

# Mathematische Aspekte der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch transiente Geräuschereignisse auf der Grundlage von zeitlich veränderlichen Cortisol-Konzentrationen

DAGA '06

Dirk Windelberg<sup>1</sup>, Berthold Vogelsang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AG Qualität im Fachbereich Mathematik und Physik, 30167 Hannover, Deutschland, Email: windelberg@math.uni-hannover.de

<sup>2</sup> Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover, Deutschland, Email: Berthold.Vogelsang@mu.niedersachsen.de

## Einleitung

Bisher wird die Lästigkeit von nächtlichem Schienenverkehrs- und Fluglärm durch Lärmwirkungsforscher überwiegend nur mit dem entsprechenden Nacht-Mittelungspegel korreliert, während physiologische Untersuchungen insbesondere in den letzten Jahren die Bedeutung einzelner transienter Geräuschereignisse erkennen lassen. Damit wird die genaue Beschreibung der nächtliche Schlaf-Unterbrechungen initiierenden Vorbeifahrpegel wichtiger als die Bestimmung des Nacht-Mittelungspegels.

Spreng hat in [1] angegeben, wie die Cortisol-Konzentration im menschlichen Körper mit der Tages- und Nachtzeit variiert und wie diese durch transiente Vorbeipegele beeinflusst wird. Die natürliche Cortisol-Konzentration wächst mit zunehmendem Streß, und es kann eine Toleranzgrenze dieser Konzentration angegeben werden, bei deren Überschreitung ein Schlafender aufwacht. Von Windelberg wurde in [2] eine mathema-

Konzentrationen unter streßfreien Bedingungen (siehe Abbildung 1) und zitiert folgende 24-Stunden-Mittelwerte:

- nach Binoux bei 164 ng/ml für 16- bis 41-jährige
- nach Hughes bei 117 ng/ml für Erwachsene
- nach Peterson bei 100 ng/ml für Erwachsene

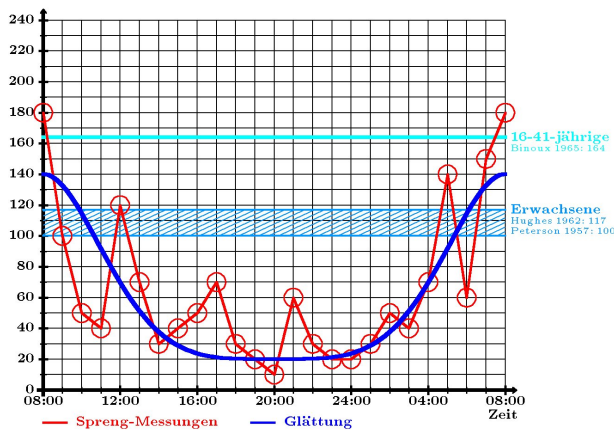
Diese Informationen wurden einer „Glättung“ unterworfen: Die von der Tageszeit  $t$  abhängige Cortisol-Konzentration  $c_{min}(t)$  beschreibt die streßfreie Situation und ist in der Abbildung 1 eingetragen.

$$c_{min}(t) := \begin{cases} 80 - 60 \cdot \cos\left(\left(\frac{t+4}{12}\right)^2 \cdot \pi\right) & \text{für } 0 \leq t \leq 8 \\ 80 - 60 \cdot \cos\left(\left(\frac{t-20}{12}\right)^2 \cdot \pi\right) & \text{für } 8 \leq t \leq 24 \end{cases} \quad (1)$$

wobei  $t$  in Stunden einzusetzen ist und  $c_{min}(t)$  in ng/ml angegeben wird.

Nun ist es möglich mathematisch zu verfolgen, ob die durch Lärmstreß erhöhten Cortisol-Konzentrationen bei verschiedenen nächtlichen transienten Geräuschereignissen die Toleranzgrenze erreicht.

$c_{min}(t)$ : Cortisol-Grundwert (in [ng/ml]) in Abhängigkeit von der Zeit



**Abbildung 1:** gemessene und geglättete Cortisol-Konzentrationen im „gemittelten“ streßfreien Menschen in Abhängigkeit von der Zeit.

tische Beschreibung der nächtlichen Aufweckreaktionen durch Schienen- und Flugverkehrslärm in Abhängigkeit von einer Ruhedauerbewertung angegeben. Hier werden diese beiden Teile zusammengefügt.

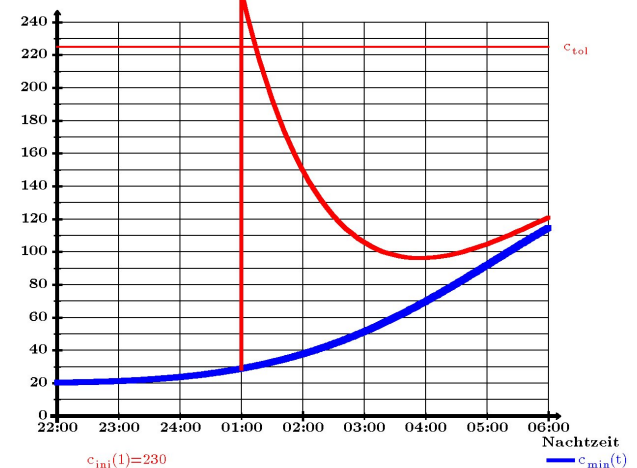
## Cortisol-Konzentration

Spreng bestimmte durch Messungen die gemittelten tages- bzw. nachtzeitabhängigen Cortisol-

## mathematisches Modell

Für einen geeigneten (Vorbeifahr-)Pegel  $L_{norm}$  wird zunächst eine Norm-Konzentration  $c_{i,norm}$  bestimmt, die eine Erhöhung der jeweilige Konzentration  $c_{min}(t)$  initiiert, wenn  $L_{norm}$  auf das Ohr des Schlafers trifft.

$c_{min}(t)$ : Cortisol-Grundwert (in [ng/ml]) in Abhängigkeit von der Nachtzeit



**Abbildung 2:** Initiierung einer Cortisol-Konzentrations-Erhöhung um 01:00 Uhr mit nachfolgendem Abklingen.

Diese Konzentrationserhöhung klingt mit einem Abklingfaktor  $\lambda$  mit der Zeit wieder bis zu der Konzentration  $c_{min}(t)$  ab, wenn der Pegel nur kurz wirkt (siehe Abbildung 2). Der initiierende Pegel ist daher durch seine (unbewertete) Höhe, seine Frequenzverteilung und seine Einwirkzeit zu definieren; hier wird ein solcher Pegel als „Weckpegel“ bezeichnet.

Ferner wird ein „Änderungskoeffizient“  $k$  zur Beschreibung der Konzentrationsänderung eines beliebigen Weckpegels bestimmt.

Schliesslich wird eine „Toleranz-Konzentration“  $c_{tol}$  bestimmt, bei deren Überschreitung eine anzugebende Aufweckwahrscheinlichkeit angenommen wird.

## Parameter

Aus den zitierten Arbeiten können folgende Parameter entnommen werden:

Der Weckpegel  $L(j)$  eines Pegels  $p(j)$ , der während einer Zeit von  $z$  s wirkt, wird bestimmt durch

$$L(j) = p(j) + \frac{27}{z^{1.1}} \quad (2)$$

und für einen Weckpegel  $L_{norm} = 53 \text{ dB(A)}$  ergibt sich  $c_{i,norm} = 14 \text{ ng/ml}$ .

Ferner wurde für den Änderungskoeffizienten  $k = 0.32$  bestimmt, d.h. ein beliebiger Weckpegel  $L(j)$  initiiert eine Erhöhung  $c_i(j)$  der Cortisol-Konzentration mit

$$c_i(j) = 14 \cdot 10^{0.032 \cdot [L(j) - 53]} \quad (3)$$

und die Gesamtkonzentration  $c_{ges}(t)$  für die Zeit  $t$  ab 22:00 Uhr wird beschrieben durch

$$c_{ges}(t) = \begin{cases} c_{min}(t) & \text{falls } t < t_1 \\ c_{min}(t) + c_i(1) \cdot e^{-\lambda \cdot (t-t_1)} & \text{falls } t_1 \leq t < t_2 \\ \dots & \\ c_{min}(t) + \sum_{j=1}^{j=n} c_i(j) \cdot e^{-\lambda \cdot (t-t_j)} & \text{falls } t_j \leq t \end{cases} \quad (4)$$

Als Toleranzgrenze gilt

$$c_{tol} = 225 \text{ ng/ml} \quad (5)$$

## Beispiele

In Abbildung 3 werden 8 Geräuscheignisse betrachtet, die ab 1:00 Uhr während der Nacht mit jeweils gleichem Weckpegel auf einen Schläfer im Abstand von jeweils 6 Minuten einwirken. Die Toleranz-Konzentration wurde überschritten; der Schläfer wacht bei dem achten Geräuscheignis auf. In Abbildung 4 wirken diese Weckpegel ab 1:00 Uhr im Abstand von jeweils 30 Minuten; es ist ersichtlich, dass der Schläfer nicht aufwacht, obwohl die natürliche Cortisol-Konzentration zum Morgen hin zunimmt.

## Ergebnis

In den beiden Abbildung 3 und 4 ist der Nacht-Mittelungspegel  $L_{night}$  gleich, denn es werden jeweils die gleichen 8 Vorbeifahrpegel betrachtet. Die Beispiele

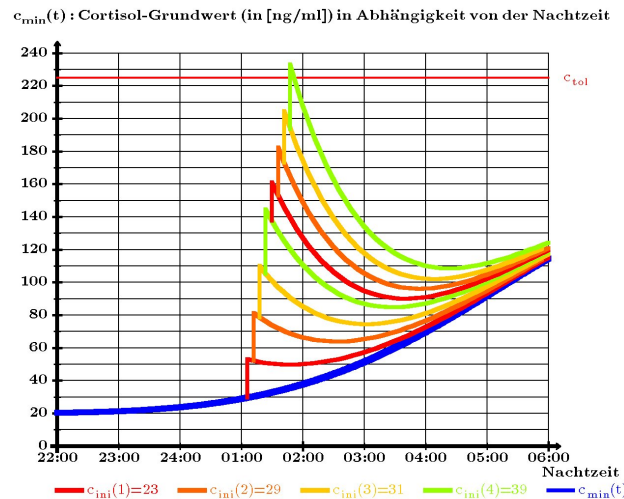


Abbildung 3: 8 Geräuscheignisse ab 01:00 Uhr im Abstand von jeweils 6 Minuten.

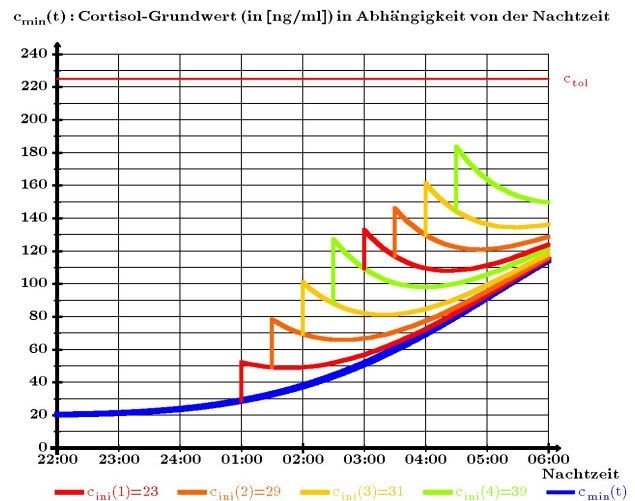


Abbildung 4: 8 Geräuscheignisse ab 01:00 Uhr im Abstand von jeweils 30 Minuten.

könnten sowohl von Schienen- als auch von Flugverkehr verursacht sein - ein „Schienenbonus“ wäre daher unbegründet. Die Auswirkungen auf die Gesamt-Cortisol-Konzentration sind unterschiedlich: In dem ersten Beispiel führt die physiologisch beobachtbare Erhöhung der Cortisol-Konzentration zu einer Überschreitung der Toleranzgrenze, während in dem zweiten Beispiel die gleichen Vorbeifahrpegel zu keiner Überschreitung führen. Der Mittelungspegel  $L_{night}$  ist daher nicht geeignet, die „Qualität“ des Schlafes bei (nächtlichem) transientem Verkehrslärm zu beschreiben.

## Literatur

- [1] Spreng, M.: Cortical Excitations, Cortisol Excretions and Estimation of Tolerable Nightly Over-Flights. *Noise & Health* 4 (2002), 39-46
- [2] Windelberg, D.: Aufweck-Pegel und Lärmpausen bei Schienen- und Fluglärm. *Immissionsschutz* 8 (2004), 114-124