



Entwicklung von Geräuschklassen für IT-Produkte

G. Feneberg

**Forschung
Projekt F 2060**

G. Feneberg

**Entwicklung von
Geräuschklassen für IT-Produkte**

Dortmund/Berlin/Dresden 2012

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Geräuschemissionsklassen für Geräte der Büro-EDV“ – Projekt F 2060 – im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

Autor: Dipl.-Ing. Gregor Feneberg
Müller-BBM GmbH
Robert-Koch-Str. 11, 82152 Planegg/München
Telefon 089 891364-299
Gregor.Feneberg@bbm-testlab.de

Titelfoto: Uwe Völkner, Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln

Umschlaggestaltung: Rainer Klemm
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund
Telefon 0231 9071-0
Fax 0231 9071-2454
poststelle@baua.bund.de
www.baua.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40 – 42, 10317 Berlin
Telefon 030 51548-0
Fax 030 51548-4170

Dresden:
Fabricestr. 8, 01099 Dresden
Telefon 0351 5639-50
Fax 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	5
Abstract	6
1 Einführung	7
1.1 Geräte und Systeme der Büro-EDV und Kommunikationseinrichtungen	8
1.1.1 Teilschallquellen von Büro-EDV-Geräten	9
1.1.2 Geräuschcharakteristik von Büro-EDV-Geräten	10
1.1.3 Geräuschemission von Büro-EDV-Geräten	10
1.1.4 Aufstellbedingungen und raumakustische Einflüsse	11
2 Geräuschdeklaration von EDV-Geräten in der gegenwärtigen Praxis	13
2.1 Orientierende Überprüfung der Geräuschdeklaration	13
2.2 Marktrecherche an 123 Produkten	13
2.3 Beispiele für unterschiedliche Darstellungen der Schallemission in Webseiten	14
2.4 Deklarierte Schalleistungen nach ISO 9296	18
2.5 Zusammenfassung: derzeitige Deklarationspraxis	22
3 Normen für die Geräuschmessung von EDV-Geräten	23
3.1 Normen und Messverfahren zur Geräuschmessung	23
3.1.1 ISO 7779 bzw. ECMA-74	23
3.1.2 ISO 9296	25
3.1.3 Alternative Norm zur Messung der Tonhaltigkeit	25
3.1.4 Alternative Norm zur Messung der instationären Lautheit	26
3.2 Grenzen der gegenwärtigen Mess- und Deklarationspraxis	26
4 Konzeptvorschlag für Messungen und Emissionsklassen	28
5 Pilotstudie an verschiedenen EDV-Geräten	30
5.1 Auswahl der Geräte für die Pilotstudie	30
5.2 Subjektive Einschätzung der Lästigkeit	34
5.3 Schalleistungsmessung	36
5.4 Messung der Impulshaltigkeit nach DIN 45 631/A1	37
5.5 Messung der Tonhaltigkeit nach DIN 45 681	40
5.6 Gesamtergebnis: Overall Noise Level	43
5.7 Klasseneinteilung und individuelle Skalierung	44
5.8 Skalierung unter Berücksichtigung der Psychoakustik	46
5.9 Vergleich: subjektive Kategorisierung zum Bewertungsergebnis	47
6 Untersuchung an 12 Videoprojektoren	50
6.1 Subjektiver Hörvergleich	51
6.2 Schalleistungsmessung	53
6.3 Tonhaltigkeit nach DIN 45 681	56
6.4 Gesamtergebnis: Overall Noise Level	57

7	Diskussion und Ausblick	60
	Literaturverzeichnis	61

Entwicklung von Geräuschklassen für IT-Produkte

Kurzreferat

Im vorliegenden Projekt wird ein System für verschiedene IT-Produktgruppen erarbeitet, welches deren Geräuschemission vergleichbar wie bei den Energieverbrauchsklassen der Haushaltsgeräte in verschiedene Geräuschklassen überträgt.

Zwar existieren derzeit genormte und detailliert ausgeführte Vorschriften nach ISO 7779 bzw. ISO 9296 zur Messung und Deklaration der Geräuschaussendung von IT-Geräten, für den technischen Laien oder typischen Verbraucher sind diese Aussagen in der Praxis jedoch schwer bzw. gar nicht vergleichbar.

Die Zusammenführung der schon existierenden Messverfahren für die Geräuschemessung von IT-Geräten, mit einer Kategorisierung unter Berücksichtigung von psychoakustischen Messverfahren, nimmt einen Schwerpunkt der Untersuchung ein.

Um dieses Konzept hinsichtlich einer gehörrichtigen Bewertung zu überprüfen, wurde das Betriebsgeräusch von 12 Daten- und Videoprojektoren unter anderem in der Schalleistung und Tonhaltigkeit nach DIN 45 681 gemessen, ausgewertet und ergänzend einem Hörvergleich unterzogen.

Aus einer weiteren Voruntersuchung an IT-Geräten wie Druckern, Tastaturen, Scanner und Notebooks wurde neben dem Tonzuschlag ebenfalls die Impulshaltigkeit nach DIN 45 631/A1 durch die instationäre Lautheit mitgemessen und bewertet.

Aus diesen drei Teilmessungen

- Schalleistung nach ISO 7779,
- Tonzuschlag nach DIN 45 681,
- Impulszuschlag nach DIN 45 631/A1

wird nun der sogenannte „Overall Noise Level“ durch arithmetische Addition der Teilpegel gebildet. Dieses Resultat wird anschließend abhängig von der Produktgruppe unterschiedlich gewichtet und in 7 Geräuschklassen A–G überführt.

Auch bei einer hinsichtlich des Betriebsgeräuschs homogenen Produktgruppe wie Videoprojektoren weist die Schalleistung alleine eine schlechtere Korrelation hinsichtlich der Lästigkeit des Geräusches auf als unter Einbeziehung der Tonhaltigkeit. Aus diesen Untersuchungen wird hinsichtlich der späteren Klassifizierung und Bewertung für Qualitätsklassen empfohlen, neben der Messung der Schalleistung, die für Planer ein wichtiges Maß darstellt, auch psychoakustisch motivierte Messungen wie Tonhaltigkeit und instationäre Lautheit miteinzubeziehen.

Schlagwörter:

Geräuschklassen; ISO 7779; Messverfahren; Tonhaltigkeit

Development of noise categorisation classes for IT products

Abstract

In the present investigation a system to compare the noise emission of different IT product groups and products and classify them afterwards into noise classes, similar to the well known energy labelling for household appliances will be developed.

There are already standardised and detailed regulations like ISO 7779 or ISO 9296 available that show how to measure and declare these noise emissions, but for a technical inexperienced user or acoustical layperson, this information is unhelpful and often not comparable in practice.

The combination of the existing noise emission measurement methods with a categorization under consideration of psychoacoustic measurements represents a main part of this investigation.

To verify this concept of its proper aurally correspondence and ranking, 12 data and video projectors were measured and evaluated on the sound power and tonal adjustment according to DIN 45681 and were also checked by a hearing comparison in a panel test.

With an additional examination on different IT devices like printers, keyboards, scanners and notebooks, not only the tonal adjustment but also the impulsive adjustment according to DIN 45631/A1 were measured and evaluated.

From these three measurement parts

- Sound power according to ISO 7779
- Tonal adjustment according to DIN 45681
- Impulsive adjustment according to DIN 45631/A1

the “Overall Noise Level” will be gained by an arithmetic summation of the partial levels. This result will be weighted individually depending on the product group and will be transferred in one of the 7 noise categorisation classes A–G.

Even on a product group like video projectors with a quite homogeneous noise characteristic, regarding only the sound power as a single measurement in order to check the noise emission shows a worse correlation than with additionally using the tonal adjustment measuring.

In order to get meaningful and aurally correct results for the correct noise classification into different noise classes, the recommendation can be given to use the following measurement methods: the sound power as an important measurement result for planners, the psychoacoustic based metrics pitch strength and the impulsive strength.

Key words:

Noise categorisation classes; ISO 7779; measurement method; pitch strength

1 Einführung

An immer mehr Arbeitsplätzen werden Geräte für die Informationsverarbeitung und Kommunikation eingesetzt. Außerdem nehmen reine Büroarbeitsplätze in der Arbeitswelt eine zunehmend dominierende Position ein. Bei diesen Arbeitsplätzen ist im Sinne der einwirkenden Geräusche der Schutz vor hohen, gehörgefährdenden Schallen eher untergeordnet. Hingegen beeinträchtigen Betriebsgeräusche von Bürogeräten (siehe VDI 2058 Teil 3 - Beurteilungen von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten) die Konzentration und Leistungsfähigkeit der arbeitenden Menschen.

Einkäufer, Planer und Nutzer von Geräten der Büro-EDV haben bei der sehr umfangreichen Produktvielfalt der Geräte und Gerätegattungen und deren Aufstellung die Schwierigkeit, vergleichbare Aussagen hinsichtlich der Geräuschemission der Geräte zu finden und die unterschiedlichen technischen Messwerte zu interpretieren.

Grundsätzlich gibt es für die Messung und Deklaration des Betriebsgeräusches von Büro-, Telekommunikations- und IT-Geräten derzeit vor allem mit der ISO 7779 (Geräuschemissionsmessung an Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik) und der ISO 9296 basierend auf ECMA Standards sehr umfangreiche und anerkannte Messvorschriften.

Ausgehend von dieser Situation soll im Rahmen des Forschungsprojekts F 2060 ein System erarbeitet werden, welches die inzwischen bekannten und allgemein akzeptierten Energieverbrauchsklassen (A, B, C...) von Haushaltsgeräten wie Kühlschränke oder Wäschetrockner auf die Geräuschemission von Bürogeräten überträgt.

Dabei sollen unter Berücksichtigung bestehender Normen auch alternative Messgrößen für alle relevanten im Büro eingesetzten Geräte in Betracht gezogen werden. Es sollen verschiedene Konzepte diskutiert werden und auch die technische Innovation und Akzeptanz durch die Marktteilnehmer berücksichtigt werden.

Vorliegender Teil beschreibt die Schritte zur Entwicklung des Konzepts zur Deklaration der Emissionsklassen. Es werden zunächst ausgehend von einer Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Geräuschdeklaration von EDV-Geräten die darauf basierenden Normen vorgestellt und gegenübergestellt. Im nächsten Schritt werden alternative Normen und Messstandards aufgeführt und beschrieben. Darauf aufbauend wird das Konzept entwickelt. Dieses Konzept wird abschließend mit zwei unterschiedlichen Untersuchungen an verschiedenen Produktgruppen für die Eignung in der Praxis untersucht und verifiziert. Abschließend werden die Ergebnisse und das Konzept diskutiert und mit einem Ausblick verknüpft.

1.1 Geräte und Systeme der Büro-EDV und Kommunikationseinrichtungen

In modernen Büroarbeitsplätzen wird üblicherweise ein breites Spektrum an Geräten der Büro-EDV eingesetzt, die in unterschiedlichen Abständen zum Nutzer bzw. zu den Nachbararbeitsplätzen betrieben werden.

Beispiele hierfür sind:

- Computer/Notebooks mit Tastaturen – typischerweise mehr als 0,5 m Abstand zu Benutzern
- Drucker (Laser, Tintenstrahl, Nadel, Thermofolien) – ab 1 m Abstand
- Flachbettscanner – ab 1 m Abstand
- Datenprojektor (Beamer) – ab 1 m Abstand
- Faxgerät – ab 1 m Abstand
- Externe Festplatte – ab 0,5 m Abstand
- Telefon (Büro; stationär) – ab 0,5 m Abstand
- Telefon (schnurlos oder mobil) – ab 0,25 m Abstand

Hierbei ist kennzeichnend, dass es eine große Vielfalt von Kombinationen wie etwa Drucker/Scanner/Fax/Telefon Kombigeräte gibt. Auch der PC oder das Notebook übernimmt immer mehr die Funktion einer Kommunikationszentrale mit Zusatzfunktionen wie z. B. Telefonieren über VoIP (Voice over IP – Internet-Telefonie).

Es gibt aber auch eine Teilgruppe von EDV-Geräten, die sich in speziell dafür ausgelegten Räumen ohne dauerhafte Arbeitsplätze befinden. Beispiele sind Server-PCs, Workstations, Speichergeräte und Großformatdrucker. Diese stellen vereinzelt hohe Anforderungen an die Kühlung und weisen relativ hohe Betriebsgeräusche durch leistungsfähige Lüfter auf.

1.1.1 Teilschallquellen von Büro-EDV-Geräten

Unter der Bezeichnung Büro-EDV-Geräte wird eine breite Anzahl von Produktgruppen gerechnet, die sich durch Einsatzzweck und hinsichtlich des Betriebsgeräuschs von mehreren Geräuschquellen teilweise stark unterscheiden.

Bei diesen unterschiedlichen Gerätegattungen setzt sich das jeweilige Gesamtgeräusch aus folgenden – grob skizzierten – Teilschallquellen zusammen:

Tab. 1.1 Teilschallquellen ausgewählter Büro-EDV-Gerätegattungen

Geräusche verursachende Komponenten	Lüfter	Druckwerk	Lautsprecher für Signalisierungen	Motor/ Lesekopf	Betriebsgeräusch durch Bedienung (Tippen)
Beamer	x				
Computer	x		x	x	x
externe Festplatte				x	
Faxgerät	x	x	x		
Laserdrucker	x	x			
Multifunktionsgeräte (Druck-Scan-Fax)	x	x	x	x	
Notebook	x		x	x	x
Scanner				x	
Schnurloses Telefon / Mobiltelefon			x		
Telefon (kabelgebunden)			x		
Tintenstrahldrucker		x			

Insbesondere bei den Lautsprechern sowie bei dem durch den Nutzer verursachten Betriebsgeräusch durch manuelle Eingabe in die Tastaturen herrscht eine hohe Variation des Geräuschpegels. Aus diesem Grund werden in der ISO 7779 Telefone, bei denen die Ruftöne („Achtung-Signale“) in weiten Bereichen verändert werden können, in der minimal einstellbaren Lautstärke betrieben. Bei der Messung von Tastaturgeräuschen schlägt die ISO 7779 einen Schreib-Roboter vor.

Zu beachten ist, dass nahezu alle Kommunikations-Geräte wie Telefone vom Nutzer „stummgeschaltet“ werden können, und somit keinerlei Geräuschemissionen verursachen. Dies entspricht jedoch nicht dem typischen Anwendungsprofil und wäre hinsichtlich der Geräuschbelastung von Nachbararbeitsplätzen nicht korrekt.

Eine weitere Teilschallquelle könnte durch den von den Körperschalleinleitungen verursachten sekundären Luftschall durch beispielsweise externe Festplatten herühren. Dieser sekundäre Luftschallpegel wird jedoch im Rahmen der Schalleistungsmessungen mit gemessen, da die Geräte auf einer definierten Prüffläche aufgestellt werden.

1.1.2 Geräuschcharakteristik von Büro-EDV-Geräten

Ein weiterer bedeutender Aspekt zu der Geräuschcharakteristik sind die unterschiedlichen zeitlichen und spektralen Besonderheiten der Betriebsgeräusche von Büro-EDV-Geräten. Dieser Aspekt wird in der folgenden tabellarischen Aufstellung schematisch skizziert:

„1“ bedeutet hierbei eine schwache, „3“ bedeutet eine starke Ausprägung der jeweiligen Geräuschcharakteristik.

Tab. 1.2 Ausprägung der Betriebsgeräuschcharakteristik ausgewählter Büro-EDV-Gerätegattungen

Betriebsgeräusch- charakteristik 1=schwach ausgeprägt, 3= stark ausgeprägt	Stationär	Instationär	Breitbandig	Tonal	Impulshaltig	durch den Benutzer definierbar
Beamer	3	2	3	1	1	1
Computer	3	2	3	1	1	1
externe Festplatte	2	2	2	2	2	1
Faxgerät	2	2	2	2	2	2
Laserdrucker	2	2	2	2	2	2
Multifunktionsgeräte (Druck-Scan-Fax)	2	2	2	2	2	2
Notebook	3	2	3	2	2	1
Scanner	1	2	2	3	2	2
Schnurloses Telefon / Mobiltelefon	1	3	1	3	3	3
Telefon (kabelgebunden)	1	3	1	3	3	3
Tintenstrahldrucker	2	2	2	2	2	2

Insbesondere bei Druckern, Scannern und Telefonen wechseln die Betriebszustände stark, ausgehend von der vom Nutzer geforderten Aufgabe an die Geräte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich hinsichtlich der Betriebsgeräusche die Büro-EDV-Geräte stark aufgrund des Einsatzgebietes, des typischen Benutzungsabstandes zum Anwender und der Geräuschart und Geräuschcharakteristik unterscheiden. Diese Vielfalt an Einflüssen sollte bei der Erstellung eines universellen Geräuschklassifizierungssystems mit beachtet werden.

1.1.3 Geräuschemission von Büro-EDV-Geräten

Typische Geräuschemissionen von Büro-EDV-Geräten liegen im Vergleich zur Lärmbelastung bisher häufig untersuchter Arbeitsstätten in einem Bereich, in dem das Gehör durch dauerhafte Beschallung keinen Schaden nimmt. Herkömmliche Gehörschutzmaßnahmen wie Kapselgehörschützer für die Arbeiter oder Einhausungen für die Produkte sind deshalb nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Dennoch liegen die Geräuschemissionen häufig in dem Bereich, in dem insbesondere für geistig anstrengende Tätigkeiten Beeinflussungen und Störungen in der Arbeitssituation zu erwarten sind. Aus diesem Grund ist es Planern und Einkäufern von

Büro-EDV-Geräten nicht nur aus Komfortgründen anzuraten, möglichst schallarme Produkte zu verwenden.

Es gibt derzeit eine Reihe von Normen, die die Geräuschemessungen und die Deklarationen von Büro-EDV-Geräten detailliert beschreiben. Dennoch werden in der Praxis – wie in der Untersuchung noch detailliert aufgeführt – diese Deklarationen lückenhaft gehandhabt.

Durch den großen Erfolg der Klassifizierung des Energieverbrauchs von Haushaltsgeräten wie Kühlschränke, Waschmaschinen und Wäschetrockner bietet es sich an, ein hinsichtlich der Geräuschemission ähnliches Konzept für die EDV-Geräte zu untersuchen. Innerhalb weniger Jahre wurden die Energieklassifizierungen A bis G bei Haushaltsgeräten bei Herstellern wie Verbrauchern bekannt und problemlos angewandt. An nahezu jedem im Handel angebotenen Gerät befindet sich das Energielabel mit der betreffenden Kategorie. Wie längere Untersuchungen gezeigt haben, hat die Einführung und Verwendung des Labels sogar einen positiven Effekt auf die verstärkte Entwicklung energieärmerer Geräte. Eine hierbei negative Folge ist, dass immer mehr Geräte in die energieeffizienteste Kategorie „A“ wandern und hierbei keine echte Unterscheidbarkeit gewährleistet wird. Aus diesem Grund wurden weitere Klassen „A+“ und „A++“ eingeführt, um eine Spreizung der Ergebnisse zu erzielen. Leider führt dies zu inkonsistenten Ergebnissen in Hinblick auf ältere Untersuchungen sowie zu Verwirrung der Verbraucher.

Ein wichtiges Ziel sollte es demnach sein, diese eventuell später durch den technischen Fortschritt nötige Anpassung der Bewertungskategorien und Grenzen vorwegzunehmen. Eine Geräuschemissionsklasse „A“ sollte daher nur Geräten mit kaum oder nicht hörbarem Betriebsgeräusch vorbehalten werden. Hinsichtlich der Büroarbeitsplätze können störende Empfindungen von Betriebsgeräuschen von Geräten in sehr ruhiger Umgebung aber schon knapp oberhalb der Hörschwelle auftreten. Dies betrifft beispielsweise bei sehr leisen Computern die Festplatten-Zugriffsgerausche oder Zugriffe auf andere Datenträger wie DVDs. Hier sind hinsichtlich der Störgeräuschpegel der Prüfräume sehr hohe Anforderungen zu stellen.

1.1.4 Aufstellbedingungen und raumakustische Einflüsse

Bei Büroarbeitsplätzen ist im Sinne der nachfolgenden akustischen Randbedingungen zwischen mehreren Faktoren zu unterscheiden:

- Ein- oder Zweipersonen-/Zellenbüro
- Großraumbüro
- Gruppenbüro
- Kombibüro
- Besprechungsräume

Anders als die beispielsweise in Produktionsstätten mögliche Schädigungswirkung auf das Innenohr bei Beurteilungspegeln über 85 dB treten bei niedrigeren Schallpegeln physische und psychische Wirkungen (extraaurale Reaktionen) bei Menschen auf, die sich in einer Zunahme der Belästigung, der Störung der Sprachkommunikation und in einer Verringerung der Leistungsfähigkeit oder Wachheit zeigen.

Laut einer Schweizer Studie (SbiB) im April 2010 gilt Lärm als primärer Störfaktor im Büro, der die Leistungsfähigkeit senkt und auf Dauer krank macht. Gemäß einer Studie der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt Suva (siehe Broschüre „Belästigender Lärm am Arbeitsplatz“, Nov. 2006) treten Belästigungen schon bei sehr niedrigen Schallpegeln ab 30 dB(A) am Arbeitsplatz auf. Bei Tätigkeiten der Gruppe 3 (überwiegend geistige Tätigkeiten, die eine hohe Konzentration verlangen) gilt als Richtwert ein Lärmexpositionspegel L_{EX} von weniger als 40 dB(A) (erhöhte Anforderungen).

Die Geräuschimmission in büroähnlicher Umgebung setzt sich im Wesentlichen aus Beiträgen folgender Schallquellen zusammen:

- Betriebsgeräusche von Rechnern, Lüftern, Druckern
- Technische Kommunikationssignale von Telefonen, Faxgeräten
- Betriebsgeräusche von weiteren Geräten wie raumluftechnische Anlagen oder Kühlschränke
- Störgeräusche durch Unterhaltung von Kollegen und Mitarbeitern
- Hintergrundgeräusche von außen, wie Verkehrslärm, Baulärm oder haustechnische Anlagen

Die Innenraumakustik beeinflusst den Schallpegel der Störgeräusche durch unterschiedliche Absorptionseigenschaften der Wandauskleidungen. Weiterhin können ungünstige glatte Raumflächen wie Fenster oder Wandecken stark störende Reflexionen und Winkelspiegelungen hervorrufen. Und auch die Qualität der Schalldämmung zwischen Büros, Stockwerken, der Außenmauer und den Fenstern bestimmt nennenswert die Störgeräuschbelastung.

Die Nachhallzeit eines Büroraumes sollte etwa 0,5 Sekunden (Zeitdauer für die Schallpegelabnahme um 60 dB nach einem Schallereignis) betragen. Nach VDI 3760 sollte die Schallpegelabnahme im Nahbereich bei großen Büros mehr als 4 dB pro Abstandsverdoppelung und bei kleinen Büros mehr als 2 dB pro Abstandsverdoppelung betragen. Hinsichtlich der akustischen Gestaltung des Büros gibt die VDI 2569 den Richtwert von Äquivalenter Schallabsorptionsfläche [m^2] geteilt durch das Raumvolumen [m^3] mit 0,30 bis 0,35 m^{-1} . Schallschirme und absorbierende Decken tragen ebenfalls zu einer verbesserten Raumakustik bei.

2 Geräuschdeklaration von EDV-Geräten in der gegenwärtigen Praxis

2.1 Orientierende Überprüfung der Geräuschdeklaration

Eine zu Beginn der Untersuchung durchgeführte exemplarische Überprüfung der Werbeaussagen von 4 Herstellern aus dem Internet von vergleichbaren Laserdruckern ergab, dass es keinerlei Vergleichbarkeit der Aussagen untereinander gibt:

- Hersteller „A“:
Akustik: Beim Drucken (einseitiger Druck): Schalldruck, Benutzer (LpAm) 7) 57,7 dBA Schalldruck, Umgebung (LpAm) 7) 53,0 dBA Durchschnittlicher Schalldruck bei 1 m, deklariert 8) 54 dBA Durchschnittliche Schallleistung (LWAm), deklariert 8) 6,8 Bels (68 dB) Im Standby-Modus: Schalldruck, Benutzer (LpAm) 7) 31,2 dBA Schalldruck, Umgebung (LpAm) 7) 27,0 dBA Durchschnittlicher Schalldruck bei 1 m, deklariert 8) 30 dBA Durchschnittliche Schallleistung (LWAm), deklariert 8) 4,4 Bels (44 dB) Fußnote 7): Regeltypische Messungen basierend auf ISO 7779. Fußnote 8): Getestet in Übereinstimmung mit ISO 7779 und ausgewertet gemäß ISO 9296, Geräuschemission - Vereinbarte Geräuschemissionswerte für Rechner- und Geschäftseinrichtungen.
- Hersteller „B“:
Schallleistungspegel 6,6 B(A) (beim Druck), geräuschlos (in Bereitschaft). Schalldruckpegel 52 dB(A) (beim Druck – in der Umgebung); geräuschlos (in Bereitschaft) (Anmerkung: keine Fußnote bzw. Messstandard)
- Hersteller „C“:
keine akustische Deklarationen
- Hersteller „D“:
Geräuschemission im Stand-by-Modus ≤ 26 dB (A); im Schwarz-Weiß-Druck ≤ 52 dB (A). Es befindet sich keine Fußnote bzw. Messstandard bzw. Messabstand bei den Angaben.

2.2 Marktrecherche an 123 Produkten

Zu Beginn der Arbeiten wurde nun eine umfangreichere Internetrecherche hinsichtlich des Stands der Geräuschdeklaration verschiedener Gerätegruppen in der EDV durchgeführt. Die Geräte wurden gemäß ECMA-74 (10th Edition) kategorisiert. Es wurde folgende Anzahl von Geräten folgender Produktgruppen von 8 verschiedenen Herstellern herangezogen:

- 28 Computer/Workstations, ECMA-74 C.15:
- 37 Seitendrucker; Page Printer, ECMA-74 C.16
- 50 Multifunktionsgeräte; Multi-function Devices, ECMA-74 C.21
- 4 Magnetische Speichergeräte; Magnetic tape units, ECMA-74 C.8
- 4 Plattenspeichergeräte; Disk units/Storage sub-systems, ECMA-74 C.9

Die untersuchten Hersteller waren Brother (13 Produkte), Canon (29 Produkte), Dell (6 Produkte), Fujitsu (6 Produkte), HP (19 Produkte), IBM (28 Produkte), KonicaMinolta (15 Produkte) und Océ (7 Produkte). Insgesamt wurden die Daten von 123 Geräten aufgenommen. Alle diese Produkte boten die Zusatzinformationen des „Blauen Engel“, welcher die Geräuschdeklaration nach ISO 7779 bzw. ISO 9296 zugrunde legt, so dass für einen Vergleich die Messwerte herangezogen werden können.

Die Motivation der Untersuchung war einerseits, dass ein Überblick über die verschiedenen Methoden der Messung und Angabe der Geräuschdeklaration gewonnen wird. Weiterhin wurden die vergleichbaren Angaben (Druckbetrieb bei Druckern), die nach ISO 7779 gemessen wurden, gegenübergestellt, um eine Abschätzung der Spannbreite der Produktgruppe für die Kategorisierung zu erhalten.

Zum Dritten wurden alle Deklarationsbeispiele hinsichtlich der Darstellung aufgenommen, um einen Eindruck von der Gleichartigkeit gegenwärtiger Aussagen zum Betriebsgeräusch in Broschüren oder Webseiten der Produkthersteller zu gewinnen.

2.3 Beispiele für unterschiedliche Darstellungen der Schall-emission in Webseiten

Im Folgenden werden exemplarisch einige Deklarationen in den technischen Beschreibungen und Spezifikationen vorgestellt, die sich als typisch für die Darstellung beispielsweise auf Webseiten erweisen. Die ergänzenden Informationen hinsichtlich des Blauen Engels konnten nur durch Herunterladen eines weiteren pdf-Dokuments entnommen werden:

Schalldruckpegel	Druck: < 53 dB(A) In Bereitschaft: < 27 dB(A)
Schallleistung	Druck: LWAd: 6,7 Bell (A) In Bereitschaft: LWAd: 4,3 Bell (A)
Ökologie	Toner-Spar-Modus: Ja Power Save: Ja

Abb. 2.1 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräusch-emission eines Seitendruckers

Es fehlen alle Angaben über die zugrunde liegenden Messnormen sowie der Messabstand bei den Schalldruckpegeln. Die Einheit Bell ist zudem nicht korrekt geschrieben.

Stromversorgung (Standby)	1 W oder weniger
Betriebsumgebung	
Temperatur	15 bis 30 °C, Luftfeuchtigkeit: 10 bis 80 % (kondensationsfrei)
Geräuschentwicklung	
Schalldruck	Betrieb: 49 dB (A) oder weniger; Standby: 35 dB (A) oder weniger
Schallpegel	Betrieb: 6,3 Bel oder weniger
Bedienfeld	Großes LCD-Display: 160 x 128 Pixel, 12 Tasten, 6 LED
Auf Display angezeigte Sprache	US, Englisch

Abb. 2.2 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Großformatdruckers

Es fehlen alle Angaben über die zugrunde liegenden Messnormen sowie der Messabstand bei den Schalldruckpegeln. Die Beschreibung „Schalldruck“ für Schalldruckpegel bzw. „Schallpegel“ (für Schalleistungspegel) sind irreführend.

Schalldruckpegel	<i>Lagerung (verpackt):</i> Lufttemperatur -20 °C bis 40 °C, relative Luftfeuchtigkeit Beim Druck (Simplexmodus): Schalldruck, Bedienerposition (LpAm) ⁷ 56 dB(A) Schalldruck, Position in der Nähe des Druckers (LpAm) ⁷ 52 dB(A) Durchschnittliche Schalleistung, deklariert ⁷ (LwAd) 64 dB <i>Im Standby-Modus:</i> Durchschnittliche Schalleistung, deklariert ⁷ (LwAd) 41 dB
Spannung	220-240 V AC 50 Hz 3.3 Hz/60 Hz 3.3 Hz nominal, Netzkabel im Lieferumfang

Abb. 2.3 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Farblaserdruckers

Hier werden die Angaben durch Fußnoten zu den Vorgaben der Normen ISO 7779 bzw. ISO 9296 erklärt. Die Übersichtlichkeit leidet jedoch hier etwas.

Stromsparoptionen	Vom Benutzer einstellbar: 5/10/15/30/45 Minuten
Akustik	Druck: Lärmbelastung Benutzer 57 dB, Lärmbelastung Umgebung 53 dB, Schalleistung 62 dB Standby: Lärmbelastung Benutzer 17 dB, Lärmbelastung Umgebung 17 dB, Schalleistung 27 dB
Abmessungen (mm)	Drucker: 358 B x 299 T x 217 H

Abb. 2.4 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Laserdruckers

In diesem Beispiel fehlen alle Angaben über die zugrunde liegenden Messnormen, die eingestellten Filter (beispielsweise dBA für die A-Bewertung) sowie der Messabstand bei den Schalldruckpegeln. Die Beschreibungen „Akustik“ für die Geräuschemission sowie „Lärmbelastung“ sind fachlich falsch.

Acoustic Specification for Category III-C Equipment for Use in Quiet Office Areas – Floor Standing			
	Idle Mode	Stressed Mode	Units and Reference
Declared A-weighted Sound Power Level per ISO9296 (LwAd)	5.5	6.0	B-A, re: 1 pW
Operator A-weighted Sound Pressure Level per ISO7779 (LpAm-Op)	44.0	49.5	dB(A), re: 20 µPa
Operator Loudness	3.3	5.7	Sones
Prominent Tones in Range 0.4–10.0 kHz	Zero	Zero	Presence
Modulation (Dell method)	35	35	Degree in percentage
Tonality	0.25	0.20	Tu

Abb. 2.5 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Serverrechners

In dieser Deklaration werden umfangreiche Messungen deutlich über die Erfordernisse der ISO 7779 bzw. ISO 9296 aufgeführt. Die vier letzteren Messmethoden basieren auf herstellereigenen psychoakustisch basierten Messmethoden und sind demnach mit anderen Deklarationen kaum vergleichbar. Die Einheit „Sones“ muss korrekt „Sone“ heißen. Für akustische Laien ist diese umfangreiche und aufwändige Deklaration dennoch nicht verständlich und nützlich.

Umgebungsgrößen	
Geräuschentwicklung	Gemäß ISO9296
Schalldruck (LpAm)	21 dB(A)
Schallleistung (LWAd; 1 B = 10 dB)	3,7 B / 4,0 B
Umgebungstemperatur bei Betrieb 10...25°C	

Abb. 2.6 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Server-PCs

Bezüglich der normgemäßen Deklaration ist dieses Beispiel gerade noch ausreichend, aber fachlich richtig.

Acoustical Noise Declaration for System p5 520 Express

Declared Noise Emissions in Accordance with ISO 9296					More information
Product Description	Declared A-Weighted Sound Power Level, L_{WA_d} (B)		Declared A-Weighted Sound Pressure Level, L_{pAm} (dB)		→ What is an Acoustical Noise Declaration? → Acoustical Noise Declarations for other IBM Products
	Operating	Idling	Operating	Idling	
Tower Server with acoustic package Models: 9406-520, 9505-520 1 PS, 2 hard disk files	5.1	5.0	33	31	
Tower Server Models: 9406-520, 9505-520 1 PS, 2 hard disk files	5.9 (5)	5.9 (5)	41 (5)	39 (5)	
Rack Server Model: 9406-520 2 PS, 8 hard disk files	6.1 (5)	6.0 (5)	43 (5)	41 (5)	

Notes:

- L_{WA_d} is the statistical upper-limit A-weighted sound power level (rounded to the nearest 0.1 B);
- L_{pAm} is the mean A-weighted emission sound pressure level measured at the 1-meter bystander positions (rounded to the nearest dB);
- 10 dB (decibel) = 1 B (bel);
- All measurements made in conformance with ISO 7779 and declared in conformance with ISO 9296
- Preliminary Data

Abb. 2.7 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Serverrechners

Normkonforme Deklaration mit einer Fülle an Details. Sinnvollerweise ist im rechten Block ein Link zu weiteren Informationen und Erklärungen zu finden. Dennoch ist diese Darstellung fachlichen Laien nicht verständlich.

Acoustics ¹³	
Sound power	Active, print: CM2320n, CM2320nf: 6.6 B(A); CM2320fxi: 6.8 B(A) Active, copy or scan: CM2320n: 6.7 B(A); CM2320nf: 6.8 B(A); CM2320fxi: 6.9 B(A) Ready: CM2320n, CM2320nf, CM2320fxi: inaudible
Bystander sound pressure	Active, print: CM2320n, CM2320nf: 53 dB(A); CM2320fxi: 55 dB(A) Active, copy or scan: CM2320n, CM2320fxi: 54 dB(A); CM2320nf: 55 dB(A) Ready: CM2320n, CM2320nf, CM2320fxi: inaudible
Power specifications ¹⁴	

Abb. 2.8 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Farblaserdruckers

Die Lesbarkeit durch Einbeziehen verschiedener Ausführungen des Farblaserdruckers leidet stark, so dass man die gewünschte Information kaum findet.

Storage humidity	0 to 95% RH
Acoustic	
Sound pressure, active	52 dB(A)
Sound pressure, standby	29 dB(A)
Sound power, active	6.5 B(A)
Sound power, standby	4.4 B(A)
Power consumption Maximum	150 watts
Power requirements	Line voltage: 100 to 240 V ac
Certification	

Abb. 2.9 Ausschnitt aus den technischen Daten hinsichtlich der Geräuschemission eines Großformatdruckers

Die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit dieses Beispiels ist stark eingeschränkt, da der Stromverbrauch in der Unterrubrik „Acoustic“ aufgeführt ist.

2.4 Deklarierte Schalleistungen nach ISO 9296

Von den untersuchten Beispielen konnten über die Zusatzinformationen des Blauen Engels ein Vergleich der Schallemissionen vorgenommen werden. Diese Information gibt einen Aufschluss über die zu erwartende Geräuschemissions - Streubreite einer Produktgruppe.

Die Bandbreite der Betriebsgeräusche gemäß ISO 7779 bzw. ISO 9296 in Bel werden in den folgenden Abbildungen in einer aufsteigenden Reihenfolge dargestellt.

C.15 Computer/Workstations - 28 samples

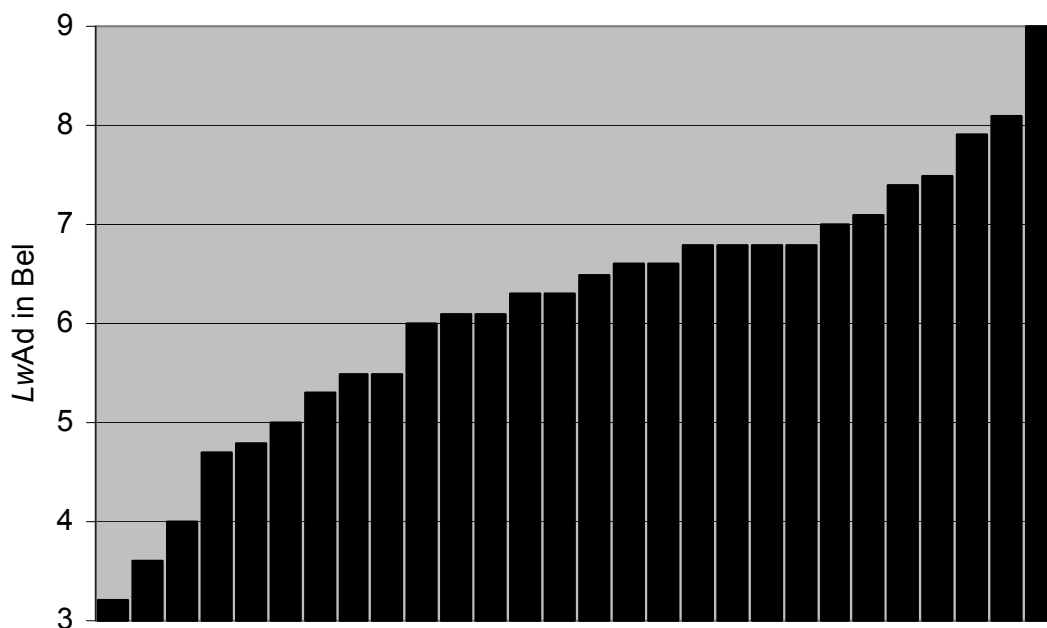


Abb. 2.10 Computer/Workstations - Deklarierter Schalleistungspegel

Hierbei zeigt sich ein sehr hoher Unterschied zwischen den leisesten und lautesten Geräten mit einem Pegelunterschied von fast 60 dB. Das leiseste Gerät ist ein Computer für den Büro- oder Privateinsatz (Personal PC), der auf den Schreibtisch gestellt werden kann. Das Gerät mit dem höchsten Emissionspegel hingegen ist ein schrankhoher professioneller Multiprozessor - Server-PC zum Einsatz in speziellen Räumlichkeiten.

Wie auch später ausgeführt, ist die Einbeziehung dieser verschiedenen Computer in eine ECMA Kategorie hinsichtlich der Vergleichbarkeit als problematisch zu betrachten.

C.16 Page Printer - 37 samples

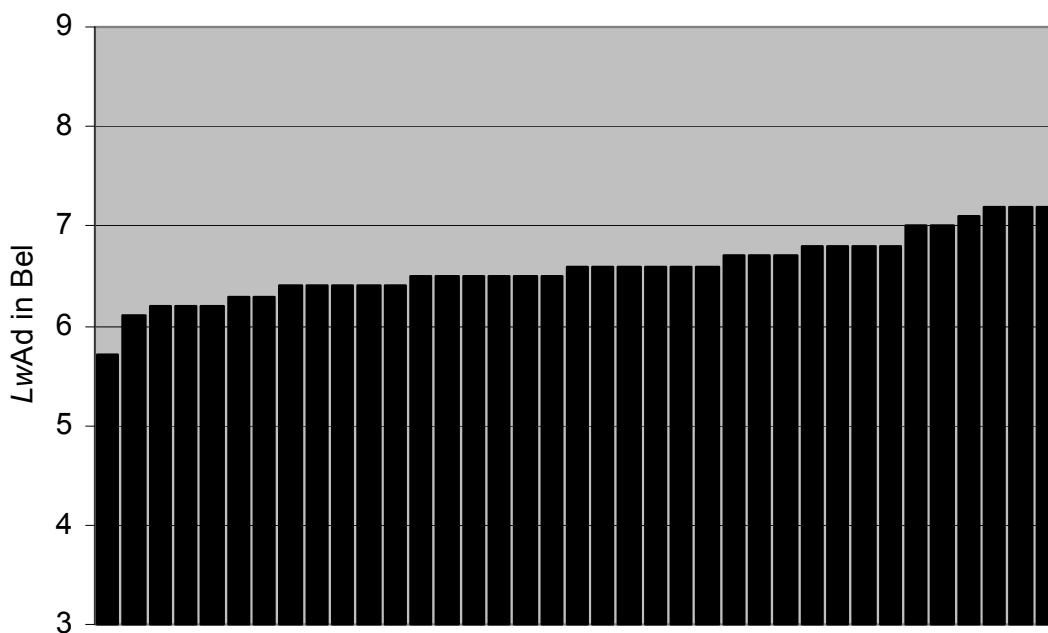


Abb. 2.11 Page Printer - Deklarierter Schalleistungspegel

Bei den Seitendruckern zeigt sich im Gegensatz zu den Rechnern eine deutlich geringere Spannbreite der Geräuschemission von ca. 15 dB. Die überwiegende Mehrzahl der Geräte liegt in einem Streubereich von weniger als 10 dB.

Diese geringe Spanne würde zu praktischen Problemen führen, möchte man diese in verschiedene Kategorien aufteilen und müsste zudem die zwangsläufig entstehenden Messunsicherheiten mit berücksichtigen. Es können hierbei Sinnvollerweise nur 2-3 Kategorien gewonnen werden.

C.21 Multi-function Devices - 50 samples

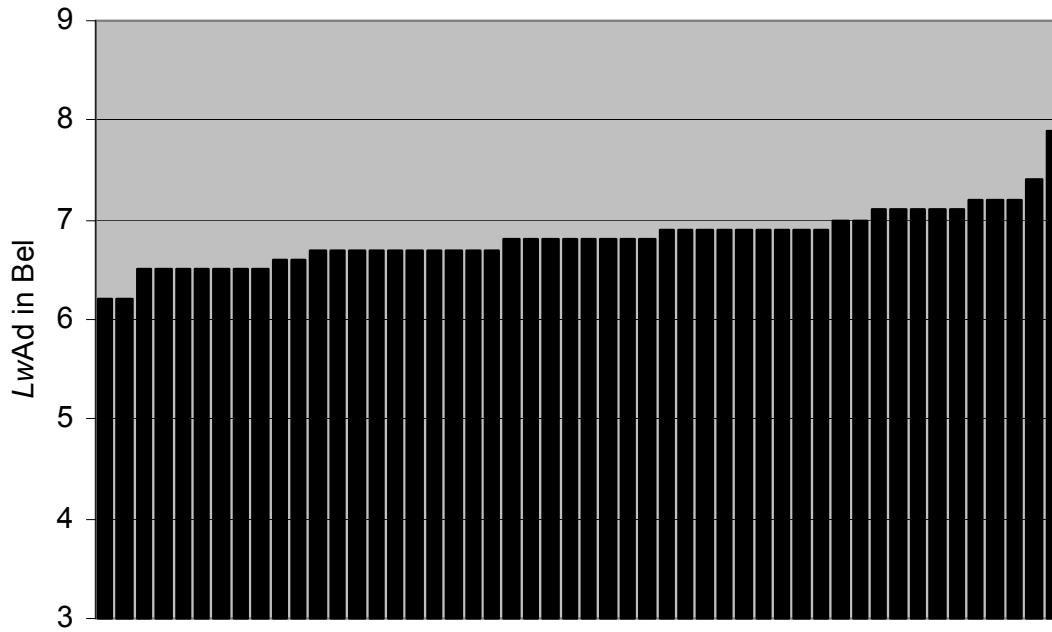


Abb. 2.12 Multi-function Devices - Deklarierter Schalleistungspegel

Eine vergleichbare Situation wie bei den Seitendruckern tritt bei den Multi-Funktionsgeräten auf. Hierbei liegt ebenfalls der weitaus größte Anteil der Geräte innerhalb einer Bandbreite von deutlich unter 10 dB.

C.8 Magnetic tape units

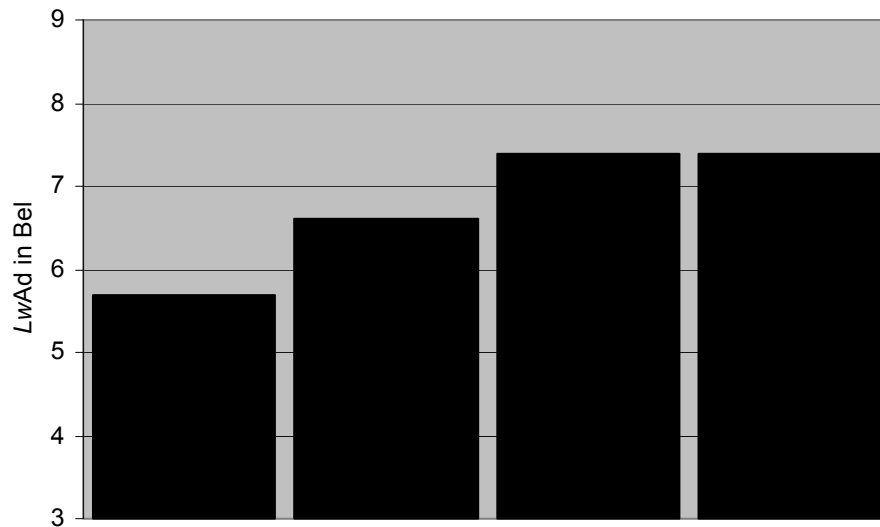


Abb. 2.13 Magnetic Tape Units - Deklarierter Schalleistungspegel

Die deklarierten Pegel der Magnetspeichergeräte liegen vergleichsweise weit auseinander. In dieser Gruppe könnten ausgehend von der deklarierten Schalleistung verschiedene Geräuschemissionsklassen definiert werden.

C.9 Disk units / Storage sub-systems

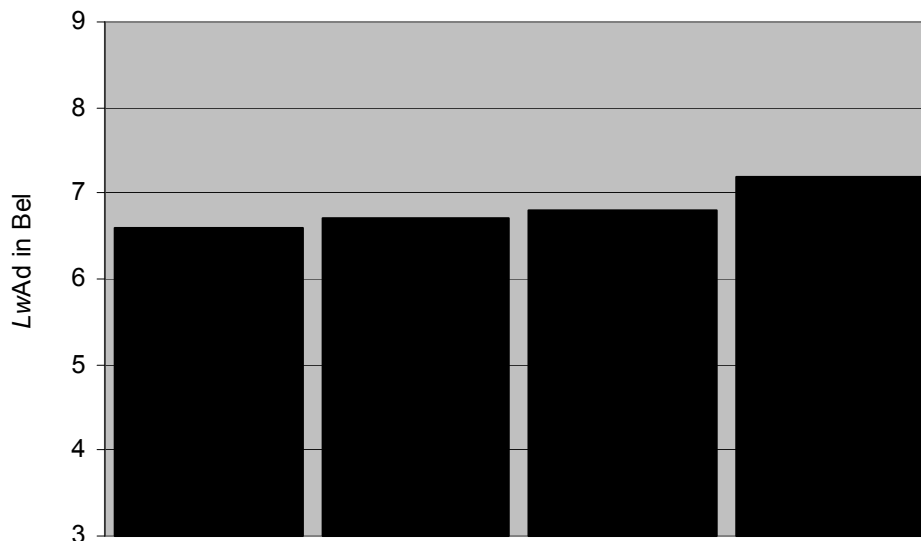


Abb. 2.14 Disc units/Storage sub-systems - Deklarierter Schalleistungspegel

Bei den Plattenspeichergeräten treten nur geringe Unterschiede im Schalleistungspegel auf. Hierbei ergibt sich die ähnliche Problematik wie unter 2.13 geschildert.

2.5 Zusammenfassung: derzeitige Deklarationspraxis

Die Ergebnisse der Recherche können wie folgt zusammengefasst werden:

- Akustische Kenngrößen sind teilweise schwer in den Broschüren und in den Webseiten der EDV-Hersteller zu finden. In Produktgruppen wie Notebooks und Rechnern, aber auch bei Videoprojektoren und Tastaturen fehlen häufig Angaben zu Betriebsgeräuschen. Sind Angaben vorhanden, finden sie sich häufig am Ende der technischen Daten oder bei den Unterlagen zum „Blauen Engel“ in einem getrennten pdf-Dokument.
- Durch die Deklaration gemäß dem „Blauen Engel“ sind die Schallleistungspegel untereinander vergleichbar. Allerdings sind diese Angaben teilweise schwer zu entdecken und in den meisten Fällen nur durch Herunterladen ersichtlich.
- Die in den Webseiten angegebenen akustischen Informationen sind zum Teil sogar innerhalb der Geräte eines Herstellers nicht vergleichbar. Es werden teilweise unterschiedliche Messverfahren verwendet.
- Für den Fall, dass Hersteller nach ISO 7779 bzw. ISO 9296 gemessen haben, werden die Ergebnisse teilweise in den Webdeklarationen irreführend, reduziert und nicht miteinander vergleichbar angegeben.
- Für Laien sind die normgemäßen Angaben nach ISO 7779 bzw. ISO 9296 schwer zu interpretieren. Hierbei sind Hilfen wie der frei erhältliche BITKOM Leitfaden zu Akustik-Emissionsdaten auf Datenblättern für IT-Equipment (November 2008), sehr hilfreich.
- Teilweise wurden fachlich nicht korrekte Beschreibungen und Bezeichnungen in den Deklarationen gefunden.
- Die deklarierten Schallleistungen liegen insbesondere bei den Produktgruppen:
 - Multifunktionsgeräte
 - Seitendrucker
 - Plattenspeichergeräte

sehr nah beieinander und bieten sich als alleiniges Kriterium für eine ausreichend sinnvolle Kategorisierung unter Berücksichtigung der Messungenauigkeiten nur eingeschränkt an. Möchte man ein Kategorisierungssystem mit 5 bis 7 Unterscheidungsstufen anwenden, so sollte unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten mindestens 3 dB Differenz zwischen den Stufen liegen. Dies hat zur Folge, dass die gesamte Spanne zwischen 15 und 21 dB beträgt. Im Falle der oben aufgeführten Produktgruppen würden diese nur in 2-3 unterschiedlichen Klassen eingestuft werden. Dies hat zur Folge, dass es keine hinreichende Unterscheidbarkeit hinsichtlich der Geräuschbelastung der Geräte gibt. Man kann natürlich auch zu dem Schluss kommen, dass die Geräte alle gleich laut seien. Hierzu werden in diesem Projekt zu einem späteren Zeitpunkt ergänzende Messverfahren vorgestellt, welche die Unterscheidbarkeit hinsichtlich der Geräuschemissionen verstärken.

3 Normen für die Geräuschmessung von EDV-Geräten

3.1 Normen und Messverfahren zur Geräuschmessung

Hinsichtlich der Messung der Geräuschbelastung bzw. Belästigung durch Büro-EDV und Kommunikationsgeräte sind folgende Normen bzw. Messverfahren relevant:

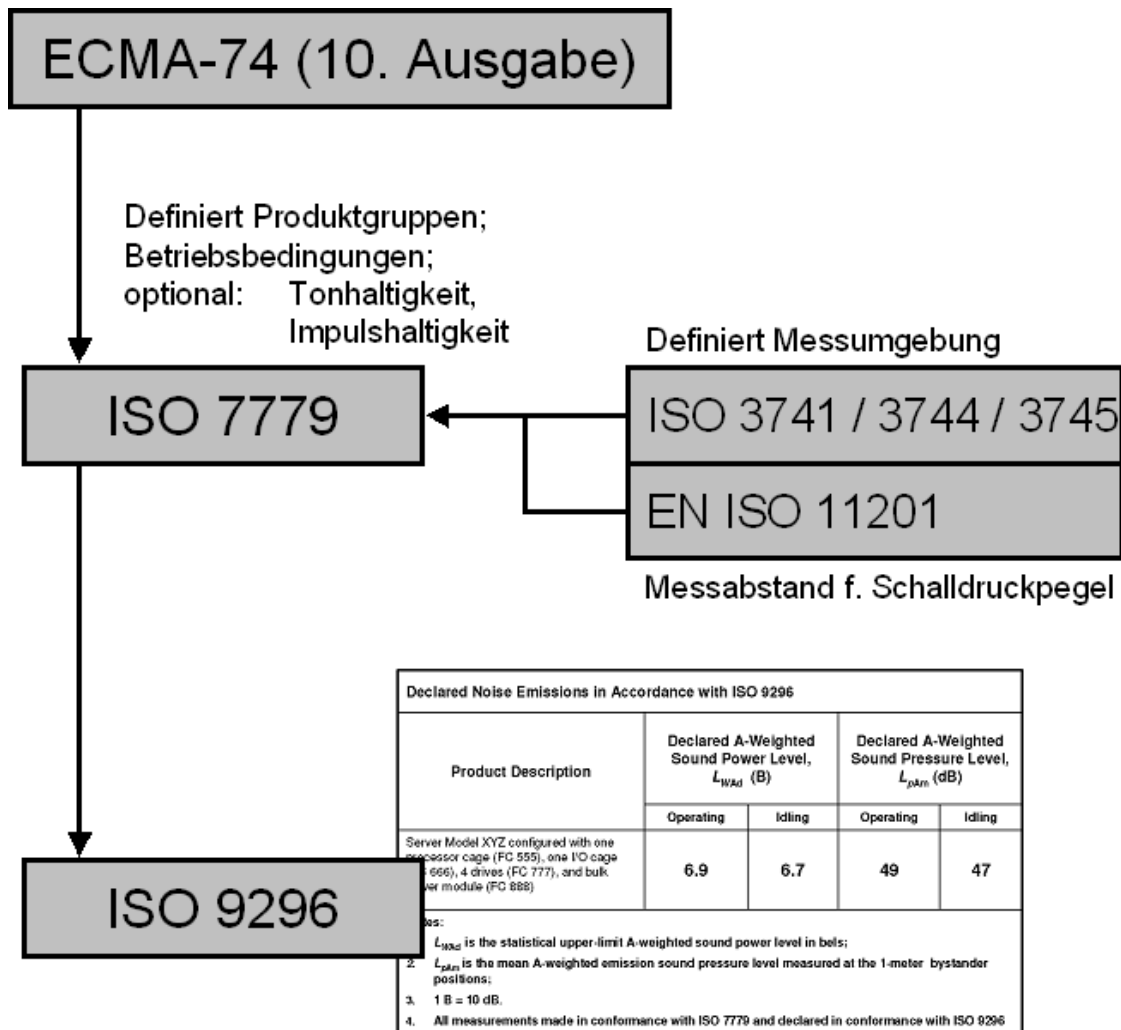


Abb. 3.1 Verknüpfung der für Geräuschmessungen derzeit relevanten Normen und Standards

3.1.1 ISO 7779 bzw. ECMA-74

In dieser mehrfach aktualisierten Norm von 1988 „Geräuschemissionsmessung an Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik“ werden neben der Definition von Begriffen und Aufstellbedingungen die Messung der Schalleistung bei verschiedenen Prüfumgebungen (Hallraum, Freifeld Halbraum) sowie die Emissions-Schalldruckpegel am Arbeits- und Nachbararbeitsplatz festgelegt. Weiterhin

sind Anhänge für das Messzubehör, Messflächen und die Erkennung von Einzeltönen bzw. impulshaltigen Schallen im Betriebsgeräusch beigefügt. Darüber hinaus definiert die Norm Aufstell- und Betriebsbedingungen verschiedener Gerätearten.

Die genauen Aufstell- und Betriebsbedingungen folgender Geräte werden in der aktuellen Ausgabe Nr. 10 der ECMA definiert:

- C.2 Typewriters (Schreibmaschinen)
- C.3 Character- and line-printers (Zeichen- und Zeilendrucker)
- C.4 Teleprinters (Fernschreiber)
- C.5 Keyboards (Tastaturen)
- C.6 Copiers (duplicators) (Kopiergeräte)
- C.7 Card readers - card punches (Kartenleser und Kartenstanzer)
- C.8 Magnetic tape units (Magnetbandspeichergeräte)
- C.9 Disk units and storage sub-systems
(Plattenspeichergeräte und Datenspeicher als Teilsysteme)
- C.10 Visual display units (Bildschirmgeräte)
- C.11 Electronic units (Elektronische Bauteile)
- C.12 Microform readers (Mikrofilmlesegeräte)
- C.13 Facsimile machines (Telecopiers) and page scanners
(Faxgeräte und Ganzseitenscanner)
- C.14 Cheque processors (Geräte zur Bearbeitung von Schecks)
- C.15 Personal computers and workstations
(Personalcomputer, Notebooks und Arbeitsplatzcomputer)
- C.16 Page printers (Ganzseitendrucker)
- C.17 Self-service automatic teller machines
(Selbstbedienungs-Schalterterminals)
- C.18 Enclosures or rack systems (Gehäuse und Einschubsysteme)
- C.19 CD- and DVD-ROM drives (Disclaufwerke)
- C.20 Data projectors (Beamer)
- C.21 Multi-function devices (MFD's)
(Multifunktionsgeräte Drucker, Scanner, Fax)
- C.22 Hand-held computing and media playback devices
(Netbooks, MP3 Spieler, digitale Videospiele)

Bei Telefonen und Geräten mit Signaltönen sollen laut dieser Norm für die Messung alle Ruf- und Signaltöne auf Minimaleinstellung (meist „Aus“) gestellt werden.

Es werden in der Norm zwei unterschiedliche Szenarien für den Benutzer (Operator) und den Nachbararbeitsplatz (Bystander) angesetzt, die sich von dem Messabstand für die Schalldruckpegelbestimmung unterscheiden.

Die Norm stammt im Wesentlichen von den Vorschlägen des ECMA Industriestandards ECMA-74. Aus diesem Grund sind jedoch die jeweils aktuellen Ausgaben der ECMA-74 aktueller und entsprechen eher dem Stand der Technik.

Hinsichtlich der Schalldruckpegelmessung verweist die ISO 7779 auf mehrere von der Prüfraumbedingung abhängigen Normen ISO 3744 (Messung im Freien), ISO 3745 (Messung im reflexionsarmen Halb- und Vollraum) und ISO 3741 (Messung im Hallraum).

In der Norm gibt es zwei informative Anhänge D und E für die Erkennung und Bewertung auffälliger Einzeltöne sowie für die Bestimmung von Impulsschallen. Beide sind nicht für die Untersuchung nach ISO 7779 bindend durchzuführen.

Die Einzeltonerkennung und Bewertung ist vergleichsweise umfangreich und ist in grober Näherung vergleichbar mit der DIN 45 681 (Akustik – Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen...).

Die Überprüfung auf Impulshaltigkeit basiert im Groben auf einer Schallpegelmessung des Betriebsgeräusches mit zwei unterschiedlichen Zeitkonstanten „Impuls“ und „Fast“ und ist an die ISO 11201 angelehnt. Im Vergleich zu inzwischen existierenden Normen wie die DIN 45 631A1, die sich mit instationären Schallen beschäftigt, ist dieser Impulsscheck sehr einfach ausgeführt und dementsprechend grob.

3.1.2 ISO 9296

In der ISO 9296 (Acoustics – Declared noise emission values of computer and business equipment) werden die aus der ISO 7779 gewonnenen Ergebnisse in Kenngrößen umgewandelt. Hierbei werden die Schalleistung in B ($1 B = 10 \text{ dB}$) und der Schalldruckpegel am Bedienerort in dB(A) in Betriebs- und Ruhezustand deklariert. Die Norm stammt im wesentlichen von den Vorschlägen des ECMA Industriestandards ECMA-109.

Die ISO 9296 verknüpft die Ergebnisse der Normmessung mit einer optionalen Überprüfung der Impulshaltigkeit und der Tonhaltigkeit und überführt diese zu einer Deklarationsvorschrift. Diese Deklaration soll als Hilfe für Planer, Einkäufer und für einen Vergleich der Betriebsgeräusche untereinander dienen und eingesetzt werden.

Eine Reihe von Zertifikaten wie der „Blaue Engel“ basiert in der Betriebsgeräuschprüfung auf der ISO 7779/9296.

3.1.3 Alternative Norm zur Messung der Tonhaltigkeit

Bei der Beschreibung und Bewertung der Geräuschqualität von akustischen Vorgängen wird zunehmend Wert auf die Charakterisierung instationärer Vorgänge gelegt. Neben den klassischen psychoakustischen Parametern wie Lautheit oder Rauigkeit werden bei der Beschreibung der Klangattribute von Vorgängen speziell angepasste Größen entwickelt und angewandt.

Dagegen gibt es auch Fragestellungen, bei denen der Bezug auf Standards gefordert ist oder im Hinblick auf die Akzeptanz eines Verfahrens von Vorteil ist.

Ein Beispiel für die Beschreibung von globalen Klangeigenschaften eines Höreindrucks ist seine Tonhaltigkeit. Der Einfluss tonaler Komponenten in einem stationären Geräusch kann gemäß DIN 45 681 abgeschätzt werden.

Als maßgebliche Größe innerhalb der DIN, mit der das Tonhaltigkeitsempfinden beschrieben werden soll, wird die Differenz des Tonpegels zum Pegel der Mithörschwelle,

$$\Delta L = [L_T - L_G - a_v] \text{ dB},$$

herangezogen. Dabei ist L_T der Tonpegel, L_G der Pegel des verdeckenden Geräuschs und a_v das Verdeckungsmaß.

Die DIN trifft explizit keine Unterscheidung bei der Anwendung des Verfahrens bei stationären und bei nicht stationären Geräuschen. Als Geltungsbereich des Verfahrens werden Mittelungszeiten von 3 Sekunden Dauer angegeben.

Bei der Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlags für die Beurteilung von Geräuschimmissionen nach DIN 45 681 werden in 3 Sekunden Intervallen die maßgeblichen Differenzpegel zwischen den tonalen Anteilen und dem Grundgeräusch analysiert und von diesen Intervallen die mittlere Differenz errechnet.

3.1.4 Alternative Norm zur Messung der instationären Lautheit

Mit modernen Messsystemen können mittlerweile die psychoakustischen Kenngrößen

- Lautheit in sone
- Schärfe in acum
- Rauigkeit in asper

in gleicher Weise hinsichtlich Messgeschwindigkeit und Auswertung wie der A-bewertete Schalldruckpegel gemessen werden. Der Vorteil dieser immissionsbezogenen Kenngrößen ist die Übereinstimmung mit dem subjektiven Empfinden auch unter dem Aspekt der Lästigkeit eines Betriebsgeräusches.

Ausgehend von der Norm DIN 45 931 (Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum – Verfahren nach E. Zwicker) wurde mit dem Anhang A1 die Berechnung der Lautheit zeitvarianter Geräusche vorgelegt.

Hierbei wird der Lautheitsverlauf eines Schalles statistisch analysiert und in sogenannte Perzentillautheiten N_x unterteilt. Die Perzentillautheit N_5 ist die Lautheit, die in 5% der Messzeitintervalle erreicht oder überschritten wird und wird in sone angegeben. Nach der Norm wird von einem zeitvarianten Signal gesprochen, wenn der Quotient aus der Perzentillautheit N_5 und der Perzentillautheit N_{95} einen Wert von 1,10 überschreitet.

3.2 Grenzen der gegenwärtigen Mess- und Deklarationspraxis

Wie schon im Abschnitt 2.2 zusammengefasst, zeigt sich in der Praxis, dass die Normen ISO 7779 und ISO 9296 nicht in allen Fällen für die Deklaration des Be-

triebsgeräuschs von EDV-Geräten eingesetzt werden. Selbst für die Fälle, in denen nach diesen Normen untersucht wurde, findet man nur Auszüge der Informationen nach ISO 9296 in den Firmenangaben oder den Deklarationen. Dadurch lassen sich Produkte hinsichtlich ihrer Betriebsgeräusche nur schwer vergleichen. Nur in Einzelfällen wurden in den Firmenunterlagen exakt die von der Deklarationsnorm ISO 9296 geforderten Angaben gemacht. Es fanden sich jedoch hier und in vielen anderen Fällen keine über die Schalleistung bzw. den Schalldruckpegel weitergehende Messungen beispielsweise zur Tonalität oder Impulshaltigkeit der Geräusche.

Aus diesen Gründen muss die Praxistauglichkeit der gegenwärtigen Normen kritisch hinterfragt werden. Für den Endverbraucher wäre es deutlich transparenter, nur einen Einzahlwert oder eine Bewertung bzw. Einstufung zum Betriebsgeräusch zu finden. Die Fülle an Informationen, die durch die ISO 9296 in der gültigen Deklaration gefordert wird, ist für den technischen Laien nicht zu interpretieren.

Darüber hinaus ist aus fachlicher Sicht der optionale Impulshaltigkeits-Check der ISO 7779 etwas veraltet. Hierzu existieren deutlich bessere und modernere Messverfahren, wie im Abschnitt 3.1.4 aufgeführt wird.

Grundsätzlich muss weiterhin angemerkt werden, dass es aus fachlicher Sicht sinnvoll wäre, die Tonhaltigkeit und die Impulshaltigkeit zwingend mit der Schalleistung sowie dem Schalldruckpegel mit zu untersuchen. Durch die optionale Möglichkeit könnte die Situation auftreten, dass zwischen Prüflaboren völlig unterschiedliche Resultate entstehen, je nachdem wie der zuständige Prüfer ein Betriebsgeräusch als tonal und/oder impulshaltig eingeschätzt hat oder nicht.

Wie in vorliegender Untersuchung an mehreren Stellen zu sehen, verhalten sich auch ähnliche Produkte einer Produktgruppe in der Charakteristik des Betriebsgeräuschs unterschiedlich. Aus diesem Grund sollte die Prüfung der Klangcharakteristik eines Geräuschs obligatorisch sein, zumal sich die Geräte innerhalb einer Produktgruppe in der derzeitigen Deklarationspraxis relativ wenig in den Messwerten unterscheiden.

4 Konzeptvorschlag für Messungen und Emissionsklassen

Berücksichtigt man die langjährigen, etablierten und weltweit standardisierten Regelwerke hinsichtlich der Messung des Betriebsgeräuschs von EDV-Geräten, müssen für die Entwicklung einer Transformationsvorschrift für Geräuschemissionsklassen keine völlig neuen Messverfahren entwickelt werden.

Eine Weiterentwicklung und eine Verfeinerung reichen nach Ansicht der Projektbearbeiter völlig aus, um hierbei eine Vereinfachung der Interpretation des Verbrauchers und Nutzers zu ermöglichen.

Aus Gründen der Transparenz, der weltweiten Akzeptanz und der Erfordernisse von Planern und Einkäufern schlagen wir vor, die Messung der Schalleistung - wie nach ECMA-74 beschrieben – als Basis für die Untersuchung beizubehalten.

Planer können mit der Kenntnis der raumunabhängigen Schalleistung eines Produkts im Vorfeld rechnerisch abschätzen, wie der durchschnittliche Arbeitsplatzlärm beschaffen ist. Dieser Vorteil und Zusatznutzen sollte nicht in Frage gestellt werden.

Zur Einbeziehung der Geräuschcharakteristik genügt es unseres Erachtens, die Komponenten Impulshaltigkeit und Tonhaltigkeit fest mit einzubeziehen. Weitere psychoakustische Kriterien wie Schärfe, Rauigkeit oder Schwankungsstärke können durchaus in Einzelfällen zusätzliche Informationen geben, dieser Gewinn steht aber in keinem Verhältnis zum Messaufwand und der Messzeit.

Aus diesem Grund schlagen wir die Messung und Summation von

- Schalleistung in dB
- Impulzzuschlag in dB
- Tonzuschlag in dB

für die Basis des Bewertungssystems vor. Das Ergebnis der Summation der drei Kenngrößen wird als „Overall Noise Level“ in dB ausgedrückt. Dieser Wert stellt die Grundlage für die weitere Kategorisierung abhängig von der Produktgruppe und die Überführung in die Emissionsklasse dar.

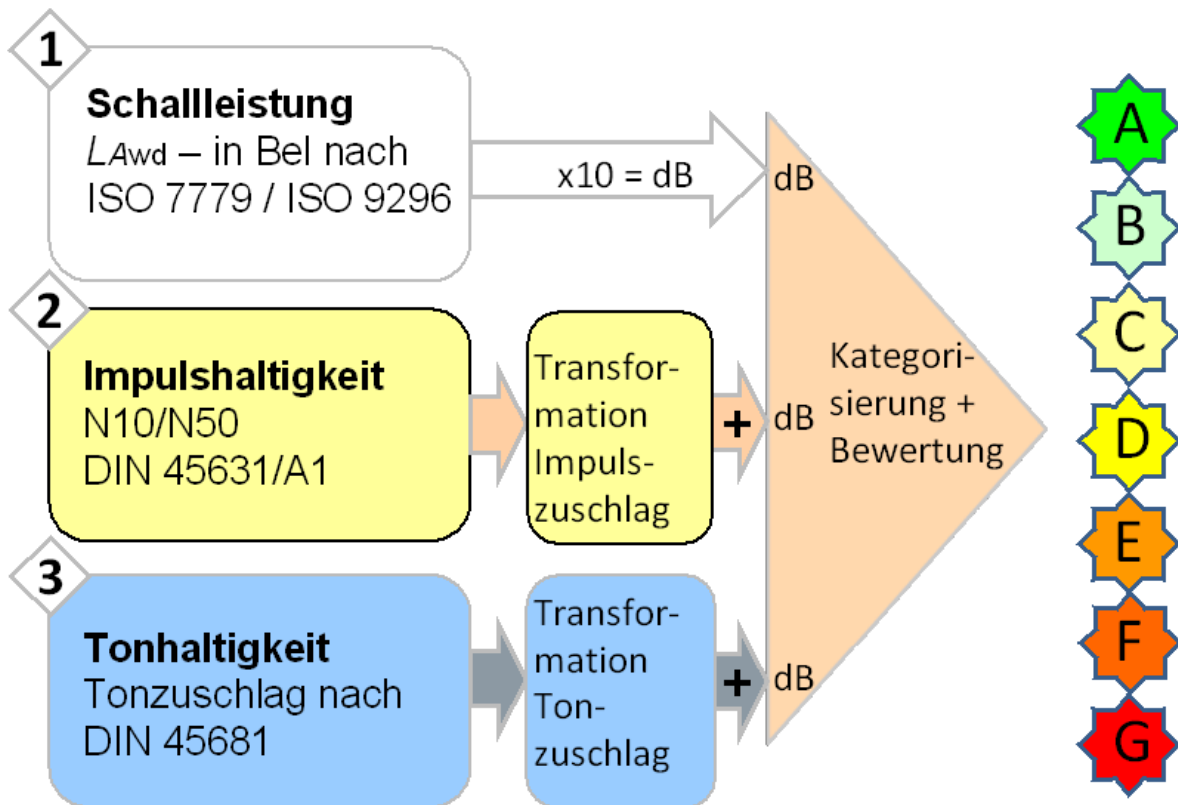


Abb. 4.1 Mess- und Bewertungskonzept für die Geräuschklassifizierung

Die Vorschläge für die Überführung in Emissionsklassen werden in Abschnitt 5.6 anhand von mehreren praktischen Fällen getroffen.

Die Kategorisierung der Geräte in Produktgruppen kann in den meisten Fällen anhand der Einteilung nach ECMA-74 getroffen werden. Eine Einschränkung hinsichtlich einer verfeinerten Kategorisierung sollte in der Gruppe C.15 (Personalcomputer, Notebooks und Arbeitsplatzcomputer) getroffen werden.

5 Pilotstudie an verschiedenen EDV-Geräten

In der ersten Phase des Projekts wurde zunächst eine Pilotstudie an 8 verschiedenen EDV-Produkten von 6 Produktgruppen hinsichtlich des vorgestellten Konzepts gemacht.

Ziel hierbei war es, die zugrunde liegenden Messverfahren zur Messung der Schallleistung, der Impulshaltigkeit und der Tonhaltigkeit an sehr unterschiedlichen Produkten zu untersuchen. Darüber hinaus sollten anhand von je zwei in ihrer Geräuschemission subjektiv stark unterschiedlichen Geräten eine Abschätzung des unteren und des oberen Wertebereichs hinsichtlich einer späteren Klassifizierung vorgenommen werden.

Die einbezogenen Produkte für den Vergleich wurden gezielt, hinsichtlich eines subjektiv stark unterschiedlichen Betriebsgeräuschs, ausgewählt.

5.1 Auswahl der Geräte für die Pilotstudie

Folgende Geräte wurden mit einbezogen:

- 1 Laserdrucker: ECMA-74 Kategorie C.16 – (Page Printer)
- 2 Tastaturen: Kategorie C.5 – (Keyboard)
- 1 Nadeldrucker: Kategorie C.3 – (Character- and line-printer)
- 1 Flachbettscanner: Kategorie C.13 – (Page scanner)
- 2 Notebooks: Kategorie C.15 – (Personal computers and workstations)
- 1 Videoprojektor: Kategorie C.20 – (Data projectors)



Abb. 5.1 Laserdrucker (Kategorie C.16 - Page Printer)



Abb. 5.2 Zwei Tastaturen (Kategorie C.5 - Keyboard)



Abb. 5.3 Nadeldrucker (Kategorie C.3 - Character- and line-printer)



Abb. 5.4 Flachbettscanner (Kategorie C.13 - Page scanner)



Abb. 5.5 Notebook (Kategorie C.15 - Personal computers and workstations)



Abb. 5.6 Notebook (Kategorie C.15 - Personal computers and workstations)



Abb. 5.7 Videoprojektor (Kategorie C.20 - Data projectors)

5.2 Subjektive Einschätzung der Lästigkeit

In einem ersten Schritt wurden durch zwei Experten des Labors subjektive Bewertungen der Lästigkeit der Betriebsgeräusche gemäß den Einstellanleitungen der ECMA-74 durchgeführt. Jedes Modell wurde in eine Kategorie zwischen

- A = sehr angenehmes Betriebsgeräusch/sehr leise bis
- G = extrem unangenehmes Betriebsgeräusch/sehr laut eingestuft. Die Einstufung findet sich in folgender Tabelle wieder:

Tab. 5.1 Subjektive Einschätzung des Betriebsgeräuschs

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	Lästigkeit des Betriebsgeräusches - subjektive Experten-einstufung (A = geringste Lästigkeit; G = höchste Lästigkeit)
			A,B,C,...,G
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	F
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	F
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	B
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	D
C.15	C15-A	Notebook	A
C.15	C15-B	Notebook	G
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	C
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	D

Insbesondere C3-A (Zeilendrucker mit Nadelkopf), eine Tastatur mit sehr hartem und lautem Tastenklick (C5-A) sowie ein Notebook mit sehr lautem Lüftergeräusch (C15-B) wurden als störend und sehr störend eingestuft. Das zweite untersuchte Notebook (C15-A) lag etwas über der Grenze der Hörschwelle, wenn man sich in normalem Arbeitsabstand zu diesem Gerät befand.

Die zweite untersuchte Tastatur (C5-B) klang mechanisch gedämpft und die Tastenanschläge waren deutlich leiser als das zu vergleichende lautere Modell C5-A.









5.3 Schalleistungsmessung

Die Messung der Schalleistung nach ISO 7779 bzw. ISO 3745 fanden in einem Freifeld-Halbraum mit einer Genauigkeitsklasse 1 für einen Frequenzbereich oberhalb von 80 Hz statt. Der Versuchsaufbau hierzu ist in Abbildung 5.1 zu sehen.

Es wurden die Schalleistung sowie weitere Parameter mit einem rechnergestützten Auswertesystem PAK der Firma Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH gemessen und analysiert.

Im ersten Schritt wird im Folgenden die Schalleistung tabellarisch aufgeführt.

Tab. 5.2 Schalleistung L_{wAd} nach ISO 7779

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	Schalleistung L_{wAd} nach ISO 7779 + ISO 9296 (bzw. ECMA-74 und ECMA-109)
			B (Bel)
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	7,8 
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	6,8 
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	5,6 
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	5,9 
C.15	C15-A	Notebook	3,5 
C.15	C15-B	Notebook	5,0 
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	6,2 
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	5,4 

Die höchste Schalleistung von 78 dB(A) erzeugt demnach der Nadeldrucker C-3A der Kategorie C.3 nach ECMA-74. Eine sehr geringe Schalleistung ist mit dem Notebook C15-A zu messen. Hierbei ragt das Betriebsgeräusch nur etwas über die Hörbarkeitsschwelle hinaus.

Bei den beiden zu vergleichenden Geräten der Produktgruppen Tastaturen und Notebooks wurden jeweils sich deutlich unterscheidende Schalleistungen gemessen.

5.4 Messung der Impulshaltigkeit nach DIN 45 631/A1

Bei dieser Norm wird die Lautheit zeitvarianter Geräusche aus dem Geräuschspektrum und Geräuschverlauf errechnet.

Hierzu wurden die Perzentillautheiten N5, N10 und N50 über einen gesamten Betriebszyklus der Geräte (beispielsweise der komplette Scanvorgang des Flachbettscanners) ermittelt und erfasst.

In einem zweiten Schritt wurde dann der Quotient zwischen N50 zu N10 ermittelt und als Maß für die Impulshaltigkeit definiert. Je höher dieser Quotient ist, desto impulshaltiger ist der instationäre Schall. Im vorliegenden Fall sind beide Tastaturen und der Flachbettscanner stark impulshaltig, die hauptsächlich aus Lüftergeräuschen bestehenden Betriebsgeräusche der Notebooks und Videoprojektoren weisen sehr geringe Werte auf.

Tab. 5.3 Impulshaltigkeit nach DIN 45 631/A1

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	Instationäre Lauthheit nach DIN 45631/A1 - N10	Instationäre Lauthheit nach DIN 45631/A1 - N50	N10/N50
			none	none	
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	17,9	11,9	1,50
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	3,7	1,7	2,18
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	1,5	0,6	2,50
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	4,2	2,7	1,56
C.15	C15-A	Notebook	0,2	0,2	1,13
C.15	C15-B	Notebook	1,6	1,5	1,07
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	5,8	5,0	1,16
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	2,2	2,1	1,05

Um den Quotienten N50/N10 in einen Impulszuschlag zu transformieren, welchen man anschließend in das Bewertungssystem einbauen kann, wurde folgendes Transformationsschema entwickelt: Unter einem Quotienten von 1,1 gibt es keinen Impulszuschlag. Pro 0,2 Steigerung wird der Impulszuschlag um 1 dB erhöht. Dies führt nun zu nachfolgenden Impulszuschlägen. Im vorliegenden Beispiel werden für die Tastaturen 5 bis 7 dB Impulszuschlag festgesetzt.

Tab. 5.4 Impulszuschlag nach der Transformationsvorschrift

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	N10/N50	Impulszuschlag
				dB
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	1,50	2,0
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	2,18	5,4
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	2,50	7,0
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	1,56	2,3
C.15	C15-A	Notebook	1,13	0,1
C.15	C15-B	Notebook	1,07	-0,2
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	1,16	0,3
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	1,05	-0,3









$$\text{Impulszuschlag} = 5 \times \text{N50/N10} - 5,5$$

N50/N10	Impulszuschlag
1,1	0
1,3	1
1,5	2
1,7	3
1,9	4
2,1	5
2,3	6
2,5	7

5.5 Messung der Tonhaltigkeit nach DIN 45 681

Bei der Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlags für die Beurteilung von Geräuschimmissionen nach DIN 45 681 werden in 3 Sekunden Intervallen die maßgeblichen Differenzpegel zwischen den tonalen Anteilen und dem Grundgeräusch analysiert und von diesen Intervallen die mittlere Differenz errechnet. Dieser mittlere Differenzpegel ist im folgenden Diagramm dargestellt:

Tab. 5.5 Tonhaltigkeit nach DIN 45 681, mittlere Differenzpegel der Betriebsgeräusche

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	Tonhaltigkeit nach DIN 45681 Mikrofonkanal 1 (front) - Energetischer Mittelwert der Pegeldifferenzen ΔL der 3 Sekunden Intervalle
			dB
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	10,0 
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	0,0 
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	0,0 
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	25,4 
C.15	C15-A	Notebook	2,5 
C.15	C15-B	Notebook	4,4 
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	6,6 
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	8,3 

Für die vorliegende Untersuchung zeigt sich, dass insbesondere der Flachbettscanner einen sehr hohen tonalen Anteil aufweist. Es folgen der Nadeldrucker sowie der Datenprojektor.

Die beiden Tastaturen weisen keinerlei Tonalitäten auf.

Anhand der Norm wird mit einer Transformation der sogenannte Tonzuschlag K_T ermittelt. Die dazugehörige Tabelle ist im Folgenden aufgeführt:

Tab. 5.6 Tonzuschlag K_T in Abhängigkeit von ΔL **Tonzuschlag K_T in Abhängigkeit von ΔL**

Differenz ΔL dB	Tonzuschlag K_T dB
$\Delta L \leq 0$	0
$0 < \Delta L \leq 2$	1
$2 < \Delta L \leq 4$	2
$4 < \Delta L \leq 6$	3
$6 < \Delta L \leq 9$	4
$9 < \Delta L \leq 12$	5
$12 < \Delta L$	6

Bei Betrachtung der Transformationsvorschrift fällt auf, dass der Tonzuschlag bei Differenzpegel von mehr als 12 dB auf 6 dB limitiert ist. Im vorliegenden Fall und unter Berücksichtigung weiterer Messungen in unserem Haus, die sich mit der Tonalität befassen, treten weit höhere Differenzpegel auf. Bei dem Flachbettscanner sind es über 25 dB, diese würden in etwa wie der Nadeldrucker mit 6 bzw. 5 dB Tonzuschlag behandelt.

Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, diese Transformationsvorschrift um den Faktor 2 zu strecken, so dass erst bei Differenzpegeln von mehr als 24 dB die 6 dB Tonzuschlag gelten.

Tab. 5.7 Modifizierter Tonzuschlag $K_{T\text{mod}}$ in Abhängigkeit von ΔL **Modifizierter Tonzuschlag $K_{T\text{mod}}$ in Abhängigkeit von ΔL**

Differenz ΔL dB	Tonzuschlag K_T dB
$\Delta L \leq 0$	0
$0 < \Delta L \leq 4$	1
$4 < \Delta L \leq 8$	2
$8 < \Delta L \leq 12$	3
$12 < \Delta L \leq 18$	4
$18 < \Delta L \leq 24$	5
$24 < \Delta L$	6

Unter Berücksichtigung dieses modifizierten Tonzuschlags ergibt sich folgendes Ergebnis für die Tonhaltigkeit:

Tab. 5.8 Ergebnis der Tonhaltigkeit mit modifiziertem Tonzuschlag

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	Tonhaltigkeit nach DIN 45681 Mikrofonkanal 1 (front) - Energetischer Mittelwert der Pegeldifferenzen ΔL der 3 Sekunden Intervalle	Tonzuschlag nach DIN 45681 - K_{Tmod}	modifizierter Tonzuschlag K_{Tmod}
			dB	KT in dB	KTmod in dB
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	10,0	5	3
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	0,0	0	0
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	0,0	0	0
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	25,4	6	6
C.15	C15-A	Notebook	2,5	2	1
C.15	C15-B	Notebook	4,4	3	2
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	6,6	4	2
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	8,3	4	3

5.6 Gesamtresultat: Overall Noise Level

Durch die Messung der Schalleistung, der Impulshaltigkeit und der Tonhaltigkeit mit den dazu korrespondierenden Zuschlägen für deren Ausprägtheit ergibt sich somit die Möglichkeit, nach dem Konzeptvorschlag eine Summe zu bilden. Hierzu werden die Schalleistung in dB (10 x Bel), der Impulzzuschlag und der Tonzuschlag aufaddiert. Das Resultat wird in folgender Tabelle beschrieben:

Tab. 5.9 Overall Noise Level der Pilotstudie an 8 Produkten

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	Schalleistung L_{wAd} nach ISO 7779 + ISO 9296 (bzw. ECMA-74 und ECMA-109)	Impulzzuschlag	modifizierter Tonzuschlag K_{Tmod}	Overall Noise Level (Schalleistung in dB + K_{Tmod})
			B (Bel)	dB	K_{Tmod} in dB	dB
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	7,8	2,0	3	84
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	6,8	5,4	0	74
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	5,6	7,0	0	63
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	5,9	2,3	6	68
C.15	C15-A	Notebook	3,5	0,1	1	37
C.15	C15-B	Notebook	5,0	-0,2	2	52
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	6,2	0,3	2	65
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	5,4	-0,3	3	57

Absolut ist das Notebook C15-A das leiseste im getesteten Feld, der Nadeldrucker C3-A weist den höchsten Pegel auf.

5.7 Klasseneinteilung und individuelle Skalierung

Wie im Abschnitt 5 ausgeführt, sollte aufgrund der besseren Unterscheidbarkeit der einzelnen Produkte einer Produktgruppe die Klasseneinteilung individuell je nach Produktgruppe vorgenommen werden. Weiterhin sollte zur Vermeidung einer später nötigen Anpassung der niedrigsten Bewertungsstufe (A) durch den technischen Fortschritt eine sinnvolle Einstufung zu geringen Pegeln hin vorgenommen werden. Im Konzeptvorschlag sind hierbei zwei Lösungsansätze formuliert:

- Unterschiedliche Gradienten für unterschiedliche Produktgruppen.
- Basierend auf psychoakustischen Gegebenheiten unterschiedliche Pegel-differenzschwellen bei geringen Schallpegeln bzw. Lautheiten.

Für den ersten Fall werden für die untersuchten Produkte bzw. Produktgruppen folgende Grenzen für die Geräuschklassen A - G definiert: Hierbei wird beispielsweise bei Seitendruckern die leiseste Geräuschklasse A zwischen 60 – 63 dB definiert, wohingegen bei Datenprojektoren die A Geräuschklasse zwischen 47 – 50 dB liegt. Eine deutlich unterschiedlicher Gradient wird bei Rechnern (Notebooks, Personal Computer) angewandt, deren A Geräuschklasse hier zwischen 30 – 40 dB liegt. Der Grund dafür liegt an der breiten Spanne von Computern wie Notebooks (im Regelfall niedriger Geräuschpegel) und Server PC 19“ Einschüben (häufig hoher Geräuschpegel).

Tab. 5.10 Bewertungsgrenzen in dB für die Geräuschklassen A-G für einzelne Produktgruppen

	A	B	C	D	E	F	G
C.3 Character- and line printers	50	55	60	65	70	80	90
C.5 Keyboards	56	60	64	68	72	76	80
C.13 Page scanners	50	55	60	65	70	75	80
C.15 Personal computers, notebooks ...	30	40	50	60	70	80	90
C.16 Page printers	60	63	66	69	72	75	78
C.20 Data projectors	47	50	53	56	59	62	65

In folgender Grafik werden die Overall Noise Level (in dB) für die betreffenden Produktgruppen über die Bewertungsgrenzen aufgetragen:

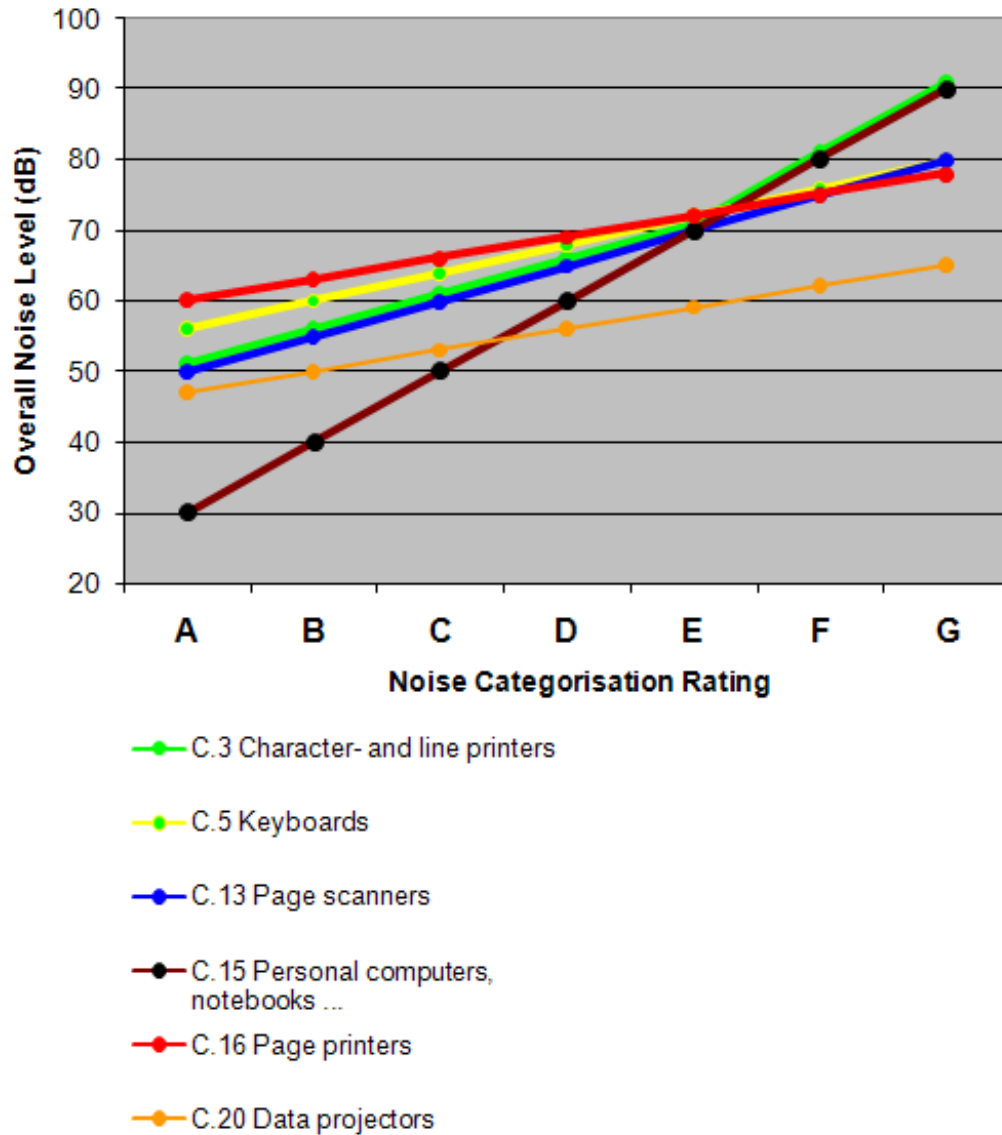


Abb. 5.8 Grafisch aufgetragene Bewertungsgrenzen in dB für die Geräuschklassen A-G für einzelne Produktgruppen

5.8 Skalierung unter Berücksichtigung der Psychoakustik

Für kleine Schallpegel sollte in einer weiteren Stufe die psychoakustische Eigenheit des menschlichen Gehörs berücksichtigt werden, dass bei kleinen Pegeln nur eine kleine Steigerung des Pegels notwendig ist, damit eine Verdopplung der Lautheit erreicht wird. Dieser Zusammenhang ist in folgender Grafik zu sehen:

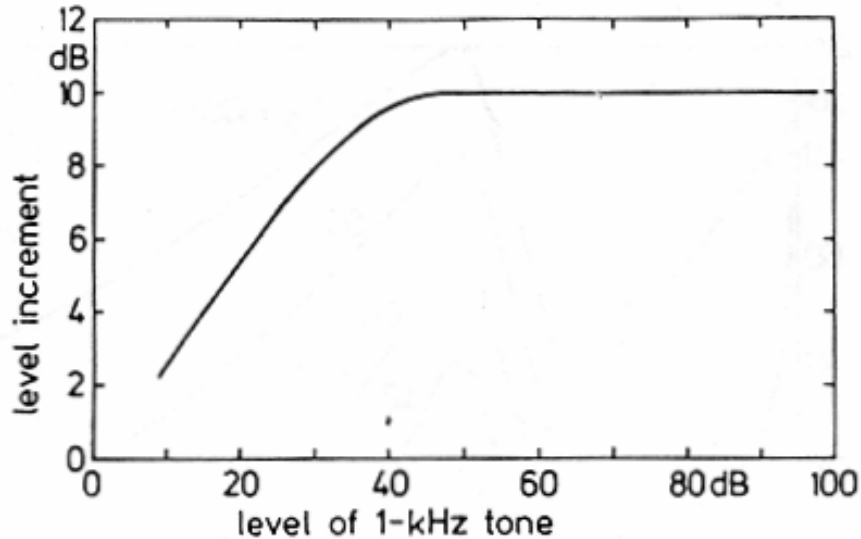


Abb. 5.9 Psychoakustische Besonderheit hinsichtlich der Lautheitsverdoppelung bei leisen Schallpegeln

In der praktischen Umsetzung bedeutet dies, dass die leisen Bewertungsklassen A, B und C näher zusammenliegen als die lauten Klassen E, F und G.

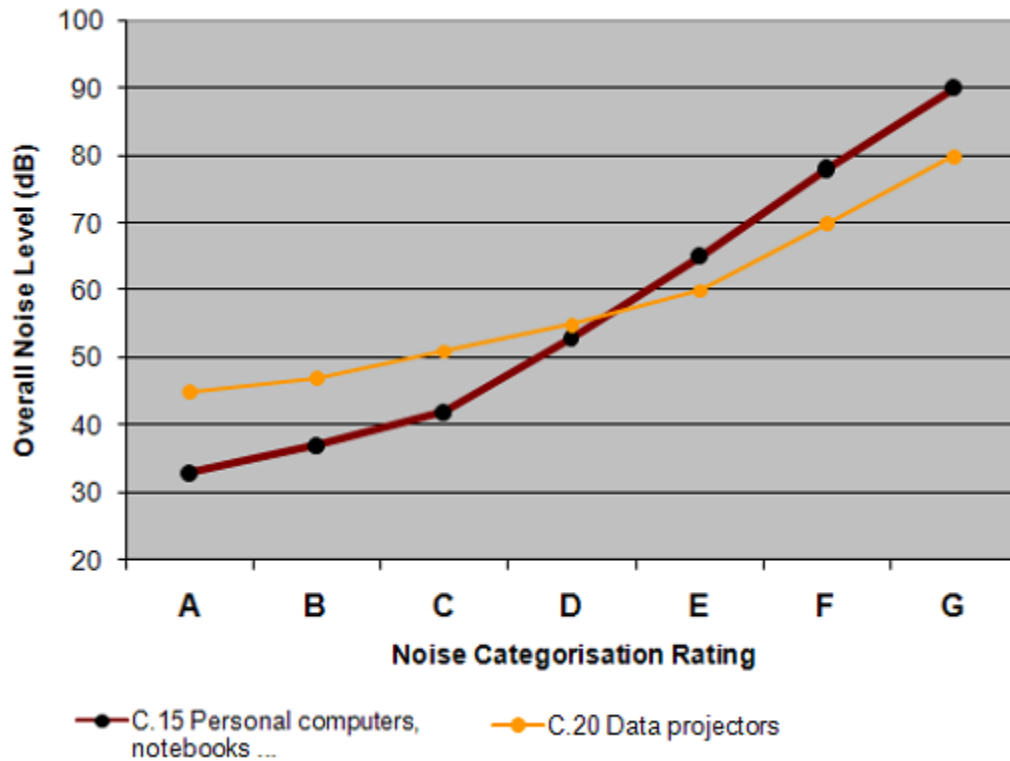


Abb. 5.10 Grafisch aufgetragene Bewertungsgrenzen in dB für die Geräuschklassen A-G nach der psychoakustisch modifizierte Skala

5.9 Vergleich: subjektive Kategorisierung zum Bewertungsergebnis

Im Folgenden wird nun das Ergebnis der Kategorisierung über den Overall Noise Level mit den eingangsgetroffenen subjektiven Einschätzungen der Laborexperthen verglichen.

Tab. 5.11 Ergebnis der Klassifizierung im Vergleich zur subjektiven Einschätzung

ECMA-74 Kategorie	Code	Gerätetyp	Lästigkeit des Betriebes-geräusches - subjektive Experten-einstufung (A = geringste Lästigkeit, G = höchste Lästigkeit)	Overall Noise Level (Schallleistung in dB + K_{mod})	Geräuschklasse
			A, B, C, ..., G	dB	A, B, C, ..., G
C.3	C3-A	Character-/line printer (Zeilendrucker)	F	84	F
C.5	C5-A	Keyboard (Tastatur)	F	74	E
C.5	C5-B	Keyboard (Tastatur)	B	63	B
C.13	C13-A	Page scanners (Flachbettscanner)	D	68	D
C.15	C15-A	Notebook	A	37	A
C.15	C15-B	Notebook	G	52	C
C.16	C16-A	Page printers (Seitendrucker)	C	65	B
C.20	C20-A	Data projectors (Videoprojektor)	D	57	D

Für folgende 5 von 8 Geräten stimmen die eingangsgetroffenen Einschätzungen genau mit den Resultaten überein:

- Nadeldrucker C3-A: Kategorie F
- Keyboard C.5-B: Kategorie B
- Flachbettscanner C13-A: Kategorie D
- Notebook C15-A: Kategorie A
- Datenprojektor C20-A: Kategorie D

Zwei weitere Geräte (Tastatur C5-A und Laserdrucker C16-A) unterscheiden sich in einer Stufe vom subjektiven Eindruck zum objektiven Bewertungsergebnis. In einem Fall jedoch bestehen 4 Bewertungsstufen (C statt G). Unterschied: Das relativ störende und laute Notebook C15-B wird subjektiv deutlich störender eingestuft als von dem Bewertungssystem. Der Grund dafür ist, dass die subjektive Einschätzung als Vergleichsmaßstab nur die Produktgruppe der Notebooks zugrunde lag, das Bewertungssystem jedoch nicht nur Notebooks, sondern auch alle weiteren Arten von PCs, Rechnern und Workstations in der ECMA-74 Kategorie C.15 abdecken muss. Die Bewertungsklasse G liegt hierbei zwischen 80 – 90 dB, was im speziellen Fall für Notebooks fehlangepasst ist.

Eine Besonderheit dieser Produktgruppe ist, dass deren Geräte in völlig unterschiedlichen Örtlichkeiten eingesetzt werden. Einerseits sind Notebooks und Einzel PCs (Desktop-PC) in unmittelbarer Nähe zum Bediener am Schreibtisch oder im ruhigen Arbeitsraum zu finden, andererseits sind Workstations, Server-PCs oder Einschub-PCs in überwiegenden Fällen in teilweise klimatisierten Serverräumen und Bereichen eingesetzt, in denen nicht dauerhaft gearbeitet wird bzw. werden kann.

Aus diesem Grund sollte die ECMA-74 Kategorie für das vorliegende Bewertungssystem in mindestens zwei Untergruppen aufgeteilt werden:

- Notebooks, Desktop-PCs und Netbooks (Einsatzbereich: Schreibtisch)
- Server-PCs, Workstations (Einsatzbereich: getrennte Rechnerräume)

Mit dieser weiteren Unterteilung könnte die breite Gruppe von Rechnern entsprechend ihres Einsatzortes besser kategorisiert werden. Darüber hinaus gibt es eine bessere Unterscheidbarkeit bzw. unterschiedlichere Geräuschemissionsklassen von Geräten einer Produktgruppe. Dies hilft Kunden deutlich mehr, die anhand der Betriebsgeräusche eine Auswahl treffen möchten.

Für den Fall des eventuell späteren Nachführens der besten Bewertungsklasse A beispielsweise beim Notebook (im Beispiel C15-A) ist mit der unteren Bewertungsgrenze von 30 dB(A) Schalleistung eine hinreichend sichere Grenze gewählt, die schwerlich messtechnisch unterboten werden kann. Ein Schalleistungspegel von etwa 30 dB(A) stellt bei üblichem Messequipment und einem Messraum mit sehr niedrigem Grundgeräuschpegel die untere Grenze der Messbarkeit dar.

Aus diesem Grund ist nicht zu befürchten, dass später Nachführklassen beispielsweise wie A+ oder A++ eingesetzt werden müssen.

6 Untersuchung an 12 Videoprojektoren

Im Zuge der Diskussion der Untersuchung mit Fachgremien und Experten stellten sich einige Fragestellungen heraus, die in einer tiefergehenden Untersuchung geklärt werden sollten. Die erste Fragestellung betraf die Plausibilität und Gültigkeit der orientierenden subjektiven Einschätzung der Betriebsgeräusche durch zwei Laborexperthen. Es wurde die Frage aufgestellt, ob ein statistisch gut verteiltes und deutlich größeres Versuchspersonen-Panel vergleichbare Bewertungen hinsichtlich der Lästigkeit der Geräusche geben würde. Weiterhin kam die Fragestellung auf, inwieweit die reine Angabe der Schalleistung ohne Hinzunehmen von psychoakustisch motivierten Klangqualitätsparametern wie Impulshaltigkeit und Tonhaltigkeit bei einer Produktgruppe für hinreichend große Unterscheidbarkeit sorgen könnte. Es wurde angenommen, dass die Geräte einer Produktgattung wie beispielsweise Laserdrucker oder Videoprojektoren ein ähnliches Geräuschspektrum und Geräuschverhalten haben. Aus diesem Grund könnte es ausreichen, nur die Schalleistung als alleiniges Messverfahren zu benutzen.

Aufgrund dieser offenen Fragen wurde deshalb ein nachfolgendes Messprojekt definiert. Dies sollte in einer tiefergehenden und umfangreicheren Messung an 12 unterschiedlichen Produkten einer Produktgruppe untersucht werden. Hierzu wurden Daten- und Videoprojektoren eines parallelen Projekts verwendet, welches seinerseits im Testlabor durchgeführt wurde. Dazu wurden die Geräuschemissionen von Videoprojektoren nach unserem Mess- und Bewertungskonzept, wie im Kapitel 5 beschrieben, untersucht. Weiterhin wurde ein Probandentest mit 19 Testpersonen durchgeführt.

Für die Untersuchung wurden 12 verschiedene Daten und Videoprojektoren einer Preisspanne von 500 € - 3000 € herangezogen und mit P01 - P12 verschlüsselt. Die physikalische Bildauflösung der Geräte lag bei 1024 x 768, 1280 x 720 oder 1920 x 1080 Pixel (Full HD). Die Geräte wurden horizontal stehend auf einem Tisch in Bild - Neutraleinstellung betrieben. Der ECO Modus zur Reduzierung des Stromverbrauchs und gleichzeitiger Absenkung des Betriebsgeräuschpegels war abgeschaltet.



Abb. 6.1 12 Videoprojektoren für die vertiefende Untersuchung

6.1 Subjektiver Hörvergleich

Die Hörvergleiche fanden im Anschluss an eine binaurale Aufnahme über Kunstkopf in 1 m Abstand statt. Der Kunstkopf war schräg hinter der Rückseite des Prüflings positioniert.



Abb. 6.2 Aufnahmen über binauralen Kunstkopf für den Hörvergleich

Die Betriebsgeräusche der Projektoren wurden von insgesamt 19 Testpersonen nach der Methode des vollständigen Paarvergleichs hinsichtlich des Aspekts der Lästigkeit beurteilt. Das Durchschnittsalter betrug 29,7 Jahre, 32 % der Versuchspersonen war weiblich. Das Abhören erfolgte über elektrostatische Kopfhörer mit der gleichen Entzerrungseinstellung Freifeld. Pro Person wurden somit mehr als 100 Beurteilungen abgegeben, hierbei wurde jeweils auch die intraindividuelle Schwankung bestimmt. Die Reizpaare wurden doppelt dargeboten.

Die interindividuellen Schwankungen betragen hinsichtlich des Konsistenzintervalls 0,97.

Die Ergebnisse des Hörvergleichs, geordnet nach der Lästigkeit, werden zusammen mit den Schallleistungsmessungen im folgenden Abschnitt dargestellt. Hinzugefügt sind auch die rechnerischen Ergebnisse nach der BTL Skalierung, die ergänzende Information über den Abstand zwischen den Prüflingen gibt.

Tab. 6.1 Resultate Hörtest Videoprojektoren sortiert nach Platz bzw. BTL Skalierung

Beamer	Platz	BTL- Skalierung
P12	1	0,00
P11	2	0,19
P01	3	1,22
P08	4	2,35
P09	5	2,80
P02	6	3,44
P10	7	3,46
P03	8	4,97
P06	9	5,98
P05	10	6,23
P07	11	7,05
P04	12	7,82

6.2 Schalleistungsmessung

Die Messbedingungen waren vergleichbar mit der ISO 7779 und ISO 3745 (Freifeld-Halbraum mit Grundgeräuschpegel kleiner als 5 dB(A)).

Die Schalleistungsmessungen wurden mit fünf 1“ Mikrofonen in 1 m Abstand durchgeführt. Die Messung der Schalleistung nach ISO 7779 bzw. ISO 3745 fand in einem Freifeld-Halbraum mit einer Genauigkeitsklasse 1 für einen Frequenzbereich oberhalb von 80 Hz statt. Der Versuchsaufbau hierzu ist in nachfolgender Abbildung zu sehen.

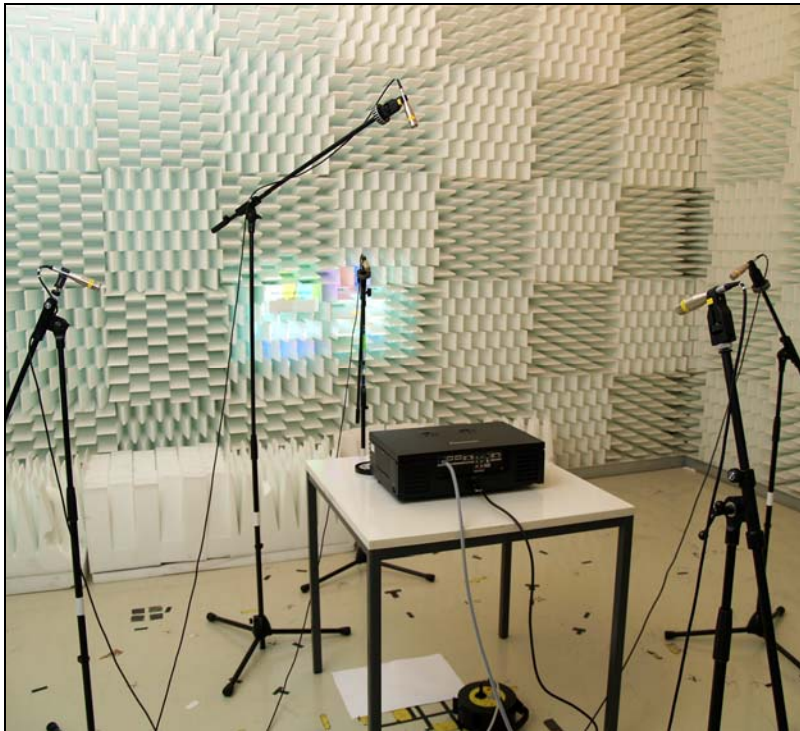


Abb. 6.3 Messung der Schalleistung L_{wAd} nach ISO 7779

Es wurden wiederum die Schalleistung sowie weitere Parameter mit einem rechnergestützten Auswertesystem PAK der Firma Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH gemessen und analysiert.

Im ersten Schritt wird im Folgenden die Schalleistung tabellarisch aufgeführt und wird mit den Ergebnissen des Hörvergleichs – nach Lästigkeit angeordnet – dargestellt.

Tab. 6.2 Resultate Schalleistungsmessungen und Ergebnisse des Hörvergleichs

Code	Lästigkeit des Betriebsgeräusches aus Hörvergleich (1 = geringste Lästigkeit; 12 = höchste Lästigkeit)	Schalleistung L_{wAd} nach ISO 7779 + ISO 9296 (bzw. ECMA-74 und ECMA-109)
		B (Bel)
P04	1	4,1
P07	2	4,2
P05	3	4,5
P06	4	4,6
P03	5	4,4
P10	6	4,9
P02	7	4,9
P09	8	5,2
P08	9	5,1
P01	10	5,2
P11	11	5,5
P12	12	5,4

Die untersuchten Projektoren liegen in einem relativ weiten Bereich zwischen 41 dB(A) und 55 dB(A), über 14 dB Pegeldifferenz.

Bei den Projektoren Nr. P03, P08 und P12 korreliert jedoch die Schalleistung nicht mit dem Höreindruck.

Die Korrelation der beiden Untersuchungsreihen, ausgedrückt über das Bestimmtheitsmaß R^2 , liegt bei 0,914. Dieser Zusammenhang wird in der nachfolgenden Grafik dokumentiert:

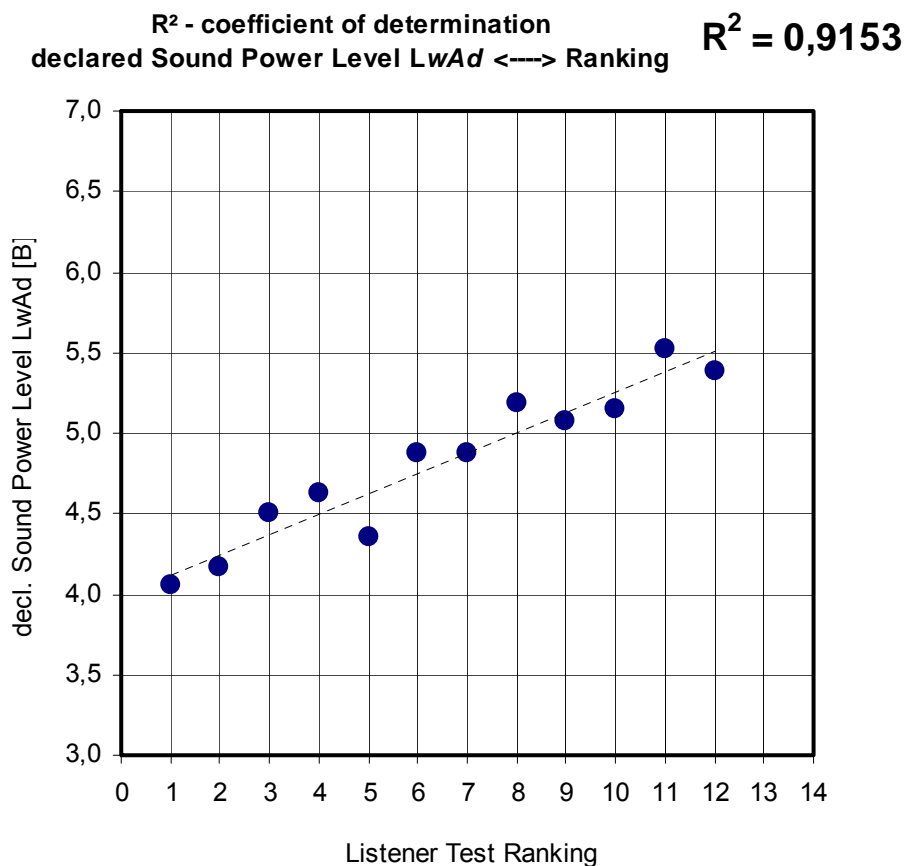


Abb. 6.4 Bestimmtheitsmaß R^2 von Rangreihenfolge mit Schalleistung

Dieses Ergebnis zeigt, dass die reine Messung der Schalleistung nicht in allen Fällen mit dem subjektiven Gehöreindruck korreliert, obwohl die Art der Geräuschentstehung bei an sich verwandten Geräten sehr ähnlich ist. Es würden ohne Hörvergleich drei der zwölf Geräte besser eingestuft werden als im Gehöreindruck.

Eine nähere Analyse des subjektiven Gehöreindrucks ergab, dass die Projektoren P03 und P08 einen störenden tonalen Klangcharakter aufweisen wohingegen bei dem Projektor P12 neben dem hohen Geräuschniveau auch eine Rauheitskomponente hörbar war.

Für den tonalen Eindruck wurde von den aufgenommenen Mikrofonsignalen das der Geräterückseite am nächsten positionierte Mikrofon hinsichtlich der DIN 45 681 analysiert.

6.3 Tonhaltigkeit nach DIN 45 681

Aufgrund der Voruntersuchungen wie im Kapitel 5 beschrieben wurde die Bestimmung der Tonhaltigkeit nach der Norm DIN 45 681 durchgeführt, die sich in Untersuchungen wie [4] als geeignet erwiesen hat.

In Abweichung der Norm wurden wiederum die durch die Norm auf S. 17 angegebenen Tonzuschläge K_T in Abhängigkeit von ΔL modifiziert und abgeschwächt. Die Differenz ΔL des Tonpegels L_T wurde mit dem Faktor 2 beaufschlagt, so dass der maximale Tonzuschlag statt bei $\Delta L \geq 12$ dB erst ab $\Delta L \geq 24$ dB zutrifft.

Bei der Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlags für die Beurteilung von Geräuschmissionen nach DIN 45 681 werden in 3 Sekunden Intervallen die maßgeblichen Differenzpegel zwischen den tonalen Anteilen und dem Grundgeräusch analysiert und von diesen Intervallen die mittlere Differenz errechnet. Dieser mittlere Differenzpegel ist im folgenden Diagramm dargestellt:

Tab. 6.3 Tonhaltigkeit nach DIN 45 681, mittlere Differenzpegel der Betriebsgeräusche

Code	Lästigkeit des Betriebsgeräusches aus Hörvergleich (1 = geringste Lästigkeit; 12 = höchste Lästigkeit)	Tonhaltigkeit nach DIN 45681 Mikrofonkanal 1 (front) - Energetischer Mittelwert der Pegeldifferenzen ΔL der 3 Sekunden Intervalle	Tonzuschlag K_{Tmod}
		dB	K_{Tmod}
P04	1	1,4	1
P07	2	6,4	2
P05	3	2,2	1
P06	4	0,1	1
P03	5	12,2	4
P10	6	3,9	1
P02	7	2,4	1
P09	8	5,4	2
P08	9	14,5	4
P01	10	4,9	2
P11	11	0,7	1
P12	12	7,6	2

Die Messwerte für die Modelle P03 und P08 bestätigen den subjektiven Höreindruck wie unter 7.2 beschrieben. Sie erhalten im modifizierten Tonzuschlag 4 dB Malus.

6.4 Gesamtergebnis: Overall Noise Level

Hinsichtlich der Impulshaltigkeit wurde bei der vorliegenden Produktgruppe kein Beitrag durch eine Messung der instationären Lautheit gewonnen, da die zeitliche Struktur des Betriebsgeräuschs der Lüfter sehr gleichmäßig ist.

Durch die Messung der Schalleistung und der Tonhaltigkeit mit dem dazu korrespondierenden Zuschlag für dessen Ausprägtheit ergibt sich somit die Möglichkeit, nach dem Konzeptvorschlag eine Summe zu bilden. Hierzu werden die Schalleistung in dB (10 x Bel), der Impulzzuschlag (hier nicht vorhanden) und der Tonzuschlag aufaddiert. Das Resultat wird in folgender Tabelle beschrieben:

Tab. 6.4 Overall Noise Level der Untersuchung an 12 Videoprojektoren

Code	Lästigkeit des Betriebsgeräusches aus Hörvergleich (1 = geringste Lästigkeit; 12 = höchste Lästigkeit)	Schalleistung L_{wAd} nach ISO 7779 + ISO 9296 (bzw. ECMA-74 und ECMA-109)	Tonzuschlag K_{Tmod}	Overall Noise Level (Schalleistung in dB + K_{Tmod})
		B (Bel)	K_{Tmod}	dB
P04	1	4,1	1	42
P07	2	4,2	2	44
P05	3	4,5	1	46
P06	4	4,6	1	47
P03	5	4,4	4	48
P10	6	4,9	1	50
P02	7	4,9	1	50
P09	8	5,2	2	54
P08	9	5,1	4	55
P01	10	5,2	2	54
P11	11	5,5	1	56
P12	12	5,4	2	56

Die Korrelation des subjektiven Höreindrucks mit dem Overall Noise Level, ausgedrückt über das Bestimmtheitsmaß R^2 , liegt nun bei 0,953 im Vergleich zur Schallleistung mit 0,914. Dies bedeutet eine Verbesserung um ca. 4 %.

Insbesondere bei den beiden Projektoren P03 und P08 mit ausgeprägter tonaler Komponente trägt der Tonzuschlag dazu bei, dass die Rangreihenfolge deutlich besser mit dem subjektiven Höreindruck übereinstimmt. Die Aussage, dass bei einer homogenen Produktgruppe wie der Videoprojektoren die Schallleistung als alleiniges Kriterium hinreichend für eine Unterscheidbarkeit sei, kann somit widerlegt werden.

Der Zusammenhang zwischen Hörtest und Overall Noise Level wird in der folgenden Grafik dokumentiert:

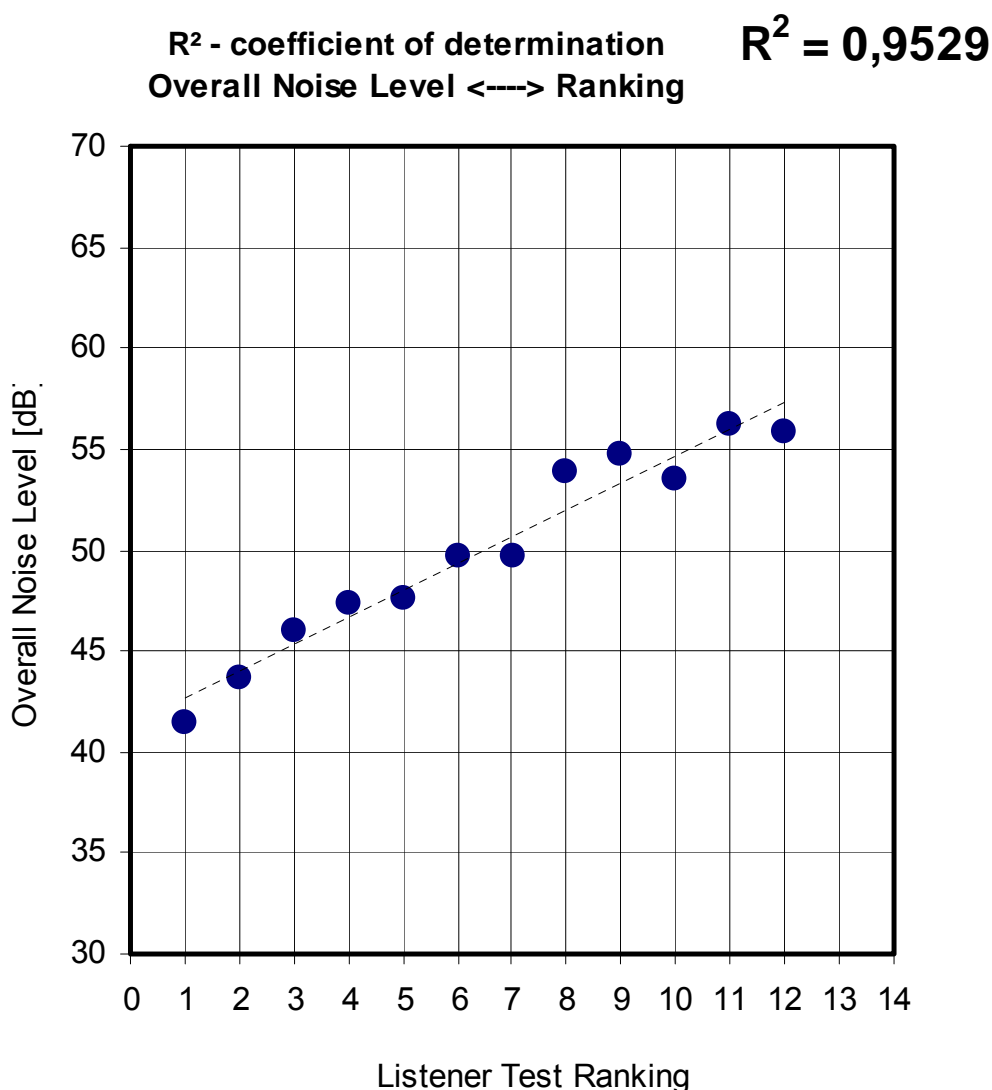


Abb. 6.5 Bestimmtheitsmaß R^2 von Rangreihenfolge mit Overall Noise Level

Die Pegeldifferenz zwischen dem leisesten und dem lautesten Modell beträgt beim Overall Noise Level ebenfalls 14 dB wie schon bei der Schalleistung.

Gemäß der Einstufung und Kategorisierung nach Abschnitt 5 können demnach die Projektoren in folgende Geräuschemissionsklassen eingeteilt werden:

- **Code P01: C**
- **Code P02: C**
- **Code P03: B**
- **Code P04: A**
- **Code P05: A**
- **Code P06: B**
- **Code P07: A**
- **Code P08: C**
- **Code P09: C**
- **Code P10: C**
- **Code P11: E**
- **Code P12: E**

7 Diskussion und Ausblick

Es wurde anhand von zwei unterschiedlichen Projekten das vorgeschlagene Bewertungssystem auf seine praktische Realisierbarkeit geprüft. Hierbei wurden im ersten Schritt 8 Produkte von 5 unterschiedlichen Produktgruppen wie Drucker, Flachbett-scanner, Notebooks, Tastaturen und Videoprojektoren untersucht. Im zweiten Projekt wurde eine verfeinerte Analyse einer Produktgruppe (Videoprojektoren) anhand von 12 verschiedenen Geräten vorgenommen.

Die messtechnische Realisierbarkeit, die Transformation in Geräuschemissionsklassen A (sehr leise) bis G (sehr laut) sowie die Korrelation mit den subjektiven Hör-empfindungen wurden in den zwei Teiluntersuchungen nachgewiesen.

Das Konzept wurde in folgenden verschiedenen Fachgremien und bei nationalen wie internationalen Tagungen im Zeitraum zwischen 5/2009 und 10/2010 vorgestellt und diskutiert:

- 2 Vorträge (Projektvorstellung und Projektabschluss) auf Sitzungen des EK1-AG1 Arbeitskreises (GS) in Köln (5/2009 und 9/2010)
- Telefonkonferenz mit HP Akustik-Experten aus den USA und Deutschland. Vorstellung des Projekts und des Konzepts. (6/2009)
- Vortrag und Projektvorstellung auf der Sitzung des ITI Technical Committees in Ottawa/Kanada im Rahmen der Internoise 2009
- Vortrag und Projektvorstellung auf der Sitzung des Bitkom Fachausschusses Ergonomie in Frankfurt (10/2009)
- Vortrag auf der Eurnoise 2009 zum Thema „Different requirements on describing quantities for Sound Quality“ von Otto Martner (Co-Autor Gregor Feneberg) (10/2009)
- Vortrag im Rahmen der DAGA 2010 in Berlin (Untersuchung zum Betriebsgeräusch von Videoprojektoren für die Entwicklung eines Konzepts für Geräuschklassen von IT-Geräten) (3/2010)
- Vortrag im Rahmen der NoiseCon 2010 in Baltimore. (German IT-equipment noise categorization concept: Study on several data projectors) (4/2010)
- Vortrag im Rahmen der Internoise 2010 in Lissabon (German IT-equipment noise categorization concept: Measurements and final approach) (6/2010)

Eine breite Zustimmung bekam die Zielrichtung der Untersuchung zur Entwicklung eines Konzepts für Geräuschklassen und einer Vereinfachung der Deklaration. Es gibt derzeit auch in den USA durch Matt Nobile (IBM) ein Konzept zur Klassifizierung von Produkten (über EDV-Geräte hinaus).

Die Produktgruppe der Videoprojektoren wurde in dieser Untersuchung weitgehend in ihren Eigenschaften erfasst und somit könnte eine direkte Umsetzungsvorschrift entwickelt werden. Diese Umsetzung könnte in einem weiteren Projektschritt erfolgen.

8 Literaturverzeichnis

DIN EN ISO 7779 (Oktober 2002): Akustik - Geräuschemissionsmessung an Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik

DIN EN ISO 7779/A1 (September 2003): Akustik - Geräuschemissionsmessung an Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik. Änderung 1: Festlegungen zur Geräuschemessung an CD-ROM- und DVD-ROM-Laufwerken

ISO 9296 (4/1998): Acoustics – Declared noise emission values of computer and business equipment

ISO 3741 (8/1999): Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation rooms

ISO 3744 (5/1994): Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane

ISO 3745 (12/2003): Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms

ECMA-74 Standard 10th Edition/December 2008: Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment

DIN EN ISO 7779/A2 (6/2008) Entwurf: Akustik – Geräuschemissionsmessung an Geräten der Informations- und Telekommunikationstechnik – Änderung 2: Überarbeitung der Abschnitte zu Messflächen, zu Verfahren der Geräteaufstellung und -betrieb und zur Erkennung auffälliger Einzeltöne (ISO 7779:1999/DAM 2.2:2008);

Deutsche Fassung EN ISO 7779:2001/prA2:2008

DIN 45 681 (3/2005): Akustik: Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschemissionen

DIN 45 631/A1 Entwurf Jan. 2008: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum – Verfahren nach E. Zwicker; Änderung 1: Berechnung der Lautheit zeitvarianter Schalle

DIN EN ISO 11 201 (7/1996): Akustik – Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten. Messung von Emissions-Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und an anderen festgelegten Orten

DAGA '06

I. Arendt, P. Kurtz: Geräuschemissionen von Tastaturen. BAuA, Dortmund (Schallleistungspegel)

G. Notbohm, C. Hofbauer, A. Linnemeier: Bewertung der „Sound Quality“ von alltäglichen Geräuschen. Inst. für Arbeits- und Sozialmedizin, Universitätsklinikum Düsseldorf (subjektive Bewertungen von Geräuschen, emotionale Bewertung, Tonhöhe, Zeitstruktur – Rauigkeit)

A.E. Cakir et al; Ergonomic Institut; Bewertung der Geräuschemission von Geräten und Komponenten im Bereich der Büro-EDV, 11/2001

BITKOM Leitfaden zu Akustik-Emissionsdaten auf Datenblättern für IT-Equipment, November 2008

Internoise 2002

I. Kimizuka: Development of ISO 7779 1st Amendment "Noise measurement specification for CD-and DVD-Rom drives". IBM Japan. (Standardisierte Meßmethoden für Geräuschemissionen von Laufwerken, Schalleistungspegel)

Internoise 2003

A. Takanashi, A. Mori, M. Nomura: Evaluation of Sound Quality of Business Machines - Background and Problems. Canon INC. Japan. (Schalleistungspegel und psychoakustische Parameter, wie Lautheit, Schärfe, subjektive Beurteilung)

J.H. Jeong, J.Y. Jeon: Subjektive Evaluation of Computer Noises. Hanyang University, Seoul. (Physikalische (Schalleistungspegel) und psychoakustische Aspekte (Lautheit, Lästigkeit), subjektive Beurteilungen)

Internoise 2008

S. Kuwano: Cross-cultural comparison of subjective impression of copy machine noise using original and modified sounds. Osaka University, Japan. (Subjektive Beurteilung von Originalgeräuschen und Geräuschen mit reduzierten hochfrequenten Komponenten)

R. Upton: A survey of standardisation work in sound quality and its influence on testing of IT products. B&K, Dänemark. (Quantitative und qualitative Messungen - Stand der Standardisierung.)

N. Masato: Study of sound quality for small axil fan. Chiyoda advanced solutions, Japan. (Physikalische und psychoakustische Aspekte, subjektive Beurteilung (Lästigkeit))

M. Nobile: Product Noise Ratings for the General Public, Interoise 2009

Euroise 2006

K. Genuit: Acoustical parameter for the sound quality of IT-Products. Head acoustics, Germany (Physikalische und pschoakustische Faktoren, Änderungen des Zeit- und Frequenzverlaufs des Geräuschs sind signifikant)

R. Jurc, O. Jiricek: Next investigation of loudness influence on the pleasantness of some products. Czech Technical University, Prag. (Subjektive Beurteilung in Abhängigkeit von psychoakustischen Größen, spezifische Lautheit maßgebend)

Veröffentlichungen von M. Nobile et al. 2003

Web-Based Product Noise Declaration for the Information Technology Industry. A proposal for an Industry Group Program for Product Noise Declarations (Acoustical Noise Declaration gemäß ISO 9296 und ISO 7779)

Veröffentlichung auf der Euroise 2009 in Edinburgh/Scotland zum Thema "Different requirements on describing quantities for Sound Quality" (G. Feneberg, O. Martner, C. Zerbs – Müller-BBM GmbH)

Veröffentlichung auf der DAGA 2010 in Berlin (Untersuchung zum Betriebsgeräusch von Videoprojektoren für die Entwicklung eines Konzepts für Geräuschklassen von IT-Geräten) (G. Feneberg, O. Martner - Müller-BBM GmbH)

Veröffentlichung auf der NoiseCon 2010 in Baltimore/USA zum Thema "German IT-equipment noise categorization concept: Study on several data projectors" (G. Feneberg, O. Martner – Müller-BBM GmbH)

Veröffentlichung auf der Internoise 2010 in Lissabon/Portugal zum Thema "German IT-equipment noise categorization concept: Measurements and final approach" (G. Feneberg, O. Martner – Müller-BBM GmbH)

E. Zwicker, Psychoakustik, Springer Verlag 1982, ISBN 3-540-11401-7