

Nächtlicher Verkehrslärm und seine Lärmstruktur

Dirk Windelberg

Leibniz Universität Hannover, Email: windelberg@math.uni-hannover.de

Einleitung

Nächtlicher Güterzugverkehr kann Schlafstörungen hervorrufen. Bisher wird nach einem Zusammenhang zwischen dem Jahres-Nacht-Mittelungs-Immissionspegel in dem Schlafzimmer eines Bürgers B und der Wahrscheinlichkeit des Aufwachens von B gesucht, obwohl Aufweckreaktionen durch die Immissionspegel einzelner (Güter-)Zugvorbeifahrten hervorgerufen werden, nicht aber durch die Mittelwerte aus allen Immissionspegel und allen dazwischenliegenden Ruhepegel sämtlicher Nächte eines Jahres.

Stand der Technik

Für viele reale Schienenverkehrsstrecken ist nur ein Jahres-Nacht-Mittelungspegel bekannt, obwohl selbst an verschiedenen Wochentagen verschiedene Nacht-Mittelungspegel auftreten, z.B.

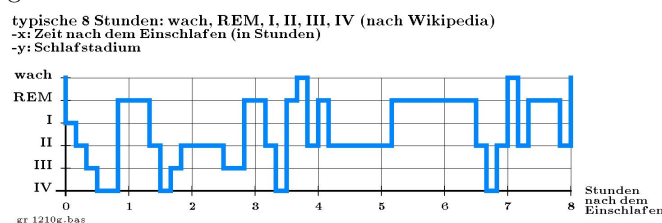
- Do/Fr: 47 Güterzug-Vorbeifahrten
Nacht-Mittelungspegel: 72 dB(A)
- Sa/So: 5 Güterzug-Vorbeifahrten
Nacht-Mittelungspegel: 62 dB(A)

Im Schlaflabor wird untersucht, ob ein Bürger B unter bestimmten Bedingungen geweckt wird:

- B schläft zu einer bestimmten Zeit z ein.
- Nach einer bestimmten Zeit m nach dem Einschlafen ertönt ein "Geräusch", das bezüglich
 - seines Pegels P der Pegelverteilung
 - seiner Vorbeifahrzeit T
 - seiner Frequenzverteilung F
 einen auf einer typischen Güterverkehrsstrecke in einem bestimmten Abstand vorbeifahrenden Güterzug repräsentieren soll.
- Dann wird untersucht, ob B durch dieses Geräusch aufgeweckt wurde - und wie sich seine Schlafstruktur geändert hat.

individuelle Aufweckreaktionen

Es muss angenommen werden, dass eine Versuchsperson B nach dem Einschlaf-Zeitpunkt z in sich in bestimmter Schlafiefe befindet. Diese wird z.B. durch den REM-Schlaf mit den Schlafstadien "wach", REM (Rapid Eye Movement), I, II, III, IV während der 8 Stunden Schlaf genau beschrieben:



8 Stunden (REM-)Schlaf

Da 3:50 Stunden nach dem Einschlafen das Schlafstadium "wach" ist, kann nicht entschieden werden, ob der Bürger B geweckt wird, wenn ein erstes Geräusch genau 3:50 Stunden nach dem Einschlafen auftritt - und ob er auch dann sofort wieder einschläft, wenn er durch das Geräusch geweckt wurde.

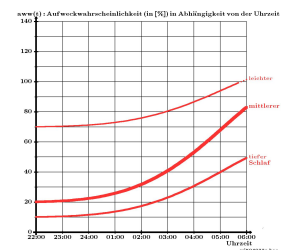
Es wird nicht untersucht, wie sich die Schlafgewohnheiten durch mehrere Vorbeifahrgeräusche einer Nacht z.B. in Abhängigkeit von der Vorbeifahrzeit ändern.

Wenn B aufgeweckt wurde, bleiben viele Fragen:

Ist dieses Aufwachen zu diesem Zeitpunkt typisch?

Schläft B genau den REM-Schlaf?

Oder schläft B nach einer der 3 Schlafkurven?



Schlafkurven

- Gibt es weitere Kombinationen aus
 - Zeit m nach dem Einschlafen zur Zeit z
 - Vorbeifahrzeit T
 - mittlerem Vorbeifahrpegel P
 durch die B aufgeweckt wird?

Beeinflusst dieses erste Aufwachen die Parameter für ein späteres Aufwachen von B ?

Gelten diese Bedingungen auch für andere Menschen - oder: wie hoch ist der Prozentsatz der Menschen, die durch diese Geräusche ebenfalls aufgeweckt werden?

Vorhersage

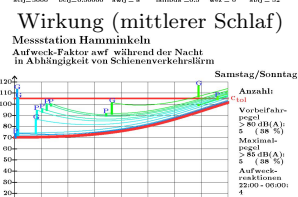
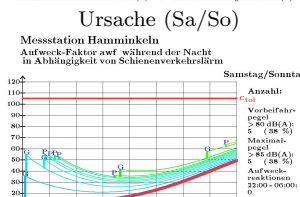
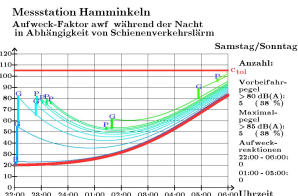
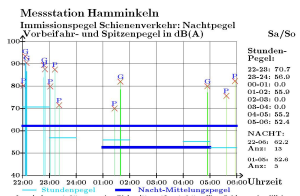
Vorhersagen zu der nächtlichen Störung durch Schienenverkehrslärm für einen Bürger B sind nur möglich, wenn bekannt ist, wie sich die individuellen Schlafgewohnheiten $S(m)$ nach dem Einschlafen infolge einzelner Störungen (z.B. eine Güterzug-Vorbeifahrten) ändern.

Da jeder Bürger eine individuelle Schlafkurve hat, werden hier vereinfacht 3 Schlafkurven betrachtet. (Es ist nicht bekannt, wie hoch der jeweilige Anteil der Bürger ist, die einen

leichten, mittleren, tiefen Schlaf oder REM-Schlaf schlafen. - Ferner wird hier ein Anstiegsfaktor a_{cij} verwendet, der die Änderung des Schlafstadiums infolge einer Güterzugvorbeifahrt beschreibt, sowie ein Abklingfaktor für die Beschreibung der Geschwindigkeit, mit der sich eine Erhöhung des Schlafstadiums infolge eines Aufweckens wieder der Schlafkurve nähert. Infolge eines Aufweckens (d.h. einer Überschreitung eines Toleranzlevels) wird die Schlafkurve um einen bestimmten Betrag erhöht.

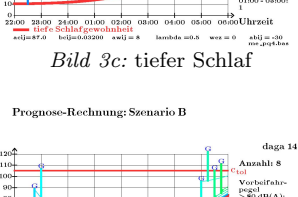
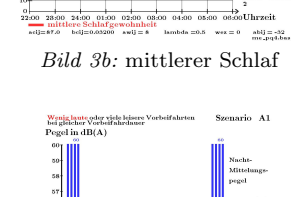
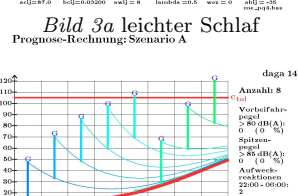
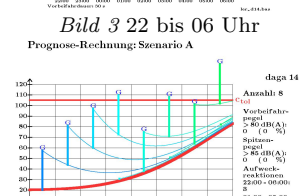
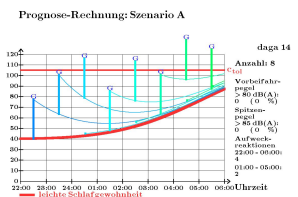
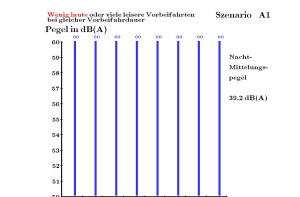
Ferner wird festgelegt, dass B aufgeweckt wird, wenn der Aufweckfaktor einen Wert c_{tol} überschreitet (hier: $c_{tol} = 105$).

Wir betrachten nun eine Nacht mit wenigen Zugvorbeifahrten (Nacht von Samstag auf Sonntag) und untersuchen, wie sich diese - nach Wahl weiterer Orts- und Schlafparameter - auf den Schlaf des Bürgers B auswirken.

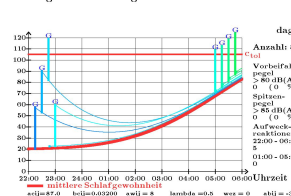


Anwendung

Im Folgenden wird untersucht, ob ein Unterschied bezüglich der Aufweckreaktionen bei Reduzierung der nächtlichen Zugvorbeifahrten auf die Zeiträume 22 bis 23 Uhr und 05 bis 06 Uhr oder 22 bis 06 Uhr (in jeweils gleichmässigen Zeitabständen) besteht. Dazu werden 8 gleichlange Güterzüge betrachtet, die mit jeweils gleicher Geschwindigkeit und gleichem Pegel vorbeifahren.



Prognose-Rechnung: Szenario B



Prognose-Rechnung: Szenario B

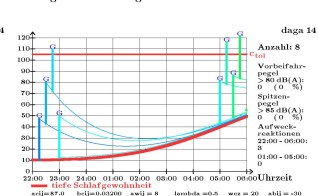


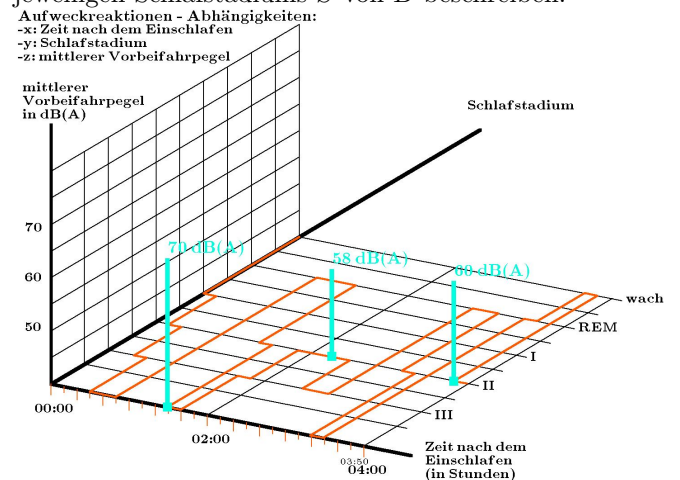
Bild 4b: mittlerer Schlaf
Bild 4c: tiefer Schlaf
Anzahl Aufweckreaktionen bei Anstiegsfaktor $a_{cij} = 87$:

	leichter Schlaf	mittlerer Schlaf	tiefer Schlaf
Szenario A	4	3	3
Szenario B	6	5	4

Also wird ein Bürger bei einem Schlaf von 22 bis 06 Uhr bei den Schlafgewohnheiten „leicht und mittel“ durch ein Szenario B häufiger aufgeweckt als bei einem Szenario A, falls der Anstiegsfaktor 87 beträgt.

Darstellung

Jede Zugvorbeifahrt lässt sich in einem 4-dimensionalen Raum mit den Achsen m, S, P und T bezüglich des jeweiligen Schlafstadiums S von B beschreiben:



Drei Aufweck-Reaktionen bei REM-Schläfern (Parameter T wäre die 4. Dimension)

3 Bürger B_1, B_2, B_3 wohnen an verschiedenen Stellen. Sie werden jeweils von dem ersten Zug geweckt:

Bürger	m	$S(m)$	P	T
B_1	1:30 h	IV	70 dB(A)	30 s
B_2	2:15 h	II	58 dB(A)	30 s
B_3	3:50 h	II	60 dB(A)	30 s

3 Aufweckpunkte

Könnte vorausgesagt werden, ob ein Bürger B_4 bei einer Vorbeifahrt mit $m_4 = 2 : 45$ h, $S_4 = III$, $P_4 = 66$ dB(A) und $T_4 = 26$ s aufgeweckt wird? (An der Messstelle Hamminkeln werden von jeder Zugvorbeifahrt alle 0,2 s dokumentiert: Uhrzeit z , $P(z)$, P_{max} und T .)

Literatur

- [1] Heimann, D. et al.: Von der Emission bis zur Wirkung. Lärmbekämpfung 2014, 20-28.
- [2] Windelberg, D.: Prognose zu nächtlichem Verkehrs-lärm. URL: http://www.windelberg.de/agq/pdf/daga14_v4.pdf