

## IV – 7

# Die Umweltprobenbank des Bundes – Umwelt- und Humanproben

T. Weber, J. Koschorreck, M. Rüther, A. Körner, Berlin, B. Knopf, M. Kotthoff, H. Rüdell, Schmollenberg, D. Lermen, M. Bartel-Steinbach, Sulzbach, T. Göen, Erlangen, M. Paulus, R. Klein, M. Veith, Trier, M. Kollssa-Gehring, Berlin

## Einleitung

Die Umweltprobenbank des Bundes (UPB) ist ein Archiv von Proben, mit denen die Qualität der Umwelt und die Belastung des Menschen dokumentiert und bewertet werden kann.

Jährlich werden Humanproben (Vollblut, Blutplasma und Urin) von Studierenden an vier Standorten gesammelt und untersucht. Parallel werden typische Ökosysteme in ganz Deutschland, von Küstenregionen über Ballungsräume bis hin zu Gebirgsregionen, beprobt und dabei Vertreter der Nahrungsnetze erfasst, beispielsweise Muschel, Fisch und Möwe aus den Küsten-Ökosystemen.

Die Schadstoffbelastung der Proben wird kurz nach der Probensammlung oder retrospektiv in eingelagerten Proben bestimmt. Die Ergebnisse der Analysen können einen Handlungsbedarf und Erfolg oder Misserfolg regulatorischer Maßnahmen für Chemikalien aufzeigen, aber auch grundsätzliche Aussagen zur Qualität der Umwelt liefern.

Im Routineprogramm der UPB werden nicht nur Konzentrationen von bestimmten Stoffen gemessen. Vielmehr wird auch die „Fitness“ der beprobten Organismen anhand biometrischer Faktoren, wie z. B. Alter, Größe, Gewicht und Gesundheitszustand, beurteilt.

Weil die UPB den aktuellen Zustand der Umwelt dokumentiert, aber auch Proben der Vergangenheit für unvorhersehbare Fragestellungen bereithält, stellt sie ein wichtiges Instrument der gesundheitsbezogenen Umweltpolitik in Deutschland dar.

## 1 Umweltprobenbank des Bundes

### 1.1 Konzeption der Umweltprobenbank des Bundes

Die Umsetzung des Vorsorgeprinzips erfordert eine wissenschaftliche Infrastruktur, eine umfassende Datenbasis zur Bestimmung und Bewertung des Ist-Zustandes der Umwelt und eine langfristige Beobachtung der in der Umwelt stattfindenden chemischen, physikalischen und biologischen Entwicklungsprozesse in Zeit und Raum (Umweltbundesamt 2014).

Für die Umweltprobenbank des Bundes werden Humanproben ausgewählter Standorte gemeinsam mit ökologisch repräsentativen Umweltproben gesammelt, eingelagert und auf gesundheits- und umweltrelevante Stoffe analysiert. Auf diese Weise wird auch eine Erfolgskontrolle umweltpolitischer Maßnahmen möglich, beispielsweise bei Verboten von Stoffen oder freiwilligen Vereinbarungen mit Industrieverbänden zur Verbrauchsbeschränkung.

Mit einer ökosystemaren Charakterisierung und Bewertung repräsentativer Lebensräume der Bundesrepublik Deutschland – in ihrem Ist-Zustand, aber auch in ihrer Entwicklung – werden wichtige Voraussetzungen geschaffen, um frühzeitig

- sich anbahnende Fehlentwicklungen in den Ökosystemen zu erkennen,
- Erkenntnisse über Art und Umfang eingetretener Fehlentwicklungen und ihrer Folgen (Schäden) abzuschätzen,
- Erkenntnisse für die Prioritätensetzung für politische Maßnahmen der Bundesregierung zu gewinnen und
- Grundlagen der Vorsorgepolitik des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit für den Natur- und Umweltschutz

sowie für die Gesundheit des Menschen zu erarbeiten.

Nach einer erfolgreichen Entwicklungs- und Erprobungsphase (Beginn 1977) erfolgte ab 1981 die systematische Sammlung und Lagerung von Humanproben und ab 1994 der Ausbau der Umweltprobenbank zum Vollbetrieb (4 Humanprobenahmestandorte und 14 repräsentative Ökosysteme) nach dem in *Tabelle 1* dargestellten Stufenplan.

**Tab. 1:** Stufenplan des Ausbaus des Routinebetriebs der Umweltprobenbank

| Humanbereich  |  |
|---------------|--|
| seit 1981     | Universität Münster  |
| seit 1995     | Universität Halle/Saale  |
| seit 1995     | Universität Greifswald   |
| seit 1997     | Universität Ulm  |
| Umweltbereich |  |
| seit 1994     | Biosphärenreservat/Nationalpark Wattenmeer (Schleswig-Holstein/Niedersachsen)<br>Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft<br>Elbe<br>Saarländischer Verdichtungsraum<br>Dübener Heide |
| seit 1995     | Rhein  |
| seit 1996     | Nationalpark Harz  |
| seit 1997     | Bornhöveder Seengebiet   |
| seit 1998     | Biosphärenreservat/Nationalpark Berchtesgaden<br>Nationalpark Bayerischer Wald   |
| seit 1999     | Solling  |
| seit 2000     | Oberbayerisches Tertiärhügelland   |
| seit 2001     | Biosphärenreservat Pfälzerwald   |
| seit 2002     | Donau  |

## 1.2 Aufgaben und Ziele der Umweltprobenbank des Bundes

Neben dem routinemäßigen chemischen Monitoring können durch retrospektive Analysen Stoffe erfasst werden, die zum Zeitpunkt der Probenahme noch nicht als gefährlich angesehen wurden, nicht prioritär untersucht werden sollten oder für die bei der Archivierung noch keine oder zumindest keine ausreichend empfindlichen Analysemethoden verfügbar waren. Dieses Vorgehen erlaubt die Erfassung von Zeittrends und gibt Auskunft, ob umweltpolitische Maßnahmen erfolgreich waren. Die Daten können auch auf einen (behördlichen) Handlungsbedarf hinweisen, um die Belastung des Menschen mit Umweltschadstoffen zu senken.

Die eingelagerten Probenarten können insbesondere für die folgenden Aufgaben genutzt werden (UPB 1996, Umweltbundesamt 2014):

- Laufende Überwachung der Konzentration bereits als toxikologisch problematisch bekannter Schadstoffe durch systematische Charakterisierung der gewonnenen Proben kurz nach der Probenahme (Real-Time-Monitoring).
- Authentisches Material aus der Vergangenheit ermöglicht die Aufstellung von Trendanalysen für Schadstoffe oder Schadstoffklassen und Trendaussagen über die lokale, regionale und nationale Entwicklung der Schadstoffbelastung.
- Retrospektive Analyse von Stoffen, die zur Zeit der Einlagerung noch nicht als Schadstoffe erkannt waren oder nicht mit ausreichender Genauigkeit analysiert werden konnten.
- Erfolgskontrolle eingeleiteter Beschränkungs- oder Verbotsmaßnahmen im Umweltbereich (z. B. Benzin-Blei-Gesetz, Verbot von Organozinnverbindungen, Stockholm-Konvention, Minamata-Konvention, Zulassungsverfahren für bestimmte Phthalate unter REACH).

## 1.3 Operatives Design der Umweltprobenbank des Bundes

### 1.3.1 Auswahl der Probenahmegebiete

Eine Übersicht zu den Probenahmegebieten der Umweltprobenbank des Bundes gibt *Abbildung 1*.



**Abb. 1:** Probenahmegebiete der Umweltprobenbank des Bundes (Umweltbundesamt 2014)

### 1.3.1.1 Probenahmestandorte für die Humanproben

Der Mensch ist zwar Teil seiner Umwelt, steht jedoch aufgrund seiner Mobilität weitgehend außerhalb einer ökosystemaren Repräsentanz. Dies ist bedingt durch wechselnde Lebens-, Konsum- und Expositionsbedingungen im Wohn-, Freizeit- und Arbeitsbereich sowie unterschiedliche Nahrungsmittelmengen und Verzehrsgewohnheiten. Zur Beurteilung der inneren Belastung des Menschen ergänzt die Umweltprobenbank als Instrument der Zeittrend-Analyse die bevölkerungsrepräsentative Deutsche

Umweltstudie zur Gesundheit (GerES) (Kolossa-Gehring et al. 2012). Die Festlegung der Gesamtbevölkerung in Deutschland als Zielpopulation der UPB wäre aufgrund der erforderlichen Probenzahl auch nicht realisierbar. Durch die Kombination von UPB und GerES können beide sehr spezifisch auf die Erreichung der jeweiligen Ziele ausgerichtet werden. Allerdings wäre für Zeittrend-Analysen aufgrund der Größe der erforderlichen Stichprobe der zeitliche und finanzielle Aufwand für Logistik, Analytik und Lagerung der Proben auch nicht finanzierbar. Die Zielpopulation ist aus diesen Gründen auf eine homogenere, d. h. kleinere und leichter zu werbende

Subpopulation eingegrenzt worden, die zu überdurchschnittlicher Kooperation bereit ist und eine hohe Belastbarkeit aufweist, etwa was die Beantwortung umfangreicher Fragebögen angeht. Einschränkung bzw. Homogenität der Zielpopulation bedeutet, dass auf eine Bevölkerungs-Repräsentativität hinsichtlich systematischer Störgrößen verzichtet wird, aber trotzdem generalisierende Aussagen zur zeitlichen Entwicklung der Schadstoffbelastung in Deutschland möglich sind. Durch die Beschränkung auf offensichtlich gesunde Studierende im Alter zwischen 20 und 29 Jahren werden Personengruppen mit hoher Wahrscheinlichkeit für nicht expositionsbedingte Risikofaktoren oder mit speziellen Expositionen weitgehend ausgeschlossen (Kemper 1993). Auf diese Weise wird erreicht, dass z. B. krankheits-, alters- und vor allem berufsbedingte Einflüsse auf die innere Stoffbelastung in der Zielpopulation insgesamt eine untergeordnete Rolle spielen und diese bei der statistischen Auswertung nicht als Confounder berücksichtigt werden müssen. Die Beschränkung auf den o. g. Personenkreis bedeutet, dass das Real-Time-Monitoring am wahrscheinlichsten die untere Grenze der allgemeinen Belastung der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland erfasst und ein entsprechendes „best-case“-Szenario der Prävalenz darstellt. Die hiermit erfasste Belastung kann im Regelfall als Mindestbelastung verstanden werden und die Belastung in der Gesamtbevölkerung höher angesetzt werden. Die Rekrutierung und Probenahme wird im Routinebetrieb als jährlich wiederholte Querschnittsstudie an den folgenden vier festen Erhebungsstandorten durchgeführt:

- Münster (Westf.) seit 1981
- Halle an der Saale (Halle/Saale) seit 1995
- Greifswald seit 1995
- Ulm seit 1997

Bei jedem Probenahmetermin werden alle Proben gesammelt und sämtliche Daten erhoben, wobei die Teilnehmenden von Jahr zu Jahr unterschiedliche sind. Die Lage der vier Probenahmestandorte im Norden, Osten, Süden und Westen Deutschlands sowie die Größe der Einzugsgebiete der einzelnen Universitäten erlauben in Verbindung mit der vergleichsweise hohen Mobilität der studentischen Zielpopulation auch die Erfassung überregionaler Tendenzen der Exposition. Die Universitätsstandorte Halle/Saale und Greifswald wurden nach der deutschen Wiedervereinigung einbezogen, um die in Ost und West unterschiedlichen Belastungssituationen und ihre zeitliche Entwicklung systematisch untersuchen zu können.

### 1.3.1.2 Probenahmegebiete für die Umweltproben

Die Probenahmegebiete wurden für die Probenahme von Umweltproben so ausgewählt, dass sie als Gebietsnetz in ihrer Gesamtheit für die Umweltsituation in der Bundesrepublik Deutschland übergreifende Aussagen zur Belastungssituation erlauben (Lewis et al. 1989, Paulus et al. 1990). Hierbei wurde angestrebt, alle Ökosystemtypen im Minimum paarweise zu vertreten, um systemspezifische von regionalspezifischen Phänomenen unterscheiden zu können.

Gegenüber einem mehr oder weniger flächendeckenden Ansatz, bei dem von zahlreichen Probenahmestellen wenige, weit verbreitete Arten beprobt werden, bietet die Einrichtung derartiger Schwerpunkträume den Vorteil, in ein und demselben Gebiet mehrere unterschiedliche Akkumulationsindikatoren gemeinsam nutzen zu können. Dadurch können sowohl breitere Schadstoffspektren erfasst als auch beispielsweise Nahrungsketteneffekte und Stofftransfers berücksichtigt werden. Zudem besteht die Möglichkeit zur ausreichenden Erfassung von Informationen, die zur Interpretation rückstandsanalytisch gewonnener Daten zwingend erforderlich sind.

Innerhalb der Probenahmegebiete wurden auf der Basis von Wassereinzugsgebieten Teilökosysteme als Gebietsausschnitte abgegrenzt, in denen die Probenahmen an den einzelnen Probenarten als geschichtete, flächenrepräsentative Zufallsstichproben (*stratified random sampling*) durchgeführt werden.

### 1.3.2 Auswahl der Probenarten

Die gegenwärtig gesammelten Probenarten sind in *Tabelle 2* zusammengestellt.

#### 1.3.2.1 Humanproben

Die Probenarten für den Humanbereich wurden anhand des aktuellen toxikologischen und umweltmedizinischen Wissensstands nach dem Gesichtspunkt ausgewählt, die körperliche Belastung des Menschen im Human-Biomonitoring (HBM) beurteilen zu können. Bis zum Jahr 2004 wurden von allen Teilnehmenden 24-h-Sammelurin, Blut (Vollblut, Blutplasma), Kopf- und Schamhaare sowie Speichel gesammelt, wobei von jeder Matrix Material sowohl für die unmittelbar anschließende sequenzielle Erst-

Tab. 2: Die Probenarten und -matrizes der Umweltprobenbank des Bundes

| UMWELTPROBEN          |   |  |
|-----------------------|---|--|
| Probenart             | lateinischer Name   | Spezifikation                              |
| <b>Marin</b>          |   |  |
| Blasentang (bis 2012) | <i>Fucus vesiculosus</i>  | Thallus                                    |
| Miesmuschel           | <i>Mytilus spp.</i>   | Weichkörper                                |
| Silbermöwe            | <i>Larus argentatus</i>   | Ei-Inhalt                                  |
| Aalmutter             | <i>Zoarces viviparus</i>  | Muskulatur, Leber                          |
| <b>Limnisch</b>       |   |  |
| Dreikantmuschel       | <i>Dreissena polymorpha</i>   | Weichkörper                                |
| Brassen               | <i>Abramis brama</i>  | Muskulatur, Leber, Blutplasma              |
| Schwebstoffe          | –   | gefriergetrocknet und auf < 2 mm gesiebt   |
| <b>Terrestrisch</b>   |   |  |
| Fichte                | <i>Picea abies</i>  | einjährige Triebe                          |
| Kiefer                | <i>Pinus sylvestris</i>   | einjährige Triebe                          |
| Rotbuche              | <i>Fagus sylvatica</i>  | Blätter                                    |
| Pyramidenpappel       | <i>Populus nigra 'Italica'</i>  | Blätter                                    |
| Reh                   | <i>Capreolus capreolus</i>  | Leber                                      |
| Stadttaube (bis 2012) | <i>Columba livia f. domestica</i>   | Ei-Inhalt                                  |
| Regenwurm             | <i>Lumbricus terrestris/Aporrectodea longa</i>  | entkoteter Gesamtkörper                    |
| Boden                 | –   | verschiedene Horizonte, auf < 2 mm gesiebt |
| <b>HUMANPROBEN</b>    |   |  |
| Probenart             | Probenbeschreibung  |  |
| Vollblut              | wird durch Punktion der Vene gewonnen und enthält alle physiologisch vorkommenden Blutbestandteile  |  |
| Blutplasma            | wird durch Zentrifugation aus der Vollblutprobe gewonnen und enthält keine Blutzellen mehr  |  |
| 24-h-Sammelurin       | 24-h-Sammelurin wird von den Teilnehmenden selbst gesammelt. Hierzu erhalten diese einige Tage vor dem Probenahmetermin einen 3-L-Behälter sowie eine Anleitung zur korrekten Sammlung. Die Beprobung beginnen sie selbstständig, 24 h bevor sie ihren Untersuchungstermin haben. |  |

analyse (Real-Time-Monitoring) als auch für die Einlagerung entnommen wurden. Aktuell liegt der Fokus des HBM auf Vollblut-, Blutplasma- und Urinuntersuchungen, weil diese Matrizes die reproduzierbarsten und am besten toxikologisch interpretierbaren Belastungsdaten liefern. Die Beprobung von Speichel und Schamhaaren wurde in 2004, die Beprobung von Kopfhaaren 2005 eingestellt.

### 1.3.2.2 Umweltproben

Die Probenarten für den Umweltbereich wurden so ausgewählt, dass sie möglichst umfassende Informationen über die Gesamtsituation in den unterschiedlichen Ökosystemtypen Deutschlands liefern. Die Auswahl beruht im Wesentlichen auf zwei Grundforderungen (Klein et al. 1994), der ökologischen und der biogeographischen Repräsentativität.

**Ökologische Repräsentativität** bedeutet, dass die verschiedenen trophischen Niveaus und Funktionen in einem Ökosystem durch geeignete Probenarten vertreten sind.

**Biogeographische Repräsentativität** wird dadurch erreicht, dass die für die gesamte Fläche Deutschlands typischen, heute vorkommenden Floren- und Faunenelemente durch geeignete Probenarten repräsentiert werden.

Auch wenn beide Kriterien für das Konzept zentral sind, mussten sie durch eine Reihe weiterer Anforderungen ergänzt und relativiert werden. Hierzu zählen

- weite Verbreitung,
- ausreichende Verfügbarkeit,
- große ökologische Valenz,
- Indikatorfunktion für ökosystemtypische Prozesse,
- signifikante Akkumulation von Umweltkontaminanten,
- ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen Schadstoffe,
- zuverlässige und sichere Identifizierung,
- hoher Informationsstand über ihre Eigenschaften,
- Raum- oder Habitatreue.

Wichtig ist, dass sich die ausgewählten Probenarten aufgrund ihrer Unterschiede bezüglich ihrer Exposition, ihrer Systemfunktionalität und ihres Akkumulationsverhalten in ihrem Informationsgehalt gegenseitig ergänzen. Aus diesem Grund wurden in allen Probenahmegebieten mehrere Probenarten unterschiedlicher trophischer Niveaus als Probenartensets zusammengefasst. Es war aus ökologischen, biogeographischen oder praktischen Gründen nicht immer möglich, in allen Ökosystemtypen genau identische Sets aufzustellen. Deshalb wurden zusätzlich ökosystemtypische Arten (z. B. Regenwürmer in Agrar- und ballungsraumnahen Ökosystemen) und Arten mit komplementärem Informationsgehalt integriert (z. B. Fichte/Kiefer, Pappel/Buche, Dreikantmuschel/Miesmuschel).

### 1.3.3 Ethische Aspekte der Umweltprobenbank des Bundes

Für die Sammlung und Untersuchungen von Humanproben liegt ein positives Votum der Ethikkommission der Ärztekammer Westfalen-Lippe und der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wil-

helms-Universität Münster vor. Seit 2012 liegt zudem ein positives Votum der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes vor.

### 1.3.4 Kontinuität und Qualitätssicherung der Umweltprobenbank des Bundes

Die Aufgabenstellung der UPB im Hinblick auf großräumige Gebietsvergleiche, Überwachung einer breiten Stoffpalette, jahrzehntelange veränderungsfreie Probenlagerung und langfristige Trendaussagen erfordert umfassend wirksame Qualitätssicherungssysteme. Denn für Belastungsdaten, die für lange Zeiträume verglichen werden sollen, sind nicht allein die veränderungsfreie Probenlagerung, sondern auch genaue Vorgaben für die Probenahme und die darauf folgenden Arbeitsschritte erforderlich. Aus diesem Grund wurden Standardarbeitsanweisungen (*standard operating procedures*; SOPs) und gebietspezifische Probenahmepläne entwickelt, die von der Probenahme über die Probenbearbeitung, den Transport und die Langzeitlagerung bis hin zur chemischen Charakterisierung der Umwelt- und Humanproben das höchst mögliche Maß an Standardisierung gewährleisten.

Die Maxime der Umweltprobenbank ist es, dass die Ergebnisse der Probenahme bzw. Probencharakterisierung in ihrer Aussagefähigkeit unverändert erhalten bleiben und nicht systematisch verändert werden.

## 2 Durchführung des Jahresprogramms der UPB

### 2.1 Humanproben

Die Routineprobenahme erfolgt einmal jährlich bei gesunden Studierenden im Alter von 20 bis 29 Jahren. Insgesamt werden ca. 500 Studentinnen und Studenten pro Jahr, d. h. ungefähr 125 Studierende an jedem Probenahmestandort (Greifswald, Halle/Saale, Münster, Ulm) befragt und beprobt. Die Analyseergebnisse sowie die im Rahmen der Probenahmen erhobenen Daten werden in die projektspezifische Datenbank der UPB eingelesen und sind über das Internet recherchierbar (s. *Abschn. 7*).

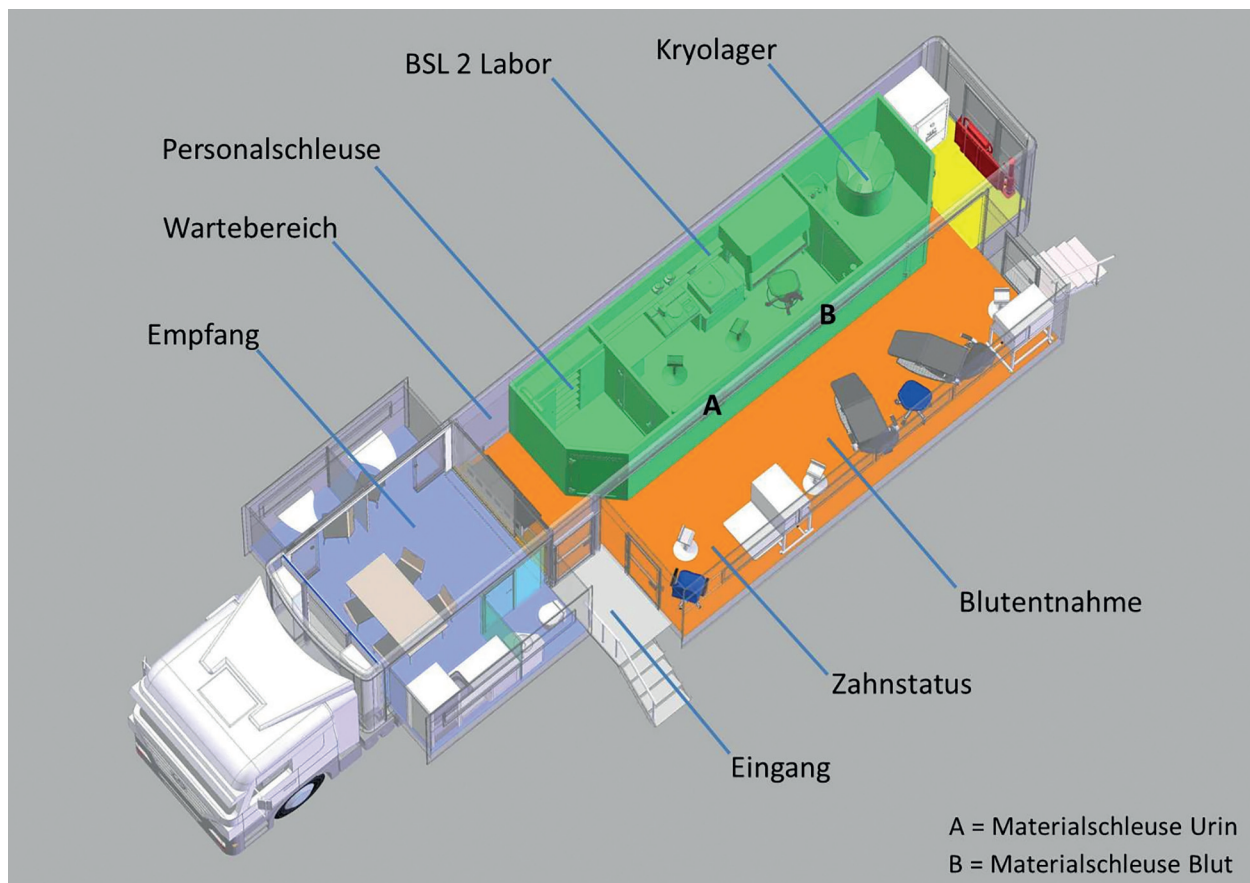


Abb. 2: Aufbau des mobilen epidemiologischen Labors (epiLab) (Quelle: Fraunhofer IBMT)

### 2.1.1 Probenahme

Zur standardisierten Gewinnung von Humanproben erfolgt die Probenahme nach den auf Basis der Konzeption der Umweltprobenbank des Bundes entwickelten aktuellen Richtlinien (Lermen et al. 2015a, Lermen et al. 2015b, Lermen et al. 2015c). Seit 2013 wird die Probenahme an den vier Standorten mit einem vom Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IBMT) entwickelten und bereitgestellten mobilen epidemiologischen Labor (epiLab) durchgeführt (Lermen et al. 2014). Abb. 2 zeigt den Aufbau des epiLabs. Im vorderen Teil befindet sich ein Empfangsbereich mit zwei abgetrennten Kabinen. Hier erfolgt die Anmeldung der Teilnehmenden und die Kontrolle der Daten des Online-Fragebogens auf Plausibilität und Vollständigkeit. Jedem Teilnehmenden wird eine eindeutige Probanden-Identifikationsnummer (Probanden-ID) zugewiesen, die zur Identifikation der Proben sowie zur Zusammenführung der Daten des Online-Anamnesebogens und der Analyseergebnisse benötigt wird.

Der Wartebereich befindet sich gegenüber des Eingangs.

Da Humanproben, die nicht weitergehend untersucht wurden, als potenziell infektiös einzustufen sind, wurden entsprechend dem Infektionsschutzgesetz, der Biostoffverordnung und dem Arbeitsschutz Hygiene- und Schutzmaßnahmen umgesetzt, die bei der Gewinnung und Verarbeitung der Proben berücksichtigt werden. Jeder Teilnehmende überführt seinen 24-h-Sammelurin selbstständig über eine Materialschleuse (s. Abb. 2, A) in den Laborbereich.

Im Untersuchungsbereich des epiLabs wird neben der Blutabnahme und der Messung von Körpergröße und -gewicht auch der Zahnstatus zur Dokumentation einer möglichen Expositionsquelle erfasst, etwa dem Beitrag von Füllmaterialien zur inneren Belastung mit Quecksilber oder Kunststoffkomponenten.

Die Blutabnahme erfolgt unter ärztlicher Aufsicht. Das entnommene Blut wird in einer Laminar-Flow-