

Windgeräuschreduktion am Ohr

Thomas Schulze, Ennes Sarradj, Thomas F. Geyer

Lehrstuhl Technische Akustik, BTU Cottbus-Senftenberg, 03046 Cottbus, Deutschland,

Email: info.Thomas.Schulze@t-online.de / sarradj@b-tu.de

Einleitung

Durch die zunehmende Dichte des Straßenverkehrs wird auch die gegenseitige Wahrnehmung der Verkehrsteilnehmer zunehmend wichtiger. Ist das Ohr allerdings, wie beim Radfahren, dem Wind ausgesetzt, kommt es zu Verwirbelungen, die zu einem störenden Windgeräusch führen. Dieses Geräusch weist dabei schon bei geringen Fahrtgeschwindigkeiten einen Schalldruckpegel auf, der sich stark verdeckend auf die Verkehrsgeräusche auswirkt. Die beispielsweise enorm verzögerte Wahrnehmung eines sich von hinten nähernden Fahrzeuges stellt nur eine der sicherheitsrelevanten Situationen dar, die durch das Phänomen beeinflusst werden.

Die Recherche zeigt, dass es einige wenige Produkte auf dem Markt gibt, die sich dem Thema widmen. *Windfree* [1] und *Earbags* [2] sind Produkte, die das Ohr vollständig mit Schaumstoff oder Fleece umschließen und direkt am Ohr festgeklemmt oder mit einem Bügel um den Hinterkopf gehalten werden. *CatEars* [3] hingegen werden an den Riemen eines Fahrradhelmes unmittelbar vor dem Ohr angebracht. Darüber hinaus beinhaltet die vorhandene Literatur nur sehr wenige Arbeiten, die sich konkret mit diesem Thema beschäftigen.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Strömung am Ohr qualitativ bis zu Windgeschwindigkeiten von 20 m/s untersucht und visualisiert. Ziel war ein generelles Verständnis der auftretenden Strömungsphänomene. Das Geschwindigkeitsfeld wurde daraufhin auch quantitativ mit Hilfe einer Hitzdrahtmessung erfasst. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden Probekörper entworfen, um das Strömungsfeld und die damit verbundene Schallentstehung gezielt zu beeinflussen. Durch Windkanalexperimente an einem Kunstkopf konnten die vielversprechendsten Proben ermittelt und zu Prototypen weiterverarbeitet werden. Die Wirkung dieser Prototypen wurde mit Hilfe von Probandentests bestimmt. Diese Arbeit wurde im Rahmen einer Masterarbeit [4] erstellt, in der die Ergebnisse detaillierter geschildert werden.

Strömungsvisualisierung mit Fadensonden

Messaufbau

Im grundlegenden Aufbau wurde ein KEMAR Kunstkopf der Firma G.R.A.S. eingesetzt. Dieser wurde im aeroakustischen Windkanal der BTU Cottbus-Senftenberg mittig vor eine runde Düse mit einem Durchmesser von 35 cm positioniert. Die Düse und der Kunstkopf sind in Abbildung 1 zu sehen. Die Experimente wurden bei Windgeschwindigkeiten von 5, 10, 15 und 20 m/s durchgeführt.

Die Strömung wurde in einer ersten Untersuchung mit so genannten Fadensonden sichtbar gemacht. So konnte ein qualitativer Eindruck des Strömungsfeldes erzeugt werden.

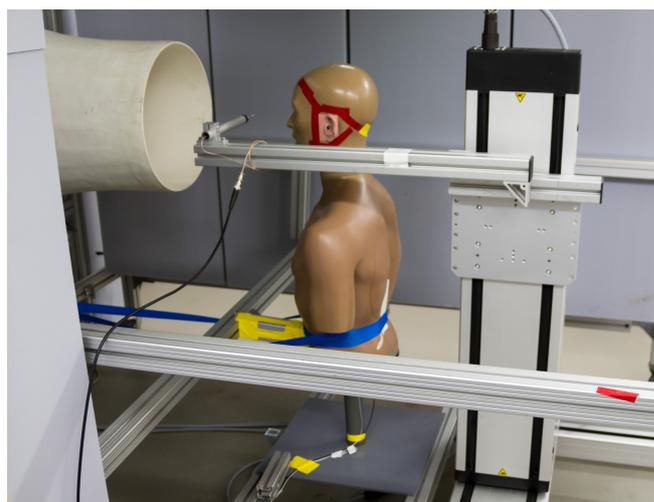


Abbildung 1: Kunstkopf im Windkanal der BTU Cottbus. Hier ist auch das Hitzdrahtanemometer mit der Traversiervorrichtung zu sehen.

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt eine Fotomontage aus der Dokumentation der Untersuchungen. Zu erkennen ist, dass der größte Teil des Strömungsfeldes vor dem Ohr laminar ist. Im Ohr vor dem Gehörgang gibt es eine im Uhrzeigersinn kreisende Strömung. Hinter dem Ohr zeigt sich ein dominantes nach oben und teilweise zurück nach vorne ausgerichtetes Strömungsfeld. In Abbildung 3 ist eine schematische Darstellung der beobachteten Phänomene zu sehen. Hier ist auch ein turbulentes Gebiet dargestellt, das sich auf der Schläfe bildet und bis an das Ohr heran nachweisbar war.

Messung mit dem Hitzdrahtanemometer

Messaufbau

Zur qualitativen Beschreibung der Strömung wurde anschließend mit einer Eindraht-Hitzdrahtsonde der Turbulenzgrad an 98 Messpunkten um das Ohr herum bestimmt. Der Abstand dieser Ebene zur Oberfläche des Kunstkopfes wurde vor dem Ohr auf Höhe des Gehörganges auf etwa 2 mm gemessen. Anschließend wurde die Messung in parallelen Ebenen in einem Abstand von 3 mm und 11 mm wiederholt.

Die verwendete Sonde des Typs Dantec 55p14 ist um

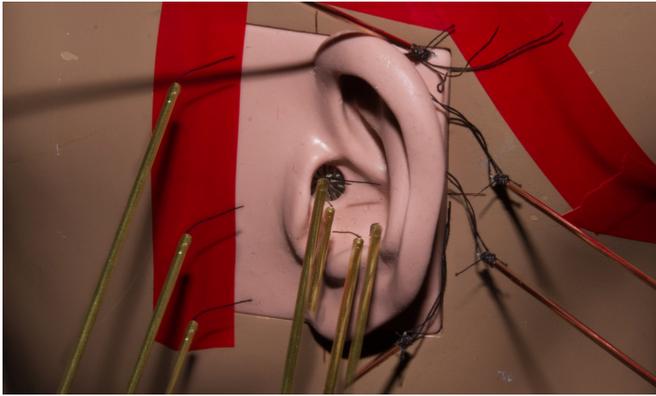


Abbildung 2: Fotomontage der Fadensonden an verschiedenen Positionen.

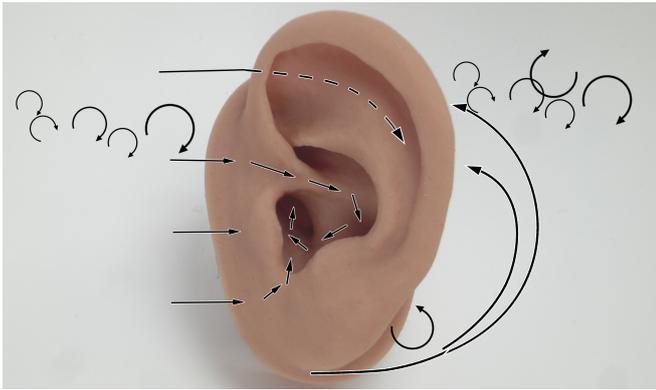


Abbildung 3: Schematische Darstellung der mit den Fadensonden ermittelten Strömung am Ohr.

90° abgewinkelt. Die Sonde wurde von der Seite mit einer 3-Achsen-Traversiervorrichtung positioniert, die das automatische Anfahren beliebiger Punkte im Raum ermöglichte. In Abbildung 1 ist dieser Aufbau zu sehen.

Gemessen wurde mit Hilfe eines Multikanal-CTA Messsystems der Firma *Dantec* mit einer Abtastfrequenz von 25,6 kHz. Die Messdauer pro Messpunkt betrug 10 Sekunden. In der Auswertung wurde die erste Sekunde vernachlässigt, um Verfälschungen durch ein eventuell noch schwankendes Verfahrenssystem ausschließen zu können.

Ergebnisse

In Abbildung 4 sieht man, dass der Turbulenzgrad vor dem Ohr prinzipiell geringer ist als hinter dem Ohr und bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 5 m/s im Bereich von nur 0,4 % liegt. Mit steigender Anströmgeschwindigkeit verschieben sich die turbulenten Bereiche vor dem Ohr nach hinten, jedoch ergibt sich selbst bei 20 m/s nur ein relativ geringer Wert von 0,6 %.

Messungen mit Proben am Kunstkopf

Messaufbau

Mit den gewonnenen Erkenntnissen über die Strömung am Ohr wurden Proben aus Knetmasse am Kunstkopf befestigt, die die Strömung günstig beeinflussen sollten. Das

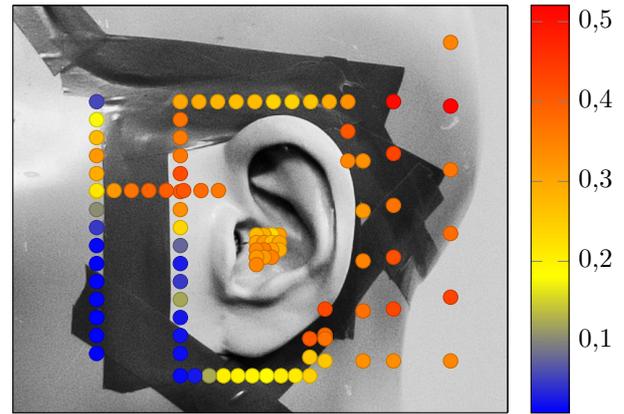


Abbildung 4: Turbulenzgrade (in %) am Ohr bei 5 m/s und einem Abstand von ca. 2 mm.

Schalldruckpegelspektrum wurde anschließend mit den im Kunstkopf integrierten Messmikrofonen für die Geschwindigkeiten 5, 10, 15 und 20 m/s bestimmt. Der akustische Einfluss der Proben lässt sich dann durch Vergleich mit dem Schalldruckpegelspektrum ohne Probe abschätzen.

Zur Bestimmung der akustischen Messwerte wurde ein Schallpegelmessgerät der Genauigkeitsklasse 1 verwendet. Für die Messung des A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} wurde eine Messzeit von 30 Sekunden gewählt. Eine Auswahl von 4 der insgesamt 30 Proben ist in Abbildung 5 zu sehen. Eine vollständige Liste der Proben mit Bildern und den akustischen Messwerten ist in [4] zu finden. Die Probe in Abbildung 5a sollte das Einströmen in die Ohrmuschel und die Rotation des Wirbels vor dem Gehörgang behindern. Die Probe in Abbildung 5b war rein auf diese rotierende Strömung ausgerichtet und die Probe aus Abbildung 5c sollte die Zuströmung zum Gehörgang insgesamt verhindern. Da auch bei Mikrofonen Schaumstoff zum Schutz vor Luftinflüssen verwendet wird, schien es plausibel, das Material auch für diesen Zweck einzusetzen.

Ergebnisse

Die Auswertung der Spektren zeigte, dass der Einfluss von kleinen Elementen aus Knetmasse sehr gering ausfällt. In Abbildung 6 sind die Spektren der einzelnen Proben zu sehen. In jedem Diagramm sind die Messungen für jeweils eine der vier Anströmgeschwindigkeiten zusammengefasst.

Ein blockierendes Element über dem Tragus (Abbildung 5a) scheint nahezu keinen Effekt zu haben. Der Einfluss eines Flächenelementes vor dem Gehörgang (Abbildung 5b) dagegen bewirkte eine Pegelreduktion von 4 bis etwa 7 dB, die sich auch bei einer Änderung der Form reproduzieren ließ. Bei dem Schaumstoffelement aus Abbildung 5c lag der Einfluss sogar zwischen 7 und 14 dB. Die Flügelemente hinter dem Ohr (Abbildung 5d) brachten keine gravierenden Verbesserungen. Allerdings zeigt sich eine leichte Verbesserung für Frequenzen über 1000 Hz, die durch den verminderten Einfluss eines Turbulenzgebietes hinter dem Ohr zustande kommt.

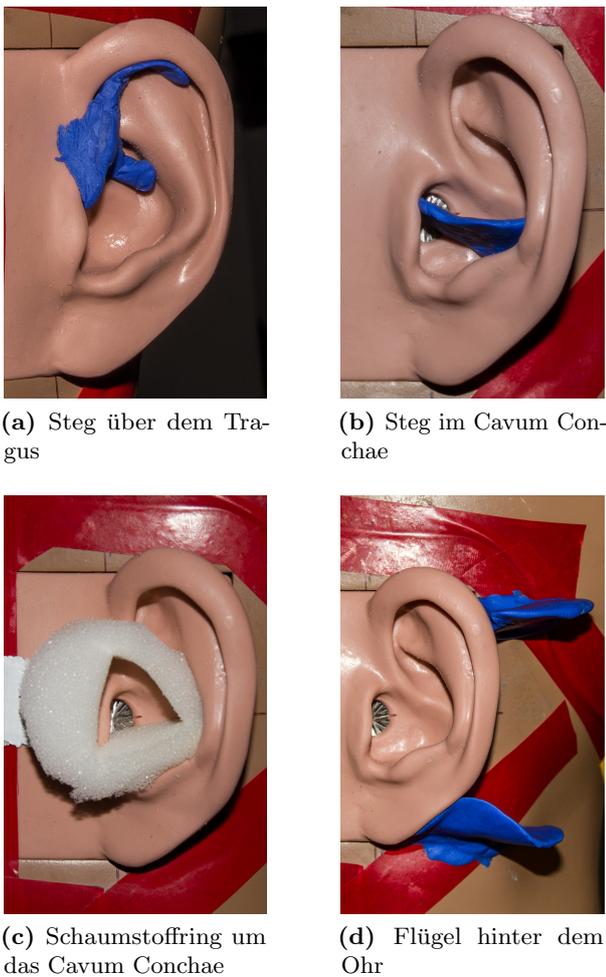


Abbildung 5: Proben für die akustischen Versuch.

Probandentests

Messaufbau

Aus den oben genannten Ergebnissen wurden zwei Prototypen entworfen. Die anschließende Fertigung erfolgte mit Hilfe einer aus Gips hergestellten Form. Die aus Silikon beziehungsweise Silikon und Schaumstoff gefertigten Prototypen sind in Abbildung 7 und 8 dargestellt. Zur Einschätzung der Wirksamkeit wurden diese an insgesamt 7 Probanden im Alter zwischen 30 und 60 Jahren getestet.

Die Probanden saßen hierzu vor der Düse des Windkanals und führten jeweils mit und ohne Prototyp am Ohr einen audiometrischen Test durch, dessen Ablauf an die Békésy-Audiometrie angelehnt war [5]. Gemessen wurde am linken Ohr, während das rechte mit einem Gehörschutz aus Schaumstoff vertäubt war. Ein unter der Düse des Windkanals positionierter Lautsprecher erzeugte das Testsignal. Das dargebotene Messgeräusch war ein Oktavbandrauschen mit Mittenfrequenzen zwischen 125 und 8000 Hz.

Die Messwerte, die in Abbildung 9 zu sehen sind, stellen die Mithörschwellen der Messdurchgänge ohne Prototyp, mit Prototyp 1 und mit Prototyp 2 dar. Die Windgeschwindigkeit während der Experimente betrug 10 m/s.

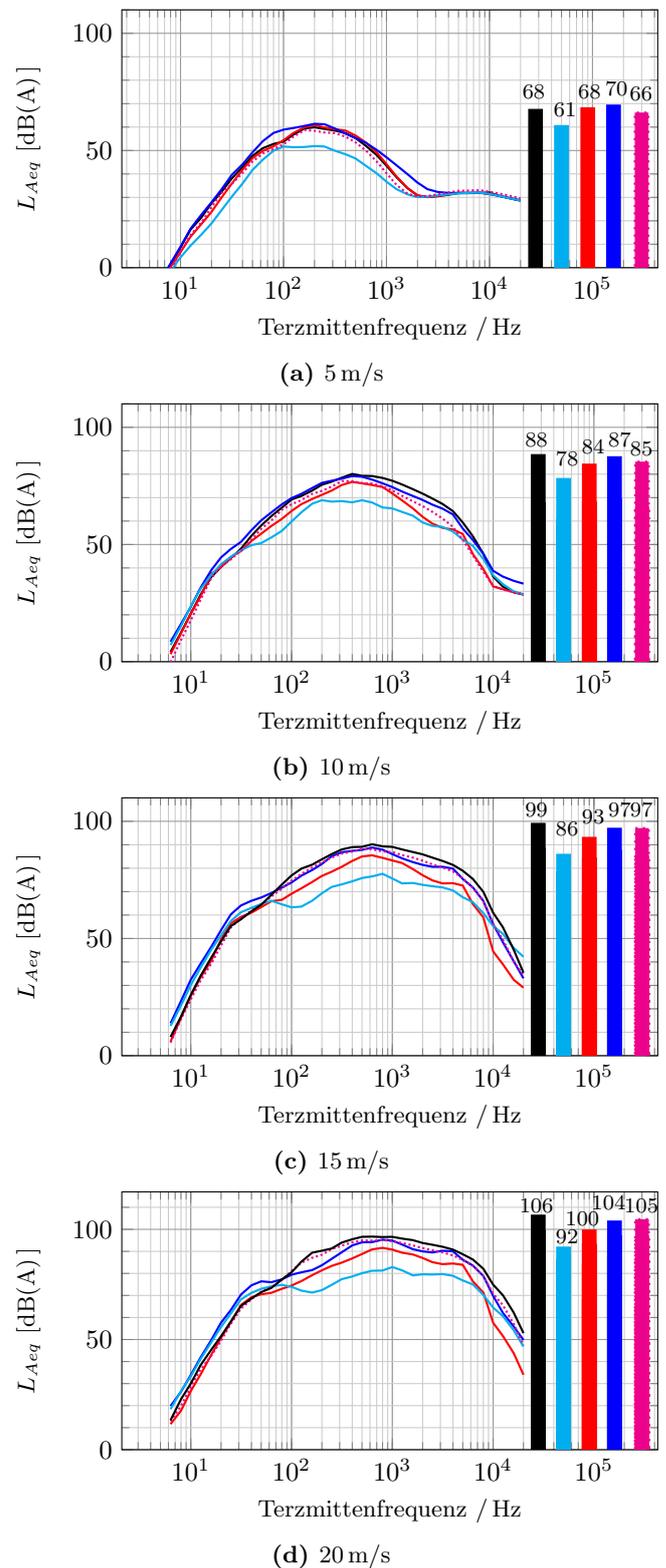


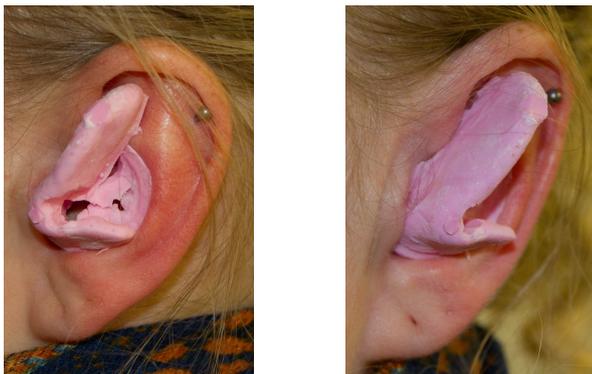
Abbildung 6: — ohne; — Schaumstoff; — Steg im Cavum; — Steg überm Tragus; Flügel hinten;

Ergebnisse

Prototyp 1, also ein Ansatz mit Schaumstoff, lieferte in einem Frequenzbereich für die Frequenzen 125, 250, 1000, und 2000 Hz eine signifikante mittlere Reduktion des Schalldruckpegels um etwa 7 dB. Prototyp 2 aus reinem Silikon führte dagegen zu keiner relevanten Wirkung.



Abbildung 7: Prototyp 1 der Probandentests.



(a)

(b)

Abbildung 8: Prototyp 2 der Probandentests.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde zunächst die Strömung am Ohr mit verschiedenen Methoden sichtbar gemacht. Es wurde eine turbulente Zuströmung von der Schläfe, ein Rückströmgebiet hinter dem Ohr sowie ein im Uhrzeigersinn rotierender Wirbel im Cavum Conchae identifiziert. Es wurde gezeigt, dass sich die Turbulenzen vor dem Ohr mit steigender Windgeschwindigkeit weiter nach hinten verschieben.

Kleine Elemente zur Veränderung der Strömung brachten keine gravierende Verbesserung des akustisch messbaren Windgeräusches. Erst durch den Einsatz von Schaumstoff konnte eine signifikante Verbesserung erreicht werden,

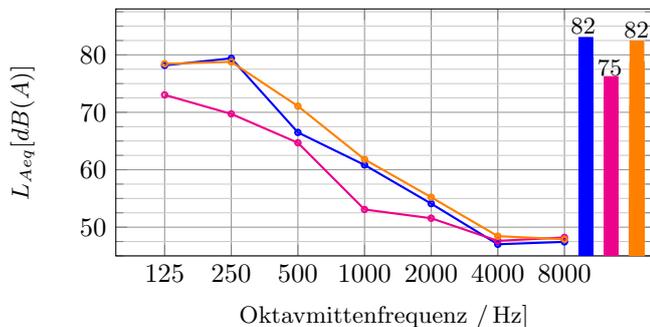


Abbildung 9: gemittelte Mithörschwellen der Probandentests (Frequenzkurve und Gesamtschallpegel L_{Aeq})

— ohne — Schaumstoff — zwei Stege

die sich auch in Probandentests in einer um etwa 7 dB herabgesetzten Mithörschwelle darstellte.

Abbildung 10 zeigt den Vergleich eines im Rahmen dieser Arbeit erstellten Prototypen mit kommerziell verfügbaren Produkten. Dargestellt sind die Ergebnisse der Messungen am Kunstkopf mit dem Probekörper aus Abbildung 5c. Es zeigt sich, dass eine mit den Cat-Ears vergleichbare Wirkung erreicht werden kann.

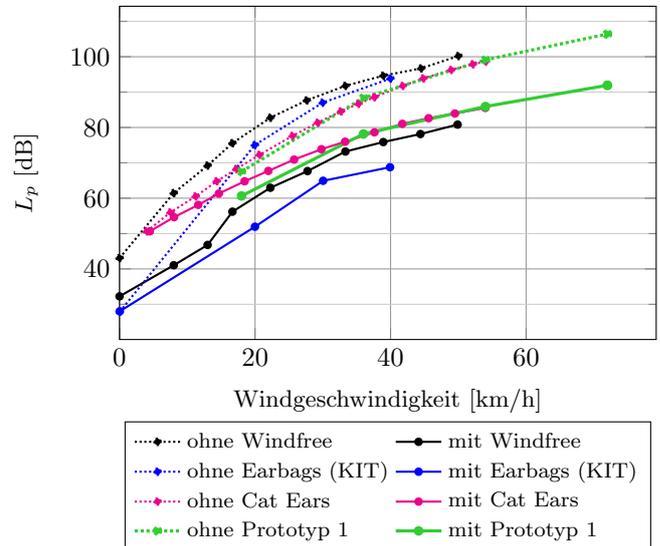


Abbildung 10: Vergleich der durchgeführten Kunstkopfmessungen mit den Ergebnissen einzelner Produkthanbieter (Herstellerangaben). [1, 2, 3]

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Herrn Dr. Altinsoy von der TU Dresden für das Zurverfügungstellen des Kunstkopfes für die akustischen Messungen an den Proben.

Literatur

- [1] Windfree, Fakten über Windfree, <http://www.windfree.se/de/fakten>
- [2] ENT & audiology news: The latest technological developments, plus news from charities and the industry. In: ENT & audiology news 21, S. 140, <http://www.entandaudiologynews.com/assets/ENTA-PRJF13s.pdf>, 2013
- [3] Cat-Ears, Wind Noise: The solution to reduce Wind Noise while cycling: created by cyclists for cyclists, <http://www.cat-ears.com/WindNoise.html>
- [4] T. Schulze, Windgeräuschreduktion am Ohr. Masterarbeit, Lehrstuhl Technische Akustik, BTU Cottbus - Senftenberg, 2015
- [5] J. Hellbrück, W. Ellermeier, Hören – Physiologie, Psychologie und Pathologie. 2. Auflage, Hogrefe Verlag, 2004