

StartClim2007.B

Gesundheitsrisiken für die Österreichische Bevölkerung durch die Abnahme des stratosphärischen Ozons

Institut für Meteorologie



Institut für Medizinische Physik und
Biostatistik,



Institut für Umwelthygiene
Medizinische Universität Wien, ZPH



Dr. Stana Simic, Institut für Meteorologie, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien, Peter Jordan Str. 82, A-1190 Wien, Tel.: ++43-1-47654 – 5630, Fax: ++43-1- 47654 – 5610, stana.simic@boku.ac.at

Mag. Alois W. Schmalwieser, Institut für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Veterinärplatz 1, 1210 Wien, Tel.: ++43-1-25077-4324, Fax: ++43-1-25077-4390, alois.schmalwieser@vu-wien.ac.at

Dr. Hanns Moshhammer,, Institut für Umwelthygiene, Zentrum für Public Health, Medizinische Universität Wien, Kinderspitalgasse 15, 1095-Wien, Tel.: ++43-1- 277 64711, Fax: ++43-1-4277-64799, hanns.moshhammer@meduniwien.ac.at

Wien, im Juni 2008

StartClim2007.B

Teilprojekt von StartClim2007

Projektleitung von StartClim2007:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

StartClim2007 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWF, des BMWA, der Österreichischen Hagelversicherung, der Verbund AHP und des BMGFJ gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	4
Abstract	4
1 Einleitung	5
2 Daten und Methodik	7
2.1 Verwendete Daten	7
2.2 Strahlungstransfermodell DISORT	7
2.3 Variabilität der UV-Strahlung	8
2.3.1 <i>Inputdaten Ozon</i>	8
2.3.2 <i>Inputdaten Aerosole</i>	8
2.3.3 <i>Inputdaten Albedo</i>	9
2.3.4 <i>Inputdaten für Wolken-Parametrisierung</i>	9
3 Ergebnisse	10
3.1 Änderung des stratosphärischen Ozons über Österreich	10
3.1.1 <i>Jahresmittel des stratosphärischen Ozons</i>	10
3.1.2 <i>Monatsmittelwerte des stratosphärischen Ozons</i>	11
3.1.3 <i>Tagesmittel des stratosphärischen Ozons</i>	12
3.1.4 <i>Korrelation zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity</i>	13
3.1.5 <i>Ozon-Mini-Löcher</i>	15
3.2 Einflussfaktoren für erhöhte UV-Belastung in Österreich	18
3.2.1 <i>Gesamtozon</i>	19
3.2.2 <i>Albedo</i>	20
3.2.3 <i>Strahlungsüberhöhung durch Wolken</i>	21
3.2.4 <i>Unterschiede in der UV-Belastung zwischen Sonnblick (3106 m) und Großenzersdorf (202 m)</i>	23
3.3 Abschätzung des Beitrages der Einflussgrößen zur beobachteten Variabilität der UVB-Strahlung in Österreich	26
3.4 Gesundheitsgefahren durch UV-Strahlung	28
3.4.1 <i>Melanom-Risiko in Österreich</i>	28
3.4.2 <i>Informationen über UV-Belastung</i>	34
4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	36
Literaturverzeichnis	38
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	41

Kurzfassung

Der Abbau des stratosphärischen Ozons gehört zu den gravierendsten Veränderungen der Erdatmosphäre in neuerer Zeit. Über den mittleren Breiten hat die Ozonschichtdicke in den letzten 40 Jahren um mehr als 8% abgenommen. Als Folge der langfristigen Ozonabnahme ist die Anzahl der Tage mit dünner Ozonschicht und daher erhöhter sonnenbrandwirksamer UV-Strahlung gestiegen. Die Episoden mit einem Ozonschwund von mehr als 30%, die zu einer verstärkten UV-Belastung der menschlichen Haut führen, sind im Spätwinter und Frühling besonders häufig. Seit Anfang der 1990er-Jahre treten im Winter und Spätwinter auch über Österreich so genannte Ozon-Mini-Löcher auf. Während solcher Ozon-Mini-Löcher sinken die Ozonwerte auf ein ähnliches Niveau wie beim Antarktischen Ozonloch ab. Dabei kann sich die Sonnenbrandgefahr um einen Faktor 2, das Risiko einer DNS-Schädigung um einen Faktor 4 erhöhen. Im Frühjahr wird das UV-Risiko für Menschen dadurch verstärkt, dass die Haut noch nicht ausreichend an die Strahlungsbelastung adaptiert ist. Über die letzten zwei Jahrzehnte hinweg gab es eine deutliche Zunahme der Neuerkrankungen am bösartigen Melanom in Österreich. Während bei Frauen nur ein leichter Anstieg zu erkennen ist, ist dieser bei Männern deutlich höher.

Aufgrund des vor 20 Jahren unterzeichneten Montrealer-Protokolls zum Schutz der Ozonschicht sowie dem Verbot der Produktion von FCKWs und anderer halogenierter Spurengase haben die Konzentrationen ozonschädigender Substanzen in der Stratosphäre ihren Höhenpunkt überschritten und sind seit einiger Zeit rückgängig. Die noch offene Frage ist allerdings, wie sich der Klimawandel in der Stratosphäre auswirkt und die Erholung der Ozonschicht beeinflussen bzw. verzögern könnte.

Auch die Bewölkung und deren Veränderung spielt eine Rolle. Verschiedene regionalisierte Klimaszenarien für den alpinen Raum lassen einen deutlichen Rückgang der sommerlichen Bewölkung erwarten. Demzufolge würde die UV-Tagesdosis zunehmen und über das Freizeitverhalten zu vermehrter Sonnenexposition und erhöhten Hautkrebsraten führen.

Abstract

Depletion of stratospheric ozone is one of the most drastic changes in the atmosphere in recent times. In the last 40 years, total column ozone has decreased by 8% above midlatitudes. As a consequence of the long-term decrease in stratospheric ozone, the number of days with low total column ozone and thus enhanced erythemally effective UV doses, has increased. During late winter and spring, episodes of more than 30% decrease in ozone are especially common, which impose increased stress on the human skin. In the 1990s, so-called mini ozone holes began to appear during winter and late winter in Austria. During a mini ozone-hole, total column ozone decreases to levels similar to the Antarctic ozone-hole. The risk of sunburn is then multiplied by 2 whereas the risk of damage to the DNS is increased by a factor of 4. UV-hazard is enhanced in spring, since the human skin is not yet adapted to higher UV-radiation levels. Over the last two decades, there has been a significant increase in the number of new affections by malignant melanoma. The increase is more pronounced among men whereas it is smaller among women.

After the signing of the Montreal Protocol for the protection of the ozone layer and the ban on production of CFCs and other halogenated trace-gasses 20 years ago, the concentration of stratospheric ozone-depleting substances is now declining. It is, however, yet to determine, in what way climate change will affect or hinder the recovery of the stratospheric ozone-layer.

Additionally, UV is also affected by cloud cover and the respective changes herein. Various regionalized climate-scenarios indicate significant downward trends in cloud cover during the summer months in the alpine region, which would lead to enhanced daily UV-doses, extended exposure of skin to the sun and more frequent occurrence of skin cancer.

1 Einleitung

Das von der Sonne ausgesendete Strahlungsspektrum erstreckt sich von Infrarot über sichtbare Strahlung bis zu ultravioletter Strahlung (UV) und hat sein Maximum bei einer Wellenlänge von 500 nm, die vom Menschen als grünes Licht wahrgenommen wird. Die Strahlung im ultravioletten Bereich des solaren Spektrums hat nur einen geringen Anteil von etwa 5% an der am Erdboden ankommenden Sonnenenergie. Die Bedeutung der UV-Strahlung, insbesondere im Bereich der Wellenlängen von 280 bis 315 nm (UVB-Bereich) (DIN 5030 Teil 2, 1982), liegt in der hohen Quantenenergie, welche vielfältige physikalische und chemische Veränderungen in Molekülstrukturen hervorrufen kann. Der energiereichste Anteil der UV-Strahlung, unterhalb von 240 nm, bildet in der oberen Schicht der Atmosphäre durch Photolyse von Sauerstoff Ozon. Ozon hat die für das Leben auf der Erde wichtige Eigenschaft, kurzwellige Sonnenstrahlung zu absorbieren. Die UVB-Strahlung wird durch die Absorption durch atmosphärisches Ozon gegenüber den anderen Anteilen des Spektrums stark gedämpft. Bereits kleine Veränderungen im Sonnenspektrum können große Wirkungen hervorrufen. Die bekannteste Wirkung der UVB-Strahlung auf den Menschen ist das Erythem (Hautrötung, manifestiert als Sonnenbrand) und die schwerwiegendsten sind die Schädigung der DNS, die Entstehung von Hautkrebs, die Schwächung des Immunsystems sowie die Kataraktbildung. UVC-Strahlung (< 280 nm) wird durch Ozon und Sauerstoff vollständig absorbiert und erreicht deshalb die Erdoberfläche nicht. Im UVA-Bereich (315-400 nm) gibt es dagegen kaum effektive Absorber.

Die Entdeckung des saisonalen, starken Ozonabbaus über der Antarktis (Ferman et al., 1985) hat in Wissenschaft und Öffentlichkeit Anlass zu Besorgnis gegeben. Auch in Mitteleuropa wird in den letzten 30 Jahren eine Ausdünnung der Ozonschicht beobachtet, dokumentiert beispielsweise durch Messungen des Instituts für Meteorologie der BOKU am Hohen Sonnblick. Der Konzentrationsanstieg der Treibhausgase erhöht die Temperatur der Troposphäre und vermindert gleichzeitig die Temperatur der Stratosphäre. Die daraus resultierenden Auswirkungen auf die zukünftige Entwicklung der stratosphärischen Ozonschicht sind unsicher, da die Interaktion von Chemie, Dynamik und Strahlung noch wenig verstanden und quantifiziert ist (WMO, 2007).

Die Monatsmittelwerte des Gesamtozons in Österreich lagen in den letzten 10 Jahren im Winter bis zu 20% und in den Sommermonaten bis zu 10% unter dem langjährigen Monatsmittel. An einzelnen Tagen erreichte das Ozondefizit sogar Werte von nahezu minus 40%. Diese besonders niedrigen Werte (Ozon-Mini-Löcher) konnten in den letzten Jahren immer häufiger beobachtet werden. Solche extremen Ozonereignisse stehen im engen Verhältnis zu Variationen der potentiellen „Vorticity“, sowie der „Ozon-Wetter-Beziehung“ und gehen damit auch mit den Veränderungen des Klimas einher. Durch Überlagerung der verstärkenden Faktoren kann es zu einer drastischen Erhöhung der UV-Belastung der menschlichen Haut kommen, die unerwartet zu einem Sonnenbrand führt. Im Frühjahr wird das UV-Risiko für die Menschen dadurch verstärkt, dass die Haut noch nicht ausreichend an die Strahlungsbelastung adaptiert ist. Im Sommer nehmen die biologisch wirksamen Strahlungswerte aufgrund der größeren Sonnenhöhe erheblich zu. Deshalb sind UV-Spitzenwerte die entscheidende Größe zur Beurteilung des Gefahrpotenzials. Weltweit registriert die WHO derzeit jährlich 132.000 Todesfälle durch bösartige Formen von Hautkrebs. Die vermehrten Hautkrebserkrankungen in den letzten Jahrzehnten stehen wahrscheinlich auch mit einem veränderten Freizeitverhalten in Beziehung, denn die UV-Exposition ist der wichtigste Risikofaktor für die Entwicklung von Hautkrebs.

Mit einer vollständigen Erholung der Ozonschicht wird erst in etwa 50 Jahren gerechnet. In den nächsten Jahren ist die Intensität der UV-Strahlung daher weiterhin erhöht, und es ist mit erhöhten Hautkrebsraten bis zu den Jahren 2050-2079 zu rechnen (Slaper et al., 1996). Im Lichte dessen ist die Veränderung der Bewölkungsverhältnisse im Zuge der globalen Klimaänderung besonders wichtig. Reuder et al., 2001 zeigen, dass eine reduzierte Bewölkung im Sommer zu einer Zunahme der UV-Exposition um bis zu 15 % führen kann. Kontinuierli-

che spektrale UV-Messungen werden erst seit Anfang der 90-er Jahre durchgeführt. Demzufolge beschränken sich Studien über Langzeitänderungen der spektralen UV-Strahlung auf wenige Jahre. In der Literatur sind in diesem Zusammenhang die Arbeiten von Zerefos (2002), Arola et al., (2003), Lakkala et al., (2003) und Glandorf et al., (2004) zu erwähnen.

Zerefos (2002) fand für wolkenlosen Himmel eine Zunahme der UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm um 2% pro Jahr. Zudem zieht der Autor die Schlussfolgerung, dass die Zeitserie nicht ausreicht, um eindeutige Langzeitänderungen der UV-Strahlung festzustellen. In der Arbeit von Glandorf et al., (2004) wurde die längste spektrale UV-Messreihe in Europa für zwei Stationen Thessaloniki und Sodankylä für mehrere Wellenlängen und Sonnenzenitwinkel analysiert. Die Autoren stellten fest, dass diese Zeitreihen seit den frühen 90-er Jahren in Europa keinen eindeutigen Trend in der UV-Strahlung zeigen. Dieses negative Ergebnis der Trendanalysen bedeutet nicht, dass keine Änderungen der UV-Strahlung eingetreten sind. Vielmehr ist es wegen der hohen natürlichen Variabilität der UV-Strahlung schwierig, einen eindeutigen Trend zu ermitteln.

Ziel dieses Projektes ist die Evaluierung der Auswirkung erhöhter UV-Strahlung auf die österreichische Bevölkerung. Dazu wurde eine Analyse der geographischen Verteilung und des zeitlichen Verlaufs der Inzidenz- und Mortalitätsdaten in Österreich für Melanome und andere maligne Hauttumoren durchgeführt. Parallel dazu wurde die langfristige Änderung der UV-Strahlung über Österreich abgeschätzt und der Einfluss der atmosphärischen Parameter wie Ozon, Wolken und Albedo untersucht.

Besonderes Augenmerk soll auf die biologisch effektive UV-Strahlung (Erythem, DNS-Schädigung, ...) während Ozon-Mini-Löchern über Österreich gezeigt werden. Der Beitrag zur kumulativen Strahlungsjahresdosis, sowie der Anteil an der Gesamtbelastung während Ozon-Mini-Löchern wird ermittelt.

2 Daten und Methodik

2.1 Verwendete Daten

Die im Rahmen des Projektes "Monitoring von stratosphärischem Ozon und spektraler UVB-Strahlung in Österreich" gewonnenen Daten wurden in diesem Projekt verwendet. Die verwendeten Daten sind in Tab. B- 1 zusammengefasst. Mittels verschiedener Wirkungsspektren wurden aus den Spektren der UV-Strahlung verschiedene Arten (Erythem (CIE1987), DNS-Schädigung (Setlow 1974) biologisch effektiver UV-Strahlung, sowie ihre zeitlichen kumulativen Strahlungsjahresdosen berechnet. Für die Analyse der extremen Ozonminima wurden sowohl Messungen mit dem Brewer-Spektralradiometer am Hohen Sonnblick als auch Satellitenmessungen der NASA (McPeters et al., 1998) seit 1978 über Österreich herangezogen. Weiters wurden Meteorologische Daten wie Bedeckungsgrad und Art der Wolken, Schneegrenze, Schneehöhe, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung von ZAMG verwendet.

Für die Analyse der geographischen Verteilung und des zeitlichen Verlaufs der Inzidenz- und Mortalitätsdaten in Österreich wurden die Daten aus dem Jahrbuch 2005 der Gesundheitsstatistik (STATISTIK AUSTRIA 2006) benutzt.

Tab. B- 1: Verwendete Daten

	Station	Zeitraum
Spektrale UVB-Strahlung (280-325 nm)	Hoher Sonnblick	1994-2006
Spektrale UV-Strahlung (280-500 nm)	Hoher Sonnblick	1997-2006
Spektrale UV-Strahlung (280-500 nm)	Großenzersdorf	1999-2006
Erythemwirksame Strahlung	UVB-Messnetz	1998-2006
Gesamtozon	Hoher Sonnblick	1994-2006
Gesamtozon (Satellit)	Nimbus 7 Satellit	1978-1993
Gesamtozon (Satellit)	Earth Probe Satellit	1996-2005
Gesamtozon (Satellit)	Ozone Mapping Instrument	2005-2007

2.2 Strahlungstransfermodell DISORT

Alle Modellrechnungen in diesem Projekt sind mit dem frei verfügbaren Strahlungstransfermodell DISORT (discret ordinate radiative transfer) nach dem Algorithmus von Stamnes et al., 1988 durchgeführt. Bei dem Diskrete-Ordinaten-Verfahren wird das Strahlungsfeld in diskrete Ströme aufgeteilt. Die Anzahl der Ströme ist variabel. Durch die Erhöhung der Anzahl an Strömen kann eine größere Genauigkeit der resultierenden Strahldichte erzielt werden, da die Winkelabhängigkeit der Strahldichte derart besser beschrieben wird. Die Erhöhung der Anzahl der Ströme verursacht jedoch eine längere Rechenzeit und benötigt größere Speicherplatzkapazitäten. Für die Berechnungen im Rahmen dieser Arbeit wurden 30 horizontal homogene Schichten angesetzt, wobei eine quasi-sphärische Approximation angewendet wurde. Das Modell berechnet die globale und direkte Bestrahlungsstärke der Sonne, sowie die Strahldichte des Himmels im ultravioletten und sichtbaren Spektralbereich.

Als Eingabeparameter zur Beschreibung der Atmosphäre werden die Höhenprofile des Luftdruckes, des Ozons und der Lufttemperatur aus der US-Standardatmosphäre verwendet. Durch die Verwendung der standardisierten Profile wird nach Forster, 1995 eine Unsicherheit in den Modellergebnissen erzeugt, die hauptsächlich durch das Höhenprofil des Ozons entsteht. Weitere Eingabedaten sind die Sonnenhöhe, das Datum, die Höhe über Normalniveau, das Gesamt Ozon, die Albedo sowie der Trübungsparameter zur Beschreibung der Aerosole. Als extraterrestrisches Sonnenspektrum wird ATLAS 3 verwendet (van Hoosier, 1996).

2.3 Variabilität der UV-Strahlung

Der Beitrag der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Variabilität wird mit statistischen Verfahren und dem Strahlungstransfermodell abgeschätzt.

Um den Einfluss von Ozon, Albedo und Wolken auf die Variabilität der UV-Strahlung abzuschätzen, werden Modellberechnungen mit der Kombination von zweierlei Inputdaten durchgeführt: Die Inputdaten $(O_3, A_{albedo}, \tau_{aerosol}, \tau_{wolke})$ dienen zur Nachbildung der gemessenen Bestrahlungsstärke; die Inputdaten $(\bar{O}_3, \bar{A}_{albedo}, \bar{\tau}_{aerosol}, \bar{\tau}_{wolke})$ sind tägliche klimatologische Daten aus der zehnjährigen Messperiode. Um z.B. den Einfluss des Ozons auf die Variabilität der UV-Strahlung abzuschätzen, werden die Modellberechnungen mit Inputdaten $(O_3, \bar{A}_{albedo}, \bar{\tau}_{aerosol}, \bar{\tau}_{wolke})$ - d.h. mit aktuellen Ozonwerten und klimatologischen Inputdaten für Albedo, Aerosol und Wolken durchgeführt. Der Quotient zwischen der berechneten Bestrahlungsstärke mit den Inputdaten $(O_3, \bar{A}_{albedo}, \bar{\tau}_{aerosol}, \bar{\tau}_{wolke})$ und den Inputdaten $(\bar{O}_3, \bar{A}_{albedo}, \bar{\tau}_{aerosol}, \bar{\tau}_{wolke})$ dient als Maß für die vom Gesamt Ozon verursachte Variabilität. Analog werden die Einflüsse von Albedo und Wolken quantifiziert. Die Inputdaten, welche für Modellberechnungen verwendet wurden, werden anschließend detailliert beschrieben.

2.3.1 Inputdaten Ozon

Zur Rekonstruktion der gemessenen UV-Strahlung werden die (aus Brewer-Messungen ermittelten) Tagesmittelwerte des Gesamt Ozons als Inputdaten für die Modellberechnungen herangezogen. Die interdiurnen Schwankungen des Gesamt Ozons im Spätwinter sowie im Frühling können bis zu 30% betragen. Im Sommer und Herbst liegen die Schwankungen innerhalb von 10%. Wegen dieser starken kurzzeitigen Variationen werden tägliche klimatologische Gesamt Ozonwerte aus der zehnjährigen Messreihe mit einem Filter von ± 5 Tage gemittelt. So wird z.B. für den Julianischen Tag 150 der Mittelwert der Julianischen Tage 145 bis 155 von 1994 bis 2003 als klimatologischer Input verwendet.

2.3.2 Inputdaten Aerosole

Mit dem Brewer-Spektrophotometer werden direkte Sonnenmessungen bei fünf verschiedenen Wellenlängen 306.3 nm, 310.1 nm, 313.5 nm, 316.8 nm und 320.1 nm durchgeführt. Durch die Bestimmung der Transmission (Quotient aus gemessener Direktstrahlung am Erdboden und extraterrestrischer Strahlung, d.h. Bestrahlungsstärke der Sonne ohne Beeinflussung durch die Erdatmosphäre), kann bei wolkenlosem Himmel die optische Dicke der Aerosole berechnet werden. Mit Hilfe der Langley-Methode wird das Messgerät geeicht. Messungen werden bei einer gewissen Wellenlänge bei verschiedenen optischen Luftmassen (welche direkt proportional der Sonnenhöhe sind) vorgenommen, und die Rohwerte werden auf eine Luftmasse von 0 extrapoliert. Der Rohwert, welcher der Luftmasse 0 zugeordnet wird, entspricht der absoluten extraterrestrischen Bestrahlungsstärke bei dieser Wellenlänge, und aus dieser Beziehung wird der Eichfaktor gewonnen. Diese Eichmethode eignet sich nur für höher gelegene Gebirgsstationen mit geringen Tagesgängen der optischen Aerosoldicken. Die Brewer Messungen zeigen, dass die optische Dicke von Aerosolen am Hohen Sonnblick nur zwischen 0.01 und 0.08 liegt. Ein Vergleich mit anderen, unabhängigen Messungen

konnte mangels verfügbarer Daten nicht durchgeführt werden. In den von Weihs et al. (1999) durchgeführten Modellberechnungen mit optischen Aerosoldicken zwischen 0.03 und 0.08 lagen die errechneten Schwankungen der UV-Strahlung in einem Bereich von 3% bei 305 nm. Diese Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass Aerosole in hochalpinen Regionen nur einen geringen Einfluss auf die UV-Strahlung haben. Deshalb wird im Folgenden der Einfluss der Aerosole nicht weiter beachtet.

2.3.3 *Inputdaten Albedo*

Eine Regressionsbeziehung für die Albedo, basierend auf den Daten Schneegrenze, Schneehöhe, Neuschnee und Anzahl der Tage seit Fallen des Neuschnees, wurde entwickelt. Diese Beziehung wurde verwendet, um für jeden Tag der Zeitperiode 1994 bis 2004 die Albedo am Hohen Sonnblick und daraus die klimatologischen Mittelwerte zu berechnen.

Abb. B- 1 fasst die klimatologischen Albedowerte, die aus dem Mittel der zehnjährigen Periode berechnet wurden, zusammen. Die Albedowerte erreichen in den Wintermonaten und Frühjahrsmonaten Werte von 0.3 bis 0.6 und in den Sommermonaten Werte von 0.09 bis 0.25.

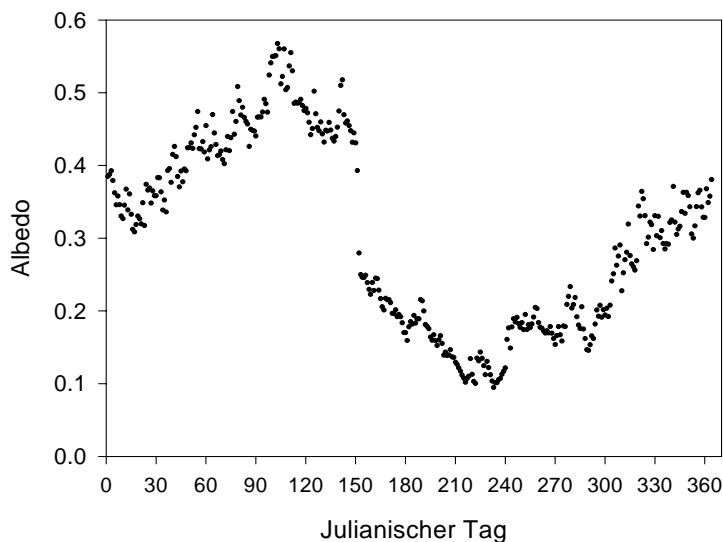


Abb. B- 1: Berechnete effektive Albedo am Hohen Sonnblick im Jahresverlauf. Die Werte sind Mittelwerte der zehnjährigen Periode von 1994 bis 2003

2.3.4 *Inputdaten für Wolken-Parametrisierung*

Zur Rekonstruktion der Messungen bei Bewölkung wurde in den Modellberechnungen der aktuelle Bedeckungsgrad aus den Wolkenbeobachtungen des Synoptischen Netzes der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien herangezogen. Die in der Arbeit von Simic, 2006 abgeleitete Parametrisierung der Schwächung der Strahlung in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad wurde in die Modellberechnungen eingebaut. Als klimatologische Inputdaten wurden die täglichen mittleren Bedeckungsgrade aus der zehnjährigen Beobachtung verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Änderung des stratosphärischen Ozons über Österreich

Die weltweite Abnahme der Ozonsäule, die seit mehr als 30 Jahren stattgefunden hat, wird in ähnlicher Weise auch über Österreich beobachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Ozonmessungen am Hohen Sonnblick gezeigt. Das Gesamtozon oder die Ozonsäulendichte ist ein Maß für die Dicke der Ozonschicht. Die Ozonsäule wird in "Dobson Units" (=DU) gemessen. Eine DU entspricht 0.01 mm Schichtdicke von Ozon, welches auf 1013 hPa und 273.15 K komprimiert wurde.

3.1.1 Jahresmittel des stratosphärischen Ozons

Die Abb. B- 2 zeigt den Verlauf der Jahresmittelwerte der Ozongesamtsäule am Hohen Sonnblick seit 1994. Zusätzlich sind die Jahresmittelwerte von Arosa seit 1970 dargestellt. Abgesehen von deutlichen Schwankungen von Jahr zu Jahr scheint sich seit etwa 10 Jahren der frühere steile Abwärtstrend umgekehrt zu haben. Ob diese Erholung bereits auf die Trendumkehr beim Chlorgehalt zurückzuführen ist, oder ob sie im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite liegt und von anderen Faktoren verursacht ist, z.B. vom 11-jährigen Sonnenzyklus, ist zur Zeit noch nicht deutlich erklärbar und kann erst in einigen Jahren sicher beurteilt werden. Über Arosa liegt der Ozonverlust von etwa 2% pro Jahrzehnt (Abb. B- 2). Neben den chemischen Abbauprozessen ist dieser Trend auch durch andere Effekte beeinflusst (z.B. Vulkanausbrüche). Die niedrigsten Werte wurden nach den starken Vulkanausbrüchen von El Chichon und Pinatubo registriert. Dabei wurden große Mengen ozonzerstörendes Gas und Aerosole bis in die Stratosphäre geschleudert. Die dominierende Ursache für den Ozonabbau ist aber der Einfluss der anthropogenen Halogenenverbindungen (WMO, 2007).

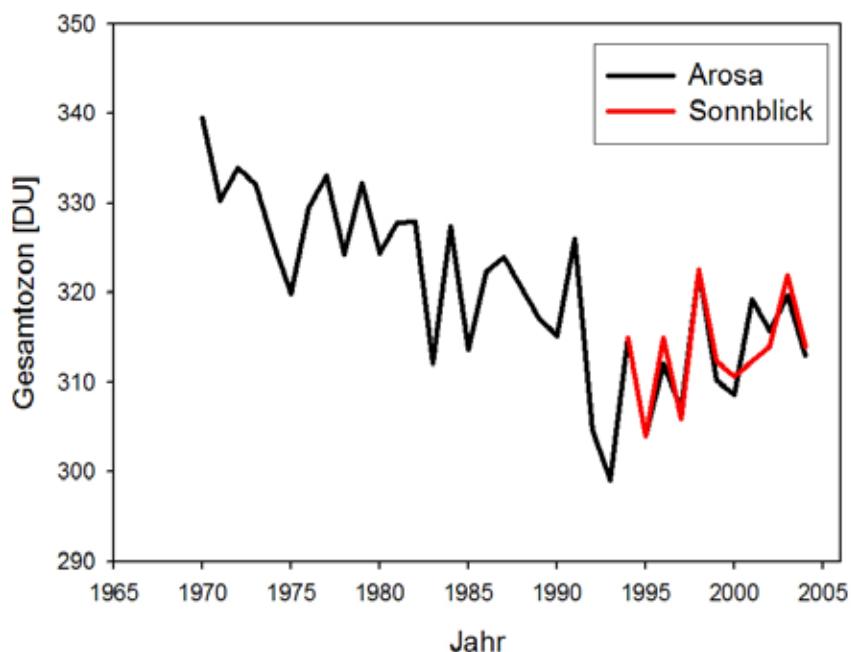


Abb. B- 2: Jahresmittelwerte der gemessenen Konzentrationen der Ozonsäule in Arosa und am Hohen Sonnblick (seit 1994)

Neben dem Jahresmittelwert verändert sich auch Häufigkeitsverteilung der Ozonwerte. Abb. B- 3 zeigt den Jahresmedian (p50%), Höchst- (Max) und Tiefstwert (Min) sowie 5%- und 95%-Perzentil der von NASA Satelliten gemessenen Ozonkonzentrationen über Wien seit

1978. Die höchsten im Jahresverlauf gemessenen Ozonwerte nehmen etwa um 1 DU pro Jahr ab; die niedrigsten um etwa 0,5 DU.

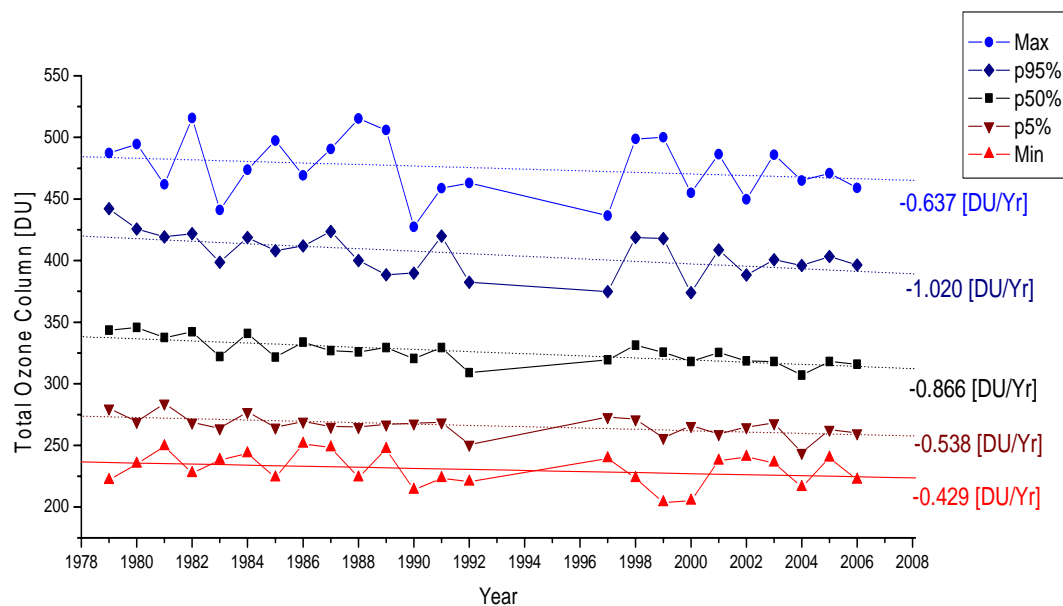


Abb. B- 3: Jahresmedian (p50%), Höchst- (Max) und Tiefstwert (Min) sowie 5%- und 95%-Perzentil der von NASA Satelliten gemessenen Ozonkonzentrationen über Wien (seit 1978)

3.1.2 Monatsmittelwerte des stratosphärischen Ozons

In Abb. B- 4 ist der Jahrgang der Monatsmittelwerte, Minima und Maxima des Gesamt-ozons am Hohen Sonnblick von 1994 bis 2007 dargestellt. Der für mittlere Breiten typische Jahrgang mit seinen saisonalen Unterschieden ist deutlich zu erkennen. Die Saisonalität des Ozons ist durch einen Wechsel von einem Frühjahrsmaximum zu einem Herbstminimum bemerkbar. Die stratosphärische Strömung verläuft im Winter auf der Nordhalbkugel vorwiegend in Richtung Pol und kann damit die ozonreiche äquatoriale Luft polwärts transportieren. Im Sommer wird vor allem die Südhalbkugel mit ozonreicher Luft versorgt. Dadurch tritt auf der Nordhalbkugel das Ozonmaximum im Spätwinter/Frühlingsbeginn und das Ozonminimum im Spätherbst auf. Anhand der Standardabweichung lässt sich gut erkennen, dass die Streuung der Mittelwerte im Winter etwa doppelt so groß ist wie im herbstlichen Minimum. Dieser Effekt wird zum Pol hin verstärkt. Die Ursache liegt einerseits in den planetaren Wellen, deren Amplituden im Winter sehr groß sind und die im Winter ihr Maximum erreichen, und andererseits in den kleinskaligen internen Schwerewellen. Planetare Wellen entstehen in der Troposphäre an Gebirgen oder in Folge sich unterschiedlich erwärmender Land- und Meeresoberflächen. Schwerewellen werden ebenfalls beim Überströmen von Gebirgen, bei Windscherungen oder bei konvektiven Prozessen in der Troposphäre angeregt. Beide Wellentypen breiten sich in Abhängigkeit von der Zirkulation in der Stratosphäre aus, und damit erfolgen meridionale und vertikale Wärme- und Impulstransporte. Andererseits ist für die hohen Variabilitäten im Spätwinter/Frühling das Auftreten der Frühjahrsstratosphärenenerwärmung verantwortlich. Das sind jene Erwärmungen, mit denen die Umstellung des Temperaturgradienten und der Zirkulation zu sommerlichen Bedingungen verbunden ist. Im Mittel erfolgt die Umstellung auf der Nordhemisphäre im März. Der Zeitpunkt der Umstellung variiert jedoch beträchtlich und kann in einzelnen Jahren auch erst im Mai erfolgen.

Die in Abb. B- 4 dargestellten Monatsmittelwerte des Gesamt-ozons am Sonnblick seit 1994 zeigen deutlich einen Konzentrationsrückgang des Ozons gegenüber dem langjährigen Mo-

natsmittel der Jahre 1926-78, gemessen in Arosa. Nur in wenigen Monaten liegen die Ozonschichtdicken innerhalb der Standardabweichung im langjährigen Mittel. Die größten Abnahmen wurden im Winter/Frühling beobachtet, in der Jahreszeit also, in der das Gesamt Ozon normalerweise hoch ist. Die Monatsmittelwerte in Österreich lagen in den letzten Jahren im Winter bis zu 20% und in den Sommermonaten bis zu 10% unter dem langjährigen Monatsmittel.

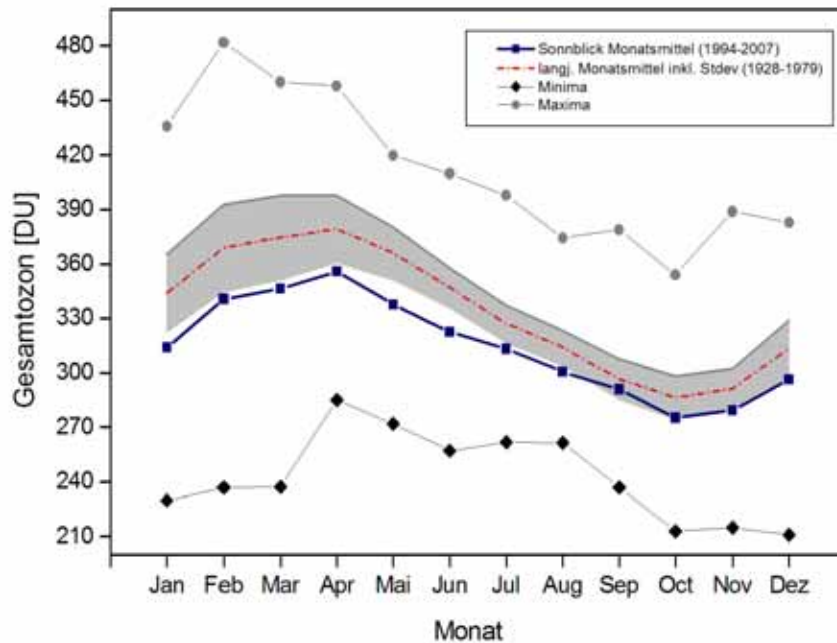


Abb. B- 4: Monatsmittelwerte, Minima und Maxima des Gesamt Ozons am Hohen Sonnblick 1994-2007

3.1.3 Tagesmittel des stratosphärischen Ozons

Das veränderliche Ozon in den mittleren Breiten zeigt Variationen mit unterschiedlicher Raum- und Zeitskala. Meteorologisch gesehen ist der tägliche Gesamt Ozongehalt abhängig von der Temperatur in der Stratosphäre sowie von den Wettersystemen in der darunter liegenden Schicht. Hoch- und Tiefdruckgebiete sind mit einer Hebung bzw. Senkung der Tropopause verknüpft, wodurch die Gesamt Ozonsäule des Ozons verringert bzw. erhöht wird. Die hierdurch erzeugte Variabilität des Ozons ist in der Größenordnung von $\pm 20\%$. Der Ozongehalt der Nordhalbkugel ist also aufgrund von natürlichen Prozessen großen Schwankungen unterworfen. Aus den täglichen Beobachtungen des Gesamt Ozons am Hohen Sonnblick (Abb. B- 5) ist die deutliche natürliche Variabilität von Tag zu Tag zu ersehen. Die Schwankungen von Tag zu Tag können im Frühjahr bis zu 100 DU betragen.

Die langen Ozonmessreihen am Hohen Sonnblick zeigen mehrfach Episoden mit besonders dünner Ozonschicht im Winter und Frühjahr. Die beobachteten kurzzeitig niedrigen Ozonwerte, die in den letzten Jahren gemessen wurden, hängen mit den herrschenden Wetterlagen in der Troposphäre, den Gegebenheiten in der Stratosphäre, sowie mit großräumigen Strömungen zusammen. Treten mehrere Ozon vermindernde Effekte gleichzeitig auf, so kann es zu ausgeprägten, kurzzeitigen Ozonminima kommen. Kommen die Luftmassen aus subtropischen Gebieten, so bringen sie ozonarme Luft nach Europa. In der ersten Jahreshälfte bringen Strömungen vom Norden ozonreiche Luft nach Österreich. In der zweiten Jahreshälfte können die Ozonniedrigwerte durch den Einfluss einer subtropischen Luftmasse aber auch einer polaren Luftmasse beobachtet werden. Ozonarme Luft aus Norden gibt es in

der ersten Jahreshälfte, wenn der polare Wirbel sich auflöst und, durch die chemische Prozesse bedingt, ozonreduzierte Luft nach Österreich transportiert wird.

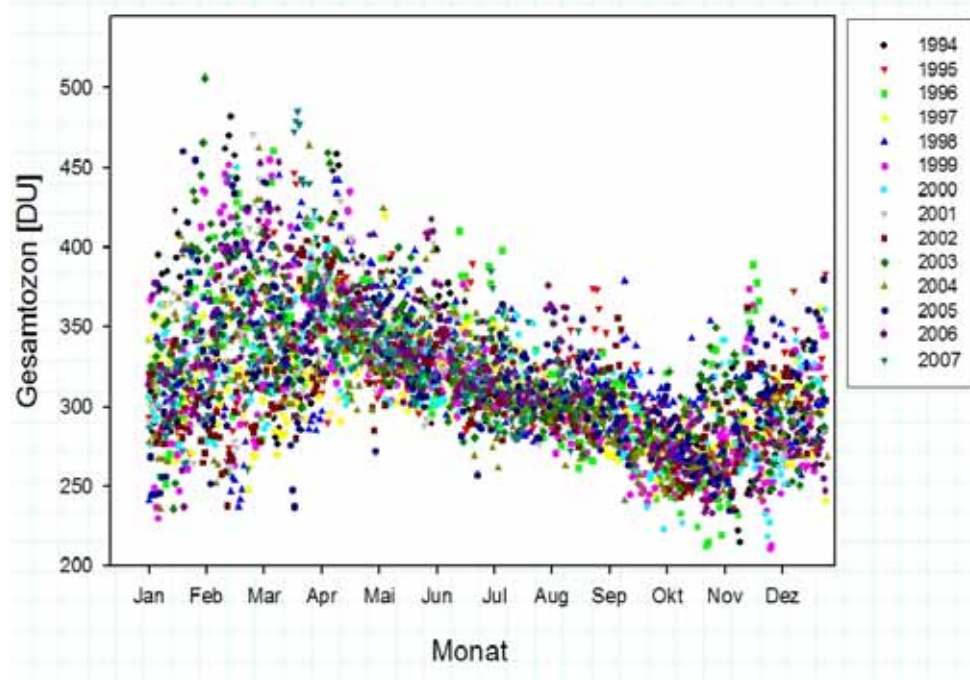


Abb. B- 5: Tagesmittel des stratosphärischen Ozons im Jahresverlauf seit 1994

3.1.4 Korrelation zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity

Es wurden die Korrelationskoeffizienten (KK) zwischen Gesamtozonmessungen (TOC) (EP-TOMS) und der Potential Vorticity (PV) für die verschiedenen Temperaturniveaus berechnet.

3.1.4.1 Jährliche Korrelation

Die Korrelationskoeffizienten (KK) zwischen TOC und PV wurden für jedes Jahr zwischen 1980 und 2006, soweit Ozonmessungen von EPTOMS vorhanden waren, berechnet (Abb. B- 6 und B-7). Die Korrelation zwischen PV und TOC ist im allgemeinen relativ gering und reicht bis 0.7. Nur für die PV bei 330K ist der KK über den gesamten Zeitraum über einem Wert von $1/e$. Die KK für PV bei 315K und 350K erreichen ähnliche Werte. Für alle anderen Niveaus ist die Korrelation zu gering, um als Proxy für das Gesamtozon zu dienen.

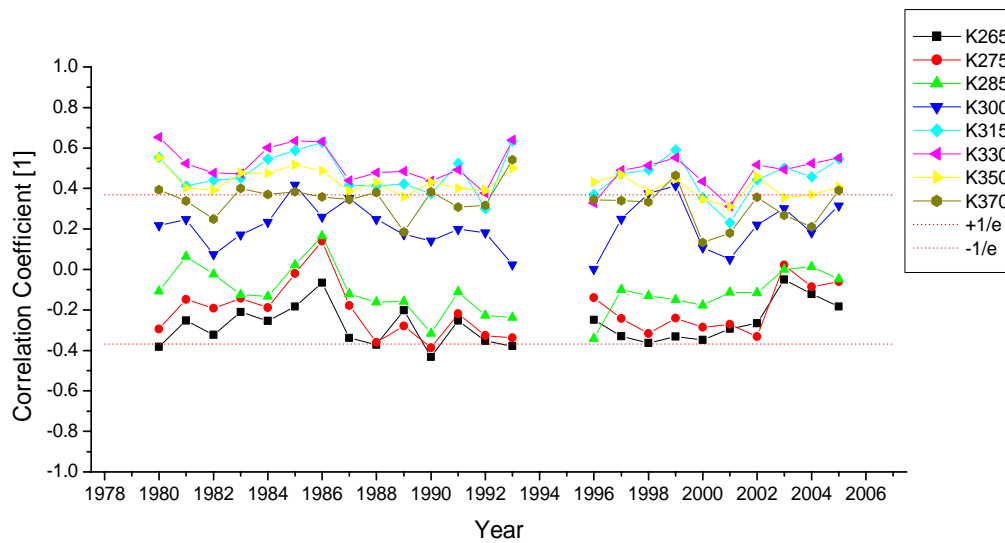


Abb. B- 6: Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 265K bis 370K über Wien zwischen 1980 and 2006. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an.

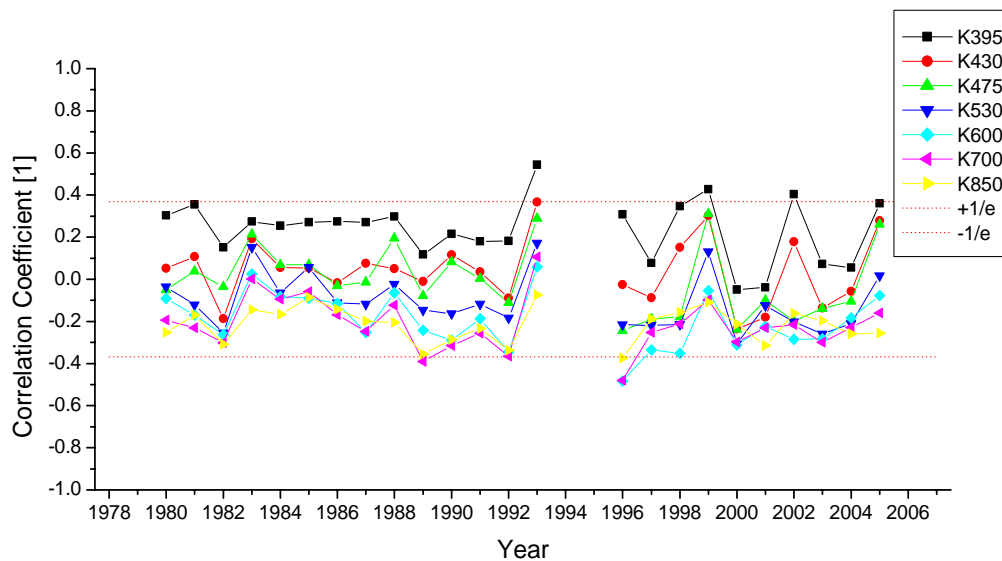


Abb. B- 7: Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 395K bis 850K über Wien zwischen 1980 and 2006. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an.

3.1.4.2 Monatliche Korrelation

Die Korrelationskoeffizienten zwischen TOC und PV wurden für jeden Kalendermonat über den gesamten Zeitraum berechnet. Die meisten KK zeigen eine jahreszeitliche Variabilität (Abb B- 8 and Abb. B- 9). Der höchste KK wurde für die Korrelation bei 330K gefunden. Dieses ist das einzige Niveau, bei dem der KK das ganze Jahr über einen Wert von 1/e liegt. Zwischen Dezember und April ist der KK für 315K sogar höher. Während des restlichen Jahres liegt er unter dem für 330K und fällt sogar unter 1/e.

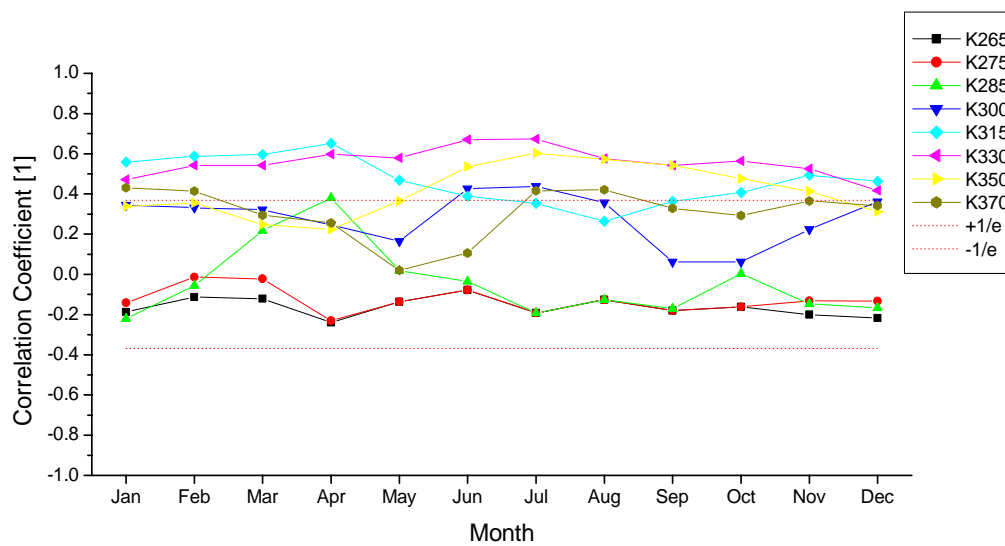


Abb. B- 8: Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 265K bis 370K über Wien zwischen 1980 and 2006 in Abhängigkeit der Jahreszeit. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an.

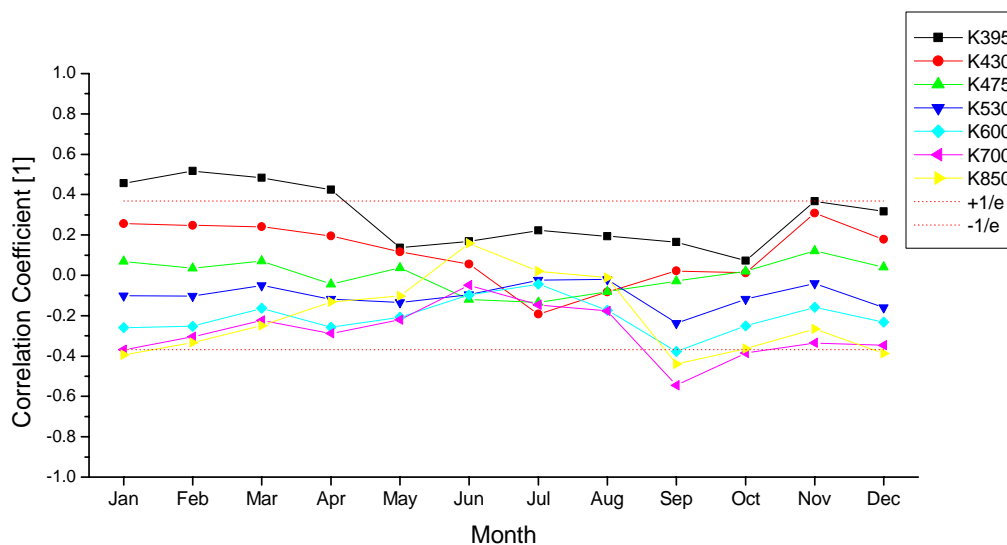


Abb. B- 9: Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 395K bis 850K über Wien zwischen 1980 and 2006 in Abhängigkeit der Jahreszeit. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an

3.1.5 Ozon-Mini-Löcher

Durch die globale Abnahme des Gesamtozongehalts der Atmosphäre kommt es auch zu einer Ausdünnung über Österreich. Abbildung B- 10 zeigt die langfristige Entwicklung der Häufigkeit von Tagen mit dünner Ozonschicht am Hohen Sonnblick für die Monate Februar bis August. Die Balkenarten stehen für Tage, an denen die Ozonschicht über Hohen Sonnblick um 10, 20 oder 30 % dünner war als im Vergleichszeitraum 1928-78. Die Anzahl der

Tage mit "dünner Ozonschicht" ist deutlich größer als noch vor 30 Jahren, und damit erhöhte sich die Gefahr eines vorzeitigen Sonnenbrandes bzw. anderer durch UV-B initiierte Reaktionen (Hautkrebs, DNS-Schädigung, ...). Besonders stark wurde die Ausdünnung zu Beginn der 1990er Jahre. In diesen Zeitraum fällt auch das Auftreten so genannter Ozon-Minilöcher.

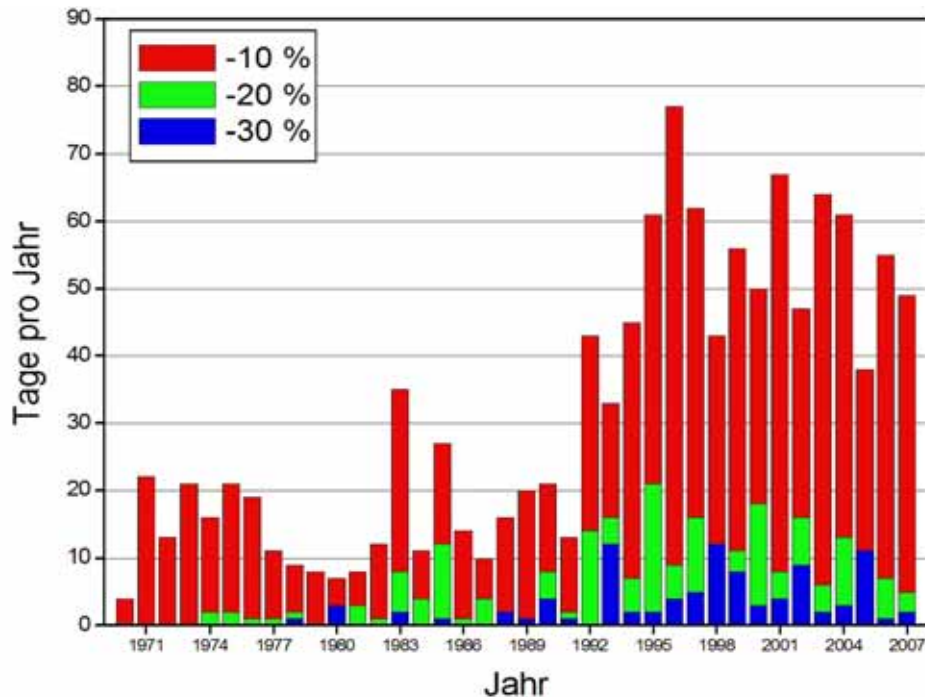


Abb. B- 10: Häufigkeit von Tagen mit dünner Ozonschicht am Hohen Sonnblick für die Monate Februar bis August. Die Balkenarten stehen für Tage, an denen die Ozonschicht über Hohen Sonnblick um 10, 20 oder 30 % dünner war als im Vergleichszeitraum 1928-78

Wettererscheinungen wie Hochdrucklagen (Rood et al. 1992, Orsolini et al 1995) mit Perioden von 1 bis 5 Tagen können zu einer lokal und zeitlich begrenzten Gesamtozonabnahme von mehr als 100 DU im Vergleich zum langjährigen Mittelwert führen. Derartige Strukturen werden auch als Ozon-Minilöcher (OML) bezeichnet, mit denen eine Zunahme der schädlichen UVB-Strahlung über der jeweiligen Region verbunden ist (z.B.: Schmalwieser et al. 2004).

OML treten vor allem im Herbst und Winter (Oktober bis März) in extratropischen Regionen auf beiden Hemisphären auf (Newman et al. 1988, Peters et al. 1995, McCormack and Hood 1997, James 1998).

Extreme Ozon-Minilöcher

Sinken die Ozonwerte in den Bereich von 220 DU und darunter ab, so wird hier von Extremen Ozon-Minilöcher (EOML) gesprochen. Ein Ozonwert von 220 DU gilt als Grenzwert beim antarktischen Ozonloch. Im Beobachtungszeitraum von 1978 bis 2007 wurden 12 solcher EOML über Mitteleuropa gemessen. Im Zeitraum von 1978-1989 wurden nur drei EOML beobachtet, seit 1990 allerdings neun. In Tabelle B-2 sind diese mit ihren Tiefstwerten (über Wien) aufgelistet. Das größte und tiefste Ozon-Miniloch ereignete sich im November und Dezember 1999. Während dieses Ereignisses sanken die Ozonwerte über Österreich sogar auf Werte unter 200 DU ab (siehe Abb. B- 11). Die tiefsten Werte dieses EOML wurden im Bereich der Nordsee gemessen und lagen im Bereich von 175 DU (Allart et al. 2000, Iwao and Hirooka 2004).

Für die Entstehung von OML und EOML gibt es verschiedene Ursachen:

- Transport extrem ozonarmer Luft aus dem Polarbereich (Peters and Waugh, 1996, Hood et al 2001, Allen und Nakamura 2002)
- Transport extrem ozonarmer Luft aus den Subtropen/Tropen (Allart et al. 2002, Bojkov and Balis 2001)
- Tiefdruckwirbel im Atlantik (James 1998, Allart et al. 2002, Reid et al. 2002). Für Österreich und Mitteleuropa sind vor allem jene aus dem Atlantik von Bedeutung.

Aus Abbildung B- 12 wird ersichtlich, dass die erythemwirksame Strahlung während des Ozonminilochs um das doppelte, die DNS-schädigende um das 4 bis 5 fache gegenüber dem Normalwert ansteigen können.

Tab. B- 2: Extreme Miniozonlöcher über Mitteleuropa und ihre Tiefstwerte über Wien

Datum	Gesamtozon [DU]
Nov. 1979	221
Dez. 1982	225
Dez. 1985	223
Feb. 1990	214
Dez.1991	222
Dez. 1992	218
Nov. 1996	228
Jan. 1998	207
Jan. 1999	228
Nov.-Dez. 1999	198
Nov. 2000	205
Nov. 2004	216

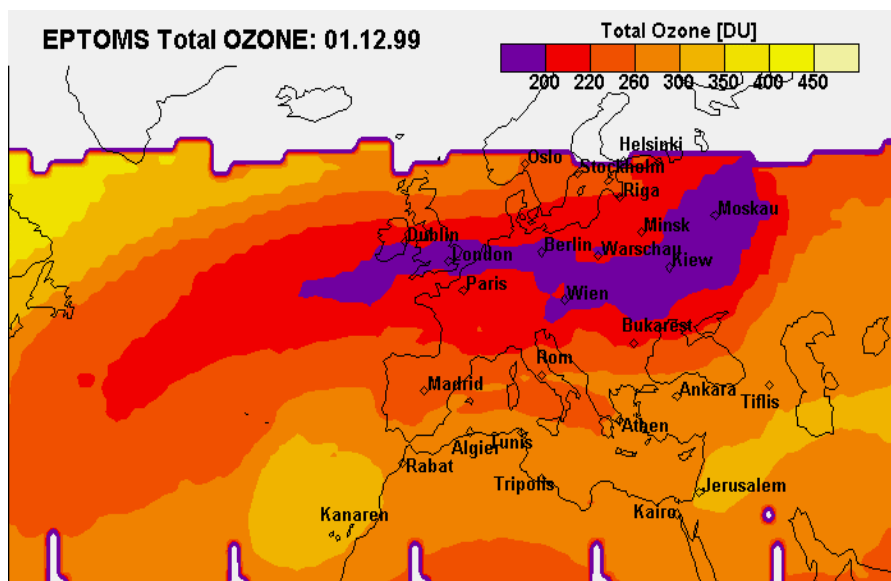


Abb. B- 11: Ausdehnung des größten über Österreich beobachteten Ozonminilochs

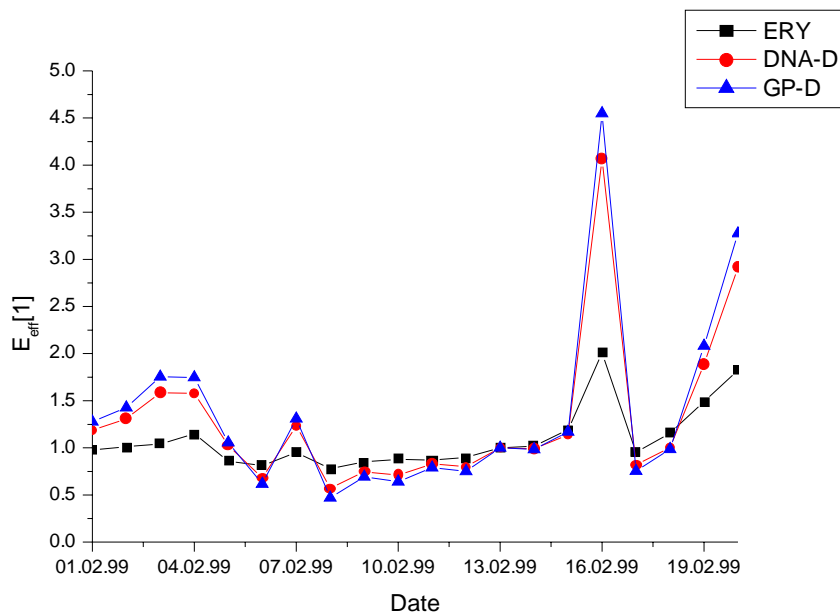


Abb. B- 12: Verlauf der biologisch wirksamen UV Strahlung während des Extremen Ozon-Minilochs im Februar 1999. Dargestellt sind die Verläufe für die erythemwirksame (ERY), die DNS-schädigende (DNA-D) und die pflanzenschädigende UV Strahlung (GP-D)

3.2 Einflussfaktoren für erhöhte UV-Belastung in Österreich

Die Verringerung der Ozonschichtdicke in der Stratosphäre führt zu einem Anstieg der biologisch aktiven UV-Strahlung. Weitere wesentliche Faktoren für den Transfer der UV-Strahlung durch die Atmosphäre sind Bewölkung, Aerosoltrübung und Albedo (Reflexion am Erdboden).

In Abb. B- 13 ist die zwölfjährige Messreihe der Tagessummen der erythemwirksamen Strahlung am Hohen Sonnblick dargestellt.

Die solare UVB-Bestrahlungsstärke weist eine starke Abhängigkeit von der Sonnenhöhe auf. In Abb. B- 13 werden Tage bei allen Witterungsverhältnissen gezeigt. Man erkennt den typischen Jahresgang mit Maxima in den Sommer- und Minima in den Wintermonaten. An wolkenlosen Tagen werden jeweils die höchsten Werte gemessen, wobei die Winterwerte nur etwa 14% der Sommerwerte erreichen. Bewölkung vermindert die UVB-Bestrahlungsstärke merklich, weil eine zusätzliche Streuung und Absorption in den Wolken eine Abschwächung der Strahlung verursacht. Das quantitative Ausmaß der Abnahme der Bestrahlungsstärke hängt von der Dichte der Bewölkung ab. So kann im Sommer bei völlig bedecktem Himmel die UVB-Bestrahlungsstärke auf den Winterwert reduziert sein.

Den Tagessummen kommt in Zusammenhang mit der Abschätzung der Gefährdung durch UV-Strahlung bei einem ganztägigen Aufenthalt im Freien Bedeutung zu. Die Tagessummen der UV-Strahlung in den Wintern der Jahre 1994 bis 2007 lagen in einem Bereich zwischen 0.01 kJ/m^2 und 2.1 kJ/m^2 . Für einen sonnigen Wintertag kann die UV-Dosis am Hohen Sonnblick den Schwellwert (Schwellwertdosis 0.25 kJ/m^2 für einen weißhäutigen Mitteleuropäer mit Hauttyp II) um das 8-fache überschreiten. Die maximal gemessenen Tagessummen in den Sommern der zehnjährigen Messperiode betragen über 6 kJ/m^2 . Damit ergibt sich an einem sonnigen Sommertag am Hohen Sonnblick eine den Schwellwert um mindestens das 24-fache überschreitende UV-Dosis. Die effektive Dosis, die von den menschlichen Körperteilen empfangen wird, kann sich deutlich von den für horizontale Flächen gemessenen Dosen unterscheiden. Die Intensitäten, welche geneigte Flächen empfangen, sind durch die direkte, die diffuse sowie die reflektierte Bestrahlungsstärke bestimmt. Manche Oberflächen

(z.B. Schnee) reflektieren bis zu 90% der einfallenden Strahlung und können damit die empfangene Dosis stark erhöhen.

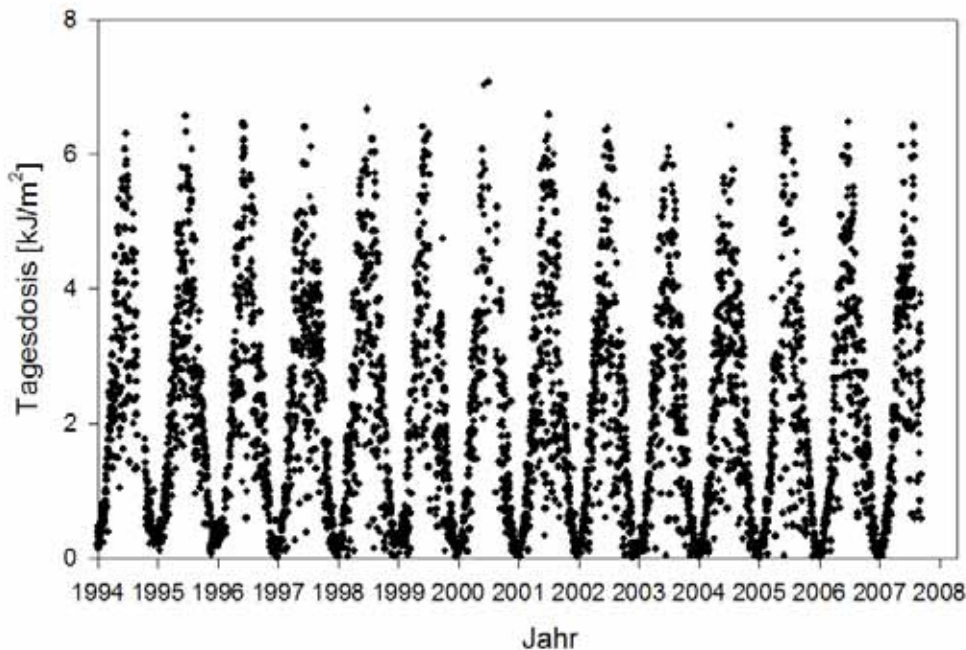


Abb. B- 13: Jahresgang der erythemwirksamen Strahlung von 1994 bis 2007

3.2.1 Gesamtozon

Bei Reduktion des stratosphärischen Ozons wird eine Zunahme der UV-Strahlung, besonders im Bereich der kurzen UVB-Wellenlängen, beobachtet.

Die Bedeutung des Ozonabbaus in der Stratosphäre für biologische Systeme wird durch den „radiation amplification factor“ RAF beschrieben. Der RAF beschreibt den Zusammenhang zwischen der Änderung der biologisch gewichteten UV-Strahlung und der Änderung der Ozonsäule. Ein RAF von 1.2 bedeutet beispielsweise, dass eine einprozentige Reduzierung der Ozonsäule zu einer 1.2-prozentigen Zunahme der erythemwirksamen Strahlung führt.

In der von Booth und Madronich, 1994 vorgeschlagenen Form lautet der Zusammenhang zwischen den Größen der spektralen Bestrahlungsstärke (E_λ) [$\text{W}/\text{m}^2\text{nm}$], Ozonsäule (O_3) [DU] und RAF:

$$E_\lambda = \text{const} \cdot (O_3)^{-\text{RAF}}$$

Entsprechend diesem Ansatz wird im Folgenden eine lineare Abhängigkeit der Logarithmen von UV-Strahlung und Gesamtozon für die Auswertungen angenommen.

Für die zehnjährige UV-Messreihe ist der spektrale RAF für verschiedene Wellenlängen und Zenitwinkel am Hohen Sonnblick in Abb. B- 14 gezeigt.

Der RAF ist abhängig vom Zenitwinkel der Sonne, sowie von anderen Einflussgrößen (Vertikalverteilung des Ozons, Oberflächenalbedo, Aerosolgehalt). Hier wurde der RAF für Zenitwinkel von 30°, 40°, 50°, 60° und 65° durch die Auswertung der Strahlung bei Gesamtozonwerten zwischen 280 und 390 DU berechnet. Die jahreszeitliche Änderung des Abstands zwischen Sonne und Erde wurde in den Daten nach der Methode von Burrows et al., 1994 berücksichtigt.

Für einen Sonnenzenitwinkel von 60° und eine Wellenlänge von 305 nm ergibt sich beispielsweise $\text{RAF}=2.5$, während sich für die Wellenlänge 300 nm $\text{RAF}=4.9$ ergibt. Mit zunehmendem Zenitwinkel wächst RAF und seine Wellenlängenabhängigkeit nimmt zu. Die Ab-

nahme des Gesamtzoons führt bei großen Zenitwinkeln zu einer stärkeren Zunahme der UVB-Strahlung als bei hoch stehender Sonne.

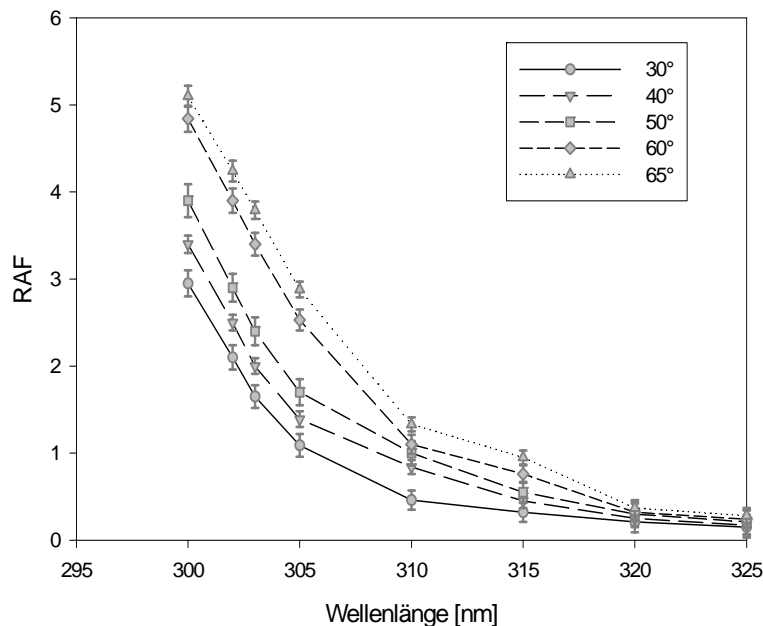


Abb. B- 14: RAF (inklusive Standardabweichung) als Funktion von Wellenlänge und Zenitwinkel, gemessen am Hohen Sonnblick

3.2.2 Albedo

Durch die Albedo (das Reflexionsvermögen) wird ein Teil der einfallenden ultravioletten Strahlung von der Erdoberfläche reflektiert und gelangt teilweise durch Rayleigh- und Aerosolstreuung als zusätzliche diffuse Strahlung wieder zur Erde zurück. Dieser Vorgang ist stark vom Reflexionsvermögen der Oberflächen abhängig – die Folge ist eine Zunahme der Bestrahlungsstärke bei höherer Albedo. Die Schneeralbedo nimmt wegen ihres hohen Betrages eine besondere Rolle ein.

Mit Hilfe des Strahlungstransfermodells werden Zusammenhänge zwischen der Bestrahlungsstärke bei 305 nm und der Schneegrenze untersucht. Zu den vorhandenen Beobachtungen der Schneegrenze wurden wolkenlose Tage ausgewählt und Modellberechnungen durchgeführt. Für die Modellberechnungen wurde eine Albedo von 0.08 angenommen, was den Bedingungen im Sommer bei einer Schneegrenze von 3000 m entspricht. Die mittlere Erhöhung der Bestrahlungsstärke bei 305 nm in Abhängigkeit von der Schneegrenze ist in Abb. B- 15 für wolkenlosem und bedecktem Himmel gezeigt. Die Ordinate gibt den Faktor an, um den die Bestrahlungsstärke bei 305 nm im Vergleich zu Schneegrenze von 3000 m erhöht ist. Der Quotient der Bestrahlungsstärke bei einer Schneegrenze von 1000 m beträgt 1.22 ± 0.05 und bei einer Schneegrenze von 1500 m 1.14 ± 0.03 für wolkenlosem Himmel.

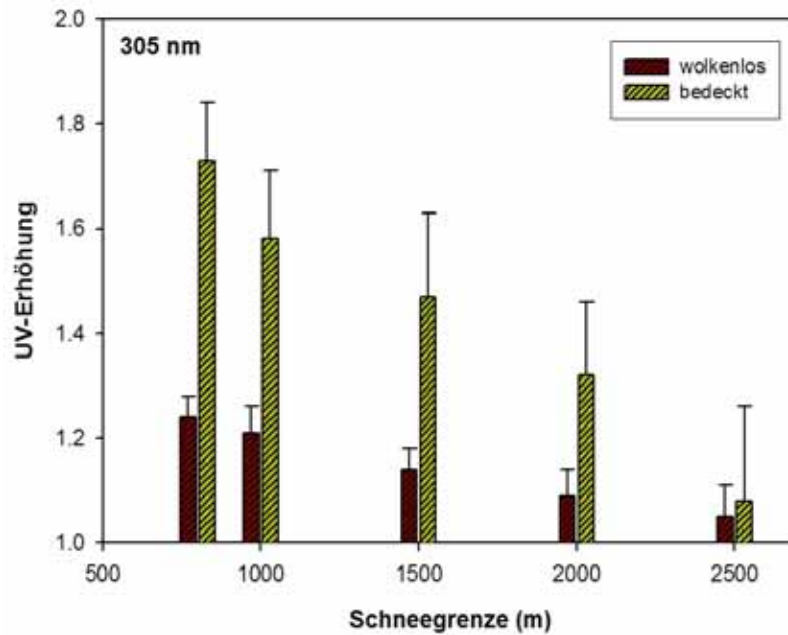


Abb. B- 15: Erhöhung der gemessenen UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm in Abhängigkeit von der Schneegrenze am Hohen Sonnblick bei wolkenlosen und bedeckten Himmel (inklusive Standardabweichung)

Bei bewölktem Himmel verstärkt sich der Einfluss der Albedo, da Mehrfachreflexionen zwischen Erdoberfläche und Wolken wahrscheinlicher werden. Untersuchungen mit Wolken zeigen, dass mit abnehmender Schneegrenze die Schwächung der Strahlung aufgrund des Wolkeneinflusses abnimmt. Bei einem Bedeckungsgrad von acht Achteln und einer Änderung der Schneegrenze von 3000 m auf 1000 m beträgt der UV-Verstärkungseffekt im Mittel 1.59. In Abb. B- 15 ist die große Variabilität der Quotienten sichtbar, da die optische Dicke der Wolken stark variieren kann. Zudem ist die Lage der Wolken wichtig. Wolken vor der Sonne bewirken eine deutlich stärkere Strahlungsschwächung. Wolken neben der Sonne können die Strahlung sogar erhöhen.

3.2.3 Strahlungsüberhöhung durch Wolken

Bei durchbrochener Bewölkung kann die zusätzliche Reflexion von Strahlung an Wolken zu einer Bestrahlungsstärke am Erdboden führen, die höher als bei wolkenlosem Himmel ist; man spricht von Wolkenüberhöhung oder Strahlungsüberhöhung. Hier wurde untersucht, inwieweit Wolkentyp, Bedeckungsgrad, Sonnensichtbarkeit und Wellenlänge Einfluss auf die Strahlungsüberhöhung haben.

Die Abb. B- 16 zeigt die Häufigkeit in Prozenten der Wolkenüberhöhung (Quotient von gemessener Bestrahlungsstärke zu Werten aus Modellberechnungen bei wolkenlosem Himmel) aufgeteilt nach Ausmaß der Überhöhung für drei Wellenlängen auf dem Hohen Sonnblick. Zu diesen Messungen wurden die CCD Bilder des gesamten Himmels herangezogen. Von 3507 untersuchten Messwerten waren etwa 10% bei 370 nm überhöht. Der direkte Anteil der Sonnenstrahlung trägt am meisten zur Strahlungsüberhöhung bei. Wegen der Wellenlängenabhängigkeit der Rayleighstreuung ist ein Anstieg des Effekts mit der Wellenlänge zu erwarten.

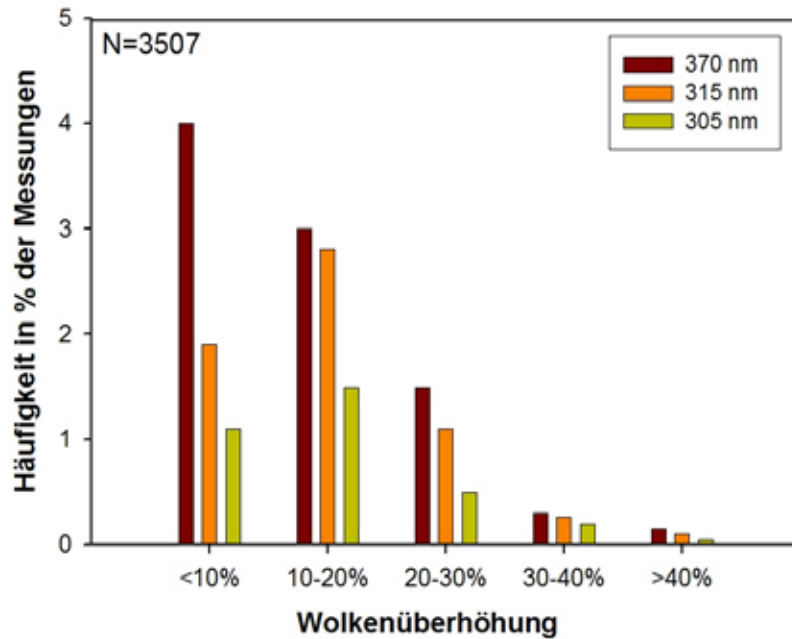


Abb. B- 16: Häufigkeit der Wolkenüberhöhung auf dem Hohen Sonnblick aufgeteilt nach Ausmaß der Überhöhung bei drei Wellenlängen. Die Anzahl der untersuchten Messwerte ist N=3507

Die Abb. B- 17 zeigt, in wie viel Prozent aller beobachteten Fälle eine bestimmte Situation zu Überhöhung führt (es wurden alle Fälle ab 1/8 Bedeckungsgrade berücksichtigt). Am häufigsten tritt Strahlungsüberhöhung bei Wolken unterhalb der Station auf. Zusammen machen alle derartigen Situationen etwa 40% der Fälle mit Überhöhung aus. Situationen, in denen Wolken nur unterhalb der Station auftreten, machen 18% der Überhöhungsfälle aus. Weiters sind Überhöhungen durch Cumuluswolken (Cu, Sc, Ac) häufig. Die Auswertung der CCD-Bilder zeigt, dass Überhöhungen auch bei verdeckter Sonne oder bei bedecktem Himmel vorkommen können. Ist trotz Bewölkung die Sonne nicht von einer Wolke verdeckt, bedeutet dies nicht immer eine Erhöhung der UV-Strahlung im Vergleich zum wolkenlosen Fall.

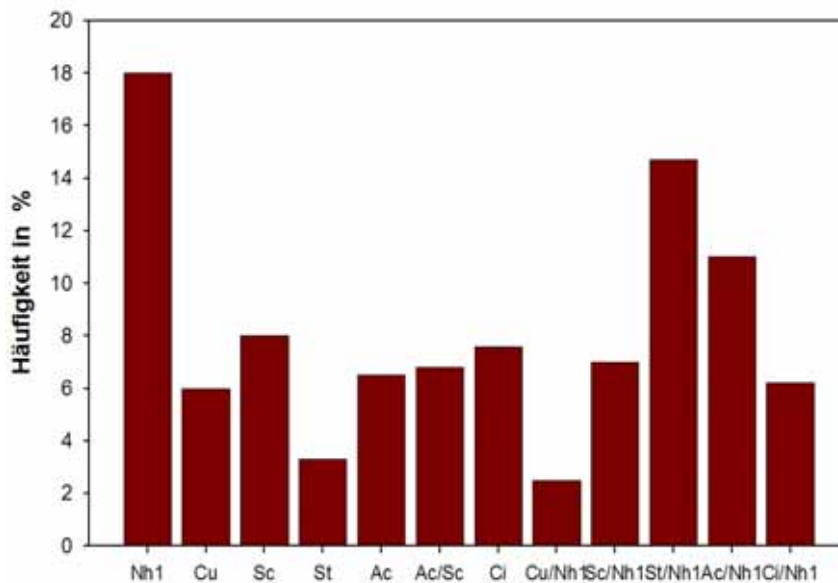


Abb. B- 17: Häufigkeit der Wolkenüberhöhung aufgeteilt nach Wolkentyp. Nh1=Wolken unter Stationsniveau, Cu=Cumuls, Sc=Stratocumuls, Ac=Alto cumuls, St=Stratus

Die Untersuchungen zur Strahlungsüberhöhung machen deutlich, dass es auf dem Sonnblick einen Strahlungsbeitrag von unten gibt, wenn eine Wolke unterhalb der Station liegt, an deren Oberseite Sonnstrahlung reflektiert wird. Auch bei verdeckter Sonne können Strahlungswerte über jenen für wolkenlosen Himmel auftreten. Die Überhöhungen treten insbesondere im Bereich der Bedeckungsgrade von 3/8 bis 7/8 und bei Cumuluswolken (Cu, Ac, Sc) auf. Strahlungsüberhöhungen können von großer Bedeutung sein, wenn dadurch Schwellenwerte biologischer Wirkungen überschritten werden.

3.2.4 Unterschiede in der UV-Belastung zwischen Sonnblick (3106 m) und Großenzersdorf (202 m)

Mit zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel nehmen die Dichte der Atmosphäre und die durchstrahlte Luftmasse ab, sodass die solare Bestrahlungsstärke mit zunehmender Seehöhe zunimmt. Die daran beteiligten Faktoren sind die Rayleigh-Streuung, Absorption durch Ozon, Aerosolextinktion (Aerosolstreuung und -absorption) und Unterschiede in Albedo und Bewölkung. Diese Größen sind alle in unterschiedlicher Weise höhenabhängig.

Die kontinuierliche gleichzeitige Messung der UV-Bestrahlungsstärke in Großenzersdorf und am Hohen Sonnblick erlaubt es, Unterschiede in der UV-Bestrahlungsstärke zwischen diesen Stationen zu bestimmen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Höhenlage der beiden Stationen (156 m gegenüber 3106 m) können daraus gewisse Schlüsse über die Höhenabhängigkeit der UV-Strahlung gezogen werden. Allerdings darf die Entfernung von 297 km Luftlinie nicht völlig außer Acht gelassen werden

Abb. B- 18 zeigt die Tagessummen der UV-Bestrahlungsstärke im Jahrgang gemessen in Großenzersdorf (156 m über NN) und am Hohen Sonnblick (3106 m über NN) für zwei verschiedenen Wellenlängen (370 nm und 305 nm). Die auf dem Hohen Sonnblick gemessenen Tagessummen der UV-Strahlung sind meist höher als die in Großenzersdorf gemessenen.

Die Unterschiede in der Bestrahlungsstärke weisen eine hohe Variabilität auf (Abb. B- 18, rechts). Diese werden hauptsächlich durch Bewölkung verursacht, die in Höhen zwischen dem Hohen Sonnblick und Großenzersdorf auftritt. Bei 305 nm kann der Quotient der Bestrahlungsstärke Sonnblick/Großenzersdorf über 10 liegen. Die Tagessummen der UV-Bestrahlungsstärke am Hohen Sonnblick sind im Vergleich zu den Tagessummen in Großenzersdorf bei Inversionswetterlagen besonders groß, bei denen die Station Großenzersdorf meist unter einer anhaltenden, niedrigen Wolkendecke liegt, während gleichzeitig die Sonnblickstation wolkenfrei ist. Schneebedeckung am Sonnblick erhöht dort ebenfalls die UV-Bestrahlungsstärke. Während in der Talstation nur kurze Zeit Schnee den Boden bedeckt, bleibt er im Hochgebirge im Frühling und auch den Sommer hindurch liegen. Die Messwerte in Großenzersdorf sind größer als jene am Sonnblick (Quotienten zwischen null und eins), wenn die Station Großenzersdorf wolkenfrei ist, die Station Sonnblick aber unter Wolken liegt.

Die Maxima der relativen Häufigkeitsverteilung der Quotienten aus den Tagessummen von Sonnblick zu Großenzersdorf liegen bei allen drei Wellenlängen deutlich über eins. Das heißt, dass in der Mehrzahl der Fälle die ultraviolette Bestrahlungsstärke am Sonnblick über der in Großenzersdorf liegt. Mit zunehmender Wellenlänge verschieben sich die Maxima in Richtung kleinerer Werte. Diese Verschiebung zeigt, dass mit zunehmender Wellenlänge auch die Strahlungsunterschiede zwischen den beiden Messstationen abnehmen.

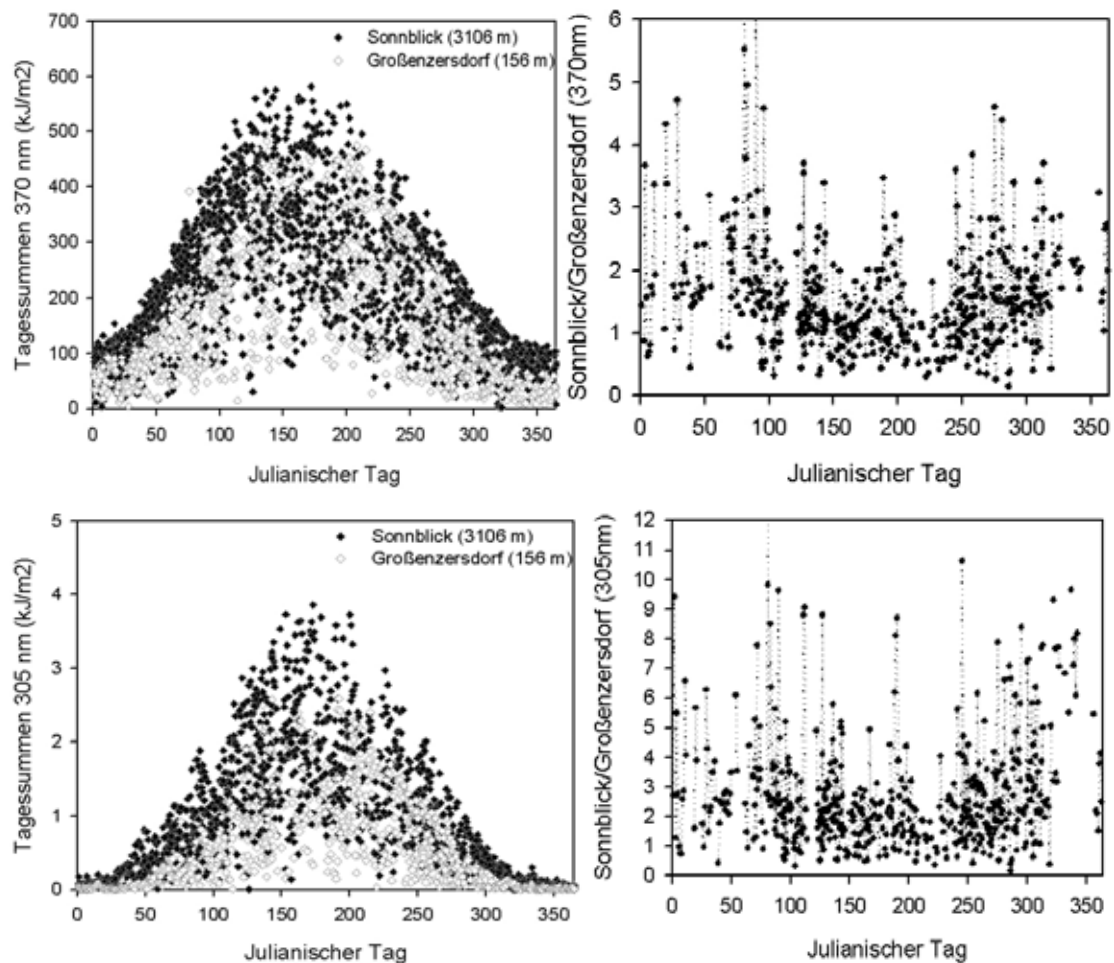


Abb. B- 18: Tagessummen der UV-Bestrahlungsstärke (370 nm und 305 nm) gemessen am Hohen Sonnblick und in Großenzersdorf (links) und Quotienten der Tagessummen (Hoher Sonnblick zu Großenzersdorf) (rechts)

Die Quotienten der monatlichen Mittelwerte der Tagesdosen beider Stationen in Abb. B- 19 weisen einerseits eine starke Variation zwischen den Jahreszeiten und andererseits eine Variation bei gleichen Monaten unterschiedlicher Jahre auf, die auf die jeweils unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen zurückzuführen sind. Für den Sommermonat Juni nimmt der Quotient die niedrigsten Werte an. Dies lässt sich durch das Fehlen der Schneebedeckung an der Bergstation erklären. Weiters weist die Bergstation in den Sommermonaten eine stärkere Bewölkung auf als die Station in Großenzersdorf. In den Monaten Januar, Februar und März werden die höchsten Quotienten erreicht. Dies ist durch eine gesteigerte Albedo und den höheren Anteil an Inversionen über Großenzersdorf zu erklären. Das Verhältnis der Monatsmittel der Bestrahlungsstärke im UVA variiert zwischen 0.94 und 2.0 und im UVB zwischen 1.07 und 3.0. Das Verhältnis ist abhängig von der Bewölkung und der Schneebedeckung.

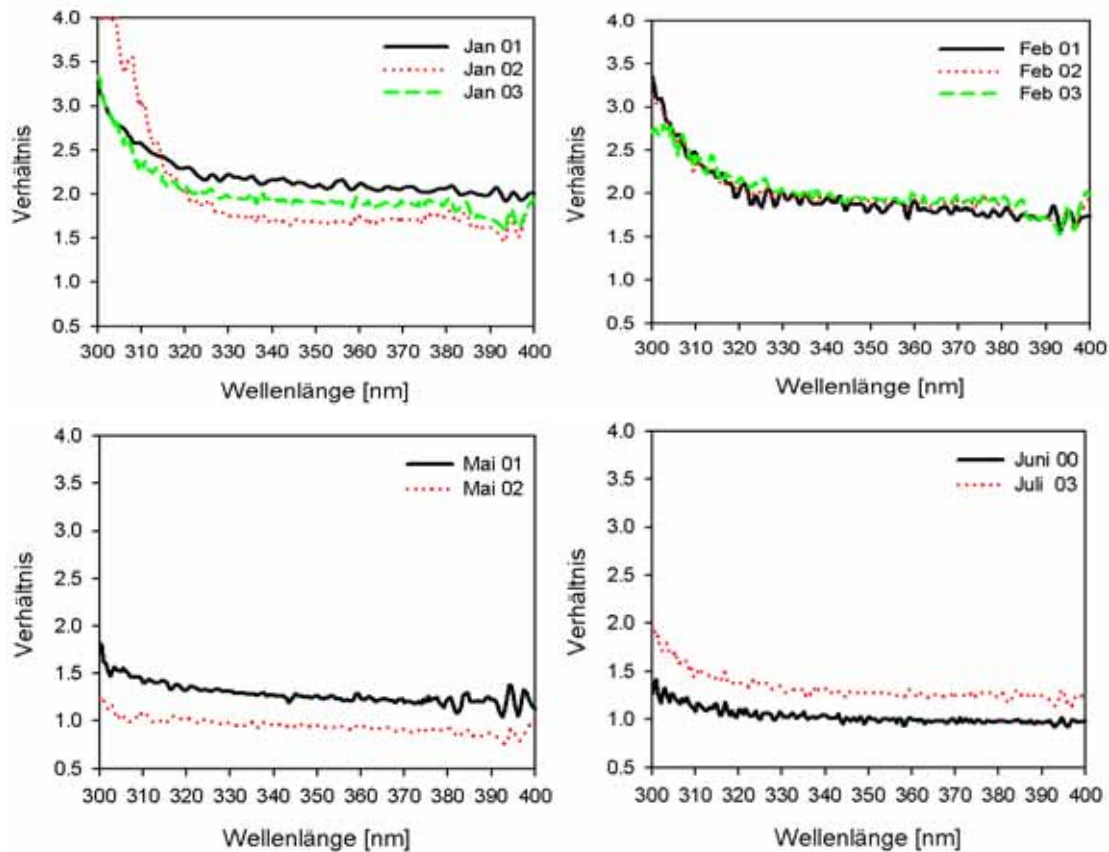


Abb. B- 19: Quotienten der Monatsmittel der spektralen Tagesdosis gemessen am Hohen Sonnblick (3106 m) und in Großenzersdorf (152 m) als Funktion der Wellenlänge für einzelne Monate und unterschiedliche Jahre

Die Unterschiede der gemessenen spektralen Bestrahlungsstärke zwischen Großenzersdorf und Hohem Sonnblick bei wolkenlosem Himmel sind in Abb. B- 20 gezeigt. Dazu wurden Messungen ausgewählt, bei denen gleichzeitig am Hohen Sonnblick und in Großenzersdorf wolkenlose Bedingungen vorherrschten. Die Abb. B- 20 zeigt als Beispiel den 12. September 1999. Bei allen Wellenlängen wurden auf dem Hohen Sonnblick höhere Werte der spektralen UV-Bestrahlungsstärke gemessen als in Großenzersdorf. Die Quotienten der spektralen UV-Bestrahlungsstärke als Funktion der Wellenlänge machen deutlich, dass die Abweichungen der Bestrahlungsstärke im Bereich der kurzen Wellenlänge aufgrund von Streu- und Absorptionsprozessen größer sind. Der Quotient für die UVA-Bestrahlungsstärke beträgt 1.27 und für die UVB-Bestrahlungsstärke 1.52.

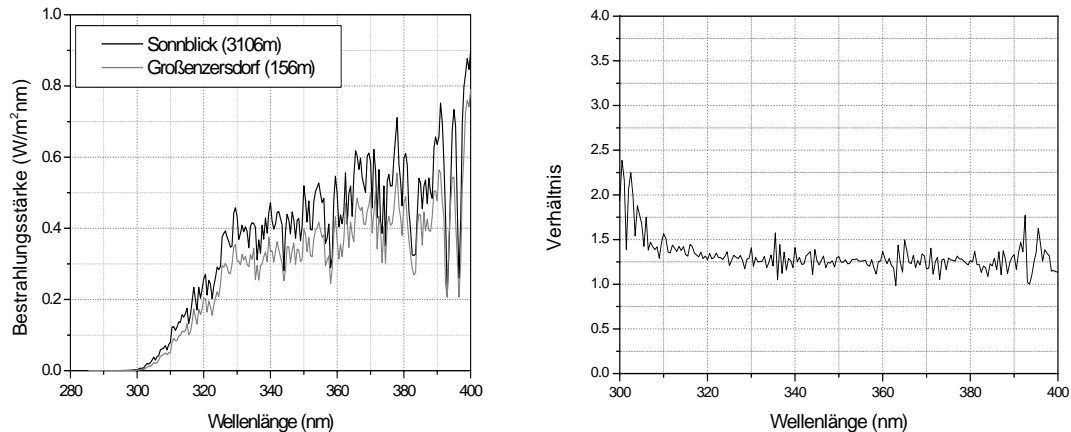


Abb. B- 20: Spektrale UV-Bestrahlungsstärke (280 bis 400 nm), gemessen am Hohen Sonnblick und in Großenzersdorf am 12. September 1999 (Bild links); Quotienten der spektralen UV-Bestrahlungsstärke (Bild rechts)

Die gemessenen Unterschiede in der UV-Bestrahlungsstärke zwischen Sonnblick und Großenzersdorf weisen eine hohe Variabilität auf, die hauptsächlich durch Bewölkung verursacht wird. Die auf dem Hohen Sonnblick gemessenen Tagessummen der UV-Strahlung sind meist höher als jene in Großenzersdorf. Die kurzwellige UV-Strahlung wird mit abnehmender Höhe stärker gestreut bzw. absorbiert als die langwellige. So konnten durch Vergleiche der UV-Bestrahlungsstärke am Sonnblick und in Großenzersdorf für eine Wellenlänge von 300 nm in den Wintermonaten dreimal höhere Tagesdosen an der Bergstation gefunden werden. Auch die durch Schneebedeckung erhöhte Albedo ist für eine erhöhte Strahlung verantwortlich, da sie einen Teil der einfallenden Strahlung reflektiert. Am Hohen Sonnblick wird neben der Reflexion an der Schneedecke ein Teil der einfallenden Strahlung auch an Wolken, die unterhalb der Station liegen, reflektiert, was ebenfalls zur Erhöhung der Albedo führt. Die starke Strahlungszunahme mit der Höhe im Frühjahr ist im Hinblick auf mögliche biologische Auswirkungen von besonderem Interesse, da bereits in dieser Jahreszeit die hohen UV-Bestrahlungsstärken zu Sonnenbrand führen können. Das Verhältnis der Monatsmittel der Bestrahlungsstärke im UVA variiert zwischen 0.94 und 2.0 und im UVB zwischen 1.07 und 3.0. Das Verhältnis ist abhängig von der Bewölkung und der Schneebedeckung. Die mittlere gemessene Bestrahlungsstärke in UVB-Bereich liegt am Hohen Sonnblick um etwa 50% über jener in Großenzersdorf, im UVA-Bereich um etwa 20%.

3.3 Abschätzung des Beitrages der Einflussgrößen zur beobachteten Variabilität der UVB-Strahlung in Österreich

Im ersten Schritt werden in Folgenden die Ergebnisse zur kurzzeitigen Variabilität der UVB-Bestrahlungsstärke bei 305 nm für den Zeitraum von 1994 bis 2003 gezeigt. Im zweiten Schritt wird die Variabilität der Monatsmittelwerte der UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm für denselben Zeitraum betrachtet.

Der Beitrag des Gesamt ozons und Albedo zur kurzzeitigen Variabilität der UVB-Bestrahlungsstärke bei 305 nm für den Zeitraum von 1994 bis 2003 ist in Abb. B- 21 für die Monate April (a) und August (b) dargestellt. In Abb. B- 21 oben ist die Auswirkung des Gesamt ozons, in der unteren Abbildung die Auswirkung der Albedo auf die Variabilität der UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm dargestellt. Als Maß für die maximale Variabilität wird hier die Amplitude betrachtet und für jede Einflussgröße wie folgt berechnet: (Maximum des Monats über alle Jahre - Minimum des Monats über alle Jahre)/Mittelwert über alle Jahre). Die Standardabweichung wird als Maß für die mittlere Variabilität betrachtet. Amplitude und Standardabweichung sind ebenfalls angegeben.

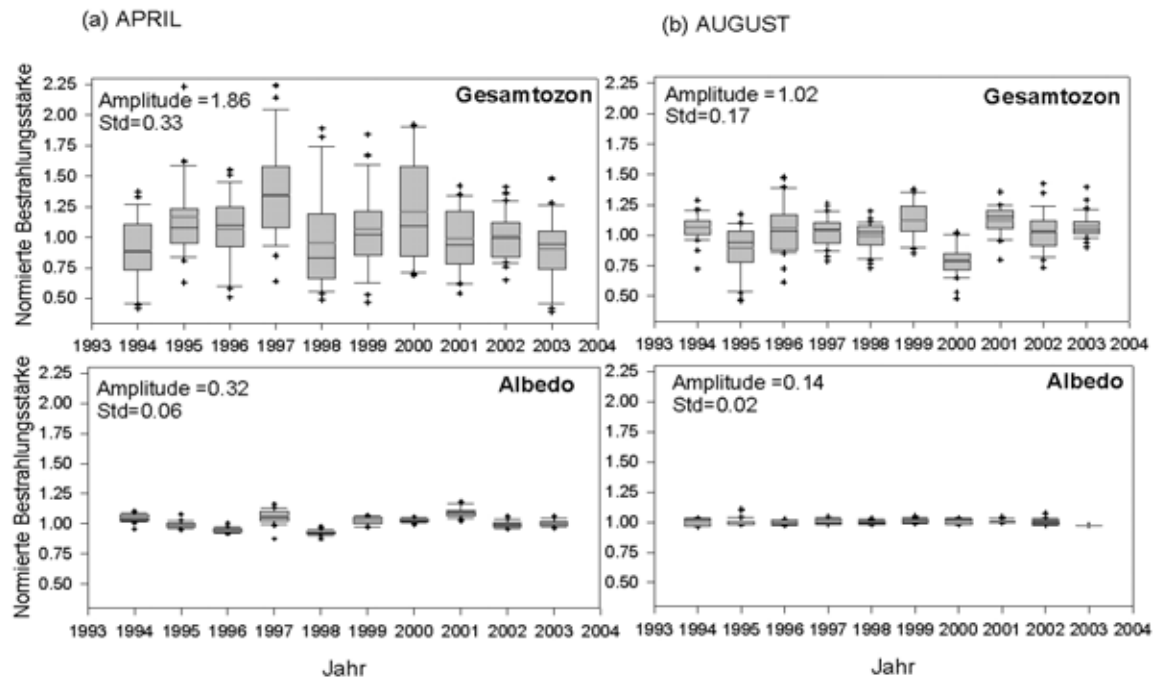


Abb. B- 21: Box-Plot-Darstellung der Auswirkungen von Gesamtozon (oben) und Albedo (unten) auf die Variabilität der UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm für April (a) und August (b). Die Box wird begrenzt durch die 25% und 75% Quartile

Die Auswirkung des Gesamtozons auf die kurzzeitige Variabilität der UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm über 200% und die der Wolken über 150% betragen kann. Die durch die Albedo gefundene maximale Variabilität beträgt im April 32% und im Mittel 6%. In den Sommermonaten ist die durch die Albedo verursachte Variabilität der UV-Strahlung maximal 12 bis 15% und im Mittel 3%. Die Variabilität der UV-Strahlung wird in den Sommermonaten überwiegend durch die Bewölkung verursacht und in den Winter- und Frühjahrmonaten durch das Gesamtozon. Dies ist mit der starken Variabilität des Ozons im Winter und Frühjahr und der Quellwolkenbildung in Sommer erklärbar.

In weiteren Untersuchungen wurde die Variabilität der Monatsmittelwerte der UV-Bestrahlungsstärke betrachtet. Die Auswirkung des Gesamtozons auf die Variabilität der Monatsmittelwerte der Bestrahlungsstärke bei 305 nm kann über 50% betragen (Abb. B- 22)

Die Variabilität der Monatsmittelwerte, welche durch die Albedo verursacht wird, beträgt von 3% bis 13%. Die durch Wolken verursachte Variabilität überwiegt vor allem im Sommer und in den Herbstmonaten.

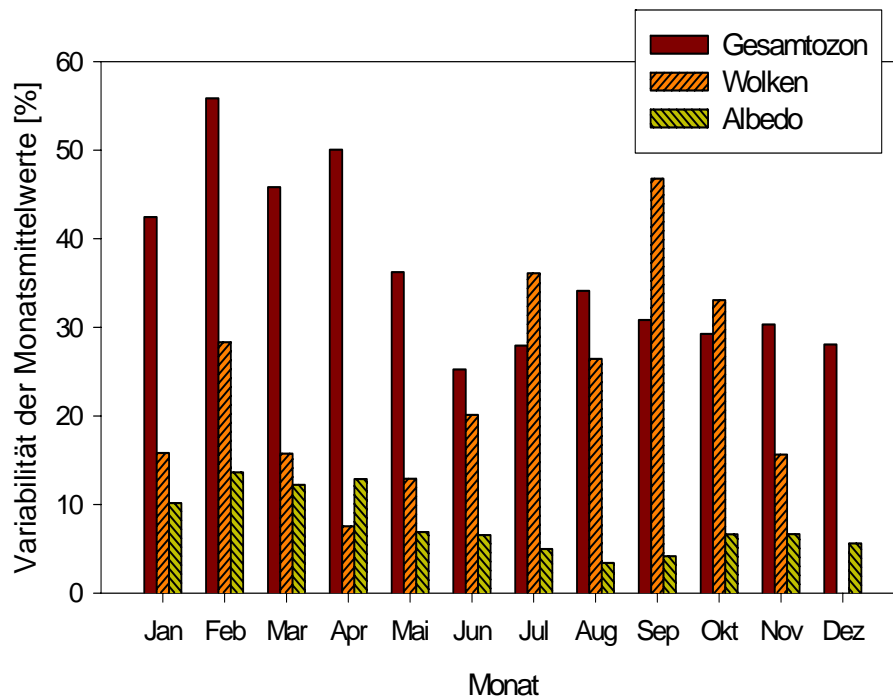


Abb. B- 22: Die maximale Variabilität in % berechnet für jede der Einflussgrößen: (Maximum-Minimum/Mittelwert) der Monatsmittelwerte der Gesamtzeitreihe von 1994 bis 2003

3.4 Gesundheitsgefahren durch UV-Strahlung

Wird die menschliche Haut der UV-Strahlung ausgesetzt, so kommt es zu einer Reihe von Reaktionen, die von Sonnenbrand bis zu Hautkrebs reichen können. Anlass zur Sorge gibt die Zunahme des hochbösartigen Malignen Melanoms, des sog. Schwarzen Hautkrebses.

3.4.1 Melanom-Risiko in Österreich

Wenn man beispielsweise die Daten aus dem Jahrbuch 2005 der Gesundheitsstatistik (STATISTIK AUSTRIA 2006) betrachtet, fällt ein leichter Anstieg sowohl bei den Erkrankungszahlen (Abb. B- 23) als auch bei den Todesfällen (Abb. B- 25) an Malignem Melanom in Österreich auf. Die Erkrankungszahlen steigen aber stärker in den ersten Jahren des Krebsregisters (bis 1990), was auch auf eine unvollständige Meldung in den ersten Jahren zurückgeführt werden kann. In Rücksprache mit dem Krebsregister wird daher im Detail nur die Zeit ab 1990 bei den Neuerkrankungen untersucht. Die Sterbedaten nehmen wohl bei den Rohdaten zu, nicht aber bei den altersstandardisierten Werten. Der Anstieg dürfte also zum größten Teil auf die Zunahme der älteren Bevölkerung zurückzuführen sein, für die altersbedingt das Risiko höher ist. Bei den altersstandardisierten Sterbefällen lässt sich über Österreich gemittelt kein eindeutiger Trend ablesen (Abb. B- 26).

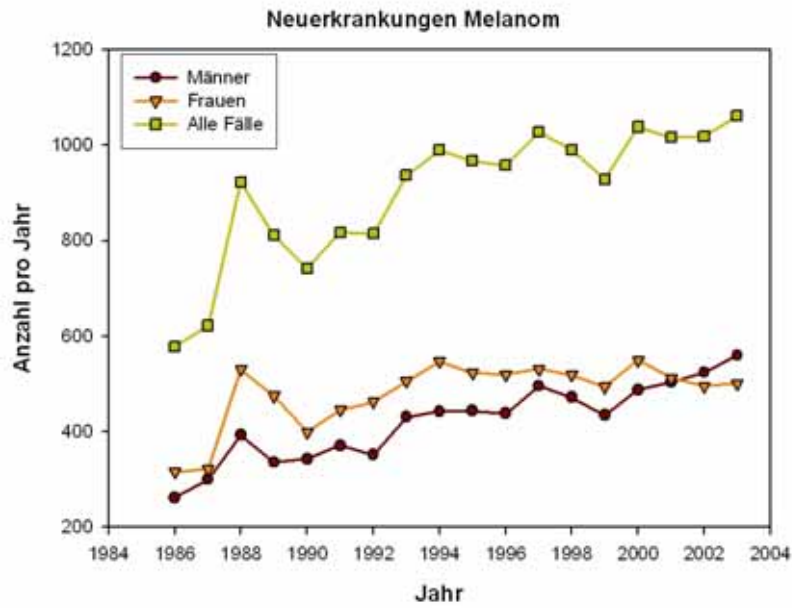


Abb. B- 23: Jährliche Neuerkrankungen an Melanom in Österreich, absolute Zahlen

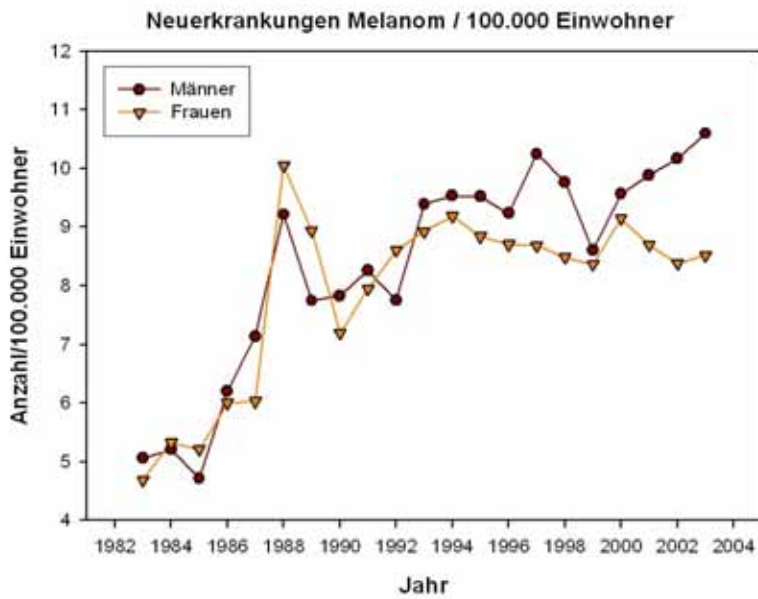


Abb. B- 24: Jährliche Neuerkrankungen an Melanom in Österreich, altersstandardisiert je 100.000

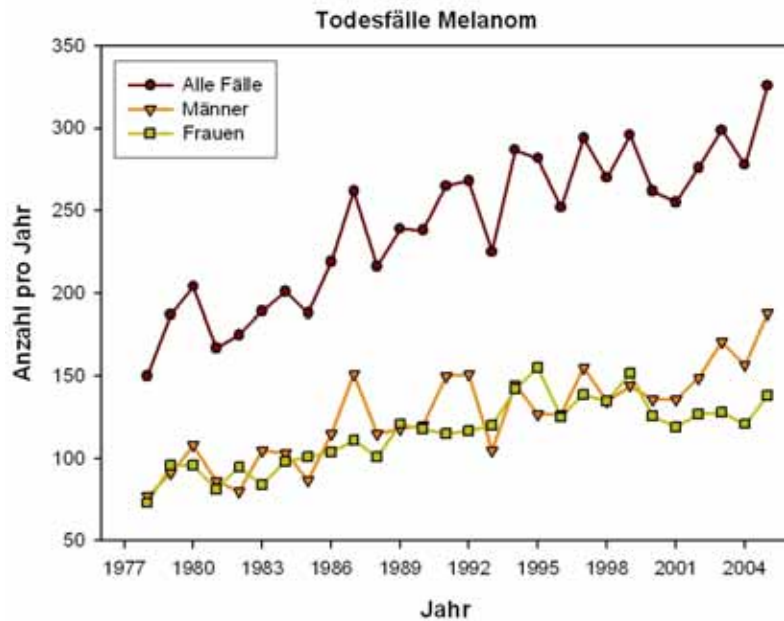


Abb. B- 25: Jährliche Sterbefälle an Melanom in Österreich, absolute Zahlen

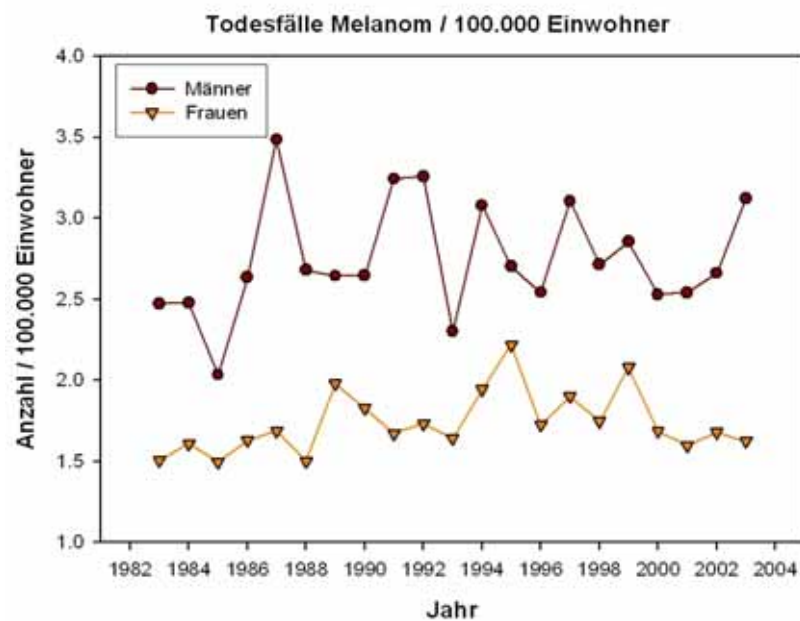


Abb. B- 26: Jährliche Sterbefälle an Melanom in Österreich, altersstandardisiert je 100.000

Geografisch gesehen gibt es bereits auf Bundesländerebene ein deutliches West-Ost-Gefälle mit höheren Fallzahlen (Neuerkrankungen pro 100.000 EW) in Kärnten, Tirol und Vorarlberg, niedrigeren Werten in Burgenland, Wien und Steiermark (Abb. B- 27). In den erstgenannten Bundesländern zeigt sich darüber hinaus ein deutlicher Anstieg bei den Inzidenzen von 1990 bis 2004.

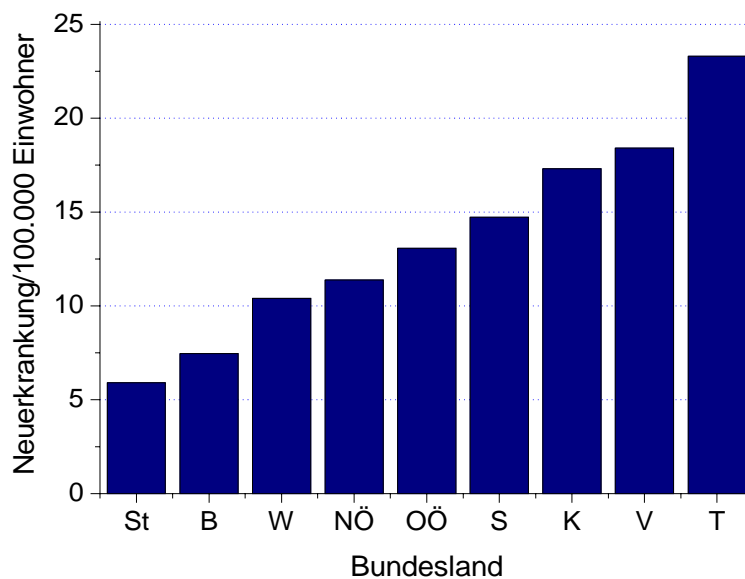


Abb. B- 27: Anzahl der Neuerkrankungen an Melanom getrennt für die österreichischen Bundesländer

Das geografische Gefälle zwischen den Bundesländern gibt bereits Anlass zur Vermutung, dass die „Gebirgigkeit“ bzw. Seehöhe des Bundeslandes Einfluss auf das Melanom-Risiko hat. Dies würde auf einen wesentlichen Anteil von Umweltfaktoren (Sonneneinstrahlung, natürliche UV-Quellen) im Gegensatz zu „Lifestyle“-Faktoren (Urlaubsgewohnheiten, Solarienbesuch) schließen lassen. Letztere Einflüsse dürften jedenfalls geografisch nicht stark ausgeprägte Unterschiede in Österreich aufweisen, so dass sie keinen Einfluss auf die geografische Häufigkeitsverteilung haben. Der stärkere Anstieg der Krebsrate in den höher gelegenen (und somit stärker dem „natürlichen“ UV ausgesetzten Ländern) ließe sich als eine (zeitversetzte) Folge erhöhter UV-Einstrahlung in Folge der Ausdünnung der Ozonschicht interpretieren. Alternativ wäre zu diskutieren, ob die Meldedisziplin zum Krebsregister in den ländlicheren Gebieten zeitverzögert einen ausreichenden Standard erreicht hat. Für letztere Annahme gibt es aber keine externen Hinweise. Vielmehr ist ebenso z.B. aus Wiener Spitälern bekannt, dass Krebsmeldungen jahrelang nicht sehr verlässlich erfolgten. Das Krebsregister muss daher bis heute nachträglich auf Basis der Mortalitätsdaten ergänzt und korrigiert werden.

Detaillierter zeigt sich der Zusammenhang bei Betrachtung einzelner Bezirke (Abb. B- 28). Das Melanomrisiko (Neuerkrankungen) ist in höhergelegenen Bezirken (Seehöhe der Bezirkshauptstadt in m) erhöht. Diese Risikozunahme hat seit 1990 zugenommen.

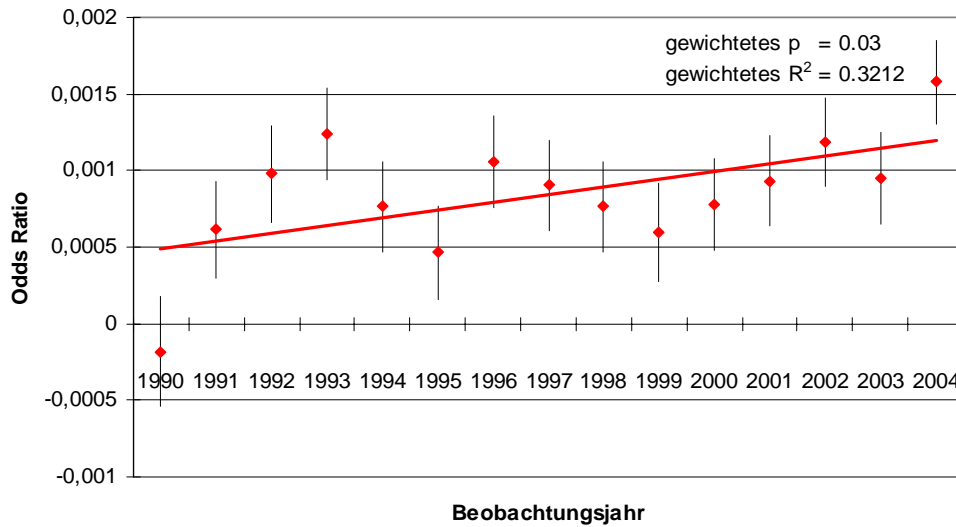


Abb. B- 28: Jährliche Odds Ratio (Poisson-Regression) der Melanominzidenz per 1 m Seehöhe und Trend (gewichtet mit dem Kehrwert der Varianz) über die Jahre

Der Hauptteil der Risikozunahme je Höhenmeter erfolgte jedoch in den ersten Jahren des Untersuchungszeitraums. Es ist daher auch hier nicht sicher auszuschließen, dass geringere Meldedisziplin am Anfang des Zeitraumes für den Anstieg in der Risikohöhe verantwortlich ist. Insgesamt wurde die Meldedisziplin mit den Jahren nach Auskunft der Statistik Austria jedenfalls besser. Der deutliche Zusammenhang zwischen Seehöhe und altersstandardisiertem Risiko in den letzten Jahren lässt sich daher nicht auf Meldelücken zurückführen.

Etwa ein Drittel der Neuerkrankungen treten vor dem 50. Lebensjahr auf, ein weiteres Drittel zwischen dem 50. und 69. Lebensjahr. Dies diente der Einteilung in drei Altersklassen. Dieser zufolge war der Anstieg des Risikos mit der Seehöhe vor allem bei den jüngeren Patienten zu beobachten (Abb. B- 29).

Kein einheitlicher Trend nach dem Alter zeigt sich jedoch bei der Risikozunahme mit den Jahren (Abb. B- 30). Hier zeigt sich, dass die Häufigkeitszunahme über die Beobachtungszeit vor allem die Jungen und die Alten betraf, während das mittlere Drittel nur einen geringen Anstieg erfuhr.

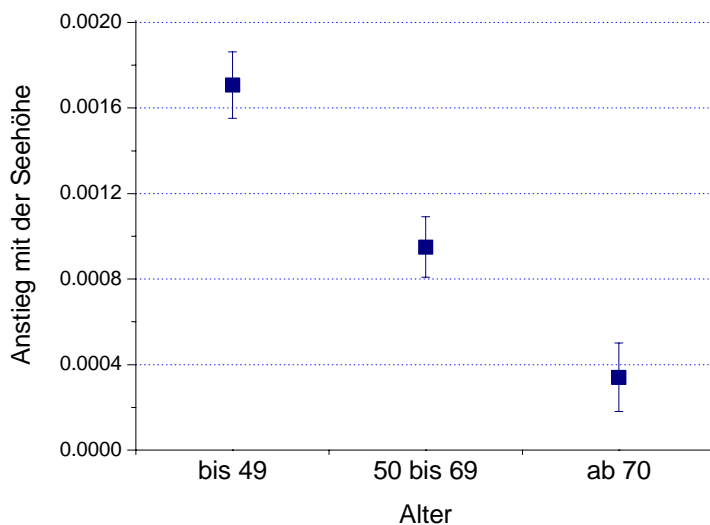


Abb. B- 29: Einfluss der Seehöhe nach Altersgruppen

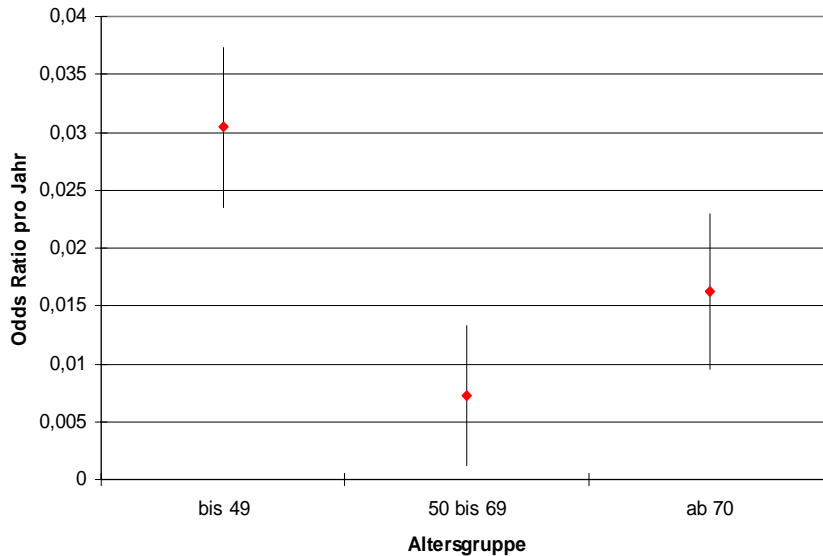


Abb. B- 30: Erhöhtes Melanomrisiko (Odds Ratio pro Jahr) über den Beobachtungszeitraum betrifft sowohl jüngere als auch alte Patienten

Als Seehöhe des Bezirkes wurde die Seehöhe der Bezirkshauptstadt herangezogen. Dieses Vorgehen führt dazu, dass der Höheneffekt (je 100 m Seehöhe) überschätzt wird: Falls der Hauptort eines Bezirkes höher gelegen ist, so liegt der Bezirk zumeist in einer gebirgeren Region und das gesamte Siedlungsgebiet des Bezirkes reicht in aller Regel in deutlich größere Höhen als jener des Hauptortes. Falls also der Hauptort um 100 m höher liegt, so ist die bevölkerungsgewichtete Seehöhe des Bezirkes voraussichtlich deutlich mehr als 100 m höher. Zusätzlich ist zu bedenken, dass in den höher gelegenen (westlichen) Bezirken ein größerer Prozentsatz der Bevölkerung berufsbedingt (z.B. im Fremdenverkehr) mehr Stunden im Freien verbringt. Auch in der Landwirtschaft fanden sich deutliche Unterschiede in der Sonnenexposition zwischen dem Flach- und dem Tiefland: während im Alpenvorland und den großen inneralpinen Becken großflächige industrielle Landwirtschaft mit maschineller Bodenbearbeitung vorherrscht, überwiegt in den Bergen eine kleinräumige Landwirtschaft, die viel mehr Handarbeit im Freien erfordert und daher mit einer längeren Expositionsdauer einhergeht (Schmalwieser et al., 2007).

In höher gelegenen Regionen findet sich durch die ausgeprägtere geografische Strukturierung auch häufig eine Aufteilung der Siedlungsflächen in „Schattseiten“ und „Sonnseiten“ der Täler. Die dichtere Besiedlung und auch intensivere landwirtschaftliche Nutzung findet sich dann auf der „Sonnseite“, wobei in Hanglage teilweise sogar noch eine stärkere Sonneneinstrahlung als auf den horizontalen Flächen erfolgt. Tatsächlich ist in den inneralpinen Tal Landschaften sogar eine sozioökonomische Trennung zwischen den Nord- und Südhängen zu beobachten. So finden sich in Oberkärnten etwa auch die protestantischen Gemeinden mit ihren viel kleineren Kirchen zumeist auf der schattigeren südlichen Talseite (von Drau- und Gailtal).

Insgesamt gesehen ergeben sich somit Hinweise auf einen wesentlichen Einfluss der solaren UV-Strahlung auf das Melanomrisiko, während Lifestyle-Faktoren geografisch (und wahrscheinlich auch zeitlich) keine so große Variabilität aufweisen, um zu Unterschieden im Risiko zu führen. Allenfalls sind die Unterschiede im Risikoanstieg zwischen den Altersgruppen auf altersspezifische Änderungen im Lebensstil zu erklären.

In wie weit der seit 1990 beobachtbare Anstieg bei den Erkrankungen auf eine verbesserte Meldepraxis oder auf eine tatsächliche Zunahme zurückzuführen ist, lässt sich nicht endgültig beurteilen. Der geografische Unterschied im Anstieg spricht eher für einen wahren Anstieg.

Wenn man gleichzeitig auch den Urbanisierungsgrad des einzelnen Bezirkes berücksichtigt, dann wird der Einfluss der Seehöhe auf das Risiko sogar noch geringfügig stärker, während

die „Stadtbezirke“ selbst (wo Stadt und Umland zwei verschiedene Bezirksverwaltungen haben) auch ein etwas höheres Risiko aufweisen. Dies weist darauf hin, dass „Lifestyle-Faktoren“ kleinräumig doch Einfluss auf die Risikoverteilung hätten, da Solarienbenutzung und kurze exzessive Sonnenexposition (im Urlaub) eher den Stadtbewohnern zugeschrieben werden. Die Risikozunahme der Stadtbewohner entspricht dabei in etwa einer Zunahme in der Seehöhe um 50 m.

Ein Einfluss sozioökonomischer Faktoren ist auch scheinbar beim Melanomrisiko gegeben: Wenn man die Bezirke Wiens (die sich in ihrer Höhenlage ja kaum unterscheiden) nach ihren Immobilienpreisen vergleicht, so findet man ein höheres Melanomrisiko (bezogen auf die Rohwerte der Inzidenz) in den teuren (also „reicheren“) Bezirken. Dieser Zusammenhang ist aber weitgehend nicht auf ein stärkeres Risikoverhalten der „Reichen“ zurückzuführen. Tatsächlich findet sich in den teuren Bezirken eine bis zu 4 Jahre (Männer) bzw. fast 3 Jahre (Frauen) höhere Lebenserwartung. Die Immobilienpreise erklären dabei ca. 50% der Varianz in der durchschnittlichen Lebenserwartung der Bezirke (Männer: 0,68%, Frauen: 0,43%). Da das Melanomrisiko mit dem Alter ansteigt, tritt es in den Bezirken mit höherer Lebenserwartung häufiger auf.

3.4.2 Informationen über UV-Belastung

Sonnenlicht hat unbestreitbar viele gesundheitliche Auswirkungen. An positiven Effekten sind zuallererst an die Wirkungen des sichtbaren Lichts zu nennen, wobei Effekte auf die Stimmung, die Leistungsfähigkeit und das seelische Wohlbefinden im Vordergrund stehen. Hierbei denkt man an die Regulierung zirkadianer Rhythmen und der Hormonregulation, die im Falle einer Störung etwa zu saisonaler Depression, aber auch zu Beeinträchtigungen der Stimmungslage noch ohne unmittelbaren Krankheitswert führen. Neben dem sichtbaren Licht ist auch die Wärmestrahlung für das Wohlbefinden bedeutsam. Gerade die rasche Erwärmung oberflächlicher Hautschichten, in welchen die Thermorezeptoren liegen, erklärt deren besondere Effektivität.

Jedoch auch der UV-Anteil des Spektrums hat auch positive Effekte, wobei die Bildung von Vitamin D in der Haut unter UV-Einwirkung im Vordergrund steht. Holick (2004) weist darauf hin, dass dieses Vitamin nicht nur für den Kalziumstoffwechsel wichtig ist, sondern auch das Risiko verschiedener chronischer Erkrankungen (einschließlich Diabetes und diverse Krebsformen) senkt. In dieser Arbeit (sowie in einer zweiten gemeinsam mit Grant, 2005) wird eine höhere Vitamin-D-Aufnahme etwa durch Nahrungsergänzungstoffe empfohlen. Weiters wiesen die Autoren drauf hin, dass die massive Kampagne in Australien, die vor dem Sonnenbaden warnt, bereits negative Auswirkungen zeigt, indem sie zwar das Hautkrebsrisiko wieder senken konnte, aber dafür zu einem Anstieg anderer Krebsarten beigetragen hat.

Diese Überlegungen zeigen das Spannungsfeld, in welchem die Öffentliche Gesundheit steht, wenn sie die Bevölkerung über Gefahren der Sonnenstrahlen aufklären soll. Eine Presseaussendung des deutschen Umweltministeriums (Berlin, 2.5.2000) soll exemplarisch für den anderen Pol stehen:

Bundesumweltministerium warnt vor intensivem Sonnenbaden

Bundesumweltminister Jürgen Trittin hat angesichts der auffallend starken Zunahme von Haut-Krebserkrankungen in Deutschland vor intensivem Sonnenbaden gewarnt. In den vergangenen 30 Jahren habe sich die Zahl der Erkrankungen bei dem wegen seiner Bösartigkeit besonders gefürchteten schwarzen Hautkrebs (Melanom) mehr als verdreifacht, sagte er anlässlich einer internationalen Fachkonferenz zur Hautkrebsvorsorge, die heute unter Beteiligung des Bundesumweltministeriums in Hamburg eröffnet wurde. Bei anderen Hautkrebsformen sei im gleichen Zeitraum sogar ein Anstieg um das Fünf- bis Zehnfache zu beobachten.

Bundesumweltminister Jürgen Trittin: "Diese Zahlen sind alarmierend. Ursache für diesen Anstieg ist entgegen, der landläufigen Meinung in unseren Breiten weniger das sogenannte Ozonloch, als vielmehr das veränderte Freizeitverhalten in den vergangenen Jahrzehnten.

Ein unvernünftiger Umgang mit der Sonne und die weit verbreitete Ansicht, dass tiefe Bräune schön sei, haben zum vermehrten Auftreten von Hautkrebs geführt. Häufig wird gerade in südlichen Urlaubsländern die Wirkung der Sonnenstrahlung unterschätzt. Kurze Sonnenbäder, Vermeidung von Sonnenbränden und Bedecken der Haut sind die besten Vorsorgemaßnahmen. Zusätzlich bietet das Bundesamt für Strahlenschutz einen UV-Index an, mit dem jeder Bürger sein individuelles Sonnenrisiko abschätzen kann."

Der Umweltminister beklagt des Weiteren, dass in Europa „bislang standardisierte und vergleichbare Programme zur generellen Bewertung des Hautkrebsrisikos“ fehlten.

Entscheidend für eine Aufklärung der Bevölkerung ist somit verständliche und ausgewogene Information. Es sollte das Ziel sein, dass die Menschen in die Lage versetzt werden, die für sie optimale Dosis zu erkennen und sich demnach zu verhalten. Diese Dosis hängt sowohl vom (genetisch determinierten) Hauttyp als auch von der Vorbräunung ab. Nach welcher Einwirkungszeit die individuell verträgliche Dosis erreicht wird, unterscheidet sich je nach Strahlungsintensität, welche von geografischen, klimatischen und jahreszeitlichen Faktoren geprägt wird. Verständliche Prognosen, die weitgehend korrekt und örtlich ausreichend genau sind, sind daher erforderlich. Dabei erfordert die Verständlichkeit die Verwendung eines einprägsamen Maßes, wie es etwa der UV-Index darstellt. Dabei wird in Kauf genommen, dass die relative Wirksamkeit über das gesamte UV-Spektrum je nach betrachtetem Effekt nicht exakt gleich ist. Die Induktion eines Erythems (Sonnenbrand) bietet sich jedoch als leicht verständlicher Endpunkt an.

Im Rahmen dieses Projekts wurde mittels Internet-Recherche sowie durch Befragung über internationale elektronische Fach-Mailverteiler erhoben, welche Informationen der Bevölkerung in anderen Ländern angeboten werden. Um ein optimale Vergleichbarkeit zu Österreich zu gewährleisten, wurden schwerpunktmäßig die Gegebenheiten in den unmittelbaren Nachbarländern recherchiert. Darüber hinaus wurden auch im weiteren Ausland Ansätze gefunden, deren Berücksichtigung sinnvoll erscheint. In manchen Ländern wie Neuseeland, Australien, USA und Kanada ist die Information über Fernsehen, Hörfunk und Zeitung über die tägliche UV-Belastung schon seit vielen Jahren etabliert (fester Bestandteil des Alltags). In den benachbarten Ländern wie z. B. Deutschland werden erst seit Kürzerem UV-Warnungen angeboten. Die Warnungen zeigen grafisch die von erhöhter UV-Strahlung betroffenen Landkreise an. Ein Warntext nennt die zu erwartenden UV-Werte und empfiehlt, welche Kleidung und Sonnenschutzmittel sinnvoll sind und wann der längere Aufenthalt im Freien vermieden werden sollte. Die Warnsaison reicht von Anfang April bis Ende August. In Österreich werden täglich die an den verschiedenen Messstellen ermittelten UV-Index Werte im ORF-Teletext und im Internet veröffentlicht (ORF-Teletext Seite 644, Internet:<http://www.uv-index.at>). Eine UV- Warnung in der Wettervorhersage für Zeitungen und Zeitschriften, Radio und Fernsehen ist noch nicht vorhanden.

Zur Prävention von Hautkrebserkrankungen ist an erster Stelle die Vermeidung unnötig hoher UV-Expositionen durch vernünftiges Verhalten anzuraten. An zweiter Stelle ist textiler Sonnenschutz von Bedeutung. Es sollte möglichst viel Haut durch Kleidung geschützt werden. Hier ist ein verbessertes Bewusstsein der Bevölkerung zu erreichen.

In Australien ist der Erfolg der Präventionskampagnen, die in den 60er Jahren begonnen wurden, deutlich sichtbar. Regionale wie auch nationale Aufklärungskampagnen mit dem Ziel der primären Prävention stehen im Vordergrund. Hier hat sich das Verhalten in der Bevölkerung deutlich verändert (Blum et al., 1998). Ausreichende Sonnenschutzmaßnahmen werden vom überwiegenden Teil der Bevölkerung getroffen.

Die Aufklärungskampagnen zur primären Prävention des Hautkrebses durch Verteilung von Broschüren und Miniratgebern über Projektpartner wie niedergelassene Ärzte, Hautkliniken Apotheken, Optiker und Sportverbände, wie sie z.B in Deutschland betrieben werden, sollten auch in Österreich stärker gefördert werden. Es wird angenommen, dass die Aufklärungsbemühungen in den letzten zwei Jahrzehnten wahrscheinlich einen größeren Einfluss auf die Verbesserung der Prognose von Melanompatienten gehabt haben als alle Fortschritte in der Therapie (Blum et al., 1998).

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Seit mehr als 30 Jahren wird weltweit eine Abnahme der Ozonschichtdicke festgestellt, was in ähnlicher Weise auch über Österreich beobachtet wird. Ozon absorbiert Sonnenlicht im UV-Spektralbereich, insbesondere im Bereich kurzer UVB-Wellenlängen, sodass eine Abnahme des stratosphärischen Ozons zu einer Zunahme der für Menschen wichtigen UV-Strahlung führt.

Die Frage über die zukünftige Entwicklung der Ozonschicht ist derzeit von großem wissenschaftlichem und gesellschaftlichem Interesse. Eine Reihe von Veröffentlichungen diskutiert kontrovers, ob eine Erholung der Ozonschicht nach 1996 begonnen hat. Eine eindeutige Aussage über die zukünftige Entwicklung der stratosphärischen Ozonschicht ist nicht möglich, da die Interaktion von Chemie, Dynamik und Strahlung noch wenig verstanden und quantifiziert ist.

Als Folge der langfristigen Ozonabnahme ist die Anzahl der Tage mit besonders dünner Ozonschicht in Österreich deutlich größer als noch vor 30 Jahren. Demzufolge ist die Gefahr eines Sonnenbrandes bzw. anderer durch UV-B initiiertes Reaktionen (Hautkrebs, DNS-Schädigung) gestiegen.

Wettererscheinungen wie Hochdrucklagen mit Perioden von 1 bis 5 Tagen können zu einer lokal und zeitlich begrenzten Gesamtozonabnahme von mehr als 100 DU im Vergleich zum langjährigen Mittelwert führen. Derartige Strukturen werden auch als Ozon-Minilöcher (OML) bezeichnet, mit denen eine Zunahme der schädlichen UVB-Strahlung in der jeweiligen Region verbunden ist. Seit Anfang der 1990er-Jahre werden im Winter und Frühjahr auch über Österreich derartige Strukturen mit besonders dünner Ozonschicht beobachtet. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die erythemwirksame Strahlung während eines Ozonminilochs um das Doppelte, die DNS-schädigende um das 4 bis 5 fache gegenüber dem Normal ansteigen können.

Durch Überlagerung der verstärkenden Faktoren kann es zu einer drastischen Erhöhung der UV-Belastung der menschlichen Haut kommen, die unerwartet zu einem Sonnenbrand führt. Im Frühjahr wird das UV-Risiko für die Menschen dadurch verstärkt, dass die Haut noch nicht ausreichend an die Strahlungsbelastung adaptiert ist. Im Sommer nehmen die biologisch wirksamen Strahlungswerte aufgrund der größeren Sonnenhöhe erheblich zu.

Unterschiede in der UV-Bestrahlungsstärke zwischen dem Hohen Sonnblick und Großglockner konnten aufgezeigt werden. Im alpinen Gelände können beim Zusammenwirken verschiedener Faktoren extrem hohe UV-Bestrahlungsstärken erreicht werden. Einerseits nimmt die Strahlung wegen der geringeren durchstrahlten Luftmasse mit der Höhe zu, andererseits trägt Schnee zu einer hohen Albedo bei. So konnten für eine Wellenlänge von 300 nm in den Wintermonaten dreifach höhere Tagesdosen an der Bergstation gefunden werden.

Eine Erhöhung der UV-Bestrahlungsstärke mit sinkender Schneegrenze wurde für wolkenlosen und bedeckten Himmel gezeigt. Eine Änderung der Schneegrenze von 3000 m auf 800 m erhöht beispielsweise die Bestrahlungsstärke bei 305 nm bei wolkenlosem Himmel um einen Faktor 1.24 ± 0.04 , was einer effektiven Albedo von 0.63-0.78 entspricht. Bei bedecktem Himmel führt ein Absinken der Schneegrenze auf 800 m zur Erhöhung der Bestrahlungsstärke bei 305 nm um einen Faktor 1.73 ± 0.11 .

Wird die menschliche Haut der UV-Strahlung ausgesetzt, so kommt es zu einer Reihe von Reaktionen, die von Sonnenbrand bis zu Hautkrebs reichen können. Anlass zur Sorge gibt die Zunahme des Auftretens des Malignen Melanoms, des sog. Schwarzen Hautkrebses. Weltweit wurde in den vergangenen Jahren eine starke Zunahme der Inzidenz des Malignen Melanoms beobachtet. In Deutschland werden 12 bis 14 neue Melanome pro 100.000 Einwohner und Jahr diagnostiziert (Blum et al., 2004).

Auch in Österreich wurde in den letzten zwei Jahrzehnte eine deutliche Zunahme der Neuerkrankungen am bösartigen Melanom beobachtet. Während bei Frauen nur ein leichter An-

stieg zu erkennen ist, ist dieser bei Männern deutlich höher. Anfang der 1990er-Jahre betrug die Inzidenz des Melanoms in Österreich 7,4 Fälle pro 100.000 Einwohner und Jahr und stieg auf 9,4 Fälle pro 100.000 Einwohner im Jahr 2003.

Geografisch gesehen gibt es bereits auf Bundesländerebene ein deutliches West-Ost-Gefälle mit höheren Fallzahlen (Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner) in Kärnten, Tirol und Vorarlberg und niedrigeren Werten in Burgenland, Wien und Steiermark. In den erstgenannten Bundesländern zeigt sich darüber hinaus ein deutlicher Anstieg bei den Inzidenzen von 1990 bis 2004.

Am Malignen Melanom verstarben weit mehr Menschen als an allen anderen Arten von Hauttumoren zusammen. Bei den Männern waren es zu Beginn der 90er Jahre in Österreich 2,6 Fälle pro 100.000 Einwohner und Jahr und bei Frauen 1,8 Fälle. Etwa ein Drittel der Neuerkrankungen treten vor dem 50. Lebensjahr auf, ein weiteres Drittel zwischen dem 50. und 69. Lebensjahr.

In der Literatur wird angenommen, dass die Aufklärungsbemühungen in den letzten zwei Jahrzehnten in vielen Ländern einen größeren Einfluss auf die Verbesserung der Prognose von Melanompatienten gehabt haben als alle Fortschritte in der Therapie.

Literaturverzeichnis

- Allaart, M, P. Valks, R. Van der A, A. Piters, H. Kelder and P. Van Velthoven. (2000): Ozone mini-hole observed over Europe, influence of low stratospheric temperature on observations, *Geophys. Res. Lett.*, V27, N. 24, 4089–4092,
- Allen D.R., Nakamura N. (2002): Dynamical reconstruction of the record low column ozone over Europe on 30 November 1999, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1362.
- Arola, A., Lakkala, K., Bais, A., Kaurola, J., Maleti, C., Taalas, P. (2003): Factors affecting short- and long-term changes of spectral UV irradiance at two European stations. *J. Geophys. Res.*, 108 (D17), 4549.
- Blum et al., 1998
- Blum, A. C. Garbe, G. Rassner. (1998): Prävention des malignen Melanoms. *Hautarzt, Springer-Verlag*, 49, 826-834
- Blum, A. C. Garbe, J. Bauer. (2004): Epidemiologie und Riskofaktoren des malignen Melanoms. *Der Onkologe*, V10, N7, 688-700
- Bojkov R. D. and D. S. Balis, (2001): Characteristics of episodes with extremely low ozone values in the northern middle latitudes 1957-2000, *Annales Geophysicae*, 19, 797-807
- Booth, C.R., Madronich, S. (1994): Radiation amplification factors - Improved formulation accounts for large increases in ultraviolet radiation associated with Antarctic ozone depletion AGU Antarctic Research Series, 62, pp. 39-42. Cited 36 times. Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Effects, Weiler, C.S. and Pennale, P.A. (eds.), American Geophysical Union, Washington.
- CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) (1987) A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE J.* 6, 17-22.
- DIN 5030, (1982): Teil 2, Spektrale Strahlungsmessungen; Strahler für spektrale Strahlungsmessungen, Auswahlkriterien Berlin, Beuth-Verlag.
- Forster, P.M.F. (1995): Modelling ultraviolet radiation at the earth's surface. Part I: The sensitivity of ultraviolet irradiances to atmospheric changes. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2412-2425.
- Glandorf, M., Arola, A., Bais, A., Seckmeyer, G. (2004): Possibilities to detect trends in spectral UV irradiance, *Theoretical and Applied Climatology*, 81 (1-2), pp. 33-44.
- Grant WB, Holick MF (2005): Benefits and Requirements of Vitamin D for Optimal Health: A Review. *Alternative Medicine Review*, 10: 94-111.
- Grant WB, Holick MF (2005): Benefits and Requirements of Vitamin D for Optimal Health: A Review. *Alternative Medicine Review*, 10: 94-111.
- Hallberg O (2008): A reduced repair efficiency can explain increasing melanoma rates. *European Journal of Cancer Prevention*. 17(2):147-152.
- Hallberg O (2008): A reduced repair efficiency can explain increasing melanoma rates. *European Journal of Cancer Prevention*. 17(2):147-152.
- Holick MF (2004): Vitamin D: importance in the prevention of cancers, type 1 diabetes, heart disease, and osteoporosis. *Am J Clin Nutr*, 79: 362–371.
- Holick MF (2004): Vitamin D: importance in the prevention of cancers, type 1 diabetes, heart disease, and osteoporosis. *Am J Clin Nutr*, 79: 362–371.
- Hood L.L., Soukharev B.E., Fromm M., McCormack J.P. (2001): Origin of extreme ozone minima at middle and high northern latitudes, *J. Geophys. Res.* 106, 20925-20940, 2000.

- Iwao and T. Hirooka, A quantitative estimate of dynamical contributions to ozone mini-hole formation, In: proceeding of the XX Quadrennial Ozone Symposium June 2004, Kos Greece, Edt C.S. Zerefos, ISBN 960-630-103-6, ISBN 960-630-101-1, ISBN 960-630-105-2, 2004
- James, P. M. (1998b): A climatology of ozone mini-holes over the northern hemisphere, *Int. J. Climatol.* 18, 1287–1303
- Lakkala, K., Kyrö, E., Turunen, T. (2003): Spectral UV Measurements at Sodankylä during 1990-2002. *J. Geophys. Res.*, 108 (D19), 4621.
- McCormack, J. P. and Hood, L. L. (1997): The frequency and size of ozone “mini-hole” events at northern midlatitudes in February, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2647–2650
- McPeters, R.D., P.K. Bhartia, A. J. Krueger, J. R. Herman, C. G. Wellemeyer, C. J. Seftor, G. Jaross, O. Torres, L. Moy, G. Labow, W. Byerly, S. L. Taylor, T. Swisler and R. P. Cebula (1998) *Earth Probe Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Data Products User's Guide*. NASA Reference Publication, Greenbelt, MD, USA.
- Neuman, P. A., Lait, L. R., and Schoeberl, M. R.: The morphology and meteorology of southern hemisphere Spring total ozone mini-holes, *Geophys. Res. Lett.*, 15, 923–926, 1988.
- Orsolini Y. J., and V. Limpasuvan, (2001): The North Atlantic Oscillation and the occurrences of mini-holes, *Geophys. Res. Lett.*, V28, N21, 4099-4102
- Peters and Waugh, 1996, Influence of barotropic shear on the poleward advection of upper tropospheric air. *J.Atmos.Sci* 53, 3013-3031.
- Peters, D., Egger, J., and Entzian, G. (1995): Dynamical aspects of ozone mini-hole formation, *Meteorol. Atmos. Phys.* 55, 205–214.
- Reid, S. J., Tuck, A. F., and Kiladis, G.: On the changing abundance of ozone minima at northern midlatitudes, *J. Geophys. Res.*, 105, D10, 12 169–12 180, 2000.
- Schmalwieser, A.W., G. Schauburger, M. Janouch and P. Skomorowski (2004) Mini-ozone-holes and extreme day-to-day changes of TOC over Central Europe and their influence to the biologically effective ultraviolet radiation. In *Proceeding of the XX Quadrennial Ozone Symposium, June 2004, Kos Greece*. (Edited by C.S. Zerefos) pp. 1044-1045, Thessaloniki, Greece.
- Schmalwieser, A.W.; Cabaj, A.; Maier, H.; Fischer, W.; Stadlmann, H.; Rohn, H. (2007) Measurements of the facial UV exposure using electronic two channel broadband devices, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 08047, 2007, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-08047
- Setlow, R.B., (1974): The wavelengths in sunlight effective in producing cancer: a theoretical analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 71, 3363-3366.
- Simic, S. (2006): Investigations on the transfer of ultraviolet radiation on the Hoher Sonnblick, doctoral thesis, BOKU Vienna
- Slaper, H., Velders, G.J.M., Daniel, J.S., De Gruijl, F.R. and Van der Leun, J.C., (1996): Estimates of ozone depletion and skin cancer incidence to examine the Vienna Convention achievements. *Nature* 384:256-258.
- Stamnes, K., Tsay, S.-C., Wiscombe, W., Jayaweera, K. (1998): Numerically stable algorithm for discrete-ordinates method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media, *Appl. Opt.*, 27, 2502-2509.
- Van Hoosier, M.E. (1996) The ATLAS_3 solar spectrum, available via anonymous ftp.
- WMO. (2007): Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006. Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 50. World Meteorological Organization, Geneva.

Zerefos, C.S. (2002): Long-term ozone and UV variations at Thessaloniki, Greece. *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 455-460.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. B- 1:	Berechnete effektive Albedo am Hohen Sonnblick im Jahresverlauf. Die Werte sind Mittelwerte der zehnjährigen Periode von 1994 bis 2003	9
Abb. B- 2:	Jahresmittelwerte der gemessenen Konzentrationen der Ozonsäule in Arosa und am Hohen Sonnblick (seit 1994).....	10
Abb. B- 3:	Jahresmedian (p50%), Höchst- (Max) und Tiefstwert (Min) sowie 5%- und 95%-Perzentil der von NASA Satelliten gemessenen Ozonkonzentrationen über Wien (seit 1978) 11	11
Abb. B- 4:	Monatsmittelwerte, Minima und Maxima des Gesamtozons am Hohen Sonnblick 1994-2007	12
Abb. B- 5:	Tagesmittel des stratosphärischen Ozons im Jahresverlauf seit 1994	13
Abb. B- 6:	Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 265K bis 370K über Wien zwischen 1980 and 2006. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an.	14
Abb. B- 7:	Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 395K bis 850K über Wien zwischen 1980 and 2006. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an.	14
Abb. B- 8:	Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 265K bis 370K über Wien zwischen 1980 and 2006 in Abhängigkeit der Jahreszeit. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an.	15
Abb. B- 9:	Korrelationskoeffizient zwischen Gesamtozon und Potential Vorticity von 395K bis 850K über Wien zwischen 1980 and 2006 in Abhängigkeit der Jahreszeit. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grenze für die Korrelation an	15
Abb. B- 10:	Häufigkeit von Tagen mit dünner Ozonschicht am Hohen Sonnblick für die Monate Februar bis August.....	16
Abb. B- 11:	Ausdehnung des größten über Österreich beobachteten Ozonminilochs ..	17
Abb. B- 12:	Verlauf der biologisch wirksamen UV Strahlung während des Extremen Ozon-Minilochs im Februar 1999. Dargestellt sind die Verläufe für die erythemwirksame (ERY), die DNS-schädigende (DNA-D) und die pflanzenschädigende UV Strahlung (GP-D) 18	18
Abb. B- 13:	Jahresgang der erythemwirksamen Strahlung von 1994 bis 2007	19
Abb. B- 14:	RAF (inklusive Standardabweichung) als Funktion von Wellenlänge und Zenitwinkel, gemessen am Hohen Sonnblick	20
Abb. B- 15:	Erhöhung der gemessenen UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm in Abhängigkeit von der Schneegrenze am Hohen Sonnblick bei wolkenlosen und bedeckten Himmel (inklusive Standardabweichung)	21
Abb. B- 16:	Häufigkeit der Wolkenüberhöhung auf dem Hohen Sonnblick aufgeteilt nach Ausmaß der Überhöhung bei drei Wellenlängen. Die Anzahl der untersuchten Messwerte ist N=3507	22
Abb. B- 17:	Häufigkeit der Wolkenüberhöhung aufgeteilt nach Wolkentyp. Nh1=Wolken unter Stationsniveau, Cu=Cumuls, Sc=Stratocumuls, Ac=Alto cumuls, St=Stratus	22
Abb. B- 18:	Tagessummen der UV-Bestrahlungsstärke (370 nm und 305 nm) gemessen am Hohen Sonnblick und in Großenzersdorf (links) und Quotienten der Tagessummen (Hoher Sonnblick zu Großenzersdorf) (rechts)	24

Abb. B- 19:	Quotienten der Monatsmittel der spektralen Tagesdosis gemessen am Hohen Sonnblick (3106 m) und in Großenzersdorf (152 m) als Funktion der Wellenlänge für einzelne Monate und unterschiedliche Jahre.....	25
Abb. B- 20:	Spektrale UV-Bestrahlungsstärke (280 bis 400 nm), gemessen am Hohen Sonnblick und in Großenzersdorf am 12. September 1999 (Bild links); Quotienten der spektralen UV-Bestrahlungsstärke (Bild rechts)	26
Abb. B- 21:	Box-Plot-Darstellung der Auswirkungen von Gesamt Ozon (oben) und Albedo (unten) auf die Variabilität der UV-Bestrahlungsstärke bei 305 nm für April (a) und August (b). Die Box wird begrenzt durch die 25% und 75% Quartile.....	27
Abb. B- 22:	Die maximale Variabilität in % berechnet für jede der Einflussgrößen: (Maximum-Minimum/Mittelwert) der Monatsmittelwerte der Gesamtzeitreihe von 1994 bis 2003	28
Abb. B- 23:	Jährliche Neuerkrankungen an Melanom in Österreich, absolute Zahlen ..	29
Abb. B- 24:	Jährliche Neuerkrankungen an Melanom in Österreich, altersstandardisiert je 100.000	29
Abb. B- 25:	Jährliche Sterbefälle an Melanom in Österreich, absolute Zahlen.....	30
Abb. B- 26:	Jährliche Sterbefälle an Melanom in Österreich, altersstandardisiert je 100.000	30
Abb. B- 27:	Anzahl der Neuerkrankungen an Melanom getrennt für die österreichischen Bundesländer.....	31
Abb. B- 28:	Jährliche Odds Ratio (Poisson-Regression) der Melanominzidenz per 1 m Seehöhe und Trend (gewichtet mit dem Kehrwert der Varianz) über die Jahre	32
Abb. B- 29:	Einfluss der Seehöhe nach Altersgruppen.....	32
Abb. B- 30:	Erhöhtes Melanomrisiko (Odds Ratio pro Jahr) über den Beobachtungszeitraum betrifft sowohl jüngere als auch alte Patienten.....	33

Tabellen

Tab. B- 1:	Verwendete Daten	7
Tab. B- 2:	Extreme Miniozonlöcher über Mitteleuropa und ihre Tiefstwerte über Wien	17