

Einsatz von Dermal dosimetern zur Bestimmung der dermalen Exposition

K. Kefenbaum

Zusammenfassung Die vorliegende Literaturstudie dokumentiert die Ergebnisse einer bis Ende 2006 durchgeführten Recherche, die den Einsatz von Pflastermaterialien als Kollektoren von Stoffen zur Abschätzung der Hautbelastung, der sogenannten dermalen Exposition, zum Inhalt hat. Die Pflaster finden als Kollektoren für verschiedene Wirkstoffe in vielen Industriesektoren Einsatz, wobei die Pflastertypen je nach Substanz variieren. Die Pflaster haben sich als einfach einzusetzendes und kostengünstiges Verfahren vielerorts bewährt. Der Beitrag bietet einen Überblick über die verschiedenen Anwendungsgebiete und Pflastermaterialien und bewertet die Qualität dieses Screening-Verfahrens.

Using dermal dosimeters to measure skin exposure

Abstract The present literature review documents the use of adhesive patch materials as collectors for substances to estimate the amount of such substances on the skin, the so-called skin exposure. Included in the review was literature published up to the end of 2006. The adhesive dermal dosimeter patches are already used as collectors for various active substances in many sectors of industry, whereby the types of patches vary depending on the substance in question. These patches have proven themselves as easy-to-use and low-cost tools in many areas. The present article provides an overview of the various areas of use and types of patch materials along with an analysis of the quality of this screening procedure.

1 Einführung

Der Schutz des Arbeitnehmers vor dem Einfluss schädlicher Substanzen am Arbeitsplatz ist eine zentrale Aufgabe im Bereich der Arbeitssicherheit. Während die Exposition gegenüber Schadstoffen über die Atemwege durch viele Messverfahren quantitativ schon lange bestimmbar und gut dokumentiert ist, kann die Exposition über die Haut oft nur qualitativ bestimmt werden.

Die Haut mit ihrer rund 2 m² großen Oberfläche bedarf eines besonderen Schutzes. Sie ist für die verschiedenen toxischen Chemikalien, die in der Arbeitsumgebung und Umwelt vorkommen, unterschiedlich permeabel. Lokal wirksame Stoffe können sie aber auch direkt schädigen. Aus diesem Grunde sind spezielle Schutzmaßnahmen notwendig, die bereits das Auftreffen der Substanzen auf der Haut mindern oder völlig verhindern.

Um festzustellen, in welchem Umfang, an welchen Körperregionen und bei welchen Tätigkeiten Substanzen auf die Haut gelangen, werden präzise, kostengünstige und schnelle Nachweisverfahren gesucht. Pflastermaterialien dienen hier als Sammler für verschiedene Substanzen.

Die vorliegende Literaturstudie beschäftigt sich mit den Veröffentlichungen im Zeitraum von 1994 bis Ende 2006 zum

Dermalmonitoring durch Sammelmaterialien nach der Pflastermethode. Diese Publikationen dienen als Grundlage einer Machbarkeitsstudie des BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung in Zusammenarbeit mit dem Dienstleister Infraseriv, Frankfurt am Main.

2 Methoden zur Ermittlung der dermalen Exposition

Fenske klassifizierte die Methoden zur Ermittlung der dermalen Exposition in drei Gruppen [1]: Auffangtechniken, entfernende Techniken und Fluoreszenztracer.

Bei der Auffangtechnik (surrogate skin technique) setzt man nicht nur Pflaster, sondern beispielsweise auch Sanitärpads, Baumwollhandschuhe oder Ganzkörperoveralls als passive Sammler ein. Diese Sammelmedien fangen den Wirkstoff während der Probenahmedauer auf und binden ihn [2].

Mit entfernenden Techniken (removal techniques), wie dem tape stripping, Handwaschungen oder Wischtechniken, werden die Substanzen von der Haut entfernt. Beim tape stripping wird die Hornhautschicht (*Stratum corneum*) durch Aufbringen und Ablösen eines Klebestreifens entfernt und analysiert [2]. Durch Waschungen, z. B. mit Lösungsmitteln oder Sonnenblumenöl, werden Wirkstoffe von der Haut – meistens von den Händen – herunter gewaschen und aus dem Lösungsmittel extrahiert und analysiert. Verwendet man Wischtücher, reibt man den zu untersuchenden Stoff von verschiedenen Körperregionen herunter. Danach kann er aus dem Tuch oder aus der Lösung, mit dem dieses imprägniert war, extrahiert und der Schadstoffgehalt quantitativ analysiert werden.

Die Verwendung von Fluoreszenztracern bildet die dritte Gruppe der Methoden zur Bewertung der dermalen Exposition. Die qualitative Visualisierung von Stoffen durch Fluoreszenztracer unter langwelligem ultraviolettem Licht kann dabei durch sogenannte Video-Imaging-Analyse oder mit speziellen Software-Systemen erweitert werden, die eine quantitative Bestimmung ermöglichen [1].

2.1 Die Pflastermethode

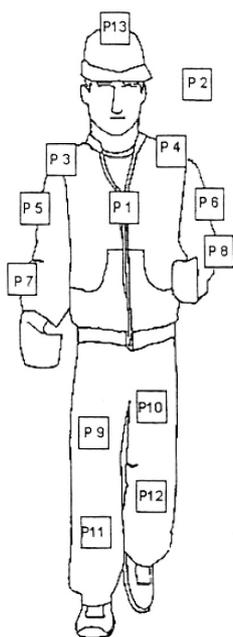
Das Passivsammlen nach der Pflastermethode ist eine Variante der o. g. Methoden zur Ermittlung der dermalen Exposition nach der Auffangtechnik. Sie soll hier näher betrachtet werden.

2.1.1 Funktionsweise

Mit der Pflastermethode kann eine potenzielle Kontamination von Haut und Arbeitskleidung der Exponierten abgeschätzt werden [3 bis 8]. Voraussetzung ist, dass die zu betrachtende Exposition gleichmäßig über den gesamten Körper stattfindet [9]. Bei dieser einfachen Methode werden Pflaster auf Haut oder Arbeitskleidung des Probanden an Stellen aufgebracht, an denen Exposition zu erwarten ist. Je nach zu messender Substanz variieren die Pflastermaterialien [8]. Nach der Exposition entfernt man die Pflaster und

Dipl.-Chem. und Fachchemikerin für Toxikologie
Kerstin Kefenbaum,

BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung, Sankt Augustin.



- P 1 Brust
- P 2 Rücken
- P 3 Schulter rechts
- P 4 Schulter links
- P 5 Oberarm rechts
- P 6 Oberarm links
- P 7 Unterarm rechts
- P 8 Unterarm links
- P 9 Oberschenkel rechts
- P 10 Oberschenkel links
- P 11 Unterschenkel rechts
- P 12 Unterschenkel links
- P 13 Kopf

Bild 1. Positionierung der Pflaster nach Angerer et al. [17].

kann den Gehalt an gesammeltem Wirkstoff jedes Pflasters analysieren [8]. Die Pflaster fungieren dabei als Barriere und sammeln die Stoffmenge, die ansonsten auf die Haut gelangen würde [5]. Die Analyse der Pflastermaterialien liefert die Gesamtexposition, angegeben in µg (Masse), mg/h (Dosisrate) oder µg/(cm²/h) (Dosisdichte) [6]. Die Ergebnisse werden danach auf die Gesamtkörperoberfläche extrapoliert [2].

2.1.2 Pflastermaterialien

An die Pflastermaterialien werden je nach Einsatz bestimmte Ansprüche gestellt. So soll beim Umgang mit flüssigen Stoffen die Absorptionsfähigkeit der Pflaster hinreichend groß sein, um alle mit den Pflastern in Kontakt tretenden Flüssigkeiten aufzunehmen [10]. Aus diesem Grunde werden beschränkte Tragezeiten von maximal 30 min [10] bis hin zu acht Stunden [11] empfohlen, um einen Durchbruch der Wirkstoffe durch das Pflaster zu verhindern [10]. Beim Einsatz von Feststoffen soll hingegen die Porosität der Pflaster ausgeprägt sein, um alle festen Partikel zu binden. Darüber hinaus werden hohe mechanische Ansprüche an die Belastbarkeit der Materialien gestellt.

Oftmals sind die Pflastermaterialien aus Gründen der Aufnahme-fähigkeit aus mehreren Lagen aufgebaut. Die unterste Lage ist in jedem Fall undurchlässig und verhindert den Kontakt zwischen Haut und gesammeltem Wirkstoff. Für diese undurchlässige Schicht werden Aluminiumfolie, Polyethylen oder auch Pergamentpapier verwendet [5].

2.1.3 Pflasterplatzierung und -anzahl

Die Platzierungsmöglichkeiten und Anzahl der Pflaster variieren sehr. Generische Arbeitsvorschriften, die Größe, Anzahl, Ortswahl und Anbringungsverfahren von Pflastern vorschreiben, finden sich z. B. bei der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [12], der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) [5], der US Environmental Protection Agency (EPA) [13] und der Health-and-Safety-Executive(HSE)-Methode [8]. Laut OECD-Guideline sollen 13 Pflaster der Größe 10 x 10 cm² direkt auf oder unter

die Kleidung aufgebracht werden [5]. Nach der von der WHO entwickelten Methode sollen sechs Pflaster gleicher Größe verwendet werden [12], die HSE-Methode empfiehlt elf Pflaster für einen vollen Einsatz und sechs Pflaster für einen reduzierten Einsatz und schließlich werden zehn Pflaster von der US EPA empfohlen [13].

Andere Autoren führten darüber hinaus aber auch Expositionsmessungen mit einem, neun und elf [14 bis 16] Pflastern etc. durch. Bild 1 zeigt z. B. eine Anordnung von 13 Pflastern auf der Arbeitskleidung nach Angerer et al. [17].

Viele Studien geben an, dass ca. 8 % der 2 m² Hautoberfläche mit Pflaster bedeckt [5] werden sollen, die HSE-Methode empfiehlt dagegen nur 3 % [12]. Die Exposition wird durch Extrapolation der Kontamination der Pflasteroberflächen berechnet. Je größer die Pflaster und damit die betrachtete Oberfläche, desto geringer ist die Fehlerquote [8].

3 Resultate der Literaturstudie

Schon 1954 erschien ein Artikel, nach dem mit α-Cellulose-Pflastern die dermale Exposition gegenüber Parathion im landwirtschaftlichen Sektor untersucht wurde [18]. Dem folgten zahlreiche weitere Veröffentlichungen, unter denen mit diversen Schlagworten im toxikologischen, medizinischen und allgemein wissenschaftlichen Sektor recherchiert wurde. Aus der Vielzahl der Literaturstellen wurden ca. 800 Artikel gesichtet, die sich mit thematisch ähnlichem Schwerpunkt befassten. Die Artikel wurden auf die Grundinformationen

- Pflastermaterial,
- gleichzeitig eingesetzte Analysenverfahren und
- Anwendungsgebiete

hin ausgewertet und auf ein Erscheinungsdatum nach 1994 beschränkt. Für die Zeit vor 1994 wurden zusammenfassend die Daten aus der Monografie „Surface and dermal monitoring for toxic exposures“ von Shirley Ness [6] herangezogen.

3.1 Pflastermaterialien

Die Pflastermaterialien variieren je nach zu messender Substanz. So setzt man bei der Untersuchung von Substanzen mit mittlerer Flüchtigkeit und geringem Dampfdruck bevorzugt Aktivkohlepflaster ein [11]. Polypropylenpflaster werden bei schwerer flüchtigen Stoffen eingesetzt und α-Cellulose-Pflaster für Substanzen mit niedrigem Dampfdruck, um nur die gängigsten Materialien zu nennen [6] (Bild 2).

56 % der ausgewerteten Artikel berichten über α-Cellulose-Pflaster [1; 3; 4; 9; 10; 16; 19 bis 56]. Weitere 13 % beziehen sich auf Aktivkohlepflaster [11; 57 bis 64] und 9 % haben Polypropylenpflaster zum Gegenstand [15; 65 bis 70].

In den restlichen 22 % der Artikel werden auch kolorimetrische Pflaster (z. B. Permea-Tec-Pflaster) verwendet. Diese sind mit Stoffen imprägniert, die bei Kontakt mit definierten

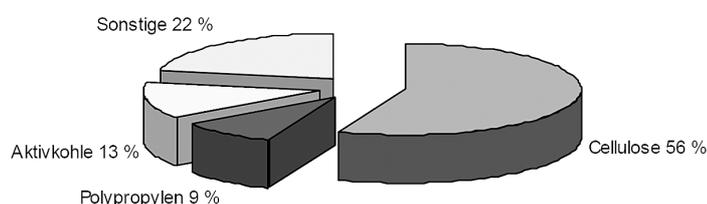


Bild 2. Häufigkeit der Pflastermaterialien in den ausgewerteten Studien.

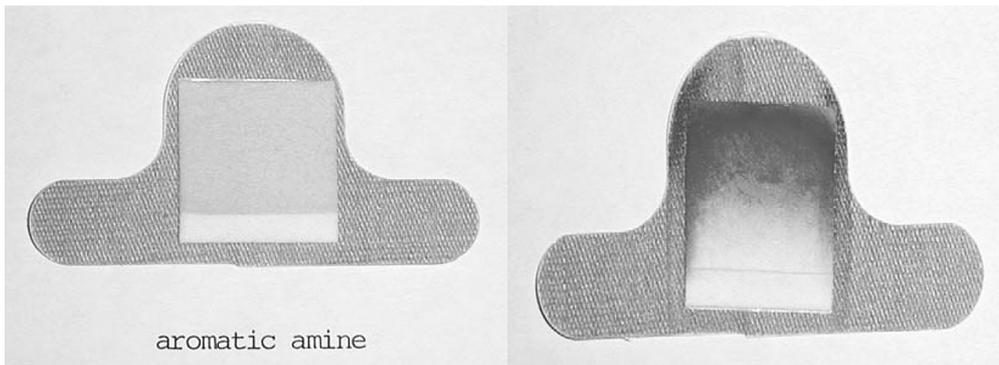


Bild 3. Farbwechsel eines Permea-Tec-Pflasters nach Kontakt mit einem aromatischen Amin (mit freundlicher Genehmigung der Fa. SKC).

Wirkstoffen, wie z. B. Aminen oder anderen Basen, Isocyanaten oder Säuren, die Farbe wechseln [14; 71 bis 73] (Bild 5). Ihr Einsatz ist auf diese Substanzklassen beschränkt. Die Pflaster sind sehr sensibel und haben eine Nachweisgrenze von 0,2 µl [71].

Des Weiteren sind – wegen ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeiten – besonders die Polyurethanpflaster zu nennen [31; 74 bis 76]. Materialien wie mit Ethylenglykol imprägnierte Glasfaserfilter [58], Filterpapier [1], getränktes Silicagelpapier [77], aber auch Haftklebeband [78] oder Chromatografiepapier [52] werden zudem als Sammelmateriale verwendet.

3.2 Zusätzlich eingesetzte Analysenverfahren

Ergänzend zur Expositionsmessung mit verschiedenen Pflastermaterialien wurden in den meisten Veröffentlichungen mehrere Messverfahren parallel eingesetzt und deren Ergebnisse miteinander verglichen. Die gängigsten Verfahren nach Häufigkeit ihrer Nennung (Bild 4) sind

- Luftproben (Airmonitoring passiv und aktiv),
- Handwaschungen (hand rinsing),
- Biomonitoringverfahren (ausschließlich Urinanalytik),
- Overalls als Ganzkörperschutzausrüstung, Schutzhandschuhe (hier wird der ganze Overall bzw. der Schutzhandschuh als Sammelmedium verwendet),
- Wischen (hand wiping),
- Fluoreszenztracer,
- tape stripping,
- Mikrostaubsauger.

Die Dermalmonitoring-Verfahren liefern keine Information darüber, welche Wirkstoffmenge tatsächlich ihren Weg in den Körper findet. Ausschließlich Biomonitoringverfahren

sind in der Lage, darüber Aussagen zu geben [20; 23; 24; 26; 30; 31; 33; 35; 38; 40; 48; 49; 60; 65; 66; 68 bis 70; 74; 75; 79]. Die Aufnahmewege des Wirkstoffes sind neben der respiratorischen Exposition die dermale sowie die orale Aufnahme. Die Empfindlichkeit der respiratorischen Verfahren und des Biomonitorings ist deutlich geringer als die der Dermaldosimeter. Zum Beispiel werden nur 1,6 % eines auf einem Pflaster gefundenen Pestizids über den Urin ausgeschieden [24]. Die Dermaldosimeter liefern selbst dann messbare Expositionswerte, wenn die Nachweisgrenzen (LOD, Limit of Detection) für inhalative Expositionen [37; 45] und Urinanalytik noch gar nicht erreicht werden.

Die Tabelle zeigt den Vergleich der Sensitivität zwischen der direkten Messmethode mit Pflastern und den indirekten Methoden der Messung mittels Urinanalyse [80]. Dabei ist zu beachten, dass der Wert der Urinprobe die Summe aus dermaler, inhalativer und ggf. oraler Aufnahme ist.

Geht man von einer über den ganzen Körper gleichmäßigen dermalen Exposition eines Stoffes aus, der in der Konzentration von etwa 1 % eines No-Effect-Levels (NOEL) von 100 mg/kg eingesetzt wird, dann würde der „Standard-Mensch“, der mit 70 kg pro Person festgelegt wird, mit 70 mg der Substanz exponiert (A in der Tabelle).

Die Exposition der Pflaster-Dosimeter wird mit der Urinanalytik verglichen. Unter der Annahme, dass 10 % dieser 70-mg-Dosis im Urin absorbiert werden (B in der Tabelle) und ein Standard-Mensch eine Hautoberfläche von 1,92 m² aufweist und einen 24-Stunden-Urin von ca. 1,5 l ausscheidet (C in der Tabelle), ergibt sich die Konzentration des exponierten Stoffes von 3,65 µg/cm² für die dermale Exposition und schließlich 4,67 µg/ml im 24-Stunden-Urin (D in der Tabelle).

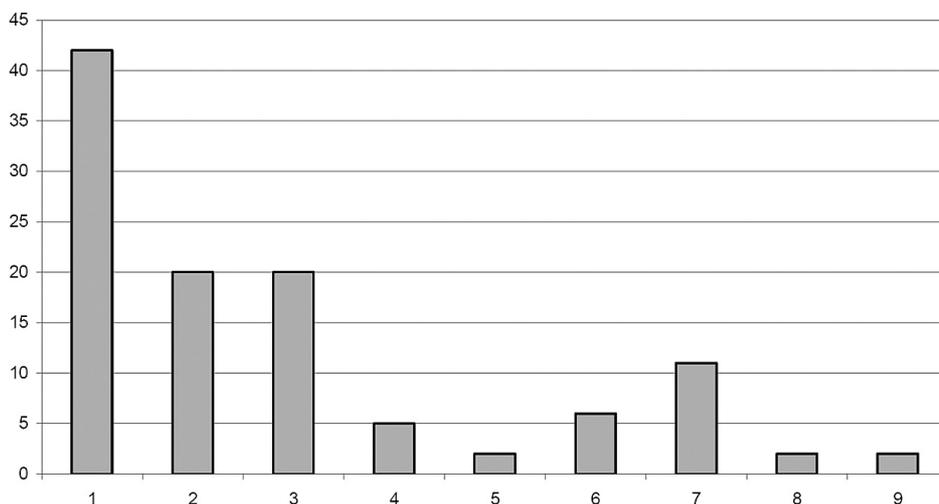


Bild 4. Häufigkeit der ergänzenden Messverfahren.

1 = Air Monitoring, 2 = Handwaschungen, 3 = Biomonitoring, 4 = Wischtechniken (Wipes), 5 = Tape stripping, 6 = Overall, 7 = Handschuhe, 8 = Fluoreszenztracer, 9 = Mikrostaubsauger.

Pflaster-Dosimeter				Urinprobe			
A	70	mg	exponierte Dosis	70	mg	exponierte Dosis	
B				×	10	% Absorption	
C	÷	1,92	m ² Hautfläche	÷	1,5	l 24-Stunden-Urin	
D	=	3,65	µg/cm ²	=	4,67	µg/ml (gesamte Urinmenge)	
E	×	50	cm ² Dosimeter	×	100	ml Aliquot	
F	=	182	µg in der Probe	=	467	µg in Probe	
G	÷	10	ml Probevolumen	÷	10	ml Probevolumen	
H	=	18	ppm	=	47	ppm	

Vergleichende Übersicht einiger Methoden zur Abschätzung der dermalen Exposition [80].

Die Berechnungen werden auf 50 cm² Pflastermaterial und 100 ml Urinprobe umgerechnet (E in der Tabelle) und es ergibt sich die Konzentration in Zeile F. Die Aufkonzentration der Proben auf jeweils 10 ml liefert dann die Nachweisgrenzen (H in der Tabelle). Die Nachweisgrenze LOD der Dermal dosimeter sind fast um den Faktor 3 niedriger als die Biomonitoringverfahren. Andere Veröffentlichungen bestätigen dies [43].

3.3 Anwendungsgebiete

In der Landwirtschaft werden zu mehr als 80 % α -Cellulose-Pflaster eingesetzt [1; 3; 4; 7; 10; 19 bis 35; 37 bis 47]. Die Exposition der Probanden wird dabei für die verwendeten Pflanzenschutzmittel, wie Chlorpyrifos, Permethrin oder Captan, gemessen. Die Probanden im landwirtschaftlichen Sektor sind Arbeiter im Obst- und Getreideanbau, in Gewächshäusern und in der Termitenbekämpfung. Vereinzelt wurde auch die Exposition der Familienangehörigen bestimmt.

Neben dem landwirtschaftlichen Sektor wurden α -Cellulose-Pflaster z. B. für die Bewertung von Staubexpositionen in der Metall verarbeitenden Industrie [53] und in der Holzindustrie [48] verwendet. Auch die Untersuchung der nicht flüchtigen Anteile von wasserbasierten Farben in der Fahrzeuglackierung [56] oder die Belastung der Arbeiter durch Chrom(VI) in der galvanischen Industrie [54] ist durch Cellulosepflaster möglich. Ferner können damit Wirkstoffe mit reproduktionstoxischen und kanzerogenen Eigenschaften im Gesundheitswesen gemessen werden, wie etwa Cyclophosphamid, das als antineoplastisches Medikament eingesetzt wird [49].

Das Einsatzspektrum von Aktivkohlepflastern ist ebenso vielfältig: Neben der Petrochemie [60] und der Holz- und Kunststoffindustrie [61 bis 63] verwendet man sie in der Landwirtschaft [7] oder der Dentaltechnik [58]. Dabei haben sich diese Pflaster bei Expositionsmessungen von Flüssigkeiten mit mittlerer Flüchtigkeit und geringem Dampfdruck, z. B. Monoterpene, Styrol und Säuren wie Harz- oder Abietinsäure, bewährt [57; 59; 61 bis 63].

Polypropylenpflaster finden gemäß ihrer Material- und Oberflächeneigenschaften hauptsächlich im Straßenbau [68 bis 70], in der Aluminiumverarbeitung [65] und in Kokerien [66] Einsatz – hier zur Überwachung der Exposition gegenüber polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Zur Bewertung der Wirksamkeit von Persönlicher Schutzausrüstung werden neben kolorimetrischen Pflastern [14; 71 bis 73] auch Cellulosepflaster [7; 21; 27 bis 29] benutzt.

3.3.1 Ausgewählte Ergebnisse

Überwiegend werden die Pflaster verwendet, um die persönliche Exposition der Probanden zu ermitteln. Bei Unter-

suchungen zu Durchbruchzeiten von Schutzkleidung wie Handschuhen und Overalls tragen die Beschäftigten die Pflaster unter der zu untersuchenden Kleidung [7; 21; 27 bis 29; 48]. Durch die Schutzkleidung gelangender Wirkstoff wird auf diesem Wege nachgewiesen.

In der Holzindustrie konnte so durch Cellulosepflaster, die bei verschiedenen Arbeitsgängen zur Holzimprägnierung auf und unter verwendeten Schutzanzügen (Marke Tyvek® des Herstellers DuPont) getragen wurden, belegt werden, dass 10 % des Wirkstoffes durch die Schutzkleidung gelangen [48].

Durch über und unter der Schutzkleidung angebrachte Pflaster wurde, speziell beim Mahlen und Schleifen von rostfreiem Stahl [53], nachgewiesen, dass die entstehenden ultrafeinen Partikeln durch die Schutzkleidung wandern und deren Schutzwirkung somit unzureichend war. Die Probanden trugen bei manuellen Schleiftätigkeiten zudem noch Baumwoll- oder Lederhandschuhe. Nach Auswertung der Expositionswerte speziell für die Hände konnte eine Empfehlung für die Verwendung der Lederhandschuhe ausgesprochen werden [53].

Untersuchungen, die Schutzkleidung mehrerer Hersteller miteinander verglichen, belegten, dass spezielle Schutzkleidung bis zu 99 % [27] vor dermalen Exposition schützen kann. Dabei wurde die Penetration von Guthion durch Schutzanzüge der Hersteller Tyvek® Saranex und Gore-Tex mit Cellulosepflastern untersucht [27]. Eine Expositionsmessung beim Aufbringen des Pestizids Chlorothalonil auf Tomaten zeigte, dass schon das Tragen von einfachen Baumwolloveralls die dermale Exposition um 90 % reduzieren kann. Hier wurde anstelle des Pflasters unter der Schutzkleidung ein Baumwoll-T-Shirt (undershirt dosimetry) getragen [22].

Einzelne Arbeitsabläufe innerhalb einer Tätigkeit können zu unterschiedlich hoher Exposition führen [30; 37; 49; 53; 56; 81]. In der galvanischen Industrie wurde belegt, dass die Exposition zudem zwischen den einzelnen Arbeitern variiert, auch wenn sie dieselben Tätigkeiten ausführen [54]. Die Einstellung der Probanden zur persönlichen Hygiene und Arbeitshygiene beeinflusst demnach die Ergebnisse nicht unerheblich [16; 39; 41; 81].

Bei jeder Tätigkeit, deren Exposition durch die Pflaster überwacht werden soll, können Körperregionen ermittelt werden, die höher exponiert sind als andere [3; 4; 9; 26; 37; 40; 41; 48; 49; 53; 56; 58; 61; 63; 65 bis 68; 82]. In der Fahrzeuglackiererei [56] und der Holzindustrie [48] sind die Hände die am meisten exponierte Körperregion [63] mit Expositionsangaben in µg/(cm²/min) [56].

Umgang mit Holz bedeutet für die in dieser Branche Tätigen eine Exposition gegenüber flüchtigen Monoterpenen und Holzstaub. Bei Tätigkeiten wie Sägen, Hobeln oder Drillen

von Holz erfahren die Hände beispielsweise eine zehnfach höhere Exposition gegenüber diesen Stoffen als der restliche Körper [63]. In der Dentaltechnik wird bei der Herstellung von Zahnspangen mit Methylmethacrylat umgegangen. Expositionsmessungen zeigen, dass nur Hände und Unterarme exponiert sind – mit einem Unterschied zwischen rechter und linker Hand [58].

Die Bewertung der Exposition von Krankenhauspersonal, das mit antineoplastischen Medikamenten Umgang hat, zeigte, dass die Extrapolation der Expositionsergebnisse auf den ganzen Körper keine verwertbaren Ergebnisse lieferte, da die Testpersonen nur an Händen und Unterarmen exponiert waren. Bessere Ergebnisse liefern hier Verfahren wie die Wischtechnik, die nur die exponierten Körperregionen betrachten [49].

Exposition findet an vielen anderen Körperregionen statt. Bei der Erzeugung von glasfaserverstärktem Kunststoff sind die Beschäftigten gegenüber Styrol exponiert. Da die Sprayingtätigkeit erfordert, dass die Beschäftigten oft nach vorne gebeugt arbeiten müssen, sind hier die Beine die am höchsten exponierte Körperregion [61].

Als Letztes sei auf ein Beispiel beim Spraysen des Pflanzenschutzmittels Cypermethrin auf Mandarinenfeldern hingewiesen. Hier unterschied sich sogar die Exposition zwischen männlichen und weiblichen Arbeitern: Während bei den Arbeiterinnen Oberarme und Beine am meisten exponiert waren, waren es bei den Arbeitern Oberschenkel und Hand [37]. Tendenziell waren Frauen höher exponiert als Männer, da sie wegen geringerer Körpergröße über Kopf arbeiten mussten und demzufolge anders exponiert wurden als ihre männlichen Kollegen [37].

3.3.2 Grenzen

Die Expositionsergebnisse sind oft nicht repräsentativ. So bilden viele flüssige oder feste Stoffe zumeist keine uniforme Schicht über den ganzen Körper, was die Grundlage für eine repräsentative Expositionsmessung wäre [9].

Zudem werden bei den Expositionsmessungen Unzulänglichkeiten des Pflastermaterials deutlich. Aktivkohlepflaster speichern nur ca. 60 % der flüchtigen Wirkstoffe wie Toluol über acht Stunden [11]. Flüssigkeiten dampfen einfach wieder vom Pflaster herunter. Für die Evaporation von Toluol gilt, dass sie umgekehrt proportional zur Dampfkonzentration, Expositionsdauer und Luftgeschwindigkeit ist [11]. Der Einsatz dieses Pflastermaterials beschränkt sich demnach idealerweise auf die Messung von Flüssigkeiten mit mittlerer Flüchtigkeit und geringem Dampfdruck. Zur Expositionsmessung flüchtiger Wirkstoffe sollte hingegen die Kapazität des Pflastermaterials erhöht werden [11].

Mit einer orientierenden Machbarkeitsstudie untersuchte das BGIA kürzlich die Eignung eines mit einem Styrol-Isopren-Styrol-Copolymers beschichteten Pflasters (Hersteller: Fa. Lohmann, Andernach) für die Ermittlung der dermalen Exposition gegenüber leicht flüchtigen Organika. Dabei diente Xylol als Prüfsubstanz. Es zeigte sich, dass das Elastomermaterial ein einfach anzuwendendes passives Sorptionsmedium ist, das über einen weiten Xylol-Konzentrationsbereich einsetzbar ist. Als problematisch erwies sich dagegen das Gleichgewichtsverhalten des Sammlers (Xylol-Adsorption und Xylol-Desorption) mit einer Halbwertszeit von ca. zwei Stunden (unveröffentlichte Ergebnisse).

Rahmenbedingungen wie Luftgeschwindigkeit, Temperatur, Wirkstoffkonzentration und Luftfeuchtigkeit spielen bei

der Expositionsmessung eine entscheidende Rolle [5; 19; 62; 83]. Da die zu messende Flüssigkeit von den Pflastern wieder verdampft, kann es zu verringerten Expositionswerten kommen. Genauso können erhöhte Expositionswerte auftreten, wenn Spritzer auf das Sammelmedium treffen [70].

Ein entscheidender Aspekt, der besonders die Praxisrelevanz der Pflastermethode und der hiermit erzielten Expositionswerte betrifft, soll abschließend aufgezeigt werden. Um Aussagen zur Höhe der Exposition auf der Haut machen zu können, sollten Sammelmedien entwickelt werden, die der Haut der Exponierten in ihren Absorptionsfähigkeiten ähnlicher sind als die bisherigen Sammelmedien [12; 58]. Die Absorptionsfähigkeit von Aktivkohle übersteigt beispielsweise die der Haut um ein Vielfaches [11].

Zur Bewertung der Expositionshöhe muss beachtet werden, dass bei auf der Haut getragenen Pflastern ein verringerter Wirkstoffgehalt resultieren kann, da die Wirkstoffe durch die Körperwärme schneller wieder vom Pflaster abdampfen, als sie es auf der Schutzkleidung tun würden [16].

Aktivkohle erfüllt die Anforderungen im Bereich der flüchtigen Wirkstoffe, hier im Vergleich mit α -Cellulose-Pflastern, recht gut: Ein flüchtiger Stoff verdampft von einem Cellulosepflaster um ein Vielfaches schneller als von einem Aktivkohlepflaster. Auf einem α -Cellulose-Pflaster können nach zehn Minuten nur noch 0,1 % von 25 μ l Toluol nachgewiesen werden [11]; die Aktivkohlepflaster hingegen binden über diesen Zeitraum die gesamte Menge Toluol.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass die Haut mit ca. 2 m² Oberfläche ein großes Auffangmedium für Wirkstoffe darstellt, während die „Sammelfläche“ der Pflaster im Gegensatz dazu eher klein ist [67; 68]. Dies erschwert die Abschätzung der Gesamtexposition und macht Extrapolationsfehler wahrscheinlicher [84].

4 Zusammenfassung

Die einst ausschließlich in der Landwirtschaft eingesetzten Dermal dosimeter finden in neuerer Zeit in vielen Bereichen als preiswertes und einfach zu handhabendes Screening-Medium Einsatz. Um eine Standardisierung für Expositionsmessungen mit Pflastern zu finden, werden die Messergebnisse durch weitere Screening-Methoden, wie die weit verbreitete Luftprobenahme für die respiratorische Exposition, das tape stripping, aber auch Handwaschungen und nicht zuletzt das Biomonitoring unterstützt. Die Pflastermethode hat sich als einfach einzusetzendes, kostengünstiges und sensibles Sammelmedium in verschiedenen Bereichen bewährt.

Die Annahme, dass der gesamte Körper gleichmäßig exponiert ist, führt jedoch zu Fehlerquellen bei der Bewertung der Exposition. Spritzer, die zufällig auf die Pflaster treffen, oder ähnliche Abweichungen von der generellen Exposition wirken sich nach Extrapolation der Messwerte in einer Über- oder Unterschätzung der Exposition aus.

Pflastermaterialien und auch alle als Auffangmedien eingesetzten Materialien sind in ihren Eigenschaften denen der menschlichen Haut zu unähnlich. Folglich können Messergebnisse, die mit diesen Medien erzielt werden, nur bedingt auf die tatsächlichen Verhältnisse auf der Haut übertragen werden. Solchen Schwierigkeiten müssen sich andere Screening-Verfahren, wie die Fluoreszenzanalyse oder Wischtechniken, nicht stellen.

Es werden aber Bemühungen unternommen, Pflastermaterialien zu entwickeln, die den Eigenschaften der Haut besser entsprechen und die vor Spritzern geschützt sind, damit Spritzerbildung auf dem Pflaster nicht zu Fehlinterpretationen führt. Mit diesen weiterentwickelten Sammelmedien wird das Pflaster als Dermal dosimeter sicherlich seinen Einsatzbereich erweitern können.

Dennoch liefert nur das Biomonitoring praxisrelevante Messergebnisse zur internen Gesamtbelastung. Die Ansprüche an Verfahren zur Abschätzung der dermalen Exposition dürfen nicht zu hoch angesetzt werden und die Resultate bedürfen einer sorgfältigen Interpretation. Um mit den Worten von *Johan de Cock* et al. [53] zu sprechen: „*Total dermal exposure is an imperfect and potentially biased estimate of internal dose*“.

Literatur

- [1] Fenske, R. A.: Dermal exposure assessment techniques. *Ann. Occup. Hyg.* 37 (1993) Nr. 6, S. 687-706.
- [2] DIN CEN/TS 15279: Exposition am Arbeitsplatz – Messung von Hautbelastungen – Grundsätze und Verfahren. Berlin: Beuth 2006.
- [3] Krüger, E.; Werth, B.: Untersuchungen zur Pestizidkontamination bei Hackfruchtarbeiten in Landwirtschaftsbetrieben. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed.* 28 (1993) S. 9-12.
- [4] Methner, M. M.; Fenske, R. A.: Pesticide exposure during greenhouse applications. III. Variable exposure due to ventilation conditions and spray pressure. *Appl. Occup. Environm. Hyg.* 11 (1996) Nr. 3, S. 174-180.
- [5] OECD/GD 148: Guidance document for the conduct of studies of occupational exposure to pesticides during agricultural application. Series on testing and assessment no. 9. Hrsg.: Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, Frankreich, 1997.
- [6] Ness, S. A.: Surface and dermal monitoring for toxic exposures. Hrsg.: US Department of Labour, Occupational Safety & Health Administration. New York: Van Nostrand 1994.
- [7] Fenske, R. A.: Pesticide exposure assessment of workers and their families. *Occup. Med.: State of the Art Rev.* 12 (1997) Nr. 2, S. 221-237.
- [8] Soutar, A.; Semple, S.; Aitken, R. J.; Robertson, A.: Use of patches and whole body sampling for the assessment of dermal exposure. *Ann. Occup. Hyg.* 44 (2000) Nr. 7, S. 511-518.
- [9] Hughson, G. W.; Aitken, R. J.: Determination of dermal exposures during mixing, spraying and wiping activities. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 245-255.
- [10] Stamper, J. H.; Nigg, H. N.; Mahon, W. D.; Nielsen A. P.; Royer, M. D.: Applicator exposure to fluvalinate, chlorpyrifos, captan, and chlorothalonil in Florida USA ornamentals. *J. Agric. Food Chem.* 37 (1989) Nr. 1, S. 240-244.
- [11] Cohen, B. S.; Pependorf, W.: A method for monitoring dermal exposure to volatile chemicals. *AIHA J.* 50 (1989) Nr. 4, S. 216-223.
- [12] Field surveys of exposure to pesticides; Standard protocol. VBC/82.1. Hrsg.: World Health Organisation, Genf, Schweiz, 1982.
- [13] Pesticide Assessment Guidelines; Subdivision U. Applicator exposure monitoring. Hrsg.: US Environmental Protection Agency. Washington DC, USA, 1987.
- [14] Vo, E.; Berardinelli, S. P.; Hall, R. C.: Recovery of some common solvents from protective clothing breakthrough indicator pads by microwave-solvent extraction and gas chromatography. *Analyst* 124 (1999), S. 941-944.
- [15] Tsai, P. J.; Shieh, H. Y.; Lee, W. J.; Lai, S. O.: Health-risk assessment for workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a carbon black manufacturing industry. *Sci. Total Environm.* 278 (2001) S. 137-150.
- [16] Gijsbers, J. H.; Tielemans, E.; Brouwer, D. H.; van Hemmen, J. J.: Dermal exposure during filing, loading and brushing with products containing (2-(2-butoxyethoxy)ethanol. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 219-227.
- [17] Angerer, J.; Hardt, J.; Straube, E.; Krüger, E.; Bradatsch, M.; Schiele, R.; Karpinsky, C.; Bartsch, R.: Untersuchungen zur Belastung und Langzeitwirkung beruflicher Pflanzenschutzmittel-exposition – Teilprojekt A: Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zur Bestimmung von Pflanzenschutzmitteln in den Körperflüssigkeiten beruflich Exponierter. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin S 58. S. 7-45. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1999.
- [18] Batchelor, G. S.; Walker, K. C.: Health hazards involved in use of parathion in fruit orchards of North Central Washington. *AMA Arch. Ind. Health* 10 (1954) Nr. 6, S. 522-529.
- [19] Byers, M. E.; Kamble, S. T.; Witkowski, J. F.: Assessing insecticide drift during and after center-pivot chemigation to corn using glass plates and gauze pads. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 65 (2000) Nr. 4, S. 522-529.
- [20] Archibald, B. A.; Solomon, K. R.; Stephenson, G. R.: Estimation of pesticide exposure to greenhouse applications using video imaging and other assessment techniques. *AIHA J.* 56 (1995) Nr. 3, S. 226-235.
- [21] Tielemans, E.; Louwerse, E.; de Cock, J.; Brouwer, D.; Zielhuis, G.; Heederik, D.: Exposure to fungicides in fruit growing: re-entry time as a predictor for dermal exposure. *AIHA J.* 60 (1999) Nr. 6, S. 789-793.
- [22] Spencer, J. R.; Bissell, S. R.; Sanborn, J. R.; Schneider, F. A.; Margtich, S. S.; Krieger, R. I.: Chlorothalonil exposure of workers on mechanical tomato harvesters. *Toxicol. Lett.* 55 (1991) Nr. 1, S. 99-108.
- [23] Peterson, R. P.; Picard, G. L.; Devine, J. M.: Methods for the determination of total terbufos [phosphorodithioic acid, S-(tert butylthio)methyl O,O-diethyl ester] related residues in dermal exposure pads and air. *J. Agric. Food Chem.* 33 (1985) Nr. 6, S. 1041-1044.
- [24] Nigg, H. N.; Stamper, J. H.; Queen, R. M.: The development and use of a universal model to predict tree crop harvest pesticide exposure. *AIHA J.* 45 (1994) Nr. 3, S. 182-186.
- [25] Lorberau, C. D.; Pride, J. L.: A laboratory comparison of two media for use in the assessment of dermal exposure to pesticides. *Appl. Occup. Environm. Hyg.* 15 (2000) Nr. 12, S. 946-950.
- [26] Llewellyn, D. M.; Brazier, A.; Brown, R.; Cocker, J.; Evans, M. L.; Hampton, J.; Nutley, B. P.; White, J.: Occupational exposure to permethrin during its use as a public hygiene insecticide. *Ann. Occup. Hyg.* 40 (1996) Nr. 5, S. 499-509.

- [27] Keeble, V. B.; Dupont, R. R.; Doucette, W. J.; Norton, M.: Guthion penetration of clothing materials during mixing and spraying in orchards. In: Mansdorf, S. Z.: Performance of protective clothing: Second Symposium. Hrsg.: American Society for Testing and Materials ASTM STP 989 (1988) Nr. 11, S. 573-583.
- [28] Kangas, J.; Laitinen, S.; Jauhiainen, A.; Savolainen, K.: Exposure of sprayers and plant handlers to mevinphos in Finnish greenhouses. *AIHA J.* 54 (1993) Nr. 4, S. 150-157.
- [29] Johnson, P. D.; Rimmer, D. A.; Garrod, A. N.; Helps, J. E.; Mawdsley, C.: Operator exposure when applying amenity herbicides by all-terrain vehicles and controlled droplet applicators. *Ann. Occup. Hyg.* 49 (2005) Nr. 1, S. 25-32.
- [30] Hoekstra, E. J.; Kiefer, M.; Tepper, A.: Monitoring of exposure to benomyl in nursery workers. *J. Occup. Environm. Med.* 38 (1996) Nr. 8, S. 775-781.
- [31] Hines, C. J.; Deddens, J. A.; Lu, C.; Fenske, R.; Striley, C. A.: Mixed-effect models for evaluating multiple measures of atrazine exposure among custom applicators. *J. Occup. Environm. Hyg.* 3 (2006) Nr. 5, S. 274-283.
- [32] Grey, W. R.; Marthre, D. E.; Rogers, S. J.: Potential exposure of commercial seed-treating applicators to pesticides and carboxin-thiram and lindane. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 31 (1983) Nr. 2, S. 244-250.
- [33] de Cock, J.; Heederik, D.; Kromhout, H.; Boleij, J.; Hoek, F.; Wegh, H.: Exposure to captan in fruit growing. *AIHA J.* 59 (1998) Nr. 3, S. 158-165.
- [34] de Cock, J.; Westveer, K.; Heederik, D.; te Velde, E.; van Kooij, R.: Time to pregnancy and occupational exposure to pesticides in fruit growers in the Netherlands. *Occup. Environm. Med.* 51 (1994) Nr. 10, S. 693-699.
- [35] de Cock, J.; Heederik, D.; Hoek, F.; Boleij, J.; Kromhout, H.: Urinary excretion of tetrahydrophthalimide in fruit growers with dermal exposure to captan. *Am. J. Ind. Med.* 28 (1995) Nr. 2, S. 245-256.
- [36] Catenacci, G.; Tringali, S.; Imbriani, M.: Retrospective study of the morbidity in a group occupationally exposed to chlorotriazine herbicides: preliminary results. *G. Ital. Med. Lav.* 17 (1995) Nr. 1-6, S. 23-26.
- [37] Choi, H.; Moon, J. K.; Liu, K. H.; Park, H. W.; Ihm, Y. B.; Park, B. S.; Kim, J. H.: Risk assessment of human exposure to cypermethrin during treatment of mandarin fields. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 50 (2006) Nr. 3, S. 437-442.
- [38] Cessna, A. J.; Grover, R.: Exposure of ground-rig applicators to the herbicide bromoxynil applied as a 1:1 mixture of butyrate and octanoate. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 42 (2002) Nr. 3, S. 369-382.
- [39] Cattani, M.; Cena, K.; Edwards, J.; Pisaniello, D.: Potential dermal and inhalation exposure to chlorpyrifos in Australian pesticide workers. *Ann. Occup. Hyg.* 45 (2001) Nr. 4, S. 299-308.
- [40] Calumpang, S. M.; Medina, M. J.: Applicator exposure to imidacloprid while spraying mangoes. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 57 (1996) Nr. 5, S. 697-707.
- [41] Byers, M. E.; Kamble, S. T.; Witkowski, J. F.; Echtenkamp, G.: Exposure of a mixer-loader to insecticides applied to corn via a center-pivot irrigation system. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 49 (1992) Nr. 1, S. 58-65.
- [42] Byers, M. E.; Kamble, S. T.; Witkowski, J. F.: Drift during center-pivot chemigation of chlorpyrifos with and without crop oil. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 51 (1993) Nr. 1, S. 60-67.
- [43] Wolfe, H. R.; Staiff, D. C.; Armstrong, J. F.: Exposure of formulating plant workers to ethion and malathion. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 20 (1978) Nr. 6, S. 778-781.
- [44] Machado-Neto, J. G.; Matuo, T.; Matuo, Y. K.: Efficiency of safety measures applied to a manual knapsack sprayer for paraquat application to maize. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 35 (1998) Nr. 4, S. 698-701.
- [45] Iorizzo, L.; Bianchi, A.; Gamberini, G.; Rubino, A.; Missere, M.; Minak, G. J.; Tabanelli, S.; Violante, F. S.; Raffi, G. B.: Assessment of human exposure to pesticides in greenhouses and effectiveness of personal protective devices. *Arh. Hig. Rada Toksikol.* 47 (1996) Nr. 1, S. 25-33.
- [46] Wheeler, J. P.; Warren, N. D.: A dirichlet tessellation-based sampling scheme for measuring whole-body exposure. *Ann. Occup. Hyg.* 46 (2002) Nr. 6, S. 209-217.
- [47] Dubelman, S.; Lauer, R.; Arras, D. D.; Adams, S. A.: Operator exposure measurements during application of the herbicide diallate. *J. Agric. Food Chem.* 30 (1982) Nr. 3, S. 528-532.
- [48] Garrod, A. N.; Martinez, M.; Pearson, J.; Proud, A.; Rimmer, D. A.: Exposure to preservatives used in the industrial pretreatment of timber. *Ann. Occup. Hyg.* 43 (1999) Nr. 8, S. 543-555.
- [49] Fransman, W.; Vermeulen, R.; Kromhout, H.: Occupational dermal exposure to cyclophosphamide in Dutch hospitals: a pilot study. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 237-244.
- [50] Mänttälä, J.; Pennanen, S.; Puputti, M.; Haapa, K.; Liesivuori, J.: Occupational exposure to alkoxyisilanes in a fibreglass manufacturing plant. *Int. Arch. Occup. Environm. Health* 72 (1999) Nr. 8, S. 539-545.
- [51] Burstyn, I.; Ferrari, P.; Wegh, H.; Heederik, D.; Kromhout, H.: Characterizing worker exposure to bitumen during hot mix paving and asphalt mixing operations. *AIHA J.* 63 (2002) Nr. 3, S. 293-299.
- [52] Kamble, S. T.; Ogg, C. L.; Gold, R. E.; Vance, A. D.: Exposure of applicators and residents to chlordane and heptachlor when used for subterranean termite control. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 22 (1992) Nr. 3, S. 253-259.
- [53] Mäkinen, M.; Linnainmaa, M.: Dermal exposure to chromium in the grinding of stainless and acid-proof steel. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 197-202.
- [54] Mäkinen, M.; Linnainmaa, M.: Dermal exposure to chromium in electroplating. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 277-283.
- [55] Vermeulen, R.; de Hartog, J.; Swuste, P.; Kromhout, H.: Trends in exposure to inhalable particulate and dermal contamination in the rubber manufacturing industry: Effectiveness of control measures implemented over a nine-year period. *Ann. Occup. Hyg.* 44 (2000) Nr. 5, S. 343-354.
- [56] Delgado, P.; Porcel, J.; Abril, I.; Torres, N.; Terán, A.; Zugasti, A.: Potential dermal exposure during the painting process in car body repair shops. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 229-236.
- [57] Lindsay, F. E.; Semple, S.; Robertson, A.; Cherrie, J. W.: Development of a biologically relevant dermal sampler. *Ann. Occup. Hyg.* 50 (2006) Nr. 1, S. 85-94.
- [58] Liljelind, I. E.; Eriksson, K. A.; Nilsson, L. O.; Jonsson, I. B.; Burstrom, Y. I.: A method for measuring the potential dermal exposure to methyl methacrylate during two different dental technical work tasks. *J. Environm. Monit.* 7 (2005) Nr. 5, S. 519-523.
- [59] Rowell, F. J.; Fletcher, A.; Packham, C.: Recovery of some

- common solvents from an adhesive commercial skin adsorption pad by thermal desorption-gas chromatography. *Analyst* 122 (1997) Nr. 8, S. 793-796.
- [60] *van Wedel de Jooode, B.; Tielemans, E.; Vermeulen, R.; Wegh, H.; Kromhout, H.*: Dermal exposure assessment of benzene and toluene using charcoal cloth pads. *J. Exp. Ann. Environm. Epidem.* 15 (2005) Nr. 1, S. 47-50.
- [61] *Eriksson, K.; Wiklund, L.*: Dermal exposure to styrene in the fibreglass reinforced plastics industry. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 203-208.
- [62] *Eriksson, K.; Wiklund, L.*: Dermal exposure to monoterpenes during wood work. *J. Environm. Monit.* 6 (2004) Nr. 6, S. 563-568.
- [63] *Eriksson, K.; Wiklund, L.; Larsson, C.*: Dermal exposure to terpenic resin acids in Swedish carpentry workshops and sawmills. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 267-275.
- [64] *Rajan-Sithamparanadarajah, R.; Roff, M.; Delgado, P.; Eriksson, K.; Fransman, W.; Gijsbers, J. H.; Hughson, G.; Mäkinen, M.; van Hemmen, J. J.*: Patterns of dermal exposure to hazardous substances in European Union workplaces. *Ann. Occup. Hyg.* 48 (2004) Nr. 3, S. 285-297.
- [65] *Van Rooij, J. G.; Bodelier-Bade, M. M.; De Loeff, A. J.; Dijkmans, A. P.; Jongeneelen, F. J.*: Dermal exposure to polycyclic hydrocarbons among primary aluminium workers. *Med. Lav.* 83 (1992) Nr. 5, S. 519-529.
- [66] *Van Rooij, J. G.; Bodelier-Bade, M. M.; Jongeneelen, F. J.*: Estimation of individual dermal and respiratory uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons in 12 coke oven workers. *Br. J. Ind. Med.* 50 (1993) Nr. 7, S. 623-632.
- [67] *Van Rooij, J. G.; Maassen, L. M.; Bodelier-Bade, M. M.; Jongeneelen, F. J.*: Determination of skin contamination with exposure pads among workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Appl. Occup. Environm. Hyg.* 9 (1994) Nr. 10, S. 693-699.
- [68] *Väänänen, V.; Hämeilä, M.; Kalliokoski, P.; Nykyri, E.; Heikkilä, P.*: Dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons among road pavers. *Ann. Occup. Hyg.* 49 (2005) Nr. 2, S. 167-178.
- [69] *Väänänen, V.; Elovaara, E.; Nykyri, E.; Santonen, T.; Heikkilä, P.*: Road pavers' occupational exposure to asphalt containing waste plastic and tall oil pitch. *J. Environm. Monit.* 8 (2006), S. 89-99.
- [70] *Weker, R. A.; Herrick, R. F.; Rinehart, R. D.*: Laboratory evaluation of a potential diesel fuel interference in the determination of polycyclic aromatic compounds on dermal samplers. *J. Occup. Environm. Hyg.* 1 (2004) Nr. 5, S. 334-342.
- [71] *Vo, E.*: A new technique to determine organic and inorganic acid contamination. *Analyst* 127 (2002) S.178-182.
- [72] *Vo, E.; Berardinelli, S. P.; Hall, R. C.; Nadia, E. A.*: Quantitative study of aromatic amine through protective gloves using amine adsorptive pads. *AIHA J.* 61 (2000) S. 837-841.
- [73] *Vo, E.; Nicholson, J.; Gao, P.; Zhuang, Z.; Berardinelli, S. P.*: The thermo-hand method: Evaluation of a new indicator pad for acid permeation of chemical protective gloves. *AIHA J.* 64 (2003) S. 771-776.
- [74] *Jongeneelen, F. J.; Scheepers, P. T.; Groenendijk, A.; Van Aerts, L. A.; Anzion, R. B.; Robert, P.; Veenstr, S. J.*: Airborne concentrations, skin contamination, and urinary metabolite excretion of polycyclic aromatic hydrocarbons among paving workers exposed to coal tar derived road tars. *AIHA J.* 49 (1988) Nr. 12, S. 600-607.
- [75] *van Nimmen, N. F.; Poels, K. L.; Veulemans, H. A.*: Identification of exposure pathways for opioid narcotic analgesics in pharmaceutical production workers. *Ann. Occup. Hyg.* 50 (2006) Nr. 7, S. 665-677.
- [76] *Tucker, S. P.; Reynolds, J. M.; Wickman, D. C.; Hines, C. J.; Perkins, J. B.*: Development of sampling and analytical methods for concerted determination of commonly used chloroacetanilide, chlorotriazine, and 2,4-D herbicides in hand-wash, dermal-patch, and air samples. *Appl. Occup. Environm. Hyg.* 16 (2001) Nr. 4, S. 698-707.
- [77] *Pisaniello, D. L.; Gun, R. T.; Tkaczuk, M. N.; Nitscke, M.; Crea, J.*: Glutaraldehyde exposures and symptoms among endoscopy nurses in South Australia. *Appl. Occup. Environm. Hyg.* 12 (1997) Nr. 3, S. 171-177.
- [78] *Lundgren, L.; Skare, L.; Liden, C.*: Measuring dust on skin with a small vacuuming sampler – a comparison with other sampling techniques. *Ann. Occup. Hyg.* 50 (2006) Nr. 1, S. 95-103.
- [79] *van Hemmen, J. J.; Brouwer, D. H.*: Assessment of dermal exposure to chemicals. *Sci. Total Environm.* 168 (1995), S. 131-141.
- [80] *Dermal dosimetry.* Hrsg.: US Department of Labor. Occupational Safety Health Administration, Washington, USA. www.osha.gov/SLTC/dermalexposure/dosimetry.html (8.8.2008).
- [81] *Kromhout, H.; Vermeulen, R.*: Temporal, personal and spatial variability in dermal exposure. *Ann. Hyg.* 45 (2001) Nr. 4, S. 257-273.
- [82] *Vermeulen, R.; Heideman, J.; Bos, R. P.; Kromhout, H.*: Identification of dermal exposure pathways in the rubber manufacturing industry. *Ann. Hyg.* 44 (2000) Nr. 7, S. 533-541.
- [83] *Bergmann, T.*: Untersuchungen zur externen und internen Belastung bei Pflanzenschutzmittelexponierten im Verlauf von drei Jahren. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, 2004.
- [84] *Schneider, T.; Cherrie, J. W.; Vermeulen, R.; Kromhout, H.*: Dermal exposure assessment. *Ann. Occup. Hyg.* 44 (2000) Nr. 7, S. 493-499.