

RISKOFDERM – Europas Beschäftigte sollen nicht länger ihre Haut zu Markte tragen

J. Auffarth, J. van Hemmen, R. Hebisch, E. Lechtenberg-Auffarth, J. Marquart, R. Oppl, B. Rajan, H. Wriedt

1 Hautbelastungen – eine Herausforderung für den Arbeitsschutz

Viele Beschäftigte tragen mit ihrer Arbeitskraft auch ihre Haut zu Markte. Gut ein Viertel der etwa 77 000 jährlichen Verdachtsanzeigen einer Berufskrankheit in unserem Lande beziehen sich auf die Haut. In Großbritannien leiden ca. 60 000 Menschen an beruflich bedingten Hauterkrankungen, gleichbedeutend mit einem Verlust von 600 000 Arbeitstagen pro Jahr.

Die Einwirkung chemischer Stoffe lässt sich oft unmittelbar an der Haut erkennen. Lokal können schwache Reizungen bis hin zu schwerwiegenden Defekten auftreten, die jede berufliche Tätigkeit unmöglich machen und ein soziales Leben sehr einschränken. Viele Stoffe können darüber hinaus durch die Haut in den Körper gelangen (vgl. Markierung „H“, hautresorptiv) und akute und chronische systemische Wirkungen in den Zielorganen auslösen.

Unzweifelhaft stehen wir vor der Notwendigkeit, Risiken durch dermale Belastungen zu begrenzen. Die Risikobewertung ist verpflichtender Bestandteil der einschlägigen europäischen Richtlinien und Verordnungen zu Pflanzenschutzmitteln [1], zu alten und neuen Stoffen [2 bis 4] und zu Biozid-Produkten [5]. Auch an Arbeitsplätzen muss die Gefährdungsbeurteilung dermale Risiken einbeziehen. Das fordert die EG-Richtlinie 98/24/EG zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit [6] – die Vorlage für den jüngsten Entwurf für die neue Gefahrstoffverordnung.

Aber sind wir überhaupt in der Lage, dermale Risiken zu ermitteln und angemessen zu beurteilen?

Leider sind qualitative und quantitative Informationen über dermale Expositionen nur spärlich vorhanden, außer vielleicht bei der beruflichen Belastung durch Pflanzenschutzmittel. Sobald Stoffe in der Arbeitsumgebung auf mehreren Wegen in den Körper gelangen können, reichen Luftmessungen allein nicht aus, um die gesundheitlichen Risiken zu beurteilen. Mit abnehmender Luftbelastung nimmt der Aufnahmeweg durch die Haut an Bedeutung zu. Für die Messung und Beurteilung inhalativer Belastungen steht zwar mittlerweile ein fortgeschrittenes wissenschaftliches, mess- und regelungstechnisches Instrumentarium zur Verfügung, jedoch stellt sich die Situation bei dermalen Belastungen weitgehend defizitär dar. Im Juni 1994 haben Experten aus ganz Europa in einer zweitägigen Bestandsaufnahme die

Zusammenfassung Die Verminderung von Hautbelastungen ist eine große Herausforderung für den Arbeitsschutz. Im Rahmen des europäischen RISKOFDERM-Projektes haben 15 Institute in zehn Ländern Informationen und Messdaten zur dermalen Exposition bei verschiedenen Tätigkeiten erhoben. Erste Auswertungen liegen vor. Auf der Grundlage der gesammelten Daten werden ein Vorhersagemodell zur Abschätzung der dermalen Exposition sowie ein praxisnahes Verfahren für die dermale Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz, vorzugsweise in Klein- und Mittelbetrieben (KMU), entwickelt. Das Vorhersagemodell soll bei der Risikobewertung von Stoffen Verwendung finden. Es basiert auf der statistischen Analyse relevanter Einflussfaktoren, seine Aussagekraft wird derzeit in einer Benchmark-Studie überprüft. Für die praktische Gefährdungsbeurteilung wird ein Risiko-Rechner Haut entwickelt, dessen Programm die am Arbeitsplatz verfügbaren und eingegebenen Informationen in eine Entscheidungshilfe über die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen umsetzt.

The RISKOFDERM project

Abstract Reducing dermal exposure to chemicals is a challenging task for occupational safety and health. In the European RISKOFDERM project 15 institutes in ten member states gather dermal exposure information and measurement data in relation to various tasks. First results are available. Based on this information i) a predictive model for estimating dermal exposure for use in generic risk assessment for chemicals and ii) a practical dermal exposure risk assessment and management toolkit for use by small and medium-sized enterprises (SMEs) in actual workplace situations are developed. The model built so far is a statistical model relating dermal exposure levels to relevant potential determinants. A benchmark study is now being done for testing the outcome of the model. The calculation programme contained in the risk assessment and management toolkit makes use of the information which is available at the workplace. It yields practical advice whether measures are necessary or not, and which timeframe should be followed.

Schwerpunkte des Forschungs- und Entwicklungsbedarfs ausgemacht [7]. Systemische Wirkungen standen ganz im Vordergrund. Als Themenfelder wurden identifiziert: Risikobewertung, Biologisches Monitoring, Hautpenetration, Haut- und Oberflächenkontamination sowie Quellen. Im Rahmen des europäischen Dermal Exposure Network (1996 bis 1999) diskutierten Wissenschaftler aus Universitäten, Behörden und Industrie geeignete Lösungsansätze [8]. Ergebnis war u. a. ein Projekt, das von der Europäischen Kommission im 5. Forschungsrahmenprogramm [9] sowie von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) gefördert wird.

Das Projekt Risk Assessment for Occupational Dermal Exposure to Chemicals (RISKOFDERM) vereint 15 Institute in zehn Ländern (Tabelle 1). Es wird nach vierjähriger Laufzeit Anfang 2004 beendet sein und verfolgt zwei wesentliche Ziele:

- Die Entwicklung von validierten Vorhersagemodellen zur Abschätzung der dermalen Exposition. Sie werden für die stoffbezogene Risikobewertung von Chemikalien (z. B. Altstoffe, neue Stoffe) benötigt.

Dr. rer. nat. Jürgen Auffarth, Dr. rer. nat. Ralph Hebisch,
Dr. rer. nat. Eva Lechtenberg-Auffarth,
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – BAuA, Dortmund.
Dr. Joop J. van Hemmen, Ir. Johannes Marquart,
TNO Chemistry, Zeist, Niederlande.
Reinhard Oppl,
Eurofins Danmark, Hamburg.
Dr. Bob Rajan-Sithamparanadarajah,
Central Specialists Division, Health and Safety Executive, Bootle, Großbritannien.
Dr. rer. nat. Henning Wriedt,
Beratungs- und Informationsstelle Arbeit & Gesundheit, Hamburg.

Tabelle 1 | RISKOFDERM-Projekt: Teilnehmer und bearbeitete Projektteile.

Name des Instituts	Bearbeitete Projektteile
TNO Nutrition and Food Research Institute, Zeist, Niederlande, Projekt-Koordinator, Leitung Projektteil 3	1 bis 4
Finnish Institute of Occupational Health (FIOH), Kuopio, Finnland	1 bis 3
Health and Safety Executive/Laboratories (HSE/HSL) Bootle/Sheffield, Großbritannien, Leitung Projektteil 2	1 bis 4
Institute of Occupational Medicine (IOM), Edinburgh, Großbritannien	2
Institute of Risk Assessment Sciences, Utrecht University, Utrecht, Niederlande	1 und 2
National Institute for Working Life, Umea, Schweden	1 und 2
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, Deutschland, Leitung Projektteil 1	1
Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Nancy, Frankreich	1
Instituto Nacional de Saude Dr. Ricardo Jorge, Lissabon, Portugal	1
Occupational Medicine, Turin University, Turin, Italien	1
Eurofins Danmark A/S, Galten (früher Miljö-Chemie, Hamburg, Deutschland), Leitung Projektteil 4	4
Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe (FoBiG), Freiburg, Deutschland	4
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien, Österreich	4
Bau-Berufsgenossenschaft Frankfurt am Main, Deutschland	4
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Sevilla, Spanien	1, 2 und 4

Tabelle 2 | In Teil 1 des RISKOFDERM-Projektes untersuchte Tätigkeitsklassen und Tätigkeiten (qualitative Erhebungen).

Tätigkeitsklasse (DEO unit)	Untersuchte Tätigkeiten (Szenarien)
1. Handhaben von Gegenständen, die Substanzen enthalten oder denen Substanzen anhaften	• Transport/Transfer von Stoffen • Mischen, Verdünnen • Einfüllen/Umfüllen von Stoffen
2. Manuelles Ausbringen von Substanzen	• Wischen
3. Ausbringen von Substanzen von Hand mit einem Werkzeug	• Kleben, Verschäumen • Streichen (zur Beschichtung)
4. Versprühen von Substanzen	• Sprühen (zur Beschichtung)
5. Eintauchen in Substanzen	• Eintauchen oder Baden
6. Mechanisches Bearbeiten fester Gegenstände	• Sägen • Maschinenarbeit (Drehen, Bohren, Fräsen,...)

● Die Entwicklung eines brauchbaren Hilfsmittels (toolkit), das insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in die Lage versetzt, im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung vor Ort dermale Risiken an ihren Arbeitsplätzen zu erkennen und damit umzugehen.

Vier miteinander verknüpfte Teilprojekte sollen dies ermöglichen:

1. Qualitative Erhebungen unterschiedlicher dermaler Expositionssituationen,
2. Quantitative Bestimmungen der dermalen Exposition bei ausgewählten Tätigkeiten, und auf beiden basierend
3. Modellentwicklung für die Expositionsabschätzung von Einzelstoffen und
4. Risiko-Rechner Haut für die Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz.

Die folgenden Abschnitte geben eine Übersicht über die vier Teilprojekte von RISKOFDERM und die bisher erzielten Fortschritte.

2 Tätigkeiten mit dermaler Exposition: qualitative Erhebung

Im Teilprojekt 1 haben Arbeitsschutzexperten aus zehn Instituten (Tabelle 1) in ihren Ländern die verschiedenartigen Arbeitsplätze aufgesucht und alle Faktoren festgehalten, die Einfluss auf Art und Ausmaß der dermalen Exposition von Beschäftigten gegenüber chemischen Stoffen haben können. Gemeinsame Ausgangsbasis war die Hypothese, dass die dermale Belastung in erster Linie von der verrichteten Tätigkeit abhängig ist.

Methodisch führte das bereits zu einigen Herausforderungen:

- Was genau ist mit „Tätigkeit“ gemeint?
- Bei welcher der manchmal vielfältigen Tätigkeiten im Verlaufe einer Schicht sollte die dermale Exposition beobachtet werden?
- Wie sollten Beobachtungen angestellt und dokumentiert werden, damit die Ergebnisse später gemeinsam interpretiert werden können?

In intensiver Diskussion mussten die Bearbeiter von RISKOFDERM einige Begriffe neu definieren und entsprechende Vereinbarungen treffen. Für die Erhebungen sollten nur solche Tätigkeiten ausgewählt werden, die zu messbaren Hautbelastungen führen, deren Anfang und Ende eindeutig feststellbar ist, die ganz allgemein in verschiedenen Branchen und Gewerken vorkommen und für die eine Modellbildung sinnvoll ist. Es wurden sechs universelle Tätigkeitsklassen gefunden, sog. Dermal Exposure Operation units oder DEO units, denen sich sämtliche Tätigkeiten (scenarios) zuordnen lassen, bei denen dermale Belastungen auftreten können. In **Tabelle 2** sind die sechs DEO units und die von den Teilnehmern ausgewählten Tätigkeiten aufgeführt.

Bei ähnlichen Szenarien können in verschiedenen Branchen Unterschiede auftreten, die für die dermale Belastung von Bedeutung sind. Im Einzelnen dokumentiert werden solche Unterschiede durch die zusätzliche Angabe der einzelnen Arbeitsschritte (activities), aus denen sich die Tätigkeit zusammensetzt.

Bei den Erhebungen wurde eine möglichst große Variationsbreite der Einflussfaktoren angestrebt und eine Vielzahl unterschiedlicher Branchen und Arbeitsplätze besucht. Jedes am ersten Projektteil beteiligte Institut führte 100 Beobachtungen durch, davon 70 in einem selbst gewählten Szenario und jeweils 15 in Szenarien zweier anderer Institute. So wurde jedes Szenario von drei Instituten und in drei Ländern untersucht. Mit insgesamt zehn verschiedenen Szenarien war es möglich, alle DEO units abzudecken (Tabelle 2).

Grundlage der Erhebungen vor Ort war ein einheitlicher Fragebogen [10], der systematisch die vermuteten Einflussfaktoren abhandelt: Betrieb und Beschäftigte, Arbeitsplatz und Arbeitsorganisation, Tätigkeit, Schutzmaßnahmen, Hautschutz, eingesetzte Stoffe und Zubereitungen, Hautkontakt und Ausmaß der Kontamination sowie Reinigungsverhalten der Beschäftigten. Ein Handbuch erläutert im Einzelnen, welche Eintragungen erlaubt sind – überwiegend nach dem Multiple-choice-System. Weitgehender Verzicht auf Freitext sollte die weitere Verarbeitung der durch Beobachtung und Befragung gewonnenen Informationen erleichtern.

Vom Frühjahr 2001 bis zum Frühjahr 2002 wurden rund 1 000 Arbeitssituationen beobachtet, überwiegend in kleinen und mittelgroßen Betrieben. Mehr als 90 % der betroffenen Beschäftigten gehörten der Stammbeslegschaft an und knapp drei Viertel waren für ihre Tätigkeit ausgebildet oder angelernt. Neben Flüssigkeiten (80 %) kamen Pulver und Granulate zum Einsatz. Bei mechanischer Bearbeitung traten auch Belastungen durch Kühlschmierstoffe auf.

Die Erhebungen zu diesem ersten Teilprojekt sind abgeschlossen, ein umfassender englischsprachiger Bericht mit ersten Auswertungen der umfangreichen Access-Datenbank wurde der EU-Kommission vorgelegt [11]. Aus der Fülle des Materials seien hier einige Aussagen zur dermalen Exposition sowie zur Arbeitshygiene und den getroffenen Schutzmaßnahmen angeführt. Die Rede ist im Folgenden jeweils von der potenziellen dermalen Exposition, die auf der Arbeitskleidung und der persönlichen Schutzausrüstung befindliche Stoffe einschließt.

Vorrangig kommen Beschäftigte dadurch mit Stoffen in Kontakt, dass sie kontaminierte Gegenstände handhaben oder kontaminierte Oberflächen unbeabsichtigt berühren. Dies war durchgängig in allen Szenarien in etwa drei Viertel der Fälle zu beobachten. Andere Arten des Kontaktes – Transfer, Spritzer, Aerosolablagerungen oder Eintauchen – treten demgegenüber deutlich zurück und sind stark abhängig vom jeweiligen Szenario.

40 % der Beschäftigten berichteten, dass sie selten oder gelegentlich Kontakt mit Stoffen haben, ebenfalls 40 % häufig und knapp 20 % ständig. Insbesondere im Hinblick auf gelegentlichen und ständigen Hautkontakt gab es deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Szenarien.

Der Kontaminationsgrad wurde für die verschiedenen Körperteile – Hände, Arme, Kopf, Vorder- und Rückseite des Rumpfes und Beine – separat ermittelt. Dabei zeigte sich, dass in erster Linie die Hände belastet sind. Die mittlere Kontamination von Armen, Beinen oder der Vorderseite des Rumpfes lag jeweils bei etwa einem Sechstel derjenigen der Hände (**Bild 1**). Die Kontamination der Hände war vergleichsweise beim Wischen am höchsten. Alle anderen Körperbereiche wiesen beim Sprühen die höchsten mittleren Kontaminationsgrade auf (**Bild 2**).

Im Durchschnitt aller beobachteten Arbeitsplätze lag die Tragehäufigkeit von Schutzhandschuhen bei weniger als 60 %. Selbst bei besonders belastenden Tätigkeiten wie Wischen und Versprühen wurden oft keine Handschuhe getragen. Eine Empfehlung zum Tragen von Schutzhandschuhen lag in 55 % der Fälle vor. An diesen Arbeitsplätzen wurden deutlich häufiger Handschuhe benutzt – bei einer allgemein gehaltenen Empfehlung von 78 %, auf eine spezifische Empfehlung hin von 85 % der Beschäftigten. Überwiegend (zu 70 %) wurden die spezifischen Empfehlungen auch richtig

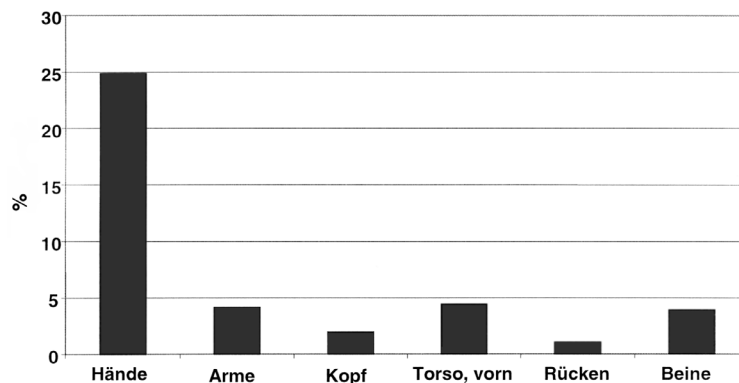


Bild 1 Mittlerer Kontaminationsgrad verschiedener Körperteile, alle Szenarien.

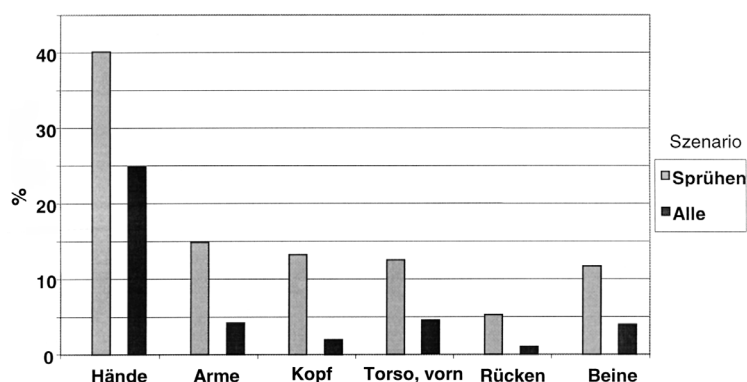


Bild 2 Mittlerer Kontaminationsgrad verschiedener Körperteile, Sprühen vs. alle Szenarien.

befolgt. Wenn Schutzhandschuhe benutzt wurden, dann wurden sie in drei Viertel der Fälle durchgängig während der beobachteten Tätigkeit getragen. Ein Viertel der Beschäftigten gab an, die Handschuhe jeweils nach Beendigung der Tätigkeit oder mehrmals täglich zu wechseln, 15 % wechselten sie täglich, ein Viertel wöchentlich und das restliche Drittel noch seltener.

Ein Drittel der Beschäftigten verwendet am Arbeitsplatz gelegentlich oder regelmäßig Hautpflegecremes. Etwa gleich groß ist der Anteil der Befragten, die solche Cremes auch privat anwenden. Betriebliche Hautschutzprogramme (in 10 % der Betriebe vorgefunden) verdoppeln die Zahlen. Auch ist der Anteil der Frauen, die ihre Haut während und nach der Arbeit pflegen, doppelt so hoch wie der der Männer.

3 Messdaten über Hautbelastungen

Im Teilprojekt 2 von RISKOFDERM wurden die bei ausgewählten Tätigkeiten auftretenden dermalen Belastungen mithilfe der heute zur Verfügung stehenden Messverfahren quantitativ bestimmt. Die Ergebnisse bilden zusammen mit den qualitativen Erhebungen aus dem Teilprojekt 1 eine wesentliche Grundlage für die Modellbildung (Teilprojekt 3) und den Risiko-Rechner Haut (Teilprojekt 4). Sieben Institute aus fünf Ländern mit entsprechender wissenschaftlicher Erfahrung (siehe Tabelle 1) stimmten ihre Untersuchungen

Tabelle 3 | In Teil 2 des RISKOEDERM-Projektes untersuchte Tätigkeitsklassen, Tätigkeiten und Analyte (quantitative Erhebungen).

Tätigkeitsklasse (DEO unit)	Untersuchte Tätigkeiten (Analyt)
1. Handhaben von Gegenständen, die Substanzen enthalten oder denen Substanzen anhaften	• Umfüllen (DEGBE)¹⁾ • Sammeln (Kolophonium) • Warten/Instandhalten (Cyclophosphamid) • Füllen (DEGBE) • Umfüllen (Metall) • Mischen/Verdünnen (Cyclophosphamid/Metall)
2. Manuelles Ausbringen von Substanzen	• Wischen (Metall)
3. Ausbringen von Substanzen von Hand mit einem Werkzeug	• Ausgießen (Cyclophosphamid) • Verteilen mit Spatel (1-Methoxy-propanol) • Rollen (Styrol) • Pinseln (DEGBE)
4. Versprühen von Substanzen	• Versprühen (TGIC-Pulver/Metall/ Organometall)²⁾
5. Eintauchen in Substanzen	• Eintauchen (Chrom/Organometall)
6. Mechanische Bearbeitung fester Gegenstände	• Maschinelles Bearbeiten (Blei) • Schleifen (Chrom) • Sägen (Kolophonium)

¹⁾ DEGBE: Diethylenglykolmonobutylether²⁾ TGIC: Triglycidylisocyanurat

sorgfältig aufeinander ab. Pilotstudien dienten zur Ermittlung, Diskussion und Festlegung der erforderlichen methodischen und praktischen Anpassungen für die Hauptstudie. Vereinbarungen betrafen die Auswahl der Tätigkeiten; die Wahl der zu messenden Stoffe, die Mess- und Probenahme-technik auf der Grundlage der OECD-Richtlinien und die analytischen Bestimmungen blieben in der Verantwortung der einzelnen Institute.

In der Hauptstudie wurde darauf geachtet, dass bei möglichst großer Variationsbreite der Faktoren, die auf die dermale Belastung Einfluss haben (können), sämtliche bereits erwähnten Tätigkeitsklassen (DEO units) abgedeckt werden (**Tabelle 3**). Jedes Institut untersuchte drei verschiedene Tätigkeiten an jeweils drei Arbeitsplätzen in Betrieben, zu denen es aufgrund seiner bisherigen wissenschaftlichen Arbeit Zugang hatte. An jedem Arbeitsplatz wurden mit jeweils fünf Beschäftigten zwei getrennte Expositionsmessungen vorgenommen. Jedes Institut hat demnach 90 dermale Expositionsmessungen durchgeführt, die Anzahl der zu bearbeitenden Proben konnte je nach Art der Proben (Patches, Overall, Pooling) ein Vielfaches davon betragen. Beobachtungen wurden in einem Fragebogen dokumentiert, wie er im Grundsatz auch im ersten Teilprojekt Verwendung fand. Alle Angaben über die Einflussfaktoren und die Messdaten wurden in eine Access-Datenbank überführt, die schließlich mehr als 660 umfassend dokumentierte Datensätze enthalten wird.

Gegenwärtig werden die Berichte über die dermalen Expositionsmessungen und das zweite Teilprojekt von RISKOEDERM erstellt und in Kürze veröffentlicht [12].

4 Modelle zur Abschätzung dermalen Belastungen

Auf der Grundlage der in den beiden ersten Teilprojekten gewonnenen Informationen werden im Teilprojekt 3 Modelle zur Abschätzung der dermalen Exposition entwickelt und erprobt. Sie sollen es ermöglichen, für typische Fälle das all-

gemeine Niveau der **potenziellen** dermalen Exposition vorherzusagen – der Kontamination von (Schutz-)Kleidung und Hautoberfläche durch einen chemischen Stoff. Der Einfluss von Kleidung und Schutzhandschuhen auf die **aktuelle** dermale Exposition muss durch zusätzliche Faktoren berücksichtigt werden. Die aktuelle dermale Exposition ist die Menge eines Stoffes, die die Haut insgesamt erreicht, auch wenn sie von Kleidung oder Schutzhandschuhen bedeckt ist. Solche Daten werden zur Risikobewertung von Chemikalien nach der EU-Altstoffverordnung und dem Chemikaliengesetz benötigt.

Beschäftigte können grundsätzlich auf drei verschiedenen Wegen mit Stoffen in Berührung kommen – durch direkten Kontakt, durch Ablagerung von Aerosolen oder durch Kontakt mit kontaminierten Oberflächen. Je nach Kontaminationspfad treten verschiedene Einflussfaktoren in den Vordergrund [13]. Beispielsweise hat die lokale Absaugung beim Versprühen von Flüssigkeiten einen größeren Einfluss auf die dermale Exposition als beim Eintauchen der Hände in eine Flüssigkeit. Bei letzter Tätigkeit wiederum stellt die Viskosität wahrscheinlich eine wichtigere Einflussgröße dar als die Sauberkeit in der Arbeitsumgebung, die wiederum beim Handhaben von Gegenständen von Bedeutung ist. Entsprechend werden zur Modellbildung die jeweils wichtigsten Einflussfaktoren für die Haupt-Kontaminationspfade herangezogen.

Der Ansatz besteht aus Modellen gleichartiger Struktur für die einzelnen Tätigkeitsklassen. Aufgrund der Ergebnisse der Projektteile 1 und 2 werden Hände und Körperoberfläche getrennt voneinander betrachtet. Jede der bereits erwähnten Tätigkeitsklassen (DEO units, Tabellen 2 und 3) wird durch die für sie wichtigsten Kontaminationspfade charakterisiert. Den Kontaminationspfaden wiederum werden relevante Einflussfaktoren zugeordnet. Dies erfolgt aufgrund von Literaturausagen und weiteren Überlegungen, die auch Zusammenhänge zwischen Prozessen und Emissionen von Stoffen in den Arbeitsbereich einbeziehen.

Eine zentrale Größe der Modelle bildet die mittlere dermale Expositionsrate. In einer bestimmten Situation wird die mittlere dermale Exposition gegenüber einem Stoff durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\bar{E} = \dot{e} \cdot x \cdot t \quad (1)$$

$\bar{E}$ = mittlere dermale Exposition in mg,

$\dot{e}$ = mittlere dermale Expositionsrate in mg/min,

x = Anteil des zu beurteilenden Stoffes im Produkt in mg/mg,

t = Expositionsdauer in min.

Wie werden die mittleren dermalen Expositionsraten für die Modelle ermittelt? Tätigkeitsklassen (DEO units) können durch einen oder mehrere Kontaminationspfade charakterisiert sein. Die mit den Tätigkeiten verbundenen Prozesse führen zur Emission des Produktes in den Arbeitsbereich. Die Exposition kann man dann als Transfer des Produktes vom Arbeitsbereich zum Beschäftigten betrachten. Die Kombination der Einflussfaktoren auf die Emission einerseits und die Exposition andererseits wird als allgemeine Gleichung in der Form mittlere dermale Expositionsrate als Funktion der Parameter $x, y, z \dots$ angesetzt. So ergibt sich z. B. für die Handhabung kontaminierter Gegenstände (DEO unit 1) die mittlere dermale Expositionsrate als Summe aus der Expositionsrate infolge direkten Kontaktes mit dem Stoff und der Expositionsrate infolge Kontaktes mit kontaminierten Oberflächen. Die

Expositionsrate infolge direkten Stoffkontaktes wird durch Prozesseigenschaften, die Häufigkeit der Handhabung des Produktes und die direkte Kontaktfläche beschrieben. Die Expositionsrate infolge Kontaktes mit kontaminierten Oberflächen ist eine Funktion der Produkteigenschaften, des Kontaminationsgrades der Oberfläche, der Kontaktwahrscheinlichkeit sowie der Kontaktfläche und des Kontaktdruckes.

Solch allgemeine Funktionen werden für alle Tätigkeitsklassen aufgestellt. Aufgrund statistischer Ununterscheidbarkeit werden die DEO units 1 und 2 (**Tabelle 2**) zusammengefasst. Für diese beiden Tätigkeitsklassen lassen sich zunächst auch keine vernünftigen Beziehungen zu möglichen Einflussfaktoren ermitteln, im Gegensatz zu den anderen DEO units, bei denen dies mehr oder weniger erfolgreich gelang.

Für die DEO unit 6 „Mechanisches Bearbeiten fester Gegenstände“ beispielsweise sieht das Modell für die potenzielle Exposition der Körperoberfläche (außer Händen) folgendermaßen aus:

Mittlere dermale Expositionsrate in $\mu\text{L}/\text{min}$

$$\dot{e} = 17,6 \cdot C_{\text{Absaugung}} \cdot C_{\text{Nähe}} \cdot C_{\text{Kontaktfrequenz}}$$

$C_{\text{Absaugung}}$	= 1	ohne lokale Absaugung
	= 0,28	mit wirksamer lokaler Absaugung
$C_{\text{Nähe}}$	= 1	weniger als Armlänge
	= 0,27	ca. Armlänge
$C_{\text{Kontaktfrequenz}}$	= 1	selten
	= 1,12	häufig oder ständig

Dementsprechend beträgt die mittlere potenzielle dermale Expositionsrate für den Körper eines Beschäftigten, der ohne lokale Absaugung eine Armlänge von der Kontaminationsquelle entfernt arbeitet und häufigen oder ständigen Kontakt mit kontaminierten Oberflächen hat,

$$17,6 \cdot 1 \cdot 0,27 \cdot 1,12 = 5,32 \mu\text{L}/\text{min}.$$

Mit lokaler Absaugung, auf Armlänge von der Quelle entfernt und mit seltenem Kontakt mit kontaminierten Flächen beträgt die mittlere potenzielle dermale Expositionsrate für den Körper

$$17,6 \cdot 0,28 \cdot 0,27 \cdot 1 = 1,33 \mu\text{L}/\text{min}.$$

Im gegenwärtigen Entwicklungsstadium leiten die statistischen Modelle das Niveau der dermalen Exposition noch von statistisch ermittelten Einflussfaktoren ab. In der nächsten Projektphase sollen die Modelle bzw. die verwendeten Parameter mit den Informationen verknüpft werden, die üblicherweise bei der Risikobewertung von Stoffen zur Verfügung stehen. Darüber hinaus wird ein Weg gefunden werden müssen, um mit der Schwankungsbreite umzugehen, die den Modellen bis jetzt innewohnt.

In einer aktuellen Benchmark-Studie werden Messergebnisse erzeugt, die unabhängig von den bereits für die Modellbildung benutzten Daten sind, um sie mit den modellhaft abgeschätzten dermalen Expositionen zu vergleichen. Zusätzlich soll durch Biological Monitoring ermittelt werden, ob eine Beziehung zwischen den Ergebnissen eines Modells und der Aufnahme eines Stoffes in den Körper hergestellt werden kann. Die Benchmark-Studie wird mit fünf verschiedenen Stoffen in drei Ländern durchgeführt und deckt alle sechs DEO units ab.

Nach Abschluss der Arbeiten im Frühjahr 2004 wird ein Satz von handhabbaren Modellen zur Risikobewertung von Stoffen verfügbar sein, die es erlauben, die potenzielle dermale Exposition jeweils für Hände und Körper von Beschäftigten für typische Fälle allgemein abzuschätzen. Die Modelle werden die bei der Risikobewertung verfügbaren Informationen weitestgehend berücksichtigen können – eine deutliche Verbesserung gegenüber den derzeit benutzten Modellen.

5 Für die Praxis: der Risiko-Rechner Haut

Im Teilprojekt 4 von RISKOFDERM (Tabelle 1) arbeiten sieben Institute an einer „Werkzeugtasche“ (toolkit), deren Inhalt es erlaubt, die dermale Gefährdung am Arbeitsplatz anhand der vor Ort verfügbaren Informationen auf einfache Weise abzuschätzen, und zu erkennen, ob Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich sind.

Dermale Risiken sind abhängig von der Wirkung der Arbeitsstoffe auf die Haut (lokal) oder auf andere Körperorgane nach Resorption (systemisch) sowie vom Ausmaß der dermalen Exposition. Ähnlich wie bei Modellen zur Beurteilung der inhalativen Aufnahme von Stoffen [14; 15] geht der neu entwickelte Risiko-Rechner Haut von der Einstufung der Arbeitsstoffe (R-Sätze) aus und teilt sie nach pragmatischen Kriterien und „Expertenmeinung“ in dermale Gefährdungskategorien ein. Das Ausmaß der dermalen Exposition (Höhe, Dauer und Häufigkeit) wird aufgrund repräsentativer Belastungen klassifiziert, die in anderen Projektteilen von RISKOFDERM für die verschiedenen Tätigkeitsklassen (DEO units) ermittelt wurden. Beide Kenngrößen, für Wirkung und Exposition, werden in einer Entscheidungsmatrix zusammengeführt, die den Handlungsbedarf erkennen lässt [13].

Speziell Arbeitsschutzverantwortlichen, wie Arbeitgebern und Sicherheitsfachkräften, soll der Risiko-Rechner Haut die Anwendung der Ergebnisse des europäischen Projektes ermöglichen. Der Nutzer wird durch ein Computerprogramm geführt, dessen Fragen er mit Informationen beantworten kann, die er der Kennzeichnung oder dem Sicherheitsdatenblatt entnehmen oder die er durch Begehung und Beobachtung des Arbeitsplatzes gewinnen kann. Das Programm fragt die relevanten Parameter ab und bietet jeweils verschiedene Antworten an, unter denen man diejenige Alternative auswählt, die den beobachteten Verhältnissen am nächsten kommt. Die Auswertung der Informationen und die Ermittlung der Gefährdungskategorie erfolgen hinter der Benutzeroberfläche auf der Basis eines programmierten Entscheidungsbaumes und modifizierender Algorithmen. Angezeigt wird lediglich das Ergebnis.

Der Risiko-Rechner Haut soll helfen, bei Stoffen und Zubereitungen

- die Risiken verschiedener Produkte zu vergleichen,
- unterschiedliche Umgangsarten mit demselben Produkt zu beurteilen und
- die Effektivität von Schutzmaßnahmen einzuschätzen.

Mit nachvollziehbarer wissenschaftlicher Logik wird das Problemfeld „dermale Risiken“ strukturiert, dessen Elemente (Stoffwirkungen, Belastungshöhen, Effizienz von Maßnahmen) größtenteils nicht exakt messbar sind und die oft nur abgeschätzt oder Kategorien zugeordnet werden können. Ein Computerprogramm soll einem Nutzer, der es nicht gewohnt ist, in den Kategorien von gefährdenden Stoffeigenschaften,

Tabelle 4 | Bedeutung der Gefährdungskategorien beim Risiko-Rechner Haut.

Gefährdungskategorie	Bedeutung und notwendige Maßnahmen
1	Kein Handlungsbedarf
2	Keine besonderen Maßnahmen, allgemeine Hautpflege
3	Expositionsminimierung, wenn leicht zu erreichen
4	Handlungsbedarf, insbesondere Expositionsminimierung
5	Stoffbezogene Gefährdung möglichst senken
6	Handlungsbedarf, verschiedene Maßnahmen sinnvoll, detaillierte Analyse durchführen
7	Dringend Exposition begrenzen
8	Nur in Ausnahmefällen zulässig, Stoff ersetzen, wenn irgendwie möglich
9	Exposition auf jeden Fall drastisch verringern, Arbeit einstellen
10	Stoff auf jeden Fall ersetzen, Arbeit einstellen

Tabelle 5 | Risiko-Rechner Haut: Effektivität von Schutzmaßnahmen.

Effektivitätsklasse	Beschreibung	Multiplikator für die potenzielle Exposition
4	Kein verbleibendes Risiko	0
3	Exposition/Gefährdung nahezu vollständig begrenzt	0,01
2	Spürbarer Effekt	0,1
1	Geringer Effekt	0,3
0	Kein Effekt	1
-1	Unbeabsichtigte Erhöhung der Gefährdung durch ungeeignete Maßnahme	3 bis 10

Tätigkeiten und möglichen Maßnahmen zu denken, einen angemessenen Eindruck von der Höhe der Gefährdung und der Dringlichkeit von Gegenmaßnahmen vermitteln, es kann aber nicht aufgrund von ungenauen Informationen präzise Beurteilungen abgeben.

Methodisch kombiniert der Risiko-Rechner Haut Informationen zur Stoffwirkung mit Expositionsinformationen. Zur Bewertung der Stoffwirkungen gibt der Nutzer die R-Sätze der Stoffe oder Zubereitungen in das Programm ein, nachdem er, wenn nötig, Stoffe ausgeschlossen hat, die aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften mit dem Risiko-Rechner nicht beurteilbar sind. Das Programm ordnet dann die Stoffe oder Zubereitungen aufgrund der R-Sätze oder des pH-Wertes einer von fünf lokalen (bzw. sechs systemischen) Gefährdungskategorien zu. Die Zuordnung zu den Kategorien kann durch die Beantwortung weiterer Fragen modifiziert werden, z. B. durch Angaben zur Verdünnung bei lokal wirksamen Stoffen oder zum Verteilungskoeffizienten Octanol/Wasser für systemisch wirksame Stoffe. Der Benutzer nimmt am Rechner weder die zugeordneten Kategorien noch die internen Korrekturschritte des Programms wahr.

Zur Expositionsermittlung bietet das Rechenprogramm dem Nutzer elf Tätigkeiten an, aus denen er diejenige auswählt, die den Verhältnissen am Arbeitsplatz am nächsten kommt. Die Belastungshöhe für die verschiedenen Tätigkeiten ist im Risiko-Rechner Haut hinterlegt. Sie wird ebenfalls durch die Beantwortung weiterer Fragen modifiziert. Abgefragt werden beispielsweise die Viskosität von Flüssigkeiten, die Benetzung verunreinigter Objekte, die Teilchengröße von

Stäuben, die Arbeitstemperatur, der Grad der Automatisierung und das Vorhandensein von Lüftungseinrichtungen. Für die Antworten müssen nicht erst umständlich präzise Werte ermittelt werden. Das Programm schlägt in einer allgemein verständlichen Sprache geeignete Kategorien zur Auswahl vor.

Nach der Tätigkeit und ihren Modifikatoren müssen noch die Dauer der belastenden Tätigkeit in Stunden pro Tag und die betroffenen Körperbereiche eingegeben werden. Das Programm verarbeitet im Hintergrund alle Angaben in mehreren Rechenschritten, wobei es den Unterschieden zwischen lokalen und systemischen Wirkungen Rechnung trägt.

Nachdem alle Fragen zur Exposition beantwortet sind, erhält der Nutzer als Zwischenergebnis eine Angabe über die Höhe seines dermalen Risikos. Das Programm nennt – getrennt für lokale und systemische Effekte – eine Gefährdungskategorie zwischen 1 „kein Handlungsbedarf“ und 10 „Arbeit einstellen, Stoff auf jeden Fall ersetzen“ (**Tabelle 4**).

Bei Gefährdungskategorien höher als 3 fordert das Programm auf zu untersuchen, ob Schutzmaßnahmen möglich sind. Auch hier folgt man der sog. STOP-Hierarchie: Substitution vor Technik vor Organisation vor Persönlicher Schutzausrüstung. Dem Nutzer werden nacheinander Vorschläge aus den vier Maßnahmefeldern angeboten. Die Vorschläge sind hinsichtlich ihrer Effektivität in sechs Klassen eingeteilt (**Tabelle 5**). Ohne strenge wissenschaftliche Begründung sollen diese Klassen Nichtexperten im Arbeitsschutz zur Orientierung dienen. Sobald eine der Maßnahmeoptionen gewählt wurde, prüft das Programm, ob das Gesamtrisiko ausreichend gesenkt wird, und macht – wenn nötig – weitere Vorschläge. Wurde „Substitution“ als Maßnahme gewählt, muss das Programm mit den Daten des Ersatzprodukts erneut durchlaufen werden.

Der Risiko-Rechner Haut wird voraussichtlich 2004 einem größeren Nutzerkreis zur Verfügung stehen. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin unterstützt seine Einführung durch eine Seminarveranstaltung zur dermalen Gefährdungsbeurteilung und praktischen Erprobung des Risiko-Rechners Haut.

6 Ausblick

Im RISKOFDERM-Projekt haben zahlreiche europäische Institute eine Fülle von Informationen und Daten über die berufliche dermale Exposition gegenüber chemischen Stoffen zusammengetragen. Systematische Erhebungen an einer großen Anzahl von Arbeitsplätzen in verschiedenen Branchen, Gewerken und europäischen Staaten zeigen übereinstimmende Muster, zum Beispiel dass bei fast allen Tätigkeiten die Belastung der Hände im Vordergrund steht. Detaillierte Auswertungen des umfangreichen Datenmaterials stehen noch aus, um den Einfluss bestimmter Faktoren auf die Hautbelastung zu erkennen. Es zeichnet sich bereits ab, dass Vorschläge für Minderungsstrategien technischen und organisatorischen Lösungen den Vorzug geben müssen, damit belastende Stoffe besser „auf Abstand gehalten“ werden.

Trotz des gegenwärtigen Umbruchs in der europäischen Chemikalienpolitik besteht über die rechtlichen und prozeduralen Grundzüge der Chemikalienbewertung längst Konsens. Bisher fehlt allerdings ein geeignetes wissenschaftliches Instrumentarium zur Bewertung dermalen Risiken. Hier sollen

Vorhersagemodelle eine schmerzhaft Lücke schließen. Die Modellbauer können nach dem europäischen Projekt die Expositionsabschätzung viel stärker als bisher auf Fakten und Daten aus der betrieblichen Wirklichkeit stützen. Bereits vor der Vermarktung neuer Stoffe und biozider Produkte wird man zukünftig mögliche Hautbelastungen besser berücksichtigen können. Man darf gespannt sein, welche Aussagequalität die entwickelten Vorhersagemodelle erreichen.

Das Hier und Heute der Hautbelastungen soll mithilfe des Risiko-Rechners Haut zielgerichtet beurteilt und – wo nötig – besser gestaltet werden. In der Hand des Betriebsinhabers und Arbeitsschutzverantwortlichen soll der Risiko-Rechner Haut vor Ort auf einfache Weise rasche Entscheidungen ermöglichen. Besteht er den Praxistest, ist ihm eine weite Verbreitung sicher.

Das RISKOFDERM-Projekt hat das Wissen über dermale Belastungen am Arbeitsplatz und die Handlungsfähigkeit deutlich erweitert. Ansätze für Minderungsstrategien sind erkennbar. Nun sind die Arbeitsschutzakteure gefordert, damit Europas Beschäftigte ihre Haut nicht länger zu Markte tragen.

Literatur

- [1] Richtlinie 91/414/EWG des Rates vom 15. Juli 1991 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. ABL. EG Nr. L 230 vom 19. August 1991, S. 1-32.
[2] Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates vom 23. März 1993 zur Be-

wertung und Kontrolle der Umweltrisiken chemischer Altstoffe. ABL. EG Nr. L 084 vom 5. April 1993, S. 1-75.

[3] Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission vom 28. Juni 1994 zur Festlegung von Grundsätzen für die Bewertung der von Altstoffen ausgehenden Risiken für Mensch und Umwelt gemäß der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates. ABL. EG Nr. L 161 vom 29. Juni 1994, S. 3-11.

[4] Richtlinie 93/67/EWG der Kommission vom 20. Juli 1993 zur Festlegung von Grundsätzen für die Bewertung der Risiken für Mensch und Umwelt von gemäß der Richtlinie 67/548/EWG des Rates notifizierten Stoffen. ABL. EG Nr. L 227 vom 8. September 1993, S. 9-18.

[5] Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Februar 1998 über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten. ABL. EG Nr. L 123 vom 24. April 1998, S. 1-63.

[6] Richtlinie 98/24/EG des Rates vom 7. April 1998 zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit. ABL. EG Nr. L 131 vom 5. Mai 1998, S. 11-23.

[7] Dost, A. A.: Meeting report, a European meeting held to discuss dermal exposure monitoring and related issues, Brussels, Belgium, 21-23 June 1994. Ann. Occup. Hyg. 39 (1995) Nr. 2, S. 241-255.

[8] Benford, D. J.; Firth, J.: Final report, Dermal Exposure Network, Contract SMT4-CT96-7502 (DG12-RSMT). University of Surrey, December 1999.

[9] Risk assessment for occupational dermal exposure to chemicals, RISKOFDERM. Contract QLK4-CT-1999-01107.

[10] Hebisch, R.; Auffarth, J.: Dermal exposure: how to get information. Appl. Occup. Environ. Hyg. 16 (2001) Nr. 2, S. 169-173.

[11] RISKOFDERM Deliverable 17: Report of work part 1. January 2003 (beim Autor auf Anfrage verfügbar).

[12] Publikationen in Vorbereitung für: Ann. occup. Hyg. 48 (2004) Nr. 3.

[13] Publikationen angenommen für: Ann. occup. Hyg. 47 (2003) Nr. 8.

[14] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz: Ermitteln von Gefahrstoffen und Methoden zur Ersatzstoffprüfung (TRGS 440). BArbBL. (2001) Nr. 3, S. 105-112, ber. BArbBL. (2001) Nr. 4, S. 108, angepasst BArbBL. (2002) Nr. 3, S. 67.

[15] Russel, R. M.; Maidment, S. C.; Brooke, I.; Topping, M. D.: An introduction to a UK scheme to help small firms control health risks from chemicals. Ann. occup. Hyg. 42 (1998) Nr. 6, S. 367-376.