

## **Verteiler**

Erms-Neckar-Bahn AG  
Pfählerstraße 17  
72574 Bad Urach

Müller-BBM GmbH  
Niederlassung BFB Stuttgart  
Schwieberdinger Str. 62  
70435 Stuttgart

Telefon +49(711)136757 0  
Telefax +49(711)136757 9

[www.MuellerBBM.com](http://www.MuellerBBM.com)

Dipl.-Ing. (FH) Markus Löffler M.Eng.  
Telefon +49(711)136757 19  
[Markus.Loeffler@mbbm.com](mailto:Markus.Loeffler@mbbm.com)

26. Februar 2021  
M162425/01 Version 2 LFL/EZR

## **Erschütterungsprognose, Unterführung Güterbahnhof Tübingen**

**Notiz Nr. M162425/01**

### **1 Situation und Aufgabenstellung**

Die ENAG plant den Ausbau der Neckar-Alb-Bahn zwischen Tübingen und Metzingen. Im Zuge der Bauarbeiten werden u. a. bereits bestehende Haltepunkte ausgebaut bzw. umstrukturiert sowie zusätzliche Stationen neugebaut und in die bestehende Strecke integriert. Dabei werden teilweise erschütterungsintensive Arbeiten wie Verdichten des Untergrundes oder Rammen von Pfählen und Spundwänden durchgeführt. Hierzu wurden im Jahr 2015 im Zuge der Entwurfsphase Prognoseberechnungen durchgeführt, dokumentiert im Müller-BBM Bericht M123401/01.

Für die Unterführung im Bereich Tübingen, Güterbahnhof, liegen nun detaillierte Planunterlagen und Ausführungspläne vor. Auf Grund der neuen Ausgangslage sollte eine Überarbeitung der Erschütterungsprognose aus 2015 erfolgen. Darüber hinaus sollten Empfehlungen für die einzusetzenden Bauverfahren erarbeitet werden.

Müller-BBM GmbH  
Niederlassung BFB Stuttgart  
HRB München 86143  
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:  
Joachim Bittner, Walter Grotz,  
Dr. Carl-Christian Hantschk,  
Dr. Alexander Ropertz,  
Stefan Schierer, Elmar Schröder

## 2 Verwendete Unterlagen

- [1] DIN 4150-3 „Erschütterungen im Bauwesen; Teil 3, Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Dezember 2016
- [2] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten, Grundlagen – Messergebnisse - Prognosen“, M. Achmus, J. Kaiser, F. tom Wörden, Institut für Bauforschung e.V. Hannover, 2004
- [3] Planunterlagen zur Unterführung Tübingen Güterbahnhof,  
„RSB\_NAB\_PFAe\_Gbf\_Tue\_AnI\_3\_2\_BI\_1b\_210112.pdf“,  
„Bebauungsplan Tübingen Güterbahnhof.pdf“,  
per Mail von Herrn Groszmuk am 17.02.2021
- [4] Bauablauf Tübingen Güterbahnhof,  
„210120\_Bauablauf\_Neubau\_PU\_Tue\_Gbf.pdf“, per Mail von Herrn Groszmuk  
am 18.02.2021
- [5] Müller-BBM Bericht M123401/01, „Erms-Neckar-Bahn AG, Erschütterungsprognose für Bauarbeiten an Haltepunkten im Landkreis Tübingen“, vom 18. August 2015

## 3 Planungsunterlagen

Die geplante Unterführung befindet sich im Bereich des ehemaligen Güterbahnhofs Tübingen. Die Unterführung erhält südlich eine Rampe im Max-Löwenstein-Weg, orthogonal zu den Gleisen. Eine weitere, gleisparallele Rampe entsteht nördlich in der Schaffhausenstraße, siehe Planausschnitt in Abbildung 1. Für die Herstellung der Unterführungen wurde von der ENAG der Bauablauf nach Abbildung 2 zur Verfügung gestellt. Anhand dieses Bauablaufs und der eingesetzten Baugeräte sollte eine Überarbeitung der Erschütterungsprognose aus 2015 erfolgen.

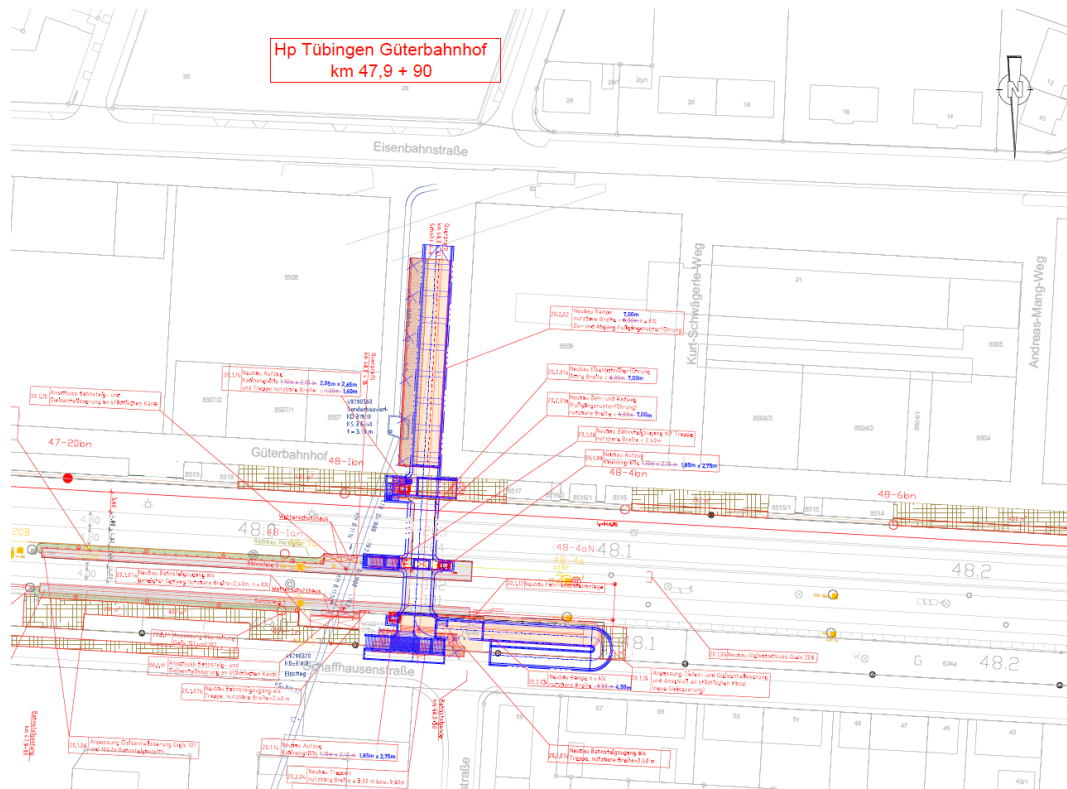


Abbildung 1. Planausschnitt von der Unterführung Tübingen Güterbahnhof [3].

Erms-Neckar-Bahn AG

Pfählerstr. 17, 72574

Bad Urach



### **Bauablauf Neubau Personenunterführung Tübingen Güterbahnhof**

#### **Bauabschnitt 1**

1. Aushub der Montagegrube
  2. Bau der Tunnelröhre vor dem Gleisfeld in der Max Löwenstein Weg
- Insgesamt 16 Wochen
3. Rückbau Gleisanlage
- Zu 1. Bagger und LKW Verkehr  
 Zu 2. Baukran, Kreissäge, Ein- und Ausschalarbeiten  
 Zu 3. Motorflex, Zweiwegebagger
- Arbeitszeiten 07.30 – 17.30h

#### **Bauabschnitt 2**

1. Rückbau Gleisanlage
  2. Rammarbeiten im Gleisfeld in zwei Sperrpausen
- Insgesamt 3 Wochen
- Rammarbeiten in der Max Löwenstein Weg
- Insgesamt 3 Wochen
- Zu 1. Motorflex, Zweiwegebagger  
 Zu 2. Rammgerät mit Drehbohrereinrichtung, Bagger und LKW-Verkehr
- Arbeitszeiten 07.30 – 17.30h

#### **Bauabschnitt 3**

1. Ein- und Ausbau Gleisanlagen
  2. Aushub der Baugrube im Gleisfeld
  3. Einschieben und anfüllen der Tunnelröhre ins Gleisfeld aus der Max Löwenstein Weg
- Insgesamt 8 Wochen
- Zu 1. Motorflex, Zweiwegebagger, Stopfmaschine (eine Schicht)  
 Zu 2. Bagger und LKW Verkehr  
 Zu 3. Große Rüttelplatten, Baukran, Kreissäge, Ein- und Ausschalarbeiten
- Arbeitszeiten 07.30 – 17.30h

#### **Bauabschnitt 4**

1. Fertigstellung der Tunnelröhre im Gleisfeld, herstellen der Anschlussbauwerke. Max-Löwenstein-Weg und Schaffhausenstraße
- Insgesamt 16 Wochen
- Zu 1. Große Rüttelplatten, Baukran, Kreissäge, Ein- und Ausschalarbeiten
- Arbeitszeiten 07.30 – 17.30h

#### **Bauabschnitt 5**

1. Ausstattung der Tunnelröhre und Zugänge.
  2. Bau der Bahnsteige
- Insgesamt 16 Wochen
- Zu 1. Übliches Kleinwerkzeug, Schlagbohrer, Schrauber, Flex etc...  
 Zu 2. Motorflex, Zweiwegebagger, Radlader, Rüttelplatten.
- Arbeitszeiten 07.30 – 17.30h

Grundsätzlich werden keine Nachtschichten geplant, in den Bauabschnitten 3 und 5, können diese jedoch auf Grund von unvorhersehbaren Ereignissen nicht gänzlich ausgeschlossen werden.  
 Für die Rammarbeiten im Gleisfeld steht noch eine weitere Sperrpause im April 2022 zur Verfügung, um Unvorhersehbares aufzufangen!

Abbildung 2. Bauablauf für die Herstellung der Unterführung Tübingen Güterbahnhof [4].

## 4 Bewertungsgrundlagen

Erschütterungen, die über Baugrund und Gründung auf Bauwerke übertragen werden, können Schäden hervorrufen durch

- direkte dynamische Beanspruchungen der Bausubstanz, die aufgrund der daraus resultierenden Spannungserhöhungen und/oder Ermüdungserscheinungen zu Rissen bzw. zu anderen Gebrauchswertminderungen am Gebäude führen,
- indirekte Beanspruchungen infolge erschütterungsbedingter Nachverdichtungen, Kornumlagerungen oder Rutschungen des Baugrundes, die wiederum partielle Setzungen auslösen.

Eine Beurteilung der direkten dynamischen Beanspruchung kann durch Vergleich der zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen mit den Anhaltswerten der DIN 4150, Teil 3, „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ [1] vorgenommen werden. Bei Einhaltung der Anhaltswerte treten „Schäden im Sinne einer Gebrauchswertminderung an der Bausubstanz nach allen vorliegenden Erfahrungen nicht auf“. Allerdings können Schäden, die die optische Wirkung des Bauwerks beeinflussen, jedoch keine Auswirkungen auf die Tragfähigkeit haben, z. B. oberflächliche Risse im Putz, nicht ausgeschlossen werden.

Die DIN 4150-3 unterscheidet dabei nach kurzzeitiger Einwirkungsdauer (Tabelle 1) und Dauererschütterungen (Tabelle 2). Die Entscheidung, welche Anhaltswerte zur Bewertung anzusetzen sind, richtet sich dabei nach dem betrachteten Bauverfahren und der zu bewertenden Bautätigkeit.

Tabelle 1. Anhaltswerte in [mm/s] nach DIN 4150-3 für kurzzeitige Einwirkungen [1], Tab. 1.

Messort		Fundament			Oberste Deckenebene	Decken
Messrichtung		vertikal und horizontal			horizontal	vertikal
Frequenz		1 – 10 Hz	10 – 50 Hz	50 – 100 Hz	alle	alle
Zeile	Art des Bauwerks					
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 – 40	40 – 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 – 15	15 – 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind (z. B. unter Denkmalschutz stehend)	3	3 – 8	8 – 10	8	Im Einzelfall festzustellen jedoch < 20

Tabelle 2. Anhaltswerte in [mm/s] nach DIN 4150-3 für Dauererschütterungen [1], Tab. 3.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_i$ in mm/s
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnliche strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

Für die vertikalen Schwingungsanteile gibt die DIN einen Anhaltswert von 10 mm/s an.

## 5 Erschütterungsprognose

### 5.1 Rammungen

Für die Herstellung der Rampen und der Montage der Tunnelbohrmaschine ist ein Verbau notwendig. Dieser soll nach bisherigem Kenntnisstand des Bauablaufs [4] mittels Rammungen erstellt werden. Für ein typisches Einsatzgerät wie den Liebherr LRB 125 wurden die maximalen Schwinggeschwindigkeiten mit zunehmendem Abstand zur Baustelle berechnet. Dabei wurden die Bodenprofile aus [5], sowie der Einsatz einer Schlag- und Vibrationsramme berücksichtigt. Die Prognoseergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3. Prognoseergebnisse für Rammungen, Überschreitungen des Grenzwerts für Wohnbebauung sind fettgedruckt. Die Bewertung erfolgt für Dauererschütterungen.

Profil	Antwortknoten – $v_{max}$ in [mm/s]				
	Fundament / Decke				
	A(5m)	B (10m)	C (15m)	D (20m)	E (25m)
Bodenprofil 2 „Tübingen - Güterbahnhof“ Schlagramme H50	<b>5,5 / 27,3</b>	2,7 / <b>13,6</b>	1,8 / 9,1	1,4 / 6,8	1,1 / 5,5
Bodenprofil 2 „Tübingen - Güterbahnhof“ Vibrationsramme 23 VML	<b>12,7 / 38,2</b>	<b>6,4 / 19,1</b>	4,2 / <b>12,7</b>	3,2 / 9,5	2,5 / 7,6
Anhaltswerte Fundament / Decke	5 mm/s / 10 mm/s				

## 5.2 Verdichten mittels Vibration

Zur Herstellung des Planums, sowie für das Verfüllen der Baugruben kommen nach Angabe in [4] nur Vibrationsplatten zum Einsatz. Die Schwinggeschwindigkeiten für verschiedene Leistungsklassen, Betriebsfrequenzen und Abstände sind in der folgenden Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4. Max. zu erwartende Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude (Bodenplatte/ Geschossdecke) infolge Verdichtungsarbeiten mit Rüttelplatten und unterschiedlichen Abständen (stationärer Betrieb). Überschreitungen des Anhaltswertes für Wohnbebauungen sind fettgedruckt.

Maschine	v <sub>max</sub> in [mm/s] für die Abstände r <sub>i</sub>				
	2,0 m	5,0 m	10,0 m	15,0 m	20,0 m
Grabenwalze BMP851	2,50/ <b>37,5</b>	1,00/ <b>15,0</b>	0,5/7,5	0,33/5,0	0,25/3,75
Rüttelplatte BPR65/70D	3,75/5,63	1,50/2,25	0,75/1,13	0,50/0,75	0,38/0,56
Rüttelplatte BPR30	1,00/1,50	0,40/0,60	0,2/0,30	0,13/0,20	0,10/0,15
Anhaltswerte	5 mm/s / 10 mm/s				

## 5.3 Bohrpfähle

Beim Bohren treten i. d. R. keine nennenswerten Erschütterungen auf. Lediglich beim Auftreffen auf Hindernisse als auch beim „Abschütteln“ des geförderten Bodenmaterials vom Bohrgerät könnten kurzzeitige, erhöhte Erschütterungsanregungen verzeichnet werden. Es wird daher empfohlen, besonders beim Übergang von weichen in feste Bodenschichten eine niedrige Drehgeschwindigkeit des Bohrkopfs zu wählen.

Nachteilig ist hier – je nach Baugerät – der Platzbedarf der Bohrgeräte, so dass im Einzelfall u. U. der Einsatz der Geräte bedingt durch den geringen Abstand zwischen Gebäude und Gleisbett nicht möglich ist.

## 5.4 Baggerarbeiten

Die Herstellung von Gründungen mittels Bagger ist grundsätzlich eher als erschütterungsarm einzuschätzen. Zu beachten ist jedoch, dass, analog zur Herstellung von Bohrpfählen, besonders beim Ausschlagen der Baggerschaufel als auch beim Lösen eventueller fester Schichten impulsartige, kurzzeitig erhöhte Erschütterungsanregungen auftreten können, die jedoch i. d. R. nicht als kritisch im Sinne der DIN 4150-3 eingestuft werden können. Ebenfalls analog zu den Bohrgeräten benötigen die Bagger relativ viel Platz.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das Einbringen von Spundwänden oder Stahlprofilen mittels Schlag- oder Vibrationsrammen sollte erst ab einem Abstand  $> 20$  m zu den Immissionsorten stattfinden. Dieser Abstand ist für Rammarbeiten im Gleisbereich gegeben. Dabei sollten ausschließlich Geräte mit Hochfrequenzrüttlern ( $> 38$  Hz) und automatisch verstellbaren Unwuchten zum Einsatz kommen, die die Unwuchtkräfte erst bei Erreichen der Betriebsfrequenz aufbringen. Darüber hinaus sollte die Unwuchtkraft (Vibrationsramme) 1350 kN bzw. die Schlagenergie (Schlagramme) von 51 kNm nicht überschritten werden.

Für die Erstellung der Rampen in der Schaffhausenstraße und im Max-Löwenstein-Weg sind die Abstände zu den bestehenden Wohngebäuden für Schlag- oder Vibrationsrammen für eine Prognose ohne messtechnischen Nachweisführung zu gering. Hier empfehlen wir einen Bodenaustausch mittels Bohrungen durchzuführen bevor die Spundwände eingetrieben werden. Darüber hinaus sollten die Spundwandarbeiten bei Abständen  $< 20$  m zur Nachbarbebauung durch Erschütterungsmessungen begleitet werden.

Für den Einsatz von kleinen Verdichtungsgeräten, wie im Bauablauf [4] beschrieben, gibt es derzeit für das untersuchte Gebiet keine Einschränkungen.

Für den technischen Inhalt verantwortlich:



Dipl.-Ing- (FH) Markus Löffler M.Eng.