

Aktuelle solare UV-Situation in Deutschland

Current solar UV status in Germany

Manfred Steinmetz

Abstract

Since more than 17 years the solar UV radiation near ground is monitored by a nationwide network. The monitoring data are evaluated by the German Federal Office for Radiation Protection (BfS) with respect to effects on human health. Current measurement values show that in Germany as a whole erythemally weighted UV Radiation can reach high UVI values (more than UVI 5) from April until August. On average in the southern part of Germany yearly UV dose values are about 17 percent higher than in the north. Till now no significant trends to higher or lower UV dose values were observed.

Zusammenfassung

Seit mehr als 17 Jahren wird die bodennahe solare UV-Strahlung durch ein bundesweites Messnetz erfasst und vornehmlich vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bezüglich gesundheitsrelevanter Risiken evaluiert. Aktuell vorgestellte Messergebnisse zeigen, dass hohe UVI-Werte (UVI größer als 5) in ganz Deutschland in den Monaten April bis August auftreten können. Im Durchschnitt liegen die UV-Jahresdosiswerte im Süden Deutschlands um 17 Prozent höher als im Norden. Ein signifikanter Trend zu höheren oder niedrigeren Werten konnte bis jetzt nicht beobachtet werden.

Einleitung

Die von der Sonne abgegebene optische Strahlung erwärmt den Boden, die Meere und die Atmosphäre und steuert damit das Wetter und das Klima. Vor allem der sichtbare Strahlungsanteil („Licht“) liefert die für das Pflanzenwachstum benötigte Energie. Durch die hohe Oberflächentemperatur der Sonne wird aber auch ein signifikanter Anteil biologisch hochwirksamer ultravioletter Strahlung abgegeben.

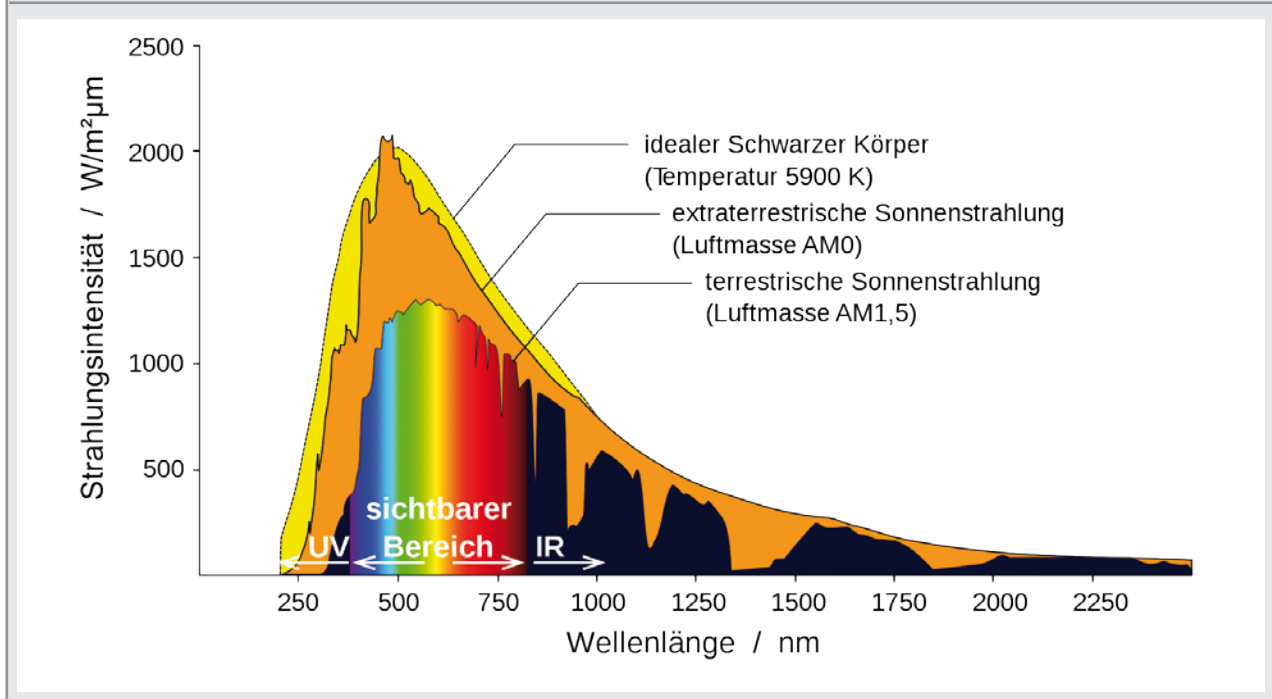
In **Abbildung 1** ist ein typisches Sonnenspektrum dargestellt, das oberhalb der Erdatmosphäre in ungefähr 20 Kilometern Höhe weitgehend dem Spektrum eines schwarzen Körpers von 5777 K Effektivtemperatur entspricht (Schönwiese 2008). Von der Gesamtstrahlungsleistung der Sonne von etwa $3,8 \cdot 10^{26}$ W erreichen circa $1,7 \cdot 10^{17}$ W die Erde, entsprechend einer Gesamtbestrahlungsstärke außerhalb der Erdatmosphäre von 1367 W/m^2 (Solarkonstante), in Bodennähe in unseren Breiten von 1120 W/m^2 . Der meteorologisch bedeutsame Spektralbereich in Bodennähe umfasst die Wellenlängen von 300 bis 3000 nm, mit einem ultravioletten (UV)-Anteil von circa 6 Prozent, einem sichtbaren (VIS)-Anteil von 52 Prozent und einem infraroten (IR)-Anteil von 42 Prozent.

Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre verändern sich die Bestrahlungsstärke und die spektrale Verteilung der Sonnenstrahlung durch Absorption, Reflexion und Streuung. Je nach Sonnenstand legen die Sonnenstrahlen einen unterschiedlich langen Weg durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche zurück. Demnach ist die Zusammensetzung des Sonnenspektrums außer vom Gesamtzongehalt der Atmosphäre abhängig von der Tageszeit, der Jahreszeit, dem Breitengrad, der Bewölkung und der Höhenlage. In Deutschland erreicht die Sonne im Sommer eine maximale Höhe von 58° im Norden und 65° im Süden, im Winter entsprechend eine maximale Höhe von 12° beziehungsweise 19° . Der größte Teil der täglichen Bestrahlung (im Sommer ca. 66 Prozent, im Winter 75 Prozent) liegt in der Zeit von 2 Stunden vor bis zwei Stunden nach dem örtlichen Sonnenhöchststand (ca. 12 Uhr Mitteleuropäische Zeit, MEZ).

Unbewertete und biologisch bewertete UV-Strahlung

Dieser Beitrag beschäftigt sich vornehmlich mit dem ultravioletten Strahlungsanteil der Sonnenstrahlung, weil davon die hauptsächliche gesundheitliche Gefährdung ausgeht. Die UV-Strahlung ist so ener-

Abbildung 1: Spektrale Bestrahlungsstärke eines schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ ; Sonnenspektrum außerhalb der Atmosphäre und in Erdbodennähe. Quelle: Degreen, überarbeitet durch Quilbert. Wikimedia Commons, lizenziert unter: Cc-by-sa-2.0-de (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/legalcode>; Abrufdatum: 31.01.2014). Graphik aus Wikipedia überarbeitet von Dr. M. Steinmetz.



gierich, dass schon geringe Bestrahlungsstärken für das ungeschützte Auge und die ungeschützte Haut ein erhöhtes gesundheitliches Risiko darstellen. Aufgabe eines wirksamen Strahlenschutzes ist es daher, auf die strikte Einhaltung der international anerkannten Empfehlungen zu achten. Auf diese Weise können akute Schäden vermieden und chronische Effekte zumindest begrenzt werden (WHO 1994; SSK 1996).

UV-Strahlung ist für Menschen nicht sichtbar und nicht direkt wahrnehmbar. Eine indirekte Wahrnehmung nach Überexposition erfolgt am ehesten über biologische Reaktionen, wie zum Beispiel Erythem (Sonnenbrand) oder Hornhaut- und Bindehautentzündung („Verblitzung“) der Augen.

Die solare bodennahe UV-Strahlung liegt im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm. Welcher spektrale Anteil der die Körperoberfläche erreichenden Strahlung im Gewebe absorbiert und welcher nur gestreut wird, hängt von dessen molekularer Zusammensetzung ab. Nur der absorbierte Anteil kann zu einer fotobiologischen Wirkung führen. Demzufolge muss zwischen unbewerteten Strahlungsgrößen der auftreffenden Strahlung und den bewerteten, die fotobiologische Wirksamkeit berücksichtigenden Strahlungsgrößen, unterschieden werden.

Die Wirkungen der UV-Strahlung zeigen eine sehr starke Wellenlängenabhängigkeit. Bezüglich einer Schädigung sowohl der Augen als auch der Haut hat der kurzwellige UV-Bereich bis circa 300 nm eine hohe Wirksamkeit, die dann bei längeren Wellenlängen stark abfällt. Aus diesem Grund muss die jeweilige biologische Wirksamkeit (bezogen auf einen bestimmten biologischen Endpunkt) für jede einzelne Wellenlänge ermittelt werden. Man erhält auf diese Weise ein biologisches Wirkungsspektrum, das auf die Wellenlänge maximaler Wirksamkeit mit dem Wert 1 normiert wird (Mc Kinlay 1987; de Gruijl 2000).

Nach multiplikativer Verknüpfung dieses biologischen Wirkungsspektrums mit dem rein physikalisch gemessenen Spektrum erhält man die biologisch wirksame spektrale UV-Bestrahlungsstärke für die jeweilige biologische Wirkung (Steinmetz 2001). Für die Bewertung ist weiterhin entscheidend, in welchem Zeitraum die UV-Strahlung auf den Menschen einwirkt, das heißt welcher UV-Dosis sich der Mensch aussetzt.

Als gesundheitliche Gefährdung der Haut infolge UV-Strahlung gelten insbesondere der Hautkrebs mit mittlerweile über 200.000 Erkrankungen in Deutschland (Kraywinkel et al. 2012), weiterhin

frühzeitige Hautalterung und das Erythem. Nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand haben deren Wirkungsspektren einen ähnlichen Verlauf. Da das Erythem eine akute biologische Antwort auf eine zu starke UV-Bestrahlung ist, empfiehlt es sich als ein geeigneter Indikator für eine gesundheitliche UV-Bewertung.

UV-Monitoring in Deutschland

In Deutschland erfasst, überwacht und bewertet vor allem der Deutsche Wetterdienst (DWD) im gesetzlichen Auftrag die meteorologischen Prozesse, Struktur und Zusammensetzung der Atmosphäre. Die Beobachtung eines Abbaus des Gesamtzongehaltes (DWD 2005) durch die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) vor gut 20 Jahren hat den Blick dahingehend geschärft, dass der dadurch erwartete höhere UV-Anteil der solaren Strahlung einen stark zunehmenden Einfluss auf die Gesundheit des Menschen sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme ausüben könnte.

Seit 1993 betreibt das BfS daher zusammen mit dem Umweltbundesamt (UBA) und dem DWD ein UV-Messnetz (Steinmetz 1997). Gemeinsam mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, dem Landesamt für Umweltschutz Bayern und der Gewerbeaufsicht Niedersachsen wird die solare UV-Strahlung an allen strahlenklimatologisch wichtigen Standorten Deutschlands kontinuierlich und spektral aufgelöst in Erdbodennähe gemessen. Dabei wurden unterschiedliche Breitengrade, Höhenlagen, Klima und Lufttrübungen berücksichtigt. **Abbildung 2** zeigt die Standorte des UV-Messnetzes.

Die solare UV-Strahlung wird im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm mit horizontal ausgerichteten Eingangsoptiken alle 6 Minuten von Sonnenaufgang bis -untergang gemessen. Die Gesamtglobalstrahlung wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst. Das BfS unterhält die Messnetzzentrale, die neben der Messung die Daten bewertet, veröffentlicht, archiviert und im Rahmen der Qualitätssicherung Kalibrierungen und Messgerätevergleiche durchführt (Albert 2013; Gröbner 2004).

Für die aktuelle Berichterstattung dient der UV-Index, der zusammen mit Daten des DWD via Internet (www.bfs.de) und Videotext (Tafel 637) des Bayerischen Rundfunks der Öffentlichkeit zur Ver-

fügung gestellt wird. Aktuelle Informationen werden in Form von Pressemitteilungen weitergegeben. Darüber hinaus werden in den Monaten April bis September auf Basis der bisherigen Messungen und der Wettervorhersage 3-Tagesprognosen veröffentlicht. Für ausführliche Dokumentationen werden die UV-Daten in Form von Jahresberichten im Internet veröffentlicht.

Ein weiteres wichtiges Ziel ist, mit den zur Verfügung gestellten Messdaten die Tätigkeiten des fachübergreifenden UV-Bündnisses zu unterstützen, das vom BfS initiiert für einen verantwortungsvollen Umgang mit der UV-Strahlung der Sonne und künstlicher UV-Quellen eintritt (Baldermann 2012).

Aktuelle Messwerte

Abbildung 3 zeigt den Jahresverlauf 2012 der erythemwirksamen Bestrahlungsstärken E_{ery} im Norden (Zingst) und Süden (Neuherberg) Deutschlands jeweils um 12 Uhr MEZ eines Tages, das heißt nahezu zum jeweiligen Sonnenhöchststand eines Tages. Diese Messwerte dokumentieren anschaulich die jahreszeitliche Variabilität der solaren UV-Strahlung zum jeweils gleichen Tageszeitpunkt im Jahr und ermöglichen darüber hinaus einen ersten Anhaltspunkt über den Zeitraum, innerhalb dessen

Abbildung 2: Verteilung der Messstationen in Deutschland. Quelle: suvmonet – Solares UV-Monitoring in Deutschland, <http://www.suvmonet.de/> (Abrufdatum: 11.02.2014).



das gesundheitliche Risiko gegenüber UV-Strahlung deutlich erhöht ist. Dieses war bei 140 mW/m^2 erythemwirksamer Strahlung (WHO 2002), in Zingst von Ende April bis Ende Juli, in Neuherberg ab Mitte April bis Mitte September, der Fall. Im Jahr 2012 waren an allen Stationen keine starken, länger währenden Abweichungen vom sogenannten glockenförmigen Jahresverlauf zu beobachten. Kurzzeitige signifikante Erhöhungen sind aus den vorherigen

Jahren bekannt und in erster Linie temporär auf reduzierte Gesamt Ozonwerte zurückzuführen, die teilweise bis zu 30 Prozent betragen.

Wetterbedingt kann das UV-Tagesmaximum vor beziehungsweise nach 12 Uhr MEZ liegen. Für eine Bestimmung des Jahresmaximums und des Jahreszeitraumes mit hoher UV-Belastung wird daher ergänzend der UV-Index (UVI) herangezogen. Der

Abbildung 3: Jahresverlauf der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke E_{ery} in W/m^2 jeweils um 12 Uhr MEZ eines Tages in Neuherberg (NH, schwarz) und Zingst (ZI, blau). Quelle: BfS.

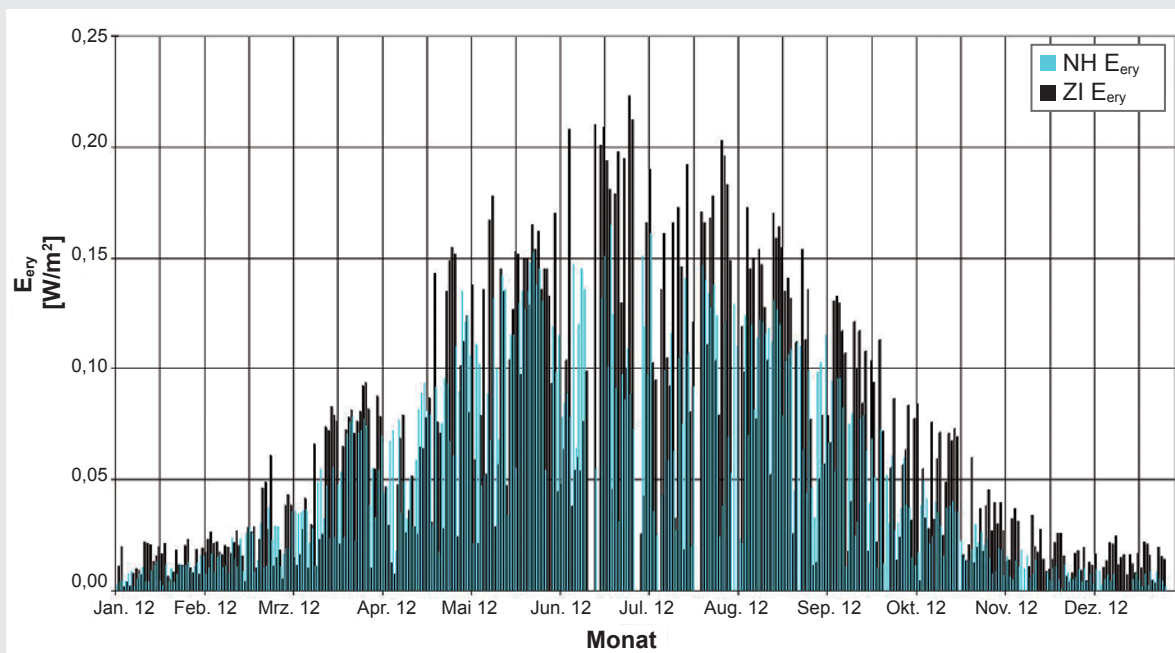
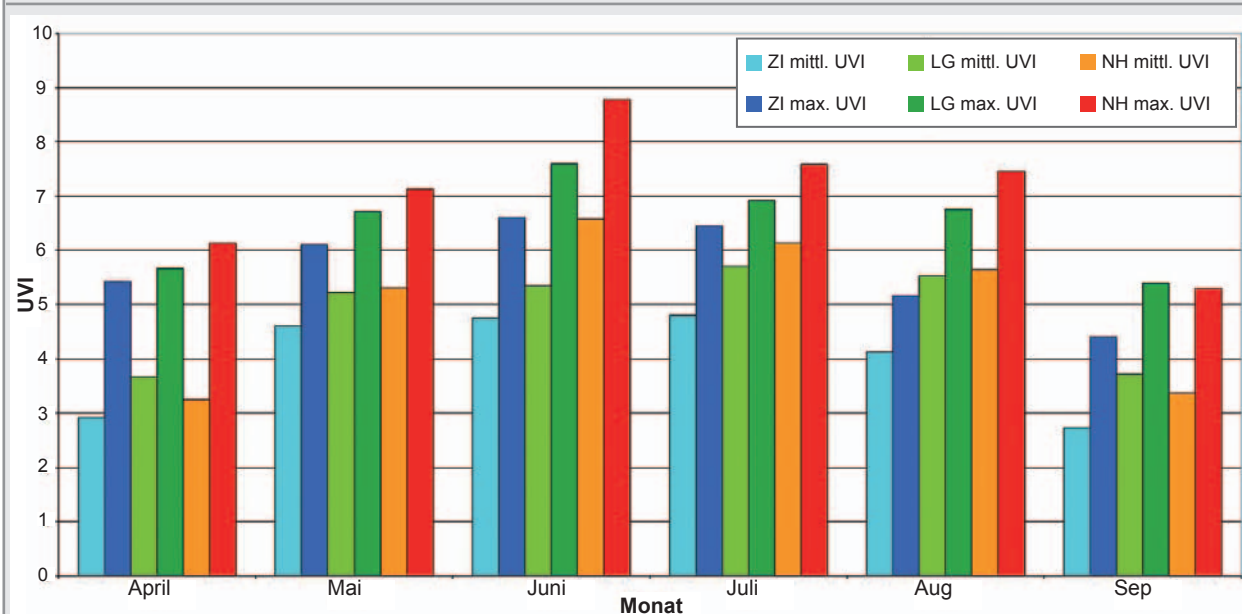


Abbildung 4: An den verschiedenen Standorten Zingst (ZI), Langen (LG) und Neuherberg (NH) gemessene maximale und mittlere UVI-Werte pro Monat zwischen April und September 2012. Quelle: BfS.



UVI ist ein Maß für die maximale erythemgewichtete UV-Bestrahlungsstärke am Tag und nicht, wie in der oberen Darstellung (**Abbildung 3**), die Bestrahlung zu einer bestimmten Uhrzeit. Eingegrenzt auf den Jahreszeitraum möglicher hoher UV-Belastung ($UVI > 5$) von April bis September sind in **Abbildung 4** die maximalen und mittleren UV-Indexwerte für die Stationen Zingst (Norddeutschland), Langen (mittleres Deutschland) und Neuherberg (Süddeutschland) dargestellt, jeweils bezogen auf einen Monat. Zum einen sind die großen Schwankungen innerhalb eines Monats deutlich zu erkennen, zum anderen die im Jahr länger anhaltende Überschreitung des UVI von 5, das heißt, eine nach WHO-Klassifizierung hohe UV-Belastung (WHO 2002).

Es fällt auf, dass sich im Frühjahr mittlere und maximale UVI-Werte bis um den Faktor 2, im Sommer bis um den Faktor 1,5 unterscheiden. Der mittlere UVI-Wert im Sommer ist im Süden Deutschlands um circa 17 Prozent, das UVI-Maximum bis zu 30 Prozent höher als im Norden.

Neben der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke ist für die gesundheitliche Gefährdung weiterhin entscheidend, in welchem Zeitraum die UV-Strahlung auf den Menschen einwirkt, das heißt welcher

UV-Dosis sich der Mensch aussetzt. Nach den bereits aufgeführten eher singulären Ereignissen ist es notwendig, die UV-Belastung für das gesamte Jahr einzuschätzen. In **Abbildung 5** sind für alle Stationen die Anzahl der Halbstundenwerte im Jahr aufgeführt, in denen die UV-Dosis den Betrag einer minimalen erythemwirksamen Dosis für den Hauttyp II (250 J/m^2) übersteigt. Es ist zu beobachten, dass im Süden Deutschlands nahezu doppelt so viele dieser erhöhten Halbstundenwerte vorliegen wie im Norden und in der Mitte.

In **Abbildung 6** sind die erythemwirksamen Jahresdosiswerte für den Norden (Zingst), die Mitte (Langen bzw. Kulmbach) und den Süden (Neuherberg) dargestellt. Wie zu erwarten, werden in Zingst die niedrigsten und in Neuherberg die höchsten Werte gemessen. Im Jahr 2012 waren im Vergleich zu Zingst die Jahresdosiswerte in Langen um 10 Prozent und in Neuherberg um 20 Prozent höher. Über den gesamten dargestellten Zeitraum lagen die Mittelwerte für die einzelnen Jahre an der Station Langen um 7 Prozent und an der Station Neuherberg um 17 Prozent höher als an der Station Zingst.

Im Rahmen einer Regressionsanalyse wurde für die erythemwirksamen Jahresdosiswerte der lineare

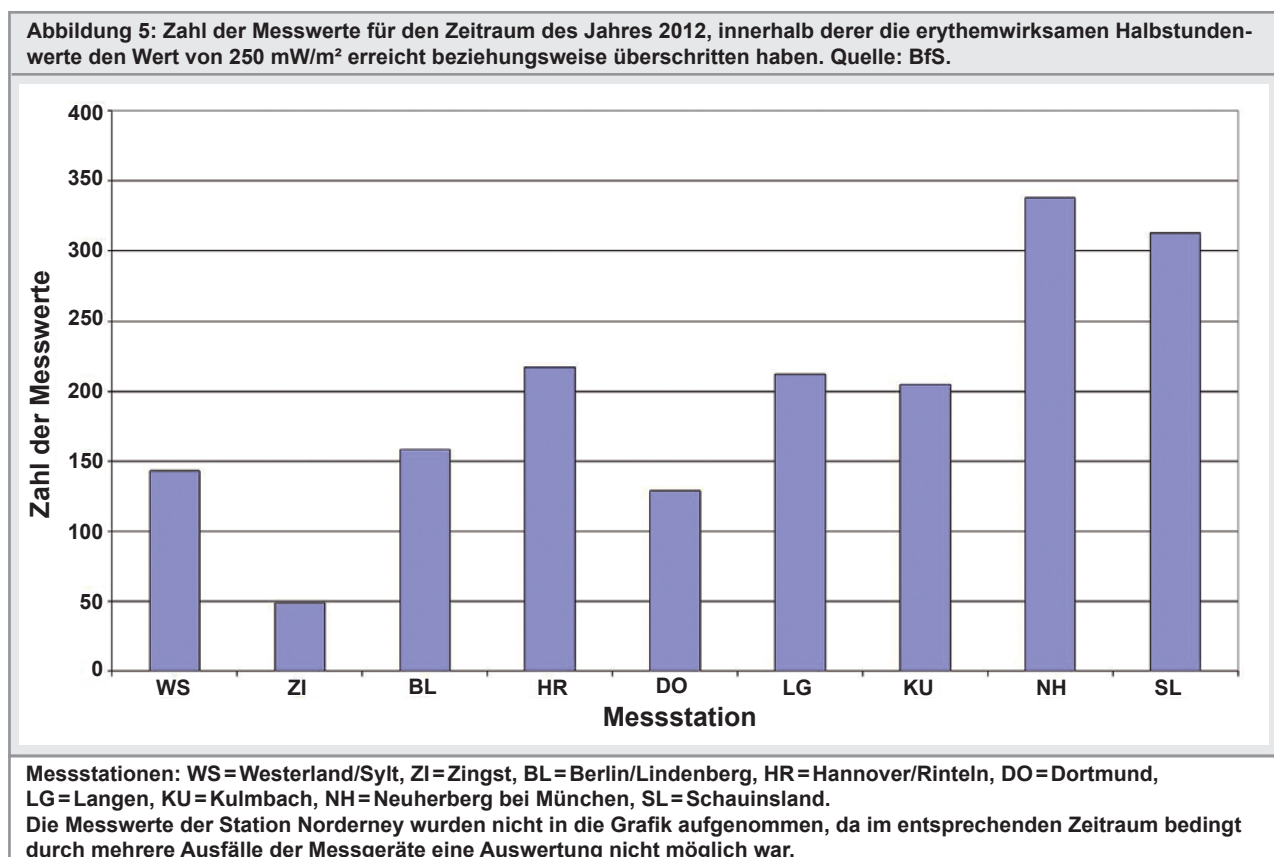
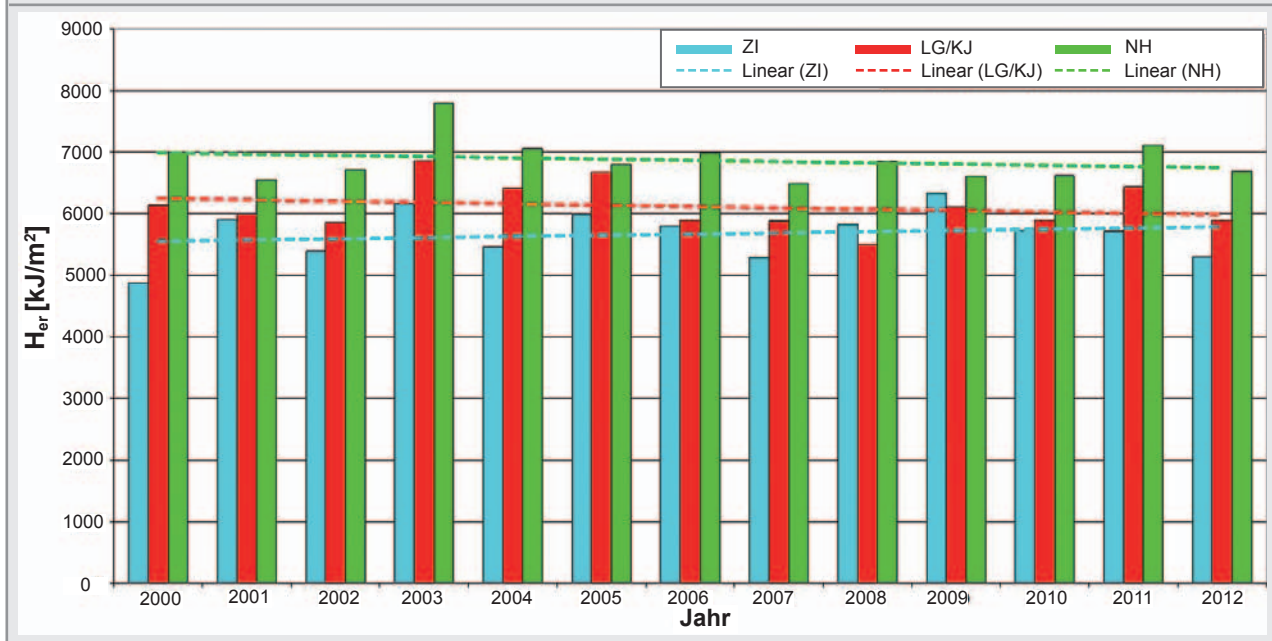


Abbildung 6: Mittlere Jahressummen der erythemgewichteten UV-Strahlung H_{er} für den Zeitraum 2000 bis 2012 für den Norden, die Mitte und den Süden Deutschlands, gemessen an den Stationen Zingst (ZI), Langen (LG)/Kulmbach (KU) und Neuherberg (NH). Kulmbach wurde in die Grafik mit aufgenommen, da Langen in den Jahren 2007 bis 2012 mehrere Messausfälle hatte, durch die die jeweilige mittlere Jahressumme für die Station nicht berechnet werden konnte. Quelle: BfS.



Trend für jede einzelne Station über den dargestellten Zeitraum ermittelt. Die Kurven sind gestrichelt in der Grafik mit aufgeführt. Bei den Werten von Zingst ist ein leichter Anstieg und bei denen von Langen und Neuherberg ein leichter Abfall zu beobachten; mit einem Bestimmtheitsmaß jeweils bei etwa $R=0,05$. Dies entspricht nur einer geringen Genauigkeit, ein signifikanter Trend ist demnach nicht daraus abzuleiten. Allerdings ist mit einem signifikanten Anstieg durch längere Sonnenscheindauern infolge des Klimawandels zu rechnen.

Bei allen vorgestellten Bewertungen ist zu beachten, dass die Messungen der bodennahen solaren UV-Strahlung üblicherweise und auch im UV-Messnetz des BfS/UBA mit horizontal ausgerichteten Empfängerflächen durchgeführt werden. Dies ist historisch auf den zunächst meteorologisch relevanten Ansatz zurückzuführen. Für eine exakte Erfassung der UV-Exposition des Menschen ist zu berücksichtigen, dass der menschliche Körper über gekrümmte Hautoberflächen verfügt, die bereichsweise senkrecht zur Sonne ausgerichtet sind (Sonnenterrassen). Neuere Veröffentlichungen legen den Schluss nahe, dass die UV-Messwerte bei einer geneigten Empfängerfläche abhängig vom Sonnenstand um 20 Prozent und mehr erhöht sein können als bei einer horizontal ausgerichteten Fläche (Sandmann 2006).

Literatur

Albert A, Rupprecht W, Mayer I et al. (2013): Monitoring the solar UV-B radiation in the north of Munich: A comparison of two sites. In: Radiation Process in the Atmosphere and Ocean IRS2012. AIP Conf. Proc 1531: 780–783.

Baldermann C, Grosche B (2012): „Sonne – aber sicher!“ – UV-Schutzkampagnen in Deutschland. In: UMID 2: 59–63.

De Gruijl FR (2000): Biological action spectra. In: McKinlay AF, Repacholi MH (Hrsg.): In: Radiation Protection Dosimetry, Vol 91 Nos.1–3: 57–63.

DWD (2005): Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes. Ausgabe Nr. 104. 04. Mai. http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Forschung/FEHP/OZON/DL/OZON_BULLETIN/2005/Ozonbulletin_105_0506_de_pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Ozonbulletin_105_0506_de_pdf.pdf (Abrufdatum: 31.01.2014).

Gröbner J, Schreder J, Kazadzis S et al. (2004): Quality assurance of spectral ultraviolet measurements in Europe through the development of a transportable unit (QASU-ME) – Report of site visits. Round 2004 EUR 21398 EN European Commission.

Kraywinkel K, Wolf U, Katalinic A (2012): Hautkrebs – Epidemiologie und Früherkennung. In: UMID 2: 30–34

McKinlay AF and Diffey BL (1987): A reference spectrum for UV induced erythema in human skin. In: CIE Journal 6: 17–22.

Sandmann H, Stick C (2006): Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie solarer UV-Strahlung an Tagen mit durchbrochener Bewölkung. Abschlussbericht zum BfS-Forschungsvorhaben StSch 4289.

Schönwiese C (2008): Klimatologie. 3. Auflage. Stuttgart.

SSK (1996): Praktische Anwendung des UV Index. Stellungnahme mit Anhang: Unterrichtung der Bevölkerung über die gesundheitlichen Auswirkungen/Risiken der solaren UV-Strahlung.

Steinmetz M (1997): Continuous solar UV monitoring in Germany In: Photochem Photobiol B 41: 181–187.

Steinmetz M, Matthes R, Hofmann P, Brix G (2001): Erfassung und strahlenhygienische Bewertung der solaren UV-Exposition in Deutschland. In: Z.Med.Phys 11: 227–235.

WHO (1994): Environmental Health Criteria 160: Ultraviolet Radiation. World Health Organization. Geneva.

WHO (2002): Global Solar UV Index: A Practical Guide. A joint recommendation of the World Health Organization, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme, and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. World Health Organization. Geneva.

Kontakt

Dr. Manfred Steinmetz
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit
AG-SG 1.5 Optische Strahlung
85762 Oberschleißheim
E-Mail: msteinmetz[at]bfs.de

[BfS]