

Mess-Stelle nach §§ 26, 28 BImSchG

Dipl.-Ing. Manfred Bonk ^{bis 1995}Dr.-Ing. Wolf Maire ^{bis 2006}Dr. rer. nat. Gerke Hoppmann
öffentlich bestellt und vereidigt IHK H-Hi:
Schall- und Schwingungstechnik

Dipl.-Ing. Thomas Hoppe

Dipl.-Phys. Michael Krause

Dipl.-Geogr. Waldemar Meyer

Dipl.-Ing. Clemens Zollmann

Rostocker Straße 22
30823 Garbsen
05137/8895-0, -95Bearbeiter: Dipl.-Phys. M. Krause
Durchwahl: 05137/8895-23
m.krause@bonk-maire-hoppmann.de

20.09.2009

- 03115/PA6/E/I -

Erschütterungstechnische Untersuchung

zum Genehmigungsverfahren nach § 18 AEG

ABS Berlin – Frankfurt/Oder

Abschnitt Ostendgestell – Köpenick

Planungsabschnitt 6 Berlin-Köpenick

Inhaltsverzeichnis	Seite
Anhangverzeichnis.....	3
Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke.....	7
Quellen, Richtlinien, Verordnungen	8
1. Auftraggeber.....	9
2. Aufgabenstellung dieses Gutachtens	9
3. Örtliche Gegebenheiten, bauliche Maßnahmen	11
4. Grundlagen der Untersuchung	12
5. Messorte.....	14
6. Betriebstechnische Planungsdaten	15
7. Mess- und Beurteilungsverfahren.....	16
8. Messdurchführung.....	22
8.1 Messpunkte Erschütterung.....	22
8.2 Mess- und Auswertegeräte.....	24
8.3 Ablauf und Auswertung der Messungen.....	24
8.4 Ergebnisse der Erschütterungsmessungen.....	25
8.5 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke für den derzeitigen und zukünftigen Zustand	26
9 Zusammenstellung und Beurteilung der Messergebnisse (Ist-Zustand).....	28
10 Berechnung der Immissionswerte für den zukünftigen Zustand.....	34
11 Ergebnisse und Beurteilung für den Prognose-Mit-Fall	38
12 Zusammenfassung.....	43

Dieses Gutachten umfasst:

44 Seiten Text

Datei:03115-PA6E_I_kbfr.doc, Autor: Dipl.-Phys. M. Krause

Anhangverzeichnis

Anhang KOEP04_1/	Messort KOEP04_1: Köpenick, Elcknerplatz 16/16a
Anhang KOEP04_1/M	Messort- und Messpunktbeschreibung Messort KOEP04_1
Anhang KOEP04_1/E	Ergebnistabellen Messort KOEP04_1.
Anhang KOEP04_1/Ka	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke derzeitiger Zustand Messort KOEP04_1
Anhang KOEP04_1/Kb	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zukünftiger Zustand Messort KOEP04_1
Anhang KOEP04_1/D	Spektrale Schwingschnellepegel Messort KOEP04_1
Anhang KOEP04_1/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
Anhang KOEP04_2/	Messort KOEP04_2: Köpenick, Am Bahndamm 3
Anhang KOEP04_2/M	Messort- und Messpunktbeschreibung Messort KOEP04_2
Anhang KOEP04_2/E	Ergebnistabellen Messort KOEP04_2
Anhang KOEP04_2/Ka	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke derzeitiger Zustand Messort KOEP04_2
Anhang KOEP04_2/Kb	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zukünftiger Zustand Messort KOEP04_2.
Anhang KOEP04_2/D	Spektrale Schwingschnellepegel Messort KOEP04_2
Anhang KOEP04_2/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
Anhang KOEP04_3/	Messort KOEP04_3: Köpenick, Schubertstraße 25
Anhang KOEP04_3/M	Messort- und Messpunktbeschreibung Messort KOEP04_3
Anhang KOEP04_3/E	Ergebnistabellen Messort KOEP04_3
Anhang KOEP04_3/Ka	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke derzeitiger Zustand Messort KOEP04_3
Anhang KOEP04_3/Kb	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zukünftiger Zustand Messort KOEP04_3.
Anhang KOEP04_3/D	Spektrale Schwingschnellepegel Messort KOEP04_3
Anhang KOEP04_3/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose

Anhang KOEP04_4/	Messort KOEP04_4: Köpenick, Friedenstraße 17
Anhang KOEP04_4/M	Messort- und Messpunktbeschreibung Messort KOEP04_4
Anhang KOEP04_4/E	Ergebnistabellen Messort KOEP04_4
Anhang KOEP04_4/Ka	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke derzeitiger Zustand Messort KOEP04_4
Anhang KOEP04_4/Kb	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zukünftiger Zustand Messort KOEP04_4.
Anhang KOEP04_4/D	Spektrale Schwingschnellepegel Messort KOEP04_4
Anhang KOEP04_4/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose
Anhang KOEP04_5/	Messort KOEP04_5: Berlin / Friedrichshagen, Wiesenrain 25
Anhang KOEP04_5/M	Messort- und Messpunktbeschreibung Messort KOEP04_5
Anhang KOEP04_5/E	Ergebnistabellen Messort KOEP04_5
Anhang KOEP04_5/Ka	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke derzeitiger Zustand Messort KOEP04_5
Anhang KOEP04_5/Kb	Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zukünftiger Zustand Messort KOEP04_5.
Anhang KOEP04_4/D	Spektrale Schwingschnellepegel Messort KOEP04_4
Anhang KOEP04_4/P	Berechnung Immissionsspektrum Prognose

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Betriebsprogramm 2025 Strecke 6153, Prognose-Ohne-Fall, Angaben je Richtung	15
Tabelle 2: Betriebsprogramm Strecke 6025, Prognose-Mit-Fall, Angaben je Richtung	15
Tabelle 3: Betriebsprogramm 2025 Strecke 6004 (S-Bahn S 3), Angaben je Richtung	16
Tabelle 4: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungs- immissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen aus der DIN 4150 T:	17
Tabelle 5: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_1, Köpenick, Elcknerplatz 16/16a	29
Tabelle 6: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_2, Köpenick, Am Bahndamm 3	30
Tabelle 7: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_3, Köpenick, Schubertstraße 25	31
Tabelle 8: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_4, Köpenick, Friedenstraße 17	32
Tabelle 9: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_5, Berlin / Friedrichshagen, Wiesenrain 25	33
Tabelle 10: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_1, Köpenick, Elcknerplatz 16/16a	38
Tabelle 11: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_2, Köpenick, Am Bahndamm 3	39

Tabelle 12: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_3, Köpenick, Schubertstraße 25	39
Tabelle 13: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_4, Köpenick, Friedenstraße 17	39
Tabelle 14: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_5, Berlin/Friedrichshagen, Wiesenrain 25	40
Tabelle 15: Ergebnisse und Beurteilung für die Beurteilungs- schwingstärke KB_{FTr} (Wesentliche Änderung grau unterlegt)	41

Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke

<u>Zeichen</u>	<u>Einheit</u>	<u>Bedeutung</u>
A_o, A_u, A_r	-	Anhaltswerte aus DIN 4150, Teil 2
$dB(A)$	-	Einheit des Schalldruckpegels bzw. des Beurteilungspegels
EG	-	Erdgeschoss
KB_{Fmax}		Die maximale Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist nach DIN 4150, Teil 2 der Maximalwert von $KB_{F(t)}$, der während der jeweiligen Beurteilungszeit auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist
KB_{Fti}		Die Messzeit wird nach DIN 4150, Teil 2 in Takte von je $T = 30$ sec eingeteilt. Jedem dieser Takte wird der darin erreichte Maximalwert der Bewerteten Schwingstärke $KB_{F(t)}$ zugeordnet, im folgenden bezeichnet als KB_{Fti} . Der Index i nummeriert die Takte
KB_{FTr}		Der Wert für die Beurteilungs-Schwingstärke ist nach DIN 4150, Teil 2 ist der Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit
KB_{FTm}		Quadratischer Mittelwert über die Taktmaximalwert KB_{Fti}
$KB_{F(t)}$		Die Bewertete Schwingstärke $KB_{F(t)}$ nach DIN 4150, Teil 2 ist der gleitende Effektivwert mit der Zeitbewertung „Fast“ des frequenzbewerteten Erschütterungssignals
L_{m-Tag}	dB(A)	Mittelungspegel Tag (6:00 – 22:00 Uhr)
$L_{m-Nacht}$	dB(A)	Mittelungspegel Nacht (22:00 – 6:00 Uhr)
L_{sek}	dB(A)	Auf die Dauer der Zugvorbeifahrt bezogener A-bewerteter Schalldruckpegel des sekundären Luftschalls
L_v	dB	Körperschallschnellepegel
$L_v(f)$	dB	Spektraler Körperschallschnellepegel
M	-	Mischgebiet
MP	-	Messpunkt
N_t	-	Anzahl Zugvorbeifahrten tags
N_n	-	Anzahl Zugvorbeifahrten nachts
v	km/h	Zuggeschwindigkeit
$v(f)$	mm/s	Effektivwert der Schwingschnelle, spektral
v_e	mm/s	Effektivwert der Schwingschnelle
v_o	mm/s	Bezugsschnelle
1. OG, 2. OG	-	1. Obergeschoss, 2. Obergeschoss
V, V_{max}	km/h	Geschwindigkeit, maximale Geschwindigkeit
WA	-	Allgemeines Wohngebiet

Quellen, Richtlinien, Verordnungen

- ◇ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26.09.2002, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18.12.2006 (BGBl. I S. 3180)
- ◇ DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen,
 - Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung und Messung; Juni 2001;
 - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; Juni 1999;
 - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen; Februar 1999;
- ◇ DIN 45669 Messung von Schwingungsimmissionen
 - Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung; Juni 1995
 - Teil 2: Messverfahren; Juni 1995
- ◇ „Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen“, Bericht Nr. 107, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein – Westfalen, 1992
- ◇ „Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen“, Materialien Nr. 22, Landesumweltamt Nordrhein – Westfalen, 1995
- ◇ DIN 45672 Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen
 - Teil 1: Messverfahren; September 1991
 - Teil 2: Auswerteverfahren; September 1997
- ◇ Körperschall- und Erschütterungsschutz - Leitfaden für den Planer -Information Körperschall/Erschütterungen der Deutschen Bahn AG; August 1996 (Berichtigt: Februar 1999)
- ◇ Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12.06.1990, veröffentlicht im Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1990, Teil 1, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes (BImSchG) vom 18.12.2006 (BGBl. I S. 3180)
- ◇ Flesch, Rainer: „Baudynamik praxisgerecht“, Berlin: Bauverlag, 1993

1. Auftraggeber

DB PROJEKTBAU GMBH
PROJEKTE SÜD (I.BV-O-P (32))
CAROLINE-MICHAELIS-STRASSE 5 - 11
10115 BERLIN

über
EPV GIV
EUROPROJEKT VERKEHR
GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURLEISTUNGEN IM VERKEHRSWESEN MBH
MARKGRAFENDAMM 24
10245 BERLIN

2. Aufgabenstellung dieses Gutachtens

Die Ausbaumaßnahmen im Rahmen der ABS Berlin – Frankfurt/Oder sind Bestandteil der Planungsaktivitäten auf der Ost-West-Magistrale Berlin – Warschau – Moskau. Ziel der Ausbaumaßnahmen ist u. a. die Erhöhung der Geschwindigkeit auf 160 km/h. Hierzu erfolgt ein Umbau der Gleisanlagen mit veränderten Radien. Speziell im Planungsabschnitt 6 Berlin-Köpenick wird ein Regionalbahnhof geplant. Weiterhin sind Gradientenveränderungen sowie Gleislageveränderungen vorgesehen. Diese Situation stellt den Prognose-Mit-Fall dar.

Im Zusammenhang mit den oben genannten Umbaumaßnahmen soll für den Untersuchungsbereich die erschütterungstechnische Situation durch den vorhandenen und geplanten Schienenverkehr beiderseits der Trasse ermittelt und beurteilt werden.

Erschütterungen gehören zu den im BImSchG bereits in der Überschrift und im § 3 (2) ausdrücklich erwähnten Immissionen. Sie sind schädliche Umwelteinwirkungen wenn sie „nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen“. Im Zuge der Planung von Bauvorhaben ist die Bahn als Vorhabensträger daher dazu verpflichtet, die Auswirkungen der Planung auf die Umwelt und Nachbarschaft zu ermitteln und zu bewerten und ggf. entsprechende Vorkehrungen zur Abwehr zu treffen.

Die für den Bau öffentlicher Straßen sowie Eisenbahnen und Straßenbahnen geltenden §§ 41 – 43 BImSchG sowie die 16. BImSchV befassen sich jedoch ausschließlich mit Verkehrsgeräuschen (primärer Luftschall). Somit können aus dem BImSchG keine direkten Vorgaben zum Umgang mit verkehrsbedingten (Schienenverkehrsbetriebsbedingten) Erschütterungen und sekundärem Luftschall abgeleitet werden.

Über diese allgemeinen Grundsätze hinaus gibt es derzeit keine verbindlichen gesetzlichen oder untergesetzlichen Regelungen, die Immissionsgrenzwerte oder ein Prognosemodell und Beurteilungsverfahren für Immissionen infolge Erschütterungen oder sekundärem Luftschall an Eisenbahnverkehrsanlagen festlegen. Bei der Ermittlung und Beurteilung muss deshalb auf allgemeine immissionsschutzrechtliche Grundsätze, aktuelle Rechtsprechung sowie antizipierte Sachverständigenäußerungen, wie sie z. B. in allgemein anerkannten Regelwerken oder Fachveröffentlichungen mitgeteilt sind, zurückgegriffen werden.

Ausgehend von dem aktuellen Stand der Rechtsprechung kommt es bei der Beurteilung der Auswirkungen von Erschütterungen in Verbindung mit Änderungen an bereits bestehenden Anlagen nicht so sehr auf die absolute Höhe der Einwirkung an, sondern vor allem darauf, ob durch die baulichen Änderungen die vorhandene schon beträchtliche Vorbelastung noch einmal erhöht wird. Reale und geldwerte Ausgleichsansprüche bestehen folglich nur insoweit, „als das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen zu der vorhandenen Vorbelastung die Erschütterungen in beachtlicher Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche unzumutbare Beeinträchtigung liegt“¹.

Zur Beschreibung und Beurteilung der erschütterungstechnischen Situation für den jetzigen und den geplanten Zustand wurden Erschütterungsmessungen und Prognoseberechnungen auf Grundlage der Messergebnisse an ausgewählten für die Einwirkung von Erschütterungen aus dem Bahnverkehr

¹ So z. B. im Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtshof vom 21.02.1995, AZ 20 A 93.40080. Dieser Grundsatz wurde in weiteren Urteilen, auch vom Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) wiederholt bestätigt, so z. B. so z. B.: BVerwG, Urteil vom 12.04.2000 – 11 A 18/98 und BVerwG, Beschluss vom 13.11.2001, Az: 9 B 57/01. u. a.

repräsentativen Gebäuden durchgeführt.

Aus den Messergebnissen wird für den Prognose-Mit-Fall eine Prognose der nach dem Umbau zu erwartenden Erschütterungsimmissionen bei der angrenzenden Wohnbebauung und der zu erwartenden Änderung gegenüber dem Prognose-Ohne-Fall abgeleitet.

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich auf den Planungsabschnitt 6, Berlin-Köpenick.

3. Örtliche Gegebenheiten, bauliche Maßnahmen

Zwischen Bf. Wuhlheide und Bf. Erkner existiert die viergleisige Bahnanlage mit den Strecken

→ 6004 S-Bahn Ostkreuz – Erkner

→ 6153 Fernbahn Berlin-Ostbahnhof – Frankfurt/Oder.

Die Bahnanlage verläuft im Umfeld des Bahnhofs Berlin-Köpenick in Dammlage; sowohl in westlicher Richtung, am Ende des Planungsabschnitts, als auch in östlicher Richtung, Richtung Hirschgarten, geht die Trassenlage ins Geländeniveau über.

Die S-Bahn-Gleise liegen auf der nördlichen, die Fernbahngleise auf der südlichen Seite der Gleisanlagen.

Der Planungsabschnitt beginnt am westlichen Ende im Bereich des Siedlungsgebietes Birnbaumer Straße/Schubertstraße. Von hier aus bis etwa zur Hämmerlingstraße werden die Gleisbögen sowohl der S-Bahn als auch der Fernbahn verändert. Dabei erfolgt eine Verlegung der Gleise nach Norden, in Richtung Schubertstraße/Straße Am Bahndamm.

Östlich der Hämmerlingstraße bleiben die S-Bahn-Gleise im gesamten Abschnitt in alter Lage erhalten. Zum Bahnhof hin schwenken die Gleise der Fernbahn in südlicher Richtung, zur Bebauung Friedenstraße hin, aus. Die vorhandene Böschung wird dabei teilweise überbaut, die Wuhlebrücke wird verbreitert. Im Bereich des Bahnhofs Köpenick müssen vier Gebäude am Elcknerplatz, die unmittelbar an die Bahnanlagen angrenzen, abgerissen

werden. Die Gradiente des südlichen Fernbahngleises wird z. B. im Bereich Brücke Bahnhofstraße um ca. 50 cm, die des nördlichen Fernbahngleises um ca. 20 cm angehoben.

Östlich des Bahnhofs Köpenick, ca. bei km 12.2, erreichen die Gleise wieder die bestehende Gleislage im vorhandenen Gleisfeld. Ab km 12.8 erfolgt eine Verschiebung in südlicher Richtung, d. h. in Richtung der Wohnbebauung in der Straße Am Wiesenrain. Der Planungsabschnitt 6 endet bei km 13.2, im Bereich des S-Bf.-Hirschgarten, und geht dort in den Planungsabschnitt 7 über.

Die Höchstgeschwindigkeit auf den durchgehenden Gleisen der Fernbahn wird mit dem Umbau von 120 km/h auf 160 km/h erhöht.

4. Grundlagen der Untersuchung

Bei der Bewegung der Fahrzeuge auf der Gleisanlage werden zeitlich veränderliche Kräfte auf die Fahrweggründung übertragen und in den Boden eingeleitet. Dabei werden im Bereich der Fahrweggründung Schwingungen emittiert, die sich dann im Boden ausbreiten. Die Ausbreitung ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit und der Frequenz der Schwingungen und klingt mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab.

Die Bodenschwingungen werden auf Gebäude in Fahrwegnähe übertragen (Schwingungsimmissionen) und als Erschütterungen bezeichnet. Das Maß mit dem die Schwingungen in ein Gebäude übertragen werden ist stark abhängig von dessen Bauweise.

Unter Körperschall versteht man generell mechanische Schwingungen, die sich in einem festen Medium oder an dessen Oberfläche ausbreiten. Erschütterungen fallen in die Kategorie des tieffrequenten Körperschalls, den der Mensch mit seinem ganzen Körper wahrnehmen kann. Der Frequenzbereich der Erschütterungen erstreckt sich von 4 Hz bis etwa 80 Hz.

Als Maß für die Stärke der Schwingungen dient nachfolgend die Schwinggeschwindigkeit (auch als Körperschallschnelle bezeichnet) mit der Einheit [mm/s].

Zur Bewertung von Erschütterungen, insbesondere hinsichtlich ihrer Wirkungen auf den Menschen, werden diese in KB-Schwingstärken ausgedrückt. Dazu wird das Zeitsignal der Schwinggeschwindigkeit (bzw. auch der Schwingbeschleunigung) bandbegrenzt und eine Frequenzbewertung (KB -Filterung) zur Berücksichtigung der frequenzabhängigen menschlichen Wahrnehmungsstärke durchgeführt. Aus der weiteren Berechnung des gleitenden Effektivwertes mit der Zeitbewertung „FAST“ errechnet sich die bewertete Schwingstärke $KB_{F(t)}$; der maximale Momentanwert wird als maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bezeichnet. Dieser Wert ist die maßgebliche Beurteilungsgrundlage.

Bei der Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} handelt es sich um einen zeitlichen Mittelwert analog dem Beurteilungspegel zur Bewertung von Schallimmissionen (vgl. die Schalltechnische Untersuchung).

Während für die Berechnung der Schallemission und -ausbreitung ein verallgemeinertes Rechenmodell vorhanden ist, sind die Gesetzmäßigkeiten bei der Entstehung, Ausbreitung und Wirkung der Erschütterungen so vielgestaltig, dass ein verbindliches Berechnungsmodell nicht existiert. Zwar können einerseits Aussagen anhand theoretischer Prognosemodelle getroffen werden, andererseits sind aber Erschütterungsmessungen erforderlich, um bestimmte Zusammenhänge der Ausbreitung im Boden und in den Gebäuden genauer zu beschreiben.

Im vorliegenden Fall besteht eine Vorbelastung durch Erschütterungen aus dem Eisenbahnverkehr auf der bestehenden viergleisigen Trasse. Im Rahmen einer Messung zur Beweissicherung wurde diese bestehende Vorbelastung erfasst. Gleichzeitig wurden die Ausbreitungsbedingungen für Erschütterungen im Gelände und die für die Übertragung innerhalb der untersuchten Messorte relevanten Parameter bestimmt.

5. Messorte

Die Auswahl der Messorte erfolgte im Rahmen einer Streckenbegehung. Dabei wurden vorzugsweise Gebäude im Nahbereich der Trasse ausgewählt.

Die Messorte wurden so ausgewählt, dass für den betreffenden Bereich allgemeingültige Aussagen getroffen werden können, d. h. die ausgewählten Gebäude sind in Bezug auf die Erschütterungen für die an der Trasse angrenzende Bebauung repräsentativ. Hierbei wurden auch die in Bezug auf Erschütterungen unterschiedlichen Bauweisen berücksichtigt.

Im Untersuchungsbereich wurden fünf Messorte für die Durchführung von Erschütterungsmessungen ausgewählt:

- **1. Messort KOEP04_1: Köpenick, Elcknerplatz 16/16a**
- **2. Messort KOEP04_2: Köpenick, Am Bahndamm 3**
- **3. Messort KOEP04_3: Köpenick, Schubertstraße 25**
- **4. Messort KOEP04_4: Köpenick, Friedenstraße 17**
- **5. Messort KOEP04_5: Berlin / Friedrichshagen, Wiesenrain 25**

In den Anlagen zur Messort- / Punktbeschreibung sind auch einige Erläuterungen zur Bauweise und Bauart (hier insbes. der Deckenkonstruktionen) der ausgewählten Messorte enthalten. Für den Fall eventueller Nachmessungen sind die Messungen wieder an den gleichen Punkten durchzuführen. Zur sicheren Festlegung des Ortes der Messpunkte ist neben der Messpunktbeschreibung in den Anlagen auch eine fotografische Dokumentation enthalten. Mittels dieser Bilder können eventuelle Änderungen im Bereich der Messpunkte bzw. des Messortes dokumentiert werden.

Die für den Messort maßgebende Gebietsausweisung ist in den Ergebnistabellen des Gutachtens sowie in den Tabellen zur Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke aus dem Schienenverkehr im Anhang angegeben.

6. Betriebstechnische Planungsdaten

Vom Auftraggeber wurden Angaben über Gleisbeschaffenheit, Verkehrsaufkommen (Betriebsprogramm), Fahrzeugparameter und Geschwindigkeitsvorgaben gemacht. Darüber hinaus wurden Planunterlagen für den Ist- und den Prognosezustand zur Verfügung gestellt.

In den nachfolgenden Tabellen ist das Betriebsprogramm für den Prognose-Ohne-Fall und den Prognose-Mit-Fall dargestellt.

In den Tabellen 1 bis 3 ist das Betriebsprogramm der DB Netz AG für den Fern- und S-Bahn-Verkehr angegeben.

Tabelle 1 zeigt die Werte für den Prognose-Ohne-Fall (ohne Umbau, $v_{\max} = 120$ km/h).

Tabelle 1: Betriebsprogramm 2025 Strecke 6153, Prognose-Ohne-Fall, Angaben je Richtung

Nr.	Zug-gattung	Anzahl Züge		S.brems-anteil	Geschwin-digkeit	Zug-länge
		Tag	Nacht	[%]	[km/h]	[m]
1	IC/IR	11	2	94.0	120.0	400.0
2	RE	32	6	90.0	120.0	210.0
3	GV	48	18	0	120.0	750.0

Aus Tabelle 2 sind die Werte für den Prognose-Mit-Fall ersichtlich (mit Umbau, $v_{\max} = 160$ km/h).

Tabelle 2: Betriebsprogramm Strecke 6025, Prognose-Mit-Fall, Angaben je Richtung

Nr.	Zug-gattung	Anzahl Züge		S.brems-anteil	Geschwin-digkeit	Zug-länge
		Tag	Nacht	[%]	[km/h]	[m]
1	IC/IR	11	2	94.0	160.0	400.0
2	RE	32	6	90.0	160.0	210.0
3	GV	48	18	0	120.0	750.0

Zwischen Bf Rummelsburg und Bf Köpnick verkehren zusätzlich tagsüber zwei, nachts zwei ICE als Leerzüge (Wendezüge).

In Tabelle 3 sind Angaben für die S-Bahn zusammengestellt. Eine Geschwindigkeitserhöhung findet hier nicht statt.

Tabelle 3: Betriebsprogramm 2025 Strecke 6004 (S-Bahn S 3), Angaben je Richtung

Nr.	Zug-gattung	Anzahl Züge		S.brems-anteil	Geschwin-digkeit	Zug-länge
		Tag	Nacht	[%]	[km/h]	[m]
1	S-Bahn	114	18	100.0	100.0	147.0/74

Zum Zeitpunkt der Messung wurden die für den Prognose-Ohne-Fall angegebenen Geschwindigkeiten nicht erreicht. Die Zuglängen sind in der vorstehenden Tabelle nicht aufgeführt, da die Zuglänge bei der Berechnung der Beurteilungsschwingstärke nicht eingeht. Die Dauer einer Zugvorbeifahrt beträgt im ungünstigsten Fall maximal ca. 23 s (Güterzug mit 750 m Länge und $v = 120$ km/h), und liegt damit innerhalb eines Taktes nach dem Taktmaximalverfahren.

7. Mess- und Beurteilungsverfahren

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz können grundsätzlich Immissionen durch Erschütterungen schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen. Gesetzliche Regelungen für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen gibt es dagegen noch nicht. Das Regelungsdefizit begründet sich in der Verordnungsermächtigung des § 43 Abs. 1 BImSchG, in der Erschütterungen nicht angesprochen sind.

Aufgrund fehlender gesetzlicher Grenzwerte gilt die DIN 4150, Teil 2, "Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden" als Äußerung einschlägigen Sachwissens und als geeignete, wenn auch unverbindliche Grundlage für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen. Dieses Normblatt nennt für Erschütterungsimmissionen Anhaltswerte, bei deren Einhaltung nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist. Die DIN 4150-2 vom Juni 1999 stellt hierzu den aktuellen Kenntnisstand dar.

Nachfolgende **Tabelle 4** enthält die Anhaltswerte A der bewerteten Schwingstärke KB_F , zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen. Sie beziehen sich wie folgt auf die beiden Beurteilungsgrößen:

- KB_{Fmax} - die maximale bewertete Schwingstärke,
- KB_{FTr} - die Beurteilungs-Schwingstärke, siehe unten.

Tabelle 4: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmis- sionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen aus der DIN 4150 T:

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete § 9 BauNVO).	0.4	6	0.2	0.3	0.6	0.15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete § 8 BauNVO).	0.3	6	0.15	0.2	0.4	0.1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO).	0.2	5	0.1	0.15	0.3	0.07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeines Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO).	0.15	3	0.07	0.1	0.2	0.05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0.1	3	0.05	0.1	0.15	0.05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung - BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Die in der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2, enthaltenen Zahlenwerte werden wie bereits erwähnt als „Anhaltswerte“ bezeichnet. Damit wird klargestellt, dass es sich bei diesen Werten um empfohlene Werte und nicht um gesicherte Grenzwerte handelt. Bei Einhaltung der Anhaltswerte können erhebliche Belästigungen der in den Gebäuden lebenden Menschen im Allgemeinen ausgeschlossen werden.

Die beiden Beurteilungsgrößen sind in der Regel getrennt für die drei Richtungskomponenten x, y (horizontal) und z (vertikal) zu ermitteln, wobei die jeweils größte der drei der Beurteilung zugrunde zulegen ist. In Räumen von Wohnungen wird jedoch im Allgemeinen nur die vertikale Komponente

gemessen und ausgewertet, da diese bei Deckenschwingungen i.d.R. die größte ist.

Für den Schienenverkehr sind bei der Beurteilung einige Besonderheiten zu beachten. Danach erfolgt die Beurteilung ausschließlich anhand der Kriterien A_u (für KB_{Fmax}) und A_r (für KB_{FTr}). Dies gilt insbesondere für neu zu bauende Strecken. Die (oberen) Anhaltswerte A_o erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung als in der übrigen Norm. Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o für den Nachtzeitraum dabei nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten anzusehen sind. Für oberirdisch geführte Schienenverkehrswege gilt:

$$A_o = 0.6 \text{ (gebietsunabhängig).}$$

Liegen jedoch nachts einzelne KB_{Fmax} - Werte über $A_o = 0.6$ (oberirdisch), so sind die Ursachen zu erforschen. Diese hohen KB_{Fmax} - Werte sind bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} mit zu berücksichtigen. Bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} für den Schienenverkehr werden die Zuschläge für Ruhezeiten nicht berücksichtigt.

Zur Beurteilung der KB-Werte ist die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} mit den Anhaltswerten A_u (unterer Anhaltswert) und A_r für neu zu bauende Bahnanlagen nach der folgenden Methodik zu vergleichen:

- ist $KB_{Fmax} \leq A_u$, so ist die Anforderung der Norm eingehalten,
- Für häufigere Einwirkungen (und hierzu zählt in der Regel Schienenverkehr), bei denen KB_{Fmax} größer als A_u ist, ist ein weiterer Prüfschritt für die Entscheidung erforderlich, nämlich die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} . Ist KB_{FTr} nicht größer als der Anhaltswert A_r nach Tabelle 1 der DIN-Norm 4150, Teil 2, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Das A_r -Kriterium dient einer angemessenen Beurteilung von häufig, aber unregelmäßig wiederkehrenden Erschütterungen; es entspricht dem Grundgedanken des Mittelungspegels beim Schall.

Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass selbst bei Einhaltung des unteren Anhaltswertes A_u die Fühlbarkeit von Erschütterungen nicht ausgeschlossen werden kann. Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0.1$ und $KB = 0.2$. Erschütterungen um $KB = 0.3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen.

Bezüglich der Beurteilung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr ist hier einschränkend anzumerken, dass die in der DIN 4150, Teil 2 vorgegebenen Anhaltswerte nur auf neu zu errichtende Bahnanlagen anzuwenden sind. Als „neu“ gilt eine Strecke im Sinne der DIN dann, wenn ihre Trasse so weit von bestehenden Trassen entfernt verläuft, dass die Erschütterungseinwirkungen bestehender Trassen für die Beurteilung vernachlässigbar sind.

Im vorliegenden Fall wären die oben angegebenen Anhaltswerte der Norm nicht anzuwenden, da es sich hier um die Erweiterung einer bereits bestehenden Strecke handelt.

An bestehenden Schienenwegen, wie im vorliegenden Fall, werden die Anhaltswerte nach der DIN 4150, Teil 2 für die angrenzende Bebauung in der Regel häufig überschritten. Bei der Beurteilung sollten hier daher nach der DIN 4150, Teil 2, folgende Kriterien Berücksichtigung finden:

- historische Entwicklung der Belastungssituation;
- Höhe und Häufigkeit der Anhaltswertüberschreitungen;
- Vermeidbarkeit von Anhaltswertüberschreitungen (z.B. Einhaltung des Standes der Technik bei Gleisanlagen und Fahrzeugen);
- Die Duldungspflichten nach dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme.

Von der Rechtsprechung wird eine bestehende Vorbelastung im Sinne der oben angeführten Kriterien danach grundsätzlich als schutzmindernd angerechnet. Als richtungsweisend sei hier das Urteil des BayVGH (BayVGH, AZ.: 20A 93 40080, vom 21. Feb. 1995) angeführt. Hier wird zur Planfeststellung von zusätzlichen S-Bahn Gleisen ausgeführt: „*Reale und*

geldwerte Ausgleichsansprüche bestehen folglich nur insoweit, als das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen zu der vorhandenen Vorbelastung die Erschütterungen in beachtlicher Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche unzumutbare Belastung liegt“. In weiteren Urteilen wurde dieser Grundsatz betätigt.

In dem zitierten Urteil wurde danach bei der Beurteilung der Veränderung einer gegebenen Vorbelastung eine Erhöhung der vorhandenen Werte für die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} nach oben hin um bis zu 25 % nicht als wesentlich anzusehen und demzufolge nicht mit Ansprüchen bezüglich erschütterungsmindernder Maßnahmen verbunden. Dabei wurde unter Bezugnahme auf einen Bericht „Erschütterungen durch Eisenbahnverkehr und ihre Wirkungen auf Anwohner“ (Zeitschrift für Lärmbekämpfung 41, 1994, Hefte 2 und 4) davon ausgegangen, dass sich erst bei einem mittleren KB_{Fmax} -Wert über alle Ereignisse von $KB_{Fmax} = 0.4$ ca. 50 % Betroffene durch die Erschütterungseinwirkungen bereits gestört fühlen. Dieser mittlere KB_{Fmax} -Wert über alle Ereignisse für den Prognosefall von $KB_{Fmax} = 0.4$ wurde in dem Urteil als Zumutbarkeitsschwelle definiert, ab den eine Prüfung hinsichtlich einer als wesentlich zu bezeichnenden Erhöhung des Gesamtmittelwertes um mehr als 25 % zu prüfen ist. Diese Vorgehensweise in der Beurteilung war auch Bestandteil des Beurteilungsverfahrens im Leitfaden Körperschall- und Erschütterungsschutz² der DB-AG

In einer Untersuchung im Auftrag der DB AG (Said, A; Fleischer, D; Kilcher, H; Fastl, H; Grütz, H.: „Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48 (November 2001)) zu der Wahrnehmung von Unterschiedsschwellen bei der Einwirkung von Erschütterung aus dem Bahnverkehr wurde eine Unterschiedsschwelle von 25 % bei der Wahrnehmung von Einzelwerten KB_{Fmax} bestätigt. In wieweit diese Wahrnehmbarkeitsschwelle auch auf die Beurteilungsschwingstärke übertragen werden kann, ist wissenschaftlich bisher noch nicht eingehender untersucht worden.

² Körperschall- und Erschütterungsschutz - Leitfaden für den Planer -Information Körperschall/Erschütterungen der Deutschen Bahn AG; August 1996 (Berichtigt: Februar 1999)

Wurde in früheren Verfahren in der Beurteilung einer bestehenden Vorbelastung entsprechend dem oben beschriebenen Beurteilungsverfahren vorgegangen, so entspricht dieses Beurteilungsverfahren mit Bezug auf die maximale bewertete Schwingstärke nicht mehr dem heutigen Stand der Rechtsprechung und Genehmigungsplanung. Danach ist auch eine Erhöhung der Anzahl der Ereignisse und der damit verbundenen höheren Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} in der Beurteilung maßgebend. In diesem Zusammenhang ist das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts (BVerwG 11 A 6.00, Urteil vom 31. Januar 2001) anzuführen. Hierzu wurde in dem vorstehend angeführten Urteil des **BVerwG vom 31.01.2002** festgestellt, dass es für die Beurteilung nicht allein auf den maximalen Wert sondern auch auf die Beurteilungsschwingstärke ankommt.

Diesem Umstand wird in der nachfolgenden Beurteilung Rechnung getragen. Danach ist eine Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke gegenüber dem Zustand vor Ausführung der Baumaßnahme um mehr als 25 % als wesentliche Änderung im Sinne VwVfG § 74, Absatz 2 zu bewerten und löst in der Folge Ansprüche auf Erschütterungsschutz bzw. auf Entschädigungsleistungen aus.

Die Eingriffsschwelle, ab der die Prüfung auf eine wesentliche Änderung zu erfolgen hat, wird hier durch die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für die jeweils geltende Gebietsausweisung des betrachteten Wohngebäudes vorgegeben. Danach ist die Prüfung auf wesentliche Änderung erst vorzunehmen, wenn die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für den Prognosezustand nicht eingehalten werden.

Hinsichtlich des Begriffes der wesentlichen Änderung sei hier noch ergänzend angemerkt, dass in der Rechtsprechung auch Änderungen gegenüber der bestehenden Situation um mehr als 25 % akzeptiert werden. So wurde vom Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg nicht beanstandet, dass der Vorhabenträger eine Zunahme von 40 % angesetzt hat (Urteil vom 21.10.1997 Az: 5 S 2298/97 zur ABS Karlsruhe-Basel). Die in mancher Hinsicht als ähnlich anzusehende Größe der wesentlichen Änderung beim Luftschall mit 2.1 dB (3 dB nach der 16 BImSchV jedoch aufgrund des zu verwendenden Rundungsverfahrens sind dies in der Praxis tatsächlich nur 2.1 dB) entspricht

einer Zunahme um 62 %. Die hier angesetzte Zunahme um >25 % ist somit als untere, auch von der Rechtsprechung akzeptierte und damit gesicherte Grenze der spürbaren Wahrnehmung unterschiedlich starker Erschütterungssignale anzunehmen. Liegt die Zunahme im Bereich zwischen 25 und 40% ist im Einzelfall abzuwägen, inwieweit diese Zunahme als wesentlich und erheblich einzuschätzen ist, insbesondere da im Rahmen dieser Prognose alle Abschätzungen zur sicheren Seite vorgenommen wurden.

Werden die genannten Kriterien überschritten, ist eine sorgfältige Abwägung hinsichtlich realer oder geldwerter Ausgleichs- oder Schutzmaßnahmen durchzuführen. Ausgehend von dem Grundsatz, dass Vorbelastungen vom Anlieger an Schienenverkehrswegen dem Grundsatz nach hinzunehmen sind, ist sicherzustellen, dass sich die Situation für den Anlieger nicht erheblich verschlechtert. Als Bezugsgröße sind somit die Immissionswirkungen in Höhe der bestehenden oder plangegebenen Vorbelastung ohne baulichen Eingriff anzusetzen. Ein darüber hinausgehender Anspruch (etwa Einhaltung der Anhaltswerte für den Neubau) würde Fragen der Sanierung betreffen, für die keine gesetzlichen Grundlagen bestehen.

8 Messdurchführung

8.1 Messpunkte Erschütterung

Die Messungen wurden für die drei im Folgenden beschriebenen Messrichtungen durchgeführt:

- z vertikal
- y horizontal parallel zur Ausbreitungsrichtung, d. h. hier senkrecht zur Trasse
- x horizontal quer zur Ausbreitungsrichtung d. h., parallel zur Trasse.

Messungen wurden an folgenden Messpunkten durchgeführt:

MPA/B Vertikale Geländemesspunkte

MPA1/B1 Vertikale Geländemesspunkte

MPA2/B2 Vertikale Geländemesspunkte

MP1z Fundament vertikal

MP1y Fundament horizontal senkrecht zur Trasse

MP1x Fundament horizontal parallel zur Trasse

MP2z – MP4z vertikale Fußbodenmesspunkte in zur Bahn gelegenen Räumen, etwa in Raummitte.

Die Lage und Beschreibung der Messpunkte ist der Dokumentation zur Beschreibung der Messorte im Anhang zu entnehmen. Die Deckenmesspunkte MP2z – MP4z dienen der Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf den Menschen. Die für die Deckenmesspunkte bestimmten Messwerte sind dabei in hohem Maße von der Deckenkonstruktion (dynamische Steifigkeit der Decke), der Art des Bodenbelages und der Massenverteilung auf der Decke abhängig. Aufgrund der Tatsache, dass die beiden letztgenannten Faktoren Änderungen unterworfen sein können (z. B. Umstellen der Möbel, Auftragen schwimmenden Estrichs usw.), hat dies auch Auswirkungen auf die Ergebnisse der zweiten Messung, d. h. die Messergebnisse können unter ungünstigen Umständen nicht mehr reproduzierbar sein. Um hier für den Fall von Nachmessungen über vergleichbare Werte zu verfügen, wurden auch Messungen am Fundament (Messpunkte MP1x/y/z) vorgenommen. Im Gegensatz zu den Deckenmesspunkten sind die Messwerte am Fundament von eventuellen Änderungen weitestgehend unabhängig, so dass hier bei den Nachmessungen mit hoher Sicherheit reproduzierbare Messergebnisse zu erwarten sind. Mit den Messergebnissen für den Fundamentbereich sind auch Aussagen über eine eventuelle Einwirkung der Erschütterungen aus dem Eisenbahnverkehr auf die Gebäudesubstanz möglich.

Über die vertikalen Geländemesspunkte MP A/B, MP A1/B1, MP A2/B2 werden unter anderem die spektrale Übertragungsfunktion zwischen einem emissionsseitigen Referenzpunkt und dem Immissionsmesspunkt für die vertikale Richtung sowie die Emissionsspektren für die zur Prognoseberechnung vorgesehenen Zugarten bestimmt. Um eventuell für nicht im Rahmen dieser Untersuchung erfasste Gebäude eine Aussage machen zu können wird über Geländemesspunkte in einigen Bereichen die spektrale Ausbreitungsdämpfung im Gelände bestimmt. Die Bestimmung der Ausbreitungsdämpfung wird vorzugsweise für die Abstände von 8, 16, 32 und 64 m zum Gleis vorgenommen.

Um mögliche Fehler bei der geländeseitigen Messung zu minimieren, werden i.d.R. zwei Geländemesspunkte je Bezugsabstand gesetzt, über die bei der Auswertung gemittelt wird.

8.2 Mess- und Auswertegeräte

- 9 Kanal - Schwingungsmesssystem BEITZER S9000.
- Radarpistole zur Erfassung der Zuggeschwindigkeit

Zur Messung der Erschütterungen wurden Schwinggeschwindigkeitsmesser eingesetzt, die nach elektrodynamischen Verfahren zur Schwinggeschwindigkeit proportionale elektrische Werte liefern. Der Frequenzbereich der eingesetzten Geophone liegt zwischen 1 Hz und 320 Hz. Die Erschütterungssignale wurden von einem Messrechner aufgezeichnet, die Auswertung erfolgt durch den Rechner. Das eingesetzte Schwingungsmesssystem ist bis Februar 2005 kalibriert.

8.3 Ablauf und Auswertung der Messungen

Für die gemessenen Ereignisse (Zugvorbeifahrten auf der vorhandenen Trasse) wurden folgende Informationen aufgezeichnet:

- per Protokoll:
 - Zugart, Gleis, Geschwindigkeit (Radarmessung), Zeitpunkt;
- per Computer:
 - Signalverlauf der Erschütterung.

Für jedes Ereignis wurde der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ aus den aufgezeichneten Erschütterungssignalen bestimmt und in den Ergebnistabellen zusammengestellt. Zusätzlich wurden Frequenzanalysen für das gemessene Schwinggeschwindigkeitssignal durchgeführt.

Für die bei der Prognoseberechnung relevanten Messpunkte wurden die spektralen Schwingschnellepegel L_v [dB] nach folgender Beziehung bestimmt:

$$L_v = 20 \log [v_e/v_0]$$

v_e : Effektivwert der Schwingschnelle

v_0 : Schwingschnelle-Bezugsgröße, $5 \cdot 10^{-8}$ [m/s]

Die spektralen Schwingschnellepegel L_v nach obiger Funktion wurden mit dem Schwingungsmesssystem BEITZER S9000 nach dem Max-Hold-Verfahren als Terzspektren aus dem während der Messung aufgenommenen Zeitverlauf des Erschütterungssignals bestimmt. Dieses Auswerteverfahren entspricht von der Zeitbewertung her dem Verfahren, das bei der Bestimmung des $KB_{F_{max}}$ -Wertes angewandt wird.

Die Übertragungsfunktionen Gelände- auf Immissionsmesspunkte und ggf. der spektralen Ausbreitungsdämpfung im Gelände wurden als Mittelwerte im Terzbereich aus den gemessenen Zeitsignalen berechnet.

8.4 Ergebnisse der Erschütterungsmessungen

Die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen sind für die untersuchten Messorte in den Ergebnistabellen des **Anhangs (KOEP04_(1-5)/E)** angegeben. In den Tabellen sind im Einzelnen aufgeführt:

- der $KB_{F_{max}}$ - Wert für die einzelne Zugvorbeifahrt
- Geschwindigkeit und Uhrzeit der einzelnen Zugvorbeifahrt
- die minimalen und maximalen Werte $KB_{F_{max}}$ der Zugklasse (Zugart und Gleis)

- der quadratische Mittelwert $\langle KB_{F_{max}} \rangle$ (Effektivwert) aus den für die einzelnen Zugvorbeifahrten je Zugklasse aufgetretenen Werten für $KB_{F_{max}}$ mit Standardabweichung s
- die mittlere Zuggeschwindigkeit v [km/h] je Zugklasse mit Standardabweichung
- die minimalen und maximalen Werte für die Zuggeschwindigkeit v [km/h] je Zugklasse.

Die Gleisbezeichnungen (1, 2 usw.) beziehen sich, unabhängig von den Gleisbezeichnungen auf den Planausschnitten der Anlagen, auf die Lage der Gleise zum Messort (1 für das nächstgelegene Gleis usw.).

In dem jeweils letzten Blatt der im Anhang enthaltenen Ergebnistabellen sind die Werte für $KB_{F_{max}}$ und der quadratische Mittelwert $\langle KB_{F_{max}} \rangle$ (Effektivwert) für die bei der Messung erfassten Zugklassen (Gleis, Zugart) aufgeführt.

Die im Rahmen der Beweissicherung gemessenen Terzspektren sind im **Anhang (KOEP04_(1-5)/D)** für die untersuchten Messorte dargestellt.

8.5 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke für den derzeitigen und zukünftigen Zustand

Bei Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ ist die Zahl der Ereignisse für den Tag- und Nachtzeitraum zu berücksichtigen. Die entsprechenden Ausgangsdaten sind den Tabellen zur Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ dem **Anhang KOEP04_(1-5)/Ka** für den derzeitigen, nicht umgebauten und dem **Anhang KOEP04_(1-5)/Kb** für den umgebauten Zustand zu entnehmen. Diese Daten beruhen auf Angaben des Auftraggebers.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} wird für den Schienenverkehr nach folgender Beziehung ermittelt:

$$KB_{FT_r} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \cdot \sum_{j=1}^L (M_j \cdot KB_{FT_{mj}}^2)}$$

N_r : Anzahl der 30 – Sekunden – Takte im Beurteilungszeitraum;
tags $N_r = 1920$ Takte
nachts $N_r = 960$ Takte

$KB_{FT_{mj}}$: Taktmaximal-Effektivwerte der Zugklasse j, entspricht dem für die Zugklasse aus den $KB_{F_{max}}$ der einzelnen Vorbeifahrten berechneten quadratischen Mittelwert $\langle KB_{F_{max}} \rangle$.

M_j : Anzahl der durch die Zugklasse j während der Beurteilungszeit belegten Takte.

L: Anzahl der unterschiedlichen Zugklassen.

Die Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} wird in den Tabellen der **Anhänge KOEP04_(1-5)/Ka** bzw. **Anhänge KOEP04_(1-5)/Kb** vorgenommen.

Den Tabellen zur Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} sind zu entnehmen:

- die bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zugrunde gelegten Zugzahlen
- für jede Zugklasse (Zugart / Gleis) der quadratische Mittelwert (Effektivwert) $\langle KB_{F_{max}} \rangle$
- die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r}
- Gebietsausweisung für den Messort
- Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2
- Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2.

Für Zugklassen, die bei Durchführung der Messung nicht erfasst werden konnten, werden bei Berechnung der Beurteilungsschwingstärke vergleichbare Werte andere Zugklassen angesetzt, diese sind in den Kommentaren der Tabellen zur Berechnung der Beurteilungsschwingstärke im Anhang ausgewiesen.

9 Zusammenstellung und Beurteilung der Messergebnisse (Ist-Zustand)

In den Ergebnistabellen der **Anhänge KOEP04_(1-8)/E** sind die in den Abschnitten 4 und 7.4 beschriebenen Messergebnisse aufgeführt.

In den im Text folgenden Tabellen werden für die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen angegeben:

In der folgenden Tabelle werden zusammenfassend für die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen angegeben:

- der höchste Wert der maximalen bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{max}}$, der während der Messung aufgetreten ist;
- der höchste quadratische Mittelwert $\langle KB_{F_{max}} \rangle$ (Effektivwert) über alle Zugklassen
- der quadratische Gesamtmittelwert über alle Zugklassen für die MW $\langle KB_{F_{max}} \rangle$ (Effektivwert) je Zugklasse (Zugart und Gleis);
- die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ für Erschütterungsmesspunkte in Wohnbereichen auf Grundlage des Betriebsprogramms für den derzeitigen Zustand unter Berücksichtigung der Streckengeschwindigkeit für den Prognose-Ohne-Fall;
- Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2 für Erschütterungsmesspunkte in Wohnbereichen für den derzeitigen Zustand. **Diese Beurteilung hat wie schon ausgeführt, bei bestehenden Bahnanlagen einen rein informativen Charakter.**

Zusätzlich werden in der Tabellenüberschrift angegeben:

- Entfernung des Messortes vom nächstgelegenen Gleis für den derzeitigen und zukünftigen Zustand
- Entfernung der Geländemesspunkte vom nächstgelegenen Gleis der Trasse für den derzeitigen und zukünftigen Zustand
- Gebietsausweisung für den Messort
- Mittelwert der Zuggeschwindigkeit über alle Zugklassen.

Die Zuggeschwindigkeiten für den Fernverkehr waren zum Zeitpunkt der Messungen aufgrund des baulichen Zustandes der Brücken in dem Bereich des PA 6 stark eingeschränkt. Im Fall einer Instandsetzung der Brücken (ohne Umbau, Prognose-Ohne-Fall) würde die zulässige Geschwindigkeit 120 km/h

betragen. Um hier für den Vergleich Prognose-Ohne-Fall / Prognose-Mit-Fall einen von den bei den durchgeführten Messungen gefahrenen Geschwindigkeiten unabhängigen Vergleich zu ermöglichen, wurden für die Berechnung der Beurteilungsschwingstärke die gemessenen Werte KB_{Fmax} auf die Geschwindigkeiten des Prognose-Ohne-Fall hochgerechnet. Die gemessenen Werte wurden nach der in Kapitel 10 „Berechnung der Immissionswerte für den zukünftigen Zustand“ angegebenen Gleichung entsprechend korrigiert.

Für die in den nachfolgenden Tabellen angegebenen Werte für die maximale bewertete Schwingstärke und deren Mittelwerte wurde keine Geschwindigkeitskorrektur vorgenommen.

Tabelle 5: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_1, Köpenick, Elcknerplatz 16/16a

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke für den Ist-Zustand siehe **Anhang KOEP04_1/Kb**
 Messortbeschreibung siehe **Anhang KOEP04_1/M**
 Ergebnistabellen siehe **Anhang KOEP04_1/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel siehe **Anhang KOEP04_1/D**
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse derzeitiger Zustand ca. 37 m
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse zukünftiger Zustand ca. 29 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 derzeitiger Zustand ca. 22 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 zukünftiger Zustand ca. 14 m
 Mittelwert Zuggeschwindigkeit über alle Zugklassen 43 km/h

Messpunkt	KB_{Fmax}	Maximalwert < KB_{Fmax} >	Gesamtmittelw. < KB_{Fmax} >	KB_{FTr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.07$	KB_{FTr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.05$
MP 1z	----	----	----	-----	-----	-----	-----
MP 1y	0.04	0.04	0.02	-----	-----	-----	-----
MP 1x	0.05	0.05	0.03	-----	-----	-----	-----
MP 2z, EG	0.13	0.13	0.06	0.12	nein	0.10	nein
MP 3z, 4.OG	0.13	0.12	0.07	0.11	nein	0.09	nein
Mittel aus MP A/B 22 m	0.30	0.22	0.12	-----	-----	-----	-----

Im Bereich der Messpunkte im EG und 4.OG liegen die gemessenen Maximalwerte für einzelne Ereignisse geringfügig über der Fühlschwelle. Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 werden für den Bereich der Deckenmesspunkte im Prognose-Ohne-Fall nicht eingehalten.

Tabelle 6: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_2, Köpenick, Am Bahndamm 3

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke für den Ist-Zustand siehe **Anhang KOEP04_2/Kb**
 Messortbeschreibung siehe **Anhang KOEP04_2/M**
 Ergebnistabellen siehe **Anhang KOEP04_2/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel siehe **Anhang KOEP04_2/D**
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse derzeitiger Zustand ca. 42 m
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse zukünftiger Zustand ca. 40 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 derzeitiger Zustand ca. 39 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 zukünftiger Zustand ca. 37 m
 Mittelwert Zuggeschwindigkeit über alle Zugklassen 59 km/h

Messpunkt	KB_{Fmax}	Maximalwert < KB_{Fmax} >	Gesamtmittelw. < KB_{Fmax} >	KB_{FTr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.07$	KB_{FTr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.05$
MP 1z	0.06	0.03	0.03	-----	-----	-----	-----
MP 1y	0.04	0.03	0.02	-----	-----	-----	-----
MP 1x	0.03	0.02	0.02	-----	-----	-----	-----
MP 2z, EG	0.16	0.08	0.07	0.07	ja	0.05	ja
MP 4z, 2.OG	0.61	0.31	0.24	0.20	nein	0.15	nein
Mittel aus MP A/B 39 m	0.15	0.07	0.06	-----	-----	-----	-----

Im Bereich des Messpunktes im EG (MP2z) liegen die gemessenen Maximal- und Mittelwerte geringfügig über der Fühlschwelle, und dürften damit für einzelne Ereignisse wahrnehmbar sein. Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 werden im Bereich des EG für den Prognose-Ohne-Fall erfüllt. Im 2.OG liegen die gemessenen Maximalwerte für einzelne Vorbeifahrten der S-Bahn in einem Bereich, der als „gut spürbar“ und damit als störend anzusehen ist. Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 werden für den Bereich des 2.OG (MP3z) im Prognose-Ohne-Fall nicht eingehalten.

Tabelle 7: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_3, Köpenick, Schubertstraße 25

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke für den Ist-Zustand siehe **Anhang KOEP04_3/Kb**
 Messortbeschreibung siehe **Anhang KOEP04_3/M**
 Ergebnistabellen siehe **Anhang KOEP04_3/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel siehe **Anhang KOEP04_3/D**
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse derzeitiger Zustand ca. 40 m
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse zukünftiger Zustand ca. 40 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 derzeitiger Zustand ca. 16 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 zukünftiger Zustand ca. 16 m
 Entfernung Geländemesspunkte A1/B1 – Gleis 1 derzeitiger Zustand ca. 32 m
 Mittelwert Zuggeschwindigkeit über alle Zugklassen 62 km/h

Messpunkt	KB_{Fmax}	Maximalwert < KB_{Fmax} >	Gesamtmittelw. < KB_{Fmax} >	KB_{FTr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.07$	KB_{FTr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.05$
MP 1z	0.05	0.05	0.04	-----	-----	-----	-----
MP 1y	0.05	0.04	0.03	-----	-----	-----	-----
MP 1x	0.06	0.05	0.03	-----	-----	-----	-----
MP 2z, EG	0.08	0.05	0.04	0.06	ja	0.05	ja
MP 3z, DG	0.24	0.19	0.13	0.22	nein	0.18	nein
Mittel aus MP A/B 16 m	0.22	0.13	0.08	-----	-----	-----	-----
Mittel aus MP A1/B1 32 m	0.10	0.08	0.06	-----	-----	-----	-----

Im Bereich des Messpunktes im EG (MP2z) liegen die gemessenen Maximal- und Mittelwerte unter der Fühlschwelle.

Im 2.OG liegen die gemessenen Maximal- und Mittelwerte in einem Bereich, der wahrnehmbar ist. Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 werden für den Bereich des Deckenmesspunktes im 2.OG im Prognose-Ohne-Fall nicht eingehalten.

Tabelle 8: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_4, Köpenick, Friedenstraße 17

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke für den Ist-Zustand siehe **Anhang KOEP04_4/Kb**
 Messortbeschreibung siehe **Anhang KOEP04_4/M**
 Ergebnistabellen siehe **Anhang KOEP04_4/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel siehe **Anhang KOEP04_4/D**
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse derzeitiger Zustand ca. 14 m
 Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse zukünftiger Zustand ca. 10 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 derzeitiger Zustand ca. 12 m
 Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 zukünftiger Zustand ca. 8 m
 Mittelwert Zuggeschwindigkeit über alle Zugklassen 54 km/h

Messpunkt	KB _{Fmax}	Maximalwert <KB _{Fmax} >	Gesamtmittelw. <KB _{Fmax} >	KB _{FTr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.07	KB _{FTr r} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.05
MP 1z	0.04	0.04	0.03	-----	-----	-----	-----
MP 1y	0.04	0.03	0.02	-----	-----	-----	-----
MP 1x	0.02	0.02	0.01	-----	-----	-----	-----
MP 2z, EG	0.09	0.07	0.04	0.08	nein	0.07	nein
MP 4z, 4.OG	0.12	0.08	0.05	0.09	nein	0.08	nein
Mittel aus MP A/B 12 m	0.33	0.28	0.15	-----	-----	-----	-----

Im Bereich des Messpunktes im liegen die gemessenen Maximalwerte unter der Fühlschwelle, im 4.OG geringfügig darüber. Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 werden für den Bereich der Deckenmesspunkte im Prognose-Ohne-Fall nicht eingehalten.

Tabelle 9: Messergebnisse der Beweissicherung Messort KOEP04_5, Berlin / Friedrichshagen, Wiesenrain 25

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.

Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke für den Ist-Zustand siehe **Anhang KOEP04_5/Kb**

Messortbeschreibung siehe **Anhang**

KOEP04_5/M

Ergebnistabellen siehe **Anhang**

KOEP04_5/E

Spektrale Schwingschnellepegel siehe **Anhang**

KOEP04_5/D

Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse derzeitiger Zustand

ca. 26 m

Entfernung Messort – Gleis 1 der Trasse zukünftiger Zustand

ca. 24 m

Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 derzeitiger Zustand

ca. 18 m

Entfernung Geländemesspunkte A/B – Gleis 1 zukünftiger Zustand

ca. 16 m

Mittelwert Zuggeschwindigkeit über alle Zugklassen

68 km/h

Messpunkt	KB_{Fmax}	Maximalwert < KB_{Fmax} >	Gesamtmittelw. < KB_{Fmax} >	KB_{FTr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.07$	KB_{FTr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.05$
MP 1z	0.22	0.17	0.12	-----	-----	-----	-----
MP 1y	0.14	0.14	0.07	-----	-----	-----	-----
MP 1x	0.15	0.12	0.08	-----	-----	-----	-----
MP 2z, EG	0.52	0.39	0.21	0.17	nein	0.14	nein
MP 3z, 1.OG	0.45	0.34	0.22	0.15	nein	0.12	nein
Mittel aus MP A/B 18 m	0.55	0.35	0.24	-----	-----	-----	-----
MP A1 43 m	0.24	0.21	0.14	-----	-----	-----	-----
MP A2 65 m	0.10	0.08	0.05	-----	-----	-----	-----

Im Bereich der Messpunkte im EG und 1.OG liegen die gemessenen Maximal- und Mittelwerte deutlich über der Fühlschwelle und sind als gut spürbar einzustufen. Die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 werden für den Bereich der Deckenmesspunktes im Prognose-Ohne-Fall nicht eingehalten.

10 Berechnung der Immissionswerte für den zukünftigen Zustand

Ziel der Erschütterungsprognose ist die Ermittlung der nach Durchführung der Erweiterung der Gleisanlagen zu erwartenden Werte für den Mittel- und Maximalwert der maximalen Bewerteten Schwingstärke $\langle KB_{Fmax} \rangle$ für den zukünftigen Zustand.

Die Vorgehensweise bei Erschütterungsprognosen basiert auf den Messergebnissen sowie theoretischen Überlegungen. Das schwingungstechnische Gesamtsystem von der Erschütterungsquelle bis zum Immissionsort wird dabei in mehrere entkoppelte Teilsysteme unterteilt:

- a. Quelle mit der Ankopplung an den Erdboden
- b. Ausbreitung der Erschütterungen vom Erdboden bis vor das Gebäude
- c. Übergang der Erschütterungen vom Erdboden auf das Gebäudefundament
- d. Übergang der Erschütterungen vom Gebäudefundament auf die Geschossdecke.

Für die Ermittlung der zukünftigen Schwingungsmissionen aus der nächstgelegenen Fahrspur sind demnach zwei Kenngrößen erforderlich:

- (1) Das Spektrum der Erschütterungsemissionen der im zukünftigen Zustand auf dem Prognosegleis vorgesehenen Zugarten und deren Geschwindigkeiten in einem Bezugsabstand von 8 m zum Gleis.
- (2) Die spektrale Differenz zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse der emissionsseitigen vertikalen Geländemesspunkte und dem entsprechenden Messwert der vertikalen Immissionsmesspunkte (MP 2z, MP 3z bzw. MP 4z) im Deckenbereich. Der Abstand dieser Geländemesspunkte von dem nächstgelegenen Gleis der vorgesehenen Trassierung sollte dabei annähernd dem Bezugsabstand von 8 m entsprechen. In dieser messtechnisch bestimmten Übertragungsfunktion ist der Einfluss durch die oben beschriebenen Teilsysteme b, c und d, die den Übertragungsweg von der Quelle bis zum Immissionsort beschreiben, vollständig erfasst. Dies beinhaltet auch die für die Ausbreitung maßgeblichen bodenmechanischen

Eigenschaften. Das Differenzspektrum wurde aus den Ergebnissen der Beweissicherungsmessungen für Zugvorbeifahrten ermittelt. Dabei wurde für jede Vorbeifahrt die spektrale Übertragungsfunktion bestimmt. Aus diesen spektralen Übertragungsfunktionen wurde ein spektraler Gesamtmittelwert gebildet. Die bei den Berechnungen für die jeweiligen Messorte zugrunde gelegten spektralen Übertragungsfunktionen sind in den Anlagen zur Darstellung der Prognoseberechnung KOEP04_(1-5)/P enthalten.

Durch Addition der beiden oben beschriebenen Spektren ergibt sich nunmehr das zukünftig zu erwartende Immissionsspektrum aus der geplanten Trassenlage im Bereich der vertikalen Immissionsmesspunkte. Die prognostizierten Immissionsspektren, einschließlich Prognoseberechnung, sind im **Anhang (KOEP04_(1-5)/P)** dargestellt.

Das Emissionsspektrum zu (1) für die zukünftig auf den Gleisen verkehrenden Zugarten und Geschwindigkeiten wurde bei eigenen Messungen an der Strecke 1720 im Bereich Stelle - Lüneburg bestimmt, die in dem Bereich einen neuen Oberbau im üblichen Unterhaltungszustand aufweist. Dabei wurden im Rahmen der Messung für jedes gewählte Messprofil entsprechende Emissionsspektren für die jeweilige Zugklasse ermittelt. Über diese Messprofile wurde für die jeweilige Zugklasse (Zugart/-geschwindigkeit) für die Geländemesspunkte, die sich in den Referenzentfernungen von 8 m bzw. 16 m vom Gleis 1 befinden, das Mittel gebildet.

Die Trasse weist im heutigen und zukünftigen Zustand eine Dammlage auf. Im Allgemeinen ist bei einer Trassenführung in Dammlage mit geringeren Emissionswerten zu rechnen. Über die tatsächlichen Auswirkungen liegen jedoch keine gesicherten Erkenntnisse vor. Auf eine, auf die Dammlage bezogene, Korrektur der Emissionsspektren wird daher aus Gründen der Prognosesicherheit verzichtet.

Die Bestimmung der Emissionsspektren auf der oben genannten Strecke 1720 wurde für 6 Messprofile für folgende Zugklassen für Abstände von 8 und (16 m) durchgeführt:

- IC/IR mittlere Geschwindigkeit $v = 190$ km/h; $v = 170$ km/h (16 m)
- RE mittlere Geschwindigkeit $v = 120$ km/h
- RB mittlere Geschwindigkeit $v = 100$ km/h
- Güterzüge mittlere Geschwindigkeit $v = 90$ km/h; $v = 85$ km/h (16 m).

Die oben angegeben mittleren Geschwindigkeiten entsprechen nicht den hier vorgesehenen Geschwindigkeiten. Da für diese Geschwindigkeiten zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Emissionsspektren verfügbar waren, wurden die vorhandenen Emissionsspektren einer geschwindigkeitsabhängigen Korrektur unterzogen.

Für die S-Bahn wurde keine explizite Prognoseberechnung durchgeführt, da hier keine Erhöhung der Zuggeschwindigkeit im Prognosefall vorgesehen ist. Die Änderungen des Abstandes der S-Bahngleise zur Bebauung hin liegen in einem Bereich, der messtechnisch nicht nachweisbar ist. Für den Prognosefall werden für die S-Bahn daher die Werte aus der Messung zur Beweissicherung zugrunde gelegt.

Die geschwindigkeitsabhängige Korrektur dL_v wurde nach folgender Beziehung (Flesch „Baudynamik“) berechnet:

$$dL_v = 20 * \log (v_p / v_m)^{1.084}$$

mit

v_p : Fahrgeschwindigkeit Prognose der jeweiligen Zugklasse

v_m : Mittlere Fahrgeschwindigkeit bei Ermittlung der Emissionsspektren.

Die so bestimmten Emissionsspektren sind jeweils in den Anhängen zur Prognoseberechnung KOEP04_(1-5)/P dargestellt.

Für den Messort KOEP04_2 konnten die Geländemesspunkte nicht in dem definierten Abstand von 16 m zum zukünftig nächstgelegenen Gleis gesetzt

werden. Hier wird eine entfernungsabhängige Korrektur vorgenommen, die aus Messungen für Geländemesspunkte in 16 und 32 m ermittelt wurde, und für den die Abnahme von 16 m auf 37 m hochgerechnet wurde.

Eine Prognoseberechnung wird für alle Zugklassen des Prognosefalls nur für das dem Messort nächstgelegene Gleis vorgenommen. Da die Werte für die weiteren Gleise i.d.R. kleiner sind, wird damit für die Prognose der ungünstigere Fall angenommen. Bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} für den Prognosezustand hat diese Vorgehensweise höhere Werte zur Folge.

Bezüglich der durchgeführten Prognoseberechnung ist anzumerken, dass diese mit der größtmöglichen Sicherheit durchgeführt werden. D.h. die tatsächlich nach Ausbau zu erwartenden Werte dürften aller Voraussicht nach unter den prognostizierten Werten liegen. Die zwei wesentlichen Sicherheitszuschläge im Verfahren zu Prognoseberechnung sind:

- Berechnung der Prognosewerte nur für das zukünftig nächstgelegene Gleis. Bei den Messorten (KOEP04_2: Am Bahndamm 3; KOEP04_3: Schubertstraße 25), bei denen die beiden nächstgelegenen Gleise nur von der S-Bahn befahren werden, ist bei der Prognoseberechnung eine große Sicherheit enthalten, da ein Verkehr von Fernbahnzügen auf diesen Gleisen nicht vorgesehen ist.
- Verzicht auf eine Korrektur der angesetzten Emissionsspektren hinsichtlich der Dammlage, in Folge davon ist damit nach Inbetriebnahme für alle untersuchten Wohngebäude ebenfalls mit Werten zu rechnen die unter den prognostizierten Werten liegen.

11 Ergebnisse und Beurteilung für den Prognose-Mit-Fall

Aus den für die Zugklassen berechneten Prognosespektren für das nächstgelegene Gleis wird über eine KB-Bewertung der Terzbänder und deren energetischer Addition der KB-bewertete Summenpegel L_v berechnet. Aus diesen Summenpegeln L_v errechnen sich die KB_F – Werte. In den nachfolgenden Tabellen werden angegeben:

- der bei dem Vergleich mit der Vorbelastung maßgebende Gesamtmittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ über alle Zugklassen zu erwartende energetische Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ für das Prognosegleis,
- der höchste zu erwartende energetische Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ für das Prognosegleis,
- die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} für den Prognose-Mit-Fall für die gesamte Trasse.

Da die Prognoseberechnung und damit die Berechnung der zu erwartenden KB – Werte auf Mittelwertspektren über mehrere Vorbeifahrten der entsprechenden Zugart beruht, wird für die Prognose dementsprechend der energetische Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ (Effektivwert) angegeben.

Die in den Tabellen vorgenommene Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2 dient hier ausschließlich der Ermittlung der Eingriffsschwelle, ab der die Prüfung auf eine wesentliche Änderung zu erfolgen hat. darüber hinaus hat die Beurteilung nach der DIN 4150, Teil 2 einen rein informativen Charakter.

Tabelle 10: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_1, Köpenick, Elcknerplatz 16/16a

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke Prognosezustand siehe **Anhang KOEP04_1/Kb**
 Ergebnistabellen Beweissicherung siehe **Anhang KOEP04_1/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung **Anhang KOEP04_1/P**

Messpunkt	Höchster Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ aus Prognose	Prognose Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ über alle Zugklassen	KB_{FTr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.07$	KB_{FTr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? $A_r = 0.05$
MP 2z, EG	0.26	0.18	0.07	ja	0.06	nein
MP 4z, 4.OG	0.26	0.18	0.07	ja	0.06	nein

Tabelle 11: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_2, Köpenick, Am Bahndamm 3

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke Prognosezustand siehe **Anhang KOEP04_2/Kb**
 Ergebnistabellen Beweissicherung siehe **Anhang KOEP04_2/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung **Anhang KOEP04_2/P**

Messpunkt	Höchster Mittelwert <K _{B_{Fmax}} > aus Prognose	Prognose Mittelwert <K _{B_{Fmax}} > über alle Zugklassen	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.07	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.05
MP 2z, EG	0.22	0.17	0.07	ja	0.05	ja
MP 4z, 2.OG	0.98	0.53	0.25	nein	0.20	nein

Tabelle 12: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_3, Köpenick, Schubertstraße 25

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke Prognosezustand siehe **Anhang KOEP04_3/Kb**
 Ergebnistabellen Beweissicherung siehe **Anhang KOEP04_3/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung **Anhang KOEP04_3/P**

Messpunkt	Höchster Mittelwert <K _{B_{Fmax}} > aus Prognose	Prognose Mittelwert <K _{B_{Fmax}} > über alle Zugklassen	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.07	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.05
MP 2z, EG	0.17	0.10	0.05	ja	0.04	ja
MP 3z, DG	0.46	0.28	0.12	nein	0.10	nein

Tabelle 13: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_4, Köpenick, Friedenstraße 17

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.
 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke Prognosezustand siehe **Anhang KOEP04_4/Kb**
 Ergebnistabellen Beweissicherung siehe **Anhang KOEP04_4/E**
 Spektrale Schwingschnellepegel zur Prognoseberechnung **Anhang KOEP04_4/P**

Messpunkt	Höchster Mittelwert <K _{B_{Fmax}} > aus Prognose	Prognose Mittelwert <K _{B_{Fmax}} > über alle Zugklassen	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.07	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.05
MP 2z, EG	0.26	0.16	0.06	ja	0.04	ja
MP 4z, 4.OG	0.26	0.17	0.07	ja	0.05	ja

Tabelle 14: Ergebnisse der Prognoseberechnung für Messort KOEP04_5, Berlin/Friedrichshagen, Wiesenrain 25

Gebietsausweisung: W nach Zeile 4 von Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 zu beurteilen.

Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke Prognosezustand siehe **Anhang KOEP04_5/Kb**

Ergebnistabellen Beweissicherung siehe **Anhang**

KOEP04_5/E

Spektrale Schwingsschnellepegel zur Prognoseberechnung **Anhang**

KOEP04_5/P

Messpunkt	Höchster Mittelwert <K _B F _{max} > aus Prognose	Prognose Mittelwert <K _B F _{max} > über alle Zugklassen	KBF _{Tr} (Tag)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.07	KBF _{Tr} (Nacht)	DIN 4150, T2 eingehalten ? A _r = 0.05
MP 2z, EG	0.22	0.17	0.07	ja	0.05	ja
MP 3z, 1.OG	0.32	0.18	0.08	nein	0.07	nein

Aufgrund der Vorbelastung durch die Erschütterungsimmissionen aus dem Betrieb der vorhandenen Trasse ist bei der Beurteilung primär die Ermittlung der zu erwartenden Immissionszunahme durch Vergleich mit der Vorbelastung und nicht die Beurteilung nach den Anhaltswerten der DIN 4150, Teil 2 maßgebend. In der nachfolgenden Tabelle 5 wird für die untersuchten Messorte ein Vergleich der Beurteilungsschwingstärke für den der Vorbelastung entsprechenden Prognose-Ohne-Fall mit dem Prognose-Mit-Fall nach Ausführung der geplanten Maßnahmen vorgenommen.

Um die Auswirkung der Abstände von den Gleisanlagen zu bewerten, sind die Abstände für den Ist- und den Prognosezustand in der Tabelle angegeben. Erhöhungen der Beurteilungsschwingstärke um mehr als 25 % mit der Folge von Ansprüchen sind in der Tabelle grau unterlegt.

Um den Einfluss der Deckenbauweise aufzuzeigen sind die entsprechenden Angaben ebenfalls in der Tabelle aufgeführt.

Tabelle 15: Ergebnisse und Beurteilung für die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}
(Wesentliche Änderung grau unterlegt)

			Prognose-Ohne-Fall		Prognose-Mit-Fall			
MO	Messpunkt/ Ausführung Decke		KB_{FTr}	DIN 4150 Teil 2 eingehalten ?	KB_{FTr}	DIN 4150 Teil 2 eingehalten ?	% Erhöhung Prognose gegenüber der Vorbelastung	% Erhöhung Prognose gegenüber der Vorbelastung größer als 25 % ?
KOEP04_1: Berlin / Köpenick, Elcknerplatz 16/16a 37 m / 29 m / W Ar (tag/nacht) = 0.07/0.05	MP 2z, EG / Beton	Tag	0.12	nein	0.07	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
		Nacht	0.10	nein	0.06	nein	- 40 %	nein
	MP 4z, 4.OG / Beton	Tag	0.11	nein	0.07	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
		Nacht	0.09	nein	0.06	nein	- 33 %	nein
KOEP04_2: Berlin / Köpenick, Am Bahndamm 3 42 m / 40 m / W Ar (tag/nacht) = 0.07/0.05	MP 2z, EG / Holzbalken	Tag	0.07	ja	0.07	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
		Nacht	0.05	ja	0.05	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
	MP 4z, 2.OG / Holzbalken.	Tag	0.20	nein	0.25	nein	+ 25 %	nein
		Nacht	0.15	nein	0.20	nein	+ 33 %	ja*
KOEP04_3: Berlin / Köpenick, Schubertstraße 25 26 m / 24 m / W Ar (tag/nacht) = 0.07/0.05	MP 2z, EG / Beton.	Tag	0.06	ja	0.05	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
		Nacht	0.05	ja	0.04	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
	MP 3z, DG/ Holzbalken	Tag	0.22	nein	0.12	nein	- 45 %	nein
		Nacht	0.18	nein	0.10	nein	- 44 %	nein
KOEP04_4: Berlin / Köpenick, Friedenstraße 17 14 m / 10 m / W Ar (tag/nacht) = 0.07/0.05	MP 2z, EG / Beton.	Tag	0.08	nein	0.06	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
		Nacht	0.07	nein	0.04	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
	MP 4z, 4.OG / Beton	Tag	0.09	nein	0.07	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
		Nacht	0.08	nein	0.05	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
KOEP04_5: Berlin / Friedrichshagen, Wiesenrain 25 26 m / 24 m / W Ar (tag/nacht) = 0.07/0.05	MP 2z, EG / Beton.	Tag	0.17	nein	0.07	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
		Nacht	0.14	nein	0.05	ja	kein Vergleich erforderlich	kein Vergleich erforderlich
	MP 3z, 1.OG / Holzbalken	Tag	0.15	nein	0.08	nein	- 47 %	nein
		Nacht	0.12	nein	0.07	nein	- 42 %	nein

) Hier sollte bei der Bewertung die Tatsache berücksichtigt werden, dass ggf. von der Rechtsprechung auch Erhöhungen um bis zu 40 % akzeptiert werden.

In der Zusammenfassung sind für die untersuchten Messorte folgende Bewertungen abzuleiten:

Messort KOEP04 1: Berlin / Köpenick, Elcknerplatz 16/16a

Für den Prognose-Mit-Fall werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für den Tageszeitraum in den untersuchten Bereichen eingehalten.

Für den Nachtzeitraum werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 im Prognose-Mit-Fall nicht eingehalten, damit ist auf wesentliche Änderung zu prüfen. Danach ist für den Prognose-Mit-Fall eine Reduzierung der Werte für die Beurteilungsschwingstärke gegenüber dem Prognose-Ohne-Fall um bis zu 40 % zu erwarten. Damit ergeben sich für den Messort KOEP04_1 keine Ansprüche.

Messort KOEP04 2: Berlin / Köpenick, Am Bahndamm 3

Für den Prognose-Mit-Fall werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für den Tageszeitraum im Bereich des EG eingehalten.

Im 2.OG liegt die Änderung der Beurteilungsschwingstärke für den untersuchten Messpunkt für den Nachtzeitraum in Verbindung mit einem Überschreiten der Eingriffsschwelle im ungünstigsten Fall möglicherweise bei 33 %, damit werden dem Grunde nach Ansprüche ausgelöst. Die Erhöhung um 33 % sollte hier jedoch unter dem Aspekt bewertet werden, dass eine Erhöhung um bis zu 40 % nach Rechtsprechung akzeptiert wird. Unter Berücksichtigung dieses Punktes sind Ansprüche auf vorsorgende Maßnahmen nicht gerechtfertigt. Hier sollte auch der Vorbehalt bei der Prognose (Prognose auf das nächstgelegene Gleis bezogen, das ausschließlich von der S-Bahn und nicht vom Fernverkehr befahren wird) berücksichtigt werden, danach dürften die tatsächlichen Werte nach Inbetriebnahme unter den prognostizierten Werten liegen.

Messort KOEP04 3: Berlin / Köpenick, Schubertstraße 25

Für den Prognose-Mit-Fall werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für den Tageszeitraum im Bereich des EG eingehalten.

Für den Tages- und Nachtzeitraum werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 im Prognose-Mit-Fall im Bereich des DG nicht eingehalten, damit ist auf wesentliche Änderung zu prüfen. Danach ist für den Prognose-Mit-Fall eine Reduzierung der Werte für die Beurteilungsschwingstärke gegenüber dem Prognose-Ohne-Fall um bis zu 45 % zu erwarten. Damit ergeben sich für den

Messort KOEP04_3 keine Ansprüche.

Messort KOEP04 4: Berlin / Köpenick, Friedenstraße 17

Für den Prognose-Mit-Fall werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für den Tageszeitraum im Bereich von EG und 4.OG eingehalten. Damit ergeben sich für den Messort KOEP04_4 keine Ansprüche.

Messort KOEP04 5: Berlin / Friedrichshagen, Wiesenrain 25

Für den Prognose-Mit-Fall werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für den Tageszeitraum im Bereich des EG eingehalten.

Für den Tages- und Nachtzeitraum werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 im Prognose-Mit-Fall für den Bereich des 1.OG nicht eingehalten, damit ist auf wesentliche Änderung zu prüfen. Danach ist für den Prognose-Mit-Fall eine Reduzierung der Werte für die Beurteilungsschwingstärke gegenüber dem Prognose-Ohne-Fall um bis zu 47 % zu erwarten. Damit ergeben sich für den Messort KOEP04_5 keine Ansprüche.

12 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurden die erschütterungstechnischen Auswirkungen einer Verlegung der bestehenden Strecke zur Bebauung hin und die dadurch möglich Anhebung der Streckengeschwindigkeit für den Bereich der Fernbahntrasse untersucht.

Anhaltswerte für Erschütterungen enthält die DIN 4150, Teil 2, „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ in der aktuellen Fassung von Juni 1999. Das Normblatt beinhaltet Anhaltswerte für die bewertete Schwingstärke KB_F als maßgebliches Beurteilungskriterium. Bei diesen Anhaltswerten handelt es sich nicht um gesicherte Grenzwerte; gesetzliche Regelungen für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen gibt es - im Gegensatz zu Schallimmissionen - nicht. Die angrenzende Bebauung ist durch Erschütterungen aus der bestehenden Trasse in einem hohen Maße vorbelastet. Diese Vorbelastung ist bei der Beurteilung primär zu berücksichtigen. Die Ergebnisse der Untersuchung und die daraus


resultierenden Beurteilungen können danach wie folgt zusammengefasst werden:

1. Für den Prognose-Mit-Fall könnten sich möglicherweise für den Bereich des PA 6 nur für einen (KOEP04_2) von fünf untersuchten Messorten Ansprüche durch eine Änderung der erschütterungstechnischen Situation ergeben. Mit 33 % liegt diese Erhöhung jedoch in einem Bereich bei dem keine vorsorgenden Maßnahmen gerechtfertigt wären. Unter Berücksichtigung der Rechtsprechung ist eine Erhöhung um bis zu 40 % noch nicht mit Ansprüchen auf vorsorgende Maßnahmen verbunden..
2. Die durchgeführten Prognoseberechnungen wurden unter dem Ansatz einer hohen Sicherheit in der Prognose durchgeführt, die tatsächlich nach Ausführung zu erwartenden Werte dürften aller Voraussicht und der Erfahrung aus vergleichbaren Projekten nach unter den prognostizierten Werten liegen. Der Fehler in der Prognose kann nach Erfahrungen aus anderen Projekten, bei denen Nachmessungen erfolgt sind, mit bis zu + 40 % angegeben werden. D.h. die nach Inbetriebnahme gemessenen Werte liegen i.d.R. um ca. 40 % unter den prognostizierten Werten. Auch unter Berücksichtigung dieses Gesichtpunktes ist davon auszugehen, dass sich für den möglicherweise betroffenen Messort nach Inbetriebnahme keine Ansprüche ergeben.
3. Für vier von fünf untersuchten Messorten ist für den Prognose-Mit-Fall eine Verbesserung gegenüber dem Prognose-Ohne-Fall zu erwarten. Insgesamt kann damit für den Bereich des PA 6 von einer Verbesserung der erschütterungstechnischen Situation für den Prognose-Mit-Fall ausgegangen werden.
4. Unter Berücksichtigung der vorstehenden Punkt sind vorsorgende Maßnahmen zum Erschütterungsschutz nicht erforderlich.
5. Nach Ausführung der Baumaßnahme wird empfohlen in den Gebäuden, in denen Messungen im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführt wurden, Nachmessungen zur Ermittlung der tatsächlichen einwirkenden Erschütterungsimmissionen durchzuführen um die Ergebnisse der Prognoseberechnungen zu überprüfen. Falls eine Erhöhung der Erschütterungsimmissionen

um mehr als 25 % festgestellt wird, müssten ggf. entsprechend der Höhe der Immissionen und je nach Grad der Betroffenheit der Gebäude schwingungsmindernde Maßnahmen an den Gebäuden selbst (z.B. Versteifung der Decken) ergriffen bzw. die Wertminderung entschädigt werden.

6. Die gewählten Messorte stellen von ihrer Lage zur Trasse her den ungünstigsten Fall hinsichtlich der Einwirkungen von Erschütterungen dar. Da die für die Messungen ausgewählten Wohngebäude von ihrer Bauweise her für die vorhandene Wohnbebauung repräsentativ sind, kann die vorgenommene Beurteilung bezüglich der wesentlichen Änderung ohne Einschränkung auf die weitere an der Trasse liegende Wohnbebauung übernommen werden.

Bonk-Maire-Hoppmann GbR



(Dipl.-Phys. M. Krause)

