

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

BAUVORHABEN:	Errichtung eines Wohngebiets in Mainz, Jakob-Leischner-Straße, auf den Flurstücken 31/1 – 41/5
UMFANG:	Ermittlung und Beurteilung der Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall durch die Straßenbahn, auf Grundlage der erschütterungstechnischen Messungen auf dem Freifeld des Baugebiets
AUFTRAGGEBER:	Landeshauptstadt Mainz Grün- und Umweltamt, Abteilung Umweltordnung Geschwister-Scholl-Straße 4 55131 Mainz
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH Heinrich-Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20210468-805-VSE-1
DATUM:	Darmstadt, 23.12.2021

Dieser Bericht umfasst 25 Seiten und 6 Anhänge mit 27 Blättern.

Dieser Bericht ist nur für den Gebrauch des Auftraggebers im Zusammenhang mit dem oben genannten Planvorhaben bestimmt. Eine darüberhinausgehende Verwendung, vor allem durch Dritte, unterliegt dem Schutz des Urheberrechts gemäß UrhG.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Sachverhalt und Aufgabenstellung	6
3	Bearbeitungsgrundlagen	7
4	Beschreibung des Bauvorhabens	8
5	Anforderungen an den Immissionsschutz	9
5.1	Erschütterungsschutz	9
5.2	Sekundärer Luftschall	10
6	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	11
6.1	Prognosemodell	11
6.2	Emissionen	12
6.3	Transmissionen	12
6.3.1	Transmissionen T_1	12
6.3.2	Transferfunktion T_2	13
6.3.3	Transferfunktion T_3	13
6.4	Immissionen	13
6.4.1	Erschütterungen	13
6.4.2	Sekundärer Luftschall	14
6.5	Betriebsparameter der Bahnstrecke	15
7	Durchführung der Erschütterungsmessungen	15
7.1	Beschreibung der Messkette	15
7.2	Anordnung der Sensoren	17
7.3	Messdurchführung	18
7.4	Auswertung der Messungen	18
8	Untersuchungsergebnisse	19
8.1	Abnahmeexponenten	19
8.2	Emissionsspektren	20

8.3	Prognose der Immissionen	20
8.3.1	Erschütterungen	21
8.3.2	Sekundärer Luftschall	21
8.4	Mögliche Schutzmaßnahmen	22
8.4.1	Aussteifung von Geschossdecken	22
8.4.2	Gebäudelagerung mit $f_e = 10$ Hz	22
9	Abschließende Bemerkungen	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	9
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall	10
Tabelle 3:	Betriebsprogramm der Mainzelbahn „Ludwig-Nauth-Straße“ in Mainz	15
Tabelle 4:	Komponenten des eingesetzten Messsystems	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwurf der Bebauung „Südlich der Jakob-Leischner-Straße“	8
Abbildung 2:	Übertragung von Erschütterungen	12
Abbildung 3:	Prinzipskizze der Messanordnung	17
Abbildung 4:	Auswertung im Frequenzbereich	19

Anhänge

Anhang 1	Messprotokoll
Anhang 2	Emissionen
Anhang 3	Abnahmeexponenten
Anhang 4	Übertragungsfunktionen
Anhang 5	Immissionen infolge des Straßenbahnverkehrs ohne Schutzmaßnahmen
Anhang 6	Immissionen infolge des Straßenbahnverkehrs mit Schutzmaßnahmen

Abkürzungsverzeichnis

A	Anhaltswert [-]
A _r	Beurteilungsanhaltswert nach DIN 4150-2 [-]
A _o	Oberer Anhaltswert nach DIN 4150-2 [-]
A _u	Unterer Anhaltswert nach DIN 4150-2 [-]
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
dB	Dezibel
f	Frequenz [Hz]
f ₀	Deckeneigenfrequenz [Hz]
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FTr}	Beurteilungsschwingstärke [-]
L _{ri}	Beurteilungspegels [dB(A)]
L _{sek}	sek. Luftschallpegel des betrachteten Bauteils [dB(A)]
L _v	mittlerer A-bewerteter Körperschallschnellepegel des betrachteten Bauteils [dB(A)]
WA	Allgemeine Wohngebiete gemäß § 4 der BauNVO
N	Anzahl von Zügen
SB	Straßenbahn
r, R	Abstand
StAbw	Standardabweichung
StB	Stahlbetondecken
T	Transferfunktion
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [$5 \cdot 10^{-8}$ m/s]

1 Zusammenfassung

Die erschütterungstechnische Untersuchung im Zusammenhang mit der Aufstellung des Bebauungsplans Nr. B 165 „Südlich der Jakob-Leischner-Straße“ in Mainz-Bretzenheim hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

- ❑ Die Erschütterungseinwirkungen infolge der Straßenbahnen, die auf den anliegenden Bahngleisen der Mainzelbahnlinie verkehren, wurden in Form von Emissions- und Ausbreitungsmessungen auf dem Freifeld an insgesamt 9 Stellen an 3 Messketten auf dem Baugrundstück messtechnisch ermittelt. Anschließend wurden unter Zugrundelegung der Messergebnisse und des aktuellen Betriebsprogramms /12/ die Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall in den zukünftigen Bebauungen prognostiziert und gemäß derzeit gültigen Regelwerken beurteilt.
- ❑ Die schienenverkehrsinduzierten Immissionen führen in den Wohngebäuden, die innerhalb eines Korridors von bis zu

$$r \leq 17 \text{ m}$$

errichtet werden, zu bauwerksbezogenen Schwingstärken, die die Anhaltswerte der **DIN 4150-2** unter Berücksichtigung der angestrebten Gebietsnutzungen eines Wohngebietes (**WA**) von

$$A_{r,\text{Tag/Nacht}} = 0,070 / 0,050$$

überschreiten. Somit können erhebliche Belästigungen im Sinne der **DIN 4150-2** nicht vollständig ausgeschlossen werden. Gebäudeseitige Maßnahmen zur Reduzierung der zu erwartenden Erschütterungsmissionen sind daher für die Gebäude erforderlich, die sich innerhalb der oben genannten Korridore befinden werden.

- ❑ Hinsichtlich des sekundären Luftschalls unterschreiten die prognostizierten Beurteilungspegel die gültigen Immissionsrichtwerte (**IRW**) gemäß der **24. BImSchV** sowohl am Tag als auch in der Nacht. Maßnahmen zur Reduzierung der sekundären Luftschallmissionen werden somit in dem geplanten Neubau ebenfalls nicht erforderlich.
- ❑ Aufgrund der Tatsache, dass infolge der zu erwartenden schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsmissionen erhebliche Belästigungen in den nah der Straßenbahntrasse geplanten Bebauungen nicht ausgeschlossen werden können, wird zur Schaffung gesunder Wohnverhältnisse empfohlen gebäudeseitige Maßnahmen innerhalb der oben genannten Korridorbreiten vorzusehen.

- Eine mögliche Schutzmaßnahme zur Schaffung gesunder Wohnverhältnisse innerhalb der geplanten Gebäude im oben genannten Korridor, kann durch eine baulasttechnische Erhöhung der Deckenfeder erreicht werden. Diese sind so auszulegen, dass alle Deckeneigenfrequenzen von Räumen mit schutzwürdigen Nutzungen im Bereich von

$$f \leq 20 \text{ Hz}$$

liegen. Hierbei kann davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen an den Erschütterungsschutz eingehalten werden. Weitere gebäudeseitige Schutzmaßnahmen sind somit nicht erforderlich.

- Eine weitere geeignete und effektive Maßnahme stellt eine elastische Gebäudelagerung dar. Unabhängig von den Eigenfrequenzen der Geschossdecken können Konflikte flächendeckend mittels Gebäudelagerung mit einer Kennfrequenz von

$$f = 10 \text{ Hz}$$

vollständig ausgeschlossen werden.

2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Die Stadt Mainz befasst sich gegenwärtig mit der Errichtung eines Wohngebiets südlich der Jakob-Leischner-Straße in Mainz. Das Baugrundstück umfasst dabei den aktuellen Bereich der Flurstücke 31/1 – 41/5.

Hierzu wurden ein städtebauliches Konzept für eine Wohnbebauung mit der entsprechenden Flächennutzung eines Allgemeinen Wohngebiets (**WA**), sowie Flächen für die Nutzung durch die Feuerwehr erstellt. Das gesamte Plangebiet liegt im direktem Einwirkungsbereich von den Straßenbahngleisen der Mainzelbahnlinie der Straßenbahn Linie 51 und 53. Der Abstand der geplanten Bebauung zu der nächstgelegenen Gleisachse der Mainzelbahnlinie beläuft sich auf

$$r \approx 8 \text{ m.}$$

Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens soll eine Untersuchung der Erschütterungseinwirkungen infolge der vorhandenen Straßenbahnlinie erfolgen. Konkret sind auf dem Baugrundstück Emissions- und Ausbreitungsmessungen durchzuführen. Durch die messtechnische Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen und Regressionsanalysen der Messergebnisse wird für die zukünftigen Wohngebäude eine Prognose der schienenverkehrsinduzierten Immissionen ermittelt.

Basierend auf diesen Berechnungen und des aktuellen Betriebsprogramms der Mainzelbahnlinie, der Straßenbahnlinie 51 und 53, aus dem aktuellen Haltestellenfahrplan „Ludwig-Nauth-Straße“ /12/ wird zunächst geprüft, ob mögliche erschütterungstechnische Konfliktpotentiale hinsichtlich der zukünftigen Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für die zukünftigen Wohngebäude zu erwarten sind. Sollte die Untersuchung zum Ergebnis führen, dass grundsätzlich ein Konflikt aufgrund von Immissionen aus Erschütterungen oder sekundärem Luftschall nicht auszuschließen ist, wird anschließend geprüft, welche Maßnahmen zur Konfliktbewältigung bzw. zur Konfliktminimierung in Betracht zu ziehen sind.

3 Bearbeitungsgrundlagen

Der durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchung liegen die folgenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Regelwerke, Schriftsätze und Planunterlagen zu Grunde:

- /1/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
- /2/ 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990, geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269)
- /3/ 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV) vom 04. Februar 1997 in ihrer berichtigten Fassung vom 16. Mai 1997
- /4/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /5/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999
- /6/ DIN 45669, Teil 1, „Messung von Schwingungsimmissionen – Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen“, Juni 2020
- /7/ DIN 45669, Teil 2, „Messung von Schwingungsimmissionen – Messverfahren“, Juni 2005
- /8/ DIN 45672, Teil 1, „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen: Messverfahren“, Februar 2018
- /9/ DIN 45672, Teil 2, „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen: Auswerteverfahren“, Januar 2020

- ## 4 Beschreibung des Bauvorhabens

K1 Jakob-Leisner-Straße

Flur 3

K1 Am Heckerpfad

K1 Am Ostgraben

Bretzenheim

Feuerwehr
ca: 3100m²

Zufahrt

Alarmanfahrt

Zufahrt TG

HSSO

TG

CP

MU

360 3

338 2

339 2

340 2

341 2

342 2

343 2

344 2

345 2

346 2

347 2

348 2

349 2

350 2

351 2

352 2

353 2

354 2

355 2

356 2

357 2

358 2

359 2

360 2

361 2

362 2

363 2

364 2

365 2

366 2

367 2

368 2

369 2

370 2

371 2

372 2

373 2

374 2

375 2

376 2

377 2

378 2

379 2

380 2

381 2

382 2

383 2

384 2

385 2

386 2

387 2

388 2

389 2

390 2

391 2

392 2

393 2

394 2

395 2

396 2

397 2

398 2

399 2

400 2

401 2

402 2

403 2

404 2

405 2

406 2

407 2

408 2

409 2

410 2

411 2

412 2

413 2

414 2

415 2

416 2

417 2

418 2

419 2

420 2

421 2

422 2

423 2

424 2

425 2

426 2

427 2

428 2

429 2

430 2

431 2

432 2

433 2

434 2

435 2

436 2

437 2

438 2

439 2

440 2

441 2

442 2

443 2

444 2

445 2

446 2

447 2

448 2

449 2

450 2

451 2

452 2

453 2

454 2

455 2

456 2

457 2

458 2

459 2

460 2

461 2

462 2

463 2

464 2

465 2

466 2

467 2

468 2

469 2

470 2

471 2

472 2

473 2

474 2

475 2

476 2

477 2

478 2

479 2

480 2

481 2

482 2

483 2

484 2

485 2

486 2

487 2

488 2

489 2

490 2

491 2

492 2

493 2

494 2

495 2

496 2

497 2

498 2

499 2

500 2

501 2

502 2

503 2

504 2

505 2

506 2

507 2

508 2

509 2

510 2

511 2

512 2

513 2

514 2

515 2

516 2

517 2

518 2

519 2

520 2

521 2

522 2

523 2

524 2

525 2

526 2

527 2

528 2

529 2

530 2

531 2

532 2

533 2

534 2

535 2

536 2

537 2

538 2

539 2

540 2

541 2

542 2

543 2

544 2

545 2

546 2

547 2

548 2

549 2

550 2

551 2

552 2

553 2

554 2

555 2

556 2

557 2

558 2

559 2

560 2

561 2

562 2

563 2

564 2

565 2

566 2

567 2

568 2

569 2

570 2

571 2

572 2

573 2

574 2

575 2

576 2

577 2

578 2

579 2

580 2

581 2

582 2

583 2

584 2

585 2

586 2

587 2

588 2

589 2

590 2

591 2

592 2

593 2

594 2

595 2

596 2

597 2

598 2

599 2

600 2

601 2

602 2

603 2

604 2

605 2

606 2

607 2

608 2

609 2

610 2

611 2

612 2

613 2

614 2

615 2

616 2

617 2

618 2

619 2

620 2

621 2

622 2

623 2

624 2

625 2

626 2

627 2

628 2

629 2

630 2

631 2

632 2

633 2

634 2

635 2

636 2

637 2

638 2

639 2

640 2

641 2

642 2

643 2

644 2

645 2

646 2

647 2

648 2

649 2

650 2

651 2

652 2

653 2

654 2

655 2

656 2

657 2

658 2

659 2

660 2

661 2

662 2

663 2

664 2

665 2

666 2

667 2

668 2

669 2

670 2

671 2

672 2

673 2

674 2

675 2

676 2

677 2

678 2

679 2

680

Das Plangebiet soll städtebaulich neu zugeordnet werden. Hierzu wurden ein städtebauliches Konzept für eine Wohnbebauung (Allgemeines Wohngebiet - **WA**) sowie für Flächen für die Nut-

zung durch die Feuerwehr erstellt. Angrenzend an das Baugrundstück verläuft die Straßenbahnstrecke „Mainzelbahn“ auf der die Straßenbahnlinien 51 und 53, dessen Verkehr einen direkten erschütterungstechnischen Einfluss auf die zukünftige Bebauung im Plangebiet haben wird.

5 Anforderungen an den Immissionsschutz

5.1 Erschütterungsschutz

Für die Beurteilung von Einwirkungen durch verkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen gibt es derzeit keine gesetzlichen Bestimmungen, in denen Grenzwerte festgelegt sind. Daher werden zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen die in Fachkreisen als Beurteilungsgrundlage allgemein anerkannten **Anhaltswerte** nach **DIN 4150-2** /5/ herangezogen. Bei Einhaltung der hierin angegebenen Anhaltswerte kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterungen keine „erheblich belästigenden Einwirkungen“, die als niedrigste Qualifikationsstufe schädlicher Umwelteinwirkungen im Sinne des Immissionsschutzrechtes /1/ anzusehen sind, darstellen.

Zeile	Einwirkungsort	tags		nachts	
		A _u	A _r	A _u	A _r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichtspersonal und Bereitschaftspersonen untergebracht sind	0,40	0,20	0,30	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	0,30	0,15	0,20	0,10
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	0,20	0,10	0,15	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	0,15	0,07	0,10	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,10	0,05	0,10	0,05

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

Zur Bewertung der Erschütterungsimmissionen sind gemäß **DIN 4150-2** zwei Beurteilungsgrößen heranzuziehen:

- ☐ die maximale zeit- und frequenzbewertete Schwingstärke **KB_{Fmax}**,
- ☐ die Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}**.

Für die Beurteilung schienenverkehrsinduzierter Immissionen nennt die Norm zwei Kriterien. Der untere Anhaltswert A_u ist ein Anhaltswert für den KB_{Fmax} -Wert. Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u , so sind die Anforderungen der Norm erfüllt, es gilt als nachgewiesen, dass die schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsmissionen **nicht** als **erheblich belästigend** einzustufen sind. Übersteigt KB_{Fmax} den unteren Anhaltswert A_u , so ist die Beurteilungsschwingstärke KB_{Ftr} zu bilden und mit dem Beurteilungsanhaltswert A_r zu vergleichen.

Für schutzwürdige Nutzungen, die in Wohngebieten errichtet werden, sind die Anforderungen gemäß **Tabelle 1**, Zeile 4 heranzuziehen.

5.2 Sekundärer Luftschall

Für Einwirkungen aus sekundären Luftschallimmissionen, hervorgerufen von schienengebundenen Verkehrssystemen, existieren derzeit weder vom Gesetzgeber noch in technischen Regelwerken verbindlich vorgegebene Anforderungswerte. Daher ist es erforderlich, sich für eine sachgerechte Beurteilung an andere Gesetze, Verordnungen und Regelwerke auf Grundlage von Plausibilitätsbetrachtungen anzulehnen.

Zeile	Raumnutzung	$L_{ri,T}$ [dB(A)]	$L_{ri,N}$ [dB(A)]
1	Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden	-	30
2	Wohnräume	40	-
3	Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	40	-
4	Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	45	-
5	Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	50	-
6	Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	
$L_{ri,T}$	Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für den Tag		
$L_{ri,N}$	Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für die Nacht		

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für den sekundären Luftschall

In Anlehnung an **24. BImSchV** /3/ werden hinsichtlich der Beurteilung des sekundären Luftschalls die aus den Korrektursummanden D abgeleiteten zulässigen Beurteilungspegel im Innenraum (= Korrektursummand D zuzüglich 3 dB(A)) als Beurteilungsmaßstab herangezogen. Hieraus ergeben sich die in **Tabelle 2** aufgeführten Immissionsrichtwerte zur Beurteilung von sekundärem Luftschall.

Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes können die in **Tabelle 2** angegebenen Immissionsrichtwerte für eine Beurteilung des Innenschallpegels gemäß **24. BImSchV** abgeleitet werden. Für die geplante Wohnnutzung an der Jakob-Leischner-Straße erfolgt die Beurteilung der sekundären Luftschallimmissionen für den Tagzeitraum unter Zugrundelegung des Anforderungswertes für Räume mit Wohnnutzungen. Demzufolge werden folgende Immissionsrichtwerte für die Beurteilung zu Grunde gelegt:

- ☐ Tag: **IRW = 40 dB(A),**
- ☐ Nacht: **IRW = 30 dB(A)**

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

6.1 Prognosemodell

Bei der Prognose der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für schutzwürdige Räume eines Gebäudes (Wohn- und Schlafräume oder Ähnliches) wird von der in **Abbildung 2** skizzierten Übertragungskette ausgegangen.

Diese berücksichtigt neben den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und der Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmission **T₁**) das Schwingungsverhalten, der zu untersuchenden Gebäude (Transferfunktionen **T₂** und **T₃**). Die dargestellten Übertragungswege werden separat ermittelt und dann zu einer Gesamtübertragungsfunktion überlagert. Da die Übertragungsfunktionen zum Teil stark frequenzabhängig sind, ist für die Prognose ein Berechnungsverfahren anzuwenden, dass die spektrale Zusammensetzung sowohl der Schwingungsemissionen als auch der einzelnen Transferfunktionen berücksichtigt. Die spektrale Auflösung erfolgt hierbei in Form von Terzbändern im Bereich von 4 bis 315 Hz.

Die der Prognose zu Grunde gelegten Komponenten werden im Folgenden beschrieben.

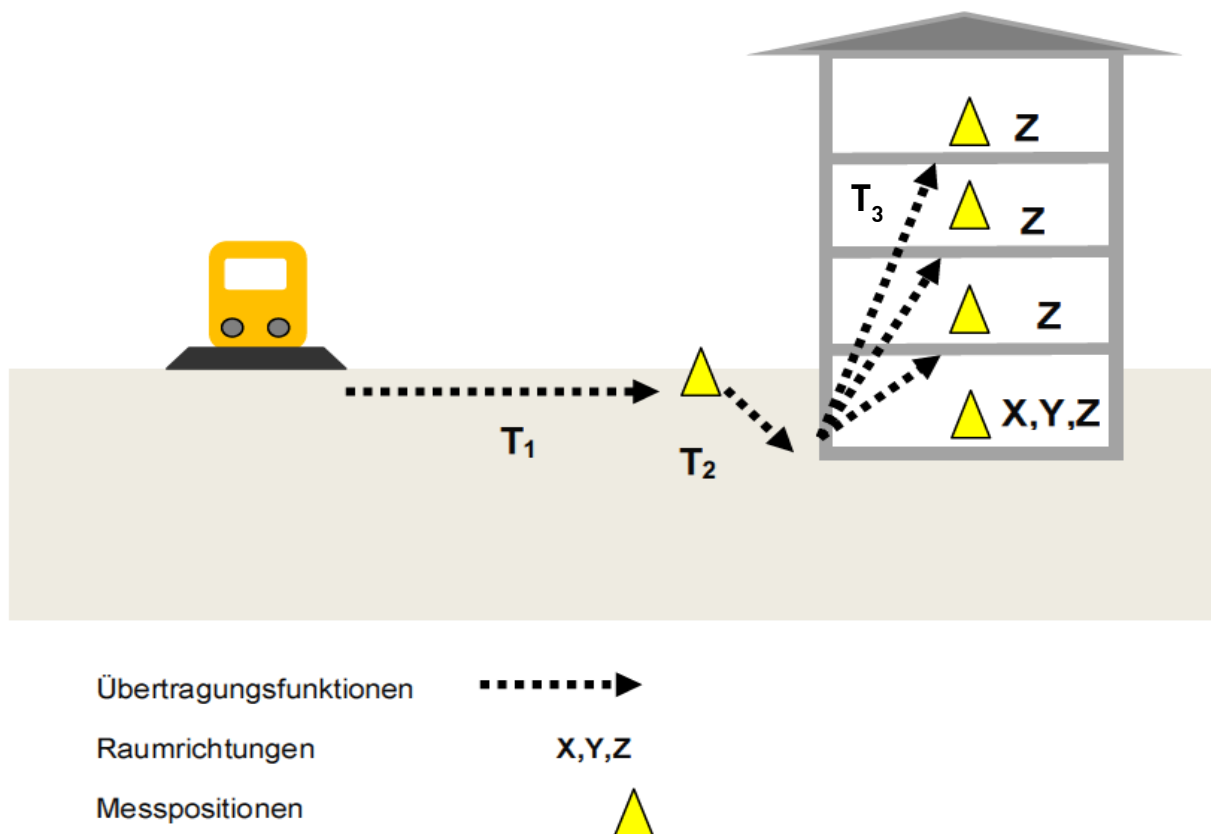


Abbildung 2: Übertragung von Erschütterungen

6.2 Emissionen

Bei oberirdischen Schienenverkehrswegen wird die Emission durch die in einem festgelegten Abstand, in der Regel 8 m, zur Gleisachse im Erdboden gemessenen Schwingstärke charakterisiert. Für die vorliegende Untersuchung wurden die angewandten Emissionsspektren mit Hilfe der durchgeführten Emissions- und Ausbreitungsmessungen gewonnen, die auf dem Freifeld des Plangebiets erfolgte.

6.3 Transmissionen

6.3.1 Transmissionen T_1

Als Transferfunktion T_1 wird die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingschnelle zwischen Emissionsort und einem Ort im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude bezeichnet. Da der Emissionspunkt nicht gleich der Gebäudevorderkante entspricht, werden die Immissionen mit Hilfe der ermittelten Abnahmeexponenten „n“ durch die Ausbreitungsmessung im Plangebiet und der folgenden Regressionsanalyse (**Anhang 3**) berechnet.

6.3.2 Transferfunktion T_2

Die Transferfunktion T_2 beschreibt das Übertragungsverhalten vom Erdreich vor dem Gebäude auf das Gebäudefundament. Sie unterliegt selbst bei verschiedenen Gebäudetypen relativ geringen Schwankungen und weist keine ausgeprägte spektrale Abhängigkeit auf. Erschütterungen werden umso leichter auf ein Gebäude übertragen, je geringer die Gebäudemasse ist. Zu derzeitigen Planungsphase ist eine messtechnische Erhebung der T_2 -Funktion nicht möglich. Daher wurde die Transferfunktion T_2 aus Messungen an vergleichbaren Gebäuden, in diesem Fall eine typische Übertragungsfunktion für Mehrfamiliengebäude übernommen. Die grafische und numerische Darstellung findet sich in **Anhang 4.1**.

6.3.3 Transferfunktion T_3

Die Transferfunktion T_3 beschreibt das Übertragungsverhalten innerhalb der Gebäude vom Fundament auf die Geschossdecken schutzwürdiger Räume. Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen im Hinblick auf die Störwirkung von Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden sind die Schwingungseinwirkungen in der Raummitte maßgebend. Die Transferfunktion T_3 kennzeichnet im Wesentlichen das Resonanzverhalten einer Decke und weist neben starken spektralen Abhängigkeiten ausgeprägte Maxima im Bereich der Deckeneigenfrequenz auf. Sie ist in hohem Maße gebäudeabhängig und kann stark variieren. Ursächlich hierfür sind vor allem Spannweiten und Konstruktionsweise der Decken.

Für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen wird, analog zu T_2 -Funktion, auf allgemeine Erfahrungsgrundsätze zurückgegriffen. Durch die getroffenen Annahmen wird die gesamte Bandbreite von Deckenspannweiten und -konstruktionen abgedeckt. Die verwendete Übertragungsfunktion ist im **Anhang 4.2** grafisch und tabellarisch dargestellt. Diese basieren auf statistischen Auswertungen von Messungen, die im Einwirkungsbereich von Bahnstrecken durchgeführt wurden. Angegeben ist der Mittelwert zuzüglich der Standardabweichung.

6.4 Immissionen

6.4.1 Erschütterungen

Als Erschütterungsimmissionen werden die bauwerksbezogenen, gemäß **DIN 4150-2 /5/** in der Mitte von Räumen auftretenden KB-bewerteten Schwingstärken bezeichnet. Da hier die Vertikalkomponente (Z-Richtung) die Horizontalkomponenten (X-, Y-Richtung) übersteigt, werden die Abschätzungen ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungsimmissionen durchgeführt. Der relevante Frequenzbereich wird in der **DIN 4150-2** auf 80 Hz begrenzt.

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken ist die Kenntnis der Intensität von Schwingungsimmissionen sowie deren Einwirkdauer erforderlich. Die Intensität am Einwirkungsort wird maßgeblich durch die fahrzeugspezifische Emission sowie die gelände- und gebäudespezifische Übertragung geprägt. Hinsichtlich der Erschütterungen ist bei der Ermittlung der Einwirkdauer das 30-Sekunden-Taktverfahren gemäß **DIN 4150-2** /5/ zu beachten.

6.4.2 Sekundärer Luftschall

Im vorliegenden Fall wurde zur Bestimmung des Beurteilungspegels für den sekundären Luftschall die Richtlinie 820.2050 der DB AG /10/ herangezogen. Die Berechnung des A-bewerteten sekundären Luftschallpegels erfolgt nach den Gesamtpegel-Korrelationsbeziehungen. Hierin wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schwinggeschwindigkeitspegel und dem sekundären Luftschallpegel genannt. Die Abhängigkeiten wurden dabei für verschiedene Deckenkonstruktionsformen (Stahlbetondecken, Holzbalkendecken) beschrieben. Demnach kann zur Ermittlung der Einwirkungen aus sekundärem Luftschall, hervorgerufen durch schienengebundenen Straßenbahnverkehr, in erster Näherung folgende Beziehung herangezogen werden:

$$L_{\text{sek,A}} = 15,75 + 0,60 \cdot L_{\text{v,A}} \quad [\text{dB(A)}] \text{ bei Stahlbetondecken}$$

mit

$L_{\text{sek,A}}$ A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)],

$L_{\text{v,A}}$ A-bewerteter Gesamt-Schwinggeschwindigkeitspegel [dB(A)]

Der Auswertebereich wird bei der Einzahlmethode bis 100 Hz beschränkt, da erfahrungsgemäß oberhalb von 80 Hz keine pegelbestimmenden Anteile im Spektrum des sekundären Luftschallpegels vorhanden sind.

Die Einwirkzeit des sekundären Luftschalls, jeweils bezogen auf den Beurteilungszeitraum Tag (06.00 bis 22.00 Uhr) bzw. Nacht (22.00 bis 06.00 Uhr), ergibt sich aus der Gesamtzahl der in dem betreffenden Streckenabschnitt innerhalb des Beurteilungszeitraumes verkehrenden Schienenfahrzeuge und deren geschwindigkeitsabhängiger Vorbeifahrtzeit T_e in s. Um zu berücksichtigen, dass Fahrzeuge bereits vor und auch nach der Vorbeifahrt wahrgenommen werden können, wird bei der Bestimmung der signifikanten Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt mit der 1,5-fachen geometrischen Vorbeifahrtzeit berücksichtigt

$$T_e = 1,5 \cdot l \cdot 3,6 / v$$

mit

l Zuglänge in m

v messtechnisch ermittelte Zuggeschwindigkeit [km/h]

6.5 Betriebsparameter der Bahnstrecke

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken ist die Kenntnis der Intensität von Schwingungsimmissionen sowie deren Einwirkdauer erforderlich. Die Intensität am Einwirkungsort wird maßgeblich durch die fahrzeugspezifische Emission sowie die gelände- und gebäudespezifische Übertragung geprägt. Hinsichtlich der Erschütterungen ist bei der Ermittlung der Einwirkdauer das 30-Sekunden-Taktverfahren gemäß **DIN 4150-2** /5/ zu beachten.

Die vorliegende Prognose basiert auf dem Betriebsprogramm der Bahnstrecke „Mainzelbahn“, entnommen aus dem aktuellen Haltestellenfahrplan „Ludwig-Nauth-Straße“ der Straßenbahnlinie 51 und 53 /12/.

Richtung	Zuggattung	
	Straßenbahnlinie 51 und 53	
	Tag	Nacht
Norden	121	14
Süden	121	14
Gesamt:	242	28

Tabelle 3: Betriebsprogramm der Mainzelbahn „Ludwig-Nauth-Straße“ in Mainz

7 Durchführung der Erschütterungsmessungen

7.1 Beschreibung der Messkette

Das Messsystem – bestehend aus Messsensoren und einem Messverstärker - wurde letztmalig im Juni 2021 mit einem kalibrierten Referenzempfänger im Kopf-an-Kopf-Verfahren für den relevanten Frequenzbereich messtechnisch rückführbar kalibriert. Vor der Durchführung der Messungen wurde die Funktionsfähigkeit der Messgeräte durch kurze Stoßanregungen an den Sensoren auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Die in der Messkette eingesetzten Komponenten sind in **Tabelle 5** aufgeführt. Die Abtastung der analogen Messsignale erfolgte mit einer Abtastrate von

$$f_s = 1024 \text{ Hz.}$$

Somit bietet die Abtastung die Möglichkeit, die Signale bis zu einer Frequenz von 400 Hz spektral auszuwerten. Gemäß den Empfehlungen von **DIN 45672** /8/, /9/ erfolgt anschließend, d.h. im Rahmen der Auswertung der Signale, durch eine entsprechende digitale Bandpassfilterung, eine Bandbegrenzung auf

f = 4 Hz bis 315 Hz.

GEOPHONE:	elektrodynam. Absolutschwingungsaufnehmer
Hersteller:	Western Data Systems
Kennfrequenz:	4,5 ± 0,5 Hz für alle 3 Komponenten
Empfindlichkeit:	0,29 ± 5% V/cm/s für alle 3 Komponenten
MESSVERSTÄRKER:	SMK-4812; 12 Kanäle
Hersteller:	Dr. Kebe Scientific Instruments GmbH
Frequenzbereich:	4 ... 315 Hz
Meßbereich:	Schwinggeschwindigkeit 0,1 ... 500 mm/s
Nachweisgrenze:	besser 0,002 mm/s (gem. DIN 45669)
Genauigkeitsklasse:	DIN 45669-1 im genannten Frequenzbereich
LAPTOP	
Hersteller:	Lenovo
CPU:	Intel Centrino vPRO
A/D-WANDLER	DAQ-Card 6036-E , 16 Kanäle
Hersteller:	National Instruments
Auflösung:	16 Bit
SOFTWARE:	MEDA-AD
Hersteller:	Wölfel Monitoring Systems GmbH + Co. KG
Version:	2021-1

Tabelle 4: Komponenten des eingesetzten Messsystems

Eine Prinzipskizze der Messanordnung (Messkette) findet sich in **Abbildung 3**. Die Schwingungssensoren (Geophone), die ein geschwindigkeitsproportionales Spannungssignal liefern, sind an einen Messverstärker angeschlossen, der die nach den einschlägigen Regelwerken erforderliche Signalkonditionierung vornimmt. Anschließend erfolgen die analog/digital-Wandlung und die gemäß den einschlägigen Normen erforderliche digitale Signalverarbeitung. Im Ergebnis erhält man die gemäß **DIN 4150-2** relevanten Beurteilungsgrößen.

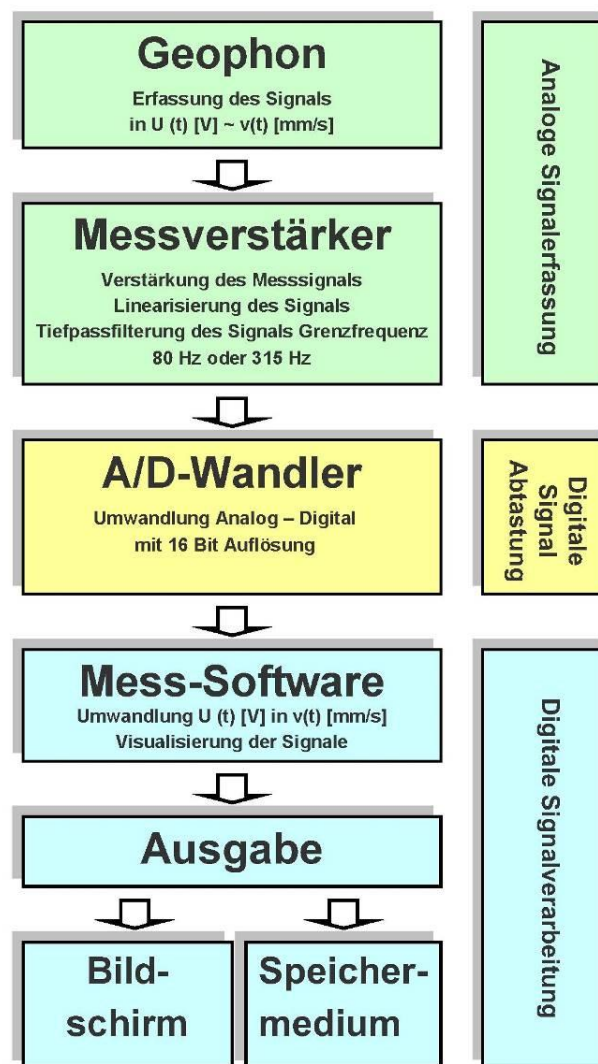


Abbildung 3: Prinzipalskizze der Messanordnung

7.2 Anordnung der Sensoren

Es wurde an 3 Querschnitten Erschütterungsmessungen durchgeführt. An der Straßenbahnstrecke der „Mainzelbahn“ erfolgten Emission- und Ausbreitungsmessungen auf dem zu überbauenden Plangebiet mit insgesamt 9 Messsensoren, um die im Erdreich auftretenden schienenverkehrsinduzierten Schwingungen zu messen. Die Messpositionen wurden gemäß den örtlichen Gegebenheiten ausgewählt.

Die Installation der Sensoren, insbesondere die Kopplung an das Erdreich, erfolgte gemäß den Vorgaben der **DIN 45669-2** /7/. Die Erdspeie weisen einen x-förmigen Querschnitt und in dem hier relevanten Frequenzbereich im Boden keine Eigenschwingungen auf. Um Kontaktresonanzen zu vermeiden, werden die Sensoren mittels Gewinden, die mit Spannringen gesichert werden, an den Erdspeien befestigt.

Die Anordnung sowie die Ankopplungsbedingungen der Sensoren an den Messpositionen, die von der Oberflächenbeschaffenheit des Bodens abhängen, sind in **Anhang 1.1** angegeben. Die Angaben zu den verwendeten Sensoren sowie die Fotodokumentation finden sich in **Anhang 1.2** und **Anhang 1.3**.

7.3 Messdurchführung

Bei der durchgeführten Messung wurden im Beobachtungszeitraum die Schwingungsemissionen an den in **Kapitel 7.2** beschriebenen Messpositionen registriert. Die Registrierung der Schwingungssignale $v(t)$ erfolgte an allen Messpositionen zeitgleich. Die Signale wurden für jedes Ereignis unmittelbar nach Durchführung der Messung auf dem Bildschirm des Messrechners angezeigt und auf Plausibilität geprüft. Soweit Störungen festgestellt wurden, wurde die jeweilige Messung verworfen. Sofern Übersteuerungen oder Untersteuerungen für einzelne Kanäle auftraten, wurden die Messungen verworfen, die Ansteuerung angepasst und eine erneute Messung durchgeführt. Des Weiteren wurde das befahrene Gleis protokolliert. Die Signale wurden nach der Durchführung der Messungen gemäß **DIN 45672-2 /9/** ausgewertet.

Ferner wurde mit einer Radarpistole die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge gemessen. Die einzelnen Vorbeifahrten sind bei der Ausbreitungsmessung in **Anhang 1.4** dokumentiert und die gemittelten Geschwindigkeiten sowie die Anzahl der erfassten Zugvorbeifahrten, differenziert nach Gleis, sind in **Anhang 1.5** zusammengefasst.

7.4 Auswertung der Messungen

Für die Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen werden auf Basis der Messwerte an den einzelnen Messpositionen Regressionsanalysen durchgeführt. Es wird für jede Terzmittenfrequenz die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand mit der nachfolgenden Gleichung bestimmt:

$$\log KB_{FTi} = \text{const} - n \cdot \log r$$

Hierbei bedeuten:

r	Abstand der Immisionsorte zur Gleisanlage
const	Achsenabschnitt
n	Steigung der Regressionsgeraden

Durch die Vielzahl an einzelnen Messwerten und Abständen erhält man dann eine frequenzabhängige exponentielle Abnahmebeziehung mit einer hinreichenden statistischen Sicherheit. Zur

Ermittlung der Schwingungsanregung im Erdreich erfolgt die Auswertung der Schwingschnelle $v(t)$ im Frequenzbereich gemäß **DIN 45672-2** /9/. Die Auswertung im Frequenzbereich erfolgt mit Hilfe von Terzanalysen. Hierbei wird der gleitende Effektivwert in Terzbändern mit einer konstanten relativen Breite von 25 % gebildet.

Mit Hilfe der Terzanalyse wird das Spektrum $L_{vFmax}(f_{Tn})$ des Maximal-Terzschnellepegels nach der folgenden Gleichung für jede Sensorposition und jedes Zugereignis ermittelt:

$$L_{vFmax}(f_{Tn}) = 20 \cdot \lg(v_{Fmax}(f_{Tn})/v_0)$$

mit Bezugswert $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Die Systematik nach **DIN 45572-2** ist in **Abbildung 4** dargestellt.

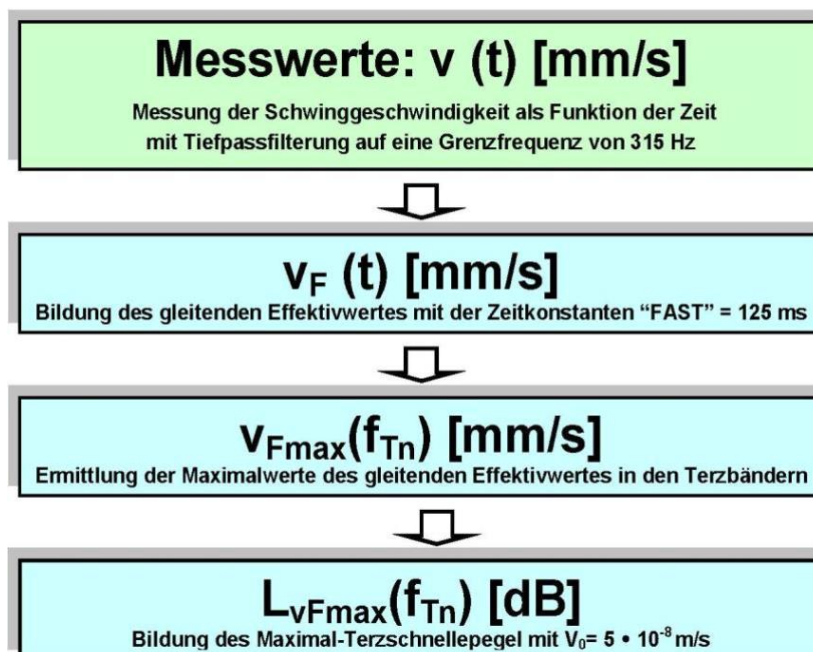


Abbildung 4: Auswertung im Frequenzbereich

8 Untersuchungsergebnisse

8.1 Abnahmeexponenten

Die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand wird für jede Terzmittenfrequenz graphisch als Regressionsgerade dokumentiert. In jedem Graphen sind die Messwerte als rote Quadrate und die Regressionsgerade blau gekennzeichnet. Die grafische Darstel-

lung erfolgt hierbei doppelt logarithmisch. Eine Zusammenfassung der frequenzabhängigen exponentiellen Abnahmebeziehung findet sich dann am Ende des jeweiligen Anhangs numerisch in Tabellenform als Exponent für jede Terzmittenfrequenz. Die Ergebnisse der Ausbreitungsmessungen befinden sich in **Anhang 3**.

8.2 Emissionsspektren

Die Ergebnisse der Erschütterungsuntersuchung sind in **Anhang 2** grafisch und tabellarisch dargestellt. Hierbei werden die Spektren im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz für jede Messposition angegeben. Aufgeführt werden auch jeweils die Anzahl der erfassten Zugereignisse und die mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge sowie der mittlere Summenpegel.

Die Geschwindigkeiten der Straßenbahnen lagen für beide Gleise in dem Bereich

$$v = 23 \dots 39 \text{ km/h.}$$

Für die Prognose werden im Sinne einer oberen Abschätzung die Werte der Messposition **MP1** zu Grunde gelegt und mit Hilfe der berechneten Abnahmeexponenten auf die einzelnen Abstände berechnet.

8.3 Prognose der Immissionen

Die der Prognose zu Grunde gelegten Übertragungsfunktionen sind in **Anhang 4** für die zukünftige Bebauung angegeben. Die Ergebnisse der zukünftig zu erwartenden Immission aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall sind in **Anhang 5 - 6** getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum tabellarisch ausgewiesen. In den so genannten „**Einwirkungsmatrizen**“ werden die Beurteilungsschwingstärken **KB_{FTr}**, die zur besseren Übersichtlichkeit mit einem Faktor 100 multipliziert wurden, und die Beurteilungspegel **L_r** getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum in Abhängigkeit des Abstandes **r** und der Deckeneigenfrequenz **f₀** eines schutzbedürftigen Raumes dargestellt. Diese ermöglichen es, die Einhaltung der Anforderungen nach **DIN 4150-2** bzw. nach **24. BImSchV** an Gebäuden allgemein in Abhängigkeit des Abstandes und der entsprechenden Gebietseinstufung zu überprüfen.

Grün hinterlegte Felder bedeuten, dass die jeweils gültigen Anforderungen an den Immissionsschutz erfüllt werden. Bei **Rot** hinterlegten Feldern sind die Anforderungen nicht erfüllt.

Bei der Darstellung der Untersuchungsergebnisse wird zunächst davon ausgegangen, dass das ganze Plangebiet bebaut werden kann. Ferner werden die Grenzabstände genannt, die der Ein-

haltung der spezifischen Beurteilungsanhaltswerte entsprechen. Sofern die prognostizierten betriebsbedingten Immissionen das Erfordernis von Schutzmaßnahmen ausweisen, werden diese anschließend diskutiert.

8.3.1 Erschütterungen

Unter Berücksichtigung der gemessenen Erschütterungsemissionen und der angenommenen typischen Gebäudeübertragungsfunktionen ergeben sich Korridorbreiten im Tag- bzw. im Nachtzeitraum, innerhalb derer die Beurteilungsanhaltswerte für Allgemeine Wohngebiete

$$A_{r, \text{Tag/Nacht}} = 0,070 / 0,050$$

bei Abständen von

$$r_{\text{Tag}} \leq 17 \text{ m}$$

überschritten werden, wie in den Einwirkungsmatrizen in **Anhang 5.1** bzw. **Anhang 5.2** dargestellt ist.

Das bedeutet, dass die Anforderungen der Norm bei Bebauungen innerhalb dieser Korridorbreiten nicht erfüllt werden. Hierbei sind zur Reduzierung der Erschütterungseinwirkungen gebäudeseitige Maßnahmen erforderlich.

Für Gebäude, die außerhalb des genannten Korridors liegen, werden die heranzuziehenden Beurteilungsanhaltswerte eingehalten. Hier werden die Anforderungen der Norm erfüllt, sodass keine Schutzmaßnahmen zur Reduzierung der Immissionen aus Erschütterungen erforderlich sind.

8.3.2 Sekundärer Luftschall

In **Anhang 5.3** bis **5.4** sind die prognostizierten Immissionen aus sekundärem Luftschall für den Tag bzw. für die Nacht ausgewiesen. Es ergeben sich für die untersuchten Gebäudedeckeneigenfrequenzen Beurteilungspegel, die unterhalb der Anhaltswerte der **24. BImSchV** liegen. Diese liegen im Tagzeitraum Bereich von

$$L_{ri} = 27,9 \dots 34,4 \text{ dB(A)}$$

und im Nachtzeitraum im Bereich von

$$L_{ri} = 21,6 \dots 28,1 \text{ dB(A)}$$

Erhebliche Belästigungen können infolge der sekundären Luftschallimmissionen in dem geplanten Gebäude ausgeschlossen werden.

8.4 Mögliche Schutzmaßnahmen

Im vorherigen Kapitel wurde festgestellt, dass bei den gegebenen Abstandsverhältnissen für die Bebauungen innerhalb der festgestellten Grenzabstände ohne weiterführende Schutzvorkehrungen erhebliche Belästigung infolge der schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsimmissionen **nicht** ausgeschlossen werden können. Die prognostizierten Immissionen aus Erschütterungen überschreiten die gültigen Beurteilungsanhaltswerte der **DIN 4150-2**. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob und ggf. in welchem Umfang Konfliktvermeidung bzw. ggf. eine Konfliktminimierung erreicht werden kann.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die möglichen Schutzmaßnahmen diskutiert. Da aus dem sekundärem Luftschall keine Immissionskonflikte prognostiziert wurden, wird im weiteren Verlauf auf die Darstellung der reduzierten Immissionen aus sekundärem Luftschall verzichtet.

8.4.1 Aussteifung von Geschossdecken

Es ist zunächst zu erwähnen, dass der oben dargestellte Grenzabstand nur für bestimmte Deckeneigenfrequenzen (oberhalb von 20 Hz) ermittelt wurde. Sollten die Deckeneigenfrequenzen von schutzwürdigen Nutzungen in den geplanten Gebäuden, die innerhalb von 17 m Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse errichtet werden, maximal 20 Hz aufweisen, so sind keine gebäudeseitigen Schutzmaßnahmen zur Reduktion der Erschütterungseinwirkungen notwendig.

Konkret bedeutet das, dass durch die gezielte Anpassung von Geschossdecken erreicht werden kann, dass zum einen der Schwingungswiderstand der Decken erhöht wird und zum anderen das spektrale Übertragungsverhalten der Decken dahingehend optimiert wird, dass in das Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu geringeren Schwingungsamplituden der Geschossdecken führen.

Gemäß der in **Anhang 5.1** und **Anhang 5.2** ermittelten Beurteilungsschwingstärken für den Tag- und Nachtzeitraum ist bei Ertüchtigung der Geschossdecken auf maximal 20 Hz keine Immissionskonflikte zu erwarten sind.

8.4.2 Gebäudelagerung mit $f_e = 10$ Hz

Eine weitere sinnvolle Möglichkeit Konflikte infolge der schienenverkehrsinduzierten Erschütterungen auszuschließen, stellt eine Gebäudelagerung mit einer Kennfrequenz von **10 Hz** dar. Mittels dieser Schutzmaßnahme werden flächendeckend und unabhängig von den Eigenschaften der

Geschossdecken, sowie dem Abstand der betroffenen Bebauung zu der ersten Gleisachse Erschütterungsimmissionen auf ein Minimum reduziert. Konflikte können somit gänzlich ausgeschlossen werden (**Anhang 6**).

Die an den Gebäuden zu erwartenden Immissionen unter Berücksichtigung der elastischen Gebäudelagerung mit einer Kennfrequenz von

$$f_0 = 10 \pm 1 \text{ Hz}$$

sind im **Anhang 6.1** bis **Anhang 6.4** angegeben. Wie zu erkennen ist, reduzieren sich die Erschütterungsimmissionen entlang des geraden Streckenabschnitts soweit, dass sie unter der Füllschwelle von 0,1 fallen.

9 Abschließende Bemerkungen

Die erschütterungstechnische Untersuchung im Zusammenhang mit dem Bauvorhaben an der Jakob-Leischner-Straße in Mainz zeigt, dass in der geplanten Bebauung erhebliche Belästigungen infolge der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen lediglich mit einer Einhaltung einer maximalen Geschossdeckeneigenfrequenz von **20 Hz nicht** zu erwarten sind.

Jedoch ist der Einsatz einer Gebäudelagerung mit einer Kennfrequenz von 10 Hz eine wesentlich effektivere und sinnvollere Möglichkeit Konflikte infolge der schienenverkehrsinduzierten Erschütterungen auszuschließen.

Bei den Wohngebäuden mit einem Abstand zu der ersten Gleisachse ab **18 m** sind keine Maßnahmen erforderlich, um die Anhaltswerte einzuhalten.

Konflikte infolge der Immissionen aus sekundären Luftschall sind flächendeckend nicht zu erwarten.

Für eine Festsetzung der Erschütterungsschutzmaßnahmen im Bebauungsplan Nr. B 165 „Südlich der Jakob-Leischner-Straße“ in Mainz-Bretzenheim kann die folgende Formulierung gewählt werden:

*„Um die Anforderungen der **DIN 4150-2** an den Erschütterungsschutz in den der Straßenbahntrasse angrenzenden Bebauungen einzuhalten, die in Abständen von bis zu 17 m errichtet werden, sind Wohngebäude im Allgemeinen Wohngebiet so zu konzipieren, dass die Deckeneigenfrequenzen von schutzwürdigen Nutzungen (Wohn- und Schlafräume o-*

der Ähnliches) maximal 20 Hz aufweisen. Alternativ können diese Bebauungen vom Erdreich mit einer elastischen Lagerung der Kennfrequenz von 10 Hz entkoppelt werden. „

Ferner kann es empfehlenswert sein, die Prognosen im Vorfeld des Baugenehmigungsverfahrens auf Basis einer nochmals konkretisierten Gebäudeplanung erneut zu überprüfen und die gegebenenfalls erforderlichen Maßnahmen auf diese Planung abzustimmen.

AUFGESTELLT:



B. Eng. Mikis Gutsche

GEPRÜFT UND FREIGEgeben:



Dipl.-Phys. Andreas Malizki

ENDE DES BERICHTS

ANHANG

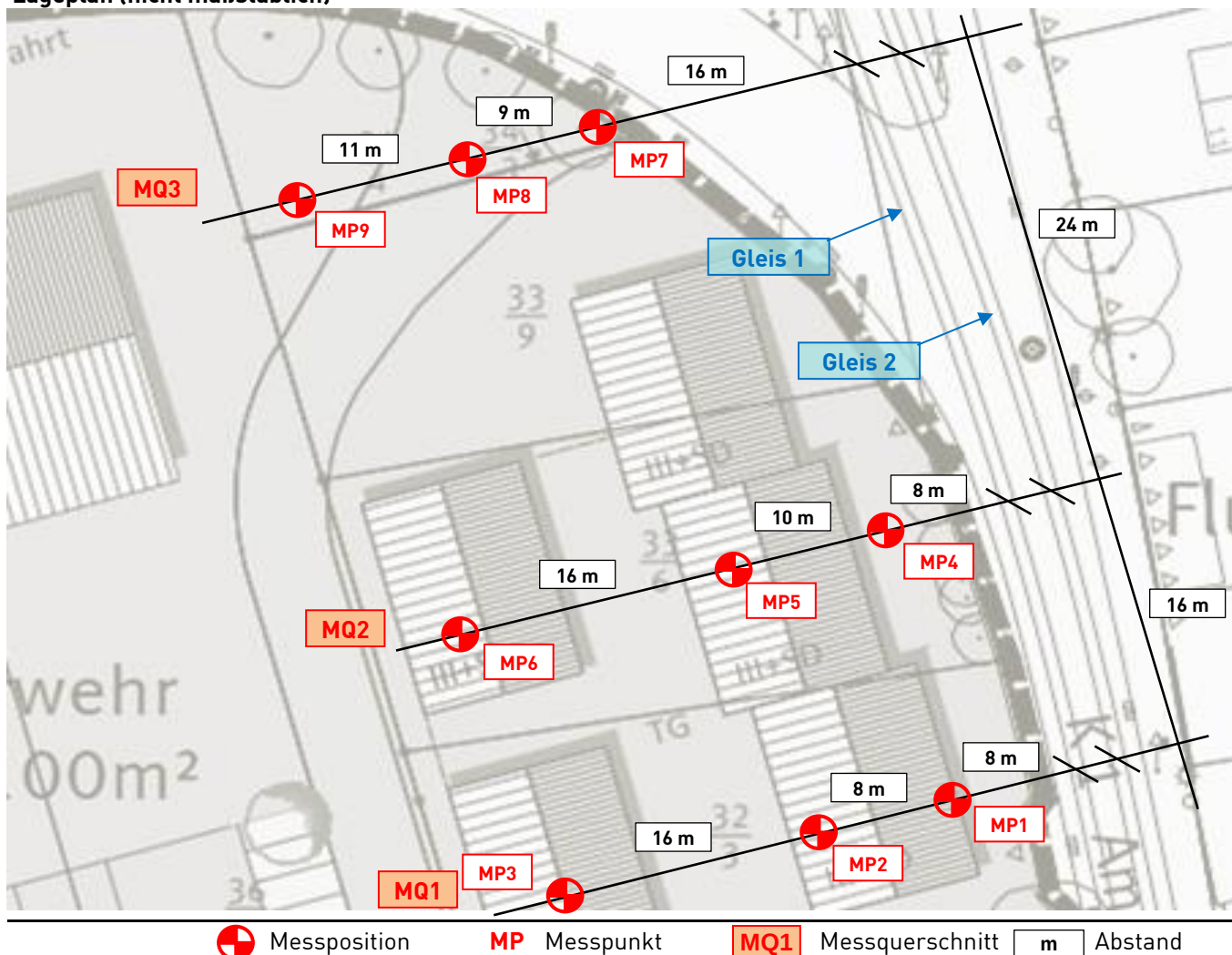
Messprotokoll Erschütterungen

Beschreibung des Messortes

Objektadresse: Jakob-Leischner-Straße
 Mainz

Datum: 06.10.2021
Flurstück: 31/1 - 41/5

Lageplan (nicht maßstäblich)



Allgemeine Angaben zu den Messpunkten

Mess- position	Lage	Abstand 1. Gleis	Ankopplung
1	Freifeld	8 m	an Erdreich mit Erdspeiß
2	Freifeld	16 m	an Erdreich mit Erdspeiß
3	Freifeld	32 m	an Erdreich mit Erdspeiß
4	Freifeld	8 m	an Erdreich mit Erdspeiß
5	Freifeld	18 m	an Erdreich mit Erdspeiß
6	Freifeld	34 m	an Erdreich mit Erdspeiß
7	Freifeld	16 m	an Erdreich mit Erdspeiß
8	Freifeld	25 m	an Erdreich mit Erdspeiß
9	Freifeld	36 m	an Erdreich mit Erdspeiß

Messprotokoll Erschütterungen

Dokumentation der Messsensoren

Messposition 1: 8 m



Messposition 2: 16 m



Messposition 3: 32 m



Messposition 4: 8 m



Messposition 5: 18 m



Messposition 6: 34 m



Kanal	Mess- position	Mess- richtung	Sensor Nr.	Kalibrier- faktor	Mess- bereich [mm/s]
1	1	z	V5	0,98	1,0
2	2	z	V15	0,97	0,5
3	3	z	V16	0,98	0,5
7	4	z	V11	0,99	1,0
8	5	z	V12	0,98	0,5
9	6	z	V19	1,00	0,5

Messprotokoll Erschütterungen

Dokumentation der Messsensoren

Messposition 7: 16 m



Messposition 8: 25 m



Messposition 9: 36 m



Kanal	Mess- position	Mess- richtung	Sensor Nr.	Kalibrier- faktor	Mess- bereich [mm/s]
10	7	z	V21	0,99	1,0
11	8	z	V22	0,99	0,5
12	9	z	V28	0,99	0,5

Messprotokoll Erschütterungen

Dokumentation der einzelnen Zugvorbeifahrten

Objektadresse: Jakob-Leischner-Straße
Mainz

Datum: 06.10.2021
Zeitraum: 12:56 bis 14:40

Messung Nr.:	Uhrzeit	Gattung der Straßenbahn	Gleis Nr.	v [km/h]	Richtung N = Norden S = Süden	Bemerkung
01	12:56	232	1	39	S	
02	12:59	230	1	34	S	
03	13:00	228	2	32	N	
04	13:06	274	1	37	S	
05	13:07	224	2	35	N	
06	13:16	232	2	34	N	
07	13:16	229	1	27	S	
08	13:23	233	1	37	S	
09	13:23	210	2	25	N	
10	13:30	718	1	36	S	
11	13:33	235	2	28	N	
12	13:34	273	1	29	S	
13	13:43	223	1	31	S	
14	13:45	274	2	30	N	
15	13:52	220	2	23	N	
16	13:53	229	2	25	N	
17	14:00	233	2	27	N	
18	14:01	219	1	26	S	
19	14:07	218	2	30	N	
20	14:10	227	1	29	S	
21	14:13	209	1	32	S	
22	14:16	273	2	29	N	
23	14:17	222	1	28	S	
24	14:23	223	2	31	N	
25	14:30	224	1	30	S	
26	14:32	220	2	23	N	
27	14:34	228	1	36	S	
28	14:40	219	2	27	N	
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

Messprotokoll Erschütterungen

Übersicht Geschwindigkeit, Anzahl Vorbeifahrten

Objektadresse: Jakob-Leischner-Straße
Mainz

Datum: 06.10.2021
Zeitraum: 12:56 bis 14:40

Gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit v [km/h]

	Zuggattung			
	GV	NV	FV	SB
Gleis 1	-	-	-	32 +/- 4
Gleis 2	-	-	-	29 +/- 4
Mittelwert	-	-	-	30 +/- 4

Anzahl der messtechnisch erfassten Zugvorbeifahrten je Gleis

	Zuggattung			
	GV	NV	FV	SB
Gleis 1	-	-	-	14
Gleis 2	-	-	-	14
Summe	-	-	-	28

Emissionsspektrum

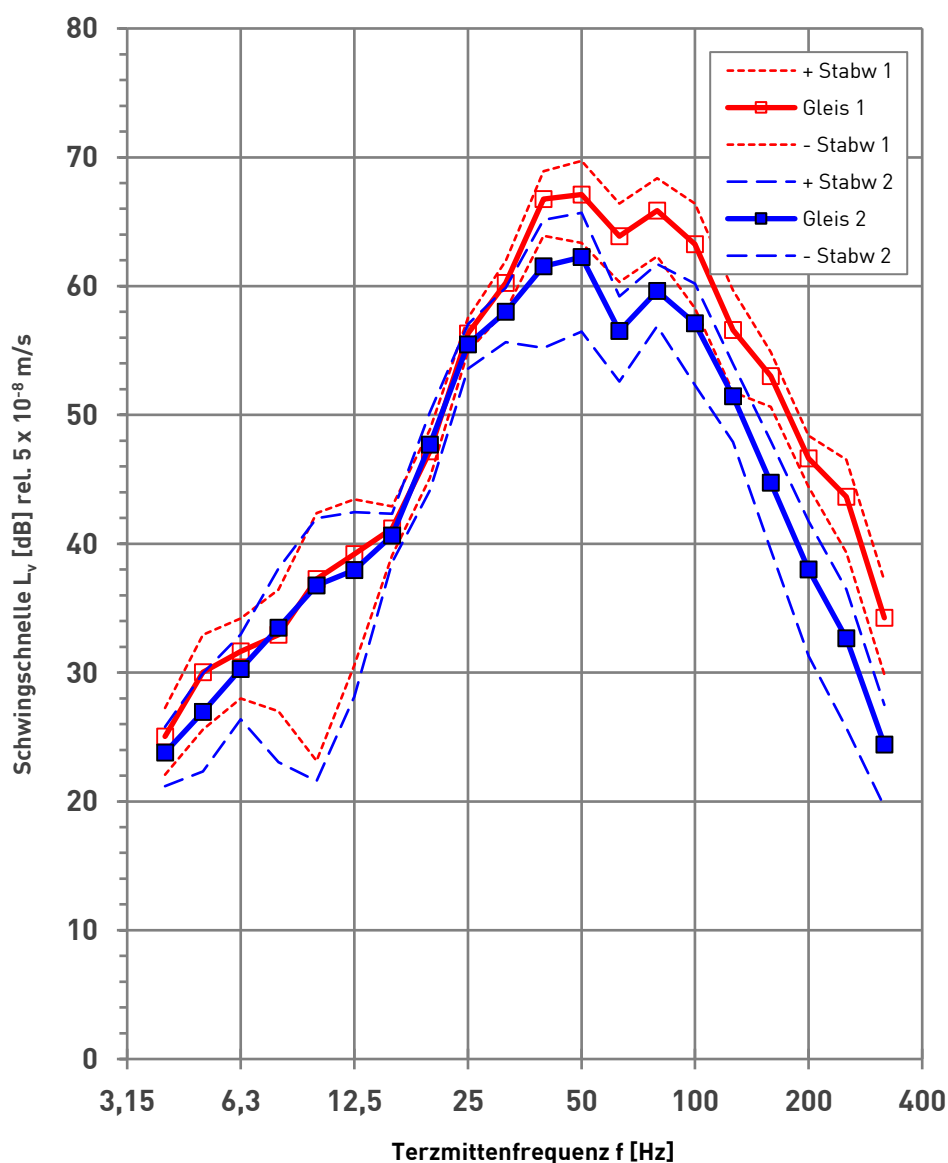
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V5
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	8	11 [m]	Messposition:	1

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
25,0	23,8	4
30,0	27,0	5
31,6	30,3	6,3
32,9	33,5	8
37,3	36,8	10
39,2	38,0	12,5
41,2	40,6	16
47,2	47,7	20
56,3	55,5	25
60,2	58,0	31,5
66,8	61,5	40
67,1	62,2	50
63,9	56,5	63
65,9	59,6	80
63,3	57,1	100
56,6	51,4	125
53,0	44,7	160
46,6	38,0	200
43,7	32,7	250
34,2	24,4	315
73,1	67,9	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

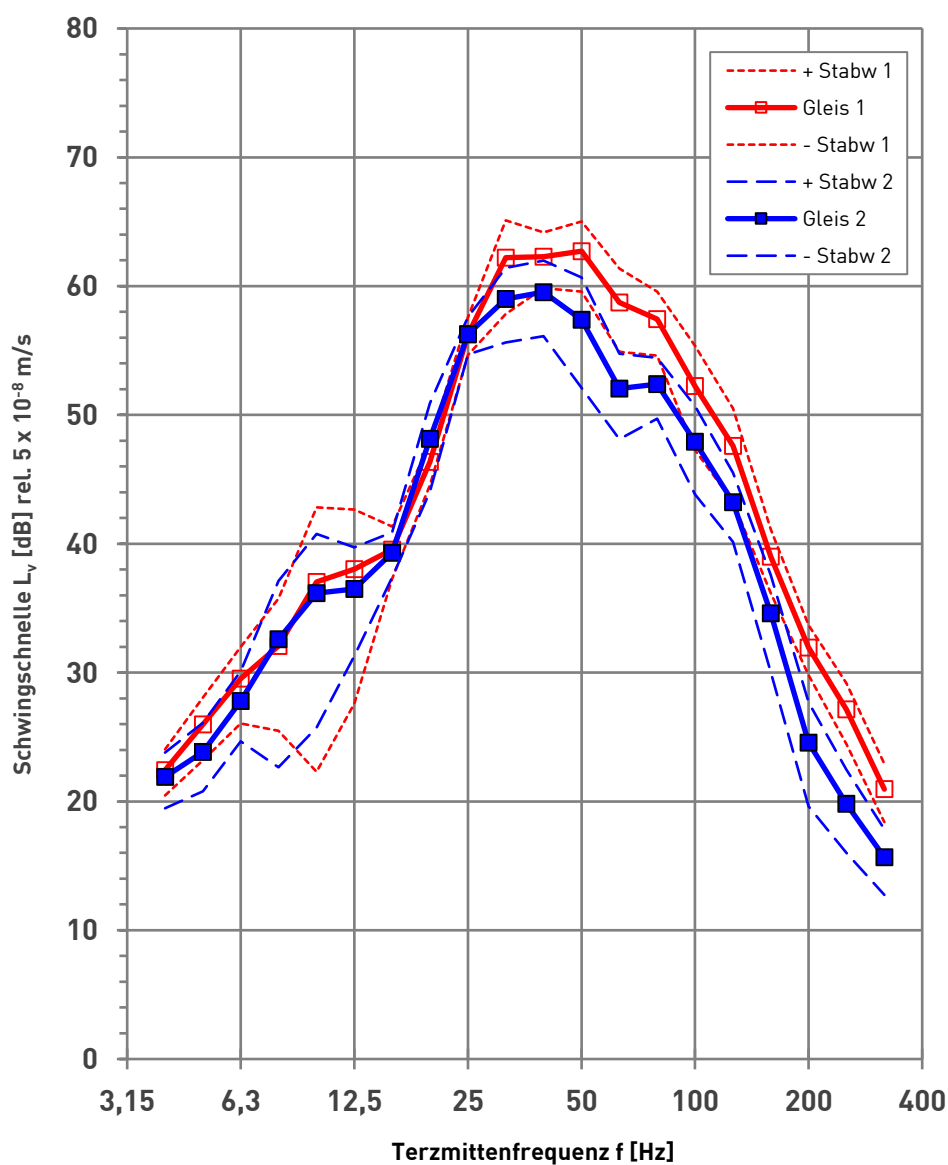
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V15
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	16	19 [m]	Messposition:	2

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
22,4	21,9	4
26,0	23,8	5
29,5	27,8	6,3
32,1	32,6	8
37,0	36,2	10
38,0	36,5	12,5
39,5	39,3	16
46,4	48,1	20
56,3	56,3	25
62,2	59,0	31,5
62,3	59,5	40
62,7	57,4	50
58,7	52,1	63
57,4	52,4	80
52,2	47,9	100
47,6	43,2	125
39,0	34,6	160
31,9	24,6	200
27,1	19,8	250
20,9	15,7	315
68,6	65,0	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

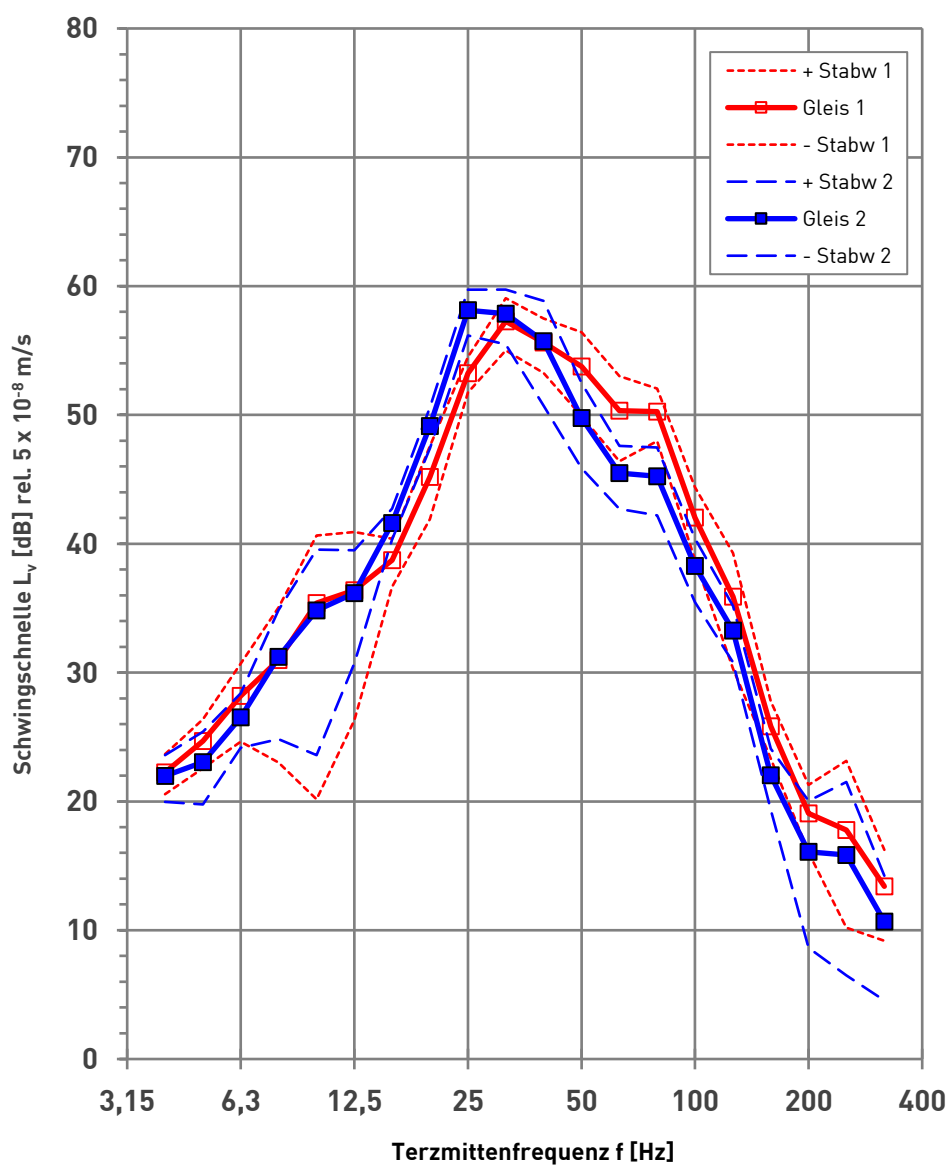
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V16
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	32	35 [m]	Messposition:	3

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
22,2	22,0	4
24,7	23,0	5
28,2	26,5	6,3
31,0	31,2	8
35,4	34,8	10
36,4	36,2	12,5
38,7	41,6	16
45,2	49,1	20
53,2	58,1	25
57,3	57,9	31,5
55,6	55,7	40
53,8	49,8	50
50,3	45,5	63
50,2	45,2	80
42,0	38,3	100
35,9	33,3	125
25,8	22,0	160
19,1	16,1	200
17,8	15,8	250
13,4	10,7	315
62,1	62,8	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

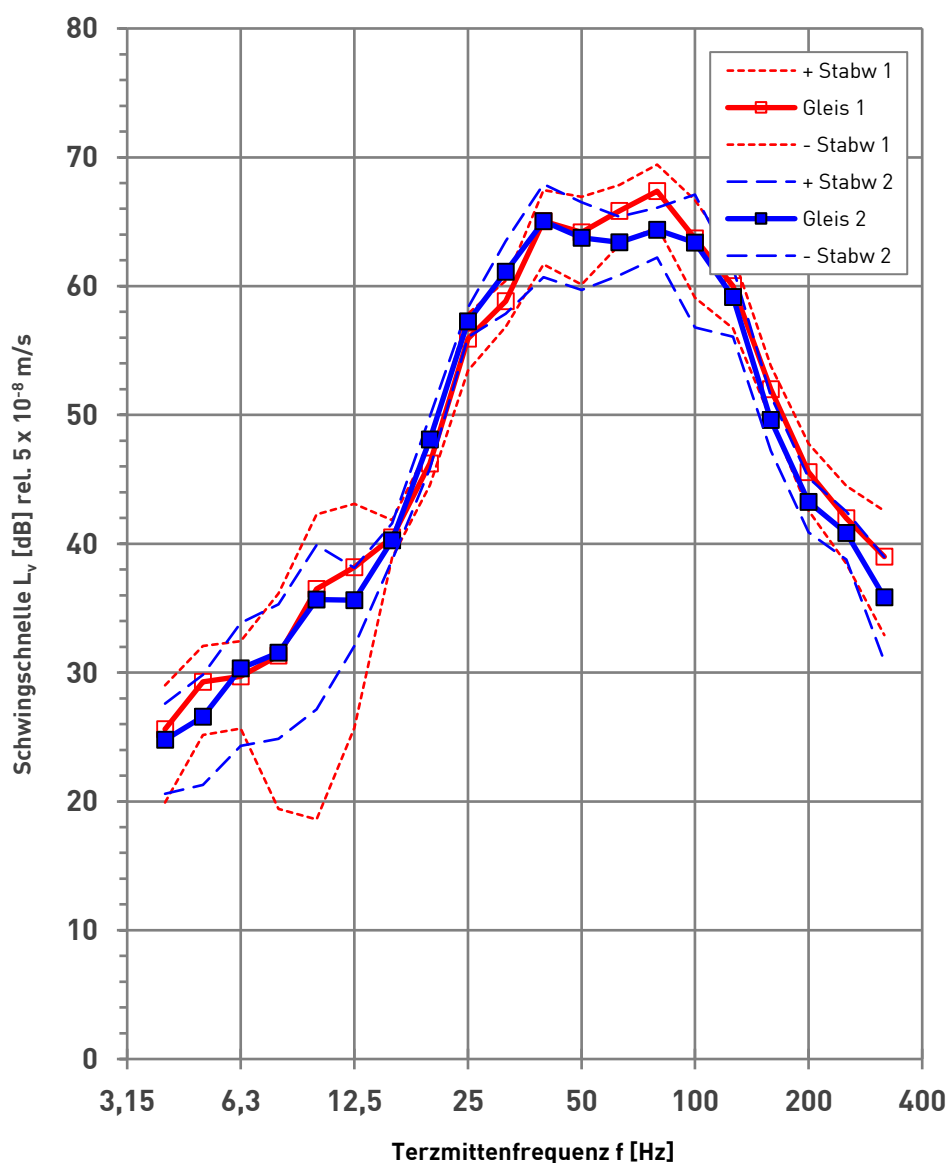
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V11
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	8	11 [m]	Messposition:	4

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
25,6	24,8	4
29,3	26,6	5
29,7	30,3	6,3
31,3	31,6	8
36,5	35,7	10
38,2	35,6	12,5
40,5	40,3	16
46,2	48,1	20
55,9	57,3	25
58,8	61,1	31,5
65,0	65,0	40
64,2	63,8	50
65,8	63,4	63
67,4	64,4	80
63,7	63,4	100
60,0	59,1	125
52,0	49,6	160
45,6	43,3	200
42,0	40,8	250
39,0	35,8	315
73,0	71,9	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

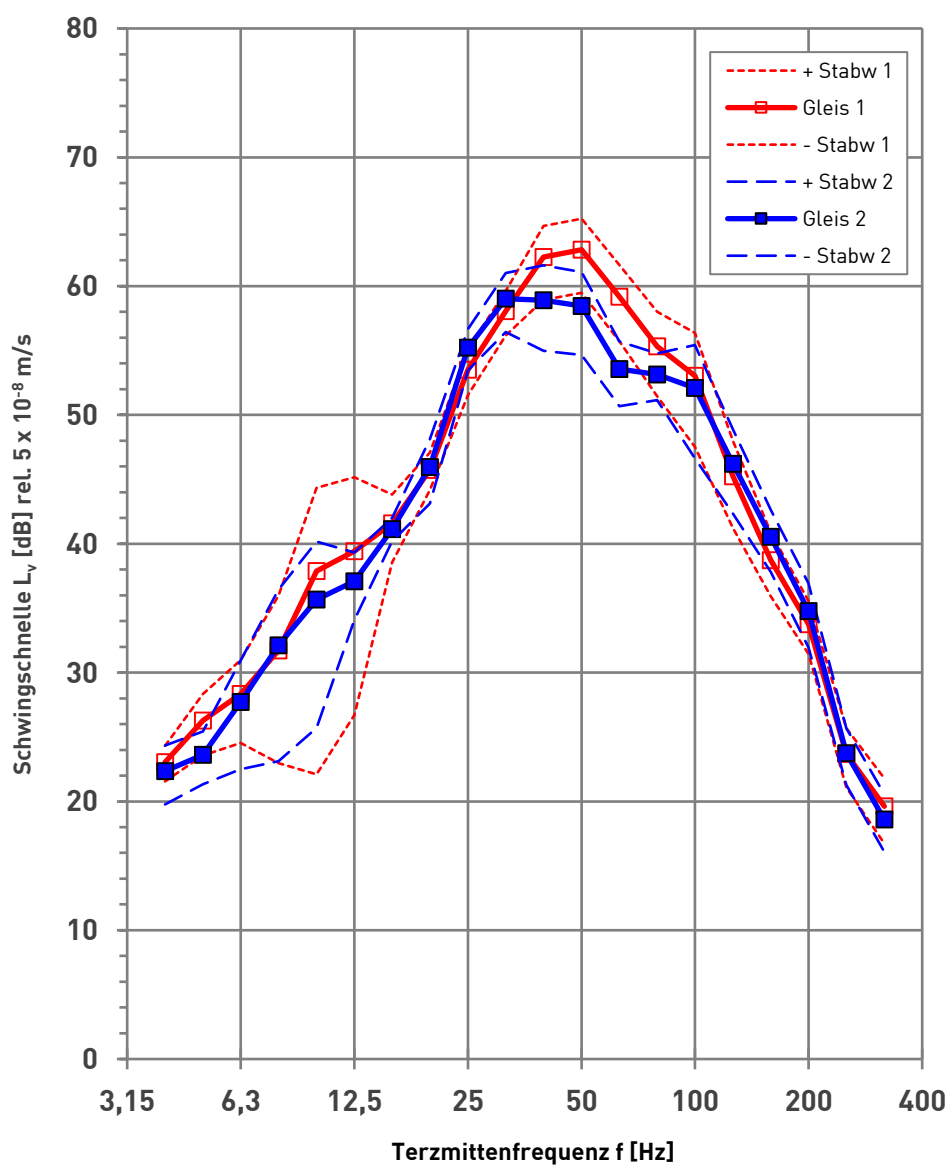
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V12
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	18	21 [m]	Messposition:	5

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
23,1	22,3	4
26,3	23,6	5
28,3	27,7	6,3
31,7	32,1	8
37,9	35,7	10
39,4	37,1	12,5
41,6	41,1	16
45,7	46,0	20
53,5	55,2	25
58,1	59,0	31,5
62,3	58,9	40
62,8	58,4	50
59,2	53,6	63
55,3	53,2	80
53,0	52,1	100
45,2	46,2	125
38,7	40,5	160
33,7	34,8	200
23,7	23,7	250
19,6	18,6	315
67,7	65,2	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

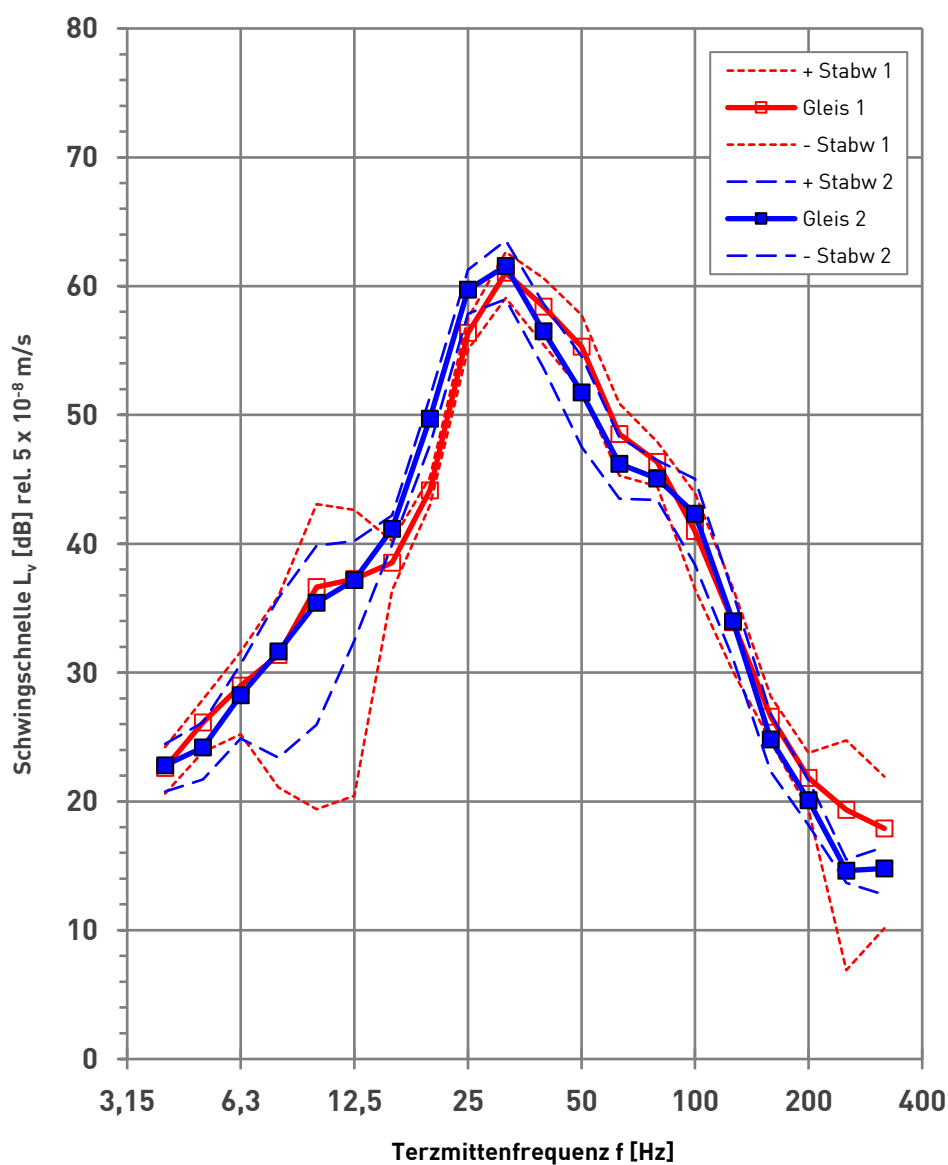
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V19
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	34	37 [m]	Messposition:	6

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
22,6	22,8	4
26,1	24,2	5
29,0	28,2	6,3
31,4	31,6	8
36,6	35,4	10
37,2	37,2	12,5
38,5	41,2	16
44,1	49,7	20
56,4	59,7	25
61,0	61,6	31,5
58,4	56,5	40
55,3	51,7	50
48,5	46,2	63
46,4	45,1	80
41,0	42,3	100
33,9	34,0	125
26,6	24,8	160
21,8	20,1	200
19,3	14,6	250
17,9	14,8	315
64,6	65,0	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

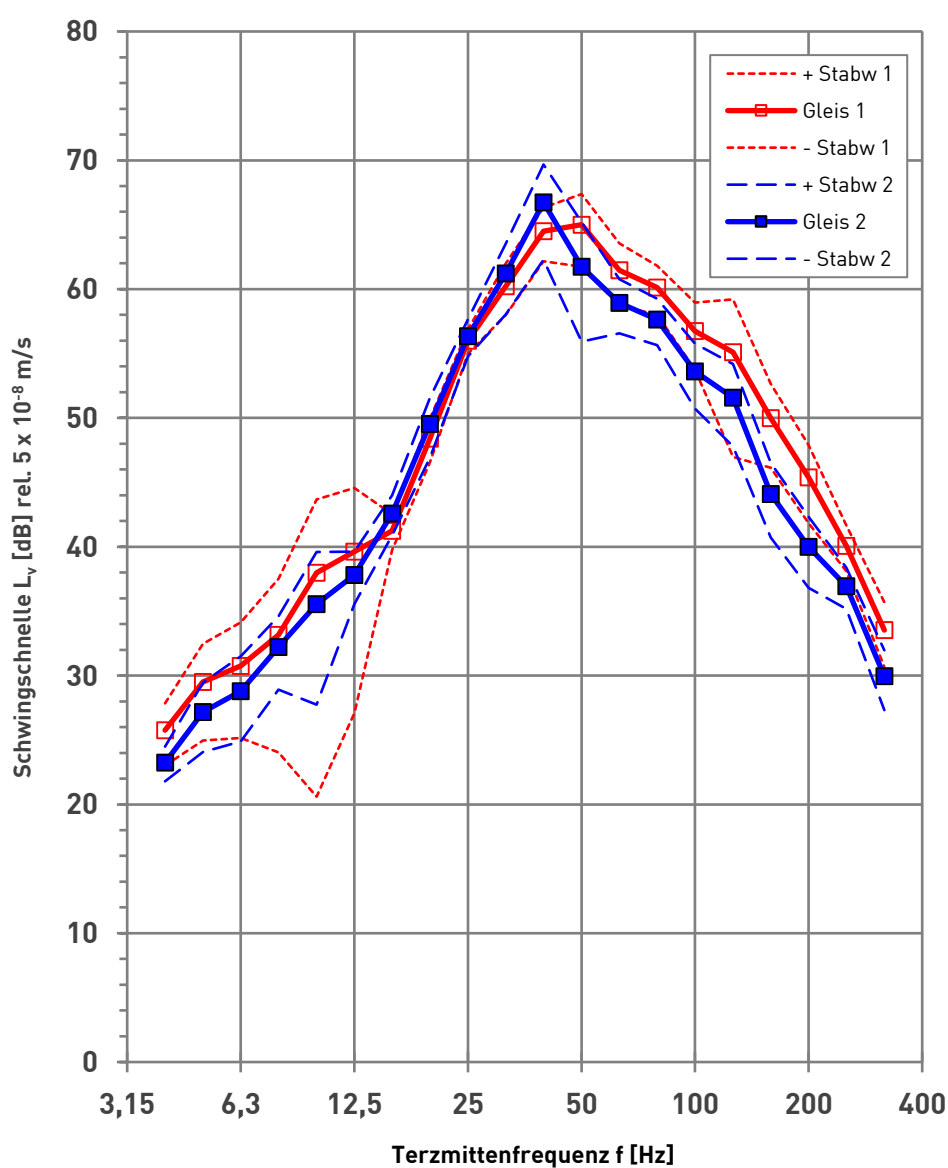
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V21
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	16	19 [m]	Messposition:	7

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
25,8	23,2	4
29,5	27,2	5
30,7	28,8	6,3
33,2	32,2	8
38,0	35,6	10
39,6	37,8	12,5
41,2	42,6	16
48,4	49,5	20
56,0	56,3	25
60,2	61,2	31,5
64,5	66,7	40
65,0	61,7	50
61,5	58,9	63
60,1	57,6	80
56,7	53,6	100
55,1	51,6	125
50,0	44,1	160
45,4	40,0	200
40,1	36,9	250
33,5	30,0	315
70,4	69,9	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

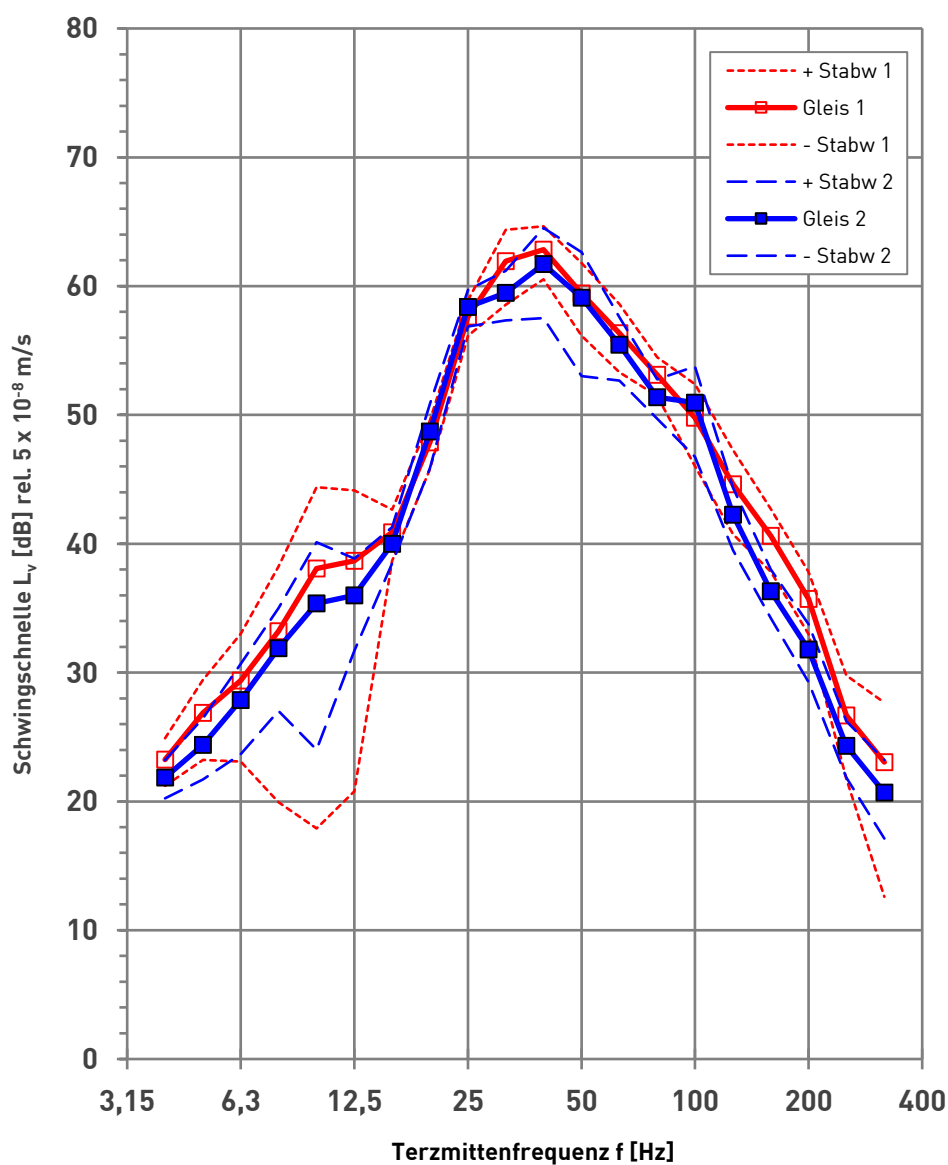
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V22
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	25	28 [m]	Messposition:	8

Mittelwert +/- StAbw



Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
23,3	21,9	4
26,9	24,4	5
29,4	27,9	6,3
33,2	31,9	8
38,1	35,4	10
38,7	36,0	12,5
40,9	40,0	16
47,9	48,7	20
57,6	58,4	25
61,9	59,5	31,5
62,8	61,7	40
59,4	59,1	50
56,3	55,5	63
53,1	51,4	80
49,8	51,0	100
44,6	42,3	125
40,6	36,3	160
35,7	31,8	200
26,7	24,3	250
23,1	20,7	315
67,6	66,6	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

Emissionsspektrum

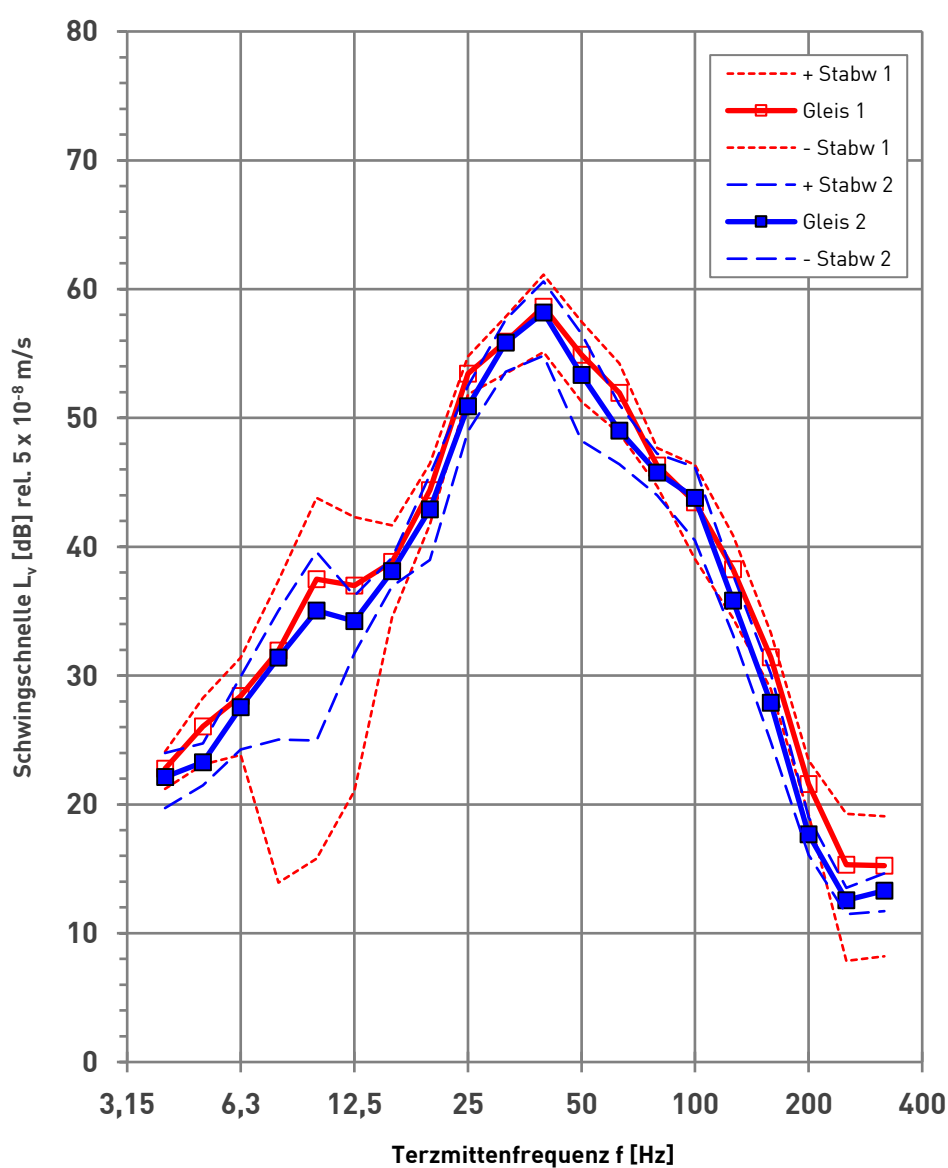
Straßenbahn

Mittelwerte

Quelle: Erschütterungsmessung in Mainz, Jakob-Leischner-Straße
 KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH 06.10.2021

	Gleis 1	Gleis 2		
Anzahl der Züge:	14	14	Sensor:	V28
Geschwindigkeit:	32	29 [km/h]	Schwingrichtung:	z
Abstand:	36	39 [m]	Messposition:	9

Mittelwert +/- StAbw

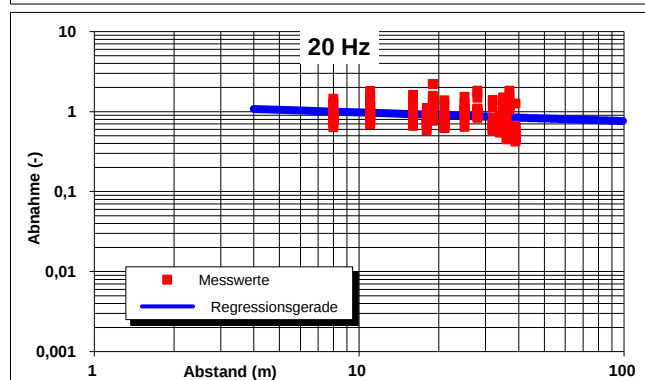
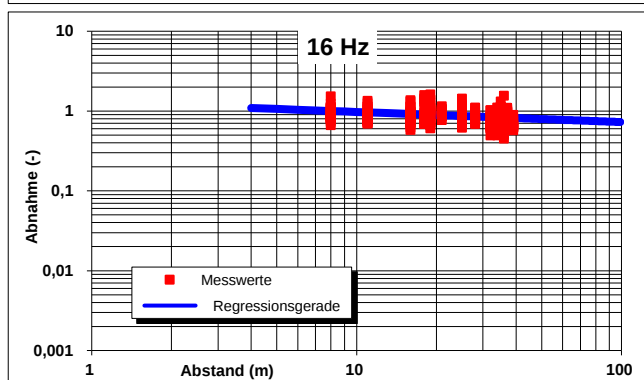
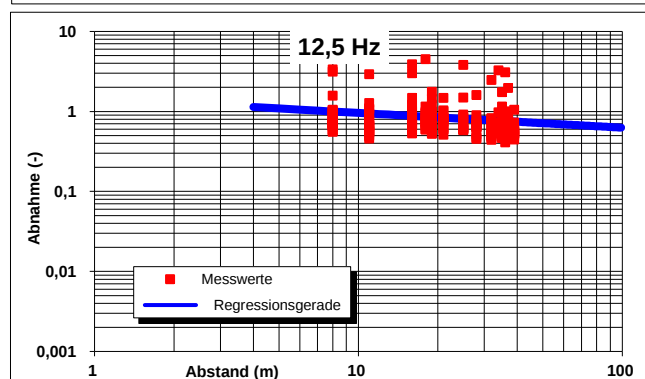
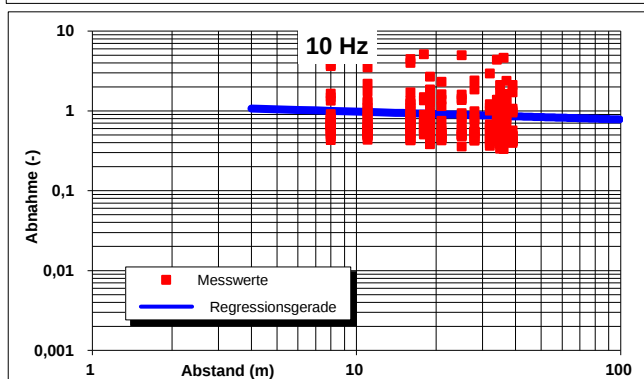
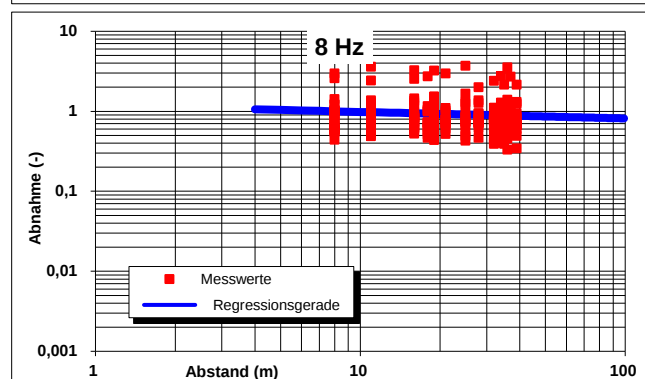
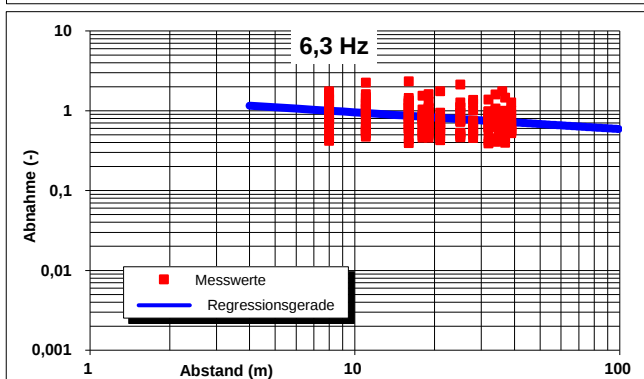
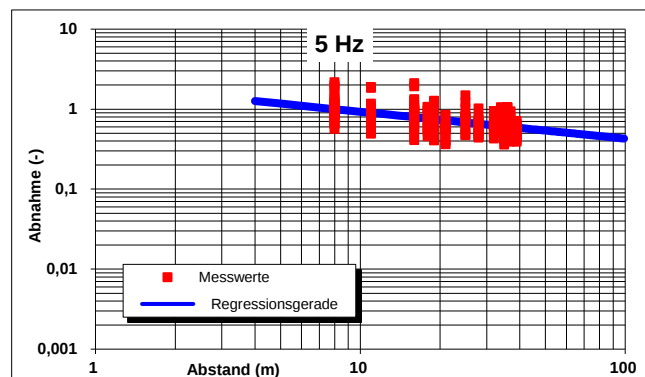
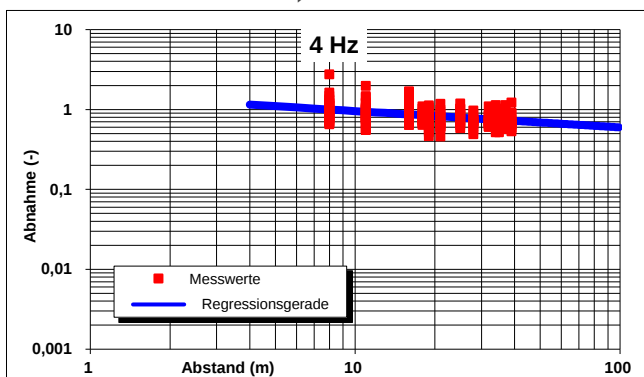


Gleis 1	Gleis 2	
Lv [dB]	Lv [dB]	f [Hz]
22,8	22,1	4
26,1	23,3	5
28,4	27,5	6,3
31,9	31,4	8
37,5	35,1	10
37,0	34,2	12,5
38,8	38,1	16
44,4	42,9	20
53,4	50,9	25
55,9	55,9	31,5
58,6	58,2	40
54,9	53,3	50
51,9	49,0	63
46,3	45,8	80
43,4	43,8	100
38,3	35,8	125
31,4	27,9	160
21,6	17,7	200
15,3	12,6	250
15,2	13,3	315
62,9	61,9	Σ

Referenz:
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

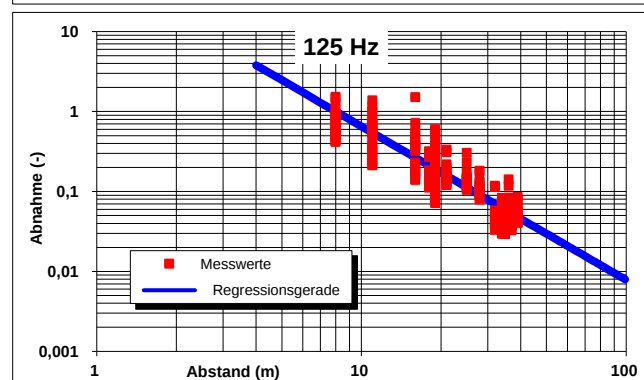
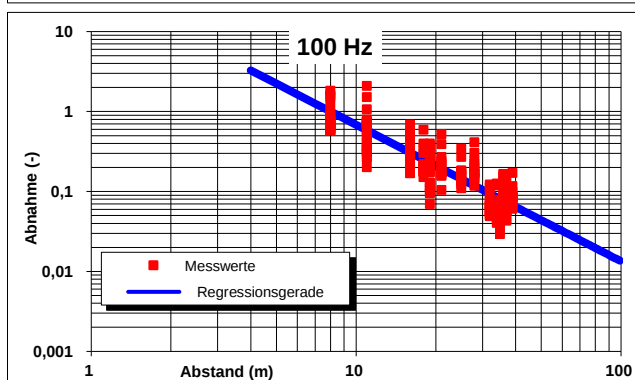
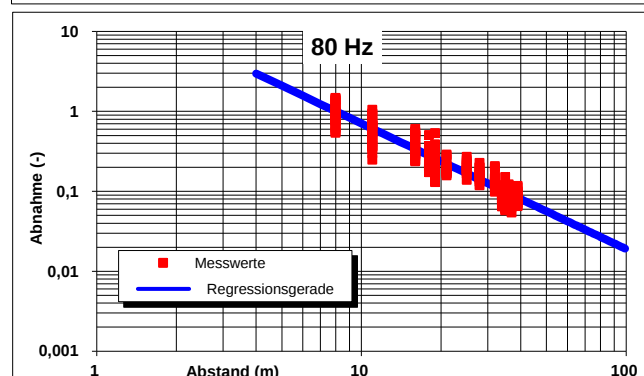
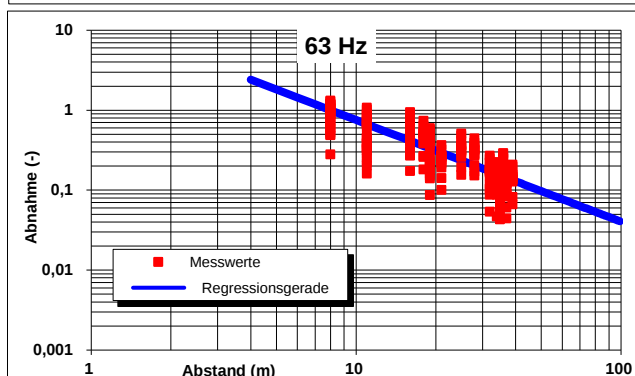
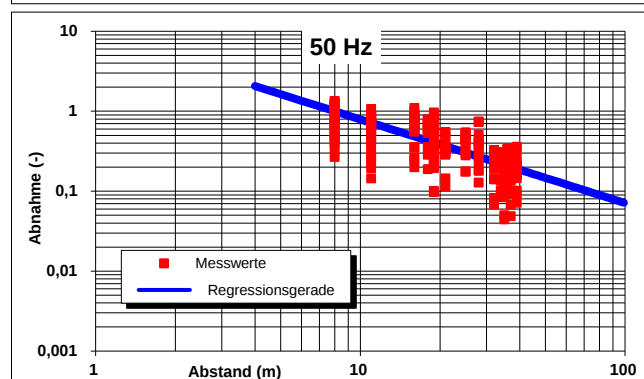
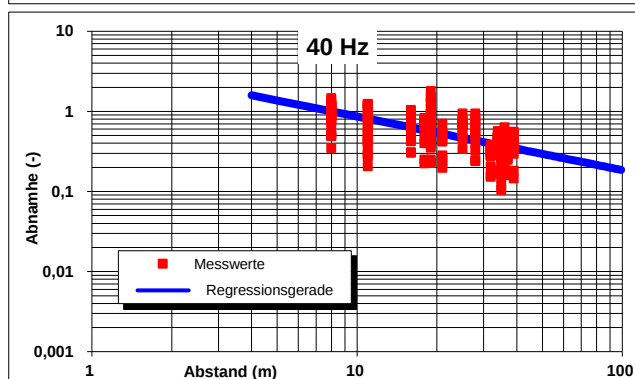
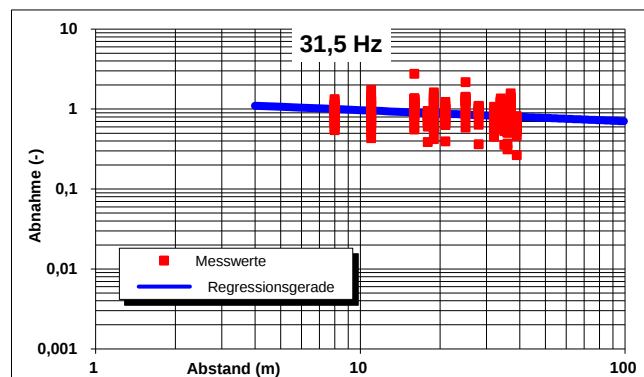
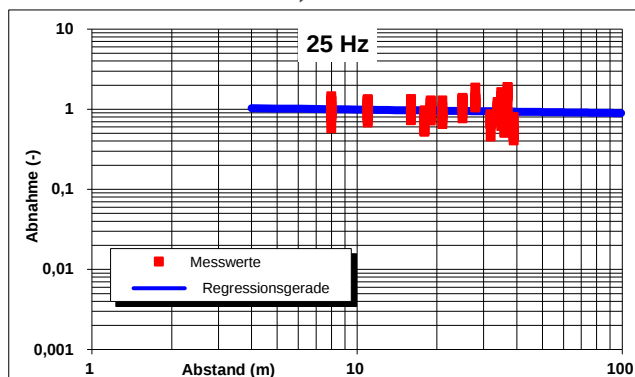
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Jakob-Leischner-Straße, Mainz



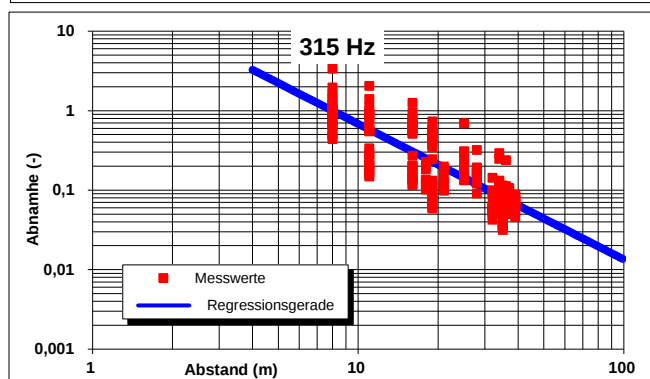
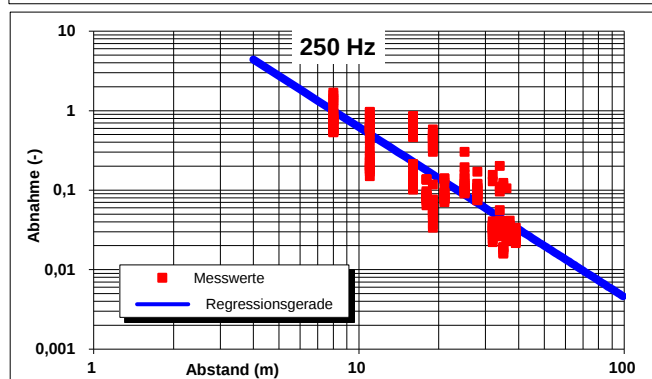
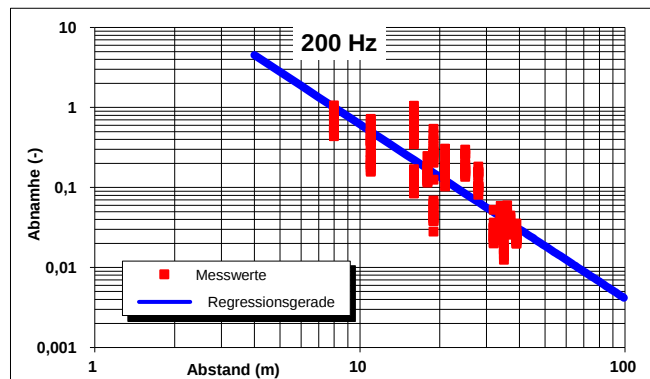
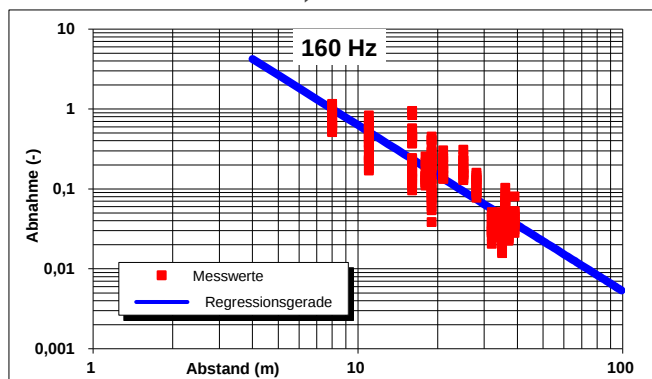
Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Jakob-Leischner-Straße, Mainz

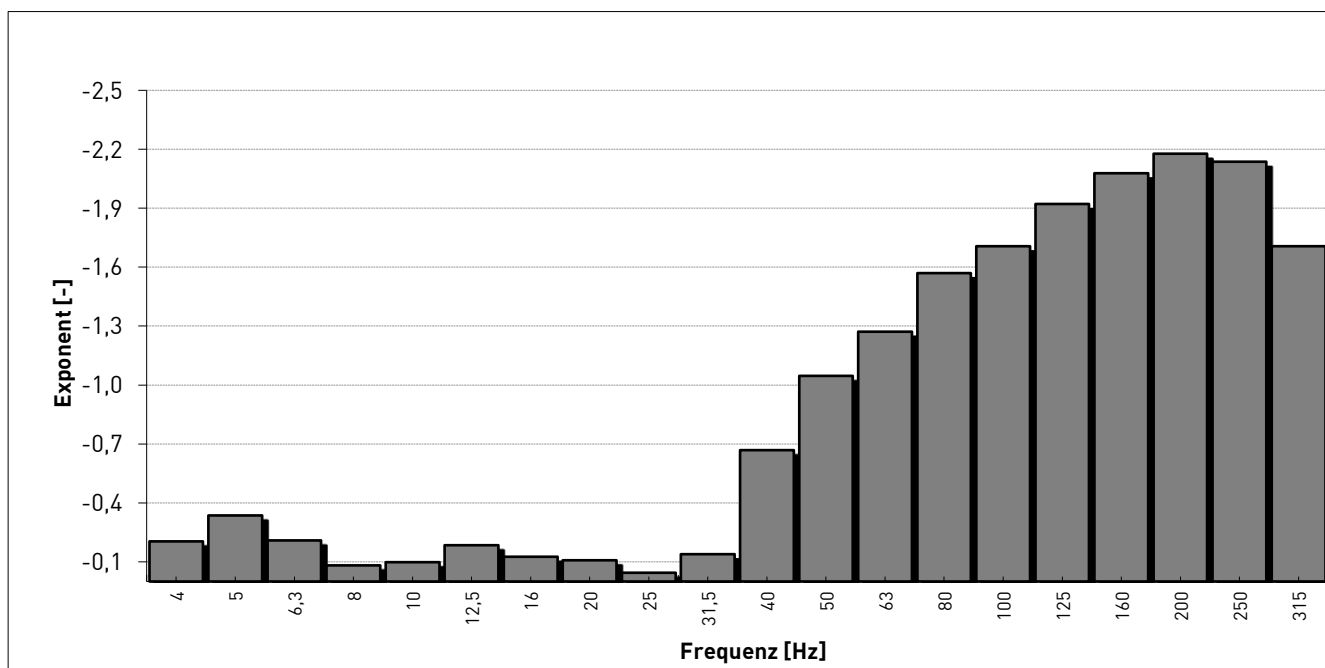


Abnahme der Schwingschnelle in Abhängigkeit des Abstandes

Jakob-Leischner-Straße, Mainz



Terzen	4	5	6,3	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Exponent	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,7	-1,0	-1,3	-1,6	-1,7	-1,9	-2,1	-2,2	-2,1	-1,7



Übertragungsfunktion

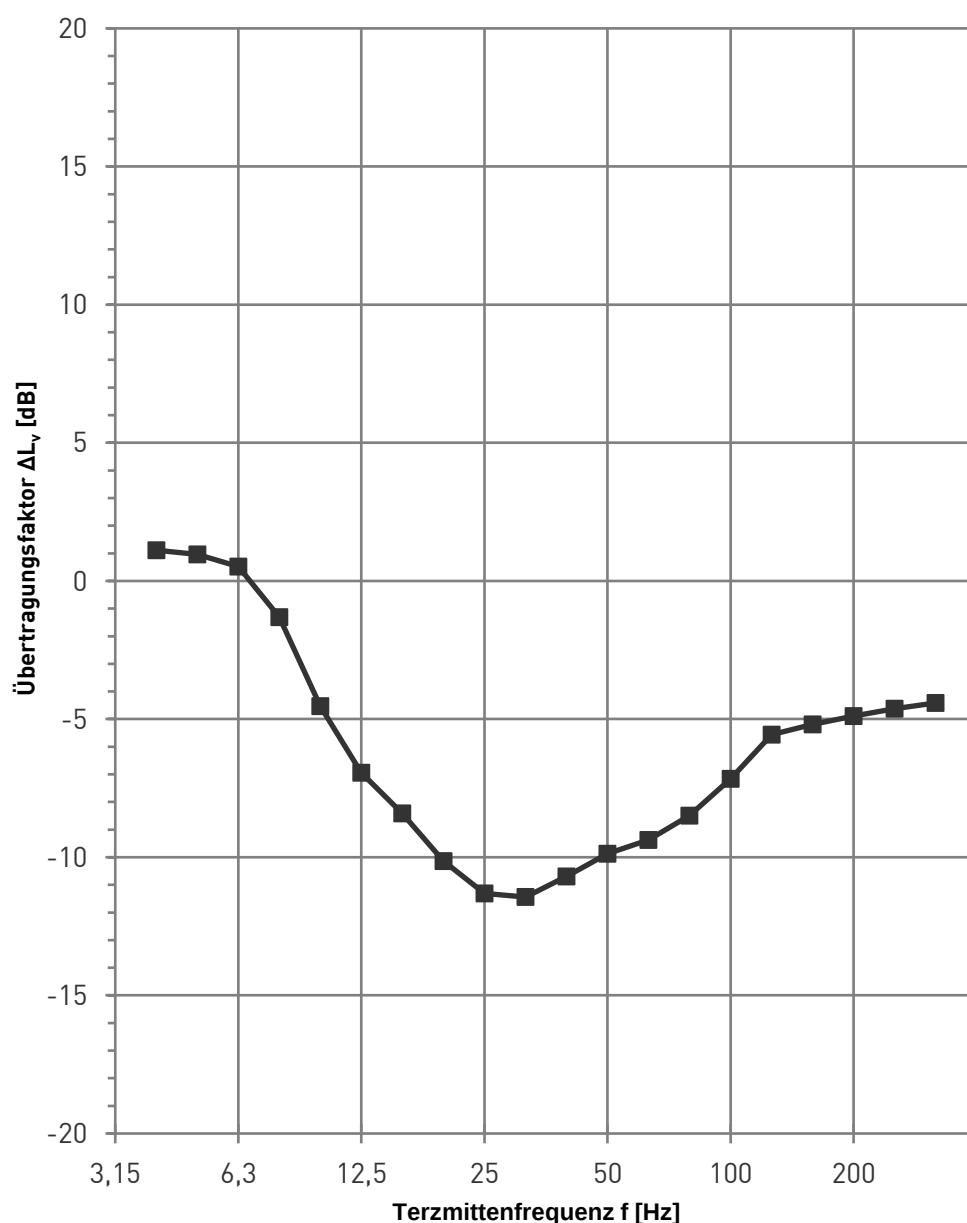
Erdreich - Fundament (T2)

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
 für 112 Bebaungen
 Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Gebäudetyp: Mehrfamilienhäuser

Schwingrichtung: vertikal (z)

Mittelwerte



ΔL_v [dB]	f [Hz]
1,1	4
1,0	5
0,5	6,3
-1,3	8
-4,5	10
-6,9	12,5
-8,4	16
-10,1	20
-11,3	25
-11,4	31,5
-10,7	40
-9,9	50
-9,4	63
-8,5	80
-7,2	100
-5,6	125
-5,2	160
-4,9	200
-4,6	250
-4,4	315

Übertragungsfunktion

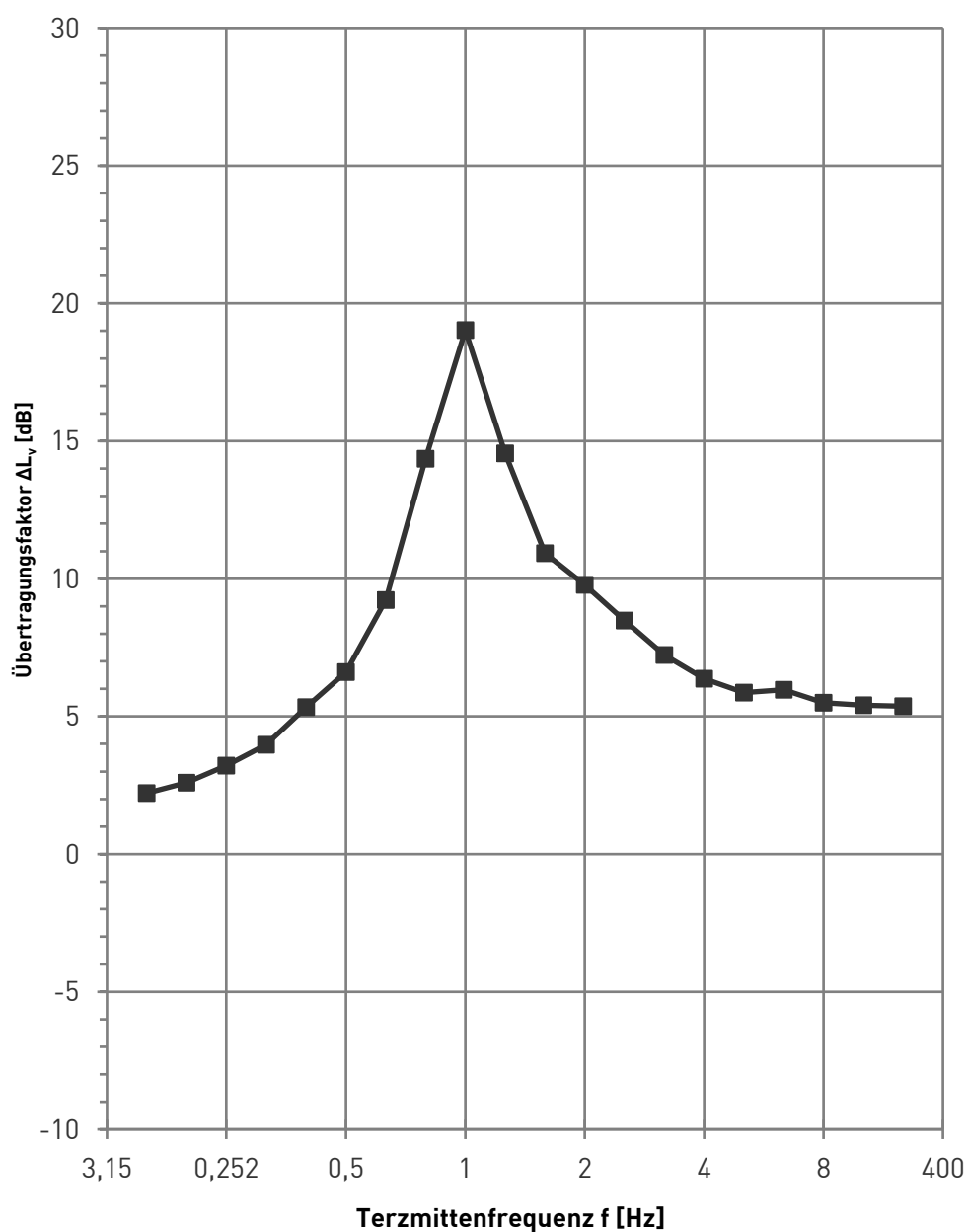
Fundament - Geschossdecke (T3)

Quelle: Statistische Auswertung der vorliegenden Messergebnisse
 für 469 Bebaungen
 KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Deckenart: Stahlbetondecke

Schwingrichtung: vertikal (z)

Mittelwert + Standardabweichung



ΔL_v [dB]	f/f_0 [-]
2,2	0,16
2,6	0,2
3,2	0,252
4,0	0,32
5,3	0,4
6,6	0,5
9,2	0,64
14,4	0,8
19,0	1
14,6	1,26
10,9	1,6
9,8	2
8,5	2,52
7,2	3,2
6,4	4
5,9	5
6,0	6,4
5,5	8
5,4	10
5,4	12,6

Erschütterungsimmissionen

Einwirkungsmatrix PNF

Tagzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

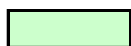
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: ohne Maßnahme

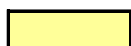
Beurteilungsschwingstärken $KB_{FT,r}$ mit dem Faktor 100 multipliziert in Abhängigkeit des maßgeblichen Gleisabstandes und Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r [m]	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	4,3	4,6	5,0	5,8	7,0	8,9	12,0	12,8	11,3	11,3
9	3,1	4,2	4,6	5,3	6,5	8,3	11,0	11,4	9,9	9,6
10	2,8	3,0	4,2	4,9	6,1	7,7	10,2	10,4	8,8	8,4
11	2,6	2,8	4,0	4,6	5,8	7,3	9,5	9,5	7,9	7,4
12	0,0	2,6	2,8	4,4	5,5	7,0	8,9	8,8	7,2	6,6
13	0,0	0,0	2,7	4,2	5,3	6,7	8,4	8,1	6,6	6,0
14	0,0	0,0	2,5	4,0	5,1	6,4	8,0	7,6	6,1	5,5
15	0,0	0,0	0,0	3,9	4,9	6,2	7,7	7,2	5,7	5,0
16	0,0	0,0	0,0	2,8	4,8	6,0	7,3	6,8	5,3	4,6
17	0,0	0,0	0,0	2,7	4,7	5,9	7,0	6,4	5,0	4,3
18	0,0	0,0	0,0	2,6	4,6	5,7	6,8	6,1	4,7	4,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	5,6	6,5	5,8	4,4	2,9
20	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	5,5	6,3	5,6	4,2	2,7
21	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	5,4	6,1	5,3	4,0	2,5
22	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	5,3	6,0	5,1	3,8	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	5,2	5,8	4,9	2,8	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	5,1	5,7	4,8	2,6	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	5,0	5,5	4,6	2,5	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	5,0	5,4	4,5	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,9	5,3	4,3	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,8	5,1	4,2	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,8	5,0	4,1	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	4,7	4,9	4,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	4,7	4,8	3,9	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	4,6	4,8	3,8	0,0	0,0

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird maximal zu 2/3 ausgeschöpft, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird eingehalten oder unterschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird überschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind nicht eingehalten.

Erschütterungsimmissionen

Einwirkungsmatrix PNF

Nachtzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

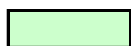
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: ohne Maßnahme

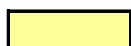
Beurteilungsschwingstärken $KB_{FT,r}$ mit dem Faktor 100 multipliziert in Abhängigkeit des maßgeblichen Gleisabstandes und Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r [m]	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	2,1	2,2	2,4	2,8	3,4	4,3	5,8	6,1	5,4	5,4
9	1,5	2,0	2,2	2,6	3,1	4,0	5,3	5,5	4,8	4,6
10	1,3	1,4	2,0	2,4	2,9	3,7	4,9	5,0	4,2	4,0
11	1,2	1,3	1,9	2,2	2,8	3,5	4,6	4,6	3,8	3,6
12	0,0	1,2	1,4	2,1	2,7	3,4	4,3	4,2	3,5	3,2
13	0,0	0,0	1,3	2,0	2,5	3,2	4,1	3,9	3,2	2,9
14	0,0	0,0	1,2	1,9	2,5	3,1	3,9	3,7	2,9	2,6
15	0,0	0,0	0,0	1,9	2,4	3,0	3,7	3,4	2,7	2,4
16	0,0	0,0	0,0	1,3	2,3	2,9	3,5	3,3	2,6	2,2
17	0,0	0,0	0,0	1,3	2,3	2,8	3,4	3,1	2,4	2,1
18	0,0	0,0	0,0	1,2	2,2	2,8	3,3	2,9	2,3	1,9
19	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	2,7	3,2	2,8	2,1	1,4
20	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,6	3,0	2,7	2,0	1,3
21	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,6	3,0	2,6	1,9	1,2
22	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,5	2,9	2,5	1,8	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,5	2,8	2,4	1,3	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,5	2,7	2,3	1,3	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,4	2,7	2,2	1,2	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,4	2,6	2,2	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,4	2,5	2,1	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,3	2,5	2,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,3	2,4	2,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,3	2,4	1,9	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,3	2,3	1,9	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,2	2,3	1,8	0,0	0,0

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird maximal zu 2/3 ausgeschöpft, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird eingehalten oder unterschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird überschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind nicht eingehalten.

Sekundärer Luftschall

Einwirkungsmatrix PNF

Tagzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

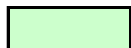
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: ohne Maßnahme

Beurteilungspegel L_{ri} [dB(A)] in Abhängigkeit des Gleisabstandes und maßgeblichen Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r [m]	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	27,9	28,1	28,3	28,5	29,0	29,7	30,8	31,9	32,8	34,4
9	27,1	27,2	27,4	27,7	28,2	28,9	30,1	31,1	32,0	33,5
10	26,3	26,4	26,7	26,9	27,4	28,2	29,4	30,5	31,3	32,7
11	25,6	25,8	26,0	26,2	26,8	27,6	28,8	29,9	30,6	32,0
12	25,0	25,1	25,4	25,6	26,2	27,0	28,3	29,3	30,0	31,4
13	24,4	24,6	24,8	25,1	25,7	26,5	27,8	28,8	29,5	30,8
14	23,9	24,0	24,3	24,6	25,2	26,1	27,4	28,3	28,9	30,2
15	23,4	23,6	23,8	24,1	24,7	25,7	27,0	27,9	28,5	29,7
16	22,9	23,1	23,4	23,7	24,3	25,3	26,6	27,5	28,0	29,2
17	22,5	22,7	23,0	23,3	23,9	24,9	26,3	27,1	27,6	28,7
18	22,1	22,3	22,6	22,9	23,6	24,6	26,0	26,8	27,2	28,3
19	21,7	21,9	22,2	22,6	23,2	24,3	25,7	26,5	26,8	27,9
20	21,4	21,6	21,9	22,3	22,9	24,0	25,4	26,2	26,5	27,5
21	21,0	21,2	21,6	22,0	22,6	23,7	25,1	25,9	26,2	27,1
22	20,7	20,9	21,3	21,7	22,4	23,5	24,9	25,6	25,8	26,7
23	20,4	20,6	21,0	21,4	22,1	23,3	24,6	25,3	25,5	26,4
24	20,1	20,4	20,7	21,1	21,9	23,0	24,4	25,1	25,3	26,1
25	19,9	20,1	20,4	20,9	21,7	22,8	24,2	24,9	25,0	25,8
26	19,6	19,9	20,2	20,7	21,4	22,6	24,0	24,6	24,7	25,5
27	19,4	19,6	20,0	20,4	21,2	22,5	23,8	24,4	24,5	25,2
28	19,1	19,4	19,8	20,2	21,0	22,3	23,7	24,2	24,2	24,9
29	18,9	19,2	19,5	20,0	20,9	22,1	23,5	24,0	24,0	24,6
30	18,7	19,0	19,3	19,8	20,7	22,0	23,3	23,8	23,8	24,4
31	18,5	18,8	19,2	19,7	20,5	21,8	23,2	23,6	23,5	24,1
32	18,3	18,6	19,0	19,5	20,4	21,7	23,0	23,4	23,3	23,9

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Immissionsrichtwert für den Tag wird unterschritten,
 die Anforderungen der 24. BImSchV sind erfüllt.



Der Immissionsrichtwert für den Tag wird überschritten,
 die Anforderungen der 24. BImSchV **nicht** sind erfüllt.

IRW

40 dB(A)

Sekundärer Luftschall

Einwirkungsmatrix PNF

Nachtzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

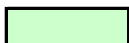
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: ohne Maßnahme

Beurteilungspegel L_{ri} [dB(A)] in Abhängigkeit des Gleisabstandes und maßgeblichen Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r [m]	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	21,6	21,7	21,9	22,1	22,6	23,4	24,5	25,6	26,5	28,1
9	20,7	20,9	21,1	21,3	21,8	22,6	23,7	24,8	25,7	27,2
10	19,9	20,1	20,3	20,6	21,1	21,9	23,1	24,1	24,9	26,4
11	19,2	19,4	19,6	19,9	20,4	21,3	22,5	23,5	24,3	25,7
12	19,0	19,2	19,4	19,7	20,2	21,1	22,3	23,3	24,1	25,5
13	18,0	18,2	18,5	18,7	19,3	20,2	21,5	22,5	23,1	24,4
14	17,5	17,7	17,9	18,2	18,8	19,7	21,0	22,0	22,6	23,8
15	17,0	17,2	17,5	17,8	18,4	19,3	20,6	21,6	22,1	23,3
16	16,6	16,8	17,0	17,4	18,0	18,9	20,3	21,2	21,7	22,8
17	16,1	16,3	16,6	17,0	17,6	18,6	19,9	20,8	21,3	22,4
18	15,7	15,9	16,2	16,6	17,2	18,2	19,6	20,5	20,9	21,9
19	15,4	15,6	15,9	16,2	16,9	17,9	19,3	20,1	20,5	21,5
20	15,0	15,2	15,5	15,9	16,6	17,6	19,0	19,8	20,1	21,1
21	14,7	14,9	15,2	15,6	16,3	17,4	18,8	19,5	19,8	20,7
22	14,4	14,6	14,9	15,3	16,0	17,1	18,5	19,3	19,5	20,4
23	14,1	14,3	14,6	15,0	15,8	16,9	18,3	19,0	19,2	20,0
24	13,8	14,0	14,4	14,8	15,5	16,7	18,1	18,7	18,9	19,7
25	13,5	13,8	14,1	14,5	15,3	16,5	17,9	18,5	18,6	19,4
26	13,3	13,5	13,9	14,3	15,1	16,3	17,7	18,3	18,4	19,1
27	13,0	13,3	13,6	14,1	14,9	16,1	17,5	18,1	18,1	18,8
28	12,8	13,0	13,4	13,9	14,7	15,9	17,3	17,8	17,9	18,5
29	12,6	12,8	13,2	13,7	14,5	15,8	17,1	17,6	17,6	18,3
30	12,4	12,6	13,0	13,5	14,3	15,6	17,0	17,5	17,4	18,0
31	12,2	12,4	12,8	13,3	14,2	15,5	16,8	17,3	17,2	17,8
32	12,0	12,2	12,6	13,1	14,0	15,3	16,7	17,1	17,0	17,5

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Immissionsrichtwert für die Nacht wird unterschritten, die Anforderungen der 24. BImSchV sind erfüllt.



Der Immissionsrichtwert für die Nacht wird überschritten, die Anforderungen der 24. BImSchV nicht sind erfüllt.

IRW

30 dB(A)

Erschütterungsimmissionen

Einwirkungsmatrix PNF

Tagzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

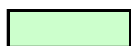
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: Gebäudelagerung $f_0 = 10$ Hz

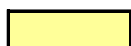
Beurteilungsschwingstärken $KB_{FT,r}$ mit dem Faktor 100 multipliziert in Abhängigkeit des maßgeblichen Gleisabstandes und Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
[m]	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird maximal zu 2/3 ausgeschöpft, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird eingehalten oder unterschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird überschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind nicht eingehalten.

Erschütterungsimmissionen

Einwirkungsmatrix PNF

Nachtzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

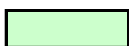
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: Gebäudelagerung $f_0 = 10$ Hz

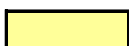
Beurteilungsschwingstärken $KB_{FT,r}$ mit dem Faktor 100 multipliziert in Abhängigkeit des maßgeblichen Gleisabstandes und Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r [m]	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird maximal zu 2/3 ausgeschöpft, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird eingehalten oder unterschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind erfüllt.



Der Beurteilungsanhaltswert A_r wird überschritten, die Anforderungen der DIN 4150-2 sind nicht eingehalten.

Sekundärer Luftschall

Einwirkungsmatrix PNF

Tagzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

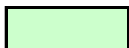
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: Gebäudelagerung $f_0 = 10$ Hz

Beurteilungspegel L_{ri} [dB(A)] in Abhängigkeit des Gleisabstandes und maßgeblichen Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r [m]	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	12,7	12,9	13,3	13,7	14,4	15,5	17,0	17,8	17,9	18,7
9	12,0	12,2	12,6	13,1	13,8	14,9	16,4	17,1	17,2	17,9
10	11,4	11,6	12,0	12,5	13,3	14,4	15,9	16,6	16,5	17,1
11	10,8	11,1	11,4	12,0	12,8	14,0	15,5	16,0	15,9	16,4
12	10,3	10,6	11,0	11,5	12,4	13,6	15,1	15,6	15,3	15,8
13	9,8	10,1	10,5	11,1	12,0	13,3	14,8	15,2	14,8	15,2
14	9,4	9,7	10,2	10,8	11,7	13,0	14,4	14,8	14,4	14,7
15	9,0	9,4	9,8	10,5	11,4	12,7	14,1	14,4	14,0	14,2
16	8,7	9,0	9,5	10,2	11,2	12,5	13,9	14,1	13,6	13,7
17	8,4	8,7	9,2	9,9	11,0	12,3	13,6	13,8	13,2	13,3
18	8,1	8,5	9,0	9,7	10,8	12,1	13,4	13,5	12,8	12,9
19	7,9	8,2	8,7	9,5	10,6	11,9	13,2	13,2	12,5	12,5
20	7,6	8,0	8,5	9,3	10,4	11,8	13,0	12,9	12,2	12,1
21	7,4	7,8	8,3	9,1	10,2	11,6	12,8	12,7	11,9	11,8
22	7,2	7,6	8,1	8,9	10,1	11,5	12,6	12,5	11,6	11,5
23	7,0	7,4	7,9	8,7	10,0	11,3	12,4	12,2	11,4	11,1
24	6,8	7,2	7,8	8,6	9,8	11,2	12,3	12,0	11,1	10,9
25	6,6	7,0	7,6	8,4	9,7	11,1	12,1	11,8	10,9	10,6
26	6,5	6,9	7,5	8,3	9,6	11,0	12,0	11,6	10,6	10,3
27	6,3	6,7	7,3	8,2	9,5	10,9	11,8	11,5	10,4	10,0
28	6,2	6,6	7,2	8,1	9,4	10,8	11,7	11,3	10,2	9,8
29	6,0	6,5	7,1	8,0	9,3	10,7	11,6	11,1	10,0	9,5
30	5,9	6,4	7,0	7,9	9,3	10,6	11,5	11,0	9,8	9,3
31	5,8	6,2	6,9	7,8	9,2	10,6	11,3	10,8	9,6	9,1
32	5,7	6,1	6,8	7,7	9,1	10,5	11,2	10,7	9,5	8,9

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Immissionsrichtwert für den Tag wird unterschritten,
 die Anforderungen der 24. BImSchV sind erfüllt.



Der Immissionsrichtwert für den Tag wird überschritten,
 die Anforderungen der 24. BImSchV **nicht** sind erfüllt.

IRW

40 dB(A)

Sekundärer Luftschall

Einwirkungsmatrix PNF

Nachtzeitraum

Strecke: Mainzelbahn

Gebietsnutzung: Wohngebiet

Ort: Jakob-Leischner-Straße

Abstand der Bebauung ab: 8,0 m

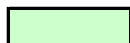
55128 Mainz

Schutzmaßnahme: Gebäudelagerung $f_0 = 10$ Hz

Beurteilungspegel L_{ri} [dB(A)] in Abhängigkeit des Gleisabstandes und maßgeblichen Deckeneigenfrequenzen von Gebäuden.

Abstand r [m]	Deckeneigenfrequenzen [Hz]									
	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
8	6,4	6,6	6,9	7,4	8,1	9,1	10,6	11,4	11,6	12,4
9	5,6	5,9	6,2	6,7	7,5	8,6	10,1	10,8	10,8	11,5
10	5,0	5,3	5,6	6,1	6,9	8,1	9,6	10,2	10,1	10,8
11	4,4	4,7	5,1	5,6	6,5	7,6	9,1	9,7	9,5	10,1
12	4,3	4,5	4,9	5,5	6,3	7,5	9,0	9,5	9,4	9,9
13	3,5	3,8	4,2	4,8	5,7	6,9	8,4	8,8	8,5	8,9
14	3,1	3,4	3,8	4,4	5,4	6,7	8,1	8,4	8,0	8,3
15	2,7	3,0	3,5	4,1	5,1	6,4	7,8	8,1	7,6	7,8
16	2,4	2,7	3,2	3,8	4,8	6,2	7,5	7,7	7,2	7,4
17	2,1	2,4	2,9	3,6	4,6	5,9	7,3	7,4	6,8	6,9
18	1,8	2,1	2,6	3,3	4,4	5,7	7,0	7,1	6,5	6,5
19	1,5	1,9	2,4	3,1	4,2	5,6	6,8	6,9	6,2	6,1
20	1,3	1,6	2,2	2,9	4,1	5,4	6,6	6,6	5,8	5,8
21	1,0	1,4	2,0	2,7	3,9	5,3	6,4	6,3	5,6	5,4
22	0,8	1,2	1,8	2,5	3,8	5,1	6,3	6,1	5,3	5,1
23	0,6	1,0	1,6	2,4	3,6	5,0	6,1	5,9	5,0	4,8
24	0,5	0,9	1,4	2,2	3,5	4,9	5,9	5,7	4,8	4,5
25	0,3	0,7	1,3	2,1	3,4	4,8	5,8	5,5	4,5	4,2
26	0,1	0,6	1,1	2,0	3,3	4,7	5,6	5,3	4,3	3,9
27	0,0	0,4	1,0	1,8	3,2	4,6	5,5	5,1	4,1	3,7
28	-0,2	0,3	0,9	1,7	3,1	4,5	5,4	4,9	3,9	3,4
29	-0,3	0,1	0,8	1,6	3,0	4,4	5,2	4,8	3,7	3,2
30	-0,4	0,0	0,6	1,5	2,9	4,3	5,1	4,6	3,5	3,0
31	-0,5	-0,1	0,5	1,4	2,8	4,2	5,0	4,5	3,3	2,7
32	-0,7	-0,2	0,4	1,3	2,8	4,1	4,9	4,3	3,1	2,5

r Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]



Der Immissionsrichtwert für die Nacht wird unterschritten, die Anforderungen der 24. BImSchV sind erfüllt.



Der Immissionsrichtwert für die Nacht wird überschritten, die Anforderungen der 24. BImSchV nicht sind erfüllt.

IRW

30 dB(A)