WaBoLu-Heft 01/03

Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Forschungsbericht 298 62 515
UBA-FB 000387

Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose

PD Dr.-Ing. Christian Maschke
Dr. med. Ute Wolf
Dipl.-Ing. Thilo Leitmann

Robert Koch-Institut, Berlin

ZUSAMMENFASSUNG

Unter der Bezeichnung "Spandauer Gesundheits-Survey" (SGS) wird seit 1982 eine Längsschnittuntersuchung durchgeführt, die vom Robert Koch-Institut in Zusammenarbeit mit dem Bezirksamt Spandau (Gesundheitsamt) geleitet wird. In dieser Studie wird der Gesundheitszustand der Teilnehmer periodisch im zeitlichen Abstand von zwei Jahren untersucht, um allgemeingültige Präventionsstrategien abzuleiten. Anders als bei vielen anderen epidemiologischen Studien, denen ein expliziter Ziehungsschlüssel der Probanden zugrunde liegt, rekrutierte sich die Spandauer Kohorte aus Personen, die sich aufgrund von Aufrufen angesprochen fühlten, an der Untersuchung teilzunehmen. Der 9. Durchgang des SGS umfasste 2015 Probanden. 1714 nahmen mindestens zum 5. mal an der Untersuchung teil.
Der Spandauer Gesundheits-Survey soll den Teilnehmern auch die Möglichkeit geben, den eigenen Gesundheitszustand über mehrere Jahre regelmäßig kontrollieren zu lassen, auffällige gesundheitliche Veränderungen frühzeitig zu erkennen und diese ggf. schnell einer ärztlichen Behandlung zuzuführen. Beim Vorliegen von Risikofaktoren (Übergewicht, Bluthochdruck, Störungen des Fettstoffwechsels usw.) wurden den Probanden gezielt Hinweise auf die vom Bezirksamt angebotenen Präventionsmaßnahmen und Kurse zur Gesundheitsförderung

gegeben. Die in der Studie durchgeführten klinischen und anamnestischen Erhebungen umfassten unter anderem Befragungen, Messungen und ärztliche Gespräche zu:

- sozio-ökonomischen Daten (Alter, Geschlecht, Bildung, Beruf, Familienstand usw.)
- Ernährung (u.a. Fetthaushalt, Flüssigkeitshaushalt)
- Alkohol- und Tabakkonsum
- Gesundheitszustand
- aktive Gesundheitsprävention

sowie:

- Blutdruck
- Urinuntersuchung
- Größe und Gewicht
- Atemfunktionsprüfung
- Blutuntersuchung

Alle Teilnehmer erhielten über ihren „Gesundheitscheck“ eine zusammenfassende medizinische Beurteilung und wurden bei auffälligen Befunden aufgefordert, sich in ärztliche Behandlung zu begeben.

Mit dem SGS konnte demzufolge ein Kollektiv, das überwiegend aus älteren, gesundheitsbewussten Probanden bestand, über viele Jahre medizinisch beobachtet und betreut werden. Der Survey ermöglicht somit vergleichende Längsschnitt-Analysen. Nahezu die Hälfte aller Teilnehmer der Spandauer Untersuchung gab im 9. Durchgang an, sehr stark (14 %) oder stark (35 %) auf die eigene Gesundheit zu achten. Nur etwa 5 % der Teilnehmer achteten darauf weniger oder gar nicht. Im Mittel waren die Probanden 60 Jahre alt. Der jüngste Teilnehmer gab ein Alter von 18 Jahren an, der älteste Teilnehmer ein Alter von 90 Jahren.

Zusätzlich zu der obligatorischen Datenerhebung wurde im 9. Durchgang des SGS die Geräuschbelastung der Teilnehmer außen an ihrer Wohnung erhoben, und sie wurden danach befragt, wie sehr sie sich am Wohnort durch Verkehrslärm gestört fühlen. Die Geräuschbelastung an den Wohnadressen durch Straßenverkehr wurde getrennt für den Tag und die Nacht aus der Lärmdatenbank (Lärmkarte) der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung ausgelesen. Die Datenbank stellte für jede Wohnadresse einen Kartenausschnitt zur Verfügung, der es gestattete, die Lage des Wohnhauses (der Wohnung) zur Straße zu vermessen. Die aus der Lärmkarte gewonnenen Lageinformationen wurden mit Fragebogenangaben der Versuchspersonen zur Lage der Wohn- und Schlafräume abgeglichen bzw. ergänzt. Auf diesen Datengrundlagen wurden die Untersuchungspersonen in 5 dB(A)-Kategorien des A-bewertetenen energieäquivalenten Dauerschallpegels (Immissionspegel) eingruppiert.

In einer Unterstichprobe des SGS (96 Wohnadressen) wurde der energieäquivalente Dauerschallpegel über 24 Stunden hinweg an der Fassade der Wohnungen der Probanden gemessen. Mit Hilfe der gemessenen Dauerschallpegel für den Tag und die Nacht wurden die „Datenbankpegel“ überprüft und Korrekturfaktoren für die Lagekategorien der Wohnungen ermittelt. Zusätzlich wurde für jede Wohnadresse die retrospektive Schallbelastung durch Straßenverkehr für die Jahre 1982 und 1993 erhoben. Ein Vergleich der Dauerschallpegel zeigte, dass sich die Geräuschbelastung der Wohnorte durch Straßenverkehr seit 1993 nicht wesentlich verändert hatte. Zum Zeitpunkt der Untersuchung lebten mehr als 50 % der Probanden länger als 25 Jahre, 75 % länger als 15 Jahre und 85 % länger als 10 Jahre in der

angegebenen Wohnung. Die lange Wohndauer und die seit 1993 gleichbleibende Geräuschbelastung der Spandauer Probanden ermöglichen es, mit dem SGS chronische Auswirkungen einer Lärmbelastung auf die Gesundheit zu erfassen. Bei Teilnehmern, die an ihrem Wohnort mit Fluglärm belastet waren, ging zusätzlich die Fluglärmbelastung anhand der Fluglärmzonen des Flughafens Berlin-Tegel in die Auswertung ein.
Zusätzlich zur Standardbefragung im SGS wurde mit den Fragen „Wie stark fühlen Sie sich in ihrer Wohnung / Ihrem Haus durch folgende Lärmquellen am Tage (in der Nacht) gestört“ die individuelle Störung durch Straßenverkehrslärm, durch Fluglärm und durch Schienen- sowie Gewerbelärm erhoben. Neben den lärmbedingten Störungen wurde mit dem Lärmfragebogen auch die Lärmempfindlichkeit der Probanden erfasst und die Lageinformationen von Wohn- und Schlafraum in Bezug zu den umgebenden Straßen gewonnen. Insgesamt füllten 1801 Probanden den zusätzlich ausgegebenen Lärmfragebogen aus.
Die Überprüfung von statistischen Zusammenhängen zwischen der Lärmbelastung und gesundheitlichen Wirkungsendpunkten muss dem Umstand gerecht werden, dass sowohl bei Erkrankungen als auch Risikofaktoren von einer multifaktoriellen Beeinflussung ausgegangen werden muss. Bei der Studienauswertung müssen daher multiple statistische Verfahren eingesetzt werden, die sich an dem Pathogenesemechanismus und dem Skalenniveau der erhobenen Variablen orientieren. In dieser Studie kam die multiple logistische Regressionsrechnung zum Einsatz. Mit ihr kann ein Schätzer („Odds-Ratio“, OR) für das relative Risiko des Eintritts eines Ereignisses (z. B. Prävalenz einer Erkrankung) in Abhängigkeit von dem zu untersuchenden Faktor (z. B. der Geräuschbelastung, der Lärmbelästigung) unter gleichzeitiger Berücksichtigung von anderen Einflussfaktoren (Kontrollvariablen) bestimmt werden. In den Auswertungen wurden insgesamt 12 Kontrollvariablen berücksichtigt, bei denen insbesondere bezüglich Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems von einer Einflussnahme auszugehen war. Es sind dies das „Lebensalter“, das „Geschlecht“, der „Body Mass Index“, der „Sozio-ökonomische Index“, der „Partnerverlust in der Ehe“, der „Alkoholkonsum“, der „Tabakkonsum“, „Bewegung im Beruf“, die „Sportliche Aktivität“, die „Lärmempfindlichkeit“, die „Hörfähigkeit“ sowie die „Jahreszeit der Untersuchung“. In bezug auf andere betrachtete Wirkungs-Endpunkte (z. B. aus dem immunologisch/allergisch vermittelten Bereich) ist der Kontrollvariablensatz jedoch als weniger vollständig zu betrachten, was eine zurückhaltende Interpretation diesbezüglicher statistische Lärmeffekte erfordert.
Die Lärm-bezogenen Auswertungen erfolgten in der „Arbeitsstichprobe Lärm“ (N = 1718), für die vollständige Angaben im Lärm-Fragebogen vorlagen. Es ergaben sich statistische Zusammenhänge zwischen der nächtlichen Verkehrsgeräuschbelastung am Wohnort der Probanden (22:00–6:00 Uhr) und Beeinträchtigungen des Herz-Kreislaufsystems (Behandlung aufgrund von Hypertonie), des Immunsystems (Behandlung von Asthma) und des Stoffwechsels (Behandlung aufgrund erhöhter Blutfette). Im Gegensatz zum nächtlichen Verkehrslärmpegel wies der äquivalente Dauerschallpegel am Tage (6:00–22:00 Uhr) einen deutlich geringeren Zusammenhang mit der Prävalenz ärztlicher Behandlungen der genannten Krankheiten auf (Ausnahme chronische Bronchitis). Bei der Prävalenz ärztlicher Behandlungen von psychischen Störungen zeigte sich dagegen ein starker Zusammenhang mit der subjektiv empfundenen Störung durch Lärm am Tage.
Im folgenden werden einige Untersuchungsergebnisse kurz vorgestellt. Bei den statistischen Auswertungen wurde zwischen der „Perioden-Prävalenz“ (ärztliche Behandlung im Intervall zwischen dem 8. und 9. Durchgang des SGS) und der „Lebenszeit-Prävalenz“ (ärztliche

Behandlung irgendwann im Laufe des Lebens) unterschieden. Als Effekt-Schätzer wird jeweils das relative Risiko (berechnet als Odds-Ratio (OR)) mit dem zugehörigen Vertrauensbereich (95%-Konfidenzintervall (KI)) angegeben.
Bezüglich ärztlicher Behandlungen wegen **Hypertonie** war bei der Perioden-Prävalenz eine signifikante Erhöhung des relativen Risikos zu verzeichnen, wenn der nächtliche äquivalente Dauerschallpegel des Straßenverkehrs an den Wohnungen der Probanden über 55 dB(A) lag. Das relative Risiko lag im Vergleich zu Probanden aus Straßen mit einem äquivalenten Dauerschallpegel unter 50 dB(A) (Referenzkategorie) bei annähernd OR=1,9 (KI=1,1-3,2). Wurden nur Probanden in die Analyse aufgenommen, für die in den letzten zwei Jahren kein Wohnungswechsel zu verzeichnen war, so ergab sich ein ähnlicher Befund. Bei einem Außenpegel über 55 dB(A) und geöffnetem Schlafzimmerfenster stieg das relative Risiko hypothesenkonform (größere Lärm-Effekte bei höherem Innenraumpegel) auf OR=6,1 (KI=1,3-29,2) im Vergleich zu Probanden, die mit geöffnetem Fenster schliefen und deren nächtlicher äquivalenter Dauerschallpegel vor dem Schlafzimmerfenster unter 50 dB(A) lag. Auch die Auswertung der retrospektiven Anamnesedaten bestätigte die besondere Bedeutung der nächtlichen Schallbelastung bei der Ausbildung einer Hypertonie. Das Risiko für eine Hypertoniebehandlung war auch bezüglich der Lebenszeit-Prävalenz bei Probanden mit einem nächtlichen Dauerschallpegel über 55 dB(A) mit OR=1,8 (KI=1,1-2,9) signifikant erhöht.
Das Risiko für ärztliche Behandlungen wegen **erhöhter Blutfette** war mit OR=1,5 (KI=0,9-2,5) hypothesenkonform erhöht (Perioden-Prävalenz) und grenzwertig signifikant, wenn der nächtliche äquivalente Dauerschallpegel des Straßenverkehrs bei den Probanden über 55 dB(A) lag (im Vergleich zu denen, bei denen er unter 50 dB(A) lag). Bei einem Außenpegel von 55 dB(A) und geöffnetem Schlafzimmerfenster erhöhte sich das Risiko hypothesenkonform auf OR=1,8 (KI=0,6-5,4) im Vergleich zu Probanden, die in der Referenzkategorie (unter 50 dB(A)) mit geöffnetem Fenster schliefen, war aber nicht signifikant. Bei der Auswertung der Behandlungen aufgrund erhöhter Blutfette im Laufe des Lebens (Lebenszeit-Prävalenz) stellten sich die Befunde mit einem Schätzer für das relative Risiko von OR=1,5 (KI=0,9-2,3) ähnlich dar.
Das Risiko für ärztliche Behandlungen **chronischer Bronchitis** (Perioden-Prävalenz) zeigte eine nicht signifikante Abhängigkeit vom äquivalenten Dauerschallpegel des Straßenverkehrs am Tage. Es war gegenüber der Referenzkategorie (unter 55 dB(A)) in allen Pegelklassen erhöht (OR's zwischen 1,6 und 3,6), nahm aber entgegen der Hypothese bei höheren Schallpegeln (Kategorien >60-65 dB(A) und >65 dB(A)) mit steigender Schallbelastung ab. Für die nächtliche Geräuschbelastung war kein Zusammenhang mit den ärztlichen Behandlungen aufgrund chronischer Bronchitis zu verzeichnen. Bei der Lebenszeit-Prävalenz bestätigte sich das heterogene Bild. Für den äquivalenten Dauerschallpegel am Tage ergab sich hier zwar ein signifikant erhöhtes relatives Risiko für Probanden mit Wohnungen in der Schallpegelklasse 60-65 dB(A) von OR=2,7 (KI=1,0-7,4), allerdings lag das relative Risiko in der höchsten Lärmkategorie (über 65 dB(A)) leicht unter 1. Insgesamt waren keine Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge zu verzeichnen.
Das Risiko für ärztliche Behandlungen von **Asthma bronchiale** (Perioden-Prävalenz) zeigte keine nennenswerte Abhängigkeit vom äquivalenten Dauerschallpegel des Straßenverkehrs am Tage oder in der Nacht. Die Auswertung der Behandlungen im Laufe des Lebens (Lebenszeit-Prävalenz) ergab dagegen ein anderes Bild. Mit dem äquivalenten Dauerschallpegel am Tage wurde zwar kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen, doch zeigten sich steigende relative Risiken mit zunehmender Schallbelastung. Bezüglich der Schallbelastung in der Nacht

ergab sich aus den Anamnesedaten zur Lebenszeit-Prävalenz für ärztliche Behandlungen aufgrund von Asthma bronchiale ein signifikant erhöhtes Risiko von OR=1,5 (KI=1,0-2,5), wenn der nächtliche äquivalente Dauerschallpegel 55 dB(A) überstieg.
Ein aus dem allgemeinen Stressmodell ableitbarer Wirkungsendpunkt, der in der Lärmwirkungsforschung noch nie zuvor betrachtet wurde, stellt die **Krebserkrankung** dar, die bei chronischem Lärmstress in Folge eines gestörten Immunsystems möglicherweise vermehrt auftreten könnte. Hier deutete sich in der Studie für die Behandlung von Krebserkrankungen bei der Perioden-Prävalenz, nicht jedoch bei der Lebenszeit-Prävalenz, ein Trend in Richtung eines monoton ansteigenden relativen Risikos mit steigendem nächtlichen Verkehrslärmpegel an. Das Risiko der Probanden der Schallpegelkategorie über 55 dB(A) war gegenüber denen der Referenzkategorie unter 50 dB(A) mit OR=4,2 (KI=0,9-20,0) erhöht; die statistische Signifikanz wurde jedoch verfehlt und das Vertrauensintervall für den Schätzer des relativen Risikos war sehr groß.
Das Risiko für ärztliche **Schilddrüsenbehandlungen** (Perioden-Prävalenz) zeigte im SGS keine signifikante Abhängigkeit vom äquivalenten Dauerschallpegel des Straßenverkehrs, weder für den Tag noch für die Nacht. Eine deutliche Abhängigkeit der Anzahl der Schilddrüsenbehandlungen zeigte sich dagegen bei der Betrachtung der Fluglärmzonen. Hier wiesen die Probanden, die in der Fluglärmzone 2 wohnten (äquivalenter Dauerschallpegel berechnet nach dem Fluglärmgesetz: >67 bis 75 dB(A)), ein signifikant erhöhtes relatives Risik von OR=3,8 (KI=1,3-11,3) gegenüber denen außerhalb der Fluglärmzone 3 auf (<62 dB(A), gemäß Raumordnungsplanung). Bei Personen mit Wohnungen innerhalb der Fluglärmzone 3 (62 bis 67 dB(A)) war das Risiko leicht erniedrigt. Auch bezüglich der Lebenszeit-Prävalenz ergab sich ein erhöhtes, aber nicht signifikantes, Risiko für Probanden, die in der Fluglärmzone 2 wohnten von OR=2,3 (KI=0,7-7,2).
Das Risiko für ärztliche Behandlungen von **psychischen Störungen** zeigte bei Betrachtung der Perioden-Prävalenz keine signifikante Abhängigkeit vom äquivalenten Dauerschallpegel am Tage oder in der Nacht. Jedoch deutete sich bezüglich der nächtlichen Lärmbelastung ein Trend zu einem monoton ansteigenden relativen Risiko mit zunehmendem Straßenverkehrsgeräuschpegel an. Wurden nur Probanden in die Analyse aufgenommen, für die in den letzten zwei Jahren kein Wohnungswechsel zu verzeichnen war, so erhöhte sich das relative Risiko in der Pegelklasse über 55 dB(A) hypothesenkonform von OR=1,8 auf OR=2,0 (KI=0,7-5,5), erreichte aber ebenfalls keine statistische Signifikanz. Eindeutig war der statistische Zusammenhang mit der subjektiv empfundenen Störung durch Verkehrslärm am Tage. Bei der Perioden-Prävalenz von psychischen Störungen ergab sich eine hoch signifikante Risikoerhöhung von OR=2,7 (KI=1,3-5,6) für „stark“ (Kategorien 3+4+5 auf 5-stufiger Skala) gestörte Probanden gegenüber „wenig“ gestörten Probanden (Kategorien 1+2), die auch für die kombinierte Störung durch Flug- und Straßenverkehrslärm mit OR=2,9 (KI=1,4-6,0) zu verzeichnen war. Bezüglich der nächtlichen Störung durch Straßenverkehrslärm war das Risiko für die „stark“ gestörte Gruppe der Probanden dagegen mit OR=1,5 (KI=0,7-3,1) geringer und nicht mehr signifikant.
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die statistischen Analysen mehrheitlich für die nächtliche Lärmbelastung (monoton steigende) Dosis-Wirkungs-Beziehungen erkennen ließen, was nach den Ergebnissen vorliegender experimenteller Studien nicht unerwartet und psychobiologisch plausibel ist. So ist die Empfindlichkeit des menschlichen Organismus (zirkadianer Rhythmus) gegenüber Lärm in der Nacht bei in der Regel stark eingeschränkter Mobilität deutlich höher als am Tage. Am Tage ist von sehr unterschiedlichen

Aktivitätsprofilen der Probanden und damit unterschiedlichen Belastungssituationen auszugehen. Vor diesem Hintergrund ist für die Bewertung gesundheitlicher Risiken eine unabhängige Erhebung der nächtlichen Geräuschbelastung in Lärmwirkungsstudien nicht nur sinnvoll, sondern zu fordern. Die vorliegende Studie ist eine der wenigen epidemiologischen Studie, in der unabhängig von der Schallbelastung am Tage auch die Schallbelastung in der Nacht als unabhängigen Risikofaktor für Erkrankungen unter Dosis-Wirkungsgesichtspunkten untersucht wurde.

Ein zweiter wesentlicher Beitrag der Studie zum wissenschaftlichen Kenntnisstand ist der direkte Vergleich zwischen der objektiven Schallbelastung (äquivalente Dauerschallpegel) und der subjektiv empfundenen Störung durch Lärm, im Hinblick auf den möglichen Zusammenhang mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Die Störung durch Lärm zeigte insgesamt einen deutlich schwächeren Zusammenhang mit der relativen Häufigkeit ärztlicher Behandlungen als der nächtliche Dauerschallpegel an der Wohnung. Andererseits bestand ein deutlicher Zusammenhang zwischen psychischen Störungen und dem Lärmerleben (subjektiv empfundene Störung), der auch in der Literatur wiederholt berichtet wurde. Dort wird die Vermutung geäußert, dass dieser Zusammenhang stark durch nicht-akustische Komponenten bestimmt ist.

Ein dritter Aspekt dieser Studie betrifft den Vergleich zwischen Straßenverkehrslärm und Fluglärm hinsichtlich des Zusammenhangs mit den gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Bei grober Betrachtung der Studie könnte man geneigt sein, die Ergebnisse insgesamt in Richtung einer stärkeren gesundheitlichen Beeinträchtigung durch Straßenverkehrslärm als durch Fluglärm zu interpretieren. Diese Schlussfolgerung kann jedoch bei einer detaillierteren Betrachtung nicht aufrechterhalten werden, da die Fluglärmbelastung u. a. nicht – wie beim Straßenverkehr für jede Wohnadresse aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen berechnet – in vergleichbaren Pegelkategorien klassifiziert werden konnte wie der Straßenverkehrslärm, sondern anhand der 1976 (1984) bestimmten Fluglärmzonen quantifiziert wurde. Insofern sind direkte quantitative Vergleiche zwischen Straßenverkehrslärm und Fluglärm nicht möglich. Zusätzlich ist bei der Interpretation der Befunde zur nächtlichen Störung durch Fluglärm zu berücksichtigen, dass die überwiegend in Spandau wohnende Kohorte mit dem Fluglärm des Flughafens Berlin-Tegel belastet war und für diesen Flughafen eine besondere Nachtflugregelung besteht, die von 22:00 bis 5:00 Uhr keine planmäßigen Starts und Landungen zulässt. Ausgenommen von dieser Regelung sind verspätete Starts und Landungen planmäßiger Maschinen bis 23:00 Uhr. Die nächtliche Fluglärmbelastung in Spandau ist demzufolge im Vergleich mit anderen Verkehrsflughäfen als eher moderat einzustufen. Ein Vergleich zwischen beiden Lärmarten hinsichtlich der gesundheitlichen Wirkungen kann vor diesem Hintergrund nur mit der Lärmbelastung am Tage erfolgen. Hier bestanden in der Studie ähnliche, aber nicht signifikante, Tendenzen in Richtung eines erhöhten Risikos für Hypertonie jeweils in der höchsten Lärmkategorie.

Für die Bewertung des potenziellen Einflusses von Umweltlärm auf die untersuchten Erkrankungen besteht weiterer Forschungsbedarf. In zukünftigen Lärmstudien sollte zwischen der Lärmbelastung tags und nachts explizit unterschieden werden. Dies betrifft den Straßenverkehrslärm ebenso wie den Fluglärm. Die Ergebnisse des Spandauer Gesundheits-Survey zum Straßenverkehrslärm unterstützen die Vermutung, dass die nächtliche Lärmbelastung möglicherweise eine wesentlich stärkere Rolle bei der Entstehung gesundheitlicher Beeinträchtigungen spielt als die Lärmbelastung am Tage – insbesondere, was Beeinflussungen des Herz-Kreislaufsystems anbetrifft.

Die aus dem allgemeinen Stressmodell abgeleitete und in Lärmwirkungsexperimenten beobachtete enge Verzahnung zwischen Immunsystem, Nervensystem und endokrinem System deutete sich in dieser Studie für langjährige Verkehrsgeräuschbelastung auch auf epidemiologischer Ebene an. So ergaben sich Hinweise auf die Möglichkeit, dass die Prävalenz von ärztlichen Behandlungen aufgrund von Asthma bronchiale und Krebserkrankungen mit steigender Schallbelastung der Wohnungen der Probanden zunimmt. Dies könnte über Störungen des Immunsystems vermittelt sein. Da derartige Wirkungsmechanismen jedoch sehr komplex sind, und wesentliche andere Einflussfaktoren und Ursachen für diese Krankheiten in dieser Studie nicht kontrolliert werden konnten (z. B. arbeitsplatzbedingte Exposition, familiäre Vorbelastung), sind diese Untersuchungsergebnisse mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren. Auch Luftschadstoffe, die im Verkehr die gleiche Herkunft haben, wie der Lärm, könnten hier einen starken konfundierenden (Ergebnis-verzerrenden) Einfluss ausgeübt haben.
Bei der Untersuchungs-Stichprobe handelt es sich um ein selektiertes Probandenkollektiv, in dem sich aufgrund des Ziehungsschlüssels überwiegend ältere, gesundheitsbewusste Personen befanden. Es ist nicht auszuschließen, dass überproportional viele Personen mit Gesundheitsproblemen an dem Gesundheits-Survey teilnahmen, der den Probanden eine regelmäßige und umfangreiche Kontrolle ihres Gesundheitszustandes ermöglichte. Insofern wäre es möglich, dass gewissermaßen eine Risikogruppe untersucht wurde, in der Lärmeffekte sich stärker manifestieren könnten als in der Allgemeinbevölkerung.
In der vorliegenden Untersuchung wurden statistische Zusammenhänge zwischen der Umweltlärmexposition der Probanden des SGS vorwiegend bei Wirkungsendpunkten im Bereich des Herz-Kreislauf-Systems beobachtet. Dies ist in Übereinstimmung mit einer Reihe anderer epidemiologischer Lärmstudien. Aufgrund der Vielzahl der getesteten Zusammenhänge zwischen Lärmvariablen und möglichen gesundheitlichen Wirkungen und aufgrund methodischer Grenzen (Querschnittstudie) hat die vorliegende Untersuchung in erster Linie explorativen Charakter und dient neben der Verfestigung bestehender Wirkungshypothesen auch der Ableitung von neuen Wirkungshypothesen, die in weiteren analytischen Studien zu überprüfen sind. Darüber hinaus gibt sie Hinweise auf verbesserte methodische Ansätze, was die Bestimmung und statistische Behandlung der Lärmexposition der Untersuchungspersonen in derartigen Studien anbelangt.

SUMMARY

Since 1982 a longitudinal survey has been carried out which is called the „Spandauer Gesundheits-Survey“ (Spandau Health Survey [SGS]). This survey is directed by the Robert Koch Institute in cooperation with the local health authorities of the borough office (“Bezirksamt”) of Berlin-Spandau. In this survey, the state of health of the participants is examined every two years, to derive general prevention strategies. Different from many other epidemiological studies, where the basis for the recruitment of subjects is an explicit sampling frame, is that the Spandauer cohort was made up of persons who heard of the study through appeals and were interested to take part in it. The 9th round of the SGS involved 2015 test subjects, 1714 took part in the study at least for the 5th time.
The Spandauer Gesundheits Survey should give the participants the possibility to have their own state of health regularly checked during several years, so that noticeable changes in their state of health can be detected early and a medical treatment can be carried out as soon as possible. In case of risk factors (overweight, high blood pressure, dysfunction of the lipid metabolism etc.) the test subjects were specifically informed about prevention measures and courses for health improvement that were offered by the Bezirksamt (borough office). The medical and case history data collected during the study comprised among other things interviews, measurements and medical consultations regarding:

- social-economic data (age, sex, education, profession, marital status etc.)
- nutrition (e. g. lipid metabolism, liquid metabolism)
- consumption of alcohol and tobacco
- state of health
- active health prevention

as well as

- high blood pressure
- examination of urine
- height and weight
- respiratory function
- blood tests.

All participants received a medical evaluation of their “health check” and were requested to go to a doctor if there were clear diagnostic findings.
The SGS was a collective of subjects, which consisted mainly of older, health-conscious persons that were observed medically and looked after for many years. Thus, the survey permits comparative analysis. Nearly half of all participants of the Spandau survey stated in the 9th round that they paid very much attention (14 %) or much attention (35 %) to their own state of health. Only about 5 % of the participants paid less or no attention to their state of health. The average age of the participants was 60 years. The youngest participant was 18 years old, the oldest 90 years.
In addition to the obligatory data collection in the 9th round of the SGS, the noise exposure of the participants was determined outside of their homes, and they were asked how much they were disturbed by traffic noise in their homes. The sound level caused by road traffic at their homes was taken from noise maps of the Berlin Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (the “Berlin office for city development”) for the day and the night period. The database provided a map for each address, which made it possible to measure the location of the house (of the apartment) in relation to the street. This site information obtained from the noise map was completed or adjusted using questionnaire data from the subjects regarding the location of

their living rooms and bedrooms. Based on these data, the study subjects were grouped into 5 dB(A)-categories of the average A-weighted continuous sound pressure level (sound "immission" level).
In a sub-sample of the SGS (96 residences) the sound pressure level was measured for 24 hours continuously at the facades of the subjects' homes. By means of the measured sound pressure levels for day and night, the database levels were checked and correction factors for the location categories of the residences were determined. In addition, for each address the retrospective noise exposure caused by road traffic was determined for the years 1982 and 1993. A comparison of the continuous sound pressure levels showed that the noise exposure caused by road traffic at the residences had not changed significantly since 1993. At the time of the 9th round, more than 50 % of the test subjects had lived longer than 25 years, 75 % longer than 15 years and 85 % longer than 10 years in the respective residences. The long occupancy of the "Spandau" study subjects and the nearly constant road traffic noise exposure permits it to record chronic effects of the stress caused by traffic noise on the state of health by means of the SGS. For the participants, who were exposed to aircraft noise in their residences, the flight noise exposure was also considered in the evaluation, on the basis of the aircraft noise zones of the airport Berlin-Tegel.
By means of the questions „How much do you feel disturbed in your apartment / in your house by the following sound sources during the day (during the night)", the individual disturbances by traffic noise, aircraft noise and rail and industry noise were determined. Apart from the disturbances by noise, the noise sensitivity was assessed by questionnaire, as well as information about living rooms and bedrooms in reference to the surrounding streets. In total, 1801 test subjects filled in the additional questionnaire.
The examination of statistical associations between the noise exposure and health outcomes must account for the fact, that both diseases and risk factors are affected by many different factors. Therefore, multiple statistical methods must be considered in the analyses that are orientated with the pathogenic mechanism and the scales of the collected variables. In this study the multiple logistic regression-technique was applied. "Odds ratios" (OR) were calculated as estimators of the relative risk for the occurrence of an event (e.g. prevalence of a disease) and its dependence on the examined factor (noise exposure) and maybe other influencing factors (control variables). In total, 12 control variables were included in the logistic regression, which in the case of diseases of the cardiovascular system, are assumed to influence the result. These variables were "age", "gender", "body mass index", "social-economic index", "loss of spouse", "consumption of alcohol", "consumption of tobacco", "physical activity at work", "sports", "noise sensitivity", "hearing ability" and "season of the examination". With respect to other health endpoints (e.g. the immunological/allergical mediated areas), the set of control variables has to be regarded as less complete. Therefore a careful interpretation of these statistical effects is necessary.
The noise related analyses were carried out in the sub-sample that consisted of all subjects, who had filled in the noise questionnaire (N = 1718). The study found statistical associations between the night traffic noise exposure at the residences of the test subjects (22:00–6:00 o'clock) and disorders of the cardiovascular system (medical treatment for hypertension), the immune system (medical treatment for asthma) and the metabolism (medical treatment for high levels of blood lipids). The sound pressure level during the day (6:00–22:00 o'clock) however, was much less associated with the prevalence of medical treatment of the examined risk factors and diseases (exception: chronic bronchitis). For the prevalence of medical treatment of mental diseases, however, a strong association with the subjectively perceived disturbance by noise during the day was found.
Some findings are briefly introduced below. The statistical evaluation distinguishes between the "period-prevalence" (medical treatment in the interval between the 8. and 9. round of the SGS) and the "lifetime-prevalence" (medical treatment in the course of life). As an estimator

of effect, the relative risk (calculated as odds Ratio (OR)) was used and was indicated with the respective 95%-confidence interval (CI).
Regarding medical treatment for **hypertension,** a significant increase in the risk was noted for the period-prevalence, if the equivalent continuous sound pressure level of the nocturnal street traffic noise exceeded 55 dB(A). The relative risk was approximately OR=1.9 (CI=1.1-3.2) in comparison with locations where the equivalent continuous sound pressure level was below 50 dB(A) (reference category). If only test subjects were considered in the analysis that had not moved house during the last two years, marginally increased results were found. For an outside level of 55 dB(A) and an open bedroom window, the relative risk rose to OR=6.1 (CI=1.3-29.2) in comparison with other test subjects who slept with open window where the sound pressure level during the night outside their bedroom window was below 50 dB(A). The evaluation of the retrospective medical history data, confirmed the special meaning of the noise exposure during the night for the development of hypertension. The risk for treatment of hypertension was also increased significantly in the course of life (lifetime- prevalence) for subjects from homes with a continuous sound pressure level during the night of more than 55 dB(A) (OR = 1.8; CI=1.1-2.9).
The risk of medical treatment for **increased blood lipids** (period-prevalence) was increased if the equivalent continuous sound pressure level of the traffic noise at the subject's homes exceeded 55 dB(A) (in comparison with test subjects from the reference category below 50 dB(A)). The odds ratio was OR=1.5 (CI=0.9-2.5) and was borderline significant. For an outside level of 55 dB(A) and with an open bedroom window, the relative risk increased in accordance with the working hypothesis to OR=1.8 (CI=0.6-5.4), but was not significant. The evaluation of treatment for increased blood lipids during lifetime (lifetime-prevalence) confirmed the increased risk for test subjects in residences with an estimated odds ratio of OR=1.5 (CI=0.9-2.3).
The relative risk of medical treatment for **chronic bronchitis** (period-prevalence) was significantly dependent on the equivalent continuous sound pressure level of the traffic noise during the day. The odds ratio was increased in comparison with the reference category for all higher noise categories (OR between 1.6 and 3.6), but contrary to the working hypothesis, no dose-effect relationship was found. The higher risk decreased for higher sound levels categories (categories >60-65 dB(A) and >65 dB(A)). For the nocturnal noise exposure, no association was found with the medical treatment for chronic bronchitis. The evaluation of the treatments during lifetime (lifetime-prevalence) confirmed this heterogeneous finding. For the equivalent continuous sound pressure level during the day, a significant relative risk for the sound pressure level classes 60-65 dB(A) was found (OR=2.7; CI=1.0-7.4), but the relative risk in the highest noise category (more than 65 dB(A)) was close to 1. No dose-effect relationships could be observed.
The relative risk of medical treatment for **bronchial asthma** (period-prevalence) showed no significant dependence on the equivalent continuous sound pressure level of traffic noise during day or night. However, the evaluation of treatments during the course of life (lifetime-prevalence) led to a different result. Also for the equivalent continuous sound pressure level during the day no significant association was found, but with increasing noise exposure a tendency to increasing risks could be seen. As far as the noise exposure during the night is concerned, from the medial history data (lifetime-prevalence) a significant association with medical treatments for bronchial asthma could be observed, if the equivalent continuous sound pressure level during the night exceeded 55 dB(A) at the subjects' homes (OR=1.5; CI=1.0-2.5).

A health end-point derivable from the general stress model, which had never before been investigated in noise effect research, is **cancer**. Cancer illnesses could possibly appear as a result of a disturbed immune system caused by chronic noise stress. A tendency to a trend of increasing medical treatment for cancer was indicated with regard to nocturnal noise for the period-prevalence. This was not the case regarding the lifetime-prevalence. The risk of the test subjects in the nocturnal noise level category for more than 55 dB (A) was highly increased compared to the reference category of less than 50 dB(A) (OR=4,2; CI=0.9-20.0). The statistical significance was not reached, however, and the confidence interval for the estimator of the relative risk was very large.
The relative risk of medical treatment for **illnesses of the thyroid gland** (period-prevalence) showed no significant dependence on the equivalent continuous sound pressure level of street traffic noise, neither during the day nor during the night. However, a considerable dependence on the number of medical treatments of illnesses of the thyroid gland could be observed with regard to aircraft noise zones. Here the risk for the test subjects who lived in the aircraft noise zone 2 (Leq(q=4) = 67 to 75 dB(A)) was significantly increased to a value of OR = 3.8 (CI=1.3-11.3) compared to test subjects who lived outside the aircraft noise zone 3 (Leq(q=4) < 62 dB(A)). Subjects with homes within the aircraft noise zone 3 (Leq(q=4) = 62 to 67 dB(A)), however, had a slightly lower risk. A higher but non-significant risk for test subjects who lived in the aircraft noise zone 2 was also seen with respect to the lifetime-prevalence (OR=2.3; CI=0.7-7.2).
Regarding period-prevalence, the relative risk of medical treatment for **psychic disorders** showed no significant dependence with the equivalent continuous sound pressure level during the day. However, there was a monotone trend of increasing medical treatments of psychic disorders with increasing continuous sound pressure level during the night. If only subjects were considered who did not move house in the last two years, the relative risk of the group above 55 dB(A) increased in accordance with the working hypothesis from OR=1.8 (all subjects) to 2.0 (CI=0.7-5.5), but did not reach significance. However, there was a clear statistical association with the subjective disturbance caused by traffic noise during the day. Regarding period-prevalence of psychic disorders, a highly significant increase in risk (OR=2.7; C=1.3-5.6) was found for considerably disturbed test subjects (categories 3+4+5 on 5-graded scale) compared to less disturbed subjects (categories 1+2). This was also found for the combined disturbance caused by aircraft noise and street traffic noise (OR=2.9; CI=1.4-6.0). However, concerning the disturbance due to traffic noise during the night, the relative risk was lower (OR=1.5; CI=0.7-3.1) and not significant any more.
To summarize, it can be concluded that with respect to the nightly noise exposure most of the statistical analyses showed regularly increasing dose-effect relationships. This is not unexpected. It is psycho-biologically plausible and in accordance with the results of experimental noise studies. During the night, when the individual's mobility normally is strongly restricted, the sensitivity of the human organism (circadian rhythm) towards noise seems to be considerably higher than during day. During the day, very different activity patterns of the subjects and consequently different noise situations have to be considered. In order to evaluate the risk to health, an independent assessment of the noise exposure during the night appears to be reasonable and would have to be acquired for noise studies. The present study is one of a few epidemiological studies worldwide, which, independent of noise exposure during the day, also considers the noise exposure during the night as an independent risk factor for illnesses with regard to dose-effect relationships.
A second essential contribution of the present study to scientific knowledge is the direct comparison between the objective noise exposure (equivalent continuous sound pressure level) and the subjective perception of the noise (disturbance) with respect to possible negative effects on health. All in all, the subjective disturbance by noise showed a considerably lower association with the prevalence of medical treatments than the sound pressure level during the

night at the subjects' homes. On the other hand, there was a clear association between psychic disturbances and the individual's experience with noise (perceived disturbance), which was also reported in the literature. However, it is expressed in the literature that this association may be strongly determined by non-acoustical components.
A third aspect of the study is concerned with the comparison between traffic noise and aircraft noise concerning negative effects on health. Considering the study as a whole, a crude interpretation of the results might be that road traffic noise has a greater negative effect on health than aircraft noise. However, on closer inspection, this conclusion cannot be proved, as among other things the aircraft noise exposure could not be calculated for each residence considering the actual volume of traffic nor be classified in comparable category levels – as is the case for road traffic noise. It was quantified on the basis of the aircraft noise zones determined in 1976 (1984). Thus, quantitative comparisons are not possible. Moreover, it has to be considered that the cohort - which is mainly living in the district of Spandau - was affected by the aircraft noise of the airport Berlin-Tegel. For this airport there is a special regulation concerning night flights, i.e. from 22:00 o'clock until 5:00 o'clock no scheduled take-offs and landings are allowed. Only late take-offs and landings of scheduled aircrafts until 23:00 o'clock are excluded from this regulation. In comparison with other airports the aircraft noise exposure in Spandau has to be considered as rather moderate. Considering these facts, a qualitative comparison between road traffic and aircraft noise regarding the association with negative effects on health can only be made with traffic noise during the day. Here, the study showed similar but non-significant tendencies towards an increased risk of hypertension in the highest noise category.
There is further research need for the assessment of the potential impact of environmental noise on the examined illnesses. In future, noise studies should distinguish explicitly between the noise exposure during the day and during the night. This applies to the road traffic noise as well as the aircraft noise. Regarding road traffic noise, the results of the Spandau Health Survey support the assumption, that the nightly noise exposure plays a fundamentally stronger role in the emergence of health disorders than the noise during daytime - particularly in the area of the cardiovascular system.
In accordance with the general stress model, the interaction of immune system, nervous system and endocrine system, which was observed in noise experiments, was indicated in this study for long-standing traffic noise exposure as well as at the epidemiological level. References to this possibility arose from the findings that the prevalence of medical treatment for bronchial asthma and cancer illnesses tended to increase with increasing sound exposure of the homes of the test persons. This could be due to disturbances of the immune system. These findings, however, have to be interpreted with caution since such effect mechanisms are very complex, and other essential influencing factors and causes for these diseases could not be controlled in this study (e.g. occupational exposures, family history). Also air pollution contaminants, which have the same origin as the noise in the traffic, could have a strong confounding impact on the results.
The study sample consisted of a selected, predominantly older, health conscious group of test persons. It could not be ruled out that a disproportionate amount of people who took part in the health survey had regular health problems, since the survey made an extensive checking of their health status possible. In this respect it would be possible that a risk group was examined within which the noise effects could manifest themselves more strongly than in the general population.
Statistical associations between the environmental noise exposure of the test subjects of the SGS and health endpoints in the area of cardiovascular system were closely observed. This is in agreement with a number of other epidemiological noise studies. Due to the variety of the tested associations between noise variables and possible health effects, and due to methodical limitations (cross-section study), the present study has mainly an exploratory character. It

supports the derivation of new effect hypotheses as well as the manifestation of existing effect hypotheses. The new effect hypotheses must be tested in further analytic studies. Furthermore the study gives references to improved methodical approaches, regarding the determination and the statistical handling of the noise exposure of the subjects in such epidemiological studies.