

Bundesgesundheitsbl 2018 · 61:697–709  
<https://doi.org/10.1007/s00103-018-2740-0>  
 Online publiziert: 9. Mai 2018  
 © Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil  
 von Springer Nature 2018



Alexandra Schneider<sup>1</sup> · Regina Rückerl<sup>1</sup> · Marie Standl<sup>1</sup> · Iana Markevych<sup>1,2</sup> ·  
 Barbara Hoffmann<sup>3</sup> · Susanne Moebus<sup>4</sup> · Karl-Heinz Jöckel<sup>4</sup> · Alisa Weber<sup>5</sup> ·  
 Caroline Herr<sup>2,5</sup> · Annette Heißenhuber<sup>5</sup> · Uta Nennstiel-Ratzel<sup>5</sup> ·  
 Stefanie Heinze<sup>2,5</sup> · Christine Schulz<sup>6</sup> · Marike Kolossa-Gehring<sup>6</sup> ·  
 Hildegard Niemann<sup>7</sup> · Antje Gößwald<sup>7</sup> · Tamara Schikowski<sup>8</sup> · Anke Hüls<sup>8</sup> ·  
 Dorothee Sugiri<sup>8</sup> · Annette Peters<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Epidemiologie, Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Deutschland

<sup>2</sup> Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Deutschland

<sup>3</sup> Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Medizinische Fakultät, Universitätsklinikum Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland

<sup>4</sup> Zentrum für Urbane Epidemiologie, Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Uniklinikum Essen, Universität Duisburg-Essen, Essen, Deutschland

<sup>5</sup> Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, München und Oberschleißheim, München, Deutschland

<sup>6</sup> Umweltbundesamt, Berlin, Deutschland

<sup>7</sup> Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring, Robert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

<sup>8</sup> IUF – Leibniz Institut für Umweltmedizinische Forschung, Düsseldorf, Deutschland

## Epidemiologische Studien mit Umweltbezug in Deutschland

### Einleitung

Unsere Umwelt hat einen starken Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen, bereits vor der Geburt bis ins hohe Alter. Die „Global Burden of Disease Studie“ [1] zeigt, dass beispielsweise Luftschadstoffe, zusammen mit körperlicher Inaktivität, Rauchen und ungesunder Ernährung weltweit zu den Hauptrisikofaktoren für nichtübertragbare Krankheiten gehören. Auch wird durch den Klimawandel die Anzahl der Tage mit extremen Wettersituationen, wie besonders heiße Tage, zunehmen. Umso wichtiger ist es, den Einfluss der Umweltfaktoren sowie ihre synergistischen Effekte in verschiedenen Bevölkerungsgruppen zu untersuchen und Gesundheitseffekte abzuschätzen (Abb. 1).

In Deutschland gibt es eine Reihe von epidemiologischen Studien und Gesundheitsmonitoringsysteme, die auch Umweltaspekte untersuchen. Diese sind teilweise aufgrund ihrer Entwicklung heterogen, untersuchen aber alle Gesundheits- und Umweltaspekte oft mit unterschiedlichen Methoden und Schwer-

punkten. Viele dieser Studien sind, trotz ihrer Größe, nicht allen bekannt oder aber es ist nicht bekannt, dass auch verschiedene Umweltaspekte untersucht werden.

Der folgende Artikel gibt einen Überblick über die wichtigsten epidemiologischen Studien in Deutschland und hebt dabei besonders die untersuchten Umweltfaktoren hervor.

### GINIplus und LISA

#### Studienbeschreibung und Hintergrund

GINIplus und LISA sind zwei populationsbasierte, prospektive Geburtskohortenstudien mit dem Ziel, den natürlichen Verlauf chronischer, insbesondere allergischer Erkrankungen im Kindesalter zu beschreiben und im Zusammenhang mit prospektiv erhobenen Umwelt- und Lebensstilfaktoren zu analysieren [2]. Die GINIplus-Studie („German Infant Nutritional Intervention plus environmental and genetic influences on allergy development“) besteht aus einem

Interventionsarm bei Kindern mit familiär bedingtem erhöhten Allergierisiko ( $N = 2252$ ) und einem Beobachtungsarm bei Kindern mit und ohne Allergierisiko ( $N = 3739$ ). Insgesamt wurden 5991 reife, gesunde Neugeborene eingeschlossen, die zwischen 1995 und 1998 in München und Wesel geboren wurden. Für die LISA-Studie („Influence of Life-style Factors on Development of the Immune System and Allergies in East and West Germany“) wurden 3097 reife, gesunde Neugeborene zwischen 1997 und 1999 in München, Wesel, Bad Honnef und Leipzig rekrutiert. Die Studienteilnehmer wurden im Zeitraum zwischen ihrer Geburt und dem Lebensalter von 15 Jahren regelmäßig untersucht. Im Alter von 15 Jahren haben 3198 Teilnehmende der GINIplus-Studie und 1740 Teilnehmende der LISA-Studie an der Untersuchung teilgenommen. Derzeit wird eine Befragung im Alter von 20 Jahren durchgeführt.



Abb. 1 ▲ Umweltfaktoren, die Einfluss auf die Gesundheit haben können. (Adaptiert aus [60])

### Untersuchte Parameter

Das Untersuchungsspektrum umfasst Fragebogenerhebungen, körperliche, Blut- und Funktionsuntersuchungen sowie Innenraummessungen und Erhebungen zu Umwelt- und Schadstoffexpositionen (Tab. 1; [2]). Viele der untersuchten Parameter konzentrieren sich auf das Zeitfenster zwischen Geburt und früher Kindheit, das als kritische Phase für die Entwicklung des Immunsystems angesehen wird. Ziel war es, Langzeiteffekte dieser frühen Expositionen auf die Krankheitsentstehung zu untersuchen.

Die perinatale Passivrauchexposition sowie das Vorhandensein von Schimmel und Feuchtigkeit in der Wohnung wurden in jeder Untersuchungswelle fragebogenbasiert erhoben. Im Alter von drei Monaten wurden in der LISA-Studie Staubproben von Matratzen und Fußböden genommen und das Hausstaubmikrobiom analysiert. Dabei war eine höhere Vielfalt an Pilzen, aber nicht Bakterien, protektiv für eine Sensibilisierung gegen Inhalationsallergene, wobei der Effekt mit dem Alter abnahm [3].

Die im Rahmen der TRAPCA-Studie (Traffic-Related Air Pollution on Childhood Asthma, 1998–2010) und der „Eu-

ropean Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)“ (2009–2012, in Wesel und München) anhand der Wohnadresse modellierte verkehrsbedingte Luftverschmutzung konnte unter anderem mit dem Auftreten von Insulinresistenz im Jugendalter in Verbindung gebracht werden [4]. Für die Stadt München ließ sich zusätzlich die Straßenlärmbelastung als gewichteter Mittelwert für den ganzen Tag (24 h, LDEN) oder nur für die Nachtstunden (LNight) analysieren.

Die Nähe zu bzw. der Aufenthalt in Grünflächen (wie Wäldern, Parks) wirkt sich durch die Reduktion von Luftverschmutzung und Lärm sowie den Abbau von Stress günstig auf die Gesundheit aus [5]. Grünflächen dienen als soziale Treffpunkte und ermöglichen die Steigerung der körperlichen Aktivität. Neuere, satellitenbasierte Ansätze bieten verschiedene Methoden, um die Wohnumgebung zu erfassen und zu charakterisieren. So lassen sich die Vegetationsintensität („Normalized Difference Vegetation Index“, NDVI) und Baumdichte satellitengestützt ermitteln. Der Vegetationsindex berücksichtigt sämtliche Vegetation und die Berechnung basiert auf den Oberflächenreflexionsmessungen in zwei vegetationsinformativen Wellenlängen – sichtbares Rot

und nahes Infrarot. Für viele Gebiete sind auch Flächennutzungspläne verfügbar, woraus sich u. a. Informationen zu Grünflächen ableiten lassen. Die Vegetationsintensität und Grünflächen in der Wohnumgebung ließen sich mit verschiedenen Gesundheitsparametern in Verbindung bringen [5], wie einem höheren Geburtsgewicht, niedrigerem Blutdruck oder einem selteneren Auftreten von Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern. Für allergische Erkrankungen waren die Ergebnisse allerdings gemischt und stark ortsabhängig.

### Gesundheits-Monitoring-Einheiten (GME) in Bayern

#### Studienbeschreibung und Hintergrund

Die Gesundheits-Monitoring-Einheiten (GME) stellen ein Instrument zur querschnittlichen Erhebung zu Fragen der Gesundheit von Einschulungskindern sowie von Umweltfaktoren und damit assoziierten gesundheitlichen Auswirkungen dar. Im Jahr 2004 wurden die GME auf Initiative des damaligen Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit an fünf Gesundheitsbehörden in Bayern etabliert. Sie werden koordiniert durch die Sachgebiete „Umwelt- und Arbeitsmedizin/-Epidemiologie“ und „Gesundheitsberichtserstattung, Epidemiologie, Sozialmedizin“ des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL).

In Kooperation zwischen den lokalen Gesundheitsbehörden, dem LGL sowie externen Partnern aus dem universitären Bereich sollen

- aktuelle und relevante Gesundheitsdaten im Sinne einer Surveillance im Bereich Umwelt und Gesundheit systematisch und standardisiert erhoben werden und
- Interventions- und Präventionsstrategien erprobt, evaluiert und weiterentwickelt werden.

In den GME werden in den folgenden Untersuchungsregionen in Bayern, im Rahmen der Schuleingangsuntersuchung, Daten erhoben: Bamberg, Günzburg, Schwandorf, Ingolstadt und München.

Bundesgesundheitsbl 2018 · 61:697–709 <https://doi.org/10.1007/s00103-018-2740-0>  
 © Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018

A. Schneider · R. Rückerl · M. Standl · I. Markevych · B. Hoffmann · S. Moebus · K.-H. Jöckel · A. Weber · C. Herr · A. Heißenhuber · U. Nennstiel-Ratzel · S. Heinze · C. Schulz · M. Kolossa-Gehring · H. Niemann · A. Gößwald · T. Schikowski · A. Hüls · D. Sugiri · A. Peters

## Epidemiologische Studien mit Umweltbezug in Deutschland

### Zusammenfassung

Unsere Umwelt beeinflusst Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen, von der Geburt bis ins hohe Alter. In diesem Überblick werden die wichtigsten epidemiologischen Studien und Gesundheitsmonitoringsysteme in Deutschland erläutert, die unter anderem auch Umwelteinflüsse in verschiedenen Bevölkerungsgruppen untersuchen und Gesundheitseffekte abschätzen. Die darin jeweils untersuchten Umweltfaktoren werden beschrieben. Diese Studien an Kindern und Erwachsenen schaffen eine Basis für Vorhersagen und präventive Maßnahmen. Die hohe Anzahl der erfassten umweltbezogenen Faktoren und die Intensität ihrer Untersuchung unterscheiden sich in den Studien, ebenso wie die (phänotypische) Charakterisierung der Studienteilnehmenden. Dennoch bilden

die gewonnenen Daten eine Grundlage für die zukünftige Forschungsarbeit. Hierzu ist allerdings eine flächendeckende dauerhafte Erfassung der Daten zu den verschiedenen Umweltfaktoren notwendig. Da der Anteil der in städtischen Gebieten lebenden Bevölkerung in Zukunft weiter steigen wird, werden Umweltfaktoren wie Luftverschmutzung, Lufttemperatur, Lärm, aber auch soziale Ungerechtigkeit zukünftig die Gesundheit und Lebensqualität der Bevölkerung maßgeblich beeinflussen. Die Herausforderung einer alternden Gesellschaft, aber auch die mögliche Adaptation der Bevölkerung an diverse Umweltstimuli machen einen multidisziplinären Ansatz erforderlich. Gerade aus umweltepidemiologischer Sicht sind hier die gesammelten Daten der in

diesem Artikel aufgezeigten Kohortenstudien in Deutschland ein wertvoller Schatz, denn nur damit können Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und Gesundheit erforscht und public-health-relevante präventive Maßnahmen identifiziert werden. Die NAKO-Gesundheitsstudie, die in den kommenden Jahrzehnten die größte verfügbare Ressource für Gesundheitsdaten sein wird, sollte in zukünftige Aktivitäten zur Erforschung von Umwelteinflüssen eingebunden werden.

### Schlüsselwörter

Umwelt · Kohorte · Gesundheitsmonitoring · Epidemiologie · Gesundheit

## Epidemiological studies with environmental relevance in Germany

### Abstract

Our environment is a major factor in determining health and well-being throughout life, from conception into old age. This overview illustrates the most important epidemiological studies and health monitoring systems in Germany, which investigate environmental influences in various population subgroups and estimate related health effects. Environmental factors examined in each study are described. The mentioned studies in children and adults build the basis for predictions and preventive measures. The number of the assessed environmental factors, the depth of the examinations as well as the (phenotypical) characterization of the study participants

differ. Still, the obtained data build a base for important future research. However, for this, a permanent and Germany-wide assessment of environmental factors is necessary. The proportion of the European population living in urban areas is projected to increase in the future. Therefore, environmental factors such as air pollution, air temperature, and noise, but also social inequality, are likely to have a negative effect on health and quality of life of the population. The challenge of the aging population as well as potential adaptation processes to the diverse environmental stimuli requires multidisciplinary approaches. From an environmental epidemiology view,

the collected data from the described studies are of immense value because only with this data can associations between environment and health be investigated and public health-relevant preventive measures be identified. The NAKO health study will be the largest resource of health data and should therefore be included in future activities related to the investigation of environmental health effects in Germany.

### Keywords

Environment · Cohorts · Health monitoring · Epidemiology · Health

Die Teilnahme an der Schuleingangsuntersuchung ist obligatorisch, wohingegen an der Erhebung in den GME freiwillig teilgenommen werden kann. Die Studienpopulation besteht demzufolge aus Eltern von Einschulungskindern (im Alter von ca. 6 Jahren). Falls die Eltern der Teilnahme an den GME zustimmen, füllen sie einen Fragebogen zur Gesundheit sowie zur Lebensumwelt ihrer Kinder aus.

Bisher wurden acht Querschnittsstudien in den Jahren von 2004 bis 2017

und eine Kohortenstudie (2009/2010) abgeschlossen. Der 9. GME-Survey (2018/2019) wird derzeit vorbereitet. Die Teilnahmeraten liegen zwischen 78,1 % in 2004/2005 und 56,8 % in 2014/2015. Die Teilnahmerate für den Survey 2016/2017 war zum Zeitpunkt der Einreichung des Artikels noch nicht verfügbar.

### Untersuchte Parameter

Inhaltlicher Schwerpunkt der GME ist die Gesundheit von Kindern, insbesondere

im Hinblick auf die Exposition gegenüber verschiedenen Umweltfaktoren.

Für die in den GME eingesetzten Fragebögen werden validierte Module aus epidemiologischen Studien verwendet, wie etwa dem Kinder- und Jugendgesundheitsurvey KiGGS (weitere Informationen siehe Abschnitt „Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut“; [6]). Weitere Beispiele für verwendete Module sind Fragen zu Asthma und Allergien [7], zur psychischen Gesundheit [8], zur gesundheitsbezogenen

**Tab. 1** Ausgewählte Umweltexpositionen in den Studien GINIplus und LISA (adaptiert von Heinrich et al. [2])

|  | Alter in Jahren |   |     |     |   |     |     |     | Methode  | Beispiel-publikation |
|--|-----------------|---|-----|-----|---|-----|-----|-----|--|----------------------|
|  | 0               | 1 | 2   | (3) | 4 | 6   | 10  | 15  |  |                      |
| <i>Innenraum</i>                                   |                 |   |     |     |   |     |     |     |  |                      |
| Passivrauchen                                      | X               | X | X   | X   | X | X   | X   | X   | Fragebogen   | –                    |
| Schimmel und Feuchte                               | X               | X | X   | X   | X | X   | X   | X   | Fragebogen   | –                    |
| Partikel   | –               | – | –   | (X) | – | –   | –   | –   | Messungen in der Wohnung   | [53]                 |
| Flüchtige organische Verbindungen (VOC)            | (X)             | – | (X) | (X) | – | –   | –   | –   | Messungen in der Wohnung   | –                    |
| Hausstaubinhaltsstoffe                             | (X)             | – | (X) | –   | – | –   | –   | (X) | Staubproben von Fußböden in Wohn- und Schlafzimmer und der Matratze von Kind und Mutter  | –                    |
| Allergene  | (X)             | – | –   | –   | – | –   | –   | –   | Bestimmung von Katzen- und Hausstaubmilbenallergenen   | –                    |
| Endotoxin, Beta-Glucane                            | (X)             | – | –   | –   | – | –   | (X) | –   | Bestimmung von Endotoxin, (1,3)-β-D-Glucan und EPS   | [54]                 |
| Mikrobiom  | (X)             | – | –   | –   | – | –   | –   | –   | Mikrobiom (Vielfalt und Diversität) in Hausstaubproben vom Wohnzimmerfußboden  | [3]                  |
| <i>Verkehrsbedingte Luftverschmutzung und Lärm</i> |                 |   |     |     |   |     |     |     |  |                      |
| Luftschadstoffe                                    | (X)             | – | (X) | –   | – | (X) | (X) | (X) | Land Use Regression (LUR) in TRAPCA und ESCAPE, Ozon in APMoSPHERE   | [4]                  |
| Lärm   | (X)             | – | (X) | –   | – | (X) | (X) | (X) | Lärmindizes für München ( <a href="http://maps.muenchen.de/rgu/laermminderungsplan">http://maps.muenchen.de/rgu/laermminderungsplan</a> )  | [61]                 |
| Pollen   | –               | – | –   | –   | – | (X) | –   | –   | Pollenanalyse  | [62]                 |
| <i>Wohnumfeld</i>                                  |                 |   |     |     |   |     |     |     |  |                      |
| Vegetationsintensität                              | (X)             | – | (X) | –   | – | (X) | (X) | X   | NDVI ( <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> )<br>Baumdichte ( <a href="http://glcfapp.glc.fumd.edu/data/landsatTreecover/">http://glcfapp.glc.fumd.edu/data/landsatTreecover/</a> ) | [4]                  |
| Grünflächen  | (X)             | – | (X) | –   | – | (X) | (X) | (X) | Grünflächen aus dem ATKIS-Datensatz (Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern, <a href="http://www.ldbv.bayern.de">www.ldbv.bayern.de</a> )   | [63]                 |

X Erhebungszeitpunkt, (X) Erhebung in Subpopulation

Lebensqualität [9], zu Meilensteinen der kindlichen Entwicklung [10] und zum Hörvermögen [11, 12]. Die Impfeinstellung wurde entsprechend einer Befragung durch die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung abgefragt [13].

Daten aus den ersten beiden GME-Surveys 2004/2005 und 2005/2006 zu Ernährung, körperlicher Aktivität und Übergewicht bei Kindern wurden zur Evaluation der Pilotphase des Interventionsprojekts „TigerKids“ 2004–2006 genutzt. TigerKids ist ein Programm zur Vorbeugung von Übergewicht im Setting Kindergarten.

Die Themenschwerpunkte aller GME-Surveys sind in **Tab. 2** dargestellt. Mit geeigneten statistischen Modellen werden zeitliche Trends sowie Assoziationen berechnet.

Im Rahmen der GME sind bereits über 40 wissenschaftliche Bei-

träge in Form von Kongressbeiträgen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen erschienen. Diese können unter [https://www.lgl.bayern.de/gesundheitsarbeitsplatz\\_umwelt/projekte\\_a\\_z/gme\\_gesundheits\\_monitoring\\_einheiten.htm](https://www.lgl.bayern.de/gesundheitsarbeitsplatz_umwelt/projekte_a_z/gme_gesundheits_monitoring_einheiten.htm) nachgelesen werden.

### Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut

Zentraler Bestandteil des Gesundheitsmonitorings am RKI sind drei Gesundheitsstudien, die in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt werden: DEGS (Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland), KiGGS (Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland) und GEDA (Gesundheit in Deutschland aktuell, einem zeitnah und flexibel die Untersuchungssurveys begleitenden Befragungssurvey, der hier nicht weiter beschrieben wird). Ziel

der Monitoringstudien ist es, wiederholt public-health-relevante Indikatoren zu erheben, Prävalenzen zu berichten, zeitliche Trends darzustellen und Zusammenhänge zwischen Gesundheitsdeterminanten und Gesundheitszustand zu analysieren.

Zielpopulation der Monitoringstudien ist die in Deutschland lebende Bevölkerung. Alle Monitoringstudien beruhen auf einem zweistufigen Stichprobendesign, das die Erhebung von bundesweit repräsentativen Daten ermöglicht. Es wird zunächst eine zufällige Auswahl einer definierten Anzahl von Studienorten getroffen, um die Siedlungsstruktur der Bundesrepublik Deutschland nach Bundesland und Gemeindetypen abzubilden (Sample Points). Im zweiten Schritt werden zufällig Zielpersonen aus den Melderegistern der jeweiligen Sample Points gezogen. Es werden insbesondere in den Untersuchungssurveys DEGS

**Tab. 2** Themenschwerpunkte der GME-Surveys

| Survey                                | Themenschwerpunkte   |
|---------------------------------------|--|
| 1. Survey 2004/2005 N = 6350 (78,1 %) | Ernährung, Bewegung und Adipositas<br>Medienkonsum<br>Unfallbedingte Verletzungen<br>Passivrauchen<br>Asthma und Allergien<br>Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Impfstatus                      |
| 2. Survey 2005/2006 N = 6206 (72,5 %) | Ernährung, Bewegung und Adipositas<br>Medienkonsum<br>Unfallbedingte Verletzungen<br>Passivrauchen<br>Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Lärmbelastung, Lärmbelästigung<br>Psychische Gesundheit |
| 3. Survey 2006/2007 N = 6483 (75,4 %) | Ernährung<br>Asthma und Allergien<br>Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Lärmbelastung, Lärmbelästigung<br>Schlafgewohnheiten<br>Meilensteine der Entwicklung<br>Augenärztliche Versorgung        |
| 4. Survey 2008/2009 N = 5336 (60,5 %) | Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Passivrauchen<br>Zahngesundheit   |
| 5. Survey 2010/2011 N = 4579 (61,1 %) | Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Psychische Gesundheit<br>Gesundheitsbezogene Lebensqualität<br>UV-Strahlung und Sonnenschutz  |
| 6. Survey 2012/2013 N = 5052 (61,7 %) | Passivrauchen<br>Asthma und Allergien<br>Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Hörvermögen<br>Sprache und Sprachentwicklung   |
| 7. Survey 2014/2015 N = 4742 (56,8 %) | Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Passivrauchen<br>Asthma und Allergien<br>Impfen<br>Mikrobielle Innenraumfaktoren  |
| 8. Survey 2016/2017                   | Wohnbedingungen, Wohnumfeld<br>Passivrauchen<br>Asthma und Allergien<br>Gesundheitliche Versorgung<br>Nutzung von Umwelteinformationsdiensten  |

und KiGGS mannigfaltige Maßnahmen ergriffen, um eine möglichst hohe Teilnahme an der Studie zu erreichen und möglichst geringe Verzerrungen der Stichprobenszusammensetzung im Vergleich zur Gesamtbevölkerung zu erzielen. Dazu zählen zielgruppenspezifische Informationsmaterialien, Einladungsschreiben und Fragebögen in verschiedenen Sprachen, schriftliche, telefonische und persönliche Werbung am Wohnort [14].

Das Studiendesign der Monitoringstudien ist modular aufgebaut, das heißt, dass zu ausgewählten Themen von Kooperationspartnern ergänzende Zusatzbefragungen und -untersuchungen durchgeführt werden (psychische Gesundheit, motorische Leistungsfähigkeit, Umweltbelastungen, Ernährung). Teilnehmende der RKI-Monitoringstudien werden für die Teilnahme an den Modulstudien motiviert und ein Teil der in den Monitoringstudien erhobenen Daten wird den jeweiligen Kooperationspartnern für ihre Auswertungen zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden die Gesundheitsstudien beschrieben, bei denen die vom RKI gewonnenen Teilnehmenden der Querschnittsstudien gebeten wurden, sich zusätzlich an dem Modul „Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit (GerES I bis V)“ des Umweltbundesamtes zu beteiligen [15].

### Studien zu Erwachsenen

Vorläufer der DEGS-Studie war unter dem Namen „Nationaler Untersuchungssurvey“ eine Studie, die bereits 1984–1986 (NUSt0, Studienbeginn) sowie 1990–1991 (NUSt2, Studienende) repräsentative Stichproben der bundesdeutschen Bevölkerung im Rahmen der Deutschen Herz-Kreislauf-Präventionsstudie (DHP) einer standardisierten Befragung und Untersuchung unterzogen. Mit weitgehend gleicher Methodik wurde auch in den neuen Bundesländern 1991–1992 ein Gesundheitssurvey (Survey Ost) durchgeführt (zeitgleich zum NUSt2). Der Bundes-Gesundheitssurvey 1998 (BGS98) wurde unter dem breiten Blickwinkel der Gesundheitsberichterstattung konzipiert und enthielt zunehmend international verwendete



und validierte Erhebungsinstrumente [16]. Mit dem Gesundheitssurvey Ost entstand eine Basis für ein gesamtdeutsches Gesundheitsmonitoring in Deutschland: der BGS98 und die Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS, 2008–2011). Derzeit in der Planungsphase befindet sich ein weiterer Survey zur Gesundheit von Erwachsenen; die Datenerhebungen sollen voraussichtlich Ende 2018 beginnen.

## Studien zu Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen

KiGGS wird im Rahmen des bundesweiten Gesundheitsmonitorings am Robert Koch-Institut durchgeführt. Die Studie beinhaltet wiederholt durchgeführte, für Deutschland repräsentative Querschnitterhebungen bei Kindern und Jugendlichen von 0–17 Jahren (KiGGS-Querschnitt, an dem das Umweltmodul angegliedert ist) und die Weiterbeobachtung der Teilnehmenden der KiGGS-Basiserhebung bis ins Erwachsenenalter (KiGGS-Kohorte). In der Basiserhebung (KiGGS Basis), die von 2003–2006 durchgeführt wurde, und in KiGGS Welle 2 (2014–2017) fanden neben Fragebogenerhebungen auch medizinische Untersuchungen statt, KiGGS Welle 1 (2009–2012) war ein Telefonsurvey [17].

## Untersuchte Parameter

Das RKI erhebt eigene Daten zu umweltrelevanten Fragestellungen und übernimmt darüber hinaus in Kooperation mit dem Umweltbundesamt (UBA) die Bearbeitung spezifischer umweltrelevanter Fragestellungen, die Gewinnung der Studienteilnehmer, die Erhebung eines Teils der Daten und die Durchführung von Blutentnahmen, deren Proben dem UBA zur Verfügung gestellt werden.

In den verschiedenen Studien werden public-health-relevante Indikatoren zur gesundheitlichen Situation von Erwachsenen in Deutschland erfasst. Hierzu gehören unter anderem Fragen zu den Themenbereichen: körperliche Krankheiten, psychische Erkrankungen, Inanspruchnahme von Leistungen des Gesundheitssystems, Lebensbedingungen, Impfungen, Ernährung, körperliche

Aktivität, Umweltsituation und Risikofaktoren. Zudem wird der soziale Status differenziert erfasst. Zusätzlich werden standardisiert medizinische Parameter ermittelt und eine Blutabnahme wird durchgeführt [18, 19].

Die Untersuchungsdaten von Kindern und Jugendlichen bestehen aus anthropometrischen Messungen, Blutdruck- und Pulsmessungen, Sehtests, Tests zur motorischen Fitness und körperlichen Leistungsfähigkeit, Schilddrüsenultraschall sowie optional aus der Untersuchung von Blut- und Urinproben. Die Eltern wurden darüber hinaus mit einem computergestützten persönlichen ärztlichen Interview zu ärztlich diagnostizierten Krankheiten, Operationen, Impfungen und Arzneimittelanwendungen ihrer Kinder befragt [6, 20, 21].

In allen Gesundheitssurveys des RKI wurden Fragen zu den Lebensbedingungen der Studienteilnehmenden gestellt: zur Straßenverkehrsbelastung der Straße, an der sie leben, zu feuchten oder schimmigen Wänden, zur Charakterisierung des Wohnumfeldes, zur Passivrauchbelastung, zur Ernährung sowie zu sozialen Parametern.

■ **Tab. 3 und 4** geben einen Überblick über die RKI-Surveys mit Kooperation zum Umweltmodul (GerES) des Umweltbundesamts.

Weitere Informationen zu den einzelnen Monitoringstudien, Modulstudien und den Ergebnissen sind den Internetseiten des RKI zu entnehmen:

[http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/Studien\\_node.html](http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/Studien_node.html).

## Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit

### Studienbeschreibung und Hintergrund

Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit (ehemals Umweltsurvey genannt) wird bereits seit Mitte der 1980er-Jahre durchgeführt und ist die in Deutschland am breitesten angelegte Querschnittstudie zur Erfassung gesundheitsrelevanter Umweltbelastungen der Bevölkerung (Kinder, Jugendliche und Erwachsene).

Das auch im Deutschen verwendete Akronym GerES ist von der englischen Bezeichnung German Environmental Survey abgeleitet. Bisher hat das Umweltbundesamt fünf bundesweite Erhebungswellen als Module des RKI-Gesundheitsmonitorings durchgeführt. Sie fanden als Umweltmodul der Gesundheitssurveys des RKI jeweils bei denselben Personen statt, die an den Gesundheitssurveys teilgenommen haben. Dies bedeutet, dass stets bei denselben Menschen sowohl die Umweltbelastungen als auch der Gesundheitszustand erhoben werden. Damit können die Ergebnisse beider Studien auf der Individualebene zusammengeführt werden.

GerES wird an für die Bevölkerung repräsentativen Querschnittsstichproben erhoben [15]. Die Grundgesamtheit ist die Wohnbevölkerung, die zum Zeitpunkt der Erhebung mit Hauptwohnsitz in Deutschland bei einem Einwohnermeldeamt gemeldet ist. Die Anzahl der Untersuchungsorte (Sample Points) legt das RKI für die Gesundheitssurveys fest. Nach einem mehrfach geschichteten zweistufigen Zufallsprinzip werden dann die Stichproben von Adressen aus den Registern der Einwohnermeldeämter für die Gesundheitssurveys vom RKI ausgewählt [16]. Aus diesen Stichproben werden erneut nach dem Zufallsprinzip Teilstichproben für GerES ausgewählt. Die Nettostichproben werden unter Verwendung von Bevölkerungsstatistiken aus dem Mikrozensus gewichtet, sodass die Studienergebnisse nach den Merkmalen Lebensalter, Geschlecht und Gemeindetyp repräsentativ für die Wohnbevölkerung in Deutschland für den jeweiligen Untersuchungszeitraum und die jeweils untersuchte Altersgruppe sind. In ■ **Tab. 3** sind detaillierte Angaben zu den GerES-Stichproben der jeweiligen Erhebungswelle dargestellt.

### Untersuchte Parameter

In GerES untersucht das Umweltbundesamt, mit welchen potenziell schädlichen Substanzen und Umwelteinflüssen die in Deutschland lebenden Menschen in Berührung kommen. Dabei zeichnet GerES ein umfassendes Bild der Umweltfaktoren, die bedeutsam für die Gesund-

**Tab. 3** RKI Surveys mit Kooperation zum Umweltmodul (GerES) des Umweltbundesamts

| RKI Studien              | Nationaler Untersuchungs-survey t <sub>0</sub> | (a) Nationaler Untersuchungs-survey t <sub>2</sub><br>(b) Gesundheits-survey Ost | Bundes-Gesundheits-survey             | KiGGS-Basiserhebung                   | KiGGS Welle 2                         |
|--------------------------|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                          | [16]<br>1984–1986                              | [16]<br>1990–1992  | [16]<br>1998                          | [16]<br>2003–2006                     | [21, 64]<br>2014–2017                 |
| Regionaler Bezug         | Westdeutschland                                | (a) Westdeutschland<br>(b) Ostdeutschland  | Deutschland                           | Deutschland                           | Deutschland                           |
| Sample Points            | 55   | (a) 100<br>(b) 50  | 120                                   | 167                                   | 167                                   |
| Erhebungszeitraum        | 1984–1986                                      | (a) 1990–1991<br>(b) 1991–1992   | 1997–1999                             | 2003–2006                             | 2014–2017                             |
| Altersspektrum in Jahren | 25–69  | (a) 25–69<br>(b) 18–79   | 18–69                                 | 0–17                                  | 0–17/und 17+                          |
| Nettostichprobe (N)      | 4790   | (a) 5311<br>(b) 2617   | 7124                                  | 17.641                                | ca. 3567<br>(Querschnitt)             |
| Frauen/Mädchen           | 2373   | (a) 2688<br>(b) 1394   | 3674                                  | 8656                                  | –                                     |
| Männer/Jungen            | 2417   | (a) 2623<br>(b) 1223<br>(a) 2623<br>(b) 1223                                     | 3450                                  | 8985                                  | –                                     |
| Response rate (%)        | 66,0   | (a) 69,0<br>(b) 70,2   | 61,4                                  | 66,6                                  | –                                     |
| Untersuchungs-module     | Schriftliche Befragung + Untersuchung          | Schriftliche Befragung + Untersuchung  | Schriftliche Befragung + Untersuchung | Schriftliche Befragung + Untersuchung | Schriftliche Befragung + Untersuchung |
| Umweltmodul des UBA      | GerES I [15]                                   | GerES II a + b [15]  | GerES III [15]                        | GerES IV [15]                         | GerES V [64]                          |
| Lebensalter in Jahren    | 25–69  | (a) 25–69; 6–14<br>(b) 18–79; 6–17   | 18–69                                 | 3–14                                  | 3–17                                  |
| Nettostichprobe (N)      | 2731   | (a) 2524; 433<br>(b) 1763; 359   | 4822                                  | 1790                                  | ca. 2500                              |

heit der Menschen in Deutschland sind. GerES lebt von der Vielzahl der Untersuchungsmodule (■ Tab. 4):

Gemessen werden eine Vielzahl an chemischen Substanzen (■ Tab. 4), aber auch biologische Noxen wie Schimmelpilze, Hausstaubmilbenexkremente und physikalische Noxen wie Lärm (Schallpegelmessung, Hörtest) und Feinstaub, wobei nicht in jeder Erhebungswelle alles untersucht werden kann.

GerES (alle Erhebungswellen) stellt repräsentative Daten über die körperliche Belastung der in Deutschland lebenden 3- bis 79-Jährigen mit Chemikalien, über physikalische und biologische Umweltbelastungen im Wohnumfeld der Zielpersonen und über umweltrelevante Expositionsfaktoren bereit. Im Zusam-

menhang mit den Gesundheitssurveys des RKI sind auch Aussagen zu folgenden Themenfeldern möglich: umweltbedingte Krankheitslasten, Zusammenhänge zwischen Umweltbelastung und gesundheitlichen Parametern. Zusätzlich erlaubt die Auswertung der Datensätze Aussagen zur Umweltgerechtigkeit, abgeleitet aus Zusammenhangsanalysen zwischen sozioökonomischer Situation, biologischem und sozialem Geschlecht und Umweltbelastungen. Insgesamt dienen die Daten der wissenschaftlichen Politikberatung, der Allgemeinbevölkerung, dem Öffentlichen Gesundheitsdienst und nicht zuletzt dem wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt; dem öffentlichen Gesundheitsdienst und den teilnehmenden Personen ermöglichen sie eine

Einschätzung der individuellen umweltmedizinisch relevanten Belastung.

Weitere Informationen sind dem Internet zu entnehmen: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/deutsche-umweltstudie-zur-gesundheit-geres>.

## KORA

### Studienbeschreibung und Hintergrund

KORA („Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg“) ist eine Forschungsplattform für bevölkerungsbasierte Gesundheitssurveys und darauf aufbauende Follow-up-Studien

**Tab. 4** Untersuchungsmodul in GerES

| Untersuchungsmodul         | Parameter   | Gemessene chemische Substanzen (GerES V)   |
|----------------------------|---|--|
| Humanbiomonitoring (HBM)   | Vollblut, Plasma, Morgenurin  | Chlorphenole/Phenole, Kosmetikinhaltsstoffe, Metalle, Nikotin/Cotinin, Organochlorpestizide, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Biphenyle, per- und polyfluorierte Chemikalien, Weichmacher, Glyphosat |
| Trinkwassermonitoring      | Ablauf- und Stagnationswasser am häuslichen Zapfhahn  | Metalle  |
| Innenraummonitoring        | Hausstaub: Staubsaugerbeutelinhalt  | Flammschutzmittel, Weichmacher, Moschusduftstoffe  |
|                            | Innenraumluft: Passivsammler  | Aldehyde, VOC („volatile organic compounds“, leicht flüchtige Verbindungen)  |
|                            | Schimmel: aktive Luftprobenahme, innen/außen  | –  |
|                            | Feinstaub-PM <sub>2,5</sub> : aktive Probenahme, innen/außen  | Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe   |
| Lärm                       | Schallpegel vor dem Fenster des Schlafrumes der Zielperson, Hörfähigkeit der Zielperson   | –  |
| Standardisierte Interviews | Wohnumfeld, Wohnungsausstattung, umweltrelevante Verhaltensweisen wie Rauchen, Produktanwendungen, Aufenthaltsorte und -zeiten, Ernährung, Bekleidung, Krankheiten, umweltbedingte gesundheitliche Beeinträchtigungen u. A. | –  |

(**Abb. 2**) zu Themen der Epidemiologie, Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung. 1996 wurde mit KORA das in den Jahren 1984/1985 begonnene internationale WHO-MONICA-Projekt („Monitoring of Trends and Determinants of Cardiovascular Disease“) in Augsburg fortgesetzt und erweitert, einschließlich eines Herzinfarktregisters.

Durch ihren Ursprung im WHO-MONICA-Projekt stehen bei der epidemiologischen Forschung in KORA Risikofaktoren kardiovaskulärer Erkrankungen im Vordergrund. Mit wachsendem Wissen über assoziierte Erkrankungen und neue potenzielle pathophysiologische Mechanismen wurde das Forschungsspektrum von KORA erweitert, beispielsweise um Genderunterschiede in Hinblick auf kardiometabolische Erkrankungen, psychosoziale Risikofaktoren und Umwelteinflüsse.

Seit über 30 Jahren wird die Gesundheit der Bürger der Stadt Augsburg sowie

der Landkreise Augsburg und Aichach-Friedberg (Population etwa 600.000) untersucht. Die ca. 18.000 KORA-Teilnehmer stellen eine repräsentative Zufallsstichprobe aller 25- bis 74-Jährigen im Raum Augsburg dar. Die KORA-Studienregion wurde von der WHO als Studienzentrum für die MONICA-Studie ausgewählt, da die Bevölkerungsstruktur der Region Augsburg ein gutes Spiegelbild der demografischen und sozialen Struktur der Bundesrepublik darstellt [22].

Die Eingangsuntersuchungen (Surveys S1 bis S4), angelegt als Querschnittstudien, fanden seit 1984 in vier Wellen im Abstand von je fünf Jahren statt und stellen jede für sich eine unabhängige Zufallsstichprobe dar. Alle Teilnehmer werden in mehrjährigen Abständen schriftlich zu ihrer Gesundheit befragt und zum Teil erneut im KORA-Studienzentrum untersucht. Jedes Follow-up beinhaltet eine Adressrecherche und die Erfassung des Vitalstatus bzw. im

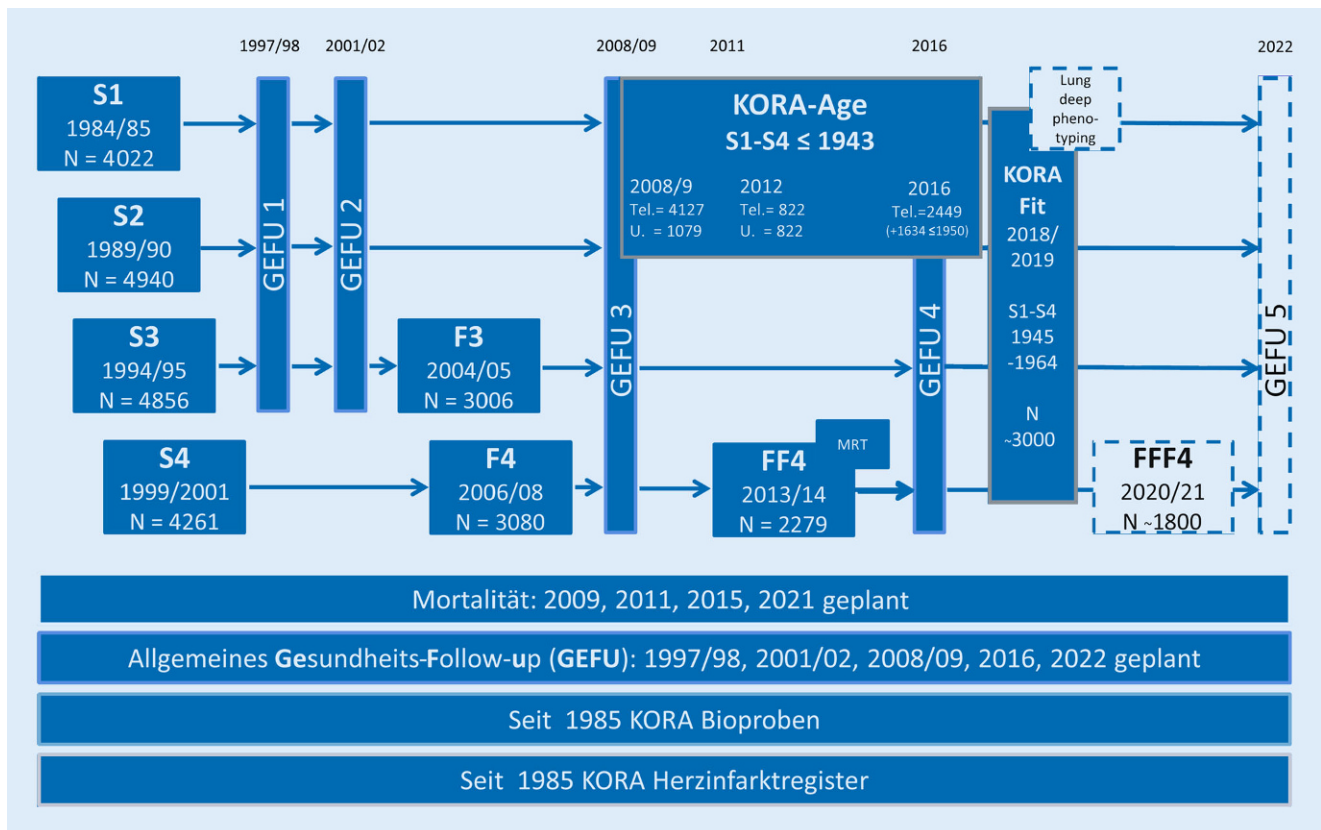
Todesfall der zugrunde liegenden Todesursache. Zudem gibt es postalische Fragebögen zum Schwerpunkt „chronische Krankheiten“ sowie vollständige Follow-ups mit Interviews und körperlichen Untersuchungen. Im Rahmen der KORA-Age-Studie hat sich zudem ein interdisziplinäres Forschungskonsortium zum Ziel gesetzt, Determinanten und Folgen von Multimorbidität im Alter zu ermitteln und nach Faktoren des „erfolgreichen Alterns“ in der Allgemeinbevölkerung zu suchen [23]. Parallel dazu werden im Augsburger Herzinfarktregister alle Herzinfarkte und koronaren Sterbefälle der Region Augsburg bis zu einem Alter von 74 Jahren registriert. Neben der Gesundheitsberichterstattung des Bundes dienen die Daten des Herzinfarktregisters als Quelle für Trends und Determinanten des Herzinfarkts und als Patientenpool für Studien an Herzinfarktüberlebenden.

### Untersuchte Parameter

In allen Surveys werden Basisdaten zu soziodemografischen Variablen, klassischen Risikofaktoren, zur Historie chronischer Erkrankungen und zur Medikamenteneinnahme in einem standardisierten persönlichen Interview erfragt. Zusätzlich durchlaufen die Teilnehmer mehrere medizinische Untersuchungen. Abhängig von den jeweiligen Forschungspartnern kommen weitere Untersuchungsmodul hinzu, wie zum Beispiel oraler Glukosetoleranztest, Ruhe-EKG, Karotisuntersuchung und Hautuntersuchung. Zudem wird eine Vielzahl an Bioproben wie Blut, Speichel und Urin gesammelt.

Im Mittelpunkt der umweltbezogenen Aktivitäten in KORA steht seit 2004 die Augsburger Aerosolmessstation. Sie wird vom Helmholtz Zentrum München und der Universität Augsburg in Kooperation mit der Hochschule Augsburg betrieben und ist in das deutsche Messnetz für ultrafeine Aerosolpartikel (GUAN, German Ultrafine Aerosol Network) eingebunden. Außerdem ist die Messstation Teil eines bayernweiten Verbunds von Messstationen, die kontinuierlich Konzentrationen von unterschiedlichen Luftschadstoffen erfassen.





**Abb. 2** ▲ Überblick über alle abgeschlossenen und geplanten KORA Surveys (S) und Follow-ups (F) sowie die Gesundheits-Follow-ups (GEFU). S Survey, F Follow-up, FF zweiter Follow-up, FFF dritter Follow-up

Die Messstation liefert hoch aufgelöste Daten zur physikalischen und chemischen Charakterisierung von feinen und ultrafeinen Partikeln, die die mittlere Belastung der Stadt widerspiegeln und somit für einen Großteil der Augsburger Bevölkerung repräsentativ sind (z. B. [24]). Zudem werden meteorologische Größen erfasst. Sowohl die Luftschadstoffdaten als auch die meteorologischen Daten werden mit den in KORA erfassten Gesundheitsdaten verknüpft und gewähren so wichtige Einblicke in den Zusammenhang zwischen erhöhter Luftschadstoffexposition, klimatischen Veränderungen und der menschlichen Gesundheit. Weitere Aufgaben sind die Identifizierung der wichtigsten lokalen und überregionalen Feinstaubquellen sowie die Untersuchung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung und der Modellierung der Luftschadstoffexposition. Zusätzlich werden unter anderem die Lärmkarten der Stadt Augsburg (<http://www.laermkarten.de/augsburg/>) für die Untersuchung der

gesundheitlichen Auswirkungen von Langzeitlärmbelastungen verwendet.

Im Rahmen der MONICA- und der KORA-Studie ist eine Vielzahl von wissenschaftlichen Beiträgen erschienen, die unter <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi2/publications/index.html> und <https://www.helmholtz-muenchen.de/kora/index.html> nachgelesen werden können.

Häufig gehen die Daten der KORA-Studien in Analysen von großen Konsortien und multizentrischen Studien ein. Hier ist beispielhaft das Projekt ESCAPE zu nennen, welches als erstes europäisches Projekt dieses Umfangs die gesundheitlichen Langzeitwirkungen von Luftschadstoffen untersucht hat [25–28]. Auch konnte mithilfe der KORA-Daten eine erste Evidenz sowohl für eine metabolische Dysfunktion in Assoziation mit einer Langzeitexposition gegenüber Luftschadstoffen [29] als auch für eine Verknüpfung von Luftschadstoffen mit genomweiter Methylierung [30] erbracht werden.

## Heinz-Nixdorf-Recall(HNR)-Studie

### Studienbeschreibung und Hintergrund

Die Heinz-Nixdorf-Recall-Studie („risk factors, evaluation of coronary calcium in lifestyle“) ist eine laufende, populationsbezogene, prospektive Kohortenstudie, die auf einer Zufallsstichprobe der 45- bis 74-jährigen Bevölkerung der Ruhrgebietsstädte Bochum, Essen und Mülheim/Ruhr beruht [31]. Das primäre Studienziel ist die Frage, ob mithilfe von bildgebenden Verfahren die Risikoprädiktion eines Herzinfarkts verbessert werden kann. In den Jahren 2000 bis 2003 wurden 4814 Personen für eine Basisuntersuchung rekrutiert (Teilnahmerate: 55,8%). Jährlich erfolgt eine fragebogenbasierte Erfassung u. a. von Neuerkrankungen. Herz- und Krebserkrankungen sowie Schlaganfall werden durch telefonische Nachfrage und Recherche von Krankenakten validiert.

Regelmäßig werden Umzüge, Todesfälle und -ursachen erfasst. Umfangreiche Nachuntersuchungen wurden in den Jahren 2006–2008 (Response 91 %) und 2011–2015 (Response 86 %) durchgeführt.

## Untersuchte Parameter

Die Untersuchungen im Studienzentrum beinhalten Fragebögen zu Soziodemografie und Risikofaktoren, die ärztliche Anamnese sowie ausführliche klinische Untersuchungen und laborchemische Analysen. Eine Besonderheit der Studie ist die multimodale und wiederholte Erfassung der subklinischen Arteriosklerose mittels kardialer Computertomographie und Ultraschall der Halsgefäße. Erweiterungen der HNR-Studie beinhalten die „1000GehirneStudie“ gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich [32] sowie die „MehrGenerationenStudie“, bei der Lebenspartner und Kinder eingeschlossen werden.

Im Übrigen wurde die Studie durch umwelt- und arbeitsplatzepidemiologisch relevante Parameter in Körperflüssigkeiten [33] ergänzt. Ein umfangreiches Biobanking war von Anfang an inkludiert. Dies beinhaltet Blutproben in unterschiedlichen Aufbereitungen, Urin- und DNA-Proben.

Innerhalb der HNR erfolgte eine umfangreiche und detaillierte Erfassung der umweltbezogenen Belastungen der Teilnehmer, die sowohl die chemisch-physikalische Umwelt (Verkehr, Luftqualität, Lärm, Grünflächen), das sozioökonomische Umfeld (Indikatoren des sozioökonomischen Status der Stadtbezirke) wie auch berufliche und persönliche Stressoren beinhaltet. Umweltbezogene Faktoren werden über geocodierte Wohnadressen den Studienteilnehmenden zugeordnet.

Die chronische Belastung durch Verkehr an der Wohnadresse wird über verschiedene Entfernungs- und Verkehrsdichteindikatoren erfasst. Für die Erfassung der partikulären und gasförmigen Luftschadstoffe wurde im gesamten Studiengebiet eine flächendeckende tagesgenaue Modellierung mittels des Dispersions- und Chemie-Transport-Modells (CTM) EURAD (Europäisches

Ausbreitungs- und Depositionsmodell) durchgeführt [34, 35]. Dieses Modell eignet sich in besonderer Weise, um die städtische Hintergrundbelastung und ihre kurz- sowie längerfristigen zeitlichen Veränderungen abzubilden. Darüber hinaus wurden die quellspezifischen Belastungen (z. B. Belastung durch Verkehrs- und/oder Industrieemissionen) modelliert [36].

Im Rahmen des europaweiten ESCAPE-Projektes wurden die Expositionen gegenüber Feinstäuben ( $PM_{10}$  [Durchmesser  $\leq 10 \mu m$ ],  $PM_{2.5}$  [Durchmesser  $\leq 2,5 \mu m$ ],  $PM_{2.5-10}$  [Durchmesser zwischen 2,5 und  $10 \mu m$ ] und  $PM_{2.5abs}$  [die „absorbance“ von  $PM_{2.5}$ ; ein Maß für den Rußgehalt im Feinstaub]) und Stickoxiden ( $NO_2$ ,  $NO$ ) nach einem standardisierten Protokoll mit Landnutzungsmodellen für alle Wohnadressen der Studienteilnehmer modelliert. Diese Methodik ergänzt die Modellierung durch das EURAD-CTM in der Weise, dass insbesondere die verkehrsbezogenen Feinstäube und die Belastung gegenüber Stickoxiden mit einer sehr hohen räumlichen Auflösung erfasst werden [36].

Als weiterer physikalischer Umweltfaktor wurde die chronische Lärmbelastung durch Verkehrslärm gemäß EU-Direktive 2002/49/EC zugewiesen. Zur Ableitung der im Innenraum vorliegenden Belastung durch Verkehrslärm wurden sowohl Daten über die Schallisierung der Wohnung als auch über das Lüftungsverhalten der Studienteilnehmenden erhoben.

Grünflächen werden über satellitengestützte Daten (Landsat 5 für 2003, 2006, 2009, Landsat 8 für 2013, 2015) als NDVI für das gesamte Studiengebiet berechnet.

Der Sozialstatus der Nachbarschaft wurde kleinräumig über den Anteil von Arbeitslosen, Empfängern von sozialen Unterstützungsleistungen und Personen mit mittlerem Einkommen im Bezirk sowie die Anzahl von Umzügen erhoben.

Die HNR-Studie bietet durch ihre feinräumige und detaillierte Expositionsbeschreibung gegenüber unterschiedlichen Umwelt- und sozialen Faktoren im Studiengebiet optimale Voraussetzungen, um Zusammenhänge mit der kardiovaskulären Gesundheit, Inflam-

mation und metabolischen Erkrankungen [37–40] sowie der psychischen und allgemeinen Gesundheit zu untersuchen [41–44].

## SALIA

### Studienbeschreibung und Hintergrund

Die SALIA-Studie (Studie zum Einfluss von Feinstaubbelastung auf die Lungenfunktion, Entzündungsreaktionen und Alterungsprozesse bei älteren Frauen aus dem Ruhrgebiet) ist eine populationsbasierte Kohortenstudie an älteren Frauen aus dem Ruhrgebiet und dem südlichen Münsterland. Die Basisuntersuchungen (1985–1994) waren Querschnittsuntersuchungen an jeweils 4874 55-jährigen Frauen. Sie wurden im Rahmen der Luftreinhaltepläne des Landes Nordrhein-Westfalen als Wirkungskatasteruntersuchungen durchgeführt. Das Hauptziel dieser Studien war es, eine Bestandsaufnahme der Wirkungen von Verunreinigungen der Außenluft durchzuführen.

Die Untersuchung wurde auf Frauen beschränkt, da ein Großteil der Männer dieser Jahrgänge im Bergbau arbeitete und daher nicht nur durch die Belastung des Wohnortes beeinflusst war. Es wurden Frauen mittleren Alters gewählt, um auch die Effekte einer chronischen Belastung abschätzen zu können.

### Untersuchte Parameter

Eine Fragebogenerhebung aller überlebenden Frauen im Jahre 2006 enthielt Fragen zur Innenraumbelastung sowie zu Lebensgewohnheiten und Erkrankungen. 2116 Frauen beteiligten sich. Eine Mortalitätsuntersuchung aller Frauen aus SALIA erfolgte 2001–2003 und erneut 2008.

In den Jahren 2007/2009 und 2012/2013 wurden die Frauen der SALIA-Studie zu zwei Nachfolgestudien eingeladen. Diese hatten das Ziel, die Auswirkungen von Luftschadstoffbelastung auf kardiovaskuläre, metabolische und neurologische Erkrankungen zu untersuchen.

Zu den Erstuntersuchungen wurden Messprogramme des Landesamtes für

Immissionsschutz, LIS (das Vorgängerinstitut des LUA, jetzt LANUV) benutzt. Kontinuierlich messende Stationen für Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Partikel waren im Ruhrgebiet in ca. 8 km Abstand verteilt, für die Wirkungskatasterstudien wurde auch im Kontrollgebiet eine Station errichtet. Einige Ruhrgebietsstationen bestimmten Staubinhaltsstoffe wie Metalle. Je nach Lage der Stationen wurden Hintergrundbelastung, Industrie- oder verkehrsbedingte Immissionen gemessen. Als Erfolg der Luftreinhaltemaßnahmen wurde mit abnehmender Luftverschmutzung durch die Industrie und zunehmender Luftverschmutzung durch Verkehr der Schwerpunkt der Messungen von SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und TSP („total suspended particles“) auf NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> verlagert. Für die späteren Untersuchungen von SALIA wurden Expositionsabschätzungen benutzt. Hierzu wurden Messkampagnen durchgeführt, 2002/2003 die TRAPCA-Studie und 2008/2009 die ESCAPE-Studie [45–50]. Es wurden 40 Messstationen aufgestellt, deren Jahresmessungen für NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> mithilfe von Umgebungsvariablen per Regressionsrechnung modelliert wurden, um eine möglichst genaue Abschätzung der Luftschadstoffbelastung an der jeweiligen Wohnadresse zu bekommen. Die resultierenden Regressionsgleichungen enthielten hauptsächlich Verkehrsvariablen wie Fahrleistung und Straßenlängen in der näheren Umgebung (50–1000 m Umkreis), zusätzlich Landnutzungsvariablen wie Gewerbegebiet oder Hafen in der weiteren Umgebung (1–5 km Umkreis). Sie wurden auf die Adressen der Studienteilnehmenden angewandt und ergaben deren individuelle Belastung mit vorwiegend verkehrsbedingter Luftverschmutzung für das Jahr der Messkampagne. Zusätzlich wurden verschiedene Maße für die Verkehrsbelastung durch den Abstand des Wohnhauses zu stark befahrenen Straßen oder Autobahnen bestimmt und die Straßenlärmbelastung den Wohnadressen der Frauen zugewiesen.

Feinstaubbelastung und Nähe zur verkehrsreichen Straße waren assoziiert mit COPD, Herz-Kreislauf-Mortalität, Diabetes Typ 2, einer Verschlechterung der

Lungenfunktion, Hautalterung und kognitiven Einschränkungen. Diese Effekte waren in genetischen Subgruppen unterschiedlich ausgeprägt [51–57].

Zudem konnten wir in der SALIA-Studie zeigen, dass es Subgruppen in der Bevölkerung gibt, die besonders empfindlich gegenüber den Effekten von Luftverschmutzung sind. Zum Beispiel wurden in den letzten Jahren genetische Subgruppen identifiziert, die erhöhte Risiken für umweltinduzierte Inflammationsprozesse in der Lunge [58] und umweltinduzierte kognitive Einschränkungen tragen [51].

Zukünftige Untersuchungen werden sich vermehrt mit den pathophysiologischen Prozessen hinter den Erkrankungen, der Identifizierung weiterer empfindlicher Subgruppen und den gesundheitlichen Vorteilen einer Verbesserung der Luftqualität beschäftigen.

## Ausblick

In Deutschland gibt es eine Vielzahl von Studien mit unterschiedlichen Populationen. Die sehr detaillierte Charakterisierung der Teilnehmer sowie die häufig vorhandene Längsschnittstruktur machen zukünftige (longitudinale) Analysen der gewonnenen Daten möglich.

Die hohe Anzahl der erfassten umweltbezogenen Faktoren, deren eingehende Untersuchung sowie die phänotypische Charakterisierung der Studienteilnehmenden erlauben, über die bestehenden Studienergebnisse hinaus, weitere Untersuchungen wichtiger Fragen z. B. zur Bedeutung von ultrafeinen Stäuben, zur unabhängigen Wirkung von Stickoxiden und Staubinhaltsstoffen und zu den Wechselwirkungen bei Mehrfachbelastungen. Allerdings ist hierfür vor allem eine flächendeckende dauerhafte Erfassung von Daten zu den Umweltfaktoren notwendig. Durch fehlende entsprechende Messstationen wird einerseits die Forschung eingeschränkt, da ohne eine breite Erfassung der Expositionsdaten keine ausreichende Erforschung der Gesundheitsauswirkungen möglich ist. Andererseits kann dieser Mangel an Messstationen auch für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung von Bedeutung sein.

Die in diesem Artikel angesprochenen Studien sind wichtig, um eine Basis für Vorhersagen und präventive Maßnahmen für die Bevölkerung zu schaffen. Notwendig sind zudem innovative komplexe statistische Assoziationsanalysen, wobei speziell auf Interaktionen und Synergien zwischen den Umweltstressoren geachtet werden muss. Denn solche Wechselwirkungen werden unter anderem gerade für die Vorhersage von gesundheitlichen Folgen des Klimawandels für die Bevölkerung benötigt.

Eine weitere wichtige Aufgabe für die zukünftigen Aktivitäten ist die Einbindung von Expositionsdaten und -modellen in die NAKO-Gesundheitsstudie. Diese wird in den kommenden Jahrzehnten die größte verfügbare Ressource an Gesundheitsdaten, u. a. zu umweltbezogenen Erkrankungen sein. Gerade die Langzeiteffektstudien benötigen eine räumlich differenzierte Expositionsabschätzung, welche dann individuell den Teilnehmern der jeweils untersuchten Kohorte zugewiesen werden können.

Der Anteil der in städtischen Gebieten lebenden europäischen Bevölkerung soll laut European Environment Agency bis zum Jahr 2020 von 75 % auf 80 % steigen [59]. Luftverschmutzung, Lärm, urbane Hitzeinseln, mangelnde Grünflächen, aber auch soziale Ungerechtigkeit werden voraussichtlich die Gesundheit und Lebensqualität der Bevölkerung negativ beeinflussen, jedoch wurde bisher noch keine umfassende Untersuchung unserer „gebauten Umwelt“ durchgeführt [52]. Vor allem die Herausforderung einer alternden Gesellschaft, die unter Umständen besonders suszeptibel auf sich ändernde Umweltbedingungen reagiert, aber auch die mögliche Adaptation der Bevölkerung an diverse Umweltstimuli machen bei der Erforschung von Gesundheitseffekten einen multidisziplinären Ansatz erforderlich. Gerade aus umweltepidemiologischer Sicht sind die gesammelten Daten der in diesem Artikel aufgezeigten Studien in Deutschland ein besonders wertvoller Schatz, denn nur damit können Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und Gesundheit erforscht und public-health-relevante präventive Maßnahmen identifiziert werden.

## Korrespondenzadresse

### Dr. A. Schneider

Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Epidemiologie, Helmholtz Zentrum München  
Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg, Deutschland  
alexandra.schneider@helmholtz-muenchen.de

**Danksagung.** Wir danken folgenden Personen, die an der Durchführung der Studien beteiligt waren:

**GINIplus:** C. P. Bauer, D. Berdel, A. von Berg, M. Gappa, J. Heinrich, S. Koletzko, L. Libuda, T. Schikowski, M. Standl.

**LISA:** A. von Berg, M. Gappa, J. Heinrich, I. Lehmann, M. Standl.

**GME:** L. Baghi, K. Baranek, O. Bayer, U. Becker, I. Bockmann, G. Bolte, W. Doerk, T. Friß-Hesse, H. Fromme, C. Gampenrieder, A. Heißenhuber, S. Heinze, L. Hendrowasito, C. Herr, D. Hierhammer, G. Hölscher, J. Huß, M. Jung, G. Koch-Singer, M. Kohlhuber, S. Kranebitter, R. von Kries, J. Kuhn, M. Kühnel, F. Lang, B. Liebl, A. Lüders, H. Mayrhofer, N. Meyer, C. Mitschek, G. Morlock, M. Mosetter, M. Motzet, F. Nairz, U. Nennstiel-Ratzel, D. Nürnberg, A. Pfister, L. Riemer, G. Rohrhirsch, D. Rudolph, G. Schick, R. Schmid, E. Schneider, H. Seidler, R. Sittig, R. Stangl, W. Strauch, H. Thamm, T. Tontsch, D. Twardella, A. Weber, B. Weise, M. Wildner, G. Winter, G. Woelk, L. Wolf, A. Wunder, A. Zirngibl.

**Gesundheitsmonitoring des Robert Koch-Instituts (NUSt0, NUSt2, Survey Ost, BGS98, KiGGS Basis, KiGGS Welle 2, DEGS, GEDA):** B.-M. Kurth, T. Ziese und das Epidemiologische Datenzentrum/Forschungsdatenzentrum, Epidemiologische Zentrallabor, Fachgebiet Monitoring und Surveymethoden.

**GerES V:** S. Bach, R. Bethke, K. Bossmann, C. Brunner, C. Bunge, M. Bunz, I. Chorus, A. Conrad, A. Duffek, U. Fiddicke, C. Fitzner, C. Fritsch, A. Gies, A. Herz, C. Höra, L. Kaiser, A. Kämpfe, S. Kara, H. Kizgin, M. Krüger, J. Kura, P. Lepom, A. Lüdecke, C. Merdan, A. Naulin, K. Neumann, A. Pietsch, D. Plaß, S. Pohlmann, D. Pötzsch, T. Rapp, F. Riebel, E. Rucic, G. Sawal, N. Schechner, M. Schmied-Tobies, G. Schwedler, Y. Sonar, N. Steinkühler, W. Straff, M. Tobollik, J. Wellnitz, T. Wilkens, E. Wolter, C. Wurziger, C. Zigelski.

**KORA:** A. Peters (Sprecherin), J. Heinrich, R. Holle, R. Leidl, C. Meisinger, K. Strauch. Die Forschungsplattform KORA (Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg) wurde initiiert und finanziert vom Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie vom Freistaat Bayern gefördert wird. Darüber hinaus wurde die KORA-Forschung im Rahmen des Münchner Zentrums für Gesundheitswissenschaften (MC Health) der Ludwig-Maximilians-Universität als Teil von LMUinnovativ unterstützt.

**Heinz-Nixdorf-Recall-Studie (HNR):** K. Amundts, S. Caspers, S. Cichon, N. Dragano, R. Erbel, D. Führer-Sakel, B. Hoffmann, K.-H. Jöckel, S. Moebus, M. M. Nöthen, A. Stang, Ch. Weimar. Die HNR-Studie wird

unterstützt durch die Heinz Nixdorf Stiftung (Chairman: Martin Nixdorf, Past Chairman: G. Schmidt (+)), das Bundesministerium für Bildung und Forschung, die DFG (Project SI 236/8-1, SI 236/9-1, HO 3314/2-1 und 2-3, HO 3314/4-3, JO 170/8-1) und die EU (FP7/2007–2011 Grant Agreement Number: 211250).

**SALIA:** T. Schikowski (Sprecherin), K. Fuks, A. Hüls, U. Krämer, E. Link, D. Sugiri. Die Mortalitätsuntersuchung in der SALIA-Kohorte wurde vom Land NRW und dem IBE Institut für Medizinische Informationsverarbeitung Biometrie und Epidemiologie München durchgeführt.

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** A. Schneider, R. Rückerl, M. Standl, I. Markevych, B. Hoffmann, S. Moebus, K.-H. Jöckel, A. Weber, C. Herr, A. Heißenhuber, U. Nennstiel-Ratzel, S. Heinze, C. Schulz, M. Kolossa-Gehring, H. Niemann, A. Gößwald, T. Schikowski, A. Hüls, D. Sugiri und A. Peters geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Bei allen in dem Beitrag beschriebenen Studien wurde von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eine Einverständniserklärung unterzeichnet; wo es notwendig war, liegt zu jeder Studie ein positives Votum der jeweils zuständigen Ethikkommission vor.

## Literatur

- GBD Risk Factors Collaborators (2016) GRF Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet* 390(10100):1345–1422. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32366-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32366-8)
- Heinrich J, Bruske I, Schnappinger M et al (2012) Two German birth cohorts: GINIplus and LISAPLUS. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitschutz* 6–7:864–874
- Weikl F, Tischer C, Probst AJ et al (2016) Fungal and bacterial communities in indoor dust follow different environmental determinants. *PLoS ONE* 11:e154131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154131>
- Thiering E, Markevych I, Bruske I et al (2016) Associations of residential long-term air pollution exposures and satellite-derived greenness with insulin resistance in German adolescents. *Environ Health Perspect* 8:1291–1298
- Markevych I, Schoierer J, Hartig T et al (2017) Exploring pathways linking greenspace to health: theoretical and methodological guidance. *Environ Res* 158:301–317
- Kurth BM, Bergmann KE, Hölling H, Kahl H, Kamtsiuris P, Thefeld W (2002) Der bundesweite Kinder- und Jugendgesundheitsurvey. *Gesundheitswesen* 64(Suppl 1):3–11
- Pearce N, Weiland S, Keil U et al (1993) Self-reported prevalence of asthma symptoms in children in Australia, England, Germany and New Zealand: an international comparison using the ISAAC protocol. *Eur Respir J* 10:1455–1461
- Goodman R (1997) The strengths and difficulties questionnaire: a research note. *J Child Psychol Psychiatry* 5:581–586
- Ravens-Sieberer U, Bullinger M (1998) Assessing health-related quality of life in chronically ill children with the German KINDL: first psychometric and content analytical results. *Qual Life Res* 5:399–407
- Michaelis R (2004) Das „Grenzsteinprinzip“ als Orientierungshilfe für die pädiatrische Entwicklungsbeurteilung. *Entwicklungspsychiatrie*. Hans Marseille, München
- Robbins AM et al (1992) The Meaningful Use of Speech Scale (MUSS)
- Robbins AM, Renshaw JJ, Berry SW (1991) Evaluating meaningful auditory integration in profoundly hearing-impaired children. *Am J Otol* 12(Suppl):144–150
- Ommen O, Reckendrees B, Seefeld L, Stander V, Müller U (2014) Einstellungen, Wissen und Verhalten der Allgemeinbevölkerung zum Infektionsschutz
- Gößwald A, Lange M, Kamtsiuris P, Kurth BM (2012) DEGS: Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitschutz* 55(6-7):775–780. <https://doi.org/10.1007/s00103-012-1498-z>
- Schulz C, Conrad A, Becker K, Kolossa-Gehring M, Seiwert M, Seifert B (2007) Twenty years of the German Environmental Survey (GerES): human biomonitoring—temporal and spatial (West Germany/East Germany) differences in population exposure. *Int J Hyg Environ Health* 3–4:271–297
- Kurth BM, Lange C, Kamtsiuris P, Hölling H (2009) Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut. Sachstand und Perspektiven. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitschutz* 52(5):557–570. <https://doi.org/10.1007/s00103-009-0843-3>
- Hölling H, Schlack R, Kamtsiuris P, Butschalowsky H, Schlaud M, Kurth BM (2012) Die KiGGS-Studie. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitschutz* 6:836–842
- Kreuter H, Klaes L, Hoffmeister H, Laser U (1995) Ergebnisse und Konsequenzen der Deutschen Herz-Kreislauf-Präventionsstudie, in Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Juventa, Berlin
- Bellach BM (1999) Der Bundes-Gesundheitssurvey 1998. Erfahrungen, Ergebnisse, Perspektiven. *Gesundheitswesen* 2(Sonderheft):2
- Kurth BM, Kamtsiuris P, Hölling H et al (2008) The challenge of comprehensively mapping children's health in a nation-wide health survey: design of the German KiGGS-Study. *BMC Public Health* 196. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-8-196>
- Mauz E, Gößwald A, Kamtsiuris P et al (2017) Neue Daten für Taten. Die Datenerhebung zur KiGGS Welle 2 ist beendet. *J Health Monit* (S3):2–28. <https://doi.org/10.17886/RKI-GBE-2017-099>
- Holle R, Happich M, Lowel H, Wichmann HE, MKS Group (2005) KORA—a research platform for population based health research. *Gesundheitswesen* 67(Suppl 1):19–25
- Peters A, Döring A, Ladwig KH et al (2011) Multimorbidität und erfolgreiches Altern. Ein Blick auf die Bevölkerung im Rahmen der KORA-Age-Studie. *Z Gerontol Geriatr* 2(Suppl. 2):13
- Cyrys J, Pitz M, Heinrich J, Wichmann HE, Peters A (2008) Spatial and temporal variation of particle number concentration in Augsburg, Germany. *Sci Total Environ* 1–3:168–175
- Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M et al (2014) Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 9919:785–795



26. Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M et al (2014) Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 348:f7412. <https://doi.org/10.1136/bmj.f7412>
27. Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A et al (2014) Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Health Perspect* 9:919
28. Fuks KB, Weinmayr G, Basagaña X et al (2016) Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE). *Eur Heart J* 13:983–990
29. Wolf K, Popp A, Schneider A et al (2016) Association between long-term exposure to air pollution and biomarkers related to insulin resistance, sub-clinical inflammation, and adipokines. *Diabetes* 11:3314–3326
30. Panni T, Mehta AJ, Schwartz JD et al (2016) Genome-wide analysis of DNA methylation and fine particulate matter air pollution in three study populations: KORA F3, KORA F4, and the normative aging study. *Environ Health Perspect* 7:983–990
31. Schmermund A, Möhlenkamp S, Stang A et al (2002) Assessment of clinically silent atherosclerotic disease and established and novel risk factors for predicting myocardial infarction and cardiac death in healthy middle-aged subjects: rationale and design of the Heinz Nixdorf RECALL Study. *Am Heart J* 2:212–218
32. Caspers S, Moebus S, Lux S et al (2014) Studying variability in human brain aging in a population-based German cohort—rationale and design of 1000BRAINS. *Front Aging Neurosci* 149. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00149>
33. Bonberg N, Pesch B, Ulrich N et al (2017) The distribution of blood concentrations of lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr) and manganese (Mn) in residents of the German Ruhr area and its potential association with occupational exposure in metal industry and/or other risk factors. *Int J Hyg Environ Health* 6:998–1005
34. Büns C, Klemma O, Wurzler S et al (2012) Comparison of four years of air pollution data with a mesoscale model. *Atmos Res* 13:404–417. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.07.009>
35. Memmesheimer M, Friese E, Ebel A et al (2004) Long-term simulations of particulate matter in Europe on different scales using sequential nesting of a regional model. *Int J Environ Pollut*. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2004.005530>
36. Hennig F, Sugiri D, Tzivian L et al (2016) Comparison of land-use regression modeling with dispersion and chemistry transport modeling to assign air pollution concentrations within the Ruhr area. *Atmosphere (Basel)* 3:48
37. Hoffmann B, Moebus S, Mohlenkamp S et al (2007) Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis. *Circulation* 5:489–496
38. Hoffmann B, Moebus S, Dragano N et al (2009) Residential traffic exposure and coronary heart disease: results from the Heinz Nixdorf Recall Study. *Biomarkers* 14(Suppl 1):74–78. <https://doi.org/10.1080/13547500902965096>
39. Hoffmann B, Weinmayr G, Hennig F et al (2015) Air quality, stroke, and coronary events: results of the Heinz Nixdorf Recall Study from the Ruhr Region. *Dtsch Arztebl Int* 12:195–201
40. Hennig F, Fuks K, Moebus S et al (2014) Association between source-specific particulate matter air pollution and hs-CRP: local traffic and industrial emissions. *Environ Health Perspect* 7:703–710
41. Orban E, Arendt M, Hennig F et al (2017) Is long-term particulate matter and nitrogen dioxide air pollution associated with incident monoclonal gammopathy of undetermined significance (MGUS)? An analysis of the Heinz Nixdorf Recall study. *Environ Int* 108:237–245. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.08.007>
42. Orban E, McDonald K, Sutcliffe R et al (2016) Residential road traffic noise and high depressive symptoms after five years of follow-up: results from the Heinz Nixdorf recall study. *Environ Health Perspect* 5:578–585
43. Tzivian L, Dlugaj M, Winkler A et al (2016) Long-term air pollution and traffic noise exposures and mild cognitive impairment in older adults: a cross-sectional analysis of the Heinz Nixdorf recall study. *Environ Health Perspect* 9:1361–1368
44. Tzivian L, Jokisch M, Winkler A et al (2017) Associations of long-term exposure to air pollution and road traffic noise with cognitive function—an analysis of effect measure modification. *Environ Int* 103:30–38. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.03.018>
45. Cyrus J, Eeftens M, Heinrich J et al (2012) Variation of NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> concentrations between and within 36 European study areas: results from the ESCAPE study. *Atmos Environ* 62:374–390. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.080>
46. Eeftens M, Beelen R, de Hoogh K et al (2012) Development of Land Use Regression models for PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5</sub> absorbance, PM<sub>10</sub> and PM<sub>coarse</sub> in 20 European study areas; results of the ESCAPE project. *Environ Sci Technol* 20:11195–11205
47. Eeftens M, Tsai M-Y, Ampe C et al (2012) Spatial variation of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> absorbance and PM<sub>coarse</sub> concentrations between and within 20 European study areas and the relationship with NO<sub>2</sub>—Results of the ESCAPE project. *Atmos Environ* 62:303–317. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.038>
48. Beelen R, Hoek G, Vienneau D et al (2013) Development of NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe—The ESCAPE project. *Atmos Environ* 72:10–23. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.037>
49. Schikowski T, Sugiri D, Ranft U et al (2007) Does respiratory health contribute to the effects of long-term air pollution exposure on cardiovascular mortality? *Respir Res* 20. <https://doi.org/10.1186/1465-9921-8-20>
50. Schikowski T, Sugiri D, Reimann V, Pesch B, Ranft U, Kramer U (2008) Contribution of smoking and air pollution exposure in urban areas to social differences in respiratory health. *BMC Public Health* 179. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-8-179>
51. Schikowski T, Vossoughi M, Vierkötter A et al (2015) Association of air pollution with cognitive functions and its modification by APOE gene variants in elderly women. *Environ Res* 142:10–16. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.009>
52. Brauer M, Hystad P (2014) Commentary: cities and health ... let me count the ways. *Epidemiology* 4:526–527
53. Franck U, Herbarth O, Roder S et al (2011) Respiratory effects of indoor particles in young children are size dependent. *Sci Total Environ* 9:1621–1631
54. Tischer C, Casas L, Wouters IM et al (2015) Early exposure to bio-contaminants and asthma up to 10 years of age: results of the HITEA study. *Eur Respir J* 2:328–337
55. Vierkötter A, Schikowski T, Ranft UU et al (2010) Airborne particle exposure and extrinsic skin aging. *J Invest Dermatol* 12:2719–2726
56. Gehring U, Heinrich J, Kramer U et al (2006) Long-term exposure to ambient air pollution and cardiopulmonary mortality in women. *Epidemiology* 5:545–551
57. Kramer U, Herder C, Sugiri D et al (2010) Traffic-related air pollution and incident type 2 diabetes: results from the SALIA cohort study. *Environ Health Perspect* 9:1273–1279
58. Huls A, Kramer U, Herder C et al (2017) Genetic susceptibility for air pollution-induced airway inflammation in the SALIA study. *Environ Res* 152:43–50
59. EEA (2010) The European environment—state and outlook 2010
60. Schneider A, Ruckerl R, Breitner S, Wolf K, Peters A (2017) Thermal control, weather, and aging. *Curr Environ Health Rep* 4(1):21–29. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0129-0>
61. Tiesler CM, Birk M, Thiering E et al (2013) Exposure to road traffic noise and children's behavioural problems and sleep disturbance: results from the GINIplus and LISAplus studies. *Environ Res* 123:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.01>
62. Buters JT, Kasche A, Weichenmeier I et al (2008) Year-to-year variation in release of Bet v 1 allergen from birch pollen: evidence for geographical differences between West and South Germany. *Int Arch Allergy Immunol* 2:122–130
63. Markevych I, Smith MP, Jochner S et al (2016) Neighbourhood and physical activity in German adolescents: GINIplus and LISAplus. *Environ Res* 147:284–293. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.02.023>
64. Schulz C, Kolossa-Gehring M, Gies A (2017) Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen 2014–2017 (GerES V) – das Umweltmodul in KIGGS Welle 2. *J Health Monit* 8(53):47–54. <https://doi.org/10.17886/RKI-GBE-2017-102>