

Erschütterungsüberwachung beim Sprengen des Frostkörpers für die Eisenbahnunterführung in Weingarten

Vibration control during the blast of a frozen body for the construction of a subway in Weingarten

Contrôle des vibrations lors du tir d'un corps congelé pour le creusement d'un tunnel sous la voie ferrée à Weingarten

von Oswald Klingmüller und Olaf Hoyer

Inhalt

Beim Untertunneln von Bahntrassen wird heute oft ein Bauverfahren angewandt, bei dem eine Stahlbetonkonstruktion durch den Bahnkörper gepresst wird. Der Boden unterhalb des Gleiskörpers muss zuvor stabilisiert werden, was durch Vereisen geschehen kann. Der so entstandene Gefrierkörper ist hart und zäh und muss vor dem nächsten Pressschritt aufgelockert werden, was mit mechanischem Gerät schwierig ist.

Vor Jahren wurde der Versuch unternommen, den Frostkörper durch Sprengungen aufzulockern. Diese Arbeiten waren erfolgreich und wurden deshalb in den letzten Jahren mehrfach bei derartigen Baumaßnahmen eingesetzt. Die Autoren berichten über das Sprengen beim Bau der Unterführung in Weingarten und die begleitende Erschütterungsüberwachung.

Summary

For the construction of subways beneath railways, nowadays very often a working process is used, by which a steel reinforced concrete construction is pressed through the banking of the railway line. The ballast beneath the railway-tracks must first be stabilized, which can be done by freezing the ground. The so obtained frozen body is hard and must be loosened before the next pressing operation, which is, however, difficult to do by mechanical means.

Years ago, trials have been run to loosen up the frozen body by blasting. This process has been very successful and repeated several times in the last years for such works. The authors comment the blasts during construction of the subway in Weingarten, as well as vibration control during the blasts.

Résumé

Lors du creusement de tunnels sous la voie ferrée, on utilise de nos jours souvent un procédé par lequel une construction en béton armé est pressée à travers du terrassement de la voie. Le ballast sous les rails doit d'abord être stabilisé, ce qui peut se faire par congélation du sol. Le corps congelé ainsi obtenu est dur et doit être ameubli avant l'opération de compression suivante, qui est toutefois difficile à réaliser par des moyens mécaniques.

Dans le passé, des essais d'ameublissement du corps congelé par tir à l'explosif ont été entrepris. Ce procédé a été couronné de succès et répété à plusieurs reprises dans les dernières années dans ce genre de travaux. Les auteurs commentent les tirs à l'explosif lors de la construction du passage souterrain à Weingarten, ainsi que le contrôle des vibrations réalisé lors de ces tirs.

Einleitung

Beim Ersatz schienengleicher Bahnübergänge durch den Bau einer Unterführung hat sich das Durchpressen eines Stahlbetonrahmens durch den Bahndamm unterhalb des Gleiskörpers als am wenigsten störend für den Zugbetrieb und damit als am wirtschaftlichsten erwiesen. Um die Unterführungskonstruktion bei laufendem Bahnbetrieb einpressen zu können, lagert eine spezielle statische Konstruktion aus Schwellenersatzträgern unter den Gleisen die Verkehrslasten auf den Bahndamm und den Baukörper um. Dadurch wird eine sichere Abtragung

der hohen konzentrierten Lasten erreicht.

Das Gleisbett liegt mit dem Schotter meist auf aufgeschüttetem Boden und nur in wenigen Fällen auf gewachsenem Fels auf. Der Bahnkörper unterhalb der Gleise muss deshalb vor Beginn der Bauarbeiten zunächst stabilisiert werden. Das kann z. B. durch das Vereisen einer etwa 1,5 m bis 2,0 m dicken Bodenschicht unterhalb der Gleise geschehen.

Der vereiste Boden ist zäh und hat eine hohe Festigkeit. Er lässt sich deshalb nur schwer mit Felsmeißeln

oder ähnlichen mechanischen Geräten beseitigen.

Um den Stahlbetonrahmen vorpressen zu können, muss der vereiste Boden für den nächsten Pressschritt aufgelockert und beseitigt werden. Mit Rücksicht auf die Beschleunigung dieser kritischen Bauphase im Interesse des Zugverkehrs haben sich Auflockerungssprengungen im Gefrierkörper bewährt (Bild 1).

Über eine derartige Arbeit an der Bahnstrecke Frankfurt - Basel wurde 1992 in dieser Zeitschrift berichtet [1].

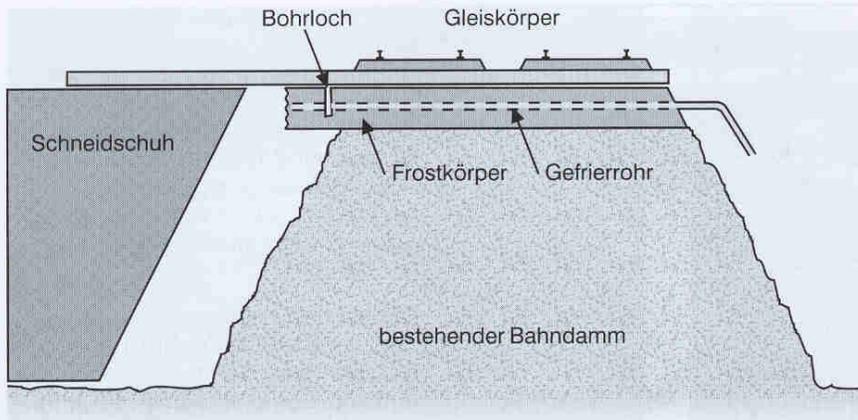


Bild 1. Prinzip des Durchpressens

Wenn Sprengungen in größerer Entfernung von bebautem Gebiet vorgenommen werden, sind die von ihnen ausgelösten Erschütterungen von geringem Interesse. Anders sieht es aus, wenn zu schützende Bauwerke in der Nähe der Sprengstelle liegen. Das war z. B. bei der Untertunnelung des Bahnkörpers in Steinbach im Jahre 1998 der Fall.

Dort musste die bestehende ältere Unterführung direkt neben der Durchpressung für den neuen Tunnel bis zu deren Fertigstellung be-

nutzbar bleiben. Zur Überwachung der Sprengarbeiten und als Beweissicherung wurden dabei die Sprengerschütterungen auf dem Widerlager der Unterführungskonstruktion ge-

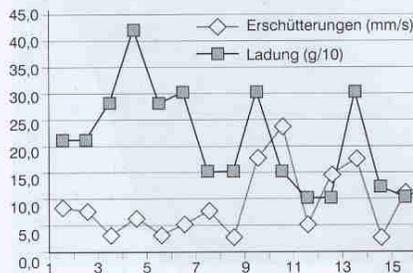
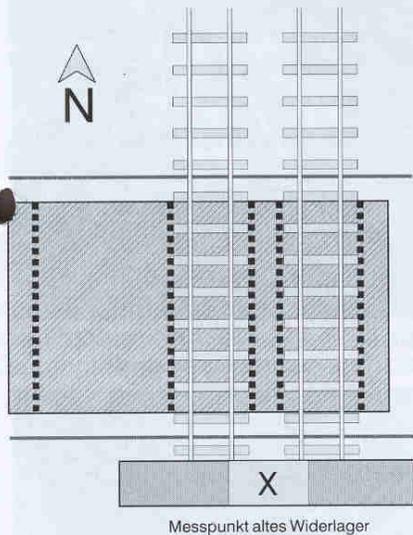


Bild 2. Lageplan und Erschütterungswerte in Steinbach

messen. Die Ergebnisse der damaligen Messungen wurden zur Erschütterungsprognose für die Sprengungen in Weingarten herangezogen und für diesen Beitrag ausgewertet (Bild 2).

Die Bahnunterführung Weingarten

Bild 3 zeigt eine Ansicht der Baustelle in Weingarten. Zum Vereisen des Bodens wurden - ähnlich wie beim Schachtabteufen in Wasser führendem Gebirge - unter den Gleisen so genannte Gefrierrohre in den Boden unterhalb der Gleise verlegt, in die Stickstoff mit einer Temperatur von -196°C eingeleitet wurde. Dabei entsteht dann eine plattenförmige Frostplatte. In Weingarten war sie in Gleisrichtung etwa 12 m breit, 16 m lang und etwas über 2 m dick. Im Bild 4 ist die Eisbildung

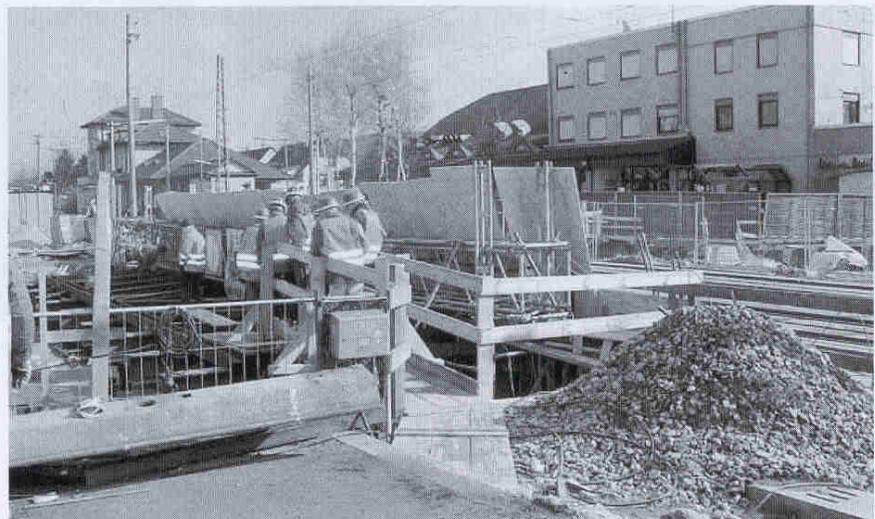


Bild 3. Ansicht der Baustelle in Weingarten



Bild 4. Eisbildung an der Erdoberfläche

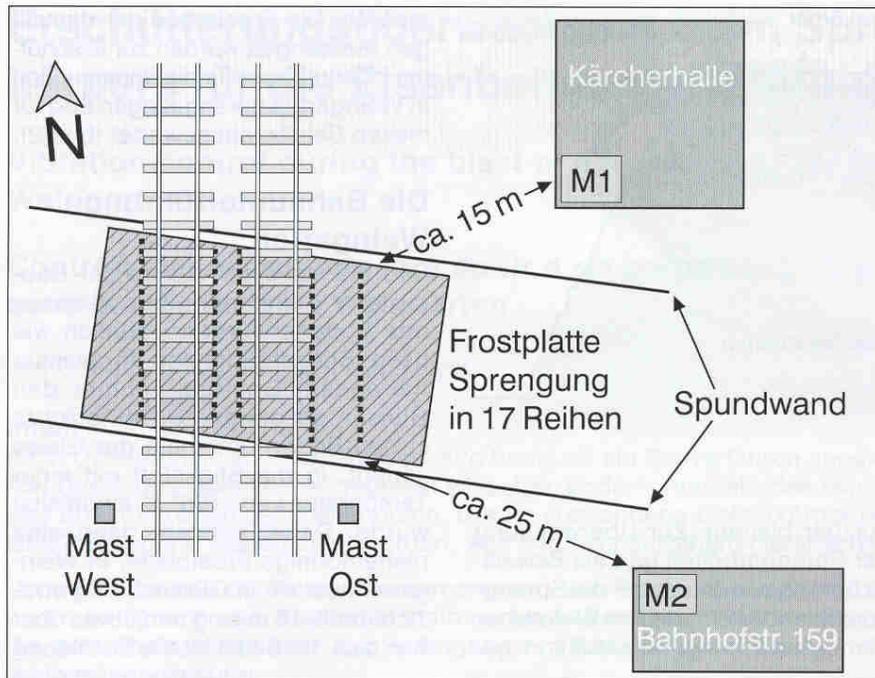


Bild 5. Lageplan der Frostplatte und der Messpunkte mit Angabe der Entfernungen von der letzten Sprengreihe

an der Oberfläche zu erkennen. Bild 5 zeigt den Lageplan der Baustelle.

Sprengungen im Frostkörper

Bohrparameter

Für das Sprengen im Frostkörper hat sich ein Bohrschema bewährt, das zuvor schon in mehreren anderen Fällen zu guten Sprengergebnissen führte:

Bohrlochabstand: 0,6 m bis 0,8 m,
Vorgabe: 0,8 m bis 0,9 m,
Bohrlochtiefe: 1,8 m bis 2,0 m,
entsprechend der Dicke der Frostplatte und der Überlagerung durch das Schotterbett.

Diese leicht variierenden Maße erklären sich aus der Tatsache, dass die Sprenglöcher nur zwischen den Trägern der Hilfskonstruktion, den Gefrierrohren und den Gleisen hergestellt werden können.

Herstellen der Sprengbohrlöcher

Die Sprenglöcher wurden mit Hilfe eines + 80° C heißen Hochdruckwasserstrahls mit 1.800 bar Druck ausgespült. Ihr Durchmesser betrug 70 mm bis 100 mm (Bild 6). Um ein Zufallen der Löcher durch den Bahnschotter zu verhindern, wurde sofort nach dem Ausspülen ein Kunststoffrohr mit einem Innendurchmesser von 55 mm eingeschoben. Für eine Teilsprengung wurden bis zu 18 Sprenglöcher benötigt.

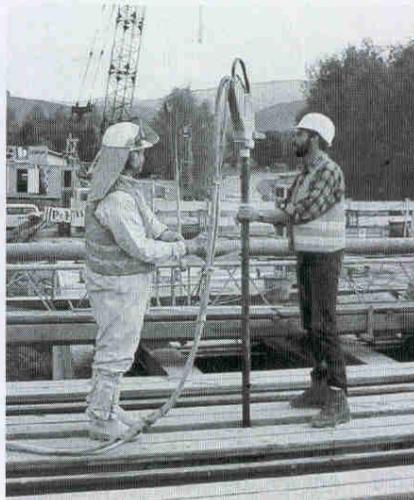


Bild 6. Herstellen der Bohrlöcher mit dem Hochdruckwassergerät

Sprengladungen

Als ein für diese Arbeit ideales Sprengmittel hat sich die Sprengschnur Supercord 100 bewährt. Wegen der hohen Detonationsgeschwindigkeit von Nitropenta entsteht ein starker Detonationsstoß, der den Frostkörper aufreißt, ohne ihn fortzuschleudern. Die Lademenge je Meter ist im Vergleich zu einer Ladesäule aus Patronen gering und damit auch die Menge der bei der Detonation entstehenden Schwaden.

Die Sprengschnurlänge wurde um 20 cm geringer gewählt als die jeweilige Bohrlochtiefe. Die Sprengschnurenden wurden sofort nach dem Ablängen mit Isolierband ver-

schlossen, um ein Ausrieseln von Nitropenta zu verhindern. Dann wurde der Zünder an der Sprengschnur angebracht und die fertige Sprengladung in eine Isolierschale aus Schaumstoff mit 45 mm Außendurchmesser gelegt. Die Schale erleichtert das Einführen der Ladungen und dient gleichzeitig zur Isolation (Bild 7).

Die Höchstlademenge je Bohrloch und Zündzeitstufe betrug 180 g (entsprechend 1,8 m Supercord 100) und die Gesamtlademenge je Teilsprengung maximal 3,24 kg. Die Bilder 8a und 8b zeigen das Laden der Bohrlöcher.

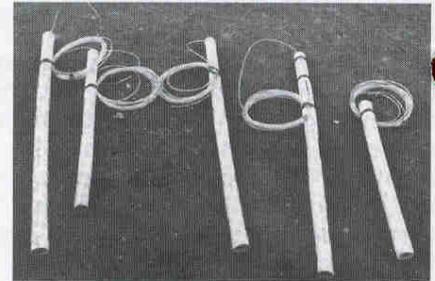


Bild 7. Die Sprengladungen in Schaumstoffschalen

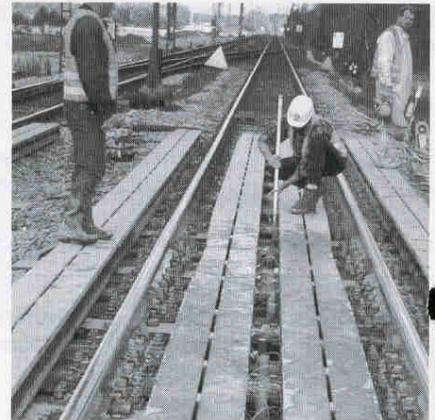


Bild 8a. Laden der Bohrlöcher zwischen den Gleisen

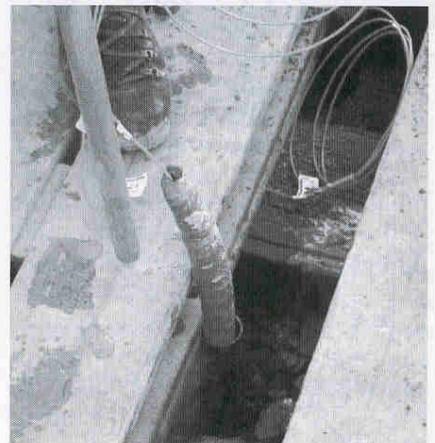


Bild 8b. Die Sprengladung im Kunststoffrohr von 55 mm Durchmesser



Bild 9a. Sprengergebnis: der aufgelockerte Sprengkörper



Bild 9b. Sprengergebnis



Bild 9c. Austritt von Stickstoffdämpfen aus den Gefrierrohren nach dem Sprengen



Bild 9d. Deutliche Bohrlochspuren nach dem Beräumen der Sprengstelle

Zünden der Sprengladungen

Da die Bahnstrecke elektrifiziert ist, wurden zum Zünden der Sprengschnurladungen die nichtelektrische DYNASHOC-Zünder eingesetzt. Die Anzündschläuche der Zünder wurden in zwei Bündeln unter den Gleisen zusammengefasst und eine Leitsprengschnur (5 g Nitropenta/m) bis außerhalb der 10-m-Zone geführt, weil die UVV Sprengarbeiten den Einsatz elektrischer Brückenzünder im Umkreis von 10 m bei elektrifizierten Bahnstrecken verbietet (Bild 10). Kurz vor der Sprengung wurde an der Sprengschnur ein elektrischer HU-Zünder befestigt, der dann mit der Zündmaschine gezündet wurde.

Zum Abdecken der Sprengstelle wurden 2 cm dicke Bautafeln von 2,5 m Länge und 1,5 m Breite kurz vor der Sprengung in den Zugpausen über die Gleise gelegt, so dass ein ausreichender Entlastungsraum für die Sprengschwaden zwischen Abdeckung und Bohrlochansatzpunkt verblieb. Bei der geringen Lade- und

Schwadenmenge wurde so ein Streuflug sicher verhindert. Nach dem Sprengen konnten die Bautafeln leicht und schnell wieder entfernt werden. Die Bilder 9a bis 9d zeigen das Sprengergebnis.

Sprengerschütterungen

Die Eisenbahnunterführung in Weingarten wurde in Verlängerung der Bahnhofstraße in der Nachbarschaft bestehender Bebauung hergestellt.



Bild 10. Zündschläuche der DYNASHOC-Zünder unter den Gleisen

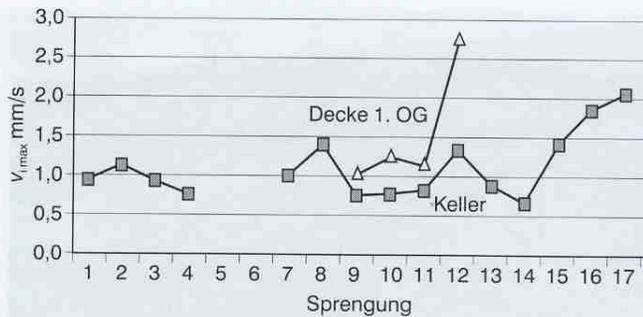


Bild 11. Messergebnis im Gebäude Bahnhofstraße 159; Keller und Dachgeschoss

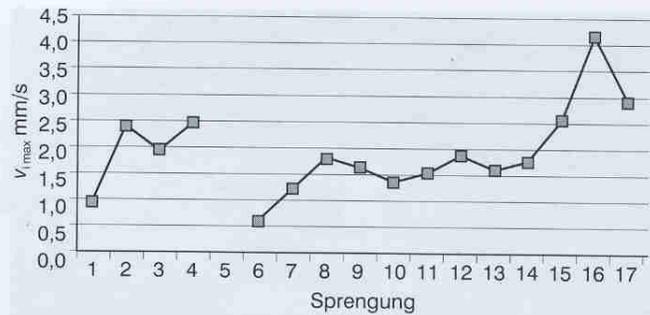


Bild 12. Messergebnis im Keller der Kärcherhalle

Neben der für die Genehmigung wichtigen Prognose der Erschütterungen wurde eine beweisichernde Erschütterungsüberwachung in den beiden nächstgelegenen Gebäuden vorgenommen.

Erschütterungsmessungen

Vor Beginn der Sprengungen wurden in den nächstgelegenen Gebäuden, der Kärcherhalle und in der Bahnhofstraße 159 je eine Messstation (M1 und M2) in den Kellern aufgestellt und während der gesamten Sprengzeit betrieben.

Zusätzliche Messungen zur Erfassung der Erschütterungen in unmittelbarer Nähe wurden bei der ersten Sprengung am Fundament des Fahrleitungsmastes auf der Südwestseite und bei der 8. Sprengung am Fundament des Fahrleitungsmastes auf der Südostseite durchgeführt.

Da nach DIN 4150 Teil 3 Tab. 1, Zeile 2 "Wohngebäude und in ihrer Konstruktionen und/oder Nutzung gleichartige Bauten" für die Erschütterungen in horizontaler Richtung in der obersten Deckenebene als Anhaltswert eine Schwinggeschwindigkeit von 15 mm/s genannt wird, wurde ab der 9. bis zur 12. Sprengung ein weiteres Messgerät im obersten Geschoss des Gebäudes Bahnhofstraße 159 aufgestellt.

Die Messungen ergaben, dass die Erschütterungen in vertikaler Richtung bei allen Sprengungen in den zwei nächstliegenden Gebäuden $v_z = 2$ mm/s am Fundament und nahezu 3 mm/s im 2. Obergeschoss (Dachgeschoss) erreichten (Bild 11).

Bei der 5. Sprengung waren die Erschütterungen an beiden Messpunkten kleiner als die am Messgerät eingestellte Aufzeichnungsschwelle von 0,5 mm/s. Sie wurden daher vom Gerät nicht erfasst. Bei der 6. Sprengung wurde der Schwell-

wert nur im Messpunkt Kärcherhalle überschritten (Bild 12).

Die Schwinggeschwindigkeiten auf den Fundamenten der Fahrleitungsmasten erreichten in der x-Ebene 1,7 mm/s auf der Westseite und 5,3 mm/s in der y-Ebene auf der Ostseite (Tabelle).

		v_x mm/s	v_y mm/s	v_z mm/s
Mast West	Sprengung 1	1,70	1,27	1,42
Mast Ost	Sprengung 8	4,26	5,30	2,46

Tabelle. Erschütterungen an den Fundamenten der Fahrleitungsmasten

Beweissichernde Gebäudeaufnahmen

Die Baumaßnahmen umfassten neben der Herstellung des eigentlichen Unterführungsbauwerkes die Herstellung der Zufahrten im Schutz einer verankerten Spundwand und den Abbruch von älteren Einbauten im Gelände. Da auch diese Arbeiten bekanntermaßen Erschütterungen verursachen, wurde vor Beginn der Bauarbeiten im Oktober 1999 eine umfangreiche Zustandsaufnahme zur Beweissicherung vorgenommen.

Da nach dieser Beweissicherung aber noch umfangreiche weitere Bauarbeiten ausgeführt wurden, war es notwendig, unmittelbar vor den Sprengungen eine zusätzliche Kontrolle einiger zuvor entstandener Gebäudeschäden vorzunehmen. Insbesondere wurden an zwei Rissen in der Kärcherhalle sowie an einem Riss im Gebäude der Bahnhofstraße die Rissbreite mit dem Risslineal festgehalten. Eine Überprüfung nach den Sprengungen zeigte keine Veränderungen (Bilder 13a bis 15b).

Die Verwendung des Risslineals in den beweisichernden Fotos bestätigte die Ergebnisse der Erschüt-

terungsmessungen. Damit konnte zweifelsfrei nachgewiesen werden, dass die aufgetretenen Sprengerschütterungen keine Schäden verursacht hatten.

Das zur Beweissicherung häufig angewandte Anbringen von Gipsmarken ist zur Beurteilung von Erschüt-

terungseinwirkungen und dadurch entstandener Schäden nicht geeignet. Abgesehen davon, dass die fachgerechte Anbringung auf tragenden Bauteilen notwendigerweise mit der Zerstörung der Putzflächen verbunden ist, kann die Gipsmarke bei längerer Standzeit, vor allem aber bei starken Temperaturschwankungen, wie sie z. B. im Frühjahr auftreten, auch ohne Erschütterungen aufreißen. Der Nachweis, dass die Erschütterungen zur Rissbildung führten, ist dann nicht mehr möglich.

Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich der Erschütterungsemissionen aus dem mechanischen Abtrag des Frostkörpers und der Spundwanddrämmung zu den Sprengerschütterungen.

Sie lagen in der Kärcherhalle und im Haus Bahnhofstraße 159 im Keller weit unterhalb der in der DIN 4150 Teil 3 angegebenen Anhaltswerte für diese Gebäudeklasse (Anhaltswerte je nach Frequenz 5 mm/s bis 20 mm/s). Die Erschütterungen im 2. Obergeschoss betragen bei den Kontroll-

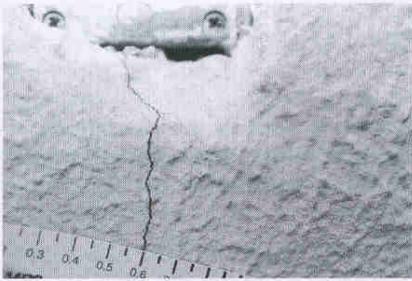


Bild 13a. Kontrollriss Kärcherhalle Südseite beim Aufzug vor den Sprengungen

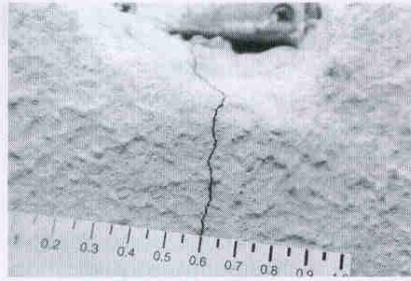


Bild 13b. Derselbe Riss nach den Sprengungen

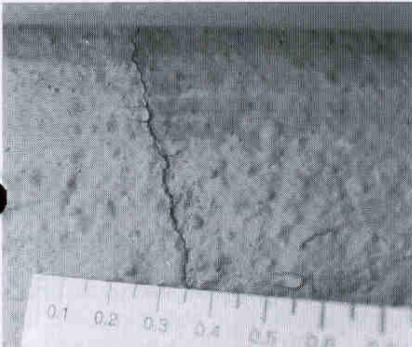


Bild 14a. Kontrollriss Kärcherhalle Westseite vor den Sprengungen

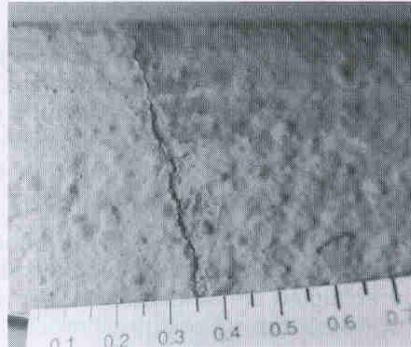


Bild 14b. Derselbe Riss nach den Sprengungen

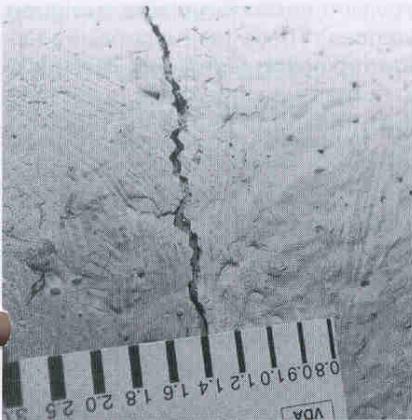


Bild 15a. Kontrollriss Bahnhofstraße 159 am Kellerfenster Südseite vor den Sprengungen

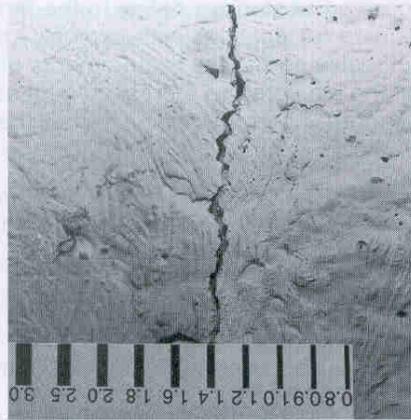


Bild 15b. Derselbe Riss nach den Sprengungen

Messungen ungefähr das zwei- bis dreifache der Werte am Fundament, lagen aber trotzdem weit unterhalb der für diese Messstelle vorgegebenen Anhaltswerte.

Die Messwerte in der Kärcherhalle erreichten auch nicht die Höhe, die bei der Überwachung der Spundwanddrummung am Messpunkt im Erdgeschoss gemessen wurden.

Beim weiteren mechanischen Abtrag des Frostkörpers nach den Sprengungen wurde die Aufzeichnungsschwelle von 0,5 mm/s an beiden Messstellen mehrfach überschritten. Die maximalen Erschütterungen erreichten im Keller der Kärcherhalle mit $v_i = 2,91$ mm/s nahezu die Werte aus den Sprengungen, im Keller Bahnhofstraße 159 blieben die Erschütterungen unter 1 mm/s.

Zusammenfassung

Die Erschütterungseinwirkung auf die nächstliegenden Gebäude und Fahrleitungsmasten wurde beim Sprengen des Frostkörpers bei der Untertunnelung der Bundesbahnstrecke 4000 zwischen Heidelberg und Karlsruhe in Weingarten überwacht. Die Messungen mit einem maximalen Fundamentwert von $v_i = 4,2$ mm/s zeigten, dass zu den Anhaltswerten der DIN 4150 Teil 3 ein erheblicher Sicherheitsabstand bestand. Die Erschütterungen an den näher gelegenen Fahrleitungsmasten betragen maximal 5,3 mm/s und können ebenfalls als unkritisch für solche Bauwerke angesehen werden.

Gegenüber vergleichbaren Sprengungen von Festgestein sind die Erschütterungsemissionen aus dem Frostkörper trotz des sehr ungleichmäßigen Ausbreitungsgebietes (Frostplatte - Vorschubbauwerk - Boden - Wohnhaus) höher. Dieses ungünstigere Verhalten ist wohl auf die größere Zähigkeit des Eises im Vergleich zum spröden Festgestein zurückzuführen.

Schrifttum

- [1] Hoyer, O.: Sprengen von Frostkörpern im Zuge der Bauarbeiten beim Unterfahren einer Bundesbahnstrecke. NOBEL HEFTE 58 (1992), H. 1, S. 33 - 37.
- [2] Hoyer, O.: Sprengungen im Giefrierkörper. Sprenginfo 22 (2001), S. 26 - 28.