



Expositions-Wirkungs-Kurven für den Verkehr

Peter Lercher, Dr.med., MPH, Ao Univ Prof

Ihre adäquate Nutzung im Rahmen von
Umweltverträglichkeitsprüfungen, Aktionsplänen,
Siedlungsplanung und gewerberechtlichen Beurteilungen

TAGUNG VERKEHRSLÄRM DES ÖAL, Wien 19.10.2016

Gesundheitswirkungen durch Lärm

Vergleich: WHO und Schweizer DALY-Berechnung

Gesundheitsendpunkt	WHO 2011 – Westeuropa°		Schweiz 2012	
	DALY*	in Prozent %	DALY*	in Prozent %
Herzkrankheit (nur Straße)	42715	2.7	3039	6.5
Kognitive Wirkungen (Straße/Kinder)	30499	2.0	1091	2.3
Schlafstörung (Straße, Schiene, Flug)	903000	57.8	26071	56.2
Belästigung (Straße, Schiene, Flug)	587000	37.6	16216	34.9
GESAMT	1563214	100.0	46416	100.0

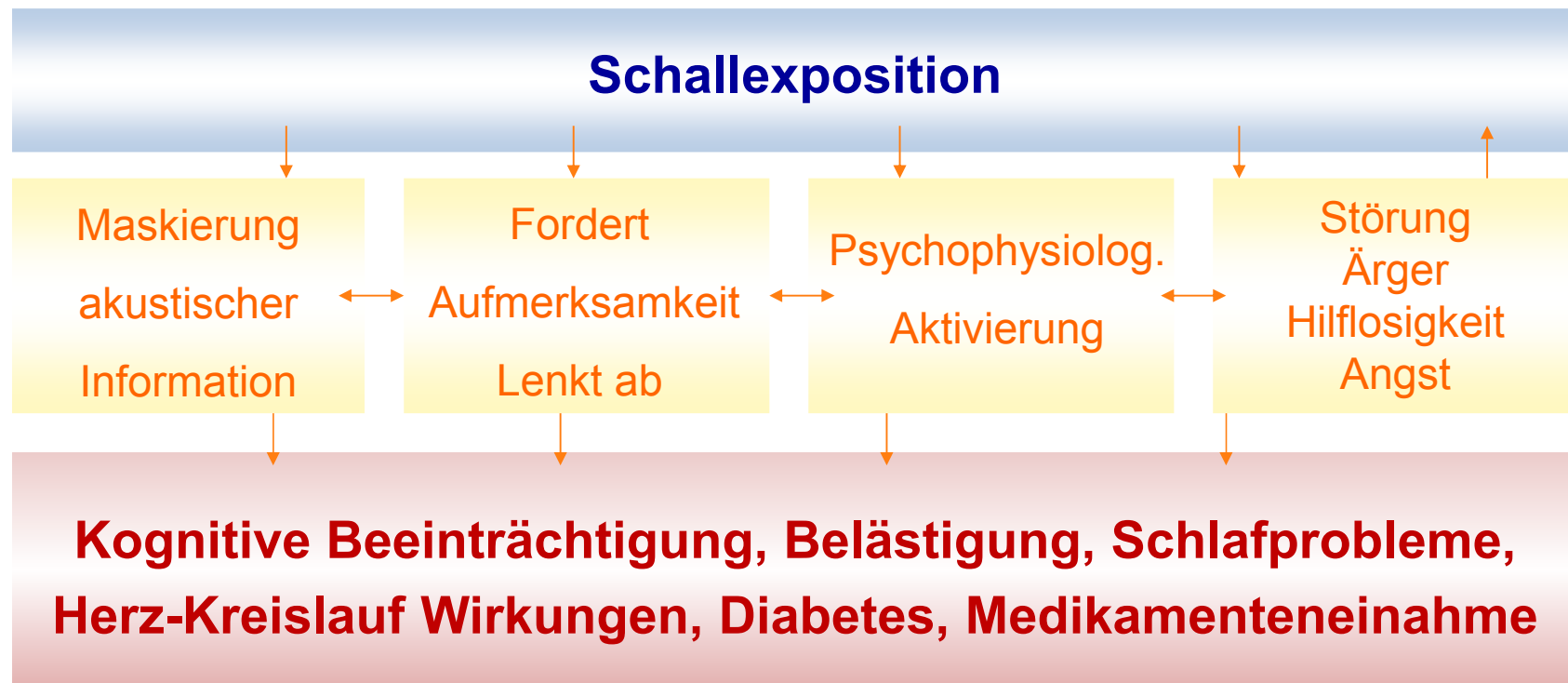
°Westeuropa (für ca. 285 Mio Einwohner)

***DALY: disability-adjusted life years
durch Behinderungen beeinträchtigte Lebensjahre**

Quellen: WHO 2011, Ecoplan 2012 für BUWAL

Lärm

Bekannte Wege zur Gesundheitsbelastung



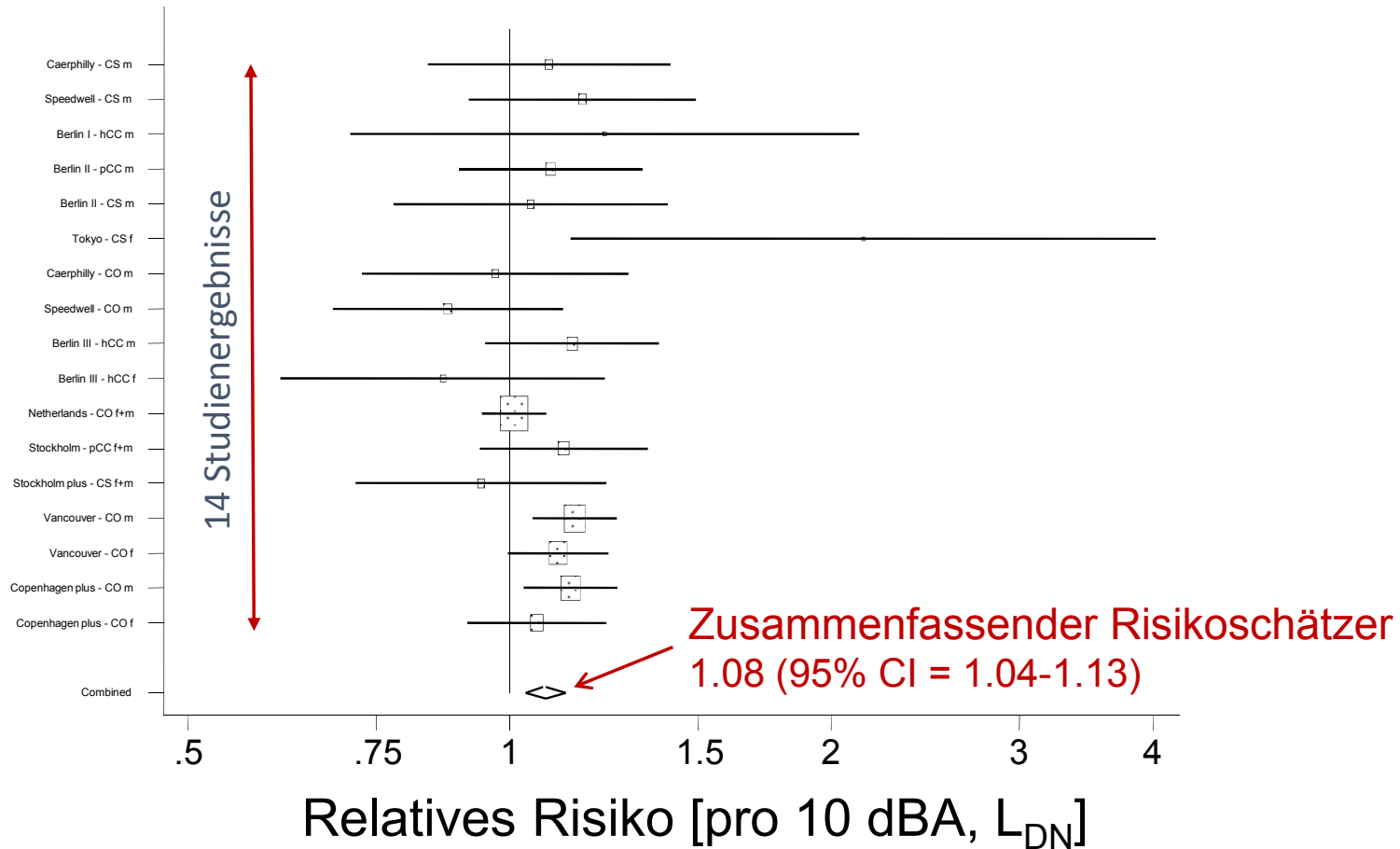
Modifiziert und ergänzt nach Miedema 2001

Expositions-Wirkungskurven:
Herz-Kreislauf und Diabetes

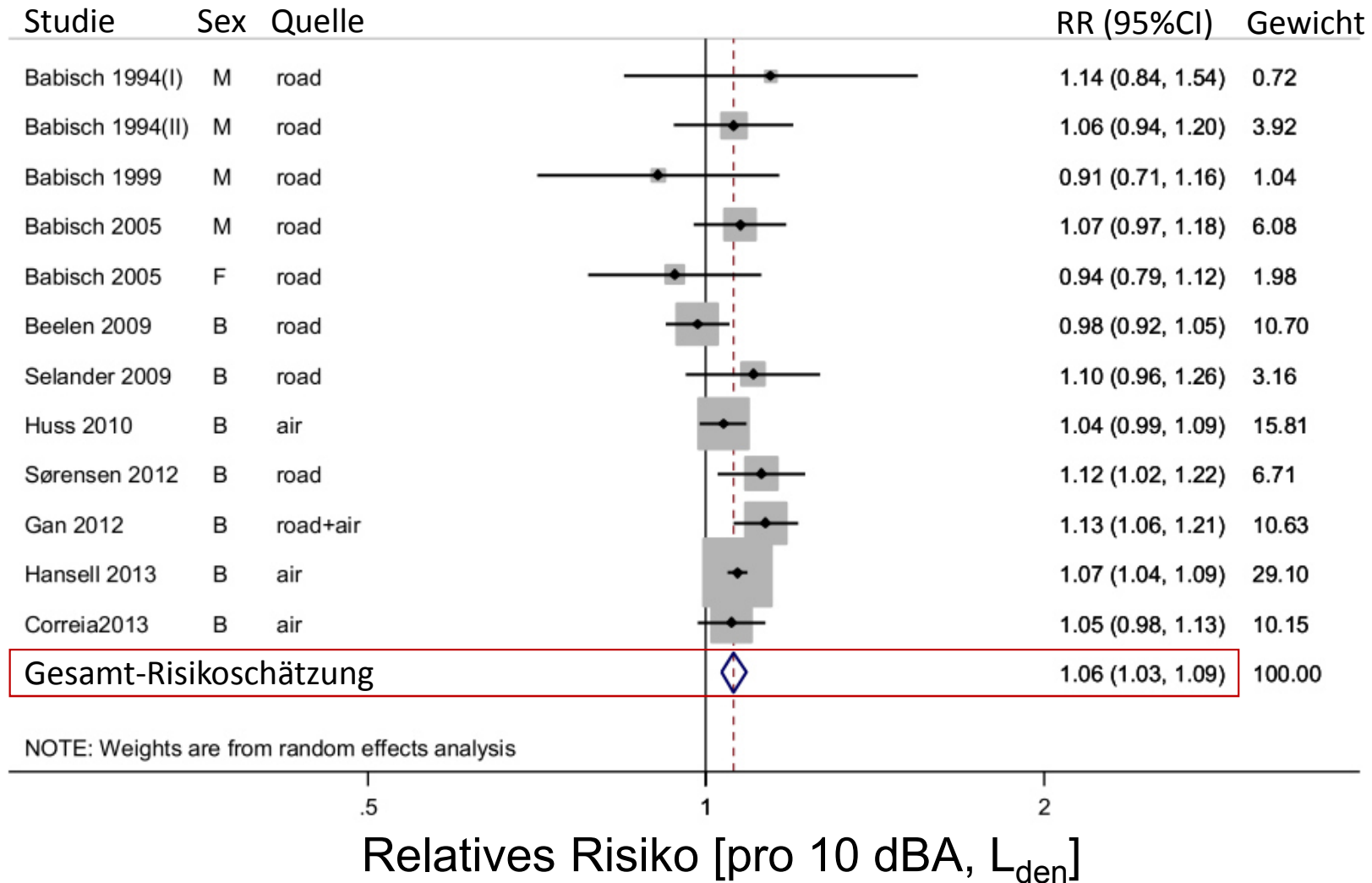
Die Spitze des Eisbergs

Straßenverkehrslärm – Koronare Herzerkrankung

Meta-Analyse, 14 Studien (Forest Plot)

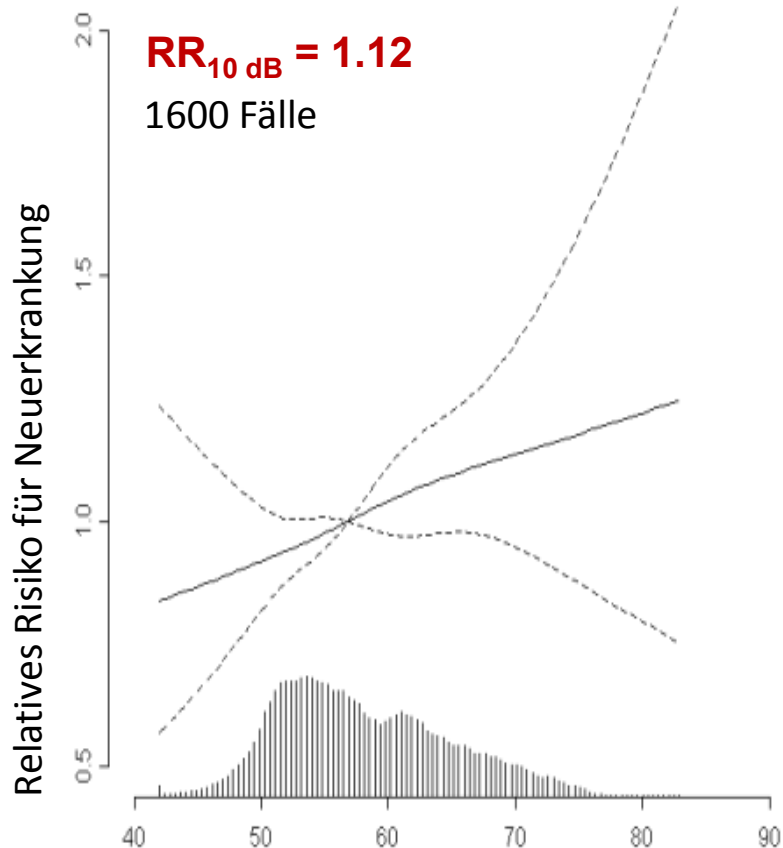


Verkehrslärm – Koronare Herzerkrankung Meta-Analyse, 10 Studien (Forest Plot)

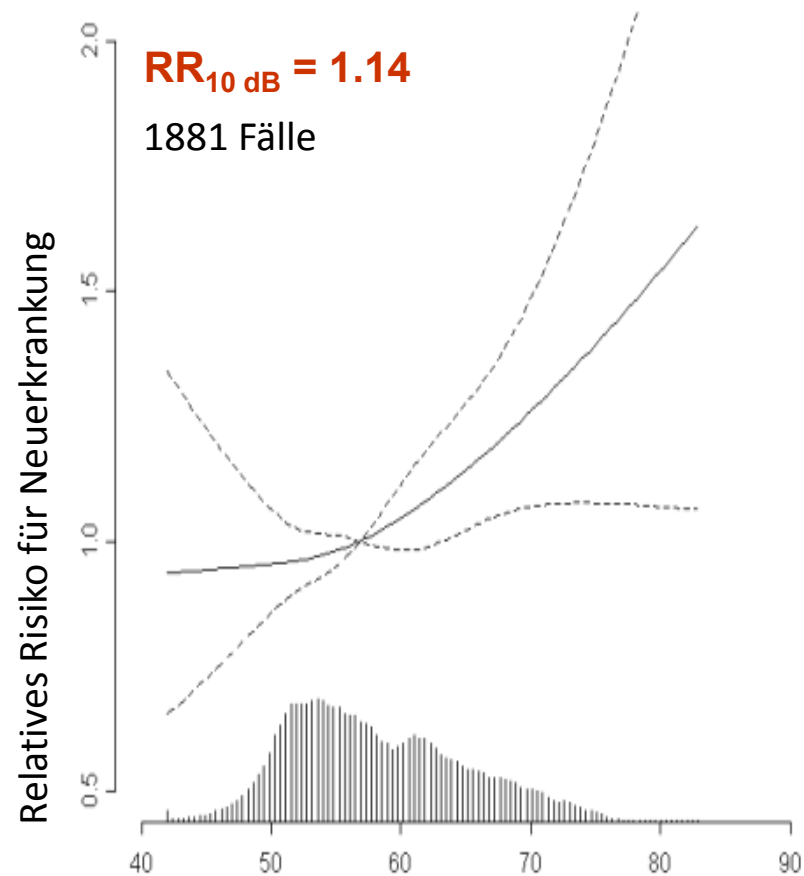


Straßenverkehrslärm und Herzinfarkt (A) und Schlaganfall (B)

A Sørensen M et al. 2012



B Sørensen M et al. 2011

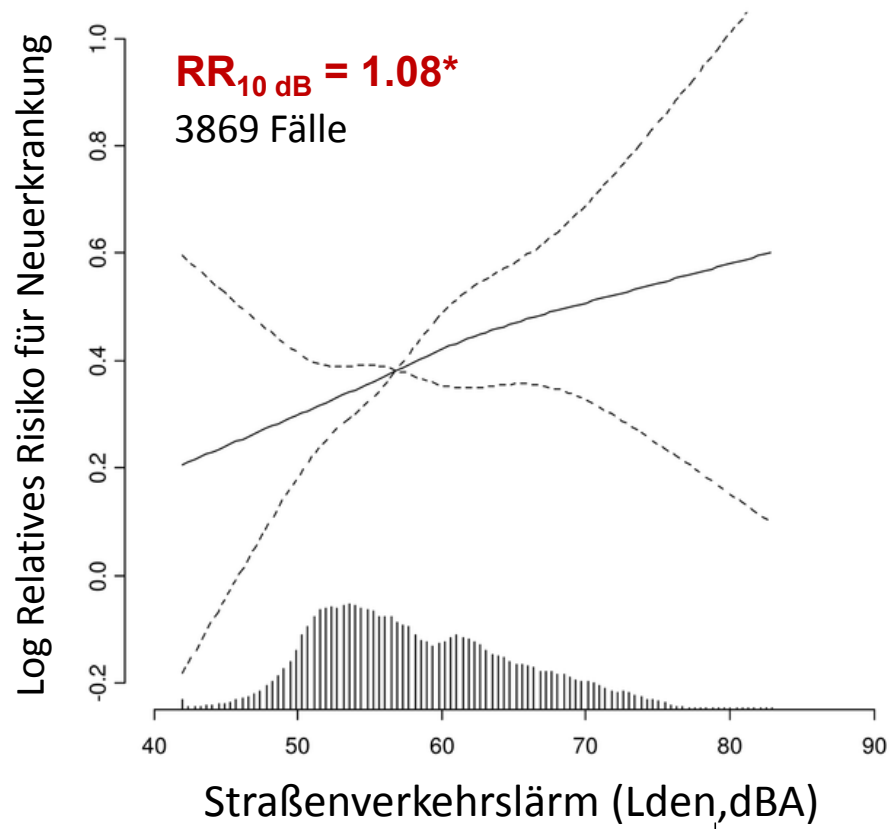


Straßenverkehrslärm (Lden, dBA) und Herzinfarkt Straßenverkehrslärm (Lden, dBA) und Schlaganfall

Aus Kohortenstudie: N=57 053

Straßenverkehrslärm und Diabetes

Kohortenstudie von Sørensen M et al. 2012



* $RR_{10\text{ dB}} = 1.11$ wenn Diabetes medizinisch bestätigt

* $RR_{10\text{ dB}} = 1.14$ wenn zusätzlich 5 Jahre wohnhaft

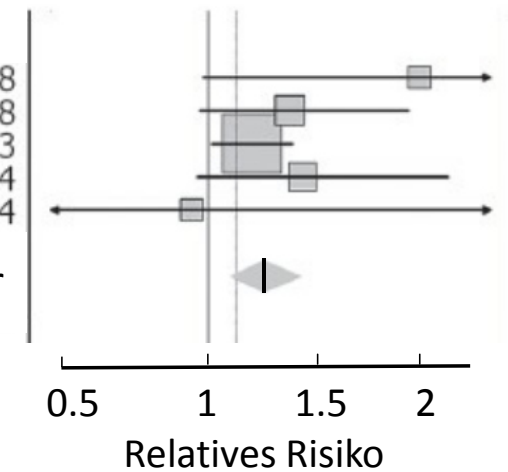
Meta-Analyse von Dzhambov AM 2015*

Verkehrslärmexposition
am Wohnort: Studien

- Rhee et al., 2008
- Selander et al., 2008
- Sorensen et al., 2013
- Heidemann et al., 2014
- Eriksson et al., 2014

Gesamt Risikoschätzer

- Fluglärm
- Straßenlärm



$RR >60\text{ dBA}: 1.22$ (1.09-1.37)

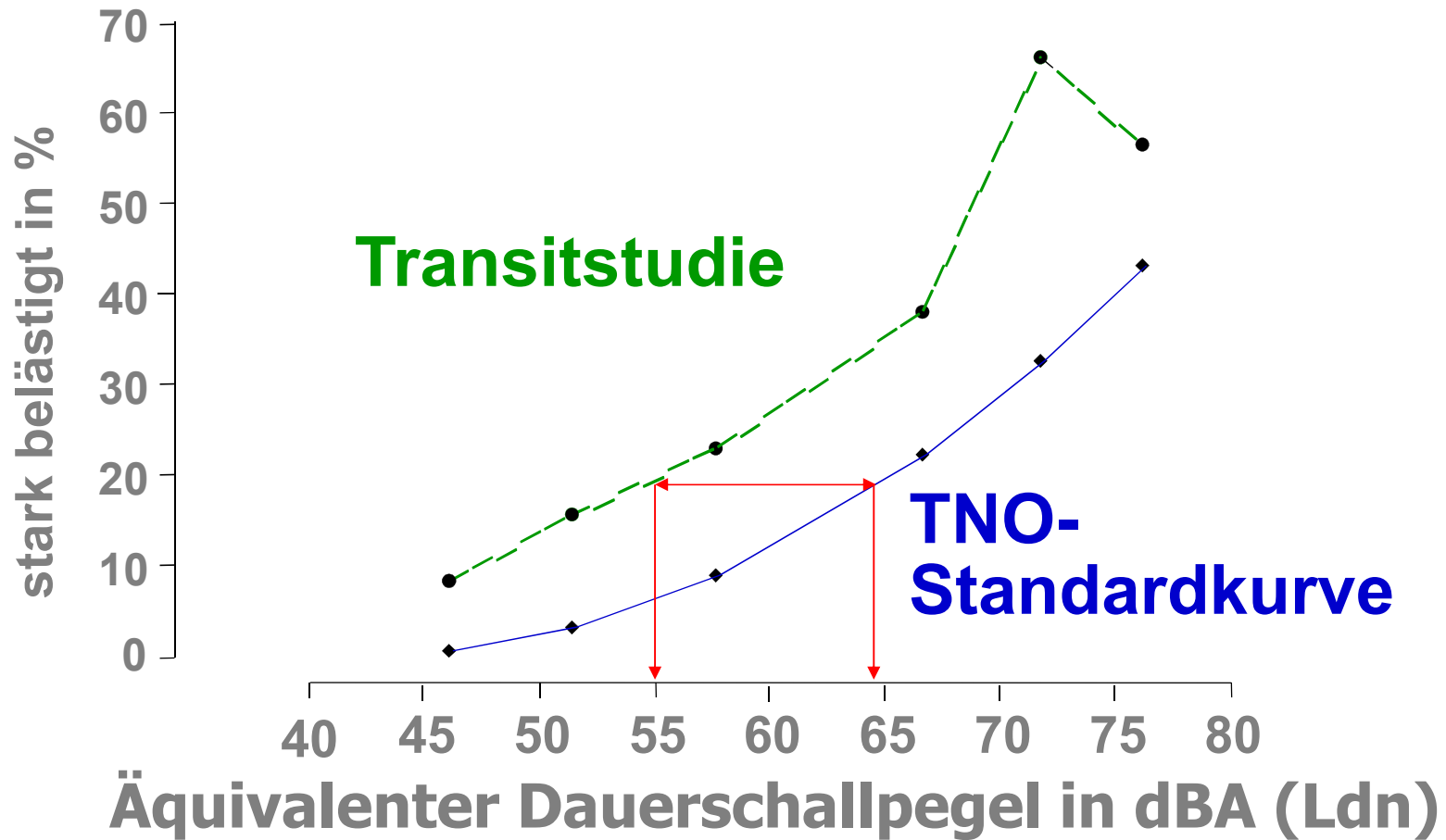
*doi: 10.4103/1463-1741.149571

Expositions-Wirkungskurven:
Belästigung und Schlafstörung

Der Hauptbeitrag zu den DALYs

Häufigkeit der Belästigungsreaktion nach Schallpegel

Vergleich: Straßenverkehr TNO-Archiv und Transitstudie 1989:



Community tolerance level (CTL) als Soundscape Messinstrument

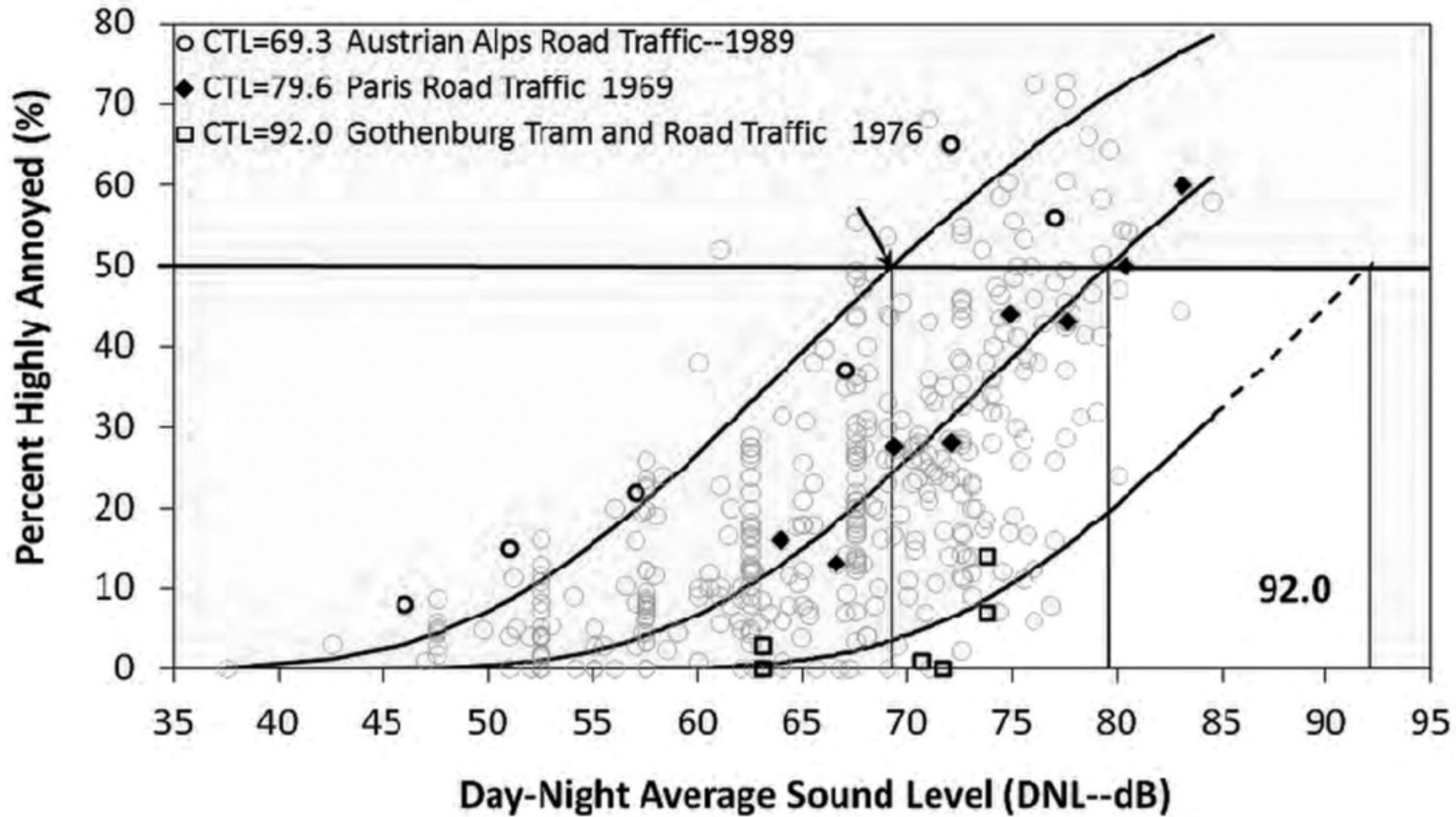
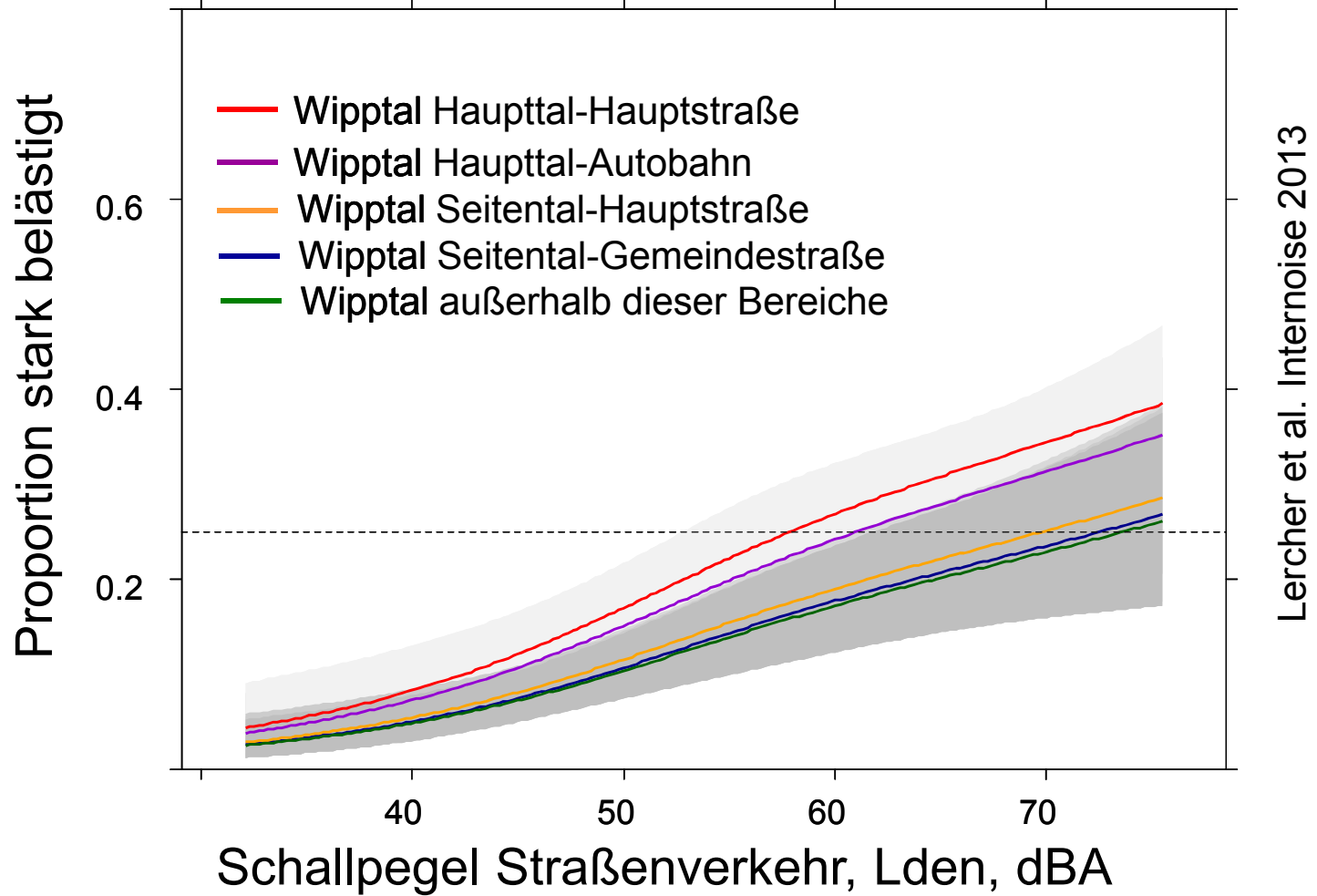


FIG. 2. CTL function fit to each of 3 specific road-traffic specific community road-traffic surveys out of the cloud from 37 sets of worldwide road-traffic noise surveys

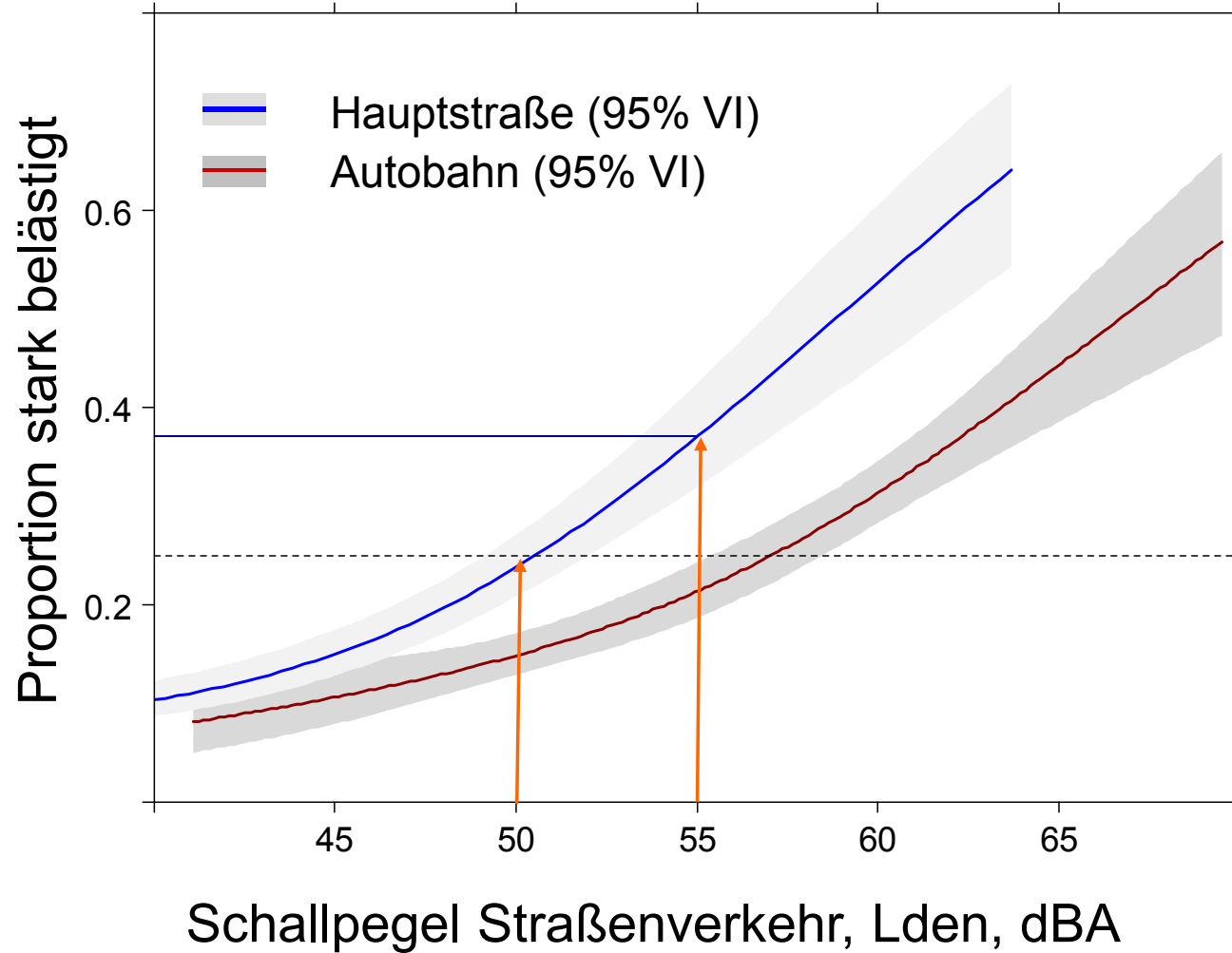
Standard Expositions-Wirkungskurven

Belästigung Wipptal Nord und Süd



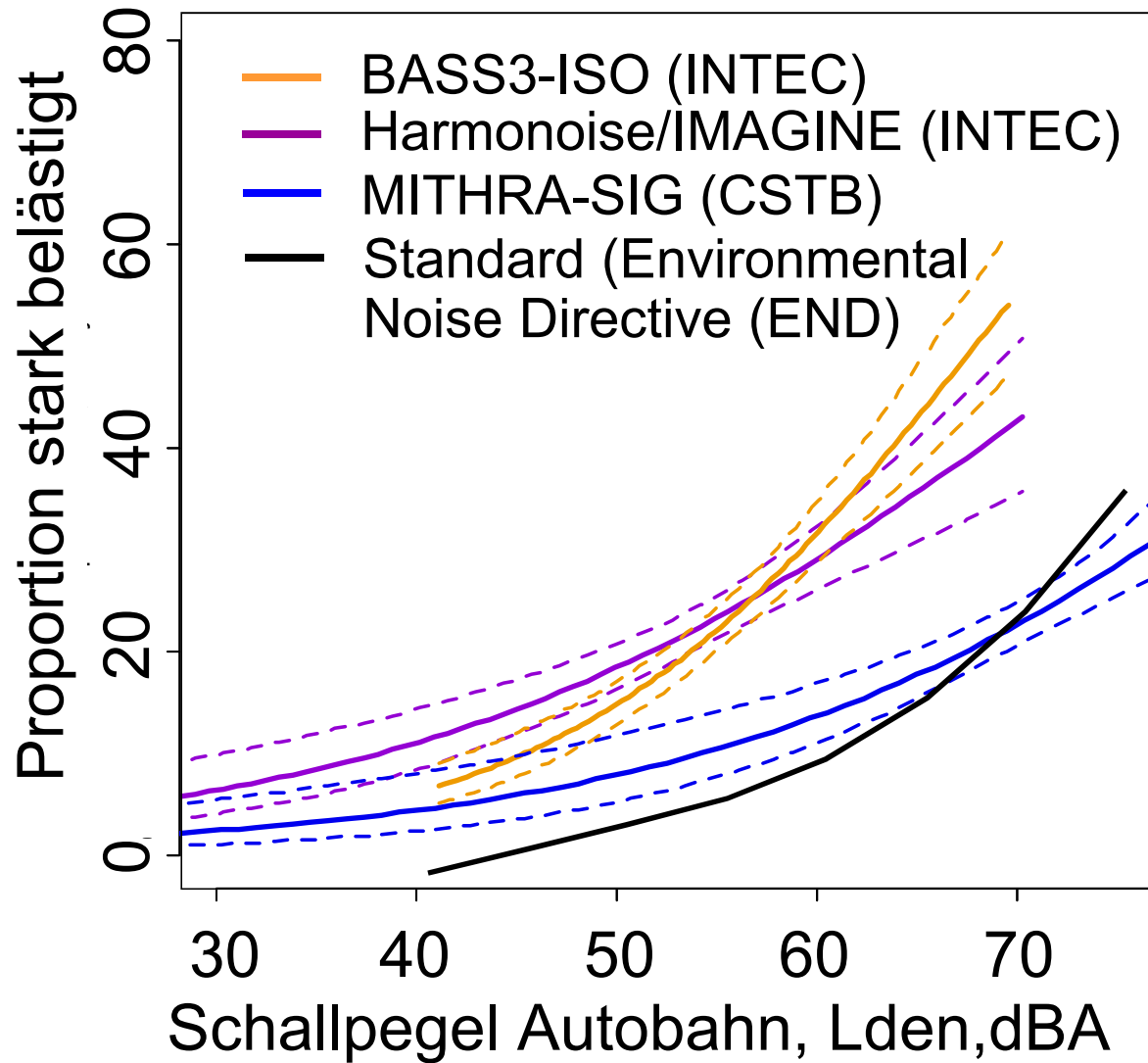
Standard Expositions-Wirkungskurven

Belästigung Unterinntal



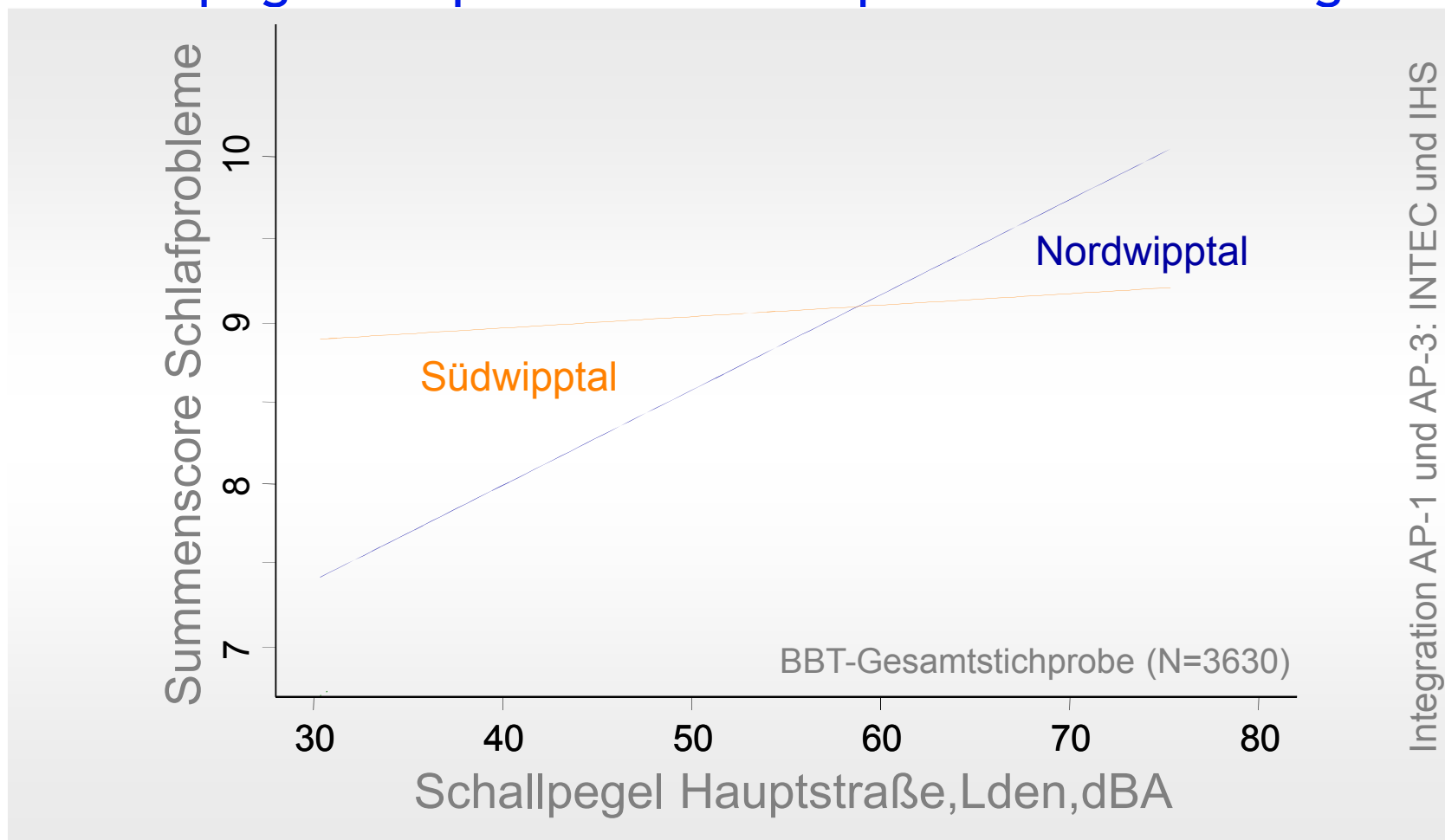
Lercher et al. Internoise 2013

Exposition-Wirkung: Methodenvergleich



Heimann et al. ALPNAP-Studie, Ch. 6, 2007

Schallpegel Hauptstraße: Schlafprobleme nach Region



https://www.i-med.ac.at/hygiene/bbt-files/public_health_studie_bbt.html

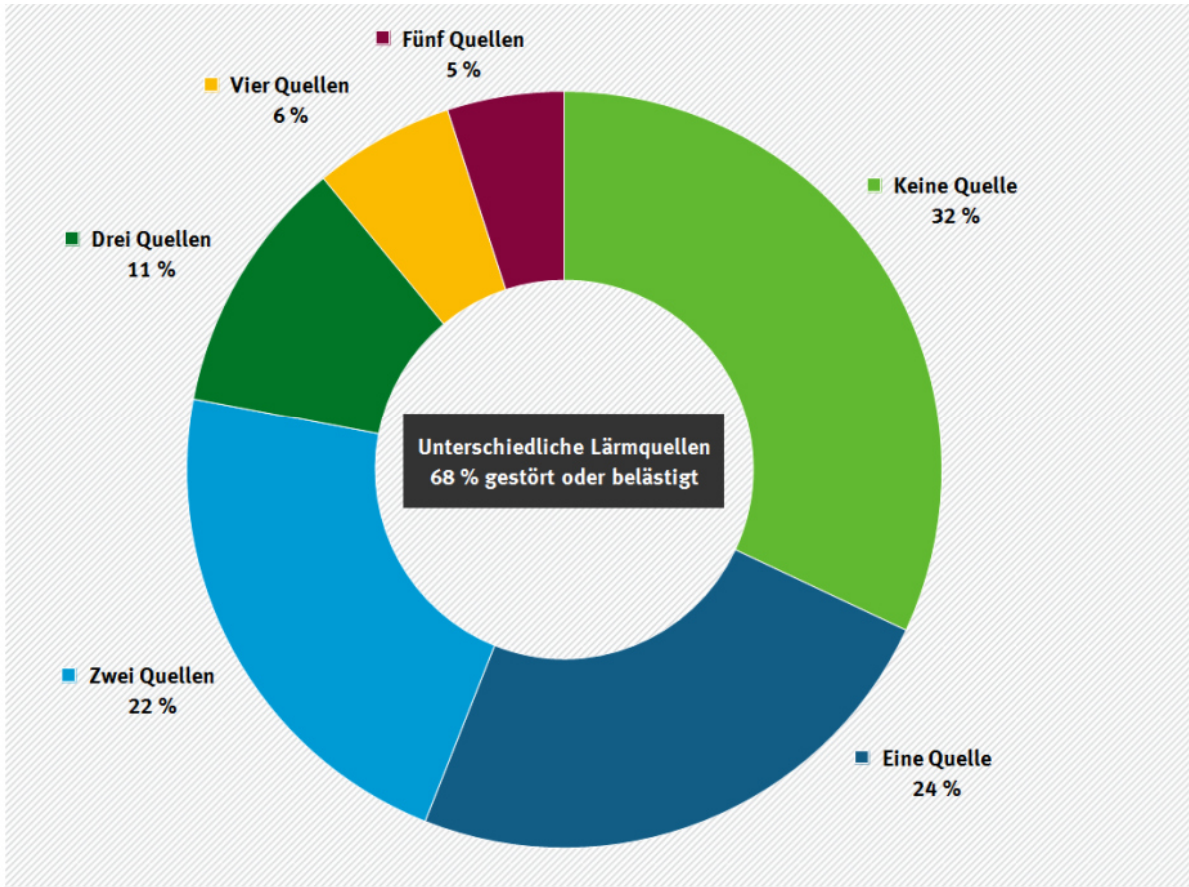
Ein integriertes Forschungsprojekt der Medizinischen Universität Innsbruck (MUI) für die UVE Brenner Basistunnel



Mehrquellenanalysen
(“multiple or mixed sound sources”)

Die häufige Realität der Betroffenen

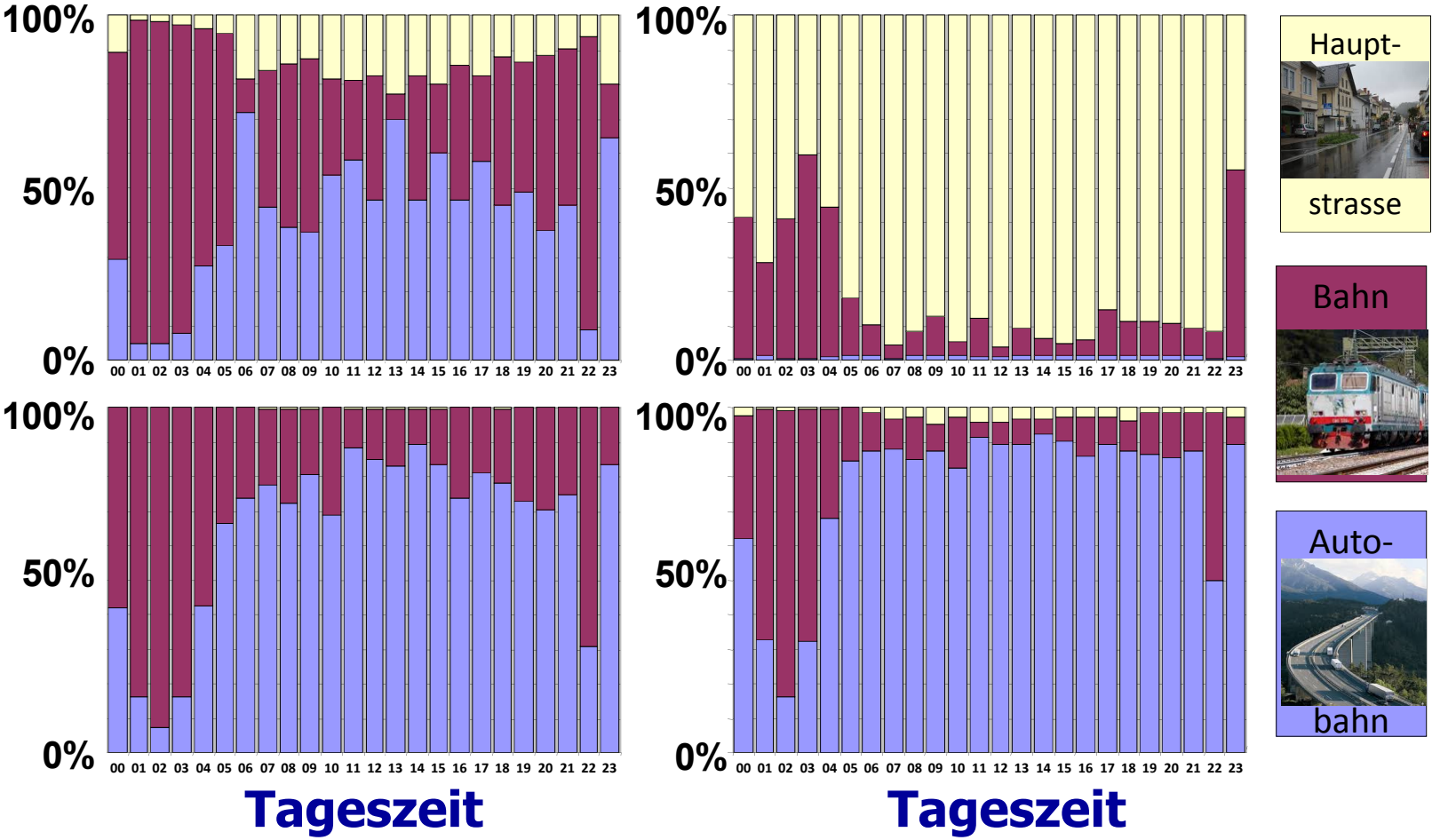
Lärmbelästigung durch mehrere Lärmquellen (in %)



Daten: Umweltbewusstsein in Deutschland 2014

Quelle: Umweltbundesamt 2015

Relativer Beitrag der Hauptverkehrsträger in 4 Regionen* zur Gesamtsituation



*BBT-Studie

“This interaction effect was significant from 59 dB and increased gradually with higher sound levels”

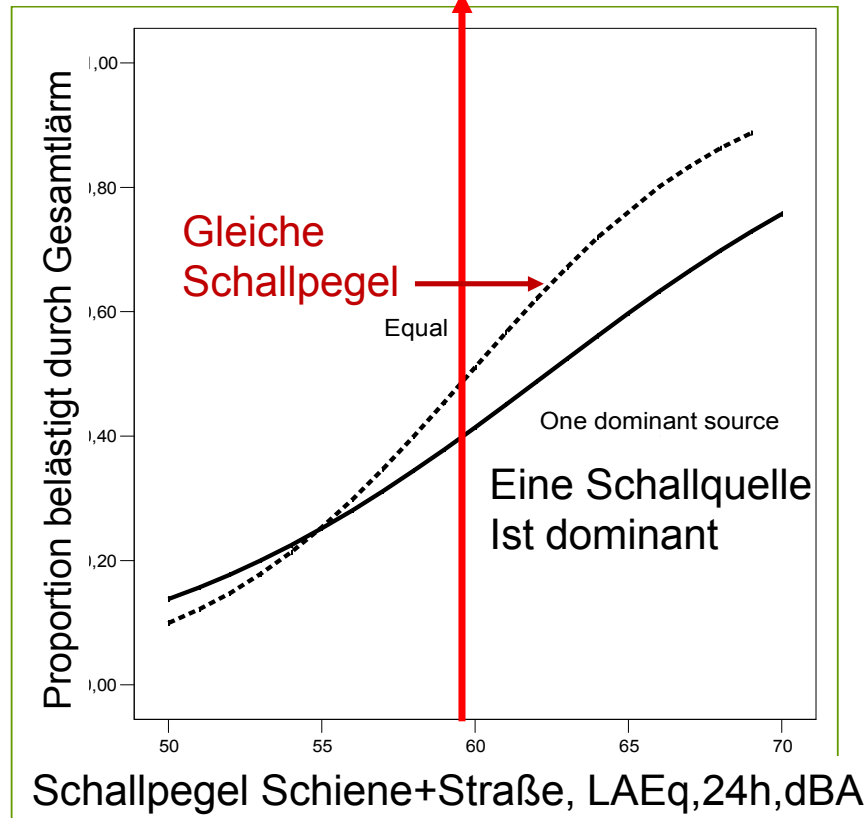
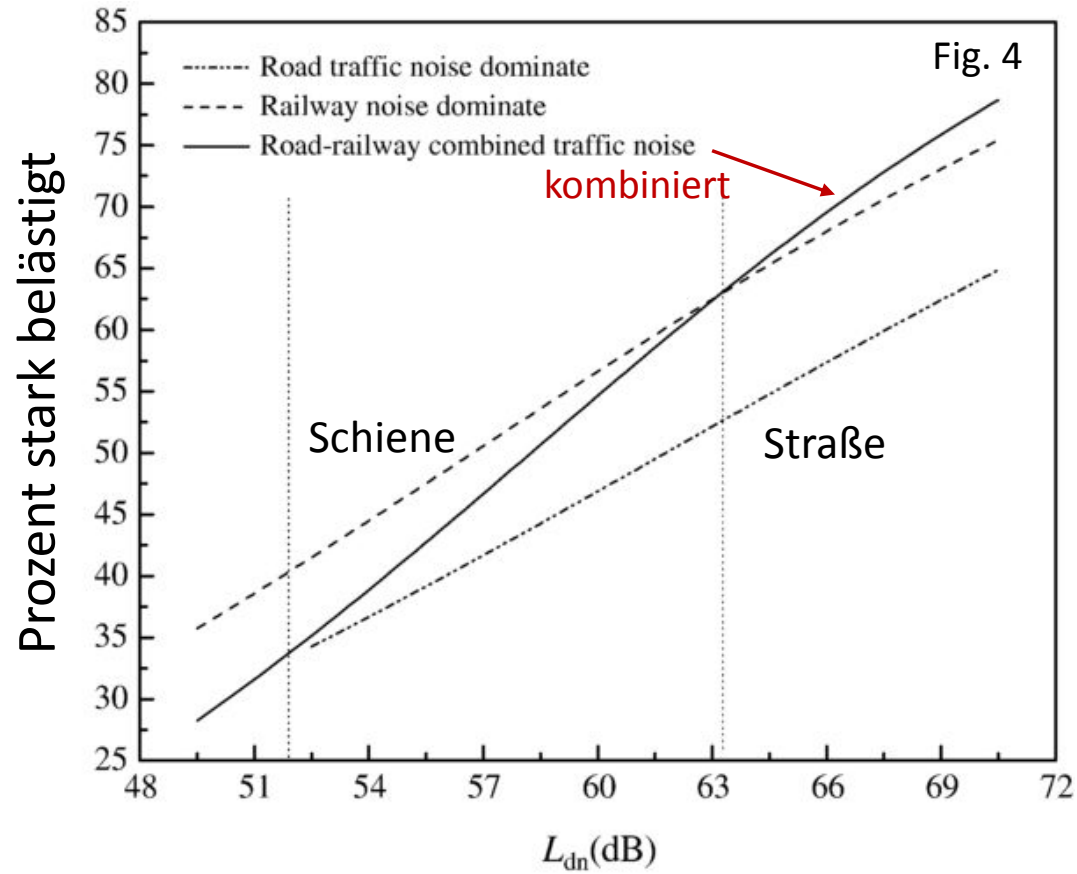


Abb. 7 in JASA 2007

Source: Evi Öhrström et al. JASA 2007

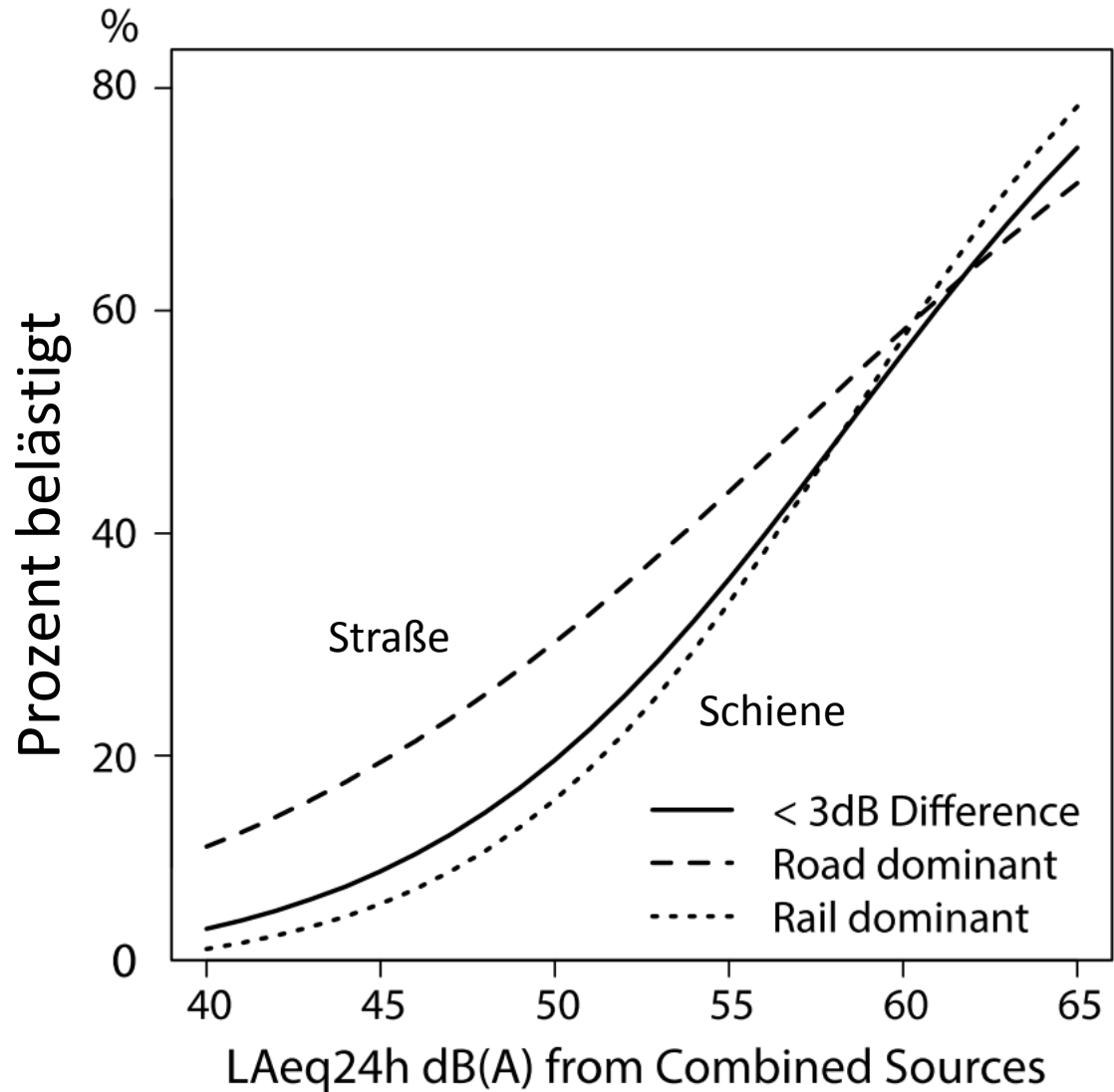
Schienen- und Straßenverkehrslärmexposition Dominante versus ähnliche Schallkombinationen

Kombinierte Wirkungen



Expositions-Wirkungsbeziehung mit dominanten Quellen (Straße oder Schiene) oder kombinierten Quellen mit ähnlichem Schallpegel.

Kombinierte Wirkungen

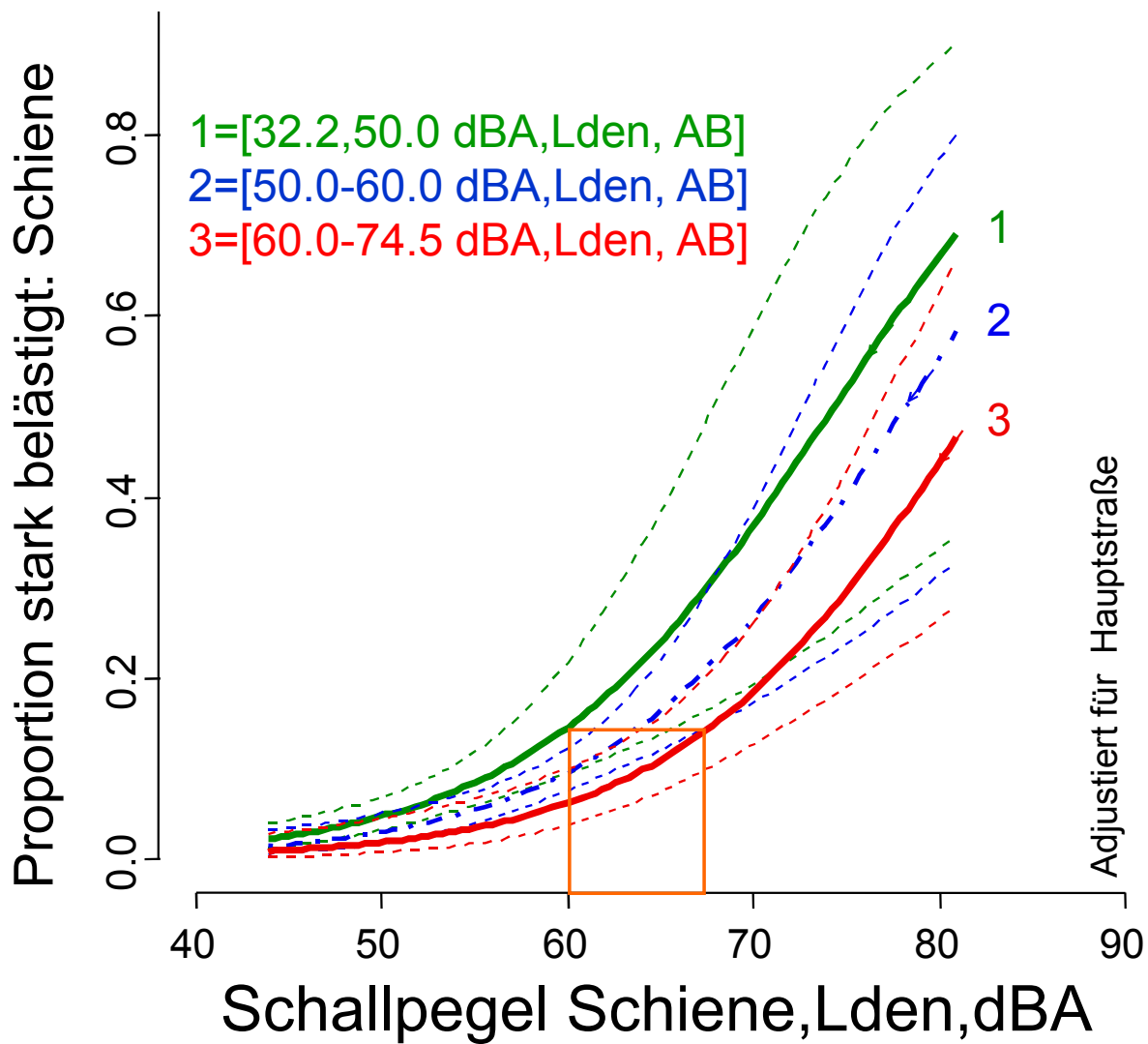


Bodin et al. Int. J. Environ. Res. Public Health 2015, 12

Personen mit Belästigung (in %) in Abhängigkeit von der Dominanz der Lärmquelle (Schiene oder Straße)

Belästigung durch Schienenlärm in Abhängigkeit vom Autobahnlärm (AB)*

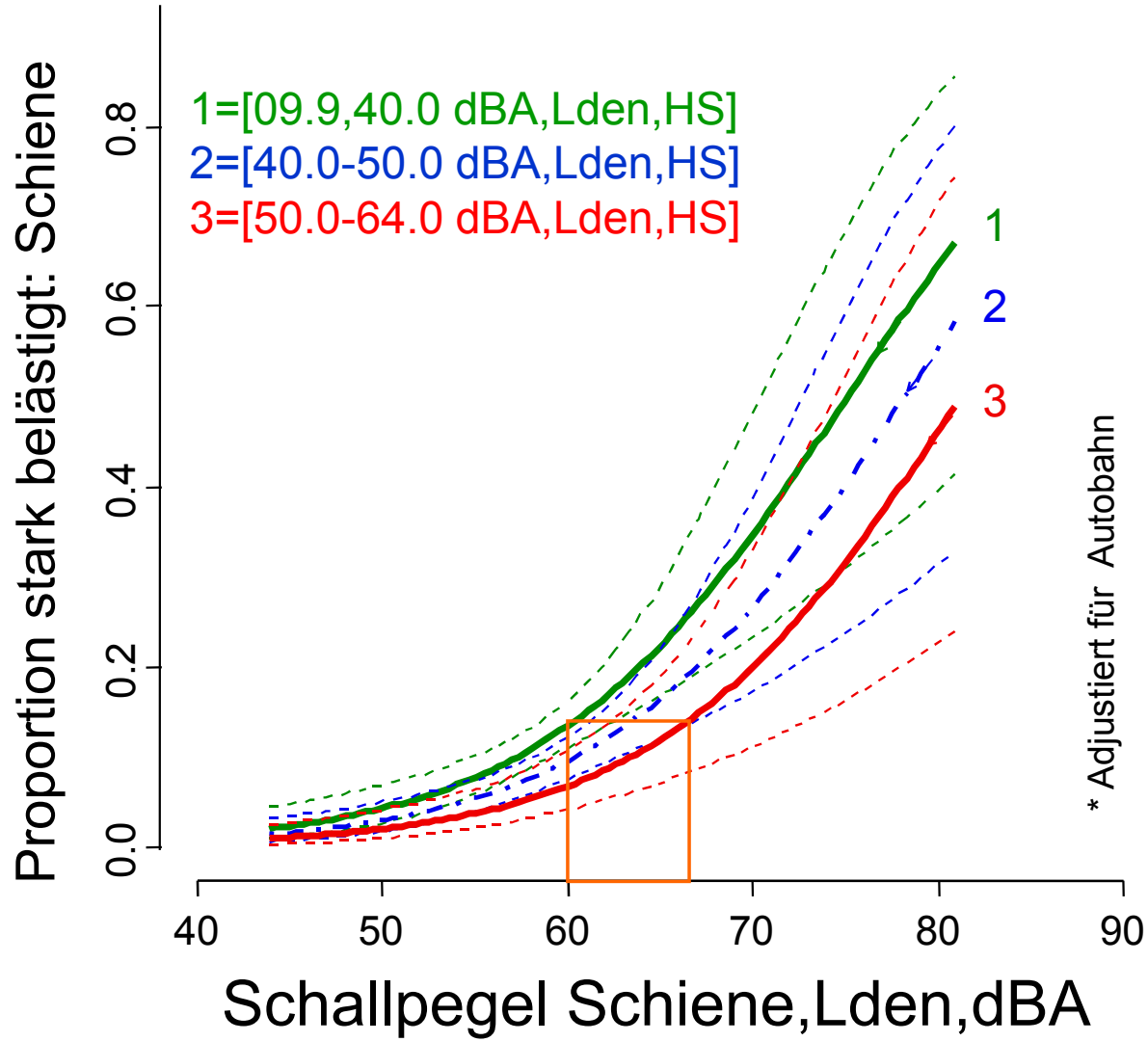
Kombinierte Wirkungen



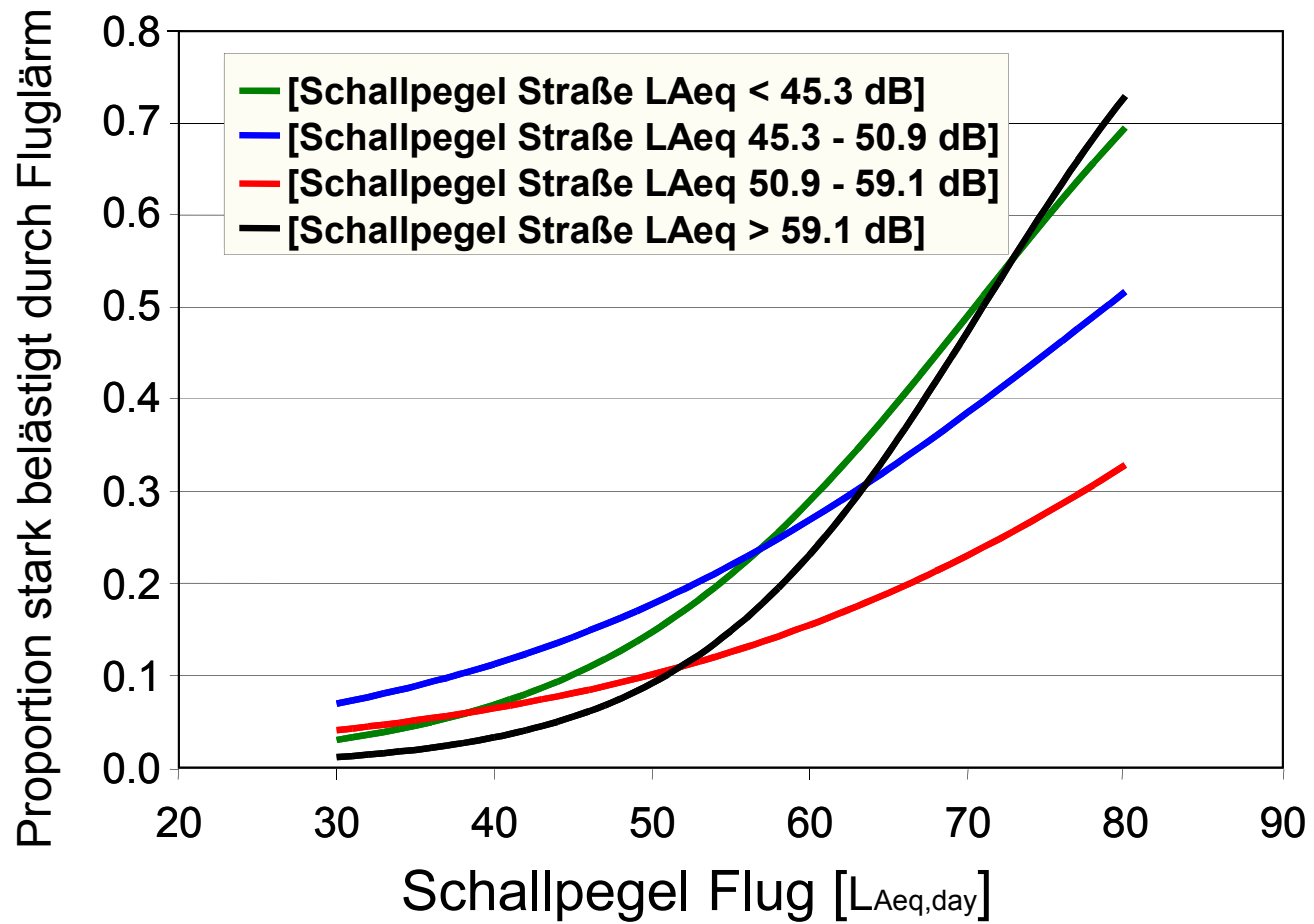
* >300 m von der Quelle

Belästigung durch Schienenlärm in Abhängigkeit vom Hauptstraßenlärm (HS)*

Kombinierte Wirkungen



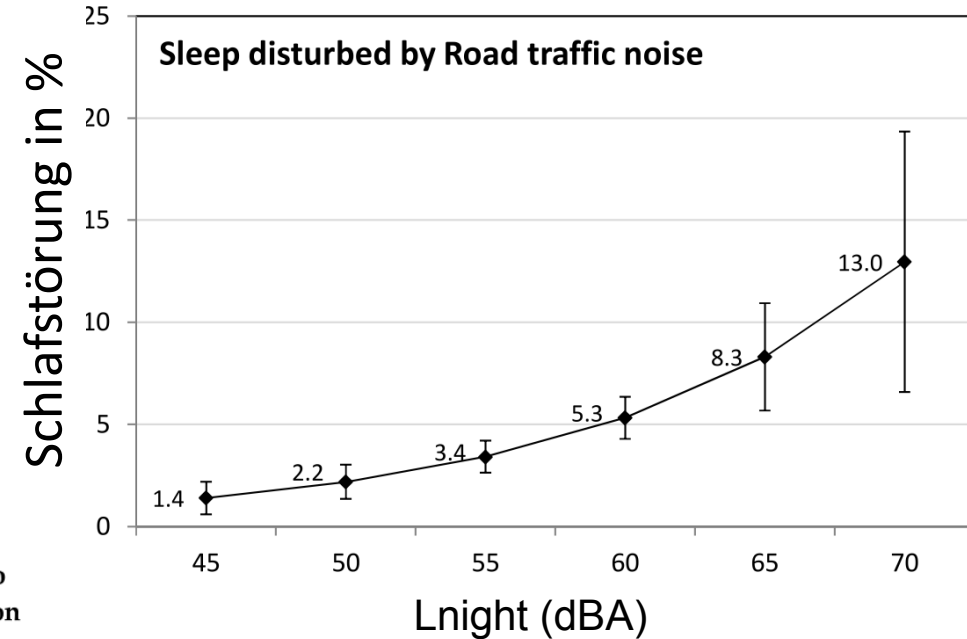
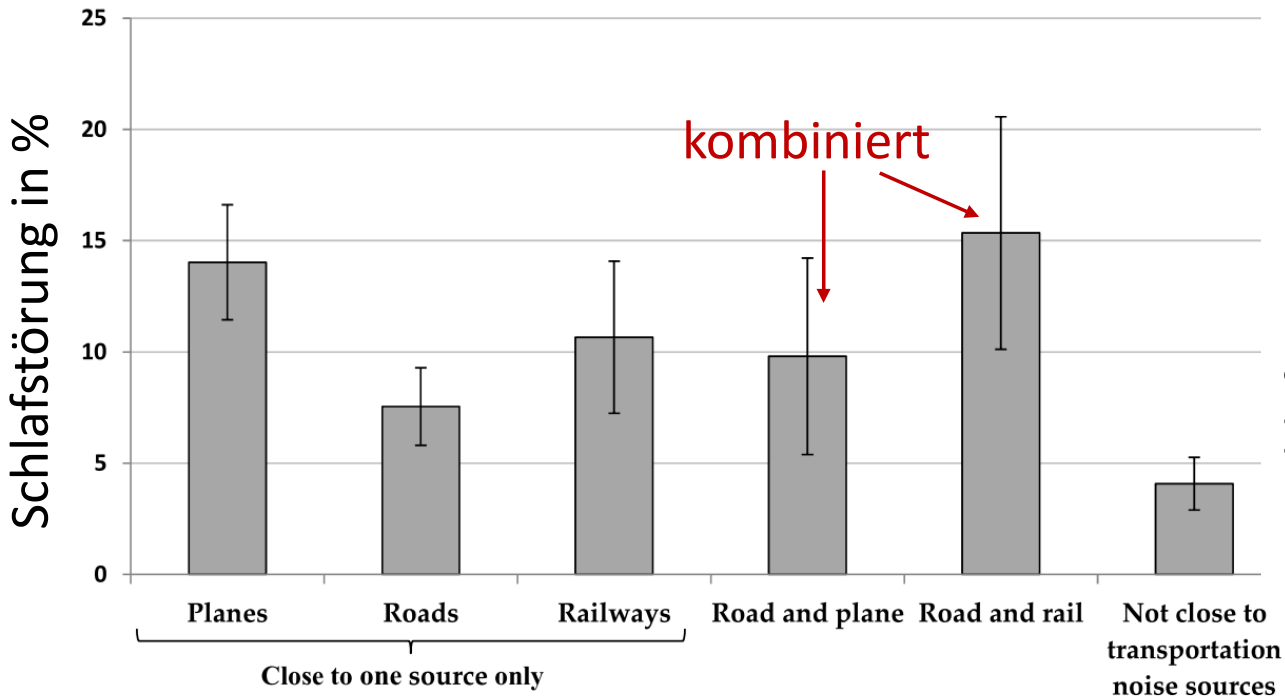
Kombinierte Wirkungen



Quelle: Brink M, Lercher P. Internoise 2007
Schweizer Lärmstudie 2000: N=1563

Expositions-Wirkungskurve für Fluglärm in Abhängigkeit von 4 unterschiedlichen Straßenverkehrslärmbelastungen

Schlafstörung durch Verkehrslärm: Wechselwirkung bei kombinierter Exposition



Personen mit Schlafstörungen (in %) in Abhängigkeit von der Distanz zu einer oder zwei Verkehrsquellen

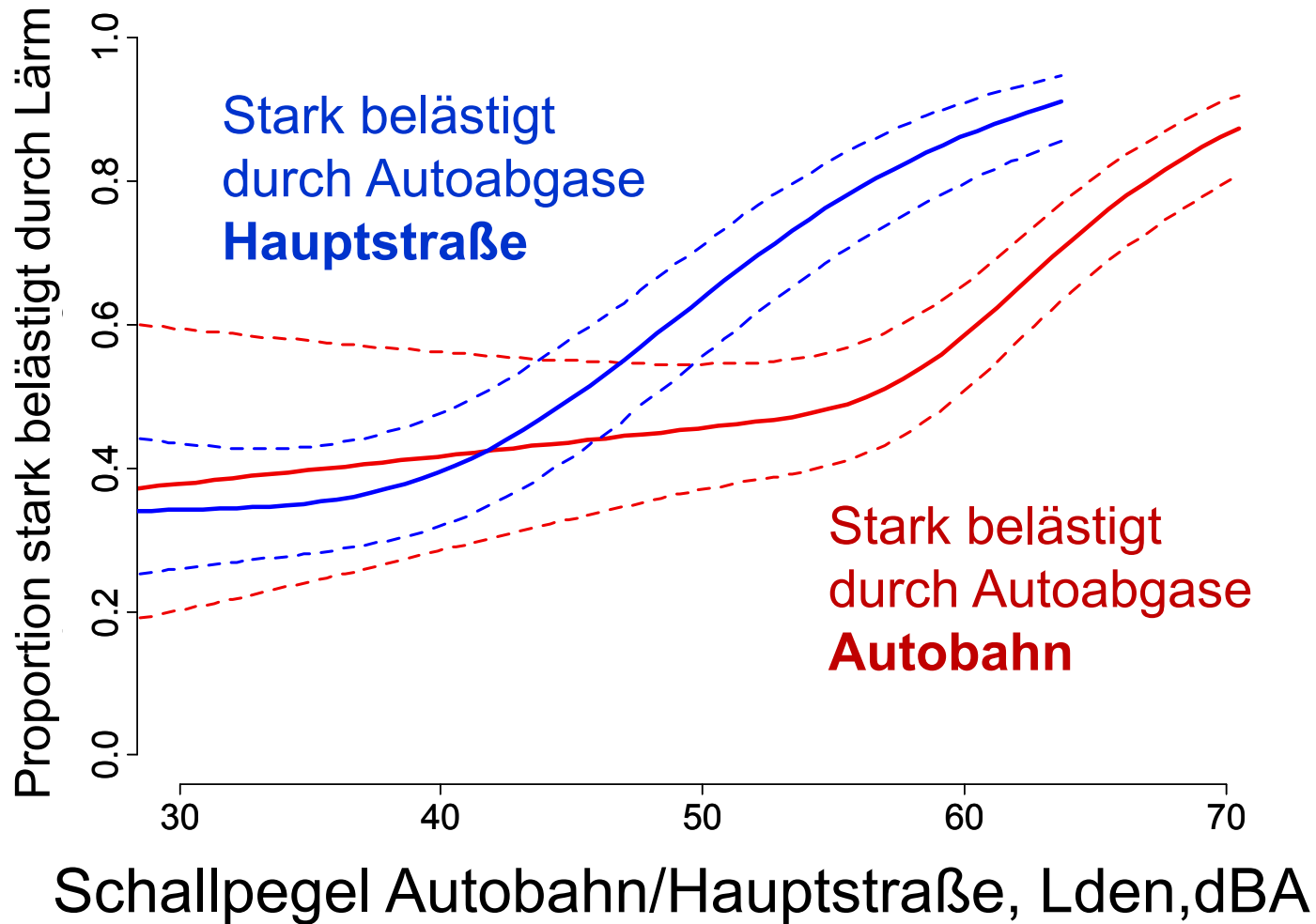
- Fluglärm: <1000 m from NEF25 or in NEF25)
- Schienenlärm: <150 m von der Quelle
- Strassenlärm: <100 m von Hauptstrasse/Autobahn

Personen mit Schlafstörungen (in %) durch Strassenverkehr (Pegelberechnung mit LUR-Modell)

Die sensorische Dimension der Akustik
("Cross-Modalität")

**Erschütterungen, sekundärer Luftschall,
Luftverschmutzung**

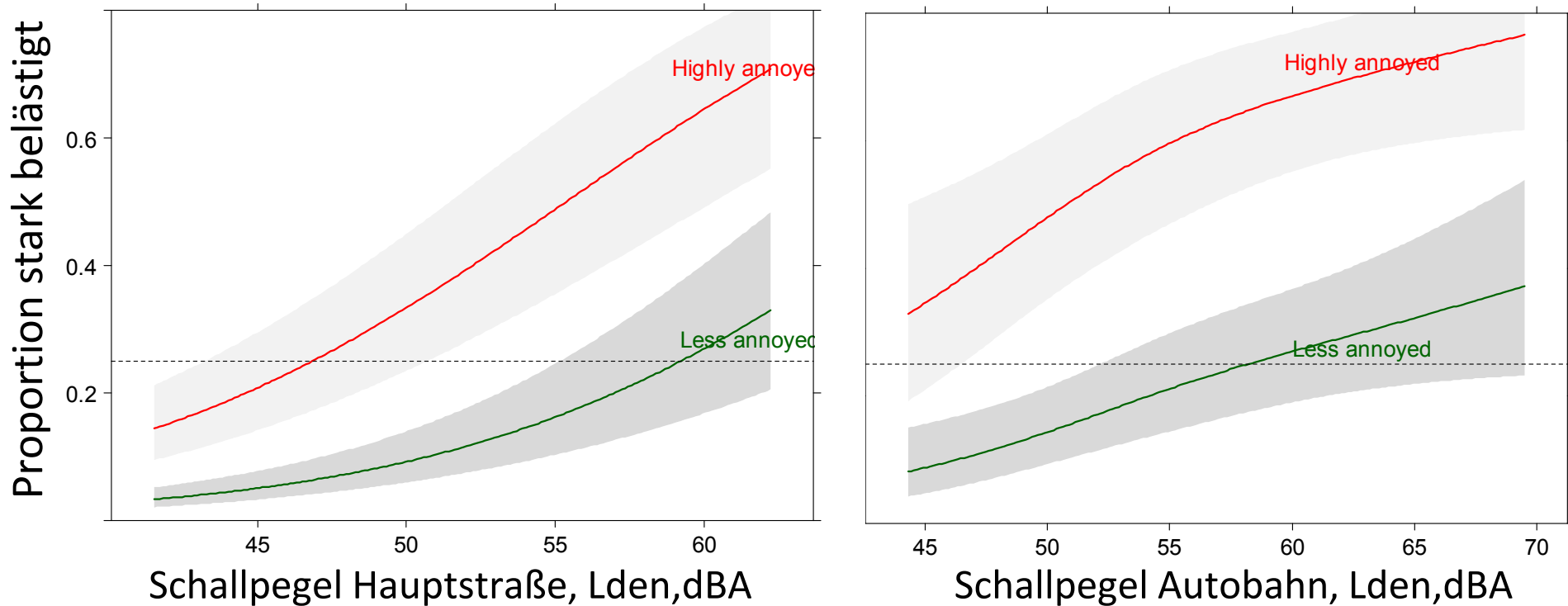
Mitbestimmende Faktoren: Luftverschmutzung



Quelle: ALPNAP-Studie; Heimann et al. 2007

Mitbestimmende Faktoren: Luftverschmutzung

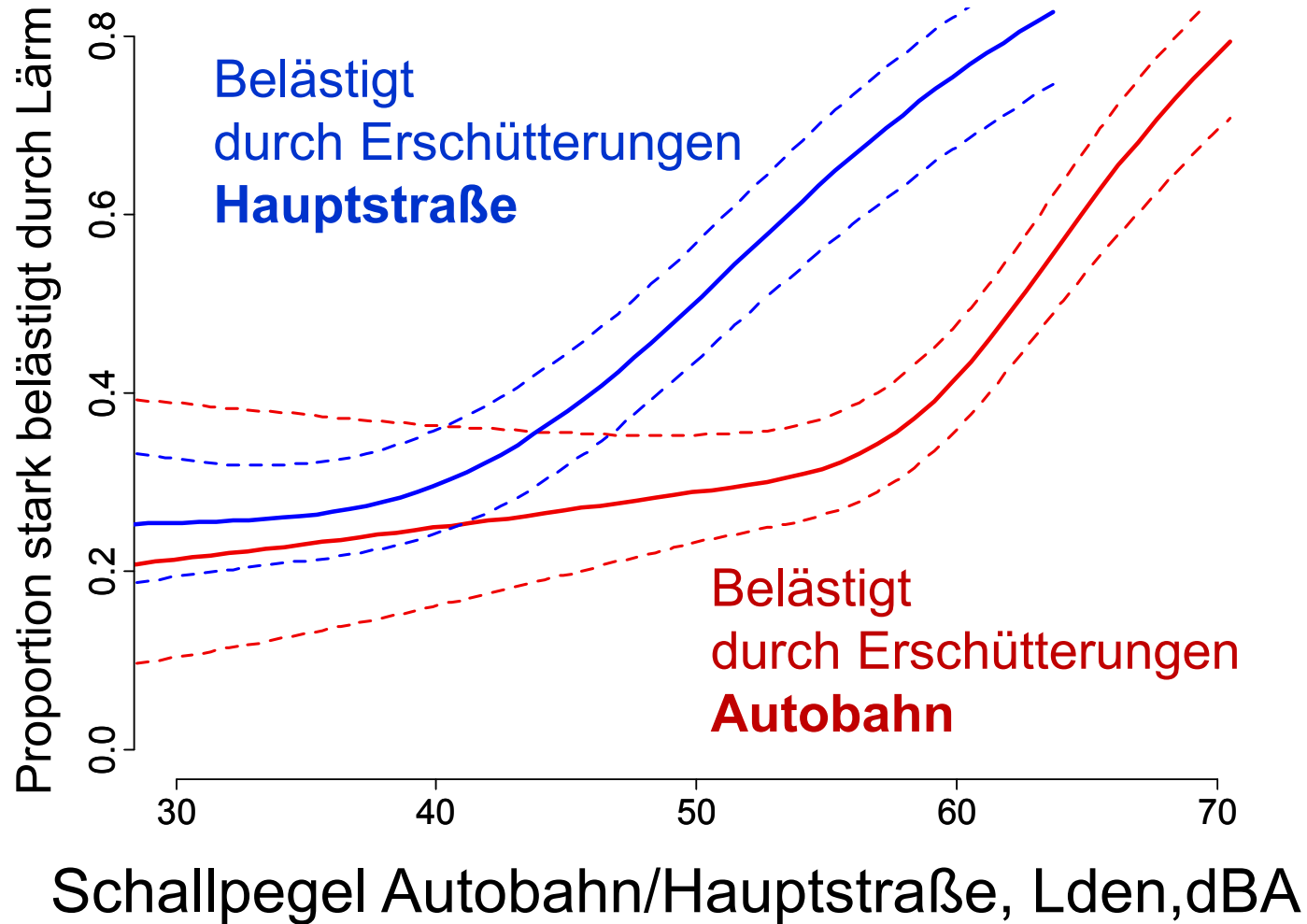
Unterinntal



Expositions-Wirkungskurve für Straßenlärm in Abhängigkeit von der berichteten Belästigung durch Luftverschmutzung

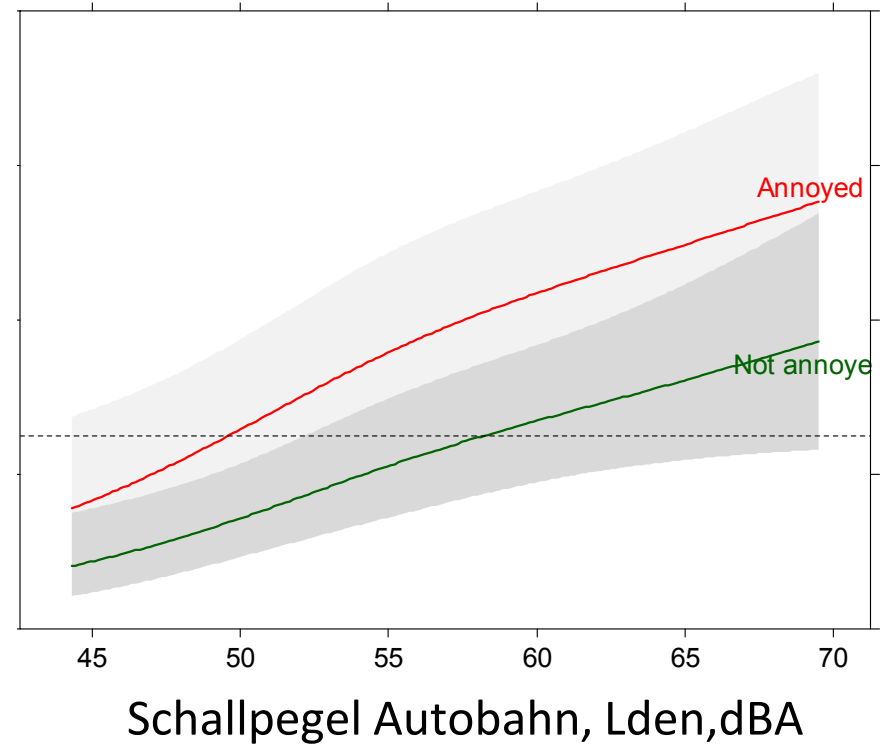
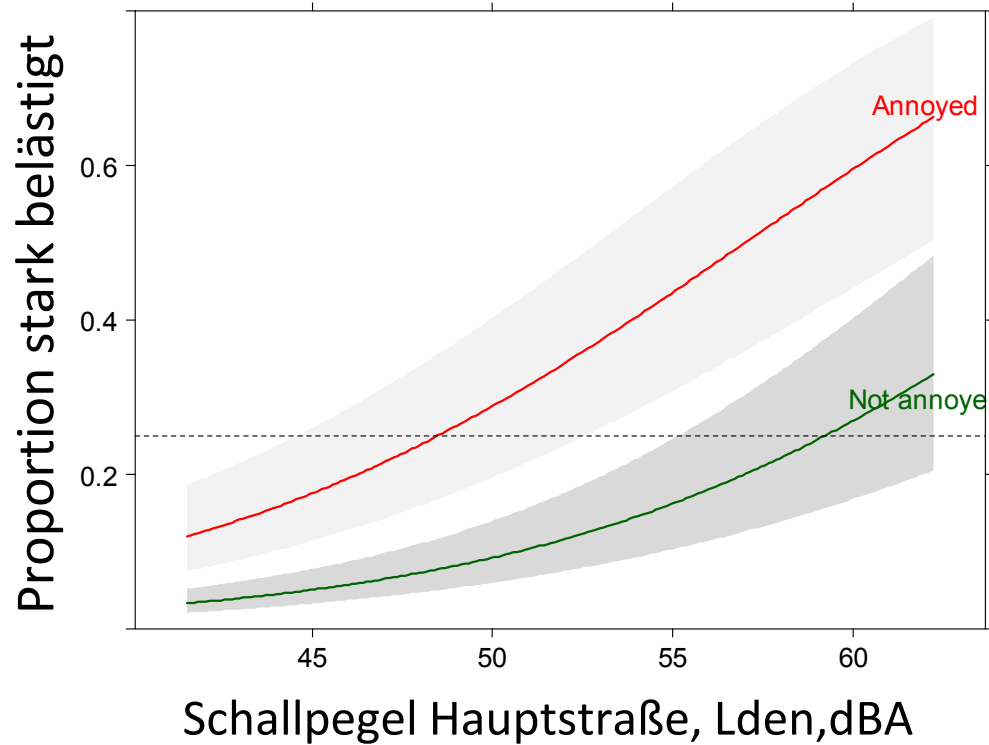
*Adjustments for age, sex, education, health status, noise sensitivity, annoyance due to vibration, house type
Quelle: Lercher et al. Internoise 2013

Mitbestimmende Faktoren: Erschütterungen



Mitbestimmende Faktoren: Erschütterungen

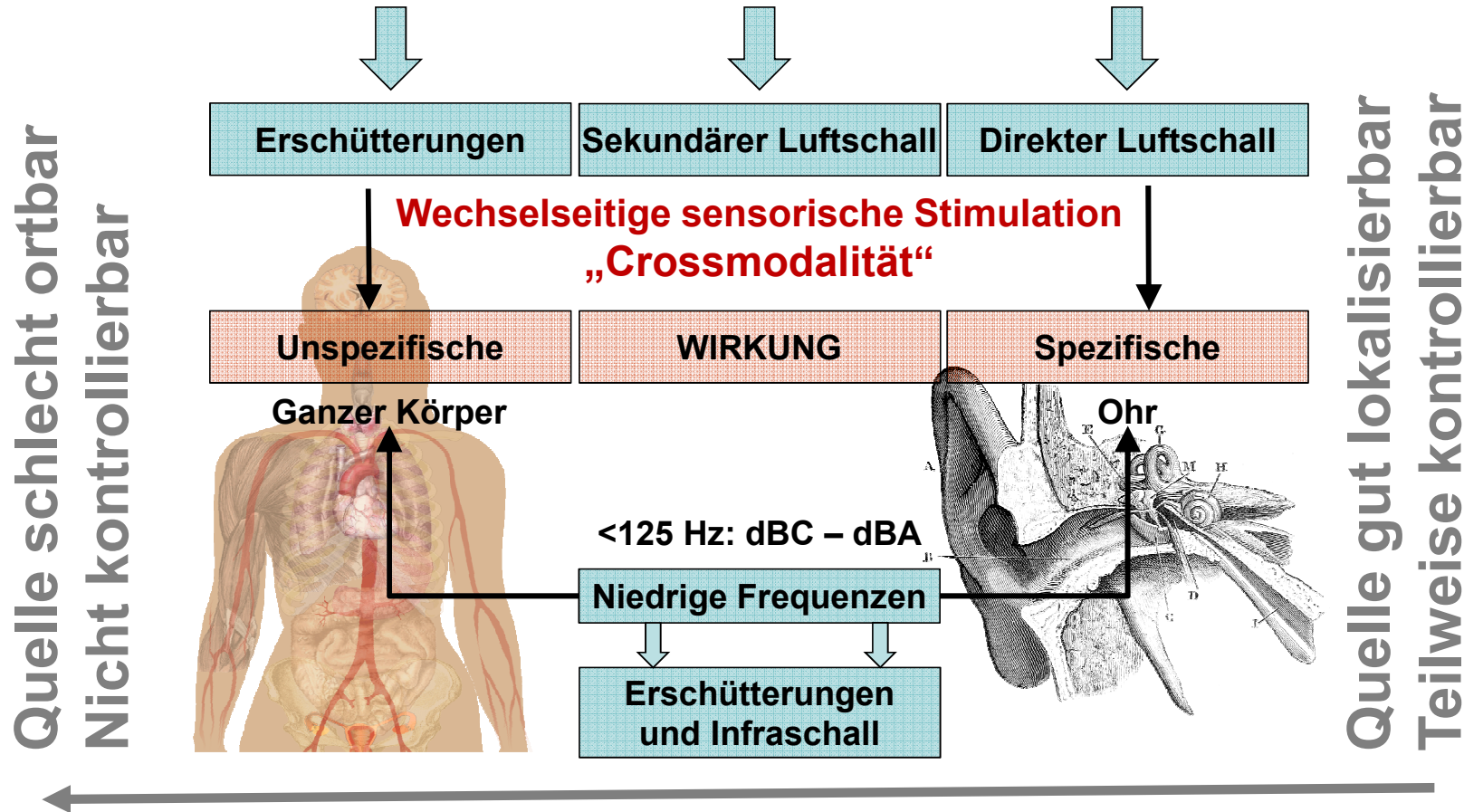
Unterinntal



Expositions-Wirkungskurve für Straßenlärm in Abhängigkeit von der berichteten Belästigung durch Erschütterungen

*Adjustments for age, sex, education, health status, noise sensitivity, annoyance due to traffic particles/soot, house type
Quelle: Lercher et al., Internoise 2013

Integrierte Messung und Bewertung notwendig



Die subjektiv erfahrbare Dimension der Akustik
("soundscape")

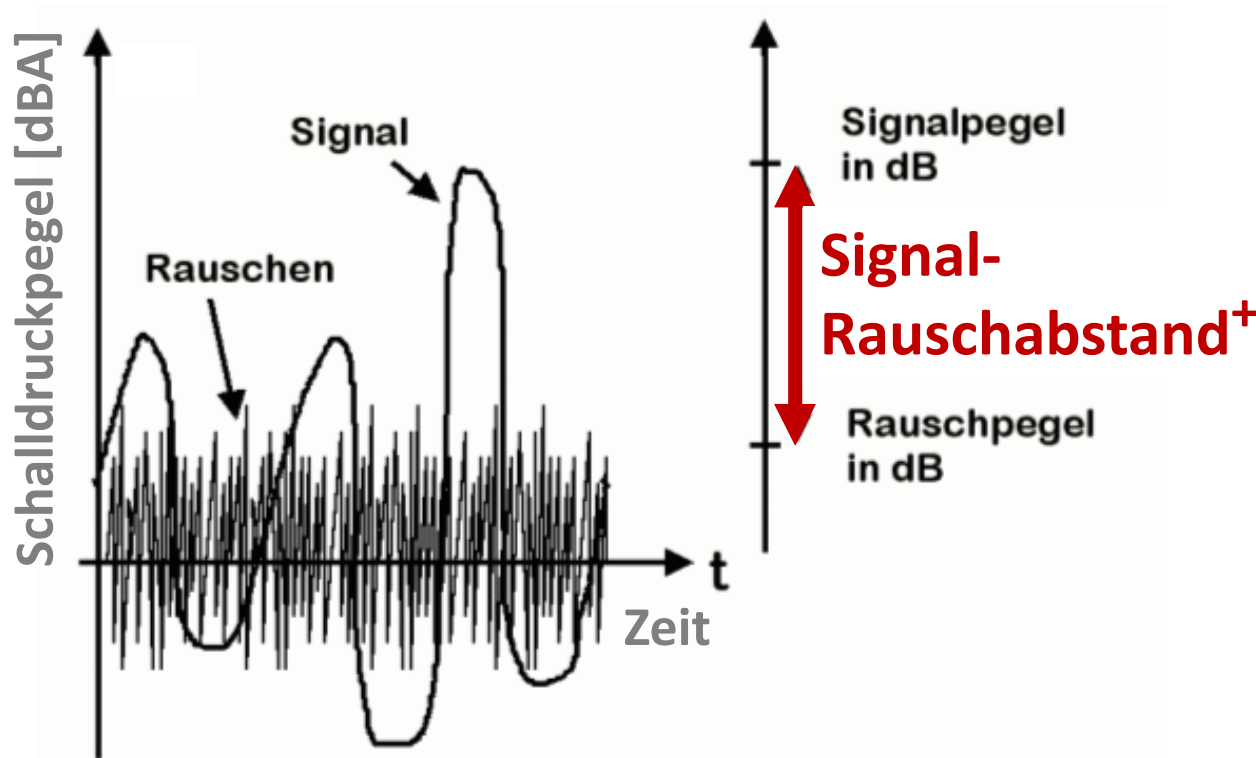
Psychoakustik und Soundscape mapping

Akustik und Psychoakustik

Der dBA-Wert ist aus der Gesundheitsperspektive nicht zuverlässig – wenn folgende Umstände vorliegen

- **Hoher Signal-Rauschabstand** (Emergenz)
insbesondere abends und nachts
- **Hohe Fluktuation des Schallpegels**
Event basierte Analysen, Intermittency-ratio
- **Tieffrequente Geräusche** mit begleitendem sekundärem Luftschall und **Vibrationen** auftreten
- **Auffällige Geräuschkomponenten vorliegen**
z.B. Tonhaltigkeit, Schärfe
- **Modulierte Geräusche vorliegen**
z.B. Rauigkeit oder Schwankungsstärke

Der Signal-Rauschabstand* ist eine entscheidende Größe für die gesundheitliche Beurteilung



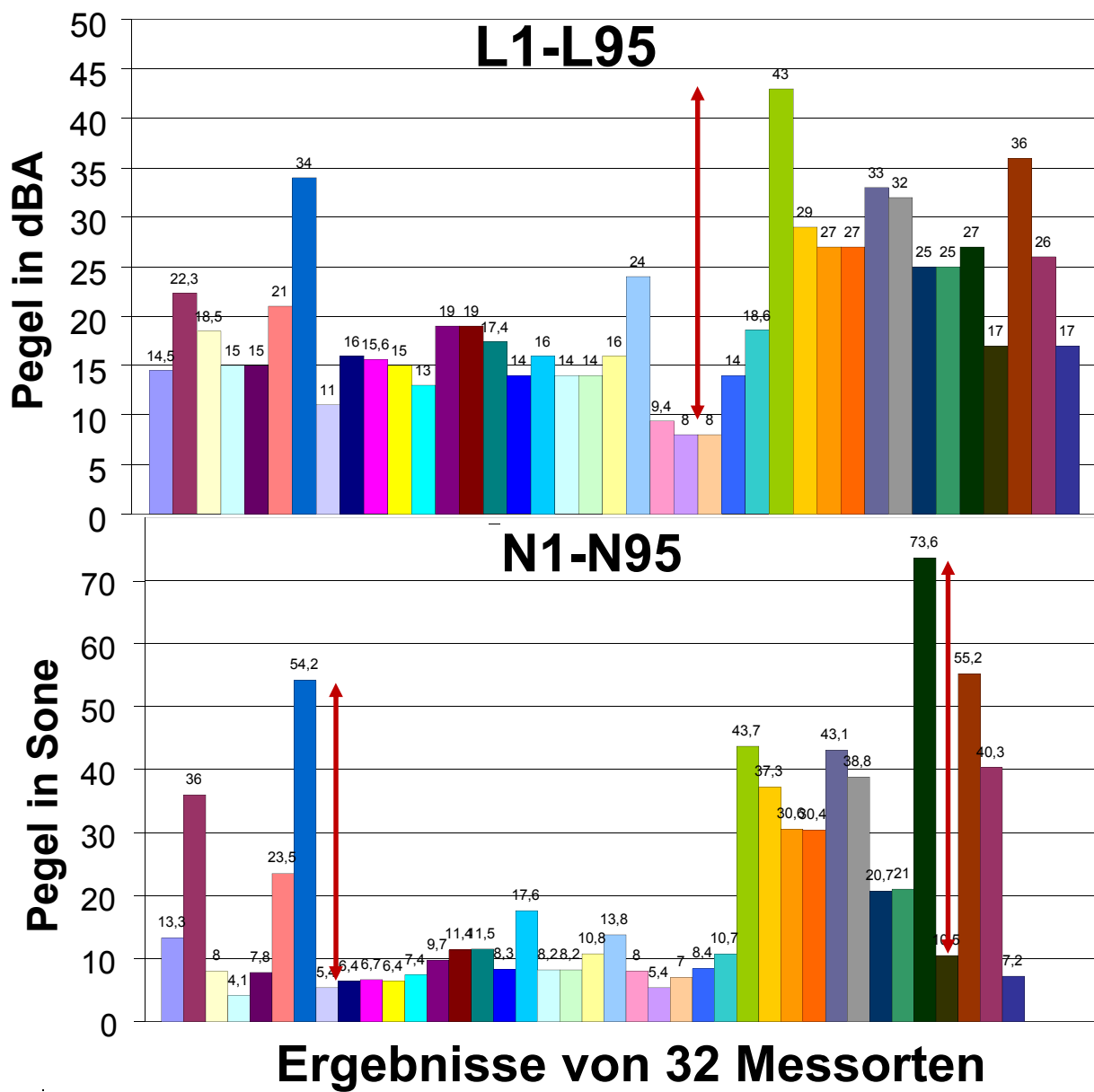
+Daumenregel

Eine 10 dBA-Differenz[°] kann bereits autonome vegetative Reaktionen auslösen
Chang SS et al. 2015 haben das bis 35 dBA nachweisen können und frühere Forschung bestätigt (Klosterkötter 1977)

[°] zwischen Spitzenpegel (L_{max}) und Grundpegel (L₉₅)

* Es ist schon lange bekannt, dass die Belästigung im Niederschallbereich (<50dBA) proportional zur Hörbarkeit und nicht zur Schallintensität ist (Fidell et al 1979, Schomer 1981)

**Ausmaß der Schwankungen der Gesamtpegel
(dBA versus Sone) in einer Untersuchungsregion***



* Unterinntalstudie Dokumentation 2001
(Baumkirchen bis Kundl)

Fluktuation und Belästigung: Hauptstraße

- ▲ Fluktuation: Ereignis gegen Pegelhintergrund der spezifischen Quelle (verschieden für die Quellen)
- ▲ Emergenz: Ereignis gegen Gesamtpegelhintergrund abzüglich der untersuchten spezifischen Quelle

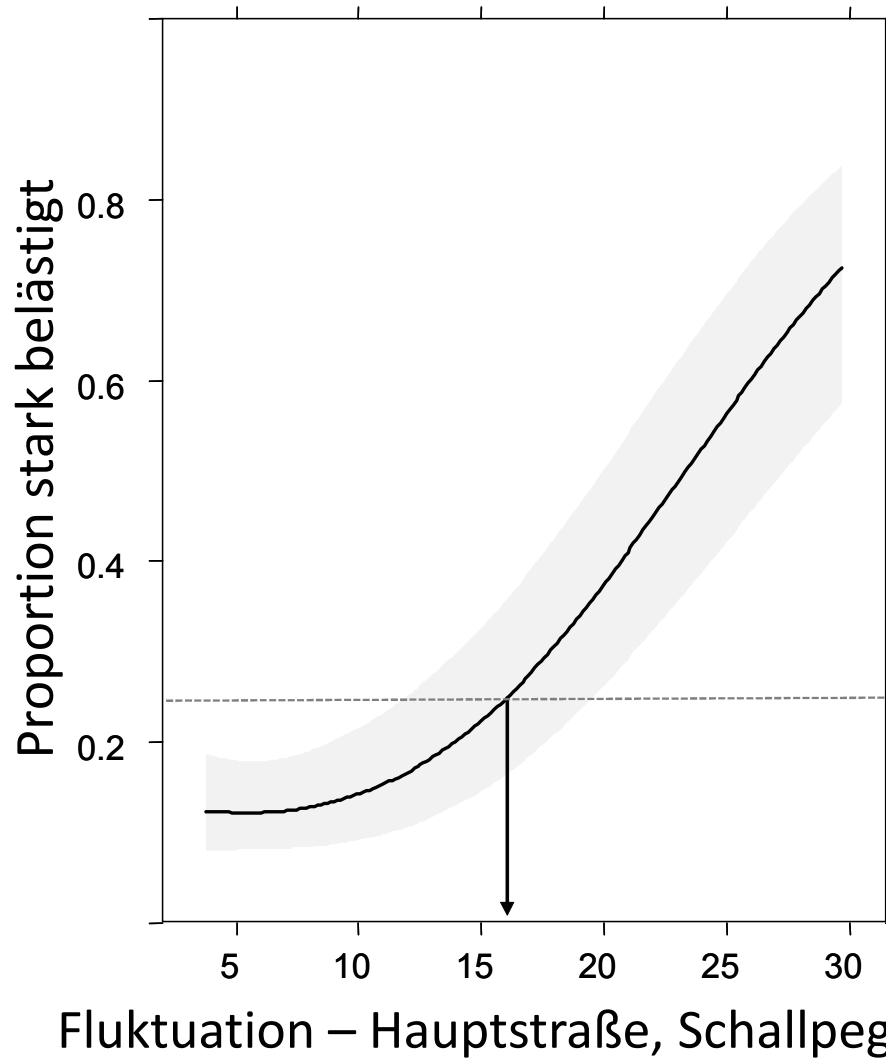


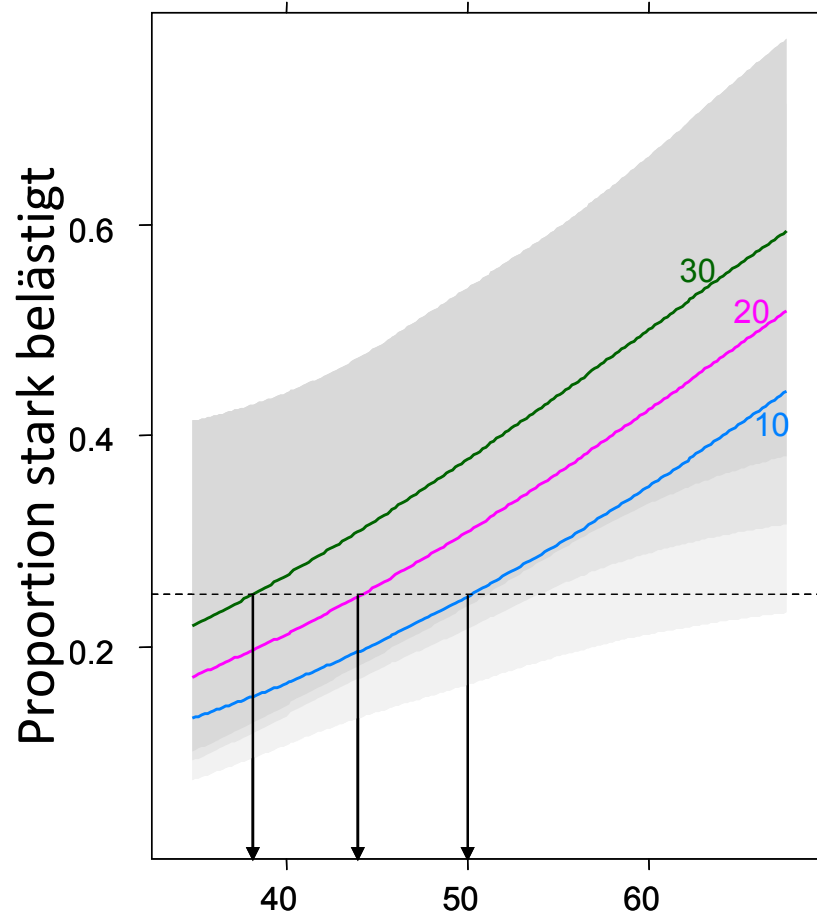
Abbildung 1.

Fluktuation (LA05-LA95) und % stark belästigt durch Hauptstraßenlärm

Zusätzliches Ergebnis

Ein Anstieg der Emergenz von 0 auf 10 dBA verringert den Schwellenwert für 25% stark Belästigte zusätzlich bereits um 4 dBA

Mehrquellenmodell



Gesamtschallpegel – LAeq-home-awake, dBA

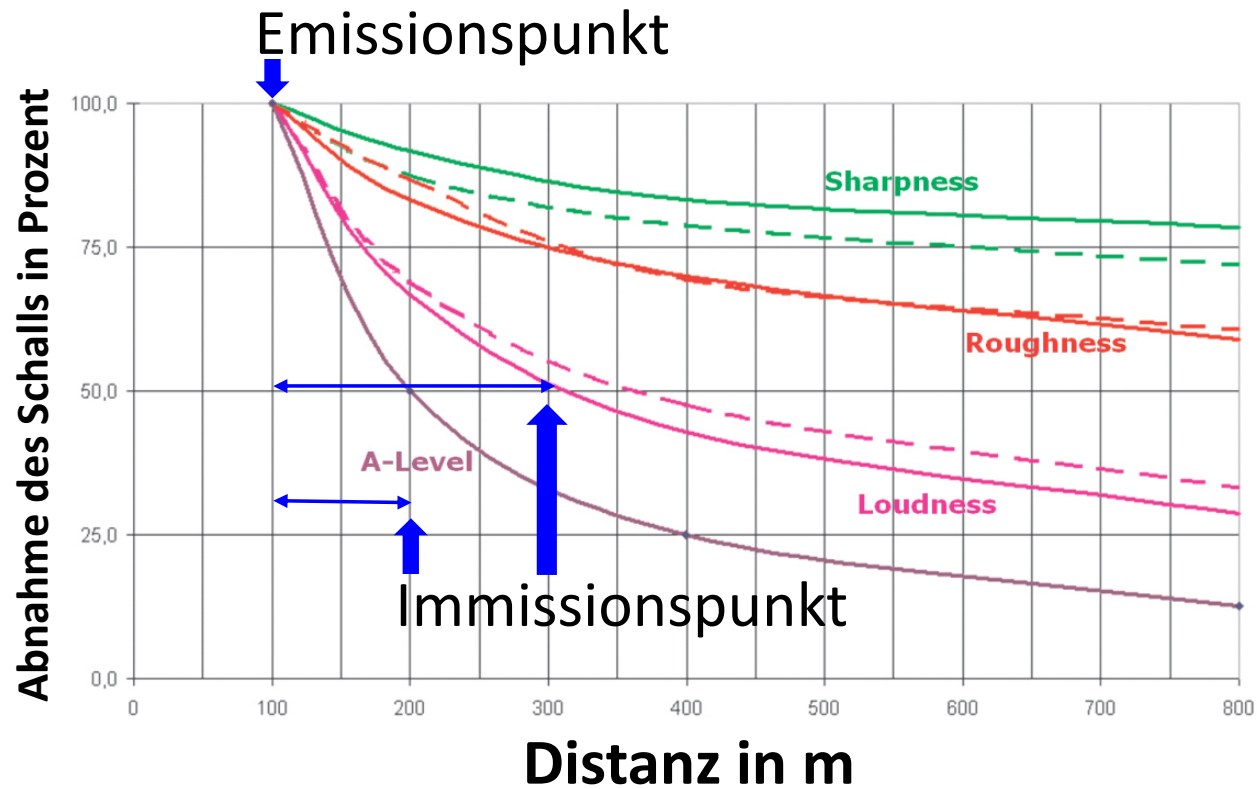
Abbildung 5.

Gesamt LAeq-home-awake* und % stark belästigt durch alle Quellen (Hauptstraße, Schiene und Autobahn)

Mit dem zusätzlichen Effekt verschiedener Fluktuations-niveaus (10 bis 30 dBA)

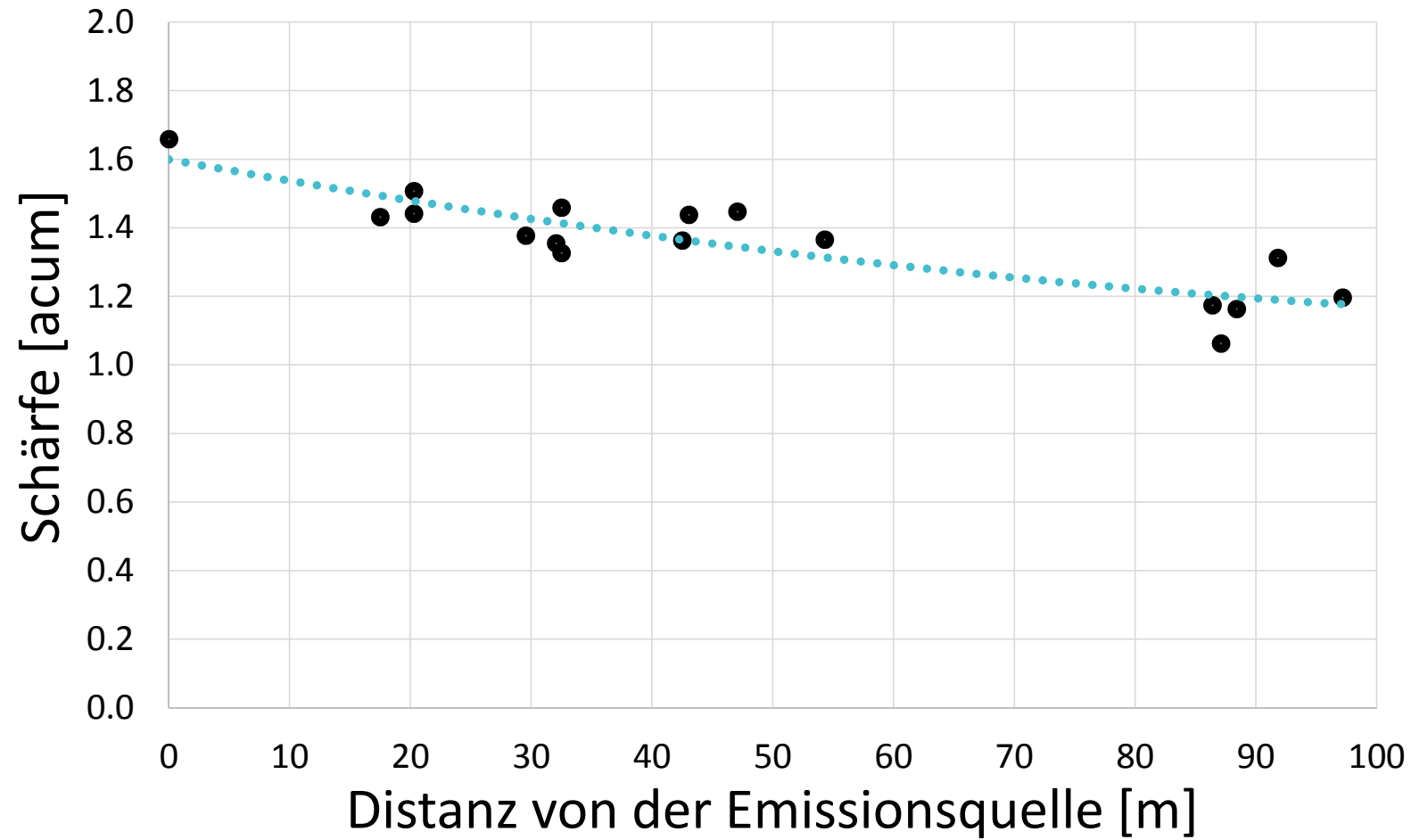
➔ Wenn die Fluktuation sehr hoch ist (z.B. 30 dBA) verschiebt sich der Schwellenwert für 25% stark Belästigte sogar unter 40 dBA

Psychoakustik Indikatoren: Pegelabnahme mit der Distanz



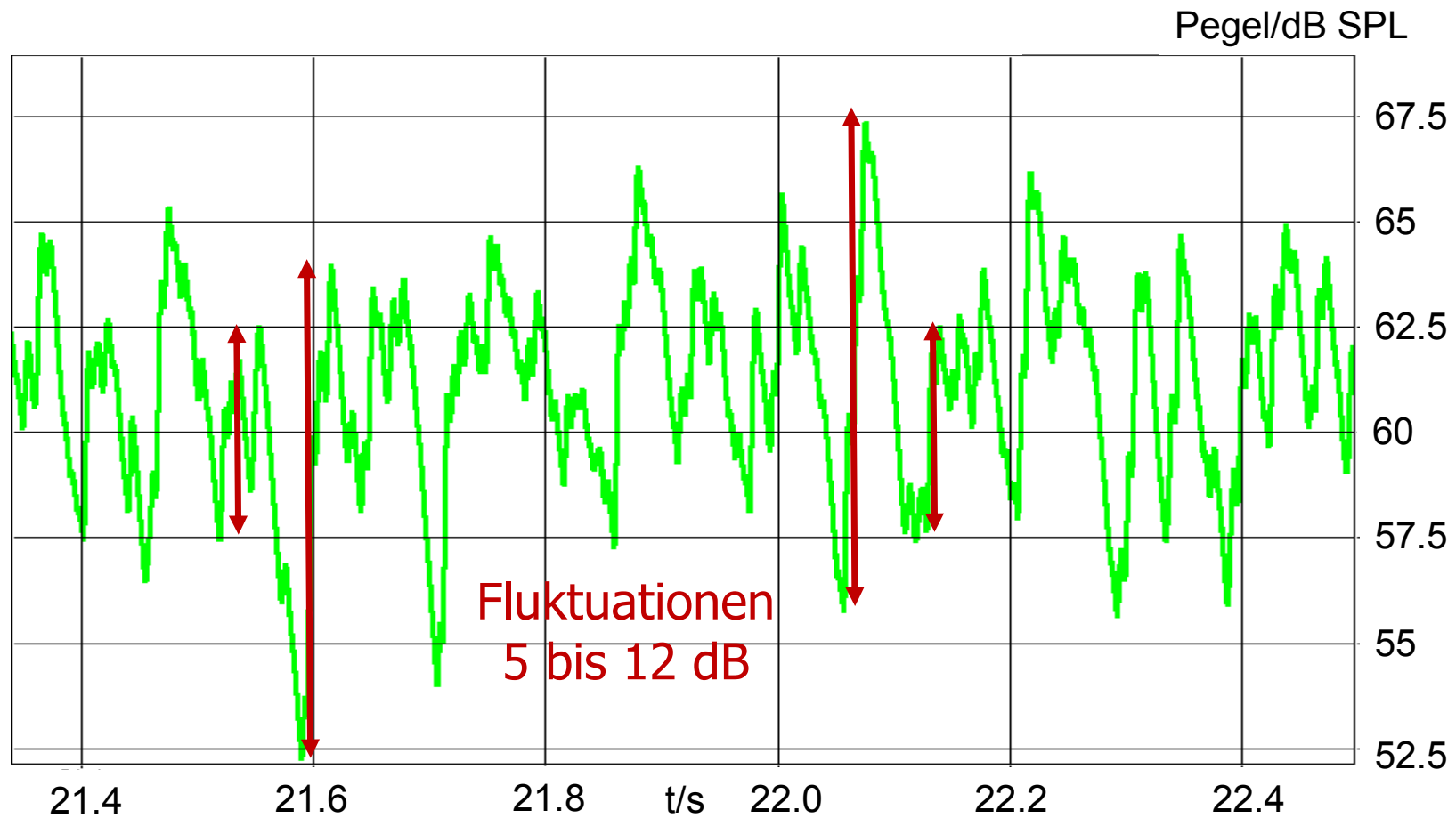
Quelle: Genuit & Fiebig 2006

Schärfe: Abnahme mit der Distanz von der Quelle



Quelle: Cik & Lienhart, Internoise 2016

Pegelschwankungen* im Niedrigfrequenzbereich (<125 Hz)



*Messstellenentfernung 530 m von Quelle (Autobahn)

Akustische Evaluierung der Einwirkung niederfrequenten Schalls von Autobahnen auf die Nachbarschaft: **Lärmkarten**

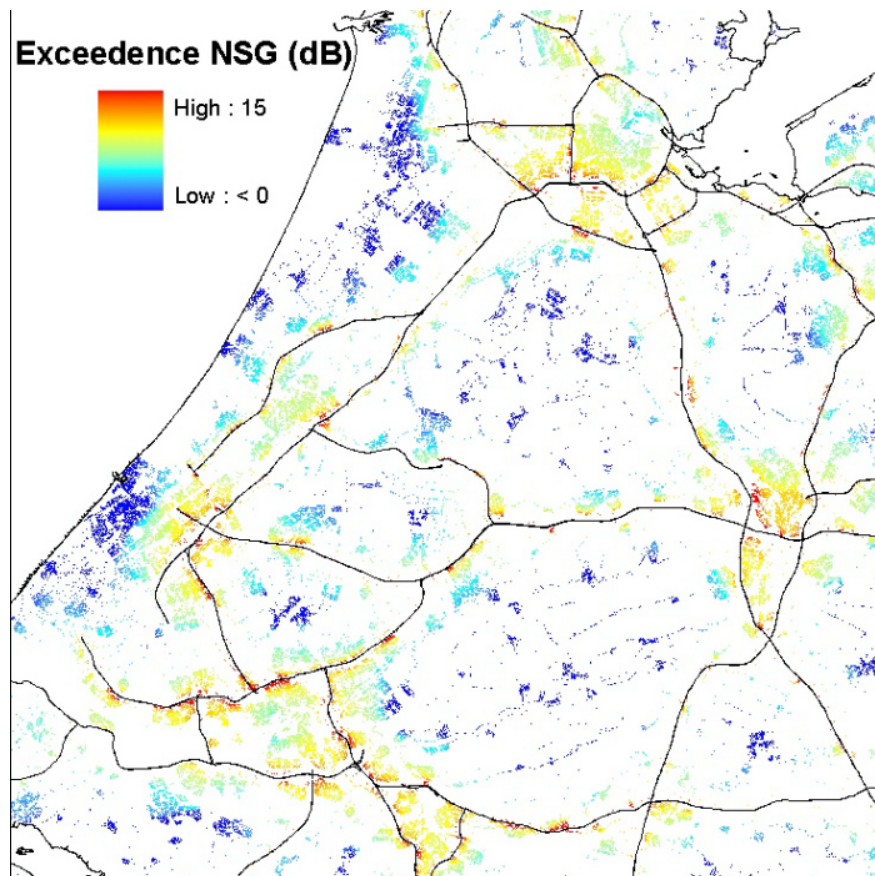


Fig. 3 NSG exceedance on dwellings in the 'Randstad'*

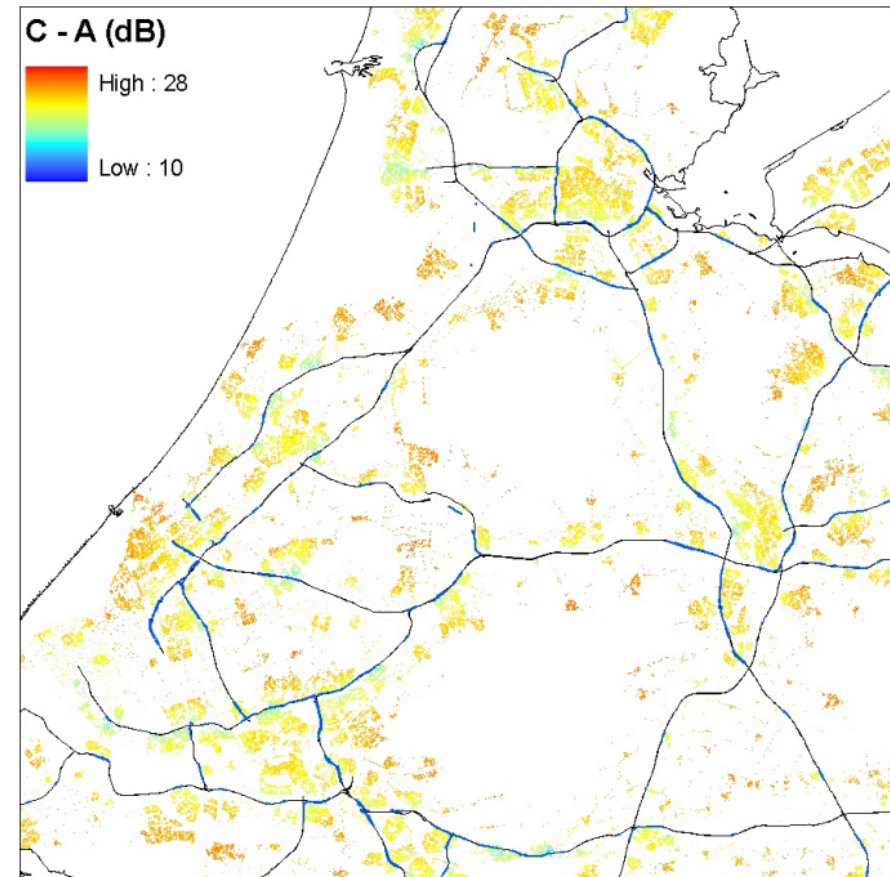


Fig. 4 C-A level difference on dwellings in the 'Randstad'

* Beinhaltet die 4 größten Städte der Niederlande (Amsterdam, Rotterdam, The Hague and Utrecht)

Akustische Evaluierung der Einwirkung niederfrequenten Schalls von Autobahnen auf die Nachbarschaft: **Betroffenzahlen**

Guideline	Number of	Total percentage
	households (Mio)	of households
NSG* guideline 63 Hz	3.00	43
NSG* guideline 125 Hz	5.60	79
dBC-A \geq 15 dB	4.20	59
dBC-A \geq 20 dB	0.64	9

* the LF-guideline according to the Dutch Association for Noise Annoyance (NSG)

Pisa - Zentrum

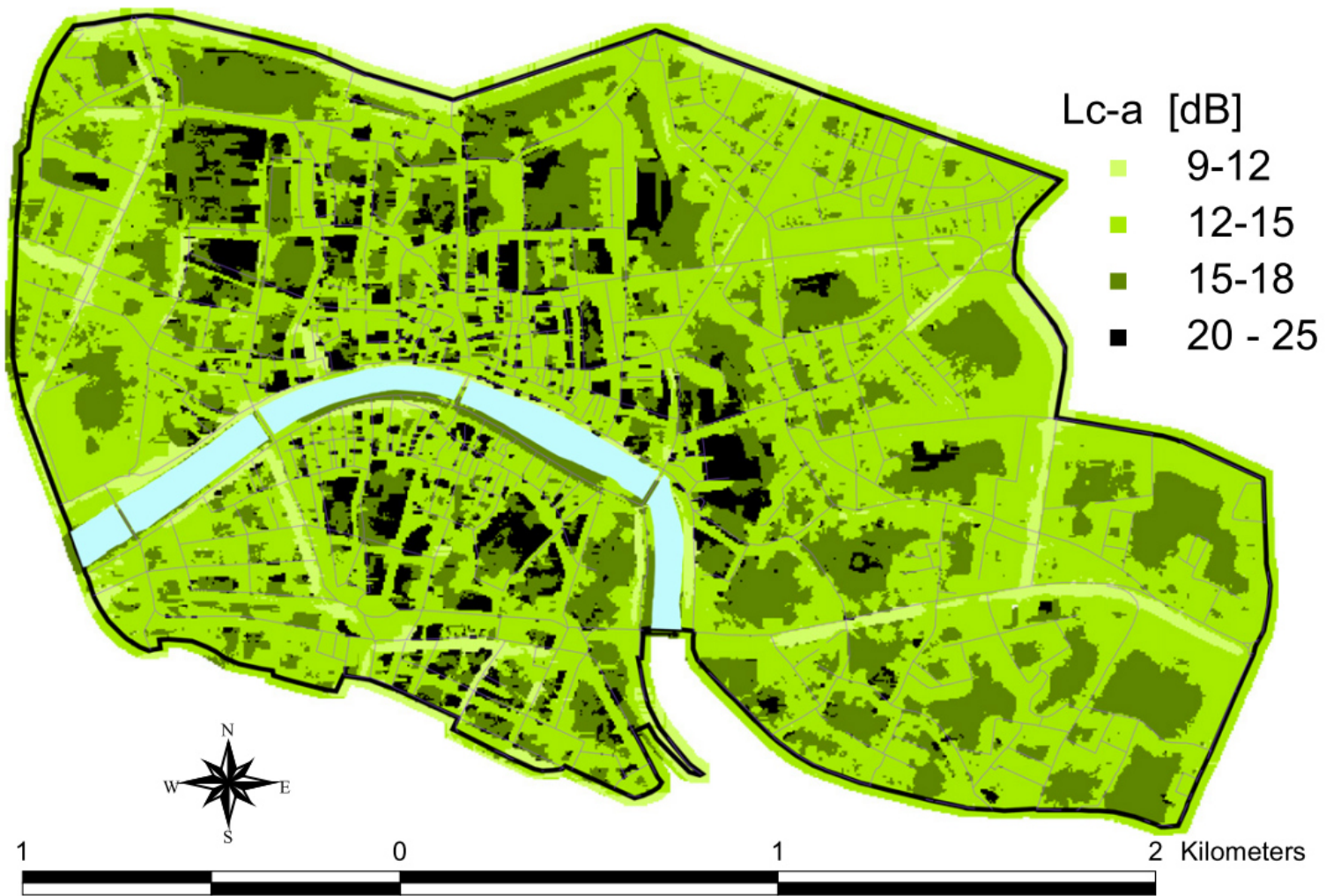


Abb. 12. LC – LA Lärmkarte nach der Nord 2000 Berechnungsmethode

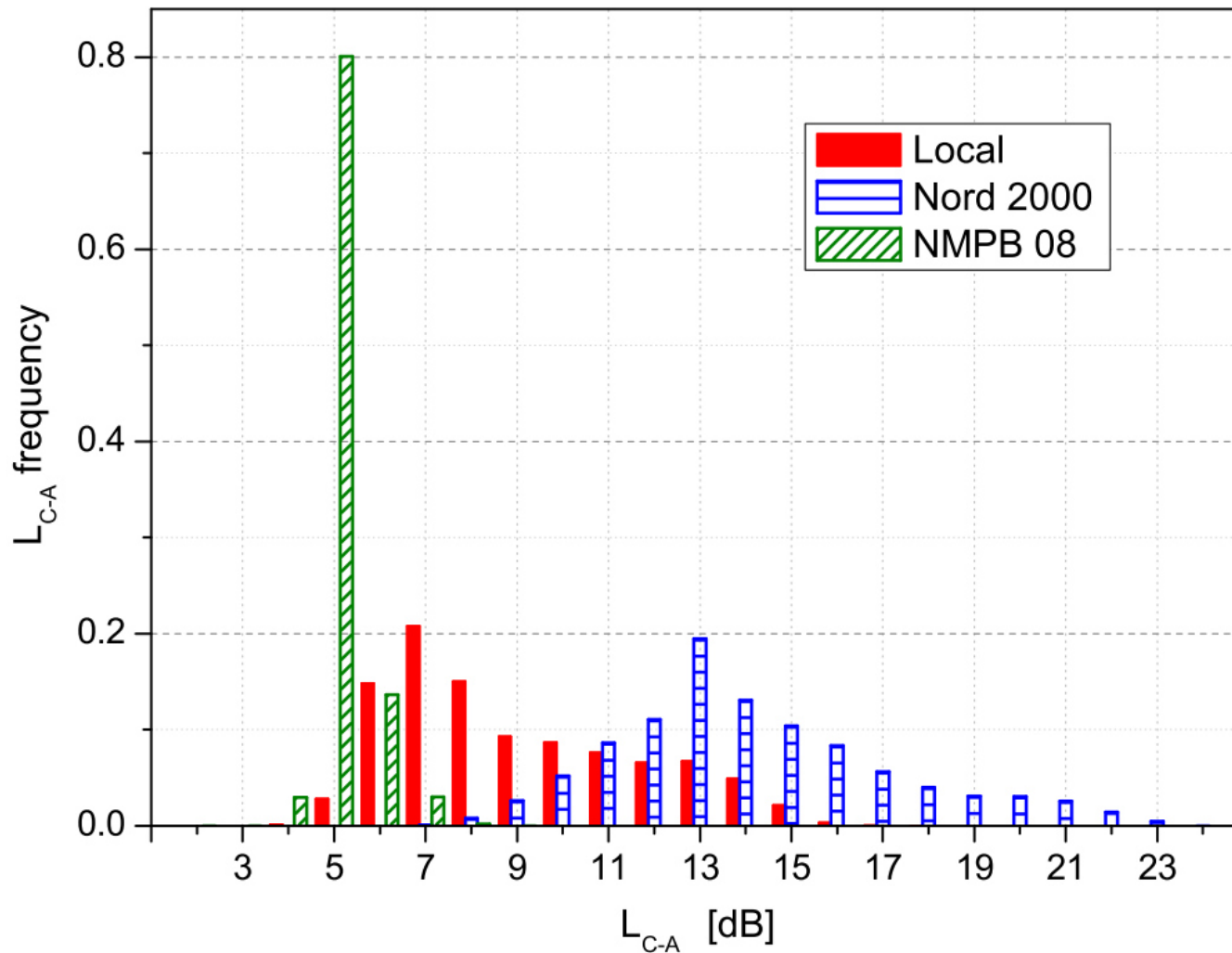
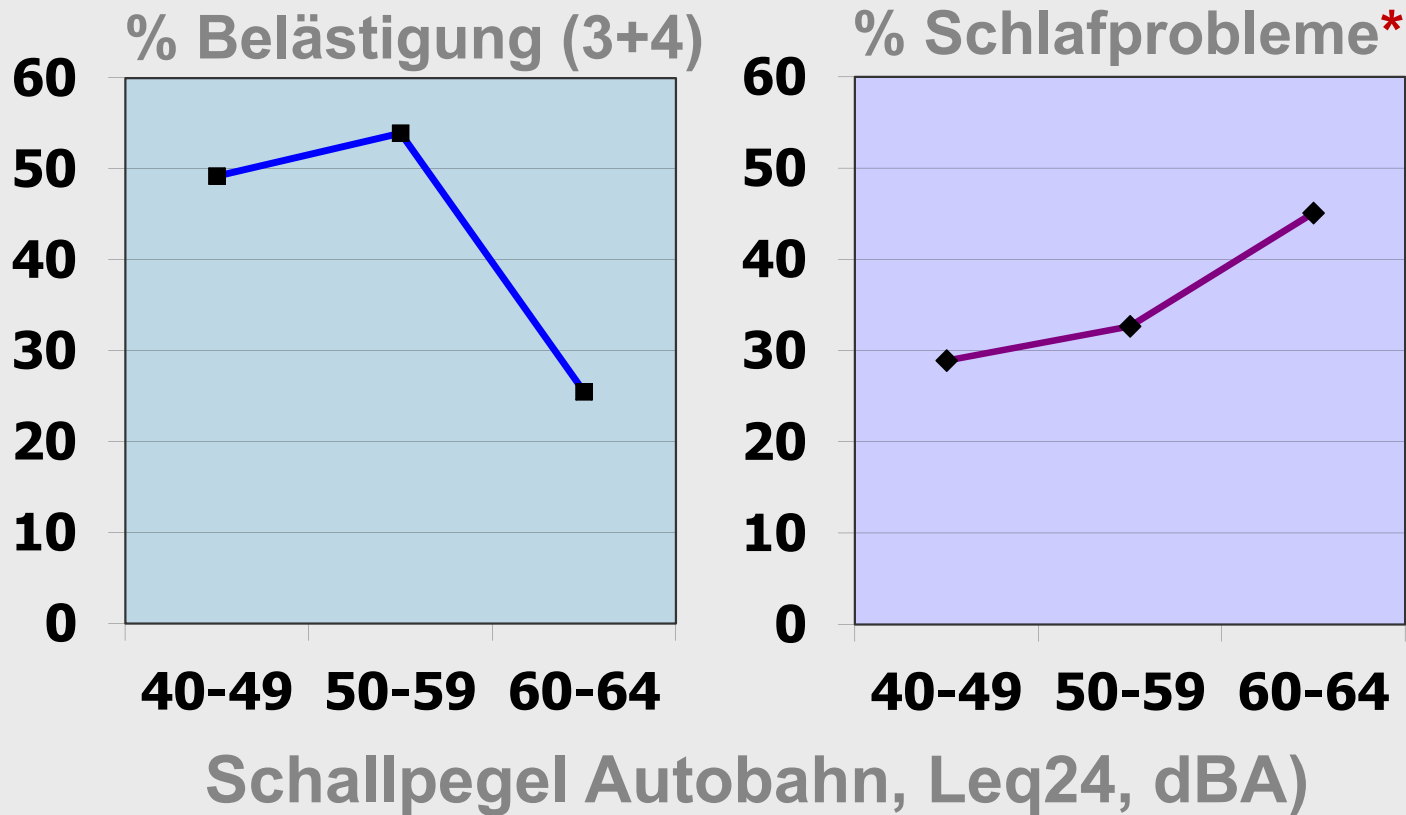


Fig. 11. LC-A Verteilung im Stadtzentrum nach Berechnungsmethode

Ergebnis **nach** der Errichtung von Schallschutzwänden



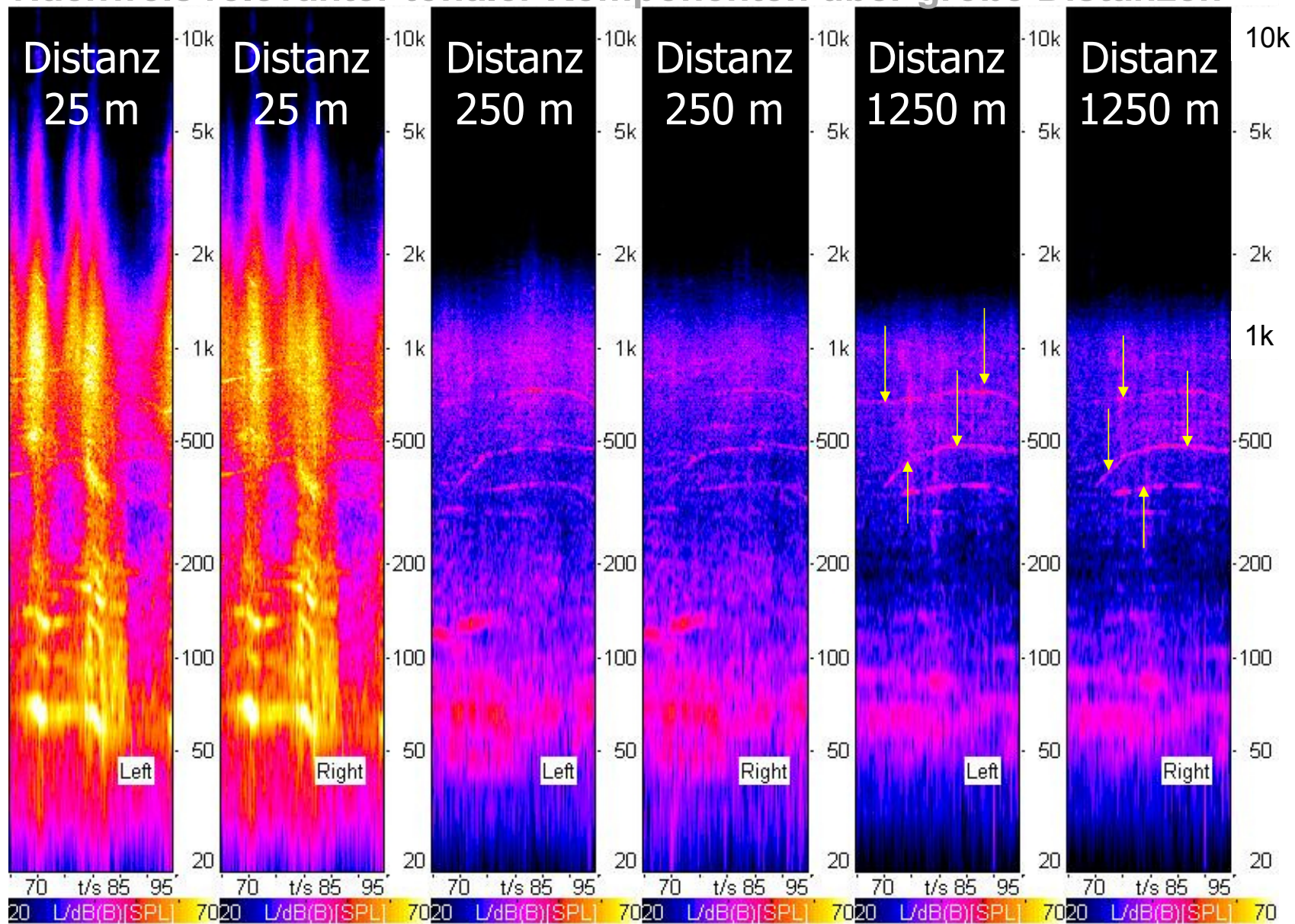
Quelle: Lercher P. Transit-Studie Tirol 1992

Gemeinde: Vomp, N=500

* Mehr als 1x/Woche

40% Lärm verringert, 21 % keine Besserung, 39 % keine Wirkung bemerkt

Nachweis relevanter tonaler Komponenten über große Distanzen

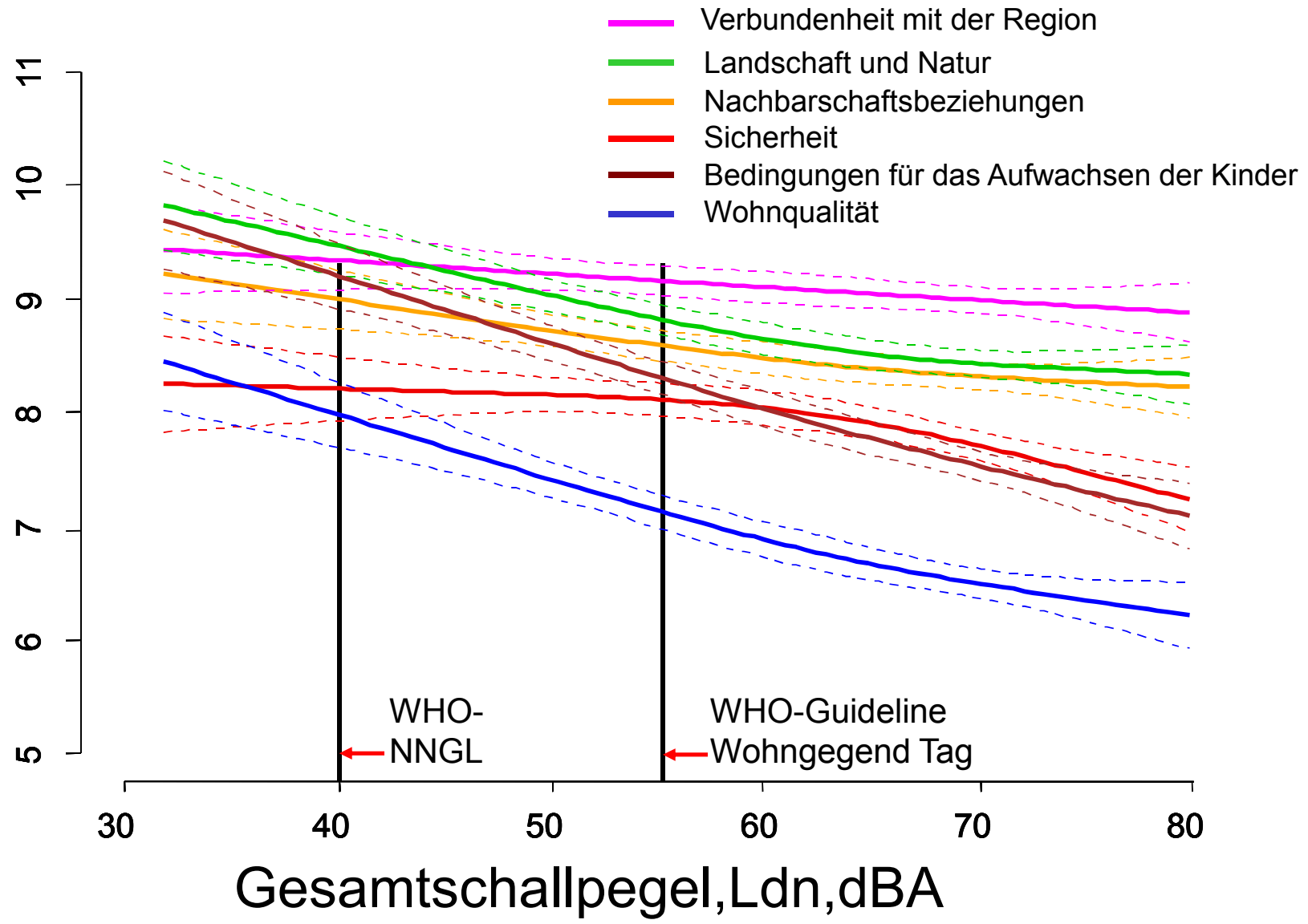


Die sozial-ökologische und präventive Dimension
der Akustik (“enviroscape” & physioscape)

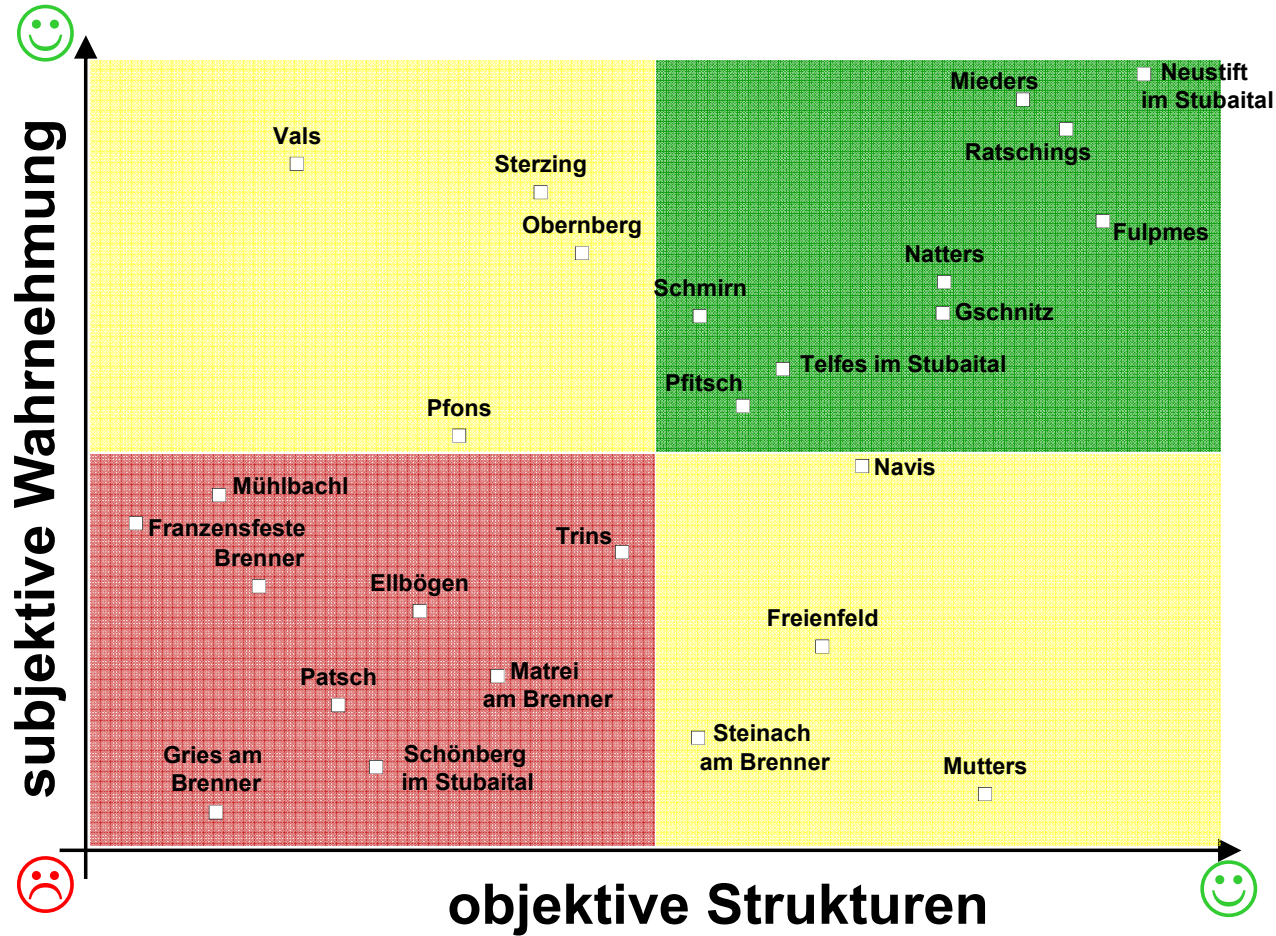
Wohnen, Wohnumgebung, Gemeinde
Erholungs- und Bewältigungsoptionen
(„restoration“ und „coping“)

Lebensqualität

Lebensqualitätsbeurteilungsskala: 1-11



Nachhaltigkeitsstudie: Ein Vergleich der Gemeinden*



Integration AP-9 und AP-3: EURAC und IHS

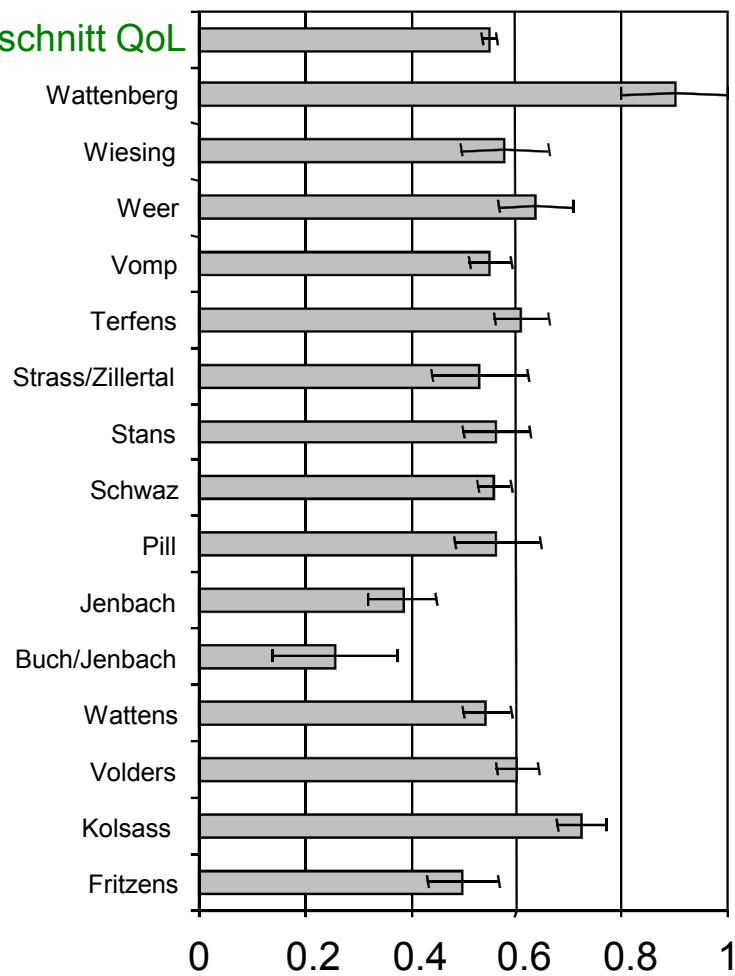
https://www.i-med.ac.at/hygiene/bbt-files/bbt-files/public_health_study_bbt.html

Ein integriertes Forschungsprojekt der Medizinischen Universität Innsbruck (MUI) für die UVE Brenner Basistunnel



Lebenszufriedenheit versus Lebensqualität

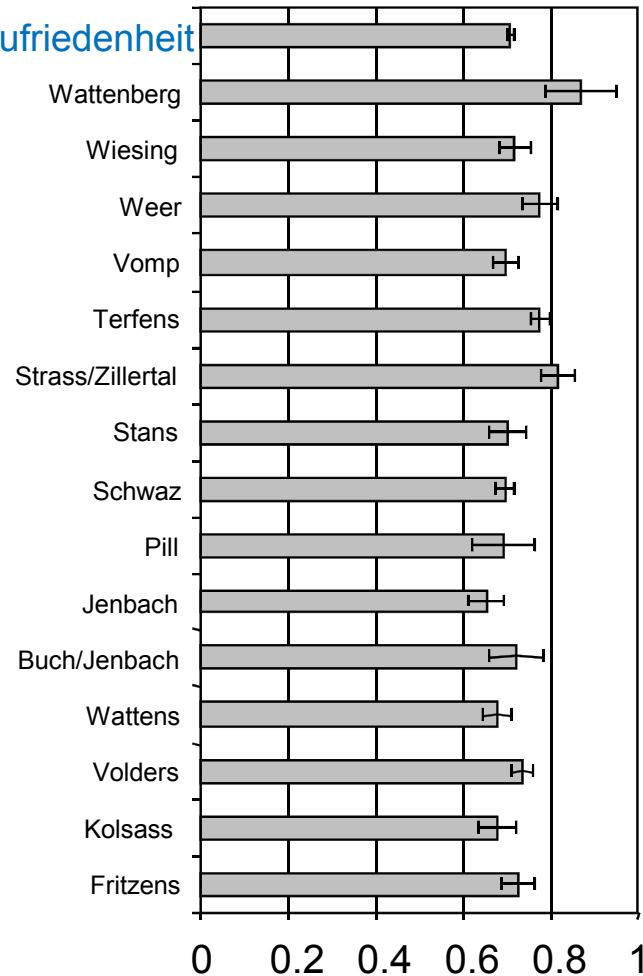
Durchschnitt QoL



Lebensqualität*(QoL)

*fuzzy aggregation von 29 Items

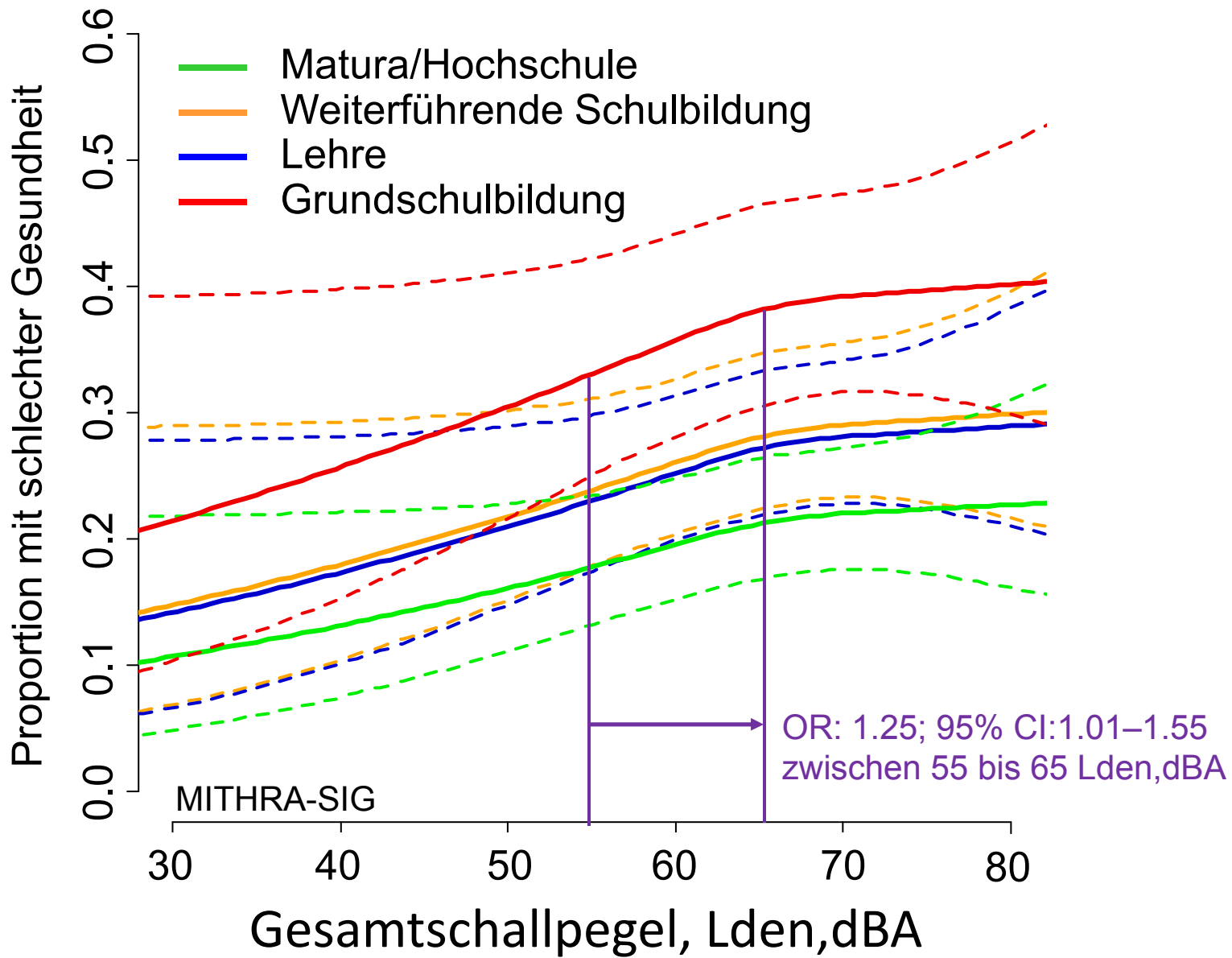
Durchschnitt Zufriedenheit



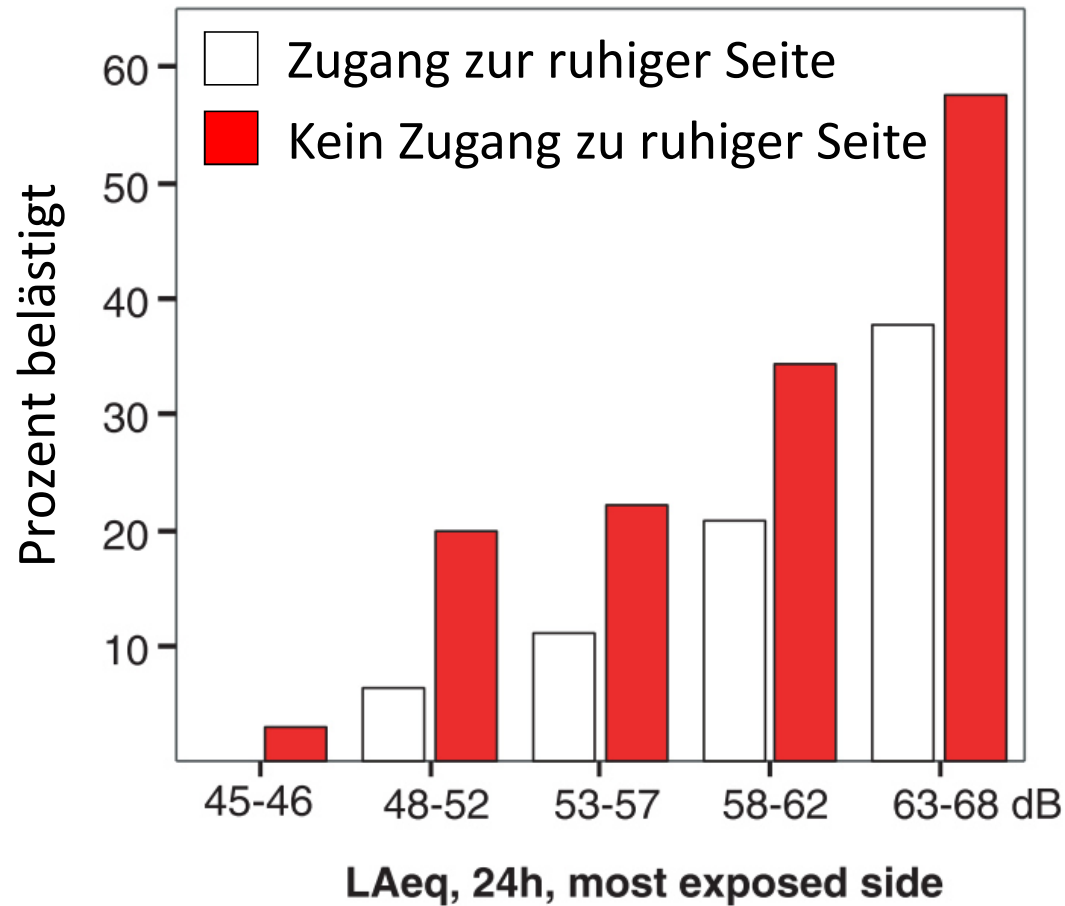
Lebenszufriedenheit*

*SWLS von E Diener: 5 Items

Sozialschichten und -strukturen



Soundscape Support to Health research program: N=956, Alter 18–75
4 Studiengemeinden: 2 in Gothenburg – 2 in Stockholm

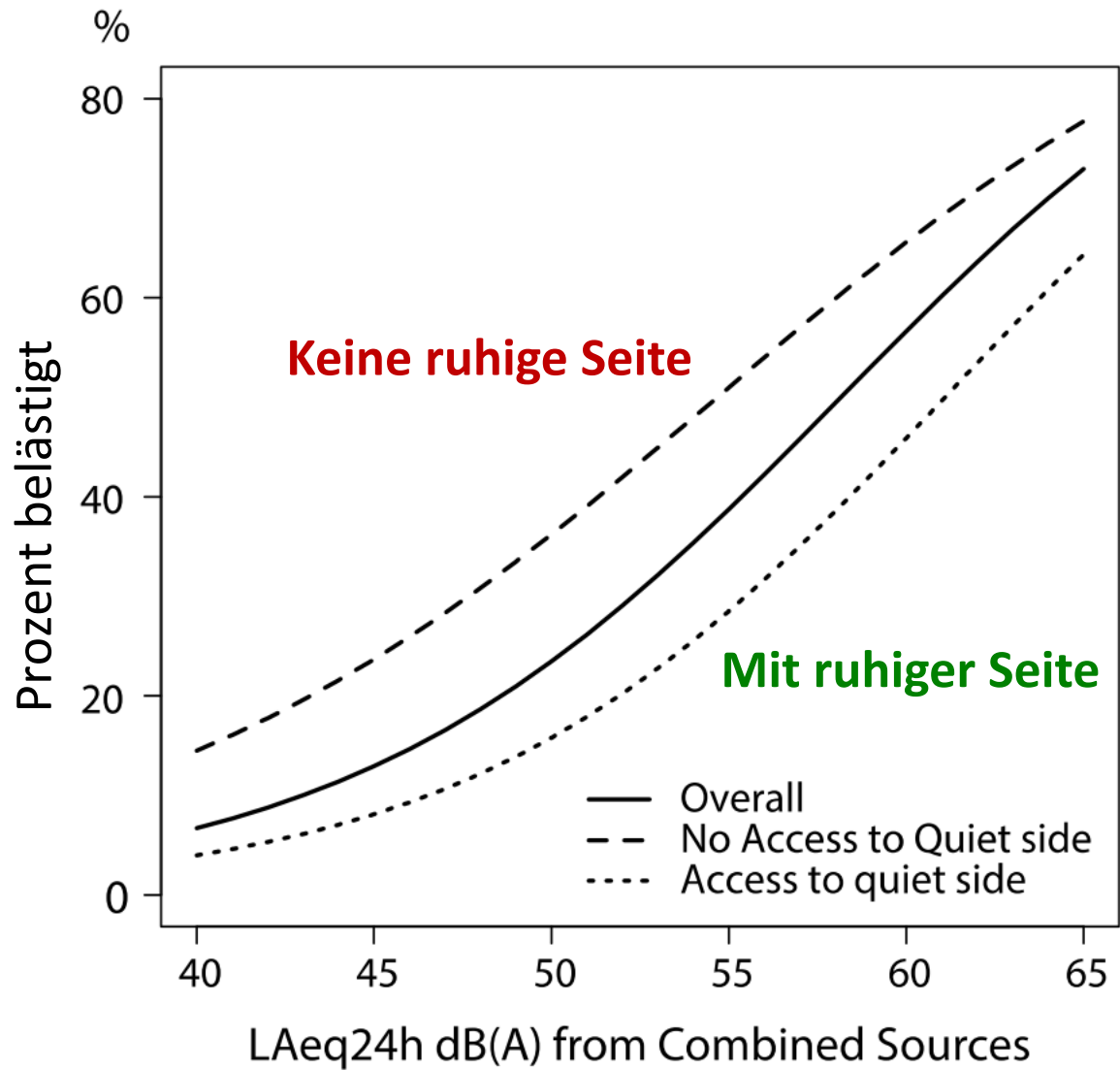


„Entspricht ca. 5 dBA Verringerung
an der lautesten Fassade“

E. Öhrström et al. J of Sound and Vibration 295 (2006) 40–59

Belästigte Personen in Prozent (LAeq,24h) ohne (**rote Balken**) und mit Zugang zu einer ruhigen Seite ihrer Wohnung (**weisse Balken**)

Ruhige Wohnungsseite



Bodin et al. Int. J. Environ. Res. Public Health 2015, 12

Personen mit Belästigung (in %) mit und ohne Zugang zu einer ruhigen Wohnseite (Schiene und Strasse)

Wirkung einer ruhigeren Wohnseite auf die Belästigung durch Strassenverkehrslärm

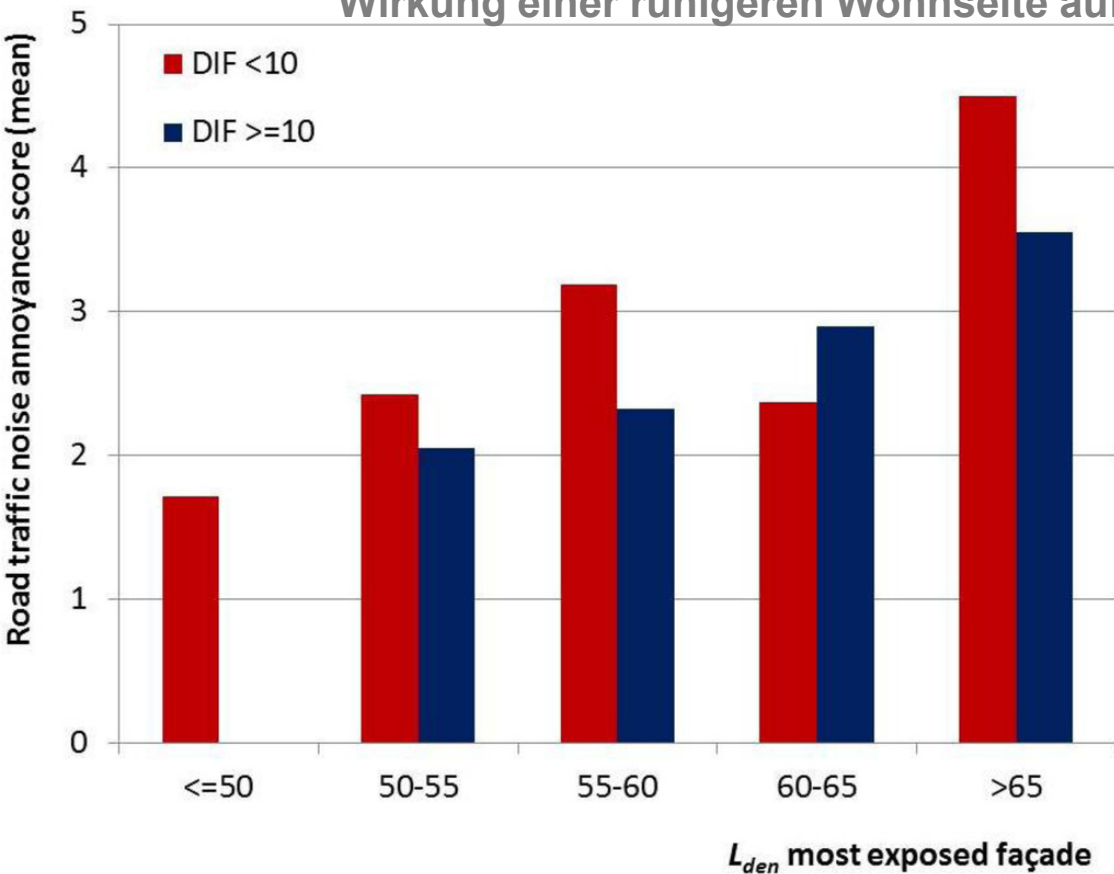


Figure 2. Mean annoyance score (scale 0 to 10) in the Amsterdam study population for two categories of difference between most and least exposed façade (DIF < 10 dB versus DIF \geq 10 dB), using 5 dB intervals of $L_{den,most}$

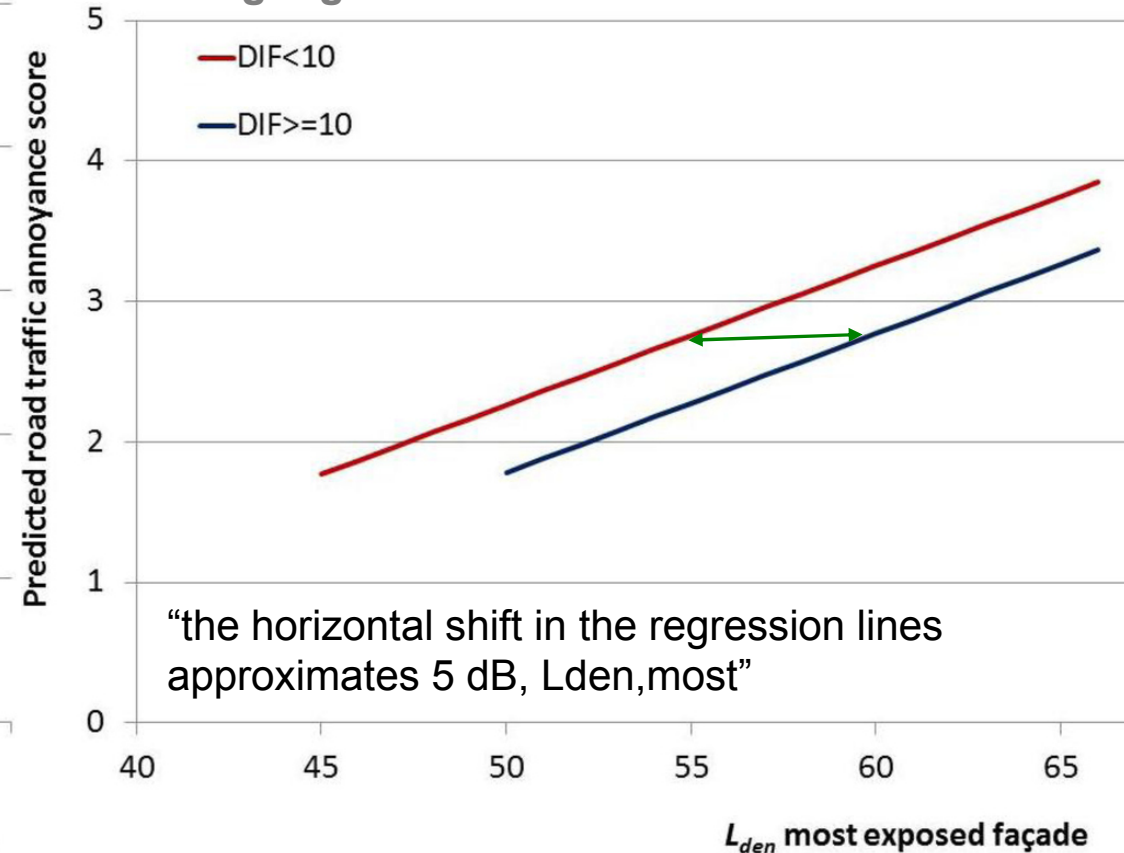
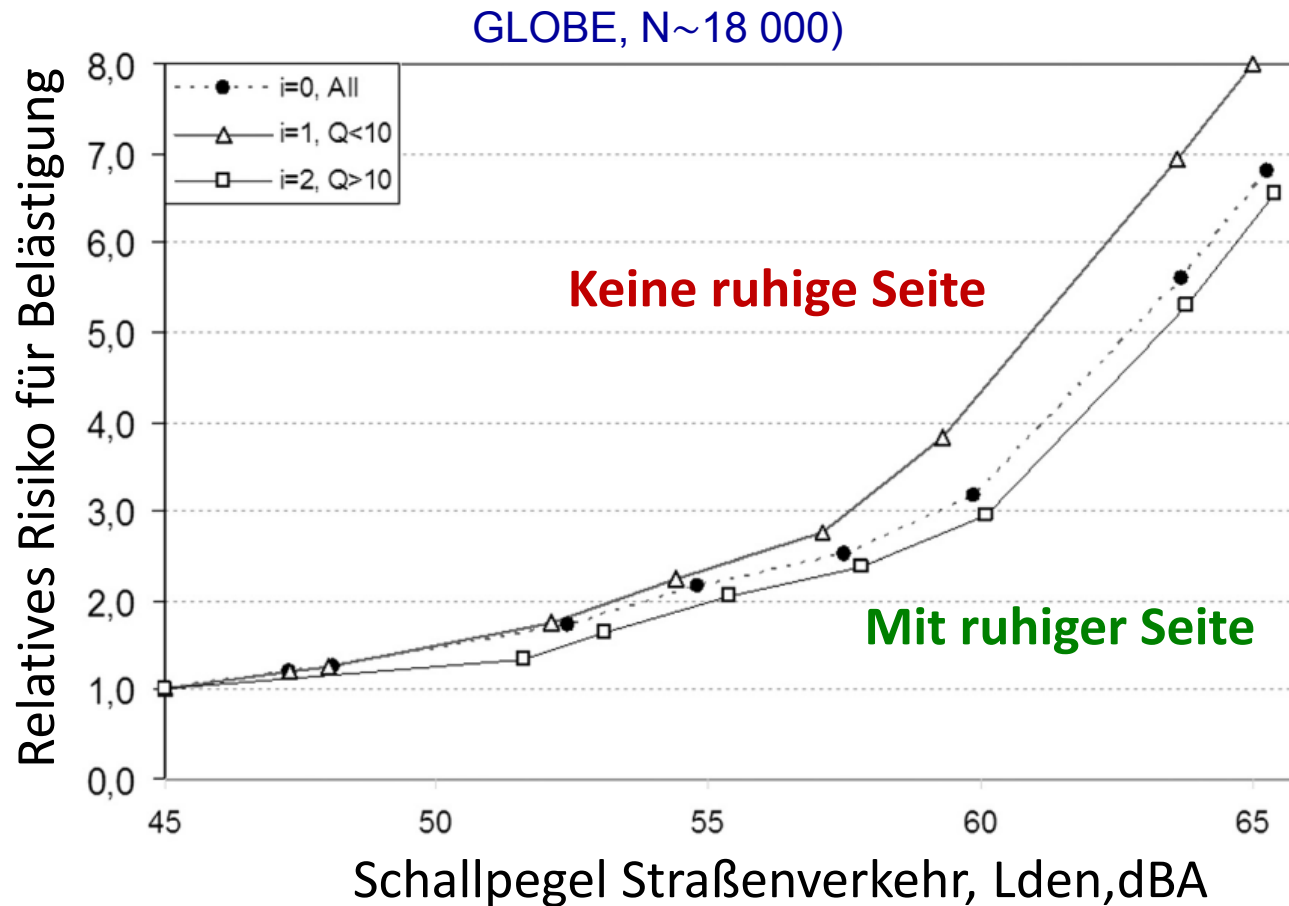


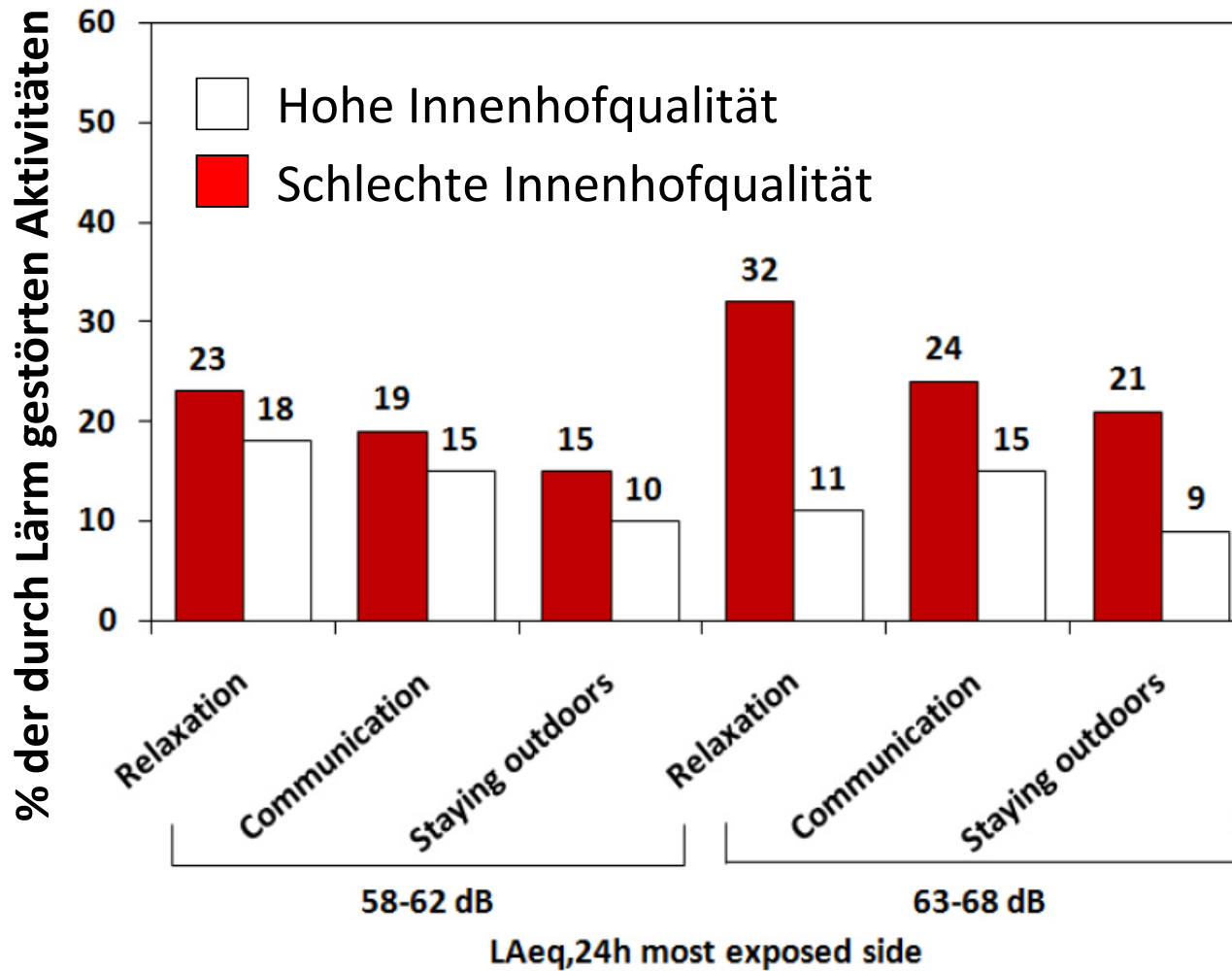
Figure 3. Road traffic noise annoyance score predicted from $L_{den,most}$ (dB, continuous) and difference between $L_{den,most}$ and $L_{den,least}$ in two categories (DIF < 10 dB versus DIF \geq 10 dB). Results from linear regression analyses.



de Kluizenaar Y et al. in: J Acoust Soc Am 130 (4), October 2011

FIG. 4. Odds ratio as a function of road traffic noise exposure at the most exposed facade (Lden) after adjustment for covariates for the full population (Group 0; All); Subset of the population without a quiet side to the dwelling (Group 1; Q < 10); Subset of the population with a quiet side to the dwelling (Group 2; Q >10).

Hohe Innenhof-Qualität



Gidlöf-Gunnarsson A & Öhrström E.
Int. J. Environ. Res. Public Health 2010, 7, 3359-3375

Abb. 3. Durch Verkehrslärm gestörte Aktivitäten (%) mit Bezug zur Innenhofqualität und 2 Schallpegelbereichen

Der Weg zur Prävention

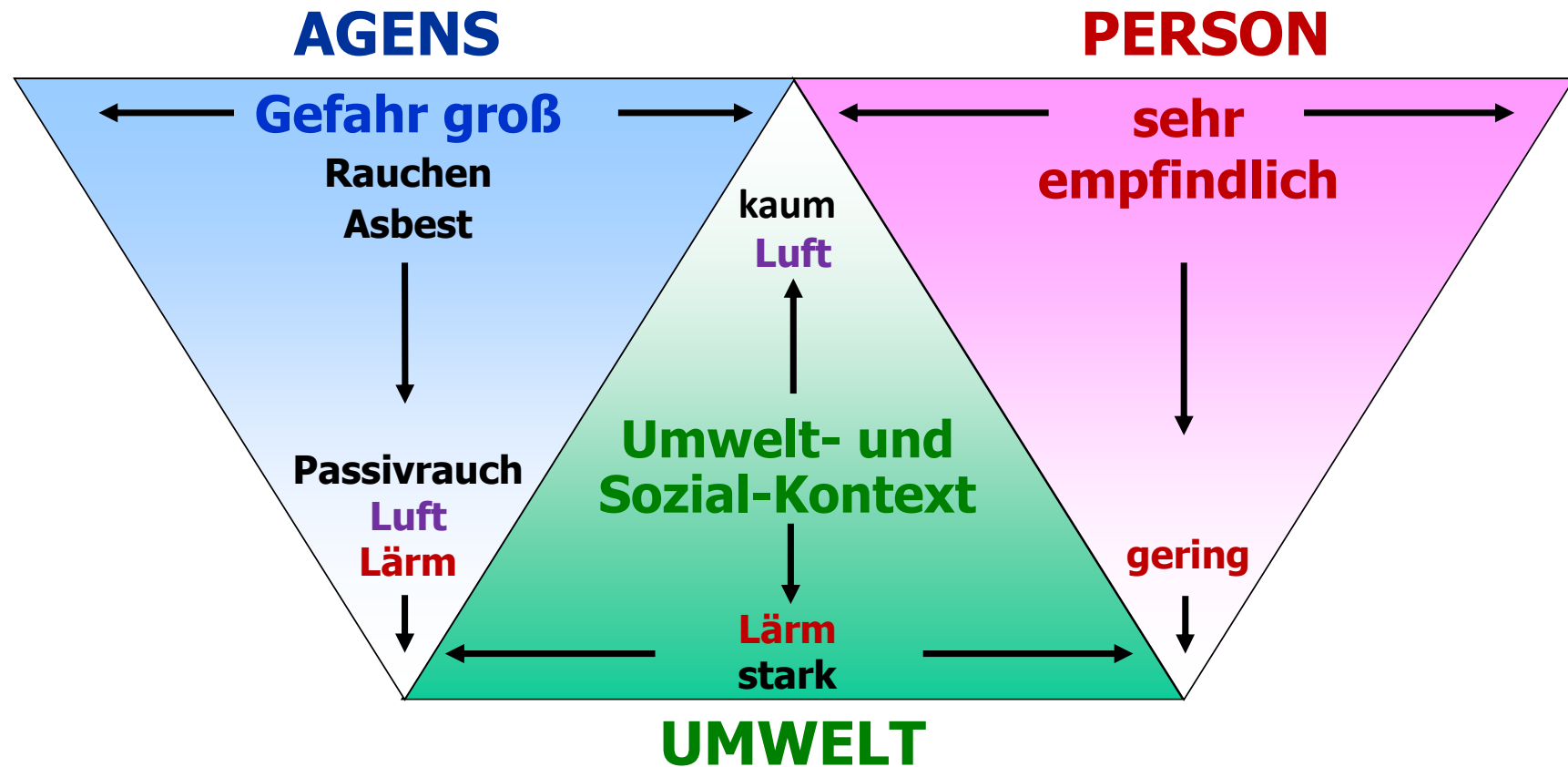
**Umgebungslärmrichtlinie, Schallschutz und Aktionspläne
Integrierende Perspektiven**

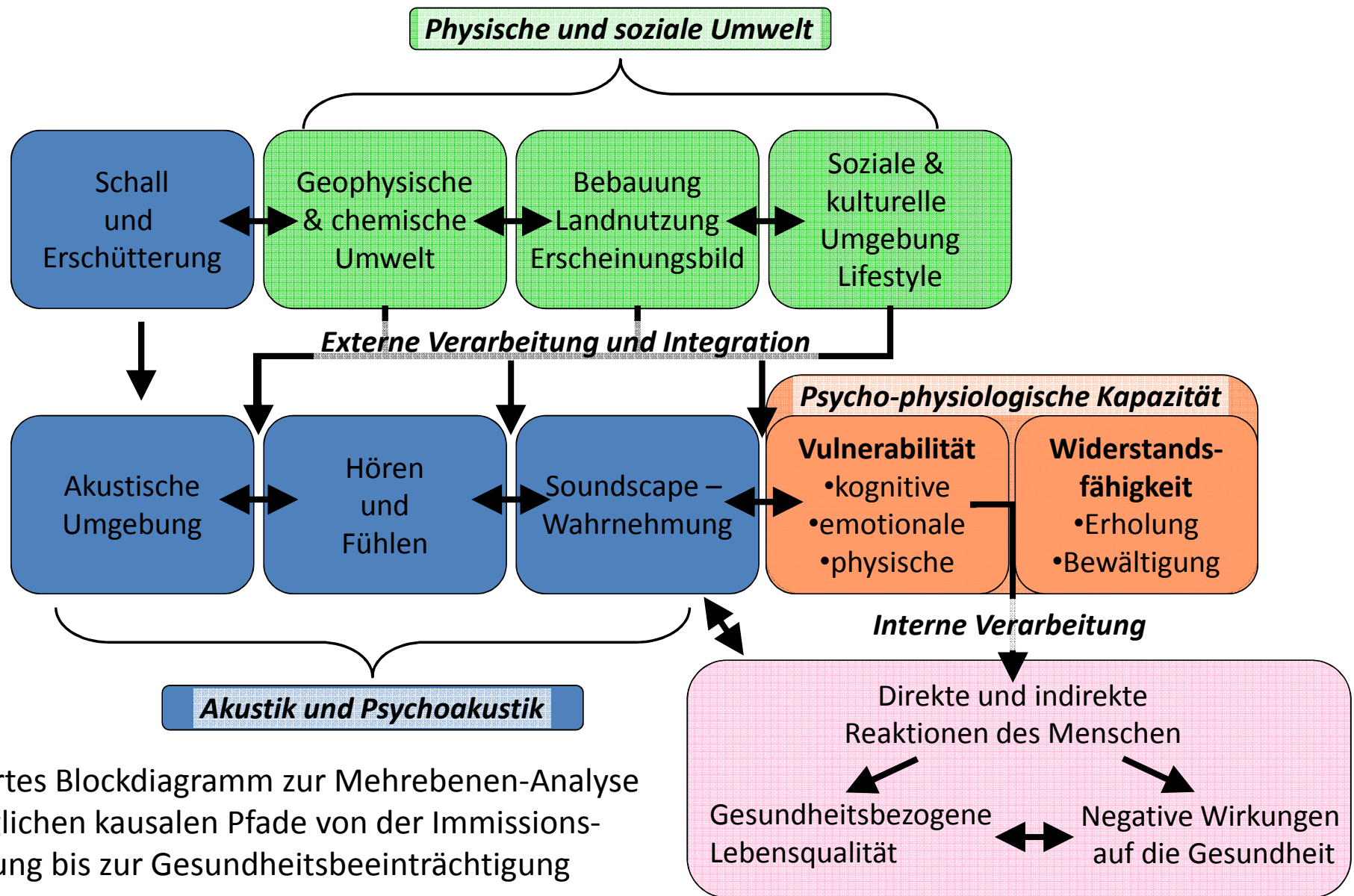
Schwellenwerte für die Aktionspläne⁺ : Österreich

	Tag-Abend-Nacht- Lärmindex: Lden	Nachtlärmindex Lnight
Straßenverkehrs- lärm	60 dB	50 dB
Schienenverkehrs- lärm	70 dB	60 dB
Fluglärm	65 dB	55 dB

⁺ Gemäß Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung 2006

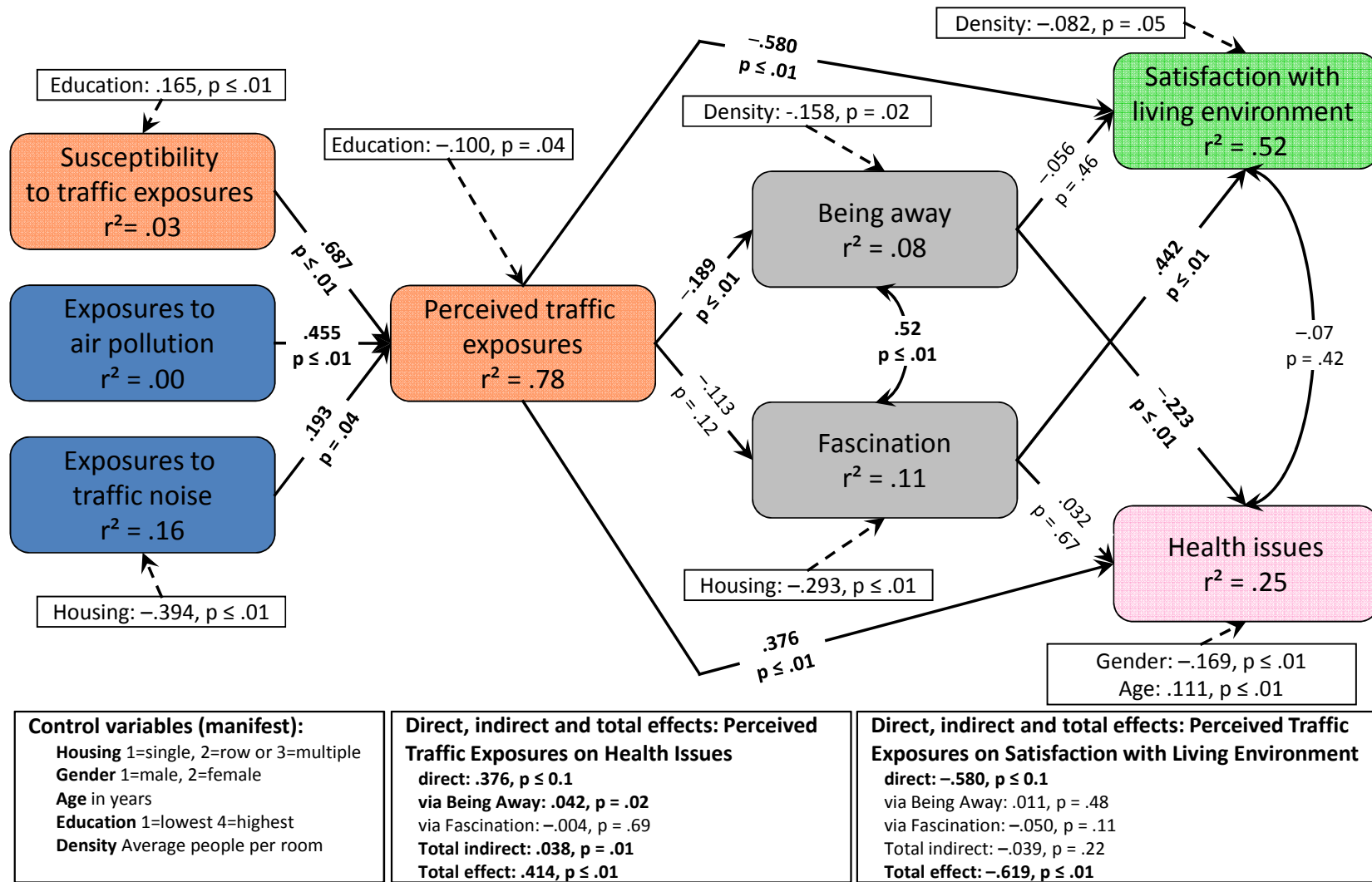
In der Umwelt-Medizin spielen Wechselwirkungen eine große Rolle





Integriertes Blockdiagramm zur Mehrebenen-Analyse der möglichen kausalen Pfade von der Immissions-Entstehung bis zur Gesundheitsbeeinträchtigung

Ergebnisse des Strukturgleichungsmodells



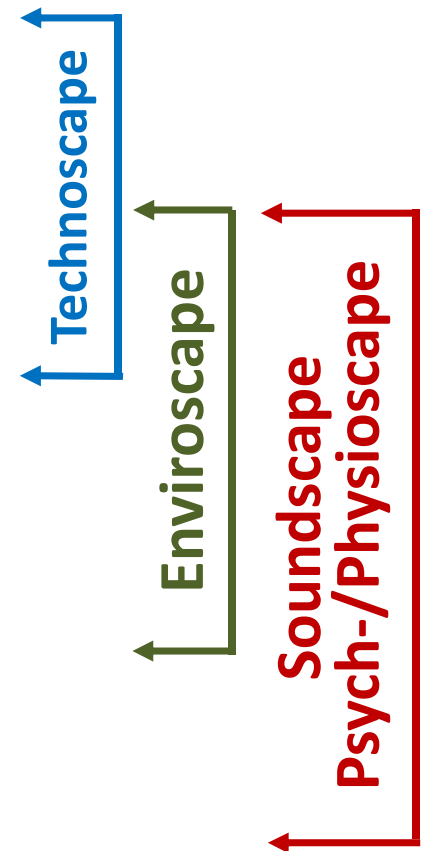
Structural equation model with standardized regression path-coefficients, explained proportion of variance (r^2), impact of control variables, and calculations for the direct, indirect and total effect from perceived traffic exposures on both health issues and satisfaction with the living environment. **Significant regression paths are bold**, only control variables with statistically significant impact are displayed

Eike von Lindern, Terry Hartig, Peter Lercher. Traffic-related exposures, constrained restoration, and health in the residential context. Health & Place, 39, May:92-100 (2016)
Daten aus Unterinntalstudie II (N=572)

Prävention Lärm bedingter Gesundheitsstörungen

Drei notwendige Strategien*

- **Quellen orientierter Zugang**
 - ➔ Quantitative Begrenzung der Emissionen
 - ➔ Qualitativ verbesserte akustische Emission
- **Umwelt/Kontext orientierter Zugang**
 - ➔ Begrenzung der Immissionen
 - ➔ Planung und Bebauung
 - ➔ Umgebungsverbesserung
- **An Gesundheit orientierter Zugang**
 - ➔ Richt- und Grenzwerte (defensiv)
 - ➔ Ruhe und Erholung (promotiv)



* Nur die Integrierung aller drei Strategien führt zum Schutzziel

Ergänzende Literatur

Lercher P (ed). "Noise & Quality of life": Special issue in Int. J. Environ. Res. Public Health 2011
http://www.mdpi.com/search/?s_journal=ijerph&s_special_issue=588.

Lercher P (ed). "The Protection of Quiet Areas as a Public Health Aim Towards Sustainable Health: Approaches, Case Studies and Implementation": Special issue in Int. J. Environ. Res. Public Health 2013
http://www.mdpi.com/journal/ijerph/special_issues/quiet_areas

Lercher P, Klæboe R & Sliwinska-Kowalska (eds). "The Combined Health Effects of Environmental Exposures": Special issue in Int. J. Environ. Res. Public Health 2016
http://www.mdpi.com/journal/ijerph/special_issues/environmental-exposures

Internoise 2016 Sitzung: "Noise indicators and exposure assessment for health impact studies"
<http://homepage.i-med.ac.at/q002pl/Conferences.html>

Lercher P. Environmental noise: A contextual public health perspective. In: L. Luxon & D. Prasher (eds) Noise and its effects: pp 345-377. London: Wiley, London 2007

Lercher P. Combined noise exposure at home. In: Nriagu J. (ed) Encyclopedia of Environmental Health. Pages 764-777, Elsevier B.V., Amsterdam 2011 (ISBN: 978-0-444-52273-3).

Soundscape and the built environment. Jian Kang & Brigitte Schulte-Fortkamp (eds), CRC-Press 2015

Peter Lercher et al. *Perceived Soundscapes and Health-Related Quality of Life, Context, Restoration, and Personal Characteristics*. Chapter 5 pp 89-131.

Irene Van Kamp et al. Soundscapes, Human Restoration, and Quality of Life. Chapter 3 pp 43-68