

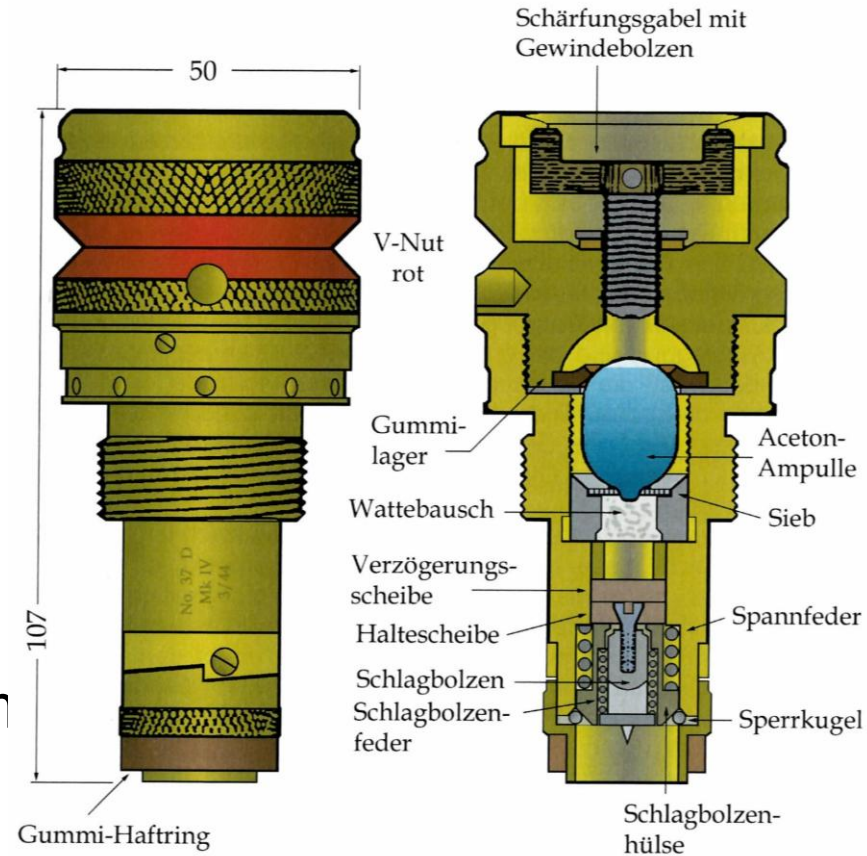
Erfordernis von Kampfmittelräumarbeiten im Vorfeld von rammenden, rüttelnden oder vibrierenden Verfahren des Spezialtiefbaus

Dr.-Ing. Kay Winkelmann, Beratender Ingenieur

6. Symposium Kampfmittelräumung
Mannheim, 16.12.2025

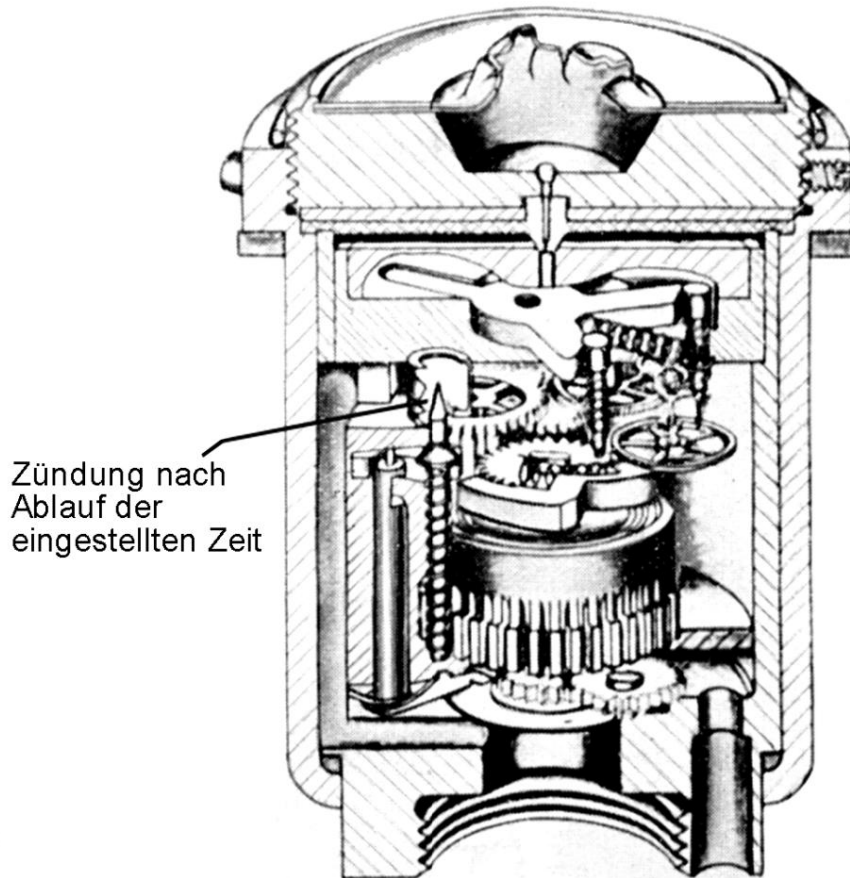
Fragestellung

Umstritten ist regelmäßig die Frage, inwieweit bei Einsatz von Verfahren des Spezialtiefbaus, die nicht unerhebliche Erschütterungen über den eigentlichen Baubereich (Baugrube, Baugrundstück) hinaus verursachen können, eine Untersuchung von Bereichen außerhalb der Baugrube bzw. der baulichen Anlagen erforderlich ist. Hintergrund ist die Besorgnis, dass Erschütterungen durch Spezialtiefbauarbeiten zur Umsetzung von Kampfmitteln, insbesondere Bombenblindgängern mit chemisch-mechanischen Langzeitzündern (LZZ), führen können.

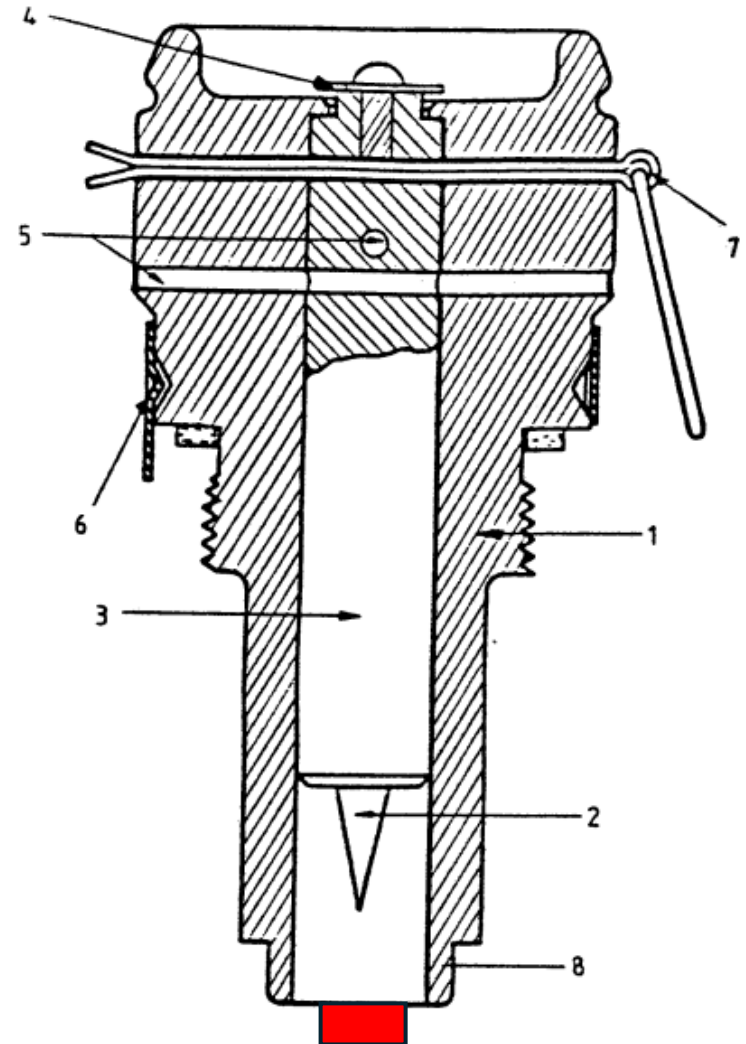


Zeichnung: Peter Voss 2013

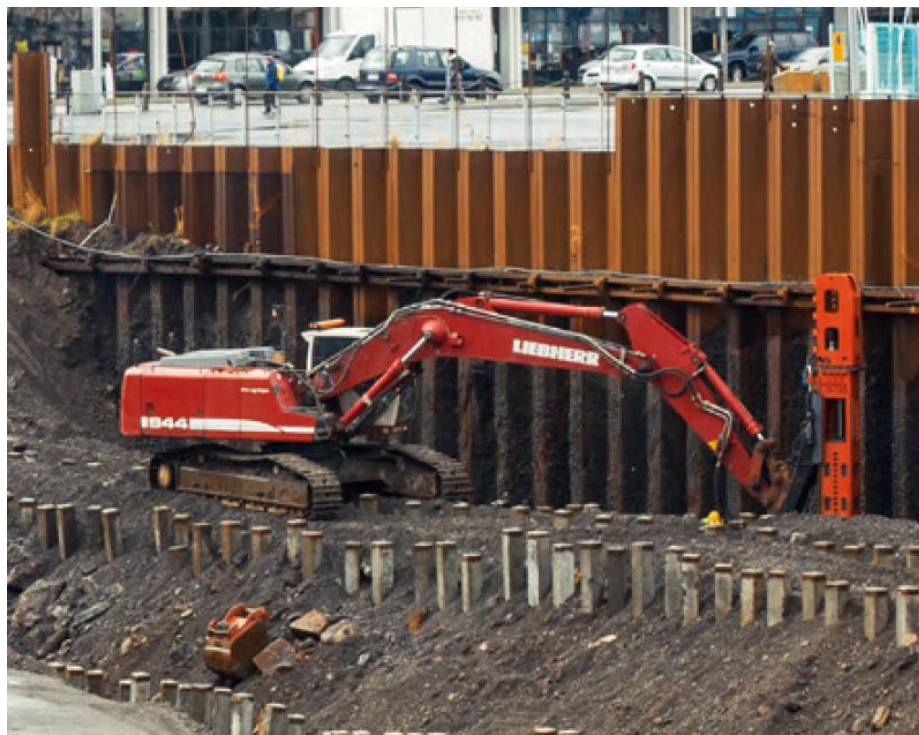
Andere Zünder, bei denen Erschütterungen kritisch sein können



LZtZ **17** Bm



Heckzunder No. 58 Mk I



Betroffene Spezialtiefbau-Verfahren

- Rammsondierungen
- Drehschlag-Bohrungen, Vibrationsbohrungen, rammende Bohrungen
- Rammträgerverbau (Trägerbohlwand)
- Rammpfähle
 - Fertigrammpfähle aus Stahl oder Holz
 - Ortbetonrammpfähle
 - Fertigbetonpfähle
 - Rüttelinjektionspfähle
 - Kleinrammpfähle
- Rammvortrieb zum Durchpressen von Stahlrohren (horizontal)
- Rammung von Stahlspundwänden
- Herstellung von Schmaldichtwänden im Rüttelverfahren (Rüttelbohle, Tiefenrüttler)
- Herstellung von Schrägankern (Injektionsrammanker)
- Rüttelstopfverdichtung (RSV)
- Rütteldruckverdichtung
- Fallplattenverdichtung
- Herstellung von Injektionskörpern über Ramm- oder Rüttellanzen
- Bodenverdichtung mittels Rüttel- und Vibrationswalzen

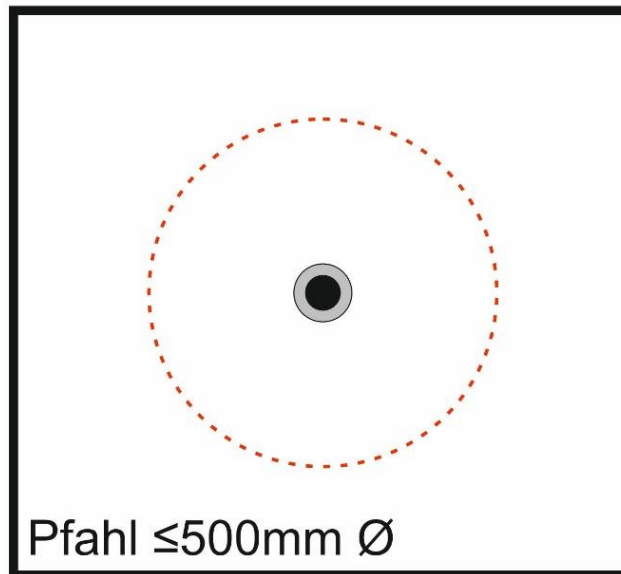
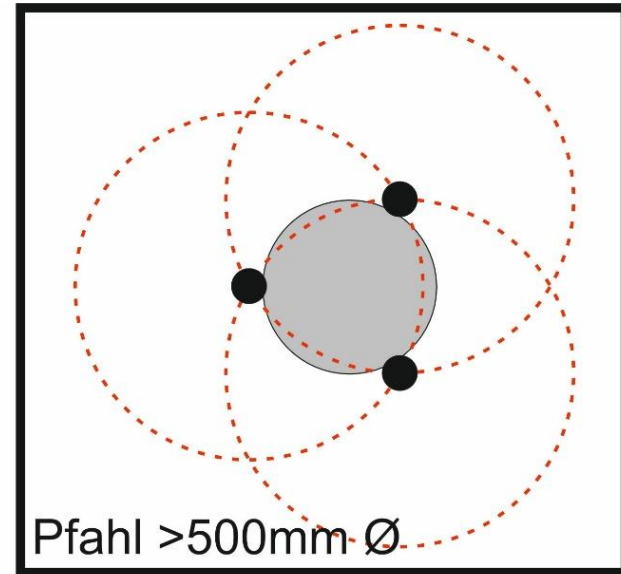
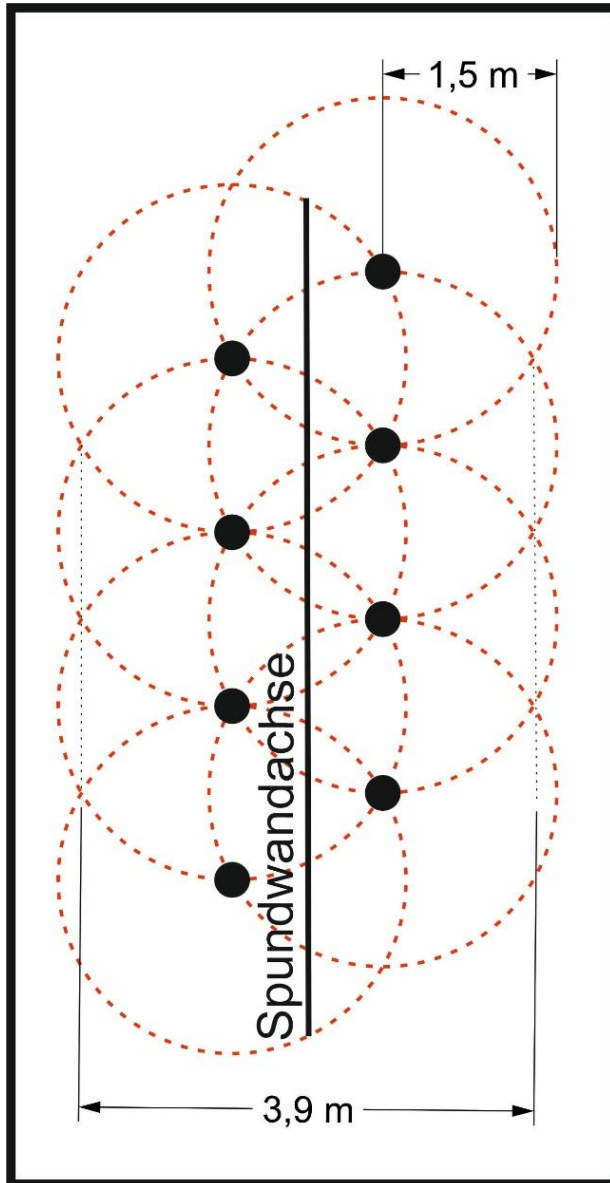
Dynamische vs. statische Bauverfahren

- Ein Ersatz von dynamischen Ramm-, Vibrations- und Rüttelverfahren des Spezialtiefbaus durch statische Press- oder Bohrverfahren, wodurch das Einbringen von Erschütterungen in kampfmittelverdächtigen Bereichen weitgehend vermieden werden könnte, ist aus bautechnischen Gründen nicht immer möglich.
- Zum Beispiel haben Rammpfähle in der Regel sehr viel kleinere Durchmesser (20 – 90 cm) als Bohrpfähle (60 – 250 cm) [Girmscheid 2013]. Auch aufgrund der Baugrundverhältnisse kann es erforderlich oder vorteilhaft sein, Ramm- oder Rüttelverfahren anstelle von Bohrverfahren einzusetzen.

Anforderungen Kampfmittelräumung

- Landes-Bauordnungen – „Baugrundstücke müssen für bauliche Anlagen geeignet sein und keine Gefahren entstehen“
- ArbSchG – Verpflichtung zum Schutz von Arbeitnehmern bei der Ausführung von (Bau-)Arbeiten
- StGB §319 Baugefährdung – „Wer bei der Planung, Leitung oder Ausführung eines Baues [...] gegen die allgemein anerkannten Regeln der Technik verstößt und dadurch Leib oder Leben eines anderen Menschen gefährdet [...] wird [...] bestraft.“
- ggfs. konkrete länderspezifische Anforderungen (z.B. Kampfmittelfreigabe vor Baugenehmigung)
- Bei Kampfmittelverdacht i.d.R. vor Baubeginn Kampfmittelsondierung mittels Bohrlochsondierung erforderlich

Typische Bohrraster Spezialtiefbau



Bundesländer ohne spezif. Anforderungen

Bundesland	Grundsätzliche Anforderung Kampfmittel- sondierung vor Spezialtiefbau	Vorgabe Bohrraster lineare Bauwerke	Vorgabe Bohrraster punktuelle Bauwerke	Anforderung Untersuchung weitergehender Sicherheits- bereich
Bayern	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Berlin	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Hessen	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Niedersachsen	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Rheinland-Pfalz	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Saarland	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Sachsen	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Sachsen-Anhalt	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
Thüringen	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN

Bundesländer mit spezif. Anforderungen

Bundesland	Grundsätzliche Anforderung Kampfmittel- sondierung vor Spezialtiefbau	Vorgabe Bohrraster lineare Bauwerke	Vorgabe Bohrraster punktuelle Bauwerke	Anforderung Untersuchung weitergehender Sicherheits- bereich
Baden- Württemberg [KMBD B-W 2012]	JA	JA (Doppelreihe Bohrlöcher + Verankerungen)	JA ($\leq 500\text{mm}$ 1 BL, $> 500\text{mm}$ 3 BL)	NEIN
Brandenburg [KMBD BBG 2017]	JA	JA	JA	NEIN
Bremen [KRD HB 2018]	JA	JA (Doppelreihe Bohrlöcher + Verankerungen)	JA (3 BL)	NEIN

Bundesländer mit spezif. Anforderungen

Bundesland	Grundsätzliche Anforderung Kampfmittel- sondierung vor Spezialtiefbau	Vorgabe Bohrraster lineare Bauwerke	Vorgabe Bohrraster punktuelle Bauwerke	Anforderung Untersuchung weitergehender Sicherheits- bereich
Hamburg [KRD HH 2017]	JA	JA (Berechnung Bohrlochabstand)	JA (Berechnung Bohrlochabstand)	JA
Mecklenburg- Vorpommern [MBD M-V 2021]	JA	JA (Doppelreihe Bohrlöcher + Verankerungen)	JA (3 BL)	NEIN
Nordrhein- Westfalen [KMBD NRW 2022]	JA	JA (1 – 2 Bohrloch- reihen + Verankerungen)	JA (1 – 4 BL)	NEIN (*1)

(*1) „Bohrlöcher sind so auszulegen, dass mit den Sondierungen der gesamte relevante Untergrundbereich ergebnisorientiert erfasst werden kann. Benötigt werden Aussagen mindestens für den von der geplanten Spezialtiefbaumaßnahme direkt betroffenen Untergrund [...].

Bundesländer mit spezif. Anforderungen

Bundesland	Grundsätzliche Anforderung Kampfmittel- sondierung vor Spezialtiefbau	Vorgabe Bohrraster lineare Bauwerke	Vorgabe Bohrraster punktuelle Bauwerke	Anforderung Untersuchung weitergehender Sicherheitsbereich
Schleswig- Holstein [KRD S-H 2023]	JA	JA (Doppelreihe Bohrlöcher)	JA (3 BL)	NEIN
BFR KMR 2024 [BlmA 2024]	JA	JA (1 – 2 oder mehr BL-Reihen nach Bedarf)	JA (1 – 6 BL nach Bedarf)	NEIN

TA-KRD HH 2017: „Sicherheitszonen“

- TA-KRD HH 2017, 6.5 „Sicherheitszone vor der Ausführung von Tiefgründungen mittels Rammungen, Verankerungen und Pfahlgründungen“ gehen darüber hinaus und fordern die Sondierung einer „Sicherheitszone“, *„entsprechend der Morphologie, Energieeintrag der geplanten Rammarbeiten sowie späteren gefahrlosen Bauarbeiten fachlich zu bestimmen“*.
- Dabei sei *„bei Rammarbeiten [...] von sehr hohen Energieeinträgen im Bereich der aktiven Zone auszugehen“*. Diesen sehr hohen Energieeinträgen sei *„bei der Festlegung der Sicherheitszone Rechnung zu tragen“*.
- Dies hat nach 6.1 der TA-KRD HH 2017 im Rahmen von Räumkonzept, Gefährdungsanalyse und Betriebsanweisung zu erfolgen, die durch die verantwortliche Person des ausführenden Auftragnehmers zu verantworten ist [KRD HH 2017].
- Die Formulierung der TA-KRD HH 2017 stellt eine Anpassung der früheren Forderung dar, wonach als Sicherheitszone vor der Ausführung von Rammarbeiten eine Bohrlochsondierung im Radius von 10 m um das entsprechende Bauwerk (Pfahl, Spundwand) erforderlich war [KRD HH 2005].

Probleme Untersuchung „Sicherheitszonen“

- Untersuchung Sicherheitszonen in der Praxis nicht umsetzbar.
- Baugrubenumschließungen durch Spundwände, Bohlträgerverbau, Schlitz-/Dichtwände häufig unmittelbar an Grenze Baugrundstück bzw. direkt anschließend an angrenzende Bebauung.
- Rückverankerungen häufig unter Fremdgrundstücken bzw. nah an oder in baulichem Bestand.
- Würde häufig Untersuchung auf fremden Grundstücken erfordern, mit Risiko von Schäden für den jeweiligen Eigentümer und Haftung für die Ausführenden / Veranlassenden.
- I.d.R. nicht zielführend, weil Daten der geophysikalischen Untersuchung wg. Störungen durch baulichen Bestand (Bestandsbauwerke, Leitungsinfrastruktur) nicht oder nur teilweise auswertbar.

Unfälle bei Bauarbeiten 1975 - 2025

Anzahl	Kampfmitteltyp	Nettoexplosivstoffmasse [kg]
7	Granate mit weißem Phosphor (Brand, Nebel)	< 1 (weißer Phosphor)
6	Sprenggranate	< 1
5	Riegelmine 43 / Panzerminen	bis 5
10	Brandbombe INC30 (Anzündsatz weißer Phosphor)	0,3
29	Sprengbombe 100 lb (ca. 50 kg) – 1000 lb (ca. 450 kg)	25 - 250
1	Chemischer Kampfstoff (Übungskampfstoff)	n.a.
2	Unbekanntes Kampfmittel	n.a.
61	SUMME	

Dabei insgesamt 117 Verletzte und 12 Tote.

Unfälle Bombenblindgänger 1975 - 2025

Anzahl	Art der Arbeiten / Baugrundeingriffe
1	Brennschneidarbeiten
2	unbekannte Ursache
2	Abbrucharbeiten (Stemmarbeiten mit Bagger)
3	Fräsarbeiten
3	Aushubarbeiten (Bagger)
4	Nassbaggerung (Saugbagger, Schneidkopf-Saugbagger)
5	Bauschutttaufbereitung (Brecheranlagen)
9	Bohrarbeiten (Bohrpfähle, Rückverankerungen)
29	SUMME

Dabei insgesamt 48 Verletzte und 8 Tote.

Im gleichen Zeitraum 31 spontane Selbstdetonationen Sprengbombenblindgänger 100 – 1000 lb (überwiegend LZZ US M123ff.)

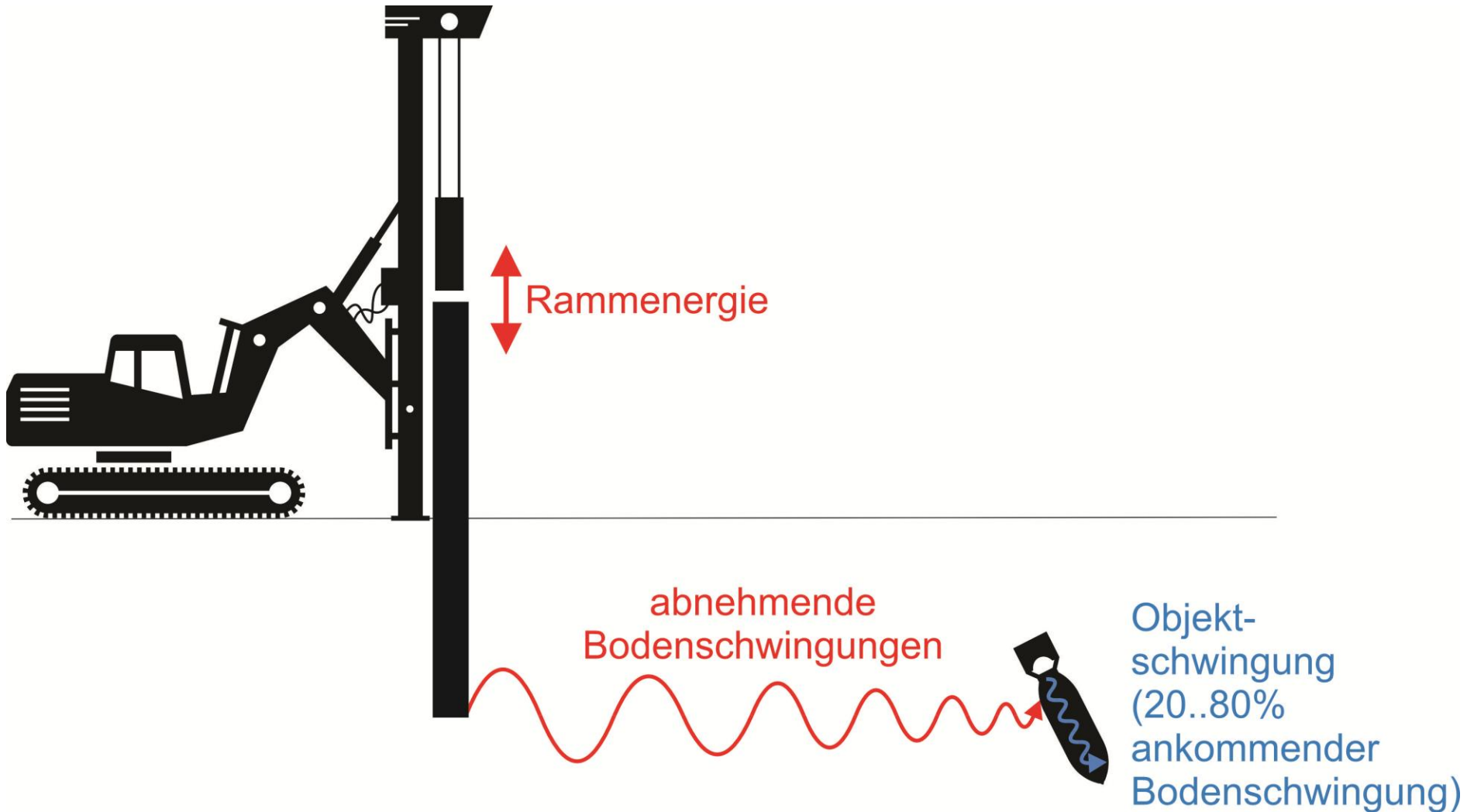
Auswirkungen von dynamischen Verfahren

- Einsatz von rammenden, rüttelnden und vibrierenden Spezialtiefbauarbeiten resultiert in Erschütterungen im Untergrund
- Breiten sich von Erschütterungsquelle im Umfeld aus und werden auf benachbarte bauliche Anlagen übertragen. Die Intensität der Immission an einem Objekt im Umfeld hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, insbesondere
 - Stärke der Quelle (Rammenergie, Frequenz)
 - Abstand des Immissionsortes von der Quelle
 - Baugrundeigenschaften (Festigkeit, Schichtung, Grundwasserstand u.a.)

Schwingungsarten

- Bodenschwingungen → Quelle
- Fundamentalschwingungen → Übertragung aus Bodenschwingungen (typisch 50% (20 .. 80%), Übertragung nimmt mit der (dämpfenden) Masse der Objekte ab)
- Weiche / lockere Böden → Dämpfung
- Harte / dicht gelagerte Böden → gute Übertragung
- Bomben (hohe Masse / Dichte) können näherungsweise als „Fundamente“ betrachtet werden

Übertragung Schwingungen Spezialtiefbau



Typische Bodenschwingungen

- Gewinnungssprengungen: 20-30mm/s @ 100 m
- Schlagrammung Betonpfahl: 6 mm/s @ 20 m
- Vibrationsrammung Spundbohle: 1,5 mm/s @ 14 m
- Rüttelstopfverdichtung: 6 mm/s @ 10 m
- Vibrationsverdichtung Walze 15t: 8-12 mm/s @ 2 m, 2-4 mm/s @ 15m; 1 – max. 40 mm/s in 2 m Entfernung abhängig vom Baugrund
- LKW über Hindernis: 2 – 4 mm/s @ 0 – 2 m
- Abriss, große fallende Gegenstände: bis zu 20 mm/s im Nahbereich

Prognosegleichungen Bodenschwingungen

Rammung	Vibration	$v_R^B = K \frac{\sqrt{E}}{r}$ mit $K = 23,7$
	Schlagammung	$v_R^B = K \frac{\sqrt{E}}{r}$ mit $K = 15,8$ (weicher bzw. lockerer Boden) bis $31,6$ (sehr steifer bzw. dichter Boden)
Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_R^B = K \frac{\sqrt{E}}{r}$ mit $K = 100, E = W/f$
	Vibrationswalze	

E in kNm, r in m, v in mm/s

Quelle: Achmus 2005

Tabelle 1: Prognosegleichungen für die resultierende Bodenschwinggeschwindigkeit

Prognosegleichungen Fundamentalschwingungen

		Wahrscheinlicher Wert (50% Überschreitungs- wahrscheinlichkeit)	Ungünstiger Wert (2,25% Überschreitungs- wahrscheinlichkeit)
Rammung	Vibration	$v_{i,\max}^F = 7,9 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$	$v_{i,\max}^F = 18,52 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$
	Schlagammung (Dieselbär)	$v_{i,\max}^F = 2,45 \frac{\sqrt{E}}{r}$	$v_{i,\max}^F = 3,82 \frac{\sqrt{E}}{r}$
	Schlagammung (Freifallbär)	$v_{i,\max}^F = 11,07 \frac{\sqrt{E}}{r^{1,3}}$	
Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_{i,\max}^F = 4,31 \frac{\sqrt{G}}{r}$	$v_{i,\max}^F = 10,87 \frac{\sqrt{G}}{r}$
	Vibrationswalze		

E bzw. W/f in kNm, r in m, G in t, v in mm/s

Quelle: Achmus 2005

Tabelle 2: Prognosegleichungen für die maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit

Abstand r [m]	Fundamentalschwingung [mm/s] Vibrationsrammung für Energieklasse Vibrationsramme (wahrscheinlicher Wert, 50% Überschreitungswahrscheinlichkeit)				
	E1 (1,0 kNm)	E2 (4,6 kNm)	E3 (6,5 kNm)	E4 (7,9 kNm)	E5 (11,8 kNm)
0,5	16	34	40	44	54
1	8	17	20	22	27
1,5	5	11	13	15	18
2	4	8	10	11	14
2,5	3	7	8	9	11
3	3	6	7	7	9
4	2	4	5	6	7
5	2	3	4	4	5
6	1	3	3	4	5
7	1	2	3	3	4
8	1	2	3	3	3
9	1	2	2	2	3
10	1	2	2	2	3
15	1	1	1	1	2
20	0	1	1	1	1
25	0	1	1	1	1

Abstand r [m]	Fundamentalschwingung [mm/s] Vibrationsrammung für Energieklasse Ramme (ungünstiger Wert, 2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit)				
	E1 (1,0 kNm)	E2 (4,6 kNm)	E3 (6,5 kNm)	E4 (7,9 kNm)	E5 (11,8 kNm)
0,5	37	79	94	104	127
1	19	40	47	52	64
1,5	12	26	31	35	42
2	9	20	24	26	32
2,5	7	16	19	21	25
3	6	13	16	17	21
4	5	10	12	13	16
5	4	8	9	10	13
6	3	7	8	9	11
7	3	6	7	7	9
8	2	5	6	7	8
9	2	4	5	6	7
10	2	4	5	5	6
15	1	3	3	3	4
20	1	2	2	3	3
25	1	2	2	2	3

Schlussfolgerungen 1

- Bombenblindgänger mit chemisch-mechanischen Langzeitzündern u.a. Zünder mit erhöhten Gefahrenmomenten (z.B. vorgespannte Uhrwerkszünder, Aufschlagzünder mit in das Zündhütchen eingestochener Zündnadel) sind auch so täglich Erschütterungen ausgesetzt (Verkehr, Abriss, fallende Gegenstände, etc.).
- Es ist kein Unfall mit einem Bombenblindgänger mit chemisch-mechanischem Langzeitzünder (oder einem anderen Bombenblindgänger) durch Rammarbeiten oder Erschütterungen in den letzten 50 Jahren bekannt. Alle bekannten Unfälle mit Bombenblindgängern wurden durch direkte Einwirkung verursacht (insbesondere Großbohrgeräte).
- Untersuchung von Sicherheitsbereichen für Bauwerke des Spezialtiefbaus über mehrere Meter ist i.d.R. praktisch nicht umsetzbar

Schlussfolgerungen 2

- Prognosegleichungen für Fundamentalschwingungen tendieren zu Überschätzung der durch Spezialtiefbauverfahren erzeugten Erschütterungen und sind auf den Nahbereich (Nahfeld) nur teilweise anwendbar.
- Starke, über das „normale, alltägliche“ Maß hinausgehende Erschütterungen werden innerhalb der ersten 1 – 2 m abgebaut → dieser Bereich ist bei Anwendung einer Doppelreihe von Bohrlöchern für eine Spundwand oder 3 Bohrlöchern für einen Bohrpfahl untersucht.
- Daher auch bei „normalem“ Hintergrundverdacht auf chemisch-mechanische Langzeitzünder kein über das Bauwerk hinausgehender Untersuchungsbedarf, keine Gefahrerhöhung durch Spezialtiefbauarbeiten im urbanen Bereich.

Schlussfolgerungen 3

- In **Einzelfällen** kann eine weitergehende Untersuchung sinnvoll sein, z.B.
 - in Bereichen mit starkem Verdacht auf LZZ (z.B. Oranienburg, Schützenplatz Göttingen, Salzburg)
 - bei sehr großem Energieeintrag (z.B. Bau Seehäfen mit sehr großen Dalben, wenn z.B. Schlagrammen mit > 100 kNm Schlagenergie eingesetzt werden)
- I.d.R. wird dabei keine Untersuchung über viele Meter erforderlich, sondern die Ergänzung einzelner Bohrreihen ausreichend sein