

**Nr.22**

Erschütterungsmeß- und  
Beurteilungsverfahren

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6

D-4300 Essen 1

1982

ISSN 0720-8499

Verfahren zur Auswertung von Erschütterungs-  
messungen und zur Beurteilung von Erschüt-  
terungsmissionen

Dr. H. <sup>[Lanz]</sup>Splittgerber

(1982)

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung	9
Summary	10
1. Einführung	11
2. Auswertung nach dem Stand der Regelwerke	11
3. Anforderungen an eine verbesserte Auswertemethode	15
4. Zum Einfluß der Einwirkungsdauer bei der Beurteilung von Erschütterungsimmissionen	17
5. Auswerteverfahren	27
5.1. Meßgeräte	27
5.2. Meßort, Ankopplung und Meßrichtungen	27
5.3. Meßdauer, Meßzeit	28
5.4. Bezugszeitraum	29
5.5. Meßgrößen	29
5.6. Klassierung der Meßgrößen	32
5.6.1. Ermittlung der relativen Klassenbesetzungszahlen $n_j$	35
5.6.2. Ermittlung der absoluten Klassenbesetzungszahlen $N_j$ für den Beurteilungszeitraum	35
5.6.3. Ermittlung der Einwirkungsteilzeiten $N_j t_a$ und der aufsummierten Einwirkungsteilzeiten	36
5.6.4. Ermittlung der höchsten besetzten Klasse für die Nachtzeit	37

6. Beurteilungsverfahren	37
6.1. Ermittlung der Beurteilungswerte	37
6.2. Beurteilung	39
6.2.1. Ziel der Beurteilung	39
6.2.2. Beurteilung während der Tageszeit	41
6.2.3. Beurteilung während der Nachtzeit	45
7. Bemerkungen zum vorgeschlagenen Aus- werteverfahren	46
7.1. Beziehung des vorgeschlagenen Auswerteverfahrens zu dem Aus- werteverfahren nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2	46
7.2. Zur Frage der Information über den Frequenzgehalt der Erschütterungs- signale	46
7.3. Zur Frage der Information über den Frequenzgehalt der Erschütte- rungssignale	48
8. Beispiele	49
8.1. Erschütterungsimmissionen verursacht durch eine Exzenterpresse	49
8.1.1. Meßort und Meßrichtung	49
8.1.2. Meßdauer und Dauer der Erschütterungseinwirkung	49
8.1.3. Klassierung der Meßgrößen und Ermittlung der Beurtei- lungswerte	50
8.1.4. Abschätzung des größten zeit- bewerteten Erschütterungs- signals $v_{\text{eff}}$ nach Absch. 5.5	51

8.2. Erschütterungsimmissionen verursacht durch eine Weberei	56
8.2.1. Meßort und Meßrichtung	56
8.2.2. Meßdauer und Dauer der Erschütterungseinwirkung	56
8.2.3. Klassierung der Meßgrößen und Ermittlung der Beurteilungswerte	57
8.3. Erschütterungsimmissionen verursacht durch Gewinnungssprengungen in einem Steinbruch	62
8.3.1. Meßort und Meßrichtung	62
8.3.2. Meßdauer und Dauer der Erschütterungseinwirkung	62
8.3.3. Klassierung der Meßgrößen und Ermittlung der Beurteilungswerte	63
Schrifttum	68

# VERFAHREN ZUR AUSWERTUNG VON ERSCHÜTTERUNGSMESSUNGEN UND ZUR BEURTEILUNG VON ERSCHÜTTERUNGSSIMMISSIONEN

Dr. H. Splittgerber

## Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wird ein Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen vorgeschlagen mit dem Ziel, das bisher übliche Verfahren zu verbessern. Der Zusammenhang des vorgeschlagenen Auswerteverfahrens mit der bisher seit vielen Jahren verwendeten Auswertemethode wird aufgezeigt. Dabei wird die Beziehung zwischen den zur Beurteilung herangezogenen Meßwerten und den bisher verwendeten Immissionsrichtwerten beachtet. Zur Kennzeichnung der Erschütterungsmeßwerte wird ein Klassierverfahren verwendet. Aus den bisherigen Feststellungen bei Beschwerden über Erschütterungsimmissionen werden Folgerungen für die Beurteilung gezogen, insbesondere wird für eine Beurteilung eine Zeitabhängigkeit zwischen den während der Tageszeit zulässigen Erschütterungswerten und der Einwirkungsdauer vorgeschlagen. Die Durchführung des Verfahrens zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen wird an einigen Beispielen erläutert.

## S u m m a r y

For the evaluation of vibration measurements and for assessing the vibration exposure a method is proposed with the aim of improving the method used to date. The common features of the proposed method and the method which has been in use for many years are pointed out taking note of the relation between the measured data underlying the evaluation and the recommended exposure standards. For characterizing the vibration measures a classification procedure is used. From the findings gained from complaints about vibration exposures conclusions are drawn for the assessment procedure. It is primarily recommended to include the duration of the exposure for assessing the nuisance of vibration values allowable during daytime. The procedure for evaluating vibration measurements and assessing vibration exposures is exemplified.

## 1. Einführung

Im Rahmen des Umweltschutzes gewinnt auch der Erschütterungsschutz zunehmend an Bedeutung. Die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen stützt sich bisher auf Messungen von physikalischen Größen ab, um zumindest diese zur Charakterisierung der Immissionsituation und zum Vergleich mit Werten einer Immissionsrichtwert-Tabelle zu verwenden.

Für diese Problematik ist es nötig, eine Auswertemethode möglichst eindeutig festzulegen. Nur dann eignen sich die verwendeten Meß- oder Kennwerte zum Vergleich mit Immissionsrichtwerten, um bei Wiederholungsmessungen, bei Messungen von verschiedenen Meßinstituten usw. Unstimmigkeiten zu vermeiden.

Die Auswertung von Erschütterungsmessungen ist in den einschlägigen Regelwerken zur Zeit nicht widerspruchsfrei festgelegt. Bisher wurde bei sachkundigem Vorgehen in aller Regel eine zufriedenstellende Lösung der Probleme ermöglicht. Trotzdem traten in manchen Fällen wegen nicht eindeutiger Festlegungen bei den Anforderungen an die zu verwendenden Schwingungsmesser, bei ungenauen Definitionen von Meßwerten usw. Abweichungen bei Wiederholungsmessungen und damit Probleme beim Vergleich mit Immissionsrichtwerten auf.

Es wird ein Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung der Einwirkung auf Menschen in Gebäuden vorgeschlagen, mit dem eine Verbesserung des bisher üblichen Verfahrens zur Auswertung von Erschütterungsmessungen angestrebt wird.

## 2. Auswertung nach dem Stand der Regelwerke

Die Auswertung der Erschütterungsregistrierungen ist nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2, wie folgt vorzunehmen [1]:

Aus der Registrierung sind die maximalen Schwingungsgrößen (Scheitelwerte) und die zugehörigen Frequenzen

zu ermitteln und daraus nach angegebenen formelmäßigen Zusammenhängen rechnerisch die bauwerksbezogenen Wahrnehmungsstärken (KB-Werte).

Diese sehr einfache Auswertemethode wurde und wird in der Praxis häufig angewendet und führt in aller Regel zu vergleichbaren Ergebnissen und Folgerungen bei nicht zu hohen Ansprüchen an die Genauigkeit. Dies wurde begünstigt, weil es bei Erschütterungsmessungen im Bauwesen seit langer Zeit üblich ist, gleichartige Schwingungsaufnehmer, nämlich tief abgestimmte Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer einzusetzen, obwohl dies in der Vornorm DIN 4150, Teil 2, nicht zwingend gefordert wurde. Bei der Verwendung unterschiedlicher Schwingungsaufnehmer können allein dadurch bei nichtharmonischen Schwingungsvorgängen Unterschiede bei der Auswertung von Erschütterungsregistrierungen auftreten.

Bei nichtperiodischen, insbesondere bei wiederholt auftretenden transienten Vorgängen können Unterschiede bei der Auswertung von Erschütterungsmessungen auftreten, weil der Begriff "Scheitelwert" nur für harmonische Schwingungen definiert ist und deshalb für die genannten Schwingungsarten ein Interpretationsspielraum vorhanden ist [2].

Werden Scheitelwerte der Schwingungsgrößen zur Beurteilung von Schwingungsimmissionen ohne Festlegung der zu verwendenden Schwingungsaufnehmer herangezogen, können bei Erschütterungen mit Amplitudenanteilen bei mehreren Frequenzen Interpretationsschwierigkeiten und Abweichungen bei der Auswertung von Erschütterungsregistrierungen auftreten [3]. In der Zwischenzeit sind in der DIN 45669 Anforderungen an Schwingungsmesser festgelegt worden [4]. Damit wurden die Eigenschaften der bei Schwingungsimmissionsmessungen zu verwendenden Meßeinrichtungen vereinheitlicht, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Erschütterungsmessungen zu verbessern.

Die VDI-Richtlinie 2057 verwendet zur Bewertung der Schwingungsstärke als Meßwert bevorzugt den Effektivwert der Schwingbeschleunigung [5]. In Abschnitt 2.8 von Blatt 2 dieser VDI-

Richtlinie ist in diesem Zusammenhang erläutert:

Die Schwingungsgröße wird bei periodischen Schwingungen als Effektivwert oder als Scheitelwert angegeben.

In der VDI-Richtlinie sind Umrechnungsformeln angegeben, mit denen bei periodischen Schwingungen aus den Scheitelwerten die Effektivwerte und umgekehrt errechnet werden können. Dabei muß die Schwingungskomponente jeder Frequenz gesondert berechnet werden. Das erfordert eine Frequenzanalyse des Signals.

Die VDI-Richtlinie 2057 gilt jedoch nicht nur für periodische Schwingungen. Sie gilt vielmehr für Schwingungen mit einer oder wenigen diskreten Frequenzen und mit schmal- oder breitbandigen Spektren, sowie für Mischungen daraus. Dabei kann die Schwingstärke während der Einwirkungsdauer konstant bleiben, schwanken oder von Pausen unterbrochen sein. Periodische und Einzelstöße sowie transiente Vorgänge lassen sich nach der genannten VDI-Richtlinie nur bedingt bewerten. In solchen Fällen soll nach einer Bemerkung in der genannten VDI-Richtlinie auch der Scheitelfaktor zur Beurteilung herangezogen werden, ohne daß dafür irgendwelche Angaben gemacht werden, in welcher Weise dies geschehen soll [5].

Im Immissionsschutz treten jedoch häufig auch nichtperiodische Vorgänge auf. In der VDI-Richtlinie 2057 ist bisher kein Verfahren zur Auswertung von nichtperiodischen Erschütterungsvorgängen eindeutig angegeben worden.

In der Neufassung von Blatt 1 dieser Richtlinie, die in Kürze veröffentlicht werden soll, werden Angaben zur Bildung der Effektivwerte gemacht, je nach der Art der zu betrachtenden Schwingungen [6]. Dabei wird unterschieden zwischen dem Effektivwert bei einem periodischen Signal, dem Effektivwert mit fester Mittelungsdauer und dem gleitenden Effektivwert eines Signals. Die gleitende Bildung des Effektivwertes (exponentielle Mittelung) wird in der Schallmeßtechnik als Zeitbewertung bezeichnet und in der DIN 45669 nur allgemein als "Effektivwertbildung" [4]. Der gleitende Effektivwert ist zu

jedem Zeitpunkt der Beobachtung durch alle zurückliegenden Signalteile mit zeitlich abklingendem Gewicht bestimmt. Diese Zeitbewertung ist auf beliebige Signale anwendbar und führt bei einer Zeitkonstanten von  $\tau = 0,125$  s bei Erschütterungsimmersionen nicht zu einem einzelnen Wert, sondern erzeugt wiederum ein im allgemeinen zeitveränderliches Signal. Über die Dauer der Zeitkonstanten  $\tau$  kann eine allgemein gültige Festlegung zur Zeit nicht getroffen werden. Nach heutigem Kenntnisstand wird in dem zu erwartenden überarbeiteten Blatt 1 der VDI-Richtlinie 2057 ein Wert von  $\tau = 0,125$  s empfohlen; dieser Wert ist auch in der DIN 45669, Blatt 1, angegeben.

Auch im ISO-Standard 2621 sind Angaben zur Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen gemacht. Dieser Standard kann bei periodischen, stochastischen und nichtperiodischen Schwingungen angewendet werden [7]. Die Größe der mechanischen Schwingungen soll nach diesem Standard als Effektivwert (root mean square value: rms-Wert) angegeben werden. Wenn Scheitelwerte ermittelt werden, sollen diese zunächst in geeigneter Weise in rms-Werte umgewandelt werden, ohne daß Festlegungen getroffen worden sind, wie bzw. über welche Mittelungszeit dieser Wert gebildet werden soll. Es wird nur darauf hingewiesen, daß für eine zutreffende Beschreibung von Schwingungen, die merklich nichtsinusförmig sind, die Zufallscharakter haben oder die breitbandig sind, auch der Scheitelfaktor (crest-factor) der Zeitfunktion ermittelt oder geschätzt werden soll. Die Bewertungskurven (limits) in dem Standard gelten versuchsweise nur als ungefähre Anhalt, wenn der Scheitelfaktor größer als 3 ist.

Im Draft Amendment 1 zum ISO/IS 2631 wird in diesem Zusammenhang dargelegt, daß nach neueren Forschungsergebnissen auch Schwingungen mit Scheitelfaktoren, die größer als 3 sind, mit den im ISO-Standard 2631 angegebenen Grenzwerten noch "zufriedenstellend verglichen" werden können. Es sei jedoch einleuchtend, daß die Wirkung von Schwingungen, die gelegentlich Spitzen mit großen Scheitelfaktoren aufweisen, durch die angegebene Auswerte- und Beurteilungsmethode, d.h. durch die Verwendung von Effektivwerten, auch unterschätzt werden kann [8].

Diese Darlegungen bleiben unbefriedigend, wenn sie überhaupt für die Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in der Wohnumgebung Bedeutung haben, denn es bleibt zweifelhaft, ob allein mit Hilfe von Effektivwerten eine zutreffende Beurteilung bei Einwirkung von stochastischen Schwingungen und transienten Vorgängen möglich ist.

In einer weiteren Ergänzung zum ISO-Standard 2631, die sich mit Gebäudeerschütterungen befaßt, wird empfohlen, in der Regel Effektivwerte (rms-Werte) zu verwenden [9]. Bei stoßartigen Erschütterungen ist nach dieser Ergänzung dagegen der Scheitelwert des frequenzbewerteten Signals der zu bevorzugende Kennwert. Die Frequenzbewertung entspricht etwa der KB-Bewertung nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2. Der Scheitelwert soll dann mit einem Faktor 0,71 multipliziert werden, um ihn in einen rms-Wert umzuwandeln.

Dadurch wird deutlich, daß dem Scheitelwert Bedeutung zugemessen wird. Es ist jedoch unbefriedigend, für alle vorkommenden Erschütterungsarten als formale Lösung den Effektivwert durch Multiplikation des Scheitelwertes mit dem Faktor 0,71 zu ermitteln. Je nach dem zeitlichen Verlauf der transienten Signale und der gewählten Definition für die Mittelungszeit bei der sonst üblichen Definition des Effektivwertes, können erhebliche Abweichungen auftreten.

### 3. Anforderungen an eine verbesserte Auswertemethode

Eine verbesserte Auswertemethode von Erschütterungsmessungen muß den Zusammenhang mit dem bisher seit vielen Jahren angewendeten Auswerteverfahren erkennen lassen. Die bisherige Auswertemethode bei der Messung von Schwingungsimmissionen nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2, ist mindestens seit der Veröffentlichung des Gelbdruckes (Entwurf Juli 1971) - zum Teil auch in derselben Weise schon früher - bei der Formulierung von Genehmigungsanforderungen für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen, bei Streitverfahren vor Gerichten usw. verwendet worden.

Zu beachten ist auch, daß die Meßwerte des bisherigen Auswerteverfahrens nicht für sich allein Bedeutung haben, sondern erst ihre Beziehung zu dem bisherigen Bewertungssystem, d.h. zu den in der Vornorm DIN 4150, Teil 2, genannten Anhaltswerten. Ändert man die Meßwertart, die zur Beurteilung herangezogen wird, so ist auch das Beurteilungssystem entsprechend zu ändern, wenn die bisherige Beurteilung der Erschütterungsimmissionen als eine ausreichende Grundlage für Entscheidungen angesehen wird.

Die bei einem verbesserten Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen herangezogenen Meß- oder Kennwerte sollten in möglichst enger Beziehung zu der betrachteten "Wirkung" stehen. Als Wirkung stehen die subjektive Wahrnehmbarkeit, insbesondere die Fühlbarkeit, und darüber hinaus auch psychische Reaktionen in Betracht, z.B. eine negative Bewertung der Erschütterungen durch die Betroffenen, weils sie sich in den üblichen Wohn- oder Lebensaktivitäten durch die Erschütterungen gestört, beeinträchtigt bzw. belästigt fühlen. Die Lästigkeit wird auch von Einflußgrößen bestimmt, die nicht oder zumindest nicht direkt auf physikalische Parameter zurückzuführen sind und die man unter den Sammelbegriff "psychologische Einflußgrößen" zusammenfassen kann. Darauf wurde kürzlich von STRASSEN im Zusammenhang mit Geräuschen hingewiesen [10].

Weiterhin sollten die Meßwerte und Kennwerte, die bei einer verbesserten Auswertemethode Anwendung finden, für eine Übergangszeit auch mit Hilfe der bisher verwendeten Meßeinrichtungen zumindest näherungsweise als Schätzwerte ermittelt werden können. Die Durchführung des vorgeschlagenen Auswerteverfahrens von Erschütterungsmessungen bedingt eine Änderung bzw. Ergänzung der bisher verwendeten Meßeinrichtungen. Diese Änderungen bzw. Ergänzungen der Meßeinrichtungen bleiben innerhalb der Festlegungen, die bei den Anforderungen an Schwingungsmesser in der DIN 45669 getroffen worden sind [4].

#### 4. Zum Einfluß der Einwirkungs- dauer bei der Beurteilung von Erschütterungsimmissionen

Nach bisher vorliegenden Kenntnissen und Feststellungen im Immissionsschutz bei Beschwerden über einwirkende Erschütterungen scheint die Abhängigkeit zwischen der Stärke der Erschütterungen und der Einwirkungsdauer, wie sie im ISO-Standard 2631 und der VDI-Richtlinie 2057 angegeben ist, für die Beurteilung der Störwirkung von Erschütterungen in Wohnungen bzw. vergleichbaren Räumen nicht zuzutreffen [11].

Untersuchungen zur Feststellung des Einflusses der Einwirkungs-  
dauer auf die Störung und Belästigung von Menschen durch Er-  
schütterungsimmissionen in Wohnungen bzw. vergleichbaren  
Räumen sind bisher nicht durchgeführt worden [12].

Zu bemerken ist, daß bisher überhaupt keine Hypothesen für Untersuchungen zur Ermittlung der Belästigung von Menschen durch Erschütterungsimmissionen aufgestellt worden sind. Für die Reaktion von Betroffenen auf Erschütterungsimmissionen sind offensichtlich nicht allein physikalische Größen und aus ihnen abgeleitete Meß- und Kennwerte maßgebend, sondern auch psychologische, soziologische und situative Faktoren. Daher ist es vermutlich sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich, die im Einzelfall auftretende Belästigung anzugeben. Verwendet man eindeutig bestimmte aus physikalischen Größen abgeleitete Meß- oder Kennwerte zur Kennzeichnung der Erschütterungsimmissionen in verschiedenen Fällen und ordnet man diesen die Reaktion, d.h. das Hinnehmen der Erschütterungsimmissionen bzw. die negative Bewertung bei Störungen und Belästigungen der Betroffenen zu, so kann bei Betrachtung von möglichst vielen Fällen wenigstens eine "mittlere Lästigkeit" angegeben werden und der Schwankungsbereich der Erschütterungsmeßwerte, bei dem in verschiedenen Situationen Klagen und Beschwerden über Störungen und Belästigungen vorgebracht wurden.

Die bisher vorliegenden Kenntnisse und Feststellungen wurden bei Ermittlungen in den Jahren von etwa 1963 bis 1980 im Zusammenhang mit etwa 300 Beschwerdefällen gewonnen. Dabei wurden

die Erschütterungsimmissionen durch die verschiedenartigsten Erschütterungsquellen verursacht, z.B. durch Schmiedehämmer, Webmaschinen, Sägegatter, Pressen, Fallwerke, Wäscheschleudern, Gewinnungssprengungen in Steinbrüchen usw., aber auch durch Vorbeifahrten von Straßen- bzw. Schienenfahrzeugen. Die Messung der Erschütterungsimmissionen in diesen Fällen wurde überwiegend nur dann vorgenommen, wenn betroffene Bewohner in Wohnhäusern negativ auf die einwirkenden Erschütterungen reagierten, sich also bei der zuständigen Behörde oder beim Verursacher darüber beschwert hatten. Aus den bisher vorliegenden Feststellungen kann zur Zeit noch nicht gefolgert werden, ob grundsätzlich im Mittel auch ein größerer Teil der Bevölkerung bei vergleichbaren Erschütterungseinwirkungen in vergleichbarer Weise reagiert und sich beschwert. Nach Meinung des Verfassers lassen die bisher vorliegenden Feststellungen vorläufig folgende Aussagen zu:

- Grundsätzlich wird vom Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden erwartet, daß Erschütterungen in Wohn- und Schlafräumen subjektiv nicht wahrnehmbar sein sollen. Bereits subjektiv nicht direkt "fühlbare" Erschütterungen, aber durch diese bewirkte sichtbare Bewegungen von Gegenständen in Wohnräumen, zum Beispiel das Pendeln von Bildern oder Lampen, oder hörbare Auswirkungen, zum Beispiel das Klappern und Vibrieren von Geschirr und Gläsern, Türen oder Fenstern usw., assoziieren das Vorhandensein von Erschütterungen und führen zu ihrer negativen Bewertung. In Räumen, die für den dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, sind spürbare Erschütterungen unerwünscht, sie werden in aller Regel als störend empfunden.
- Sind in Einzelfällen Erschütterungseinwirkungen vorhanden, die in Wohnungen auch oberhalb der subjektiven Wahrnehmungsschwelle liegen und sind diese aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen unvermeidbar, so werden sie von den Betroffenen nach bisheriger Erfahrung nur für sehr kurze Einwirkungszeiten hingenommen. Nur für relativ kurze Einwirkungszeiten,

die kürzer als etwa eine Viertelstunde tagsüber sind, werden u.U. auch dauernd vorhandene oder wiederholt auftretende Erschütterungen toleriert, die oberhalb der subjektiven Wahrnehmungsschwelle liegen. Daraus folgt, daß nur bei sehr kurzen Einwirkungszeiten im Vergleich zur sechzehnständigen Tageszeit u.U. auch Erschütterungen hingenommen werden, die oberhalb der Wahrnehmbarkeit liegen, bevor diese nachdrücklich stark negativ bewertet und als Störung empfunden werden. Die Zeitabhängigkeit ist nach den bisherigen Feststellungen zunächst sehr gering und nur bei sehr wenigen kurzzeitigen Ereignissen, zum Beispiel bei wenigen Sprengerschütterungen pro Tag und damit bei Einwirkungszeiten im Bereich von einigen Sekunden, ist die Auslösung von Beschwerden erst bei deutlich oberhalb der Wahrnehmungsschwelle liegenden Erschütterungsstärken zu erwarten.

- Da keine systematischen Untersuchungen über die Störung von Menschen in Wohnungen hinsichtlich einer Beeinträchtigung der Wohnannehmlichkeit bei einwirkenden Erschütterungen vorliegen, bilden die bisher vorliegenden Feststellungen die einzige Grundlage für eine Beurteilung. Die bisherigen Feststellungen wurden insoweit "objektiviert", als nicht nur die Beschwerde der Betroffenen, sondern zum Teil auch die Feststellungen der Sachverständigen während und nach den Erschütterungsmessungen als "neutrale Beobachter" mit einbezogen wurden. Bei der Beurteilung durch diesen Personenkreis ist allerdings zu bedenken, daß er sich in der Regel nur kurze Zeit während der Messungen in den betroffenen Wohnungen aufgehalten hat und seine Meinungsbildung nur auf den Feststellungen während dieser Zeit basiert und nicht wie die der Betroffenen auf in der Regel über Tage, Wochen oder gar Jahre andauernde Erschütterungseinwirkungen.

Über die Beeinträchtigungen durch Erschütterungsimmissionen wurde bereits vor längerer Zeit berichtet [13]. Die in der Zwischenzeit gewonnenen weiteren Ergebnisse von Erschütterungsmessungen wurden bei der Beratung der Neufassung der Vornorm DIN 4150, Teil 2, diskutiert. Die Aufarbeitung dieser Ergebnisse wird erschwert, weil z.B. jeweils unterschiedliche Bedingungen in verschiedenen Situationen vorgelegen haben. Diese sind oft unvollständig dokumentiert worden, so daß z.B. für die täglichen Einwirkungszeiten z.T. nur Schätzungen diese Lücke schließen können. Weitere gezielte Untersuchungen dieser Zusammenhänge sollten durchgeführt werden.

Über die Abhängigkeit zwischen der Einwirkungsdauer von Erschütterungen und dem "discomfort", d.h. der Beeinträchtigung des Komforts, ist auch von GRIFFIN und WITHAM berichtet worden [14, 15]. Diese Autoren weisen darauf hin, daß keine experimentellen Überprüfungen für die im ISO-Standard 2631 angegebene Zeitabhängigkeit zwischen der Beeinträchtigung des Komforts und der Einwirkungsdauer der Erschütterungen vorliegen [15]. Von einigen Forschern sei deshalb sogar aus Gründen einer vereinfachten Vorgehensweise versucht worden, die Schlußfolgerung zu ziehen, daß keine Zeitabhängigkeit vorliegt. Trotz fehlender Untersuchungen scheint den genannten Autoren die Annahme vernünftig zu sein, daß die Stärke der Erschütterungen bei längeren Einwirkungsauern niedriger sein sollte im Vergleich zu kürzeren Einwirkungsauern.

Diese Folgerungen wurden von den Autoren bei der Untersuchung von Erschütterungsstärken gezogen, die weit oberhalb der beginnenden Wahrnehmung liegen, nämlich bei Erschütterungsstärken, wie sie in Kraftfahrzeugen auf Menschen einwirken und dort Einfluß auf den "discomfort" haben. Das Referenzsignal lag bei den Untersuchungen bei einer Schwingungsbeschleunigung von  $1 \text{ m/s}^2$  und einer Frequenz von 10 Hz. Das entspricht einer Wahrnehmungsstärke, die oberhalb von  $\text{KB} = 10$  liegt - Bei Erschütterungsstärken im Bereich der beginnenden Wahrnehmung, d.h. bei Wahrnehmungsstärken im Bereich von  $\text{KB} \sim 0,1 \dots 0,3$ , oder nur geringfügig oberhalb davon, wie sie im Immissionsschutz in Wohnungen von Bedeutung sind, ist anzunehmen, daß diese Folgerung nur für sehr kurze Einwirkungszeiten plausibel ist,

weil täglich über längere Zeitdauern einwirkende Erschütterungen deutlich oberhalb der Wahrnehmungsschwelle von Betroffenen in Wohnungen in aller Regel nicht hingenommen werden.

Im DDR-Standard 22312 sind bei der Beurteilung der Erschütterungen am Arbeitsplatz die Arbeitsplätze nach Kategorien unterteilt [16]. Für die Kategorie 4, nämlich

"Arbeitsplätze für geistig-schöpferische Tätigkeiten oder Arbeiten mit hoher Präzision, wie z.B. in Forschungs-  
instituten, Zeichen- und Konstruktionsbüros"

sind die Grenzwerte für die frequenzbewerteten Beschleunigungsamplituden ohne Zeitabhängigkeit bei täglichen Einwirkungszeiten von 1 Minute bis zu 24 Stunden angesetzt. Bei den anderen Arbeitsplätzen, z.B. beim Führen von Kraftfahrzeugen, Bedienen von Maschinen, in Meisterbüros, Schaltwarten usw. wird dagegen eine Zeitabhängigkeit berücksichtigt, derart, daß bei längeren Expositionsdauern kleinere frequenzbewertete Schwingbeschleunigungsamplituden als zulässig angesetzt werden im Vergleich zu kürzeren Expositionsdauern.

Bei diesem Vorgehen wird für geistig-schöpferische Tätigkeiten auf eine Zeitabhängigkeit verzichtet. Vielmehr ist eine konstante bewertete Schwingbeschleunigungsamplitude auf sehr niedrigem Niveau einzuhalten, um für diese Art der Tätigkeit möglichst die Konzentration, die Aufmerksamkeit und die Kreativität nicht zu beeinträchtigen. Es liegt nahe, in gleicher Weise bei Erschütterungseinwirkungen in der "Wohnumgebung" vorzugehen. Menschen wollen ihre Wohnung ungestört von Erschütterungsimmissionen nutzen, d.h. ohne Beeinträchtigung ihres Wohlbefindens, insbesondere für die Zeiten der Entspannung und Erholung. Die negative Bewertung und damit häufig auch das Auslösen von Beschwerden über wahrnehmbare Erschütterungen hängt nicht allein von der Stärke der Erschütterungen ab, sondern auch von weiteren Einflußgrößen, wie der Einstellung der Betroffenen zur Erschütterungsquelle, der Art des Wohnumfeldes (Ortsüblichkeit) usw.

Für den Einfluß der Einwirkungsdauer ist es u.U. vertretbar, bei verhältnismäßig kurzen Einwirkungszeiten im Vergleich zur täglichen Bezugszeitdauer eine geringe Zeitabhängigkeit zu berücksichtigen [11]. Die Gründe dafür liegen jedoch mehr darin, daß der an sich in Wohnungen anzustrebende Zustand "keine Wahrnehmung von Erschütterungen" in manchen Fällen aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht erreicht werden kann und deswegen als Kompromiß von den Betroffenen erwartet wird, daß sie wenigstens für verhältnismäßig kurze Einwirkungszeiten bereit sind, ein Überschreiten der Wahrnehmungsschwelle hinzunehmen. Es wurde vorgeschlagen, bei Erschütterungen in Gebäuden eine geringe Zeitabhängigkeit der zulässigen KB-Werte anzusetzen, die durch folgende Beziehung beschrieben werden kann [11]:

$$B = KB \frac{vt}{\sqrt{1 + \left(\frac{t}{t_0}\right)^2}} \quad (1)$$

Darin bedeuten:

B : Beurteilungswert

KB: bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke

v : 0,01 (Konstante)

t : Einwirkungsdauer in Sekunden

t<sub>0</sub>: 100 Sekunden (Bezugszeit)

Dieser Zusammenhang wurde für Einwirkungszeiten vorgeschlagen, die länger als 5 Sekunden andauern. Dieser aufgrund bisheriger Erfahrungen bei der Messung und Beurteilung empirisch ermittelte Zusammenhang erfüllt folgende Bedingungen:

- Bei Einwirkungs Dauern, die länger als etwa 15 Minuten andauern, liegt praktisch keine Zeitabhängigkeit der Beurteilungswerte B mehr vor. Dabei ist zu bedenken, daß sich die Betriebsdauer der Anlage, die die Erschütterungen verursacht, über eine längere Zeitdauer im Bezugszeitraum (z.B. der Tageszeit) verteilen kann. Z.B. liegt die Einwirkungsdauer der in Wohnungen in der Umgebung von Fallwerken verursachten kurzzeitigen Erschütterungen

im Bereich von etwa ein bis zwei Sekunden. Etwa 450 bis 900 Erschütterungsvorgänge verursachen dabei eine Einwirkungszeit von etwa 15 Minuten. Je nach dem Arbeitsablauf und den dadurch bedingten Pausen zwischen den Fallvorgängen verteilen sich die kurzzeitigen Erschütterungsvorgänge über eine Zeit bis zu einigen Stunden.

- Ist der Bereich der beginnenden Wahrnehmung bekannt oder ist eine "Wahrnehmungsschwelle" definiert, so kann dieser Bereich bzw. diese Schwelle durch entsprechende B-Werte für Einwirkungszeiten, die größer als etwa 15 Minuten sind, beschrieben werden. Für Erschütterungen mit täglichen Einwirkungsauern von mehr als etwa 15 Minuten, deren Größe unterhalb der subjektiven Wahrnehmung liegt bzw. gerade im Bereich der beginnenden Wahrnehmung, ist es nicht sinnvoll, eine zeitliche Mittelung von Erschütterungswerten in Betracht zu ziehen, um eine Einwertangabe zur Beschreibung der Erschütterungsstärke für die Einwirkungszeitdauer oder für die gesamte Bezugszeitdauer zu erhalten.
- Bei verhältnismäßig kurzen Einwirkungszeitdauern werden nach bisheriger Erfahrung in Wohnungen von den Betroffenen vermutlich bei Verkürzung der Einwirkungszeit zunächst nur geringfügig größere Werte und bei noch kürzeren Einwirkungszeitdauern auch größere Werte hingenommen, die dann oberhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen. Der angegebene Zusammenhang für den B-Wert berücksichtigt dies.

Um einen stetigen Verlauf auch bis zur kürzesten praktisch vorkommenden Einwirkungszeit von 1 Sekunde zu erreichen, die z.B. bei einem täglich nur einmal vorkommenden Ereignis, z.B. bei einem durch eine Sprengung verursachten Erschütterungsvorgang, Bedeutung hat, kann anstelle des B-Wertes auch folgende Beziehung verwendet werden, die zur Vermeidung von Verwechslung mit dem Buchstaben R gekennzeichnet ist:

$$R = KB \frac{t + 1}{t + 59} \quad (2)$$

Darin bedeuten:

R : Beurteilungswert

KB: bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke

t : Einwirkungszeitdauer in Sekunden

Dieser Zusammenhang berücksichtigt nach Feststellungen des Verfassers die im Immissionsschutz vorliegenden Erfahrungen, soweit dies bisher möglich ist.

Im Diagramm nach Abb. 1 sind die verschiedenen Beurteilungswerte im Einwirkungszeit-Schwingbeschleunigungs-Diagramm dargestellt. Die Kurve für "Wohlbefinden" nach der VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3, stimmt mit der entsprechenden Kurve im ISO-Standard 2631 überein; sie wurde hier nach dem Zusammenhang ermittelt, der in der VDI-Richtlinie 2057, Blatt 2 (Mai 1981), für die KB-Werte für den Frequenzbereich  $f = 8 \text{ Hz} \dots 80 \text{ Hz}$  angegeben ist. Die Kurven  $a^4 t = \text{konstant}$  und  $a^2 t = \text{konstant}$  sind so ermittelt, daß sie die genannte Kurve nach der VDI-Richtlinie 2057 bei einer Einwirkungsdauer von 1 Minute schneiden; dabei bezeichnet  $a$  die Schwingbeschleunigung.

Für die Beurteilungswerte B und R wurden die Kurven für die Werte  $B = 0,2$  und  $R = 0,2$  dargestellt.

Man erkennt, daß die Zeitabhängigkeit des von GRIFFIN und WITHAM vorgeschlagenen Beurteilungskriteriums, nämlich der  $rmq$ -Wert, d.h.  $a^4 t = \text{konstant}$ , wesentlich von dem im ISO-Standard 2631 angegebenen Kriterium abweicht.

Beim Vergleich des Vorschlages von GRIFFIN und WITHAM mit den R-Werten ist zu beachten, daß die Untersuchungen dieser Autoren mit Erschütterungen deutlich oberhalb der Wahrnehmungsschwelle durchgeführt worden sind. Beurteilungskriterium war dabei der "discomfort". Wesentliche Grundlage für die Festlegung der

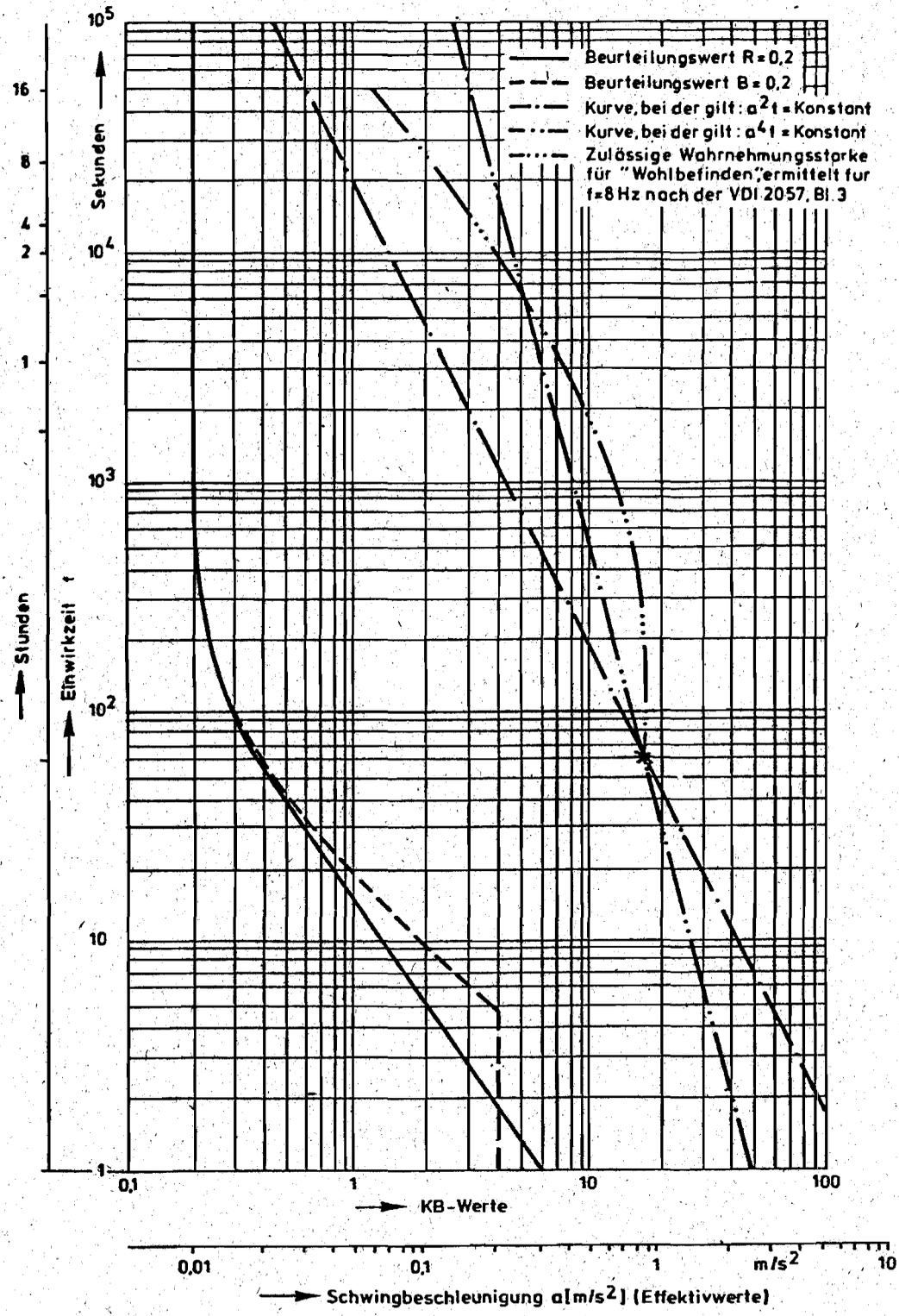


Abb. 1: Vergleich der Zeitabhängigkeit zwischen verschiedenen Beurteilungskurven im Einwirkungszeit-Schwingbeschleunigungs-Diagramm

R-Werte ist dagegen die Beurteilung im Bereich der beginnenden Wahrnehmung über eine längere Einwirkungszeit.

Für die Nachtzeit sollte ein Beurteilungskriterium keine Abhängigkeit zwischen der Einwirkungsdauer und der Größe der Erschütterungen aufweisen. Da das Ruhe- und Erholungsbedürfnis in Wohnungen während der Nachtzeit im allgemeinen höher einzustufen ist als tagsüber und tagsüber in der Regel für Dauererschütterungen angestrebt werden sollte, die Wahrnehmungsschwelle einzuhalten, sollte dies nachts noch nachdrücklicher angestrebt werden und dies auch für sehr kurze Einwirkungszeiten, um Aufweckeffekte usw. auszuschließen.

Werden weitere das Wohnumfeld bestimmende Faktoren mit in die Betrachtung einbezogen, wie z.B. die Frage der "Ortsüblichkeit", die Duldung von Erschütterungsimmissionen in bestimmtem Ausmaß, weil die Erschütterungsquelle mit vertretbarem Aufwand nicht verändert werden kann und das Wohnen wegen anderer Vorteile in diesem Umfeld nicht aufgegeben wird, so könnte dem durch Ansetzen höherer R-Wert Rechnung getragen werden.

In Baugebieten verschiedener Nutzung ist es nach bestehenden Regelwerken beim Lärm bisher üblich, unterschiedlich hoch angesetzte Immissionsrichtwerte einzuhalten [17, 18, 19]. Folgt man diesem Vorgehen auch bei den Erschütterungsimmissionen, so hat man zu bedenken, daß für die Betroffenen, z.B. in MI-Gebieten, nicht nur höhere Geräuschemissionen im Vergleich zu den Bewohnern in allgemeinen oder reinen Wohngebieten hinzunehmen sind, sondern dann auch noch höhere Erschütterungsimmissionen. Weiterhin würden bei Beurteilungswerten, die merklich oberhalb von  $R = 0,2$  liegen, die Erschütterungen auch bei länger andauernden Einwirkungszeiten subjektiv wahrnehmbar sein. Für diese Situation liegt es nahe, anzunehmen, daß eine gewisse, vermutlich geringe Zeitabhängigkeit des Beurteilungskriteriums vorhanden sein müßte, denn es ist zu erwarten, daß bei gleicher Größe der Erschütterungen eine länger andauernde Erschütterungseinwirkung in aller Regel störender sein wird im Vergleich mit einer solchen bei kürzerer Einwirkungsdauer. Für diese Situation ist nicht auszuschließen, daß sich das von GRIFFIN und WITHAM vorgeschlagene Beurteilungskriterium, nämlich der  $rmq$ -Wert

( $a^4 t = \text{konstant}$ ), als ein brauchbares Kriterium erweisen könnte. So lange darüber keine näheren Untersuchungen vorliegen, bietet es sich aus Gründen einer möglichst einfachen Beurteilungsmethode an, auf eine Zeitabhängigkeit in diesem Bereich zu verzichten und zunächst die R-Werte zu stufen, d.h. eine Parallelverschiebung der R-Kurven zur Beurteilung heranzuziehen. Das ist umso mehr begründet, als insgesamt der Bereich der Erschütterungsgrößen, der überhaupt in Wohnungen bei andauernden Erschütterungen in Betracht steht, verhältnismäßig gering ist.

## 5. Auswerteverfahren

Das Ziel besteht darin, aus den Erschütterungsmessungen Beurteilungswerte  $R_j$  zu ermitteln, die zur Beurteilung herangezogen werden.

### 5.1. Meßgeräte

Die Erschütterungen sind mit einer Meßeinrichtung zu messen, die die Anforderungen der DIN 45669 erfüllt [4].

Der Frequenzbereich soll sich von  $f_{\min} = 1 \text{ Hz}$  bis  $f_{\max} = 80 \text{ Hz}$  erstrecken.

Bei einem großen Teil der im Immissionsschutz (Nachbarschaftsschutz) vorkommenden Probleme treten Erschütterungen auf, deren Amplitudenanteile überwiegend im Frequenzbereich oberhalb von etwa 4 Hz liegen. Daher ist es häufig ausreichend, eine Meßeinrichtung zu verwenden, deren Arbeitsfrequenzbereich sich von  $f_{\min} = 4 \text{ Hz}$  bis  $f_{\max} = 80 \text{ Hz}$  erstreckt.

### 5.2. Meßort, Ankopplung und Meßrichtungen

Die Messung der Erschütterungen soll auf dem Fußboden des zu untersuchenden Raumes vorgenommen werden, und zwar an den Stellen stärkster Schwingungen. Dies ist bei Erschütterungen in vertikaler Richtung meistens in Raummitte.

Die Erschütterungsmessungen in vertikaler Richtung und in der

ungünstigsten horizontalen Richtung sind unabhängig voneinander vorzunehmen und getrennt zu bewerten. Der ungünstigste Fall der Erschütterungseinwirkung in vertikaler oder in horizontaler Richtung, d.h. die in irgendeiner der genannten Meßrichtungen ermittelte ungünstigste Beurteilungsgröße, ist für die Beurteilung maßgebend.

Die Schwingungsaufnehmer müssen so an das Meßobjekt angekoppelt werden, daß im Arbeitsfrequenzbereich der Meßeinrichtung die Bewegung des Meßobjektes möglichst unverfälscht in Betrag und Phase von den Schwingungsaufnehmern erfaßt wird. Bei Aufstellung von Schwingungsaufnehmern auf weichen Unterlagen in Form von Teppichen, Fußbodenbelägen aller Art treten Kontaktresonanzen auf, die erfahrungsgemäß im Bereich unter 100 Hz liegen und zu Meßwertverfälschungen im Arbeitsfrequenzbereich führen können. Um möglichst fehlerfrei zu messen, sind die Hinweise in der DIN 45669, Teil 2, zu beachten [4].

Durch die Übertragung der Erschütterungen von dem gewählten Bezugspunkt auf andere Stellen im Raum, auf Sitz- und Liegemöbel, auf Tische usw. treten Änderungen bezüglich der Schwingungsgröße und der spektralen Verteilung der Komponenten auf. Dies ist von Bedeutung, da an sich die Erschütterungen an der Einleitungsstelle in den menschlichen Körper gemessen werden sollten [5, 7]. Dieser Einfluß der geänderten Übertragungsverhältnisse muß, soweit es nach bisheriger Erfahrung in praktischen Fällen möglich ist, bei der Aufstellung des Bewertungssystems, d.h. bei den Angaben zu Immissionsrichtwerten, berücksichtigt werden. Im Nachbarschaftsschutz ist es nicht zweckmäßig, ja praktisch unmöglich, bei den verschiedenen Aufenthaltsmöglichkeiten von Menschen in Wohnungen jeweils an der oder den Einleitungsstellen in den menschlichen Körper zu messen.

### 5.3. Meßdauer, Meßzeit

Die Messung soll die kennzeichnende Erschütterungseinwirkung erfassen. Die Meßdauer richtet sich nach der Regelmäßigkeit des Erschütterungsverlaufs und wird bei stationären Erschütterungen im allgemeinen kurz sein gegenüber der Dauer der Erschütterungs-

einwirkung und der Dauer des Bezugszeitraumes.

Die Dauer der Erschütterungseinwirkung und der Bezugszeitraum (siehe Abschnitt 5.4) können für die Messung und für die Auswertung in Teilzeiten unterteilt werden, in denen etwa gleiche oder ähnlich verteilte Erschütterungseinwirkungen bestehen. Die Auswahl der Teilzeiten richtet sich nach dem Betriebsablauf. Die Meßdauer in der Teilzeit soll kennzeichnend für die Teilzeit sein. Die Meßzeiten (Datum und Uhrzeit) und die Meßdauer sind im Prüfbericht anzugeben.

#### 5.4. Bezugszeitraum

Im Immissionsschutz ist es bei der Beurteilung von Geräuschimmissionen üblich, die Immissionsrichtwerte in bezug auf einen Zeitraum von einem Tag und einer Nacht anzugeben [17, 18].

In Anlehnung daran wurden auch für Erschütterungen Immissionsrichtwerte auf einen Bezugszeitraum von 16 Stunden während des Tages und von 8 Stunden während der Nacht bezogen [1].

Die Nachtzeit beträgt 8 Stunden; sie beginnt im allgemeinen um 22 Uhr und endet um 6 Uhr. Im Fall abweichender örtlicher Regelungen sind diese zugrunde zu legen.

#### 5.5. Meßgrößen

Bei Messungen in Wohnungen und vergleichbaren Räumen ist die Frequenzbewertung in Anlehnung an die Bewertung der Einwirkung bei nicht vorgegebener Körperhaltung vorzunehmen, wie sie in der VDI-Richtlinie 2057 beschrieben ist [5]. Dort sind durch die Frequenzen 1, 2, 8 und 80 Hz drei Frequenzbereiche durch eine geradlinige Verbindung der Grenzfrequenzen in doppelt-logarithmischer Darstellung festgelegt worden. Bezüglich der gerätetechnischen Realisierung und auch der in Betracht stehenden Wirkung sollte für die Frequenzbewertung (KB-Bewertung) ein kontinuierlicher Übergang bevorzugt werden, wie er in der Vornorm DIN 4150, Teil 2, angegeben ist [1]. Auf diese Definition der Frequenzbewertung wird auch in der DIN 45669,

Teil 1, Bezug genommen [4]. Weiterhin wird vorgeschlagen, eine Zeitbewertung (exponentielle Mittelung) der Erschütterungssignale mit einer Zeitkonstante von  $\tau = 0,125$  s vorzunehmen, die auch in der DIN 45669, Teil 1, angegeben ist. Die frequenz- und zeitbewerteten Meßgrößen werden mit  $KB_{\tau}(t)$  bezeichnet. Zunächst können auch bei Verwendung der bisher üblichen Erschütterungsmeßeinrichtungen die größten frequenz- und zeitbewerteten Meßwerte auf folgende Weise ermittelt werden:

Aus der Registrierung der unbewerteten Erschütterungssignale sind die maximalen Schwinggeschwindigkeitsamplituden (Scheitelwerte) und die jeweils zugehörigen vorherrschenden Frequenzen  $f$  zu ermitteln. Den größten Wert des zeitbewerteten Erschütterungssignals  $v_{\text{eff}}$  bei einer Zeitkonstanten  $\tau = R \cdot C = 0,125$  s erhält man für übliche im Immissionsschutz vorkommende Fälle genähert nach dem Zusammenhang [20]:

$$v_{\text{eff,max}} = 0,5 \hat{v}_{\text{max}} \quad (3)$$

Diese Abschätzung für den größten Wert der zeitbewerteten Meßgröße wurde aufgrund von Vergleichen mit der bisherigen Auswertemethode vorgenommen [20]. Für 12 Fälle von gemessenen Erschütterungsimmissionen wurden die Werte der bisherigen Auswertung nach dem Zusammenhang

$$KB = 0,13 \hat{v}_{\text{max}} \frac{f}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{5,6}\right)^2}} \quad (4)$$

mit den Messungen verglichen, bei denen die zeitbewerteten Signale  $v_{\text{eff}}(t)$  zur Ermittlung des KB-Wertes herangezogen wurden nach dem Zusammenhang:

$$KB = 0,18 v_{\text{eff,max}} \frac{f}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{5,6}\right)^2}} \quad (5)$$

Auch wenn bei den genannten Untersuchungen nicht genau die Zeitkonstante von  $\tau = 125$  ms verwendet worden ist, sondern u.a. solche von  $\tau = 50$  ms und  $\tau = 150$  ms, wurde eine Abschätzung für den Mittelwert des Verhältnisses:

$$\overline{\left(\frac{1}{F_s}\right)} = \frac{v_{\text{eff, max}}}{\hat{v}_{\text{max}}} \quad (6)$$

für  $\tau = 125$  ms vorgenommen. Es wurde ein Mittelwert von

$$\overline{\left(\frac{1}{F_s}\right)} = 0,51 \quad (7)$$

festgestellt, mit einer Standardabweichung von  $s = \pm 0,11$ . Die Schwankungsbreite aller Meßwerte lag im Bereich

$$\left(\frac{1}{F_s}\right)_{\text{min}} \dots \left(\frac{1}{F_s}\right)_{\text{max}} = 0,37 \dots 0,69 \quad (8)$$

Auch wenn die für die vorgeschlagene Abschätzung herangezogenen 12 Fälle von Erschütterungsimmissionen nicht in bezug auf die Repräsentativität aller vorkommenden Fälle untersucht worden sind, wurden doch sehr unterschiedliche Fälle einbezogen, auf die sich die o.g. Abschätzung stützt [20].

Es ist nicht zu erwarten, daß weitere Ergebnisse von Erschütterungsmessungen im Immissionsschutz zu einer wesentlichen Änderung des angegebenen Schwankungsbereiches der Meßwerte führen.

Der größte Wert der zeitbewerteten Schwinggeschwindigkeitsamplituden kann nach Gl. (3) abgeschätzt werden. Nach Ermittlung der sogenannten vorherrschenden Frequenz aus der Schwinggeschwindigkeitsregistrierung können dann die bauwerksbezogenen Wahrnehmungsstärken nach Gl. (5) errechnet werden.

Schätzt man für diesen größten Wert die Einwirkungszeit innerhalb des Bezugszeitraumes ab, so kann auch der entsprechende Beurteilungswert  $R_j$  (siehe Abschnitt 6.1) ermittelt und als Näherung eine Beurteilung für diesen größten Wert vorgenommen werden.

Die bauwerksbezogenen Wahrnehmungsstärken (KB-Werte) sind mit KB als Parameter in Abb. 2 im Frequenz-Schwingungsgeschwindigkeits-Diagramm (Scheitelwerte) dargestellt.

Durch die Frequenzbewertung der Signale ist beabsichtigt, die Eigenschaften des Menschen bei auf ihn einwirkenden Gesamtkörperschwingungen zu berücksichtigen, wie sie in einigen Fällen bei sinusförmigen Schwingungen festgestellt worden sind. Weitergehende Untersuchungen bei stoßartigen oder stochastischen Vorgängen liegen derzeit noch nicht vor. Das gleiche gilt auch für eine Zeitbewertung. Die vorgeschlagene Frequenz- und Zeitbewertung ist daher als ein erster Vorschlag zur Gewinnung einer Meßgröße zur Beurteilung von Schwingungsmissionen anzusehen.

#### 5.6. Klassierung der Meßgrößen

Zur Kennzeichnung von schwankenden  $KB_T(t)$ -Werten werden die Werte klassiert. Der vorkommende Wertebereich der Erschütterungen wird nach den Angaben in der DIN 45667 in eine ausreichende Anzahl von Klassen eingeteilt [21].

Im Immissionsschutz sind nach bisherigen Erfahrungen Werte von  $KB < 0,05$  ohne Bedeutung, da der Bereich der beginnenden subjektiven Wahrnehmung oberhalb dieses Wertes liegt [22]. Dieser Wert wird daher als Bezugswert gewählt. Da für Erschütterungen in Gebäuden Werte von  $KB > 25$  bereits so stark wahrgenommen werden, daß sie auch bei sehr kurzzeitigen Einwirkungen in aller Regel nicht toleriert werden, ist es unnötig, oberhalb dieses Wertes eine Klasseneinteilung vorzunehmen. Lehnt man eine Beurteilung von Erschütterungen an die subjektive Wahrnehmung von Menschen an, so wurde nach bisherigen Untersuchungen erkannt, daß etwa bei Verdoppelung der Schwingungsstärke (physikalische Reizstärke) sich auch die "Empfindungsstärke" etwa verdoppelt. Das entspricht einer Steigerung um etwa 6 dB.

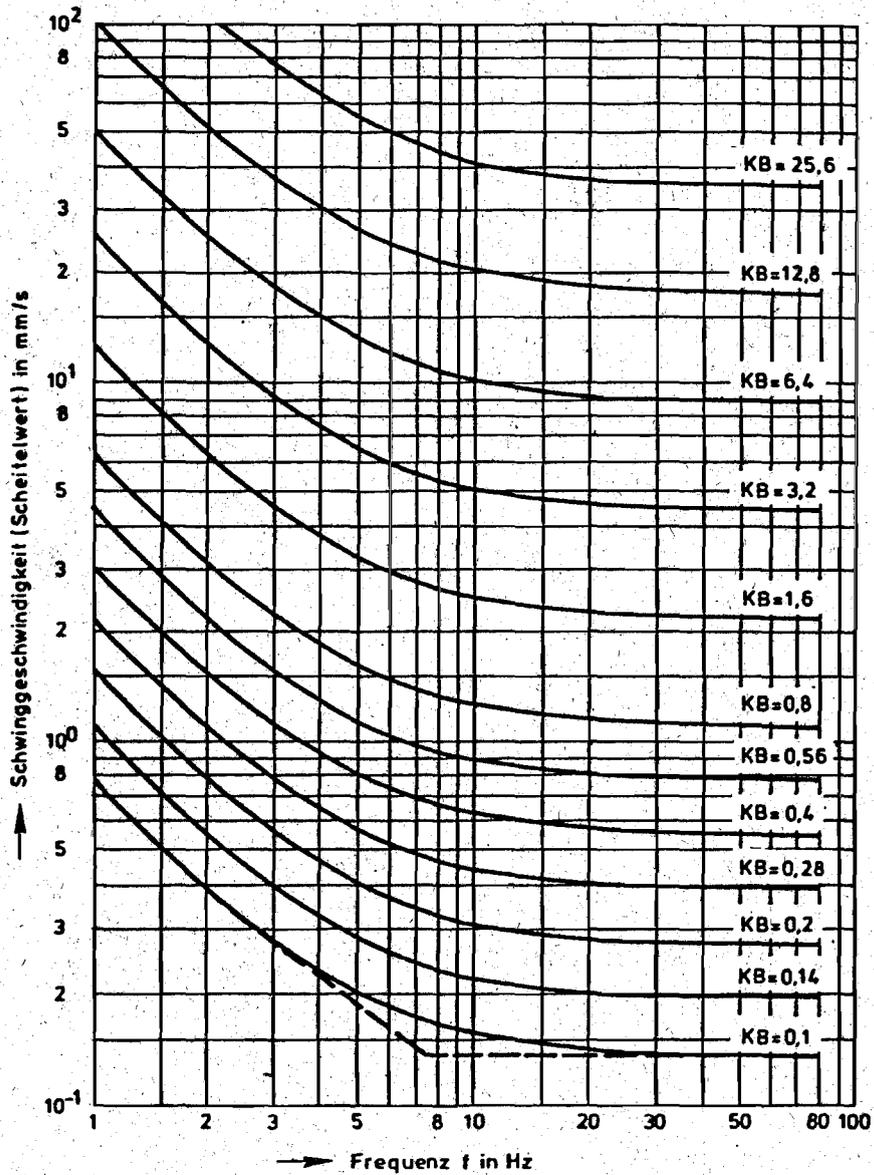


Abb. 2: Bewertete Schwingstärken KB im Frequenz - Schwinggeschwindigkeits - Diagramm

Darauf wurde von MEISTER hingewiesen, der Bezug auf Untersuchungen von STEVENS und KEIDEL nimmt [23]. Dies legt nahe, eine Klasseneinteilung mit logarithmischen Stufungen zu wählen. Daher wird vorgeschlagen, für alle vorkommenden Fälle im Immisionsschutz eine feste Klasseneinteilung vorzusehen. Eine fest vorgegebene Klasseneinteilung vermindert Unsicherheiten bei der Ermittlung der Beurteilungswerte. Es wird zunächst für ausreichend angesehen, eine Klassierung in Stufen von 3 dB vorzusehen, nach dem Zusammenhang:

$$\Delta L = 3 = 20 \lg \frac{KB_{\tau, (j+1)}}{KB_{\tau, j}} \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

mit  $j = 1 \dots 20$  beginnend bei

$$KB_{\tau, 1} = 0,05$$

Diese Klasseneinteilung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Einteilung der Klassen zur Klassierung der  $KB_{\tau, j}$  -Werte ( $j = 1 \dots 20$ )

Nr. der Klasse j	$KB_{\tau, j}$ -Werte
20	$\geq 25$
19	$17,7 < 25$
18	$12,6 < 17,7$
17	$8,9 < 12,6$
16	$6,3 < 8,9$
15	$4,5 < 6,3$
14	$3,2 < 4,5$
13	$2,2 < 3,2$
12	$1,6 < 2,2$
11	$1,1 < 1,6$
10	$0,79 < 1,1$
9	$0,56 < 0,79$
8	$0,40 < 0,56$
7	$0,28 < 0,40$
6	$0,20 < 0,28$
5	$0,14 < 0,20$
4	$0,10 < 0,14$
3	$0,07 < 0,10$
2	$0,05 < 0,07$
1	$< 0,05$

Als Klassierverfahren wird das in der DIN 45667 beschriebene Stichprobenverfahren angewendet. Es wird vorgeschlagen, die Momentanwerte der Meßgröße  $KB_T(t)$  mit gleichmäßigem zeitlichen Stichprobenabstand mit  $t_a \leq 250$  ms zu ermitteln und klassenweise zu zählen.

Dieser Stichprobenabstand ist selbst bei  $t_a = 250$  ms für die zeitbewerteten ( $\tau = 125$  ms) Erschütterungsmeßsignale, deren wesentliche Amplitudenanteile im Immissionsschutz überwiegend im Frequenzbereich von etwa 4 Hz bis 80 Hz liegen, hinreichend klein, so daß sich auch bei kleiner werdendem Stichprobenabstand die relative Verteilung der Zählergebnisse kaum noch ändert. Andererseits ist der Stichprobenabstand so groß, daß auch bei den bisherigen Erschütterungsregistrierungen auf Papierstreifen mit den bisher häufig gewählten Zeitauflösungen eine Auswertung mit vertretbarem Aufwand manuell möglich ist.

Bei selten auftretenden kurzzeitigen Erschütterungsvorgängen, zum Beispiel bei Sprengerschütterungen, sollte der Stichprobenabstand so klein gewählt werden, daß auch der größte Wert des Signals mindestens näherungsweise erfaßt wird.

#### 5.6.1. Ermittlung der relativen Klassenbesetzungszahlen $n_j$

Die Anzahl der Beobachtungswerte während der Meßzeit (siehe Abschnitt 5.3), die in die  $j$ -te Klasse fallen, wird mit  $n_j$  ( $j = 1 \dots 20$ ) bezeichnet. Die Anzahl  $n_j$  wird relative Besetzungszahl der Klasse  $j$  genannt.

#### 5.6.2. Ermittlung der absoluten Klassenbesetzungszahlen $N_j$ für den Beurteilungszeitraum

Aus den relativen Besetzungszahlen  $n_j$  in jeder Klasse nach Abschnitt 5.6.1 für die Meßdauer sind die Besetzungszahlen für die Teilzeiten zu ermitteln, in denen gleiche oder etwa ähnlich verteilte Erschütterungseinwirkungen bestehen. Weiterhin ist die absolute Besetzungszahl  $N_j$  für jede Klasse  $j$  für den Bezugszeitraum zu ermitteln.

### 5.6.3. Ermittlung der Einwirkungsteilzeiten $N_j t_a$ und der aufsummierten Einwirkungsteilzeiten

Aus den absoluten Besetzungszahlen  $N_j$  für jede Klasse  $j$  sind durch Multiplikation von  $N_j$  mit dem zeitlichen Stichprobenabstand  $t_a \leq 250$  ms die Einwirkungsteilzeiten  $N_j t_a$  zu bilden. Durch schrittweises Aufsummieren der Einwirkungsteilzeiten, beginnend mit der höchsten besetzten Klasse  $p$ , ergeben sich die aufsummierten Einwirkungsteilzeiten für die Klassen  $p$  bis  $k$ .

Es ergeben sich folgende aufsummierte Einwirkungsteilzeiten:

$$\begin{aligned}
 T_p &= N_p t_a \\
 T_p + T_{p-1} &= N_p t_a + N_{p-1} t_a \\
 T_p + T_{p-1} + T_{p-2} &= N_p t_a + N_{p-1} t_a + N_{p-2} t_a \\
 &\cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$T_p + T_{p-1} + \dots + T_k = N_p t_a + N_{p-1} t_a + \dots + N_k t_a$$

Darin bedeuten:

$p$ : höchste besetzte Klasse

$k$ : niedrigste besetzte Klasse

Die Häufigkeitsverteilung der aufsummierten Einwirkungsteilzeiten als Ordinate über den Klassen der Merkmalswerte  $KB_{\tau,j}$  (jeweils obere Klassengrenze) zeigt anschaulich, bei welchen Einwirkungsteilzeiten welche Merkmalswerte (Stärken der Erschütterungen) vorgelegen haben.

Die Einwirkungsteilzeit der höchsten mit Werten besetzten Klasse  $p$  ist die Einwirkungsdauer, bei der die Stärke der Erschütterungen größer als die untere Grenze der Klasse  $p$  ist.

Die aufsummierte Einwirkungsteilzeit für die nächst niedrigere mit Werten besetzte Klasse  $T_p + T_{p-1}$  gibt die Einwirkungsteilzeit an, während der die Stärke der Erschütterung größer als die untere Grenze der Klasse  $p-1$  ist, usw.

#### 5.6.4. Ermittlung der höchsten besetzten Klasse für die Nachtzeit

Für die Nachtzeit wird die obere Klassengrenze der höchsten mit Werten besetzten Klasse  $p$  unabhängig von der relativen oder absoluten Besetzungszahl in dieser Klasse zur Beurteilung herangezogen (siehe dazu Abschnitt 6.2.3). Daher ist es ausreichend, für die Nachtzeit die höchste besetzte Klasse  $p$  zu ermitteln.

### 6. Beurteilungsverfahren

#### 6.1. Ermittlung der Beurteilungswerte

Die Beurteilungswerte  $R_p$  bis  $R_k$  ( $p$ : höchste besetzte Klasse;  $k$ : niedrigste besetzte Klasse) sind für die aufsummierten Einwirkungsteilzeiten  $T_p$  bis  $T_k$  (siehe Abschnitt 5.6.3) nach folgendem Zusammenhang zu ermitteln:

$$\begin{aligned}
 R_p &= KB_{\tau,p} \frac{T_p + 1}{T_p + 59} \\
 R_{p-1} &= KB_{\tau,(p-1)} \frac{(T_p + T_{p-1}) + 1}{(T_p + T_{p-1}) + 59} \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 R_k &= KB_{\tau,k} \frac{(T_p + T_{p-1} + \dots + T_k) + 1}{(T_p + T_{p-1} + \dots + T_k) + 59}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Darin bedeuten:

$KB_{\tau,p}$  bis  $KB_{\tau,k}$  : jeweils der  $KB_{\tau}$ -Wert der oberen Klassengrenze der Klassen p bis k

Dieser Zusammenhang kann auch in folgender Form beschrieben werden:

$$R_{p-i} = KB_{\tau,(p-i)} \frac{1 + \sum_{i=0}^{p-k} T_{p-i}}{59 + \sum_{i=0}^{p-k} T_{p-i}} \quad (12)$$

mit  $i = 0, 1, 2, \dots (p-k)$

Durch Betrachtung der absoluten Einwirkungsteilzeiten  $N_j t_a$  in den mit Werten besetzten Klassen p bis k erhält man Informationen über die einwirkende Größe der Erschütterungen (charakterisiert durch die jeweilige Klasse) und über die Zeitdauer der Einwirkung (charakterisiert durch die Einwirkungsteilzeiten  $N_j t_a$ ). Im Rahmen von Minderungsmaßnahmen kann erkannt werden, welche Einwirkungsteilzeiten für welche Klassen zu begrenzen sind, um den Beurteilungswert nicht zu überschreiten.

Es liegt nahe anzunehmen, daß spürbare Erschütterungen in Wohnungen störender sind, wenn mehr als eine Klasse mit Werten besetzt ist und jede Klasse für sich das Grenzkriterium gerade erreicht aber nicht überschreitet im Vergleich zu der Einwirkung, bei der nur eine Klasse mit Werten belegt ist und das Grenzkriterium gerade erreicht. Dieser Einfluß wird im vorgeschlagenen Verfahren dadurch berücksichtigt, daß nicht die Einwirkungsteilzeiten jeder Klasse für sich zur Beurteilung herangezogen werden, sondern die schrittweise aufsummierten Einwirkungsteilzeiten, beginnend mit der höchsten besetzten Klasse p.

Insgesamt wirkt sich dieser Einfluß nur bei verhältnismäßig kurzen Einwirkungsteilzeiten merkbar aus, d.h. bei solchen, die im Verhältnis zur täglichen Bezugszeitdauer kleiner als etwa

15 Minuten sind. Nur für diesen Bereich wird nach bisherigen Kenntnissen eine merkbare Zeitabhängigkeit angesetzt.

Will man zur Beurteilung nur einen Wert heranziehen (Ein-Wert-Angabe), so könnte dazu der größte  $R_j$ -Wert verwendet werden. Bei Erschütterungsimmissionen ist in aller Regel der für die höchste mit Werten besetzten Klasse  $p$  ermittelte  $R_p$ -Wert bei dem vorgeschlagenen Verfahren der größte  $R_j$ -Wert der mit Werten besetzten Klassen. Generell wird dieses Vorgehen nicht empfohlen, weil die Betrachtung aller mit Werten besetzten Klassen mehr Informationen für die Beurteilung liefert und andererseits noch nicht so unübersichtlich ist, daß eine Anwendung erschwert werden würde.

## 6.2. Beurteilung

### 6.2.1. Ziel der Beurteilung

Im allgemeinen liegt keine Störung oder Beeinträchtigung von Menschen in Wohnräumen bzw. vergleichbaren Räumen vor, wenn die Beurteilungswerte  $R_p$  bis  $R_k$  am Bezugsmeßort die in Tabelle 2 genannten Immissionsrichtwerte nicht überschreiten.

Das vorgeschlagene Beurteilungsverfahren berücksichtigt weitgehend auch die Übertragungsbedingungen vom Bezugsmeßort zu anderen möglichen Aufenthaltsorten von Menschen in dem betroffenen Raum und in gewissem Ausmaß auch Sekundäreffekte, soweit es nach bisher vorliegenden Erfahrungen möglich ist. Dies wurde dadurch berücksichtigt, daß für die vorgeschlagenen Beurteilungswerte nicht allein die direkt am Bezugsmeßort subjektiv fühlbaren Erschütterungen als maßgebend angesehen wurden, sondern auch die durch die Erschütterungsimmissionen bewirkten sicht- und hörbaren Auswirkungen im Raum. Sekundäreffekte bezeichnen hier die durch Erschütterungen verursachten gleichzeitig auftretenden Einwirkungen, wie Lärm, sichtbare Bewegungen von Gegenständen im Raum, hörbares Klappern und Vibrieren von Gegenständen, von Fenstern und Türen usw. Durch die vorgeschlagenen Beurteilungswerte können nicht immer mögliche ungünstige Übertragungsbedingungen abgedeckt werden, da diese von spe-

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte zur Vermeidung von erheblichen Störungen und Beeinträchtigungen von Menschen in Wohnungen bzw. vergleichbaren Räumen

1 Nr.	2 Baugebiet <sup>1)</sup>	3		4
		Tag	Nacht	
		Immissionsrichtwerte als R-Werte	Immissionsrichtwerte als K <sub>B</sub> -Werte	
1	Reines Wohngebiet (WR)	0,15  (0,10) <sup>2)</sup>	0,10  (0,07) <sup>2)</sup>	
	Allgemeines Wohngebiet (WA)			
	Wochenendhausgebiet (SW)			
	Kleinsiedlungsgebiet (WS)			
2	Dorfgebiet (MD)	0,20  (0,15) <sup>2)</sup>	0,15	
	Mischgebiet (MI)			
	Kerngebiet (MK)			
3	Gewerbegebiet (GE) (gilt auch für Büroräume)	0,30	0,20	
4	Industriegebiet (GI)	0,40	0,30	
	Sondergebiet nach Nutzungsart und Wohnungsanteil (SO)	0,10...0,40	0,07...0,30	

1) die Baugebiete entsprechen der BauNVO vom 15. 9. 1977

2) das Einhalten der in Klammern angegebenen Werte ist bei horizontalen Erschütterungen von Gebäuden bei Frequenzen unterhalb von etwa 5 Hz anzustreben.

ziellen Schwingungseigenschaften des Raumes, von Gegenständen im Raum usw. abhängen.

### 6.2.2. Beurteilung während der Tageszeit

Der für die Beurteilung maßgebende Immissionsrichtwert ist entsprechend dem Baugebiet und der Tageszeit des Auftretens der Erschütterungen nach Tabelle 2 festzulegen.

Zur Beurteilung der Einwirkung der Erschütterungen während der Tageszeit werden die Beurteilungswerte  $R_p$  bis  $R_k$  (siehe Abschnitt 6.1) herangezogen. Das Prüfverfahren ist wie folgt durchzuführen:

$$R_p \approx R$$

$$R_{p-1} \approx R$$

•

•

•

$$R_k < R$$

Der anzusetzende Beurteilungswert  $R$  ist von allen Werten  $R_p$  bis  $R_k$  einzuhalten.

Zunächst wird bei der höchsten mit Werten besetzten Klasse  $p$  geprüft, ob gilt:

$$R_p \leq R.$$

Dann wird bei der nächst kleineren mit Werten besetzten Klasse zu der Einwirkungszeit dieser Klasse diejenige der höchsten Klasse addiert, es ergibt sich:

$$T_p + T_{p-i}$$

mit  $1 < i < (p-k)$

und es wird geprüft, ob gilt:

$$R_{p-i} \leq R.$$

Für die dritthöchste mit Werten besetzte Klasse werden dann zu ihrer Einwirkungsteilzeit die Einwirkungsteilzeiten der höchsten und der zweithöchsten mit Werten besetzten Klasse addiert, usw.

Die Prüfung auf Einhaltung des Immissionsrichtwertes als Beurteilungswert  $R$  kann übersichtlich mit Hilfe des in Tabelle 3 angegebenen Schemas durchgeführt werden.

Für die Tageszeit werden die Immissionsrichtwerte deswegen als Beurteilungswerte ( $R$ -Werte) angegeben, weil eine - wenn auch geringe - Abhängigkeit der bewerteten Schwingungsstärken von der Einwirkungszeit berücksichtigt wird.

Die Beurteilungswerte ( $R$ -Werte) sind auch in einem Diagramm in Abb. 3 dargestellt. In diesem Diagramm sind als Ordinate die aufsummierten Einwirkungsteilzeiten  $T_p$  bis  $T_k$  und als Abszisse die Merkmalswerte ( $KB_{\tau, j}$ -Werte) aufgetragen; außerdem ist die Klasseneinteilung  $j = 1 \dots 20$  der Merkmalsskala zugeordnet.

Bei sehr selten auftretenden Erschütterungen, wie sie z.B. durch bis zu 3 Sprengungen je Woche verursacht werden, können u.U. in den Baugebieten der Tabelle 2 die Immissionsrichtwerte ( $R$ -Werte) bis zum Faktor 2 erhöht werden, wenn die Sprengungen tagsüber und außerhalb der Ruhezeiten (6.00 Uhr bis 7.00 Uhr, 13.00 Uhr bis 15.00 Uhr und 19.00 Uhr bis 22.00 Uhr) und mit Vorwarnung vorgenommen werden, ohne daß die Störungen und Beeinträchtigungen der Betroffenen zu stark negativer Bewertung der Einwirkung führen.

Tagsüber einwirkende, auf wenige Tage beschränkte Erschütterungen, z.B. Rammerschütterungen und Bausprengungen, werden von den betroffenen Menschen in Wohnungen meist anders bewertet als Erschütterungen, die von stationären Industrie- und Gewerbe-

Tabelle 3: Prüfung auf Einhaltung des Immissionswertes

Nr. der Klasse j	KB <sub>T,j</sub> -Werte	relative Besetz.-Zahl n <sub>j</sub>	absolute Besetz.-Zahl N <sub>j</sub>	Einwirkteilzeiten T <sub>j</sub> = N <sub>j</sub> · t <sub>a</sub>	aufsummierte Einwirkteilzeiten T <sub>p</sub> bis T <sub>k</sub>	R <sub>j</sub> -Werte	R <sub>j</sub> > R?
20	≥ 25						
19	17,7 < 25						
18	12,6 < 17,7						
17	8,9 < 12,6						
16	6,3 < 8,9						
15	4,5 < 6,3						
14	3,2 < 4,5						
13	2,2 < 3,2						
12	1,6 < 2,2						
11	1,1 < 1,6						
10	0,79 < 1,1						
9	0,56 < 0,79						
8	0,40 < 0,56						
7	0,28 < 0,40						
6	0,20 < 0,28						
5	0,14 < 0,20						
4	0,10 < 0,14						
3	0,07 < 0,10						
2	0,05 < 0,07						
1	< 0,05						

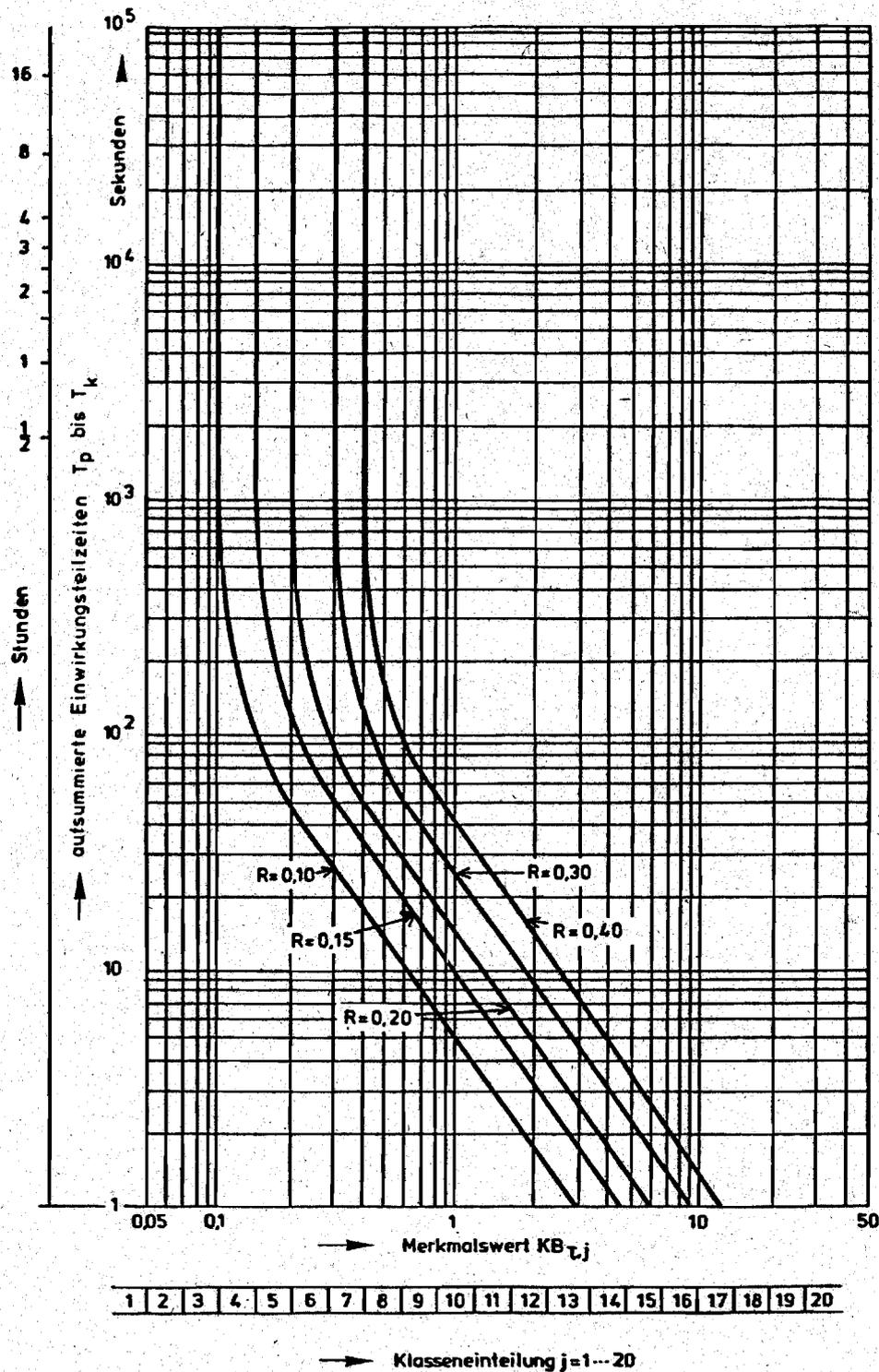


Abb. 3: Immissionsrichtwerte zur Vermeidung von erheblichen Störungen und Beeinträchtigungen von Menschen in Wohnungen bzw. vergleichbaren Räumen als R-Werte im Einwirkungszeit- $KB_{\tau,j}$ -Diagramm

betrieben oder von Verkehrsanlagen verursacht werden. Oft darf man die Immissionsrichtwerte nach Tabelle 2 bis zum 3fachen überschreiten, ohne daß die Beeinträchtigungen von Menschen als erheblich störend eingestuft werden.

### 6.2.3. Beurteilung während der Nachtzeit

Der für die Beurteilung maßgebende Immissionsrichtwert ( $KB_t$ -Wert) ist entsprechend den Angaben in Tabelle 2 festzulegen. Hierbei ist auch vorher zu entscheiden, welchem Baugebiet (Nutzungsgebiet) das Gebiet zuzuordnen ist, in dem das betroffene Wohnhaus liegt.

Auch für die Nachtzeit lassen die mit Werten besetzten Klassen und die ermittelten aufsummierten Einwirkungsteilzeiten (siehe Abschnitt 5.6.3) die Größe und die Dauer der Einwirkung erkennen.

Maßgebend für die Beurteilung soll die obere Klassengrenze der höchsten mit Werten besetzte Klasse  $p$  sein, unabhängig von der absoluten Besetzungszahl  $N_p$  dieser Klasse. Dieser Wert wird mit  $KB_{t,p}$  bezeichnet; es ist zu prüfen, ob gilt:

$$KB_{t,p} \leq KB_t \quad (13).$$

Für die Nachtzeit werden die Immissionsrichtwerte als bewertete Schwingstärken ( $KB_t$ -Werte) angegeben, weil keine Abhängigkeit von der Einwirkungszeit berücksichtigt wird.

## 7. Bemerkungen zum vorgeschlagenen Auswerteverfahren

### 7.1. Beziehung des vorgeschlagenen Auswerteverfahrens zu dem Auswerteverfahren nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2

Die bei dem vorgeschlagenen Auswerteverfahren verwendeten Meßgrößen, nämlich die frequenz- und zeitbewerteten Erschütterungssignale, lassen näherungsweise Rückschlüsse auf die bisher bei der Auswertung verwendeten Scheitelwerte nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2, zu; siehe Abschnitt 5.5. Die aus den Meßgrößen abgeleiteten Beurteilungswerte ( $R_j$ -Werte und  $KB_{\tau,p}$ -Werte) sind jedoch in der Weise in Beziehung zu Immissionsrichtwerten gesetzt (siehe Tabelle 2, Abschnitt 6.2.1), daß praktisch das bisherige Beurteilungsniveau unverändert erhalten bleibt. Das gilt insbesondere für die in der Vornorm in Tabelle 1, Spalte 3, für "dauernd und mit Unterbrechungen wiederholt auftretende Erschütterungen" und für die in Spalte 4 "selten auftretende Erschütterungen" angegebenen Anhaltswerte. Außerdem wird bei dem vorgeschlagenen Auswerteverfahren tagsüber eine zeitliche Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer der Erschütterungen berücksichtigt, die den Übergang von den "selten auftretenden Erschütterungen" zu den "dauernd und mit Unterbrechungen wiederholt auftretenden Erschütterungen" herstellt.

### 7.2. Vergleich der Beurteilungswerte (R-Werte) mit den Anhaltswerten nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2

Die abweichenden Zahlenwerte der Immissionsrichtwerte nach Tabelle 2 von den in der Tabelle 1 in der Vornorm DIN 4150, Teil 2, angegebenen Anhaltswerten sind wie folgt begründet:

Nach der genannten Vornorm wurden die bauwerksbezogenen Wahrnehmungsstärken nach folgendem Zusammenhang ermittelt:

$$KB = \hat{v} \frac{0,13 f}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{5,6}\right)^2}} \quad (14)$$

Darin bedeuten:

$\hat{v}$  : Scheitelwert der Schwinggeschwindigkeitsamplituden

$f$  : Frequenz

$f_0$  : Bezugsfrequenz 5,6 Hz

Zieht man als Meßgrößen zeitbewertete Signale heran (RC-Mittelung mit  $\tau = 125$  ms), so haben bisherige Untersuchungen (siehe Abschnitt 5.5) für den Mittelwert des Verhältnisses  $v_{\text{eff, max}} (\tau = 125 \text{ ms}) / \hat{v}_{\text{max}}$  ergeben:

$$\left( \frac{1}{F_s} \right) = 0,51 \quad (15)$$

Ermittelt man nunmehr die bauwerksbezogenen Wahrnehmungsstärken entsprechend den Angaben in der Vornorm DIN 4150, Teil 2, und der VDI-Richtlinie 2057 nach dem Zusammenhang

$$\overline{KB^*} = v_{\text{eff, max}} \frac{0,18 f}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{5,6}\right)^2}} \quad (16)$$

so stehen die nach Gl. (14) und G. (16) ermittelten Wahrnehmungsstärken in folgendem Verhältnis zueinander:

$$\frac{\overline{KB^*}}{KB} = \frac{v_{\text{eff, max}} 0,18}{\hat{v}_{\text{max}} 0,13} \quad (17)$$

Unter Einbeziehung von Gleichung (15) erhält man:

$$\frac{\text{---}}{\text{KB}^*} = \text{KB} \frac{0,51 \hat{v}_{\max} \cdot 0,18}{\hat{v}_{\max} \cdot 0,13} \quad (18)$$

$$\frac{\text{---}}{\text{KB}^*} = 0,706 \text{ KB} \quad (19).$$

Daraus ist zu folgern, daß die mit Hilfe der zeitbewerteten Erschütterungssignale ermittelten bauwerksbezogenen Wahrnehmungstärken im Mittel um etwa 30 % niedriger sind als die bisher nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2, ermittelten KB-Werte. Über die Schwankungen der einzelnen Werte ist in Abschnitt 5.5 aufgrund der bisher vorgeschlagenen Meßergebnisse eine Angabe gemacht. Wegen der Signalveränderung durch die vorgenommene Zeitbewertung der Erschütterungssignale mit einer Zeitkonstanten von  $\tau = 125$  ms müssen somit die bisherigen Zahlenwerte der Anhaltswerte zur Beurteilung um etwa 30 % vermindert werden.

Praktisch dieselbe Korrektur ergibt sich auch für das in Abschnitt 5.5 für eine Übergangszeit vorgeschlagene Näherungsverfahren, bei dem als Näherungswert empfohlen wurde, den Wert

$$v_{\text{eff, max}} = 0,5 \hat{v}_{\max}$$

zu verwenden.

### 7.3. Zur Frage der Information über den Frequenzgehalt der Erschütterungssignale

Bei Verwendung von frequenz(KB)-bewerteten und zeitbewerteten ( $\tau = 125$  ms) Erschütterungsmeßsignalen ist es nicht mehr erforderlich, die sogenannte "vorherrschende Frequenz" aus Erschütterungsregistrierungen zu ermitteln, wie es bisher nach der Vornorm DIN 4150, Teil 2, erforderlich war. Nachteilig ist dabei jedoch, daß damit Informationen über den Frequenzgehalt und schnelle zeitliche Änderungen (z.B. Informationen über Schwebungen usw.) fehlen, die beim Einleiten von Minderungsmaßnahmen (z.B. Auslegung einer Schwingungsisolierung der störenden Anlage) unbedingt erforderlich sind.

## 8. Beispiele

Die Durchführung des Verfahrens zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen wird an den folgenden Beispielen erläutert. Bei den Messungen wurden Meßeinrichtungen verwendet, die die Anforderungen nach der DIN 45669, Teil 1, erfüllen. Der Arbeitsfrequenzbereich erstreckte sich von  $f_{\min} = 4$  Hz bis  $f_{\max} = 80$  Hz; siehe Abschnitt 5.1. Die Hinweise zum Meßort, zur Meßdauer usw. werden nur stichwortartig angegeben, soweit sie zum Verständnis des Verfahrens notwendig sind.

### 8.1. Erschütterungsimmissionen verursacht durch eine Exzenterpresse

#### 8.1.1. Meßort und Meßrichtung

Die Erschütterungen wurden in der Mitte auf dem Fußboden in einem Wohnraum gemessen. Das Wohnhaus lag in der Nachbarschaft des Standortes der Presse. Die Erschütterungen wurden in vertikaler Richtung gemessen. Diese Meßrichtung war maßgebend, da die in irgendeiner horizontalen Richtung gemessenen Erschütterungen kleiner als die in vertikaler Richtung gemessenen gewesen sind; siehe Abschnitt 5.2.

Das Wohnhaus lag in einem Baugebiet, welches der Nutzung nach einem MI-Gebiet nach der Baunutzungsverordnung zuzuordnen war. Nach dem Vorschlag für die Immissionsrichtwerte gemäß Tabelle 2 ist für tagsüber einwirkende Erschütterungen ein Immissionsrichtwert von  $R = 0,2$  anzusetzen.

#### 8.1.2. Meßdauer und Dauer der Erschütterungseinwirkung

In Abbildung 4 ist der Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Verlauf  $v(t)$  und der Zeitverlauf des frequenz- und zeitbewerteten Schwinggeschwindigkeitssignals  $KB_T(t)$ , der durch einen Arbeits-

vorgang der Presse angeregt ist, dargestellt. Es wird bei diesem Beispiel angenommen, daß der in Abb. 4 dargestellte Verlauf der Erschütterungen für die Erschütterungseinwirkung des Betriebes der Presse kennzeichnend ist; siehe Abschnitt 5.3.

Die Anzahl der Arbeitsvorgänge der Presse betrug 15 je Minute. Die Presse war 7 Stunden je Arbeitstag in Betrieb. Daraus folgt, daß an jedem Arbeitstag  $7 \cdot 60 \cdot 15 = 6300$  Arbeitsvorgänge ausgeführt werden.

### 8.1.3. Klassierung der Meßgrößen und Ermittlung der Beurteilungswerte

Als Stichprobenabstand wurde  $t_a = 250$  ms gewählt. Wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, ergeben sich für den durch einen Betriebsvorgang der Presse verursachten Erschütterungsverlauf folgende Momentanwerte für den Zeitverlauf  $KB_{\tau}(t)$ :

$$KB_{\tau}(t_1) = 1,16$$

$$KB_{\tau}(t_2) = 0,95$$

$$KB_{\tau}(t_3) = 0,52$$

$$KB_{\tau}(t_4) = 0,26$$

Die Zuordnung dieser Werte zu der vorgeschlagenen Klasseneinteilung (siehe Tabelle 1) und die Ermittlung der relativen Besetzungszahlen  $n_j$ , der absoluten Besetzungszahlen  $N_j$ , der absoluten Einwirkungsteilzeiten  $N_j t_a$ , der aufsummierten Einwirkungsteilzeiten für die besetzten Klassen  $T_p$  bis  $T_k$  und der  $R_j$ -Werte ist in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Die höchste mit Werten besetzte Klasse ist  $p = 11$ ; die niedrigste mit Werten besetzte Klasse ist in diesem Beispiel  $k = 6$ . Es ergeben sich folgende  $R_j$ -Werte für die besetzten Klassen (siehe Abschnitt 5.2):

$$R_{11} = 1,6 \frac{1575 + 1}{1575 + 59} = 1,54$$

$$R_{10} = 1,1 \frac{3150 + 1}{3150 + 59} = 1,08$$

$$R_8 = 0,56 \frac{4725 + 1}{4725 + 59} = 0,56$$

$$R_6 = 0,28 \frac{6300 + 1}{6300 + 59} = 0,28$$

Die Überprüfung auf Einhaltung des Immissionsrichtwertes  $R = 0,2$  ist in Abb. 5 in einem Diagramm dargestellt.

8.1.4. Abschätzung des größten zeitbewerteten Erschütterungssignals  $v_{\text{eff}}$  nach Abschnitt 5.5 (näherungsweise Beurteilung für eine Übergangszeit)

Aus Abb. 4 ist erkennbar, daß die größte Schwinggeschwindigkeitsamplitude des unbewerteten Erschütterungssignals  $\hat{v}_{\text{max}} = 2,0 \text{ mm/s}$  beträgt. Nach Gl. (3) erhält man genähert:

$$v_{\text{eff, max}} = 0,5 \hat{v}_{\text{max}} = 1,0 \text{ mm/s.}$$

Die vorherrschende Frequenz der Erschütterungsimmissionen auf der Geschosdecke liegt bei etwa  $f = 19 \text{ Hz}$ , siehe Abb. 4. Mit Hilfe von Gl. (5) erhält man für die größte auftretende bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke einen Wert von

$$KB_{\text{max}} = 0,18 \cdot v_{\text{eff, max}} \frac{f}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{5,6}\right)^2}}$$

$$KB_{\text{max}} = 0,97.$$

Aus Abb. 4 kann geschätzt werden, daß die Einwirkungszeit für den  $KB_{\text{max}}$ -Wert etwa 0,3 Sekunden beträgt. Für insgesamt 6300 Arbeitsvorgänge je Tag ergibt sich eine Einwirkungszeit von

$$T_{\text{max}} \sim 0,3 \cdot 6300 \sim 1890 \text{ s.}$$

Mit Hilfe von Gl. (11) ergibt sich für den zuzuordnenden  $R_{\max}$ -Wert:

$$R_{\max} = KB_{\max} \frac{T_{\max} + 1}{T_{\max} + 59}$$

$$R_{\max} = 0,97 \frac{1890 + 1}{1890 + 59}$$

$$R_{\max} = 0,94$$

Der Vergleich mit dem Immissionsrichtwert  $R = 0,2$  läßt erkennen, daß  $R_{\max} > R = 0,2$  ist.

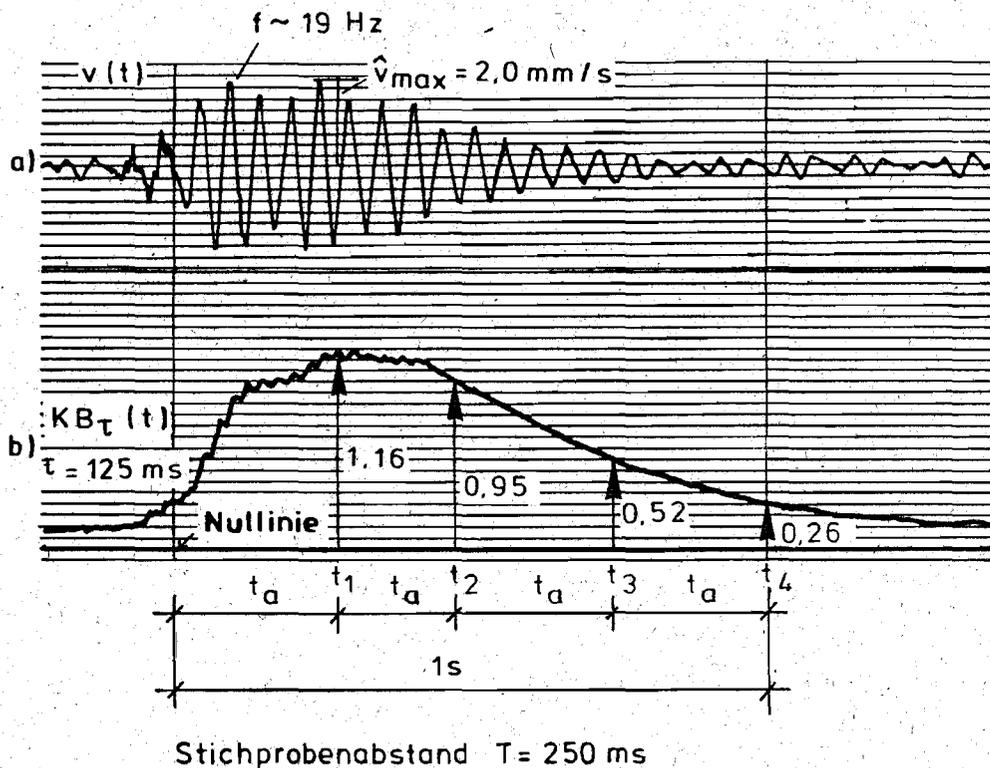


Abb. 4: Beispiel 8.1

Erschütterungsimmissionen verursacht durch  
eine Exzenterpresse

- a) Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Verlauf  $v(t)$
- b) Zeitverlauf des frequenz- und zeitbewerteten  
Schwinggeschwindigkeitssignals  $KB_{\tau}(t)$

Tabelle 4: Prüfung auf Einhaltung des Immissionswertes; Beispiel 8.1

Nr. der Klasse j	KB <sub>t,j</sub> -Werte	relative Besetz.-Zahl n <sub>j</sub>	absolute Besetz.-Zahl N <sub>j</sub>	Einwirkteilzeiten T <sub>j</sub> = N <sub>j</sub> · t <sub>a</sub>	aufsummierte Einwirkteilzeiten T <sub>p</sub> bis T <sub>k</sub>	R <sub>j</sub> -Werte	R <sub>j</sub> > R?
20	≥ 25						
19	17,7 < 25						
18	12,6 < 17,7						
17	8,9 < 12,6						
16	6,3 < 8,9						
15	4,5 < 6,3						
14	3,2 < 4,5						
13	2,2 < 3,2						
12	1,6 < 2,2						
11	1,1 < 1,6	1	6 300	1 575	1 575	1,54	Ja
10	0,79 < 1,1	1	6 300	1 575	3 150	1,08	Ja
9	0,56 < 0,79						
8	0,40 < 0,56	1	6 300	1 575	4 725	0,56	Ja
7	0,28 < 0,40						
6	0,20 < 0,28	1	6 300	1 575	6 300	0,28	Ja
5	0,14 < 0,20						
4	0,10 < 0,14						
3	0,07 < 0,10						
2	0,05 < 0,07						
1	< 0,05						

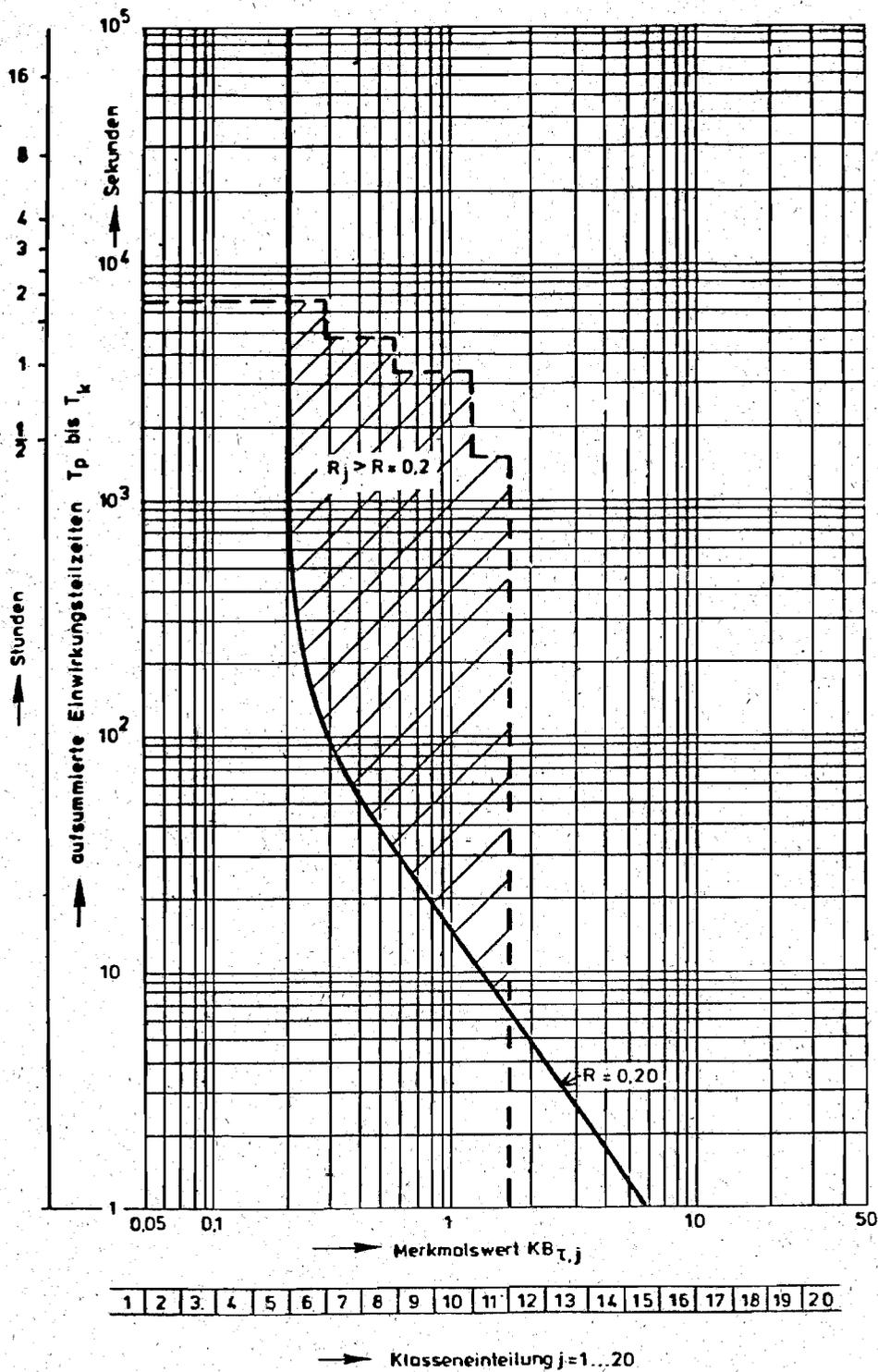


Abb. 5: Beispiel 8.1

Darstellung der  $R_j$ -Werte im Einwirkungszeit-  
 $KB_{\tau}$ -Diagramm

## 8.2. Erschütterungsimmissionen verursacht durch eine Weberei

### 8.2.1. Meßort und Meßrichtung

Die Erschütterungen wurden in einem Wohnzimmer in Raummitte auf dem Fußboden in vertikaler Richtung gemessen. Das Wohnhaus lag in einem Baugebiet, welches der Nutzung nach einem allgemeinen Wohngebiet (WA-Gebiet nach der Baunutzungsverordnung) entsprach. Nach dem Vorschlag für die Immissionsrichtwerte gemäß Tabelle 2 sind folgende Immissionsrichtwerte anzusetzen:

tags:  $R = 0,15$   
nachts:  $KB_{\tau} = 0,10$

### 8.2.2. Meßdauer und Dauer der Erschütterungseinwirkung

In Abb. 6 sind der Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Verlauf  $v(t)$  und der Zeitverlauf des frequenz- und zeitbewerteten Schwinggeschwindigkeitssignals  $KB_{\tau}(t)$ , die durch den Betrieb der Weberei verursacht wurden, für eine Meßzeit von  $t_M = 20$  Sekunden dargestellt. Die Integrationszeitkonstante  $\tau = RC$  betrug in diesem Fall

$\tau = 150$  ms, da bei der verwendeten Meßeinrichtung nur diese Zeitkonstante zur Verfügung stand. Sie sollte an sich  $\tau = 125$  ms betragen. Die dadurch bedingte Änderung im Zeitverlauf für  $KB_{\tau}(t)$  ist jedoch gering. In bezug auf die Meßzeit wird hier angenommen, daß bereits eine Meßzeit von 20 Sekunden kennzeichnend für die durch die Weberei verursachten Erschütterungsimmissionen ist; siehe Abschnitt 5.3.

Die Weberei arbeitete in drei Schichten, so daß folgende Einwirkungszeiten in Betracht zu ziehen sind:

tags: 16 Stunden (57600 Sekunden)  
nachts: 8 Stunden (28800 Sekunden)

Bei einem Stichprobenabstand von  $t_a = 250$  ms sind die relativen Besetzungszahlen  $n_j$  (siehe Abschnitt 5.6.1) mit folgendem Faktor  $F$  zu multiplizieren, um die absoluten Besetzungszahlen  $N_j$  (siehe Abschnitt 5.6.2) zu erhalten:  $F = \frac{57600}{20} = 2880$

Für die Nachtzeit ist es nicht erforderlich, die absoluten Besetzungszahlen zu ermitteln, da nur die höchste mit Werten besetzte Klasse zur Beurteilung herangezogen wird; siehe Abschnitt 6.2.3.

### 8.2.3. Klassierung der Meßgrößen und Ermittlung der Beurteilungswerte

Mit Hilfe des Zeitverlaufs  $KB_{\tau}(t)$  nach Abb. 6 wurden für die Meßzeit von 20 Sekunden insgesamt 80 Stichprobenwerte ermittelt. Es ergeben sich folgende relative Besetzungszahlen  $n_j$ :

$$n_7 = 5$$

$$n_6 = 30$$

$$n_5 = 28$$

$$n_4 = 17$$

Diese Werte sind in Tabelle 5 eingetragen. Die ermittelten weiteren Werte  $N_j$ ,  $N_j t_a$ , die aufsummierten Einwirkungsteilzeiten  $T_p$  bis  $T_k$  (mit  $p = 7$  und  $k = 4$ ) und die  $R_j$ -Werte sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Folgende  $R_j$ -Werte wurden ermittelt; siehe Abschnitt 6.1:

$$R_7 = 0,40 \frac{3600 + 1}{3600 + 59} = 0,39$$

$$R_6 = 0,28 \frac{25200 + 1}{25200 + 59} = 0,28$$

$$R_5 = 0,20 \frac{45360 + 1}{45360 + 59} = 0,20$$

$$R_4 = 0,14 \frac{57600 + 1}{57600 + 59} = 0,14$$

Die Überprüfung, ob die  $R_j$ -Werte ( $j = 7$  bis 4) kleiner als der Immissionsrichtwert  $R = 0,15$  für die Tageszeit sind, ist in einem Diagramm in Abb. 7 dargestellt.

Für die Nachtzeit ist die obere Klassengrenze der höchsten mit Werten besetzten Klasse  $p = 7$  unabhängig von der absoluten Besetzungszahl  $N$  dieser Klasse zur Beurteilung maßgebend; siehe Abschnitt 6.2.3. Das ist in diesem Fall der Wert

$$KB_{\tau,7} = 0,39.$$

Nachts sollte der in diesem Fall anzusetzende Wert von  $KB = 0,10$  nicht überschritten werden. Der Wert  $KB_{\tau,7} = 0,39$  überschreitet in diesem Fall jedoch den genannten Immissionsrichtwert.

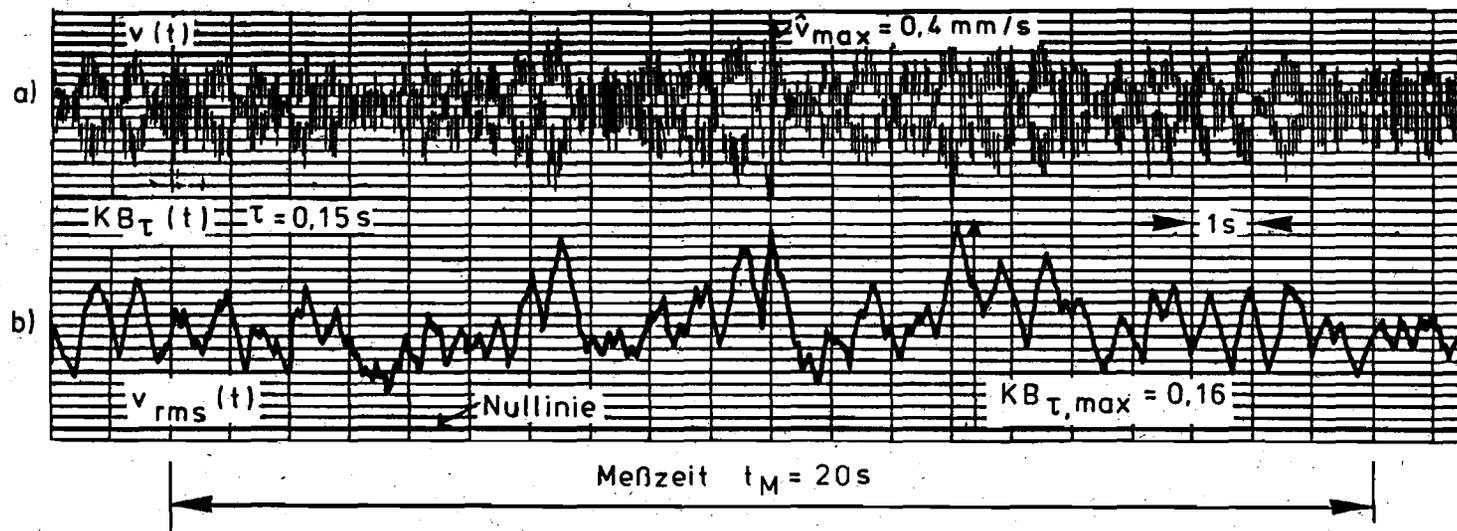


Abb. 6: Beispiel 8.2

Erschütterungsimmissionen verursacht durch eine Weberei

a) Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Verlauf  $v(t)$

b) Zeitverlauf des frequenz- und zeitbewerteten  
Schwinggeschwindigkeitssignals  $KB_{\tau}(t)$

Tabelle 5: Prüfung auf Einhaltung des Immissionswertes; Beispiel 8.2

Nr. der Klasse j	$KB_{t,j}$ -Werte	relative Besetz.-Zahl $n_j$	absolute Besetz.-Zahl $N_j$	Einwirkteilzeiten $T_j = N_j t_a$	aufsummierte Einwirkungs- teilzeiten $T_p$ bis $T_k$	$R_j$ -Werte	$R_j > R?$
20	$\geq 25$						
19	$17,7 < 25$						
18	$12,6 < 17,7$						
17	$8,9 < 12,6$						
16	$6,3 < 8,9$						
15	$4,5 < 6,3$						
14	$3,2 < 4,5$						
13	$2,2 < 3,2$						
12	$1,6 < 2,2$						
11	$1,1 < 1,6$						
10	$0,79 < 1,1$						
9	$0,56 < 0,79$						
8	$0,40 < 0,56$						
7	$0,28 < 0,40$	5	14 400	3 600	3 600	0,39	ja
6	$0,20 < 0,28$	30	86 400	21 600	25 200	0,28	ja
5	$0,14 < 0,20$	28	80 640	20 160	45 360	0,20	ja
4	$0,10 < 0,14$	17	48 960	12 240	57 600	0,14	nein
3	$0,07 < 0,10$						
2	$0,05 < 0,07$						
1	$< 0,05$						

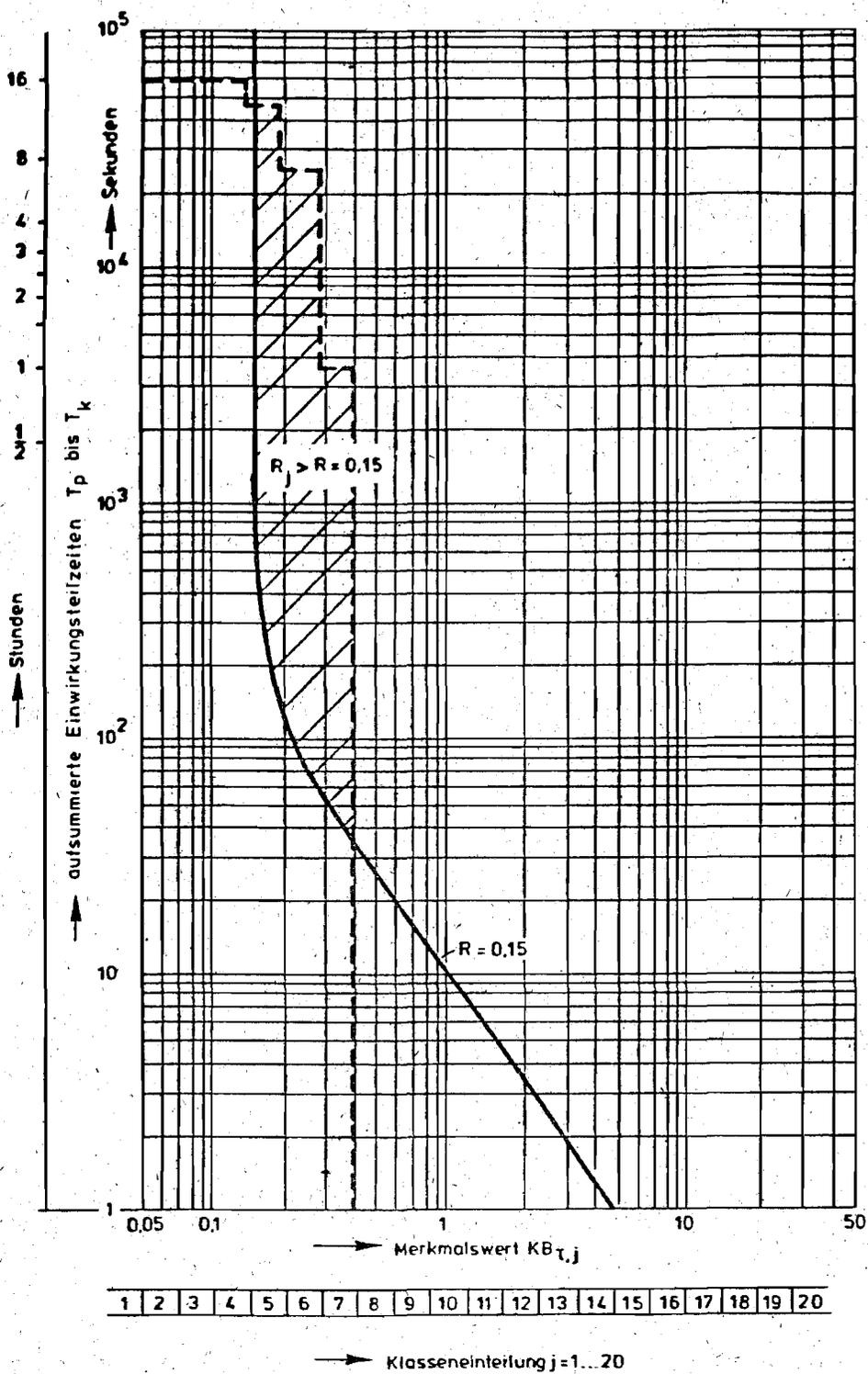


Abb. 7: Beispiel 8.2  
 Darstellung der  $R_j$ -Werte im Einwirkungszeit-  
 $KB_{\tau}$ -Diagramm

### 8.3. Erschütterungsimmissionen verursacht durch Gewinnungssprengungen in einem Steinbruch

#### 8.3.1. Meßort und Meßrichtung

Die Erschütterungen wurden in der Mitte einer Geschoßdecke in einem 1 1/2-geschossigen Wohnhaus im Erdgeschoß in vertikaler Richtung gemessen. Der Abstand zur Sprengstelle betrug etwa 100 m. Es handelt sich um ein Haus auf einem Bauernhof im Außengebiet. Nach dem Vorschlag für die Immissionsrichtwerte nach Tabelle 2 wird hier für tagsüber einwirkende Erschütterungen als Immissionsrichtwert derjenige für Mischgebiet (MI-Gebiete nach der Benutzungsverordnung) von  $R = 0,2$  angesetzt, da nur während der Tageszeit gesprengt wird. In diesem Steinbruch wurden nur an einem Tag in jeder Woche drei Großbohrlochsprengungen durchgeführt. Nach dem Vorschlag zur Beurteilung gemäß Abschnitt 6.2.2 kann daher der Immissionsrichtwert vermutlich bis zum Faktor 2 erhöht werden, ohne daß eine stark negative Bewertung (Beschwerden) der Betroffenen zu erwarten ist. Daher wird hier der Immissionsrichtwert  $R = 0,4$  angesetzt.

#### 8.3.2. Meßdauer und Dauer der Erschütterungseinwirkung

In Abb. 8 ist der Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Verlauf  $v(t)$  dargestellt, der durch eine Großbohrlochsprengung verursacht wurde. Dieser Zeitverlauf wird bei der Erläuterung dieses Beispiels als repräsentativ für die Erschütterungseinwirkung angenommen. Bei der Beurteilung in praktischen Fällen ist das nicht ausreichend, weil nach bisherigen Feststellungen verhältnismäßig große Streuungen bei den durch Großbohrlochsprengungen verursachten Sprengerschütterungen auftreten, so daß eine größere Anzahl von Erschütterungsereignissen in die Auswertung einzubeziehen sind.

In Abbildung 8 ist weiterhin der Zeitverlauf der zeitbewerteten Schwinggeschwindigkeitssignale ( $\tau = 150$  ms) dargestellt. Bei der verwendeten Meßeinrichtung stand noch kein Zeitbewertungsglied mit einer Zeitkonstanten von  $\tau = 125$  ms und kein Filter zur Frequenzbewertung (KB-Bewertung) zur Verfügung.

Als Näherung - nur zur Demonstration für die Durchführung des vorgeschlagenen Meß- und Beurteilungsverfahrens - wird daher abgeschätzt, daß der gemessene  $v_{\text{eff, max}}$ -Wert von 4 mm/s bei einer vorherrschenden Frequenz im Erschütterungsvorgang von etwa 18 Hz einem  $KB_{\tau, \text{max}}$ -Wert von

$$KB_{\tau, \text{max}} = 0,18 \cdot 4 \frac{18}{\sqrt{1 + \left(\frac{18}{5,6}\right)^2}} = 3,8$$

entspricht.

### 8.3.3. Klassierung der Meßgrößen und Ermittlung der Beurteilungswerte

Als Stichprobenabstand wurde  $t_a = 100$  ms gewählt. Wie aus Abb. 8 ersichtlich ist, ergeben sich für den durch die Sprengung verursachten Erschütterungsvorgang folgende KB-Werte

$$KB_{\tau}(t_1) = 3,8$$

$$KB_{\tau}(t_2) = 3,6$$

$$KB_{\tau}(t_3) = 2,9$$

$$KB_{\tau}(t_4) = 2,6$$

$$KB_{\tau}(t_5) = 1,9$$

$$KB_{\tau}(t_6) = 1,4$$

Diese Werte sind den entsprechenden Klassen zugeordnet und in Tabelle 6 eingetragen. Die weiteren Werte zur Durchführung des Auswerteverfahrens sind ebenfalls in Tabelle 6 zusammengestellt. Die relativen Besetzungszahlen  $n_j$  sind mit dem Faktor 3 zu multiplizieren, um die absoluten Besetzungszahlen  $N_j$  zu erhalten, da an einem Tag drei Sprengungen durchgeführt wurden. Die höchste mit Werten besetzte Klasse ist  $p = 14$ , die niedrigste mit Werten besetzte Klasse  $k = 11$ . Die Beurteilung wird nicht verändert, wenn in diesem Fall noch mehr als sechs Stichprobenwerte zur Aus-

wertung herangezogen werden, da die weiteren Werte nur noch niedrigere Klassen als  $k = 11$  besetzen und im Vergleich zur höchsten mit Werten besetzten Klasse nicht mehr von Bedeutung sind.

Folgende  $R_j$ -Werte wurden ermittelt (siehe Abschnitt 6.1):

$$R_{14} = 4,5 \quad \frac{0,6 + 1}{0,6 + 59} = 0,12$$

$$R_{13} = 3,2 \quad \frac{1,2 + 1}{1,2 + 59} = 0,12$$

$$R_{12} = 2,2 \quad \frac{1,5 + 1}{1,5 + 59} = 0,09$$

$$R_{11} = 1,6 \quad \frac{1,8 + 1}{1,8 + 59} = 0,07$$

Die  $R_j$ -Werte sollten tagsüber kleiner als der Immissionsrichtwert  $R = 0,40$  sein. Diese Überprüfung ist in einem Diagramm in Abb. 9 dargestellt. Der Immissionsrichtwert wird von keinem der  $R_j$ -Werte ( $j = 11$  bis 14) überschritten.

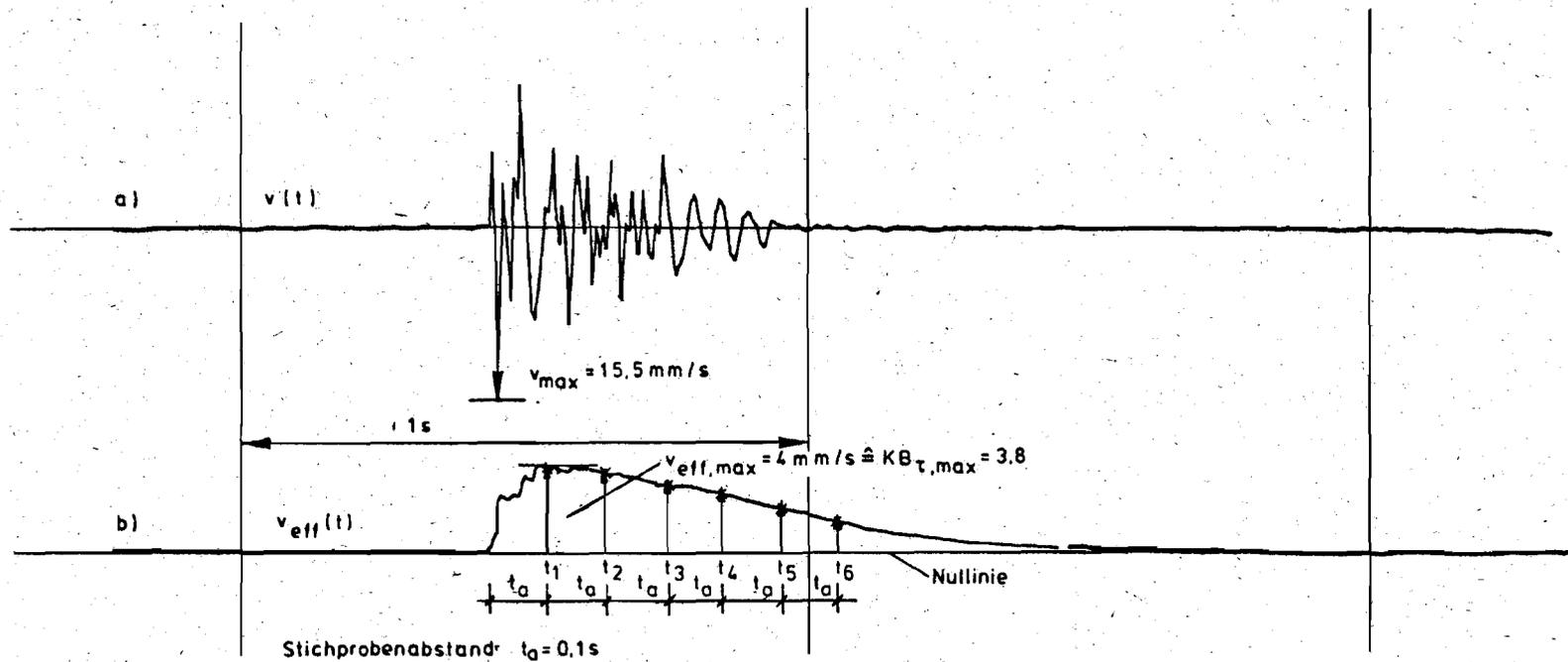


Abb. 8: Beispiel 7.3

Erschütterungsregistrierungen der Meßgrößen  $v(t)$   
und  $v_{\text{eff}}(t)$

Erschütterungsimmissionen verursacht durch eine Groß-  
bohrlochsprengung

a) Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Verlauf  $v(t)$

b) Zeitverlauf des frequenz- und zeitbewerteten  
Schwinggeschwindigkeitssignals  $KB_{\tau}(t)$

Tabelle 6: Prüfung auf Einhaltung des Immissionswertes; Beispiel 8.3

Nr. der Klasse j	KB <sub>T,j</sub> -Werte	relative Besetz.-Zahl n <sub>j</sub>	absolute Besetz.-Zahl N <sub>j</sub>	Einwirkteilzeiter T <sub>j</sub> =N <sub>j</sub> t <sub>a</sub>	aufsummierte Einwirkungsteilzeiten T <sub>p</sub> bis T <sub>k</sub>	R <sub>j</sub> -Werte	R <sub>j</sub> > R?
20	≥ 25						
19	17,7 < 25						
18	12,6 < 17,7						
17	8,9 < 12,6						
16	6,3 < 8,9						
15	4,5 < 6,3						
14	3,2 < 4,5	2	6	0,6	0,6	0,12	nein
13	2,2 < 3,2	2	6	0,6	1,2	0,12	nein
12	1,6 < 2,2	1	3	0,3	1,5	0,09	nein
11	1,1 < 1,6	1	3	0,3	1,8	0,07	nein
10	0,79 < 1,1						
9	0,56 < 0,79						
8	0,40 < 0,56						
7	0,28 < 0,40						
6	0,20 < 0,28						
5	0,14 < 0,20						
4	0,10 < 0,14						
3	0,07 < 0,10						
2	0,05 < 0,07						
1	< 0,05						

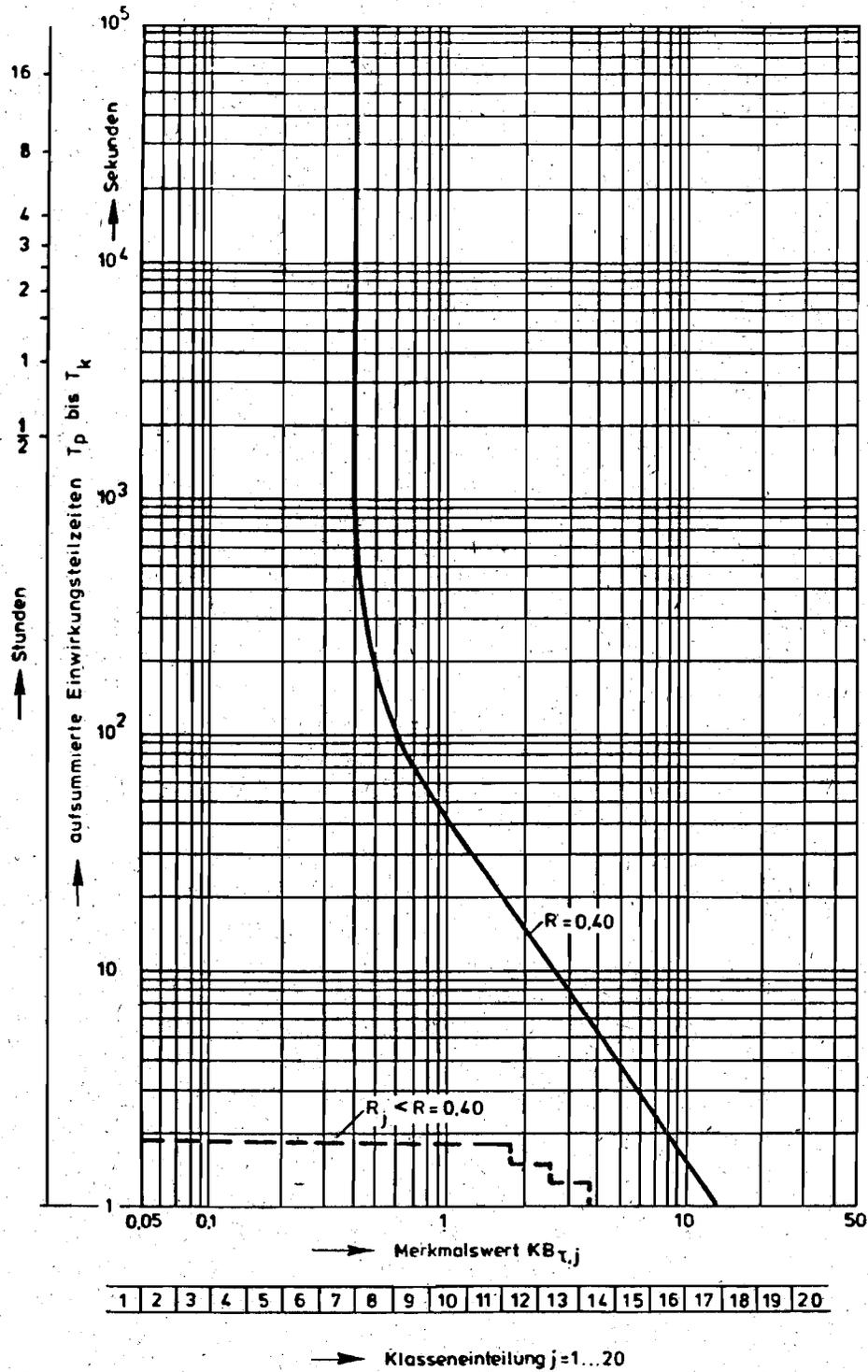


Abb. 9: Beispiel 8.3  
Darstellung der  $R_j$ -Werte im Einwirkungszeit-  
 $KB_{\tau}$ -Diagramm

## S c h r i f t t u m

- [1] VORNORM DIN 4150:  
Erschütterungen im Bauwesen.  
Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden  
(Sept. 1975).
- [2] DIN 1311:  
Schwingungslehre  
Blatt 1: Kinematische Begriffe  
(Februar 1974).
- [3] BEITZER, H.W.:  
Anforderungen an Meßgeräte zur Schwingungsmessung  
im Immissionsschutz.  
VDI-Berichte Nr. 284, (1977), S. 97-100.
- [4] DIN 45669:  
Messung von Schwingungsimmissionen,  
Teil 1: Anforderungen an Schwingungsmesser  
(Januar 1981).  
Teil 2: Meßverfahren (Entwurf Juli 1981)
- [5] VDI-RICHTLINIE 2057:  
Beurteilung der Einwirkung mechanischer  
Schwingungen auf den Menschen.  
Blatt 1: Grundlagen, Gliederung, Begriffe  
(Entwurf Februar 1975).  
Blatt 2: Schwingungseinwirkung auf den  
menschlichen Körper (Mai 1981).  
Blatt 3: Schwingungsbeanspruchung des Menschen  
(Entwurf Februar 1979).
- [6] VDI-RICHTLINIE 2057:  
Beurteilung der Einwirkung mechanischer  
Schwingungen auf den Menschen.  
Blatt 1: Allgemeine Grundlagen (Entwurf einer Neu-  
fassung, Vorlage November 1981, z.Zt. nicht nicht  
veröffentlicht).

- [7] ISO/IS 2631:  
Guide for the evaluation of human exposure /  
to whole-body vibration  
(second edition Januar 1978).
- [8] DRAFT AMENDMENT ISO 2631/DAM 1:  
Guide for the evaluation of human exposure  
to whole-body vibration,  
Amendment 1 (August 1980).
- [9] DRAFT ADDENDUM ISO 2631/DAD 1:  
Guide to the evaluation of human exposure  
to vibration and shock in buildings  
(1 Hz to 80 Hz) (Juli 1980).
- [10] STRASSEN, W.TH.:  
Zur Ermittlung von Hauptkomponenten der Lästigkeit.  
Acustica, 49 (1981), S. 314-322.
- [11] SPLITTGERBER, H.:  
Zur Wirkung von Erschütterungen, insbesondere  
von Sprengerschütterungen, auf Menschen beim  
Aufenthalt in Gebäuden, Informationstag für  
Sprengtechnik international.  
Wirtschaftsförderungsinstitut der Kammer der gewerb-  
lichen Wirtschaft für Oberösterreich, Linz 1980.
- [12] Bericht der Projektgruppe Lärmbekämpfung beim  
Bundesminister des Innern, Juni 1978.  
Herausgeber: Umweltbundesamt, Berlin 1978.
- [13] SPLITTGERBER, H.:  
Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen  
in Gebäuden.  
Z.techn. Überwachung, 10 (1969), Nr. 9, S. 325/30.

- [14] GRIFFIN, M.J. und E.M. WITHAM:  
"Discomfort produced by impulsive whole-body vibration"  
J. Acoust. Soc. Am., 68 (1980) (5) Seite 1277/84.
- [15] GRIFFIN, M.J. und E.M. WITHAM:  
Time dependency of whole-body vibration discomfort.  
J. Acoust. Soc. Am., 68 (1980), (5) Seite 1522-23.
- [16] DDR-Standard 22312:  
Wirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen,  
Blatt 2: Grenzwerte für Ganzkörperschwingungen  
(Juni 71).
- [17] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm  
(TA-Lärm), Allgemeine Verwaltungsvorschrift der  
Bundesregierung vom 16. Juli 1968.  
Bundesanzeiger Nr. 137 vom 26. Juli 1968 (Beilage).
- [18] VDI-RICHTLINIE 2058:  
Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft  
(Juni 1973).
- [19] Baunutzungsverordnung vom 26. Juni 1962.  
Bundesgesetzblatt I, Seite 429.
- [20] SPLITTGERBER, H.:  
Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei  
Erschütterungsimmissionen.  
LIS-Berichte Nr. 5 (1979).  
Hrsg.: Landesanstalt für Immissionsschutz des  
Landes NW, Essen 1979.
- [21] DIN 45667:  
Klassierverfahren für das Erfassen regelloser  
Schwingungen (Oktober 1969).

- [22] SPLITTGERBER, H.:  
Untersuchungen über die Wahrnehmungsschwelle des Menschen bei einwirkenden mechanischen Schwingungen. Gesundheits-Ingenieur, 93 Jg. (1962), H. 4, S. 113-118.
- [23] MEISTER, F.J.:  
Kritische Anmerkungen zur Bewertung der Schwingungsbelastung nach VDI 2057 - ist eine neue Vereinfachung des VDI-Richtlinienentwurfs VDI 2057 für meßtechnische Zwecke möglich?  
VDI-Berichte Nr. 284, (1977), S. 37/40.

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzelexemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6  
4300 E s s e n 1

- Bericht-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:  
LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.  
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems -  
Kurztitel: Fernüberwachung mit LIDAR  
1978. 47 Seiten mit 11 Abbildungen, 6 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.  
vergriffen
- Bericht-Nr. 2: BUCK, M.:  
Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität.  
Kurztitel: Randbedingungen bei der Beurteilung der Luftqualität.  
1978. 44 Seiten mit 8 Abbildungen, 10 Tabellen und 20 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 3: SCHEICH, G.:  
Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA.  
Kurztitel: Luftüberwachung und Ausbreitung - Ein USA-Reisebericht -  
1979. 47 Seiten mit 17 Abbildungen und 74 Literaturhinweisen.  
vergriffen
- Bericht-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:  
Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau.  
Kurztitel: Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten.  
1979. 133 Seiten mit 53 Abbildungen, 13 Tabellen und 6 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:  
Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen.  
Kurztitel: Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen.  
1979. 52 Seiten mit 13 Abbildungen, 2 Tabellen und 27 Literaturhinweisen.

- Bericht-Nr. 6:** STRAUCH, H. und K.H. Goldberg:  
Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege.  
Kurztitel: Dämmwirkung von Dachentlüftern.  
1979. 33 Seiten mit 13 Abbildungen, 2 Tabellen und 7 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 7:** KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:  
Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen.  
Kurztitel: Falschfarbenfotografie - Ein Mittel zur Erkennung von Pflanzenschäden  
1980. 43 Seiten mit 9 Abbildungen, 2 Tabellen und 11 Karten.
- Bericht-Nr. 8:** WIETLAKE, K.H.:  
Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern.  
Kurztitel: Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schmiedehämmern.  
1980. 59 Seiten mit 15 Abbildungen, 5 Tabellen und 7 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 9:** STRAUCH, H.:  
Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen.  
Kurztitel: Konzept für Lärminderungspläne.  
1980. 49 Seiten mit 11 Abbildungen und 18 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 10:** HILLEN, R.:  
Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung  
-Ziele, Methodik, Ergebnisse-  
Kurztitel: Flächenbezogene Geräusch-Immissionen.  
1980. 75 Seiten mit 18 Abbildungen, 7 Tabellen und 12 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 11:** MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:  
Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft.  
Kurztitel: Schwebstaubmeßgerät FH62I für die automatische Immissionsmessung.  
1980. 26 Seiten mit 10 Abbildungen und 2 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 12:** GIEBEL, J.:  
Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten.  
Kurztitel: Verhalten atmosphärischer Sperrschichten.  
1981. 39 Seiten mit 12 Abbildungen, 3 Tabellen und 4 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 13:** BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:  
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen.  
1981. 44 Seiten mit 7 Abbildungen, 13 Tabellen und 14 Literaturhinweisen.

- Bericht-Nr. 14: BRANDT, C.J.:  
Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen.  
Kurztitel: Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum.  
1981. 140 Seiten mit 37 Abbildungen, 22 Tabellen und 149 Literaturhinweisen.  
(Abdruck der Dr. agr.-Dissertation vom 13. August 1979, Rheinische-Friedrich-Wilhelms-Universität, Landwirtschaftliche Fakultät, Bonn)
- Bericht-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:  
Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohfen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht -  
Kurztitel: Thallium-Emissionen bei der Herstellung von Portlandzement-Klinker.  
1981. 67 Seiten mit 29 Abbildungen und 16 Tabellen.
- Bericht-Nr. 16: PRINZ, B.:  
Umweltpolitik in der VR China und technologische Entwicklung.  
(In Vorbereitung).
- Bericht-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
Untersuchungen zu den Dióxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen.  
Kurztitel: Dioxin-Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen.  
1982. 25 Seiten mit 2 Abbildungen, 6 Tabellen und 8 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region.  
Kurztitel: Entwicklung der Immissionsbelastung in der Rhein-Ruhr-Region seit 1965.  
1982. 56 Seiten mit 7 Abbildungen, 14 Tabellen und 27 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:  
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen.  
Kurztitel: Das Telemetrische Immissionsmeßsystem TEMES.  
1982. 45 Seiten mit 12 Abbildungen, 4 Tabellen und 23 Literaturhinweisen.

- Bericht-Nr. 20:** BACH, R.W.:  
Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit  
luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben.  
Kurztitel: Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der  
Grundgesamtheit.  
1982. 43 Seiten mit 17 Abbildungen, 5 Tabellen und 22 Literaturhinweisen.
- Bericht-Nr. 21:** STRAUCH, H.:  
Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel.  
1982. 92 Seiten mit 40 Abbildungen und 15 Literaturhinweisen.