Zbl Arbeitsmed 2021 · 71:262–269
<https://doi.org/10.1007/s40664-021-00441-x>
Eingegangen: 23. April 2021
Überarbeitet: 13. Juli 2021
Angenommen: 16. Juli 2021
Online publiziert: 23. August 2021
© Der/die Autor(en) 2021

C. Strehl · M. Wittlich

Institut für Arbeitsschutz, DGVV, Sankt Augustin, Deutschland

Hautkrebs durch natürliche UV-Strahlung

Neue Metrik für die Expositionsermittlung und -bewertung

Nichtmelanozytärer Hautkrebs ist nicht nur in Deutschland die Krebserkrankung mit den größten Inzidenzen und Prävalenzen. Wesentlich verantwortlich dafür ist die solare UV-Strahlung, sowohl im Beruf als auch in der Freizeit. Wie gefährdet man bei unterschiedlichen beruflichen und freizeitlichen Aktivitäten ist, lässt sich nur mit tätigkeitsbezogenen Expositionsdaten bestimmen. Diese liegen nun durch systematische Messungen im Rahmen der GENESIS-Projekte in einheitlicher Metrik vor und ermöglichen so eine hochdifferenzierte Herangehensweise an epidemiologische Betrachtungen von Dosis-Wirkungs-Beziehungen. Dies erlaubt eine retrospektive Überprüfung von Kriterien der BK-Nr. 5103, aber auch die prospektive Modellierung anderer möglicher Zusammenhänge.

Seit jeher halten sich Menschen im Freien auf, sowohl im Beruf als auch in der Freizeit. Zahlreiche Beschäftigte im Freien, ob in der Bauwirtschaft, Landwirtschaft oder in anderen Bereichen, sind unweigerlich der ultravioletten (UV) Strahlung der Sonne ausgesetzt, oftmals ganztägig und -jährig. Die UV-Strahlung der Sonne und unser täglicher Umgang mit ihr hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einem immer zentraleren Thema herauskristallisiert. UV-Strahlung gehört zwar zu unserem täglichen Leben dazu, jedoch sind die mit einer zu hohen Exposition verbundenen gesundheitlichen Gefährdungen nachgewiesen und unstrittig.

UV-Strahlung ist ein gesichertes komplettes Humankanzerogen, das durch Tumorinduktion, -promotion und -progression gekennzeichnet ist, wie die Internationale Agentur für die Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer, IARC) schon 1992 veröffentlicht hat [32]. Hautkrebs durch UV-Strahlung hat sich zu einer Volkskrankheit entwickelt, welche die Gesundheit der Betroffenen und gleichermaßen die Sozialsysteme stark belastet. Der nichtmelanozytäre Hautkrebs (NMSC), der auch weißer Hautkrebs genannt wird, hat seinen Ursprung in der Epidermis und tritt hauptsächlich bei älteren Menschen auf. Beim weißen Hautkrebs wird zwischen verschiedenen Hautkrebstypen unterschieden, die zwar durch UV-Strahlung verursacht werden, dabei jedoch, so die Hypothese, unterschiedlichen Expositionsmustern unterliegen [2]. Das Basalzellkarzinom tritt etwa viermal so häufig auf wie das Plattenepithelkarzinom.

Das Basalzellkarzinom (BZK, auch Basaliom genannt) entsteht in der Basalzellschicht der Haut und den Wurzelscheiden der Haarfollikel. Es bildet praktisch keine Metastasen, kann aber in das umgebende Gewebe hineinwachsen und zudem Knochen und Knorpel befallen. Es stellt den weltweit häufigsten Hautkrebs in der Gruppe der Weißen zwischen 40 Jahren und 79 Jahren dar [10, 14, 20], verläuft aber selten lebensbedrohlich. Ursächlich ist wahrscheinlich in der Mehrzahl der Fälle eine hohe UV-Bestrahlung, aber auch Umwelt- und genetische Faktoren können die Entwicklung der Erkrankung begünsti-

gen. Personen mit roten oder blonden Haaren, heller Augenfarbe, schneller Erythembildung nach UV-Exposition, schlechtem Bräunungsvermögen und Sommersprossen zeigen eine erhöhte Inzidenz [1, 33]. Stark in der Diskussion um den eigentlichen Mechanismus zur Auslösung eines BZK ist das Expositionsmuster. Es verdichten sich die Hinweise, dass es gerade intermittierende Expositionen sind, die zu BZK führen [2]. Darunter können Freizeitexpositionen gehören, aber auch bestimmte Muster während beruflicher Tätigkeiten. Bauer et al. (2011; [4]) haben mittels Review die verfügbare Literatur untersucht. Der gepoolte Odds-Ratio (OR) für den Zusammenhang zwischen Arbeit im Freien und dem Risiko, an einem BZK zu erkranken, beträgt 1,43 (mit einem 95% Konfidenzintervall von 1,23 bis 1,66). Daraus kann geschlussfolgert werden, dass es einen Zusammenhang zwischen Arbeit im Freien und BZK-Risiko gibt, dieser ist jedoch bei anderen Entitäten höher und klarer. Demnach hat das BZK den Status der BK-Reife zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht erlangt.

Das Plattenepithelkarzinom (PEK, auch Spinaliom oder Stachelzellkarzinom genannt) mit dessen In-situ-Vorstufen, den aktinischen Keratosen (AK), ist der zweithäufigste bösartige Hauttumor. PEK entstehen im Wesentlichen in chronisch sonnenexponierten Arealen auf häufig deutlich lichtgeschädigter Haut und somit insbesondere im Gesicht oder auf dem Kopf. Bei PEK liegt ein relativ geringes Metastasierungsrisiko vor. Von den Geschlechtern sind Männer doppelt so häufig betroffen wie Frauen, zudem

treten 80 % der Fälle in einem Alter von mehr als 60 Jahren auf. Darüber hinaus gibt es weitere risikoerhöhende Faktoren [3, 19, 22]. Der Zusammenhang zwischen der Einwirkung solarer UV-Strahlung und der Entstehung von PEK ist hinreichend geklärt. Schmitt et al. (2011; [23]) haben mittels Review alle Studien korreliert, die Aussagen zum Zusammenhang zwischen UV-Strahlungsexposition und der Entstehung von PEK enthielten. Der gepoolte OR für den Zusammenhang zwischen Arbeit im Freien und dem Risiko, an einem PEK zu erkranken, beträgt 1,77 (mit einem 95 % Konfidenzintervall von 1,40 bis 2,22). Dementsprechend konnte ein deutlicher Zusammenhang gefunden werden. Die Modellierung der Dosis-Wirkungs-Beziehung, die im Rahmen des Forschungsprojektes FB181 erfolgte, zeigte für PEK eine deutliche Zunahme des Erkrankungsrisikos bei UV-Expositionen oberhalb der 40. Perzentile [25]. Die Modellkurve zeigte in diesem Bereich ein exponentielles Verhalten. Das PEK ist somit ein klassisches Beispiel für einen Tumor, der durch kumulative Sonnenexposition hervorgerufen wird. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem *UV-Lebenszeitkonto*. Bei BZK war ein signifikanter Zusammenhang zwischen Höhe der UV-Exposition und der Gesamtexposition nur im Vergleich zwischen sehr hoch (>90. Perzentile) und sehr gering Exponierten (<20. Perzentile) zu erkennen. Die Modellkurve zeigte hier einen Risikoanstieg bis zum Erreichen der Verdopplungsdosis. Ab diesem Punkt war kein weiterer Risikoanstieg zu beobachten [24].

Der Ärztliche Sachverständigenbeirat beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales (ÄSVB) hat die Beratungen zur Berufskrankheitenreife des NMSC durch Veröffentlichung der Wissenschaftlichen Begründung zur BK-Nr. 5103 „Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung“ [7] abgeschlossen. Zum 1. Januar 2015 trat dann die neue Berufskrankheit durch eine Änderung der Berufskrankheitenverordnung (BKV) in Kraft [8].

Grundlage für die Expositionsbeschreibung in der Wissenschaftlichen Be-

gründung sind die Studien des Bundesministeriums für Bildung und Forschung mit den Projekten BMBF-07UVB54B, BMBF-07UVB54C/3 sowie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) mit dem Projekt F1777, die den epidemiologischen Zusammenhang zwischen der Entstehung von PEK und einer erhöhten beruflichen Exposition belegen. Im Rahmen dieser personendosimetrischen Untersuchungen zur individuellen, fotobiologisch effektiven solaren UV-Exposition wurde lediglich grob orientierend nach Berufstätigkeit, Freizeit und Urlaub differenziert. Insbesondere bei der Betrachtung der Exposition im beruflichen Umfeld fehlt den Studien die notwendige Breite: Hier wurden lediglich 7 Berufsgruppen, unterteilt in eine vermutete hohe, mittlere und geringe Exposition, unterschieden. Parallel zur Einführung der Wissenschaftlichen Begründung und der Berufskrankheit Nr. 5103 wurden durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung nicht zuletzt aus diesem Grund die Multicenter-Forschungsprojekte FB170 und FB181 gefördert. In Letztgenanntes floss ein Projekt des IFA mit ein, in dem der Vergleich zwischen der auf Basis der beruflichen Anamnese berechneten Bestrahlung und der im gleichen Zeitraum gemessenen Bestrahlung angestellt wurde. Bei der statistischen Analyse ergab sich, dass es nur einen sehr schwachen, mit Blick auf den Korrelationskoeffizienten kaum nachweisbaren Zusammenhang zwischen berechneter und gemessener Bestrahlung gab. Der Zusammenhang war aber als Hypothese erwartet worden, da sich beide Formen der Erhebung auf denselben Sachverhalt bezogen haben.

In diesem Zusammenhang wurde deutlich, dass die bisher genutzten Referenzwerte für die berufliche und private Exposition, die in die Wissenschaftliche Begründung als Konvention eingeflossen sind, die Vielfalt der real gemessenen Expositionswerte nur unzureichend wiedergeben. Um eine nachvollziehbare Expositionsermittlung zu gewährleisten, sind demnach Kataster der versicherten und der nichtversicherten Exposition zwingend notwendig. Hinzu kommen noch technische Schwächen der Mess-

methode, auf der die bisherige Metrik in der Wissenschaftlichen Begründung basiert. Dies wird im Methodikteil weiter beschrieben.

Ziel der Forschungen des IFA war es daher, sowohl für die berufliche als auch für die nichtberufliche Exposition tätigkeitsbezogene Kataster aufzubauen, die in eine holistisch verwendbare UV-Metrik münden.

Methodik

Personendosimetrische Erfassung der UV-Exposition

Ein Blick in die Literatur zeigt, dass es bislang ein eher heterogenes Bild von UV-Strahlungsmessungen mit verschiedenen Messsystemen gibt. Die früher beispielsweise sehr häufig und großflächig eingesetzten Polysulfonfilm-Dosimeter (z. B. [6, 11, 12, 15, 16, 18]) werden bei aktuelleren Studien durch elektronische Geräte ersetzt. Dabei kommen sowohl am Handgelenk getragene uhrenähnliche Dosimeter zum Einsatz [29, 30] oder an der Brust oder anderen Körperstellen getragene elektronische Datenloggerdosimeter [9, 13], wie sie auch in dieser Arbeit verwendet werden. Relativ selten kommen Dosimeter mit biologisch aktiven Sporen zum Einsatz [26, 27]. Jede Messmethode hat gewisse Nachteile. Polysulfonfilm-Dosimeter, die Grundlage für die bisherige Metrik lieferten, lassen keine zeitliche Auflösung der Exposition zu, man erhält nur einen Gesamtwert über die Messzeit und ist darauf angewiesen, dass die Probanden das Dosimeter ausschließlich zum korrekten Zeitpunkt und auf die korrekte Weise tragen. Zudem ist der Polysulfonfilm gegenüber Strahlung mit Wellenlängen größer als 330 nm insensitive, das bedeutet, dass der UV-A-Bereich de facto nicht gemessen wird und im Rahmen einer Kalibration der Messmethode gegen das Sonnenspektrum extrapoliert werden muss. Ähnliches gilt für Dosimeter mit biologisch aktiven Sporen. Elektronische Dosimeter bieten die Möglichkeit zeitlicher Auflösung bei Messungen sowie durch die Verwendung eines Beschleunigungssensors auch die Möglichkeit zur Kontrolle des (richtigen) Tra-

Zbl Arbeitsmed 2021 · 71:262–269 <https://doi.org/10.1007/s40664-021-00441-x>
© Der/die Autor(en) 2021

C. Strehl · M. Wittlich

Hautkrebs durch natürliche UV-Strahlung. Neue Metrik für die Expositionsermittlung und -bewertung

Zusammenfassung

Hintergrund. Tätigkeitsbezogene Daten zur beruflichen und privaten UV-Exposition als Grundlage sowohl für die retrospektive Überprüfung von Kriterien der BK-Nr. 5103, aber auch die prospektive Modellierung anderer möglicher epidemiologischer Zusammenhänge, lagen bisher nur in unzureichender Form vor. Ziel der Arbeit war es, durch systematische Messungen der UV-Exposition in Beruf und Freizeit ein Expositions-kataster zu entwickeln, das als Grundlage zur Einführung einer neuen und wesentlich genaueren Metrik im Berufskrankheitenverfahren dienen soll.

Material und Methoden. Im Rahmen der GENESIS-UV-Messkampagnen wurde seit 2014 die UV-Exposition bei beruflichen Tätigkeiten

mittels eines Datenlogger-Dosimeters erfasst. Zur Vervollständigung der Datenlage wurde zudem seit 2019 die Messung der UV-Exposition auf den privaten Bereich ausgeweitet. An praktischen Rechenbeispielen zur retrospektiven Expositionsermittlung im Berufskrankheitenverfahren werden die Unterschiede zwischen alter und neuer Metrik herausgestellt.

Ergebnisse. Die deutlichen Vorteile der neuen Metrik zeigen sich insbesondere bei detailreicheren beruflichen Expositionen, wie wechselnden Arbeitsverhältnissen oder Teilzeiteexpositionen. Es wird deutlich, dass die bisher genutzte Metrik zum Teil nur unzurei-

chend das reale Spektrum der Exposition im beruflichen Bereich wiedergeben kann.

Diskussion. Es konnte gezeigt werden, dass die Anwendung der neuen Metrik im Berufskrankheitenverfahren eine weitaus differenziertere Bewertung der beruflichen Exposition zulässt und somit für die individuelle Expositionsermittlung wesentlich besser geeignet ist. Der Grund dafür ist in erster Linie die deutlich umfassendere Datenbasis der im Expositions-kataster vorliegenden Werte.

Schlüsselwörter

Personendosimetrie · berufsbedingte Exposition · Expositions-kataster · Metrik · Berufskrankheit

Skin cancer from natural UV radiation. New metric for determination and assessment of exposure

Abstract

Background. Activity-related data on occupational and private UV exposure as a basis for the retrospective review of criteria for the occupational disease No. 5103 and also the prospective modeling of other possible epidemiological relationships, have so far only been insufficiently available. The aim of this work was to develop an exposure register by systematic measurements of UV exposure in occupational and leisure time, which would serve as a basis for the introduction of a new and much more accurate metric, that can be applied in the occupational disease recognition process.

Material and methods. As part of the GENESIS UV measurement campaigns, UV exposure has

been recorded during occupational activities using a data logger dosimeter since 2014. To complete the data basis, the measurement of UV exposure has also been extended to the private sector since 2019. Practical calculation examples for retrospective exposure determination in the occupational disease recognition process are used to highlight the differences between the old and new metrics.

Results. The clear advantages of the new metric are particularly evident for more detailed occupational exposure scenarios, such as changing work conditions or part-time employment. It becomes clear that the previously used metric mostly inadequately

reflected the real spectrum of occupational exposure scenarios.

Conclusion. It could be shown that introduction of the new metric for the occupational disease recognition process allows a much more differentiated exposure assessment of occupational exposure and is thus more suitable for individual exposure assessment. The reason for this is primarily the significantly more extensive database of the underlying values.

Keywords

Personal dosimetry · Occupational exposure · Exposure register · Metric · Occupational disease

gens, sind dafür in der Anschaffung aber teuer.

Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Wahl der Studienpopulation. In bisherigen Studien mit Polysulfonfilm-Dosimetern konnten nur lokal begrenzt kleine Probandenkollektive gewonnen werden [18], wodurch die Bildung eines verlässlichen Referenzwertes erschwert ist. Hinzu kam der tätigkeitsbezogene Ansatz insbesondere während der Messungen der nichtversicherten Expositionen (Freizeitexpositionen), der so gewählt wurde, dass eine Abhängigkeit

von der Tagesgestaltung eines Probanden praktisch ausgeschlossen war.

Expositionsmessungen zum Katasteraufbau

Die Identifizierung der Unzulänglichkeiten bisheriger Studien und die daraus folgende Notwendigkeit des Generierens von detaillierten Daten zur UV-Exposition in Beruf und Freizeit als Erweiterung der bisher zur Verfügung stehenden Expositionsdaten führte zur Entwicklung des Messsystems GENESIS-UV. Dieses besteht aus insgesamt über 300 Mess-

einheiten, deren Herz elektronische Datenloggerdosimeter bilden. Die Verwendung elektronischer Dosimeter ermöglicht eine zeitaufgelöste Langzeitmessung der UV-Exposition. Zunächst wurde hier seit 2014 deutschlandweit die UV-Exposition bei beruflichen Tätigkeiten erfasst. **Abb. 1** zeigt eine der in diesem Rahmen untersuchten Tätigkeiten.

Die Expositionsdaten liegen aufgeschlüsselt nach Berufen vor (<https://genesisauswertung.ifa.dguv.de/>). Sie umfassen Messungen zu mehr als 250 Berufen und Subberufsgruppen sowie zu über 600 einzelnen Tätigkeiten. Hierzu

Abb. 1 ▲ Messung der solaren UV-Strahlung bei der Apfelernte

haben etwa 1000 Probanden beigetragen, die das Dosimeter jeweils arbeitstäglich über 7 Monate trugen. Insgesamt sind auf diese Weise über 3 Mrd. Datensätze gesammelt worden. Die Probanden wurden mit Unterstützung der Unfallversicherungsträger rekrutiert. Dazu wurden zunächst Berufe ausgewählt, die mit einer vermeintlich hohen UV-Exposition verbunden wurden. In diesem Feld wurden dann die möglichen Probanden bezüglich ihrer Bereitschaft zur Mitwirkung direkt angesprochen und angeworben. Die Messungen, die im Zeitraum von April bis Oktober ausschließlich während der täglichen Arbeitszeit stattfanden, wurden zudem mit einer Aufwandsentschädigung vergütet. Im Laufe der Messungen stellte sich heraus, dass neben der im Vorfeld identifizierten Berufsgruppen noch weitere Berufe in die Messungen einbezogen werden mussten, da die bislang vorherrschende Meinung und Einschätzung über die Höhe der Exposition einzelner Gruppen fehlerhaft war. Ein Ethikvotum war für diese Messungen nicht notwendig, da es sich hier nicht um unmittelbare Forschung am Menschen handelte.

Auf Basis dieser Messungen kann zukünftig anstelle des bisherigen Referenzwertes für die berufliche Exposition derjenige Wert treten, der dem Beruf der versicherten Person entspricht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den gewon-

nenen Messdaten bereits einige Informationen in Bezug auf die Exposition enthalten sind, die bis dato als einzelne Faktoren in die Wittlich'sche Formel eingeflossen sind. Eine Gewichtung des Referenzwertes mithilfe der Wittlich'schen Formel [17, 31] ist zukünftig in der Regel nur noch dann notwendig, wenn sich individuelle Faktoren wie Arbeitszeiten wesentlich vom Profil des Katasterwertes unterscheiden.

Berufe sind in Subberufsgruppen unterteilt und durch Tätigkeitsprofile definiert, die eine eindeutige Identifikation anhand der charakteristischen Tätigkeiten erlaubt. Diese charakteristischen Tätigkeiten können als Module gesehen werden, die beliebig zusammengefügt werden können, um eine berufliche Tätigkeit adäquat zu modellieren. Mit diesem Baukastenprinzip können für Berufe, die bisher nicht im Rahmen der Messungen erfasst wurden, Analogieschlüsse herbeigeführt werden.

Auf Basis des Zeitverwendungsnachweises des Statistischen Bundesamtes [28] kann ermittelt werden, welche Aktivitäten in der Bevölkerung ausgeführt werden und welchen durchschnittlichen zeitlichen Anteil sie im gesamten Tagesverlauf bilden. Im Rahmen des seit 2019 laufenden Projekts „GENESIS-UV: Nicht-versicherte Zeiten“ wird die UV-Exposition bei verschiedenen Freizeitaktivitäten erfasst. Dazu wurden die Tätigkeiten identifiziert, die in Verbindung mit solarer Exposition stehen. Dieses Kataster wird zum Jahresende 2021 verfügbar sein, kann aber schon mit vorläufigen Daten verwendet werden, beispielsweise um die jährliche Gesamtexposition des „Durchschnittsdeutschen“ zu modellieren.

Berechnung nach der Wittlich'schen Formel

Seit der Einführung der Berufskrankheit mit der Nummer 5103 wird zur Berechnung der versicherten (i. A. beruflichen) Exposition standardmäßig der Algorithmus nach der Wittlich'schen Formel verwendet. Damit wird sichergestellt, dass ein für alle Fälle gleiches Verfahren verwendet wird. Das zugrunde liegende mathematische Modell basiert auf der

Idee, von einer jährlichen Referenzbestrahlung H_b/a_{ref} durch individuell einstellbare Faktoren Zu- oder Abschläge zu generieren, die dann zu der Exposition führen, die der Versicherte wahrscheinlich akquiriert hat. Das Verfahren ist in der internationalen Literatur im Detail beschrieben [31] sowie mit verschiedenen Handlungshilfen nachvollziehbar [17].

Zur Ermittlung, ob eine angezeigte Hautkrebserkrankung tatsächlich auf eine erhöhte Exposition im beruflichen Bereich zurückzuführen ist, werden im BK-Verfahren retrospektiv die nichtversicherte sowie die versicherte UV-Exposition berechnet.

Die nichtversicherte Lebenszeitexposition berechnet sich üblicherweise als Produkt aus dem Lebensalter (zum Zeitpunkt der Erstdiagnose) und dem Referenzwert für die durchschnittliche jährliche private Exposition. Es findet keine individuelle Betrachtung der verschiedenen Freizeitaktivitäten statt, es erfolgt die Verwendung eines als Konvention eingesetzten Wertes für alle Versicherten.

Zur Berechnung der beruflichen Exposition H_b wird der jährliche Referenzwert H_b/a_{ref} mit der Wittlich'schen Formel gewichtet:

$$H_b/a = \Sigma f_{AS} \cdot f_b \cdot f_{TZ}$$

$$\begin{aligned} & \text{Zeitfaktoren} \\ & \cdot f_{\text{Lat}} \cdot f_{\text{Höhe}} \cdot f_{\text{Reflex}} \\ & \text{geographische Faktoren} \\ & \cdot f_{\text{Körp}} \cdot f_{\text{Schutz}} \cdot H_b/a_{\text{ref}} \\ & \text{persönliche Faktoren} \end{aligned}$$

Die Wittlich'sche Formel enthält verschiedene Faktoren über die die Informationen zu den individuellen beruflichen Voraussetzungen definiert und vereint werden. Die Faktoren lassen sich in 3 Gruppen einteilen:

— Zeitfaktoren

- Anzahl der geleisteten Arbeitsschichten f_{AS}
- Anteil der Arbeitszeit im Freien f_b
- Zeitraum der Arbeit im Freien f_{TZ}

— Geographische Faktoren

- Breitengradfaktor f_{Lat}
- Höhenfaktor $f_{\text{Höhe}}$
- Reflexionsfaktor f_{Reflex}

Tab. 1 Parameter zur Berechnung der Exposition auf Basis der in der BK-Nr. 5103 geregelten Grundsätze

	Alte Metrik	Neue Metrik (GENESIS-UV)
Referenz außerberufliche Jahresbestrahlung $H_{p,ref}$ [SED]	130	260 (Kataster möglich)
Außerberufliche Lebenszeitbestrahlung H_p [SED]	130 * Alter	260 * Alter
Minimaler beruflicher Anteil zur Anerkennung $H_{b,min}$ [SED]	0,4 * 130 * Alter	0,4 * 260 * Alter
Referenz berufliche Jahresbestrahlung H_b [SED]	300	Kataster
Skalierungsfaktor hoher Anteil Arbeit im Freien f_b	1,0	In Katasterwert enthalten
Skalierungsfaktor niedriger Anteil Arbeit im Freien f_b	0,05	In Katasterwert enthalten

— Persönliche Faktoren

- Körperstellenfaktor $f_{Körp}$
- Einflussfaktor von Schutzmaßnahmen f_{Schutz}

Wie bereits in der Wissenschaftlichen Begründung zur BK-Nr. 5103 nachzulesen ist, handelt es sich in diesem Fall um eine komparative Berufskrankheit: Expositionen in versicherten (i. A. beruflichen) und nichtversicherten (i. A. nichtberuflichen) Zeiten werden miteinander in Relation gesetzt. Daher kommt sowohl der nichtversicherten als auch der versicherten Seite eine entscheidende Bedeutung zu. Es muss beidseitig eine gleichmäßige, möglichst differenzierbare Metrik angewandt werden.

Voraussetzung für die Anerkennung einer beruflichen Verursachung einer Hautkrebserkrankung im Sinne der BK 5103 ist der Nachweis, dass die berufliche Exposition mindestens 40 % der privaten Lebenszeitexposition beträgt.

Berechnungen nach neuer Metrik

Die neue Metrik lässt sich in Berechnungsbeispielen mit der ursprünglichen Metrik direkt vergleichen. Grundlage der Berechnungen ist die prinzipielle Vorgehensweise in der Berechnung von Verdachtsfällen einer BK-Nr. 5103: Berechnung der nichtarbeitsbedingten Exposition (H_p), Bildung des minimal notwendigen Anteils zur Anerkennung ($H_{b,min}$; 40 % der nichtarbeitsbedingten Exposition) und Berechnung der tatsächlichen beruflichen Lebenszeitbestrahlung (H_b).

Dem zuvor beschriebenen Rechenmechanismus zur Expositionsermittlung wurden die in **Tab. 1** dargestellten Para-

meter eingebettet. Für die aktuell verwendete Metrik bedeutet dies, dass zunächst die Expositionsbedingungen genau geprüft und in den Zahlenwerten der Faktoren der Wittlich'schen Formel abgebildet werden müssen um den Referenzwert der beruflichen Exposition entsprechend der tatsächlichen Gegebenheiten zu skalieren. Für die neue Metrik kann der Referenzwert der Exposition aus dem Kataster der Messwerte entnommen werden.

Im ersten Schritt wurden Berechnungen für ein stetiges Arbeitsverhältnis durchgeführt. Stetig bedeutet in diesem Fall, dass die gesamte Dauer der Berufstätigkeit lediglich ein einziger Beruf ausgeübt worden ist.

Im zweiten Schritt liegt der Blick auf Personen, die sich in wechselnden Arbeitsverhältnissen mit mehreren beruflichen Episoden befanden oder teilzeitbeschäftigt sind. Dort kann es beispielsweise in den verschiedenen Episoden der beruflichen Tätigkeiten zu erheblich unterschiedlichen Expositionen kommen. Daher muss die Exposition jeweils einzeln und berufsspezifisch berechnet werden. Berufliche Werdegänge können ausschlaggebend für BK-relevante Expositionen sein.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen für ein stetiges Arbeitsverhältnis sind in **Tab. 2** dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die Expositionsermittlung mit Blick auf die Schlussfolgerungen nicht unterscheidet, wenn es um hohe und geringe Exposition handelt. Anders wird dies, wenn UV-Expositionen mittlerer Größenordnung (im Bereich um 150 SED jährlicher

Tab. 2 Expositionsermittlung für verschiedene Expositionsszenarien für ein stetiges Arbeitsverhältnis

Expositionsszenario	Faktoren zur Berechnung	Alte Metrik	Neue Metrik
Hohe Exposition (Maurer, 62 Jahre, 40 Jahre berufstätig)	H_p [SED]	8060	16.120
	$H_{b,min}$ [SED]	3224	6448
	$H_{b,ref}$ [SED]	300	504
	H_b/a [SED]	300	504
	H_b [SED]	12.000	20.160
Mittlere Exposition (Städtereiniger, 60 Jahre, 40 Jahre berufstätig)	H_b/H_p [%]	150	125
	Anerkennung	Ja	Ja
	H_p [SED]	7800	15.600
	$H_{b,min}$ [SED]	3120	6240
	$H_{b,ref}$ [SED]	300	138
Geringe Exposition (Berufskraftfahrer, 57 Jahre, 39 Jahre berufstätig)	H_b/a [SED]	150	138
	H_b [SED]	6000	5520
	H_b/H_p [%]	77	35
	Anerkennung	Ja	Nein
	H_p [SED]	7800	15.600
	$H_{b,min}$ [SED]	3120	6240
	$H_{b,ref}$ [SED]	300	168
	H_b/a [SED]	75	168
	H_b [SED]	3000	6720
	H_b/H_p [%]	38	43
	Anerkennung	Nein	Ja
	H_p [SED]	7410	14.820
	$H_{b,min}$ [SED]	2964	5928
	$H_{b,ref}$ [SED]	300	95
	H_b/a [SED]	15	95
	H_b [SED]	585	3705
	H_b/H_p [%]	8	25
	Anerkennung	Nein	Nein

beruflicher UV-Bestrahlung, z. B. Städtereiniger und Baggerführer in **Tab. 2**) betrachtet werden oder eine detailliertere Betrachtung der Expositionsbedingungen notwendig wird. Dort kann es zu unterschiedlichen Bewertungen kommen.

Beispielgebend seien des Weiteren die Forstwirte genannt. Nach bisher üblicher Metrik käme eine Anerkennung als Berufskrankheit, ähnlich wie beim Baggerführer, nicht in Betracht, wenn man die üblichen Expositionsannahmen berücksichtigt. In der neuen Metrik käme eine Anerkennung hingegen in Betracht, da die Exposition laut realer Messungen offensichtlich im Wald und den angrenzenden Gebieten höher ist als bislang angenommen. Es gibt auch Beispiele, in der

Tab. 3 Episodenberechnung am Beispiel der Fachkräfte für Abfallwirtschaft gemäß neuer Metrik

	Person A, 55 Jahre, Fachkraft für Abfallwirtschaft: 30 Jahre Fahrer und Lader, 5 Jahre Abfallwirtschaft	Person B, 55 Jahre, Fachkraft für Abfallwirtschaft: 25 Jahre Fahrer und Lader, 10 Jahre Abfallwirtschaft
H _p [SED]	14.300	14.300
H _{b,min} [SED]	5720	5720
H _b [SED] Episode Fahrer und Lader	4050	3375
H _b [SED] Episode Abfallwirtschaft	1403	2806
H _b gesamt	5403	6181
H _b /H _p [%]	38	43
Anerkennung	Nein	Ja

es sich in Bezug auf die Beurteilung einer möglichen Anerkennung gegenteilig verhält, wie z. B. bei Beschäftigten in der kommunalen Grünpflege, einer Subberufsgruppe der Gärtner oder beim Städtereiniger.

Ein Rechenbeispiel für eine Person mit wechselndem Arbeitsverhältnis zeigt **Tab. 3**. Dazu wurde das Beispiel der Fachkräfte für Abfallwirtschaft gewählt.

Zwei 55-jährige Personen wurden verglichen, deren beruflicher Werdegang sich nur darin unterscheidet, wie lange sie bei den einzelnen Subberufen tätig waren. Person A verbrachte 30 Jahre als Fahrer und Lader und wechselte dann noch für 5 Jahre auf den Wertstoffhof. Person B jedoch wechselt schon nach 25 Jahren. Im Ergebnis erkennt man, dass Person A nicht die Schwelle zur Anerkennung einer BK überschreitet, während Person B dies tut. Mit der alten Metrik wäre wegen fehlender Datenlage überhaupt keine verlässliche Bestimmung möglich, man bewegte sich deutlicher am Rande der Spekulation.

Diskussion

Die Einführung einer neuen Metrik zur retrospektiven Expositionsberechnung hat einen wesentlichen Einfluss auf zukünftige Expositionsbewertungen. Dabei beinhaltet der Begriff „neue Metrik“ die detaillierten Expositionsdaten zur beruflichen und privaten UV-Exposition, die im Rahmen der GENESIS-UV-Messkampagnen gewonnen werden konnten und in Zukunft als Expositions-kataster dienen werden. Somit ändern sich im Vergleich zur aktuell genutzten

Berechnungsmethode in erster Linie die Referenzwerte der privaten und beruflichen Exposition. Gleichzeitig liefern die Daten bereits detaillierte Informationen über individuelle Faktoren in den verschiedenen Berufszweigen. Daher kann in vielen Fällen auf die Erfassung individueller Faktoren ganz oder zum Teil verzichtet werden.

Anhand der obigen Beispiele konnte gezeigt werden, dass die Messdaten für berufliche und private Expositionen innerhalb der neuen Metrik plausible Werte liefern und somit ein verlässliches Fundament bilden. Zudem wurde die Anwendbarkeit im BK-Verfahren belegt, indem Rechenbeispiele durchgeführt wurden, die gerade bei recht grober Betrachtung Übereinstimmung mit der alten Metrik zeigen. Das zeigt, dass die neue Metrik die alte ansatzlos ersetzen kann.

Die deutlichen Vorteile der neuen Metrik zeigen sich insbesondere bei detailreicheren beruflichen Expositionen, wie wechselnden Arbeitsverhältnissen oder Teilzeitexpositionen, wie sie im realen Berufsleben wesentlich häufiger vorkommen. Die neue Metrik lässt in diesen Fällen eine wesentlich differenziertere Bewertung zu und ist somit für die individuelle Expositionsermittlung wesentlich besser geeignet. Für die praktische Anwendbarkeit im Berufskrankheitenverfahren ergeben sich deutliche Vereinfachungen, Verbesserungen und eine erhebliche Steigerung der Verfahrensgerechtigkeit, sowohl für die diagnostizierenden Ärzte bei der Einschätzung und Beurteilung der gefährdenden Tätigkeit, als auch bei der dann folgenden Berechnung durch den Technischen Dienst der Unfallver-

sicherungsträger. Die im Rahmen der GENESIS-UV-Messungen erfassten Expositionsdaten enthalten schon viele der wesentlichen Einflussfaktoren der Exposition, die üblicherweise für die Wittlich'sche Formel mühsam für jeden einzelnen Tätigkeitsabschnitt ermittelt werden müssen. Die Erfahrung zeigt, dass dies bei der Bearbeitung häufig zu Unklarheiten, Lücken und Unstimmigkeiten führt, die letztendlich in eine fehlerhafte Bewertung münden können. Somit wird in Zukunft nur noch ein Teil der Faktoren der Wittlich'schen Formel berücksichtigt werden müssen, z. B. bei beruflichen Auslandsaufenthalten, Teilzeittätigkeiten oder dem Einsatz von Schutzmaßnahmen. Da zu den Bestrahlungswerten für einen Beruf mehrere Probanden beigetragen haben, deren Tätigkeits- und somit Expositionsprofile sich voneinander unterscheiden können, ist in den Messwerten bereits eine natürliche Streuung enthalten. Schon die Messdaten selbst sind in der neuen Metrik deutlich verlässlicher, da sie das Verhalten der Probanden zum Teil nachvollziehbar machen sowie auf technisch deutlich ausgereifteren Geräten zeitaufgelöst gemessen wurden. Zudem tragen zu den Mittelwerten der einzelnen Berufs- und Subberufsgruppen deutlich mehr Messwerte bei, die zur statistischen Sicherheit beitragen. Da in der neuen Metrik für jede halbe Stunde eines Tages Werte vorhanden sind, ist eine genaue und ebenso differenzierte Berechnung der Exposition möglich.

Es wird deutlich, dass die bisher genutzte Metrik mit „einem Referenzwert für alle“ zum Teil nur unzureichend das reale Spektrum der Exposition im beruflichen Bereich wiedergeben kann, wie am Beispiel der Forstwirte erläutert. Jedoch sind auch dieser neuen Metrik Grenzen gesetzt. Nicht jeder Beruf oder jede Subberufsgruppe ist bis auf die Ebene der einzelnen Tätigkeiten differenzierbar, daher bestehen hier Möglichkeiten der Weiterentwicklung und Vervollständigung.

Eine vollständige Metrik auf rückführbare Grundsätze (Wirtschaftsverzeichnisse, Statistisches Bundesamt) ist für weitreichende Betrachtungen, die Auswirkungen auf rechtliche Sachverhalte wie Berufskrankheiten hat, von

großer Bedeutung. Sie schafft nicht nur ein wissenschaftliches Fundament, sondern auch Rechtssicherheit bei der Bemessung von Expositionen in späteren Berechnungen zur Prüfung der Anerkennungsfähigkeit.

So erlaubt sie zum einen die Bildung eines gruppentypischen Mittelwerts (z. B. Abstufung des Freizeitverhaltens in unterdurchschnittlich, durchschnittlich und überdurchschnittlich), aber auch die individuelle Berechnung der Exposition, indem die Messwerte aus GENESIS-UV z. B. mit Zeitangaben kombiniert und gewichtet werden.

Ausblick

Der Verordnungsgeber hat in der Wissenschaftlichen Begründung zur BK-Nr. 5103 explizit beschrieben, dass die Studienlage zur beruflichen Verursachung von BZK durch UV-Strahlung weniger eindeutig ist, als dies bei PEK und aktinischen Keratosen der Fall ist. Das BZK zeigt zwar die generelle Geeignetheit, jedoch ist der Zusammenhang zwischen Expositionsmuster und Dosis als solcher noch nicht zweifelsfrei erwiesen. Aus diesem Grund ist das BZK bisher noch nicht zur Anerkennung als Berufskrankheit empfohlen.

Mögliche Ursachen sind im vermuteten Expositionsmuster zu suchen, weiterhin gibt es Hinweise, dass es gerade die Hochexponierten sind, die BZK durch UV-Strahlung entwickeln [5]. An der generellen Eignung gibt es kaum Zweifel, daher ist der Fokus auf die Expositionsmetrik wichtig. Mit den in dieser Arbeit vorgestellten Katastern ist sowohl eine extrem detaillierte Beschreibung von Expositionen möglich, zudem eine auf die gesamte Lebenszeit anwendbare uniforme Metrik geschaffen worden. Diese kann in Berechnungen zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen unter Zugrundlegung medizinisch validierter Modelle die Expositionssachse verlässlich darstellen. Da die Messdaten zeitlich hochaufgelöst vorliegen, lassen sich auch Kriterien für intermittierende bzw. kumulierte Expositionen finden und anwenden.

Eine Anpassung aktueller Studien auf diese neue Metrik ist empfehlenswert und wird auch schon international vorange-

trieben, wie z. B. bei Studien im Rahmen des EU-geförderten Projekts EPHOR (<https://www.ephor-project.eu/>) oder den WHO/ILO Joint Estimates [21].

Unabhängig davon lassen sich anhand der Expositionswerte aus Beruf und Freizeit Erkenntnisse gewinnen, die einen wichtigen Beitrag in der Prävention, zur frühzeitigen und langfristigen Vermeidung von Hautschäden bilden. Durch die tätigkeitsspezifischen Messungen konnten neue Erkenntnisse in Bezug auf besonders exponierte Berufszweige, aber auch Tätigkeiten mit besonders hoher UV-Exposition gewonnen werden. Diese Erkenntnisse können sinnvoll z. B. zur Umsetzung von technischen und organisatorischen Maßnahmen genutzt werden.

Fazit

- Expositionskataster erlauben die Identifikation gefährdender Tätigkeiten.
- Die gesamte Lebenszeitexposition mit GENESIS-UV-Katastern ist auch individuell bestimmbar.
- Eine Episodenberechnung ist einfach möglich.
- Eine Teilzeitbeschäftigung ist präzise darstellbar.
- Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind umfassend modellierbar.
- Eine Grundlage für holistische Präventionsarbeit ist vorhanden.

Korrespondenzadresse

C. Strehl, M.Sc.
Institut für Arbeitsschutz,
DGUV
Alte Heerstraße 111,
53757 Sankt Augustin,
Deutschland
claudine.strehl@dguv.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Strehl und M. Wittlich geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Ein Ethikvotum war für die dargelegten Messungen nicht notwendig, da es sich hier nicht um unmittelbare

Forschung am Menschen handelte. Für aufgeführte Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Armstrong BK, Kricger A (1995) Skin cancer. *Dermatol Clin* 13(3):583–594
2. Armstrong BK, Kricger A (2001) The epidemiology of UV-induced skin cancer. *J Photochem Photobiol B* 63(1–3):8–18
3. Aubry F, MacGibbon B (1985) Risk factors of squamous cell carcinoma of the skin. A case-control study in the Montreal region. *Cancer* 55(4):907–911
4. Bauer A, Diepgen TL, Schmitt J (2011) Is occupational solar ultraviolet irradiation a relevant risk factor for basal cell carcinoma? A systematic review and meta-analysis of the epidemiological literature. *Br J Dermatol* 165(3):612–625
5. Bauer A, Haufe E, Heinrich L et al (2020) Basal cell carcinoma risk and solar UV exposure in occupationally relevant anatomic sites: Do histological subtype, tumor localization and Fitzpatrick phototype play a role? A population-based case-control study. *J Occup Med Toxicol* 10(15):28
6. Bolsée D, Webb AR, Gillotay D et al (2000) Laboratory facilities and recommendations for the characterization of biological ultraviolet dosimeters. *Appl Opt* 39(16):2813–2822
7. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2013) Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung“. Gemeinsames Ministerialblatt, 12.08.2013, S 671–693
8. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2014) Dritte Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung. *Bundesgesetzblatt I*, 22.12.2014, Bd. 62, S 2397
9. Cockell CS, Scherer K, Horneck G et al (2001) Exposure of arctic field scientists to ultraviolet radiation evaluated using personal dosimeters. *Photochem Photobiol* 74(4):570–578
10. Diepgen TL, Mahler V (2002) The epidemiology of skin cancer. *Br J Dermatol* 146(Suppl 61):1–6

11. Diffey B, Oliver RJ, Farr PM (1984) A portable instrument for quantifying erythema induced by ultraviolet radiation. *Br J Dermatol* 111(6):663–672
12. Diffey BL (1989) Ultraviolet radiation dosimetry with polysulphone film. In: Diffey BL (Hrsg) *Radiation measurement in photobiology*. Academic Press, London, S 135–159
13. Duncan DD, Schneider W, West KJ et al (1995) The development of personal dosimeters for use in the visible and ultraviolet wavelengths regions. The Salisbury Eye Evaluation Team. *Photochem Photobiol* 62(1):94–100
14. Fears TR, Scotto J, Schneidermann MA (1977) Mathematical models of age and ultraviolet effects on the incidence of skin cancer among whites in the United States. *Am J Epidemiol* 105(5):420–427
15. Herlihy E, Gies PH, Roy CR et al (1994) Personal dosimetry of solar UV radiation for different outdoor activities. *Photochem Photobiol* 60(3):288–294
16. Holman CD, Gibson IM, Stephenson M et al (1983) Ultraviolet irradiation of human body sites in relation to occupation and outdoor activity: field studies using personal UVR dosimeters. *Clin Exp Dermatol* 8(3):269–277
17. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (2018) Technische Information zur Ermittlung in Berufskrankheiten(BK-)fällen vor dem Hintergrund der neuen Berufskrankheit mit der BK-Nr. 5103 „Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung“. https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/strahl/pdf/bk_natuerliche_strahlung.pdf. Zugegriffen: 04.2021
18. Knuschke P, Unverricht I, Ott G et al (2007) Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. BAUA, Dortmund
19. Madan V, Lear JT, Szeimies RM (2010) Non-melanoma skin cancer. *Lancet* 375(9715):673–685
20. Miller SJ (1995) Etiology and pathogenesis of basal cell carcinoma. *Clin Dermatol* 13(6):527–536
21. Paulo MS, Adam B, Akagwu C et al (2019) WHO/ILO work-related burden of disease and injury: protocol for systematic reviews of occupational exposure to solar ultraviolet radiation and of the effect of occupational exposure to solar ultraviolet radiation on melanoma and non-melanoma skin cancer. *Environ Int* 126:804–815
22. Perea-Milla López E, Miñarro-Del Moral RM, Martínez-García C et al (2003) Lifestyles, environmental and phenotypic factors associated with lip cancer: a case-control study in southern Spain. *Br J Cancer* 88(11):1702–1707
23. Schmitt J, Seidler A, Diepgen TL et al (2011) Occupational ultraviolet light exposure increases the risk for the development of cutaneous squamous cell carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Br J Dermatol* 164(2):291–307
24. Schmitt J, Haufe E, Trautmann F et al (2018a) Occupational UV-exposure is a major risk factor for basal cell carcinoma: results of the population-based case-control study FB-181. *J Occup Environ Med* 60(1):36–43
25. Schmitt J, Haufe E, Trautmann F et al (2018) Is ultraviolet exposure acquired at work the most important risk factor for cutaneous squamous cell carcinoma? Results of the population-based case-control study FB-181. *Br J Dermatol* 178(2):462–472
26. Serrano MA, Cañada J, Moreno JC et al (2009) Erythematous ultraviolet exposure in two groups of outdoor workers in Valencia, Spain. *Photochem Photobiol* 85(6):1468–1473
27. Serrano MA, Cañada J, Moreno JC et al (2014) Occupational UV exposure of environmental agents in Valencia, Spain. *Photochem Photobiol* 90(4):911–918
28. Statistisches Bundesamt (2015) *Zeitverwendungserhebung – Aktivitäten in Stunden und Minuten für ausgewählte Personengruppen 2012/2013*
29. Thieden E, Agren MS, Wulf HC (2000) The wrist is a reliable body site for personal dosimetry of ultraviolet radiation. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 16(2):57–61
30. Thieden E, Agren MS, Wulf HC (2001) Solar UVR exposures of indoor workers in a working and a holiday period assessed by personal dosimeters and sun exposure diaries. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 17(6):249–255
31. Wittlich M, Westerhausen S, Kleinespel P et al (2016) An approximation of occupational lifetime UVR exposure: algorithm for retrospective assessment and current measurements. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 30(Suppl 3):27–33
32. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer (1992) *Solar and ultraviolet radiation*. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Bd. 55, S228
33. Zanetti R, Rosso S, Martinez C et al (1996) The multicentre south European study ‘Helios’. I: Skin characteristics and sunburns in basal cell and squamous cell carcinomas of the skin. *Br J Cancer* 73(11):1440–1446