

# **Gefährdungsbeurteilung der Hand-Arm-Vibrationen im Flugzeugbau: Auswahl und Anwendung von Schutzmaßnahmen**

## **Risk evaluation of hand-arm vibration: Selection and application of protective measures in the aircraft industry**

Dipl.-Ing. **Uwe Kaulbars**, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

### **Kurzfassung**

Im Flugzeugbau wird trotz hohem Automatisierungsgrad immer noch eine große Anzahl von handgehaltenen und handgeführten Geräten eingesetzt. Insbesondere bei Nietarbeiten treten am Niethammer und Gegenhalter hohe Schwingungsbelastungen auf. Weitere typische Werkzeuge und Geräte, von denen eine Schwingungsbelastung ausgeht, sind Schrauber, Sägen und Schleifmaschinen. Auch über das zu bearbeitende Werkstück können Schwingungen auf das Hand-Arm-System einwirken. Insbesondere treten bei der spanlosen Kaltverformung von Profilen mit Kraffformern oder bei der Herausnahme von Werkstücken aus Trogvibratoren relevante Vibrationsbelastungen auf. Die Messstrategie und Vorgehensweise bei der Gefährdungsermittlung werden exemplarisch beschrieben und Ergebnisse mit der Beurteilung dargestellt. Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung ist der Arbeitgeber verpflichtet, bei Überschreitung des Tages-Vibrationsexpositionswertes von  $A(8) > 2,5 \text{ m/s}^2$  Maßnahmen zur Verringerung der Vibrationsexposition unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts zu ergreifen. Aus der Reihe der Maßnahmen eines Vibrationsminderungsprogramms wurden die Möglichkeiten von alternativen Arbeitsverfahren sowie die Auswahl von geeigneten Arbeitsmitteln mit geringerer Vibrationsbelastung untersucht. Für Arbeiten mit Vibrationseinwirkung über das Werkstück können Vibrations-Schutzhandschuhe eingesetzt werden. Eine wesentliche Reduzierung ist nicht zu erwarten. Erste Erfolge der betrieblichen Umsetzung, zu denen auch arbeitsorganisatorische Maßnahmen gehören, werden dargestellt.

### **Abstract**

Despite a high level of automation, a large number of hand-held and manually guided tools are still used during the manufacture of aircraft. During riveting, in particular, high exposure to vibration occurs on the riveting hammer and the dolly. Other typical tools and equipment

which give rise to vibration exposure are power screwdrivers, saws and grinding machines. The workpiece may also transmit vibration to the hand-arm system. Relevant vibration exposure particularly occurs during the forming of sections by means of cold forming machines or the retrieval of workpieces from vibratory tubs. The measurement strategy and procedure for evaluation of the risk are described with reference to examples, and results presented together with the assessment. Under the German OSH regulation governing noise and vibration, employers are obliged to take measures to reduce the vibration exposure in consideration of technical progress when a daily vibration exposure value of  $A(8) > 2.5 \text{ m/s}^2$  is exceeded. From the range of measures within a vibration-attenuation programme, the possible use of alternative working methods was studied, as was the selection of suitable working equipment which gives rise to lower vibration exposure. Anti-vibration safety gloves can be used for work involving vibration exposure transmitted by the workpiece. This measure is unlikely to reduce the exposure significantly. Preliminary success with implementation in companies, in particular involving measures concerning work organization, is presented.

## 1. Einleitung

Im Flugzeugbau wird trotz moderner Verbundstoffe und hohem Automatisierungsgrad noch immer eine große Anzahl von handgehaltenen vibrierenden Werkzeugen und Maschinen eingesetzt. Beispielsweise werden an großen Passagiermaschinen bis zu 4 Mio. Nieten verwendet. Auch wenn aus wirtschaftlichen und qualitativen Gründen zunehmend Nietautomaten eingesetzt werden (deren Nietanteil hat sich seit den 1980er-Jahren von 40 % auf 80 bis 90 % erhöht), kann die Strukturmontage nicht auf den Einsatz von Niethämmern verzichten. Hohe Vibrationsbelastungen sind daher am Niethammer und Gegenhalter zu erwarten. Weitere relevante handgeführte Geräte und Maschinen mit geringeren Einsatzzeiten sind Schrauber, Sägen und Schleifmaschinen [1]. Auch an Arbeitsplätzen, bei denen die Vibrationen nicht über die vibrierende Maschine in die Hand eingeleitet werden, sondern über das gehaltene Werkstück, wie bei der spanlosen Kaltverformung mit Kraftformern oder bei der Herausnahme von Werkstücken aus Trogvibratoren, können Vibrationsbelastungen vorliegen.

Zum Schutz der Beschäftigten ist der Arbeitgeber verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [2] durchzuführen und bei Überschreitung des Auslösewertes (Tages-Vibrationsexpositionswert)  $A(8) \geq 2,5 \text{ m/s}^2$  Maßnahmen zu ergreifen und die Vibrationsbelastung im Rahmen eines Vibrationsminderungsprogramms zu senken. Aus der Reihe der Maßnahmen eines Vibrationsminderungsprogramms, wie sie in den Technischen Regeln TRLV-Vibration [3] konkretisiert sind, wurden exemplarisch die Möglichkeiten von alternativen Arbeitsverfahren sowie die Auswahl von geeigneten Arbeitsmitteln,

organisatorische Maßnahmen sowie Persönliche Schutzausrüstungen im Hinblick auf eine geringere Vibrationsbelastung untersucht.

## 2. Untersuchung der Gefährdung (Methode)

Zunächst wurden die potenziellen Gefährdungsschwerpunkte auf der Grundlage von betrieblichen Messungen ermittelt. Die Bilder 1 und 2 zeigen die Belastungsbereiche der unterschiedlichen Gerätegruppen.

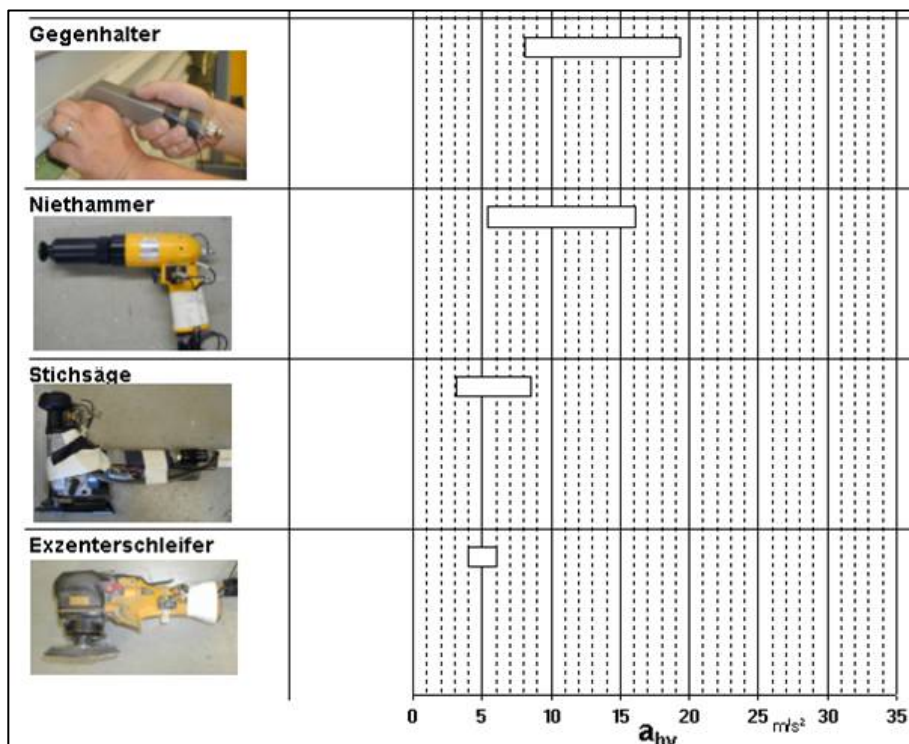


Bild 1: Handgeführte Werkzeuge und Maschinen: Rangfolge der Gefährdungen

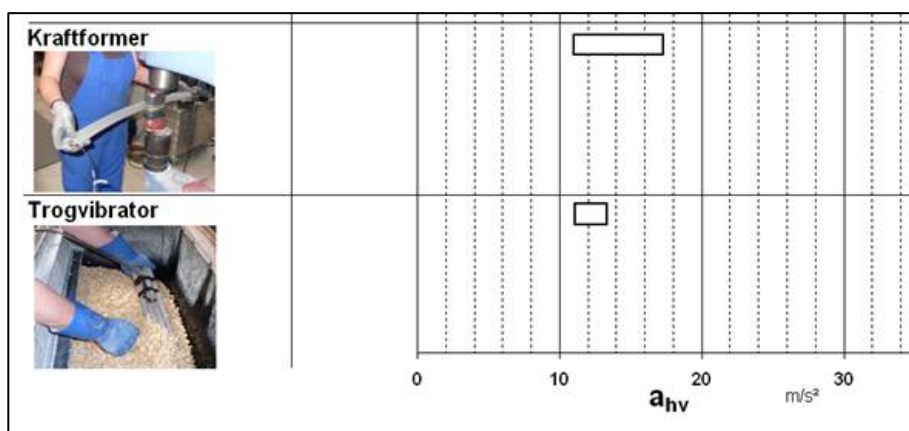


Bild 2: Kontaktstelle Werkstück: Belastungsbereiche

Die Messungen fanden unter bei typischen Arbeits- und Betriebsbedingungen statt. Es erfolgten jeweils mehrere Wiederholungsmessungen mit unterschiedlichen – im Umgang mit den Geräten – erfahrenen Probanden. Die Messungen und Auswertungen erfolgten nach DIN EN ISO 5349 [4]. Bei den über das Werkstück einwirkenden Vibrationen wurden die Messungen unter ungünstigsten Arbeitsbedingungen durchgeführt. Da am Trogvibrator die Kontaktzeit während der Entnahme sehr kurz ist (ca. 2 s) mussten die Messungen während eines simulierten längeren Betriebszustands durchgeführt werden. Ebenso konnten hier nur die Vibrationen am Werkstück und nicht die durch den Schleifkörper direkt auf die Hände einwirkende mechanische Beanspruchung erfasst werden.

Bei den Nietarbeitern wurde zur Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Werkzeuge unter Berücksichtigung der gleichen Arbeitsleistung für jede Einzelmessung ein Arbeitszyklus von zehn Nietvorgängen festgelegt. Von jedem Arbeitszyklus erfolgten fünf Wiederholungsmessungen. An diesen Messreihen waren teilweise mehrere Benutzer beteiligt. Am Beispiel eines Messzyklus einer Arbeitsplatzmessung im Vergleich zur Vibrationsemissionsmessung im Labor wird der Einfluss des individuellen Benutzers deutlich. Bild 3 zeigt die gleitenden Effektivwerte, die zu unterschiedlichen gemittelten Messwerten führen.

Die Absolutwerte der Einzelmessungen sind daher nicht sehr aussagekräftig, da sie nach dem individuellen Arbeitsfortschritt des Gerätesbenutzers und von der Anzahl der Nietvorgänge innerhalb der Integrationsdauer – diese entspricht der Messdauer – bestimmt werden.

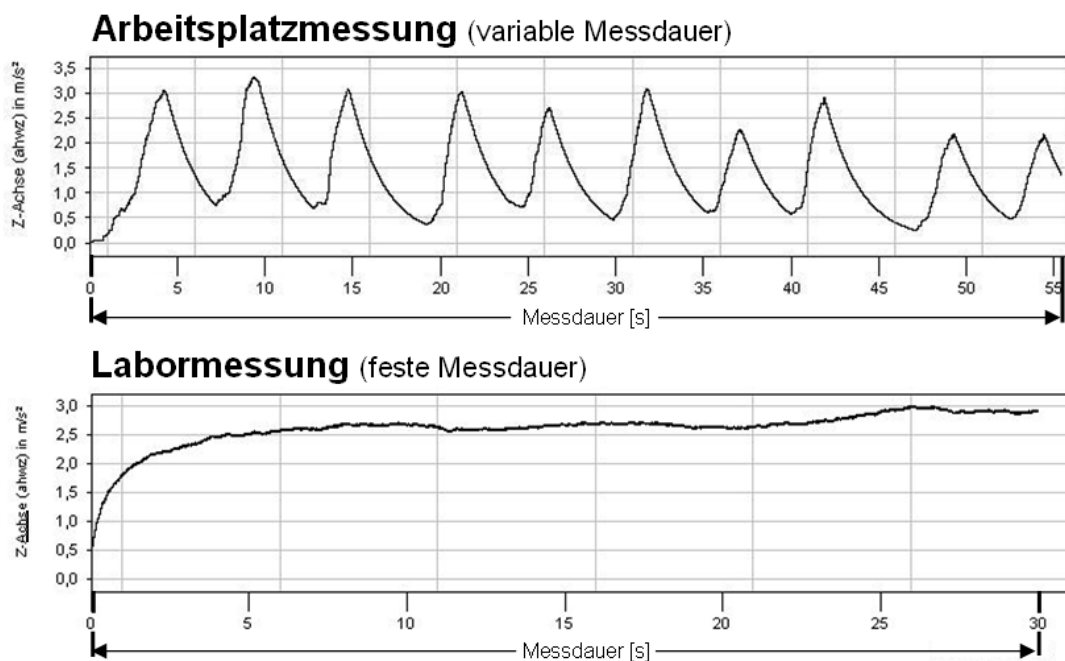


Bild 3: Zeitlicher Verlauf des gleitenden Effektivwertes unterschiedlicher Messstrategien

Zur Vergleichbarkeit wird daher die mittlere Belastung eines Nietvorgangs mit der entsprechenden Integrationszeit herangezogen.

### 3. Messergebnisse und Beurteilung der Gefährdung

Die Vibrationsbelastung wird durch erfassbare Parameter wie z. B. Nietdurchmesser und Niethärte beeinflusst, jedoch auch durch nicht verifizierbare Einflüsse z. B. des Benutzers und des Maschinenzustands. Zur Beurteilung der Vibrationsbelastung werden nach der TRLV-Vibration Mittelwerte von repräsentativen Arbeitssituationen herangezogen.

Für herkömmliche ungedämpfte Niethammer liegen die frequenzbewerteten Beschleunigungen  $a_{hw}$  zwischen 5,4 und 11,5  $m/s^2$ . Diese entsprechen einem Schwingungsgesamtwert  $a_{hv} = 6,5$  bis 13,8  $m/s^2$ . Bezogen auf die Anzahl der Nietvorgänge bis zum Überschreiten der Tagesdosis  $A(8) = 2,5 m/s^2$  können bei der oberen Grenze bis zu 530 Nietvorgänge erfolgen. Der Grenzwert  $A(8) = 5 m/s^2$  wird erst nach 2088 Nietvorgängen überschritten. Mit dem vibrationsgedämpften Niethammer können für den ungünstigsten Fall 1830 Nietvorgänge bis zur Überschreitung des Auslösewertes der Tagesdosis  $A(8) = 2,5 m/s^2$  und bis zur Überschreitung des Grenzwertes  $A(8) = 5 m/s^2$  7240 Nietvorgänge durchgeführt werden.

Die Belastungen durch die Stichsäge und den Exzentrerschleifer sind aufgrund der äußerst geringen Expositionszeiten nicht wesentlich. Die höheren Belastungen treten am Gegenhalter auf. Im ungünstigsten Fall kann hier der Auslösewert bereits nach 109 Nietvorgängen/Tag überschritten werden. Somit sind in erster Linie Maßnahmen für diese Arbeiten erforderlich. Bereits seit den 1990er-Jahren stehen vibrationsgedämpfte Gegenhalter (siehe Bild 4) zur Verfügung, die mit einem Gas-Servo-System arbeiten und eine Druckluftversorgung benötigen. Jedoch sind diese aufgrund der geringen Platzverhältnisse, z. B. bei Stringer und Spannten (siehe Bild 5), häufig nicht einsetzbar.



Bild 4: Gegenhalter, vibrationsgedämpft



Bild 5: Geringe Platzverhältnisse

In diesen Fällen kann man die Vibrationsbelastung reduzieren, indem die Masse des Gegenhalters erhöht wird. Bild 6 zeigt die untersuchten Gegenhalter und deren Gewichte. In Tabelle 1 ist die Reduzierung der Vibrationsbelastung in Abhängigkeit von der Masse dargestellt. Grob gesehen verläuft sie proportional zur Zunahme der Masse. Die spezifische Dichte von geeigneten Metallen bestimmen die Grenzen dieser Maßnahmen.



Bild 6: Gegenhalter mit verschiedenen Massen

Tabelle 1: Reduzierung der Vibrationsbelastung in Abhängigkeit der Masse [1]

Materials des Gegenhalters, Masse	Anzahl der Niete pro Tag bis zur Überschreitung $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$
Wolfram, 3,16 kg	538
Stahl, 1,61 kg	293
Stahl, 0,839 kg	109

Eine erheblich bessere Vibrationsminderung erreicht man durch die Wahl eines alternativen Arbeitsverfahrens. Sogenannte Blindnietpistolen (siehe Bild 7) arbeiten ohne Schlagvorgang.



Bild 7: Abzieher (Blindnietpistole)

Durch eine Zugbewegung wird ein Abrissniet aus Titan verformt. Darüber hinaus entfällt die Vibrationsbelastung am Gegenhalter. Mit diesen Geräten können bis zur Überschreitung der Tagesdosis  $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$  25160 Nietvorgänge/Tag erfolgen. Ebenso treten für Schraubverbindungen im Vergleich zu Nietverbindungen geringere Schwingungsbelastungen auf. So sind bis zu 1123 Verbindungsvorgänge/Tag bis zur Überschreitung der Tagesdosis möglich.

#### 4. Vibrationsminderungsprogramm

Zunächst erfolgt eine Ursachenanalyse von der Ausgangssituation, die auf die Gefährdungsbeurteilung aufbaut. Gefährdungsschwerpunkte sind die Arbeiten mit Niethammer und Gegenhalter. Die Exposition manueller Nietarbeiten beträgt maximal 1100 Nieten/Schicht. Nur bei Benutzung des Gegenhalters ist eine Grenzwertüberschreitung möglich. Die anzuwendenden Schutzmaßnahmen werden auf den zu erwartenden Minderungserfolg hin überprüft.

- Die Substitution des Arbeitsverfahrens durch vibrationsfreie Nietautomaten ist mit 80 bis 90 % weitgehend ausgeschöpft.
- Als technische Schutzmaßnahmen sind die herkömmlichen Niethammer durch vibrationsgedämpfte auszutauschen. Die Auswahl der neuen Arbeitsgeräte geschieht nach dem Stand der Technik.
- Als organisatorische Schutzmaßnahme wird die Arbeit in Abstimmung mit der Sicherheitsfachkraft, dem Meister und den Arbeitsplanern so geplant, dass eine gleichmäßige Verteilung der Expositionsspitzen, z. B. durch Wechsel der Arbeiten mit Gegenhalter und Niethammer erfolgt. Der Meister achtet auf die Überschreitung des Auslösewertes.

Nach Umsetzung dieser Maßnahmen findet im Betrieb eine erneute Analyse statt. Der Anteil der „kritischen“ Arbeitsplätze, an denen der Auslösewert noch überschritten wird, liegt bei 1 % der Arbeitsplätze in der Produktion.

Weitere Maßnahmen sind:

- jährliche Unterweisung der Mitarbeiter
- Angebot von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen
- Angebot von Vibrations-Schutzhandschuhen

Persönliche Schutzausrüstungen wie Vibrations-Schutzhandschuhe sind in der Rangfolge der Maßnahmen als letztes Mittel einzusetzen. Sie sind nur dann anzuwenden, wenn alle anderen Möglichkeiten ausgeschöpft sind. Dies gilt für die Arbeiten am Gegenhalter und insbesondere am Kraftformer und Trogvibrator, bei denen das Werkstück vibriert. Zur groben Abschätzung des zu erwartenden Minderungserfolgs kann die Frequenzzusammensetzung der Expositions-

quellen herangezogen werden. In Tabelle 2 sind die entsprechend VDI 2057-2 [5] ermittelten Frequenzanteile der frequenzbewerteten Beschleunigung unter 50 Hz angegeben.

Tabelle 2: Anteil der frequenzbewerteten Beschleunigung unter 50 Hz

Expositionsquelle	Frequenzanteile < 50 Hz
<b>Gegenhalter</b>	
Wolfram, 3,16 kg	71 bis 86 %
Stahl, 1,61 kg	70 bis 83 %
Stahl, 0,839 kg	~ 60 %
<b>Werkstück an</b>	
Kraftformer	73 bis 77 %
Trogvibrator	~ 92 %

Bekannt ist, dass die Wirksamkeit von Vibrations-Schutzhandschuhen erst ab dem Frequenzbereich > 150 Hz beginnt. Somit ist nach dem derzeitigen Beurteilungsverfahren keine wesentliche Reduzierung der frequenzbewerteten Beschleunigung zu erwarten.

Weitere Schutzmaßnahmen enthalten die Richtlinie VDI 3831 [6] und DIN V 45695 [7].

## 5. Zusammenfassung

Für einen Betrieb im Flugzeugbau wurde exemplarisch die Aufstellung eines Vibrationsminderungsprogramms aufgezeigt. Um die Gefährdungsschwerpunkte und geeignete Vibrationschutzmaßnahmen zu ermitteln, erfolgten umfangreiche Messungen. Hierzu war die Entwicklung einer Messstrategie notwendig, die den Vergleich der Belastungen unter Praxisbedingungen zulässt.

Die größte Vibrationsbelastung, die am Gegenhalter auftrat, konnte durch Erhöhung der Masse um den Faktor 3 reduziert werden. Neben dem Einsatz von vibrationsgedämpften Schlaghämmern wurden alternative Arbeitsverfahren untersucht, die ohne Schlagvorgang arbeiten und keine Gegenhalter erfordern. Diese zeigen darüber hinaus sehr niedrige Vibrationsbelastungen. Für Arbeiten am Kraftformer und Vibrationstrog, bei denen die Vibrationsbelastung über das Werkstück erfolgt, konnten als einziges Mittel Vibrations-Schutzhandschuhe eingesetzt werden. Eine wesentliche Reduzierung wird damit jedoch nicht erreicht.

Zusammenfassend konnte aufgezeigt werden, dass mit den zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten unter Berücksichtigung der arbeitsorganisatorischen Maßnahmen die Vibrationsbelastung weitgehend auf ein unbedenkliches Maß reduziert werden konnte.



## Danksagung

Der Autor bedankt sich bei der Fa. Premium Aerotech Nordenham für die Unterstützung bei den Messungen.

## Literatur

- [1] Kaulbars, U.: Hand-Arm-Vibration exposure in aircraft manufacture: measures of vibration attenuation, 2. American Conference on Human Vibration, 4.-6. Juni 2008, Chicago, Illionois/USA – Vortrag. Tagungsband. Hrsg.: National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH, Cincinnati/USA 2008
- [2] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261
- [3] Technische Regel Vibration (TRLV Vibrationen) vom 10. März 2010. GMBI. (2010), Nr. 14 – 15, S. 271 ff.
- [4] DIN EN ISO 5349-1: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1:2001. Berlin: Beuth 2001, Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2:2001
- [5] VDI-Richtlinie 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Blatt 2: Hand-Arm-Schwingungen. Ausg. 9/2002. Berlin: Beuth 2002.
- [6] VDI-Richtlinie 3831: Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Ausg. 1/2006. Berlin: Beuth 2006.
- [7] DIN V 45695: Hand-Arm-Schwingungen; Leitfaden zur Verringerung der Gefährdung durch Schwingungen – Technische und organisatorische Maßnahmen. Ausg. 4/1996. Berlin: Beuth 1996.