

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Haupt, Wolfgang

Sackungen im Boden durch Erschütterungseinwirkungen

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102776>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Haupt, Wolfgang (1995): Sackungen im Boden durch Erschütterungseinwirkungen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 72. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 56-59.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Sackungen im Boden durch Erschütterungseinwirkung

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Haupt
LGA Bayern, Nürnberg

Die schadensverursachende Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke kann man in einerseits direkte und andererseits indirekte Erschütterungsschäden unterteilen. Bei der Einwirkung von internen oder externen Erschütterungsquellen werden die einzelnen Teile des Gebäudes in unterschiedlicher Weise zu Schwingungen angeregt. Dadurch entstehen Verformungen, die mit dynamischen Spannungen in den Bauteilen einhergehen. Wenn diese Spannungen die Festigkeitsgrenze des Materials überschreiten, kommt es zu Rissen. Dieser Mechanismus der Schadensentstehung wird als **direkte** dynamische Einwirkungen auf das Haus bezeichnet.

Daneben gibt es die **indirekten** Schäden, die durch die Wirkung der Erschütterungen auf den Boden entstehen. Für das Gebäude handelt es sich immer um Setzungsschäden. Wenn starke Schwingungen ausreichend lange auf einen geeigneten Boden einwirken, kann es bei entsprechender Auflast durch Umlagerung des Korngerüstes zu einer Volumenverminderung des Bodens kommen. Dieser wohlbekannte Effekt wird z. B. bei der Herstellung der dichtesten Lagerung von Sanden auf dem Rütteltisch im Labor (DIN 18126) ausgenutzt. Die Verringerung des Volumens zeigt sich an der Erdoberfläche als Absenkung bzw. an Gebäudefundamenten als Setzung an. Der Vorgang wird als Sackung bezeichnet und tritt nur in Böden ohne oder mit geringer Kohäsion auf. Besonders sackungsempfindlich sind einkörnige Sande [1]. Zwei unterschiedliche Vorgänge sind zu beachten:

- Schwingungseinwirkung auf den Boden unter Gebäudefundamenten
- Sackungen beim Niederbringen von Spundbohlen mittels Vibrationsbär

Im ersten Fall wird das Verhalten des Bodens, der sich unterhalb von Gebäudefundamenten befindet, unter Schwingungsbeanspruchung betrachtet. Eine einfache rechnerische Abschätzung zeigte die Größenordnung der dynamischen Schubspannung im Boden bei der Ausbreitung von sinus-förmigen Schwingungen. Mit den Annahmen:

Amplitude der Schwinggeschwindigkeit	$v_0 = 10 \text{ mm/s}$
Dichte des Bodens	$\rho = 1,7 \text{ t/m}^3$
Scherwellengeschwindigkeit	$c_s = 200 \text{ m/s}$

erhält man die Amplitude der dynamischen Schubspannung zu

$$\tau_0 = v_0 \cdot \rho \cdot c_s = 3,4 \text{ kN/m}^2.$$

Diese Spannung ist so klein, daß bereits eine geringe Kohäsion die relative Verschiebung von Körnern untereinander verhindert, d. h. daß die Verdichtung des Bodens nicht eintritt. Bei schwächeren Erschütterungen bewirkt dies oft schon die scheinbare Kohäsion in feuchtem Sand. Gebäudeschäden aus Sackungen dieser Art sind daher sehr selten zu beobachten und dürften allenfalls in sehr locker gelagerten, gleichförmigen Sanden bei langandauernder Erschütterungswirkung auftreten.

Ein anderer Vorgang ist beim Einrütteln von Spundbohlen mittels Vibrationsbär zu beobachten. Hierbei wird die Bodenstruktur an der Spitze der Bohle durch die starke Erschütterung völlig aufgelöst und ermöglicht so ein leichtes Eindringen der Bohle, ähnlich wie bei einem Tiefenrüttler. Das ist - neben der Verminderung der Bodenreibung entlang der Bohle - ein erwünschter Effekt. Hierbei wird der Boden in der Umgebung der Bohlenspitze stark

verdichtet. Man kann diesen Vorgang jedoch nicht so steuern, daß ein Übermaß von Bodenverdichtung vermieden wird. Dadurch entsteht seitlich und oberhalb dieser verdichteten Zone ein Auflockerungsbereich, der nach oben wandert, siehe Bild 1. Dieser sogenannte ESB-Effekt (Erschütterungsbedingte Sackungen im Boden) führt dann an nahe gelegenen Gebäudefundamenten zu lokalen Setzungen.

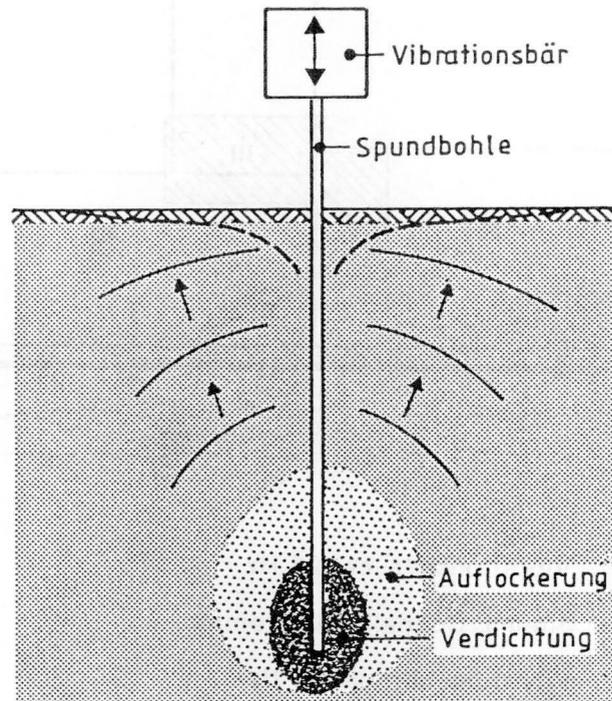


Bild 1 Sackung des Bodens beim Einrütteln von Spunbohlen (ESB-Effekt)

Im Gegensatz zu den direkten Erschütterungsschäden treten die Folgen des ESB-Effektes oft verzögert auf: Es kann vorkommen, daß erste Setzungsrisse in dem betroffenen Haus erst nach Stunden sichtbar werden und die volle Ausbildung des Schadens Wochen oder gar Monate in Anspruch nimmt. Dies gilt insbesondere in Gegenwart von hoch liegendem Grundwasser.

Die Vorgänge sollen an einem Beispiel verdeutlicht werden. In Bild 2 ist der Lageplan von zwei Häusern am Ufer der Schwabach in der gleichnamigen Stadt dargestellt. Die Häuser sind nicht unterkellert, sie sind vermutlich auf Steinpackungen und Holzpfählen gegründet. Der Boden besteht unter einer bindigen, weichen Schicht ab ca. 3 m bis in größere Tiefen aus Fein - Mittelsand. Das Grundwasser steht in Höhe GOK an.

Im Zuge der Verlegung eines Abwasserkanals wurde eine Spundwand bis auf ca. 6 m Tiefe niedergebracht, die auf dem Plan von links kommend auf die beiden Gebäude zu eingebracht wurde. Zunächst wurde auf dem Abschnitt I ein Vibrationsbär älterer Bauart eingesetzt. Als sich am Haus A im schraffierten Bereich I starke Schäden - Horizontalrisse bis ca. 10 mm Breite - an der Fassade und an den Fundamenten zeigten, wurde im weiteren Verlauf der Wand ein pneumatischer Schnellschlagbär verwendet (Abschnitt II). Hierbei traten keine weiteren Schäden ein. Wegen des großen Lärms und des langsamen Baufortschritts wurde vor dem Nachbargebäude B wiederum ein Rüttelbär, allerdings moderner Bauart, eingesetzt (Abschnitt III). Hierbei traten in den schraffierten Bereichen III, dort wo das Haus B mit dem Nachbargebäude und einem Hinterhaus zusammengebaut ist, starke Risse auf, die im Dachbereich bis zu 40 mm, in Geländehöhe ca. 2 bis 3 mm breit waren. Hieraus war zu schließen, daß sich das ganze Gebäude B, das übrigens selbst kaum Schäden erlitten hat, an der Vorderseite rund 20 mm gesetzt haben mußte und dadurch als

Ganzes nach vorne gekippt war. Nach Abschluß der juristischen Auseinandersetzungen wird das Haus A, bei dem es sich um ein Hotelgebäude handelt, voraussichtlich demnächst abgerissen und neu errichtet. Die Versicherungen werden rund 1 Mio. DM zu zahlen haben.

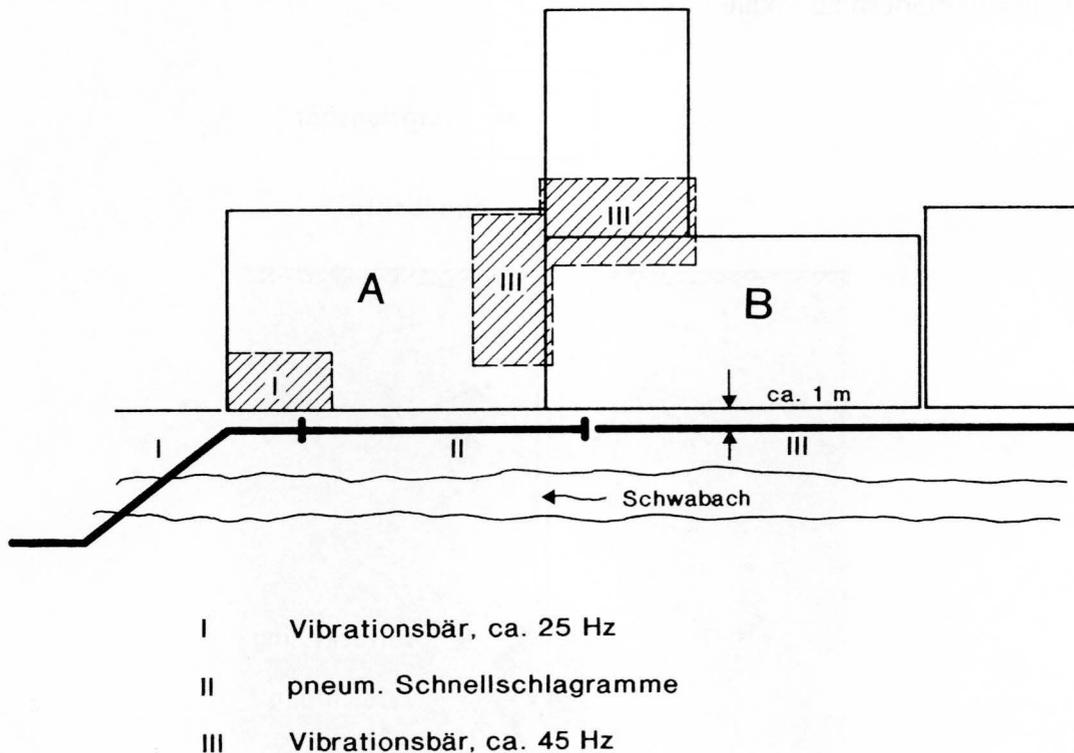


Bild 2 Schadensfall an einem Gebäude in Schwabach durch ESB-Effekt; Lageplan

Im vorliegenden Fall ist der Schaden zweifelsfrei auf den ESB-Effekt zurückzuführen, weil die Besitzer des Hauses A die Entstehung von Rissen in ihren Räumen eindeutig in zeitlichen Zusammenhang mit dem Einsatz der Vibrationsbären bringen konnten. Auch entstanden die Risse, als der Rohrgraben vor dem Haus B noch nicht ausgehoben war. Diese kausale Zuordnung ist allerdings häufig nicht möglich. Wenn bei Kanalbaumaßnahmen im innerstädtischen Bereich erst nach Beendigung der Bauarbeiten eine Schadensbegutachtung erfolgt, kann meist nicht mehr festgestellt werden, ob die Ursache von Setzungsrisen in benachbarten Gebäuden im ESB-Effekt oder in anderen Fehlern der Bauausführung (Bodenentzug bei Wasserhaltung, schlechte Absprießung der Spundwände, zu früher Rückbau, schlechte Verdichtung der Grabenverfüllung) liegt. Die genannten Ausführungsfehler rufen ähnliche Schadensbilder hervor. Daher ist der ESB-Effekt als Schadensursache bisher relativ wenig bekannt.

Bei der derzeit in Überarbeitung befindlichen Norm DIN 4150, Teil 3, beabsichtigt man, die in Bild 3 wiedergegebenen Zeichnungen in den informativen Anhang aufzunehmen mit der Empfehlung, bei sackungsgefährdetem Boden die sich aus den Winkeln ergebenden Abstände einzuhalten. Das erhöhte Sackungsrisiko bei Boden im Grundwasser wird durch einen größeren Winkel berücksichtigt. In die Norm wird auch ein Hinweis auf Verflüssigungsvorgänge aufgenommen, die allerdings als Schadensursache an Gebäuden bei künstlich erzeugten Schwingungen praktisch keine Rolle spielen.

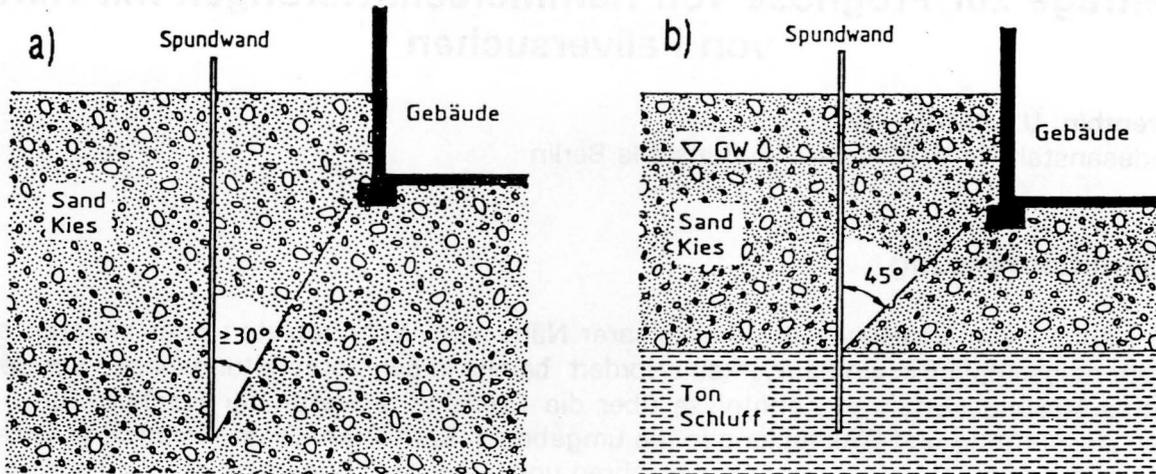


Bild 3 In der Neuausgabe von [2] vorgesehene Empfehlung zur Vermeidung des ESB-Effektes

a) ohne Grundwasser

b) mit hochstehendem Grundwasser

Literatur

- [1] KTA 2201.2 (1982): Sicherheitstechnische Regel des KTA, Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 2: Baugrund. Carl Heymanns Verlag KG, Köln
- [2] DIN 4150, Teil 3 (1986): Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin