

1 Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis	2
2 Aufgabenstellung	3
3 Quellenverzeichnis, Regelwerke	3
4 Grundlagen	5
4.1 Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	5
4.2 Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkung auf bauliche Anlagen	8
5 Erschütterungsquelle	10
6 Verkehrsweg und Verkehrsmengen	10
7 Erschütterungsimmissionen	12
7.1 Messergebnisse	12
7.2 Analyse Ist-Zustand	14
7.3 Analyse Prognose-Zustände	15
7.4 Unsicherheiten	16
8 Zusammenfassung und Beurteilung	17

Anlagen - Ergebnistabelle Beurteilungs-Schwingstärken

2 Aufgabenstellung

Im Zusammenhang mit den Planungen zum B-Plan LIA284 "GVZ Erfurt" durch die Stadt Erfurt ist eine 2. Verkehrsanbindung zum Güterverkehrszentrum (GVZ) mit Anschluss an die Sömmerdaer Straße (L1056) vorgesehen. Durch die Baumaßnahme wird auf dem Streckenabschnitt der L1056 ab geplanter 2. Zufahrt zum GVZ bis zum Knotenpunkt L1055 im Bereich der Ortslage Kleinmölsen eine Erhöhung der Verkehrsmengen erwartet.

Aktuelle Ergebnisse von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) durchgeführter Messungen von Erschütterungsimmissionen in einem nahe der L1056 gelegenen Wohngebäude zeigen bereits für den Ist-Zustand hohe durch Straßenverkehr induzierte Schwingstärken. Die Realisierung des Vorhabens "2. Verkehrsanbindung" wird auf Grund der damit einhergehend zu erwartenden Erhöhung der Verkehrsmengen auf der L1056 auch mit einer Erhöhung der Belastung der Anwohner mit Erschütterungen verbunden.

Die Auswirkungen des Planvorhabens auf die derzeit gegebene Erschütterungsimmissionssituation soll zunächst anhand der in der Ortslage Vieselbach im Wohngebäude Karl-Marx-Straße 15 anhand von Messungen der TLUG festgestellten Erschütterungsimmissionen untersucht werden. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist ein durch die Rechtsprechung gestützter Kriterienmaßstab zugrunde zu legen. Dieser geht davon aus, dass eine Verschlechterung einer gegebenen, hier durch Straßenverkehr verursachten, Erschütterungsimmissionssituation erst ab einer Erhöhung bzw. Zunahme der bereits vorliegenden Schwingstärke um mehr als 20% wahrnehmbar ist. Mit der Wahrnehmung der Veränderungen, ausgedrückt durch die Erhöhung der Beurteilungsschwingstärken, ist die Wesentlichkeit der Auswirkungen des Planvorhabens "2. Verkehrsanbindung" GVZ Erfurt gegeben. Das Ergebnis ist dann in einen Abwägungsprozess mit der Festlegung von Minderungsmaßnahmen einzubeziehen.

3 Quellenverzeichnis, Regelwerke

- [1] **DIN 4150 Teil 1:** Erschütterungen im Bauwesen - Grundsätze, Vorermittlung und Messung von Schwingungsgrößen, Juni 2001
- [2] **DIN 4150 Teil 2:** Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Ausgabe Juni 1999
- [3] **LAI Schriftenreihe**, Band 8: Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen (Erschütterungs-Richtlinie), Länderausschuss für Immissionsschutz, 28.09.1994
- [4] **LIS- Berichte Nr. 107**, Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- u. Körperschalleinwirkungen, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen 1992

- [5] **bast V 84** - Hochrechnungsverfahren für Außerorts - Straßenverkehrszählungen - bast - Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Verkehrstechnik Heft V 84 – Vereinfachtes Verfahren; Büro für angewandte Statistik Aachen, 2001
- [6] **FGSV - EVE 91** , Empfehlungen für Verkehrserhebungen, Ausgabe 1991
- [7] **Materialien Nr. 22**, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schallschutzmaßnahmen, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen 1995
- [8] **Bodendynamik**, Grundlagen, Kennziffern, Probleme, Jost A Studer • Martin G. Koller, Springer Verlag 1986 und 1997
- [9] LIA284 "GVZ Erfurt" • 5. Änderung - "Vorgesehene 2. Verkehrsverbindung", Arbeitsstand 09/2012, Stadtverwaltung Erfurt, Dezernat Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung
- [10] Bebauungsplan LIA 284 "Güterverkehrszentrum Erfurt", 5. Änderung des B-Planes (Entwurf), Stadtverwaltung Erfurt, Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung, 08.2009
- [11] Analyse Kfz-Verkehr, Verkehrsbelegung B7, L1056 Ist-Zustand / Prognose mit 2. Anbindung GVZ; Viaprojekt Ingenieure GmbH
- [12] Messbericht 041200 VIESEL, Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen im Wohnhaus Karl-Marx-Straße Nr. 15 in 99198 Vieselbach, TLUG, 11.01.2001

4 Grundlagen

4.1 Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Bestandteil von Planfeststellungsunterlagen für den Aus- oder Neubau von Verkehrswegen sind u.a. auch erschütterungstechnische Untersuchungen. Ziel ist, die zu erwartenden Erschütterungsbelastungen durch fließenden Straßen- oder Schienenverkehr in angrenzenden Wohngebäuden zu ermitteln. Es ist sicherzustellen, dass durch Neubau oder bauliche Änderungen sowie deren Folgemaßnahmen betroffene Anwohner keiner erhöhten Belastung durch Erschütterungsimmissionen ausgesetzt sind. Im Ergebnis der Untersuchungen ist eine Situation anzustreben, bei der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden vermieden oder auf ein Minimum reduziert werden.

Die Beurteilung von **Erschütterungseinwirkungen auf Menschen** erfolgt nach DIN 4150 Teil 2 [2]. Dazu werden bewertete Schwingstärken KB_F , die sog. KB-Werte herangezogen, die aus den gemessenen unbewerteten Erschütterungssignalen, z.B. aus Straßenverkehr, gewonnen werden. Für die Einwirkung wird zunächst die maximale Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} und, falls erforderlich, auch die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} bestimmt. Es folgt ein Vergleich mit Anhaltswerten. Die Anhaltswerte A sind unterteilt nach der Tageszeit des Auftretens sowie nach der Lage von Einwirkungsorten entsprechend der baulichen Nutzung ihrer Umgebung. In der folgenden Tabelle sind die geltenden Anhaltswerte zusammengefasst.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Einwirkungsort	Tag			Nacht		
	Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Der KB-Wert ergibt sich aus dem aufgezeichneten zeitlichen Verlauf des unbewerteten Erschütterungssignals zunächst durch eine Frequenzbewertung nach DIN 45669-1. Zusätzlich erfolgt üblicherweise eine Bandbegrenzung für den Frequenzbereich bis 80 Hz oder 100 Hz.

Frequenzbewertung:

$$|H_{KB}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_0 / f)^2}}$$

mit

$$f_0 = 5,6 \text{ Hz}$$

$$f: \text{ Frequenz in Hz}$$

Weiterhin wird eine Zeitbewertung des frequenzbewerteten Erschütterungssignals mit Bildung eines gleitenden Effektivwertes wie folgt durchgeführt.

Zeitbewertung / Effektivwertbildung:

$$KB_F(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} \cdot KB^2(\xi) d\xi}$$

mit

$$\tau = 125 \text{ ms}$$

$$\xi = \text{Integrationsvariable}$$

$$F = \text{Fast, steht für } \tau = 125 \text{ ms}$$

Das bandbegrenzte und frequenzbewertete Signal wird als **bewertete Schwingstärke** $KB_F(t)$ bezeichnet und unterliegt in der Regel zeitlichen Schwankungen. Der während der Beurteilungszeit erreichte höchste Wert der bewerteten Schwingstärke, die **maximale bewertete Schwingstärke** KB_{Fmax} , ist eine wichtige der beiden o.g. Beurteilungsgrößen.

In manchen Fällen, insbesondere bei Einwirkungen von täglich unterschiedlicher mehr oder wenig langer oder kurzer Dauer, muss zusätzlich die so genannte **Beurteilungsschwingstärke** KB_{FT} ermittelt werden. KB_{FT} wird ähnlich wie der Taktmaximalpegel und der Wirkpegel im Bereich des Lärms bestimmt. Dazu werden die Zeitabschnitte, in denen Erschütterungen auftreten, in Teilabschnitte von jeweils 30 s Dauer aufgeteilt und der quadratische Mittelwert, der sog. **Taktmaximal-Effektivwert** KB_{FTm} , aus den jeweiligen maximalen KB_F Werten dieser Teilabschnitte $KB_{FT,i}$ berechnet:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2}$$

Bei der Ermittlung von KB_{FTm} ist für alle Takte mit $KB_{FT,i} \leq 0,1$ mit dem Wert $KB_{FT,i} = 0$ zu rechnen. Erschütterungen mit $KB_{FTi} < 0,1$ sind in der Regel nicht wahrnehmbar, gehen allerdings auch als Takte zur Bildung der Gesamtanzahl N mit ein.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} wird damit wie folgt gebildet

$$KB_{FT_r} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^L M_j \cdot KB_{FT_m, j}^2}$$

oder

$$KB_{FT_r} = KB_{FT_m} \sqrt{\frac{T_e}{T_r}}$$

mit

$KB_{FT_m, j}$ Taktmaximal-Effektivwert für die Schicht j
 T_e tatsächliche Einwirkzeit mit KB_{FT_m}
 T_r Beurteilungszeit tags: 16 h, nachts: 8h

$T_r \triangleq N_r$ Anzahl der 30s-Takte im Beurteilungszeitraum tags: $N_r = 1920$, nachts: $N_r = 960$
 $T_e \triangleq M_j$ Anzahl unterschiedlicher Einwirkungsarten (Schichten j)

Liegen Einwirkungen tagsüber auch innerhalb sog. „Ruhezeiten“, dann sind diese als erhöhte Störeinwirkungen zu verstehen. Die Teilzeiten der Einwirkungen innerhalb von Ruhezeiten werden deshalb mit dem Gewichtungsfaktor 2 berücksichtigt. Ruhezeiten sind die Stunden werktags von 6 bis 7 und 19 bis 22 Uhr sowie an Sonn- und Feiertagen von 6 bis 22 Uhr. Analog kann KB_{FT_r} auch aus einer noch größeren Zahl (j) einzelner Teilbeiträge mit verschiedenen Werten von $KB_{FT_m, j}$ zusammengesetzt werden.

$$KB_{FT_r} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e,1} \cdot KB_{FT_m,1}^2 + 2 \cdot T_{e,2} \cdot KB_{FT_m,2}^2)}$$

mit

$KB_{FT_m,1}$ Taktmaximal-Effektivwert für die Zeit außerhalb der Ruhezeit
 $KB_{FT_m,2}$ Taktmaximal-Effektivwert für die Zeit innerhalb der Ruhezeit
 $T_{e,1}$ tatsächliche Einwirkzeit mit KB_{FT_m} außerhalb der Ruhezeit
 $T_{e,2}$ tatsächliche Einwirkzeit mit KB_{FT_m} innerhalb der Ruhezeit
 T_r Beurteilungszeit tags: 16 h

Bei Erschütterungsimmissionen durch Straßen- und Schienenverkehr wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.

4.2 Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkung auf bauliche Anlagen

Die Beurteilung von **Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen** erfolgt auf der Basis von Anhaltswerten für maximale Schwinggeschwindigkeiten $v_{i,max}$, bei deren Unterschreitung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken nach bisherigen Erfahrungen nicht eintreten. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind.

Für die Beurteilung wird der Betrag des Maximalwertes der für die drei Einzelkomponenten ($i = x,y,z$) am Gebäudefundament ermittelten unbewerteten Schwinggeschwindigkeiten $|v|_{i,max}$ herangezogen. Darüber hinaus sind auch Schwingungen in der obersten Deckenebene zu erfassen. Es werden der größere Wert der beiden horizontalen Einzelkomponenten ($|v|_{x,y,max}$) an den Außenwänden sowie die vertikale Komponente $|v|_{z,max}$ in Deckenmitte ebenfalls für eine Beurteilung mit herangezogen.

Bezüglich der Dauer der Einwirkung wird zwischen kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen unterschieden. Kurzzeitig sind Erschütterungen dann, wenn deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur Resonanzerscheinungen zu erzeugen. Für Dauererschütterungen ist die o.g. Definition für kurzzeitige Erschütterungen nicht zutreffend.

Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke (DIN 4150-3)

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament			oberste Deckenebene, horizontal
		1 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	alle Frequenzen
1	2	3	4	5	6
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	besonders erhaltenswerte Bauten mit besonderer Erschütterungsempfindlichkeit, (z.B. unter Denkmalschutz stehend)	3	3 bis 8	8 bis 10	8

Treten kurzzeitig Deckenschwingungen auf, so ist bei einer vertikalen Schwinggeschwindigkeit $v_z \leq 20$ mm/s am Ort mit der größten Schwinggeschwindigkeit, im allgemeinen in Deckenmitte, eine Verminderung des Gebrauchswertes der Decken nicht zu erwarten.

Anhaltswerte für Dauererschütterungen auf Bauwerke sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Hier werden für verschiedene Gebäudearten Maximalwerte der beiden horizontalen Einzelkomponenten $v_{x,y}$ in der obersten Deckenebene für eine Beurteilung herangezogen.

Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke (DIN 4150-3)

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s
		oberste Deckenebene, horizontal alle Frequenzen
1	2	3
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	besonders erhaltenswerte Bauten mit besonderer Erschütterungsempfindlichkeit, (z.B. unter Denkmalschutz stehend)	2,5

Werden die o.g. Anhaltswerte eingehalten, treten nach den bisherigen Erfahrungen Schäden als Folge der Einwirkung nicht auf. Werden diese Werte überschritten, so folgt daraus allerdings auch nicht unbedingt, dass Schäden auftreten müssen.

Die Betrachtung von Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass auch in der Untersuchung der TLUG [12] keine Überschreitungen der Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten gemäß DIN 4150-3 zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke festgestellt wurden.

5 Erschütterungsquelle

Als Quelle für die in den Wohngebäuden an der L1056 verursachten Erschütterungen ist ausschließlich der auf der L1056 stattfindende fließende Straßenverkehr zu betrachten.

6 Verkehrsweg und Verkehrsmengen

Der Verkehrsweg L1056 erstreckt sich von der Anbindung an die B7 (K204) südlich des GVZ bei Mönchenholzhausen (Mön) über Hochstedt, Vieselbach und Kleinmölsen sowie weiter bis Udstedt. Für die Abschnitte a) B7 (Mön) - Vieselbach und b) Vieselbach - Kleinmölsen liegen Verkehrsmengen für den Ist-Zustand sowie die mit dem Vorhaben 2. Verkehrsverbindung GVZ erwarteten Verkehrsmengen vor [11].

Tabelle 3.1: Verkehrsmengen Ist - Zustand

Abschnitt	Ist - Zustand (Analyse 2012)					
	DTV Kfz / 24h		Tag 06 - 22 Uhr		Nacht 22 - 06 Uhr	
	Gesamt	Lkw	Gesamt Kfz / h	Lkw-Anteil p in %	Gesamt Kfz / h	Lkw-Anteil p in %
a B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord	1.990	169	115	8,2	18	12,5

Tabelle 3.2: Zusätzliche Verkehrsmengen Prognose - Zustand (ohne und mit 2. Anbindung GVZ)

Abschnitt	Prognose 2025 (ohne 2. Anbindung GVZ)					
	DTV Kfz / 24h		Tag 06 - 22 Uhr		Nacht 22 - 06 Uhr	
	Gesamt	Lkw	Gesamt Kfz / 16h	Lkw-Anteil p in %	Gesamt Kfz / 8h	Lkw-Anteil p in %
a B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord	2166 (+176)	209 (+40)	1992 (+152)	9,0	174 (+24)	14,0 (+7 Lkw)
Prognose 2025 (mit 2. Anbindung GVZ)						
a B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord	2611 (+445)	225 (+16)	2376 (+384)	8,5 (+13 Lkw)	235 (+61)	12,0 (+3 Lkw)

Zusammengefasst ergibt sich daraus das in der folgenden Tabelle dargestellte prognostische Verteilungsbild für den Straßenverkehr ohne und mit zusätzlichen Aufkommen durch die 2. Anbindung GZV. Für die erschütterungstechnischen Betrachtungen ist ausschließlich die mit der 2. Anbindung GZV zusätzlich zur allgemeinen Verkehrsentwicklung generierten Verteilung des Lkw Verkehrs zur Tag- und Nachtzeit von Bedeutung.

Tabelle 3.3: Verkehrsmengen: Prognose Gesamtverkehr Tag - Nacht (ohne und mit 2. Anbindung GVZ)

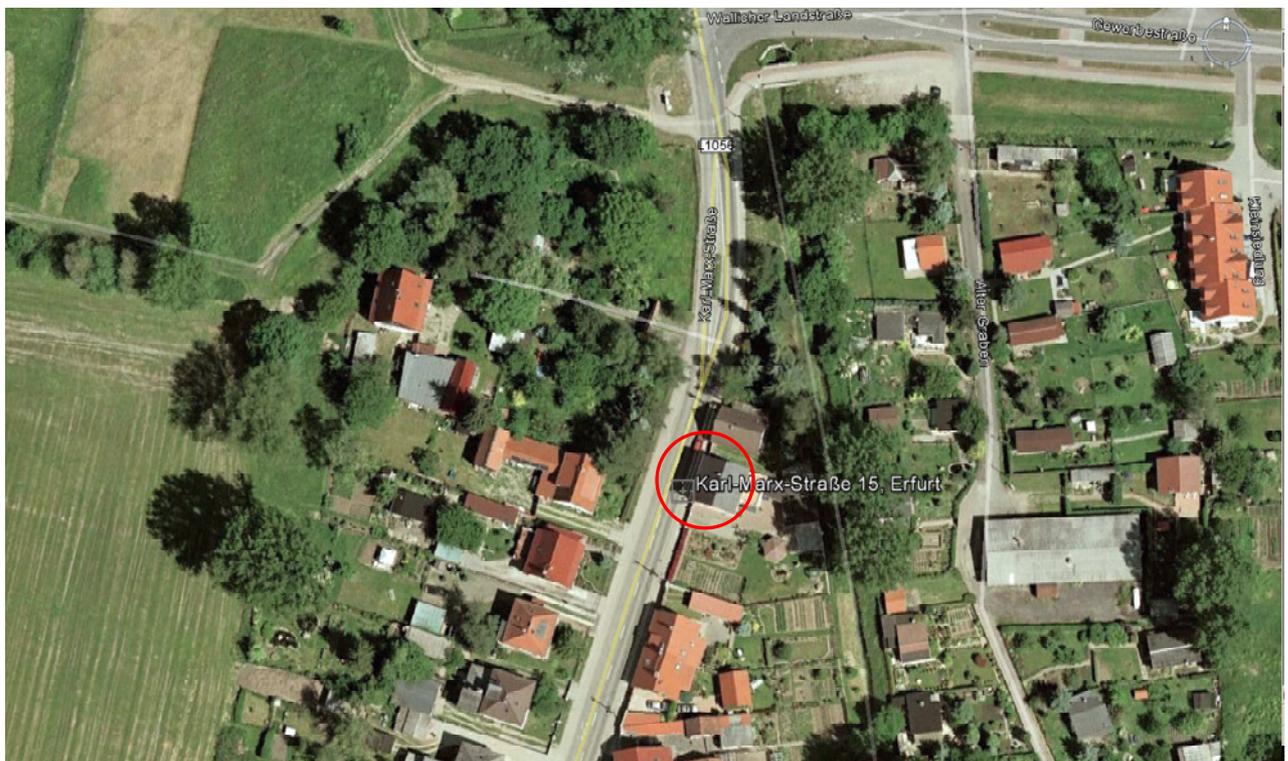
Gesamtverkehr Prognose (ohne Anbindung GVZ)						
Abschnitt	DTV Kfz / 24h		Tag 06 - 22 Uhr		Nacht 22 - 06 Uhr	
	Gesamt	Lkw	Gesamt Kfz / h	Lkw / 16h	Gesamt Kfz / h	Lkw / 8h
a B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord	2.166	209 (+40)	125	184 (+33)	22	25 (+7)
Gesamtverkehr Prognose (mit Anbindung GVZ)						
Abschnitt	DTV Kfz / 24h		Tag 06 - 22 Uhr		Nacht 22 - 06 Uhr	
	Gesamt	Lkw	Gesamt Kfz / h	Lkw / 16h	Gesamt Kfz / h	Lkw / 8h
a B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord	2.611	225 (+16)	149	197 (+13)	29	28 (+3)

7 Erschütterungsimmissionen

7.1 Messergebnisse

Zu den aus Straßenverkehr hervorgehenden Erschütterungsimmissionen liegen Ergebnisse von Messungen der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) vor, die im Wohnhaus Karl-Marx-Straße 15 in 99098 Vieselbach durchgeführt wurden [12]. Das Wohnhaus liegt unmittelbar an der Landesstraße L1056. Die vorgefundene Erschütterungsimmissionssituation bezieht sich damit zunächst auf das konkret untersuchte Objekt. Inwieweit diese auch für alle weiteren in den Ortslagen entlang der L1056 gelegenen Wohnbauten als repräsentativ anzusehen ist, war nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Bild 1: Objekt: Wohnhaus Karl-Marx-Straße 15, Ortslage Vieselbach (L1056)



Die zur Verfügung gestellten Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 4: Messergebnisse: Wohngebäude Karl-Marx-Straße 15, 99098 Erfurt OT Vieselbach

Zeitraum	maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}	unterer Anhaltswert A_u für MI (DIN 4150)	oberer Anhaltswert A_o für MI (DIN 4150)	Beurteilungs-Schwingstärke KB_{Fr}	Anhaltswert A_r für MI (DIN 4150)
Tag	1,86	0,20	5	0,31	0,10
Nacht	1,41	0,15	0,3	0,12	0,07

Aus dem vorliegenden Messbericht [12] geht hervor, dass den ermittelten Beurteilungswerten KB_{FT_r} eine ereignisbezogenen Erfassung über 24 Stunden Messzeit zugrunde liegt. Demnach lagen für eine Beurteilung tagsüber insgesamt 124 und für eine Beurteilung in der Nachtzeit 18 Einzelmessungen bzw. Einzelereignisse mit $v_{\max} > 0,2$ mm/s vor.

Da alle erfassten Ereignisse durch LKW Verkehr ausgelöst wurden, kann aus der im Erhebungszeitraum der Messungen erfasste Anzahl von Ereignissen auch direkt ein Bezug auf den stattgefundenen LKW Verkehr (Tag/Nacht) hergestellt werden. Auf die Beobachtung, dass nur LKW Verkehr in Richtung Sömmerda Einzelmessungen mit $v_{\max} > 0,2$ mm/s ausgelöst hat, wird dabei im Folgenden zunächst nicht näher eingegangen.

Aus den für die Tag- und Nachtzeit ermittelten Beurteilungswerten KB_{FT_r} und der jeweils erfassten Anzahl von Ereignissen ($M_{e,T}$, $M_{e,N}$) lässt sich der auch für die Betrachtungen der zu erwartenden Immissionssituation notwendige *Taktmaximal Effektivwert* (KB_{FT_m}) wie folgt ableiten.

$$KB_{FT_r} = KB_{FT_m} \sqrt{\frac{T_e}{T_r}} \quad (1)$$

$$KB_{FT_m} = \frac{KB_{FT_r}}{\sqrt{\frac{T_e}{T_r}}} = KB_{FT_r} \sqrt{\frac{T_r}{T_e}} = KB_{FT_r} \sqrt{\frac{N_r}{M_j}} \quad (2)$$

mit

KB_{FT_m}	Taktmaximal-Effektivwert mit $T_i = 30$ sec
KB_{FT_r}	Beurteilungs-Schwingstärke
T_e	Einwirkzeit des KB_{FT_m}
T_r	Beurteilungszeit tags: 16 h, nachts: 8h
N_r	Zahl der 30s-Takte im Beurteilungszeitraum Tag: $N_r = 1920$, Nacht: $N_r = 960$
M_j	Zahl der 30s Takte unterschiedlicher Einwirkungsarten (Schichten j)

Mit der o.g. Beziehung (2) werden Einwirkungs- und Beurteilungszeiten im Tag- und Nachtzeitraum auf die jeweilige Zahl der 30 sec Takte (M_e) zurückgeführt. Für alle weiteren Betrachtungen können damit ggf. auch mit für verschiedene Fahrzeugklassen vorliegenden Häufigkeiten bzw. Verkehrsmengen fahrzeugklassenbezogene Schwingstärken ermittelt und herangezogen werden.

Der ermittelte Beurteilungswert KB_{FT_r} ist zunächst maßgeblich und ausschließlich dem LKW Verkehr zuzuordnen. Weiterhin ist auch davon auszugehen, dass auf Grund der kurzzeitigen Dauer der Einwirkung jeder LKW Fahrt ein 30 sec Takt zugeordnet werden kann. Mit diesen Randbedingungen und den während der Messungen erfassten Anzahl von Einzelereignissen (= LKW Verkehrsmenge) ergeben sich die *Taktmaximal-Effektivwerte* KB_{FT_m} für den LKW - Verkehr wie folgt.

Abschnitt	Vieselbach, Karl-Marx-Straße 15			
Verkehrsmengen	Tag	Gesamt	=	124 Lkw/ 16 h
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTm}	=	$0,31 \sqrt{\frac{1920}{124}}$
für LKW Verkehr am	Tag	KB_{FTm}	=	1,22
<hr/>				
Verkehrsmengen	Nacht	Gesamt	=	18 Lkw/ 8 h
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTm}	=	$0,12 \sqrt{\frac{960}{18}}$
für LKW Verkehr in der	Nacht	KB_{FTm}	=	0,88

7.2 Analyse Ist-Zustand

Der Betrachtung einer mit erhöhten Verkehrsmengen zu erwartenden Immissionssituation soll zunächst noch eine Analyse des Ist-Zustandes vorausgehen. Gleichzeitig wird damit das Verfahren zur Ermittlung bzw. Abschätzung der zu erwartenden Höhe von Erschütterungsimmissionen mit dem aus der 2. Anbindung GVZ hervorgehenden zusätzlichen Verkehrsaufkommen deutlich.

Es wird zunächst weiterhin vorausgesetzt, dass Erschütterungen maßgeblich, hauptsächlich und ausschließlich durch LKW Verkehr (> 2,8 t) hervorgerufen werden. PKW Verkehr wird wegen seiner Geringfügigkeit vernachlässigt ($KB_{FTi} < 0,1$). Mit diesen Randbedingungen und den in Tabelle 3.1 für den Ist-Zustand angegebenen Verkehrsmengen ergeben sich die *Beurteilungs-Schwingstärken* KB_{FTi} für den LKW - Verkehr wie folgt.

Abschnitt a	B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord			
Verkehrsmengen	Tag	Gesamt	=	115 Kfz/ h
		Lkw 8,2%	=	9 Lkw/ h
			=	151 Lkw/ 16 h
Beurteilungs-Schwingstärke		KB_{FTi}	=	$1,22 \sqrt{\frac{151}{1920}}$
	Tag	KB_{FTi}	≈	0,342
<hr/>				
Verkehrsmengen	Nacht	Gesamt	=	18 Kfz/ h
		Lkw 12,5%	=	2,25 Lkw/ h
			=	18 Lkw/ 8 h
Beurteilungs-Schwingstärke		KB_{FTi}	=	$0,88 \sqrt{\frac{18}{960}}$
	Nacht	KB_{FTi}	=	0,12

7.3 Analyse Prognose-Zustände

Mit der für die Region allgemein bis zum Jahr 2025 prognostizierten Verkehrsentwicklung (Null-Fall) wird ein zusätzliches LKW-Verkehrsaufkommen von insgesamt 209 Lkw / 24 h erwartet, die sich tagsüber in 184 Lkw / 16 h und nachts in 25 Lkw / 8 h aufteilen. Das bedeutet eine Erhöhung des Lkw-Verkehrsaufkommen tagsüber um +33 Lkw / 16 h und in der Nacht um +7 Lkw / 8 h.

Mit der zweiten Verkehrsanbindung des Güterverkehrszentrums Erfurt an die L1056 (Mit-Fall) werden Verkehrsmengen in Höhe von zusätzlich 16 Lkw / 24 h erwartet. Das bedeutet eine weitere zusätzliche Erhöhung des Lkw Verkehrs tagsüber um +13 Lkw / 16 h und nachts um +3 Lkw / 8 h.

Die sich prognostisch entwickelnden Lkw - Verkehrsmengen können damit für beide Prognose-Szenarien wie folgt zusammengefasst werden.

Tabelle 5: Lkw-Verkehrsmengenentwicklung - Prognose ohne und mit 2. Anbindung GVZ

Abschnitt	B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord					
	DTV Kfz / 24h		Tag 06 - 22 Uhr		Nacht 22 - 06 Uhr	
	Gesamt	Lkw	Gesamt Kfz / h	Lkw / 16h	Gesamt Kfz / h	Lkw / 8h
Ist-Fall derzeitiger Zustand	1.990	169	115	151	18	18
Null-Fall ohne Anbindung GVZ	2.166	209 (+40)	125	184 (+33)	22	25 (+7)
Mit-Fall mit Anbindung GVZ	2.611	225 (+16)	149	197 (+13)	29	28 (+3)

Der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärken KB_{FTr} für die Prognose-Zustände liegen die für den LKW Verkehr aus den Messergebnissen und Verkehrsmengen für den Ist-Zustand abgeleiteten Taktmaximal-Effektivwerte KB_{FTm} zugrunde. Damit ergeben sich die Beurteilungs-Schwingstärken für den Prognose-Zustand mit zusätzlichem Lkw Verkehrsaufkommen zur Tag- und Nachtzeit (T/N) wie folgt.

$$\text{Mit} \quad KB_{FTr} = KB_{FTm} \sqrt{\frac{M_{e(T/N)}}{N_{r(T/N)}}} \quad (3)$$

ergeben sich in dem zu betrachtenden Abschnitt B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord für beide Prognose Zustände die folgenden zu erwartenden Beurteilungs-Schwingstärken.

Prognose Null-Fall**B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord**

Verkehrsmengen	Tag	Gesamt	=	184 (+33)	Lkw/ 16 h
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTm}	=	1,22	
Beurteilungs-Schwingstärke		KB_{FTr}	=	$1,22 \sqrt{\frac{184}{1920}}$	
	Tag	KB_{FTr}	≈	0,378 (≈ 0,38)	
<hr/>					
Verkehrsmengen	Nacht	Gesamt	=	25 (+7)	Lkw/ 8 h
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTm}	=	0,88	
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTr}	=	$0,88 \sqrt{\frac{25}{960}}$	
	Nacht	KB_{FTr}	≈	0,142 (≈ 0,14)	

Prognose Mit-Fall**B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord**

Verkehrsmengen (zusätzlich)	Tag	Gesamt	=	197 (+13)	Lkw/ 16 h
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTm}	=	1,22	
Beurteilungs-Schwingstärke		KB_{FTr}	=	$1,22 \sqrt{\frac{197}{1920}}$	
	Tag	KB_{FTr}	≈	0,391 (≈ 0,39)	
<hr/>					
Verkehrsmengen (zusätzlich)	Nacht	Gesamt	=	28 (+3)	Lkw/ 8 h
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTm}	=	0,88	
Taktmaximal-Effektivwert		KB_{FTr}	=	$0,88 \sqrt{\frac{28}{960}}$	
	Nacht	KB_{FTr}	≈	0,150 (≈ 0,15)	

7.4 Unsicherheiten

Unter der Voraussetzung, dass die Messergebnisse keine während der Messzeit aufgetretene anteilige und unvermeidbare Störeinflüsse beinhalten, können messtechnisch bedingte Unsicherheiten bis zu 15 % Abweichung vom Messergebnis betragen. Die sich daraus für die ermittelten maximalen bewerteten Schwinggeschwindigkeiten (KB_{Fmax} - Werte) und Beurteilungs-Schwingstärken (KB_{FTr} - Werte) ergebenden Schwankungsbreiten und Unsicherheiten sind deshalb in der gleichen Größenordnung zu erwarten.

8 Zusammenfassung und Beurteilung

Die Ergebnisse der mit dem Vorhaben "2. Verkehrsanbindung GVZ" Erfurt an die Landesstraße L1056 durchgeführten rechnerischen Analysen hinsichtlich durch zusätzlichen Straßenverkehr in anliegenden Wohngebäuden zu erwartender Erschütterungsimmissionen werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 5: Beurteilungs-Schwingstärken Gegenüberstellung Ist Fall - Prognose Fälle, zusammenfassende Darstellung der Rechenergebnisse

Abschnitt	Zeitraum	Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$		Erhöhung Ist-Fall zu Null-Fall %	Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ Mit-Fall	zusätzliche Erhöhung Mit-Fall %	Wesentliche Änderung > 20 %
		Ist-Fall	Null-Fall				
B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord	Tag 06 - 22 Uhr	0,342	0,378	+10,4	0,391	+3,5	nein
	Nacht 22 - 06 Uhr	0,120	0,142	+18,3	0,150	+5,8	nein

Aus der Gegenüberstellung der Beurteilungs-Schwingstärken $KB_{FT,r}$ für den Ist-Zustand (Ist-Fall) mit dem Prognose-Zustand (Null-Fall) ist zunächst ersichtlich, dass die bereits aus der in der Region bis 2025 allgemeine zu erwartenden Verkehrsmengenentwicklung hervorgehende Beeinflussung der gegebenen Immissionssituation vor allem in der Nachtzeit mit einer Erhöhung der Beurteilungs-Schwingstärke um +18% nicht unerheblich ist.

Mit der 2. Anbindung des GVZ an die L1056 (Mit-Fall) wird eine weitere, zusätzliche Erhöhung der LKW Verkehrsmenge (> 2,8 t) von +16 Lkw / 24 h erwartet, die sich tagsüber in +13 Lkw / 16 h und nachts in +3 Lkw / 8 h aufteilen. Im Vergleich mit der in der Region bis 2025 zu erwartenden Verkehrsmengenentwicklung ist damit zunächst keine wesentliche Veränderung der Erschütterungsimmissionssituation zu erwarten. Die maximale zu erwartende Zunahme der Beurteilungs-Schwingstärke liegt damit im Abschnitt (B7 (Mön) - Vieselbach, Ri Nord) in der Nacht bei $\approx 6\%$. Sie ist damit zu geringfügig, um subjektiv wahrgenommen zu werden. Der durch die Rechtsprechung gestützte Kriterienmaßstab für eine diesbezüglich eintretende "Wesentliche Änderung" liegt bei einer Zunahme von mehr als 20% der gegebenen Belastung. Eine Zunahme von mehr als 20% erfordert im Vergleich mit der augenblicklichen Situation einen Anstieg der Lkw Verkehrsmenge von tagsüber mehr als 44% (+ 82 Lkw) und nachts von mehr als 48% (+12 Lkw). Der mit der 2. Anbindung des GVZ anhand der aktuell vorliegenden Zahlen der Verkehrsplanung erwartete Anstieg des LKW Verkehrs liegt bei $\approx 7\%$ tagsüber und bei $\approx 12\%$ in der Nacht.

Die Prognosebetrachtungen orientieren sich in der Beurteilung zunächst auf die mit der 2. Anbindung des GVZ an die L1056 zu erwartenden zusätzlichen Lkw Verkehrsmengen über 2,8 t sowie den Ergebnissen der von der TLUG im Wohnhaus Karl-Marx-Straße 15 in 99098 Vieselbach durchgeführten Erschütterungsmessungen.

Auf der Grundlage von Ergebnissen nur in einem an der L1056 gelegenen Wohnhaus durchgeführter Erschütterungsmessungen ist eine Verallgemeinerung des Ergebnisses der Prognosebetrachtung auf alle in den betrachteten Abschnitten als relevant geltenden Wohnbauten nicht zwangsläufig gegeben. Denn im Einzelfall anzutreffende unterschiedliche Straßen- und bauliche Gebäudezustände sowie Gebäudestrukturen können die jeweils individuelle vorzufindende Erschütterungsimmissionssituation maßgeblich mit beeinflussen. Einen Zusammenhang zwischen der KB - bewerteten Schwinggeschwindigkeit (Schwingstärke) und der subjektiven Wahrnehmung kann folgendermaßen beschrieben werden:

		KB	<	0,1	nicht spürbar
0,1	<	KB	<	0,4	gerade noch spürbar
0,4	<	KB	<	1,6	gut spürbar
1,6	<	KB	<	6,3	stark spürbar
6,3	<	KB			sehr stark spürbar

Die Grenze der Wahrnehmbarkeit von Erschütterungen bei Menschen liegt demnach bei etwa $KB = 0,1$. Ab einem Wert von $KB = 0,4$ sind Erschütterungen gut spürbar. Legt man dieses Kriterium für eine Beurteilung zugrunde kann davon ausgegangen werden, dass bei tieffrequenter (stoßartiger) Anregung vor allem in (älteren) Wohngebäuden, deren Wohnungstrenndecken als Holzbalkendecken ausgeführt sind, Erschütterungen besser wahrgenommen werden als in Gebäuden, deren Decken massiv ausgeführt sind.

Bei der auch mit erhöhtem Verkehrsaufkommen zu erwartenden vergleichsweise geringen Zunahme der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} (kein Grenzfall) kann davon ausgegangen werden, dass auch mit Einbeziehung aller der o.g. Unsicherheiten das Kriterium der Wesentlichkeit ($> 20\%$) nicht erreicht wird.

Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass sich das Ergebnis ausschließlich auf die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} bezieht. In die Ermittlung des Beurteilungswertes werden außer den im Erhebungszeitraum festgestellten maximalen Schwingstärken auch die zeitliche Dauer und/bzw. die Häufigkeit der Einwirkungen mit einbezogen. Bei nur 3 LKW mehr im Prognose Mit-Fall (3 Takte mit je 30 sec = 1,5 min) zur Nachtzeit (Beurteilungszeit 960 Takte mit je 30 sec = 480 min) ist damit zunächst auch keine wesentliche Verschlechterung der Immissionssituation zu erwarten. Für das Erreichen des Kriteriums der Wesentlichkeit ($> 20\%$ Verschlechterung) wäre die 4-fache Menge (12 LKW) erforderlich.

Die durch Messungen ermittelte maximale Schwingstärke von $KB_{Fmax} = 1,41$ erreicht in der Nachtzeit fast das Fünffache des oberen Anhaltswertes. Nach [2] sind in diesem Fall die Anforderungen der DIN 4150-2 nicht erfüllt und damit die Betrachtung einer Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} eigentlich auch nicht mehr zulässig.

Auch bei selten und kurzzeitig auftretenden Einwirkungen ist die Anforderung der Norm nur dann eingehalten, wenn $KB_{F_{max}}$ kleiner als A_o ist. Bei der Höhe der durch LKW Verkehr hervorgerufenen Einwirkung wird deshalb auch jede einzelne weitere in der Nachtzeit zusätzlich stattfindende LKW Fahrt als "gut spürbar" einzustufen sein.

Eine auf Verkehrsmengen bezogene Analyse und Beurteilung erfordert deshalb zunächst eine Reduzierung der maximalen Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ unterhalb des jeweils heranzuziehenden oberen Anhaltswertes A_o . Gemäß Tab. 1 in [2] wäre hier (MI) zur Nachtzeit ein oberer Anhaltswert für $KB_{F_{max}}$ von $A_o = 0,3$ ("gerade noch spürbar") nicht zu überschreiten.

Eine Erhöhung der durch Messungen im Ist-Zustand festgestellten und durch LKW Verkehr induzierten maximalen Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ ist mit einem erhöhten Verkehrsaufkommen zunächst nicht verbunden. Solange die Parameter des Verkehrsweges selbst (Geschwindigkeit, Fahrbahn, Zustand, etc.) sowie die Parameter der auf dem Verkehrsweg (L1056) zugelassenen (schweren) Fahrzeuge sich nicht signifikant gegenüber dem Ist-Zustand ändern, ist auch mit einer Zunahme der Verkehrsmenge keine Erhöhung der maximalen Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ zu erwarten.

Erschütterungsimmissionen durch LKW Verkehr (SV)																			
TAG	IST 2012	Prog Null	Prog 2025	Zunahme ohne Anbindung		Zunahme mit zus. Anbindung		Gesamtzunahme mit Anbindung		NACHT	IST 2012	Prog Null	Prog 2025	Zunahme ohne Anbindung		Zunahme mit zus. Anbindung		Gesamtzunahme mit Anbindung	
	LKW (SV)	151	184	197	+21,9%	+33	+7,1%	+13	+30,5%		+46	LKW (SV)	18	25	28	+38,9%	+7	+12%	+3
KB _{FTm}	1,22									KB _{FTm}	0,88								
KB _{FTr}	0,342	0,378	0,391	+10,4%	+3,5%			+14,3%		KB _{FTr}	0,12	0,142	0,150	+18,3%	+5,8%			+25,2%	
Tag	1920							0,143		Nacht	960							0,252	

RAB:
Vergleich
ProgNull - ProgMit (2025)

RAB:
Vergleich
IST - ProgMit (2025)

RAB:
Vergleich
ProgNull - ProgMit (2025)

RAB:
Vergleich
IST - ProgMit (2025)

ANLAGE 1

Ergebnistabelle • Erschütterungseinwirkung durch Straßenverkehr - Vergleich Ist-Fall mit Prognose Null-Fall und Prognose Mit-Fall