replikation des Erbmaterials zu Fehlern und dadurch zu Mutationen, oder es entstehen Fehler bei der Übersetzung in Boten-RNA, wodurch schliesslich die Bildung und Funktion von Proteinen beeinträchtigt werden kann.

Gehalt und Struktur von Proteinen und ungesättigten Lipiden kann auch durch Oxidation verändert werden. Schäden wurden besonders am Photosystem II (einem Teil des Photosynthese-Apparats) und an verschiedenen Membranen beobachtet.

Das Pflanzenhormon Indoleessigsäure, welches das Streckungswachstum fördert, wird unter dem Einfluss von UV-B-Strahlung oxidiert. Die besonders bei Keimlingen und Jungpflanzen häufig beobachtete Verzögerung des Längenzuwachses durch UV-B könnte auf diesen Effekt zurückzuführen sein (Caldwell *et al.* 1994).

Wie schützen sich Pflanzen gegen UV-B?

Pflanzen sind UV-B-Strahlen nicht ungeschützt ausgeliefert. Eine Reihe von präformierten oder durch UV-B induzierten Schutzsystemen begrenzt das Ausmass des Schadens:

Haare und Wachse auf den Oberflächen der Pflanzen reflektieren bis zu 10 % der einfallenden UV-B-Strahlung, bevor diese empfindliche Gewebe erreichen kann. In den Epidermiszellen, die nicht zur Photosynthese beitragen, können Schirmpigmente eingelagert werden, die im UV-B-Bereich Strahlung absorbieren (Abb. 1). Die Flavonoide und direkte Abkömmlinge der Zimtsäure sind Beispiele dafür. Wir haben neue Schirmpigmente, *bis*-Hydroxycinnamoyl-Flavonolglucoside, charakterisiert, die in Kiefernadeln bei UV-B-Bestrahlung gebildet werden (Jungblut *et al.* 1995) und die gerade im UV-B-Bereich (bei 315 nm) ein Absorptionsmaximum besitzen. Die Dicke der schützenden Schichten kann von Pflanze zu Pflanze variieren und hat damit einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Abschirmung.

Die Oxidation zellulärer Komponenten kann durch Radikalfänger, wie die Carotinoide, und antioxidative Schutzsysteme begrenzt werden. Zu letzteren zählen sowohl niedermolekulare Inhaltsstoffe, wie die Tocopherole (Vitamin E), Ascorbinsäure (Vitamin C) und Glutathion, als auch einige Enzyme (Katalasen, Peroxidasen, Superoxiddismutasen). UV-B verändert in Tabak die Menge an Boten-RNA für bestimmte Katalasen (Willekens *et al.* 1994). Schliesslich verfügt die Zelle über Reparaturenzyme, die Schäden an der DNA wirksam beheben können. Diese Enzyme verwenden entweder blaues Licht direkt als Energiequelle zur Spaltung der gebildeten Pyrimidindimere (lichtabhängige Photoreaktivierung) oder entfernen beschädigte DNA-Bausteine und ersetzen diese durch eine Sequenz, die durch Ablesen am Komplementärstrang neu gebildet wird (lichtunabhängige Excisions-Reparatur; Britt 1995).

Einschränkungen

Bei der Bewertung der im nächsten Abschnitt dargestellten Ergebnisse muss beachtet werden, dass verschiedene Faktoren die Empfindlichkeit der Versuchspflanzen gegen UV-B-Strahlung beeinflussen (Fiscus und Booker 1995):

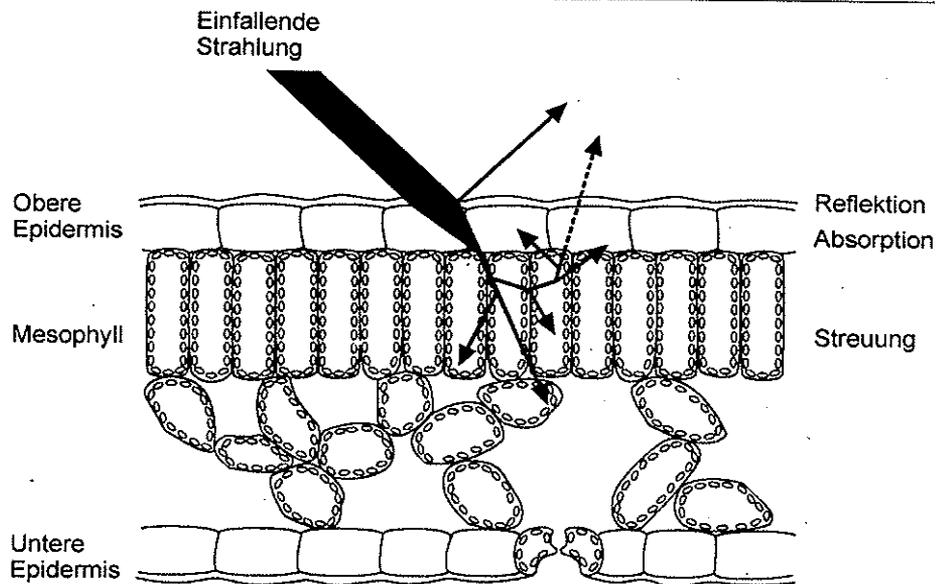


Abb. 1. Der Weg der UV-B-Strahlung im Blattquerschnitt. Die Dicke der Pfeile deutet das Ausmass der Reflektion an der Blattoberfläche und der Abschwächung in der Epidermis an (aus Caldwell *et al.* 1983, modifiziert).

Der wichtigste Punkt ist wohl das Verhältnis der in gezielten Experimenten eingesetzten UV-B-Intensität zur photosynthetisch aktiven, sichtbaren Strahlung (PAR, 400-700 nm) und zum UV-A. Ein Teil des DNA-Reparatursystems ist, wie eben erwähnt, auf längerwellige Strahlung angewiesen. Ausserdem werden Schirmpigmente zum Teil auch durch UV-A und PAR induziert und stellen somit einen vorgebildeten Schutz gegen UV-B-Strahlung dar. Bei einem zu hohen Verhältnis von UV-B zu UV-A und PAR, das in älteren Experimenten oft nicht beachtet wurde, zeigen Pflanzen Reaktionen, die keinerlei Bedeutung für die Ereignisse unter natürlichen Freilandbedingungen haben. Es gibt bisher nur wenige Expositionseinrichtungen, die realistische Strahlungsbedingungen ohne Zuhilfenahme des natürlichen Sonnenlichts liefern. Dazu zählen auch die verschiedenen Klimakammern des GSF-Forschungszentrums in Neuherberg bei München (Abb. 2).

Einige Untersuchungen wurden dort an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen sowie an jungen Bäumen vorgenommen. Die Empfindlichkeit gegen UV-B ist aber gerade im Jugendstadium besonders hoch; eine Übertragung der Ergebnisse aus Keimlingsversuchen auf ältere Pflanzen muss deswegen mit Vorsicht erfolgen. Schliesslich muss berücksichtigt werden, dass Pflanzen sich in gewissem Umfang an veränderte Strahlungsbedingungen gewöhnen können. Diese Umstellung (Akklimatisierung) braucht aber Zeit und erfolgt am wirksamsten in jungem Gewebe. Wenn Pflanzen, die bei sehr niedrigen UV-B-Intensitäten im Gewächshaus angezogen wurden, ohne Übergang starker UV-B-Strahlung ausgesetzt werden, führt das zu Sonnenbrand und damit zu in der Natur nicht zu erwartenden, grossen Effekten. Bei den meisten hier aufgeführten Experimenten wurde mit Pflanzen gearbeitet, die an hohe Lichtmengen angepasst waren sowie mit einer angenommenen Verringe-

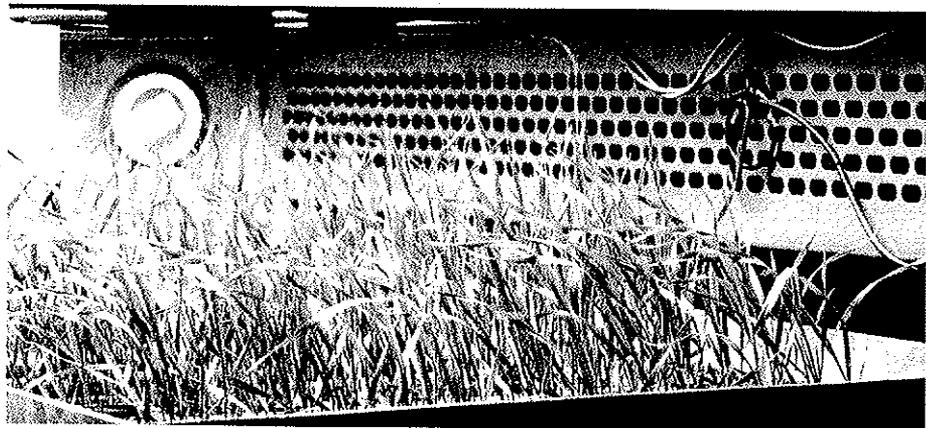


Abb. 2. Weizenkeimlinge in einem Sonnensimulator des GSF-Forschungszentrums.

zung der Ozonschichtdicke von 10 bis 40 %. Aus den eingangs erwähnten 1,8 % Abnahme im Jahresmittel pro Dekade ergibt sich für das nächste Jahrhundert ein Wert von maximal 18 % Ozonverlust. Während des grössten Teils der Vegetationsperiode (Mai bis August) waren die prozentualen Abnahmen sogar noch geringer (1,2 %), im Winter und zeitigen Frühjahr (Dezember bis März) dafür deutlich höher (2,9 %) als im Jahresmittel. Ein Teil der Versuche ging damit von einer grösseren UV-B-Zunahme aus als nach dieser Prognose zu erwarten wäre. Die bisher beobachteten Effekte sind daher als oberste Grenze anzusehen.

Veränderungen an der Pflanze

Die molekularen Reaktionen in der Pflanze bei UV-B-Belastung können zu Veränderungen führen, die am ganzen Organismus sichtbar werden (Übersicht in Tevini 1993; 1996, siehe auch Abb. 3 und Tab. 1): **Wachstum.** UV-B-Strahlung bremst bei vielen Pflanzenarten das Längenwachstum. Wie oben erwähnt, wird dies darauf zurückgeführt, dass das Pflanzenhormon Indolelessigsäure (IES), welches das Streckungswachstum fördert, durch UV-B photolytisch gespalten wird. In einem Versuch mit Weizen in den GSF-Sonnensimulatoren wurde die Entwicklungsabhängigkeit dieser UV-B-Wirkung beobachtet. Bei Keimlingen und Jungpflanzen ist der Effekt besonders deutlich. Gerade im Keimlingsstadium ist die Wachstumsverzögerung wegen der Konkurrenz mit Ackerunkräutern unter Umständen von Bedeutung. UV-B kann darüber hinaus auch durch Veränderungen der Gestalt der Pflanzen (z. B. Verringerung der Blattfläche, Erhöhung der Blattdicke, Änderung des Verzweigungsgrads) deren Möglichkeiten, sich gegen Konkurrenzpflanzen durchzusetzen, beeinflussen. Beobachtungen bei Weizen (*Triticum aestivum* L.) sind teilweise widersprüchlich: In einem Feldversuch über sechs Vegetationsperioden führte erhöhte UV-B-Strahlung (entsprechend einer Ozonreduktion von 20 %) bei einer Mischkultur mit Flug-Hafer (*Avena fatua* L.), einem Ackerunkraut, zu Vorteilen für den Weizen. In einem anderen Versuch, in dem Weizen zusammen mit der gleichen Pflanze oder mit *Aegilops cylindrica*, einem anderen Wildgras, kultiviert wurde, geriet das Getreide bei höherer UV-B-Belastung gegenüber den Wildkräutern jedoch ins Hintertreffen.

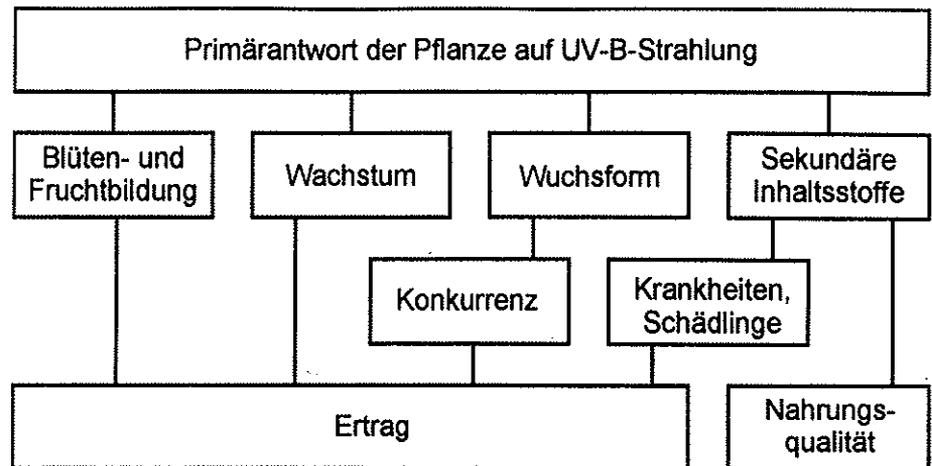


Abb. 3. Vorgänge und Eigenschaften, die UV-B-Strahlung bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen beeinflussen kann (aus Caldwell *et al.* 1994, modifiziert).

Blütenbildung. Bei Mais und Weizen verzögerte UV-B-Strahlung die Blüten- und Fruchtentwicklung. Der Mais wurde im Freiland angebaut; der Versuch mit Weizen wurde in den Sonnensimulatoren des GSF-Forschungszentrums durchgeführt. Die Unterschiede in der UV-B-Intensität waren beim Weizen allerdings deutlich höher als man im Freiland erwartet. Auch die Blütenbildung der Bohne wurde durch UV-B beeinflusst. Keine Veränderungen wurden jedoch bei Reis im Freiland sowie in einem anderen Versuch bei Weizen und Hirse beobachtet.

Biomasse-Verteilung und Ertrag. Die Verteilung der Biomasse innerhalb der Pflanze kann durch UV-B verändert werden. Bei Maniok, einer verbreiteten tropischen Nutzpflanze, wurde bei simulierter Ozonreduktion von 15 % die Masse der als Nahrungsmittel verwendeten Wurzelknolle verringert, während das Trockengewicht der ganzen Pflanze insgesamt gleich blieb. Obwohl die Gesamt-Trockenmasse von Bohnenpflanzen durch erhöhte UV-B-Strahlung abnahm, erhöhte sich der Ertrag. In einem Freilandversuch führte ein simulierter Ozonabbau von 15 % bei Erbsen zu vorzeitigem Abwurf der Schoten und damit zu Ertragsverlusten. Je nachdem, welche Teile einer Pflanze geerntet werden, kann UV-B somit zu Ertragssteigerungen oder auch zu Einbussen führen.

Nahrungsqualität. Pflanzen reagieren auf UV-B häufig mit einer Veränderung in der Zusammensetzung ihrer Inhaltsstoffe. Zum Beispiel führte dies bei Gewürzkräutern wie Basilikum, Thymian und Majoran zu einer Zunahme der ätherischen Öle um 30 bis 40 %. Melonen enthielten unter UV-B erheblich mehr Vitamin C und Zuk-

ker. Bei verschiedenen Kohlsorten nahm der Gehalt an Flavonoiden zu. Bei der Sojabohnensorte Essex führte eine Erhöhung der UV-B-Belastung (entsprechend einer Ozonminderung von 16 %) zu einer Abnahme des Proteingehalts in den Samen. Die Effekte sind noch nicht einheitlich zu beurteilen, und eindeutige Beweise für die Veränderung der Nahrungsqualität stehen noch aus.

Krankheitsresistenz. Die Entwicklung von Schäden bei einem Befall mit Krankheitserregern kann durch UV-B-Strahlung ebenfalls unterschiedlich beeinflusst werden (Manning und Von Tiedemann 1995). So verringerte eine UV-B-Behandlung Krankheitssymptome bei Bohne und Hafer, die durch *Uromyces phaseoli* beziehungsweise *Puccinia coronata* ausgelöst werden. Bei Bestrahlung von Weizen mit UV-B waren die Symptome nach Infektion mit *Erysiphe graminis* ebenfalls schwächer, während in einem anderen Experiment mit einer Rostempfindlichen Sorte und *Puccinia recondita* in Gegenwart von UV-B eine Verstärkung beobachtet wurde. Die UV-B-Behandlung erfolgte nach der Infektion und wurde während der Symptomausprägung fortgeführt, so dass nicht zwischen einer Wirkung auf den Wirt beziehungsweise auf den Schädling unterschieden werden konnte. Hingegen führte eine Vorbehandlung von Gurkenpflanzen mit UV-B zu einer Verstärkung der Brennfleckenkrankheit (*Colletotrichum lagenarium*) und des Schorfs (*Cladosporium cucumerinum*), eine Behandlung nach der Infektion zeigte keinen Effekt.

Artunterschiede. Die Empfindlichkeit verschiedener Nutzpflanzen gegen UV-B variiert stark. Bei einem Vergleich mit

zehn verschiedenen Kulturpflanzen wurden in einem Feldversuch mit erhöhter UV-B-Strahlung bei der Hälfte der Arten Ertragseinbußen zwischen 5 und 90 % gefunden, darunter Weizen (-5 %), Kartoffel (-21 %) und Kürbis (-90 %). Bei Reis, Erdnuss und Mais dagegen gab es keine Unterschiede. Eine andere Studie mit Kohl, Kopfsalat und Raps zeigte weder bei 10 % noch bei 25 % Ozonverminderung Ertragsverluste.

Sortenunterschiede. Bei verschiedenen Kultursorten einer Art wurden erhebliche Unterschiede in der Reaktion beobachtet. So ist in einem fünf Jahre dauernden Freiland-Experiment der Ertrag der UV-B-empfindlichen Sojabohnensorte Essex bei 25 % Ozonverminderung in den meisten Versuchsjahren um 20 bis 25 % niedriger, während er bei der UV-B-toleranten Sorte Williams um 10 bis 22 % anstieg. Auch der Einfluss auf das Wachstum war von der Sorte abhängig. Mit verschiedenen Reissorten wurden unter ähnlichen Bedingungen im Gewächshaus in der Biomasse Veränderungen um bis zu 20 % nach oben oder unten beobachtet.

Wechselwirkung mit anderen Umweltfaktoren

Bisher gibt es nur wenige Studien, die in Anbetracht globaler Klimaveränderungen die Wechselwirkung der UV-B-Strahlung mit anderen Umweltfaktoren untersucht haben. Sichtbare Schäden durch bodennahes Ozon an Sojapflanzen zum Beispiel, waren bei Erhöhung der UV-B-Strahlung geringer, beim Ertrag wurde jedoch keine Abhängigkeit zwischen Ozonkonzentration und UV-B beobachtet. Eine Ertrags- und Biomassezunahme bei Reis durch eine Erhöhung der CO₂-Konzentration von 350 ppm (parts per million) auf 650 ppm wurde bei Erhöhung von UV-B (Ozonverlust von 10 %) ausgeschaltet, bei Weizen verringert und blieb bei Soja unbeeinflusst.

Konsequenzen

Wir haben gesehen, dass nicht nur zwischen verschiedenen Nutzpflanzen erhebliche Unterschiede in der UV-B-Toleranz bestehen, sondern auch zwischen Kultursorten einer einzigen Art. Ob diese Effekte bei den in unseren Breiten zu erwartenden, relativ moderaten Änderungen der UV-B-Strahlung von Bedeutung sein werden, bleibt solange fraglich, als die realen Strahlungsbedingungen im Experiment

Tab. 1. UV-bedingte Veränderungen landwirtschaftlich interessanter Größen bei verschiedenen Nutzpflanzen

	Wachstum	Biomasse	Resistenz	Blüte	Ertrag
Getreide					
Gerste	o				
Hafer	-		+		
Mais		- / o		- / o	- / o
Reis	- / o	- / o			o
Roggen	-				
Weizen	-	o	- / o	-	
Wurzelgemüse					
Kartoffel					-
Zuckerrübe		-			-
Rettich		-			-
Frucht- und Blattgemüse					
Bohne		- / o	+		+
Erbse	- / o	- / o / +			- / o
Gurke		- / o	-		
Kohl					o
Kopfsalat					o
Tomate			- / o		
Kürbis					-
Ölsaaten					
Sonnenblume	-	-			
Raps					-
Futterpflanzen					
Futterklee		o			

- Verringert/verzögert; + erhöht/beschleunigt; o unverändert. Unterschiedliche Angaben zu Veränderungen stammen aus verschiedenen Experimenten oder Kultursorten.

deutlich über «Worst-Case»-Szenarien hinausgehen. Wo allerdings unter realistischen Bedingungen eine deutliche Schädigung auftritt, kann es sinnvoll sein, für den Anbau vorgesehene Sorten auf ihre UV-B-Toleranz zu überprüfen.

DANK

Unser Dank gilt der Arbeitsgruppe EPOKA am GSF-Forschungszentrum für die Betreuung der Sonnensimulatoren, sowie Dr. Anne-Catherine Claudot für die Übersetzung der Zusammenfassung in das Französische. Ein Teil der eigenen Arbeiten wurden durch das Bayerische Klimaforschungsprogramm (BayFOR-KLIM) unterstützt.

LITERATUR

Das Literaturverzeichnis ist beim Erstautor erhältlich.

RÉSUMÉ

Augmentation des radiations UV-B - un réel problème pour l'agriculture?

L'émission de composés halogénés a tant altéré l'équilibre chimique de la stratosphère qu'une proportion croissante de radiations UV-B atteint la surface de la terre. Les UV-B sont biologiquement actifs et peuvent provoquer des dégâts chez les plantes. La croissance, la floraison, la répartition de la biomasse, le rendement, la qualité nutritionnelle, et la résistance aux pathogènes des plantes cultivées peuvent être influen-

cés par les UV-B. Dans la plupart des expériences présentées ici, une augmentation des UV-B conduit à des altérations défavorables. La réaction des plantes varie selon les espèces et les variétés. Cependant, dans quelques expériences, l'intensité UV-B a été augmentée à des valeurs largement au-dessus de celles attendues en plein champ. Dans ces cas, l'importance des effets observés reste incertaine pour l'agriculture. Le cas échéant, la sélection de variétés tolérantes aux UV-B peut être une solution pour éviter les pertes.

SUMMARY

Is enhanced UV-B radiation likely to be a problem to agriculture?

The emission of certain halogenated compounds has altered the chemical balance in the stratosphere. Thus an increasing amount of UV-B radiation reaches the earth's surface. UV-B is biologically active and is able to damage plants. Growth, flowering, biomass allocation, yield, food quality, and pathogen resistance of crop plants can be influenced by UV-B. In most experiments reviewed here, an increase in UV-B led to unfavourable alterations. Reactions of plants varied between species and cultivars. Some experiments, however, used increases in UV-B intensity markedly above the values expected in the field. In these cases, the relevance of the observed effects to agriculture remains doubtful. If necessary, selecting UV-B tolerant cultivars can be a way to prevent losses.

KEY WORDS: ultraviolet B radiation, crop plants, growth, flowering, biomass partitioning, yield, food quality, pathogen resistance