

Vegetative Fluglärmeffekte in der Heimsituation

K. Bättig¹

Im Gegensatz zu Industrielärm und Knall stehen beim Umweltlärm extraaurale Effekte wie subjektives Wohlbefinden, Vegetativum und leichte Änderungen der psychischen Leistungsfähigkeit [7] im Vordergrund des präventivmedizinischen Interesses. Die bisherigen Befunde extraauraler Effekte sind aber zum Teil noch immer lückenhaft oder gar kontrovers.

Der subjektiv psychische Stör- und Belästigungseffekt auf den Menschen ist zweifellos am besten gesichert.

Grandjean et al. [15] wiesen für schweizerische Verhältnisse eine quantitative Beziehung zwischen Fluglärm und Belästigung nach, die sehr ähnlich war wie in anderen Grossuntersuchungen [8, 9, 19, 22, 25, 26] und damit wenigstens für industrialisierte Länder als transkulturell recht stabil gelten kann.

Vegetative Dystonien, Blutdruckerhöhung und mentale Störungen wurden in verschiedenen Arbeiten in den Vordergrund gestellt [1, 10, 16, 18, 29]. Jedoch bestehen gegenüber der Möglichkeit von Fehlschlüssen infolge verschiedenartiger epidemiologischer Bias weiterhin fundierte Bedenken, wie sie zum Beispiel *Kryter* [21] formuliert hat. In der Tat gelang es auch in verschiedenen Erhebungen zu Industrielärm nicht, solche Zusammenhänge zu untermauern [14].

Im Laboratorium lassen sich beim Menschen verschiedenartige Aktivierungen des Vegetativums durch Lärm (Puls, Blutdruck, Hautwiderstand, EMG usw.) relativ leicht nachweisen [11, 13, 21]. Jedoch verschwinden solche Effekte bei repetitiver Lärmpräsentation relativ rasch und unterliegen damit dem Phänomen der Habituation [13]. Dies war bisher neben den ungeklärten epidemiologischen Bias ein zweites gewichtiges Argument für Zweifel an chronischen vegetativen oder mentalen Störungen als Lärmfolgen [21].

Tierversuche im Laboratorium erbrachten bisher eher eindeutigere Befunde als Untersuchungen am Menschen. Im Labor scheinen Ratten den Lärm als «subjektiv» aversiv zu empfinden, da sie lernen, ihn zu vermeiden [2, 17]. Chronischer, allerdings meist sehr starker Lärm führte auch bei Labortieren zu verschiedenartigen Störungen, insbesondere solchen der Blutdruckregulation [30]. Eine neueste, sorgfältige Studie mit mehrjährigem simuliertem Umweltlärm ergab bei Affen Hypertonie, welche die Belärmung überdauerte, ohne dass gleichzeitig auch Hörschäden aufgetreten wären [24].

Wild- und Nutztiere sind bisher nur relativ einseitig

untersucht worden. Die Ertragsleistung von Nutztieren (Milch, Fleisch, Eier) scheint durch Umweltlärm kaum beeinträchtigt zu sein. Wildtiere tummeln sich entlang den Pistenzonen von Flughäfen meist in ebenso grosser Zahl wie Vielfalt und scheinen dem Lärm wenig Beachtung zu schenken [12]. In beiden Fällen stehen aber physiologische Untersuchungen ebenso aus wie Längsschnittbeobachtungen an denselben Tieren.

Fragestellung

Die bei Mensch wie Tier offensichtlichen Unterschiede zwischen Labor- und Feldsituationen werfen viele Fragen auf. Die situationellen Bedingungen sind in der Feldsituation in hohem Grade offen und variabel. Im Labor versucht man sie nach Möglichkeit zu standardisieren. In einigen Arbeiten am Institut für Verhaltenswissenschaft der ETH-Zürich [3, 4, 6] wurde untersucht, ob sich unter Feldbedingungen der Lärmeffekt auf einige vegetative Messgrössen (Puls, Hautwiderstand, Atmung) bei chronisch lärmgewöhnten Probanden noch nachweisen lässt oder nicht. Aufgrund der bisherigen Laborversuche, insbesondere jener von *Glass* und *Singer* [13], wäre dies nicht zu erwarten.

Andererseits sind die Voraussetzungen für eine völlige Habituation in der Feldsituation weniger gegeben als in der Laborsituation. Habituation tritt um so eher ein, je monotoner eine Lärm-(oder andere)Belastung in Stärke, Dauer und zeitlicher Abfolge ist. Die geringen Belästigungseffekte von Eisenbahnlärm und Berichte über nächtliches Aufwachen, wenn der übliche Zug ausbleibt, haben daher mehr als bloss anekdotische Bedeutung [22]. Fluglärm und Eisenbahnlärm dürften aber nahezu den entgegengesetzten Extremen der Skala von Regelmässigkeit zuzuordnen sein.

Habituation wird in der Feldsituation dadurch erschwert, dass die Lärmbelastungen mit den ständig wechselnden subjektiven wie externen Terminierungen der beruflichen und häuslichen Tätigkeiten kollidieren. Wenn zusätzlich die Lärmbelastung in zufälliger Art in bezug auf Stärke wie Zeitpunkt variiert, lässt sich ein Wechsel von Habituation und Dyshabituation erwarten, welcher der Vermutung von *Jansen* [18], dass Habituation höchstens partiell zu erwarten sei, recht geben könnte.

Vorgehen

Eine erste Stufe bestand in einer Feldbefragung an einem relativ kleinen Kollektiv von 132 Probanden aus der weiteren Region des Flughafens Kloten [5]. Diese lehnte sich methodisch eng an die vorausgegangene Grossstudie des Eidgenössischen Luftamtes an [15]. Anschliessend wurden diesem Kollektiv Probanden für die nachträglichen psychophysiologischen Heimregistrierungen entnommen.

¹ Prof. Dr. med. Karl Bättig, Eidgenössische Technische Hochschule, Institut für Verhaltenswissenschaft, Abt. Verhaltensbiologie, Turnerstrasse 1, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Für die rund eine Stunde dauernden Heimregistrierungen wurden die Verkehrsspitzenzeiten des Flughafens gewählt. Ein Mikrophon stand auf dem Sims des geöffneten Fensters des Wohnraumes. Die Versuchsperson wurde mit einem Atemgürtel und Elektroden zur Erfassung des Hautwiderstandes und EKGs versehen. Die eine Spur des Tonbandes diente dann der laufenden Registrierung des dBD-Pegels und der physiologischen Signale in digitalisierter Form (PCM-Modulation), während auf der anderen Spur der laufende Ton (Geräusche und Konversation) aufgezeichnet wurde.

Um Aufschlüsse über die Wechselwirkungen zwischen Beschallung und Tätigkeit der Probanden auf deren physiologischen Verhalten zu gewinnen, erhielten die Probanden für die Dauer der Messsitzungen ein Beschäftigungsprogramm. Die Instruktionen dazu wurden laufend während des Experiments gegeben. Dieses Programm umfasste das Ausfüllen von Formularen, selektives Buchstabenankreuzen (d-2-Test) als Konzentrationsaufgabe, skalierte laufende Beurteilung der Lästigkeit des Schallpegels und Relaxation. Formularausfüllen und Lärmskalometrie wurden auf je zwei Phasen, die übrigen Aktivitäten auf je drei Phasen pro Messsitzung verteilt.

Auf diese Weise blieb der Grad der Standardisierung der situationellen Bedingungen wie auch des zeitlichen Ablaufes der Messungen relativ bescheiden und verlangte ein entsprechendes Vorgehen bei der statistischen Analyse.

Diese erfolgte dementsprechend strikte intraindividuell statt interindividuell, wie dies in Laboruntersuchungen üblicherweise geschieht. Jede Messsitzung wurde zuerst in alle aufeinanderfolgenden 20 Sekunden [4, 6] bzw. 10 Sekunden [3] eingeteilt. Dann wurden jedem dieser Abschnitte für die nachfolgende Auswertung die situationelle Charakteristik (Art der Beschäftigung, Fluglärm, unvorhergesehene externe Störungen, wie durch Kinder, Telefon usw.) zugeordnet und die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen der drei physiologischen Messungen und des Schallpegels berechnet. Die so entstandenen je rund 200–400 Datenpakete dienten dann als Grundlage der nachfolgenden intraindividuellen Statistik. Diese begann mit der Kategorisierung aller Datenpakete mit der Clusteranalyse. Dann folgte die Prüfung eventueller Verschiebungen der Clusterverteilung durch Tätigkeit und externe Einflüsse (Chi²-Methode). Anschliessende Korrelationsberechnungen (Kendall) dienten dem Test für Zusammenhänge zwischen Schallpegel und physiologischen Variablen. Schliesslich wurden Regressionsanalysen zur Erfassung linearer Zeittrends und Autokorrelation zur Erfassung eventueller zyklischer Trends ausgeführt. Alle diese Analysen erfolgten für jeden Probanden sowohl global wie gesondert für einzelne Variablen und Phasenabschnitte der Messsitzungen.

Das Kollektiv und die Befragungsergebnisse

Die als Vorstudie durchgeführte Befragung von 132

| NNI | 30–39 | 40–44 | 45–49 | 50–54 | 55–60 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Belästigung (skaliert 0–10) | 5,6 | 5,5 | 6,2 | 7,8 | 6,9 |
| Gestörte Tätigkeiten (11 Items) | 3,5 | 4,8 | 5,1 | 6,5 | 7,2 |
| Diskomfort (6 Items) | 1,8 | 2,3 | 2,5 | 3,3 | 3,8 |
| Inkonvenienz (6 Items) | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,4 | 2,9 |

Tab. 1. Subjektive Beeinträchtigungen für Zonen unterschiedlicher NNI-Belastung [5]

Probanden [5] ergab trotz der Kleinheit des Kollektivs eine erstaunlich gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen internationaler und viel umfangreicher Erhebungen [8, 9, 19, 22, 25, 26].

Über die fünf Stufen physikalischer Belastung hinweg nahmen die Beeinträchtigungen verschiedener Art in annähernd stetiger Art zu, wie die *Tabelle 1* zeigt. «Belästigung» wurde «global» erfasst, indem die Probanden diese auf einer bis «10» reichenden Skala eintrugen. «Gestörte Tätigkeiten» umfasste eine Liste von 11 Tätigkeiten gemäss internationalen Normen [5]. «Diskomfort» umfasste 6 Fragen, die als Mass der Komforteinbusse (wie z. B. selteneres Fensteröffnen) verstanden werden können, und «Inkonvenienz» 6 weitere Fragen, die als Reduktion des residentiellen Wertes und Prestiges der Wohnlage aufgefasst werden können [5]. Diese insgesamt 24 Fragen ergaben auch innerhalb der insgesamt rund 400 Fragen der Studie (inklusive Persönlichkeitstests) die deutlichsten statistischen Beziehungen zu den jeweiligen Lärmzonenwerten in NNI (noise and number index).

Die Ähnlichkeit dieser Mittelwerte mit jenen anderer Untersuchungen ist um so bemerkenswerter, als das befragte Kollektiv im Gegensatz zu den anderen Studien einen besonders hohen Sozial- und Bildungsstand aufwies (> 50% höhere Schulbildung HTL oder Universität und entsprechende Einkommen).

Ausser dem hohen Sozialniveau bestand als einziger weiterer Unterschied von Bedeutung die Tatsache relativ häufiger «externer adaptiver Reaktionen» (Klagen bei Behörden, aktiver Schallschutz usw.).

Die nachträglich diesem Kollektiv entnommenen 33 Probanden für die erste Serie von psychophysiologischen Messungen [6] und die 16 Probanden der zweiten Serie [3] wurden so ausgewählt, dass sie für alle Kriterien der *Tabelle 1* die gleichen Mittelwerte und Standardabweichungen aufwiesen wie das Grundkollektiv. In bezug auf die Stärke der Belästigung entstammten die Probanden der ersten Serie zum grössten Teil den Zonen von mehr als 40 NNI, jene der zweiten Serie zum grössten Teil der Zone von 30 bis 39 NNI.

Eines der auffallendsten Ergebnisse bei den Sitzungen war die zum Teil erhebliche Diskrepanz zwischen dem jeweiligen Lärmzonenwert (NNI) und der während der zirka einstündigen Messung tatsächlich gemessene-

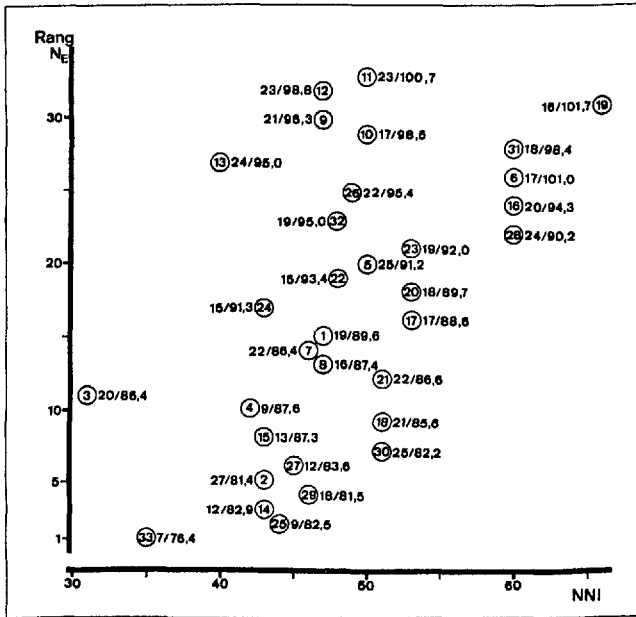


Abb. 1. Die Abszisse zeigt die gemittelte Lärmbelastung in NNI gemäss den offiziellen Angaben. Die Ordinate zeigt die Lärmbelastung während der Messungen selber in N_c -Einheiten. Diese Einheiten wurden erhalten, indem die Zahl der Überflüge mit Faktoren multipliziert wurde, die für grössere Schallpegel sukzessive grösser wurden. Die Zahlen in den Kreisen identifizieren die Probanden, die erste folgende Zahl gibt die Anzahl Überflüge wieder und die letzte Zahl den Schallpegel in dBD als Mittel aller Überflüge.

nen Belärmung. Die Abbildung 1 zeigt diesen Vergleich für das erste Teilkollektiv von 33 Personen. Obwohl die Beziehung zwischen beiden Grössen die Signifikanz noch erreichte, ist sie doch auffallend schwach. Dies bedeutet, dass die Lärmbelastung innerhalb der einzelnen Lärmzonen stark fluktuiert.

Die statistische Globalanalyse

Die individuelle Prüfung, ob mit Fluglärm, Zufallslärm oder mit den verschiedenen Tätigkeiten signifikante Verschiebungen der Clusterzugehörigkeit der zugehörigen Zeitabschnitte auftreten oder nicht, ist nichts anderes als ein grober Test, ob solche Geschehnisse im komplexen polygraphischen Kurvenbild «Spuren hinterlassen» haben oder nicht, und zwar ohne auszusagen, welcher Art diese Spuren sind. Das war gemäss der Tabelle 2 im Fall der verschiedenen Tätigkeiten für nahezu ausnahmslos alle Probanden beider Versuchsserien in der Mehrzahl der separaten Vergleiche der Fall. Dieses Resultat war zu erwarten und stellt demnach eine Validierung des Verfahrens dar. Überfliegungen und Zufallslärm taten dasselbe bei zirka der Hälfte der Versuchspersonen, am häufigsten beim EKG und beim elektrischen Hautwiderstand.

Auffallend an den lärmbedingten Clusterverschiebungen war der hohe Grad interindividueller Varianz, wie sie auch im Laborversuch [11] schon früh beobachtet wurde. Je nach Proband war bloss der eine oder andere oder mehrere der physiologischen Parameter

betroffen. Insgesamt ist auch festzuhalten, dass die Lärmeffekte seltener waren als die zu erwartenden Effekte der verschiedenen Beschäftigungen.

Die Abhängigkeit der physiologischen Lärmeffekte von der Schallintensität

Nach der Feststellung lärmbedingter Clusterverschiebungen war die nächstliegende Frage die, ob und wie diese Effekte mit der jeweiligen Lärmintensität quantitativ gekoppelt seien. Die dazu durchgeführte Analyse erfolgte wiederum intraindividuell und bestand in der Prüfung allfälliger Korrelationen (Kendall) zwischen den dBD-Mittelwerten und den physiologischen Mittelwerten der als Basis verwendeten 10 bzw. 20 Sekundenabschnitte. Diese Analysen erfolgten wiederum sowohl über die ganzen Messsitzungen hinweg wie separat für Abschnitte einzelner Tätigkeiten der Probanden. Entsprechend der grösseren Trennschärfe dieses Verfahrens waren mehr Signifikanzen zu erwarten als mit der Clusteranalyse. Dies zeigt auch die Tabelle 3. Gemäss dieser Tabelle traten schallpegelabhängige Veränderungen für die eine oder andere der Variablen oder Testphasen bei 46 der 49 Probanden auf. Ferner waren diese Korrelationen nahezu ausnahmslos positiv. Dies bedeutet, dass Lärm den vegetativen Tonus in der ergotropen bzw. sympathicotonen Richtung der erhöhten Anspannung veränderte. Die Anzahl der Probanden mit pegelabhängigen Veränderungen unterschied sich signifikant zwischen den verschiedenen Aktivitätsphasen der Messsitzungen. Während des Konzentrationstests geschah dies bei mehr Probanden als während der skalometrischen Lästigkeitsbeurteilung, und während dieser häufiger als während der Entspannungsphasen (χ^2 je $p < 0,05$).

In einzelnen Fällen traten auch signifikante Clusterverschiebungen auf, ohne dass korrelativ gesicherte Pegelabhängigkeiten vorhanden waren. Das bedeutet, dass in diesen Fällen der physiologische Effekt mit steigendem Schallpegel nicht linear, sondern sprungweise auftrat. Derart «unlogische» Effekte sind dort zu erwarten, wo momentane Beschäftigungen das Lärm-

| Phase | a) EKG | b) Hautwiderstand | c) Atmung | a), b), c) kombiniert | Mindestens eine Signifikanz |
|--------------------|--------|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|
| Formularausfüllen | 41 | 24 | 30 | 42 | 49 |
| Lärm-Skalometrie | 42 | 20 | 29 | 45 | 49 |
| Konzentrationstest | 42 | 23 | 32 | 48 | 49 |
| Konversation | 38 | 46 | 45 | 49 | 49 |
| Entspannung | 39 | 38 | 33 | 45 | 48 |
| Zufallsstörung | 6 | 10 | 1 | 7 | 20 |
| Überfliegung | 12 | 14 | 7 | 17 | 27 |

Tab. 2. Anzahl Versuchspersonen ($N = 49$) mit signifikanten Clusterverschiebungen ($p < 0,05$) durch Beschäftigungsart und Lärmstörung (χ^2 $p < 0,05$ Nullhypothese = Vergleich der jeweiligen Phase mit allen übrigen Phasen)

| | Konzentrations-test | Skalometrie | Entspannung | Alle Phasen kombiniert | Total* |
|-----------------------|---------------------|-------------|-------------|------------------------|--------|
| HK-Amplitude (r) | 11 | 8 | 8 | 22 | 31 |
| HK-Frequenz (r) | 13 | 7 | 5 | 17 | 28 |
| HK-(nur Cluster) | 3 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| Pulsfrequenz (r) | 17 | 21 | 10 | 22 | 27 |
| Pulsvarianz (r) | 15 | 8 | 1 | 13 | 25 |
| Puls (nur Cluster) | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Atmung-Amplitude (r) | 11 | 11 | 5 | 14 | 26 |
| Atmung-Varianz (r) | 11 | 5 | 4 | 12 | 22 |
| Atmung (nur Cluster) | 3 | 0 | 6 | 4 | 4 |
| Total (r) * | 40 | 32 | 23 | 35 | 46 |
| Total (nur Cluster) * | 7 | 2 | 10 | 4 | 1 |

Tab. 3. Anzahl Versuchspersonen (N = 49) mit signifikant (p < 0,05) monotonem Schalleffekt (Kendall und evtl. Cluster) und mit nichtmonotonem (nur Cluster) Schalleffekt auf verschiedene physiologische Variablen (* exkl. Doppelzählungen)

empfinden akzentuieren oder abschwächen können. Interessanterweise geschah dies am seltensten während der Phasen der Lästigkeitsskalierung, in welchen sich die Probanden auf nichts anderes als den Lärm selber zu konzentrieren hatten (Chi² Skalometrie vs Konzentrationstest, oder Entspannung je < 0,05). Wenig ergiebig war dagegen die Auswertung der Lästigkeitsskalierung selber. Die verschiedenen korrelativen Berechnungen zeigten, dass die subjektiven Skalierungen auffallend stark mit dem Lärmpegel korrelierten. Demnach ist anzunehmen, dass die Probanden eher den Lärmpegel als die Lästigkeit skalierten. Somit dürfen auch den erhaltenen Beziehungen zwischen diesen Lästigkeitsaussagen und den physiologischen Veränderungen keine spezielle Bedeutung zugemessen werden.

Lärmzonen und Klagereaktivität

Zwischen dem NNI-Wert der jeweiligen Lärmzone jedes Probanden und den ermittelten physiologischen Reaktionen während der Messsitzung konnte keine Beziehung irgendwelcher Art aufgedeckt werden. Dieser negative Befund musste vor allem aus zwei Gründen nicht überraschen. Der wichtigere ist wohl der, dass die Korrelation zwischen Lärmzonenwert und der Belärmungsstärke während der Sitzung selber auffallend schwach war, wie bereits die *Abbildung 1* gezeigt hatte. Der zweite Grund ist methodischer Art und darin zu sehen, dass das ganze Versuchsschema auf eine strikte intraindividuelle Auswertung ausgelegt war, womit die Voraussetzung einer genügenden Standardisierung für interindividuelle Analysen nicht mehr gegeben war. Dieselben Gründe dürften auch dafür verantwortlich sein, dass Beziehungen zwischen der Stärke der physiologischen Reaktion und der individuellen Klagereaktivität in der um einige Monate vorangegangenen Befragungsstudie ebenfalls fehlten. Diese

in der vorangegangenen Befragungsstudie ermittelten Klagereaktivitäten stellten nichts anderes dar als eine Einteilung der Probanden in «Hyporeaktoren», «Normoreaktoren» und «Hyperreaktoren» gemessen an der für jede Lärmzone ermittelten durchschnittlichen Klagereaktivität (subjektive Belästigung, Störungen, Discomfort und Inkonvenienz).

Habituation

In beiden Messserien [3, 6] wurden separat je die erste und die zweite Hälfte der Messsitzungen miteinander verglichen, um zu sehen, inwieweit lärmbedingte Clusterverschiebungen in unterschiedlicher Zahl vorliegen könnten. Dabei traten keine nennenswerten Unterschiede zutage.

Die zweite Messserie erlaubte dank der vergrösserten Zahl von Datenblöcken (10 Sekunden statt 20 Sekunden Länge) die Anwendung von Zeittrendanalysen für separate Tätigkeiten. Die dieser Untersuchung [3] entnommene *Tabelle 4* zeigt das Resultat für die so ausgewerteten 16 Probanden. Gemäss diesen Zahlen «beruhigte» sich der Puls bei der Mehrzahl der Probanden sowohl über die aufeinanderfolgenden Lärmstösse hinweg wie auch im Verlaufe der Konzentrationsphasen und der Phasen der skalometrischen Lästigkeitsschätzung. Dies weist darauf hin, dass die ungewohnte Situation für die Probanden zu Beginn eine erhöhte Kreislaufanspannung bedeutete, die im Verlauf der rund einstündigen Sitzung sukzessive abnahm. Für die übrigen Variablen ausser dem Puls traten solche Zeittrends viel seltener auf. Dies dürfte auch den Grund darstellen, warum insgesamt die mit der Clusteranalyse ermittelten Globaleffekte des Lärms sich zwischen den beiden Testhälften nicht unterschieden. Die weitere Überprüfung des Datenmaterials mit der Methode von Autokorrelationen ergab ferner auch keine Hinweise auf irgendwelche zyklischen Trends.

Diskussion

Der Hauptbefund dieser Untersuchungen besteht zweifellos im Nachweis, dass Fluglärm unter Feldbedingungen physiologische Aktivierungen bei jahrelang

| | Fluglärm | | Skalometer | | Konzentration | | Konversation | | Entspannen | |
|------------------|----------|----|------------|----|---------------|----|--------------|----|------------|---|
| | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + |
| HK-Amplitude | 6 | 0 | 5 | 1 | 8 | 1 | 2 | 2 | 4 | 0 |
| HK-Frequenz | 3 | 0 | 3 | 2 | 4 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| Pulsfrequenz | 12 | 1 | 11 | 1 | 10 | 0 | 5 | 1 | 6 | 0 |
| Pulsvarianz | 1 | 8 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 7 | 0 | 2 |
| Atmung-Amplitude | 1 | 7 | 3 | 6 | 1 | 7 | 1 | 6 | 2 | 5 |
| Atmung-Varianz | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 1 |
| Total (max. 96) | 25 | 18 | 26 | 13 | 23 | 12 | 9 | 22 | 14 | 8 |

Tab. 4. Anzahl Versuchspersonen mit signifikanten zeitlichen Trends für verschiedene Variablen und Testphasen (+ = Zunahme, - = Abnahme, p < 0,05)

dem gleichen Lärm ausgesetzten Probanden immer noch auszulösen vermag. Dies könnte als Bestätigung der Vermutung von *Jansen* [18] angesehen werden, wonach bei Umweltlärm die Habituation unvollständig bleiben könnte. Ein naheliegender Grund für eine bloss partielle Habituation könnte in der Unregelmäßigkeit vermutet werden, mit welcher Fluglärm und zum Teil auch anderer Umweltlärm im zeitlichen Ablauf wie im Frequenz-Intensitätsmuster auftritt.

Neben der Hypothese der unvollständigen Habituation muss auch jene einer Dyshabituation durch die experimentellen Bedingungen in Betracht gezogen werden. Dyshabituation ist immer dann zu erwarten, wenn zu einer gewöhnten, habituierten Reizung eine ungewohnte Veränderung des Reizhintergrundes hinzutritt, wie das in unseren Versuchen mit den am Probanden befestigten Elektroden, den aufgestellten Geräten und der Anwesenheit von zwei Experimentatoren der Fall war. Dyshabituationen sind in der Regel flüchtig und schwach, wenn die primäre Habituation stark war. Fasst man die in diesen Experimenten gesehenen physiologischen Aktivierungen als Dyshabituationen auf, so müsste man aufgrund ihrer Stärke und Resistenz wiederum annehmen, dass die primäre Habituation kaum vollständig war. Ebenso bliebe anzunehmen, dass andere Veränderungen des Reizhintergrundes, wie sie das tägliche Leben in nicht antizipierbarer Weise mit sich bringt, ähnliche Dyshabituationen auslösen kann. In diesem Sinne kann man die beiden Konzepte «unvollständige Habituation» oder «leichte Dyshabituiierbarkeit» als überschneidend betrachten.

Auffallend an den Resultaten war die grosse interindividuelle Varianz der Stärke wie der Art der Reaktion. Da dies auch in Laborversuchen [11] der Fall ist, dürfte für die vorliegenden Befunde der geringe Grad der Standardisierung höchstens eine Teilursache der Varianzbreite dargestellt haben. Die fehlende Beziehung der festgestellten physiologischen Reaktionen zur Lärmzonenbelastung in NNI und zur Klagereaktivität in den vorangegangenen Befragungen kann ebenfalls nicht überraschen, da die Belärmung während der Messungen erheblich von den als Jahresmittel berechneten NNI-Werten abwich. NNI-Werte und Befragungsergebnisse stellen langfristig gemittelte Zustände und Einstellungen dar, während von der physiologischen Messung nicht mehr als eine «Momentaufnahme» erwartet werden kann.

Das unterschiedliche Auftreten von physiologischen Lärmeffekten je nach momentaner Tätigkeit unterstreicht die leichte Dyshabituiierbarkeit der offenbar nur unvollständigen Habituation. Die Tatsache, dass während der Konzentration auf den Lärm in den Phasen der Lästigkeitsskalierung fast nur noch pegelabhängige Effekte auftraten, spricht zusätzlich für die Bedeutung kognitiver Moderatoren für die Lärmreaktionen, wie sie auch in anderen Studien zutage traten [23, 27].

Als wichtigster Punkt verbleibt die Frage, ob die vorliegenden Befunde ein Indiz zu möglichen chroni-

schon körperlichen Gesundheitsbeeinträchtigungen darstellen könnten. Eine grosse Zahl von Experimenten, insbesondere an Tieren, hat *Seligman* zu dem heute weit beachteten verhaltensmedizinischen Konzept der «erlernten Hilflosigkeit» [28] geführt, welches für die Lärmbelastung als hypothetisches Modell [10, 20] dienen könnte. Wenn Tiere repetitiv nicht vorhersehbaren und nicht vermeidbaren Belastungen ausgesetzt werden, entwickeln sie ein depressives und resignatives Verhalten, das zu chronischen vegetativen Störungen und Krankheiten führt. Zur Annahme einer solchen Kausalkette stellen die beobachteten physiologischen Lärmeffekte ein zusätzliches Glied in der allerdings noch sehr lückenhaften Beweisführung dar.

Literatur

- [1] *Abey-Wickrama, I., A'Brook, M. F., Gattoni, F. E. G., und Herridge, C. F.*, Mental hospital admissions and aircraft noise, *Lancet* 2, 1275–1277 (1969).
- [2] *Bättig, K.*, Der Aversivgehalt von Lärm bei der Ratte, *Z. Lärmbekämpfung* 13 (1), 26–29 (1969).
- [3] *Bättig, K., und Buzzi, R.*, Psychophysiologische Effekte von Lärm und Beschäftigung in der Heimsituation, *Z. exp. und angew. Psychol.* 28, 1–14 (1981).
- [4] *Bättig, K., Buzzi, R., Zeier, H., und Müller, R.*, Subjective and psychophysiological responses to aircraft noise, *Arh. hig. rada toksikol.* 30 Suppl., 1149–1164 (1979).
- [5] *Bättig, K., Zeier, H., und Müller, R.*, Felduntersuchungen zur psychovegetativen Lärmbelastung. 1. Teil. Soziopsychologische und epidemiologische Aspekte. Forschungsbericht Schweiz. Nat. Fonds Projekt Nr. 4.163-0.75, Institut für Verhaltenswissenschaft ETH Zürich, 1977.
- [6] *Bättig, K., Zeier, H., Müller, R., und Buzzi, R.*, A field study on vegetative effects of aircraft noise, *Arch. Environm. Health* 35, 228–235 (1980).
- [7] *Broadbent, D. E.*, The current state of noise research. Reply to Poulton, *Psychol. Bull.* 85, 1052–1067 (1978).
- [8] *Cederlöf, R., Jonsson, E., und Sörensen, S.*, On the influence of attitudes to the source on annoyance reactions to noise, *Nord. Hyg. Tidsk.* 48, 16–59 (1967).
- [9] *Coblenz, A., Alexandre, A., und Xydias, N.*, Enquête sur le bruit autour des aéroports. Centre d'Etudes et de Recherches d'Anthropologie appliquée, Doc. A. A. 16/67, Vol. 5, Juni, 1967.
- [10] *Cohen, S., Evans, G. W., Krantz, D. S., und Stokols, D.*, Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children, *Amer. Psychologist* 35, 231–243 (1980).
- [11] *Davis, R. C., Buchwald, A. M., und Frankmann, R. W.*, Autonomic and muscular responses, and their relation to simple stimuli, *Psycho. Monogr.* 69, Nr. 405, 1–71 (1955).
- [12] *Fletcher, J. L., und Busnel, R. G.*, Effects of noise on wildlife (Academic Press, New York 1978).
- [13] *Glass, C. D., und Singer, J. E.*, Urban stress: Experiments on noise and social stressors (Academic Press, New York 1972).
- [14] *Glorig, A.*, Non-auditory effects of noise exposure, *Sound and Vibration* 5, 28/29 (1971).
- [15] *Grandjean, E., Graf, P., Lauber, A., Meier, H. P., und Müller, R.*, A survey on aircraft noise in Switzerland (1971–1973). Int. Congress on Noise as a Public Health Problem, Dubrovnik, 13.–18. Mai, 1973.
- [16] *Guski, R.*, Psychosomatische Auswirkungen von Flugzeuggeräuschen. In: *Rohrman, B., Finke, H. O., Guski, R., Schümer, R., und Schümer-Kohrs, A.* (Hrsg.): *Fluglärm und seine Wirkung auf den Menschen* (Hans-Huber-Verlag, Bern 1978), 186–202.
- [17] *Halpern, M., und Lyon, M.*, The stability and control of conditioned noise aversion in the tilt cage, *J. Exp. Anal. Behav.* 9, 357–367 (1966).
- [18] *Jansen, G.*, Effects of noise on physiological state. In: *Ward,*

- W. D., and Fricke, J. E. (Hrsg.): Noise as a public health problem. American Speech and Hearing Association, Washington, D.C., 1969.
- [19] Kosten, C. W., de Swaan, G. W., Steenbergen, M. M., Falkenhagen, C. A. F., de Jonge, J. A. C., und van Os, G. J., Geluidhinder door vliegtuigen, T.N.O. Report, 1967, 1–119.
- [20] Krantz, D. S., Glass, D. C. und Snyder, M. L., Helplessness, stress level, and the coronary prone behavior pattern, *J. Exp. Soc. Psychol.* 10, 284–300 (1974).
- [21] Kryter, K. D., The effects of noise on man (Academic Press, New York 1970).
- [22] McKennell, A. C., Aircraft noise annoyance around London (Heathrow) Airport. A survey made in 1961 for the Wilson Committee on the problem of noise. Central Office of Information, SS. 337, April, 1963 (with appendixes).
- [23] Pennebaker, J. W., Burnam, M. A., Schaeffer, M. A., und Harper, D. C., Lack of controls as a determinant of perceived physical symptoms, *J. Personality and Social Psychol.* 35, 167–174 (1977).
- [24] Peterson, E. A., Augenstein, J. S., Tanis, D. C. and Augenstein, D. G., Noise raises blood pressure without impairing auditory sensitivity, *Science* 211, 1450–1452 (1981).
- [25] Robinson, D. W., Bosher, J. M., und Copeland, W. C., On judging the noise from aircraft in flight, *Acoustica* 13 (5), 324–336 (1963).
- [26] Rohrmann, B., Finke, H. O., Guski, R., Schümer, R., und Schümer-Kohrs, A., Fluglärm und seine Wirkung auf den Menschen (Hans-Huber-Verlag, Bern 1978).
- [27] Sauer, C., Kumpf, H., und Volkmann, A., Kognitive Moderatoren der Wirkung von Lärm, *Z. exp. und angew. Psychol.* 27, 120–134 (1980).
- [28] Seligman, M. P., Helplessness: On depression, development, and death (Freeman, San Francisco 1975).
- [29] Welch, B. L., Extra-auditory effects of industrial noise. Survey of foreign literature. Final Report. Wright-Patterson Air Force Base, Contract 16-BB-7, 1978.
- [30] Welch, B. L., und Welch, A. S. (Hrsg.), Physiological effects of noise (Plenum Press, New York 1970).

Zusammenfassung

Eine Übersicht mehrerer Felduntersuchungen zur Frage physiologischer Lärmefekte zeigt, dass, im Gegensatz zu Laborbedingungen, eine völlige physiologische Habituation an Fluglärm nicht eintritt. Diese Befunde werden als Erklärungsmöglichkeit für eventuelle chronisch vegetative Störungen und Krankheiten diskutiert.

Résumé – Effects neuro-végétatifs du bruit d'avions au niveau des habitations

Les résultats d'études effectuées in situ sur les effets physiologiques du bruit d'avions montrent que, contrairement à ce que l'on observe en laboratoire, il ne se produit pas d'accoutumance physiologique complète à ces nuisances. On discute ces résultats en tant qu'explication d'éventuels troubles végétatifs et maladies chroniques.

Summary – Vegetative Effects of Aircraft Noise in the Home Environment

A review of several earlier field studies on the psychovegetative effects of aircraft noise shows that physiological habituation, which is typically observed under laboratory conditions, remains incomplete under field conditions. These findings are discussed in terms of their explanatory value for possible chronic disturbances and illnesses due to environmental noise.

Importance du nombre d'événements et du niveau sonore maximum pour évaluer la gêne

R. Rylander¹

Introduction

Le bruit de la circulation, des avions, des trains et des industries constitue une nuisance importante pour les habitants des agglomérations urbaines ou proches des voies à grand trafic ou des aéroports.

Pour offrir à l'individu perturbé une protection satisfaisante, il faut avoir une connaissance aussi précise que possible de la relation dose-réponse. Dans cette présentation, je veux définir la réponse mesurée après exposition aux bruits de l'environnement et discuter les différents principes permettant d'exprimer la dose. J'utiliserai les données des études épidémiologiques faites pour évaluer les effets du bruit des avions, des trains et de la circulation.

Les effets du bruit sur l'homme

L'exposition au bruit peut provoquer soit des effets directs, sur le système auditif ou sur la communication, soit des effets indirects qui apparaissent après une interprétation consciente ou subconsciente de l'individu. En ce qui concerne les effets directs, des niveaux sonores rencontrés dans l'environnement général n'atteignent pas des valeurs provoquant une fatigue auditive ou une diminution de l'acuité. Par contre, les niveaux sont souvent assez élevés pour gêner la conversation – un autre effet direct très important.

Les effets indirects

Les effets indirects se manifestent par l'intermédiaire du système neuro-végétatif. Pour mieux comprendre la relation entre l'exposition et l'effet, on peut utiliser le schéma présenté sur la figure 1.

L'énergie sonore qui atteint les récepteurs auditifs est enregistrée comme signal électrique par les nerfs. Selon les caractéristiques de la réaction nerveuse, la

¹ Ragnar Rylander, Unité de médecine de l'environnement, Institut de médecine sociale et préventive, CH-1211 Genève 4. Department of Environmental Hygiene, University of Gothenburg, Sweden.