



# Arbeitsplatzbelastungen bei der Verwendung von bioziden Produkten

## Teil 4

R. Hebisch, D. Holthenrich, J. Karmann, F. Riechert, M. Berger, N. Kersten

**Forschung  
Projekt F 1809**

R. Hebisch  
D. Holthenrich  
J. Karmann  
F. Riechert  
M. Berger  
N. Kersten

**Arbeitsplatzbelastungen bei der  
Verwendung von bioziden Produkten**

**Teil 4: Holzschutzmittel**

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Arbeitsplatzbelastungen bei der Verwendung von bioziden Produkten. Teil 4: Holzschutzmittel“ – Projekt F 1809 – der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Autoren: Dr. Ralph Hebisch  
Dr. Dagmar Holthenrich  
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Karmann  
Dr. Freya Riechert  
Dipl.-Ing. (FH) Marion Berger  
Dr. Norbert Kersten

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund  
Telefon: 0231 9071-0  
Telefax: 0231 9071-2454  
E-Mail: [poststelle@baua.bund.de](mailto:poststelle@baua.bund.de)  
Internet: [www.baua.de](http://www.baua.de)

Berlin:  
Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin  
Telefon: 030 51548-0  
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:  
Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden  
Telefon: 0351 5639-50  
Telefax: 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.  
Aus Gründen des Umweltschutzes wurde diese Schrift auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

ISBN 978-3-88261-101-4

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Kurzreferat</b>	5
<b>Abstract</b>	6
<b>1 Einleitung</b>	7
<b>2 Die Imprägnierung mit Holzschutzmitteln</b>	9
2.1 Vorbeugende Holzschutzmaßnahmen	9
2.2 Arten von Holzschutzmitteln	11
2.3 Verfahren der Holzschutzmittelimprägnierung	13
2.3.1 Kesseldruckimprägnierung	14
2.3.2 Trogtränkung	16
2.3.3 Heiß-Kalt-Tränkung	17
<b>3 Biozidgesetz - Rechtlicher Hintergrund und Umsetzung</b>	18
3.1 Rechtlicher Hintergrund	18
3.2 Bewertung der Belastungen am Arbeitsplatz	18
<b>4 Beschreibung der beteiligten Betriebe</b>	20
4.1 Betriebe mit Kesseldruckimprägnierung	20
4.1.1 Imprägnierung mit wasserlöslichen Holzschutzmitteln	23
4.1.2 Imprägnierung mit Teeröl	23
4.2 Betriebe mit Trogtränkung	23
4.3 Betriebe mit Heiß-Kalt-Einstellung	24
4.4 Arbeitsbereiche mit Holzstaubbelastung	24
<b>5 Durchführung der Messungen</b>	25
5.1 Arbeitsplatzmessungen	25
5.1.1 Probenahme	25
5.1.2 Analytische Bestimmung	26
5.1.3 Klima	27
5.2 Messung von Hautbelastungen	27
5.3 Biomonitoring	27
5.3.1 Probenahme	28
5.3.2 Probenaufarbeitung und analytische Bestimmung	28
<b>6 Ergebnisse und Diskussion</b>	29
6.1 Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Holzschutzmitteln	29
6.1.1 Belastungen durch Chrom und Kupfer bei der Kesseldruckimprägnierung	29
6.1.2 Hautbelastungen bei der Kesseldruckimprägnierung	32

6.2	Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl	36
6.2.1	Belastungen durch Teerölinhaltsstoffe bei der Kesseldruck- imprägnierung	36
6.2.2	Hautbelastungen bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teerölen	39
6.2.3	Biomonitoring bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl	41
6.2.3.1	Probanden	41
6.2.3.2	Ergebnisse für die Vorschichtuntersuchungen	42
6.2.3.3	Ergebnisse für die Nachschichtuntersuchungen	44
6.2.3.4	Korrelation zwischen innerer PAH-Belastung vor Beginn der Arbeitswoche und gegen Ende der Arbeitswoche	45
6.2.3.5	Zusammenhang zwischen Luftbelastung und Biomonitoring	46
6.3	Imprägnierung mittels Heiß-Kalt-Tränkung	46
6.4	Imprägnierung mittels Trogränkung	49
6.5	Belastungen durch Holzstaub	51
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung</b>	<b>59</b>

# **Arbeitsplatzbelastungen bei der Verwendung von bioziden Produkten**

## **Teil 4: Holzschutzmittel**

### **Kurzreferat**

Für die dem Biozidgesetz unterliegenden Holzschutzmittel müssen die bioziden Wirkstoffe und daraus hergestellte Biozid-Produkte ein Bewertungs- bzw. Zulassungsverfahren durchlaufen. Zur Beurteilung der Belastungen der Beschäftigten bei der gewerblichen Imprägnierung mit Holzschutzmitteln wurden in 13 Betrieben Arbeitsplatzmessungen durchgeführt.

Im Einzelnen wurden die Tätigkeiten bei der Kesseldruckimprägnierung mit wässrigen kupferhaltigen Holzschutzmitteln, die zum Teil auch Chromverbindungen enthielten, der Imprägnierung mit Steinkohleteerölen im Kesseldruck- und Heiß-Kalt-Einstellverfahren sowie der Trogränkung mit wässrigen borhaltigen Lösungen untersucht. Die Arbeitsplatzmessungen zeigten, dass die zur Beschickung und Entleerung der Imprägnieranlagen durchgeführten Tätigkeiten mit den höchsten Belastungen verbunden sind.

Neben den Arbeitsplatzmessungen erfolgten erste Versuche zur Messung der potenziellen dermalen Exposition. Die Probenahme an den Beschäftigten wurde dabei unter Verwendung von Patches oder Ganzkörper-Overalls durchgeführt. Hautkontakt ist insbesondere an den Händen möglich sowie in geringerem Umfang an den Innenseiten der Unterarme. Daneben können infolge von Spritzern auch die Vorderseiten der Ober- und Unterschenkel sowie des Oberkörpers betroffen sein.

Bei der Kesseldruckimprägnierung von Bahnschwellen mit Teerölen wurde zusätzlich ein Biomonitoring durchgeführt. Dabei erfolgte die Bestimmung des 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Urin der Beschäftigten. In den Betrieben wiesen die unmittelbar bei der Imprägnierung und der weiteren Bearbeitung der imprägnierten Schwellen tätigen Beschäftigten die höchsten inneren Belastungen auf, im Median ca. 80-mal so hoch wie der Referenzwert von 0,3 µg/g Kreatinin. Eine Korrelation zwischen den inneren und den Luftbelastungen wurde insbesondere aufgrund des kleinen Beschäftigtenkollektivs nicht untersucht.

### **Schlagwörter:**

Holzschutzmittel, Kupfer, Chrom, Teeröl, Kreosot, Bor, Arbeitsplatzmessungen, inhalative Belastungen, dermale Belastungen, Biomonitoring

# Occupational Exposure to Biocidal Products

## Part 4: Wood Preservatives

### Abstract

Workplace measurements have been performed in 13 enterprises to assess workers' exposure to wood preservatives. The background of this investigation program is the assessment and authorization of biocides according to the European Biocidal Products Directive 98/8/EC.

The following impregnation techniques have been investigated: pressure impregnation with aqueous solutions containing copper salts, and in part chromium salts, or creosotes; immersion (hot – cold) in creosotes, and steeping in aqueous boron containing solutions. Workplace measurements showed highest exposure during charging and discharging of the impregnation devices.

First attempts to measure potential dermal exposure have been made. For this purpose, patches and whole body overalls have been used. It could be demonstrated that dermal exposure mainly occurs at the hands and the inner faces of the lower arms. Additionally, the front faces of the upper and lower legs and the upper part of the trunk may be exposed as a consequence of splashes – but to a lower extent.

During impregnation of railway sleepers with creosotes biological monitoring of PAH exposure was performed by determination of urinary 1-hydroxypyrene, a metabolite of pyrene. Employees directly involved in impregnation and those handling impregnated wood showed highest internal exposure (Median: 80 times the reference value of 0,3 µg/g creatinine). Analysis of the relationship between external and internal exposure has not been done because of low numbers of paired values.

### Key words:

Wood preservatives, copper, chromium, tar oils, creosote, boron, workplace measurements, inhalable exposure, dermal exposure, biological monitoring

# 1 Einleitung

Holz wird als natürlicher Baustoff im Innen- und Außenbau für die verschiedensten Anwendungen eingesetzt. Als biologisches Material unterliegt Holz einem ständigen Abbau, der insbesondere durch den Angriff darauf spezialisierter Organismen (z. B. Pilze und Insekten) erfolgt. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Feuchtigkeitsverhältnisse. So bestehen bei gleichen Holzarten gravierende Unterschiede dahingehend, ob Holz z. B. in trockenen Innenräumen oder aber im Außenbereich, womöglich noch mit ständigem Boden- oder gar Wasserkontakt eingebaut wurde.

Im Allgemeinen ist es erforderlich, Bauholz vor holzerstörenden Insekten oder Pilzen zu schützen. Dies erfolgt sehr häufig durch chemische Holzschutzmittel, die biozide Eigenschaften besitzen. Je nach Funktion der Holzbauteile werden dabei unterschiedliche Ziele verfolgt. Haben die Bauteile eine tragende oder aussteifende Funktion, geht es in erster Linie um die Gewährleistung einer dauerhaften Standsicherheit. Dies ist z. B. der Fall bei Telegrafmasten, Bahnschwellen, Pergolen oder Spielgeräten. Bei nichttragenden Hölzern (z. B. Zaun- oder Dekorationselemente) dienen die Holzschutzmittel vor allem der Werterhaltung und der Verlängerung der Gebrauchsdauer. Je nach Anwendungsgebiet ist daher immer zu prüfen, ob Holzschutzmittel eingesetzt werden müssen und welche Holzschutzmitteltypen und Schutzverfahren in Frage kommen, um das angestrebte Schutzziel zu erreichen.

Holzschutzmittel unterliegen dem Biozidgesetz vom 20. Juni 2002 [1], mit dem die EU-Richtlinie 98/8/EG [2] über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten umgesetzt wurde. Im Anhang V dieser Richtlinie sind Holzschutzmittel als Produktart 8 der Hauptgruppe 2 „Schutzmittel“ zugeordnet. Unter Holzschutzmitteln versteht man Produkte zum Schutz von Holz, ab dem Einschnitt im Sägewerk, oder Holzherzeugnissen gegen den Befall durch holzerstörende oder die Holzqualität beeinträchtigende Organismen. Dabei umfasst diese Produktart sowohl Präventivprodukte als auch Kurativprodukte.

Entsprechend dem Biozidgesetz müssen auch für Holzschutzmittel die bioziden Wirkstoffe und daraus hergestellte Biozid-Produkte ein Bewertungsverfahren bzw. Zulassungsverfahren durchlaufen. Dabei werden deren mögliche Einflüsse auf die Umwelt, die Verbraucher und auf Beschäftigte bewertet. Die Zulassung der Biozid-Produkte erfolgt durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), die im Biozidgesetz als Zulassungsstelle benannt wurde.

Bereits frühzeitig wurde festgestellt, dass hinsichtlich der Arbeitnehmerexposition nur wenige Informationen vorliegen [3]. Dies nahm die BAuA zum Anlass, im Rahmen eines Forschungsprojektes im Zeitraum von 2005 - 2007 entsprechende Untersuchungen und umfangreiche Arbeitsplatzmessungen durchzuführen. Es war von vornherein klar, dass dabei nicht die gesamte Palette aller möglichen Verfahren oder Holzschutzmittel abgedeckt werden konnte. Das Untersuchungsprogramm erstreckte sich daher nur auf die folgenden Verfahren und Wirkstoffe:

- Kesseldruckimprägnierung mit kupfer- und chrom-/kupferhaltigen Zubereitungen,
- Trogtränkung mit borhaltigen Zubereitungen sowie

- Kesseldruckimprägnierung und Heiß-/Kalt-Einstellverfahren mittels Kreosoten.

Ziel der Untersuchungen war es, die Gefahrstoffbelastungen der Beschäftigten in den verschiedenen Arbeitsbereichen bei Tätigkeiten mit Holzschutzmitteln zu erfassen. Da eine Reihe der Betriebe auch unbehandeltes Holz bearbeitete, wurden in einigen Fällen auf ausdrücklichen Wunsch dieser Betriebe Arbeitsplatzmessungen zur Ermittlung der Holzstaubbelastung durchgeführt.

Neben den Belastungen der Atemluft spielen auch Hautbelastungen eine bedeutende Rolle. Diese sind ebenfalls im Rahmen des Zulassungsverfahrens nach dem Biozidgesetz zu bewerten. Es wurden daher auch Versuche unternommen, die dermalen Belastungen durch Holzschutzmittel zu erfassen.

In einigen Betrieben, die mit Kreosoten imprägnierten, wurde ergänzend ein Biomonitoring durchgeführt, um auch die innere Belastung der Beschäftigten mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) darstellen zu können.

## 2 Die Imprägnierung mit Holzschutzmitteln

Holz findet im Rahmen des Innen- und Außenausbaus eine Vielzahl von Anwendungen. Um mögliche Zerstörungen oder Wertminderungen von Holz, Holzwerkstoffen oder Holzkonstruktionen während der Nutzung zu verhindern, kommen vorbeugende oder bekämpfende Holzschutzmaßnahmen zum Einsatz. Vorbeugende Maßnahmen sollen das Holz vor der Zerstörung durch Pilze, Insekten oder Feuer wirksam schützen. Hierbei wird zwischen baulichen und chemischen Maßnahmen unterschieden. Bekämpfungsmaßnahmen dienen dazu, Pilze oder Insekten abzutöten, die Holz befallen haben [4]. Ziel all dieser Maßnahmen ist eine möglichst lange Gebrauchsdauer von Holz oder Holzkonstruktionen.

Holzschutzmittel werden eingesetzt, um einem Befall von Holz oder Holzwerkstoffen durch holzerstörende oder holzverfärbende Organismen vorzubeugen oder diesen Befall zu bekämpfen. Im Folgenden wird nur noch auf vorbeugende chemische Holzschutzmaßnahmen eingegangen, da nur diese Gegenstand der hier vorgestellten Untersuchungen zu den Belastungen der Beschäftigten durch die dabei eingesetzten Stoffe waren.

### 2.1 Vorbeugende Holzschutzmaßnahmen

Holzschutz wird schon seit mehreren tausend Jahren betrieben [5]. So ist z. B. der Schutz durch Verkohlung und Ankohlung ab ca. 5000 v. Chr. durch Funde in der Fayum Wüste und dem Watt Qena belegt. Bereits im alten Rom wurden Schiffe mit Pech bestrichen, um sie vor Bohrmuscheln zu schützen.

Entsprechend DIN 68800, Teil 3, [6] wird Holz, das in Form tragender und/oder aussteifender Holzbauteile zum Einsatz kommt, verschiedenen Gebrauchsklassen zugeordnet. Ausschlaggebend für die entsprechende Zuordnung in eine Gebrauchsklasse ist die Art der Beanspruchung. Je nach Art der Beanspruchung bestehen dann für das Holz oder die Holzkonstruktion unterschiedliche Gefährdungen durch Insekten, Pilze, Auswaschung und Moderfäule. Einer weiteren Beanspruchungsmöglichkeit durch Meerwasser wurde durch die Ergänzung der Gebrauchsklassen [7] in der europäischen Normung Rechnung getragen. In Tabelle 2.1 wird eine Übersicht gegeben über die für die einzelnen Gebrauchsklassen bestehenden Beanspruchungen und die zugehörigen Anforderungen an die zur Vorbeugung einzusetzenden chemischen Holzschutzmittel, wobei der Sonderfall der Beanspruchung durch Meerwasser hier nicht berücksichtigt wurde.

Die in Tabelle 2.1 aufgeführten Gefährdungen können auftreten, wenn nachfolgend auftretende Bedingungen zutreffen. Eine Schädigung durch Insekten besteht bei den meisten Hölzern, wenn diese frei anfliegbar sind. Den größten Schutz gegen Insekten bieten splintfreie Farbkernhölzer (z. B. Makoré, asiatisches Teakholz), wobei es sich fast durchweg um Tropenhölzer handelt. Von den in Europa heute vorkommenden Laubhölzern weist das Kernholz der Robinie die höchste natürliche Dauerhaftigkeit auf. Sie gehört allerdings zu den eingeführten Holzarten. Bei lange andauernder Holzfeuchte über 20 % besteht die Gefahr eines Befalls durch holzerstörende Pilze.

**Tab. 2.1** Gebrauchsklassen und resultierende Anforderungen an Holzschutzmittel [8]

<b>Gebrauchs- klasse</b>	<b>Anwendungsbereiche</b>	<b>notwendiger Schutz</b>
Holzbauteile, die durch Niederschläge, Spritzwasser oder dergleichen nicht beansprucht werden		
0	Wie Gebrauchsklasse 1 unter Berücksichtigung von Abschnitt 2.2.1 der DIN 68800, Teil 3	Abschnitt 2.2.1 der DIN 68800, Teil 3
1 <sup>1</sup>	Innenbauteile mit einer mittleren relativen Luftfeuchte bis 70 % und gleichartig beanspruchte Bauteile	gegen Insekten
2	Innenbauteile mit einer mittleren relativen Luftfeuchte über 70 % und gleichartig beanspruchte Bauteile	gegen Insekten, Pilze
	Innenbauteile in Nassbereichen, Holzteile wasserabweisend abgedeckt	
	Außenbauteile ohne unmittelbare Wetterbeanspruchung	
Holzbauteile, die durch Niederschläge, Spritzwasser oder dergleichen beansprucht werden		
3	Außenbauteile mit Wetterbeanspruchung ohne ständigen Erd- und/oder Wasserkontakt	gegen Insekten, Pilze; witterungs- beständig
	Innenbauteile in Nassräumen	
4	Holzteile mit ständigem Erd- und/oder Süßwasserkontakt, auch zur Ummantelung	gegen Insekten, Pilze, Moderfäule; witterungs- beständig

Dies ist dann der Fall, wenn die Holzbauteile durch Niederschläge oder andere Feuchteeinwirkungen beansprucht werden können. Ein Oberflächenanstrich als Schutz ist in solchen Fällen nicht mehr ausreichend. Auswaschungen können dann auftreten, wenn das Holz durch Niederschläge, Spritzwasser oder ähnliches beansprucht wird. Besteht ständiger Erd- und/oder Wasserkontakt, können Holz und Holzbauteile durch Moderfäule zerstört werden. Dies ist auch dann möglich, wenn

<sup>1</sup> Holzfeuchte < 20 % sichergestellt

bei Außenbauteilen verstärkte Erd-, Laub- oder Schmutzablagerungen auf waagrecht exponierten Flächen sowie in Rissen und Fugen auftreten [4].

Die in diesem Bericht dargestellten Untersuchungen beziehen sich durchweg auf Betriebe, in denen Holzbauteile entsprechend den Anforderungen der Gebrauchsklassen 3 und 4 vorbeugend mit Holzschutzmitteln behandelt wurden. Die Anforderungen an die dabei verwendeten Holzschutzmittel lassen sich zusammenfassend wie folgt darstellen [4]:

- insektenvorbeugend,
- pilzwidrig,
- witterungsbeständig und
- moderfäulewidrig (nur bei Gebrauchsklasse 4).

Wird ein Holzbauteil mehreren Gebrauchsklassen zugeordnet, so wird es in der Regel entsprechend der höchsten Gebrauchsklasse mit Holzschutzmittel behandelt.

## 2.2 Arten von Holzschutzmitteln

Bei Holzschutzmitteln wird zwischen wässrigen und lösemittelhaltigen sowie Emulsionen unterschieden [8]. Die üblicherweise als Konzentrate zur Verfügung stehenden wässrigen Holzschutzmittel, üblicherweise mit Salzen als Wirkstoff, werden in den Betrieben zur Verarbeitung verdünnt. Die in lösemittelhaltigen Holzschutzmitteln enthaltenen organischen Wirkstoffe liegen bereits in anwendungsbereiter Form vor. Mit wässrigen und lösemittelhaltigen Holzschutzmitteln werden insbesondere halbtrockene und feuchte Hölzer imprägniert.

Bei wasserlöslichen Holzschutzmitteln werden die Wirkstoffe bei und vor allem nach der Imprägnierung chemisch an der Holzfaser gebunden oder in wasserunlösliche Stoffe umgewandelt, wodurch sie dann fast nicht mehr auswaschbar sind. Nachfolgend sind die wichtigsten wasserlöslichen Holzschutzmittelgruppen aufgelistet [9]:

- B-Salze (anorganische Borverbindungen),
- CK-Salze (Chrom-Kupfer-Verbindungen),
- CKB-Salze (Chrom-Kupfer-Bor-Verbindungen),
- CKF-Salze (Chrom-Kupfer-Fluor-Verbindungen),
- CFB-Salze (Chrom-Fluor-Bor-Verbindungen),
- Kupfer-Bor- und Kupfer-HDO-Präparate,
- Kupfer-Bor- und Triazol-Präparate,
- Präparate mit Bor und quartären Ammoniumverbindungen,
- Präparate mit Kupfer und quartären Ammoniumverbindungen,
- Präparate mit quartären Ammoniumverbindungen sowie
- Präparate mit polymerem Betain.

Mit Ausnahme der aufgeführten Borverbindungen weisen alle oben wasserlöslichen Holzschutzmittelgruppen eine fixierende Wirkung auf. Bei der Fixierung werden durch eine chemische Reaktion mit dem Holzbestandteil Lignin schwer lösliche, komplexe Verbindungen gebildet. Diese Fixierung findet nach dem Imprägnierprozess statt und ist von der Umgebungstemperatur und Luftfeuchte abhängig. Werden nichtfixierende wasserbasierte Holzschutzmittel verwendet, so dürfen die imprägnierten Holzbauteile nicht für Anwendungen mit Bewitterungsbeanspruchung und/oder Erdkontakt verbaut werden.

Lösemittelhaltige Holzschutzmittel haben üblicherweise einen hohen Anteil an Testbenzinen. Ihre Wirksamkeit gegen Pilze und Insekten beruht auf organischen Wirkstoffen. Früher wurden häufig Pentachlorphenol und Lindan als Wirkstoffe eingesetzt. Wegen ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung wurden sie von den Herstellern durch andere organische Wirkstoffe, wie z. B. synthetische Pyrethroide (Permethrin, Deltamethrin, Cypermethrin), Azole (Tebuconazol, Propiconazol), Carbamate (IBPC, Fenoxycarb), Flufenoxuron und Fluanide (Dichlofluanid, Tolyfluanid) ersetzt [9]. Lösemittelhaltige Holzschutzmittel kommen vorwiegend zum Einsatz, wenn die Maßhaltigkeit, insbesondere bei Fenstern und Türen, sowie der Erhalt von ursprünglichem Holzbild und -farbe im Vordergrund stehen.

Zu den lösemittelhaltigen Holzschutzmitteln zählen auch die Steinkohlenteeröle, deren Einsatz jedoch auf bestimmte Verfahren beschränkt ist. Steinkohlenteeröle werden auch Karbolineum oder Kreosote genannt. Mit Teerölen imprägnierte Hölzer dürfen nur im Außenbereich eingesetzt werden.

Steinkohlenteeröle sind sehr komplexe Stoffgemische aus etwa 10 000 Einzelverbindungen. Hauptbestandteile sind aromatische Verbindungen. Die Zusammensetzung der Teeröle ist abhängig von der eingesetzten Steinkohle und der Destillationstemperatur. Steinkohlenteeröle werden mittels einer Siedeanalyse klassifiziert. Nach den Vorgaben des Westeuropäischen Instituts für Imprägnierung (W.E.I.) erfolgt eine Einstufung in die Klassen A, B oder C entsprechend dem Gehalt an Benzo(a)pyren. Diese W.E.I.-Klassen sind mittlerweile in die Europäische Norm DIN EN 13991 [10] überführt worden, wobei sich die festgelegten Parameter nicht verändert haben. Teeröle der Klasse WEI A enthalten 50 - 500 ppm Benzo(a)pyren; die Klassen WEI B und C dürfen maximal 50 ppm Benzo(a)pyren enthalten. Die Klassen WEI B und C unterscheiden sich dadurch, dass bei letzterer die VOC-Emissionen<sup>2</sup> etwa um den Faktor 10 niedriger liegen. Nach Anhang IV, Nr. 13 der Gefahrstoffverordnung [11] besteht für Steinkohlenteeröle ein Verwendungsverbot, wenn der Massengehalt an Benzo(a)pyren mehr als 50 Milligramm pro Kilogramm beträgt sowie mehr als 3 % wasserlöslicher Phenole enthalten sind. Es kommen daher nur Teeröle der Klassen WEI B und C zum Einsatz.

Heute können auch Emulsionen zum Einsatz kommen. In diesen als Konzentrat angebotenen Emulsionen sind die organischen Wirkstoffe in der wässrigen Zubereitung fein oder feinst verteilt. Beim Einsatz solcher Emulsionen bleibt weniger Holzschutzmittel an der Oberfläche zurück. So behandelte Hölzer geben später weniger Schadstoffe durch Austrag, Auswaschung oder Ausgasung ab.

---

<sup>2</sup> VOC = flüchtige organische Verbindungen

In Tabelle 2.2 wird eine Übersicht über die Anwendungsbereiche imprägnierter Holzbauteile gegeben. Die Untersuchungen waren im Wesentlichen auf die Gebrauchsklassen 3 und 4 beschränkt, sodass die tabellarische Übersicht auch nur diese beiden Gebrauchsklassen näher darstellt. Steinkohlenteeröle kommen nur noch für die Gebrauchsklasse 4 bei der Imprägnierung von Bahnschwellen, Masten für Post- oder Energieversorgungsleitungen, von im Hopfen-, Wein- und Obstanbau verwendeten Stangen und Pfählen sowie von Koppelzäunen zum Einsatz.

**Tab. 2.2** Anwendungsbereiche imprägnierter Holzbauteile [12]

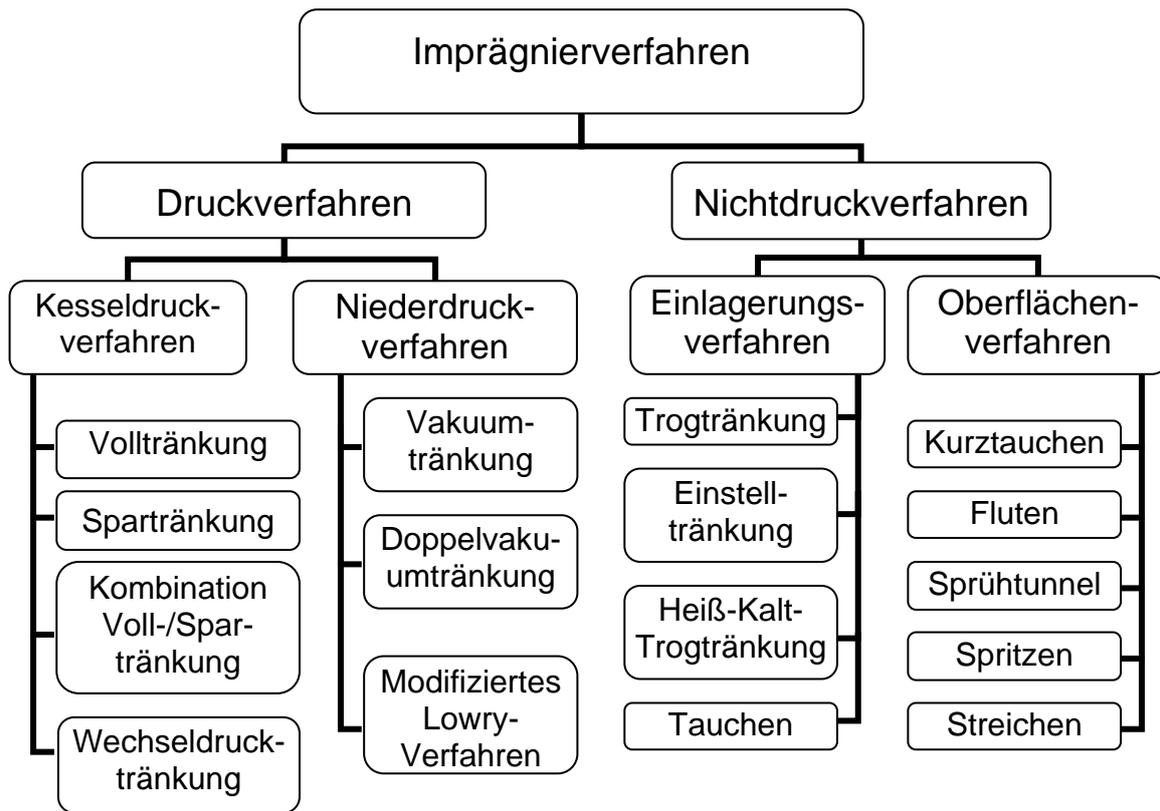
Gebrauchsklasse	Anwendungsbereiche imprägnierter Holzbauteile
3	Fassadenverkleidungen, Balkone, Zäune, Holzfenster, -türen, -läden, Spielgeräte, Brückenbauteile, Gartenmöbel, Seekisten, Lärmschutzwände nach ZTV-Lsw <sup>3</sup> , Hölzer mit einer häufigen Holzfeuchte > 20 %
4	Pfähle, Pfosten, Palisaden, statisch beanspruchte Bauteile von Gartenpavillons, Pergolen, Carports, Garten- und Gewächshäusern, Pflanzkästen mit direktem Erdkontakt, Holzpflaster (Garten- und Landschaftsbau), Lärm- und Sichtschutzwände, Masten, Kühltürme, Eisenbahnschwellen, Kabeltrommeln, Brückenstützen, -träger, Bootsstege, Uferbefestigungen (alles Süßwasser), Hölzer mit einer ständigen Holzfeuchte > 20 %

### 2.3 Verfahren der Holzschutzmittelimprägnierung

Bei den Verfahren zur Einbringung von Holzschutzmitteln wird zwischen Druck- und Nichtdruckverfahren unterschieden. Welches Prinzip zur Anwendung kommt, richtet sich nach der Art des Holzschutzmittels und dem vorgesehenen Verwendungszweck der Hölzer und Holzbauteile. In Abbildung 2.1 ist eine Übersicht über die Einbringverfahren des vorbeugenden Holzschutzes dargestellt.

Nachfolgend wird auf die Imprägnierverfahren näher eingegangen, die bei den durchgeführten Untersuchungen angewendet wurden. Im Einzelnen handelt es sich dabei um die Kesseldruckimprägnierung sowie um die Einlagerungsverfahren Trogränkung und Heiß-Kalt-Trogränkung.

<sup>3</sup> Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen



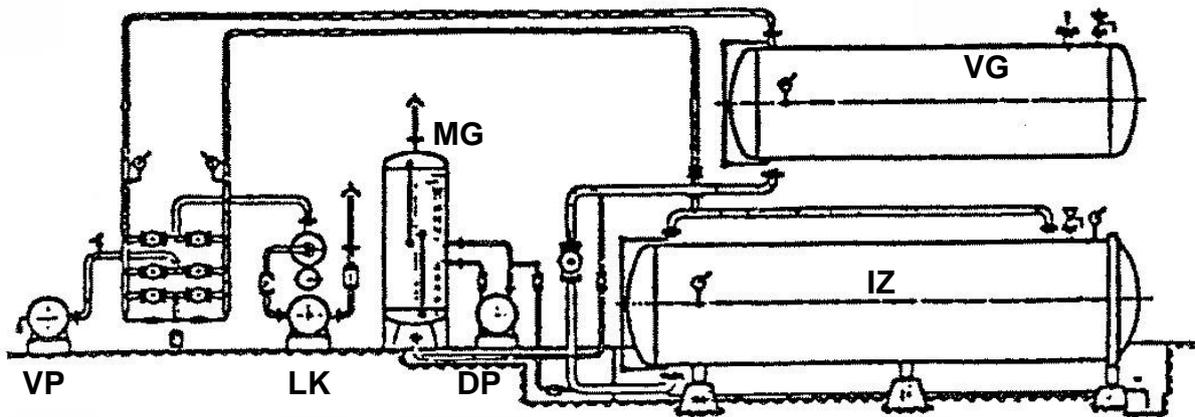
**Abb. 2.1** Übersicht über Imprägnierverfahren [13, 14]

### 2.3.1 Kesseldruckimprägnierung

Die in Abbildung 2.1 dargestellten Verfahren der Kesseldruckimprägnierung unterscheiden sich im Wesentlichen durch Modifikation der zeitabhängigen Druckführung während des Imprägniervorganges. Da dieses bei geschlossenen Kesseln abläuft, ist es für die Exposition der Beschäftigten nicht relevant. Es wird daher nachfolgend nur das Grundprinzip der Kesseldruckimprägnierung dargestellt, ohne auf die speziellen Verfahren näher einzugehen.

Die Kesseldruckimprägnierung wird für die Imprägnierung von Holz und Holzbauteilen der Gebrauchsklassen 3 und 4 eingesetzt. Es werden jedoch auch Holzbauteile der Gebrauchsklasse 2, die z. B. als Außenbauteile eingesetzt werden, mit diesem Verfahren imprägniert [13].

In Abbildung 2.2 ist beispielhaft für Kesseldruckanlagen eine solche für das Rüping-Verfahren dargestellt. Derartige Anlagen bestehen aus einem Imprägnierzylinder (IZ) und einem Vorratsgefäß (VG). Zur Realisierung des erforderlichen Druckprogramms sind eine Druckpumpe (DP) und eine Vakuumpumpe (VP) erforderlich. Wird eine Anlage nicht vollautomatisch betrieben oder verfügt das Vorratsgefäß nicht über eine Flüssigkeitsstandanzeige für den Verbrauch an Imprägnierflüssigkeit, so ist ein Messgefäß (MG) erforderlich. Ein Kompressor (LK) wird bei einigen Verfahren benötigt, um den Imprägnierzylinder vor dem Imprägnieren mit einem Luftvordruck zu beaufschlagen.



**Abb. 2.2** Skizze einer Kesseldruckanlage (Rüping-Verfahren) [13]

Der Imprägnierzylinder hatte bei den untersuchten Betrieben einen typischen Durchmesser von etwa 2 m. Die Länge variierte im Bereich von 12 m bis 30 m. Die Beschickung des Imprägnierzylinders erfolgt mittels Loren auf eingebauten Gleisen. Dabei können die Beschickung und Entladung des Imprägnierzylinders durch eine Öffnung an der Frontseite des Zylinders erfolgen, aber ebenso im Durchfahrtbetrieb, wenn beide Frontseiten mit verschließbaren Klappen versehen sind. Das Schließen der frontseitigen Klappen kann sowohl manuell als auch hydraulisch erfolgen.

Das Tränkprogramm im Imprägnierzylinder kann mit einer Unterdruckphase (Volltränkung) oder bei Überdruck (Rüping-Verfahren) beginnen. Aus einem oder mehreren Vorratsgefäßen wird das Tränkmittel in den Imprägnierzylinder gefördert. Bei allen Kesseldruckverfahren werden Druck und Vakuum angewandt, wobei der aufgebaute Überdruck bis etwa 1 MPa beträgt. Die Tränkung erfolgt üblicherweise vollautomatisch unter Verwendung vorgegebener Imprägnierprogramme. Nach der Imprägnierung wird der Imprägnierzylinder auf Atmosphärendruck entspannt und das Tränkmittel aus diesem entfernt. Das imprägnierte Holz und Holzbauteile können anschließend auf den Loren herausgezogen werden. Dazu wird üblicherweise ein Gabelstapler oder Radlader verwendet.

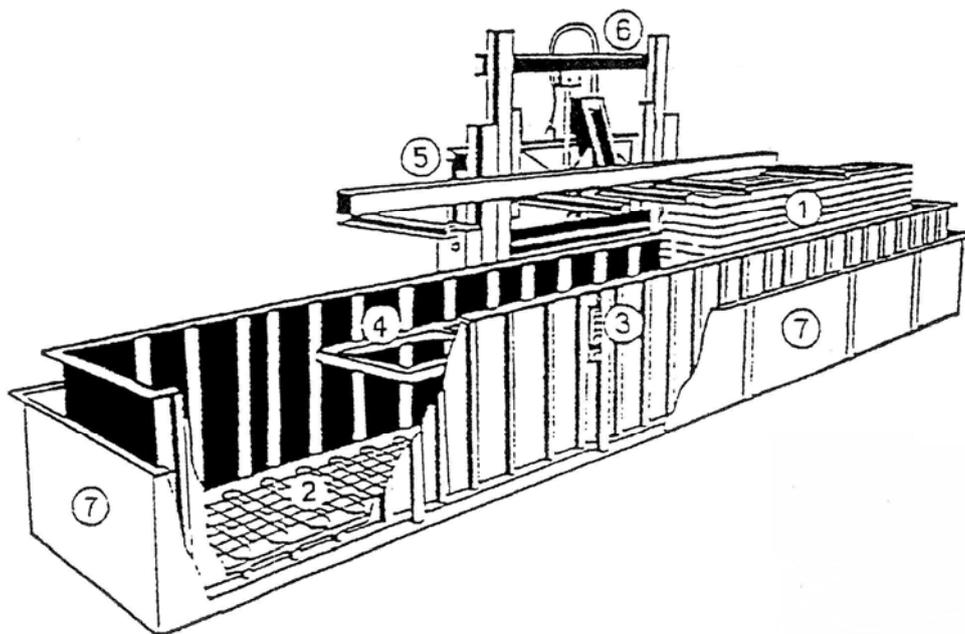
Die Kesseldruckimprägnierung kommt sowohl für wasserlösliche Holzschutzmittel als auch für Teeröle zum Einsatz. In Deutschland wird die Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl in ca. 10 - 15 Betrieben durchgeführt; mit wasserlöslichen Holzschutzmitteln erfolgt dies in etwa 150 Betrieben [15]. Ziel ist eine möglichst tiefgehende und gleichmäßige Imprägnierung des durchtränkbareren Teils des Holzes. Imprägniert wird dabei hauptsächlich das Splintholz, wogegen Kernholz kaum durchtränkbar ist. Die Tiefe der Imprägnierung wird auch durch die Holzsorte bestimmt.

### 2.3.2 Trogränkung

Die Trogränkung erfolgt überwiegend in Sägewerken. Über die Anzahl der Betriebe, die die Trogränkung durchführen liegen nur ungenaue Informationen vor. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass deren Zahl mittlerweile deutlich unterhalb 1000 mit abnehmender Tendenz liegt. Die Gesamtzahl der Anlagen zur Trogränkung lag 2003 bei etwa 2100 [16].

Mittels Trogränkung werden in erster Linie Bauhölzer für die Gebrauchsklassen 1, 2 und 3 imprägniert. Eine typische Anlage zur Trogränkung ist in Abbildung 2.3 dargestellt [14]. Zur Imprägnierung wird das Holzpaket (1) üblicherweise mit einem Gabelstapler auf die Holzauflage (4) aufgelegt. Diese wird dann mit dem Hubwerk (6) in den Tränktrog (3) eingefahren. Mittels einer Niederhaltevorrichtung (5) wird ein Aufschwimmen des Holzes verhindert. Befindet sich die Tränkanlage an einem frostgefährdeten Ort, so werden Heizaggregate (z. B. Flächenheizung (2)) eingebaut. Aus Sicherheitsgründen müssen einwandige Anlagen - im Gegensatz zu doppelwandigen - in Auffangwannen (7) stehen.

Bei der Trogränkung wird das Holz über einen bis mehrere Tage vollständig in der wässrigen Imprägnierlösung untergetaucht. Mittels einer Intervallsteuerung kann das Holz wiederholt ein- und ausgefahren werden. Dadurch werden festgehaltene Luftblasen ausgetrieben. Durch Schrägstellen des Hubgerüsts nach der Tränkung kann ein schnelleres Abtropfen überschüssiger Imprägnierflüssigkeit erreicht werden. Mit einem Gabelstapler werden die imprägnierten Holzpakete dann abgenommen und in einem Abtropfbereich zwischengelagert. Geeignete Überdachungen schützen gegen Regen und Schlagregen.



**Abb. 2.3** Skizze einer Trogränkanlage [14]

### 2.3.3 Heiß-Kalt-Tränkung

Die Heiß-Kalt-Tränkung wird als Einstelltränkung in Deutschland in ca. 20 Betrieben durchgeführt [15]. Dabei werden insbesondere Pfähle für den Wein- und Obstbau sowie Gartenpfähle imprägniert. Ziel ist es, deren mit dem Erdbereich in Berührung stehende Fußbereiche zu schützen.

Durch das Erhitzen und das anschließende Abkühlen der Imprägnierflüssigkeit werden Eindringtiefe und Tränkzeiten verbessert bzw. verkürzt. Zur Tränkung werden heutzutage ausschließlich Teeröle verwendet [14]. Die Heiß-Kalt-Tränkung kann sowohl im Eintrog- als auch im Zweitrogverfahren erfolgen.

Die zu tränkenden Pfähle werden in einem Korb platziert und dieser dann mittels eines Gabelstaplers in das Tränkbecken eingebracht. Die Einstelltiefe der Holzpfähle in das Teeröl liegt üblicherweise etwa 20 cm oberhalb der vorgesehenen Eingrabtiefe. Anschließend wird das Teeröl auf etwa 110 °C bis 120 °C aufgeheizt. Dabei dehnt sich die im Holz eingeschlossene Luft aus und entweicht ebenso wie die Feuchte. Während der anschließenden Abkühlung entsteht ein geringes Vakuum im Holz, was zum weiteren Einsaugen von Tränkflüssigkeit in das Holz führt. Nach dem Imprägniervorgang werden die Tränkkörbe mit dem Gabelstapler herausgenommen und in Abtropfkörbe gestellt. Im Gegensatz zum hier beschriebenen Eintrogverfahren werden die Tränkkörbe beim Zweitrogverfahren nach dem Erwärmen herausgenommen und in einen zweiten Trog mit kälterer Tränkflüssigkeit platziert.

Wegen der durch das Erhitzen verstärkten Freisetzung von Teeröldämpfen wird dieses Einstellverfahren entweder mit Trögen, die mit Deckeln verschließbar sind, durchgeführt, oder die offenen Tröge befinden sich in einer geschlossenen Halle. Die freigesetzten Dämpfe können abgesaugt werden und durch Abluftwäsche aus der Abluft ausgewaschen werden.

## **3 Biozidgesetz - Rechtlicher Hintergrund und Umsetzung**

### **3.1 Rechtlicher Hintergrund**

Die Biozid-Produkte-Richtlinie (98/8/EG) [2] regelt im europäischen Rahmen die Zulassung „alter“ (vor dem 14.05.2000 im Verkehr in den EU-Mitgliedstaaten) und „neuer“ Biozid-Produkte und die Verwendung „alter“ und „neuer“ biozider Wirkstoffe durch die Aufnahme in die Anhänge I, Ia oder Ib der Richtlinie. Am 28. Juni 2002 trat das deutsche Biozidgesetz [1] in Kraft, das im Wesentlichen die zur Umsetzung der Richtlinie erforderlichen Regelungen in das Chemikaliengesetz integriert hat.

Kern der Neuregelung des Chemikaliengesetzes und der Biozid-Produkte-Richtlinie ist das Zulassungsverfahren für Biozid-Produkte. Biozid-Produkte sind biozide Wirkstoffe und Zubereitungen, die dazu bestimmt sind, auf chemischem oder biologischem Wege Schadorganismen zu zerstören, abzuschrecken, unschädlich zu machen, Schädigungen durch sie zu verhindern oder sie in anderer Weise zu bekämpfen, und die einer Produktart zugehören, die in Anhang V der Richtlinie aufgeführt ist. Anhang V der Richtlinie nennt insgesamt 23 Biozid-Produktarten. Darunter fallen z. B. Holzschutzmittel, Rodentizide, Desinfektionsmittel und Insektizide. Holzschutzmittel und Rodentizide werden von der EU als Wirkstoffe mit besonderen Risiken beurteilt. Diese Produktarten werden daher seit 2004 zuerst durch die EU-Behörden bewertet.

Nach Aufnahme der Wirkstoffe in die Anhänge der Richtlinie müssen Firmen, die Biozid-Produkte mit diesen Wirkstoffen vermarkten, Zulassungsanträge an die nationalen Zulassungsstellen stellen. Die ersten Zulassungen sind demzufolge nicht vor 2009 zu erwarten.

Entsprechend dem Biozidgesetz [1] ist die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Fachbereich 5 „Bundesstelle Chemikalien / Zulassung Biozide“, Zulassungsstelle. Im Verfahren sind verschiedene nationale Fachbehörden beteiligt. Hierbei ist der Fachbereich 4 der BAuA „Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe“ zuständig für den Schutz von Beschäftigten, die Tätigkeiten mit Biozid-Produkten ausüben. Im Rahmen dieser Aufgabe wurde das in diesem Bericht beschriebene Forschungsprojekt durchgeführt.

### **3.2 Bewertung der Belastungen am Arbeitsplatz**

Die Entscheidung über die Aufnahme eines Wirkstoffs in den Anhang I, Ia oder Ib der Richtlinie wird im Rahmen eines europäischen Bewertungsverfahrens getroffen. Die von einem bioziden Wirkstoff und dessen Produkten möglicherweise ausgehenden Risiken für Verbraucher, Arbeitnehmer und die Umwelt werden von dem jeweils zuständigen Mitgliedstaat bewertet. Anschließend erfolgt zur Harmonisierung eine Diskussion dieser Bewertungen in verschiedenen europäischen Gremien. Diese endet mit einer Entscheidung über die Aufnahme dieses bioziden Wirkstoffs in die Anhänge der Richtlinie. Eine Zulassung von Biozid-Produkten wird hingegen national ent-

schieden. Eine Vermarktung in der EU ist dann über eine gegenseitige Anerkennung der Zulassung in jedem anderen Mitgliedsland möglich.

Im Wirkstoffverfahren wurden von der deutschen Zulassungsstelle zwei Holzschutzmittel und ein Rodentizid bewertet. Diese Wirkstoffe stehen kurz vor der Aufnahme in den Anhang I der Richtlinie oder wurden bereits aufgenommen.

Zur Bewertung der möglichen Risiken bei Tätigkeiten mit Biozid-Produkten am Arbeitsplatz werden die Hautbelastungen und die inhalativen Belastungen beurteilt. Dafür stehen z. T. nur wenige Informationen und Messdaten zur Verfügung. Die Belastungen werden daher überwiegend anhand von in der Literatur beschriebenen Messdaten oder Modellberechnungen abgeschätzt. Eine Datensammlung über verschiedene Literaturstellen und anzuwendende Modelle stehen in Form des Guidance Dokumentes „Technical Notes for Guidance (TNsG) to Biocidal Products“ (2002) [17] zur Verfügung. Dieses Guidance Dokument wurde im Rahmen eines EU-Projektes überarbeitet und liegt seit 2008 in einer aktualisierten Form vor [18]. In diesem Dokument stehen nur wenige Messdaten zur Beurteilung von Belastungen gegenüber Holzschutzmitteln, die in verschiedenen Anwendungsverfahren gehandhabt werden, zur Verfügung. Dies trifft insbesondere für die Trogränkung zu. Eine HSE<sup>4</sup>-Studie aus dem Jahr 1999 dokumentiert hierfür fünf Messdaten [19]. Die Belastungen bei der Kesseldruckimprägnierung wurden in mehreren HSE-Studien ermittelt und zusammengefasst veröffentlicht [20]. Für eine umfassende Bewertung der Belastungen an Trogränk- oder Kesseldruckanlagen sind diese Informationen nicht ausreichend. Hier fehlen u. a. eine ausführliche Darstellung von Tätigkeiten und die Beschreibung der Arbeitsplatzbedingungen. Eine genaue Beschreibung der Arbeitsplätze ist gerade für die Bewertung der dermalen Belastung von Bedeutung. Hier spielen der dermale Kontakt über kontaminierte Arbeitsflächen und das Arbeitsverhalten des einzelnen Beschäftigten eine große Rolle. Hinzu kommt, dass die HSE-Daten nicht den aktuellen Stand der Technik dieser Branche beschreiben. Ebenso ist nur schwer einzuschätzen, ob eine Übertragung auf die Arbeitsbedingungen in Deutschland möglich ist.

Einen Überblick über die auf dem Markt befindlichen Holzschutzmittel und andere Biozid-Produkte geben die Daten der Meldeverordnung. Die nationale Meldeverordnung wurde als Instrument für die Übergangsphase bis zur abschließenden Bewertung der bioziden Wirkstoffe und der Zulassung von Biozid-Produkten geschaffen.

Die zu den Biozid-Produkten eingereichten Angaben erlauben es den Überwachungsbehörden der Bundesländer, die Vermarktungsfähigkeit von Biozid-Produkten zu überprüfen. Auch hier ist die Zulassungsstelle zuständig für die Umsetzung der Meldeverordnung. Auswertungen der Meldeverordnung aus dem Jahr 2005 zeigen, dass sich ca. 490 Holzschutzmittel auf dem Markt befinden. Bei den Wirkstoffen wurde allein Kupfer(I)-oxid über einhundertmal für verschiedene Produktarten gemeldet. Dies zeigt exemplarisch, welche große Rolle die in diesem Untersuchungsprogramm eingeschlossenen chrom- und kupferhaltigen Zubereitungen bei den vermarkteten Holzschutzmitteln spielen. Hingegen sind nur elf Produkte mit dem Wirkstoff Kreosote gemeldet.

---

<sup>4</sup> HSE = Health and Safety Executive

## 4 Beschreibung der beteiligten Betriebe

Am Untersuchungsprogramm waren 13 Betriebe beteiligt. Eine zusammenfassende Beschreibung dieser Betriebe liefert Tabelle 4.1.

In den untersuchten Betrieben waren in der Regel etwa zwei bis vier Beschäftigte unmittelbar mit den Imprägnierarbeiten betraut. Daneben wurden noch eine Reihe anderer Tätigkeiten von weiteren Beschäftigten ausgeführt. Dabei handelte es sich im Wesentlichen um die folgende Arbeitsgebiete und Gewerke:

- Sägewerk,
- Schälwerk,
- Schreinerei,
- Auslieferung und Montage.

Obwohl die Betriebe wesentlich als Imprägnierbetriebe charakterisiert waren, war die überwiegende Anzahl der Beschäftigten in den aufgeführten anderen Gewerken und Arbeitsgebieten tätig. Typisch war für die Imprägnierbetriebe, dass die imprägnierten Hölzer und Holzbaueile direkt an die Kunden - sowohl Privatpersonen als auch Gewerbebetriebe - und in Einzelfällen auch an den Handel geliefert wurden. Häufig waren dann auch Mitarbeiter mit der Montage unmittelbar vor Ort beschäftigt.

### 4.1 Betriebe mit Kesseldruckimprägnierung

Die Kesseldruckimprägnierung wurde in elf Betrieben durchgeführt. In vier dieser Betriebe erfolgten Imprägnierungen mit Teeröl; neun Betriebe verwendeten wasserlösliche Holzschutzmittel.

Die Beschickung der Imprägnierkessel erfolgte in allen Fällen mittels Loren, die mit einem Gabelstapler/Radlader beladen und in die Kessel hineingeschoben bzw. nach erfolgter Imprägnierung wieder herausgezogen wurden. In der Regel wurden die zu imprägnierenden Hölzer und Holzbauteile mittels Ketten oder Spanngurten auf den Loren befestigt, um ein Aufschwimmen in den Imprägnierkessel zu vermeiden.

Sowohl wasserlösliche Holzschutzmittel als auch Teeröle wurden im Kreislauf gefahren. Die Qualität der Imprägnierlösungen und auch der imprägnierten Bauteile wurden in allen Betrieben regelmäßig überwacht.

**Tab. 4.1** Am Untersuchungsprogramm beteiligte Betriebe

<b>Betrieb</b>	<b>Anzahl der Mitarbeiter</b>	<b>Eingesetzte Imprägnierverfahren</b>	<b>Anzahl der Imprägnieranlagen</b>	<b>Bemerkungen</b>
A	15	Kesseldruckimprägnierung mit Chrom-Kupfer-Salzen	2 Kessel	
B	60	Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen (auch chromfreie Lösungen)	3 Kessel	
C	17	Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen Heiß-Kalt-Einsteltränkung	2 Kessel 3 Tauchbecken	Mit Absaugung und Abluftwäsche
D	26	Kesseldruckimprägnierung mit kupferhaltigen Lösungen (chromfrei) Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl	3 Kessel 1 Kessel	
E	4	Kesseldruckimprägnierung mit kupferhaltigen Lösungen (chromfrei)	1 Kessel	Rüping-Verfahren
F	90	Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl	2 Kessel	Imprägnierung mit Teeröl sowie mit Teeröl/Wasser-Emulsion (Bahnschwellen)
G	2	Trogtränkung mit borhaltigen Lösungen	1 Trogbecken	Sägewerk
H	49	Trogtränkung mit borhaltigen Lösungen	1 Trogbecken	Sägewerk

**Tab. 4.1** (Fortsetzung)

<b>Betrieb</b>	<b>Anzahl der Mitarbeiter</b>	<b>Eingesetzte Imprägnierverfahren</b>	<b>Anzahl der Imprägnieranlagen</b>	<b>Bemerkungen</b>
I	36	Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen (auch chromfreie Lösungen) Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl Trogtränkung	3 Kessel  1 Kessel 1 Tauchbecken	eine Anlage zur Dampfifixierung  Bahnschwellen nur selten im Einsatz
J	10	Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen	2 Kessel	eine Anlage zur Dampfifixierung, Imprägnierung mit Flammschutzmittel
K	55	Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl	2 Kessel	Bahnschwellen Buche: Doppel-Rüping-Verfahren Eiche: modifiziertes Rüping-Verfahren
L	20	Kesseldruckimprägnierung mit kupferhaltigen Lösungen (chromfrei)	2 Kessel	1 Kessel im Wechseldruckbetrieb
M	5	Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen Heiß-Kalt-Einstelltränkung	2 Kessel  4 Einstellbecken	In einer geschlossenen Halle, ohne Absaugung

#### 4.1.1 Imprägnierung mit wasserlöslichen Holzschutzmitteln

Drei Betriebe imprägnierten ausschließlich mit chromfreien kupferhaltigen Holzschutzmitteln (Cu-HDO [9]). Die anderen Imprägnierbetriebe verwendeten auch oder nur chromhaltige Holzschutzmittel mit Kupfer als biozidem Wirkstoff, wobei hier CK- und CKF-Salze dominierten [9]. Die wasserlöslichen Holzschutzmittel wurden in allen Betrieben als Konzentrate im Kunststoff-Container (1000 l, IBC<sup>5</sup>) angeliefert und dann vor Ort entsprechend verdünnt. In Abhängigkeit von den Kundenwünschen wurden den Imprägnierlösungen Farbstoffe (bevorzugt braun) zugesetzt.

Die Produktpalette dieser Betriebe umfasste im Wesentlichen Pfähle unterschiedlichster Länge, Zaunfelder, Sichtschutzelemente sowie Spiel- und Klettergeräte. Die Betriebe C und M führten anschließend noch bei Pfählen eine Fußtränkung mit Teeröl im Heiß-Kalt-Einstellverfahren durch.

Ein Teil der Betriebe führte während der Wintermonate keine Imprägnierungen oder nur in eingeschränktem Umfang durch. Grund dafür war der Feuchtegehalt des Holzes.

#### 4.1.2 Imprägnierung mit Teeröl

Die Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl erfolgte in vier Betrieben. Es kamen nur Teeröle der Klassen WEI B und C zum Einsatz, wobei bei der Imprägnierung von Bahnschwellen ausschließlich die Klasse WEI C zum Einsatz kam.

In den Betrieben F, I und K, die Bahnschwellen herstellten, war eine größere Anzahl von Beschäftigten bei der Aufplattung tätig. Hierbei wurden auf den vorgebohrten und imprägnierten Schwellen die Platten und Halterungen für den Gleisaufbau vormontiert. Außerdem wurden in einige Bahnschwellen seitlich Schutzkrampen eingeschlagen, die den Riss des Holzes verhindern sollen. In diesen Betrieben wurden auch Imprägnierungen mit Öl/Wasser-Emulsionen durchgeführt.

In den Betrieben I und K erfolgten auch Holzstaubmessungen beim Hobeln und Bohren der Bahnschwellen. Diese waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht imprägniert. Dabei wurde ausschließlich Buchen- und Eichenholz verarbeitet.

## 4.2 Betriebe mit Trogränkung

Die Betriebe G und H waren in erster Linie Sägewerke und betrieben die Trogränkung nur in geringerem Umfang. Die Planung der Arbeitsplatzmessungen erfolgte in diesen Fällen so, dass deren Durchführung bei Trogränkungen auch sichergestellt wurde. In diesen Betrieben kamen wasserlösliche borhaltige Präparate zum Einsatz. Die Trogränkanlagen waren in beiden Betrieben zum Schutz vor Regenwasser überdacht.

Die auf der Holzauflage aufliegenden zu imprägnierenden Hölzer wurden in den Trog eingefahren und nach etwa 20 bis 60 min wieder herausgefahren. Dieser Tauchvorgang wurde mit dem gleichen Holzpaket mehrfach wiederholt. Die Beladung der Holzauflage und die Abnahme der imprägnierten Hölzer erfolgten mit einem Gabelstapler.

---

<sup>5</sup> Intermediate Bulk Container

Betrieb H produzierte in großem Umfang Holzwolle. Dabei wurden auf Wunsch des Betriebes ebenfalls Arbeitsplatzmessungen zur Ermittlung der Holzstaubbelastung durchgeführt.

Die im Betrieb I vorhandene Anlage zur Trogränkung wurde während der dortigen Messkampagne nicht genutzt.

### **4.3 Betriebe mit Heiß-Kalt-Einstellung**

In den Betrieben C und M kam die Heiß-Kalt-Einstellung zum Einsatz. Dabei wurden Teeröle der Klasse WEI B verwendet. Beide Betriebe verfügten auch über Anlagen zur Kesseldruckimprägnierung mit wasserlöslichen Imprägniermitteln.

Die Betriebe imprägnierten in erster Linie Pfahlfüße, insbesondere für den Obst- und Weinbau. Die Einstellung der mit Pfählen bestückten Imprägnierkörbe in die Teerölbecken erfolgte entweder mittels Gabelstapler oder einem elektrischen Seilzug. Die Imprägniertemperatur betrug etwa 120 °C.

Hinsichtlich der Anlagengestaltung bestanden wesentliche Unterschiede. In Betrieb C waren die Tauchbecken unter einer allseitig offenen Überdachung untergebracht. Während des Imprägniervorganges waren sie mit schwenkbaren Deckeln verschlossen. Alle Anlagen verfügten über eine Absaugung. Die abgesaugte Luft wurde durch eine Abluftwäsche geleitet. In Betrieb M waren die Tauchbecken in einer abschließbaren Halle ohne weitere Absaugung untergebracht. Während des Imprägniervorganges wurden die Tauchbecken abgedeckt.

### **4.4 Arbeitsbereiche mit Holzstaubbelastung**

In acht Betrieben wurden auf deren Wunsch Messungen der Holzstaubbelastungen durchgeführt, um so eine Unterstützung bei der Gefährdungsbeurteilung zu erhalten. Die wesentlichen Tätigkeiten der Holzbearbeitung erfolgten vor der Imprägnierung im Schälwerk oder zum Teil auch nach der Imprägnierung in der Schreinerei. Im Schälwerk wurde von den angelieferten Stämmen (bevorzugt Kiefern- und Fichtenholz) die Rinde geschält. Die Holzpfähle wurden dann auf die gewünschte Länge geschnitten und den entsprechenden Durchmesser gefräst. Abschließend erfolgte das Anspitzen der Pfähle.

In der Schreinerei/Fertigung wurden Holzerzeugnisse (Zaunfelder, Schaukeln, Klettergerüste, Gartenmöbel) hergestellt. Zum Teil wurden dabei auch imprägnierte Hölzer verarbeitet. Die dabei ausgeübten Tätigkeiten waren im Wesentlichen Bohren und Sägen sowie die Montage.

In den Betrieben, die Bahnschwellen aus Buchenholz imprägnierten, erfolgte eine vorbereitende Bearbeitung in der Bohr- und Hobelhalle. In einer automatisierten Anlage wurden die Schwellen zugeschnitten und gehobelt. Außerdem wurden die Löcher für die Halterungen der Gleise gebohrt. Die Beschäftigten legten die Schwellen auf die Anlage und entnahmen sie nach dem Durchlauf. Zum Teil mussten neben den Kontrollarbeiten auch umfangreichere Reinigungsarbeiten durchgeführt werden.

## 5 Durchführung der Messungen

In den untersuchten Betrieben wurden neben Arbeitsplatzmessungen in geringerem Umfang Probenahmen und Messungen der dermalen Exposition durchgeführt. Weiterhin erfolgte in drei von vier Betrieben, die Teeröl zur Imprägnierung verwendeten, ein Biomonitoring.

### 5.1 Arbeitsplatzmessungen

#### 5.1.1 Probenahme

Die Arbeitsplatzmessungen in den Imprägnierbetrieben wurden jeweils an mehreren Tagen durchgeführt. Es erfolgten sowohl personengetragene als auch ortsfeste Messungen. Den personengetragenen Messungen wurde dabei immer der Vorzug gegeben. Es gab jedoch auch eine Reihe von Arbeitsbereichen und Tätigkeiten, wo ausschließlich die ortsfesten Messungen zum Einsatz kamen. Dies war dann der Fall, wenn sich in den betreffenden Arbeitsbereichen keine ständigen Arbeitsplätze befanden oder die Hintergrundbelastung ermittelt werden sollte. In begründeten Fällen wurden üblicherweise personengetragene Sammelsysteme auch ortsfest eingesetzt. Das war vor allem dann der Fall, wenn das Raumvolumen des Arbeitsbereiches klein war oder die zu erwartenden Staubbelastungen so hoch waren, dass das Leistungsvermögen eines personengetragenen Systems vollauf ausreichte.

Bei ortsfesten Messungen der einatembaren Staubfraktion und des darin zu bestimmenden Chroms und Kupfers sowie bei Holzstaubmessungen kam als Probenahmesystem das Gravikon VC 25 (Ströhlein Instruments, Kaarst) zum Einsatz. Personengetragene wurde für diese Messaufgabe mit den Staubsammelköpfen STASA (BAuA, Dortmund) und GSP (GSM, Neuss) gearbeitet. Dabei wurden die batteriebetriebenen Sammelpumpen Buck VSS-5 (Ravebo Supply, Brielle, NL) und PP5-ex (GSM, Neuss) eingesetzt. In Betrieben mit Trogrückung wurden die gleichen Probenahmesysteme eingesetzt.

Als Probenahmedauer wurden nach Möglichkeit mindestens zwei Stunden angestrebt. Die Staubsammlung erfolgte auf Filtern aus Zellulosenitrat oder Mischestern. Die Filter wurden vom Labor zum Betrieb und nach ihrem Einsatz von der Probenahme zurück ins Labor in staubgeschützten Filterkassetten transportiert. Die Filter zur Staubsammlung wurden vor den Probenahmen im Exsikkator über Trockenmittel aufbewahrt. Nach Beendigung der Probenahme erfolgte die Lagerung der belegten Filter unter den gleichen Bedingungen wie zuvor.

Bei der Messung der Belastungen durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) wurden diese simultan sowohl in der Dampf- als auch der Partikelphase gesammelt. Dazu wurde ein Probenahmesystem eingesetzt, bei dem auf einem Teflonfilter die Partikel entsprechend der Konvention für die einatembare Staubfraktion abgetrennt wurden. Hinter diesem Filter befand sich ein Röhrchen mit XAD-2 als Sammelphase (ORBO 43, Supelco, Taufkirchen) für die in der Dampfphase auftretenden PAH. Unmittelbar nach den Probenahmen wurden die Sammelphasen getrennt. Die Sammelröhrchen wurden verschlossen; die Filter in Braunglasflaschen

überführt, mit einer Acetonitril/Methanol-Mischung überschichtet und anschließend verschlossen. Die Lagerung der Sammelröhrchen und der Braunglasflaschen mit den Filtern erfolgte in einer transportablen Kühlbox bei 4 °C.

### 5.1.2 Analytische Bestimmung

#### Staubproben

Die belegten Filter der Staubprobenahme wurden im Labor über Silicagel orange in Exsikkatoren konditioniert und dann gravimetrisch ausgewertet. Die gravimetrische Auswertung zur Bestimmung der Staubbelastungen erfolgte mittels einer Analysenwaage Mettler AT 250 (Mettler Instrumenten GmbH, Greifensee, Zürich, CH). Dabei wurde in allen Fällen sichergestellt, dass zur Ermittlung der Blindwerte mindestens jeweils fünf Blindfilter für die verschiedenen Filtergrößen mitgeführt wurden. Diese Blindfilter unterlagen den gleichen Bedingungen hinsichtlich Konditionierung und Transport wie die für die Arbeitsplatzmessungen verwendeten Filter.

Zur Bestimmung der Chrom- und Kupferkonzentration in der einatembaren Staubfraktion erfolgte ein Aufschluss der belegten Filter mit Schwefelsäure und Wasserstoffperoxid. Die anschließende analytische Bestimmung wurde mittels Atomabsorptionsspektrometrie mit Graphitrohrtechnik (AA 240 Z mit GTA 120, Varian Deutschland GmbH, Darmstadt) durchgeführt. Zur Borbestimmung wurden die belegten Filter mittels Salpetersäure aufgeschlossen. Zur analytischen Bestimmung kam die optische Emissionsspektrometrie mit einem ICP<sup>6</sup> (ICP Plasma 400, Perkin Elmer GmbH, Überlingen) zum Einsatz.

Aus den ermittelten Filterbelegungen wurden dann unter Einbeziehung der jeweiligen Probenahmedauer die Luftkonzentrationen ermittelt. Schichtmittelwerte wurden entsprechend TRGS 402 für eine Probenahmedauer größer zwei Stunden aus einem Messwert oder ansonsten entsprechend den Anforderungen an Mittelungsdauer und Mindestanzahl der Messungen berechnet [21].

#### PAH-Proben

Die mit Silicagel gefüllten Sammelröhrchen wurden mit Acetonitril/Methanol (1:1) und Dichlormethan eluiert. Das Dichlormethan wurde anschließend im Rotationsverdampfer eingengt und die Probe mit Acetonitril/Methanol (1:1) aufgefüllt. Die Braunglasgläschen mit den Filterproben wurden im Ultraschallbad behandelt und anschließend geschüttelt.

Die analytische Bestimmung der PAH erfolgte mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) (Dr. Ing. Herbert Knauer GmbH, Berlin). Die als Dampf- und Partikelphase gesammelten PAH wurden getrennt analysiert. Zur Kalibrierung kamen Standardlösungen mit den 16 EPA<sup>7</sup>-PAH zum Einsatz. Zusätzlich wurde der Gehalt an 1-Methyl-Naphthalin und 2-Methylnaphthalin bestimmt. Um die entsprechenden PAH quantifizieren zu können, wurden sowohl Fluoreszenz- als auch UV-Detektion eingesetzt.

---

<sup>6</sup> Induktiv gekoppeltes Plasma

<sup>7</sup> Environmental Protection Agency

### 5.1.3 Klima

Während aller Arbeitsplatzmessungen wurden die klimatischen Bedingungen an den Arbeitsplätzen ermittelt. Für die Temperatur- und Luftfeuchtebestimmung kam ein Kombinationsmessgerät (Testotherm GmbH & Co, Lenzkirch) zum Einsatz. Die Luftdruckmessung wurde mit dem DVR 2 (Vacuubrand GmbH, Wertheim) durchgeführt.

## 5.2 Messung von Hautbelastungen

Ziel dieser Untersuchungen war es, erste Informationen zu Hautbelastungen zu sammeln. Zur Messung potenzieller Hautbelastungen, d. h. der auf die Arbeitskleidung der Beschäftigten gelangten Holzschutzmittel, wurden zwei verschiedene Vorgehensweisen ausgewählt.

Zum einen kam die Pflaster-Methode (Patch method) entsprechend dem OECD-Protokoll zum Einsatz [22]. Dabei wurden zehn Patches auf vorgegebenen Stellen der Arbeitskleidung des Beschäftigten angebracht. Im Einzelnen handelte es sich dabei um die linke und rechte Schulter, die Position oberhalb des Brustbeins und zwischen den Schulterblättern sowie jeweils den linken und rechten oberen Unterarm, Oberschenkel und Schienbein. Zum Einsatz kam diese Methode nur bei der Kesseldruckimprägnierung mit Metallsalzen.

Als Material für die Patches wurde Laborfilter (Schleicher & Schuell, Blauband 589) mit einer Größe von jeweils 10 cm x 10 cm gewählt [23]. Diese Patches wurden in quadratische aus Polyethylen bestehende Taschen eingelegt und dann mit Klettverband auf der Arbeitskleidung befestigt. Zur Bestimmung des Chrom- und Kupfergehaltes der auf die Patches gelangten Holzschutzmittel wurden diese wie unter 5.1.2 beschrieben aufgeschlossen und analysiert.

Als zweite Möglichkeit zur Ermittlung potenzieller Hautbelastungen kamen weiße Einweg-Chemikalienschutzanzüge zum Einsatz. Diese wurden den Beschäftigten vor den Tätigkeiten von den Probenehmern kontaminationsfrei übergezogen. Der Vorteil weißer Anzüge liegt darin, dass sowohl die chrom- und kupferhaltigen Holzschutzmittel als auch die Teeröle gut sichtbare dunkelbraune bis schwarze Verfärbungen zeigen. Dadurch sollten die betroffenen Körperpartien visuell identifiziert werden. Eine anschließende analytische Bestimmung der auf den Anzug gelangten Stoffe zur Quantifizierung der Hautbelastungen war in diesem Fall nicht vorgesehen.

## 5.3 Biomonitoring

Die Aufnahme der PAH in den Körper kann über die Lunge, den Gastrointestinaltrakt und die Haut erfolgen [24]. Das Biomonitoring ermöglicht die Erfassung aller Aufnahmewege und stellt somit zur Bestimmung der tatsächlichen PAH-Belastung der Arbeiter eine wichtige Ergänzung zu den Arbeitsplatzmessungen dar.

1-Hydroxypyren im Urin als Marker zum Human-Biomonitoring bei PAH-Belastung ist seit der Methodenbeschreibung vor rund zwanzig Jahren [25] gut etabliert. In Deutschland hat die Kommission „Human-Biomonitoring“ vom Umweltbundesamt

anhand des Umweltsurveys 1998 [26] und der Daten der Pilotphase des Kinder-Umwelt-Surveys einen Referenzwert für 1-Hydroxypyren im Urin für die nicht rauchende Allgemeinbevölkerung (3 bis 69 Jahre) von 0,5 µg 1-Hydroxypyren/l Urin bzw. 0,3 µg 1-Hydroxypyren/g Kreatinin aufgestellt [24], sodass eine Vergleichsmöglichkeit für die im Rahmen dieser Studie bei den Arbeitern erhobenen 1-Hydroxypyrenwerte gegeben ist.

In drei von vier Betrieben, die mit steinkohlenteerhaltigen Holzschutzmitteln imprägnierten, wurde ein Biomonitoring (Betriebe F, I und K) durchgeführt. An den Untersuchungen konnten sich in diesen Betrieben alle Mitarbeiter auf freiwilliger Basis beteiligen. Vor Beginn der Studie wurden alle Mitarbeiter detailliert informiert. Anhand eines Fragebogens wurden von allen Teilnehmenden persönliche Daten und Lebensgewohnheiten und -umstände wie z. B. das Rauchverhalten erfasst. Im Nachgang zu den Untersuchungen wurde ihnen ein Beratungsgespräch angeboten. Vor Beginn begutachtete die Ethikkommission der Ärztekammer Berlin die geplante Studie positiv.

### **5.3.1 Probenahme**

1-Hydroxypyren (1-OHP) und Kreatinin wurden im Spontanurin an zwei Terminen bestimmt: Der erste Termin lag vor der ersten Schicht am Beginn der Arbeitswoche. Diese Probe ergab den Vorschichtwert für 1-Hydroxypyren. Die zweite Probe wurde nach mindestens drei aufeinanderfolgenden Arbeitstagen möglichst zum Ende der Schicht gewonnen. Aus dieser Probe wurde der Nachschichtwert bestimmt. Sofern die Aufarbeitung der Proben nicht innerhalb von 24 Stunden nach der Probenahme erfolgte, wurden die Proben bei -20 °C eingefroren und so bis zur Aufarbeitung gelagert.

### **5.3.2 Probenaufarbeitung und analytische Bestimmung**

Nach dem Auftauen der Urinproben erfolgte die Dekonjugierung der Pyrenmetaboliten durch enzymatische Hydrolyse mit  $\beta$ -Glucuronidase/Arylsulfatase. Danach wurde das 1-OHP über eine Festphase extrahiert. Die Analyse der Proben auf 1-OHP erfolgte mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie Shimadzu Serie 10A (Shimadzu Deutschland GmbH, Duisburg) mit Fluoreszenzdetektion.

Die Analyse der Urinproben auf den Kreatiningehalt erfolgte nach der Methode von Jaffé [27]. Die Angaben zum 1-Hydroxypyren beziehen sich auf den Kreatiningehalt des Urins (Einheit µg/g Kreatinin), um Änderungen in der Diurese zu berücksichtigen.

## 6 Ergebnisse und Diskussion

### 6.1 Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Holzschutzmitteln

In neun Betrieben wurden Arbeitsplatzmessungen bei der Imprägnierung mit kupferhaltigen Holzschutzmitteln durchgeführt; sechs dieser Betriebe setzten zumindest teilweise auch chromhaltige Holzschutzmittel ein. Neben den Arbeitsplatzmessungen zur Ermittlung der Belastungen durch Chrom und Kupfer bei den unmittelbaren Tätigkeiten der Kesseldruckimprägnierung erfolgten in Einzelfällen weitere Messungen bei Tätigkeiten, die vor der Imprägnierung erfolgten (z. B. beim Schälen und beim Zuschnitt), und bei der Be- und Verarbeitung imprägnierter Hölzer. Ebenso wurden einige Messungen zur Ermittlung von Chrombelastungen durchgeführt, obwohl in diesen Betrieben nicht mehr mit chromhaltigen Lösungen imprägniert wurde.

Die Holzschutzmittel wurden in allen Betrieben als Konzentrate angeliefert. Aus den Konzentraten wurden dann die für die Imprägnierung erforderlichen Lösungen hergestellt. Die Konzentration der Holzschutzmittel in diesen Lösungen lag üblicherweise zwischen 3 % und 5 %; in einem Betrieb wurde in einem Kessel mit einer 7 %igen Lösung imprägniert.

#### 6.1.1 Belastungen durch Chrom und Kupfer bei der Kesseldruckimprägnierung

Bei der Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen erfolgten die ortsfesten Arbeitsplatzmessungen in der Regel unmittelbar neben dem Kessel und stellen somit den worst case dar, da die Beschäftigten hier nicht die gesamte Schicht tätig waren. Bei personengetragenen Messungen wurde darauf geachtet, dass möglichst immer eine oder mehrere Entleerungen und Beschickungen der Imprägnierkessel einbezogen wurden. Im Einzelnen umfasste dies die nachfolgenden Arbeitsschritte:

- Öffnen des Kessels nach der Imprägnierung: manuell mittels Handkurbel oder automatisch per Knopfdruck unmittelbar an der Kesselöffnung.
- Entleerung des Kessels: Herausziehen der beladenen Loren mit einem Gabelstapler/Radlader an einer Kette oder einem Stahlseil, Entfernen der zur Sicherung angelegten Spanngurte oder Ketten und Entladen der Loren mit dem Gabelstapler.
- Beschickung der Kessel: Beladen der Loren mit dem zu imprägnierenden Holz, Sicherung mit Spanngurten oder Ketten sowie Hineinschieben der beladenen Loren in den Kessel mit dem Gabelstapler.
- Manuelles oder automatisches Schließen der Kessel und Starten der Imprägnierung.

Die in den Tabellen 6.1 und 6.2 dargestellten personengetragenen Messergebnisse beinhalten jeweils diese Tätigkeiten.

Im Allgemeinen wurden die Tätigkeiten von zwei Beschäftigten ausgeführt - einem Staplerfahrer und dem Imprägnierer. Abbildung 6.1 zeigt die Entleerung eines Kessels.



**Abb. 6.1** Entleerung eines Kessels

Daneben wurden die sonstigen Tätigkeiten, wie z. B. Transport- und Ladearbeiten, Ansetzen der Lösungen, Reinigungsarbeiten und Kundenbetreuung mit erfasst. Beim Be- und Entladen der Loren gab es im zeitlichen Ablauf deutliche Unterschiede zwischen den Betrieben. Waren die Kessel für den Durchfahrbetrieb konzipiert, so konnten diese sehr schnell nach dem Herausziehen der Loren auf der anderen Seite mit vorab beladenen Loren beschickt und der Imprägniervorgang gestartet werden. Bei Kesseln, die immer von der gleichen Seite beschickt und entladen wurden kam üblicherweise die oben beschriebene Arbeitsfolge zum tragen. In einigen Fällen wurden jedoch auch die vorab beladenen Loren mittels Gabelstapler über die herausgezogenen Loren mit dem imprägnierten Holz transportiert und dann vor der Öffnung des Kessels abgesetzt und hineingeschoben. Auf diese Weise konnte die Zeitdauer zwischen dem Entleeren und der erneuten Beschickung der Kessel beträchtlich verkürzt werden.

In den Tabellen 6.1 und 6.2 sind die Ergebnisse für die ermittelten Belastungen durch die einatembare Staubfraktion und darin enthaltenes Chrom und Kupfer als Schichtmittelwerte dargestellt. Dabei erfolgte eine getrennte Auswertung für chromfreie (Tabelle 6.1) und chromhaltige (Tabelle 6.2) Zubereitungen. Bei allen Arbeitsplatzmessungen lagen die als Schichtmittelwert gemessenen Belastungen durch die einatembare Staubfraktion deutlich unterhalb 17 % des Arbeitsplatzgrenzwertes von  $10 \text{ mg/m}^3$  [28].

**Tab. 6.1** Schichtmittelwerte für einatembaren Staub und Kupfer bei der Kessel-druckimprägnierung mit chromfreien Zubereitungen

gemessener Stoff	Anzahl der Messungen	von - bis [mg/m <sup>3</sup> ]	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>einatembare Staubfraktion</b>				
alle	29	0,01 - 1,71	0,08	1,16
ortsfest	22	0,01 - 0,17	0,08	0,13
personengetragen	7	0,08 - 1,71	0,93	1,55
<b>Kupfer</b>				
alle	28	0,0001 - 0,004	0,00005	0,001
ortsfest	20	0,0001 - 0,004	0,00018	0,0038
personengetragen	8	0,00017 - 0,0026	0,00075	0,0024

Beim Einsatz chromfreier Holzschutzmittel wurde Kupfer als Cu-HDO (Bis-(N-Cyclohexyldiazonium-dioxy)-Kupfer) und Kupferoxidcarbonat eingesetzt, wobei der überwiegende Kupfergehalt aus dem Cu-HDO herrührte. Die dabei ermittelten Belastungen durch Kupfer betragen bis zu 0,0026 mg/m<sup>3</sup>. Die in Tabelle 6.1 dargestellten Schichtmittelwerte zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den ortsfest und personengetragen ermittelten Kupferbelastungen. Für Kupfer und seine Verbindungen gibt es gegenwärtig keinen Arbeitsplatzgrenzwert. Der von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Stoffe veröffentlichte MAK<sup>8</sup>-Wert für Kupfer und seine anorganischen Verbindungen beträgt 0,1 mg/m<sup>3</sup> [29]. Alle in Tabelle 6.1 ermittelten Belastungen liegen unterhalb dieses MAK-Wertes.

Wurden chromfreie Holzschutzmittel eingesetzt, so konnten dennoch in der einatembaren Staubfraktion Chromgehalte festgestellt werden. Diese lagen jedoch um eine bis zwei Größenordnungen niedriger als die beim Einsatz chromhaltiger Zubereitungen ermittelten Belastungen (siehe Tabelle 6.2). Als Ursachen für diese Funde sind aufzuführen, dass

- in zwei Betrieben sowohl chromhaltige als auch chromfreie Holzschutzmittel eingesetzt wurden. (Obwohl dies in verschiedenen Imprägnieranlagen erfolgte, sind Kontaminationen der Arbeitsplatzluft möglich.)
- die Betriebe früher auch mit chromhaltigen Zubereitungen imprägnierten. (Durch können immer noch Kontaminationen der Anlagen und Räumlichkeiten aus diesen Zeiten auftreten.)

Bei den in Tabelle 6.2 dargestellten Messergebnissen ist feststellbar, dass die für Kupfer erhaltenen Schichtmittelwerte mit denen beim Einsatz chromfreier Holzschutzmittel vergleichbar sind. Da hier anorganische Kupferverbindungen (z. B. Kupferoxid und Kupfer(II)-sulfat) zum Einsatz kommen, ist eine Beurteilung auf der Grundlage des MAK-Wertes von 0,1 mg/m<sup>3</sup> möglich. Der MAK-Wert für Kupfer wurde

<sup>8</sup> MAK = Maximale Arbeitsplatzkonzentration

beim Einsatz chromhaltiger Holzschutzmittel in allen Fällen deutlich unterschritten. Auch für kurzzeitig erhöhte Belastungen kann auf der Grundlage der in Tabelle 6.1 dargestellten Messergebnisse abgeleitet werden, dass die für den MAK-Wert geltende Spitzenbegrenzung (2(II)) von 0,2 mg/m<sup>3</sup> für eine Dauer von 15 min eingehalten wird.

**Tab. 6.2** Schichtmittelwerte für einatembaren Staub sowie Chrom und Kupfer bei der Kesseldruckimprägnierung mit chrom-/kupferhaltigen Zubereitungen

gemessener Stoff	Anzahl der Messungen	von - bis [mg/m <sup>3</sup> ]	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>einatembare Staubfraktion</b>				
alle	50	0,01 - 0,81	0,06	0,28
ortsfest	41	0,01 - 0,81	0,05	0,20
personengetragen	9	0,01 - 0,31	0,16	0,30
<b>Kupfer</b>				
alle	54	0,0004 - 0,0061	0,0007	0,0046
ortsfest	41	0,00004 - 0,0061	0,0006	0,005
personengetragen	13	0,00024 - 0,0034	0,0009	0,0024
<b>Chrom</b>				
alle	47	0,00001 - 0,011	0,0008	0,0073
ortsfest	35	0,00001 - 0,011	0,0005	0,0063
personengetragen	12	0,00002 - 0,011	0,0013	0,0066

Die in der einatembaren Staubfraktion ermittelten Chrombelastungen betragen bis zu 0,011 mg/m<sup>3</sup>. Auch hier waren keine Unterschiede zwischen den ortsfest und personengetragen ermittelten Belastungen feststellbar. Für die als Fixierungshilfsstoffe zugesetzten Chrom(VI)-Verbindungen (z. B. Chromtrioxid und Natriumdichromat) gibt es gegenwärtig keine Arbeitsplatzgrenzwerte. Aufgrund der Einstufung der Chrom(VI)-Verbindungen als krebserzeugend der Kategorie 2 [29] gilt entsprechend der Gefahrstoffverordnung das Minimierungsgebot, d. h. die Belastungen sind entsprechend dem Stand der Technik zu minimieren.

### 6.1.2 Hautbelastungen bei der Kesseldruckimprägnierung

Während der Kesseldruckimprägnierung wurden die potenziellen Hautbelastungen erhoben. Es handelt sich dabei um die Belastungen, die auf durch Arbeitskleidung bedeckten Körperpartien (z. B. Oberkörper), aber auch auf ungeschützten Körperteilen (z. B. Hände) beobachtet werden konnten. Die potenziellen Hautbelastungen konnten gut beobachtet werden, da alle eingesetzten Holzschutzmittel aufgrund ihrer Eigenfärbung sehr gut erkennbar waren.

Bei der Kesseldruckimprägnierung erstreckten sich die Phasen möglicher Hautbelastungen auf das Entleeren und - in geringerem Maße - das Beschicken der Kessel (siehe zu diesen Tätigkeiten auch 6.1.1). Die Beschäftigten trugen bei diesen Tätigkeiten fast durchweg Lederhandschuhe, Chemikalienschutzhandschuhe wurden nur beim Ansetzen der Imprägnierlösungen aus den Konzentraten benutzt.

Die Beobachtungen ergaben, dass potenzielle Hautbelastungen insbesondere an den Händen auftraten, da die von der Imprägnierung noch feuchten Hölzer zur Qualitätssicherung von den Beschäftigten beprobt wurden. Weiterhin wurden die zur Verhinderung des Aufschwimmens im Kessel verwendeten Spanngurte oder Ketten von den Beschäftigten manuell gelöst. Dabei mussten sich die Beschäftigten - in Abhängigkeit von der Körpergröße - mehr oder weniger stark über die Lenden beugen, um die Befestigungen zu lösen. Die Unterseiten der Unterarme lagen während dieser Tätigkeiten häufig direkt auf dem frisch imprägnierten und noch feuchten Holz auf. Teilweise kamen auch der Oberkörper und die Vorderseiten von Ober- und Unterschenkel damit in Berührung. Beim Abziehen der Spannriemen oder Ketten kam es dann zu deutlich sichtbaren Spritzern, die z. T. wie eine Perlenschnur auf den Unter- und Oberschenkeln des Arbeitsanzuges ihre Spuren hinterließen.

Es wurden daher erste Versuche unternommen, die potenziellen Hautbelastungen messtechnisch zu erfassen. Dies erfolgte durch Einsatz der Patch-Methode [22]. Dazu wurden - wie unter 5.2 beschrieben - jeweils zehn Patches für die Dauer der gesamten Tätigkeiten während der Entleerung und Beschickung der Kessel auf der Arbeitskleidung des Beschäftigten befestigt. Es erfolgten insgesamt zwei Messungen von jeweils 80 Minuten Dauer [23]. Bei der ersten dieser Messungen wurden hintereinander zwei Kessel entleert und neu beschickt; bei der zweiten Messung drei Kessel. In beiden Fällen wurde in zwei Kesseln mit chrom-/kupferhaltigen Lösungen imprägniert. Im dritten Kessel der zweiten Messreihe kam eine chromfreie Lösung zur Anwendung. Nach der Probenahme wurden die Patches abgenommen und verpackt. Im Labor wurden die Patches aufgeschlossen und die Gehalte an Chrom und Kupfer bestimmt.

Die in Tabelle 6.3 dargestellten Messergebnisse zeigen deutlich, dass die höchsten potenziellen Hautbelastungen an den Ober- und Unterschenkeln des Beschäftigten auftreten. Zu den ebenfalls exponierten Unterarmen ist der Hinweis erforderlich, dass es sich hier um deren Außenseiten handelt, die nicht auf dem feuchten Holz auflagen. Die Unterseiten waren erkennbar stärker exponiert. Der Einsatz von Patches war hier jedoch nicht möglich, da diese aufgrund der starken mechanischen Beanspruchung abgerissen werden und eine Auswertung dadurch nicht möglich ist.

**Tab. 6.3** Ergebnisse der Messungen von Hautbelastungen mittels Patch-Methode [23]

Messserie	Körperpartie (Patch: 100 cm <sup>2</sup> )	Chrom [µg/cm <sup>2</sup> ]	Kupfer [µg/cm <sup>2</sup> ]
1	linkes Schienbein	1,49	0,53
	rechtes Schienbein	2,72	1,27
	rechter Oberschenkel	0,16	0,083
	linker Oberschenkel	2,36	0,45
	Brust	0,026	0,016
	Rücken	0,012	0,011
	rechte Schulter	0,025	0,012
	linke Schulter	0,024	0,010
	linker Unterarm	0,079	0,003
	rechter Unterarm	0,064	0,004
2	linkes Schienbein	2,33	0,74
	rechtes Schienbein	2,17	1,31
	rechter Oberschenkel	1,90	-
	linker Oberschenkel	0,30	0,16
	Brust	0,022	0,011
	Rücken	0,006	0,004
	rechte Schulter	0,017	0,005
	linke Schulter	0,007	0,023
	linker Unterarm	0,14	2,08
	rechter Unterarm	0,03	0,012

Unter Zugrundelegung der im EPA-Protokoll [30] aufgeführten Körperflächen und der Vorgaben zur Berechnung wurden mit den Ergebnissen aus Tabelle 6.3 die in Tabelle 6.4 dargestellten resultierenden dermalen Belastungen berechnet. Kritisch ist dazu anzumerken, dass größere Spritzer und teilweise auch Spritzerreihen häufig auf der Arbeitsbekleidung neben den Patches landeten. Diese konnten daher nicht bei der Auswertung berücksichtigt werden. Diese Tatsache und die Probleme beim Anbringen von Patches sind wichtige Hinderungsgründe für den Einsatz dieser Methode. Zumindest für die expositionsrelevanten Tätigkeiten bei der Kesseldruckimprägnierung erscheint sie zur Messung von Hautbelastungen daher nur eingeschränkt geeignet.

**Tab. 6.4** Ermittelte dermale Exposition bei der Kesseldruckimprägnierung [23]

Körperteil	Fläche [cm <sup>2</sup> ]	Kupfer [µg/Körperteil]		Chrom [µg/Körperteil]	
		Messserie 1	Messserie 2	Messserie 1	Messserie 2
Kopf	1300	64	56	113	68
Hals	150	2,4	1,6	3,9	3,3
Nacken	110	1,2	0,44	1,3	0,66
Brust	3550	57	39	92	78
Rücken	3550	39	14	43	21
Unterarme	1210	3,6	2513	173	206
Oberschenkel	3820	2024	-	9626	8392
Schienbeine	2380	4274	4874	10024	10710

Als Alternative zur Patch-Methode wurde daher in einem weiteren Betrieb mit weißen Einweg-Chemikalienschutzanzügen zur Erfassung der potenziellen dermalen Exposition gearbeitet. Diese mussten den Beschäftigten vor Beginn der Tätigkeiten vorsichtig angezogen werden, um Kontaminationen zu vermeiden. Die auf diesen Anzügen bei den Tätigkeiten während des Entleerens und Beschickens von Imprägnierkesseln festgestellten Verunreinigungen bestätigten die Beobachtungen der bisherigen Untersuchungen. Ein noch nicht gelöstes Problem ist die quantitative Bestimmung der auf diese Anzüge gelangenden Stoffe. Dazu ist es erforderlich, ein geeignetes Extraktions- oder Aufschlussverfahren zu entwickeln, das die anschließende analytische Bestimmung von Chrom und Kupfer mittels Atomabsorptionsspektrometrie ermöglicht. Entsprechende Untersuchungen sind Gegenstand eines gegenwärtig durchgeführten Untersuchungsprogramms [31].

Aus den bisherigen Untersuchungen mit weißen Einweg-Chemikalienschutzanzügen ist erkennbar, dass länger dauernde Untersuchungen (mehrere Stunden) bei der Kesseldruckimprägnierung wegen der teilweise schweren körperlichen Tätigkeit für die Beschäftigten mit zusätzlichen Beanspruchungen verbunden sind. Für die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Anwendungen während der expositionsintensiven Tätigkeiten des Entleerens und Befüllens der Kessel erscheinen diese Einweg-Chemikalienschutzanzüge wegen der kürzeren Zeitdauer (ca. 15 - 60 Minuten; in Abhängigkeit von der Zahl der Imprägnierkessel) jedoch geeignet. Solange eine analytische Bestimmung der auf den Anzug gelangenden Stoffe nicht möglich ist, bietet sich eine halbquantitative Bestimmung an. Dazu werden die durch Imprägniermittel verschmutzten Stellen aus den Anzügen herausgeschnitten. Durch jeweiliges Wägen der verschmutzten und nicht verschmutzten Teile kann dann näherungsweise auf den prozentualen Anteil der kontaminierten Körperoberfläche geschlossen werden. Diese Fläche ist als worst case zu betrachten, da durch das Heraustrennen eher zuviel Oberfläche als kontaminiert berücksichtigt wird. Eine Aussage über die Masse des Stoffes, die auf die Körperoberfläche gelangt, ist damit allerdings nicht möglich.

## 6.2 Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl

In vier Betrieben erfolgten Arbeitsplatzmessungen bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl. Zwei dieser Betriebe imprägnierten ausschließlich mit Teeröl. Die beiden anderen Betriebe verfügten auch über Anlagen zur Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Holzschutzmitteln. Die Imprägnierung von Bahnschwellen war ausschließlich oder überwiegend Gegenstand der Imprägniertätigkeiten in drei dieser Betriebe. Neben den Messungen während der Imprägnierung erfolgten auch Arbeitsplatzmessungen beim sogenannten Aufplatten, d. h. wenn die Halterungen für die Gleise auf die imprägnierten Bahnschwellen montiert wurden. Die Arbeitsplatzmessungen in diesen Betrieben wurden um das Biomonitoring ergänzt, um die innere PAH-Belastung der Arbeiter zu erfassen. Dabei wurde 1-Hydroxypyren im Urin vor der ersten Schicht am Beginn der Arbeitswoche und möglichst nach mindestens drei Schichten am Ende der Arbeitswoche bestimmt. Unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus den Untersuchungen zur potenziellen Hautbelastung bei der Kesseldruckimprägnierung mit Chrom-/Kupfer-Lösungen kamen bei der Imprägnierung mit Teeröl ebenfalls weiße Einweg-Chemikalienschutzanzüge als Sammelmedium zum Einsatz.

### 6.2.1 Belastungen durch Teerölinhaltsstoffe bei der Kesseldruckimprägnierung

Ortsfeste Arbeitsplatzmessungen erfolgten an den Imprägnierkesseln und bei der Aufplattung. Die personengetragenen Messungen wurden bevorzugt bei den expositionsintensiven Tätigkeiten des Entleerens und Beschickens der Kessel durchgeführt; erfolgten aber auch beim Aufplatten. Aufgrund des eingesetzten Probenahmeverfahrens war die Probenahmedauer auf 60 Minuten beschränkt. Schichtmittelwerte wurden daher - wenn möglich - aus mehreren Einzelmessungen ermittelt. Andererseits war damit die Möglichkeit gegeben, auch kurzzeitige Expositionen zu ermitteln und ggf. einer bestimmten Tätigkeit zuzuordnen.

- **Imprägnierarbeiten**

Die von den Beschäftigten durchgeführten Tätigkeiten während des Beschickens und Entleerens der Imprägnierkessel entsprachen denen, die bei der Kesseldruckimprägnierung mit Chrom- und Kupfersalzen durchgeführt wurden (siehe 6.1.1). Die Tätigkeiten während des Entleerens und Beschickens eines Kessels dauerten üblicherweise 20 Minuten bis 40 Minuten. Pro Schicht wurde ein Imprägnierkessel einmal entleert und beschickt. Die Imprägnierung erfolgte bei einer Temperatur von etwa 110 °C.



**Abb. 6.2** Öffnen des Kessels bei der Teerölimprägnierung

Bei der Imprägnierung und bei der Aufplattung wurden die nachfolgend aufgeführten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) bestimmt: Naphthalin, Acenaphthylen, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Dibenzo(a,h)anthracen, Benzo(g,h,i)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren. Bei allen Messungen erfolgte eine Erfassung der jeweils in der Dampf- und in der Partikelphase auftretenden Stoffe. Für die in den Tabellen 6.5 und 6.6 aufgeführten Messwerte wurde immer die Summe über alle PAH in beiden Phasen gebildet.

**Tab. 6.5** Messwerte für die Summe der PAH bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl (4 Betriebe)

Art der Messung	Anzahl der Messungen	von - bis [mg/m <sup>3</sup> ]	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]
alle	51	0,49 - 72,5	3,0	51,6
ortsfest	37	0,49 - 72,5	3,1	63,3
personengetragen	14	0,49 - 16,9	2,6	15,1

Den wesentlichen - wenn auch stark schwankenden - Beitrag zur Summe der gemessenen PAH-Konzentration leisteten Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Acenaphthen, Fluoren und Phenanthren. Benzo(a)pyren wurde bei keiner Messung gefunden.

Die ortsfesten Messungen erfolgten immer in der Nähe der Kesselöffnung. Dies erklärt die deutlich höheren Messwerte, die bei ortsfesten Messungen im Vergleich zu den personengetragenen festgestellt wurden. Bei den personengetragenen Messungen hielt sich der Beschäftigte bis zu ca. 5 Minuten in unmittelbarer Nähe des geöff-

neten Kessels auf. Während dieser Zeit wurde das Zugseil herausgeholt und die Kesseldichtung gereinigt. Insgesamt dauerten die Arbeiten unmittelbar an einem Imprägnierkessel und mit den imprägnierten Hölzern etwa eine Stunde je Schicht.

Um einen Eindruck über die PAH-Belastung des für die Imprägnierung zuständigen Beschäftigten während einer Schicht zu erhalten, wurden zusätzliche Messungen in der Schaltwarte durchgeführt. Hier wurde zwar nicht mit Teeröl gearbeitet, jedoch war die unmittelbare Nachbarschaft der Imprägnierkessel deutlich wahrnehmbar. In der Schaltwarte lagen die ortsfest ermittelten Messwerte zwischen 1 mg/m<sup>3</sup> und 2 mg/m<sup>3</sup> für die Summe der PAH. Etwa die Hälfte einer Schicht verrichtete der Beschäftigte andere Tätigkeiten ohne PAH-Belastung. Daraus ergibt sich im Schichtmittel bei Verwendung des 95-Perzentils für die PAH-Belastung während der Imprägnierarbeiten entsprechend Tabelle 6.5 näherungsweise eine PAH-Belastung in Höhe von 2,7 mg/m<sup>3</sup> (worst case). Diese Belastung wurde entsprechend Gleichung (1) ermittelt.

$$[(1 \text{ h} \times 15,1 \text{ mg/m}^3) + (3 \text{ h} \times 2 \text{ mg/m}^3) + (4 \text{ h} \times 0 \text{ mg/m}^3)] / 8 \text{ h} = 2,7 \text{ mg/m}^3 \quad (1)$$

Dabei sind

- die Belastung infolge der Imprägnierarbeiten: 1 h x 15,1 mg/m<sup>3</sup>,
- die Belastung infolge anderer mit der Imprägnierung zusammenhängender Tätigkeiten: 3 h x 2 mg/m<sup>3</sup> und
- die Dauer anderer Tätigkeiten: 4 h x 0 mg/m<sup>3</sup>

In einem Betrieb (F) wurde neben der Imprägnierung mit Teeröl auch mit Teeröl-Wasser-Emulsionen (sogenanntes Microsote) imprägniert. Die bei drei personenge-tragenen Messungen erhaltenen Messwerte lagen durchweg im unteren Bereich des in Tabelle 6.5 dargestellten Datenkollektivs und betragen 0,49 mg/m<sup>3</sup> bis 2,26 mg/m<sup>3</sup>.

Üblicherweise kühlten die mit Teeröl imprägnierten Hölzer nach dem Abpumpen des Teeröls im Kessel ab. In Einzelfällen wurde in einem Betrieb (K) davon abgewichen. Bei entsprechender Auftragslage erfolgte das Herausziehen der imprägnierten Bahnschwellen bereits im heißen Zustand sofort nach dem Abpumpen des Teeröls. Die dabei auftretenden PAH-Konzentrationen betragen bei zwei ortsfesten Messungen 14,7 mg/m<sup>3</sup> und 18,5 mg/m<sup>3</sup>. Eine personenge-tragene Messung ergab eine PAH-Konzentration von 8,7 mg/m<sup>3</sup>. Die Tätigkeitsdauer betrug zwischen 6 Minuten und 12 Minuten. Die Probenahmedauer entsprach dabei der Tätigkeitsdauer. Im Gegensatz zu den anderen Betrieben trugen die Beschäftigten in diesem Betrieb beim Entleeren der Kessel immer Atemschutzmasken mit Filter.

### • Aufplatten

In den Betrieben F, I und K wurden die imprägnierten Bahnschwellen aufgeplattet. In zwei Betrieben befanden sich die Arbeitsplätze im Freien und waren mit einer Überdachung versehen; im dritten Betrieb erfolgte das Aufplatten in einer Halle. Das Aufplatten wird nicht ständig durchgeführt, sondern in Abhängigkeit von den anstehenden Aufträgen und der Menge der vorab imprägnierten Bahnschwellen. Im Einzelnen wurden beim Aufplatten die folgenden Tätigkeiten durchgeführt:

- Einlegen der Gleishalterungen und Federringe,
- manuelles Einstecken und Andrehen der Schrauben und
- Festziehen der Schrauben mittels elektrischer Maschinen.

Die erforderlichen Bohrungen wurden vor der Imprägnierung durchgeführt. Es wurden sowohl frisch imprägnierte als auch abgelagerte imprägnierte Bahnschwellen aufgeplattet. In Tabelle 6.6 sind die Messwerte für das Aufplatten aufgeführt. Die ortsfesten Messungen wurden unter worst case-Bedingungen unmittelbar an der Anlage durchgeführt.

**Tab. 6.6** Messwerte für die Summe der PAH beim Aufplatten (3 Betriebe)

Art der Messung	Anzahl der Messungen	von - bis [mg/m <sup>3</sup> ]	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]
alle	20	0,14 - 6,8	1,75	4,69
ortsfest	14	0,14 - 6,8	1,84	5,32
personengetragen	6	0,14 - 1,76	0,50	-

Die höchsten ortsfest und personengetragen ermittelten Messwerte stammen durchweg aus dem Betrieb, in dem die Arbeiten in einer Halle durchgeführt wurden. In den Betrieben mit Arbeitsplätzen im Freien lagen die maximalen ortsfesten und personengetragenen Messwerte bei 0,35 mg/m<sup>3</sup> bzw. 0,51 mg/m<sup>3</sup>. Insgesamt waren die personengetragen ermittelten Belastungen niedriger als die ortsfesten. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Beschäftigten nicht dauerhaft unmittelbar an der Anlage tätig waren, sondern zwischendurch auch andere Arbeiten ausführten; dazu gehörten z. B. der Materialtransport oder Verladearbeiten.

Ein Vergleich der Messwerte aus den Tabellen 6.5 und 6.6 zeigt, dass die Belastungen während des Aufplattens niedriger liegen als beim Beschicken und Entleeren der Kessel. Erklärbar ist dies damit, dass die Schwellen vor dem Aufplatten zum Teil schon längere Zeit gelagert wurden. In allen Fällen waren sie jedoch zumindest vollständig abgekühlt.

Beschäftigte können beim Aufplatten durchaus auch die gesamte Schicht tätig sein. Erfolgen diese Arbeiten in der Halle, so sollten für die Beurteilung der Belastungen die 95-Perzentile entsprechend Tabelle 6.6 als worst case verwendet werden. Bei Arbeiten im Freien können die im vorherigen Absatz aufgeführten Werte herangezogen werden.

### 6.2.2 Hautbelastungen bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teerölen

Bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teerölen wurden ebenfalls erste Untersuchungen zu den Hautbelastungen durchgeführt. Aufbauend auf den unter 6.1.2 dargestellten Erfahrungen bei der Imprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen wurde von vornherein mit einem weißen Einweg-Chemikalienschutzanzug gearbeitet (siehe Abb. 6.3). Durch dessen Einsatz war eine deutliche Verbesserung bei der Beobachtung der potenziellen Hautbelastungen möglich.



**Abb. 6.3** Erfassung potenzieller Hautbelastungen

Auch bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl treten mögliche Belastungen der Haut in erster Linie beim Entleeren der Kessel und den damit zusammenhängenden Tätigkeiten auf. Bei diesen Arbeiten trugen die Beschäftigten stets Lederhandschuhe. Die Oberfläche dieser Handschuhe ist infolge dieser Tätigkeiten fast vollständig belegt (siehe Abb. 6.4). Die Ursache dafür liegt insbesondere darin, dass die zum Festzurren eingesetzten Ketten oder Riemen von Hand gelöst werden. Ebenso werden Bohrkerne zur Qualitätssicherung unmittelbar nach dem Herausziehen aus dem Kessel aus den imprägnierten Hölzern entnommen.

Neben den deutlichen Verschmutzungen der Handschuhe waren auf den Anzügen Teerölspritzer im Bereich der vorderen Unter- und Oberschenkel infolge des LöSENS der Spannvorrichtungen zu erkennen. Ebenso wird durch Abbildung 6.3 verdeutlicht, dass die Innenseiten der Unterarme durch das Überbeugen zum LöSEN der Spannvorrichtungen dermal belastet werden können.

Auch bei diesen Tätigkeiten während der Imprägnierung sind noch weitere Untersuchungen erforderlich, um die potenziellen Belastungen zu quantifizieren [31]. Dazu ist es erforderlich, ein geeignetes Extraktionsverfahren für die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe zu entwickeln, um diese anschließend mittels chromatographischer Methoden (HPLC) zu trennen und zu detektieren. Gegenwärtig besteht nur die Möglichkeit einer halbquantitativen Abschätzung der betroffenen Körperoberfläche, indem diese durch gravimetrische Auswertung der verschmutzten Anteile des Einweg-Chemikalienschutzanzuges ermittelt wird.



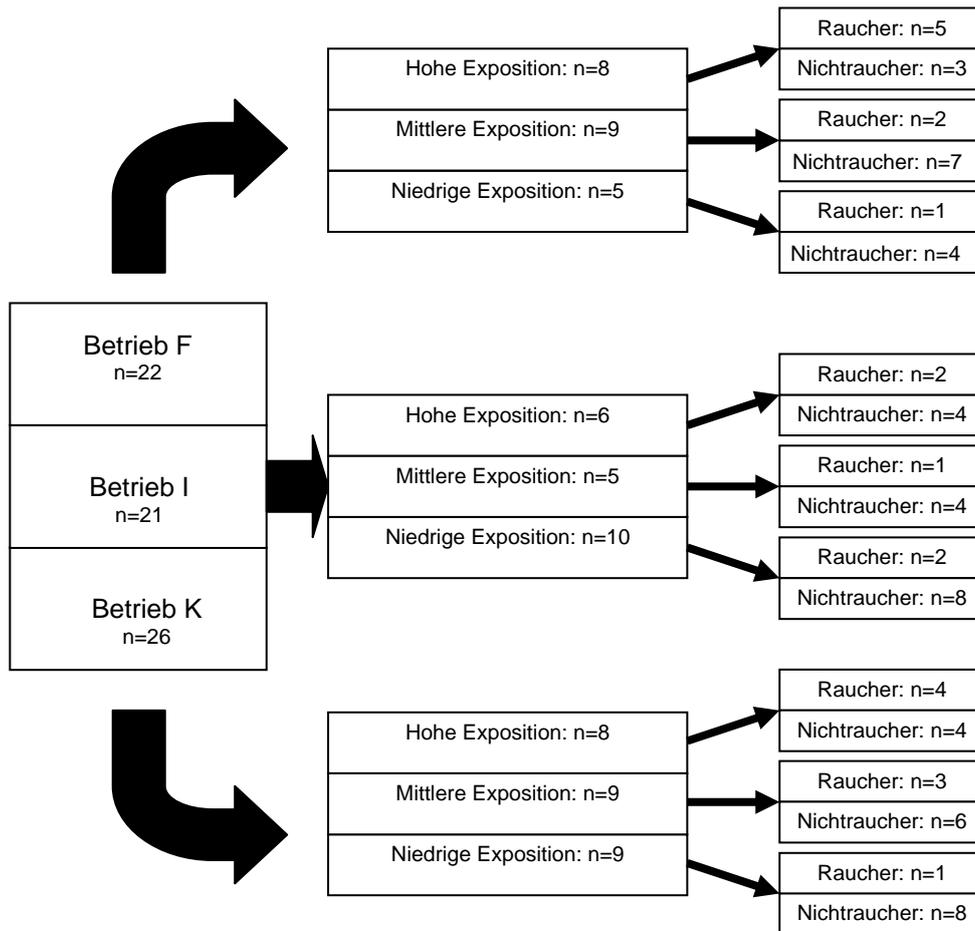
**Abb. 6.4** Verschmutzte Handschuhe bei der Teerölimprägnierung

### **6.2.3 Biomonitoring bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl**

#### **6.2.3.1 Probanden**

Die insgesamt 69 Beschäftigten in der Auswertung waren im Median 47 Jahre alt (Bereich: 18 bis 65 Jahre). In der besonders interessierenden Gruppe der Hochexponierten (Arbeitsbereiche Imprägnierung und Aufplattung) lag das Alter im Median bei 49,5 Jahren (Bereich: 34 bis 59 Jahre). Die sechs weiblichen Beschäftigten gehörten zur Gruppe der Nicht-/Niedrigexponierten. 21 untersuchte Beschäftigte waren Raucher, 48 Nichtraucher. Eine nähere Charakterisierung der Teilnehmenden bezüglich Betriebszugehörigkeit, Exposition und Raucherstatus zeigt Abbildung 6.5.

Für die Datenanalyse wurden die Beschäftigten anhand ihrer Arbeitsplätze und Tätigkeiten (Angaben auf dem Fragebogen, Beobachtung während der Messungen) in drei Expositionsgruppen eingeteilt. In der Gruppe der Hochexponierten befanden sich diejenigen, die im Arbeitsbereich Imprägnierung (Tränkung, Aufplattung) beschäftigt waren. Die Gruppe der Nicht-/Niedrigexponierten umfasste die im Büro Tätigen und bei einem Betrieb auch Beschäftigte der an einem zweiten Standort befindlichen Tischlerwerkstatt. Der Gruppe mit der mittleren Exposition wurden alle verbleibenden Beschäftigten zugeordnet (z. B. Kraftfahrer, Mitarbeiter bei der Holzbearbeitung), entsprechend heterogen gestaltete sich diese Gruppe. Zur Signifikanzanalyse wurde der Mann-Whitney-Test [32] verwendet.



**Abb. 6.5** Aufschlüsselung der Probanden nach Betriebszugehörigkeit, Expositionsgruppe und Raucherstatus (n = Anzahl an Probanden)

### 6.2.3.2 Ergebnisse für die Vorschichtuntersuchungen

Für 67 Beschäftigte wurden in Urinproben die 1-Hydroxypyrenwerte für die Vorschicht bestimmt. Tabelle 6.7 stellt zusammenfassend die Auswertung für die Beschäftigten aus allen drei Betrieben, eingeteilt in Expositionsgruppen, dar. Für die Vorschicht lag der Median der 1-Hydroxypyrenwerte für die hoch exponierte Gruppe der drei Betriebe mit  $3,7 \mu\text{g}$  1-OHP/g Kreatinin mehr als zehnfach höher als der Referenzwert von  $0,3 \mu\text{g}$  1-OHP/g Kreatinin [24]. Sowohl der Anstieg der 1-Hydroxypyrenwerte von der niedrigen zur mittleren als auch von der mittleren zur hohen Exposition waren im U-Test (Mann-Whitney-Test) signifikant ( $p < 0.001$ ).

Ein Mitarbeiter aus der hoch exponierten Gruppe (Raucher) aus Tabelle 6.7 hatte vor Abgabe der ersten Urinprobe 6 Wochen Urlaub. Der 1-Hydroxypyrenwert lag mit  $2,7 \mu\text{g/g}$  Kreatinin immer noch deutlich über dem Referenzwert von  $0,3 \mu\text{g/g}$  Kreatinin. In keiner Expositionsgruppe fanden sich für die 1-Hydroxypyrenwerte signifikante Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern.

**Tab. 6.7** Zusammenstellung der Messergebnisse für 1-Hydroxypyren im Urin für die Vorschicht (n = Beschäftigtenzahl; 9 Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG))

Beschäftigtengruppe (siehe Abb. 6.5)	1-Hydroxypyren im Urin µg/g Kreatinin		
	von - bis	Median	90-Perzentil
hohe Exposition (n = 21)	0,81 – 32,4	3,7	21,8
mittlere Exposition (n = 22)	< BG – 5,2	0,88	3,55
niedrige Exposition (n = 24)	< BG – 1,55	0,21	0,68

In Tabelle 6.8 sind die 1-Hydroxypyrenwerte für die drei Expositionsgruppen aufgeschlüsselt nach Betrieben dargestellt. In jedem Betrieb stiegen die 1-Hydroxypyrenwerte mit höherer Expositionsgruppe signifikant an.

Werden die 1-Hydroxypyrenwerte der Mitarbeiter in den hoch exponierten Beschäftigtengruppen der einzelnen Betriebe miteinander verglichen, fallen erhebliche Unterschiede zwischen den Betrieben auf, die sich als signifikant erwiesen (siehe Tab. 6.8). Für die beiden anderen Beschäftigtengruppen mit mittlerer und niedriger Exposition fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

**Tab. 6.8** Zusammenstellung der 1-Hydroxypyrenwerte im Urin vor Beginn der Arbeitswoche (Vorschicht) in den einzelnen Betrieben in Abhängigkeit von den Expositionsgruppen (n = Beschäftigtenzahl)

Beschäftigtengruppe (siehe Abb. 6.5)	Betrieb	1-Hydroxypyren im Urin in µg/g Kreatinin	
		von - bis	Median
hohe Exposition (n = 21)	F (n = 7)	1,8 – 17,9	5,4
	I (n = 6)	10,5 – 32,4	18,1
	K (n = 8)	0,81 – 3,56	1,6
mittlere Exposition (n = 22)	F (n = 8)	< BG - 5,2	1,1
	I (n = 5)	0,58 – 2,28	1,87
	K (n = 9)	0,11 – 1,11	0,59
niedrige Exposition (n = 24)	F (n = 5)	< BG - 0,4	-
	I (n = 10)	< BG - 1,55	0,42
	K (n = 9)	< BG - 0,37	0,19

### 6.2.3.3 Ergebnisse für die Nachschichtuntersuchungen

Für die Bestimmung der 1-Hydroxypyrenwerte der Nachschicht lagen 69 Urinproben vor. Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse findet sich in Tabelle 6.9. Der Median der 1-Hydroxypyrenwerte der Beschäftigten in den hoch exponierten Beschäftigtengruppen aller drei Betriebe lag für die Nachschichtuntersuchungen bei 24,9 µg/g Kreatinin. Das entspricht etwa dem 80-fachen des Referenzwertes von 0,3 µg/g Kreatinin. Sowohl der Anstieg der 1-Hydroxypyrenwerte für die Beschäftigtengruppe von der niedrigen zur mittleren als auch von der mittleren zur hohen Exposition war signifikant (Tab. 6.9; Mann-Whitney-Test mit  $p < 0.001$ ).

Der Einfluss des Rauchens auf die innere PAH-Belastung zeigte sich nur in der Gruppe der niedrig exponierten Beschäftigten. Anders als bei den Vorschichtwerten fand sich am Ende der Arbeitswoche bei diesen Beschäftigten eine signifikant höhere 1-Hydroxypyrenausscheidung im Urin für die Raucher als für die Nichtraucher. Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Anzahl der Raucher in dieser Expositionsgruppe mit 4 Probanden deutlich kleiner war als die der Nichtraucher (20 Personen, siehe Abb. 6.5). Bei den mittel und hoch exponierten Beschäftigten zeigte das Rauchen keinen signifikanten Einfluss auf die innere PAH-Belastung am Ende der Arbeitswoche.

**Tab. 6.9** Zusammenstellung der Messergebnisse für 1-Hydroxypyren im Urin am Ende der Arbeitswoche in den einzelnen Expositionsgruppen (n = Beschäftigtenzahl; 6 Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze)

Beschäftigtengruppe (siehe Abb. 6.5)	1-Hydroxypyren im Urin µg/g Kreatinin		
	von - bis	Median	90-Perzentil
hohe Exposition (n = 22)	2,21 - 105	24,9	63,2
mittlere Exposition (n = 23)	< BG – 15,8	1,9	7,99
niedrige Exposition (n = 24)	< BG – 1,48	0,22	1,0

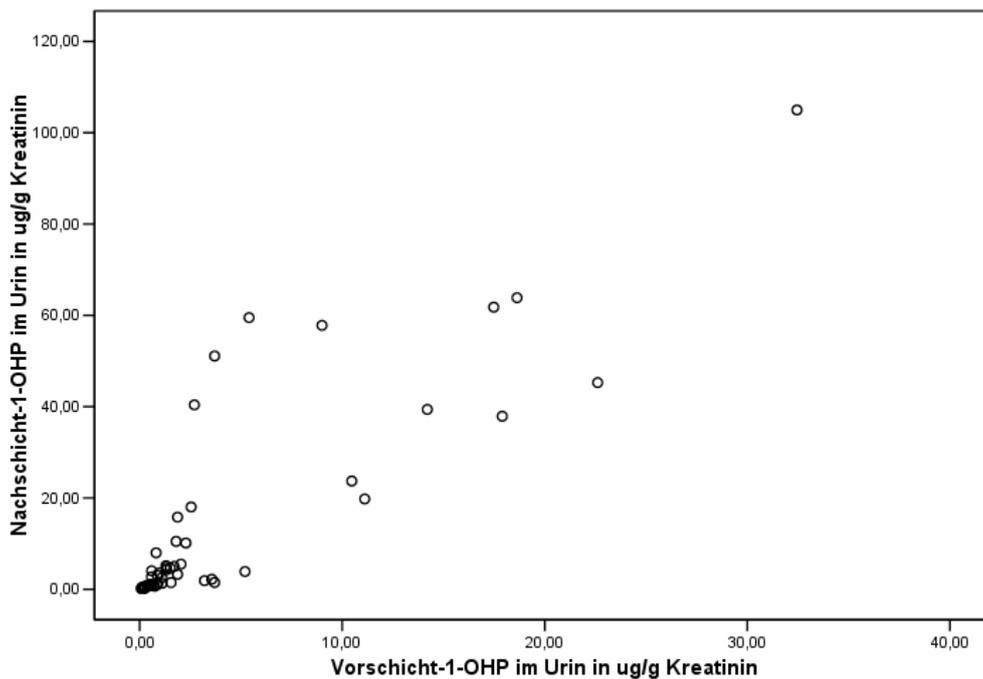
In Tabelle 6.10 sind die Messwerte für 1-Hydroxypyren getrennt für die einzelnen Betriebe und Expositionsgruppen dargestellt.

Wie erwartet stiegen auch bei den Nachschichtwerten in jedem Betrieb die Messwerte für 1-Hydroxypyrenwerte mit höherer Expositionsgruppe signifikant an. Beim Vergleich der 1-Hydroxypyrenwerte für die Beschäftigten der einzelnen Betriebe fallen, wie schon bei den Vorschichtwerten, besonders in der hoch exponierten Beschäftigtengruppe erhebliche Unterschiede auf (siehe Tab. 6.10). Dabei waren die Werte der hoch exponierten Beschäftigten sowohl in Betrieb F als auch in Betrieb I signifikant höher als die dieser Beschäftigtengruppe in Betrieb K.

**Tab. 6.10** Zusammenstellung der 1-Hydroxypyrenwerte im Urin nach mindestens drei Arbeitstagen (Nachschicht) in den einzelnen Betrieben in Abhängigkeit von den Expositionsgruppen (n = Beschäftigtenzahl)

Beschäftigtengruppe (siehe Abb. 6.5)	Betrieb	1-Hydroxypyren im Urin in µg/g Kreatinin	
		von - bis	Median
hohe Exposition (n = 22)	F (n = 8)	10,5 - 59,5	39,9
	I (n = 6)	19,8 - 105	53,5
	K (n = 8)	2,21 - 18,0	5,1
mittlere Exposition (n = 23)	F (n = 9)	< BG - 4,6	1,5
	I (n = 5)	2,73 - 15,8	4,74
	K (n = 9)	0,41 - 4,07	1,02
niedrige Exposition (n = 24)	F (n = 5)	< BG - 0,7	-
	I (n = 10)	< BG - 1,48	0,59
	K (n = 9)	0,09 - 0,79	0,18

6.2.3.4 Korrelation zwischen innerer PAH-Belastung vor Beginn der Arbeitswoche und gegen Ende der Arbeitswoche



**Abb. 6.6** Streudiagramm der Wertepaare Vorschicht/Nachschicht für 1-Hydroxypyren. (Korrelationskoeffizient nach Spearman [33]  $r_s = 0,908$ ; 1-OHP = 1-Hydroxypyren)

Um Aussagen auf die Konstanz der durch Biomonitoring ermittelten inneren PAH-Belastung zu erhalten, wurde die Korrelation zwischen den Vorschichtmesswerten mit den Nachschichtwerten am Ende der Arbeitswoche geprüft. Die Ergebnisse für die drei untersuchten Betriebe sind in Abb. 6.6 dargestellt. Dabei entspricht jeder Datenpunkt einem Beschäftigten, für den jeweils die Messwerte für die Vor- und die Nachschicht bestimmt wurden

Der für die in Abb. 6.6 dargestellten Daten ermittelte Korrelationskoeffizient  $r_s = 0,908$  weist darauf hin, dass die am Ende der Arbeitswoche gemessene Ausscheidung an 1-Hydroxypyren nicht nur einen kurzen Zeitausschnitt wiedergibt, sondern einen längerfristigen Trend in der inneren PAH-Belastung vermuten lässt.

#### 6.2.3.5 Zusammenhang zwischen Luftbelastung und Biomonitoring

Die Frage nach einem erkennbaren Zusammenhang zwischen den gemessenen Luftbelastungen und dem Biomonitoring kann anhand der ermittelten Daten noch nicht beantwortet werden. So zeigte der Betrieb I beim Biomonitoring eine erhebliche innere PAH-Belastung der Mitarbeiter bei der Imprägnierung und der Aufplattung. Die gemessenen Luftbelastungen lagen bei der Imprägnierung zwar höher als bei den beiden anderen Betrieben, bei der Aufplattung waren jedoch keine Unterschiede zwischen den Betrieben erkennbar. Die für den Betrieb K festgestellten niedrigsten Messwerte beim Biomonitoring sind für die bei der Imprägnierung tätigen Beschäftigten durch die Verwendung von Atemschutz bedingt. Bei der Aufplattung sind die niedrigeren Werte wiederum nicht erklärbar. Es muss dabei darauf hingewiesen werden, dass das untersuchte Beschäftigtenkollektiv nur aus drei Betrieben stammt und dementsprechend von vornherein nur sehr eingeschränkt Aussagen zu Korrelationen zwischen Luftbelastungen und dem Biomonitoring zu erwarten waren. Der Beitrag der dermalen Belastung zu den durch Biomonitoring festgestellten inneren Belastungen kann gegenwärtig noch nicht beurteilt werden. Um auch diesbezüglich entsprechende Aussagen abzuleiten, werden in einem Folgeprojekt Untersuchungen durchgeführt, um ein geeignetes Messverfahren zu entwickeln [30]. Eine Vergrößerung des Beschäftigtenkollektives ist nur in geringem Umfang möglich, da in Deutschland nur fünf Betriebe Bahnschwellen imprägnieren.

### 6.3 Imprägnierung mittels Heiß-Kalt-Tränkung

Arbeitsplatzmessungen bei der Einstelltränkung im Heiß-Kalt-Verfahren wurden in zwei Betrieben (C, M) durchgeführt. Beide Betriebe verfügten daneben noch jeweils über zwei weitere Anlagen zur Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Holzschutzmitteln.

Bei der Heiß-Kalt-Tränkung wurden schwerpunktmäßig Pfahlfüße imprägniert. Ein Teil dieser Pfähle wurde vor der Imprägnierung mit Teeröl bereits vollständig durch Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen behandelt.

Zur Imprägnierung wurden die Pfähle in Körbe eingesetzt, die dann in die Tauchbecken eingebracht wurden. In Betrieb M waren diese Becken in einer Halle untergebracht, die während des Tränkens geschlossen war. Die Beladung und Entleerung dieser Körbe erfolgte außerhalb der Halle. Im zweiten Betrieb (C) waren die Tränk-

becken in einem dreiseitig offenen und vollständig überdachten Arbeitsbereich angeordnet. Die Tauchbecken dieses Betriebes verfügten über Ablufferfassung, wobei die Abluft vor der Freisetzung durch eine Abluftwäsche geleitet wurde. Die Körbe wurden unter der Überdachung be- und entladen. Der Transport der Körbe zu den Tauchbecken erfolgte mit einem Gabelstapler. In Betrieb C setzten die Beschäftigten die Körbe mit dem Gabelstapler in die Tauchbecken ein; in Betrieb M erfolgte dies mittels eines elektrischen Seilzuges. Bei der Entnahme und dem Abtransport der Körbe nach der Imprägnierung der Pfähle tropfte Teeröl auf den Boden. Die Körbe wurden daher sofort in Abtropfwannen gestellt. Das vertropfte Teeröl wurde aufgenommen. Zur Imprägnierung wurde das Teeröl auf etwa 100 - 120 °C aufgeheizt.



**Abb. 6.7** Anlage zur Heiß-Kalt-Tränkung

Die Arbeitsplatzmessungen wurden personengetragen während der Beschickung und Entleerung der Tauchbecken sowie bei kurzzeitigen Hilfstätigkeiten ausgeführt. Die Dauer dieser Tätigkeiten betrug üblicherweise etwa eine bis zwei Stunden. Dabei wurden fast immer mehrere Tauchbecken befüllt und entleert. Zusätzlich erfolgten ortsfeste Messungen direkt an den Tauchbecken. Diese lieferten Informationen über die Höhe der Belastungen in unmittelbarer Nähe der Becken während der Imprägnierung. Die Beschäftigten führten während dieser Zeit andere Tätigkeiten aus. In einem Betrieb (C) erfolgten während der Imprägnierung regelmäßige Kontrollen der Beckentemperatur. Die Temperaturanzeige befand sich unmittelbar am Tauchbecken. Daher wurde an dieser Stelle auch ortsfest gemessen. Die hier ermittelte Konzentration gibt Aufschlüsse über kurzzeitige Expositionsspitzen während der Kontrolltätigkeiten.

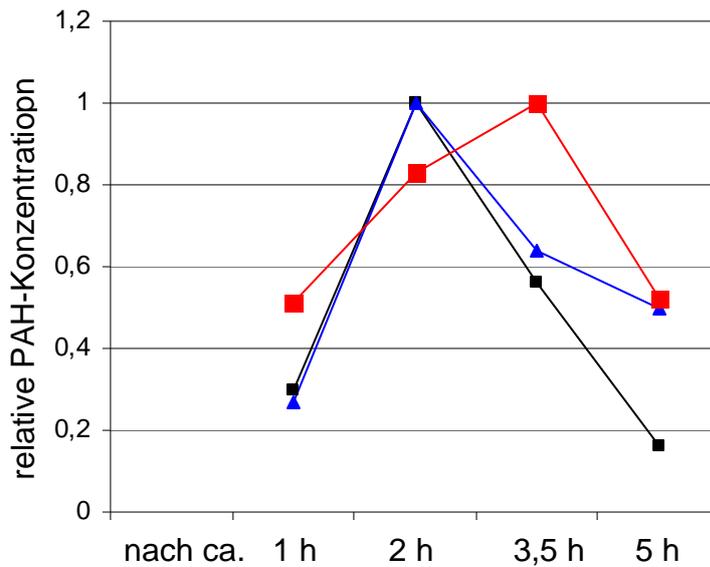
In Tabelle 6.11 sind die Messwerte für die Summe der PAH-Belastungen während der Tätigkeiten bei der Heiß-Kalt-Tränkung dargestellt. In dieser Summe wurden die gleichen PAH zusammengefasst wie unter 6.2. Die höchsten Messwerte wurden sowohl ortsfest als auch personengetragen in dem Betrieb gemessen, dessen Tauchbecken in einer geschlossenen Halle lagen. Das Leeren und Wiederbefüllen der Becken sowie die Teerölpegelmessung erwiesen sich dabei als besonders expositionsintensiv.

**Tab. 6.11** Messwerte für die Summe der PAH bei Heiß-Kalt-Tränkung

Art der Messung	Anzahl der Messungen	von - bis [mg/m <sup>3</sup> ]	Median [mg/m <sup>3</sup> ]	95-Perzentil [mg/m <sup>3</sup> ]
alle	17	0,12 - 3,3	0,36	2,4
ortsfest	9	0,12 - 3,3	0,15	-
personengetragen	8	0,24 - 2,1	0,46	-

In Betrieb M wurden auch ortsfeste Messungen in der geschlossenen Halle während der Imprägnierung durchgeführt. Die dabei ermittelten PAH-Konzentrationen lagen bei etwa 10 mg/m<sup>3</sup> bis 12 mg/m<sup>3</sup>. Die Temperatur des Teeröls in den Becken betrug dabei etwa 100 - 110 °C. Beschäftigte hielten sich während dieser Zeiten nicht in der Halle auf.

Um einen Eindruck von der Abhängigkeit der PAH-Konzentration vom Temperaturverlauf der Imprägnierung zu erhalten, wurden im Betrieb C direkt neben der Temperaturanzeige Messungen durchgeführt. Begonnen wurden diese Messungen jeweils beim Einstellen der Körbe mit den zu imprägnierenden Pfählen. Die Temperatur des Teeröls lag dabei bei etwa 75 °C. Nach rund fünfstündiger Imprägnierung wurden die Pfähle bei einer Temperatur von ca. 100 °C entnommen. Es wurde jeweils über ein einstündiges Intervall gemittelt. Die höchsten Konzentrationen (bis zu 6,5 mg/m<sup>3</sup> für die Summe der PAH) wurden erwartungsgemäß am Scheitelpunkt des Temperaturverlaufs, d. h. bei etwa 120 °C ermittelt. Zum Zeitpunkt des Einstellens der Körbe und bei deren Entnahme lag die nahe der Temperaturanzeige gemessene PAH-Konzentration bei max. 50 % des Höchstwertes. Abbildung 6.8 zeigt den zeitlichen Verlauf der PAH Konzentration, wobei auf die jeweils höchste Konzentration während einer Messserie normiert wurde.



**Abb. 6.8** Verlauf der normierten PAH-Konzentration am Tauchbecken

Während aller Arbeiten an den Tauchbecken trugen die Beschäftigten in beiden Betrieben Schutzhandschuhe aus Leder und Gummi. Auch bei Verladearbeiten bereits imprägnierter Holzteile wurden diese Handschuhe getragen. Weiterhin war an den Beschäftigten erkennbar, dass zumindest Spritzer auf die Arbeitskleidung im Bereich der Vorderseiten von Ober- und Unterschenkeln und in geringerem Maße auch des Oberkörpers gelangen können.

## 6.4 Imprägnierung mittels Trogränkung

Als dritter Schwerpunkt sollten Untersuchungen bei der Trogränkung mit borhaltigen Holzschutzmitteln durchgeführt werden. Dies gestaltete sich von Beginn an schwierig. Das größte Problem war, Betriebe für das Untersuchungsprogramm zu akquirieren. So stellte sich schnell heraus, dass diese Betriebe schwierige wirtschaftliche Zeiten durchleben. Das führte u. a. dazu, dass Betriebe in osteuropäische EU-Mitgliedsstaaten verlagert wurden und für die in Deutschland verbliebenen Betriebe eine deutliche Erhöhung des Kostendrucks resultierte.

Es konnten drei Betriebe in das Messprogramm einbezogen werden. Einer dieser Betriebe führte während der geplanten Messkampagne keine Trogränkungen durch. Arbeitsplatzmessungen konnten daher nur in den Betrieben G und H durchgeführt werden. Betrieb G war ein reiner Familienbetrieb mit Sägewerk, Imprägnierung und Bauernhof. Imprägnierungen erfolgten nur unregelmäßig in Abhängigkeit von der Auftragslage. Betrieb H war ein Holzverarbeitender Betrieb, der Holzstämmen vom Rohzustand bis zum Endprodukt, z. B. für Baumärkte, verarbeitete. Unter anderem wurde in diesem Betrieb auch Holzwole hergestellt.

In Vorbereitung der Arbeitsplatzmessungen wurde mit beiden Betrieben vereinbart, Aufträge zu akkumulieren. Es ist daher bei den nachfolgend dargestellten Ergebnis-

sen bezüglich der Auftragslage von einer worst case-Situation auszugehen. Typisch für die Betriebe ist ein eher geringerer Auftragsumfang.

Zur Imprägnierung wurde aus den borsäurehaltigen Konzentraten (ca. 33 % Borsäure) eine Imprägnierlösung hergestellt. In dieser Imprägnierlösung betrug die Konzentration an Borsäure noch etwa ein Zehntel des Konzentrats. Weiterhin kann ein Farbstoff hinzugemischt werden. Das Durchmischen erfolgte mittels einer Druckluftlanze. Die Volumina der Tränkbecken in den beiden Betrieben betragen etwa 40 m<sup>3</sup> und 24 m<sup>3</sup>.

Das zu tränkende Holz wurde mit einem Gabelstapler in die Haltevorrichtung oberhalb des Tränkbeckens eingebracht und dort gegen Aufschwimmen gesichert. Anschließend wurde das Holz in das Becken herabgelassen. Um ein Verschlammen der Tränklösung zu vermeiden, wurden vor dem Tränken Sägespäne und Sägemehl abgeblasen. Das Holz blieb etwa 20 bis 60 Minuten in der Imprägnierlösung untergetaucht. Danach wurde es wieder herausgehoben und konnte noch oberhalb des Beckens abtropfen. War infolge der Auftragslage ein höherer Durchsatz erforderlich, so wurde das noch feuchte und tropfende Holz sofort nach dem Herausheben aus dem Tränkbecken mit dem Gabelstapler auf einen Lagerplatz abtransportiert. An einem Arbeitstag konnten bis zu 16 Tränkzyklen realisiert werden.



**Abb. 6.9** Beladen der Anlage zur Trogränkung

Die Arbeitsplatzmessungen erfolgten sowohl ortsfest an der Anlage als auch personengetragen am Beschäftigten während der Bedienung der Anlage. Personengetragen konnten nur zwei Messungen durchgeführt werden. Die dabei ermittelte Bor-konzentration lag unterhalb 0,026 mg/m<sup>3</sup> bei einer etwa zweistündigen Tätigkeitsdauer. Während der restlichen Arbeitszeit wurden andere Tätigkeiten verrichtet, die nicht mit der Trogränkung zusammenhingen. Im Schichtmittel war die Belastung durch Bor somit geringer als 0,007 mg/m<sup>3</sup>. Bei zehn ortsfesten Messungen die Messwerte überwiegend unterhalb von 0,001 mg/m<sup>3</sup>. Nur in drei Fällen wurden Konzentrationen von 0,001 mg/m<sup>3</sup> bis 0,049 mg/m<sup>3</sup> gemessen. Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Tätigkeitsdauer resultiert auch hier ein Schichtmittelwert von 0,007 mg/m<sup>3</sup>. Wie eingangs bereits erwähnt, stellen diese Belastungen den worst

case dar. Aufgrund der nicht täglich durchgeführten Trogränkung treten Belastungen dieser Höhe nicht in jeder Schicht auf.



**Abb. 6.10** Einfahren des Holzes in die Anlage zur Trogränkung

Bei der Trogränkung trugen die Beschäftigten Chemikalienschutzhandschuhe, Lederhandschuhe oder gar keine Schutzhandschuhe. Belastungen der Haut sind möglich an den Händen und Unterarmen sowie durch Spritzer insbesondere an den Vorderseiten der Unter- und Oberschenkel.

## 6.5 Belastungen durch Holzstaub

In acht Betrieben wurden auf deren Wunsch hin Arbeitsplatzmessungen zur Ermittlung der Belastungen durch Holzstaub durchgeführt. Im Einzelnen erfolgten diese Messungen abhängig von den betrieblichen Gegebenheiten im Schälwerk, in der Schreinerei/Fertigung sowie in der Bohr- und Hobelhalle. In Tab. 6.12 sind die Messergebnisse für die Holzstaubbelastungen zusammengefasst. In fast allen Fällen wurden die Tätigkeiten der Holzbearbeitung über die gesamte Schicht durchgeführt. Auch wenn dies nicht der Fall war, wurden die Messwerte ohne weitere Umrechnung als Schichtmittelwerte betrachtet, da nach Auskunft der Beschäftigten die Holzbearbeitung auch über die gesamte Schicht erfolgen kann.

Im Schälwerk und in der Schreinerei/Fertigung wurde ausschließlich Kiefern- und Fichtenholz be- und verarbeitet. In den Betrieben B und L erfolgte auch die Verarbeitung imprägnierten Holzes, z. B. zu Gartenmöbeln und Zaunfeldern. Dabei wurden in der einatembaren Holzstaubfraktion Kupferbelastungen von etwa 0,001 mg/m<sup>3</sup> bis 0,005 mg/m<sup>3</sup> ermittelt.

**Tab. 6.12** Zusammenstellung der Messergebnisse für Holzstaub in Imprägnierbetrieben (Schichtmittelwerte)

<b>Art der Messung</b>	<b>Anzahl der Messungen</b>	<b>von - bis [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Median [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>95-Perzentil [mg/m<sup>3</sup>]</b>
<u>personengetragen</u>				
Holzstaub (alle)	18	0,1 - 2,35	1,34	1,96
davon Kiefer/Fichte	15	0,1 - 1,98	1,35	1,97
davon Buche	3	0,54 - 2,35	-	-
<u>ortsfest</u>				
Holzstaub (alle)	16	0,08 - 2,05	0,46	1,29
davon Kiefer/Fichte	14	0,1 - 2,05	0,46	1,39
davon Buche	2	0,08 - 1,95	-	-

Arbeitsplatzmessungen bei der Bearbeitung von Buchenholz erfolgten in der Bohr- und Hobelhalle der Imprägnierwerke für Bahnschwellen. Die Schwellen wurden dabei auf der automatischen Bearbeitungsstrecke gehobelt und vorgebohrt, um nach der Imprägnierung an den vorgegebenen Stellen aufgeplattet zu werden.

Mit Ausnahme einer personengetragenen und zweier ortsfester Messungen lagen die Holzstaubbelastungen durchweg unter 2 mg/m<sup>3</sup>. Die eingesetzten Maschinen waren mit einer entsprechenden Absaugung versehen.

In einem Betrieb wurde unter anderem auch Holzwolle hergestellt. Diese wurde zu Ballen gepresst, verschnürt, gewogen und eingelagert. Die dabei ermittelten Messwerte für die Holzstaubbelastungen lagen ortsfest und personengetragen bei 9,2 mg/m<sup>3</sup> bzw. 13,2 mg/m<sup>3</sup>. Die Ursache für diese hohen Belastungen lag eindeutig darin, dass keine Absaugung vorhanden war. Ebenso entsprach die Sauberkeit in diesem Arbeitsbereich nicht dem üblichen Standard. Wegen des deutlichen Unterschiedes der Sauberkeit im Vergleich zu den anderen Betrieben und einer völlig andersartigen Tätigkeit gegenüber denjenigen, deren zugehörige Messergebnisse in Tabelle 6.12 zusammengefasst wurden, mussten diese Ergebnisse gesondert betrachtet werden.

## 7 Zusammenfassung

In 13 Imprägnierbetrieben wurden Arbeitsplatzmessungen durchgeführt. Diese Arbeitsplatzmessungen liefern einen Überblick über die Belastungen der Beschäftigten bei

- der Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen,
- der Kesseldruckimprägnierung mit Teerölen,
- der Heiß-Kalt-Tränkung mit Teerölen und der
- Trogtränkung mit Borsalzen.

Neben den Arbeitsplatzmessungen der inhalativen Belastungen erfolgten Erhebungen der Hautbelastungen. Dabei wurden auch erste orientierende Messungen durchgeführt. Bei der Kesseldruckimprägnierung mit Teerölen wurde in drei Betrieben parallel zu den Arbeitsplatzmessungen ein Biomonitoring durchgeführt.

Bei der Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen erwiesen sich die Tätigkeiten bei der Entleerung und Beschickung der Kessel als die expositionsintensivsten - sowohl hinsichtlich der inhalativen als auch der dermalen Belastung. Die Belastungen durch die einatembare Staubfraktion lagen mit maximal  $1,7 \text{ mg/m}^3$  durchweg unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes von  $10 \text{ mg/m}^3$ . Für Kupfer betragen die Belastungen bis zu  $0,0061 \text{ mg/m}^3$ . Die Kupferbelastungen bei der Imprägnierung mit chromfreien oder chromhaltigen Holzschutzmitteln sind etwa gleich groß. Wurde mit chromhaltigen Holzschutzmitteln imprägniert, so betragen die Chrombelastungen bis zu  $0,0073 \text{ mg/m}^3$ .

Die Kesseldruckimprägnierung mit Teeröl wurde in vier Betrieben untersucht, von denen drei in erster Linie Bahnschwellen imprägnierten. Die Belastungen durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) wurden als Summe der in der Dampf- und in der Partikelphase auftretenden Stoffe bestimmt. Benzo(a)pyren war in keinem Betrieb zu finden. Personengetragen wurden für die Summe der PAH Belastungen bis zu  $16,9 \text{ mg/m}^3$  gefunden. Ortsfest an den Imprägnierkesseln durchgeführte Messungen (worst case) lagen mit bis zu  $72,5 \text{ mg/m}^3$  deutlich höher als die personengetragenen Messungen. Diese Messungen liefern Hinweise über die Höhe möglicher Spitzenbelastungen während kurzzeitiger Tätigkeiten unmittelbar am Imprägnierkessel.

In den Betrieben, die Bahnschwellen imprägnierten, wurde auch beim Aufplatten, d. h. beim Anbringen der Halterungen für die Gleise gemessen. Bei diesen Tätigkeiten lagen sowohl die personengetragenen als auch die ortsfesten Messergebnisse mit maximal  $1,76 \text{ mg/m}^3$  bzw.  $6,8 \text{ mg/m}^3$  deutlich niedriger als bei der Imprägnierung. Die wesentliche Ursache dafür ist darin zu sehen, dass die imprägnierten Schwellen vollständig abgekühlt waren. Es zeigte sich für das Aufplatten, dass die Belastungen in dem Betrieb, der die Aufplattung in einer Halle durchführte, höher lagen als in den beiden anderen Betrieben, wo dies im Freien erfolgte.

Bei der Kesseldruckimprägnierung von Bahnschwellen mit Teeröl wurde ein Biomonitoring durchgeführt. Dabei erfolgte die Bestimmung von 1-Hydroxypyren im Urin der

Beschäftigten. Es wurden sowohl Analysen des Urins vor der ersten Schicht am Beginn der Arbeitswoche (Vorschichtwerte) als auch am Schichtende nach mindestens drei Arbeitstagen (Nachschichtwerte) durchgeführt. Die Beschäftigten bei der Imprägnierung und Aufplattung zeigten im Vergleich zum Referenzwert von  $0,3 \mu\text{g}$  1-Hydroxypyren/g Kreatinin als Median bis zu 80fach erhöhte Werte. Ebenso waren diese Belastungen signifikant höher als die derjenigen Beschäftigten, die in den Betrieben anderweitig tätig waren, z. B. bei Verlade- oder Bürotätigkeiten. Eine Aussage über Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Arbeitsplatzmessungen und des Biomonitorings ist aufgrund der geringen Anzahl an Messwerten nicht möglich.

Sowohl bei der Kesseldruckimprägnierung mit chrom- und kupferhaltigen Lösungen als auch mit Teerölen wurden die potenziellen Hautbelastungen beobachtet und einige Messungen durchgeführt. Hautbelastungen können insbesondere beim Entleeren und Beschicken der Kessel und den damit im Zusammenhang stehenden Tätigkeiten auftreten. Es sind vor allem die Hände und die Unterarme betroffen. Beim Lösen der Gurte und Ketten zur Befestigung des Imprägniergutes kommt es zu Spritzern, die zu Belastungen auf den Vorderseiten der Unter- und Oberschenkel sowie des Oberkörpers führen können.

Messungen der potenziellen Hautbelastungen erfolgten anfangs mit Patches, die an vorgegebenen Stellen des Körpers befestigt waren. Es zeigte sich jedoch deutlich, dass diese Methode wenig geeignet ist. Aus diesem Grunde wurden erste Versuche mit einem weißen Einweg-Chemikalienschutzanzug durchgeführt. Diese erwiesen sich als vielversprechend, sodass daraus ein gegenwärtig laufendes Untersuchungsprogramm abgeleitet wurde.

Wie bei der Kesseldruckimprägnierung konnte auch bei der Heiß-Kalt-Tränkung mittels Teerölen kein Benzo(a)pyren festgestellt werden. Die an den Beschäftigten ermittelten PAH-Belastungen betragen bei diesem Verfahren bis zu  $2,1 \text{ mg/m}^3$  für die Summe der PAH. Ortsfest wurden unter worst case-Bedingungen direkt an der Anlage bis zu  $3,3 \text{ mg/m}^3$  gefunden. Hautbelastungen sind bei der Heiß-Kalt-Tränkung an den gleichen Körperpartien wie bei der Kesseldruckimprägnierung möglich.

Die bei Verwendung von Teerölen ermittelten PAH-Belastungen sind im Wesentlichen auf folgende Stoffe zurückzuführen: Naphthalin, 1-Methylnaphthalin, 2-Methylnaphthalin, Acenaphthen, Fluoren und Phenanthren.

Aufgrund schwieriger Auftragsituationen konnte die Trogtränkung mit Borsalzen nicht im geplanten Umfang untersucht werden. Die Arbeitsplatzmessungen in den beiden untersuchten Betrieben erfolgten unter worst case-Bedingungen, da Arbeitsaufträge für die Messkampagne gesammelt wurden. Während der etwa zweistündigen Tätigkeiten am Trog betrug die an der Person gemessene Borkonzentration max.  $0,026 \text{ mg/m}^3$ , woraus ein Schichtmittelwert von  $0,007 \text{ mg/m}^3$  resultiert. Ortsfest lagen die an der Anlage gemessenen Borkonzentrationen überwiegend unter  $0,001 \text{ mg/m}^3$ . Nur in drei Fällen konnten Konzentrationen zwischen  $0,001 \text{ mg/m}^3$  und  $0,049 \text{ mg/m}^3$  gemessen werden.

In acht Betrieben erfolgten Arbeitsplatzmessungen bei der Holzbearbeitung. Die im Schälwerk, in der Schreinerei/Fertigung sowie in der Bohr- und Hobelhalle in der einatembaren Staubfraktion bestimmten Holzstaubbelastungen lagen fast durchweg unterhalb von  $2 \text{ mg/m}^3$ . Die dabei eingesetzten Maschinen verfügten über entspre-

chende Absaugungen. In einem Betrieb wurde Holzwohle hergestellt. Die dabei ermittelten Holzstaubbelastungen betragen ortsfest und personengetragen gemessen  $9,2 \text{ mg/m}^3$  bzw.  $13,2 \text{ mg/m}^3$ . Diese hohen Belastungen sind darauf zurückzuführen, dass keine Absaugung vorhanden war.

## 8 Literatur

- [1] Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 16. Februar 1998 über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten (Biozidgesetz) vom 20. Juni 2002, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 27. Juni 2002, S. 2076
- [2] 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 24.4.1998, S. 1-63, ber. ABl. EG Nr. L 150 vom 8. Juni 2002 (<http://ecb.jrc.it/biocides>)
- [3] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Workshop „Arbeitsschutz beim Umgang mit Holzschutzmitteln“, Dortmund, 9. März 2004
- [4] Deutsches Institut für Normung (DIN): DIN 68800 - Teil 1, Holzschutz im Hochbau - Allgemeines, Beuth-Verlag, Berlin, 1974
- [5] Wikipedia: Holzschutz, aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie, [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [6] Deutsches Institut für Normung (DIN): DIN 68800 - Teil 3, Holzschutz - Vorbeugender chemischer Holzschutz, Beuth-Verlag, Berlin, 1990
- [7] Europäisches Komitee für Normung (CEN): DIN EN 335, Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen, Teil 1 Allgemeines, Teil 2 Anwendung bei Vollholz, Beuth-Verlag, Berlin, 2006
- [8] Deutsche Bauchemie e. V.: Merkblatt für den Umgang mit Holzschutzmittel, Frankfurt am Main, November 2007
- [9] Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: Gefahrstoff-Informationssystem GISBAU, Einstufungen nach dem Produktcode für Holzschutzmittel [www.gisbau.de/service/einstuf/Holzschutzmittel.rtf](http://www.gisbau.de/service/einstuf/Holzschutzmittel.rtf), Frankfurt am Main, Stand August 2008
- [10] Europäisches Komitee für Normung (CEN): DIN EN 13991, Derivate der Kohlenpyrolyse – Öle aus Steinkohlenteer: Kreosot – Anforderungen und Prüfverfahren, Beuth-Verlag, Berlin, 2003
- [11] Gefahrstoffverordnung vom 23.12.2004 „Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen“, vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S 3758), geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S 3855), durch Artikel 2 der Verordnung vom 11. Juli 2006 (BGBl. I S 1577), durch Artikel 442 der Neunten Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S 2407) und durch Artikel 4 der Verordnung zur Umsetzung der EG-Richtlinien 2002/44/EG und 2003/10/EG zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261) und durch Artikel 2 der Verordnung vom 12. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2382)
- [12] Umweltbundesamt: Gutachten zur Erhebung struktureller Daten über industrielle und gewerbliche Anwender von Holzschutzmitteln in Deutschland, Förderkennzeichen 360 04 008, erstellt durch Institut Fresenius, Taunusstein, 14. Februar 2001

- [13] Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (DGfH): Merkblatt: Verfahren zur Behandlung von Holz mit Holzschutzmitteln, Teil 1 Druckverfahren.
- [14] Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (DGfH): Merkblatt: Verfahren zur Behandlung von Holz mit Holzschutzmitteln, Teil 2 Nichtdruckverfahren
- [15] Halupczok, U.: Deutscher Holzschutzverband für Außenholzprodukte e. V. (DHV), persönliche Mitteilung, Mai 2008
- [16] H. Goralczyk: Simulation der Exposition von Holzschutzmitteln auf Lagerplätzen. MCPELMO 3.0, Umweltbundesamt, Vortrag am 17.12.03, Berlin
- [17] Technical Notes for Guidance in Support of Directive 98/8/EC of the European Parliament and the Council Concerning the Placing of Biocidal Products on the Market. Human Exposure to Biocidal Products - Guidance on Exposure Estimation [„Version 2002“ <http://ecb.jrc.it/biocides>] (Juni 2002)
- [18] Technical Notes for Guidance in Support of Directive 98/8/EC of the European Parliament and the Council Concerning the Placing of Biocidal Products on the Market. Human Exposure to Biocidal Products - Guidance on Exposure Estimation [„TNsG-Human-Exposure-2007.pdf“ <http://ecb.jrc.it/biocides>] (Januar 2008)
- [19] Guiver, R., Chambers, H., Foster, R., Johnson, P., Rimmer, D.: A report of 16 visits addressing occupational exposure arising from dipping activities with biocides and non agricultural pesticides. 3830/R51.169 (1999)
- [20] Garrod, A.N.I., Martinez, M., Pearsons, J., Proud, A., Rimmer, D.A.: Exposure to preservatives used in the industrial pretreatment of timber, Ann. Occup. Hyg. Vol. 8, 543-555 (1999)
- [21] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen - Inhalative Exposition (TRGS 402), GMBL, Nr. 28, S. 558-575 (14.07.2008)
- [22] OECD: Guidance document for the conduct of occupational exposure to pesticides during agricultural application. Environmental and Safety Publications, Series on Testing and Assessment, No. 9, OECD/GD, Paris, 1997 (97), 148
- [23] Kapsalis, Ch.: Erhebung von dermalen Belastungen durch Holzschutzmittel, Diplomarbeit, Universität-Gesamthochschule Duisburg-Essen, Fachbereich Chemie, September 2004
- [24] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes, 1-Hydroxypyren im Urin als Indikator einer inneren Belastung mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) – Referenzwert für 1-Hydroxypyren im Urin, Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes; Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz; 10, 2005, 1194 – 1206
- [25] Jongeneelen, F. J., Anzion, R. B., Leijdekkers, C. M., Bos, R. P. Henderson, P. T.: 1-Hydroxypyrene in human urine after exposure to coal tar and a coal tar derived product; Int Arch Occup Environ Health; 57: 47 – 55 (1985)

- [26] Becker, K., Kaus, S., Krause, C., Lepom, P., Schulz, C., Seiwert, M., Seifert, B.: Umweltsurvey 1998, Band III: Human-Biomonitoring, Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland; WaBoLu-Heft des Umweltbundesamtes 01/02, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, Eigenverlag Berlin (2002)
- [27] Jongeneelen, F.; Anzion, R. B. M.: 1-Hydroxypyren. In: Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Bd. 2., Analysen in biologischem Material, Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Wiley-VCH. Losebl.-Ausg. 11. Lfg. (1994)
- [28] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900), BArbBl. Heft 1/2006, S. 41-55, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI. Nr. 28, S. 578-579 (14.07.2008)
- [29] Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG): MAK- und BAT-Werte-Liste 2007, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 43, Wiley-VCH, Weinheim, 2007
- [30] US Environmental Protection Agency (EPA): Pesticide Assessment Guidelines, Subdivision U. Applicator exposure monitoring. Washington DC, 1987
- [31] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Messung von Hautbelastungen durch chemische Stoffe bei der Imprägnierung mit Holzschutzmitteln, Forschungsprojekt 2053, Dortmund/Berlin/Dresden, 2008
- [32] Siegel, S.: Nichtparametrische statistische Methoden. Fachbuchhandlung für Psychologie, Eschborn bei Frankfurt am Main, 1. Ausgabe, 1985
- [33] Rinne, H.: Taschenbuch der Statistik. 2. überarb. und erw. Auflage, Verlag Harry Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 1997

## 9 Danksagung

Die Autoren danken den am Untersuchungsprogramm beteiligten Betrieben und ihren Mitarbeitern für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeitsplatzmessungen und des Biomonitorings.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Forstwirt Uwe Halupczok vom Deutschen Holzschutzverband e. V. (DHV) für seine Unterstützung bei der Auswahl der Betriebe und die anregenden Diskussionen während der Durchführung der Arbeitsplatzmessungen.