

Erschütterungsprognose in Theorie und Praxis

**Im Immissionsschutz werden verschiedene
Prognoseverfahren eingesetzt –
ein nicht alltägliches ist die Erschütterungsprognose.**

Luftschallimmissionsprognosen haben sich in einer Vielzahl von Projekten als zuverlässig und hilfreich erwiesen – allerdings führen auch hier meteorologische Besonderheiten mit zunehmendem Abstand zwischen der Quelle und einem Immissionsort zu Streuungen der vorherberechneten Pegel um einige „dB“. Dagegen verhält es sich mit der Präzision bei der Erstellung von Erschütterungsprognosen im Erdreich unter Umständen völlig anders. Die Bandbreite der dynamischen Eigenschaften des Bodens – es handelt sich bei dem Medium z.B. um weichen Schlamm, Sand, Kies, massives Gebirge etc. – auch das Grundwasser, Materialsprünge usw. beeinflussen die Weiterleitung von Schwingungen. Diese Einflüsse sind meistens deutlich größer als bei der Ausbreitung von Wellen in Luft. Die Vorhersagegenauigkeit ist also nicht nur abhängig von der geometrischen Ausbreitungsdämpfung. Erschwerend kommt hinzu, dass sich nicht nur Longitudinalwellen wie in Luft ausbreiten – es handelt sich um weitere Wellenarten (Oberflächenwellen etc.), die sich unterschiedlich auf Schwingungsübertragung auf Gebäude auswirken. Die sich ergebenden Streuungen sind groß, so dass die Sicherheit der Ergebnisse bei komplexen Bodenbeschaffenheiten und Abständen über einige Hundert Meter unbefriedigend sein können.

Je nach Situation und Problemstellung hat das Ergebnis der Prognose und damit deren Qualität Auswirkungen auf bestehende Betriebe mit erschütterungsintensiver Produktion, wenn Immissionskonflikte bestehen oder diese im Rahmen von Erweiterungen vermieden werden sollen. In der Regel sind die erforderlichen Maßnahmen zum Erschütterungsschutz aufwändig und damit teuer. Die Planungs- und damit auch die Kostensicherheit ist daher von zentralem Interesse.

Es existiert ein allgemein anerkanntes, einfaches Prognoseverfahren: Die DIN 4150 Teil 1 „Erschütterungen im Hochbau“ liefert ein im wesentlichen auf empirischen Erkenntnissen basierendes Rahmenverfahren für Erschütterungsprognosen. KCE hat dieses Verfahren, bei dem eine Auswahl von Ausbreitungsparametern besteht, mehrfach eingesetzt. Nachmessungen haben gezeigt, dass die Übereinstimmung zwischen der theoretischen Prognose nach DIN 4150 und dem realen gemessenen Ergebnis von guter Übereinstimmung bis hin zu mehreren 100% (ungünstigen) Abweichung führen kann. Diese zum Teil überraschend große Bandbreite war in einigen Fällen nicht hinnehmbar – daher haben wir ein kombiniertes Verfahren entwickelt.

Kernpunkt dieses KCE eigenen Prognoseverfahrens sind die Bestimmung der Emissionsdaten sowie die ortstypischen, individuellen und geeigneten Ausbreitungsparameter. Sie werden im Zuge einer angemessenen hohen Planungssicherheit an die vor Ort individuell herrschenden Bedingungen experimentell durch Messungen bestimmt.

Dazu verwenden wir ein Impulsverfahren, bei dem ein mehrere Tonnen schweres, mit einem Beschleunigungssensor bestücktes Gewicht mehrfach auf das betroffene Erdreich abgeworfen wird. Das Ergebnis sind definierte Kraftimpulse, die aus bekannter Masse und der gemessenen

ERSCHÜTTERUNGEN

frequenzabhängigen Beschleunigung berechnet werden. Die Ausbreitung der sich einstellenden, ortsabhängigen und mehrdimensionalen Bodenwellen wird auf einem Messpfad an der Oberfläche aufgenommen. Neben der Schallgeschwindigkeit werden abstands- und frequenzabhängige Bodenparameter gewonnen. In einem weiteren Verfahren wurden Redundanzen geprüft, in dem eine Ausbreitungsfunktion für die periodischen Anregung für den „sogenannten eingeschwungenen Zustand“ mittels einem Unwuchterreger ermittelt wird. Diese für den Standort individuellen Parameter sind die wesentlichen Informationen.

Mit Hilfe dynamischer Kennwerte des Maschinenherstellers – diese Daten sind in der Regel zu erhalten – liefern FEM-Berechnungen die emissionsseitigen Fundamentalschwingungen. Dazu werden in das Erdreich eingebettete Mehrmassenschwinger, die aus der Maschine und dem Betonfundament bestehen, modelliert. Auch die Ankopplung des Fundamentes an das Erdreich ist abhängig von dessen dynamischem E-Modul und der Dämpfung. Mehrere Ansätze zur Bestimmung des E-Moduls stehen zur Verfügung und der mit den Messdaten am besten korrelierende wird verwendet und hierauf aufbauend die Vergrößerungsfunktion ermittelt. Auch dieses Vorgehen erfolgt mittels dem FEM-Modell. Die weiteren Berechnungsschritte entsprechen weitgehend denen der DIN 4150 Teil 1.

Bei Planungen zum Erschütterungsschutz ist eine vorherrschende Meinung, dass viel Masse auch viel hilft. Das ist häufig nicht nur materialintensiv und teuer – denn es kann sich unter Umständen um mehrere Tausend Tonnen Beton handeln. Die erzielbare Dämpfung verändert sich dadurch kaum. Ohne Abbau von Schwingungsenergie durch Dämpfung breiten sich die Schwingungen ungehindert aus. Alleine große Massen führen also nicht immer und automatisch zu einem Abbau von Schwingungsenergie – es wird eine definierte Dämpfung benötigt.

Neben einer Massenerhöhung ist der Einsatz von Bohrpfählen interessant. Da Bohrpfähle über die Mantelreibung an das Erdreich angekoppelt sind, dämpfen sie. Die Dämpfung wird durch die dynamisch erregten Relativbewegungen zwischen dem Fundament, den Bohrpfählen und dem Erdreich beeinflusst. Eine räumlich besonders dichte Anordnung der Bohrpfähle führt dazu, dass das zwischen den Bohrpfählen eingebettete Erdreich konphas zu den Bohrpfählen tendenziell mitbewegt wird und die gewünschte Dämpfung fehlt. Die Bohrpfahlabstände werden daher so optimiert, dass die Dämpfung zwischen ihnen und dem angekoppelten Erdreich möglichst groß wird.

Die zusätzliche Fläche der Bohrpfahlköpfe wirkt sich nur geringfügig auf die Gesamt-Fundamentsteifigkeit aus. Die Bohrpfähle führen hier zu der gewünschten Dämpfung und Massenankopplung des sie umgebenden Erdreichs.

Die Datenverarbeitung liefert mit dem FEM-Modell und Ersatzfedersteifigkeiten c , eine Resonanzfrequenz f , eine Dämpfung D sowie die daraus resultierende Schwinggeschwindigkeit v an der Quelle und somit auch am Immissionsort.

Dieses Verfahren wurde bei einem Automobilhersteller an blechverarbeitenden Großraumsaugerpressen mit bis zu 80.000 kN Presskraft angewendet. Auch bei schwingungserregenden Ausrüstungen in Eisengießereien mit Abständen von bis zu 700 m zwischen Betrieb und den Immissionsorten war es erfolgreich.

Die Überprüfung der Prognosen erfolgte durch Erschütterungsmessungen an den dann errichteten, neuen Anlagen. Die Ergebnisse zeigten, dass das KCE – eigene Impulsverfahren lediglich eine Abweichung von 10% bis 15% zur Prognose hatte.

Wären die Prognosen gemäß der DIN 4150 alleine die Grundlage für die Planungen und das Genehmigungsverfahren gewesen, wären für die Betriebe unüberschaubar hohe Investitionen notwendig geworden. Die Mehrkosten zum Erschütterungsschutz hätten die Neubaumaßnahme voraussichtlich nicht gerechtfertigt.

Es lohnt sich also, die Verhältnisse vor Ort genauer zu betrachten.

ERSCHÜTTERUNGEN

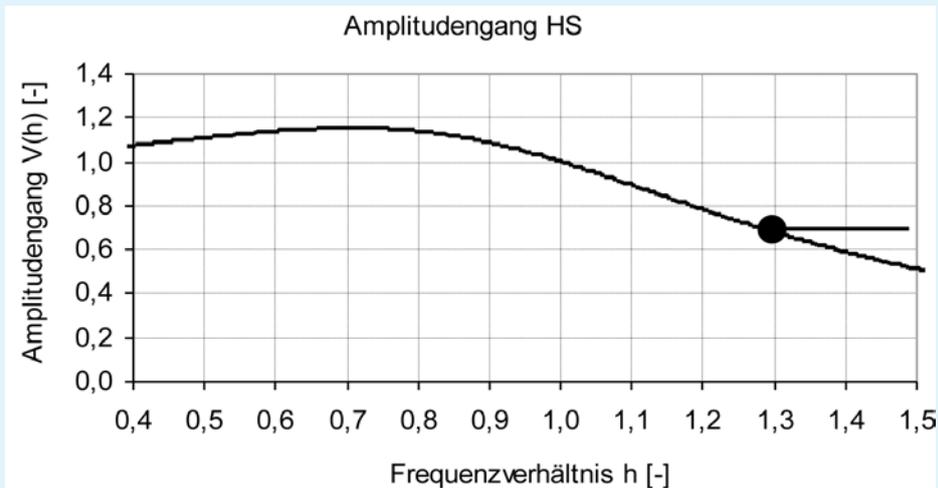


Abbildung 1: Berechnete Vergrößerungsfunktion bei angesetzter Dämpfung $D = 0,5$.

ERSCHÜTTERUNGEN

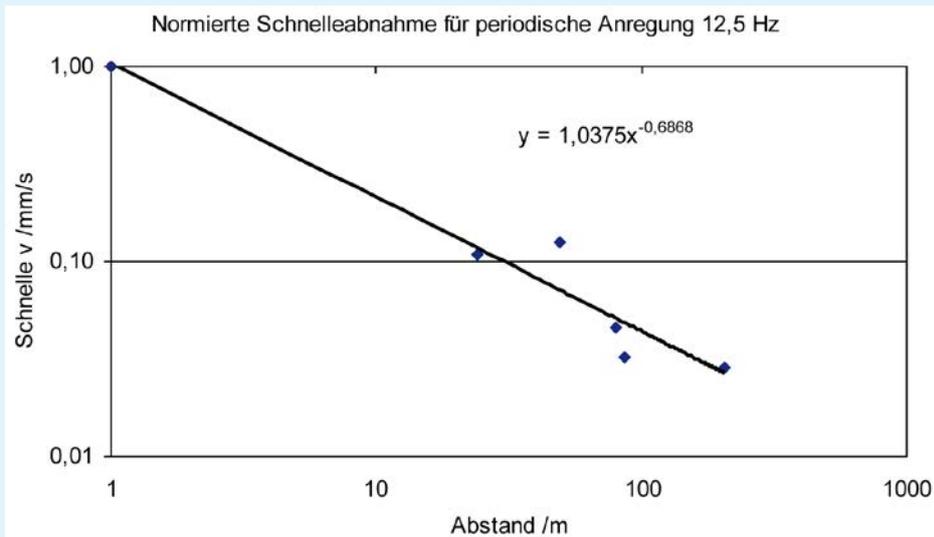


Abbildung 2: Normierte Ausbreitungsfunktion



Kontakt:

Dipl.-Ing. Patrick Waning

Telefon: +49 5971 9710-27

p.waning@koetter-consulting.com