

Eine Zäsur für die Einsatzstellenhygiene

Hautreinigung von PAK und Ruß durch pak-ex

Berufsrisiko durch PAK

Wenn PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe), die krebserregenden Stoffe im Brandrauch, für das menschliche Auge sichtbar wären, dann würden wir nicht erst jetzt darüber sprechen, im Jahr 2023.

Dass diese Stoffe in den Brandrückständen Krebs auslösen, ist seit vielen Jahren bekannt. Besonders markant zeigt sich das etwa in der Bezeichnung der berufsbedingten Erkrankung der Schornsteinfeger: dem sogenannten Schornsteinfegerkrebs.¹ Auch Feuerwehrleute sind diesen Gefahren ausgesetzt. Jüngst hat die IARC, eine Unterorganisation der WHO, die Berufstätigkeit der Feuerwehrfrauen und -männer als nicht mehr nur „möglicherweise krebserregend“ (Kategorie 2b), sondern als „bekannter Krebserregend“ (Kategorie 1a) eingestuft. Das ist die höchstmögliche Gefahreinstufung. Diese Einstufung wurde maßgeblich aufgrund der Exposition gegenüber PAK vorgenommen.²

PAK entstehen bei jedem Brand, aber vor allem bei unvollständiger Verbrennung und bei der Verbrennung von Kunststoffen.³ Weil Wohnhäuser heutzutage besonders gut isoliert werden, ist zum einen die Luftzufuhr, zum anderen der Rauchabzug wesentlich verringert, was eine unvollständige Verbrennung begünstigt. Die zunehmende Verbreitung von Kunststoffen in Gebäudebauteilen sowie in Einrichtungsgegenständen führt ebenfalls dazu, dass im Brandfall eine höhere Menge an PAK entsteht.

Hautkontakt lässt sich minimieren, aber nicht vermeiden

PAK können über drei Wege in den Körper gelangen: inhalativ, dermal und oral. Der Inhalation lässt sich gut vorbeugen, indem der geeignete Atemschutz getragen wird. Dermal werden PAK aufgenommen, wenn es zu Hautkontakt kommt. Hierzu kommt es bei Brandeinsätzen, vor allem im Innenangriff, an den Übergangsstellen der Schutzausrüstung, die eine Kontamination der Haut nicht vollständig verhindert (vgl. Abbildung 1).⁴ Darüber hinaus besteht im weiteren Einsatzumfeld die Gefahr der dermalen Aufnahme durch Kontaminationsverschleppung, wie z.B. durch den Hautkontakt mit kontaminierten Schläuchen oder anderer Einsatz-ausrüstung. Beim Ausziehen kontaminierter Schutzkleidung gibt es bereits zahlreiche Trainingskonzepte, doch menschliche Fehler bedingt durch Stress, Müdigkeit und Nachlässigkeit führen zwangsläufig zu gelegentlichem Hautkontakt mit kontaminiertem Material. In einer

¹ Simon, Gustav. „Die Hautkrankheiten.“ Die Hautkrankheiten. De Gruyter, 2019.

² Demers, P., Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighter, The Lancet Oncology, 2022, 23, 8, 985-986.

³ Greim, H. Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), BFR, (2002).

⁴ Fluorescent Aerosol Screening Test (FAST) Test Report, RTI Project Number: 0212534.112, Jay Hill, RTI International.



Abbildung 1: Ergebnisse der FAST Studie. In der Studie wurde Modellrauch mit fluoreszierenden 2,5 µm großen Silikatpartikeln (SiO₂) erzeugt und die Einsatzkräfte diesen exponiert. Anschließend wurde die Fluoreszenz mittels UV-Licht sichtbar gemacht. Es zeigt sich, dass die Einsatzkleidung vor allem an den Übergangsstellen durchlässig ist. Dies ist im Bereich der Maske der Fall, am Übergang von Jacke und Handschuhe (Arm), von Jacke zu Hose (Bauch) und am Übergang von der Hose zu den Schuhen (Bein).⁴

Bild: J. Hill



Studie mit Kokereimitarbeiter*innen wurde gezeigt, dass PAK zu 75% über die Haut aufgenommen werden und so in den Körper gelangen.⁵ Eine effektive Reinigung der PAK von der Haut ist also – auch für Feuerwehrleute – eine Notwendigkeit.

Das gilt auch deshalb, weil die orale Aufnahme i.d.R. als Folge einer Hautkontamination auftritt, nämlich ebenfalls durch Kontaminationsverschleppung: Verunreinigte Hände übertragen die Gefahrstoffe z.B. auf Lebensmittel und so kommt es von einer dermalen Kontamination zu einer oralen Aufnahme der PAK in den Körper. Studien zeigen, dass eine orale Aufnahme genauso hoch sein kann, wie eine inhalativen Aufnahme.⁶

Eine effiziente und sichere Dekontamination von PAK ist also vonnöten, wie die Gefahrstoffverordnung auch arbeitsschutzrechtlich fordert. Hier ist in §4 Abs.1 die „Verwendung geeigneter Arbeitsmittel und Materialien nach dem Stand der Technik“ vorgeschrieben.⁷ Daher ist die wesentliche Frage, wie die Hautreinigung erfolgen soll. Und da stehen wir mitten in einer Zeitenwende, denn langsam setzt sich die Erkenntnis durch, dass bislang genutzte Mittel wie Seife oder Reinigungstücher bald der Vergangenheit angehören werden. Bislang genutzte Mittel wie Seife oder Tücher sind nicht geeignet, um eine Dekontamination durchzuführen, wie im Folgenden ausgeführt wird.

Wash-In-Effekt: erhöhte Aufnahme der Gefahrstoffe durch falsche Reinigungsmittel

Bereits vor einigen Jahren widmeten wir uns am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden der Frage: Was muss ein Hautreinigungsmittel erfüllen um geeignet für die Entfernung von PAK von der Haut sein? Hierbei sind zwei Aspekte besonders wichtig. Zum einen darf das Hautreinigungsmittel nicht dazu führen, dass die Gefahrstoffe verstärkt aufgenommen werden und zum anderen muss es hoch effektiv sein.

Die Aufnahme durch die Haut wird unter anderem durch den wash-in Effekt begünstigt. Zum wash-in

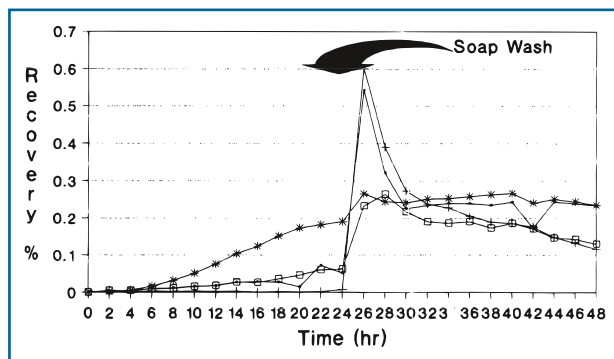


Abbildung 2: Wash-in-Effekt. Durch die Benutzung von Seife kann die Aufnahme von PAK durch die Haut um bis zu 400% gesteigert sein.⁸

Bild: R. P. Moody

effect kommt es dadurch, dass die Poren beim Waschen der Haut geöffnet werden und so die natürliche Hautbarriere so geschädigt wird. Die PAK können dann um bis zu 400% leichter durch die Haut eindringen (vgl. Abbildung 2).⁸ Beispiele für solche penetrationsfördernde Substanzen (penetration enhancer) lassen sich unter den Inhaltsstoffen von vielen bisher verwendeten Hautreinigungsmitteln und Dekontüchern finden, etwa „Sodium laureth sulfate“, „Sodium dodecylsulfate“, „Polysorbate“, „Citric Acid“, oder „Decyl (Poly)glucoside“.^{13,14}

Ungeeignete Inhaltsstoffe können also die Hautbarriere schwächen und zu einer erhöhten Aufnahme der Gefahrstoffe führen. Im Fall von Seife ist das bereits seit Jahrzehnten bekannt und wird auch bereits von der DGUV thematisiert: „Durch das Waschen mit Seife wird die natürliche Barriere der Haut geschwächt und wichtige Hautfette abgewaschen“.¹⁵ Auch viele Konservierungsmittel sind als sogenannte Penetrationsverstärker bekannt und gehören daher nicht auf die Liste der Inhaltsstoffe, wenn es um die Entfernung von chemischen Gefahrstoffen von der Haut geht. Konzeptionell macht es daher nur Sinn Inhaltsstoffe zu verwenden, die diesen wash-in Effekt nicht auslösen. Dies wurde bei pak-ex umgesetzt.

Seife und Reinigungstücher können PAK nicht effektiv entfernen

Der zweite Aspekt ist die Reinigungseffizienz selbst. Um dies zu untersuchen, führten wir Versuche an einem Schweinehautmodell durch. Eine definierte

⁵ VanRooij JG, Bodelier-Bade MM, Jongeneelen FJ, Estimation of individual dermal and respiratory uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons in 12 coke oven workers.

⁶ Cherrie, John W., et al. „How important is inadvertent ingestion of hazardous substances at work?“ The Annals of Occupational Hygiene 50.7 (2006): 693-704.

⁷ GefStoffV, §4 Abs.1.

⁸ Richard P. Moody*, Brita Nadeau, Ih Chu, In vivo and in vitro dermal absorption of benzo[a]pyrene in rat, guinea pig, human and tissue-cultured skin, Journal of Dermatological Science 9 (1995) 48-58.

⁹ Som I, Bhatia K, Yasir M. Status of surfactants as penetration enhancers in transdermal drug delivery. J Pharm Bioallied Sci. 2012;4(1):2-9.

¹⁰ Ebd.

¹¹ N Akhtar, et al., Penetration Enhancing Effect of Polysorbate 20 and 80 on the In Vitro Percutaneous Absorption of L Ascorbic Acid, Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2011; 10 (3): 281-288.

¹² Prasanthi D, Lakshmi PK. Effect of chemical enhancers in transdermal permeation of alfuzosin hydrochloride. ISRN Pharm. 2012;2012:965280.

¹³ Abd E, Roberts M, S, Grice J, E: A Comparison of the Penetration and Permeation of Caffeine into and through Human Epidermis after Application in Various Vesicle Formulations. Skin Pharmacol Physiol 2016;29:24-30. doi: 10.1159/000441040

¹⁴ Eine erweiterte Übersicht der in dieser Hinsicht problematischen Stoffe inklusive wissenschaftlicher Referenzen haben wir unter <https://www.dermapurge.com/produkte/pak-ex/> zusammengestellt.

¹⁵ DGUV Information 205-035 „Hygiene und Kontaminationsvermeidung bei der Feuerwehr“, Möglichkeiten zur Expositionsvermeidung – Nach dem Einsatz, S. 33

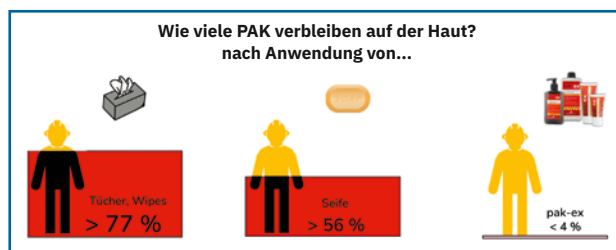


Abbildung 3: Enorme PAK-Rückstände verbleiben auf der Haut nach Waschen mit Tüchern und Seife - gemessen nach Brandeinsätzen von Keir et al.¹⁶ Hinzu kommt das Risiko des „Wash-In-Effekt“. Dagegen bindet pak-ex die PAK deutlich besser, während die Rezeptur ohne sogenannte Penetrationsverstärker auskommt, um die Hautbarriere nicht zu beeinträchtigen.

Bild: DermaPurge GmbH

Menge von PAK (Fluoren und Benz[a]pyren) wurde nach einer konstanten Einwirkzeit auf die Haut aufgebracht. Danach wurde mit dem jeweiligen Reinigungsmittel und mit kaltem Wasser gewaschen. Zur Auswertung wurden die Hautproben auf einer Platte fixiert und mittels 2D-aufgelöster Fluoreszenzspektroskopie charakterisiert. Die Eigenfluoreszenz der Haut wurde jeweils nach Messung einer Referenzprobe subtrahiert. Das Ergebnis stellten wir im April 2022 in der BRANDSCHUTZ vor: mindestens 40 % der PAK verblieben bei Verwendung von Seife auf der Haut.¹⁷ In der Praxis nach Brandeinsätzen ist das Ergebnis noch deutlicher, wie eine jüngst erschienene kanadische Studie nachwies.¹⁶ Dort verblieben mit Seife mehr als 50 % und mit Tüchern sogar mehr als 75 % auf der Haut.

pak-ex setzt neuen Stand der Technik

Nachdem wir im Labor das Problem der bislang verfügbaren Hautreinigungsmittel festgestellt hatten, widmeten wir uns der Untersuchung für eine effektiv reinigende Rezeptur, die ohne sogenannte Penetrationsverstärker auskommt, um so die Hautbarriere nicht zu beeinträchtigen. Mit pak-ex gelang es uns schließlich: das Gel reinigt mindestens 96 % der PAK von der Haut, und ist dabei möglichst hautschonend – durch eine pH-hautneutrale Formulierung und Verzicht auf Penetrationsverstärker oder Duftstoffe.

Diese Kriterien sollten selbstverständlich sein, wenn es um die Hautdekontamination von krebserregenden Gefahrstoffen für unsere Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer sowie alle Ehrenamtlichen geht.

Biologische Gefahren: Dies ist ein Fall für Seife, Desinfektionsmittel & Co.

Seife, Tücher und Desinfektionsmittel sind also zur Reinigung von PAK gänzlich ungeeignet. Dennoch sind Sie für die Begrenzung von biologischen Gefahren unerlässlich. Diese Gefahren bestehen zum einen für

die Einsatzkraft durch die Kontamination von außen mit biologischem Material, als auch für Patienten durch die Kontamination durch die Einsatzkräfte.

So können Bakteriensporen, wie sie in Erde und Fäkalien vorkommen, nur unzureichend mit alkoholischen Desinfektionsmitteln abgetötet werden. Deshalb sollte der Desinfektion noch eine Seifenwaschung folgen. Die Verwendung von Tüchern erfolgt dann analog, je nachdem wie sie getränkt sind.



Abbildung 4: pak-ex ist in Tubenform sowie seit Januar 2023 auch in den noch hygienischeren Spenderlösungen erhältlich – Pumpspender sind ein zusätzliches Mittel gegen Kontaminationsverschleppung.

Bild li.: JP Gansewendt Photography; Bild rechts: aquanesa solution GmbH

Ausblick

Auch für andere Berufsgruppen ist das ein Thema. Denn PAK sind auch für SchornsteinfegerInnen, in Gießereien oder Kokereien eine Herausforderung für den Arbeitsschutz. In all diesen Bereichen wird man sich in einigen Jahren rückblickend fragen, warum sich bis ins 21. Jahrhundert ungeeignete Kosmetikmittel im Umgang mit Gefahrstoffen halten konnten.

Nach nicht einmal einem Jahr ist pak-ex bei BF, FF, in der Realbrandausbildung sowie in Atemschutzgerätekraftwerken im Einsatz. Fachhändler in Deutschland und Nachbarländern führen pak-ex im Sortiment, uns erreichen erste Anfragen aus Südeuropa. Fahrzeughersteller wie MAGIRUS setzen künftig auf pak-ex bei den Hygieneboards. Der ECOMED-Verlag hat ein eigenes Fachblatt zur Hautreinigung für Feuerwehren veröffentlicht, und erste Verbände arbeiten an Leitfäden und Fachempfehlungen zum neuen Stand der Technik.

Autoren

Dr. Jonas Schubert,
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.,
Mitgründer und Geschäftsführer der DermaPurge GmbH,
Dresden



¹⁶ Keir JLA, Kirkham TL, Aranda-Rodriguez R, White PA, Blais JM. Effectiveness of dermal cleaning interventions for reducing firefighters' exposures to PAHs and genotoxins. J Occup Environ Hyg. 2023 Feb;20(2):84-94.

¹⁷ J.Schubert, F. Klee, M. Bätge, pak-ex als neues Produkt für die Reinigung von PAK nach Brandeinsätzen, Brandschutz, 76, 291-297