



## Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz

**Das Humanbiomonitoring (HBM) ist ein in der Arbeits- und Umweltmedizin bewährtes Instrument, um das Ausmaß der Fremdstoffbelastung des Menschen und die daraus resultierende gesundheitliche Gefährdung abzuschätzen. Im Bevölkerungsschutz ist die Frage nach einer möglichen Exposition gegenüber chemischen (C), biologischen (B) und radionuklearen (RN) Agenzien für die Einsatzkräfte und die Bevölkerung von höchster Bedeutung. Die tatsächlich aufgenommene, biologisch wirksame Dosis kann für C-Stoffe durch HBM, für B- und RN-Stoffe durch spezielle Messverfahren für die Betroffenen bestimmt werden.**

Die medizinische Nachsorge für die Bevölkerung im Fall einer möglichen Exposition mit C-Stoffen liegt in Deutschland in der Hand des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD). Hier gab es bereits positive Erfahrungen mit dem Einsatz von HBM nach Chemieunfällen in den 1990er Jahren [1–4]. Im Jahr 2002 wurde HBM nach dem Zugangsglück von Bad Münder mit der Freisetzung von Epichlorhydrin erneut erfolgreich angewandt, um die möglichen Langzeiteffekte bei potenziell exponierten Personen abschätzen zu können [5, 6]. Als Folge dieses Ereignisses hat die Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes 2006 „Empfehlungen zum Einsatz von Human-Biomonitoring bei einer stör- oder unfallbedingten Freisetzung von Chemikalien mit Exposition der Bevölkerung“ als Handreichung insbesondere für den ÖGD herausgegeben [7].

Für die haupt- und ehrenamtlichen Einsatzkräfte in Deutschland liegt die medizinische Nachsorge in der Hand der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, die ihre Verpflichtung u. a. mit Hilfe des Durchgangsarztverfahrens wahrnimmt. HBM findet hier seine Anwendung gemäß der Arbeitsmedizinischen Regel AMR 6.2 „Biomonitoring“ [8], in der festgehalten wird, dass „Biomonitoring auch nach unfallartigen Expositionen sinnvoll ist, insbesondere wenn keine Ergebnisse aus Luftmessungen vorliegen“. Zusätzlich empfiehlt die Deutsche Gesellschaft für Katastrophenmedizin (DGKM) e. V. in einer Handreichung für Einsatzkräfte im CBRN-Einsatz HBM als Postexpositionsprophylaxe [9]. Dennoch besteht beim medizinischen Fachpersonal und den Einsatzleitungen im Bevölkerungsschutz Nachholbedarf im Hinblick auf das Wissen um den Einsatz des HBM als Werkzeug zur Aufarbeitung einer möglichen chemischen Exposition für die Einsatzkräfte.

Daher wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein Kompendium als Handreichung für das medizinische Fachpersonal zur Expositionserfassung insbesondere der Einsatzkräfte und auch der Bevölkerung nach einem CBRN-Ereignis erstellt [10, 11].

### Kompendium als Handlungsempfehlung

Das Kompendium „Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz“ beschreibt in einem allgemeinen Teil die Probenahme für C-Agenzien, B-Agenzien und radioaktive Metallisotope und geht vertieft

auf die Durchführung des Humanbiomonitoring für C-Stoffe ein. In einem speziellen Teil werden die vorliegenden Beurteilungswerte und die vorhandenen HBM-Analysemethoden für eine Auswahl von 50 bevölkerungsschutzrelevanten Gefahrstoffen und Gefahrstoffgruppen dargestellt und bewertet. Für im Kompendium nicht genannte Stoffe wird auf das Biomonitoring-Auskunftssystem der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA) hingewiesen ([www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Biomonitoring/Auskunftssystem.html](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Biomonitoring/Auskunftssystem.html)).

Grundlage für die getroffene Auswahl ist die Liste der Studie „Gefahrenpotentiale von chemischen Kampfstoffen und toxischen Industriechemikalien – das Punktesystem“ [12]. Diese Zusammenstellung beinhaltet gängige Industriechemikalien wie Acrylnitril, Kampfstoffe wie N-Lost und Toxine wie Rizin und orientiert sich in ihrer Auswahl nicht nur an der Toxizität der Stoffe, sondern auch an anderen Kriterien, wie z. B. physikalisch-chemische Eigenschaften und Verfügbarkeit.

Die Stoffprofile des speziellen Teils sollen dem Benutzer eine erste Einschätzung des Gesundheitsrisikos nach einer Exposition gegenüber dem einzelnen Stoff ermöglichen und Wege zur Expositionserfassung durch HBM aufzeigen. Sie sind wie folgt aufgebaut: Nach der Benennung des Stoffes auf Deutsch und Englisch inklusive UN- und CAS-Nummer (falls vorhanden) schließen sich die Beurteilungswerte an. Dies sind die für Gefahrstoffunfälle entwickelten Werte (ETW, AEGL), die für den Stoff vorliegenden Werte am Arbeitsplatz mit Einstufungen (MAK mit Spitzenbegrenzung, AGW)

sowie die biologischen Werte (BAT, BGW, BAR, BLW, EKA). Die zu erwartenden giftigen Wirkungen der Stoffe werden im nächsten Abschnitt kurz dargestellt unter Hervorhebung der Reizwirkungen und der akuten Toxizität. Es folgen die Hinweise zur HBM-Probenahme und zur HBM-Methode. Abgerundet werden die Profile jeweils durch eine knappe Zusammenstellung recherchierter Literatur, die als erster Einstieg zur Bewertung der toxischen Wirkungen der Stoffe und der Ergebnisse des HBM dienen kann.

Eine alphabetisch nach Standort sortierte Liste von Laboratorien soll den Verantwortlichen die Suche nach einem geeigneten Labor für die HBM-Analytik erleichtern. Sie stellt in keinem Fall eine Bewertung der genannten Institutionen dar; die Auswahl erfolgte u. a. aufgrund der regelmäßigen Teilnahme an externen Qualitätssicherungsmaßnahmen wie Ringversuchen. Laboratorien, die eine Aufnahme in die Liste wünschen, werden gebeten, mit dem Autor des Artikels Kontakt aufzunehmen.

Wertvolle Ansprechpartner für die Einsatzkräfte und die Bevölkerung sind bei Vergiftungen und Vergiftungsverdachtsfällen Giftinformationszentren (Übersicht der Zentren in Deutschland, Österreich und der Schweiz unter [www.klinitox.de](http://www.klinitox.de)), sie beraten aber auch medizinisches Fachpersonal bei toxikologischen Fragestellungen. Darüber hinaus können sie bei der Koordination von HBM-Maßnahmen oder bei der Suche nach geeigneten Laboratorien um Unterstützung gebeten werden. Das Kompendium enthält eine aktuelle Liste der Giftinformationszentren und schließt mit praxisrelevanten Formblättern: zum einen dem Fragebogen zur Expositionsermittlung bei Unfällen mit Gefahrstoffen, zum anderen der Erklärung zur Einwilligung in die HBM-Untersuchung. Diese können als Kopiervorlagen dienen.

Die gewonnenen HBM-Daten können bei der Aufarbeitung eines C-Ereignisses im Rahmen der Risikokommunikation auf Gruppenbasis sowie der medizinischen Nachsorge und der psychosozialen Unterstützung für den Einzelnen genutzt werden. Dabei ist die Bewertung des individuellen Datensatzes im Hin-

blick auf vorliegende biologische Werte von entscheidender Bedeutung, um beispielsweise eine gesundheitsschädlich relevante Exposition sicher ausschließen zu können.

Aktuelle Untersuchungen nach Gefahrgutunfällen [5, 6, 13, 14] zeigen, dass beim weitaus größten Anteil potenziell Exponierter eine biologisch wirksame innere Dosis nicht oder nur in sehr geringem Umfang nachweisbar ist und somit entwarnt werden kann. HBM-Ergebnisse können hingegen bei definitiv Exponierten zur Beweissicherung und Begutachtung von Spätfolgen herangezogen werden. Dies kann insbesondere für die Einsatzkräfte im Hinblick auf spätere, mit dem Einsatz in Verbindung gebrachte Krankheiten und Dienstunfallanzeigen entschädigungsrelevant sein.

## Implementierung

In einem Nachfolgeprojekt wurde die Implementierung des HBM im Bevölkerungsschutz durch das BBK gefördert. Im Rahmen dieses Projektes wurden Kursangebote an der Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) in Ahrweiler erarbeitet, durchgeführt und evaluiert, ein Workshop für Endnutzer organisiert und ausgerichtet sowie ein Internetangebot bereitgestellt.

Als Kursangebote wurde zum einen ein Curriculum für ein eintägiges Seminar entworfen, Unterrichtsmaterialien auf der Basis des Kompendiums entwickelt und optimiert sowie ein Pilotseminar an der AKNZ durchgeführt und evaluiert. Das Seminar richtet sich an Ärzte, Ärzte im ÖGD, Notärzte, Leitende Notärzte und Ärztliche Leiter Rettungsdienst, Ärzte, die Führungsaufgaben im Katastrophenschutz wahrnehmen, sowie Einsatzleitungen (ORGL). Es umfasst 7 Unterrichtseinheiten (UE) zu 45 min (Lernen: 4 UE, Praxis: 3 UE).

Zum anderen wurde eine 3 UE umfassende Kompaktversion des Seminars (Lernen: 2 UE, Praxis: 1 UE) in das bestehende Kursangebot „Präklinisches Management besonderer Gefahrenlagen (Terror)“ aufgenommen. Dieses Kursangebot richtet sich an Führungskräfte der Feuerwehren und Hilfsorganisatio-

nen, die als Einsatz- oder Abschnittsleiter in besonderen rettungsdienstlichen Einsatzlagen eingesetzt werden, sowie Leitende Notärzte, Notärzte, ÄLRD, Verbandführer der Medical Task Forces (MTF) und Lehr- oder Führungskräfte der Polizei, die sich mit der Vorbereitung von Bedrohungs- und Terrorlagen befassen.

Des Weiteren fand am 9.5.2014 ein Workshop im Universitätsklinikum Bonn statt. Mit dieser Veranstaltung sollte eine Brücke zwischen den Multiplikatoren im Bevölkerungsschutz und den WissenschaftlerInnen in den HBM-Laboratorien geschlagen werden. Ziel war es dabei, die Zusammenarbeit für künftige C-Ereignisse zu fördern und damit diese für das HBM entscheidende Schnittstelle zu stärken. Neben 5 Fachvorträgen gab es eine Round-Table-Diskussion zum Thema.

Für eine nachhaltige Nutzung fanden die Kursmaterialien und die Präsentationen des Workshops Eingang in ein Internetangebot ([www.arbeitsmedizin.med.uni-goettingen.de/de/content/ueberuns/152.html](http://www.arbeitsmedizin.med.uni-goettingen.de/de/content/ueberuns/152.html)). Dieses Angebot wird ergänzt durch eine gegenüber dem Kompendium bereits aktualisierte, alphabetisch nach Standort sortierte Liste von HBM-Laboratorien, die inzwischen auch ausländische Laboratorien umfasst. In Zusammenarbeit mit dem HBM-Ringversuch G-EQUAS am Institut und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg soll diese Liste weiter alle 2 Jahre aktualisiert werden.

## HBM im europäischen Bevölkerungsschutz

C-Ereignisse verlangen eine rasche Entscheidung, ob HBM angewendet werden soll oder nicht. Sie benötigen klare Strategien zur Probenahme und Analyse sowie zur Kommunikation der Ergebnisse für das Individuum, für eine Gruppe und für die Öffentlichkeit. Aus europäischer Sicht gibt es neben dem hier vorgestellten Konzept eine alternative Vorgehensweise in den Niederlanden [15, 16], die in den letzten Jahren parallel zur deutschen Strategie entwickelt wurde. Im Gegensatz zur obliga-

M. Müller

## Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz

### Zusammenfassung

**Einleitung.** Die Freisetzung von chemischen, biologischen und radionuklearen (CBRN-) Agenzien schafft besondere Gefahrenlagen, die mit einer möglichen Exposition von Einsatzkräften und der Bevölkerung einhergehen können. Die tatsächlich aufgenommene und damit biologisch wirksame innere Dosis kann für C-Stoffe in solchen Szenarien durch Humanbiomonitoring (HBM) bestimmt werden.

**Methoden.** Gemäß der Arbeitsmedizinischen Regel 6.2 „Biomonitoring“, ist „Biomonitoring auch nach unfallartigen Expositionen sinnvoll, insbesondere wenn keine Ergebnisse aus Luftmessungen vorliegen“. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde das Kompendium „Humanbiomonitoring im

Bevölkerungsschutz“ als Handreichung für das medizinische Fachpersonal zur Expositionserfassung der Einsatzkräfte und der Bevölkerung nach einem CBRN-Ereignis erstellt. Die Handreichung geht detailliert auf die Durchführung des HBM für C-Stoffe ein. In einem zweiten Schritt erfolgte die Implementierung durch einen Workshop für Endnutzer, die Erstellung von Schulungsangeboten für medizinisches Fachpersonal und einen Internetauftritt mit einer periodisch aktualisierten Liste von HBM-Laboratorien.

**Schlussfolgerung.** Diese Entwicklung stellt ein deutsches Konzept für HBM im Bevölkerungsschutz dar, das auf einer obligaten Sammlung von Proben und deren

anschließenden Analyse basiert. Eine parallele Entwicklung in den Niederlanden verfolgt das Konzept eines transparenten Entscheidungsprozesses über die Durchführung von HBM auf der Basis von Luftmessdaten, Ausbreitungsmodellen und toxikokinetischer Modellierung. Beide Konzepte haben Vor- und Nachteile, können aber in einem zu entwickelnden europäischen Konzept als Beispiele für nationale Lösungen mit erweiterten und limitierten Ressourcen für die Durchführung des HBM genutzt werden.

### Schlüsselwörter

Schädliche Substanzen · Humanbiomonitoring · Bevölkerungsschutz · Kompendium · Laborliste

## Human biomonitoring in civil protection

### Abstract

**Introduction.** The release of chemical, biological and radionuclear (CBRN) agents creates special hazard scenarios, which can involve the exposure of disaster relief forces and the general public. Human biomonitoring (HBM) can be used in these incidents to determine the absorbed and biologically active internal dose of chemical (C) agents in the human body.

**Methods.** The occupational medicine regulation 6.2 biomonitoring (Arbeitsmedizinische Regel 6.2 Biomonitoring) states that “biomonitoring may be used after accidental exposure especially if the results of ambient monitoring are not available.” In a research project the compendium on

“Human biomonitoring in civil protection” was designed as a handout for medical personnel to cover exposure of disaster relief forces and the general public after CBRN incidents. The compendium gives details on HBM procedures to be applied after exposure to C-agents. In a second step the compendium was implemented through a workshop for end users, training courses for medical personnel and an internet appearance with a periodically updated list of HBM laboratories.

**Conclusion.** This development represents a German concept for HBM in civil protection based on the obligatory collection of human specimens and the subsequent analyses. A parallel development in the Netherlands uses

the concept of a transparent decision-making process for the application of HBM based on ambient monitoring data, simple dispersion modeling and toxicokinetic modeling. Both concepts have advantages and disadvantages; nevertheless, these national approaches may serve as examples for a European concept to be developed for the application of HBM with ample and with limited resources.

### Keywords

Hazardous substances · Human biomonitoring · Civil protection · Compendium · List of laboratories

ten Sammlung von Proben nach Aufklärung und Einverständniserklärung der Betroffenen in Deutschland favorisiert man in den Niederlanden einen transparenten Entscheidungsprozess über die Durchführung von HBM auf der Basis von Luftmessdaten, Ausbreitungsmodellen und toxikokinetischer Modellierung. Es kommt zu einer Abschätzung der inneren Dosis der Betroffenen. Lässt diese Dosis Ergebnisse in der HBM-Messung erwarten, so wird die Maßnahme durchgeführt, wenn eine HBM-Messmethode für den/die ausgewählten Parameter zur Verfügung steht. In den Zielen stimmen

beide Konzepte im Wesentlichen überein: ein individueller Expositionsnachweis, in Deutschland auch als Beweissicherung, in den Niederlanden – wenn möglich – für die Therapie. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse für die Krisen- und Risikokommunikation genutzt werden.

Vorteile der *deutschen Vorgehensweise*: Mit Hilfe des Kompendiums kann eine Einweisung von medizinischem Fachpersonal für die obligate Probensammlung – vorzugsweise eine Spontanurinprobe innerhalb der ersten 24 h nach Exposition – noch im Ereignisfall erfolgen. Eine integrierte CBRN-Probensammlung ist

möglich und minimiert so den physischen und psychischen Stress der Betroffenen bei der Probenahme, wenn neben der Exposition gegenüber C-Stoffen auch eine Exposition gegenüber B- und/oder RN-Stoffen vorliegt. Für die einmal gesicherten Proben ist die zeitlich nachgeordnete Neuentwicklung einer HBM-Methode möglich. Durch die obligate Probensammlung werden exponierte und nichtexponierte Betroffene gleichberechtigt erfasst; dies ist für die Plausibilisierung der HBM-Ergebnisse in der Risikokommunikation von großem Vorteil. Mit der Durchführung eines HBM wird das

öffentliche und mediale Interesse durch eine unmittelbare Aktion befriedigt, die sich in der Krisenkommunikation sehr gut platzieren lässt. Nachteile dieser Vorgehensweise ist die Vorhaltung und ein hoher Einsatz von Ressourcen, wie z. B. ein Netzwerk von HBM-Laboratorien, sowie die zeitnahe Bereitstellung benötigter Finanzmittel durch die Verantwortlichen in Politik und Wirtschaft im Ereignisfall.

Das *niederländische Konzept* ist fokussiert auf C-Ereignisse. Vorteile sind die wissenschaftlich transparente, sofortige Entscheidung über den Einsatz von HBM und eine damit verbundene deutliche Ressourcenschonung. Ein möglicher Nachteil ist die Entscheidung auf der Grundlage von Luftmesswerten und Modellen. In diesem Kontext werden z. B. einfache Ausbreitungsmodelle wie ALOHA zunehmend kritisch gesehen [17, 18]. Darüber hinaus stellt die Kommunikation einer Entscheidung gegen das HBM im Ereignisfall eine besondere Herausforderung für die Verantwortlichen dar. Ein HBM wird wie bereits erwähnt nur beim Vorliegen einer vorhandenen Nachweismethode durchgeführt und durch die vorherige Abschätzung einer möglichen inneren Dosis der Betroffenen werden nur Proben von wahrscheinlich Exponierten gewonnen. Die Anwendung des Konzepts ist beschränkt auf vorher ausgebildete und erfahrene Experten/innen, die mit dem ÖGD und lokalen Krankenhäusern kooperieren.

Insgesamt haben beide Vorgehensweisen ihre Berechtigung und können im Hinblick auf ein zu entwickelndes europäisches Konzept für das HBM im Bevölkerungsschutz als Beispiele für nationale Lösungen mit erweiterten und mit limitierten Ressourcen für die Durchführung eines HBM genutzt werden.

## Fazit für die Praxis

- Gemäß der Arbeitsmedizinischen Regel 6.2 „Biomonitoring“, ist „Biomonitoring auch nach unfallartigen Expositionen sinnvoll, insbesondere wenn keine Ergebnisse aus Luftmessungen vorliegen“.

- Das Kompendium „HBM im Bevölkerungsschutz“ ermöglicht eine Expositionserfassung der Einsatzkräfte und der Bevölkerung nach einem CBRN-Ereignis.
- Alternativ lässt sich das niederländische Konzept eines transparenten Entscheidungsprozesses über die Durchführung von HBM auf der Basis von Luftmessdaten, Ausbreitungsmodellen und toxikokinetischer Modellierung für C-Ereignisse anwenden.
- Auf Basis der deutschen und der niederländischen Vorgehensweise kann unter Berücksichtigung der jeweiligen Vor- und Nachteile ein europäisches Konzept entwickelt werden.

## Korrespondenzadresse



### PD Dr. M. Müller

Institut für Arbeits-, Sozial-, und Umweltmedizin,  
Universitätsmedizin  
Göttingen  
Waldweg 37 B, 37073 Göttingen,  
Deutschland  
mmuelle3@gwdg.de

**Förderung.** Die Forschungsarbeiten zum Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz wurden gefördert durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Förderkennzeichen: AZ III. 1-623-10-350 und III. 1-413-10-00-390).

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** M. Müller gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine vom Autor durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

## Literatur

1. Heudorf U, Peters M (1994) Human-Biomonitoring nach einem schweren Chemiestörfall – Ergebnisse der Untersuchungen nach dem Störfall in der Hoechst AG vom 22. 2.1993. Gesundheitswesen 56:558–562
2. Heudorf U, Peters M (1997) Risikomanagement nach einem Chemieunfall am Beispiel der Isoproturon-Freisetzung der AgrEvo vom Januar 1996. Gesundheitswesen 59:661–666
3. Heudorf U, Bader M, Koch A, Ewers U, Angerer J (1997) Humanbiomonitoring Expositions- und

Risikoabschätzung nach einem Chemieunfall. Umweltmed Forsch Prax 2:23–24

4. Heudorf U (1998) Beratung Teil 2: Umgang mit Störfällen. In: Beyer A, Eis D (Hrsg) Praktische Umweltmedizin. Springer, Heidelberg, S 1–21
5. Wollin K-M, Bader M, Müller M, Lilienblum W, Csicsaky M (2008) Assessment of long-term health effects by means of haemoglobin adducts of 1-chlor-2,3-epoxypropane (ECH) after accidental exposure. Naunyn-schmiedeberg's Arch Pharmacol 377(Suppl. 1):92
6. Wollin K-M, Bader M, Müller M, Lilienblum W, Csicsaky M (2014) Assessment of long-term health risks after accidental exposure using haemoglobin adducts of epichlorohydrin. Toxicol Lett 231:378–386
7. Umweltbundesamt (2006) Empfehlungen zum Einsatz von Human-Biomonitoring bei einer störender unfallbedingten Freisetzung von Chemikalien mit Exposition der Bevölkerung – Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Bundesgesetzbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 49:704–712
8. Ausschuss für Arbeitsmedizin (2013) AMR 6.2 Biomonitoring. In: Ausschuss für Arbeitsmedizin (Hrsg) S 13. GMBI.Nr. 5/2014, S. 91 BMAS
9. [http://www.dgkm.org/files/downloads/cbrn/Einheiten\\_im\\_CBRN-Einsatz\\_-\\_SKK-Dienstvorschrift\\_500.pdf](http://www.dgkm.org/files/downloads/cbrn/Einheiten_im_CBRN-Einsatz_-_SKK-Dienstvorschrift_500.pdf). Zugegriffen: 27. November 2015
10. Müller M, Schmiechen K (2012) Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz Bd. 16. MedienHaus Plump, Rheinbreitbach
11. Müller M, Schmiechen K, Heselmann D, Schmidt L, Göen T (2014) Human biological monitoring – A versatile tool in the aftermath of a CBRN incident. Toxicol Lett 231:306–314
12. Burbiel J, Engelhard N, Grigoleit S, John H, Schulze J (2009) Gefahrenpotentiale von chemischen Kampfstoffen und toxischen Industriechemikalien – das Punktesystem. In: Bevölkerungsschutz B, Katastrophenhilfe (Hrsg) Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern Band 1, Gefahren und Warnung. MedienHaus Plump, Rheinbreitbach, S 27–58
13. Leng G, Gries W (2014) Biomonitoring following a chemical incident with acrylonitrile and ethylene in 2008. Toxicol Lett 231:360–364
14. Van Nieuwenhuysse A, Fierens S, De Smedt T, De Cremer K, Vleminckx C, Mertens B, Van Overmeire I, Bader M, De Paepe P, Göen T, Nemery B, Schettgen T, Stove C, Van Oyen H, Van Loco J (2014) Acrylonitrile exposure assessment in the emergency responders of a major train accident in Belgium: a human biomonitoring study. Toxicol Lett 231:352–359
15. Scheepers PT, Bos PM, Konings J, Janssen NA, Grievink L (2011) Application of biological monitoring for exposure assessment following chemical incidents: a procedure for decision making. J Expo Sci Environ Epidemiol 21:247–261
16. Scheepers PT, Brederode NE van, Bos PM, Nijhuis NJ, Weerd RH van de, Woude I van der, Eggens ML (2014) Human biological monitoring for exposure assessment in response to an incident involving hazardous materials. Toxicol Lett 231:295–305
17. Schatzmann M, Leitl B (2009) Evaluation of numerical flow and dispersion models for applications in industrial and urban areas. Chem Eng Technol 32:1–7
18. Harms F, Leitl B, Schatzmann M, Patnaik G (2011) Validating LES-based flow and dispersion models. J Wind Eng Ind Aerodyn 99:289–295