

**Neubau der Kaje 82 im Fischereihafen II
in Bremerhaven
-Prognose der baubedingten Erschütterungen-**

Projekt Nr. 20200070

**Messstelle bekannt gegeben
nach § 29b BImSchG**

Auftraggeber:

bremenports GmbH & Co. KG
Am Strom 2
27568 Bremerhaven

Auftragnehmer:

technologie entwicklungen & dienstleistungen GmbH
Apenrader Straße 11
27580 Bremerhaven

Tel.: 0471 187-0 E-Mail: info@tedgmbh.de
Fax: 0471 187-29 Internet: www.tedgmbh.de

Bearbeiter: Dipl.-Phys. Frank Dittmar
 Dipl.-Ing. Daniel Haferkamp

Bremerhaven, 31. Juli 2020

Dieses Gutachten besteht aus 21 Seiten Bericht. Es darf nur in seiner Gesamtheit verwendet werden. Eine Vervielfältigung oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf einer schriftlichen Genehmigung durch die ted GmbH.

Inhaltsverzeichnis

I. Bericht

	Seite
1 Aufgabenstellung	1
2 Örtliche Gegebenheiten	1
3 Baubeschreibung	3
4 Immissionsorte	4
5 Beurteilungsgrundlagen und Berechnung	4
5.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	5
5.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen	6
5.3 Ermittlung der Erschütterungsimmissionen	8
6 Ergebnisse	9
6.1 Prognostizierte Erschütterungsimmissionen	10
6.2 Beurteilung hinsichtlich der Einwirkung auf Menschen	13
6.3 Beurteilung hinsichtlich der Einwirkung auf Gebäude	15
7 Zusammenfassung	17
8 Verwendete Gesetze, Normen, Richtlinien und Fachaufsätze	20

I. Bericht

1 Aufgabenstellung

Die ted GmbH, Apenrader Straße 11 in 27580 Bremerhaven wurde von der bremenports GmbH & Co. KG, Am Strom 2 in 27568 Bremerhaven beauftragt, eine Prognose über die baubedingten Erschütterungsimmissionen durch den Neubau der Kaje 82 im Fischereihafen II in Bremerhaven zu erstellen. Anhand der Prognose war zu überprüfen, ob die Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2 /N2/ und 3 /N3/ in den unterschiedlichen Bauphasen an der umliegenden Bebauung eingehalten werden.

2 Örtliche Gegebenheiten

Der Kajenabschnitt 82 befindet sich am Ostufer des Fischereihafens II im Sondergebiet Fischereihafen der Stadt Bremerhaven im Bereich der Straßen Nordkapstraße / Dornhaistraße. Im Bereich der zu erneuernden Kaje liegt ein ehemaliger Fähranleger, der an die Kaperstraße angeschlossen ist. In nördlicher Richtung grenzt das Grundstück der RS Heise Schiffs- und Industrietechnik an, in südlicher Richtung befindet sich eine Baufläche der symex GmbH & Co. KG. Die Straßen Dornhaistraße / Nordkapstraße mit weiteren Gewerbebauten sind ca. 90 m von der Kajenlinie entfernt. Für die Erschütterungsimmissionen ist insbesondere das Rammen im Nahbereich relevant. Die kürzeste Entfernung zwischen der Position einer Schlag- oder Rüttelramme und einem Gebäude beträgt 25 m und liegt zwischen der Nordspitze der Spundwand und dem Gebäude der RS Heise Schiffs- und Industrietechnik.

Die nächstgelegenen Bebauungen mit Wohnnutzung außerhalb des Sondergebietes Fischereihafen liegen in östlicher Richtung mehr als 950 m von der Kaje entfernt. Des Weiteren befindet sich in einer Entfernung von ca. 900 m der Fröbelkindergarten sowie in mehr als 1.100 m die Oberschule Geestemünde. Zwischen der Schule und der Georgstraße liegt ferner ein Kleingartengebiet. Innerhalb des Sondergebietes wird nicht von einer über das Betriebsleiterwohnen hinausgehenden Wohnnutzung ausgegangen. Einen Überblick über die örtlichen Gegebenheiten liefern die folgenden Abbildungen, wobei die Bezeichnung der Immissionsorte aus dem schalltechnischen Gutachten der ted GmbH 20200080 vom 16.07.2020 übernommen ist /F8/:

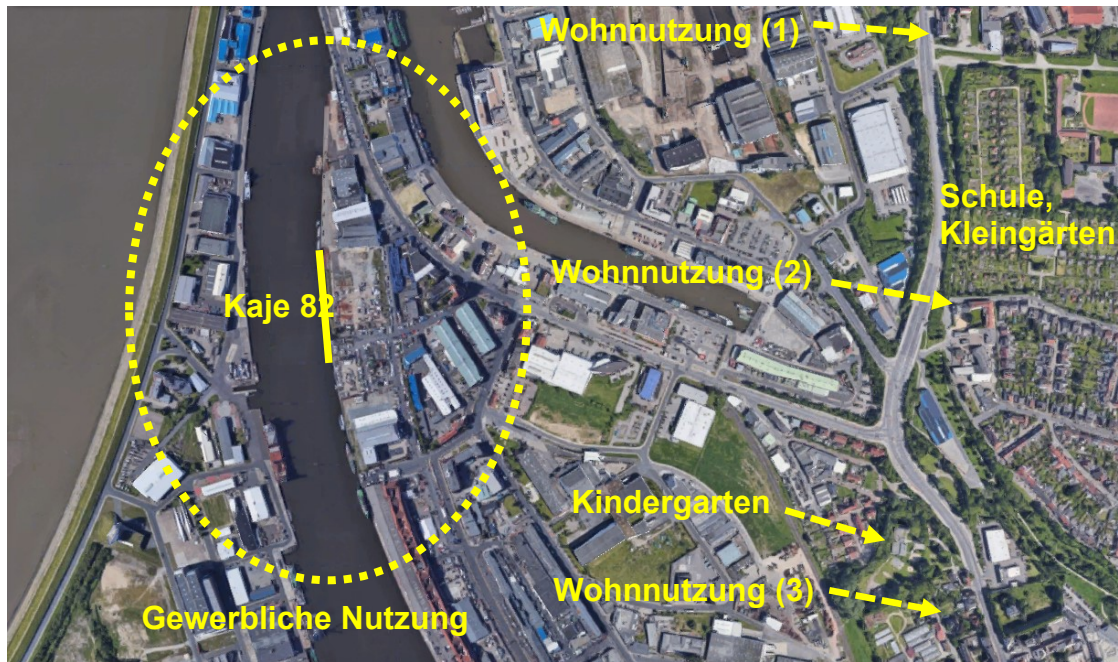


Abbildung 1 Übersicht, Googlemaps © 2020 AeroWest, GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies, VuK BHV, Kartendaten

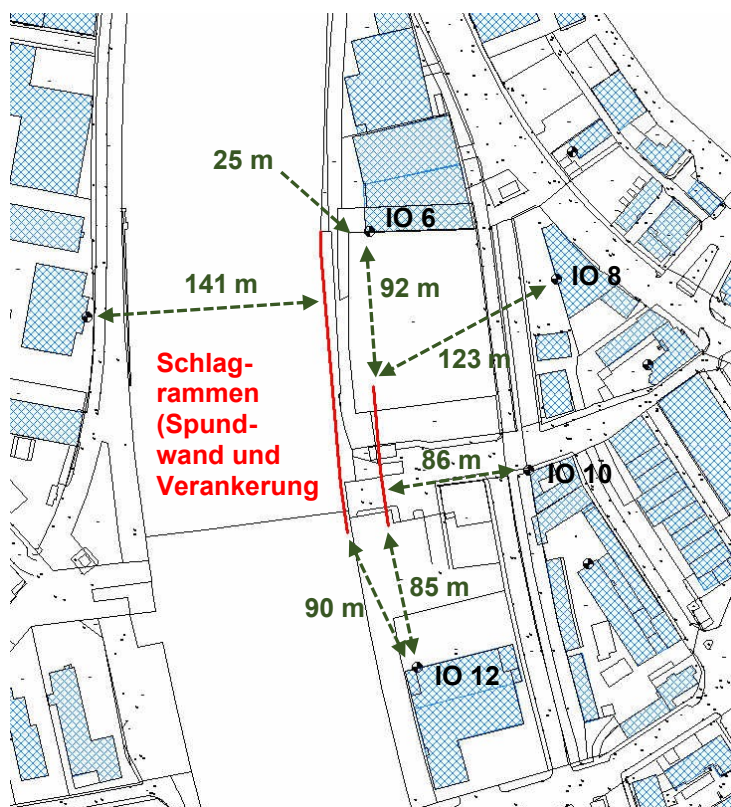


Abbildung 2 Nahbereich im Umfeld der Rammung

Über die in Abbildung 2 gezeigten Rammbereiche hinaus findet das Rütteln der Ankerwandbohlen bis nahe an IO 6 heran statt. Dieser Bauvorgang wird in der Berechnung und der Beurteilung gesondert betrachtet.

3 Baubeschreibung

Es ist geplant, die neue Kaje ca. 9 m vor die alte Böschung zu setzen. Die Fläche zwischen alter und neuer Ufereinfassung wird aufgefüllt und befestigt. Die Kaje wird als Spundwand mit Stahlholm ausgebildet (Bohlen bis 24,0 m Länge). Die Gründungsarbeiten erfolgen wasserseitig von einem Ponton aus. Die Einbringung der Spundbohlen wird weitgehend per Rüttler durchgeführt. Falls erforderlich, kann in geringerem Umfang auch Schlagrammen zum Einsatz kommen. Wasserseitig sind ferner insgesamt 7 Dalben zu entfernen, wobei einige gezogen, andere abgebrannt bzw. geschnitten werden. Der in dem betreffenden Kajeabschnitt befindliche Fähranleger wird verfüllt, der an die Böschung angrenzende Teil der bestehenden Betonplatte (1.500 m²) wird rückgebaut. Aufgrund der Bestandssituation im südlichen Bauabschnitt ist in gewissem Umfang das Einbringen von Schlagrammpfählen als Schrägverankerung vorgesehen (19 Stück mit 31 und 26 m Länge). Die Baustelle soll generell als Tagesbaustelle von Montag bis Freitag, d. h. zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr geführt werden. Die erschütterungsintensiven Bauphasen sind auf Grundlage der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen wie folgt:

PSP-Nr. / Zusatz	Bauvorgang	Dauer pro Tag / h
6.2 (R)	Spundwand, Rütteln	3,0 ¹⁾
6.2 (S)	Spundwand, Schlagen	0,6 ²⁾
9.1 (R)	Einbringen Ankerwand, Nordabschnitt, Rütteln	0,4
9.1 (S)	Einbringen Schräganker, Südabschnitt, Schlagen	1,0

Tabelle 1 Geräuschintensive Bauphasen, Stand 22.06.2020

¹⁾ 3x 1 h pro Tag

²⁾ nur falls der Baugrund es erfordert

Beim Einbau der Spundwand kommt das Schlagrammen nur dann zum Einsatz, wenn der Baugrund es erfordert. Dies erstreckt sich nicht über die gesamte Dauer des Einbringens der Spundwand, sondern nur über einzelne, kurze Zeitabschnitte während dieser Bauphase. Im Allgemeinen überlappen die erschütterungsintensiven Bauphasen nicht. Eine Übersicht über die Arbeitsvorgänge ist im schalltechnischen Gutachten der ted GmbH 20200080 vom 16.07.2020 zu finden /F8/.

4 Immissionsorte

Auf Grundlage der Baubeschreibung und der örtlichen Gegebenheiten (siehe Abbildung 2) sind die von den Erschütterungsimmissionen der einzelnen Bauvorgänge am stärksten betroffenen Immissionsorte (IO) wie folgt /F8/:

Nr. IO	IO Beschreibung	Bauvorgang	Abstand in m
6	RS Heise Schiffs- und Industrietechnik	Spundwand, Rütteln ¹⁾	4
6	RS Heise Schiffs- und Industrietechnik	Spundwand, Schlagen	25
12	symex GmbH & Co. KG	Spundwand, Rütteln	90
12	symex GmbH & Co. KG	Spundwand, Schlagen	90
12	symex GmbH & Co. KG	Ankerwand Nord, Rütteln	85
12	symex GmbH & Co. KG	Schräganker Süd, Schlagen	85

Tabelle 2 Nächstgelegene IO und kürzeste Abstände zur Erschütterungsquelle

¹⁾ gesonderte Betrachtung

5 Beurteilungsgrundlagen und Berechnung

In der Regel werden die auf Menschen und Gebäude einwirkenden Erschütterungen im Rahmen von Messungen ermittelt. Die im Vorfeld der Bauausführung gestellte Frage, inwieweit durch das Rammen zulässige Erschütterungsimmissionen ggf. überschritten werden, kann nur im Rahmen einer Prognose beantwortet werden. Erschütterungen werden auf Grundlage der DIN 4150–2 /N2/ hinsichtlich der Einwirkung auf Menschen in Gebäuden und der DIN 4150–3 /N3/ hinsichtlich der Einwirkung auf bauliche Anlagen beurteilt. Beide Normen nennen Anhaltswerte bei deren Einhaltung erwartet wird, dass erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen bzw. Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht eintreten. Die Normen /N2/, /N3/ bilden auch die Beurteilungsgrundlage der Hinweise des Länderausschusses für Immissionsschutz zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen /F5/ als Konkretisierung der Anforderungen aus dem BImSchG /G1/.

5.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

In der DIN 4150–2 /N2/ werden für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen durch Baumaßnahmen mit Einwirkungen von mehr als 26 Tagen folgende Anhaltswerte (A) angegeben:

Dauer	26 Tage < D ≤ 78 Tage		
Anhaltswerte	A_u	A_o *)	A_r
Stufe I	0,3	5	0,2
Stufe II	0,6	5	0,4
Stufe III	0,8	5	0,6
*) für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$			
A_u	unterer Anhaltswert zum Vergleich mit der maximalen bewerteten Schwingstärke		
A_o	oberer Anhaltswert zum Vergleich mit der maximalen bewerteten Schwingstärke		
A_r	Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke		

Tabelle 3 Baumaßnahmen: Anhaltswerte für die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Bei Unterschreitung der Anhaltswerte nach Stufe I sind ohne Vorinformation der Betroffenen keine erheblichen Belästigungen zu erwarten.

Bei Unterschreitung der Anhaltswerte nach Stufe II sind bei einer umfassenden Information der Betroffenen über den geplanten Baustellenbetrieb und der Wirkungen durch Erschütterungen ebenfalls keine erheblichen Belästigungen zu erwarten.

Bei Überschreitung der Anhaltswerte nach Stufe III sind unzumutbare Belästigungen zu erwarten, die neben der umfassenden Information der Betroffenen besondere Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungen erforderlich machen.

Die Anhaltswerte A_u und A_o in Tabelle 3 beziehen sich auf die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} mit den drei Richtungskomponenten x, y und z, wohingegen der Anhaltswert A_r auf die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} anzuwenden ist. Zur Beurteilung wird KB_{Fmax} in einem ersten Schritt mit den Anhaltswerten A_u und A_o verglichen:

Ist $KB_{Fmax} \leq A_u$, sind die Anforderungen der Norm eingehalten.

Ist $KB_{Fmax} \geq A_o$, sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Falls $A_u < KB_{Fmax} < A_o$, ist zu prüfen, ob die Einwirkungen seltene Ereignisse darstellen. Wenn „ja“, sind die Anforderungen der Norm eingehalten. Wenn „nein“, ist im nächsten Schritt die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} zu ermitteln und mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Ist dann $KB_{FTr} \leq A_r$, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Die Berechnung der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} und der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} erfolgt nach den Vorgaben der DIN 4150–2 /N2/. Die Beurteilung der Erschütterungen während und außerhalb von Ruhezeiten geht anhand der doppelten Gewichtung der Messwerte während der Ruhezeiten in die Bewertungsberechnung ein. Die Ruhezeiten sind werktags von 06⁰⁰ bis 07⁰⁰ Uhr und 19⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr sowie sonn- und feiertags von 06⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr. Als Beurteilungszeit während des Tages gelten 16 Stunden von 06⁰⁰ bis 22⁰⁰ Uhr und nachts 8 Stunden von 22⁰⁰ bis 06⁰⁰ Uhr. Im vorliegenden Fall werden keine Tiefgründungsarbeiten während der Ruhezeiten durchgeführt.

5.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die DIN 4150–3 /N3/ differenziert in ihren Anhaltswerten zwischen der Beurteilung des Gesamtbauwerks, der Beurteilung von Decken, massiven und unterirdischen Bauwerken sowie erdverlegten Rohrleitungen. Des Weiteren wird eine Unterscheidung zwischen kurzzeitigen und dauerhaften Erschütterungen vorgenommen. Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf die Gebäudeteile werden in der DIN 4150–3 /N3/ folgende Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit angegeben:

Art der Erschütterung	Gebäudeart	$v_{x,y,z}$ in mm/s	v_z in mm/s	$v_{x,y}$ in mm/s
		Fundament 1 - 10 Hz	Deckenmitte alle Frequenzen	oberste Deckenebene, horizontal alle Frequenzen
kurzzeitige Erschütterung	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20	40
	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	20	15
	Bauten, die wegen Ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind	3	20	8
Dauererschütterung	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	X	10	10
	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	X	10	5
	Bauten, die wegen Ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind	X	10	2,5

Tabelle 4 Kurzzeitige Erschütterungen: Anhaltswerte für die Einwirkung auf Gebäude

Zur Beurteilung nach DIN 4150–3 /N3/ ist der Betrag der maximalen Schwinggeschwindigkeit (Betragsmaximalwert) $v_{i,max}$ der Raumrichtungen (x, y, z) in mm/s maßgeblich. Die Referenzorte zur Beurteilung des Gesamtbauwerks liegen in der Regel in der obersten Deckenebene (x, y), für kurzzeitige Erschütterungen auch am Gebäudefundament (x, y, z). Für erdverlegte Leitungen und unterirdische Hohlräume (Tunnel etc.) sind gesonderte Positionen vorgesehen. Im Fall der Anregung von Oberschwingungen durch Dauererschütterungen z. B. bei Gebäuden mit mehr als drei Vollgeschossen sind die Geschosse mit den größten Schwingamplituden maßgeblich.

Voraussetzung für das Vorliegen nur kurzzeitiger Erschütterungen ist nach Nr. 3.5 der DIN 4150–3 /N3/, dass in der betroffenen Struktur keine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen hervorgerufen wird. Dies ist insbesondere beim Betrieb des Rüttlers zu beachten, der über einen unwuchtfreien An- und Ablauf verfügen muss (und nach Aussage des Auftraggebers auch wird) /F5/. Auch sind im Fall auftretender Beschwerden über Resonanzen in umliegenden Gebäuden unverzüglich Maßnahmen zur Resonanzdämpfung, z. B. durch Änderung der Erregerfrequenzen etc., einzuleiten, die hinsichtlich der technischen und geologischen Voraussetzungen einsetzbar sind /F5/.

5.3 Ermittlung der Erschütterungsimmissionen

Grundlage zur Einschätzung der Erschütterungen bei Tiefgründungen stellt die Abstands-Lademengen-Beziehung für das Nahfeld sowie die Gleichung zur Beschreibung der Erschütterungsabnahme im Fernfeld dar.

Abstands-Lademengen-Beziehung gemäß /N1/ und /F6/

$$v_1 = k \cdot \sqrt{\frac{E}{E_0}} \cdot \left(\frac{R_0}{R_1} \right)$$

mit:

v_1	=	Schwinggeschwindigkeitsamplitude in mm/s im Bezugsabstand R_1
k	=	Proportionalitätsfaktor in mm/s, ($k \approx 15 - 32$ für Schlagrammen, $k \approx 15 - 22$ für Vibrationsrammen /F6/)
E	=	Rammenergie in kNm
E_0	=	Bezugsenergie 1 kNm
R_1	=	Bezugsabstand in m (Übergang Nah- / Fernfeld), hier ca. λ_R /N1/
R_0	=	1 m

Gleichung für das Fernfeld gemäß /N1/

$$v = v_1 \cdot \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} \cdot \exp[-\alpha \cdot (R - R_1)]$$

mit:

v	=	Schwinggeschwindigkeitsamplitude in mm/s im Abstand R
n	=	Exponent der von der Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung abhängt, $n = 1$ Schlagramme, $n = 0,5$ Rüttler nach /N1/
α	=	Abklingkoeffizient, $\alpha \approx 2\pi D/\lambda$
D	=	Dämpfungsgrad, $D = 0,01$ nach /N1/
λ	=	Wellenlänge bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von 250 m/s, /N1/, /F6/
R	=	Abstand zur Erschütterungsquelle in m

Folgende zusätzliche Eingangsdaten zur Beschreibung des Übergangs auf ein Gebäude und innerhalb dessen wurden berücksichtigt:

Parameter mit Beschreibung		Schlagramme	Rüttler
Umrechnungskonstante aus der unbewerteten Schwinggeschwindigkeit nach Tabelle 3, DIN 4150-2	c_F	0,8	0,8
Übertragungsfaktor vom Boden vor dem Gebäude auf die Geschossdecke	k_U	2,5	6
Faktor zur Ermittlung der Schwinggeschwindigkeitsamplitude im Boden vor dem Gebäude in x, y-Richtung	$k_{x,y}$	0,8	0,8
Faktor zur Ermittlung der Schwinggeschwindigkeitsamplitude im Boden vor dem Gebäude in z-Richtung	k_z	0,6	0,6

Tabelle 5 Übertragungsparameter

6 Ergebnisse

Die Einschätzung der Erschütterungen setzt voraus, dass zwischen Baustelle und Immissionsort vergleichsweise homogene Verhältnisse im Baugrund vorliegen. Mindestens beim Einbau der Spundbohlen ist diese Bedingung nicht erfüllt, da die Bohlen vor der bestehenden Kaje im Hafenbecken eingebaut werden. Die Ausbreitung der Erschütterungen mit der Übergangssituation vom Grund des Hafenbeckens in Richtung der Bebauungen ist nicht hinreichend bestimmbar. Es ist jedoch zu erwarten, dass bei einer solchen Anordnung der Erschütterungsquelle verringerte Erschütterungen im Vergleich zu den prognostizierten Werten auftreten.

Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die zugrunde gelegten Prognosegleichungen zwar eine gute Grundlage für die grobe Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungsintensitäten darstellen, entsprechende Messungen jedoch nicht ersetzen können /F6/. Die in Fachaufsätzen angeführten Beweissicherungsmaßnahmen /F5/, /F6/ sollten im Fall der nächstgelegenen Immissionsorte aufgrund der Nähe zu den Rammen tatsächlich durchgeführt werden.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse gelten nur unter der Voraussetzung, dass, wie geplant, moderne Vibrationsrammen mit kräftefreiem An- und Ablauf zur Unterdrückung von Resonanzen eingesetzt werden. Im Fall auftretender Beschwerden über Resonanzen in umliegenden Gebäuden sind unverzüglich Maßnahmen zur Resonanzdämpfung, z. B. durch Änderung der Erregerfrequenzen etc., einzuleiten, die hinsichtlich der technischen und geologischen Voraussetzungen einsetzbar sind /F5/.

6.1 Prognostizierte Erschütterungsimmissionen

Auf Grundlage der o. g. Eingangsparameter und Berechnungsverfahren sind folgende Erschütterungsimmissionen durch die eingesetzten Rammgeräte an den nördlich und südlich angrenzenden Immissionsorten IO 6 und IO 12 zu erwarten:

Baugerät	Rüttler, Müller MS 62 HFV	Schlagram- me, Fambo HR 7000	Rüttler, Müller MS 16 HFV	Schlagram- me, Fambo HR 7000
Bauvorgang	Spundwand, Rütteln	Spundwand, Schlagen	Ankerwand Nord, Rütteln ¹⁾	Schräg- anker Süd, Schlagen
tägliche Einwirkzeit in h	3,0	0,6	0,4	1,0
Rammenergie in kNm	35	84	10	84
Erregerfrequenz in Hz	35	2	39,5	2
Schwinggeschwindigkeits- amplitude im Boden vor dem Gebäude, x, y, in mm/s	3,8	8,8	12,6	2,4
Schwinggeschwindigkeits- amplitude im Boden vor dem Gebäude, z, in mm/s	2,8	6,6	9,5	1,8
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, x, y, in mm/s	22,7	22,0	75,9	6,0
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, z, in mm/s	17,0	16,5	56,9	4,5
max. bewertete Schwingstärke KB^*_{Fmax}	12,7	4,2	42,5	1,1
Beurteilungs-Schwingstärke KB^*_{FT}	5,5	0,8	6,7	0,3

Tabelle 6 Ergebnisse der Erschütterungsprognose für IO 6

¹⁾ bei 4 m Abstand zum Rüttler

Aufgrund der kurzen Entfernung zum Rüttler während des Einbringens der Ankerwandpfähle an der Nordspitze und der daraus resultierenden hohen Schwinggeschwindigkeiten an IO 6 sind in Tabelle 7 weitere Szenarien mit größeren Abständen betrachtet.

Baugerät	Rüttler, Müller MS 16 HFV				
Bauvorgang	Ankerwand Nord, Rütteln				
tägliche Einwirkzeit in h	0,4				
Rammenergie in kNm	10				
Erregerfrequenz in Hz	39,5				
Abstand zum Rüttler in m	10	15	30	40	45
Schwinggeschwindigkeitsamplitude im Boden vor dem Gebäude, x, y, in mm/s	5,1	3,4	1,7	1,3	1,1
Schwinggeschwindigkeitsamplitude im Boden vor dem Gebäude, z, in mm/s	3,8	2,5	1,3	0,9	0,8
Schwinggeschwindigkeitsamplitude auf der Geschossdecke, x, y, in mm/s	30,4	20,2	10,1	7,6	6,7
Schwinggeschwindigkeitsamplitude auf der Geschossdecke, z, in mm/s	22,8	15,2	7,6	5,7	5,1
max. bewertete Schwingstärke KB^*_{Fmax}	17	11,3	5,7	4,3	3,8
Beurteilungs-Schwingstärke KB^*_{FTr}	2,7	1,8	0,9	0,7	0,6

Tabelle 7 Erschütterungsprognose für IO 6, Rütteln der Ankerwand

Baugerät	Rüttler, Müller MS 62 HFV	Schlagram- me, Fambo HR 7000	Rüttler, Müller MS 16 HFV	Schlagram- me, Fambo HR 7000
Bauvorgang	Spundwand, Rütteln	Spundwand, Schlagen	Ankerwand Nord, Rütteln	Schräg- anker Süd, Schlagen
tägliche Einwirkzeit in h	3,0	0,6	0,4	1,0
Rammenergie in kNm	35	84	10	84
Erregerfrequenz in Hz	35	2	39,5	2
Schwinggeschwindigkeits- amplitude im Boden vor dem Gebäude, x, y, in mm/s	1,1	2,4	0,6	2,6
Schwinggeschwindigkeits- amplitude im Boden vor dem Gebäude, z, in mm/s	0,8	1,8	0,4	1,9
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, x, y, in mm/s	6,3	6,1	3,6	6,5
Schwinggeschwindigkeits- amplitude auf der Geschossdecke, z, in mm/s	4,7	4,6	2,7	4,9
max. bewertete Schwingstärke KB^*_{Fmax}	3,5	1,2	2,0	1,2
Beurteilungs-Schwingstärke KB^*_{FTI}	1,5	0,2	0,3	0,3

Tabelle 8 Ergebnisse der Erschütterungsprognose für IO 12

6.2 Beurteilung hinsichtlich der Einwirkung auf Menschen

Hinsichtlich der Einwirkung der Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden ergeben sich aus den Berechnungsergebnissen die folgenden Stufen nach DIN 4150–2 /N2/:

Baugerät	Rüttler, Müller MS 62 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000	Rüttler, Müller MS 16 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000
Bauvorgang	Spundwand, Rütteln	Spundwand, Schlagen	Ankerwand Nord, Rütteln ¹⁾	Schräganker Süd, Schlagen
Stufe	Überschreitung von III	Überschreitung von III	Überschreitung von III	II

Tabelle 9 Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen an IO 6

¹⁾ bei 4 m Abstand zum Rüttler

Für das Einrütteln der Ankerwandbohlen ergibt sich in gesonderter Betrachtung für verschiedene Abstände:

Baugerät	Rüttler, Müller MS 16 HFV				
Bauvorgang	Ankerwand Nord, Rütteln				
Abstand zum Rüttler in m	10	15	30	40	45
Stufe	Überschr. von III	Überschr. von III	Überschr. von III	Überschr. von III	III

Tabelle 10 Einwirkungen auf Menschen an IO 6, Einrütteln der Ankerwandbohlen

Am Immissionsort 12 folgt:

Baugerät	Rüttler, Müller MS 62 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000	Rüttler, Müller MS 16 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000
Bauvorgang	Spundwand, Rütteln	Spundwand, Schlagen	Ankerwand Nord, Rütteln	Schräganker Süd, Schlagen
Stufe	Überschreitung von III	I	II	II

Tabelle 11 Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen an IO 12

Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass beim Einbringen der Spundwand eine Überschreitung des Anhaltswertes von $A_r = 0,6$ (baubedingte Erschütterungen, Stufe III nach DIN 4150–2 /N2/) sowohl beim Rütteln (3x 1 h pro Tag) als auch beim Schlagen (max. 36 Minuten pro Tag) nicht ausgeschlossen werden kann. In jedem Fall sind beim Einbringen der Spundwand und der Verankerung die in Nr. 6.5.4.3 der Norm aufgeführten Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen zu berücksichtigen.

Beim Einrütteln der Ankerwand sind besonders hohe Überschreitungen der Anhaltswerte zu erwarten, da die Entfernungen zwischen Rüttelgerät und Gebäude besonders kurz sind. Die Berechnungsszenarien zeigen, dass erst bei einem Abstand von ca. 45 m die Einhaltung der Anhaltswerte für die Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen zu erwarten ist. Dieser Abstand soll nach 6 Tagen Bauzeit, bezogen auf die betreffende Bauphase, erreicht sein. Während dieser Zeit ist mit einer erhöhten Erschütterungsbelastung von 24 Minuten pro Tag zu rechnen.

In Bezug auf die Wohngebäude in Geestemünde und den Fröbelkindergarten in mindestens 900 m Entfernung haben die Prognoserechnungen gezeigt, dass eine erschütterungstechnische Relevanz nach DIN 4150–2 /N2/ lediglich beim Rütteln der Spundbohlen vorliegen kann. Mit einem berechneten Wert von 0,4 mm/s für die maximale bewertete Schwingstärke KB^*_{Fmax} und 0,2 mm/s für die Beurteilungs-Schwingstärke KB^*_{FTr} liegt gemäß Nr. 6.5.4.2 der DIN 4150–2 /N2/ eine Beurteilung nach Stufe I vor, bei der noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist, falls die in Nr. 6.5.4.3 a) bis e) aufgeführten Maßnahmen umgesetzt werden. Diese bestehen im Wesentlichen in der Information der Betroffenen und der Einhaltung von Ruhezeiten. Letztere werden entsprechend der Bauplanung, nach der Tiefgründungsarbeiten nur bis 19⁰⁰ Uhr durchgeführt werden, eingehalten.

6.3 Beurteilung hinsichtlich der Einwirkung auf Gebäude

Hinsichtlich der Einwirkung der Erschütterungen auf bauliche Anlagen ergeben sich aus den Berechnungsergebnissen die folgenden Bewertungen nach DIN 4150–3 /N3/:

Baugerät	Rüttler, Müller MS 62 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000	Rüttler, Müller MS 16 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000
Bauvorgang	Spundwand, Rütteln	Spundwand, Schlagen	Ankerwand Nord, Rütteln ¹⁾	Schräganker Süd, Schlagen
Einhaltung der Anhaltswerte für $v_{i,max}$	Überschreitung um 2,7 mm/s	Überschreitung um 2,0 mm/s	Überschreitung um Faktor 4	Einhaltung

Tabelle 12 Beurteilung der Einwirkungen auf Gebäude an IO 6

¹⁾ bei 4 m Abstand zum Rüttler

Für das Einrütteln der Ankerwandbohlen ergibt sich in gesonderter Betrachtung für verschiedene Abstände:

Baugerät	Rüttler, Müller MS 16 HFV				
Bauvorgang	Ankerwand Nord, Rütteln				
Abstand zum Rüttler in m	10	15	30	40	45
Einhaltung der Anhaltswerte für $v_{i,max}$	Überschreitung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung

Tabelle 13 Einwirkungen auf Gebäude an IO 6, Einrütteln der Ankerwandbohlen

Am Immissionsort 12 folgt:

Baugerät	Rüttler, Müller MS 62 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000	Rüttler, Müller MS 16 HFV	Schlagramme, Fambo HR 7000
Bauvorgang	Spundwand, Rütteln	Spundwand, Schlagen	Ankerwand Nord, Rütteln	Schräganker Süd, Schlagen
Einhaltung der Anhaltswerte für $v_{i,max}$	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung	Einhaltung

Tabelle 14 Beurteilung der Einwirkungen auf Gebäude an IO 12

Aus den Berechnungen folgt, dass beim Einbringen der Spundwand sowohl beim Rütteln als auch beim Schlagen eine geringfügige Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150–3 /N3/ in x,y-Richtung auftreten kann. Dies kann gemäß Berechnung nur auf die an der Nordspitze der Kaje 82 einzubringenden Spundwandpfähle zutreffen. In der Praxis ist jedoch angesichts der tendenziell geringeren Erschütterungen aufgrund des Errichtens der Spundwand vor der bestehenden Kaje im Hafenbecken nicht von einer signifikanten Überschreitung der Anhaltswerte auszugehen.

Um jedoch die Anhaltswerte nach DIN 4150–3 /N3/ beim Einrütteln der Ankerwand voraussichtlich einhalten zu können, ist ein Mindestabstand von 15 m zwischen Rüttelgerät und Gebäude erforderlich. Daher sind im Abstandsbereich zwischen 4 und 15 m angesichts der z. T. erheblichen Überschreitungen der Schwinggeschwindigkeitswerte erschütterungsmindernde Maßnahmen in Form alternativer oder modifizierter Rammverfahren erforderlich, ungeachtet des Hinweises auf die erforderlichen Beweissicherungsmaßnahmen. Erschütterungsmindernde Maßnahmen in dem Bereich reduzieren ebenfalls die Einwirkung auf Menschen nach DIN 4150–2 /N2/.

Bei den anderen Bauvorgängen werden die zulässigen Schwinggeschwindigkeiten für gewerblich genutzte Bauten und Industriebauten signifikant unterschritten.

Gemäß der Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen der LAI /F5/ sind besondere Gebäudenutzungen mit erschütterungsempfindlichen Arbeitsstätten und Fertigungsanlagen gesondert zu betrachten. Im vorliegenden Fall wird von Gutachterseite empfohlen, vor Aufnahme erschütterungsrelevanter Bauarbeiten die anliegenden Gewerbebetriebe zu kontaktieren.

Für die 900 m entfernte Wohnbebauung und den Kindergarten sind Auswirkungen auf bauliche Anlagen bei Schwinggeschwindigkeiten von weniger als 0,7 mm/s auszuschließen.

7 Zusammenfassung

Die ted GmbH, Apenrader Straße 11 in 27580 Bremerhaven wurde von der bremenports GmbH & Co. KG, Am Strom 2 in 27568 Bremerhaven beauftragt, eine Prognose über die baubedingten Erschütterungsimmissionen durch den Neubau der Kaje 82 im Fischereihafen II in Bremerhaven zu erstellen. Anhand der Prognose war zu überprüfen, ob die Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2 /N2/ und 3 /N3/ in den unterschiedlichen Bauphasen an der umliegenden Bebauung eingehalten werden.

Bei den erschütterungsintensiven Bauphasen handelt es sich um das rüttelnde und schlagende Einbringen der Bohlen bzw. Pfähle von Spundwand und Verankerung. Beim Einbau der Spundwand kommt das Schlagrammen nur dann zum Einsatz, wenn der Baugrund es erfordert. Im Bereich der Verankerung ist aufgrund der Bestandssituation im südlichen Bauabschnitt in gewissem Umfang das Einbringen von Schlagrammpfählen vorgesehen. Die Baustelle soll generell als Tagesbaustelle von Montag bis Freitag, d. h. zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr geführt werden. Auf Grundlage der Baubeschreibung und der örtlichen Gegebenheiten liegen die von den Erschütterungsimmissionen der einzelnen Bauvorgänge am stärksten betroffenen Immissionsorte an der Nordspitze der Kaje (IO 6, RS Heise Schiffs- und Industrietechnik) und südlich angrenzend (IO 12, symex GmbH & Co. KG).

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen erfolgt auf Grundlage der DIN 4150–2 /N2/ hinsichtlich der Einwirkung auf Menschen in Gebäuden und der DIN 4150–3 /N3/ hinsichtlich der Einwirkung auf bauliche Anlagen unter Berücksichtigung der Hinweise des Länderausschusses für Immissionsschutz /F5/ und weiterer Fachaufsätze.

Aus den Prognoserechnungen folgt, dass beim Einbringen der Spundwand eine Überschreitung des Anhaltswertes für die Beurteilung hinsichtlich der Einwirkung auf Menschen (Stufe III nach DIN 4150–2 /N2/) sowohl beim Rütteln (3x 1 h pro Tag) als auch beim Schlagen (max. 36 Minuten pro Tag) nicht ausgeschlossen werden kann. In jedem Fall sind beim Einbringen der Spundwand und der Verankerung die in Nr. 6.5.4.3 der Norm aufgeführten Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen zu berücksichtigen.

Beim Einrütteln der Ankerwand sind besonders hohe Überschreitungen der Anhaltswerte zu erwarten, da die Entfernungen zwischen Rüttelgerät und Gebäude besonders kurz sind. Die Berechnungsszenarien zeigen, dass erst bei einem Abstand von ca. 45 m die Einhaltung der Anhaltswerte für die Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen zu erwarten ist. Dieser Abstand soll nach 6 Tagen Bauzeit, bezogen auf die betreffende Bauphase, erreicht sein. Während dieser Zeit ist mit einer erhöhten Erschütterungsbelastung von 24 Minuten pro Tag zu rechnen.

In Bezug auf die Wohngebäude in Geestemünde und den Fröbelkindergarten in mindestens 900 m Entfernung haben die Prognoserechnungen gezeigt, dass eine erschütterungstechnische Relevanz nach DIN 4150–2 /N2/ lediglich beim Rütteln der Spundbohlen vorliegen kann. Aufgrund geringer Schwingstärken ist nach Stufe I noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, falls Maßnahmen in Form von Information der Betroffenen und Einhaltung von Ruhezeiten getroffen werden. Letztere werden entsprechend der Bauplanung, nach der Tiefgründungsarbeiten nur bis 19⁰⁰ Uhr durchgeführt werden, eingehalten.

Hinsichtlich der Einwirkung der Erschütterungen auf bauliche Anlagen nach DIN 4150–3 /N3/ folgt, dass beim Einbringen der Spundwand sowohl beim Rütteln als auch beim Schlagen eine geringfügige Überschreitung der Anhaltswerte in x,y-Richtung auftreten kann. Dies kann gemäß Berechnung nur auf die an der Nordspitze der Kaje 82 einzubringenden Spundwandpfähle zutreffen. In der Praxis ist jedoch angesichts der tendenziell geringeren Erschütterungen aufgrund des Errichtens der Spundwand vor der bestehenden Kaje im Hafenbecken nicht von einer signifikanten Überschreitung der Anhaltswerte auszugehen.

Um jedoch die Anhaltswerte nach DIN 4150–3 /N3/ beim Einrütteln der Ankerwand voraussichtlich einhalten zu können, ist ein Mindestabstand von 15 m zwischen Rüttelgerät und Gebäude erforderlich. Daher sind im Abstandsbereich zwischen 4 und 15 m angesichts der z. T. erheblichen Überschreitungen der Schwinggeschwindigkeitswerte erschütterungsmindernde Maßnahmen in Form alternativer oder modifizierter Rammverfahren erforderlich, ungeachtet des Hinweises auf die erforderlichen Beweissicherungsmaßnahmen. Erschütterungsmindernde Maßnahmen in dem Bereich reduzieren ebenfalls die Einwirkung auf Menschen nach DIN 4150–2 /N2/.

Bei den anderen Bauvorgängen werden die zulässigen Schwinggeschwindigkeiten für gewerblich genutzte Bauten und Industriebauten signifikant unterschritten.

Gemäß der Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen der LAI /F5/ sind besondere Gebäudenutzungen mit erschütterungsempfindlichen Arbeitsstätten und Fertigungsanlagen gesondert zu betrachten. Im vorliegenden Fall wird von Gutachterseite empfohlen, vor Aufnahme erschütterungsrelevanter Bauarbeiten die anliegenden Gewerbebetriebe zu kontaktieren.

Für die 900 m entfernte Wohnbebauung und den Kindergarten sind Auswirkungen auf bauliche Anlagen bei Schwinggeschwindigkeiten von weniger als 0,7 mm/s auszuschließen.

Die im vorliegenden Gutachten dargestellten Ergebnisse gelten nur unter der Voraussetzung, dass, wie geplant, moderne Vibrationsrammen mit kräftefreiem An- und Ablauf zur Unterdrückung von Resonanzen eingesetzt werden. Im Fall auftretender Beschwerden über Resonanzen in umliegenden Gebäuden sind unverzüglich Maßnahmen zur Resonanzdämpfung, z. B. durch Änderung der Erregerfrequenzen, einzuleiten, die hinsichtlich der technischen und geologischen Voraussetzungen einsetzbar sind /F5/.

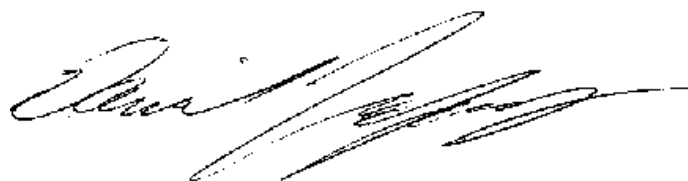
Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die zugrunde gelegten Prognosegleichungen zwar eine gute Grundlage für die grobe Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungsintensitäten darstellen, entsprechende Messungen jedoch nicht ersetzen können /F6/. Die in Fachaufsätzen angeführten Beweissicherungsmaßnahmen /F5/, /F6/ sollten im Fall der nächstgelegenen Immissionsorte aufgrund der Nähe zu den Rammen tatsächlich durchgeführt werden.

Bremerhaven, 31. Juli 2020



Dipl.-Phys. Frank Dittmar

- Erstellt -



Dipl.-Ing. Daniel Haferkamp

- Fachlich verantwortlich -

8 Verwendete Gesetze, Normen, Richtlinien und Fachaufsätze

Gesetze

- /G1/ BImSchG, Bundes-Immissionsschutzgesetz, 08.04.2019
- /G2/ Kommentar zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Prof. Dr. Hans D. Jarass, 5., vollständig überarbeitete Auflage, Verlag C. H. Beck München 2002
- /G3/ Flächennutzungsplan der Seestadt Bremerhaven, 03.07.2006
- /G4/ Bebauungsplan Nr. S149 „Geestemünde Süd“, Stadt Bremerhaven, 30.12.1967
- /G5/ Schreiben vom Stadtplanungsamt der Seestadt Bremerhaven, Herrn Dr. Budelmann, an die ted GmbH, Az. 61/4, 19.03.2012

Normen

- /N1/ DIN 4150–1 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung von Schwingungsgrößen, 2001:06
- /N2/ DIN 4150–2 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, 1999:06
- /N3/ DIN 4150–3 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, 2016:12

Fachaufsätze

- /F1/ Grundbau Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 7. Auflage, Karl Josef Witt, 2008
- /F2/ Grundbau Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Karl Josef Witt, 2009
- /F3/ Grundbau Taschenbuch, Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke, 7. Auflage, Karl Josef Witt, 2009
- /F4/ „Begleitende schall- und schwingungstechnische Messungen während der Proberammungen in zwei Probefeldern für den Offshore Terminal Bremerhaven“, ted GmbH , Projekt Nr. 13.076-5, 23.01.2014
- /F5/ „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Vermeidung von Erschütterungsimmissionen“, Länderausschuss für Immissionsschutz, März 2018

- /F6/ „Prognosen für das Fernfeld – Ein praktischer Leitfaden hilft den Ingenieuren bei Erschütterungsproblemen“, Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus, 2006
- /F7/ „Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten, Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen“, Berichtsheft 20 der Informationsreihe des Instituts für Bauforschung e. V., Hannover, Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus, 2005
- /F8/ Schalltechnisches Gutachten: „Neubau der Kaje 82 im Fischereihafen II in Bremerhaven –Prognose der baubedingten Geräuschmissionen–“, Projekt 20200080, ted GmbH, 16.07.2020

Die zitierten und verwendeten Gesetze, Normen, Richtlinien und Fachaufsätze wurden jeweils in ihrer letzten gültigen Fassung zur Bearbeitung herangezogen.