

Inhaltsverzeichnis

4.6	Medizin und Umwelthygiene	2
4.6.1	Einleitung / Methodik des Fachbereichs.....	2
4.6.2	Geänderte Grundlagen / Voraussetzungen.....	2
4.6.3	Überprüfung der Umweltauswirkungen 2020	20
4.6.4	Beurteilung der Umweltauswirkungen 2025	20
4.6.5	Gesamtbeurteilung der Umweltverträglichkeit aus Sicht des Fachbereichs	20

4.6 Medizin und Umwelthygiene

4.6.1 Einleitung / Methodik des Fachbereichs

Die aktualisierte Flugverkehrsprognose Intraplan (Sonstige Unterlagen 30.35) machte es erforderlich, die Aussagen des Fachbereiches Medizin und Umwelthygiene dahingehend zu prüfen, ob sich die Beurteilung der Umweltauswirkungen aus Sicht des Fachbereiches ändert.

Durch die Vorlage dieser neuen Grundlage allein und der damit verbundenen Neuberechnung der Fluglärmmzonen ändert sich nichts an den medizinischen Schwellenwerten wie im Fachbeitrag 02.170 Medizin und Umwelthygiene der UVP-Einreichung enthalten. Diese sind auf die nunmehr ermittelten Lärmwerte anzuwenden.

Es war jedoch des Weiteren anhand zwischenzeitlich veröffentlichter Studien und Literatur zu prüfen, ob neuere Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung hinsichtlich der ursprünglichen Aussagen des Fachbereiches Änderungen erforderlich machen. Dazu wurde eine umfassende Literatursichtung durchgeführt und jüngste Publikationen in Kontext zur ursprünglich herangezogenen Fachliteratur gesetzt. Das Ergebnis vorwegnehmend kann zusammengefasst werden, dass keine Änderung der Gesamtbeurteilung des Fachbeitrags Medizin und Umwelthygiene erfolgt.

Insbesondere die Veröffentlichung der Night Noise Guidelines (NNGL) der WHO im Jahre 2009 machten es notwendig, das Kapitel Fluglärmwirkungen während der Nacht nochmals zu betrachten. Zusätzlich werden neuere epidemiologische Studien über den Zusammenhang von Fluglärm und Herz-Kreislaufkrankungen angeführt. Es wird jeweils ein Gesamtüberblick über den Stand der Lärmwirkungsforschung gegeben und bei neueren Erkenntnissen diese an entsprechender Stelle ergänzt. Abschließend erfolgt ein Vergleich neuerer Beurteilungslärmwerte (unter Berücksichtigung der WHO NNGL) mit jenen im Fachbeitrag 02.170 vorgesehenen Werten.

4.6.2 Geänderte Grundlagen / Voraussetzungen

Der folgende Text gliedert sich in drei Abschnitte:

- Fluglärmwirkungen während der Nacht
- Epidemiologische Studien zum Zusammenhang von Fluglärm und Herz-Kreislaufkrankungen
- Bewertung der ergänzenden Literatur und Begründungen für Begrenzungen

Fluglärmwirkungen während der Nacht

Schlafstörung per se ist nicht mit einem einheitlichen Konzept zu untersuchen. Hinsichtlich der Messung von Schlafstörungen wird eine Vielzahl von Methoden herangezogen. Diskutiert werden im Folgenden hauptsächlich die Feldstudien, die eine Quantifizierung der Reaktionen anhand von Dosis-Wirkungsbeziehungen ermöglichen. Die Häufigkeit und das Ausmaß von Schlafstörungen werden von zahlreichen akustischen und nicht-akustischen Faktoren (situativen und individuellen) beeinflusst, wodurch die geringe Varianzaufklärung von nur etwa 20% der Schlafstörung-Fluglärmpegel-Beziehung begründet ist (Michaud et al 2008). Während die akuten Reaktionen mit dem Fluglärm in ursächlichem Zusammenhang stehen und diesem eindeutig zugeordnet werden können, ist bei den Folgeaktionen eine Zuordnung zu den Schallereignissen kaum möglich. Bei diesen haben eine Reihe von qualitativ unterschiedlichen Stressoren sowohl einen Einfluss auf die über die gesamte Nacht erfassten Reaktionen als auch auf die subjektive Bewertung des Schlafes bzw. die Durchführung von Leistungstests am nächsten Morgen.

Akute Reaktionen (objektive Parameter)

Die Bandbreite der akuten, objektiv messbaren Reaktionen auf Fluglärm erstrecken sich von bewussten Aufwachreaktionen, nicht erinnerbaren Schlafstadienveränderungen über Körperbewegungsmessungen bis zu subtilen Veränderungen von vegetativen Funktionen, wie Herzschlagfrequenz, Blutdruck und Ausscheidung von Stresshormonen (Cortisol, Adrenalin, Noradrenalin).

Als gemeinsame Ursache dieser vielfältigen, unspezifischen Reaktionen sind zentralnervöse Aktivierungsprozesse (aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem und vegetatives Aktivierungssystem) zu sehen, welche als Folge der über das Hörorgan vermittelten Schallreize entstehen.

Die EEG-Aktivierungen werden abhängig von der Dauer der Aktivierung in aufsteigender Folge in EEG-Arousal, Aufwachreaktion und erinnerbare Aufwachreaktion unterteilt.

EEG-Aufwachreaktionen, gemessen mit der Methode der Polysomnographie, sind dabei der „Golden Standard“ der Schlafforschung. Damit können auch die kurzzeitigen EEG-Arousals detektiert werden (Bonnet et al 2007, Iber et al 2007), welche auch im engen Zusammenhang mit kurzzeitigen Aktivierungen des vegetativen Nervensystems (monophasische, prolongierte Herzfrequenzerhöhungen und Blutdruckerhöhungen) stehen (Basner et al 2007b, Sforza et al 2004). Insbesondere die monophasischen, prolongierten Herzfrequenzerhöhungen (ohne Gegenregulation) und Blutdruckerhöhungen sind von besonderer gesundheitlicher Relevanz, da sie auf Dauer zu Herzgefäßerkrankungen beitragen könnten (Babisch 2006).

Während EEG-Aktivierungen und vegetative Aktivierungen unmittelbar bei Einzelschallereignissen messbar sind, sind Aktivierungen des neuro-endokrinen Systems (Ausscheidung von Stresshormonen) nur als kumulierte Reaktionen über bestimmte Zeiträume messbar.

Bezogen auf den Schallpegel wird das Ausmaß der Reaktion im Wesentlichen aber durch den Maximalpegel und weniger durch den äquivalenten Pegel im Innenraum bestimmt (Griefahn et al 2006, Marks et al 2008, Basner et al 2007a, 2008a).

EEG-Schlafuntersuchungen

In medizinischen Schlafstudien wird als aussagekräftigste Methode zur Beurteilung der Schlafqualität die Polysomnographie angewendet. Diese standardisierte Methode ermöglicht die gleichzeitige Aufzeichnung eines Hirnstrombildes (EEG), von Augenbewegungen (EOG) und Muskelspannungen (EMG) und ermöglicht damit eine valide und zuverlässige Quantifizierung des Schlaf- und des Wachzustandes sowie der Schlaftiefe.

Insgesamt gesehen decken EEG-Aufwachreaktionen eine Vielzahl von möglichen Schlafstörungsindikatoren ab und sind im Gegensatz zu anderen Schlafstörungsindikatoren, wie Aktimetrie und Behavioral Confirmed Awakening, auch besser standardisiert (Brink et al 2006). Als Nachteil ist die mögliche Beeinflussung des Schlafes durch die Elektroden sowie die notwendige höhere Fachexpertise für die Auswertung der Daten zu sehen. Darüber hinaus erfordert die Polysomnographie einen erheblichen methodischen Aufwand, sodass nur wenige Feldstudien bezüglich Fluglärm und Schlaf existieren. Diese wurden zum Teil an kleinen Kollektiven mit einer geringen Anzahl an Probandennächte durchgeführt (Ehrenstein et al 1982, Vallet et al 1980) oder es konnten Schalldruckpegel nur außen und nicht im Schlafzimmer gemessen werden (Ollerhead et al 1992, Hume et al 2003). Die Außenpegel sind aber kein zuverlässiger Indikator für die Messung von Schlafstörungen (Fidell et al 2000, Passchier-Vermeer et al 2002, Basner et al 2006).

Die bisher umfangreichste Studie sowohl im Labor als auch im Feld wurde vom deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Zeitraum von 1999-2003 mit insgesamt 2.240 Probandennächten durchgeführt (DLR-Studie). Hierbei wurden neben Polysomnographie und biochemischen Messparametern auch weitere physiologische Parameter wie EKG und Fingerpulsamplitude (vegetative Reaktionen) untersucht. Zusätzlich wurden auch die subjektive Einschätzung der Belastung und Belästigung erfasst und psychologische Leistungstests durchgeführt (Basner et al 2004, 2005, 2006a,b, Quehl et al 2005, Maaß et al 2006).

In der DLR-Feldstudie in der Umgebung des Flughafens Köln-Bonn wurden 64 Personen im Alter von 19-61 Jahren in je 9 aufeinanderfolgenden Nächten (576 Personen-Nächte) untersucht. Alle nachgewiesenen Effekte waren unter Feldbedingungen erheblich geringer als unter Laborbedingungen, auch bei 20 Personen, die bereits bei der Laborstudie teilgenommen hatten. In der Feldstudie variierten die gemessenen Maximalpegel am Ohr des Schläfers zwischen 20-73 dB und als Schwelle zusätzlicher fluglärmbedingter EEG-Aufwachreaktionen ergab sich ein Maximalpegel innen von ca. 33 dB. Danach wurde ein monotoner aber mäßiger Anstieg der Aufwachwahrscheinlichkeit von etwa 2% pro 10 dB bis etwa 10% bei 73 dB ermittelt.

Eine durchschnittliche Anzahl von 24 spontanen, nicht durch Fluglärm induzierten EEG-Aufwachreaktionen pro Nacht wurde ermittelt. Andere Fluglärmstudien ermittelten 17 (Ollerhead et al 1992) bzw. 10-12 (Passchier-Vermeer 2003) spontane EEG-Aufwachreaktionen. Die höhere Spontanrate in der DLR-Feldstudie ist großteils darauf zurückzuführen, dass in dieser Studie ein präventivmedizinischer Ansatz gewählt wurde, indem als Indikator für eine Schlafstörung nicht nur ein Wechsel in das Wachstadium sondern auch ein Schlaftiefenwechsel in das oberflächliche Schlafstadium S1 miteinbezogen wurde. In der DLR-Feldstudie wurden mit drei verschiedenen Messgeräten die Schallpegel außen bzw. am Ohr des Schläfers (ereigniskorreliert) und die Hintergrundgeräusche zusätzlich separat gemessen. Dies ermöglichte eine genauere Zuordnung

der Reaktionen zu den einzelnen Fluggeräuschen. Es wurden auch nur diejenigen Fluggeräusche in die Auswertung miteinbezogen, bei denen nicht gleichzeitig ein Hintergrundgeräusch auftrat, welches eine Aufwachreaktion unabhängig vom Fluggeräusch hätte hervorrufen können. Weiters wurden die alleinigen, rein zusätzlichen Aufwachreaktionen durch Fluggeräusche in die Auswertung miteinbezogen. Da während einer fluggeräusch-induzierten Aufwachreaktion auch gleichzeitig eine Spontanreaktion hätte stattfinden können, welche die rein fluglärmbedingten Aufwachreaktionen überschätzen würde und in einem Schutzkonzept durch Lärmschutzmaßnahmen nicht eliminiert werden könnte, wurden Spontanreaktionen bei „virtuellen Fluggeräuschen“ berücksichtigt. Das heißt, es wurde bei jedem Fluggeräusch in den jeweils anderen Nächten derselben Person zum gleichen Zeitpunkt nach Schlafbeginn überprüft, ob ein Fluggeräusch stattfindet. Wenn zu diesem spezifischen Zeitbereich kein Fluggeräusch auftrat, Spontanreaktionen aber registriert wurden, so wurden diese berücksichtigt indem die Differenz zum Fluggeräusch gebildet wurde ($P_{\text{zusätzlich}} = P_{\text{induziert}} - P_{\text{spontan}}$).

Die im Vergleich zu älteren Feldstudien sowohl vom Umfang (Anzahl der Probanden) als auch unter besser kontrollierten Bedingungen durchgeführte, umfassendere DLR-Nachtfluglärmstudie erbrachte eine wissenschaftlich validere Dosiswirkungsbeziehung zwischen Maximalpegel und EEG-Aufwachreaktionen (Basner et al, 2004, 2005, 2006a).

Aus den Ergebnissen dieser Studie wurde ein vorsorgemedizinisches Wirkungs-kriterium in Abhängigkeit vom tatsächlichen Flugverkehrsaufkommen erstellt (weniger als eine zusätzliche Aufwachreaktion pro Nacht). Dieses Nachtschutzkonzept setzt dabei als Kriterium nicht einen einzelnen Wert fest, sondern betrachtet die gesamte Dosis-Wirkungsbeziehung oberhalb der empirisch beobachteten Wirkungsschwelle für signalisierte Schlafstörungen (physiologische Aufwachreaktionen) und verknüpft diese mit der akustischen Prognose. Damit wird auch die hinsichtlich der Aufwachreaktionen im EEG beobachtete höhere Wirksamkeit einer größeren Anzahl von leiseren Flugzeugen im Vergleich zu einer geringeren Anzahl von lauterer Flugzeugen bei Schallenergieäquivalenz miteinbezogen.

In diesem Schutzkonzept wird auch ein weiteres Kriterium mit einer Maximalpegel-Häufigkeit von höchstens 1x65 dB(A) angegeben, bei dem ein zusätzliches fluglärminduziertes erinnerbares Aufwachen weitgehend vermieden wird. Dieser Wert bezieht sich auf die DLR-Laborstudie, bei der die Probanden nach dem Aufwachen durch Fluggeräusche mit Maximalpegeln bis zu 65 dB nach 1,5 Minuten bereits wieder eingeschlafen waren. In der Literatur werden Schwellenwerte für die Dauer von Aufwachreaktionen zur Erlangung des Wachbewusstseins (erinnerbare Aufwachreaktionen) zwischen 2-4 Minuten angegeben (Ollerhead et al 1992, Baekeland et al 1971).

Ein erweitertes Prognosemodell für fluglärminduzierte Nachtschlafstörungen basierend auf Markov-Prozessen erlaubt auch die Abhängigkeiten der Aufwachreaktionen untereinander und unterschiedliche Betriebsszenarien zu modellieren (Basner et al 2006b).

Dieses Beurteilungskriterium für ein Nachtschutzkonzept wurde für den Flughafen Leipzig-Halle umgesetzt (Basner et al, 2005, Basner et al, 2006a), im Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 09.11.2006 bestätigt und die Anwohnerfreundlichkeit im Vergleich zu anderen Schutzkonzepten (wie z.B. Dauerschall und Maximalpegelhäufigkeiten) einschließlich dem novellierten deutschen Fluglärmgesetz betont.

Vergleiche mit dem im Fachbeitrag 02.170 angeführten Beurteilungswert für die Maximalpegel-Häufigkeiten von 13x53 dB nachts im Innenraum ergeben, dass bei dem entsprechenden Maximalwert von 53 dB das Nachtschutzkriterium der DLR-Studie (weniger als eine zusätzliche Aufwachreaktion pro Nacht) über 20 Einzelschallereignisse zulassen würde. Andererseits beinhaltet das Nachtschutzkonzept der DLR-Studie aber die gesamte Dosis-Wirkungsbeziehung und damit würden auch die Werte zwischen dem Schwellenwert von 33 dB bis zu 53 dB berücksichtigt werden.

Aufwachreaktionen mit der Drückermethode - Signalisiertes Aufwachen (Behavioural Confirmed Awakening)

Bei der Drückermethode werden die Probanden angewiesen bei jedem Erwachen eine Reaktionstaste zu betätigen (Behavioural Confirmed Awakening). Diese Drückermethode ermöglicht Untersuchungen an großen Personengruppen im Feld. In einer Metaanalyse von Feldstudien wurde eine Wirkungsschwelle für bewusstes, signalisiertes Aufwachen (behavioural confirmed awakening) bei Maximalpegeln von 42 dB, danach ein monotoner, sehr geringer Anstieg der Aufwachwahrscheinlichkeit von weniger als 1% bis Maximalpegeln von etwa 80 dB und durchschnittliche Spontanreaktionen von etwa 1,8 Mal pro Nacht ermittelt (Passchier-Vermeer 2003). Dosis-Wirkungsbeziehungen früherer Metastudien, welche weitgehend dieselben Studien beinhalteten, erbrachten höhere Werte (FICAN 1997, Finegold et al 2002). Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass diese früheren Studien nicht die durchschnittlich Exponierten sondern die maximal Exponierten betrachteten und nicht die Spontanreaktionen miteinbezogen (Berglund et al 2008).

In der Metastudie von Passchier-Vermeer (2003) wurde nach weitgehenden Anpassungen und Umrechnungen zur Vereinheitlichung der Daten zwar eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der Aufwachreaktionen mit der Drückermethode im Vergleich zu jenen auf Basis der EEG-Aufwachreaktionen gefunden. Allerdings geben die Autoren auch an, dass diese angepassten Dosis-Wirkungsbeziehungen nicht generell anwendbar sind (Passchier-Vermeer et al 2003). Zusätzlich bezogen sich nur etwa 1% der analysierten Daten auf EEG Untersuchungen.

Insgesamt gesehen, kann die Drückermethode sowohl zu einer Unterschätzung der Aufwachreaktionen als auch zu einer experimentell induzierten Störung des Schlafes führen.

Jedenfalls stellt die EEG-Polysomnographie Methode eine empfindlichere Methode dar, welche, im Gegensatz zur Drückermethode, die eine Signalisierung des Wachseins durch den Probanden erfordert, mit einer höheren Reaktions-wahrscheinlichkeit einhergeht.

Körperbewegungsmessungen (Aktimetrie)

Wegen der einfachen Handhabung, der ökonomischeren Auswertung und der geringen Belastung der Probanden wurde die Methode der Aktimetrie bei Lärmwirkungsstudien im Feld häufig verwendet. Mit einem Beschleunigungs-aufnehmer in Form eines Uhr-ähnlichen Gerätes werden die Körperbewegungen (Motilität) bei einer Überschreitung einer festgelegten Grenze registriert und aufgezeichnet.

Insgesamt zeigen die Dosis-Wirkungsbeziehungen der verschiedenen Feldstudien starke Abweichungen untereinander (Ollerhead et al 1992, Fidell et al 2000, Passchier-Vermeer et al 2002), welche auf methodische Unterschiede in den Messungen bzw. den Analysen und auf

verschiedenartige Definitionen von Körperbewegungen (motility, onset of motility) zurückzuführen sind (Michaud et al 2007).

In einer groß angelegten Feldstudie an 418 Personen in der Umgebung des Flughafens Amsterdam Schiphol wurden die Körperbewegungen während 11 Nächten aufgezeichnet (4518 Personen-Nächte) und die Schallpegel im Innenraum gemessen. Es wurde eine Wirkungsschwelle für einen unmittelbaren Anstieg an Körperbewegungen durch Fluglärm bei Maximalpegeln von 32 dB (Passchier-Vermeer et al 2002) und ein mäßiger monotoner Anstieg der Bewegungswahrscheinlichkeit bis etwa 7% bei Maximalpegeln von 70 dB ermittelt. Im Vergleich zu den unmittelbaren Reaktionen auf Fluglärmereignisse wurden bei Betrachtung der durchschnittlichen Bewegungsreaktionen über die ganze Nacht höhere Bewegungswahrscheinlichkeiten beobachtet. Dies deutet auf eine mögliche Persistenz der Einzeleffekte hin.

Trotz verschiedener Endpunkte entspricht der ermittelte Schwellenwert von etwa 32 dB jenem der DLR-Studie (33 dB). Die Dosis-Wirkungskurve zeigt aber einen geringeren Anstieg.

Im Vergleich zu den Feldstudien mit der Drückermethode zeigt die Aktimetrie insgesamt eine höhere Sensitivität durch eine größere Reaktionswahrscheinlichkeit bei niederen Maximalpegeln.

In früheren Feldstudien in der Umgebung von US-amerikanischen Flughäfen an kleineren Kollektiven mit einer geringeren Anzahl an Personennächten wurden höhere Schwellenwerte für Bewegungsreaktionen ermittelt (Fidell et al 2000). Bei der Feldstudie an britischen Flughäfen wurde ebenfalls die Aktimetrie verwendet, wobei jedoch die Schalldruckpegel nur außen und nicht im Schlafzimmer gemessen wurden (Ollerhead et al 1992).

Die Methode der Aktimetrie hat im Vergleich zur Polysomnographie zwar eine relativ gute Sensitivität (>90%), aber eine niedrige Spezifität, da eher Schlafstadien als Wachstadien detektiert werden (Ancoli-Israel et al 2003). Insbesondere wird die Einschlafdauer unterschätzt und die Gesamtschlafzeit überschätzt. Weiters werden diese Körperbewegungen während des Schlafs nicht nur als Folge von Aktivierungen ausgelöst, sondern auch durch die Notwendigkeit, Druckstellen zu vermeiden und einen besseren Blutfluss zu gewährleisten (Miedema et al 2003).

Akute hormonale Reaktionen

Die Messung von Stresshormonen ist nur in bestimmten Zeiträumen (meist über die gesamte Nacht) möglich und stellt somit eine kumulative Reaktion des Organismus auf zahlreiche Reize während des Sammelzeitraumes dar, in denen auch weitere Stressoren einwirken können. Daher lässt sich der Beitrag des Fluglärms vor allem in Feldstudien kaum quantifizieren.

Der in einigen Studien postulierte Nachweis des quantitativen Zusammenhanges zwischen dem Ausmaß der nächtlichen Lärmstörung und dem Grad der Veränderungen der Cortisol-Ausscheidungen beschränkt sich auf die ersten Nächte und ist insgesamt gesehen widersprüchlich (Maschke et al 1995 a,b; Evans et al 1995, Harder 1999).

Auch in einer neueren Substudie des HYENA Kollektivs konnten bei den Probanden nur an einem Tag die Kortisolkonzentrationen in Speichelproben am Morgen, zu Mittag und am Abend bestimmt werden (Selander et al 2009). Erhöhte Kortisolwerte wurden dabei nur in den Morgenproben und

nur bei Frauen, die Fluglärm mit einem LAeq24h über 60dB exponiert waren, festgestellt. Bei Männern konnte kein Zusammenhang von Fluglärm und Kortisol im Speichel beobachtet werden.

Den Ergebnissen dieser Forschungen kommt aber besondere Bedeutung zu, weil aus anderen medizinischen Bereichen der Zusammenhang zwischen biochemischen Parametern und Aspekten der Gesundheit bekannt ist. Die Veränderungen in den biochemischen Parametern können auch unterhalb erinnerbarer Aufwachreaktionen auftreten. In einer physiologischen Modellstudie wurde bei einer durch Fluglärm induzierten Ausscheidung des Stresshormons Cortisol eine tolerierbare Anzahl von Nachtflugbewegungen errechnet (Spreng 2004). Bei einer 8-stündigen nächtlichen Exposition von 13 Überflugeignissen mit einem Innenraum Lmax von 53 dB(A) würde, bei Anwendung dieses mathematischen Modells, der nächtliche Cortisol-Anstieg nicht akkumulieren, d.h. innerhalb der normalen Schwankungsbreite liegen. Eine Akkumulation von Cortisol kann sich dadurch ergeben, weil die Abbauphase im Körper im Durchschnitt 64 Minuten beträgt und damit mindestens um einen Faktor 10 länger ist als bei Adrenalin oder Noradrenalin. Daher wäre Cortisol, im Vergleich zu den Katecholaminen (Adrenalin und Noradrenalin), für eine Beurteilung des Nachtfluglärms ein viel aussagekräftigerer Messparameter. Insgesamt gesehen sind die in den Studien angewendeten Methoden zur Messung der Stresshormone zu wenig sensitiv, um kurzfristige lärmbedingte Aktivierungen und die damit möglichen gesundheitsbedingten Auswirkungen zu detektieren. Damit erklären sich auch die negativen Ergebnisse in der DLR-Feldstudie, in welcher weder bei Cortisol noch bei den Katecholaminen ein Zusammenhang mit dem Fluglärm gefunden wurde (Maaß et al 2006).

Akute kardiovaskuläre Reaktionen

Fluglärmereignisse während der Nacht können auch zu akuten Reaktionen in verschiedenen Parametern des Herz-Kreislaufsystems führen und wenige Sekunden bis Minuten andauern (Whitehead et al 1998).

In einer Laborstudie, bei der die Probanden Fluglärm exponiert waren und Polysomnographie und Elektrokardiographie (ECG) gleichzeitig durchgeführt wurden, zeigte sich, dass insbesondere stärker ausgeprägte, gesundheitsrelevantere vegetative Reaktionen (monophasische über eine Minute andauernde Herzfrequenzerhöhungen) mit gleichzeitigen Aufwachreaktionen einhergingen (Griefahn et al 2008). Diese Herzfrequenzerhöhungen waren vom Schlafstadium aber nicht von den akustischen Parametern des Lärmereignisses abhängig. Schwächer ausgeprägte Herzfrequenzerhöhungen (biphasisch mit einem Maximum nach 4-11 Sekunden) wurden auch ohne Aufwachreaktionen beobachtet. Diese waren sowohl vom Schlafstadium als auch von der Art der Lärmquelle abhängig (frühester Anstieg bei Schienenlärmereignissen, spätester Anstieg bei Fluglärmereignissen). Im Laufe der Nacht wurden keine Abschwächungen dieser Reaktionen beobachtet. Dies lässt vermuten, dass keine Habituation möglich war.

Andere Autoren berichten ebenfalls von fehlender Habituation vegetativer Reaktionen auch nach jahrelanger Fluglärmexposition, obwohl eine klare subjektive Habituation nach wenigen Nächten auftritt (Muzet 2007). Demgegenüber konnte Basner et al (2008b) in dem großen Laborkollektiv der DLR-Studie eine Habituation der Herzaktivierungen im Elektrokardiogramm (ECG) innerhalb einer Nacht feststellen, welche ein Plateau bei 32 Einzelschallereignissen aufwies. In dieser Laborstudie wurden bei 112 Probanden (985 Probandennächten) systematisch die EEG-Aufwachreaktionen mit der Polysomnographie mit automatisch detektierten

Herzaktivierungen verglichen. Mit einem einfacheren Einzelkanal-Elektrocardiogramm wurde ein ECG basierter Algorithmus verwendet (Basner et al 2007b), welcher automatisch den Beginn und das Ende der Herzschläge berechnet und es wurde damit ein enger Zusammenhang mit EEG-Arousal dargestellt. Diese Herzaktivierungen traten mit einer bis zu etwa 18% höheren Wahrscheinlichkeit als die EEG Aufwachreaktionen auf. Diese höhere Sensitivität zeigte sich insbesondere in den niedrigen Maximalpegelbereichen. Wenn die Spontanreaktionen miteinberechnet wurden, waren aber, bezogen auf die Maximalpegel der Einzelflugschaller-eignisse, die Dosis-Wirkungskurven der EEG-Aufwachreaktionen praktisch ident mit den Herzaktivierungen.

In der multinationalen EU-Studie HYENA wurden bei einer kleinen Probandenanzahl (140 Personen) über die gesamte Nacht Blutdruck- und Herzfrequenzmessungen (alle 15 Minuten) im Umfeld von vier Flughäfen durchgeführt und diese akuten vegetativen Reaktionen mit den einzelnen Lärmereignissen (Fluggeräuschen, Straßengeräuschen, Innenraumgeräuschen) in Zusammenhang gebracht (Haralabidis et al 2008). Es zeigten sich signifikante Blutdruckanstiege und tendenzielle Herzfrequenzerhöhungen bezogen auf das 15-minütige Zeitintervall (Leq-15 Minuten), in dem ein Fluggeräusch präsent war (Maximalpegel größer als 35 dB). Bei Betrachtung der tatsächlichen Maximalpegel der einzelnen Lärmereignisse konnte zwischen den einzelnen Geräuscharten kein Unterschied festgestellt werden.

Spreng (2002, 2004) gibt Spitzenpegelwerte für L_{max} von 53 dB(A) - unter der Voraussetzung einer längeren Dauer und einer größeren Häufigkeit der Einzelereignisse - als nächtliche vegetative Überproportional-Reaktionsschwelle an. Dieser Wert bezieht sich auf eine ältere EEG-Studie (Keidel et al 1976) und ergibt sich aus der Annahme, dass während der Nacht der Organismus empfindlicher auf Lärm reagiert und im Vergleich zur ungefähren Tageswirkschwelle für vegetative überproportionale Reaktionen um 10 dB niedriger angesetzt wurde (Muzet et al 1985).

Die Schwelle, ab der es zu vegetativen Reaktionen kommt, hängt aber wie bei allen Reaktionen auch von der Emergenz des Geräusches (die Differenz zwischen äquivalentem Hintergrundpegel und Maximalpegel) ab. In Feldstudien wurden erste Änderungen der Herzschlagfrequenz festgestellt, wenn die einzelnen Geräusche um mehr als 7 dB(A) über dem äquivalenten Dauerschallpegel lagen (Ehrenstein et al 1982). Dies ist konsistent mit der DLR-Feldstudie, bei der die durchschnittlichen ersten Aufwachreaktionen bei Maximalpegeln auftraten, welche den durchschnittlichen Hintergrundpegel um mindestens 6 dB überschritten.

Folgereaktionen (objektive und subjektive Parameter)

Folgereaktionen umfassen alle Folgen der schlafgestörten Nächte, welche in der nachfolgenden Wachphase auftreten. Als integrierendes Maß für die gesamte Schlafzeit werden Indikatoren wie die subjektive Beurteilung der Schlafqualität, das Befinden sowie die geistige und die psychomotorische Leistungsfähigkeit herangezogen.

Subjektive Beurteilung der Schlafqualität

In sozialpsychologischen Untersuchungen zur Beeinflussung des Schlafes durch Lärm wird vor allem die Beurteilung des Schlafes am Morgen hinsichtlich seiner Qualität abgefragt.

Durch Zusammenfassung der Daten vieler Feldstudien aus verschiedenen Ländern wurde eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Fluglärmexposition L_{night} (23-7h) und den subjektiv angegebenen Schlafstörungen abgeleitet (Miedema et al 2003, 2004, 2007). Bis zu einem L_{night} von 45 dB wurden, ohne eine darstellbare Schwelle, etwa 5% stark schlafgestörte Personen berechnet. Zwischen 45 dB und 65 dB stieg der Prozentsatz der Personen, die starke Schlafstörungen angaben, nur gering bis etwa 15% an. Die Studie zeigte, dass bei gleichen nächtlichen Dauerschallpegeln bei Fluglärm, im Vergleich zu Straßen- und Schienenlärm, ein größerer Prozentsatz an Personen Schlafstörungen angaben. Aufgrund der sehr starken individuellen Varianz und der auch sehr starken Abweichungen zwischen den einzelnen Studien ist diese Dosis-Wirkungsbeziehung nur als indikativ anzusehen.

In der DLR-Laborstudie „Leiser Flugverkehr II“ schnitt von den drei untersuchten Verkehrsträgern (Flugverkehr, Straßenverkehr, Schienenverkehr) hinsichtlich der subjektiven Einschätzung der Schlafqualität der Schienenverkehrslärm am schlechtesten ab (Basner et al 2007).

In der früheren DLR-Feldstudie konnten Dosis-Wirkungsbeziehungen der durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter sowohl für die Anzahl der Flugereignisse pro Nacht als auch für den nächtlichen Dauerschallpegel ermittelt werden. Der prozentuale Anteil der mittel- und stark-Belästigten zeigte einen monotonen Anstieg von etwa 10% bei einem L_{Aeq} innen von 30 dB bis etwa 30% bei 47 dB (Quehl et al 2005). Für die subjektive Einschätzung der Ermüdung, der Befindlichkeit und der Erholung bzw. Beanspruchung wurden für Fluglärm keine signifikanten Dosis-Wirkungsbeziehungen beobachtet.

In der Belästigungsstudie am Flughafen Frankfurt zeigte sich, dass sich das Belästigungserleben während der Nacht durch Befragung während des Tages nur wenig gut beschreiben lässt. Demnach findet sich das 25% Kriterium stark Belästigter ab einer Pegelklasse von $L_{AeqNacht}$ von 55-57,5dB (Schreckenberget al 2006).

Die subjektive Beurteilung der Schlafqualität wird vor allem durch die Dauer, die Anzahl und den Verlauf der erinnerten Wachphasen bestimmt. Die Einschätzung der Schlafqualität wird von zahlreichen persönlichen und situativen Faktoren beeinflusst und da die meiste Zeit des Schlafes in unbewusstem Zustand verbracht wird, ist auch kein Zusammenhang zu objektiven Messungen der Schlafzeiten feststellbar (Silva et al 2007). Die Untersuchungen zeigen, dass die subjektiven Angaben zur Schlafqualität objektive Untersuchungen der Schlafstörungen nicht ersetzen können.

Leistungsfähigkeit nach der lärmgestörten Nacht

In Feldstudien ist die Zuordnung der Ergebnisse von geistigen Leistungstests auf Lärmereignisse während der Nacht sehr schwierig, da, zusätzlich zu den persönlichen und situativen Einflussfaktoren, während der aktuellen Testsituation am Tag ebenfalls Lärmeinwirkungen stattfinden können, die gegebenenfalls auch stärker als jene in der Nacht sein können.

In der Feldstudie am Flughafen Schiphol ergaben Reaktionstests, welche aber nur abends durchgeführt wurden, keine Veränderungen (Passchier-Vermeer et al 2002).

In der DLR Studie wurden nach durch Fluglärm gestörten Nächten zuerst keine signifikanten Effekte in Leistungstests gefunden (Basner et al 2004). Neuere Auswertungen der DLR Studien ergaben jedoch bei dem Psychomotorischen Vigilanz Task (PVT) sowohl im Labor als auch im Feld geringfügige aber dosisabhängige Beeinträchtigungen der Reaktionszeiten (Elmenhorst et al 2010).

Laborstudien mit Tests auf spezielle, exekutive Funktionen (Aufgabenwechsel und Handlungsinhibition), welche mentale Prozesse höherer Ordnung darstellen und besonders empfindlich auf Schlafentzug und Schlafveränderungen reagieren (Jones et al 2001), scheinen auch vulnerabler auf Fluglärm zu reagieren als einfachere Reaktionstests (Schapkin et al 2006). Bei der komplexen Go/Nogo-Aufgabe konnten zwar nach Lärmnächten keine signifikanten Leistungseinbußen nachgewiesen werden, dennoch wurden bei den morgens aufgezeichneten ereigniskorrelierten Potenzialen (EKPs) Veränderungen sichtbar, die auf Beeinträchtigungen der Handlungsinhibition schließen lassen.

Diese Ergebnisse sind aber noch nicht ausreichend, um Wirkungsschwellen festlegen zu können.

Epidemiologische Studien zum Zusammenhang von Fluglärm und Herz-Kreislauferkrankungen.

Epidemiologische Querschnitt-Studien wurden insbesondere in der Umgebung der Flughäfen Schiphol-Amsterdam, Arlanda-Stockholm und Köln Bonn durchgeführt.

Es wurden Zusammenhänge von Fluglärm mit Bluthochdruck (Rosenlund et al 2001, van Kamp et al 2006) und mit erhöhtem Gebrauch von Arzneimittel gegen Herz-Gefäßerkrankungen beschrieben (Franssen et al 2004, van Kamp et al 2006).

Eine Querschnittstudie in der Umgebung des Flughafens Köln-Bonn zeigt einen Zusammenhang zwischen Arzneimittelverordnungen und Fluglärm - insbesondere von Antihypertensiva und Cardiaca, die zur Behandlung von Bluthochdruck und Herzkrankheiten verordnet werden. Diese Effekte waren bei Nachtlärm insbesondere in den frühen Morgenstunden (3-5 Uhr) stärker ausgeprägt als bei Taglärm (Greiser et al 2007). Bei der Auswertung zeigte sich ein positiver Effekt von Lärmschutzmaßnahmen. Bei denjenigen Versicherten, die Anträge zur Finanzierung von Lärmschutzmaßnahmen stellen durften, war die verordnete Menge an Arzneimittel geringer als bei den Versicherten, die diese Möglichkeit nicht hatten.

Eine weitere Auswertung in der Umgebung des Flughafen Köln-Bonn als Fall-Kontrollstudie zeigte Risikoerhöhungen für Herz-Kreislauferkrankungen nicht aber für den akuten Herzinfarkt (Greiser 2010). In den Studien um den Flughafen Köln-Bonn wurden zwar individuelle Belastungsdaten herangezogen, aber keine anderen Einflussfaktoren auf individueller Ebene. Damit konnten aber auch individuelle Störvariable nicht ausreichend kontrolliert werden. Aus derartigen Studien ist es im Allgemeinen nicht zielführend, Schwellenwerte und quantitativen Risikoabschätzungen

abzuleiten, da die Validität der Ergebnisse stark eingeschränkt ist (vgl. Eikmann et al. 2010). Ein Kausalzusammenhang zwischen Fluglärm und Krankheiten kann daraus nicht abgeleitet werden.

Erweiterte Untersuchungen (Zusammenfassung der Evidenz von 10 Jahren Monitoring) in der Umgebung vom Flughafen Schiphol-Amsterdam zeigten aber, im Gegensatz zu früheren Daten, keinen Zusammenhang mehr zwischen Fluglärm und Spitalsaufnahmen bezüglich Herz-Kreislaufkrankungen (van Kamp 2006).

Als Hinweis für den möglichen Einfluss von nächtlichem Fluglärm auf Bluthochdruck zeigen diese Studien aber eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen der multinational angelegten Querschnittstudie HYENA (Hypertension and Exposure to Noise near Airports). In dieser EU-Studie wurden in der Umgebung von sechs europäischen Flughäfen auch auf individueller Ebene Blutdruckmessungen am Tag durchgeführt bzw. die ärztliche Diagnose Hypertonie in Verbindung mit dem Gebrauch von blutdrucksenkenden Mitteln (Antihypertensiva) miterfasst. Es wurden insgesamt 4861 Personen, die zumindest 5 Jahre lang in der Region wohnten, untersucht. Im Gegensatz zu den Studien in der Umgebung des Flughafens Köln-Bonn wurde bei der HYENA Studie bei Einzelpersonen direkt gemessen, wodurch auch weitere z.B. sozioökonomische bzw. lebensstilbedingte Einflussfaktoren in der Analyse zum Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und Lärmexposition berücksichtigt werden konnten. Signifikante Expositions-Wirkungsbeziehungen zeigten sich nur zwischen Nachtfluglärm (L_{night}) und dem Risiko für Bluthochdruck (Jarup et al 2008). Es konnten keine signifikanten Effekte für den Leq am Tag beobachtet werden. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass die positiven Nachteffekte von der Exposition während des Tages abhängig sind. Auf Basis dieser neuen Untersuchungen erhöht ein Anstieg des nächtlichen Fluglärmpegels um 10 dB in Schallpegelbereichen zwischen 30-60 dB das Risiko für Bluthochdruck bei Frauen und Männern um 14%.

Auf Basis einer Längsschnittstudie wurde der mögliche Zusammenhang von Fluglärmexposition und Bluthochdruck bisher nur in der Umgebung des Flughafens Stockholm untersucht (Eriksson et al 2007). In dieser Follow-up Studie einer Diabeteskohorte wurde die kumulative Inzidenz von Bluthochdruck nach 10 Jahren bei 2027 Männern untersucht. Bei einem Anstieg des 24h äquivalenten Dauerschallpegels (gewichtet über die Tageszeiten) um 10dB wurde im Bereich zwischen 45-65dB eine Risikoerhöhung für Bluthochdruck von 20% ermittelt.

Über einen Follow-Up Zeitraum von 10 Jahren ergab die Auswertung hinsichtlich Pegelkategorien für diejenigen Personen, welche über 50dB exponiert waren, ein relatives Risiko von 1,2 gegenüber jenen, welche weniger als 50dB exponiert waren.

Der fehlende oder nur gering ausgeprägte Anstieg des Bluthochdruckrisikos über die einzelnen Lärmkategorien kann sowohl auf einen Plateaueffekt hindeuten, als auch ein Hinweis darauf sein, dass die verwendeten Lärmindizes nicht die korrekte Metrik zur Erfassung des für die Wirkung wesentlichen Aspektes darstellen.

Diese Problematik der Interpretation des Zusammenhangs von Fluglärm und dem Risiko von Bluthochdruck zeigte sich auch in einer erst kürzlich publizierten Metastudie (Babisch und van Kamp 2009). Für die Analyse wurden die neueren relevanten epidemiologischen Studien

herangezogen. Da in den einzelnen Studien verschiedene Lärmindizes verwendet wurden, versuchten die Autoren diese Lärmexpositionen auf einen einheitlichen LDEN umzurechnen. Dies führte zu einer enormen interindividuellen Variation. Die einzelnen Expositions-Wirkungs-Kurven unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihres Beginns als auch hinsichtlich ihres Anstieges in einem beträchtlichen Ausmaß.

Bewertung der ergänzenden Literatur und Begründungen für Begrenzungen

Von den Feldstudien, die quantitative Bewertungen hinsichtlich objektiv gemessener, akuter Reaktionen auf Fluglärmereignisse (EEG-Aufwachreaktionen, Aufwachreaktionen mit der Drückermethode, Aktimetrie) ermöglichen, sind die DLR-Studie und die Amsterdam-Studie (Passchier-Vermeer 2002, 2003) aufgrund der großen Anzahl der Probandennächte und der kontrollierten Bedingungen zur Zeit die aussagekräftigsten. Beide zeigen, trotz verschiedener Wirkungsparameter, praktisch die gleiche Wirkungsschwelle, in einem Maximalpegelbereich von etwa 30-35 dB. Die Dosis-Wirkungskurve der DLR-Studie ist aber steiler und damit auf der sicheren Seite der Anrainer, da bezogen auf die Maximalpegel eine größere Anzahl an Reaktionen detektiert wird.

Aus der DLR-Feldstudie wurde ein wirkungsorientiertes Nachtschutzkonzept erstellt, das heißt, es werden gerade noch zulässige Reaktionen vorgegeben und akustische Belastungen errechnet, die diesen Wert nicht überschreiten. Für eine Zumutbarkeitsschwelle wurde neuerdings empfohlen, einen vorsorgeorientierten Wert von 0,5 zusätzlich fluglärminduzierter Aufwachreaktionen (früherer Wert; weniger als eine Aufwachreaktion) vorzugeben, welcher im Mittel pro Jahr alle zwei Nächte eine zusätzliche, nicht notwendigerweise erinnerbare Aufwachreaktion im Vergleich zu 48 spontanen bedeuten würde. Diese Empfehlung wird auch als so genannter Frankfurter Nachtindex vorgeschlagen (Schreckenberg et al 2009a).

Vergleiche mit dem im Fachbeitrag 02.170 angeführten Beurteilungswert für die Maximalpegel-Häufigkeiten von 13x53 dB nachts im Innenraum ergeben, dass bei dem entsprechenden Maximalwert von 53 dB der vorsorgeorientierte Frankfurter Nachtindex in etwa in dem selben Bereich liegen würde.

Die von der WHO (2009) in der Night Noise Guideline for Europe (NNGL) angeführten Umrechnungen von innen gemessenen Maximalpegeln der Einzelschallereignisse, welche akute Reaktionen hervorrufen, auf einen energieäquivalenten Dauerschallpegel innen (L_{night} innen) und die weitergehende Schätzung auf einen L_{night} außen, erscheint aber, aufgrund der vielen notwendigen Annahmen, problematisch. Insbesondere müsste wiederum bei intermittierenden Fluggeräuschen von einer in der Realität nicht existenten Wirkungsäquivalenz bei Energieäquivalenz ausgegangen werden.

Aus Gründen der Kompatibilität mit der EU-Umgebungslärmrichtlinie wird von der WHO (2009) dennoch versucht, solche Abschätzungen durchzuführen.

Als ultimativer, präventiver Zielwert, bei dem keine biologischen Effekte beobachtbar sind, werden 30 dB für einen äquivalenten Dauerschallpegel in der Nacht (L_{night} außen) angegeben. Als Interim Target I (IT-I) wird 55 dB und als Interim Target II (IT-II) wird 40 dB angegeben.

Aus dem Datenkollektiv der DLR-Feldstudie wurden erst kürzlich mit Simulationsberechnungen die durchschnittlichen zusätzlichen fluglärminduzierten jährlichen Aufwachreaktionen bezogen auf L_{night} außen geschätzt (Basner, 2009, Basner et al 2010a). Durch die genauer kontrollierten Bedingungen der DLR-Studie musste der L_{night} außen nicht, wie in den WHO Studien, vom L_{night} innen geschätzt werden, sondern es konnten selbst gemessene Daten verwendet werden. Für die Berechnung des L_{night} wurden die gemessenen Außenpegel und für die Aufwachreaktionen die gemessenen Innenpegel benutzt. Die ermittelten, jährlichen, durchschnittlichen zusätzlichen fluglärminduzierten Aufwachreaktionen bezogen auf die Spontanreaktionen für die einzelnen L_{night} außen-Zielwerte der WHO (2009) lauten wie folgt:

- 30 dB - 3 zusätzliche zu 8.760 Spontanreaktionen pro Jahr.
- 40 dB - 14 zusätzliche zu 8.760 Spontanreaktionen pro Jahr.
- 55 dB - 275 zusätzliche zu 8.760 Spontanreaktionen pro Jahr.

Legt man 183 zusätzliche EEG Aufwachreaktionen des Frankfurter Nachtindex als Zumutbarkeitsgrenze fest, dann ergibt sich aus den Berechnungen ein tolerierbarer L_{night} außen von etwa 53dB. Dieser Expositionsbereich wird von den zusätzlichen Maßnahmen des Mediationsvertrages abgedeckt.

Weitere Simulationsberechnungen unter Einbeziehung der Anzahl der Einzelschallereignisse zeigen die Problematik der alleinigen Verwendung des L_{night} .

Bei gegebenen L_{night} können - abhängig von der Anzahl der Einzelschallereignissen - beträchtliche Unterschiede in der Anzahl der Schlafstörungen ermittelt werden. Die jährlichen durchschnittlichen zusätzlichen fluglärminduzierten Aufwachreaktionen nehmen bei einem L_{night} von 55 dB von 106 bei 20 Einzelschallereignissen bis zu 375 bei 100 Einzelschallereignissen zu. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert auch die Anzahl der Einzelschallereignisse zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der derzeit vorhanden epidemiologischen Studien geben Anlass zur Vermutung, dass Fluglärm insbesondere während der Nacht zu Risikoerhöhungen für Bluthochdruck und zum Gebrauch von Arzneimittel gegen Herz-Gefäßerkrankungen führen kann. Ab welcher Lärmexposition diese Effekte auftreten, ist jedoch daraus nicht direkt ableitbar.

Aufgrund unterschiedlicher Methoden und Definitionen bezüglich der Expositions- bzw. Wirkungsparameter als auch aufgrund der Messungenaugigkeit und des Zuordnungsfehlers der Expositions-Wirkungsbeziehungen lassen sich aus den vorhandenen Studien weder Aussagen über eine mögliche Wirkungsschwelle ableiten, noch eine einzelne, „quasi“ standardisierte Exposition-Wirkungsbeziehung darstellen. Die vorhandenen Daten reichen nicht aus, um zwischen Modellen mit und ohne Schwelle eine empirisch begründete Entscheidung zu treffen.

Insgesamt gesehen fehlen beweiskräftigere, epidemiologische Fall-Kontrollstudien und insbesondere prospektive Kohortenstudien, um den kausalen Zusammenhang von Fluglärm und

gesundheitsrelevanten Langzeiteffekten (Herz-Kreislauf- Erkrankungen) nachzuweisen und quantitative Risikoabschätzungen zu präzisieren (Babisch und van Kamp 2009, Basner et al 2010).

Im epidemiologischen Ansatz der HYENA Querschnittstudie (Jarup et al 2008) wird auf Basis einer Regressionsanalyse bereits ab einem nächtlichen Dauerschallpegel L_{night} von etwa 35dB eine Risikoerhöhung für Hypertonie beobachtet. Dieser Befund ist allerdings unsicher und stimmt weder mit der Längsschnittuntersuchung von Eriksson et al (2007), noch mit den HYENA Feldstudien zu akuten vegetativen Wirkungen überein.

Im epidemiologischen Ansatz der HYENA-Querschnittstudie konnte die Hintergrundbelastung am Ohr des Schläfers nicht gemessen und damit auch nicht in die Analyse miteinbezogen werden.

Die Hintergrundbelastung ist aber für die Risikobetrachtung eine wichtige Einflussgröße, da für die Auslösung der Reaktionen die Emergenz, der Abstand zum Hintergrundgeräusch, eine wichtige Rolle spielt.

Wenn man nun versucht, eine realistische Abschätzung einer Fluglärmexposition unter Einbeziehung der Hintergrundbelastung zu konstruieren, dann würde man zu folgendem Ergebnis kommen. Innerhalb der HYENA Studie wurden bei einer kleinen Probandenanzahl (140 Personen) über die gesamte Nacht Blutdruck- und Herzfrequenzmessungen (alle 15 Minuten) im Umfeld von 4 Flughäfen durchgeführt und diese akuten, vegetativen Reaktionen mit den einzelnen gemessenen Lärmereignissen in Zusammenhang gebracht. Es zeigten sich signifikante Blutdruckanstiege und tendenzielle Herzfrequenzerhöhungen, die aber unabhängig von der Art der Lärmquelle waren. In dieser HYENA Feldstudie konnte der Hintergrundlärm berücksichtigt werden. Die Maximalpegel der Innenraumgeräusche lagen teilweise höher als die Fluggeräusche. Die für die Berechnungen herangezogenen $L_{eq15min}$ bzw. L_{eq1min} Werte in dem Zeitintervall, in dem ein Fluggeräusch präsent war (Maximalpegel größer als 35 dB), lagen bei etwa 30 dB. Dies ist konsistent mit dem durchschnittlichen Hintergrund L_{eq1min} (vor dem Fluggeräusch) von 27 dB in der DLR-Feldstudie. Wenn man Messdaten aus Langzeitsurveys, welche eine durchschnittliche, jährliche Innen-Außen-Differenz von 21 dB erbrachten, heranzieht (Passchier-Vermeer et al 2002, WHO 2009), dann kommt man zu einem grob geschätzten L_{night} außen von etwa 50 dB, ab dem es bei den Probanden zu akuten Blutdrucksteigerungen kommt, die ja die Voraussetzung für Bluthochdruck darstellen.

Dieser grob geschätzte Wert ist auch konsistent mit den neuen Ergebnissen einer Zusammenschau der epidemiologischen Daten bezüglich Fluglärm und Bluthochdruck (Babisch und van Kamp 2009). Trotz begrenzter Aussagekraft der Datenlage kann aus den Studien gefolgert werden, dass ein vorsorgeorientierter Schätzwert für einen möglichen Anstieg eines Bluthochdruckrisikos im Bereich L_{DEN} 55-60 dB liegen könnte.

Dieser Expositionsbereich wird im vorliegenden Fall von den zusätzlichen Maßnahmen des Mediationsvertrages abgedeckt.

Es sollte hier aber auch angemerkt werden, dass nach dem Stand des Wissens es keinen Grund zur Annahme gibt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Umweltlärm und gesundheitlichen Beschwerden psychischer und physischer Natur besteht (Babisch et al 2007, van Kamp 2008, Kroesen et al 2008, Schreckenberg et al 2009b). Die über Belästigungsreaktionen indirekt vermittelten psychophysiologischen Wirkungen werden durch die zusätzlichen Maßnahmen des Mediationsvertrages minimiert.

Die Bedeutung der Belästigungsreaktionen für die Entwicklung und Ausprägung von gesundheitlichen Beschwerden ist aber nicht eindeutig zu quantifizieren, selbst dann nicht, wenn man subjektive Gesundheitsindikatoren heranzieht (Schreckenberg und Meis 2007).

In Amsterdam wurden z.B. nach der Eröffnung einer weiteren Piste keine zusätzlichen Einflüsse auf gesundheitsbezogene Effekte beobachtet (Houthuijs et al 2006). Eine neuere, gesundheitsbezogene Fragebogenerhebung an 12.000 Personen am Flughafen Narita (Japan) erbrachte keinen Zusammenhang zwischen Fluglärm und selbst berichteten gesundheitsbezogenen Effekten (Miyakawa et al. 2008).

Durch die zusätzlichen Maßnahmen des Mediationsvertrages wird auch der Bereich des 25%Kriteriums stark Belästigter, wie sie aus neuen Expositions-Wirkungskorrelationen, z.B. den Untersuchungen am Flugplatz Frankfurt, abgeleitet wurden, einbezogen (Schreckenberg et al 2006; 25% stark Belästigter ab Pegelklasse L_{Aeq} Tag 57,5-60 dB, Realverteilung). Aus medizinisch-umwelthygienischer Sicht kann festgestellt werden, dass die Etablierung eines Lärmmanagementsystems und insbesondere die Weiterführung eines dynamischen Dialogforums - im Sinne einer fairen Kommunikation zwischen Flughafenbetreiber und Anrainern – zur weiteren Minimierung der Belästigung beitragen wird.

Durch die zusätzlichen Maßnahmen des Mediationsvertrages sind die Zielwerte der WHO (1999) und der Interimtarget-I (IT-I) der Night Noise Guideline (WHO 2009) für Fluglärm miteinbezogen. Zusätzlich werden damit auch die neuen, von medizinischen Epidemiologen in Deutschland angestrebten Werte für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen (Kinder, chronisch Kranke, alte Personen) inkludiert, die auf Erkenntnissen rezenter Untersuchungen beruhen (Kaltenbach et al 2008).

Zusätzliche für die Ergänzung verwendete Literatur

- Ancoli-Israel,S, Cole,R, Alessi,C, Chambers,M, Moorcroft,W, Pollak,CP (2003): The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep* 26: 342-392.
- Baekeland F, Hoy P (1971): Reported versus recorded sleep characteristics. *Archives of General Psychiatry.* 24 (6): 548-551.
- Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Velonakis M, Cadum E, Dudley ML, Bluhm G, Breugelmans O, Charalampidis A, Dimakopoulou K, Savigny P, Seiffert I, Selander J, Sourtzi P, Swart W, Vigna-Taglianti, Jarup L for the HYENA consortium (2007): Associations between noise annoyance and high blood pressure. Preliminary results of the HYENA study. *Proceedings of the 36th International Congress and Exhibition on noise control engineering. Inter-Noise 2007 Istanbul, Turkey.*
- Babisch,W, Kamp,I (2009):Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise and Health* 11 (44): 161-168
- Basner M, Griefahn B, Müller U, Plath G, Samel A (2007b): An ECG based algorithm for the automatic identification of autonomic activations associated with cortical arousal. *Sleep* 30: 1349-61.
- Basner M, Elmenhorst D, Maaß H, Müller U, Quehl J, Vejvoda M (2008a): Single and combined effects of air, road and rail traffic noise on sleep. *9th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Foxwoods, CT. ICBEN 2008 Proceedings p 463-70.*
- Basner M, Müller U, Elmenhorst EV, Kluge G, Griefahn B (2008b): Aircraft noise effects on sleep: a systematic comparison of EEG awakenings and automatically detected cardiac activations. *Physiol. Meas.* 29: 1089-1103.
- Basner,M, Müller,U, Griefahn,B (2010a): Practical guidance for risk assessment of traffic noise effects on sleep. *Applied Acoustics* 71: 518-522.
- Basner,M, Griefahn,B, van den Berg,M (2010b): Aircraft noise effects on sleep: Mechanisms, mitigation and research needs. *Noise and Health* 12 (47): 95-109.
- Berglund,B, Stansfeld,S, Kim,R (2008): Overview of the World Health Organization Workshop on Aircraft Noise and Health. *Proceedings ICBEN 2008: 757-764, Foxwood, CT.*
- Bonnet,MH, Doghramji,K, Roehrs,T, Stepanski,EJ, Sheldon,SH, Walters,AS, Wise,M, Chesson,AL (2007): The scoring of arousal in sleep: reliability, validity, and alternatives. *J.Clin. Sleep Med.* 3:133-145.
- Ehrenstein,W, Schuster,M, Müller-Limroth,W (1982): Felduntersuchungen über Wirkungen von Lärm auf den schlafenden Menschen. *Abschlußbericht des Umweltbundesamtes 1-101, Dessau, Deutschland.*
- Eikmann, T, zur Nieden, A., Herr, C. (2010): Neue Studie zu Krebs durch Fluglärm – näher betrachtet. *Hessisches Ärzteblatt* 03/2010, 158-160; 169
- Elmenhorst,EM, Elmenhorst,D, Wenzel,J, Quehl,J, Mueller,U, Maass,H, Vejvoda,M, Basner,M (2010): Effects of nocturnal aircraft noise on cognitive performance in the following morning: dose-response relationships in laboratory and field. *Int.Arch.Occup.Enviroin.Health* Published Online DOI 10.1007/s00420-010-0515-5
- Eriksson, C, Rosenlund, M, Pershagen, G, Hilding, A, Östenson, CG and Bluhm G (2007). Aircraft Noise and Incidence of Hypertension. *Epidemiology* 18 (6) 716-721

- FICAN, Federal interagency committee on aviation noise (FICAN). Effects of aviation noise on awakenings from sleep. 1-7. 1997.
- Fidell,S, Pearsons,K, Tabachnick,B, Howe,R (2000): Effects on sleep disturbance of changes in aircraft noise near three airports. *J.Acoust.Soc.Am.* 107: 2535-2547
- Finegold,LS, Elias,B (2002): A predictive model of noise induced awakenings from transportation noise sources. Proceedings of the 2002 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Dearborn
- Franssen,EAM, Wiechen,CMAG, Nagelkerke,NJD, Lebreit,E (2004): Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occup. Environ. Med.* 61: 405-413.
- Greiser,E, Greiser,C, Janhsen,K (2007): Night-time aircraft noise increases prevalence of prescriptions of antihypertensive and cardiovascular drugs irrespective of social class-the Cologne-Bonn Airport study. *J.Pub.Health* 15: 327-337.
- Greiser,E, Greiser,C (2010): Risikofaktor nächtlicher Fluglärm. Abschlußbericht über eine Fall-Kontrollstudie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafen Köln-Bonn. Schriftenreihe Umwelt und Gesundheit. 01/2010. UBA-FB 001339. Umwelt Bundesamt. Dessau-Roßlau.
- Griefahn B, Broede P, Marks A, Basner M (2008): Autonomic arousals related to traffic noise during sleep. *Sleep* 31(4): 569-77
- Haralabidis,AS, Dimakopoulou,K, Vigna-Taglianti,F, Giampaolo,M, Borgini,A, Dudley,ML, Pershagen,G, Bluhm,G, Houthuijs,D, Babisch,W, Velonakis,M, Katsouyanni,K, Jarup,L for the HYENA Consortium (2008): Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *European Heart Journal* 29: 658-664
- Iber,C, Ancoli-Israel,S, Chesson,A, Quan, SF (2007): The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications 1st edn (Westchester, IL: American Academy of Sleep Medicine).
- Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, Dudley ML, Savigny P, Seiffert I, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Velonakis M, Vigna-Taglianti F on behalf of the HYENA study team (2008): Hypertension and Exposure to Noise near Airports-the HYENA study. *Environ. Health Persp.* 116: 329-333.
- Jones,K, Harrison,Y (2001): Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews.* 5: 463-475
- Kaltenbach,M, Maschke,Ch, Klinker,R (2008): Health Consequences of Aircraft Noise. *Dtsch. Ärztebl.Int.* 105: 548-556.
- Kroesen,M, Stallen,PJM, Molin,EJE, Miedema,HME, Vos,H Janssen,SA, van Wee,B (2008): Assessing the role of mediators in the noise-health relationship via Structural Equation Analysis, Proceedings of the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN): 653-661, Foxwoods CT.
- Marks A, Griefahn B, Basner M (2008). Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise. *Noise Contr Eng J* 56: 52-62.
- Michaud, DS, Fidell,S, Pearsons,K, Campbell,KC, Keith,SE (2007): Review of Field Studies of Aircraft Noise-Induced Sleep Disturbance. *J.Acoust.Soc.Am.* 121(1): 32-41

- Miedema,HME, Passchier-Vermeer,W, Vos,H (2003): Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. TNO Inro report 2002-59, Delft, Niederland.
- Miedema,HME, Vos,H (2004): Self-reported sleep disturbance caused by aircraft noise. TNO Inro report 2004-15, Delft, Niederland.
- Miedema,HME, Vos,H (2007): Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 Studies. Behavioral Sleep Medicine 5 (1): 1-20.
- Miyakawa,M, Matsui,T, Uchiyama,I, Hiramatsu,K, Hayashi,N, Morita,I, Morio,K, Yamashita,K, Ohashi,S (2008): Relationship between subjective healthand disturbances of daily lifedue to aircraft noise exposure –Questionnaire study conducted around Narita International airport. Proceedings ICBEN 2008: 314-321. Foxwood, CT.
- Muzet A (2007): Environmental Noise, sleep and health. Sleep Medicine Reviews 11: 135-42.
- Passchier-Vermeer,W, Vos,H, Steenbekkers,J, van der Ploeg,F, Groothuis-Oudshoorn,K (2002): Sleep disturbance and aircraft noise exposure: Exposure-effect relationships. TNO-Inro report 2002-027, TNO Institute for Traffic and Transport, Delft.
- Rosenlund,M, Berglind,N, Pershagen,G, Jarup,L, Bluhm,G (2001): Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise. Occup. Environ. Med. 58: 769-773.
- Schapkin,SA, Falkenstein,M, Marks,A, Griefahn,B (2006): Executive brain functions after exposure to nocturnal traffic noise: effects of task difficulty and sleep quality. Eur.J.Appl.Physiol 96: 693-702.
- Schreckenber D und Meis M (2006): Effects of Aircraft Noise on Noise Annoyance and Quality of Life around Frankfurt Airport. Final abridged report for Regional Dialogue Forum Frakfurt Airport. Bochum, Oldenburg. www.verkehrslaermwirkung.de/FRA070222.pdf
- Schreckenber D, Basner M und Thomann G (2009a): Wirkungsbezogene Fluglärmindizes. Lärmbekämpfung 4 (2) 47-61
- Schreckenber D, Heudorf,U, Eikmann,T, Herr,C, zur Nieden,A, Meis,M (2009b): Aircraft noise and health of residents living in the vicinity of Frankfurt Airport. Proceedings Euronoise Edinburgh, Scotland.
- Selander,J, Bluhm,G, Theorell,T, Pershagen,G, Babisch,W, Seiffert,I, Houthuijs,D, Breugelmans,O, Vigna-Taglianti,F, Antoniotti,MC, Velonakis,E, Davou,E, Dudley,ML, Jarup,L, for the HYENA Consortium (2009): Saliva Cortisol and Exposure to Aircraft Noise in Six European Countries. Environ. Health Persp. 117: 1713-1717.
- Sforza,E, Chapotot F, Lavoie,S, Roche,F, Pigeau,R, Buguet,A (2004): Heart rate activation during spontaneous arousals from sleep: effect of sleep deprivation. Clin. Neurophysiol. 115: 2442-51.
- Silva,GE, Goodwin,JL, Sherrill,DL, Arnold JL, Bootzin,RR, Smith,T, Walsleben,JA, Baldwin,CM, Quan,SF (2007): Relationship between reported and measured sleep times: the sleep heart health study (SHHS). J. Clin. Sleep Med. 3: 622-630
- Vallet,M, Gagneux,JM, Simonet,F (1980): Effects of aircraft noise on sleep: an in situ experiment. ASHA reports No 10
- van Kamp,I, Houthuijs,D, van Wiechen,C, Breugelmans,O (2006): Environmental noise and cardiovascular disease: Evidence from 10 year Schiphol research. Proceedings Inter-Noise p07_132.
- van Kamp,I, Davies,H (2008): Environmental noise and mental health. Proceedings ICBEN 2008: 295-301. Foxwood, CT

Whitehead,C, Hume,K, Muzet,A (1998): Cardiovascular responses to aircraft noise in sleeping subjects. In: Carter,N, Job,S eds. Noise effects, 471-474. Sydney

WHO (2009) Regional Office for Europe: Night Noise Guidelines (NNGL) for Europe. World Health Organization, Copenhagen.

4.6.3 Überprüfung der Umweltauswirkungen 2020

An neuen Grundlagen wurden neben der Flugverkehrsprognose Intraplan die darauf aufbauenden Ergänzungen zum Fachbereich Lärm (insb. Neuermittlung der Fluglärmzonen, Aktualisierung der „lärmsensiblen Objekten“) und zum Fachbeitrag Luftschadstoffe (Neuermittlung der Luftschadstoffprognose) geprüft. Die entsprechend den Beurteilungswerten ermittelten Lärmpegel befinden sich im bewohnten Gebiet zur Gänze innerhalb der Zonen, in denen aufgrund der Mediationsergebnisse Lärmschutzmaßnahmen bereits derzeit umgesetzt werden.

Bei Einhaltung der im Fachbeitrag 02.170 Medizin und Umwelthygiene angeführten Beurteilungswerte und Maßnahmen ergeben sich keine Änderungen der Gesamtbeurteilung. Übersteigt der tatsächlich gemessene Fluglärm die Beurteilungswerte des Fachbeitrages, sind unverändert die im Fachbeitrag angeführten Lärmschutzmaßnahmen zu setzen.

4.6.4 Beurteilung der Umweltauswirkungen 2025

Eine Erweiterung des Prognosehorizontes auf das Jahr 2025 führt zu keiner geänderten Beurteilung. Die Beurteilungswerte sind unabhängig vom Prognosejahr anzuwenden. Die entsprechend den Beurteilungswerten ermittelten Lärmpegel befinden sich auch 2025 im bewohnten Gebiet zur Gänze innerhalb der Zonen, in denen aufgrund der Mediationsergebnisse Lärmschutzmaßnahmen bereits derzeit umgesetzt werden.

4.6.5 Gesamtbeurteilung der Umweltverträglichkeit aus Sicht des Fachbereichs

Bei Berücksichtigung der angeführten aktuellen Grundlagen (insbesondere Flugverkehrsprognose) ergibt sich keine Änderung der fachlichen Beurteilung für das Prognosejahr 2020. Das Vorhaben ist aus Sicht des Fachbereichs Medizin und Umwelthygiene weiterhin als umweltverträglich zu beurteilen, wenn die in der Gesamtbeurteilung des Fachbeitrags 02.170 Medizin und Umwelthygiene angeführten Beurteilungswerte und Maßnahmen eingehalten werden.

Bei Erweiterung des Prognosehorizonts auf das Jahr 2025 bleibt die Beurteilung der Umweltverträglichkeit aus der Sicht des Fachbereichs Medizin und Umwelthygiene unverändert.