

**ONDERZOEK NAAR DE IMPACT OP DE LEEFBAARHEID VAN DE  
OMGEVING TEN GEVOLGE VAN EEN EVENTUELE UITBREIDING VAN  
DE HUB-ACTIVITEITEN VAN HET KOERIERSBEDRIJF DHL OP DE  
LUCHTHAVEN VAN ZAVENTEM  
(BRUSSEL-NATIONAAL)**

11 juni 2004

## INHOUD

<b>1</b>	<b>INLEIDING.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INVLOED VAN NACHTVLUCHTEN .....</b>	<b>3</b>
2.1	INVLOED VAN NACHTVLUCHTEN OP DE SLAAP .....	3
2.2	INVLOED VAN SLAAPVERSTORING OP DE GEZONDHEID .....	12
2.3	ECONOMISCHE IMPACT VAN NEGATIEVE GEZONDHEIDSEFFECTEN .....	13
<b>3</b>	<b>DE MOGELIJKE UITBREIDING VAN DE ACTIVITEITEN VAN DHL IN ZAVENTEM.....</b>	<b>15</b>
3.1	BESTUDEERDE SCENARIO'S.....	15
3.2	METHODOLOGIE.....	16
3.3	SLAAPVERSTORING IN DE DRIE SCENARIO'S .....	18
3.4	GEZONDHEIDSEFFECTEN IN DE DRIE SCENARIO'S .....	22
3.5	GEZONDHEIDSECONOMISCHE IMPACT IN DE DRIE SCENARIO'S .....	23
3.6	MITIGERENDE MAATREGELEN .....	25
<b>4</b>	<b>ONZEKERHEDEN.....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>SAMENVATTING VAN DE CONCLUSIES.....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>REFERENTIES.....</b>	<b>29</b>

## 1 Inleiding

Deze studie behelst de (lokale) leefbaarheidsaspecten van de mogelijke uitbreiding van de distributieactiviteiten (HUB-activiteiten) van het bedrijf DHL op de luchthaven Brussel-Nationaal. Leefbaarheid is een meerdimensionaal concept dat op verschillende manieren in zijn deelcomponenten kan ontrafeld worden. Lokale leefbaarheid van een omgeving kan bijvoorbeeld opgedeeld worden in:

- aanwezigheid van *faciliteiten*: scholen, winkels, recreatiemogelijkheden, groenvoorzieningen;
- *bereikbaarheid*: vlotte toegankelijkheid met individueel vervoer, veilige voet- en fietspaden, kwaliteitsvolle ontsluiting met openbaar vervoer;
- *veiligheid*: zowel ontbreken van objectiveerbare onveiligheid en subjectief veiligheidsgevoel;
- ontbreken van *hinder*: ontbreken van geluidshinder (en slaapverstoring) en stank;
- ontbreken van negatieve invloeden op de *gezondheid*.

Aan deze studie is een zusterstudie gekoppeld die de economische impact van de mogelijke wijziging in activiteiten bij DHL in Zaventem bestudeert. Daar komt onder andere lokale werkgelegenheid aan bod zodat dit aspect – dat soms onder lokale leefbaarheid wordt beschouwd – in deze studie niet wordt meegenomen.

Het is dadelijk duidelijk dat wijzigingen in de HUB-activiteiten van DHL geen invloed zullen hebben op de twee eerste puntjes: aanwezigheid van faciliteiten en bereikbaarheid. Voor het eerste is dit evident, voor het tweede leerde een eerste snelle analyse dat het bijkomende wegverkeer niet via lokale wegen zal verlopen en bijna uitsluitend 's avonds en 's nachts zodat de bereikbaarheid hierdoor niet zal verslechteren. De twee eerste aspecten van leefbaarheid worden dan ook niet verder bestudeerd.

De drie overblijvende aspecten leunen nauw aan bij de veralgemeende definitie van gezondheid die door de Wereldgezondheidsorganisatie werd naar voor geschoven: “a state of complete physical, mental, and social wellbeing and not merely the absence of disease or infirmity”. ([www.who.int/about/definition/en/](http://www.who.int/about/definition/en/))

De DHL HUB-activiteiten zijn geconcentreerd tijdens de late avond, de nacht, en de vroege ochtend, in het bijzonder wat de vliegtuigbewegingen betreft. Daarom concentreert deze studie zich op de nachtvluchten. Bovendien is verstoring tijdens de nacht eveneens belangrijk voor de ervaring van geluidshinder en voor de mogelijke invloeden op de gezondheid. Het effect van nachtvluchten is daarom een goede indicator voor de algemene leefbaarheid. Er zullen echter geen expliciete uitspraken gedaan worden over aspecten zoals “geluidshinder in het algemeen” omdat deze te sterk afhankelijk zijn van de dagactiviteiten op de luchthaven. Inderdaad, blootstelling aan geluid leidt tot geluidshinder, maar in deze studie wordt onmiddellijk gekeken naar het effect van blootstelling aan nachtelijk geluid op de gezondheid.

De aandachtige lezer zal bij het lezen van dit verslag opmerken dat de problematiek ondanks deze vereenvoudigende veronderstellingen toch zeer complex blijft. Anderzijds was voor deze studie onvoldoende tijd voorzien door de opdrachtgever. Hierdoor blijven een aantal vragen onbeantwoord en was het onmogelijk de impact van interessante alternatieven te bestuderen.

## 2 Invloed van nachtvluchten

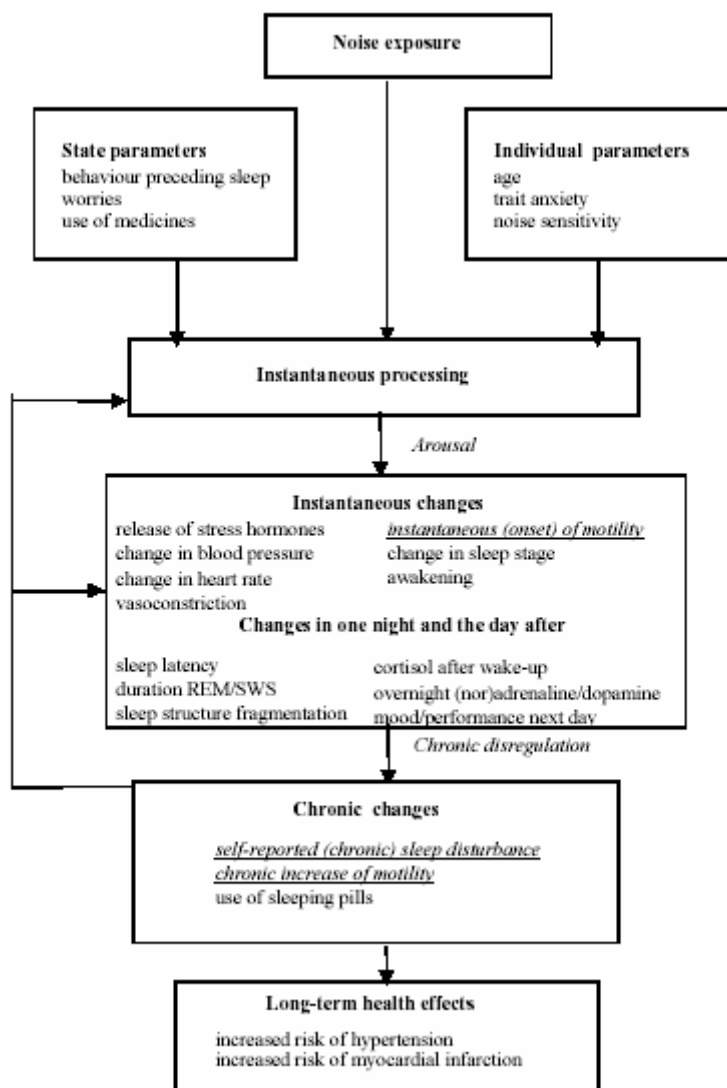
### 2.1 Invloed van nachtvluchten op de slaap

De invloed van luide geluiden tijdens de slaap op de nachtrust is uitgebreid onderzocht. Desondanks blijft het moeilijk om de omvang van de slaapverstoring en daaruit voortvloeiende effecten kwalitatief te begroten. Hiervoor kunnen verschillende redenen aangehaald worden. In deze bespreking van de huidige stand van kennis zullen deze uitgebreid aan bod komen. Desondanks zullen op een pragmatische manier een aantal

dosis-effecten relaties gekozen worden die toelaten de omvang van de impact te begroten. Hierbij kan verwezen worden naar het zogenaamde voorzorgsbeginsel dat stelt dat in geval van onzekere of onnauwkeurige kennis van een impact best een *worst-case* benadering wordt gehanteerd. De geschiedenis heeft immers meermaals aangetoond dat een impact op duurzame ontwikkeling of leefkwaliteit slechts werd vastgesteld in een laat stadium wanneer een ombuigen van een trend zeer moeilijk geworden is.

### **Wat is slaapverstoring?**

In tegenstelling tot andere zintuigen, wordt het oor tijdens de slaap niet gesloten. Ook tijdens de slaap blijft het brein actief geluiden interpreteren en er op aangepaste wijze op reageren. De informatie in een geluid hangt niet enkel af van de luidheid, maar ook van de interpretatie ten gevolge van vroegere ervaring van de persoon met dit geluid [2]. Dit verklaart een grote verscheidenheid aan reacties tussen verschillende personen en een mogelijke adaptatie of gewenning. Of er naast deze met interpretatie gerelateerde effecten ook een meer directe invloed kan bestaan is onduidelijk. Het is een feit dat de laterale amygdala, een deel van het auditief deel van de hersenen in contact staat met de hypothalamus via de centrale amygdala [3]. Zo heeft de evolutie ervoor gezorgd dat het gehoor als permanent waarschuwingssysteem voor aankomend gevaar rechtstreeks het lichaam op vluchten of vechten voorbereidt door hormonale sturing. Figuur 1 – overgenomen uit een recent onderzoek uitgevoerd door TNO ter voorbereiding van een positiepaper van de Europese Commissie [1] – geeft een overzicht van de samenhang van effecten van geluid-geïnduceerde slaapverstoring.



Figuur 1

Vermits we in het hierna beschreven onderzoek uitgaan van een stapsgewijze benadering: geluidsbelasting → slaapverstoring → gezondheidseffecten → economische impact, bespreken we eerst de mogelijke indicatoren voor slaapverstoring. Met andere woorden, we gaan na hoe een mate van slaapverstoring begroot kan worden.

- *Zelfgerapporteerde (chronische) slaapverstoring en problemen bij het inslapen.* Dit is de meest voor de hand liggende indicator voor slaapverstoring. Via een enquête wordt aan de omwonenden gevraagd in welke mate het nachtelijk geluid hun slaap verstoort of hen verhindert om in te slapen. Dergelijke enquêtes werden veelvuldig gebruikt voor onderzoek van de impact van luchthavens. Omdat men zich het ontwaken zou herinneren moet de waaktoestand een minimale duur hebben. Enquêtes kunnen ook indirect gegevens over de invloed van geluid verzamelen, bijvoorbeeld tijd-in-bed, *coping* strategieën, ... Ook minder uitgesproken slaapverstoring kan potentieel een effect hebben op de gezondheid zodat bijkomende indicatoren nuttig zijn.
- *Cortisol secretie bij ontwaken.* Door dadelijk na het ontwaken het secretieniveau van stresshormonen (in het bijzonder Cortisol blijkt een handige indicator) te meten, bijvoorbeeld in urinestalen of speeksel, krijgt men een globaal beeld van de bijkomende stress die door een luidruchtige nacht wordt opgewekt. Het voordeel

van een dergelijke integrerende indicator is dat dadelijk de volledige sequens van stillere en luidere geluidsgebeurtenissen in kaart wordt gebracht. Een nadeel is echter dat er tamelijk veel versturende factoren zijn, zoals werkstress en persoonlijkheidskenmerken. Hierdoor is het moeilijker om een correlatie te leggen met de geluidsgebeurtenissen.

- *Slaappatronen.* Gedetailleerd meten van het volledig patroon van de slaap (Elektroenzephalogram, Elektrooculogram, Elektromyogram) tijdens een geluidsverstoorde nacht laat toe om een zeer gedetailleerd beeld te vormen van de invloed van geluid. Men kan op deze wijze vaststellen in welke mate geluid de duur van de slaap, de duur van de REM slaap, de duur van de diepe slaap en de versnippering van de slaapstadia beïnvloedt. Dit is de enige methode die op betrouwbare wijze de slaap volledig in kaart brengt. De meting is echter niet eenvoudig, vraagt de inzet van deskundigen voor het interpreteren van de meetresultaten en – doordat verschillende elektroden worden aangebracht – kan de meting zelf de slaap beïnvloeden.
- *Ogenblikkelijke effecten, motorische onrust, huidgeleiding, hartslag, bloeddruk, ...* Een aantal indicatoren is specifiek gericht op het vaststellen van ogenblikkelijke effecten tijdens de geluidsgebeurtenis. In het bijzonder het meten van motorische onrust of motiliteit is aantrekkelijk omdat deze goed correleert met herinnerd ontwaken en omdat de meting relatief eenvoudig is. Doordat naar ogenblikkelijke reacties gekeken wordt is correlatie met de geluidsgebeurtenis eenvoudiger te ontdekken. Het belang van de ogenblikkelijke reactie voor de globale slaapkwaliteit is echter moeilijker in te schatten. Wanneer men echter een nachtelijke kans op motorische onrust bovenop de basiskans vaststelt, en men neemt aan dat deze kans zich elke nacht zou voordoen, kan men wel effecten op langere termijn simuleren.
- *Integratie in dromen.* Zo goed als onmeetbaar en daardoor ook minder bestudeerd is de mate waarin de geluidsgebeurtenis een rol gaat spelen in de droom en daardoor ook indirect de slaap kan beïnvloeden.

### Akoestische factoren

Eenieder die reeds in luidruchtige omstandigheden heeft geslapen zal het er over eens zijn dat constant, continu geluid minder invloed heeft op de slaap dan een sequens van geluidsgebeurtenissen. Wetenschappelijke kwantisatie [4][5] eist echter dat de omstandigheden van de vergelijking nauwkeuriger worden omschreven. In de regel gaat men er van uit dat geluiden met gelijke gemiddelde energie-inhoud ( $L_{Aeq}$ ) vergeleken worden. Bovendien zijn de conclusies enkel van toepassing binnen een bepaald gebied van niveaus. Vliegtuiggeluid is om operationele redenen nooit continu. Omdat men er in een eerste benadering kan van uit gaan dat de opeenvolging van geluidsgebeurtenissen rond luchthavens vergelijkbaar is, heeft men in de Europese Geluidsdirectieve toch het gemiddeld geluidsniveau gedurende de nacht ( $L_{night}$ ) als eerstelijns karakteriserende grootheid weerhouden.

Om geluidsgebeurtenissen te karakteriseren gebruikt men ofwel een maximumniveau  $L_{Amax}$  (trage tijdsweging of op basis van 1seconde gemiddelde metingen) ofwel een totale akoestische energie in de overvlucht SEL. Theoretisch kan men voorspellen dat voor vliegtuigen op lagere hoogte en met grotere snelheid het maximale geluidsniveau hoger is ten opzichte van de totale energie-inhoud dan voor vliegtuigen op grotere hoogte of bij lagere snelheid. In de dagelijkse praktijk blijkt de correlatie tussen beide karakteristieke grootheden vrij hoog. Voor de specifieke situatie rond Brussel-Nationaal worden een aantal meetresultaten vergeleken in [6].

Recent werd vernieuwde aandacht besteed aan het gebruik van de A-weging. A-weging werd ingevoerd om de frequentieafhankelijkheid van de gevoeligheid van het oor in rekening te brengen wanneer een microfoon wordt gebruikt voor het karakteriseren van het

geluid. Het oor is minder gevoelig voor lage en zeer hoge frequenties zodat de A-weging het gemeten signaal bij deze frequenties zal verzwakken. De impact van laagfrequent geluid kan onderschat worden doordat:

- De A-weging gebruikt wordt bij te hoge niveaus, A-weging benadert de werkelijke gevoeligheid van het oor in de buurt van 40 dB(A).
- Laagfrequent geluid minder wordt afgeschermd door de wanden van de woning zodat in geval het geluid buiten wordt berekend of gemeten de isolatie op correcte wijze dient in rekening gebracht.
- Het laagfrequente deel van het geluid dit geluid herkenbaarder maakt (als een storende factor) en dus de slaapverstoring kan beïnvloeden. Men zou zelfs kunnen vermoeden dat laagfrequent geluid evolutionair gezien een andere connotatie gekregen heeft met betrekking tot het soort gevaar dat eraan gekoppeld wordt en de geschikte reactie van het organisme.

Merk op dat twee van de drie hiervoor vermelde effecten te maken hebben met onvoldoende nauwkeurig zijn van uitgevoerde studies en enkel het derde effect een wezenlijk fysiologisch effect is.

Het spectrum van vliegtuiggeluid is verschillend op verschillende plaatsen rond een luchthaven: het hoogfrequent (tonaal) turbinegeluid geeft een belangrijke bijdrage bij het opstijgen, eens op grotere hoogte wordt het laagfrequente turbulente menggeluid dominant, en bij het landen van een modern vliegtuig kan het midden- tot hoogfrequent aërodynamisch geluid belangrijk worden. Dit betekent dat eenzelfde  $L_{Amax}$  buiten niet op alle plaatsen dezelfde slaapverstoring zal teweegbrengen.

### Persoonsgebonden karakteristieken

Diverse persoonsgebonden karakteristieken verklaren de grote spreiding op de reactie van slapenden op geluid. We onderscheiden:

- *Demografische factoren*: Leeftijd heeft een duidelijke invloed op de slaap. Ook de kans op slaapverstoring door geluid neemt initieel toe met de leeftijd om vervolgens bij stijgende leeftijd weer te dalen. Rond een leeftijd van 50 jaar is de kans op slaapverstoring door geluid het hoogst [1][7][8]. Er wordt vrij algemeen aanvaard dat het geslacht van de slapende geen invloed heeft op de slaapverstoring, maar een enkele studie wijst op het verschillend stress-hormonaal effect in mannen en vrouwen [9].
- *Persoonlijkheidskenmerken (traits)*: Van gevoeligheid voor geluid (i.h.b. hoge zelfgerapporteerde gevoeligheid) werd aangetoond dat het een stabiel persoonlijkheidskenmerk is [10][11] dat een significante invloed heeft op de reactie op geluid, zowel wat betreft hinder [12][13][14] als wat betreft slaapverstoring [7][8][13]. Minder onderzochte persoonlijkheidskenmerken die een invloed kunnen hebben op de slaapverstoring zijn neurotisme (*neuroticism*) en angstig, onrustig persoon (*trait anxiety*) [7][8].
- *Levensstijl*: Enerzijds hebben leefgewoonten een invloed op de slaap, anderzijds wordt de blootstelling mede bepaald door de periode van de dag dat men slaapt. Voor het begroten van slaapverstoring gaat men immers bijna uitsluitend uit van geluidsgebeurtenissen tijdens de gestandaardiseerde nacht 23u tot 07u waardoor slapen buiten deze uren niet wordt beschouwd.
- *Situationele en context factoren*: Het type woning (open of gesloten bebouwing, appartement), de constructie en de locatie van de slaapkamer bepalen de effectieve blootstelling tijdens het slapen. In [1] wordt de verwachte afhankelijkheid van het verschil in niveau binnen en buiten teruggevonden. Opmerkelijk is dat de correlatie met de gerapporteerde aanwezigheid van akoestisch isolerende beglazing in diezelfde studie geen voldoende voorwaarde blijkt te zijn voor een vermindering van de slaapverstoring. De gerapporteerde aanwezigheid van akoestisch isolerend glas is duidelijk geen garantie voor daadwerkelijke reductie van het geluidsniveau in de

slaapkamer. Een belangrijke factor is de aanwezigheid van andere slaapverstorende blootstelling, akoestisch of andere [15][16]. Het effect is niet eenvoudig te begroten doordat het in beide richtingen werkt. De andere blootstelling aan andere geluiden of slaapverstoorders kan het effect van nachtvluchten verminderen of maskeren. Anderzijds is echter een beperkte slaapverstoring in een hoge-kwaliteitsleefomgeving minder significant. De verwachting die bewoners hebben over hun leefomgeving zal echter hoger zijn in deze hoge-kwaliteitsleefomgeving hetgeen dan weer de verstoring kan versterken, zeker wanneer het gaat om zelfgerapporteerde effecten [17]. Situationele factoren bepalen ook de mate waarin een persoon in de mogelijkheid verkeert om de verstoorde situatie te verbeteren (*coping*) door bijvoorbeeld modificaties aan de woning aan te brengen of een klacht in te dienen, of deel te nemen aan een actiegroep [18]. De mate waarin iemand deze acties onderneemt kan als persoonlijkheidskenmerk geïdentificeerd worden (*coping style*). Zelfs als de actie niet tot een daadwerkelijke verbetering leidt kan het effect nog positief zijn.

### **Gewenning, adaptatie, aanpassing**

In een model waarbij de betekenis die aan de informatie in een geluid wordt gehecht mede bepalend is voor de slaapverstoring, is het te verwachten dat een zekere vorm van gewenning, adaptatie of aanpassing kan bestaan. Naarmate het nachtelijk geluid beter gekend wordt, vermindert de slaapverstoring [2]. De aanpassing is echter niet volledig zoals blijkt uit een aantal studies waarin een situatie met sterk verbeterend geluidsklimaat werd bestudeerd. Nadat het nachtelijk geluid verdween, werden de blootgestelden minder wakker gedurende de nacht, nam de duur van de diepe slaap en de REM slaap toe, meldden de betrokkenen een betere slaapkwaliteit en presteerden beter [20][21][22]. De tijd doorgebracht in bed nam af nadat het geluid verdween [22] hetgeen wijst op een mogelijk aanpassingsmechanisme. (maw. men slaapt opnieuw beter, recupereert sneller en bijgevolg verkort de tijd in bed)

De wijze waarop het organisme zich op korte termijn aanpast aan een gewijzigde blootstellingssituatie is niet voor iedereen gelijk zoals blijkt uit onderzoek op basis van cortisolsecretie over een periode van 40 dagen nadat de blootstelling aan vliegtuiggeluid startte [9]. Ook blijkt uit dit onderzoek dat adaptatie onwaarschijnlijk wordt voor de helft van de proefpersonen voor geluidsniveaus  $L_{Amax} > 65\text{dB(A)}$  en  $L_{Aeq,8uur} > 42\text{dB(A)}$  (op slaapkamerniveau).

Gewenning wordt vaak aangehaald als het gaat om het verklaren van verschillen in vastgestelde slaapverstoring in laboratorium en in veldwerk [25]. Studies zoals [19] waarbij proefpersonen in hun normale slaapomgeving aan artificieel vliegtuiggeluid worden blootgesteld tonen aan dat slechts een deel van de verschillen te wijten zijn aan gewenning terwijl een ander deel zou kunnen verklaard worden door het slapen in een nieuwe, onbekende omgeving.

Een vorm van aanpassing die vaak over het hoofd wordt gezien is de actieve keuze van woonplaats. Op plaatsen waar reeds heel lang hoge geluidsniveaus voorkomen tijdens de nacht treft men minder geluidsgevoelige mensen aan hetgeen er kan op wijzen dat geluidsgevoelige personen deze locaties hebben gemedend bij de keuze van hun woonplaats of verhuisd zijn. Deze vorm van aanpassing zal na een verandering slechts na verscheidene jaren ontstaan.

### **Dosis-effecten relatie**

Voor zelfgerapporteerde niet-specifieke hinder werden dosis-effecten relaties voor (ernstige) hinder versus  $L_{den}$  afgeleid door meta-analyse van een groot aantal studies [23][24]. Hoewel er critici zijn die wijzen op de vele factoren die de hinder ervaren door een individu mee bepalen, en daarom het toepassingsgebied van deze dosis-effectenrelatie beperkt willen zien, kan men toch stellen dat deze dosis-effectenrelaties vrij algemeen

aanvaard worden. Het Nederlandse TNO, dat vandaag over de grootste databank van enquêteresultaten van over gans de wereld beschikt, probeerde een vergelijkbare meta-analyse uit te voeren om een relatie te leggen tussen zelfgerapporteerde slaapverstoring en  $L_{\text{night}}$ . [1]. Dit lukte niet omdat de verschillen tussen studies onderling te groot waren. Deze verschillen kunnen het gevolg zijn van de sterk verschillende vluchtschema's op verschillende luchthavens en het feit dat buitengeluid wordt berekend of gemeten en slaapverstoring steeds binnen optreedt met als gevolg dat verschillende bouwwijzen, slaapgewoonten en isolatieprogramma's een belangrijke invloed kunnen hebben. Voor wegverkeer en treinverkeer konden wel eenduidige relaties tussen  $L_{\text{night}}$  en zelfgerapporteerde slaapverstoring worden afgeleid.

Het Amerikaanse FICAN (Federal Interagency Committee on Aviation Noise) maakte een meta-analyse van een aantal studies rond specifieke luchthavens die in 1997 beschikbaar waren en leidde daaruit een bovengrens af voor de kans op bewust ontwaken (*behavioral awakenings*) in functie van de SEL van individuele vluchten:  $P_{\text{ontw}}=0.0087(\text{SEL}-30)^{1.79}$  [26]. Deze schatting kan enkel gebruikt worden voor volwassenen en in situaties waar de blootstelling reeds geruime tijd onveranderd is gebleven. Door meta-analyse van 8 studies komen Finegold et al. [27] tot een percentage ontwakenden  $\%aw=0.58+4.30 \cdot 10^{-8} \text{ SEL}^{4.11}$ . Het gaat hier om ontwaking vastgesteld door analyse van EEG, actimetry of ontwaakgedrag. Passchier-Vermeer herhaalde de meta-analyse [29] na toevoegen van het recente onderzoek rond Schiphol. Zelfs nadat bovendien een minder relevant geachte studie verwijderd was vond zij ongeveer dezelfde regressiecurve. Door weging met het aantal waarnemingen in elke studie – en daardoor indirect het verhogen van het gewicht van recenter onderzoek – wordt een vlakkere curve bekomen. Voor het berekenen van de kans op ontwaken door geluid opteert men in deze studie voor een kwadratische afhankelijkheid

$$P_{\text{ni\_aw}}=-0.564 \cdot 10^{-2}+1.909 \cdot 10^{-6} \text{ SEL}^2,$$

( 1)

een relatie die geldig is voor  $54 < \text{SEL} < 90 \text{ dB(A)}$ . Een belangrijk nadeel van deze dosis-effectenrelaties is dat ze geen uitspraak doen over het gecumuleerde effect van verschillende vluchten. Men kan logischerwijze aannemen dat afhankelijk van de tijd tussen overvluchten er sprake is van adaptatie of versterking van het effect. Als eenvoudigste benadering kan statistische onafhankelijkheid van de kans op ontwaken door opeenvolgende vluchten verondersteld worden. In [29] stelt men voor de probabiliteiten op te tellen wat ongeveer op hetzelfde neer komt. Een belangrijke oorzaak voor spreiding op de probabliteit zijn persoonsgebonden factoren. Deze zullen tussen opeenvolgende vluchten gecorreleerd zijn hetgeen niet te verzoenen is met de hypothese van statistische onafhankelijkheid.

Bij gebrek aan meer gedetailleerde meta-analyses (in het bijzonder voor gecumuleerd effect) zal gesteund worden op afzonderlijke studies. Men moet dan wel steeds in gedachten houden dat de resultaten slechts toepasbaar zijn in zoverre de randvoorwaarden van de studie corresponderen met de situatie rond Brussel Nationaal. Daarom is het aan te raden om in eerste instantie gebruik te maken van onderzoek in buurlanden omdat topografie, cultuur en leefgewoonten dan het minst zullen verschillen.

Er dient een onderscheid gemaakt te worden tussen ogenblikkelijke reacties en gemiddelde reacties over 24 uur of over een langere periode. In [30] wordt onder andere de kans op motorische onrust bij het overvliegen van een vliegtuig bestudeerd. De door vliegtuiggeluid geïnduceerde toename in probabliteit voor motorische onrust,  $P_m$ , wordt kwadratisch benaderd als

$$P_m=0.000633(L_{\text{max}}-32)+3.14 \cdot 10^{-5}(L_{\text{max}}-32)^2$$

( 2)

Voor het bepalen van de kans op motorische onrust stelt men voor te steunen op statistische onafhankelijkheid. Dit heeft onder andere de hiervoor vermelde nadelen. In [30] wordt echter ook de gemiddelde motorische onrust gedurende de nacht bestudeerd. Deze indicator lijkt goed te correleren met gerapporteerde slaapkwaliteit 's morgens, het aantal gerapporteerde ontwaakreacties, de algemene lawaaierigheid van de slaapkamer ( $L_{50}$ ), en de isolatie voor buitengeluid. De relatie tussen de gemiddelde geluidsgeïnduceerde motorische onrust,  $m_{\text{night}}$ , en het equivalente geluidsniveau veroorzaakt door vliegtuigen tijdens de slaaperiode in de slaapkamer,  $L_{\text{night}}^*$ , is te benaderen met een eenvoudige rechte:

$$m_{\text{night}} = 0.000192 L_{\text{night}}^*.$$

( 3)

Deze motorische onrust is op te splitsen naar een gedeelte veroorzaakt door uitmiddelen van de ogenblikkelijke reacties over de nacht en een lange termijn component. Deze motorische onrust komt bovenop een motorische onrust die niet het gevolg is van vliegtuiggeluid en sterk afhangt van de leeftijd van de proefpersoon. Deze achtergrondwaarde bedraagt 0.04 op 18 jaar, neemt af tot 0.03 op 45 jaar en neemt vervolgens weer toe om 0.048 te bereiken op een leeftijd van 81 jaar. Deze indicator werd ook gesuggereerd tijdens een recente meeting van de Wereldgezondheidsorganisatie [32]. Nauwkeurige analyse van de slaap door middel van EEG (Elektroenzephalogram), EOG (Elektrooculogram) en EMG (Elektromyogram) laat toe een detailbeeld te krijgen van de invloed van vliegtuiggeluid op de slaap. Een recente, zeer uitgebreide studie in Duitsland [31] gebruikt deze methode om zowel in laboratorium als in veldstudies de invloed van vliegtuiggeluid te bestuderen. In labo-omstandigheden werden reeksen van 4 tot 128 geluidsevents met  $L_{As,max}$  van 45 tot 80 dB(A) afgespeeld tijdens de slaap van een aanzienlijk aantal proefpersonen. De verschillen in duur van de verschillende slaapstadia ten opzichte van een basisnacht zonder geluid werden bepaald. Daarnaast werd ook naar een correlatie gezocht tussen de  $L_{Amax}$  van een geluidsgebeurtenis en de kans op ontwaken – afgeleid uit de metingen. Hierbij worden enkel reacties dadelijk volgend (60 seconden in labo, 90 seconden in de veldstudie) op de geluidsgebeurtenis in rekening gebracht. De bekomen regressielijnen confirmeren de gekende vaststelling dat in veldstudies de slaapverstoring veel geringer is. Een van de aspecten die in deze studie op unieke wijze wordt belicht is het gezamenlijk effect van een groot aantal geluidsevents op de reductie van de duur van verschillende slaapstadia, i.h.b. de diepe slaap. Tabel 1 toont het aantal minuten verlies aan diepe slaap in de labo-experimenten. Positieve getallen wijzen op een toename aan diepe slaap. Dat een toename bij blootstelling aan geluid kan optreden wordt verklaard door het feit dat sommige proefpersonen gedurende de nachten voorafgaand aan de bestudeerde nacht een hogere blootstelling hadden. Het organisme recupereert dan slaap gedurende de stillere nacht.

		Aantal vluchtgeluiden					
		4	8	16	32	64	128
$L_{As,max}$ in dB	45					+1.9min	
	50			+1.4min	-5.6min	+1.7min	-9.4min
	55	+7.7min	+2.9min	+3.2min	-3.2min	-7.9min	-5.5min
	60	-4.7min	+0.7min	-5.7min	-18.0min	-0.2min	
	65	+0.1min	-2.3min	-8.9min	-2.3min	-6.6min	
	70	-3.0min	+2.6min	-17.8min	-9.0min		
	75	-5.6min	-7.8min	-4.3min			
	80	-7.7min	-8.6min				

**Tabel 1. Verschil in duur diepe slaap tussen nacht met geluid en basisnacht (positief betekent meer diepe slaap), bron [31]**

Bij de interpretatie van dosis-effecten relaties zoals deze die hiervoor besproken werden, moet men er zich steeds bewust van zijn dat de gemiddelde persoon niet bestaat. Men weet dat verschillende type personen op geheel verschillende manier op stress kunnen reageren en voor blootstelling aan geluid zorgen alle hiervoor reeds vermelde persoonsgebonden karakteristieken voor een bijkomende spreiding. Het effect van geluid tijdens de slaap is dus eerder een spreiding van de slaapkarakteristieken waarbij de extremen belangrijk zijn omdat het juist deze personen zijn waarbij gezondheidseffecten in de breedste betekenis van het woord zullen optreden. Een studie zoals [9] toont dit zeer mooi aan, maar ook in [31] wordt erop gewezen dat bij een blootstelling aan 64 geluidspieken sommige proefpersonen slechts bij 3% van de gebeurtenissen ontwaken terwijl andere bij 88% van de gebeurtenissen ontwaken terwijl het gemiddelde bij 23% ligt.

### **Grenswaarden voorgesteld door de Wereldgezondheidsorganisatie**

Op basis van dosis-effectenrelaties kan het effect van een exploitatie op slaapverstoring berekend worden. Vervolgens kan geëvalueerd worden in welke mate het voorspelde effect als ontoelaatbaar moet bestempeld worden. Men kan echter ook op basis van gekende impacts een bovengrens voor de geluidsblootstelling voorstellen. Internationale organisaties zoals de wereldgezondheidsorganisatie (WHO) hebben dergelijke limieten voorgesteld. De WHO stelt dat het maximumniveau  $L_{Amax}$  in de slaapruijnt 45 dB(A) niet meer dan 10-15 maal mag overschrijden. Voor het gemiddeld niveau tijdens de slaap,  $L_{Aeq}$ , wordt 30 dB(A) als maximum voorgesteld [33].

Passchier et al (2000) stellen echter dat dat de gevoeligheid voor slaapverstoring veel groter is dan op basis van vroegere studies en dus ook door de WHO wordt aangegeven. In hun studie ziet reeds duidelijk toename van de motorische onrust (motiliteit) vanaf 32 dBA  $L_{Amax}$ , dwz ongeveer 13 tot 15 dBA lager dan de 45 dBA  $L_{Amax}$  norm van de WGO. De onderzoekers verklaren dit vooral door het feit dat door hen een objectieve correlatie werd gemaakt tussen het lawaai dat door individuele vliegtuigpassages in de slaapkamer wordt veroorzaakt (geluidsdrukmetingen binnen) en objectief gemeten slaapverstoring. In het vroegere onderzoek daarentegen werd het geluid in de slaapkamer niet gemeten maar afgeleid uit buitenmetingen. Bovendien werd slaapverstoring eenzijdig benaderd als ontwakingsreactie en ontwakingen zijn geen betrouwbare parameter voor slaapverstoring. Zo zijn er bvb veel (vooral jongere proefpersonen) die zich 's ochtends niet meer herinneren dat ze wakker geworden zijn (hoewel ze de actimeter knop hebben ingedrukt). Uit andere studies blijkt ook dat kinderen bij ontwaken (zoals objectief kan worden vastgesteld op het EEG) daar geen actie aan vastkoppelen of melding van maken (actimeter indrukken, opstaan, etc). Ten slotte werden in de vroegere studies welke ten grondslag lagen aan het WHO rapport zoveel assumpties gemaakt dat de correlaties onbetrouwbaar zijn: (1) zo werden vliegtuigpassages die binnen de vijf minuten na de voorgaande plaats vonden niet als vliegtuigpassages meegenomen (TNO 2002.028 p. 10), (2) werd de nacht owv beperkingen in de computer faciliteiten in 1992 slechts bekeken tussen 23 h 30 en 5 h 30 (TNO 2002.028 p 10) hoewel uit het onderzoek van Passchier blijkt dat slaapverstoring sterk toeneemt naarmate de slaaptijd en de kloktijd vordert en (3) bovendien werd in de veel aangehaalde studie van Fidell et al (1995) enkel gekeken naar deelnemers met een hoge vliegtuiggeluidbelasting en men weet dat dit een populatie is die door natuurlijke selectie beter tegen vliegtuiglawaai bestand is.

## Compensatie

Het menselijk organisme is gericht op overleven en zal proberen ongewenste situaties te herstellen. Zo zal ook slaapdeprivatie aanleiding geven tot langere slaaptijd en langere periodes in diepe slaap tijdens daaropvolgende rustige nachten. In dat opzicht is de spreiding van de vluchten over de week belangrijk. Door te werken met gemiddeld aantal vluchten per nacht wordt dit onvoldoende in rekening gebracht.

### 2.2 Invloed van slaapverstoring op de gezondheid

Slaapverstoring heeft een duidelijke impact op de gezondheid. In een recente publicatie (Akerstedt & Nilsson, 2003 [3]), wijzen experts in deze materie op een groeiend aantal gezondheidsproblemen dat verband houdt met slaapverstoring.

Oorzakelijke verbanden, onderzocht in longitudinale studies, heeft men echter enkel kunnen aantonen voor problematisch alcoholgebruik (Johnson en coll, 2001), hartziekte (Nilsson en coll, 2001), diabetes (Ayas en coll, 2003), depressie (Breslau en coll, 1996) en mortaliteit in het algemeen (Nilsson en coll, 2001).

Daarnaast zou ook een vergrote kans op ongevallen vastgesteld zijn. Dit laatste aspect hebben we echter niet kunnen kwantificeren en laten we verder buiten beschouwing. Verder hebben we ook alle ziektebeelden waarbij wel een verband is aangetoond met slaapverstoring, maar waarbij geen *oorzakelijk* verband kon aangetoond worden (obesitas, ADHD, angst, ...) buiten beschouwing gelaten. Ook werd hypertensie buiten beschouwing gelaten, ondanks het feit dat voor dit ziektebeeld er wel een oorzakelijk verband werd aangetoond. Gezien de mogelijke overlap met hartziekte, hebben we echter verkozen dit ziektebeeld niet in aanmerking te nemen.

In de volgende tabel staan de relatieve risico's op de bovenvermelde aandoeningen, zoals gerapporteerd in de respectievelijke studies. De prevalenties in geval van afwezigheid van slaapverstoring (lijn 2 in de tabel) zijn gebaseerd op Belgische epidemiologische studies (<http://www.iph.fgov.be/HomeNL.htm>). De relatieve risico's zijn gebaseerd op bovenvermelde studies.

	alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit
relatief risico	2.3	1.9	1.57	4.0	1.71
Prevalentie zonder slaapverstoring	0.07	0.029	0.035	0.063	0.0104
Prevalentie met slaapverstoring	0.161	0.0551	0.05495	0.252	0.017784

**Tabel 2: relatief risico ten gevolge van slaapverstoring, en absolute prevalenties met en zonder slaapverstoring voor een aantal aandoeningen**

Belangrijk is te noteren hoe slaapverstoring in de verschillende studies werd gedefinieerd. In Nilsson en coll, waar een relatieve toename van de kans op mortaliteit werd vastgesteld in een populatie met slaapstoornissen tov een controlepopulatie, was de definitie van slaapstoornis gebaseerd op drie vragen:

1 'Do you have difficulties falling asleep?'

2 'Do you wake-up early in the morning without possibilities of going back to sleep?'

3 'Do you regularly use sleep pills more than three times weekly?'

In Johnson en coll, waar een relatieve impact op problematisch alcoholgebruik werd gerapporteerd, werden zelfgerapporteerde slaapstoornissen gedefinieerd als "trouble sleeping often in the past 6 months".

Ook in de andere publicaties is de definitie van slaapstoornissen gebaseerd op zelfgerapporteerde problemen van inslapen of ontwaken.

Daardoor houdt het leggen van een verband "motiliteitsstoornis → impact op gezondheid" een overschattingsrisico in, omdat men aan alle personen met motorische onrust een slaapstoornis toebedeelt die aanleiding zou geven tot de relatieve risico's die werden vermeld in tabel 2.

Anderzijds houdt het gebruik van het concept bewust ontwaken een risico voor onderschatting in, omdat slaapstoornissen ook meer kunnen inhouden dan enkel het bewust ontwaken.

Een tekort aan diepe slaap is een zeer belangrijke parameter voor slaapverstoring. Het is aangetoond dat drie fasen van diepe slaap nodig zijn om van een kwalitatieve slaap te kunnen spreken. Het probleem dat zich hier echter stelt is de vraag vanaf welke hoeveelheid slaapdeprivatie men kan spreken van slaapstoornis die zal aanleiding geven tot verhoogde ziekterisico's. Bovendien gaat men in dergelijke vraag er nog van uit dat dit als een ja-nee situatie kan omschreven worden, terwijl het verband tussen slaapdeprivatie, uitgedrukt in tijd en verhoogd ziekte risico wellicht een continu verband is. Ook spreekt men in de studies waar deze parameter werd onderzocht van de tijd aan diepe slaap die verloren gaat, maar niet van het aantal fasen diepe slaap die de proefpersonen hebben doorgemaakt. Deze parameter lijkt ons daarom het moeilijkst te koppelen aan de bovenstaande literatuur die slaapstoornissen relateert aan gezondheidsproblemen.

### 2.3 *Economische impact van negatieve gezondheidseffecten*

Wanneer men de bovenstaande gezondheidsproblemen beschouwt, dan is de volgende vraag welke de economische gevolgen hiervan zijn.

De economische impact van gezondheidsschade bestaat uit drie elementen:

- directe medische kosten
- productiviteitsgerelateerde kosten
- ontastbare kosten

De directe medische kosten houden de kosten in van ziekte voor RIZIV en patiënt. Wanneer een patiënt met hartziekte anti-hypertensiva moet nemen, dan zal dit een kost betekenen voor het RIZIV (het terugbetaalde gedeelte) en voor de patiënt (het remgeld).

De productiviteitsgerelateerde kosten houden verband met absentieïsme, en "presenteïsme" (= men is aanwezig op het werk, maar minder productief).

Tenslotte betekent de ontastbare kost ("intangible" in het Engels) de monetaire waarde van het menselijk leed. De meest gebruikte methode om dit te meten is de zogenaamde "willingness to pay" methode, waarbij men aan de betrokkenen vraagt hoeveel zij zouden bereid zijn te betalen om van hun leed verlost te worden. Het is evident dat deze methode belangrijke methodologische knelpunten heeft (mensen zijn geneigd "alles" te willen betalen, maar citeren op die manier niet-realistische bedragen). Door de respondenten in de loop van meerdere vragen systematisch voor keuzen te stellen (wat verkiest u, X Euro verdienen en geen nachtlawaai, of Y (>X) verdienen met nachtlawaai, etc...) bekomt men realistische en betaalbare bedragen.

Baarsma (2001) heeft dergelijke metingen gedaan bij personen die in verschillende geluidscontouren, bepaald op basis van Lden (gemiddelde van dag en nacht) wonen. Uit haar studie blijkt dat personen die in een geluidscontour met Lden > 55 dB (A) wonen bereid zijn maandelijks €92 te betalen *om tot op het niveau van 55 Lden terug te keren*. Indien men dit cijfer hanteert voor de regio rond Zaventem, met ongeveer 106.000 personen binnen deze geluidscontour, dan zou dit een bedrag aan ontastbare kosten van €92 x 106.000 x 12 = 117 Mln Euro op jaarbasis betekenen. Hoewel de nachtelijke geluidsbelasting in Lden veruit het zwaarst doorweegt, mogen we deze cijfers niet zomaar aanvaarden omdat ze op Lden en niet op Lnight gestoeld zijn. Desalniettemin wijst deze berekening op het belang van de ontastbare kosten in de gehele beschouwing van de problematiek.

Anderzijds heeft de willingness to pay methode nog te kampen met verschillende methodologische problemen, en hebben we besloten geen kwantificering op basis van deze resultaten op te nemen in onze vergelijkende analyse tussen de verschillende scenario's.

Wanneer we terugkeren naar de "tastbare" kosten (categorieën 1 en 2) dan kan men in de literatuur voor elk van de beschouwde ziektebeelden de kost per jaar terugvinden. Deze cijfers staan vermeld in de volgende tabel.

	Medische kosten per geval (€)	Productiviteits-kosten per geval (€)	Totaal (€)	Bron
Problematisch				
Alcohol gebruik	7.143	19.048	26.190	Annemans, 2000 Muls en coll (1998); Klever-Deichert en coll (1999)
Hartziekte	2.321	2.791	5.112	
Diabetes	3.212	3.926	7.138	Jonsson, 2002;
Depressie	3.825	8.048	11.873	Ansseau, 1998
Mortaliteit	2.615	25.000*	27.615	Lamotte en coll (1999)

**Tabel 3: Directe medische kosten en productiviteitsgerelateerde kosten van de beschouwde ziektebeelden per persoon.**

\* = assumptie = waarde per jaar van productiviteitsverlies door overlijden

De belangrijkste vaststelling is dat in het algemeen de productiviteitsgerelateerde kosten hoger zijn dan de directe medische kosten.

### 3 De mogelijke uitbreiding van de activiteiten van DHL in Zaventem

#### 3.1 Bestudeerde scenario's

Om vergelijkbaarheid van de resultaten te garanderen werden de bestudeerde scenario's tussen de economische deelstudie en de gezondheidseconomische deelstudie op elkaar afgestemd. Dit leidde tot volgende scenario's:

- Scenario 1: Hoog groeiscenario
  - Fase 1: nu – 2007: stijging naar 1.250 ton per nacht met een maximum van 74 bewegingen per nacht (ongeveer 16.200 nachtvluchten per jaar);
  - Fase 2: 2007 – 2012: stijging naar 3.000 ton per nacht gekoppeld aan een maximum van 140 bewegingen per nacht (ongeveer 30.000 nachtvluchten per jaar).

Dit scenario bestaat uit een combinatie van een reorganisatie van de activiteiten van DHL – de HUB-activiteiten worden geconcentreerd in Zaventem – en een groei van de omzet. Voor de reorganisatie werd een simulatie gemaakt van de verwachte bewegingen, inclusief de bestemming van de vluchten (indirect ook een maat voor het vliegtuiggewicht), een vermoedelijk aankomst- en vertrekkur en de gebruikte vliegtuigen, dit op basis van door DHL aangeleverde projecties. Dit detail werd gebruikt bij de evaluatie uitgevoerd in de onderliggende studie. Omwille van het commerciële belang van deze informatie, wordt ze niet expliciet in dit rapport opgenomen. De ingezette vloot verandert echter niet significant ten opzichte van de huidige vloot. Het aantal vluchten wordt ten opzichte van deze basisinformatie homogeen opgedreven tot het gestelde aantal vluchten per nacht. Er wordt dus verondersteld dat de groei even groot is op alle bestemmingen.

*Variant:* enkel hoofdstuk 4 vliegtuigen worden ingezet.

- Scenario 2: Laag groeiscenario
 

Trager expansiepad van het hoog groeiscenario, met een trafiekevolutie naar 2.000 ton in 2012, en daaraan gekoppeld 22.100 nachtvluchten per jaar met een maximum van 100 bewegingen per nacht.

De bestemming van de vluchten, een vermoedelijk aankomst- en vertrekkur en de gebruikte vliegtuigen worden opnieuw overgenomen uit de simulatie van de reorganisatie en zijn dus identiek aan scenario 1, maar de groei wordt beperkter verondersteld. .
- Scenario 3: Volledige delocalisatie
 

Ook in dit scenario blijven nog een aantal nachtvluchten, niet gerelateerd aan de HUB-activiteiten van DHL bestaan. Ook bij volledige delocalisatie zal DHL de niet onbelangrijke lokale markt blijven bevoorraden, deels via de lucht. Met betrekking tot het in dat geval overblijvende aantal nachtvluchten werden door DHL geen projecties gedaan en beschikte het onderzoeksteam bijgevolg niet over cijfermateriaal. De delocalisatie werd in de leefbaarheidsimpactstudie dan ook niet meegenomen.

### 3.2 Methodologie

#### Van vluchtgegevens naar geluidsniveaus

De basis voor het evalueren van de verschillende scenario's is een gedetailleerde beschrijving van het aantal nachtvluchten uitgevoerd door DHL, het aankomst en vertrekkur, de ingezette vloot en de bestemming. Uit de bestemming kan het exitpoint afgeleid worden, maar niet de gevolgde vertrekprocedure (SID) of dus de gevlogen route. Hiervoor wordt verondersteld dat het spreidingsplan dat in 2004 geïmplementeerd wordt onveranderd zal bestaan tot in het zichtjaar 2012 – het jaar waarvoor de impact wordt berekend. De grondige analyse van de geluidsimmissies die gepaard gaan met dit spreidingsplan is beschreven in [34]. Dit document en de bijbehorende contouren (elektronisch aangeleverd) dienen als basis voor de onderliggende analyse. Er wordt verondersteld dat alle bijdragen tot de geluidsemissie die niet afkomstig zijn van DHL-vliegtuigbewegingen onveranderd blijven. Voor de DHL-vliegtuigbewegingen nu en in de verschillende toekomstscenario's wordt de immissie berekend aan de hand van het rekenmodel INM6.1. De verdeling over de runways en SID procedures wordt gekozen in overeenstemming met [34]. Bijkomende informatie over de relatie tussen exitpoint en gekozen runway en SID wordt geput uit statistische analyse van de vliegtuigbewegingen gedurende de nacht over de periode 22/03/2004 en 24/04/2004. Doordat de bestemmingen van de DHL vluchten in het Pegasus-scenario wijzigt, verandert ook het exitpoint en dus de startbaan die vermoedelijk zal gebruikt worden. Op basis van bovenvermelde statistische analyse wordt de spreiding van de groei over de verschillende startbanen weergegeven in Tabel 4 bekomen. Met uitzondering van RWY 07L en 02 is de groei vrij uniform, wat te verwachten was vermits het spreidingsplan vooral de keuze tussen 07L, 07R en 02 van de bestemming laat afhangen.

RWY	25L	25R	20	07L	07R	02
groei	141%	133%	142%	224%	146%	47%

**Tabel 4. Verdeling van de groei van het aantal opstijgende DHL vluchten over de startbanen**

Als stijprofiel of verticaal vliegprofiel worden de standaardprofielen die voor verschillende types vliegtuigen in het INM 6.1 model zijn opgenomen, gebruikt. Deze zijn afhankelijk van het opstijggewicht van het vliegtuig. In INM wordt aangeraden dit opstijggewicht te berekenen op basis van de te vliegen afstand indien geen werkelijk gewicht bekend is omdat brandstof een belangrijke bijdrage vormt in het vliegtuiggewicht. Uit de bestemming – die gemiddeld iets verder ligt in het Pegasus-scenario – wordt dus het uiteindelijke verticale vliegprofiel bepaald.

Voor de berekening van slaapverstoring kan gesteund worden op een gemiddeld nachtniveau  $L_{\text{night}}$  of op een beschrijving van de geluidspieken aan de hand van  $L_{\text{Amax}}$  of SEL. Het aantal personen blootgesteld aan verschillende  $L_{\text{night}}$  niveaus na volledige implementatie van het spreidingsplan wordt afgeleid uit de contouren berekend in [34]. Voor de scenario's wordt de verwachte toename ten gevolge van de uitbreiding van de activiteiten berekend in een aantal goed gekozen punten (de meetpunten van het meetnet) en op basis daarvan wordt toekomstige blootstelling ingeschat.

Voor het berekenen van geluidspiek-gebaseerde indicatoren kunnen we ons beperken tot de DHL-vliegbewegingen omdat de meeste modellen voor slaapverstoring onafhankelijkheid van de impact veronderstellen en we enkel geïnteresseerd zijn in de toename (of afname) van slaapverstoring ten gevolge van de wijziging bij DHL. De berekening van alle geluidspieken die tijdens een jaar voorkomen gebeurt in een rooster van punten dat zich tot 25 km buiten de luchthaven uitstrekt. In elk punt wordt een cumulatieve distributie over  $L_{\text{Amax}}$  en SEL van de geluidspieken berekend. INM is een zeer geschikt model voor het berekenen van de gemiddelde niveaus. Het model gaat uit van gemiddelde vluchten, en houdt dus geen rekening met spreiding ten gevolge van lading,

meteo, individuele verschillen tussen vliegtuigen van hetzelfde type, ... Daardoor is het niet a priori zeker dat de distributie van geluidspieken zal overeenkomen met de pieken die werkelijk gemeten worden. Recent werd door de KULeuven nagegaan hoe goed INM6.1 (met standaard stijprofiel) de gemeten  $L_{Amax}$  in de meetposten rond Brussel Nationaal voorspelt [35]. Op langere termijn blijkt de berekende cumulatieve distributie vrij dicht bij de gemeten distributie te liggen. Er wordt echter op gewezen dat bij de keuze van een scherpe grens (b.v. 70 dB(A)) voor optreden van het effect soms grote verschillen in aantallen blootgestelden kunnen ontstaan. In de onderliggende studie wordt de distributie vermenigvuldigd met een gradueel toenemende intensiteit van het effect (bijvoorbeeld de kans op motorische onrust of gerapporteerd ontwaken) waardoor de gevoeligheid voor kleine afwijkingen op het berekende niveau sterk afneemt.

Samengevat steunt de inschatting van de geluidsniveaus veroorzaakt door nachtvluchten DHL dus op volgende hypothesen:

- de beschrijving van de scenario's (inclusief vlootsamenstelling en bestemmingen) zoals bekomen van DHL geven een accuraat beeld van de toekomstige situatie,
- het spreidingsplan wordt niet aangepast voor 2012,
- de keuze van RWY en SIDs in relatie tot de bestemming (exitpoint) gebeurt in 2012 statistisch op dezelfde wijze als in april 2004,
- het opstijggewicht en dus de standaard verticale vliegroute is gerelateerd aan de te vliegen afstand zoals beschreven in het INM model, met andere woorden er is geen trend naar significant groter gewicht van de lading in de scenario's.

### **Van geluidsniveaus naar slaapverstoring**

Er worden verschillende indicatoren voor slaapverstoring berekend.

Op basis van  $L_{night}$  wordt de *gemiddelde geluidsgeluideerde motorische onrust* bepaald volgens formule ( 3). Het gaat hier om een totaalwaarde veroorzaakt door alle nachtvluchten samen. Het resultaat wordt voorgesteld als een cumulatieve distributie van het aantal personen over verschillende intensiteit van motorische onrust.

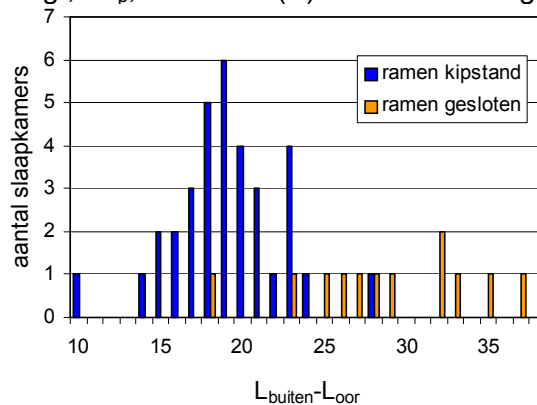
Op basis van  $L_{Amax}$  wordt de prevalentie van motorische onrust berekend. Meer specifiek wordt de probabilliteit om minstens een maal per nacht een motorische reactie tengevolge van een DHL-vlucht vast te stellen bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van ( 2)

Op basis van  $L_{Amax}$  wordt het *totale verlies aan diepe slaap* ten gevolge van vliegtuigbewegingen door DHL berekend op basis van de getalwaarden in Tabel 1. Omdat dit steunt op resultaten bekomen in labo, berekent dit een bovengrens. Anderzijds wordt de duur van verlies aan diepe slaap niet opgeteld, maar wordt enkel de meest versturende combinatie weerhouden. Bijvoorbeeld, wanneer 12 events met  $L_{Amax}=60\text{dB(A)}$  voorkomen samen met twee overvluchten die met een  $L_{Amax}=70\text{dB(A)}$  gepaard gaan, dan wordt enkel het verlies aan diepe slaap door 14 stille events weerhouden omdat dit groter is dan het verlies aan slaap door de luide events zoals af te lezen in Tabel 1. Het resultaat wordt opnieuw onder de vorm van een cumulatieve distributie van de bevolking weergegeven.

Op basis van de SEL per geluidsgebeurtenis wordt de *kans op ontwaakgedrag* berekend aan de hand van de dosis-effecten relatie ( 1). Het effect van opeenvolgende vliegtuigpassages wordt samengesteld door optellen van de ontwaakkans zoals gesuggereerd in [29]. Het resultaat wordt opnieuw onder de vorm van een cumulatieve distributie van de bevolking weergegeven.

Een belangrijk probleem bij het begroten van de slaapverstoring bestaat erin dat alle dosis-effectenrelaties gebaseerd zijn op blootstelling ter hoogte van het oor van de slaper en de geluidsniveaus buiten berekend worden. Geluidsisolatie van de woning bepaalt het verschil. Jammer genoeg is er geen kadaster van geluidsisolaties van woningen ten opzichte van vliegtuiggeluid rond Brussel-Nationaal. In [31] werd tijdens de veldstudie zowel binnen als buiten gemeten tijdens het overvliegen van een vliegtuig (Figuur 2). Wanneer de ramen gesloten zijn, varieert dit verschil tussen 18 en 37 dB(A) met een gemiddelde van 28 dB(A). Verminderen van het buitengeluid met 20 dB(A) om het

binnengeluid te bekomen is dus een conservatieve schatting in de veronderstelling dat de woning rond Bonn dezelfde isolatiekarakteristiek heeft als deze rond Brussel-Nationaal. Merk echter de zeer grote spreiding in deze gegevens, hetgeen dadelijk het belang van een degelijke isolatie onderstreept. Wanneer het slaapkamerraam in kipstand wordt geplaatst daalt de isolatie significant en daalt de spreiding in het waargenomen verschil in geluidsniveau. Een conservatieve schatting voor de verzwakking tussen buitengeluidsniveau en geluidsniveau aan het oor van de slaper zou in dit geval 15 dB(A) zijn. Men kan er echter van uit gaan dat de slapende, die blootgesteld wordt aan geluid van opstijgende en landende vliegtuigen zijn ramen sluit. Voldoende verluchting heeft echter ook een invloed op de gezondheid. We gebruiken enerzijds een conservatieve schatting van de verzwakking,  $\Delta L_p$ , van 20 dB(A) wat zou overeenkomen met het voorzorgsbeginsel, anderzijds een verzwakking,  $\Delta L_p$ , van 30 dB(A) wat eerder het gemiddelde weerspiegelt.

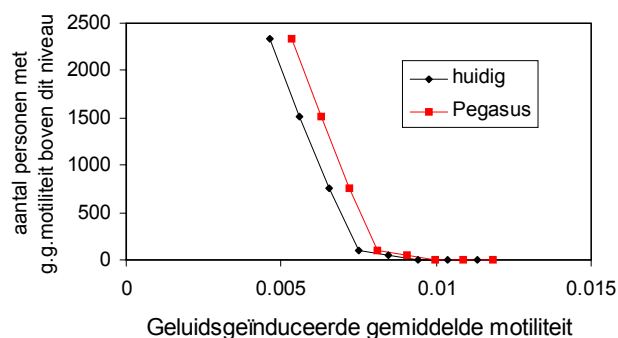


**Figuur 2. Verschil in maximaal geluidsdrukniveau aan het oor van de slaper en boven het dak uit veldstudie in [31]**

### 3.3 Slaapverstoring in de verschillende scenario's

#### Gemiddelde geluidsgeïnduceerde motorische onrust

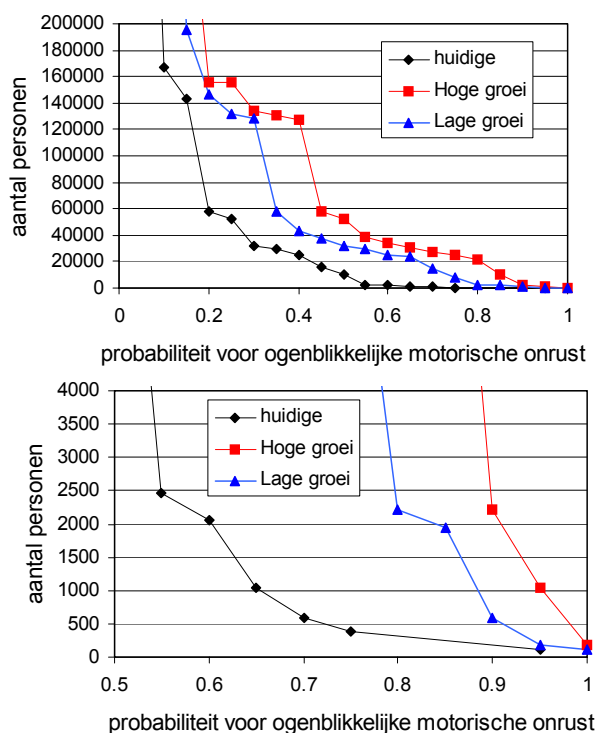
Het aantal personen met minimaal de opgegeven geluidsgeïnduceerde motorische onrust is weergegeven in Figuur 3. Deze motorische onrust is berekend op basis van het gemiddeld geluidsniveau veroorzaakt door vliegtuigen tijdens de nacht (23u tot 7u) en omvat dus alle vluchten, niet enkel deze van DHL. In de scenario's wordt verondersteld dat de andere bijdragen tot het gemiddeld geluidsniveau niet wijzigen.



**Figuur 3. Aantal personen met geluidsgeïnduceerde gemiddelde motorische onrust hoger dan de opgegeven waarde (alle nachtvluchten,  $\Delta L_p=20$ dB(A))**

## Ogenblikkelijke motorische onrust bij overvlucht

Een tweede manier om slaapverstoring uit te drukken, en het gevolg van de uitbreidingsplannen te vertalen in extra slaapverstoring, is aan de hand van de acute motorische onrust tijdens de slaap. Zoals eerder aangegeven geeft deze parameter wellicht aanleiding tot een overschatting van het probleem, omdat niet alle motorische onrust aanleiding geeft tot een dergelijke mate van slaapverstoring die negatieve gezondheidseffecten induceert.



**Figuur 4. Aantal omwonenden van de luchthaven met bepaalde probabiteit voor minstens eenmaal vastgestelde motorische onrust veroorzaakt door een vlucht van DHL per nacht ( $\Delta L_p=20\text{dB(A)}$ ).**

Aan de hand van een integraalberekening van de grafiek (oppervlakte onder de curve) vinden we dat het aantal personen met slaapstoornissen, gedefinieerd als ogenblikkelijke motorische onrust, als volgt evolueert:

$\Delta L_p$ buiten binnen		Huidig	Laaggroei-scenario	Hooggroei-scenario
20 dB(A)	slaapverstoring	56431	126390	153968
	groei		2.24	2.73
30 dB(A)	slaapverstoring	12787	25062	33346
	groei		1.96	2.61

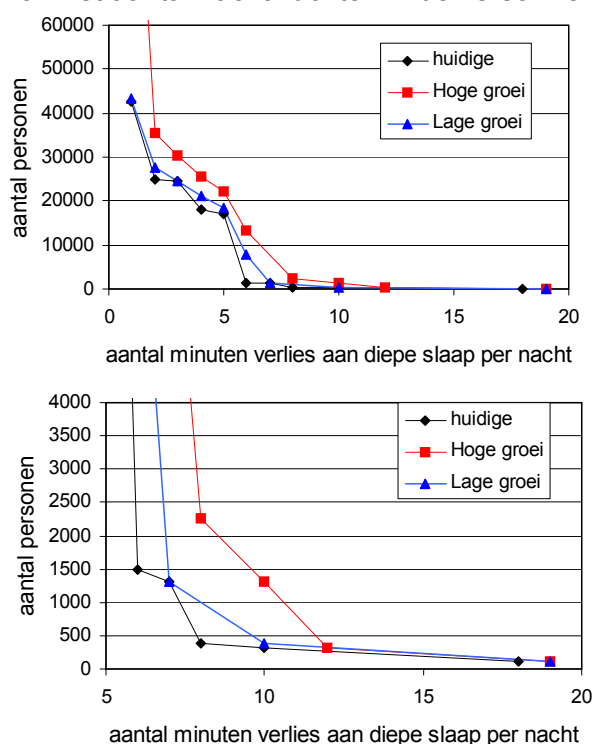
**Tabel 5: aantal slaapverstoorden, gedefinieerd als ogenblikkelijke motorische onrust, in de huidige toestand en twee scenario's**

Het aantal slaapverstoorden zou onder deze assumpties groeien met een factor 2.73, of anders uitgedrukt, met 173%.

### Totale verlies aan diepe slaap

Figuur 5 toont het aantal personen met minimaal een bepaald gecumuleerd verlies aan diepe slaap door geluid van vliegtuigen van DHL. De wijze waarop de indicator berekend werd, impliceert dat hij als een bovengrens beschouwd moet worden. Het effectief verlies aan diepe slaap zal voor de meeste personen lager liggen. Deze getallen moeten vergeleken worden met een onbelaste basissituatie (op alle andere vlakken dezelfde slaapsituatie) waarbij ongeveer 16% van de slaap in diepe slaafase doorgebracht wordt, wat overeenkomt met 70 tot 80 minuten bij een normale slaapduur.

Deze indicator houdt van de drie indicatoren voor slaapverstoring die hier gebruikt worden het accuraatst rekening met het totaaleffect van verschillende overvluchten. Anderzijds is de indicator gebaseerd op een beperkte hoeveelheid gegevens hetgeen het grillig verloop deels verklaart. De toename van het verlies aan diepe slaap is niet evenredig met de omvang van de groei van het aantal nachtvluchten in de verschillende scenario's.



**Figuur 5. Aantal personen met potentieel minimaal het aantal aangegeven minuten verlies aan diepe slaap per nacht door vliegtuigen van DHL ( $\Delta L_p=20\text{dB(A)}$ ).**

Afhankelijk van waar men de grens legt, bv. 5 minuten of 10 minuten, vindt men zeer sterk afwijkende schattingen van het aantal personen met slaapverstoring.

$\Delta L_p$ buiten binnen		Huidig	Laaggroei-scenario	Hooggroei-scenario
20 dB(A)	slaapverstoring	764	2057	4095
	groei		2.691	5.358
30 dB(A)	slaapverstoring	148	178	459
	groei		1.199	3.102

**Tabel 6: aantal slaapverstoorden, gedefinieerd als een verlies van 10 minuten diepe slaap, in de huidige toestand en twee scenario's**



(oppervlakte onder de curve) vinden we dat het aantal personen met slaapstoornissen, gedefinieerd als bewust ontwaken, als volgt evolueert:

$\Delta L_p$ buiten binnen		Huidig	Laaggroeiscenario	Hooggroeiscenario
20 dB(A)	slaapverstoring	2488	4737	5808
	groei		1.904	2.334
30 dB(A)	slaapverstoring	188	452	697
	groei		2.400	3.697

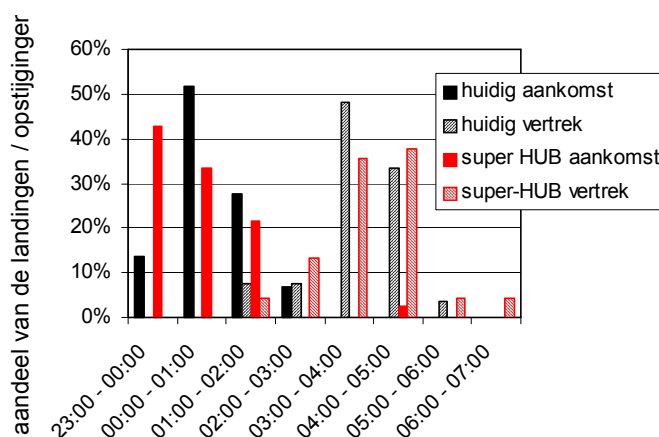
**Tabel 8: aantal slaapverstoorden, gedefinieerd als bewust ontwaken, in de huidige toestand en de twee scenario's**

Het aantal slaapverstoorden zou onder deze assumpties groeien met een factor 2.33, of anders uitgedrukt, met 133%, tzt meer dan een verdubbeling.

### tijdstip van de vluchten

Het tijdstip waarop een vlucht aankomt of vertrekt heeft om diverse redenen een invloed op de slaapverstoring. Enerzijds is vroeger tijdens de slaap de kans op verstoring groter, anderzijds wisselen de gebruikte startbanen en SID op sommige dagen om 3:00. In Figuur 7 wordt de procentuele verdeling van de vluchten over de nacht weergegeven in de huidige toestand en na reorganisatie met zogenaamde super-HUB in Zaventem. Op dit vlak zullen geen noemenswaardige wijzigingen optreden. Daarom wordt bij de vergelijking van de verschillende scenario's geen rekening gehouden met het uur van de nacht. Ook de intensiteitsverdeling van de vluchten over de week zal niet noemenswaardig veranderen. Hoewel het spreidingsplan verschillende vluchtroutes voorziet op verschillende dagen, wordt bij vergelijking van de verschillende scenario's om bovenstaande reden hier toch geen rekening gehouden met de dag van de week.

Beide benaderingen betekenen dat de onzekerheid op de absolute getallen groter zal worden. Door het beperkt tijdsbestek van deze studie kon dit niet nauwkeuriger bestudeerd worden.



**Figuur 7. Verdeling van de DHL-bewegingen over de nachturen.**

### 3.4 Gezondheidseffecten in de drie scenario's

In het bovenstaande stellen we vast dat het geschatte aantal personen met slaapstoornissen sterk varieert naargelang de definitie van slaapstoornissen.

De volgende tabel vat de bevindingen samen (van de hoogste schattingen naar de laagste):

	Huidig	Laaggroei	Hooggroei
Acute motorische onrust	56431	126390	153968
Slaapdeprivatie 5 minuten	17077	18374	22124
Bewust ontwaken	2488	4737	5808
Slaapdeprivatie 10 minuten	764	2057	4095

**Tabel 9: geschatte aantal personen met slaapstoornissen naargelang de definitie van slaapstoornissen.**

Op basis van deze uiteenlopende schattingen, hebben we uiteenlopende aantallen personen met mogelijke gezondheidsschade berekend.

Onderstaande tabel toont het huidig aantal personen met de eerder besproken ziektebeelden, voor de 4 mogelijke definities van slaapverstoring, gevolgd door dezelfde schattingen in geval van laaggroei, en van hooggroei.

Noteer opnieuw de grote variaties:

HUIDIG						
Aantal slaapstoornissen	alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	
<b>motiliy</b>	56431	5135	1473	1126	10665	417
<b>depriv 5</b>	17077	1554	446	341	3228	126
<b>awaken</b>	2488	226	65	50	470	18
<b>depriv 10</b>	764	70	20	15	144	6
LAAG						
Aantal slaapstoornissen	alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	
<b>motiliy</b>	126390	11501	3299	2521	23888	933
<b>depriv 5</b>	18374	1672	480	367	3473	136
<b>awaken</b>	4737	431	124	95	895	35
<b>depriv 10</b>	2057	187	54	41	389	15
HOOG						
Aantal slaapstoornissen	alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	
<b>motiliy</b>	153968	14011	4019	3072	29100	1137
<b>depriv 5</b>	22124	2013	577	441	4181	163
<b>awaken</b>	5808	529	152	116	1098	43
<b>depriv 10</b>	4095	373	107	82	774	30

**Tabel 10: aantal voorspelde gevallen van ziekte te wijten aan slaapstoornissen door vliegtuiglawaai in drie scenario's en volgens 4 definities van slaapstoornissen**

### 3.5 Gezondheidseconomische impact in de drie scenario's

Op dezelfde manier als voor het berekenen van de gezondheidsschade kan men de economische impact berekenen. De volgende drie tabellen tonen deze economische impact, afzonderlijk voor de directe medische kosten, de indirecte kosten en het totaal.

HUIDIG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	36,680,150	3,698,324	3,616,065	40,795,381	1,089,635	85,879,555
<b>depriv 5</b>	11,100,050	1,119,177	1,094,284	12,345,390	329,743	25,988,644
<b>awaken</b>	1,617,200	163,056	159,430	1,798,637	48,041	3,786,364
<b>depriv 10</b>	496,600	50,070	48,957	552,315	14,752	1,162,694
LAAG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	82,153,500	8,283,234	8,098,995	91,370,491	2,440,485	192,346,705
<b>depriv 5</b>	11,943,100	1,204,179	1,177,395	13,283,024	354,787	27,962,484
<b>awaken</b>	3,079,050	310,449	303,544	3,424,496	91,467	7,209,007
<b>depriv 10</b>	1,337,050	134,810	131,811	1,487,057	39,719	3,130,447
HOOG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	100,079,200	10,090,616	9,866,177	111,307,316	2,972,993	234,316,302
<b>depriv 5</b>	14,380,600	1,449,943	1,417,693	15,993,993	427,196	33,669,424
<b>awaken</b>	3,775,200	380,639	372,173	4,198,748	112,148	8,838,909
<b>depriv 10</b>	2,661,750	268,374	262,405	2,960,378	79,071	6,231,978

**Tabel 11: directe kost van ziekte te wijten aan slaapstoornissen door vliegtuiglawaai in drie scenario's en volgens 4 definities van slaapstoornissen**

HUIDIG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	97,813,733	6,922,504	4,419,635	85,831,551	10,417,163	205,404,586
<b>depriv 5</b>	29,600,133	2,094,870	1,337,458	25,974,117	3,152,414	62,158,993
<b>awaken</b>	4,312,533	305,208	194,858	3,784,248	459,285	9,056,132
<b>depriv 10</b>	1,324,267	93,721	59,836	1,162,044	141,034	2,780,902
LAAG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	219,076,000	15,504,515	9,898,772	192,239,190	23,331,594	460,050,071
<b>depriv 5</b>	31,848,267	2,253,975	1,439,038	27,946,854	3,391,840	66,879,975
<b>awaken</b>	8,210,800	581,097	370,998	7,204,977	874,450	17,242,323
<b>depriv 10</b>	3,565,467	252,336	161,103	3,128,697	379,722	7,487,325
HOOG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	266,877,867	18,887,564	12,058,661	234,185,328	28,422,493	560,431,912
<b>depriv 5</b>	38,348,267	2,713,995	1,732,735	33,650,604	4,084,090	80,529,692
<b>awaken</b>	11,289,850	891,547	674,542	10,629,473	965,918	24,451,329
<b>depriv 10</b>	7,098,000	502,342	320,717	6,228,495	755,937	14,905,491

**Tabel 12: indirecte kost van ziekte te wijten aan slaapstoornissen door vliegtuiglawaai in drie scenario's en volgens 4 definities van slaapstoornissen**

HUIDIG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	134,493,883	10,620,828	8,035,699	126,626,932	11,506,798	291,284,140
<b>depriv 5</b>	40,700,183	3,214,047	2,431,742	38,319,507	3,482,157	88,147,636
<b>awaken</b>	5.929.733	468.264	354.288	5.582.885	507.326	12.842.497
<b>depriv 10</b>	1,820,867	143,792	108,793	1,714,359	155,787	3,943,596
LAAG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	301,229,500	23,787,749	17,997,767	283,609,681	25,772,079	652,396,776
<b>depriv 5</b>	43,791,367	3,458,154	2,616,433	41,229,878	3,746,627	94,842,459
<b>awaken</b>	11.289.850	891.547	674.542	10.629.473	965.918	24.451.329
<b>depriv 10</b>	4,902,517	387,146	292,914	4,615,754	419,441	10,617,772
HOOG						
	Alcohol	hartziekte	diabetes	depressie	mortaliteit	totaal
<b>motiliy</b>	366,957,067	28,978,180	21,924,838	345,492,644	31,395,486	794,748,214
<b>depriv 5</b>	52,728,867	4,163,938	3,150,428	49,644,597	4,511,286	114,199,116
<b>awaken</b>	13.842.400	1.093.118	827.051	13.032.716	1.184.304	29.979.591
<b>depriv 10</b>	9,759,750	770,716	583,123	9,188,873	835,008	21,137,470

**Tabel 13: totale kost van ziekte te wijten aan slaapstoornissen door vliegtuiglawaai in drie scenario's en volgens 4 definities van slaapstoornissen**

### 3.6 Mitigerende maatregelen

Er zijn vier grote groepen van mitigerende maatregelen te onderkennen:

1. betere ruimtelijke ordening rond de luchthaven Brussel Nationaal, inclusief aankopen van op de markt komende woningen;
2. geluidsisolatie van slaapvertrekken;
3. inzet van stillere vliegtuigen;
4. aangepaste vliegroutes.

We bekijken deze mogelijke maatregelen wat meer in detail. Zowel maatregel 1 als maatregel 2 zullen om evidente redenen beperkt zijn tot een kleine zone in de buurt van start- en landingsbanen. Uit Figuur 4, Figuur 5 en Figuur 6 kan afgeleid worden dat maatregelen die gericht zijn op de dichtste omwonenden (bijvoorbeeld de 500 meest geaffecteerde personen) bij definitie de grootste individuele impact zullen vermijden, maar niet noodzakelijk een groot effect zullen hebben op het geaggregeerd aantal geaffecteerde personen. Naarmate slaapverstoring enger wordt gedefinieerd (depriv 10>awaken>motility) zal het effect van deze maatregelen groter worden. De idee achter ruimtelijke ordening spreekt voor zich. Aangepaste (industriële) gebouwen onder de vliegroute geven minder blootgestelden. Maatregelen die een zachte bijsturing beogen door aankoop van op de markt komende woningen (bijvoorbeeld om deze na renovatie te verhuren) steunt op de onderliggende gedachte dat baten en lasten zo beter gekoppeld kunnen worden. Betrokken partijen zoals DHL zouden een deel van de woningen kunnen verwerven en dus ook de lasten van de nachtelijke geluidsoverlast dragen.

Om de impact van isolatie te begroten wordt ter illustratie ontwaakkans als indicator voor slaapverstoring gebruikt, hoewel deze parameter de werkelijke slaapverstoring wellicht sterk onderschat (Passchier et al, 2002). In de veronderstelling dat de isolatie van de slaapkamer van de 600 meest blootgestelden wordt opgedreven naar 42 dB(A), dan stijgt het aantal slaapverstoorden in het hoge groeiscenario nog steeds naar 5457 of een groei van 2.19, wanneer initieel een isolatie van slechts 20 dB(A) wordt verondersteld. Dit resultaat dient vergeleken met de 5808 zonder isolatieprogramma. Dit resultaat illustreert

dat isolatieprogramma's zeer uitgebreid moeten zijn om alle slaapverstoring te onderdrukken.

Bovendien moet men rekening houden met de gezondheidsschade ten gevolge van isolatie, door de toegenomen blootstelling aan allergenen.

We voerden in dat verband een extra berekening uit van de gezondheidsimpact in geval er een geluidsverschil tussen slaapkamer en buiten van 30 dB(A) zou zijn. We hebben deze analyse enkel uitgevoerd in het geval waarbij motiliteit als parameter voor slaapverstoring wordt genomen, omdat de andere parameters hier tot een onderschatting van het werkelijke probleem leiden (zie ook volgende paragraaf, onzekerheden).

In geval van een geluidsattenuatie van 30 dB(A) hadden we de volgende cijfers ivm slaapverstoring in huidig, laaggroei en hooggroei scenario respectievelijk: 12787, 25062, en 33346.

De volgende tabel toont in dit scenario de gezondheidseconomische impact in een huidig, laaggroei en hooggroei scenario.

Type kosten	Huidig	Laaggroei	Hooggroei
Directe kosten	19,459,904	38,140,621	50,747,632
Indirecte kosten	46,543,716	91,223,791	121,376,926
Totale kosten	66,003,620	129,364,412	172,124,558

**Tabel 14: totale kost van ziekte te wijten aan slaapstoornissen door vliegtuiglawaai volgens de definitie van slaapverstoring bepaald door motiliteitsstoornissen, met een geluidsverzwakking van 30 dB(A).**

Het inzetten van stillere vliegtuigen heeft een effect over een veel ruimer gebied. Door de beperkte omvang van deze studie was er onvoldoende tijd om te bestuderen welke alternatieven mogelijk zijn voor de huidige vloot en de geluidsemisatie daarvan in kaart te brengen.

Over vliegroutes kunnen we kort zijn. Er kan aangenomen worden dat er geen alternatieve vliegroutes mogelijk zijn rond de luchthaven Brussel Nationaal. We verwijzen o.a. naar de talrijke mogelijkheden die uitgebreid werden onderzocht door de werkgroep BRUNORR in de aanloop naar het spreidingsplan.

## 4 Onzekerheden

Elke stap in de methodologie gaat gepaard met de introductie van onzekerheden.

De bestudeerde scenario's beschrijven zo goed als mogelijk de te verwachten toekomstige situatie. Het maximum aantal vluchten per nacht ligt vast, maar op de ingezette vloot en de bestemmingen zijn kleine variaties mogelijk. Deze zijn niet van die aard dat ze de conclusies significant zullen beïnvloeden.

Het simulatieprogramma INM6.1 werd reeds uitgebreid getest op de situatie rond Brussel Nationaal door collega's van de KULeuven. Zij kwamen tot de conclusie dat zowel gemiddelde niveaus als distributies van event-gerelateerde akoestische grootheden ( $L_{Amax}$  en SEL) nauwkeurig worden voorspeld. De belangrijkste bijkomende onzekerheid die hier wordt geïntroduceerd is het gevolg van de onzekerheid van gekozen opstijgroutes (SIDs) en de spreiding van de werkelijk gevlogen route ten opzichte van het nominaal pad. Omdat

het zogenaamde spreidingsplan pas enkele weken voor de aanvang van deze studie in werking is getreden waren nog geen validaties op basis van radargegevens beschikbaar.

Om toch een beeld te krijgen van de onzekerheid werden de meetgegevens van het meetnet Brussel-Nationaal vergeleken met simulaties met INM voor vluchten tijdens de nacht. Voor de vergelijking werden alle vluchten tussen 22 maart en 24 april 2004 beschouwd (dus niet enkel DHL vluchten). Voor de meetposten beheerd door AMINAL werden distributies van  $L_{Amax}$  gebruikt, voor de andere meetposten kon een vergelijking enkel gebeuren op basis van de drie klassen die via het internet op te halen zijn. Hoewel INM een model is gebaseerd op gemiddelden, de vergelijkingsperiode relatief kort is en veronderstellingen gemaakt moesten worden over de vliegroutes, blijkt de overeenkomst met de metingen vrij goed. Voor  $L_{Amax} > 70 \text{ dB(A)}$  is de afwijking tussen de cumulatieve distributies van metingen en simulatie nooit groter dan 2 dB(A). Onder de 65 dB(A) blijken minder vliegtuiggecorreleerde events waargenomen in de metingen. Dit verschil loopt op sommige plaatsen op tot 20%. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat sommige vluchten niet worden gedetecteerd in de metingen. Er valt een lichte trend op naar overschatting in de simulatie dicht bij de startbanen en onderschatting op grotere afstand. Globaal kan men stellen dat de simulatie ten hoogste 2 dB(A) zal afwijken van de werkelijkheid en dat deze fout niet systematisch is voor  $L_{Amax} > 70 \text{ dB(A)}$  en dat het aantal events bij  $L_{Amax} < 65 \text{ dB(A)}$  overschat wordt ten opzichte van metingen.

Het verschil tussen het maximale geluidsdrukniveau ter hoogte van het oor van de slaper en het berekende geluidsdrukniveau buiten wordt bepaald door de constructie van de woning. Men kan een schatting maken van het gemiddelde van dit verschil, maar de onzekerheid op de voorspelling van de akoestische isolatie van individuele woningen of woningen in een bepaalde straat of wijk bedraagt minstens 5 tot 10 dB(A). De absolute fout op het eindresultaat die hierdoor veroorzaakt wordt is groot. Ook de inschatting van de verandering ten gevolge van de verschillende bestudeerde scenario's wordt hierdoor beïnvloed.

De grootste onzekerheid bij het berekenen van de kans op slaapverstoring zit in de keuze van de indicator voor slaapverstoring zoals we duidelijk proberen te illustreren aan de hand van het meenemen van verschillende indicatoren in de bespreking. Daarnaast moet gewezen worden op een grote mate van onzekerheid in de vakliteratuur over de wijze waarop het effect van opeenvolgende vluchten tijdens de nacht moet gecumuleerd worden. Dit kan een significante invloed hebben op de conclusies doordat de afweging tussen meer stillere vluchten enerzijds of minder luidruchtiger vluchten anderzijds in belangrijke mate van dit cumulatieve effect afhangt.

Slaapverstoring hangt af van het tijdstip van de nacht wanneer de geluidsgebeurtenis optreedt. Daarnaast kan de slaapdeprivatie tijdens een verstoorde nacht gecompenseerd worden tijdens een daaropvolgende stillere nacht. Met beide hiervoor vermelde effecten kon in dit onderzoek geen rekening gehouden worden enerzijds omdat de literatuur over dit onderwerp beperkt is (i.h.b. dosis-effectenrelaties), anderzijds omdat er te weinig tijd was om dit in detail mee te nemen in dit leefbaarheidsonderzoek.

Gemiddeld gesproken zullen alle bovenvermelde onzekerheden samen aanleiding geven tot een overschatting van de slaapverstoring, wanneer men de parameter acute motorische onrust hanteert, en een onderschatting wanneer men de parameter "bewust ontwaken" hanteert.

Ter vergelijking, in een enquête bij 6 huisartsen (De Vroey et al, 2002 [49]) werd vastgesteld dat de incrementele kans op klachten van slapeloosheid bij inwoners in de buurt van de luchthaven 10% hoger ligt. Enkel toegepast op de +/- 30000 mensen die in

een frekwentiecontour van meer dan 50 overvluchten met  $L_{max} > 70\text{dBA}$  wonen, zou dit al 3000 personen met slapeloosheid betekenen.

## 5 Samenvatting van de conclusies

Leefbaarheid werd in de inleiding ontrafeld tot vijf belangrijke componenten. Drie daarvan werden weerhouden voor verder onderzoek. Tabel 15 vat de resultaten voor de drie scenario's schematisch samen. Op het vlak van veiligheid is er weinig invloed te verwachten, enerzijds wegens het marginaal aantal vluchten ten opzichte van het totaal aantal bewegingen per dag, anderzijds omdat de DHL-vluchten wellicht niet de hoogste risicofactor vormen (waarbij we in het bijzonder denken aan terroristische activiteiten). Hinder neemt significant toe in de groeiscenario's en neemt af in het delocalisatiescenario. Merk op dat de hinder in dit laatste scenario niet volledig zal verdwijnen omdat er nog steeds nachtvluchten overblijven.

Aspect van leefbaarheid	Hoog groei	Laag groei	Delocalisatie
veiligheid	0	0	0
hinder (slaapverstoring)	+	+	-
neg. gezondheidsimpact	++	+	-

**Tabel 15. Samenvatting van de effecten van de drie scenario's op de drie leefbaarheidscriteria; 0=neutraal, +=toename, -=afname**

Monetarisatie van de effecten via gezondheidsimpact leidt tot een kost in de hoogste schatting van nagenoeg 800 Miljoen Euro.

We wijzen echter opnieuw naar de grote mate van onzekerheid, in functie van de gekozen parameter voor slaapverstoring. De beste benadering is wellicht een gemiddelde te nemen tussen de effecten gebaseerd op bewust ontwaken en de effecten gebaseerd op motiliteit. Men zou dan tot een inschatting komen van +/- 400 Miljoen Euro, zijnde een toename van +/- 250 Miljoen Euro t.o.v. de huidige toestand.

## 6 Referenties

- [1] H.M.E. Miedema, W. Passchier-Vermeer, H. Vos, "Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance", TNO Inro report 2002-59, ISBN 90-6743-981-9, jan. 2003
- [2] B. Griefahn, "Sleep Disturbances caused by Environmental Noise," in Noise Pollution & Health, Deepak Prasher Ed., NRN publications 2003, pp.129-132
- [3] M. Spreng, "Central nervous system activation by noise," Noise & Health 7, pp. 49-57
- [4] J.L. Eberhardt and K.R. Akelsson, "The disturbance by road traffic noise on sleep of young male adults as recorded in the home," J. Sound Vib. 114, 1987, pp. 417-434
- [5] E. Öhrström and R. Rylander, "Sleep disturbance effects of traffic noise – a laboratory study on after effects," J. Sound Vib. 84, pp. 87-103
- [6] Metingen AMINAL
- [7] A. Muzet, J. Ehrhart, R. Eschenlauer, and J.P. Lienhard, "Habituation and age differences of cardiovascular responses to noise during sleep," in Sleep 1980, Koella, Ed. (Karger, Basel, 1981), pp. 212-215
- [8] E. Öhrström and M. Björkman, "Effects of noise-disturbed sleep – a laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity," J. Sound Vib. 122, 277-290
- [9] C. Maschke, J. Harder, H. Ising, K. Hecht, and W. Thierfelder, "Stress Hormone Changes in Persons exposed to Simulated Night Noise," in Noise Pollution & Health, Deepak Prasher Ed., NRN publications 2003, pp. 103-113
- [10] Stansfeld S.A. "Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies," *Psychological Medicine Monograph Supplement 22*, (Cambridge University Press: Cambridge, 1992).
- [11] Stansfeld S.A., Haines M.M., Burr M., Berry B., Lercher P. "A review of environmental noise and mental health" Noise & Health 8, 55-58 (2000).
- [12] Miedema H.M.E., Vos H. "Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise," J. Acoust. Soc. Am. 105, 3336-3344 (1999).
- [13] Nivison M.E., Endresen I.M. "An analysis of relationships among environmental noise, annoyance and sensitivity to noise, and the consequences for health and sleep," J. Behavioral Medicine 16, 257-276 (1993).
- [14] Lercher P. "Environmental noise and health: An integrated research perspective," Environment International, 22, 117-129 (1996).
- [15] K. Pearsons, D.S. Barber, B. Tabachnik, and S. Fidell, "Predicting noise-induced sleep disturbance," J. Acoust. Soc. Am. 97, 1995, pp. 331-338.
- [16] N.D. Porter, A.D. Kershaw, and J.B. Ollerhead, *Adverse effects of night-time aircraft noise*, R&D Report 9964 Dept. Of Operational Research and Analysis, National Air Traffic Services Ltd., 2000.
- [17] D. Botteldooren, A. Verkeyn, and P. Lercher, "Noise Annoyance Modeling using Fuzzy Rule Based Systems," Noise and Health 4 (15), 27-44 (2002).
- [18] Lercher P. "Context and coping as moderators of potential health effects in noise-exposed persons," In *Advances in Noise Series. Vol. 1: Biological Effects* edited by D. Prasher & L. Luxon, (Whurr Publishers, London, 1998) pp 328-335.
- [19] K.I. Hume and C. Whitehead, "Sleep disturbance due to introduced aircraft noise," Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Rotterdam 2003, pp199-200.
- [20] B. Griefahn and E. Gros, "Noise and sleep at home, a field study on primary and after-effects," J. Sound Vib. 105, 1986, pp. 373-383.
- [21] E. Öhrström, A Agge, and M. Björkman, "Sleep disturbances before and after reduction in road traffic noise," In Noise Effects '98, Carter N. and Job R.F.S. Eds., Sydney 1998, pp. 451-454.
- [22] E. Öhrström, "Before and after studies on Sleep – Results and comparison of different methods," Noise Pollution & Health, Deepak Prasher Ed., NRN publications 2003, pp. 127-128
- [23] T.J. Schultz, "Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance," J. Acoust. Soc. Am. 64, 1978, pp. 377-405.
- [24] H.M.E. Miedema and H. Vos, "Exposure response functions for transportation noise," J. Acoust. Soc. Am. 104, 1998, pp. 3432-3445.

- [25] L.S. Finegold, "Current status of sleep disturbance research and development of a criterion for aircraft noise exposure." *Journal of the Acoustical Society of America*, 94(3) Pt.2, 1993, pp.1807.
- [26] <http://www.fican.org/pages/sleepdst.html>, laatst bezocht 7 juni 2004
- [27] Finegold, L. S. and Elias, B. A predictive model of noise induced awakenings from transportation noise sources. *Proceedings of Internoise*. -(on cd rom). Filename: in02\_444.pdf. 2002. Dearborn (MI).
- [28] L.S. Finegold, "Sleep disturbance due to transportation noise," *Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Rotterdam 2003*, pp. 197-198.
- [29] W. Passchier-Vermeer, "Night-time noise events and awakenings," TNO-Inro report 2003-32, jul 2003.
- [30] Passchier-Vermeer, W., Vos, H., Steenbekkers, J. H. M., van der Ploeg, F. D, and Groothuis-Oudshoorn, K. Sleep disturbance and aircraft noise. *Exposure-effect relationships*, Report nr 2002.027. 2002. Leiden, TNO-PG.
- [31] M. Basner, H. Buess, D. Elmenhorst, A. Gerlich, N. Luks, H. Maass, L. Mawet, E.W. Müller, U. Müller, G. Plath, J. Quehl, A. Samel, M. Schulze, M. Vejvoda, J. Wenzel, "Nachtfluglärmwirkungen," *Forshungsbericht 2004-07/D*, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, April 2004
- [32] WHO regional office Europe, technical meeting on noise and health indicators, April 2003, Brussels
- [33] B. Berglund, T. Lindvall, D.H. Schwela, *Guidelines for community noise*, WHO 1999
- [34] J. Caerels and J. Thoen, "Noise map calculation for flight dispersion plan A34 Brussels National Airport," *Laboratorium Akoestiek en Thermische Fysica, KULeuven*, 22/03/2004.
- [35] J. Caerels, G. Geentjens, W. Bruyninckx, J. Thoen, "Noise impact of an airport measured and calculated: a comparison," *Proceedings of Internoise 2004, Praag 2004*.
- [36] Akerstedt T, Nilsson PM. Sleep as restitution: an introduction. *Journal of Int. Med.* 2003; 254: 6–12
- [37] Annemans L. Le coût social du problème Alcool en Belgique; The social cost of the alcohol problem in Belgium. *Journée d'Etudes. Alcool et travail Liège*, 16 juin 2000
- [38] Ansseau M. [The socio-economics of depression]. *Rev Med Liege*. 1998 May;53(5):308-10.
- [39] Ayas NT, White DP, Al-Delaimy WK, Manson JE, Stampfer MJ, Speizer FE, Patel S, Hu FB. A prospective study of self-reported sleep duration and incident diabetes in women. *Diabetes Care*. 2003 Feb;26(2):380-4.
- [40] Baarsma B. "How Much Should We Pay for Noise Control, and How Much is it Worth?" *Workshop on costs & benefits analysis in noise policy. Internoise 2001 - The Hague - 29 August 2001*.
- [41] Breslau N, Roth T, Rosenthal L, Andreski Sleep disturbance and psychiatric disorders: a longitudinal epidemiological study of young adults. *P.Biol Psychiatry*. 1996 Mar 15;39(6):411-8.
- [42] Johnson E, Breslau N. Sleep problems and substance use in adolescence. *Drug and Alcohol Dependence* 64 (2001) 1–7
- [43] Jonsson B; CODE-2 Advisory Board. Revealing the cost of Type II diabetes in Europe. *Diabetologia*. 2002 Jul;45(7):S5-12.
- [44] Klever-Deichert G, Hinzpeter B, Hunsche E, Lauterbach KW. [Costs of coronary heart diseases over the remaining life time in coronary heart disease cases--an analysis of the current status of coronary heart disease cases in Germany from the social perspective]. *Z Kardiol*. 1999 Dec;88(12):991-1000.
- [45] Lamotte M. Gezondheidseconomische aspecten van farmacotherapie in de preventie van coronaire hartziekten in België. *BIGE Briefing Nummer 27* [1/12/1999]
- [46] Muls E, Van Ganse E, Closon MC: Cost-effectiveness of pravastatin in secondary prevention of coronary heart disease: comparison between Belgium and the United States of a projected risk model. *Atherosclerosis* 1998; 137 (Suppl): S111-6.
- [47] Nilsson PM, Nilsson JA, Hedblad B, Berglund G. Sleep disturbance in association with elevated pulse rate for prediction of mortality; consequences of mental strain? *Journal of Internal Medicine* 2001; 250: 521-529
- [48] Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid (WIV) <http://www.iph.fgov.be/HomeNL.htm>
- [49] Devroey D et al. Onderzoek naar de invloed van geluidsoverlast op de gezondheidswaarneming van stadsbewoners: een epidemiologisch onderzoek. *Tijdschr. Voor Geneeskunde* 2002;58:1392-7