

## Lärm von Kinderspielzeug

Antje Grebel<sup>1</sup>, Joachim Bös<sup>1</sup>, Tobias Melz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM, 64289 Darmstadt  
E-Mail: grebel@szm.tu-darmstadt.de

### Motivation

Von Geburt an sind Kinder vielfältigen Schallquellen ausgesetzt, zu denen auch speziell für Kleinkinder entwickelte Spielzeuge zählen. Diese sollen unter anderem die Gehörentwicklung durch das Generieren akustischer Reize fördern, denn die Hörfähigkeit des Kindes ist bis zum Schulalter unausgereift und formbar [1]. In vielen Kinderzimmern findet sich daher zahlreiches Spielzeug, das sich als „Spielzeug für Kleinkinder zum Ansehen, Greifen und/oder Zusammendrücken, um ein Geräusch zu erzeugen“ [2] klassifizieren lässt. Dennoch sind diese Spielzeuge nicht immer ungefährlich, wie in diversen Studien gezeigt wurde. Um festzustellen, inwieweit die dort festgelegten Grenzwerte eingehalten werden, wird das dafür in DIN 71-1 festgelegte Prüfverfahren zunächst auf diverse Spielzeuge angewandt. Laut DIN 71-1 ist das Prüfverfahren unter Laborbedingungen durchzuführen. Die Prüfumgebung (Labor) unterscheidet sich stark vom späteren eigentlichen Einsatzort des Spielzeugs, weshalb anschließend ein geeignetes Messverfahren zur Übertragung der Grenzwerte auf eine häusliche Umgebung gefunden werden soll. Außerdem zeigt sich, dass Kinder die Spielzeuge nicht immer im Sinne des Konstrukteurs, des Designers oder der Richtlinien nutzen. Durch abweichende Benutzung können andere Geräusche entstehen, die mitunter die Grenzwerte überschreiten können und hier ebenfalls untersucht werden sollen.

### Anforderungen der DIN 71-1

Rund 80 Millionen Kinder unter 14 Jahre leben in der Europäischen Union und ungefähr 2000 Unternehmen beschäftigen sich mit der Herstellung von Kinderspielen und Spielzeugen [3]. Die aktuell rechtlich bindenden Anforderungen an Spielzeug finden sich in der DIN EN 71-1 „Sicherheit von Spielzeug“, deren erster Teil sich mit „mechanische[n] und physikalische[n] Eigenschaften“ [4] befasst. Die akustischen Anforderungen sind dort in Abschnitt 4.20 in Verbindung mit Anhang A.25 definiert. Sie gelten jedoch nur „für Spielzeug, das eindeutig mit der Absicht konstruiert wurde, Schall zu emittieren, d.h. mit Schall erzeugenden Elementen ausgestattetes Spielzeug wie elektrische oder elektronische Geräte, Zündhütchen, klappernde Teile usw.“ [4] Grundlage für die dort angegebenen Grenzwerte für Schalldruckpegel bilden die Werte aus dem Lärmschutz am Arbeitsplatz. Eine Anpassung für Kinder findet nicht statt [4]. In die Begrenzung des zeitlich gemittelten, A-bewerteten Schalldruckpegels fließt die Benutzungsdauer des Spielzeugs mit ein. Diese wurde mit 2 Stunden angenommen. Unter der Annahme, dass „jede Doppelung der [Expositions-]Dauer eine Zunahme des Emissions-Schalldruckpegels von 3 dB“ [4] mit sich bringt, folgt, dass für jede Halbierung der Expositionsdauer T ein 3 dB

höherer Schalldruckpegel ertragen werden kann. Formal lässt sich dieser Zusammenhang wie folgt formulieren:

$$L_{p2} = L_{p1} - 10 \cdot \log\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \text{ dB} \quad (1)$$

Somit ergibt sich aus dem unteren Auslösewert von 80 dB(A) für einen 8-stündigen Arbeitstag [5] ein Wert von 86 dB für die 2-stündige Spieldauer, der zur Verschärfung auf 85 dB gerundet wird [4]. Diese Absenkung wird zwar nicht begründet, kann aber als Sicherheitszuschlag verstanden werden. Mit der Einteilung der Spielzeuge in drei Expositionskategorien, die sich nach der Dauer der Lärmemission pro Aktivierung unterscheiden, folgen nach dem gleichen Prinzip Korrekturwerte. Der Grenzwert erhöht sich demnach bei einer Drittelung der Expositionsdauer um 5 dB, bei einem Zehntel der Expositionsdauer um 10 dB.

Spielzeug wird allerdings auch nach Art der Benutzung oder Schallerzeugung eingeteilt. So wird zwischen ohrnahem und handgehaltenem Spielzeug, Rasseln/Klappern, Quetschspielzeug und weiteren Kategorien unterschieden. Der Grenzwert von  $L_{A,eq} = 85 \text{ dBA}$  gilt dabei meist bei einem sog. Anwenderabstand von 25 cm. Bei ohrnahem Spielzeug liegt der Anwenderabstand bei 2,5 cm. Der  $L_{CPKmax}$  gilt immer ohrnah, also bei 2,5 cm wird nicht korrigiert, da er einen besonders ungünstigen Extremfall darstellen soll.

Mit Gleichung (2) lässt sich damit der zulässige A-bewertete Schalldruckpegel am Messabstand r berechnen:

$$L_2 = L_1 - 10 \cdot \log\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \text{ dB} \quad (2)$$

### Messergebnisse nach DIN 71-1

Die Messergebnisse zeigen deutlich, dass das in Deutschland (hergestellte und) gekaufte Spielzeug die Anforderungen der DIN 71-1 erfüllt. Spielzeug, welches im Ausland erworben und nicht gewerblich importiert wurde, erfüllt diese Anforderungen teilweise nicht oder nur knapp. Getestet wurde vorrangig klassisches (Holz-)spielzeug; es gab allerdings auch einige elektronische Spielzeuge. Die größte Gruppe der getesteten Spielzeuge besteht aus neun Spielzeugen der Kategorie „handgehaltenes Spielzeug“. Darin lag der A-bewertete zeitlich gemittelte Emissionsschall-druckpegel zwischen 54 und 75 dBA. Der C-bewertete Emissionsspitzen-schall-druckpegel dieser Spielzeuge lag mit 85 dBC bis 106 dBC deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwertes von 110 dBC. Tabelle 1 zeigt ausgewählte Ergebnisse, wie sie mit der nach DIN 71-1

vorgeschriebenen Prüfung erreicht wurden. Dargestellt sind hier nur die A-bewerteten Schalldruckpegel.

Tabelle 1: ausgewählte A-bewertete Schalldruckpegel

Spielzeugart	Spielzeug	Anwenderabstand (in cm)	Messabstand (in cm)	gemessener Wert am Messabstand (in dB)	Grenzwert (in dB)
ohrnahe Spielzeug	Handy	2,5	50	64,8	65
handgehaltenes Spielzeug	Klapper	25	50	73,5	85
Quietschspielzeug	Quietsche	25	50	74,6	85
Spielzeug zum Schieben oder Ziehen	Watschelhase	25	50	81,1	85
Spielzeug mit Zündhütchen	Pistole	25	50	96,3	90
Rasseln	Rasselring	25	50	50,4	85

Exemplarisch sollen in Abb. 1 die Ergebnisse des ohrnahe Spielzeugs gezeigt werden. In dieser Kategorie wurden drei Spielzeuge vermessen: ein Spielzeughandy, eine singende Puppe und eine Spieluhr. Die beiden letzten Spielzeuge könnten auch als handgehaltene Spielzeuge klassifiziert werden, allerdings erscheint eine Einordnung in die Kategorie „ohrnahe Spielzeug“ deutlich sinnvoller, da dieses Spielzeug oft mit ins Bett genommen oder gelegt wird.

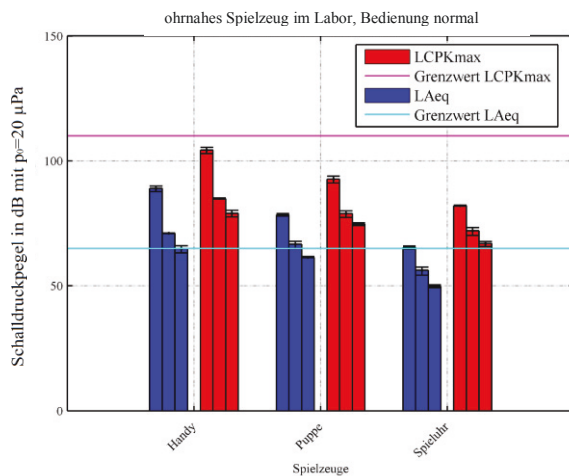


Abbildung 1: Ergebnisse der Messung der ohrnahe Spielzeuge jeweils von links nach rechts im Abstand von 2,5 cm, 25 cm und 50 cm

Die Streuung ist bei allen drei Spielzeugen sehr gering, was vermutlich auf die gute Reproduzierbarkeit durch die automatisierte Klangerzeugung zurückzuführen ist. Mit zunehmendem Abstand fallen die Pegel erwartungsgemäß deutlich ab. Der zulässige Grenzwert des  $L_{CPKmax}$  von 110 dB im Messabstand von 50 cm wird von allen drei Spielzeugen deutlich unterschritten. Während der  $L_{Aeq}$  von 65 dB im Messabstand von 50 cm von der Spieluhr ebenfalls deutlich unterschritten wird, liegt die Puppe nur knapp darunter und das Handy trifft diesen Wert genau und ist somit nicht mehr als Kinderspielzeug zu empfehlen. Die letzten beiden Spielzeuge wurden im Ausland gekauft.

Die Streuung der Messwerte in nahezu allen Kategorien ist bei handbetätigten Spielzeugen wie Klappern oder Rasseln wesentlich stärker als bei elektronischen. Einerseits ist dies auf die bessere Reproduzierbarkeit der elektronischen Spielzeuge durch die weitgehend festgelegte Klangfolge zu erklären und andererseits ist der Messabstand bei handgehaltenen Spielzeugen schwieriger einzuhalten, was sich insbesondere bei kleinen Messabständen bemerkbar macht.

## Übertragbarkeit auf andere Räume

Immer wieder wird, besonders und vor allem in Internetforen, über die Lautstärke von Spielzeug diskutiert, und es werden mit einem Smartphone ermittelte „dB-Werte“ publiziert. Teilweise werden die dort ermittelten Pegel mit ebenfalls im Internet verfügbaren Pegelwerten „startendes Flugzeug“ o.ä. verglichen. Eine entfernungsabhängige Einordnung der Messwerte findet nicht statt. Natürlich ist es für den Produktzulassungsprozess unerlässlich, das Spielzeug in einem Labor zu testen. Die Raumbedingungen zu Hause oder in Kindertagesstätten unterscheiden sich jedoch drastisch von einem Akustiklabor.

Die gemessenen Schalldruckpegel lassen sich entweder über die Fremdgeräuschkorrektur nach DIN EN ISO 3744 [6] auf andere Räume übertragen oder es wird die Raumkorrektur  $K_{2A}$  angewandt, die die Messoberfläche der Quelle  $S_H$  in  $\text{m}^2$ , die Nachhallzeit des Raumes  $T$  und das Raumvolumen  $V$  ins Verhältnis setzt.

$$K_{2A} = 10 \lg \left( 1 + \frac{4S_H T(f)}{0,163 \frac{\text{s}}{\text{m}} V} \right) \text{dB} \quad (3)$$

Um  $K_{2A}$  zu bestimmen, müssen folglich für jeden der verwendeten Räume das Volumen sowie die Nachhallzeit bestimmt werden. Für diese Untersuchung wurden vier Spielzeuge ausgewählt, welche in einem Schlaf- und einem Wohnraum sowie einem Badezimmer einer kleinen Wohnung getestet wurden. Außerdem wurden die Untersuchungen in einer benachbarten Kinderkrippe in den Räumen für die Betreuung der Unter-Dreijährigen durchgeführt. Die Nachhallzeit jedes Raumes wurde nach DIN 3382 [7] mit Impulsschallerzeugern ermittelt und das Raumvolumen wurde ausgemessen. Für diese Untersuchungen wurden fünf Spielzeuge aus verschiedenen Kategorien ausgewählt. Zur Bestimmung der Messoberfläche von Quietsche, Klapperclown, Rasselring, Glockenspiel und Watschelhase werden die Abmessungen der fünf Spielzeuge bestimmt. Da die Spielzeuge zur Klangerzeugung bewegt werden müssen, wird der umschlossene Raum um diesen Anteil vergrößert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass beinahe alle Werte der Raumkorrektur unterhalb 1 dB liegen (siehe Abb. 2). Größere Werte finden sich lediglich für die Korrektur im Badezimmer für den Frequenzbereich unter 500 Hz und die Messung von Glockenspiel und Watschelhase. Da die Korrekturwerte so gering sind, können sie vernachlässigt werden. Dennoch sollen die Gründe für die sehr kleinen Werte

untersucht werden. Dazu bietet sich an, die Eingangsgrößen zur Berechnung von  $K_{2A}$ , also die Nachhallzeit  $T$ , die Messfläche  $S_H$  und die Raumvolumina  $V$  zu betrachten, welche linear miteinander verrechnet werden, bevor das Zwischenergebnis logarithmiert wird (siehe Gl. (3)).

Tabelle 2: Vermessung der Spielzeuge

Spielzeug	nötige Bewegung	Länge in m	Breite in m	Höhe in m	resultierende Messoberfläche in m <sup>2</sup>
Quietsche	keine Bewegung nötig	0,055	0,1	0,17	0,64
Klapper	Hin- und herbewegen	0,2	0,12	0,04	0,074
Rasselring	Hin- und herbewegen	0,11	0,11	0,02	0,03
Glockenspiel	mit Schlägel anregen	0,27	0,13	0,2	0,23
Watschelhase	Schieben	0,27	0,14	0,14	0,24

Wird daher auf den richtigen Messabstand zum Spielzeug geachtet und unter der Bedingung, dass die Spielzeuge klein im Verhältnis zum Raum sind, können auch in normaler Umgebung erste abschätzende Messungen durchgeführt werden.

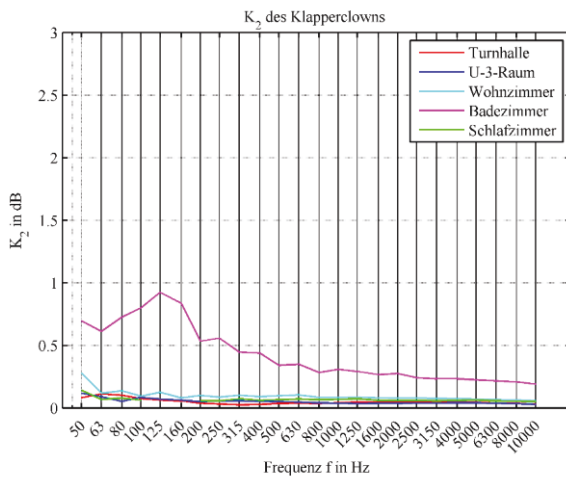


Abbildung 2: Umgebungskorrektur für den Klapperclown

### Andersartige Benutzung

Grundlage für diese Messung ist die Vermutung, dass auch die Art der Benutzung eines Spielzeuges einen großen Einfluss auf die erzeugten Schalldruckpegel hat. Diesem Versuch liegt weiterhin die Annahme zugrunde, dass Kinder Spielzeuge nicht immer auf die eigentlich bestimmte Art benutzen, sondern im Rahmen ihrer Fantasie völlig andere Bedienweisen finden. Um die möglichen Schalldruckpegel bei andersartiger Verwendung zu messen, werden ein Rasselring, ein Klapperclown und ein Watschelhase ausgewählt. Die beiden ersten, handgehaltenen Spielzeuge werden von zwei oder drei Erwachsenen in verschiedenen Räumen für eine Dauer von 15 s möglichst kräftig auf einen immer gleichen Tisch geschlagen sowie auf den Boden eines Raums. Die Eingangsimpedanzen werden hier nicht bestimmt. Außerdem wird mit den beiden Spielzeugen von einem Erwachsenen für eine Dauer von

15 s auf ein Waschbecken und einen WC-Deckel geklopft. Um Schäden am Mobiliar zu vermeiden, soll letzteres insbesondere beim Klapperclown nicht mit ganzer Kraft geschehen. Der Watschelhase wird an der Stange etwa 40 cm angehoben und auf verschiedene Böden fallen gelassen. Die entstehenden Schalldruckpegel werden im Abstand von 50 cm gemessen und ausgewertet. Diese andersartige Benutzung wurde teilweise in den Räumen der neueröffneten KiTa durchgeführt. Für die Bedienung durch verschiedene Personen wird für jedes Spielzeug und jede Bedienart ein Mittelwert mit zugehörigen Schranken eines 95%igen Vertrauensintervalls berechnet. Beispielhaft sind hier die Messergebnisse von der Fehlbedienung des Rasselrings gezeigt:

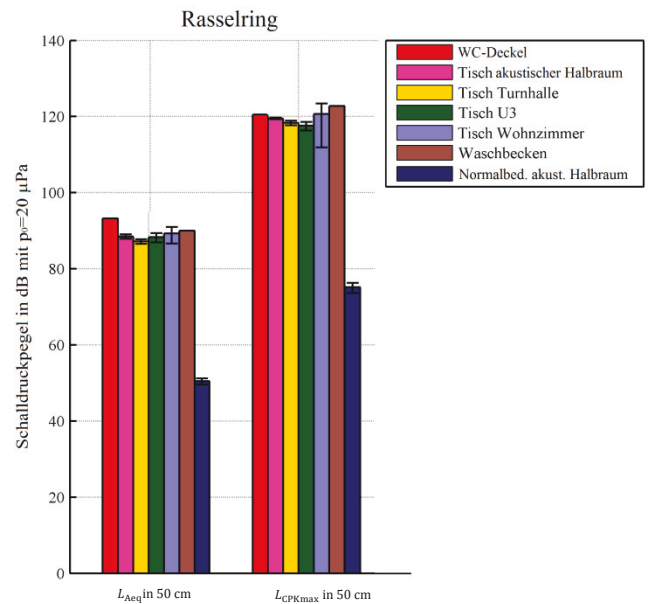


Abbildung 3: Schalldruckpegel des Rasselrings in verschiedenen Räumen

Insbesondere die starken Abweichungen zwischen den verschiedenen Bedienarten beim Rasselring zeigen einen großen Einfluss der Bedienweise eines Spielzeuges auf den gemessenen Schalldruckpegel. Die beim Rasselring gemessenen Schalldruckpegel überschreiten den Grenzwert  $L_{Aeq}$  von 85 dBA am Messabstand von 50 cm deutlich, auch der  $L_{CPKmax}$  von 110 dBC wird überschritten. Bei bestimmungsgemäßer Betätigung werden sie unterschritten. Daraus folgt, dass diese Spielzeuge zwar durch die Einhaltung der Schalldruckpegel-Grenzwerte bei Prüfung nach DIN 71-1 als für Kinder geeignet zu sehen wären, bei anderer Bedienung jedoch als gehörgeschädigend einzustufen sind. Anzuführen ist auch, dass diese großen Unterschiede nicht bei allen Spielzeugen vorliegen. Die Schalldruckpegel des Watschelhasen variieren mit der Bedienart kaum. Hierbei liegen jedoch bestimmungsgemäße Bedienung und Fehlbedienung nah beieinander. Es bietet sich deshalb an, die Geräuscherzeugung zwischen bestimmungsgemäßer und abweichender Bedienung zu unterscheiden.

## Untersuchungen zur Psychoakustik

Bei den Spielzeuguntersuchungen hat sich herausgestellt, dass Spielzeuge, obwohl gemäß Norm nicht zu laut, oft als lästig eingestuft wurden. Mit Hilfe psychoakustischer Metriken können subjektive Empfindungsgrößen auf objektive Weise betrachtet werden. Der Begriff Lästigkeit aus der Psychoakustik fasst die Größen Lautheit, Schärfe, Rauigkeit, Schwankungsstärke und Klanghaftigkeit zusammen. Um die Lästigkeit zu berechnen, stehen zwei Berechnungsmethoden zu Verfügung: die psychoakustische Lästigkeit und die unbeeinflusste Lästigkeit. Mit Hilfe der psychoakustischen Lästigkeit ( $PA$ ) können Aussagen über die Lästigkeit verschiedener Maschinengeräusche getroffen werden. Sie lässt sich aus der Lautheit  $N_5$ , der Schärfe  $S$ , der Schwankungsstärke  $F$  sowie der Rauigkeit  $R$  (s. Gl. (4)) errechnen [8]. Die psychoakustische Lästigkeit kann auch durch Versuchspersonen ermittelt werden.

$$PA = N_5 \cdot \left( 1 + \sqrt{w_s^2 + w_{FR}^2} \right) \quad (4)$$

Darin sind

für  $S > 1,75$  acum

$$w_s = \left( \frac{S}{\text{acum}} - 1,75 \right) \cdot 0,25 \cdot \lg \left( \frac{N_{10}}{\text{sonne}} + 10 \right) \quad (5)$$

$$w_{FR} = \frac{2,18}{(N_5/\text{sonne})^{0,4}} \cdot \left( 0,4 \cdot \frac{F}{\text{vasil}} + 0,6 \cdot \frac{R}{\text{asper}} \right) \quad (6)$$

Die Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit ( $UBA$ ) basiert hauptsächlich auf der Lautheit, der Schärfe und der Schwankungsstärke. Die Rauigkeit wird bei der Berechnung vernachlässigt. Die unbeeinflusste Lästigkeit lässt sich mit den folgenden Gleichungen (Gl. (7)-(10)) berechnen [9,10].

$$UBA = d \cdot \left( \frac{N_{10}}{\text{sonne}} \right)^{1,3} \cdot (1 + s + f) \quad (7)$$

mit:

$$d = 1 + \left( \frac{N_{10}}{\text{sonne}} \right)^{0,5} \quad (8)$$

$$s = 1 + 0,25 \cdot \left( \frac{S}{\text{acum}} - 1 \right) \cdot \lg \left( \frac{N_{10}}{\text{sonne}} + 10 \right) \quad (9)$$

$$f = 0,3 \cdot \left( \frac{F}{\text{vasil}} \cdot \frac{1 + \frac{N_{10}}{\text{sonne}}}{0,3 + \frac{N_{10}}{\text{sonne}}} \right) \quad (10)$$

Die Berechnung der psychoakustischen Lästigkeit  $PA$  nach Fastl und Zwicker ergibt, dass die Trillerpfeife, das Glockenspiel und die Pistole am lästigsten sind. Diese drei genannten Spielzeuge weisen ebenfalls eine Überschreitung der Grenzwerte für den A-bewerteten zeitlich gemittelten Emissions-Schalldruckpegel sowie für den C-bewerteten Emissionsspitzen-Schalldruckpegel auf. Die Ergebnisse zeigen auch, dass eine Spieluhr, ein Rasselring und ein elektronisches Bodenspielzeug die niedrigsten Werte der Lästigkeit haben und somit am angenehmsten empfunden werden können. Das Spielzeug Quietsche wurde zweimal aufgenommen, einmal betätigt mit kurzen, hektischen Bewegungen, die zum Quietschen führten, und einmal mit Unterbrechungen. Bei der Auswertung wurde die mit kurzen Pausen durchsetzte, unterbrochene Betätigung des Spielzeugs lästiger eingestuft als das kontinuierliche Betätigen der Quietsche. Spielzeuge mit einem impulshaltigen Klangcharakter scheinen allgemein lästiger zu sein als persistente Signale.

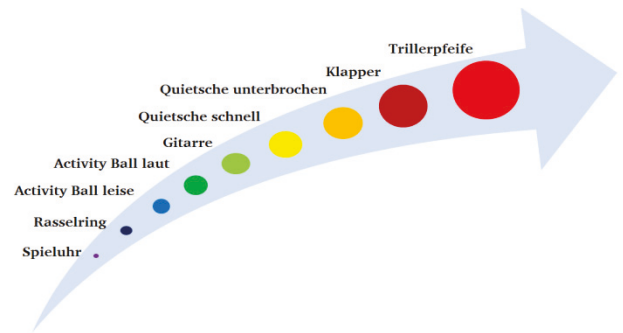


Abbildung 4: qualitative Darstellung der Lästigkeit verschiedener Spielzeuge

Bei der unbeeinflussten Lästigkeitsberechnung  $UBA$  wird die Rauigkeit vernachlässigt. Trotz dieser Vernachlässigung bleibt die Lästigkeitsordnung bestehen. Zumindest für die Beurteilung von Spielzeugen hat die Rauigkeit keinen Einfluss auf die Lästigkeit.

## Fazit

In Deutschland erworbene Spielzeuge erfüllen die in der Norm festgelegten Grenzwerte. Unklarheiten können bei der Einordnung der Spielzeuge in bestimmte Kategorien bestehen. Ferner bleibt der Aspekt der nicht vorgesehen Benutzung in der Norm bisher unberücksichtigt, hat jedoch maßgeblichen Einfluss auf die gemessenen Schalldruckpegel. Die Untersuchungen zur Psychoakustik werden in Zukunft deutlich ausgeweitet und mit Hörversuchen, die auch den Kontext berücksichtigen, unterstützt.

## Literatur

- [1] Elliot, Lise, Schaden: Was geht da drinnen vor? Die Gehirnentwicklung in den ersten fünf Lebensjahren. Berlin: Berlin Verlag, 2010
- [2] DIN Fachbericht 125: Klassifizierung von Spielzeug Leitlinien. Berlin Wien Zürich, 2002
- [3] Babisch, Bäckmann, Basner, Berglund, Al: Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe / WHO. Copenhagen, 2011. – Forschungsbericht
- [4] DIN EN 71-1: Sicherheit von Spielzeug: Teil 1 Mechanische und physikalische Eigenschaften
- [5] Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit mit Zustimmung des Bundesrates: Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV). URL: [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbst\\_ttv\\_2004/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbst_ttv_2004/gesamt.pdf)
- [6] DIN EN ISO 3744: Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene
- [7] DIN 3382: Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 1: Aufführungsräume (ISO 3382-1:2009);
- [8] Fastl, Zwicker,; Psychoacoustics. Facts and Models. Springer. 2007
- [9] Möser,; Messtechnik der Akustik. Springer. 2010
- [10] Möser: Technische Akustik. Springer. 2012