

**Glockenklang als  
Schallimmission in  
der Nachbarschaft**

**Gesundheitliche  
Aspekte und  
Schallcharakteristik**

**Prof. Dr. Peter Lercher  
Medizinische Universität Innsbruck**

**2. Glockensymposium ECC–ProBell  
Kempten: 21-22.3.2018**

# Problembestimmung

- **Zielkonflikt Tradition versus neue Erkenntnisse und Regelungen zum Schutz der Ruhe und der Gesundheit**
  - Evidenz: gestörter/nicht hinreichender Schlaf und Gesundheit  
Gedächtnis, Glukosestoffwechsel, Adipositas, metabolisches Syndrom, Hypertonie, Immunsystem, Medikamenteneinnahme, Sterblichkeit
  - Schutz ruhiger Gebiete durch Umgebungslärmrichtlinie (2002)
  - Die Nacht als höchstes Schutzgut für die Gesundheit
    - 10 dBA-Penalty für Geräusche während der Nachtzeit (22-6 oder 23-7 Uhr)
    - 5 dBA-Penalty für Geräusche während der Abendzeit (18-22 oder 19-23 Uhr)
  - Nachtlärmrichtlinie der WHO 2009
  - WHO Environmental Noise Guidelines Evidence Update 2017/18
- **Differenzierung**
  - Glockenläuten tagsüber vs Glockenschlag als Zeitgeber in der Nachtzeit

# Prävalenz von Schlafstörungen: Deutschland

Studienpopulation: 18-79 Jahre

## ■ **Einschlafstörungen**

- 1-2x/Woche: 14,0%
- 3+/Woche: 8,6%

## ■ **Durchschlafstörungen**

- 1-2x/Woche: 18,0%
- 3+/Woche: 19,5%

## ■ **Schlafqualität**

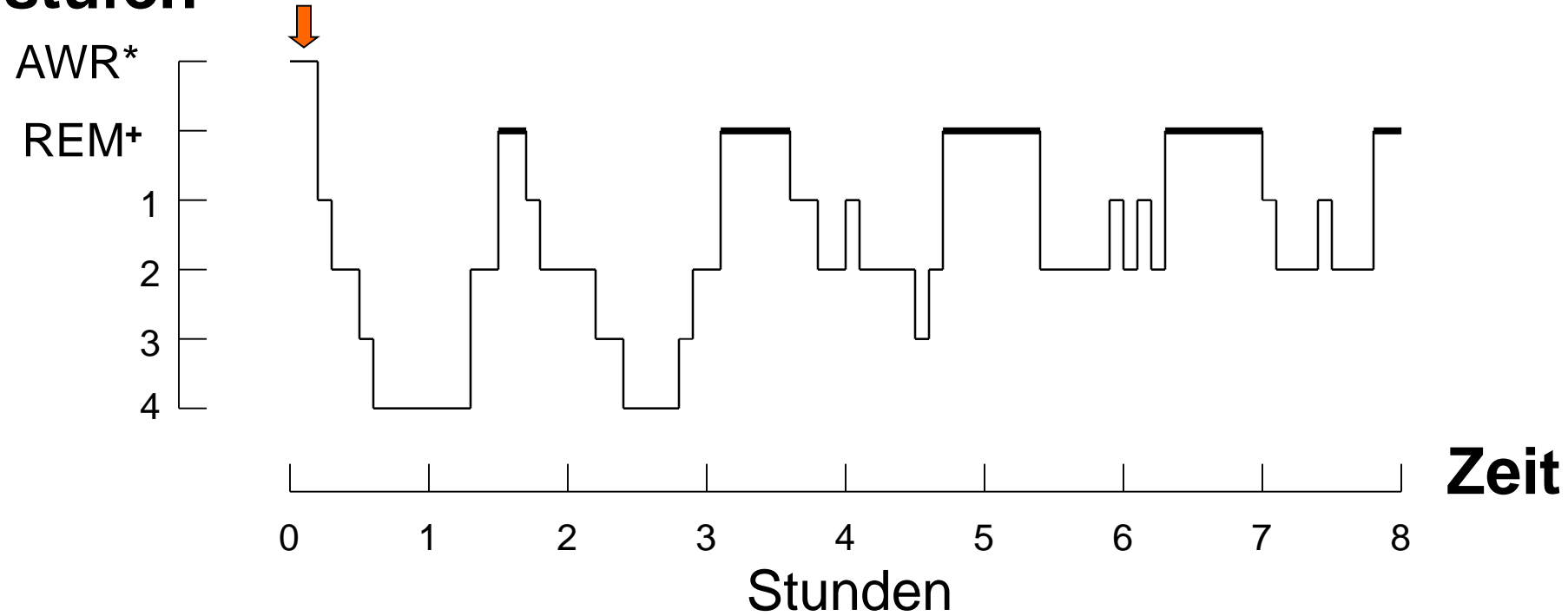
- Ziemlich schlecht: 18,0%
- Schlecht: 1,7%

## ■ **Haupteinflußgröße:**

- niedriger Sozialstatus: relatives Risiko: 3,44 (2,06–5,74)

# Ungestörte Nacht

## Schlafstufen

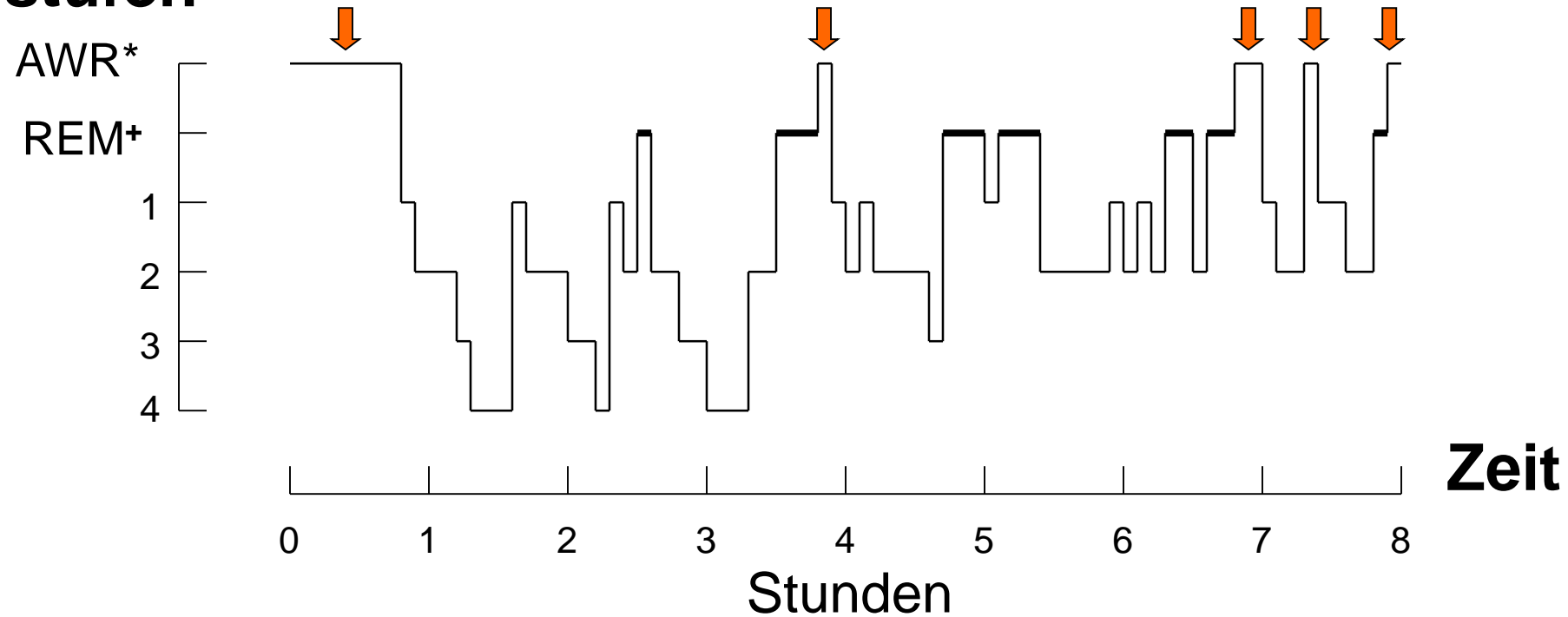


**Schlafwirksamkeit** (Gesamtschlafzeit / Zeit im Bett) = **97%**

\*AWR = Aufwachreaktion    + « Traumschlaf »

# Durch Lärm gestörte Nacht

## Schlafstufen

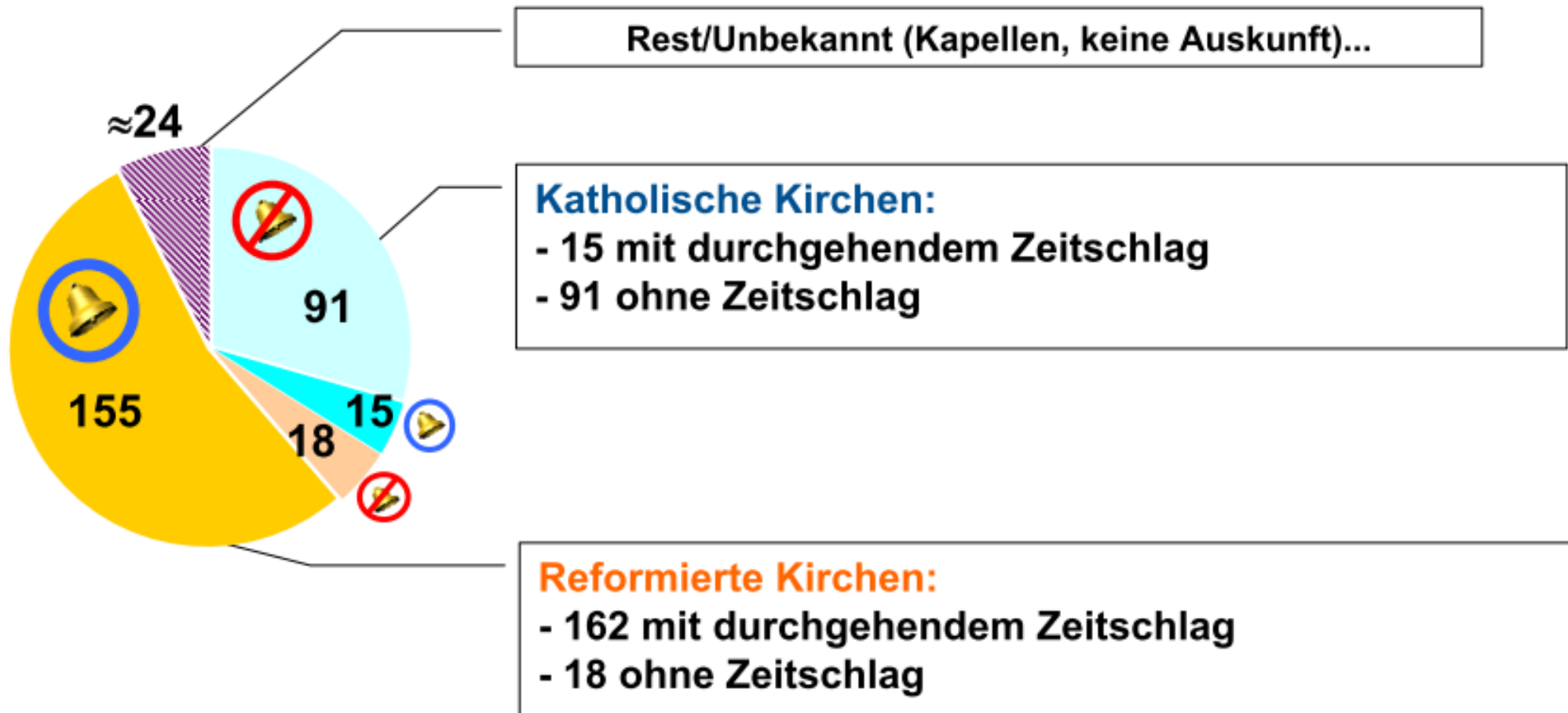


**Schlafwirksamkeit (Gesamtschlafzeit / Zeit im Bett) = 83%**

\*AWR = Aufwachreaktion    + « Traumschlaf »

**Empirischer Stand des Wissens:**  
**Kirchenglocken, Schlafstörung**  
**und Gesundheit**

# Wie gross stellt sich das Problem dar ?



# Wegweisende Schweizer Studie\*

## ■ Studieninformation

- 9 Kirchen im Kanton Zürich
- 30 freiwillige Versuchspersonen (15 Frauen, 12 Männer, 3 drop out) Alter Ø 41 Jahre
- 4 Nächte pro Person, erste Nacht ohne Analyse
- Kirchturm-Abstand Ø 120 m, 1738 Ereignisse, Ø 23 Ereignisse/Nacht
- Pegelbereich: LAF,max aussen: 27 - 82 dB(A)

## ■ Methodik

- Detaillierte akustische Aufzeichnungen: drinnen und draußen
- Polysomnographie: "Gold Standard" der Schlaf-Analyse
- Aufwachwahrscheinlichkeits-Schlafmodell berücksichtigt Schallpegel am Ohr des Schläfers, Hintergrundschallpegel, verstrichene Schlafzeit, Schlafstadium



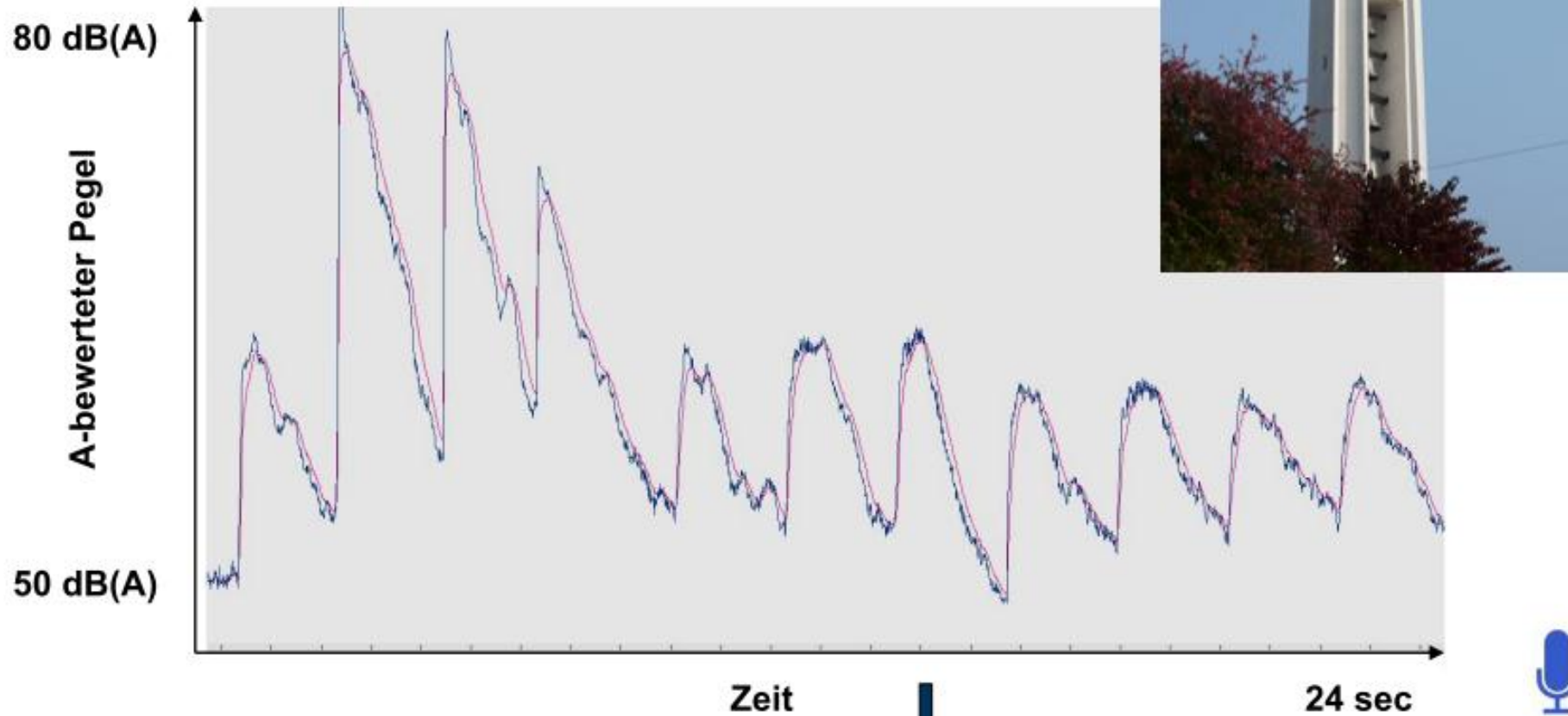
# Typisches Ereignis

## Pegel-Zeit Verlauf eines Ereignisses

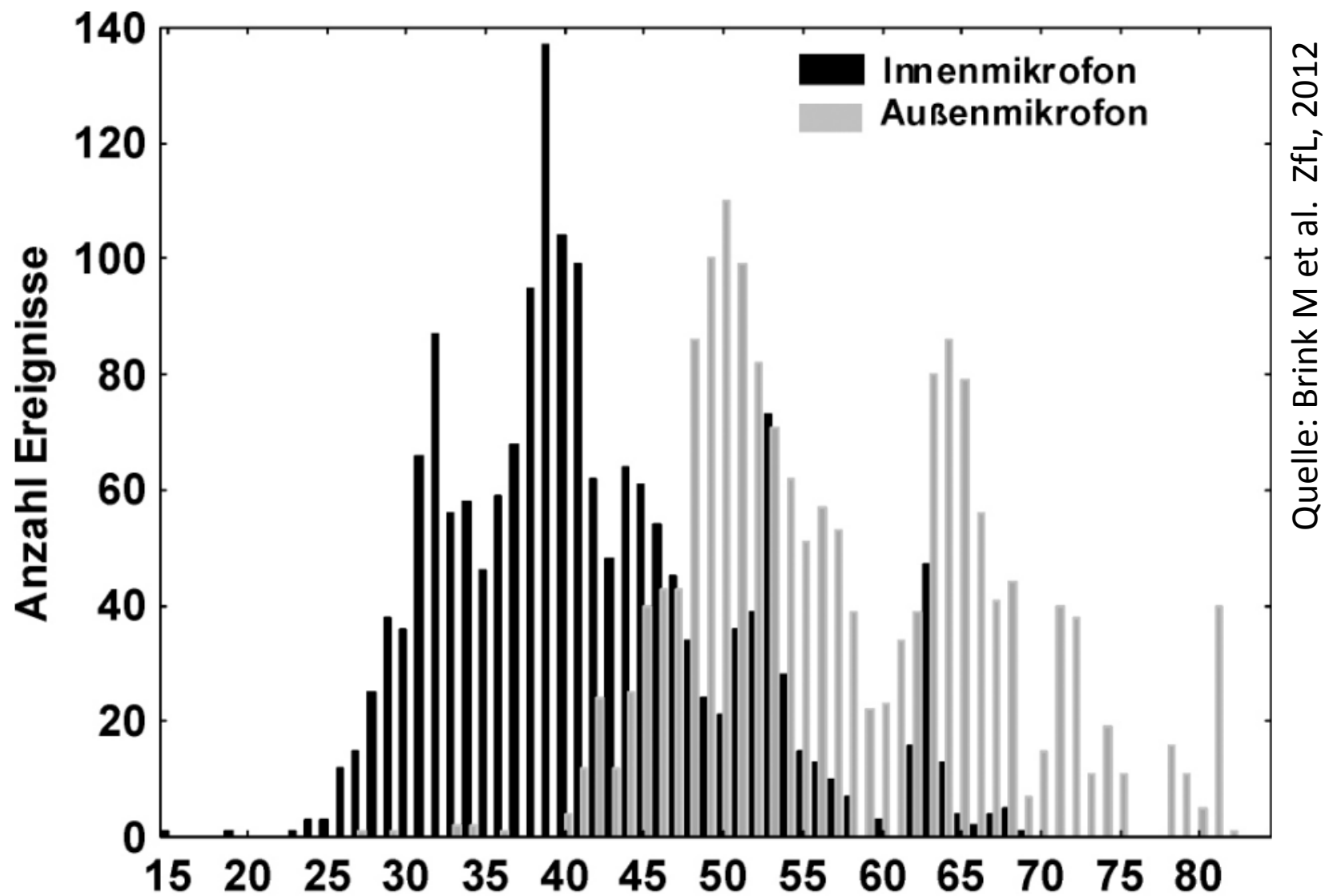
Beispiel Kirche Zürich-Witikon, 50 m Distanz, 07:00 Uhr



Quelle: Brink M. ETH-Zürich 2011



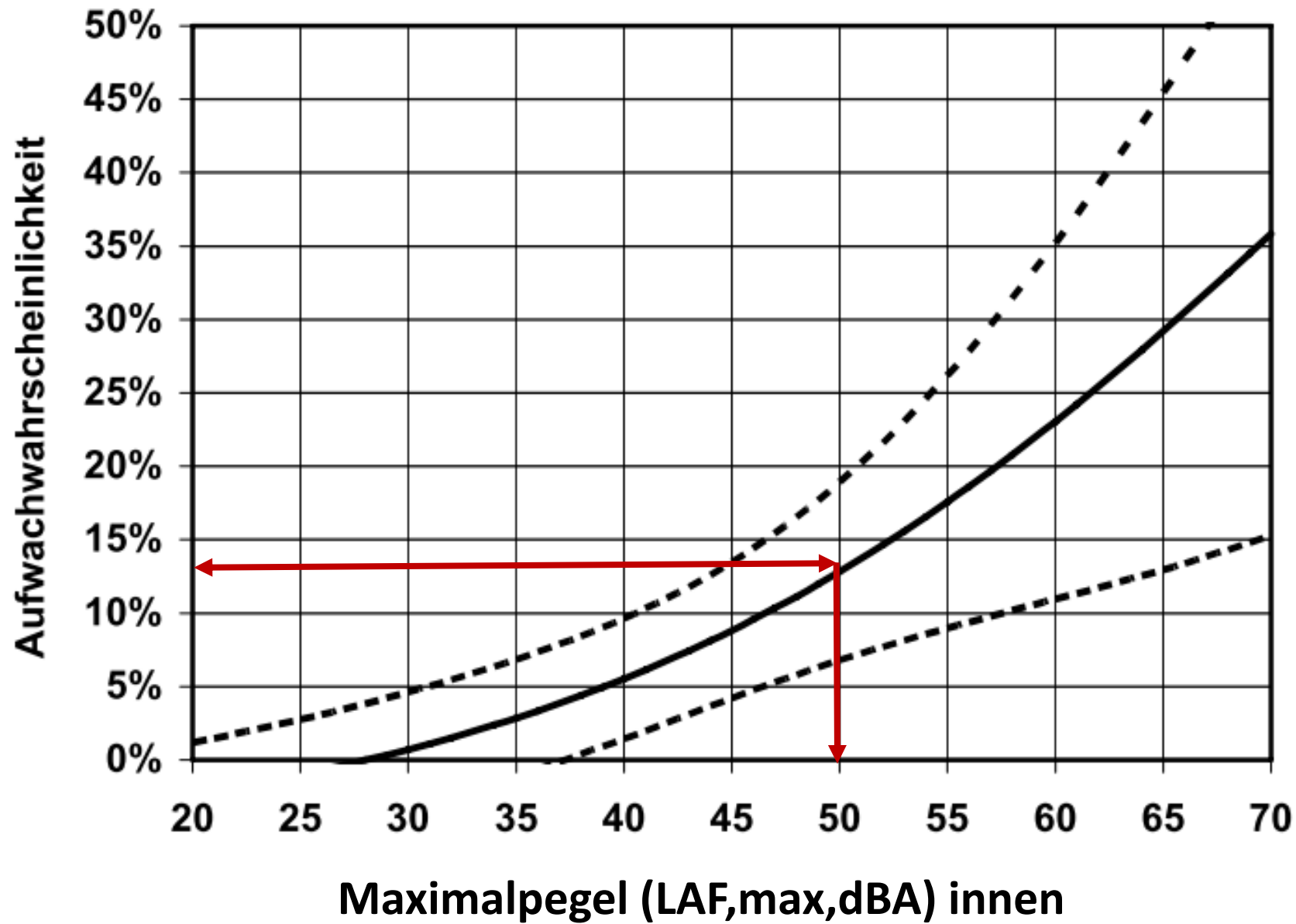
↓  
→  $L_{AF,max}$ ,  $L_{AE}$ , Dauer, ...



Quelle: Brink M et al. ZfL, 2012

### Maximalschallpegel (LAF,max,dBA) innen und außen

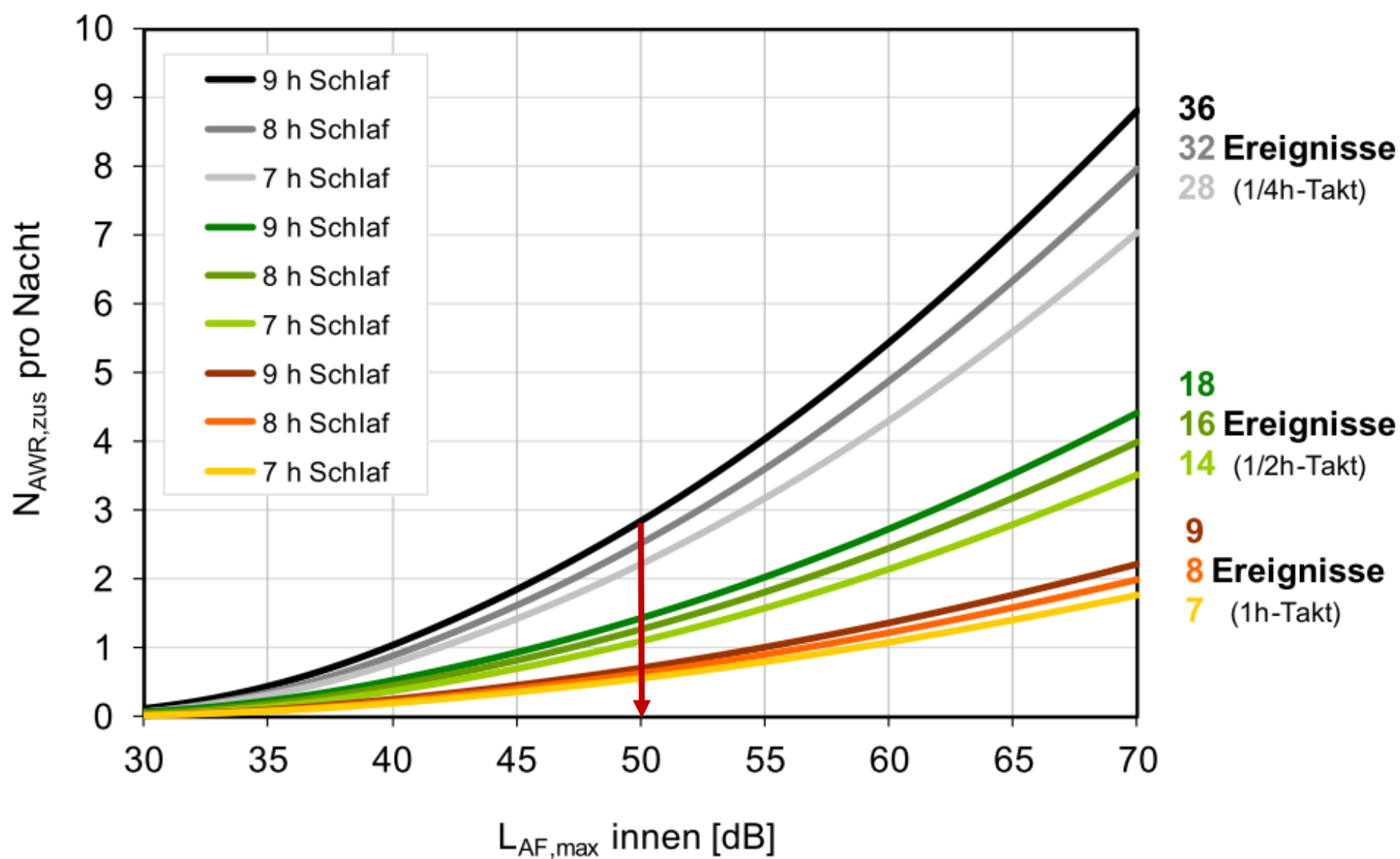
Empirische Verteilung des Maximalschallpegels (LAF,max) innen und außen in der Untersuchungstichprobe



Quelle: Brink M. ETH-Zürich 2011

## Zusätzliche Aufwachwahrscheinlichkeit im Nachtverlauf

Annahme: Schlafstadium S2, Verstrichene Schlafzeit 5h, Berücksichtigung von Spontanerwachen



**Anzahl zusätzlicher Aufwachreaktionen ( $N_{AWR,zus}$ ) pro Nacht**  
als Funktion des Maximalpegels ( $L_{AF,max}$  innen) nach verschiedenen  
Gesamtschlafauern und Ereignishäufigkeiten.

## ■ **Zusammenfassung der Ergebnisse**

- Aufweckreaktionen durch Glockenzeitschlag häufiger als angenommen.
- Statistisch überzufällige zusätzliche Aufwachreaktionen (AWR) beginnen schon bei relativ geringen Maximalpegeln am Ohr (im Bereich von ca. 30 dB-35 LAF,max)
- Standardbeurteilungen unterschätzen die Wirkung

## ■ **Auswirkungsanalyse für Kanton Zürich**

- basierend auf Ausgangsdaten der Stichprobe und Berechnung des Kirchturm-Abstand für den Rest der Bevölkerung
- ca. 30'000 (Winter) bzw. 40'000 (Sommer) zusätzliche Aufwachreaktionen

## ■ **Präventionsvorschläge**

- Aussetzen des Zeitschlags (22-6 Uhr, 23-7 Uhr)
- Reduktion des Maximalschallpegels LAF,max

# **Standardbeurteilung durch TA Lärm**

# Immissionsrichtwerte TA Lärm\*

Nutzung	Zeitraum	Immissionsrichtwerte
c) in urbanen Gebieten	tags	63 dB(A)
	nachts	45 dB(A)
d) in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	tags	60 dB(A)
	nachts	45 dB(A)
e) in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	tags	55 dB(A)
	nachts	40 dB(A)
f) in reinen Wohngebieten	tags	50 dB(A)
	nachts	35 dB(A)
g) in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	tags	45 dB(A)
	nachts	35 dB(A)

\* Rechtsstand 09.06.2017

Ungünstigster Beurteilungszeitraum für den Uhrschlag ist die volle Nachtstunde von 0 bis 1 Uhr

# Beispiel

Mittelungs- und Beurteilungspegel für die Nachtstunde von 0 bis 1 Uhr unter Annahme eines Spitzenpegels von 60 dB(A) für unterschiedliche Bedingungen nach dem Taktmaximalpegel-Verfahren der TA Lärm.

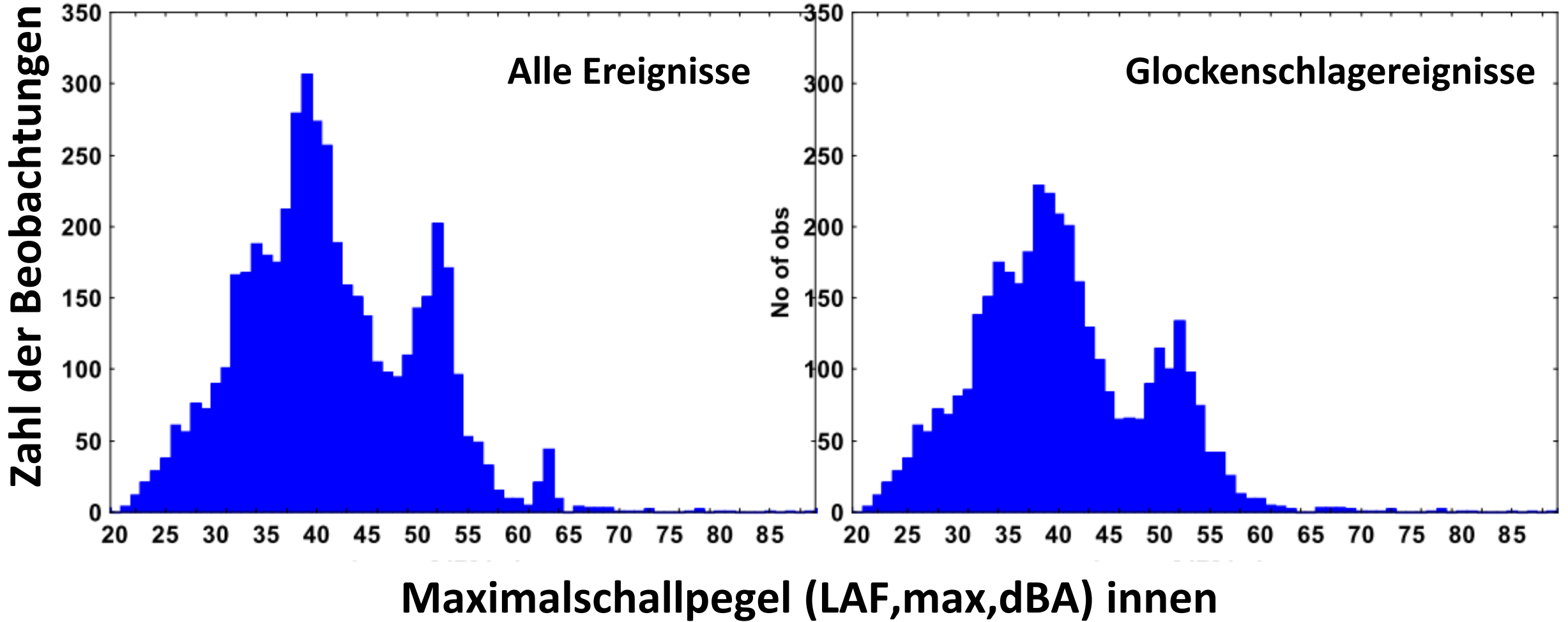
<b>Zeitlicher Abstand der Einzelschläge</b>	<b>Mittelungspegel mit Viertelstundenschlägen</b>		<b>Beurteilungspegel (mit Tonzuschlag)</b>	<b>Mittelungspegel ohne Viertelstundenschläge</b>	
1,5 Sekunden	40,5 dB(A)	8 Takte	46,5 dB(A)	38,4 dB(A)	8 Takte
2,0 Sekunden	41,0 dB(A)	9 Takte	47,0 dB(A)	39,2 dB(A)	9 Takte
2,5 Sekunden	41,8 dB(A)	11 Takte	47,8 dB(A)	40,5 dB(A)	11 Takte



**Erweiterte Analyse der  
Schweizer Studie: Einbezug  
anderer Ereignisse**

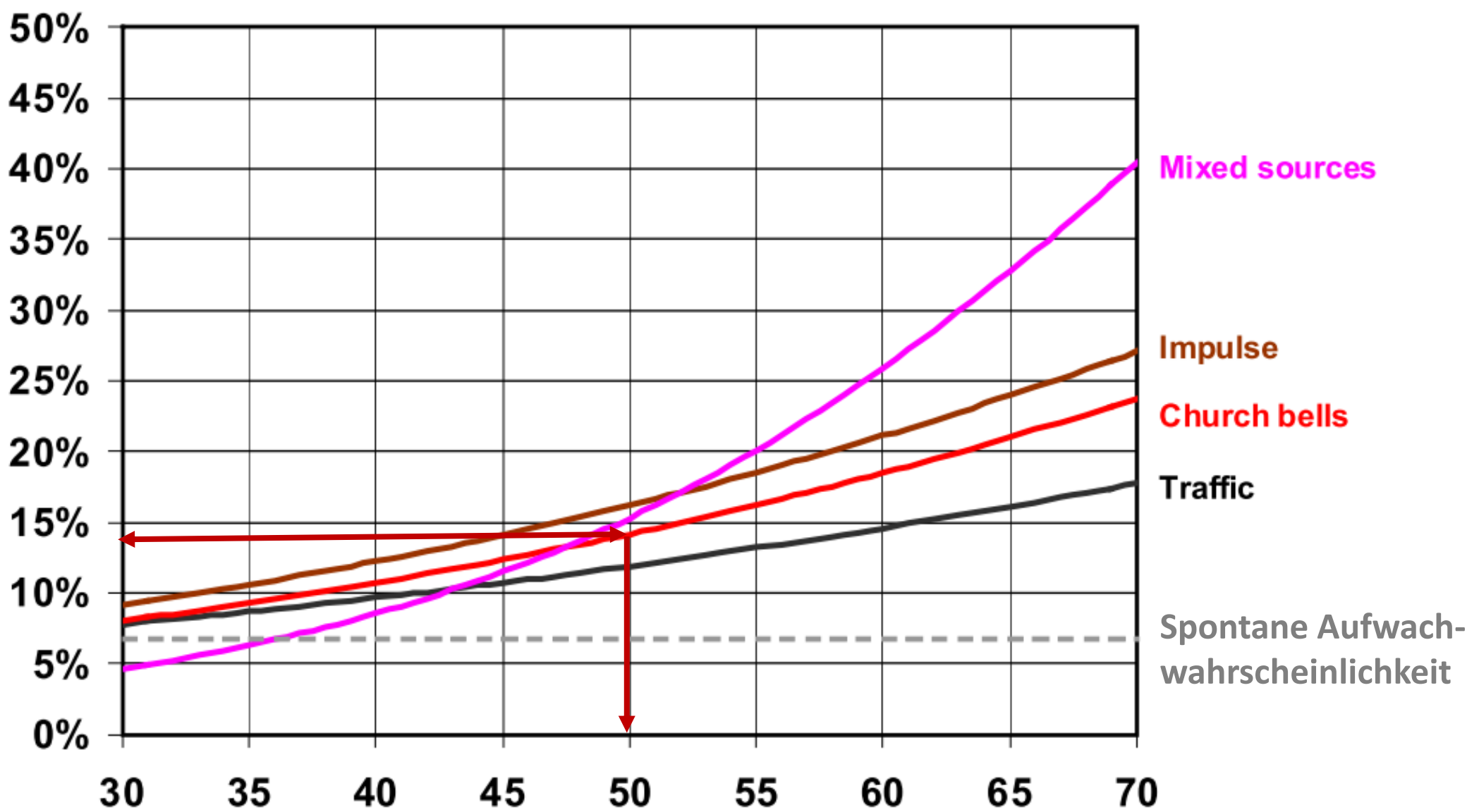
# Typologie der Lärmereignisse während 75 Untersuchungs Nächten

Noise Type	Count	Percent	Mean duration [s]	Mean $L_{AFmax}$ of event [dB]	Mean $L_{AE}$ of event [dB]
Church bells	1018	10.44	10.70	45.76	47.95
Traffic noises	2945	30.20	4.34	40.70	41.16
Weather events	46	0.47	8.43	41.60	41.15
People	31	0.32	1.81	46.66	39.66
Animals (e.g. dogs)	38	0.39	2.90	37.29	31.15
Impulsive sounds	333	3.41	0.79	39.86	32.88
Mixed sounds	418	4.29	7.88	42.16	42.58
Emergency vehicles	25	0.26	6.47	40.31	39.93



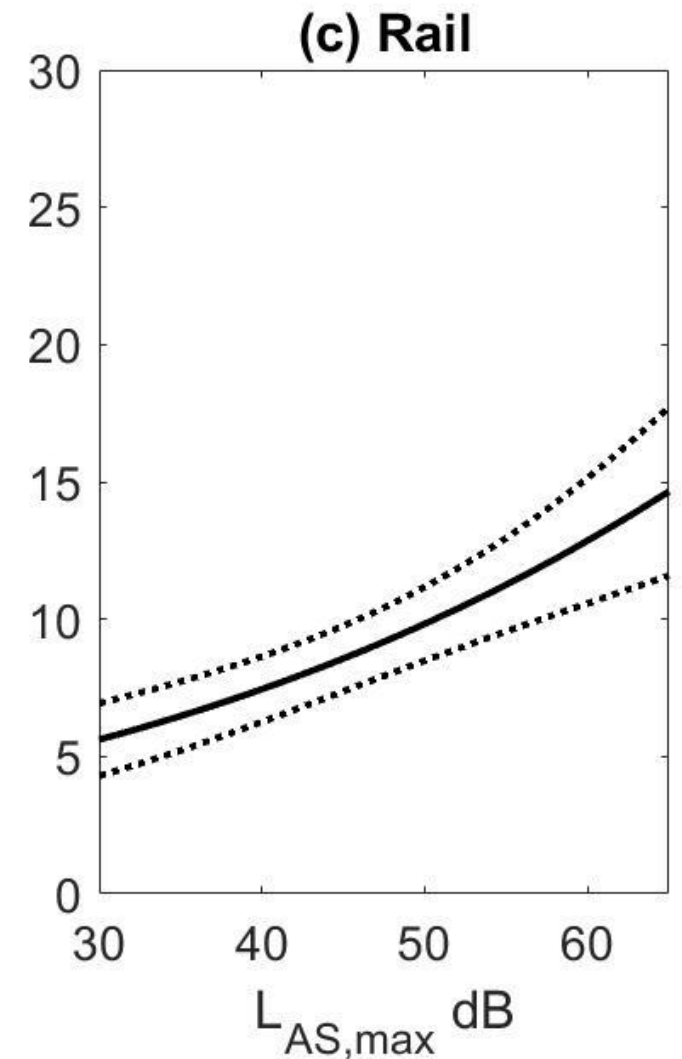
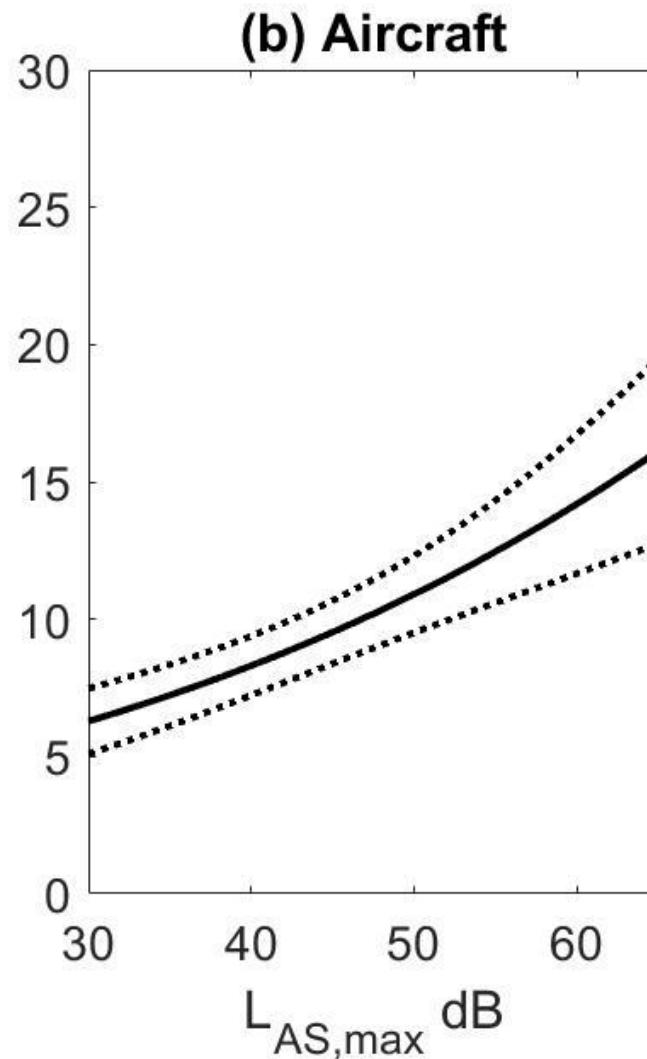
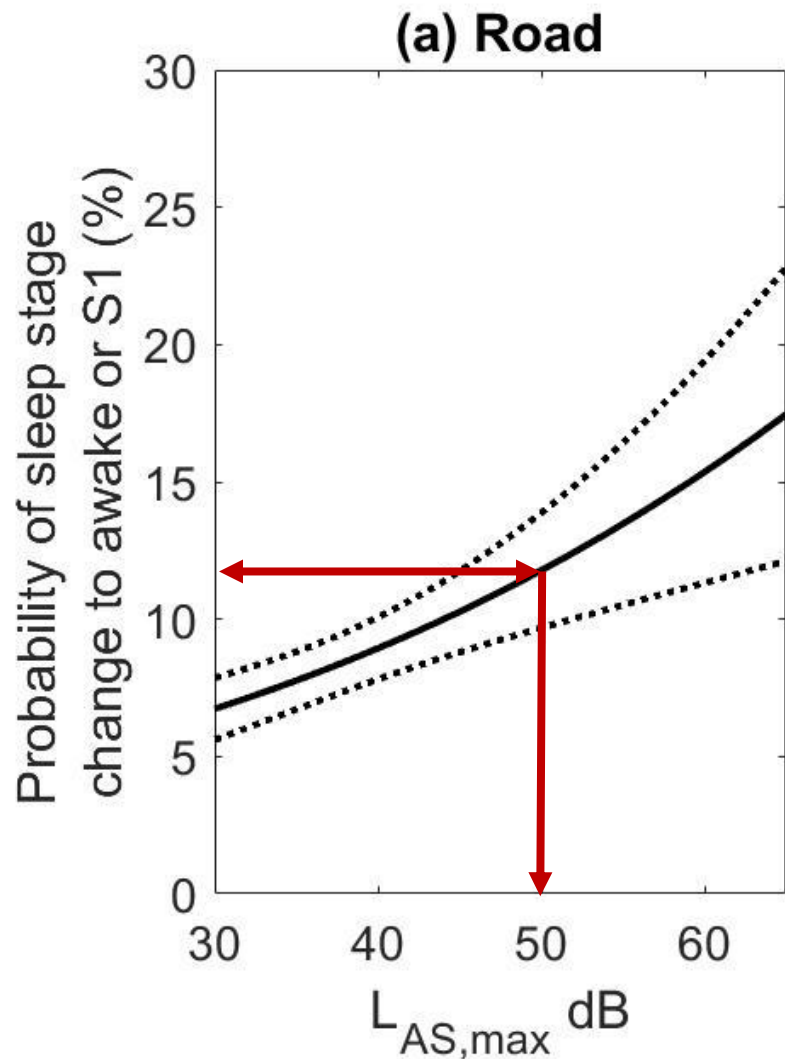
Empirische Verteilung des Maximalschallpegels (LAF,max) innen der Gesamtereignisse (links) und der Glockenschlagereignisse (rechts)

Beobachtete Wahrscheinlichkeit  
von Schlafstadienänderungen  
Von S2 zu S1 oder Wachzustand



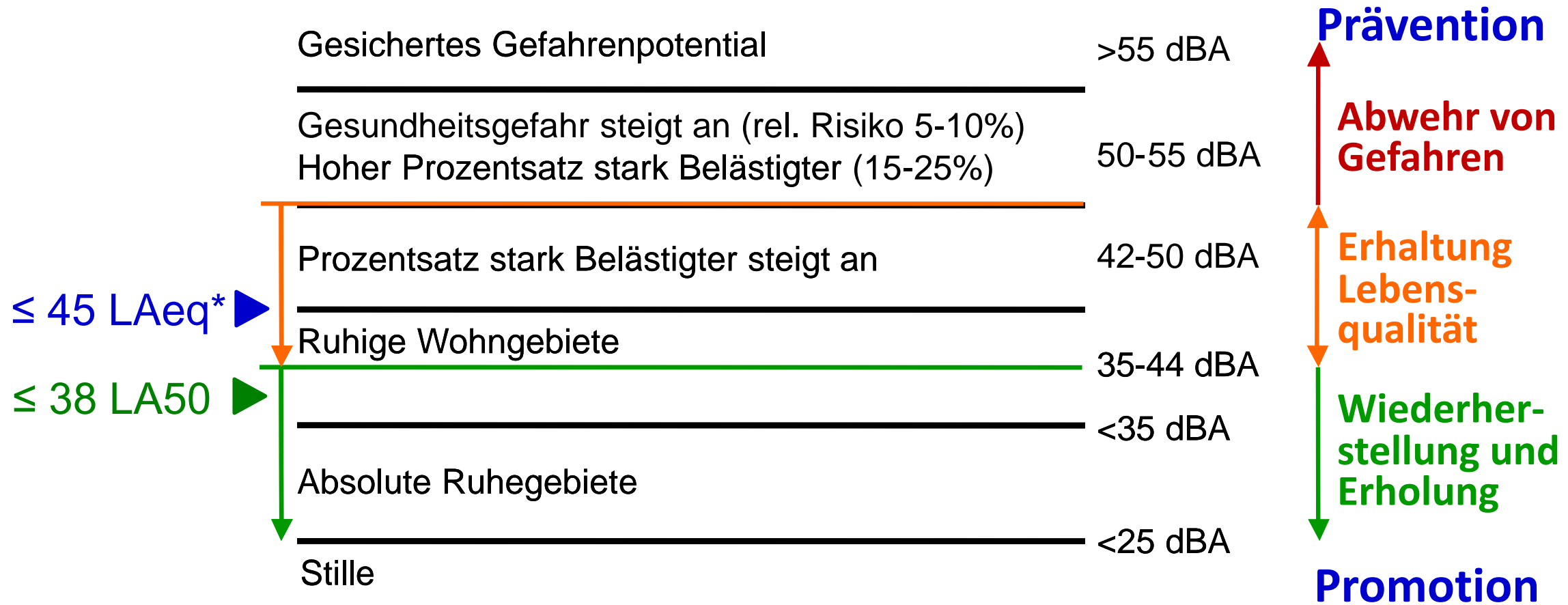
Maximalschallpegel (LAF,max,dBA) innen

Schlafstadienänderungen durch Maximalschallpegel innen  
durch verschiedene Lärmquellen



**WHO-Evidenz: Veränderung der Schlaftiefe hin zu oberflächlichem Schlaf** (repräsentiert durch Schlafstadium S1 und Erwachen)

# Medizin-Hygiene-Bewertung Pegelbereich Schutzziel



—  $\le 55$  dBA: Ruhiges Gebiet in einem Ballungsraum

—  $\le 40$  dBA: Ruhiges Gebiet auf dem Land

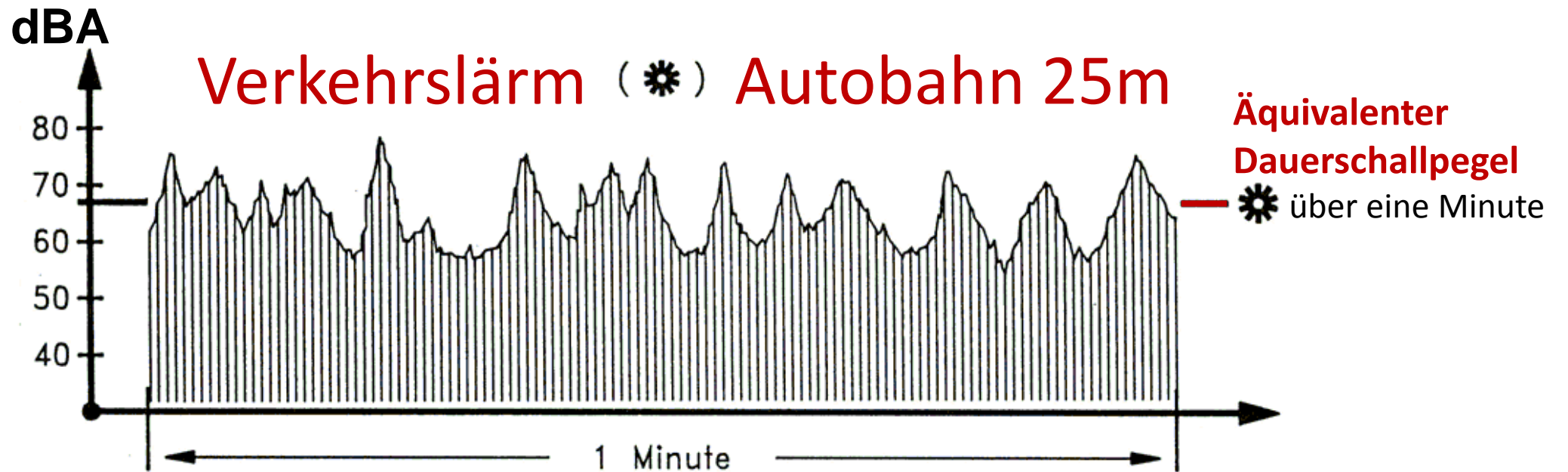
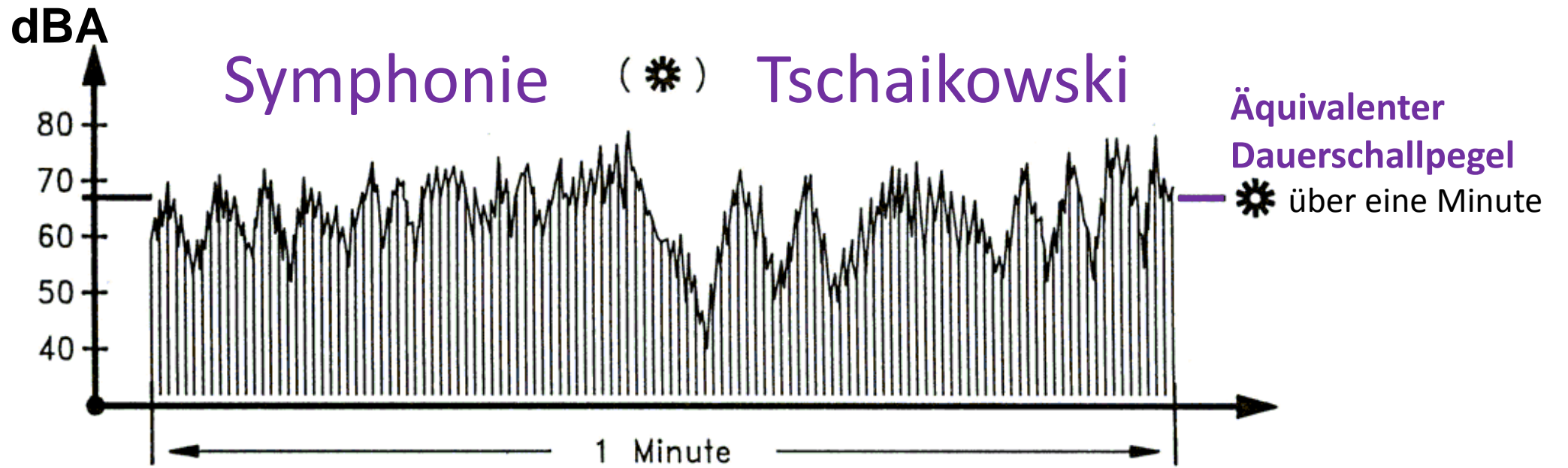
\* **Soundscape Support to Health project**: Ruhiges Gebiet:  $LA_{eq,24h} \le 45$  dB

Zusatzbedingung: gute Soundscape Qualität, visuell und funktional attraktiv

## Schallumgebung: Pathogenese und Salutogenese

# Akustik und/versus Psychoakustik

Grenzen der klassischen  
A-Bewertung des Schalls

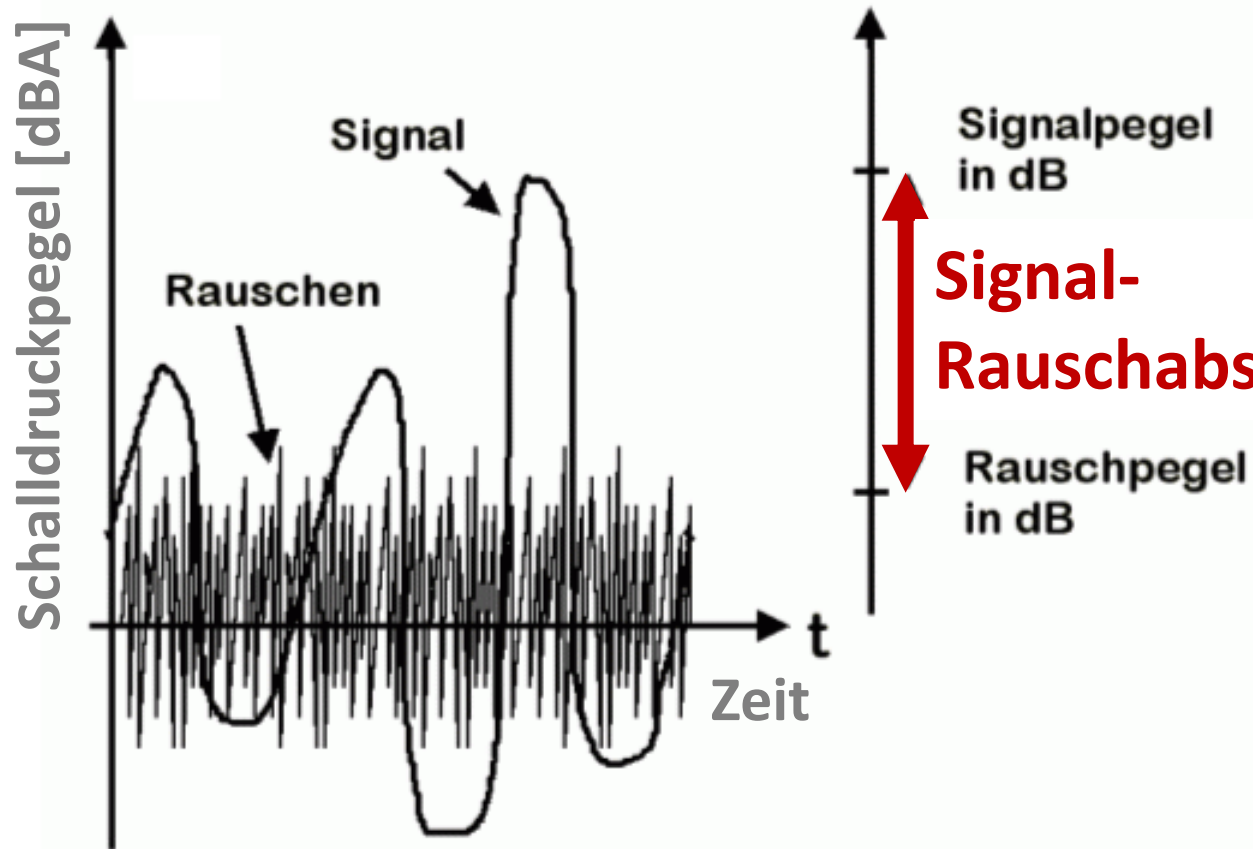




# Der dBA-Wert führt aus der Gesundheitsperspektive zur Unterschätzung – wenn folgende Umstände vorliegen

- **Hoher Signal-Rauschabstand** (Emergenz)  
insbesondere abends und nachts, ländliche Gegenden
- **Hohe Fluktuation des Schallpegels**  
messbar z.B. durch die sog. Intermittency-ratio
- **Tieffrequente Geräusche** mit begleitendem sekundärem Luftschall und **Vibrationen** auftreten
- **Auffällige Geräuschkomponenten vorliegen**  
z.B. Tonhaltigkeit, Impulshaltigkeit, Informationshaltigkeit, 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<sup>o</sup> kann bereits autonome vegetative Reaktionen auslösen

<sup>o</sup> zwischen Spitzenpegel (L<sub>Amax</sub>) und Grundpegel (L<sub>95</sub>)

Chang SS et al. 2015 haben das schon ab 35 dBA nachweisen können und frühere Forschung von Klosterkötter 1977 bestätigt

\* 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)

# Die Psychoakustik

„Psychoakustische Erkenntnisse sind der Schlüssel zum Verständnis der Glocke. Erst die Berücksichtigung der Eigenschaften des Gehörs macht es möglich, die physikalischen Daten adäquat zu bewerten. Die gehörrichtige Analyse reduziert die Glockenklänge auf diejenigen Parameter, die für das Hören tatsächlich relevant sind. Sie rechtfertigt es, die Betrachtungen auf eine eng begrenzte, objektiv begründete Zahl von Teiltönen und zugehörigen Moden zu beschränken. Sie belegt das besondere Gewicht von Teiltönen im Prinzipalbereich, gibt grundlegende Hinweise für die zielgerichtete Optimierung von Glockenformen und liefert die Basis für weiterführende Studien.“

# Psychoakustik Indikatoren

- **Lautheit (sone)**

Basisindikator: bildet die gehörgerechte Intensitätsempfindung linear ab: Ein Anstieg von 2 auf 4 sone -> Verdoppelung der empfundenen Lautstärke

- **Tonalität**

Je deutlicher sich die tonale Komponente vom Hintergrund-Schallpegel abhebt desto stärker ist die Tonalität wahrnehmbar

- **Schwankungsstärke (vacil)**

Indikator für langsamere Modulationen eines Geräusches (0~20 Hz). Genutzt für Warnsignale

- **Rauigkeit (asper)**

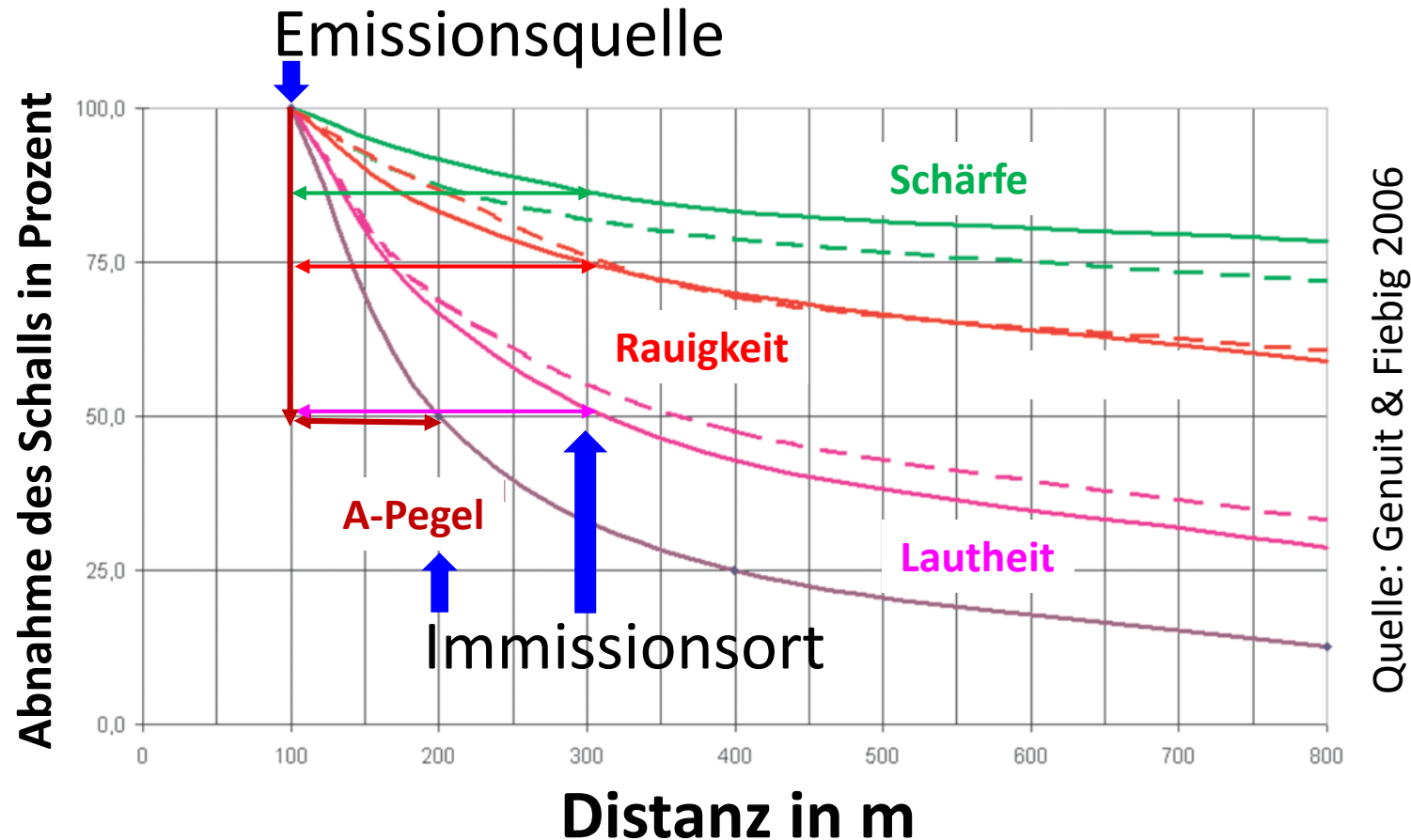
Indikator für schnellere Schwankungen eines Geräusches (Modulationsfrequenzen zwischen 20 ~ 200 Hz).

- **Schärfe (acer)**

Schärfe beschreibt das Verhältnis der höherfrequenten Spektralanteile zur Gesamtlautheit. Scharfe Geräusche werden als besonders unangenehm wahrgenommen

# Psychoakustik Indikatoren

Pegelabnahme mit der Distanz  
folgt nicht dem klassischen akustischen Paradigma\*



Quelle: Genuit & Fiebig 2006

\*Geräusche mit deutlicher Schärfe oder Rauigkeit sind weiter wahrnehmbar als die A-Pegel-Berechnung ergibt !

**Beispiel früher  
psychakustischer Forschung  
zum Glockenklang:  
Orientierung am Wohlklang**

# Aures: Wohlklangsbeurteilung von Kirchenglocken

- **Psychoakustischer Indikator Schärfe**

Konnte am besten differenzieren zwischen wohlklingenden und wenig wohlklingenden Kirchenglocken

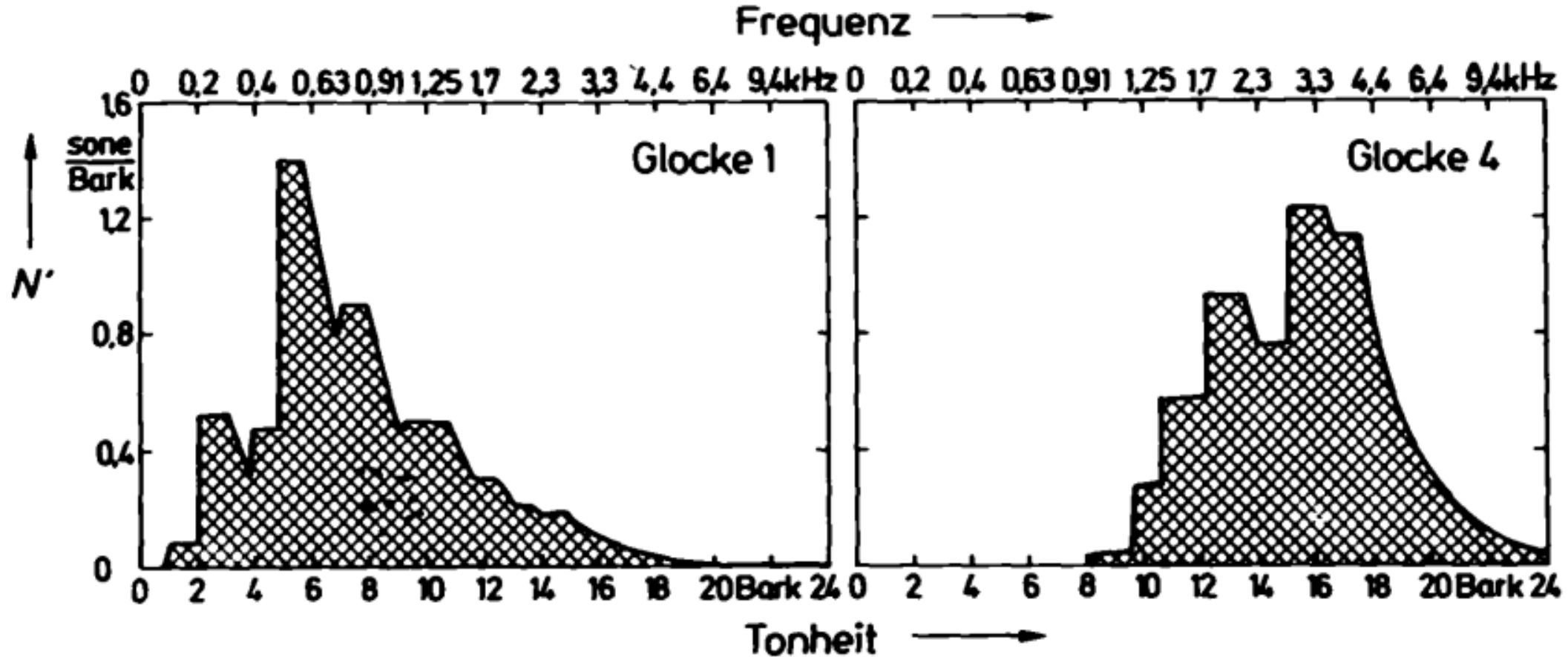
- **Psychoakustischer Indikator Rauigkeit**

Konnte bei zwei zusätzlichen Glocken eine weitere Differenzierung machen, welche durch die Schärfe allein nicht hinreichend charakterisiert werden konnte

- **Impulshaltigkeit und andere Kriterien wurden nicht untersucht**

„Der Wohlklang der Glockenklänge ist also mit der Schärfe negativ korreliert“

Untersucht: 17 historische Glocken



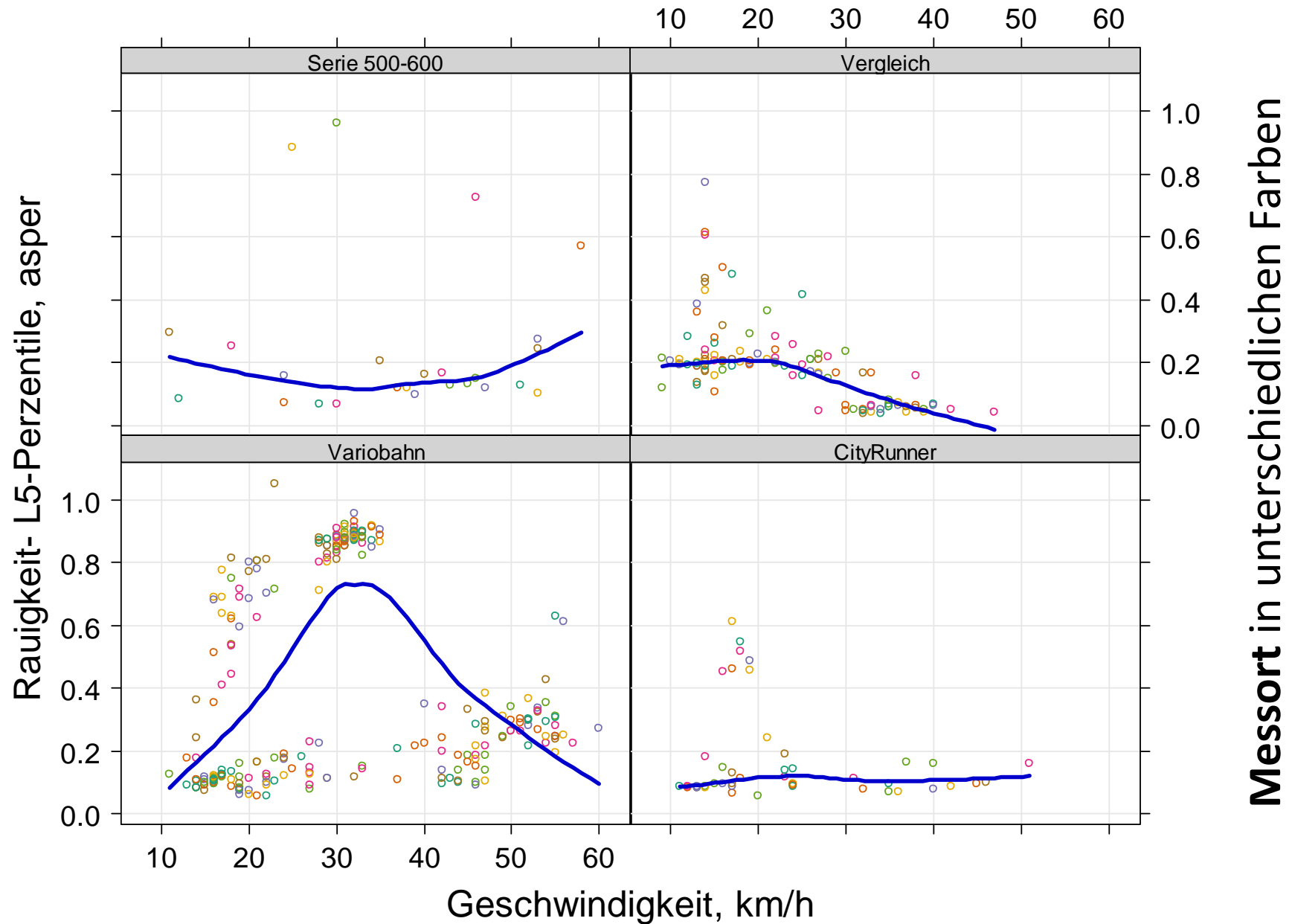
Verteilung der spezifischen Lautheit  $N'$  längs der Tonheitsskale für die wohlklingendste Glocke 7 und die am wenigsten wohlklingende Glocke 4.

Bei dem Glockenklang 4 liegt der Schwerpunkt der spezifischen Lautheit um etwa 10 Bark höher als bei dem Glockenklang 1. Der Glockenklang 4 wird deshalb als schärfer empfunden werden.

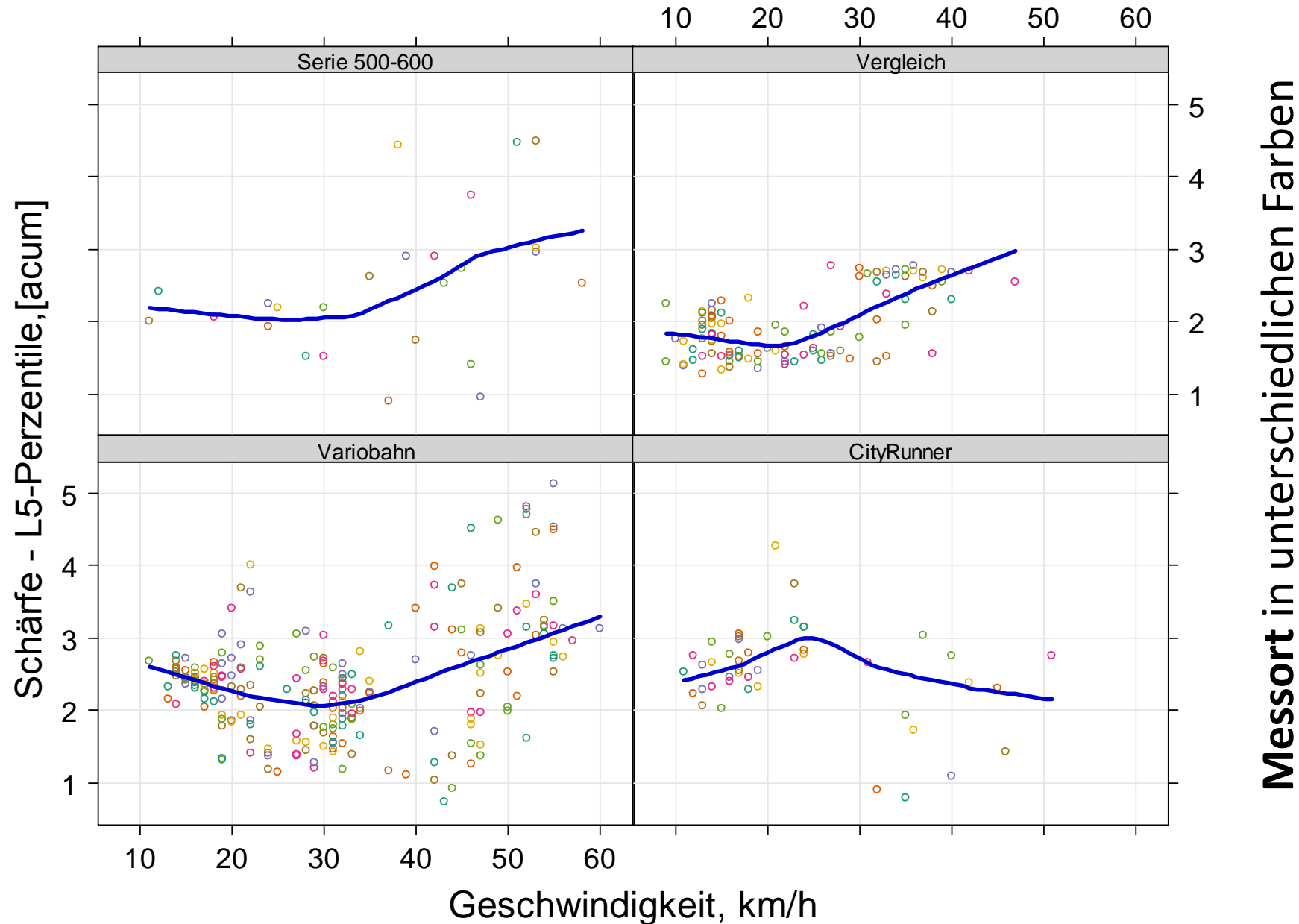


**Illustration psychoakustischer  
Analysen: aus eigener Forschung  
mit Straßenbahnen**

# RAUIGKEIT: nach Fahrzeug, Geschwindigkeit und Messort



# SCHÄRFE: nach Fahrzeug, Geschwindigkeit und Messort



# Perspektiven zur Prävention und Wirkungsforschung

- **Schnellste und wirksamste Maßnahme**  
Verzicht auf Glockenschlag als Zeitgeber in der Nachtzeit
- **Reduktion der Schallintensität der Glocken**
  - Bauliche Maßnahmen am Glockenturm
  - Klöppel-, Anschlagmodifikationen, Läutemaschine etc.  
Wirksamkeit\*    **5dBA**->75% >1 AWR    **10dBA**->95% >1 AWR  
Win-Win-Situation durch längere Haltbarkeit der Glocken?
- **Klassifizierung der Glocken nach Immissionsqualität durch psychoakustische Kriterien**
  - Verringerung des Impulscharakters
  - Vermeidung von hoher Schärfe
  - Vermeidung von Rauigkeit/Schwankungsstärke

# Supplemente

## Literatureempfehlungen: Gesundheitswirkungen

- Brink, M., Omlin, S., Müller, C., Pieren, R., & Basner, M. (2011). An event-related analysis of awakening reactions due to nocturnal church bell noise. *Science of the total environment*, 409(24), 5210-5220.
- Omlin, S., Bauer, G. F., & Brink, M. (2011). Effects of noise from non-traffic-related ambient sources on sleep: Review of the literature of 1990-2010. *Noise and health*, 13(53), 299.
- Brink, M., Basner, M., Omlin, S., Pieren, R. (2012) Lärm von Kirchenglocken. Stören Kirchenglocken unseren Schlaf? Eine Untersuchung der Auswirkungen nächtlicher Kirchenglockenschläge auf die Bevölkerung. *Lärmbekämpfung Bd. 7*, 29-41.
- Omlin, S., & Brink, M. (2013). Awakening effects of church bell noise: Geographical extrapolation of the results of a polysomnographic field study 1. *Noise and Health*, 15(66), 332-341.
- Brink, M., & Omlin, S. (2013, September). Sleep disturbances from transportation and non-transport related ambient noise events-A comparison of exposure-effect relationships. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 247, No. 1, pp. 6182-6188). Institute of Noise Control Engineering.
- Thorne R, Shepherd D. Quiet as an Environmental Value: A Contrast between Two Legislative Approaches. *Int J Environ Res Public Health*. 2013 Jul 3;10(7):2741–59.
- Daniel Shepherd, David Welch, Kim N. Dirks and David McBride. Do Quiet Areas Afford Greater Health-Related Quality of Life than Noisy Areas? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2013, 10(4), 1284-1303; [oi:10.3390/ijerph10041284](https://doi.org/10.3390/ijerph10041284)
- Caddick, Z. A., Gregory, K., Arsintescu, L., & Flynn-Evans, E. E. (2018). A review of the environmental parameters necessary for an optimal sleep environment. *Building and Environment*.
- Schultes, B., Hallschmid, M., Oster, H., Wilms, B., & Schmid, S. M. (2016). Hormone, Schlaf, zirkadiane Rhythmen und metabolische Gesundheit. *Gynäkologische Endokrinologie*, 14(3), 180-187.
- Peter Lercher et al. Perceived Soundscapes and Health-Related Quality of Life, Context, Restoration, and Personal Characteristics. In *Soundscape and the built environment: Chapter 5* pp 89-131. CRC 2015.

# Literaturempfehlungen: Akustische/psychoakustische Charakteristika

- Aures, W. (1981). Wohlklangsbeurteilung von Kirchenglocken. In Fortschritte der Akustik--DAGA'81 (pp. 733-736).
- Aures, W. (1985). Der sensorische Wohlklang als Funktion psychoakustischer Empfindungsgrößen. *Acta Acustica united with Acustica*, 58(5), 282-290.
- Terhardt, E., & Seewann, M. (1984). Auditive und objektive Bestimmung der Schlagtonhöhe von historischen Kirchenglocken. *Acta Acustica united with Acustica*, 54(3), 129-144.
- Schad, C.-R. und Frik, G., Klangfiguren einer Glocke. *Acustica* 78 (1993), 46-54.
- Fleischer, H. (2000). Schwingung und Schall von Glocken. *Fortschritte der Akustik*, 26, 38-47.
- Fleischer, H. (2007). Hörversuche mit Glockenklängen. *Beiträge zur Vibro-und Psychoakustik*, 1(07), 07.
- Vos, J., & Houben, M. M. (2013). Enhanced awakening probability of repetitive impulse sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(3), 2011-2025.
- Samolov, A. (2010). Analysis of just Noticeable Difference in Spectrum of Church Bell Sound. *Telfor Journal*, 2(2), 82-85.
- Salom, I. M., Mijic, M. M., Certic, J. D., Pavlovic, D. S. Š., & Despot, B. D. (2014). Subjective evaluation and an objective measure of a church bell sound quality. *Applied Acoustics*, 85, 97-105.
- Fastl, H. (2006). Psychoacoustic basis of sound quality evaluation and sound engineering. In *Proc. 13th Intern. Congress on Sound and Vibration ICSV13, Vienna, Austria*.
- Fastl, H., & Zwicker, E. (2007). Sharpness and Sensory Pleasantness. In *Psychoacoustics* (pp. 239-246). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fastl, H. (2010). Praktische Anwendungen der Psychoakustik. In *Tagungsband Fortschritte der Akustik-DAGA 2010, Berlin, Germany* (pp. 5-10).
- Tjeerd C. Andringa and J. Jolie L. Lanser. How Pleasant Sounds Promote and Annoying Sounds Impede Health: A Cognitive Approach. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2013, 10(4), 1439-1461; doi:10.3390/ijerph10041439.
- Hibbert, W. A., Sharp, D. B., Taherzadeh, S., & Perrin, R. (2014). Partial frequencies and Chladni's law in church bells. *Open Journal of Acoustics*, 4(2), 70-77.
- Yang, M., De Coensel, B., & Kang, J. (2015). Presence of 1/f noise in the temporal structure of psychoacoustic parameters of natural and urban sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(2), 916-927.



## TECHNISCHE BEURTEILUNG

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Geräusche durch Glocken.

Messung und Beurteilung von Glockengeläute nach TA Lärm. Karlsruhe, März 2008.

Beurteilung Alltagslärm. Vollzugshilfe im Umgang mit Alltagslärm. Bundesamt für Umwelt BAFU. Bern, 2014

## RECHTLICHE BEURTEILUNG

**<Fall 1:** Die evangelische Kirchengemeinde Membrechtshofen

16. April 2011

<https://www.bo.de/kultur/kultur-regional/glockenfest-nach-glockenzoff>

11. Februar 2016

<https://www.bo.de/lokales/achern-oberkirch/glockengelaeut-raubt-anwohner-den-schlaf>

**<Fall 2:** Die evangelische Kirche in Hornberg

28. Januar 2016

<https://www.bo.de/lokales/kinzigtal/stundenschlag-ist-gewerbelaerm>

### **<Andere Länder**

*Schweiz:* Medienmitteilung des Schweizer Bundesgerichts: Lausanne, 13. Dezember 2017

Urteil vom 13. Dezember 2017 (1C\_383/2016, 1C\_409/2016)

Viertelstunden-Glockenschlag der evangelisch-reformierten Kirche

in Wädenswil: Nächtliche Einstellung nicht gerechtfertigt

*Österreich:* Höchstgericht bestätigt Domglocken-Urteil: 13.5.2016

Im Rechtsstreit um die nächtlichen Glockenschläge des Linzer Mariendoms hat der Oberste Gerichtshof (OGH) jetzt das Revisionsbegehren eines klagenden Anrainers zurückgewiesen.

Der Kläger hatte von der Dom Pfarre gefordert, das nächtliche „Zeitschlagen“ der Domglocken zu unterlassen, weil es seinen Schlaf störe und damit seine Gesundheit beeinträchtige. Seine Klage war zuvor bereits vom Landesgericht Linz und vom Oberlandesgericht Linz abgewiesen worden.