

**Institut für Umweltschutz
und Bauphysik**

VMPA anerkannte Schallschutzprüfstelle für
Güteprüfungen nach DIN 4109 –
Messstelle nach § 29b BImSchG

Unterlage 01 C

Erläuterungsbericht Planänderung Tunnel Anlage 2.2 Erschütterungstechnische Untersu- chung zur Bauphase des Riederwaldtunnels

Anhang 5: Immissionsschutzkonzept für die Archivgebäude an der
Borsigallee 8

Projekt: Neubau der BAB 66
(Frankfurt a. M. – Hanau)
Teilabschnitt Riederwaldtunnel

Auftraggeber: Hessen Mobil
Straßen- und Verkehrsmanagement
Dezernat BA 11 Bau Riederwaldtunnel
Westerbachstraße 73-79
60489 Frankfurt

Projekt-Nr.: 22623

Datum: 11.09.2017



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	1
2	Zulässige Erschütterungsexposition an den Aufbewahrungsorten	2
2.1	Museum für Weltkulturen (MWK).....	2
2.2	Institut für Stadtgeschichte (ISG).....	3
2.3	Archäologisches Museum Frankfurt (AMF).....	4
3	Auswahl von Referenzmesspunkten	7
3.1	Auswahl der Referenzmesspunkte am Museum für Weltkulturen (MWK).....	7
3.2	Auswahl der Referenzmesspunkte am Institut für Stadtgeschichte (ISG).....	9
3.3	Auswahl der Referenzmesspunkte am Archäologischen Museum Frankfurt (AMF).....	12
4	Empfohlenes Immissionsschutzkonzept	14
5	Kennzeichnung der Referenzmesspunkte	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gemessene Erschütterungsexpositionen im MWK.....	2
Tabelle 2: Gemessene Erschütterungsexpositionen im ISG.....	6
Tabelle 3: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des MWK.....	9
Tabelle 4: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des ISG.....	12
Tabelle 5: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des AMF.....	13
Tabelle 6: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des MWK.....	14
Tabelle 7: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des ISG.....	15
Tabelle 8: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des AMF.....	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gebäudeübertragungsfunktionen MWK.....	8
Abbildung 2 Übertragungsfunktionen Geschossdecken – Exponate MWK.....	8
Abbildung 3 maximale Übertragungsfunktionen MWK.....	9
Abbildung 4 Gebäudeübertragungsfunktionen ISG.....	10
Abbildung 5 Übertragungsfunktionen Geschossdecken – Aufbewahrungsorte ISG.....	10
Abbildung 6 maximale Übertragungsfunktionen ISG.....	11
Abbildung 7 Maßgebliche Übertragungsfunktionen des AMF.....	12

Abkürzungsverzeichnis

AMF	Archäologisches Museum Frankfurt („Steinhalle“)
A_0	oberer Anhaltswert der DIN 4150-2
A_r	Anhaltswert für die Beurteilungsschwingstärke
A_U	unterer Anhaltswert der DIN 4150-2
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
DB	Deutsche Bahn AG
dB	Dezibel, bezogen auf Bezugsschwingschnelle (Erschütterungen) oder Bezugsdruck (Luftschall)
dB(A)	A bewerteter Luftschallpegel in Dezibel
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EG	Erdgeschoss
EN	Euro-Norm
FNP	Flächennutzungsplan
F_u	Fundament
GOK	Geländeoberkante
ISG	Institut für Stadtgeschichte
ISO	Internationale Organisation für Normung
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingschnelle im Sinne der DIN 4150-2
KB_{FTr}	Beurteilungsschwingstärke der DIN 4150-2
MWK	Museum für Weltkulturen
OG	Obergeschoss
SO	Schienenoberkante
ÜF	Übertragungsfunktion
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
v_{max}	maximale Schwinggeschwindigkeit der DIN 4150-3

1 Aufgabenstellung

An der Borsigallee 8 befinden sich die Archivgebäude des archäologischen Museums Frankfurt (AMF) („Steinhalle“), des Instituts für Stadtgeschichte der Stadt Frankfurt (ISG) und des Museums der Weltkulturen (MWK). In Bezug auf die genannten Gebäude ist in Bezug auf Erschütterungseinwirkungen neben der Beurteilung von Gebäudeschäden und Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden zu beachten, dass in diesem Bereich vor allem Kulturgüter aufbewahrt werden, die teilweise fragil und/ oder von hohem Wert sind.

Für die Beurteilung von zulässigen Erschütterungseinwirkungen an den Exponaten bzw. deren Aufbewahrungsorten gibt es keine Regelwerke, die z.B. maximal zulässige Schwingschnellen festlegen.

Um zu ermitteln, welche Schwingungen für die jeweiligen Exponate noch als zulässig betrachtet werden können, wurde messtechnisch ermittelt, welchen Erschütterungen die Exponate ohnehin regelmäßig ausgesetzt werden. Es wurde zunächst die Exposition durch existierende Erschütterungsquellen (Türen, Verkehr, Aufzüge, etc.) ermittelt [25], wobei die Erschütterungsmessungen sowohl nahe an den Exponaten als auch auf den Geschossdecken und am Fundament stattfanden. Danach wurden Übertragungseigenschaften der Gebäude und Aufbewahrungsorte der Exponate mithilfe einer externen Anregung (Tandemwalze 1.5 t) ermittelt [26]. Die Messpunkte wurden in Abstimmung mit dem zuständigen Personal der Museumsbereiche ausgewählt.

Im Folgenden ist aufzuzeigen, welchen Schwingungen die Exponate bereits ausgesetzt werden und welche zulässigen Schwingschnellen sich daraus ableiten lassen. Es soll außerdem dargestellt werden, wo auf Grundlage der Übertragungseigenschaften vom Fundament zu den jeweiligen Geschossdecken, bzw. Aufbewahrungsorten die höchste Schwingungsexposition aus dem Bauablauf zu erwarten ist. Auf dieser Basis wird ein Immissionsschutzkonzept vorgestellt, mit dem sichergestellt wird, dass an den Exponaten keine Beeinträchtigungen durch baubedingte Erschütterungen hervorgerufen werden.

2 Zulässige Erschütterungsexposition an den Aufbewahrungsorten

Analog zur Beurteilung von Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 wird bei der Ermittlung der zulässigen Schwingschnellen an den Exponaten (bzw. den Aufbewahrungsorten) davon ausgegangen, dass die Art der Anregung (impulsartig, statisch oder transient) eine Rolle spielt. Die Erschütterungen, welchen die Objekte bereits ausgesetzt werden, sind in der Regel als impulsartig (z.B. Schließen von Türen) oder als transient (z.B. Aufzugbewegung) einzustufen, sodass sich die Systeme eher nicht durch Resonanzeffekte aufschwingen können.

Es ist davon auszugehen, dass die gemessenen Schwingschnellen an besonders fragilen Exponaten bei ähnlicher Anregung auch für weniger fragile Exponate gelten.

2.1 Museum für Weltkulturen (MWK)

Die in Schränken aufbewahrten Exponate erfahren die größten Erschütterungen beim Schließen der Schranktüren. In den Schränken befinden sich unter anderem wertvolle und fragile Objekte. Die ebenfalls als fragil eingestuften Rindenmalereien, welche sich über der Ziehanlage im 6. OG befinden, erfahren relativ starke Erschütterungen, sobald die Konstruktion von Personen betreten wird.

In der nachfolgenden Tabelle werden die im MWK ermittelten Schwingschnellen an den Aufbewahrungsorten bestimmter Exponate gezeigt. Es wird dabei lediglich auf die maßgeblichen Messpunkte eingegangen.

Position/ Geschoss des Exponates	Bezeichnung der Exponate	Einstufung der Exponate	Maximale gemessene Schwingschnelle aus Nutzung [mm/s]	Zugehöriges Ereignis (Erschütterungsquelle aus Nutzung)	Maximale gemessene Schwingschnelle mit Tandemwalze [mm/s]
3. OG, Schrank 39/3	Kopfbedeckungen	Abblättern der Fassung	0.4 (z-Richtung)	Schranktür (sanftes Schließen)	0.1
4. OG Schrank 19/1	Keramiken (präkolumbisch)	Empfindlich und wertvoll	1.5 (z-Richtung)	Schranktür (Zufallen der Tür)	0.2*
5. OG Regal 11 (Exponate hängen)	Keramiken	Wertvoll	1.0 (y-Richtung)	Leichtes Klopfen an Regal (y)	0.2
6. OG kleines Holzpodest, gelehnt	Schilder	Verrutschen möglich	0.2 (z-Richtung)	Brandschutztüren (kräftiges Schließen)	0.2*
6. OG über Ziehanlage, auf Exponatkisten	Rindenmalerei	fragil	2.4 (z-Richtung)	Gehen neben den Exponaten	0.2*

*Aus Schwingschnelle der jew. Geschossdecke berechnet

Tabelle 1: Gemessene Erschütterungsexpositionen im MWK

Unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlags von 20 % ist aufgrund der Messergebnisse davon auszugehen, dass an den Exponaten, bzw. den Aufbewahrungsorten im MWK folgende Schwinggeschwindigkeiten als zulässig gelten:

- **bei impulsartiger bzw. transientser Anregung bis zu 2.0 mm/s**
- **bei stationärer Anregung bis zu 1.0 mm/s** (entspricht in Anlehnung an DIN 4150-3 der Hälfte der zulässigen Schwingschnelle bei impulsartiger Anregung)

Bei den Überwachungsmessungen im Archivgebäude des MWK ist neben der Kontrolle der Schwingschnellen darauf zu achten, dass Exponate mit geringer Aufstandsfläche oder solche, die leicht rutschen können, ggf. gesondert zu lagern oder zu polstern sind. Hierzu ist ggf. vor dem Baubeginn in der Nähe der Archive eine ausführliche Begehung mit den Verantwortlichen des MWK notwendig. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Hängekeramiken im 5. OG bei Erschütterungseinwirkungen nicht sichtlich anfangen zu schwanken. Das Regal der Hängekeramiken wird als eher labil eingestuft und könnte ggf. ausgesteift oder durch ein robusteres Regal ersetzt werden. Auch im Fall der Schilde im 6. OG ist nur eine kleine Aufstandsfläche vorhanden. An den Schilden wurden während der Proberammungen geringfügige Bewegungen festgestellt, sodass es sich hier empfiehlt, die Schilde schon vor der Baumaßnahme gegen Verrutschen zu sichern (z.B. durch Gummi- oder Schaumstoffmatten, Festbinden, liegende Lagerung oder Holzleisten auf dem Podest).

Sollte bei Überwachungsmessungen festgestellt werden, dass die voraussichtlich als zulässigen Schwingschnellen überschritten werden und nicht weiter erhöht werden können, sollte zumindest für besonders erschütterungsanfällige Objekte ein Konzept zur „Umlagerung“ erstellt werden. Dies kann ggf. ein Punkt mit geringeren Schwingungen im Gebäude des MWK selbst sein, oder ein Punkt außerhalb des Gebäudes. Generell ist zu beachten, dass sich mit steigender Höhe der Stockwerke und mit steigender Höhe der Regalböden Schwingungsüberhöhung vergrößert.

2.2 Institut für Stadtgeschichte (ISG)

Im Gegensatz zur Ermittlung der Erschütterungsexposition im MWK konnten im Institut für Stadtgeschichte (ISG) nur sehr geringfügige Erschütterungsexpositionen mit einem Maximalwert von 0.2 mm/s an den Objekten, bzw. deren Aufbewahrungsorten festgestellt werden. Es ist zu vermuten, dass auch eine etwas höhere Schwingungsexposition noch nicht zur Beeinträchtigung der Objekte führt.

In Abstimmung mit dem Personal des ISG haben daher im August 2016 Messungen stattgefunden, bei denen das Gebäude mithilfe einer 1.5 t-Tandemwalze im Innenhof angeregt wurde. Hierbei wurde eine maximale Schwingschnelle von 0.3 mm/s auf dem „Fotoschrank“ mit stehenden Glasnegativen (4. OG) aufgezeichnet. Die Fotoarchive sind im ISG zugleich gegenüber Erschütterungsimmissionen die vermutlich sensibelsten Objekte. Berechnet man aus der Schwingschnelle der Geschossdecke im 6. OG und der Übertragungsfunktion von der Geschossdecke zu den Regalen die Erschütterungsimmission in den Regalen des 6. OG, so errechnet sich durch den ho-

hen Übertragungsfaktor zwischen 6.3 und 12.5 Hz eine maximale Schwingschnelle von 0.9 mm/s. In den Regalen im 6. OG sind u.a. Vinylschallplatten und Abspielgeräte als schwingungsempfindliche Objekte angesehen.

Da bei der mehrfachen stationären Anregung mit der Tandemwalze auch an besonders sensiblen Objekten keine negative Beeinträchtigung festzustellen war, ist davon auszugehen, folgende Schwingschnellen am ISG zulässig sind:

- **bei impulsartiger bzw. transientser Anregung: 1.8 mm/s für Objekte in Regalen und 0.6 mm/s für Glasnegative im Fotoschrank** (entspricht in Anlehnung an DIN 4150-3 dem Doppelten der zulässigen Schwingschnelle bei resonanter Anregung)
- **stationäre Anregung: 0.9 mm/s für Objekte in den Regalen und 0.3 mm/s auf dem Fotoschrank**

Bei den Überwachungsmessungen im Archiv des ISG sollte neben der Kontrolle der Schwingschnellen darauf geachtet werden, dass Gegenstände, die leicht rutschen können (z.B. auf glatten Regalböden oder lose aufeinander gelagerte Exponate) adäquat gelagert werden. Unter Umständen kann die Reibung an den Regalböden durch Gummimatten erhöht werden, Kisten oder Schränke mit Schubladen oder Türen können verhindern, dass Exponate aus den Regalen fallen. Hierzu ist ggf. vor dem Baubeginn in der Nähe der Archivgebäude eine ausführliche Begehung mit den Verantwortlichen des ISG notwendig. Sollte bei Überwachungsmessungen festgestellt werden, dass die als voraussichtlich zulässig eingestuftten Schwingschnellen überschritten werden und nicht weiter erhöht werden können, sollte zumindest für besonders erschütterungsanfällige Objekte ein Konzept zur „Umlagerung“ erstellt werden. Generell ist zu beachten, dass sich mit steigender Höhe der Stockwerke und mit steigender Höhe der Regalböden die Schwingungsüberhöhung vergrößert.

2.3 Archäologisches Museum Frankfurt (AMF)

Von den Archivgebäuden, liegt die Halle des archäologischen Museums Frankfurt (AMF) am nächsten zum geplanten Riederwaldtunnel und somit auch zu den durch den erschütterungsintensiven Baumaßnahmen. Die bauliche Struktur bzw. die Aufbewahrungsorte für Exponate im AMF können aus erschütterungstechnischer Sicht in drei Teile unterteilt werden, die teilweise sehr unterschiedlich auf Schwingungen reagieren:

1. Im unteren Hallenteil befinden sich Regale mit relativ großen und schweren Exponaten aus Stein (z.B. Skulpturen, Büsten, Säulen, etc.). Die Regale sind i.d.R. belegt und machen einen augenscheinlich stabilen Eindruck. Als „Fundament“ bzw. Fußboden dienen etwa 10 m² große Steinplatten, die augenscheinlich auf den vorhandenen Boden gelegt wurden und somit statisch voneinander entkoppelt sind. Die umgebenden Außenmauern befinden sich auf Streifenfundamenten.

2. Auf der umlaufenden „Empore“ (Metallgerüst) in der Halle des AMF befinden sich auf der Nordseite vor allem große und schwere Grabsteinplatten, die an die Wand gelehnt sind, auf der Ostseite befinden verschiedene Statuen aus Metall und Stein, auf der Westseite befinden sich augenscheinlich etwas labile Metallregale in welchen sich mehrere Kartons mit kleineren archäologischen Funden (z.B. Knochen, Keramiken, etc.) befinden. Der Boden der Empore besteht aus Metallplatten. Die Platten sind nicht in allen Teilen durchgängig mit den Metallträgern, auf denen die Platten gelagert sind, verbunden, sodass es beim Auftreten auf den Rand einiger Platten zu sichtlich wahrnehmbaren Biegungen kommen kann. Die Metallträger sind an den Außenwänden bzw. auf Metallstützen, die in Betonstreifenfundamente eingegossen sind, aufgelagert. Die Empore ist als sehr schwingungsfähig einzustufen, es ist davon auszugehen, dass sich eingeleitete Schwingungen durch das System verstärken, bzw. dass Resonanzeffekte auftreten können.
3. Der südliche Teil des AMF besteht aus einem Gebäude mit Betondecken, welches direkt von der Halle aus zugänglich ist. Im Erdgeschoss des Gebäudes befinden sich Werkstätten und Lagerräume, während sich im Obergeschoss mehrere Regale befinden, in denen Kartons mit kleineren und mittelgroßen archäologischen Funden (z.B. Knochen, Keramiken, etc.) aufbewahrt werden. Da das Gebäude recht schmal ist und mehrere massive Zwischenwände hat, weist es relativ geringe Spannweiten auf. Daher ergeben sich nur im oberen Frequenzbereich vergleichsweise geringe Überhöhungen.

Die Exponate in der Steinhalle sind i.d.R. als deutlich robuster einzustufen als die Exponate des MWK oder Archive im ISG. Allerdings ergeben sich aufgrund der Größe, dem Gewicht und der Art der Lagerung Probleme, die in den anderen Museumsteilen nicht auftreten.

Während erschütterungsintensiver Arbeiten in der Nähe des AMF wird deshalb zusätzlich zur messtechnischen Überwachung empfohlen, folgende Maßnahmen umzusetzen:

- Statuen und Grabsteinplatten möglichst liegend und nicht auf der Empore lagern.
- Auf Paletten gelagerte Exponate sollten ggf. mit Gurten gegen Verrutschen gesichert werden.
- Da aufgrund des Abstands im westlichen Hallenteil (auf der Höhe des Tors) mit geringeren Erschütterungen zu rechnen ist, können dort ggf. eher empfindliche Exponate gelagert werden.
- Glatte Regalböden mit Kartons, die kleinere archäologische Funde enthalten, können mit unterlegten Gummimatten oder Gurten am Rand gegen Verrutschen gesichert werden. Labil wirkende Regale sollten ggf. gegen stabilere Regale ausgetauscht werden. Eine Beschwerung bzw. gleichmäßige Auffül-

lung mit schweren und leichten Kisten kann ggf. auch ausreichend sein, um die Stabilität zu erhöhen und die Schwingungen der Regalböden zu reduzieren.

In der nachfolgenden Tabelle werden die im AMF ermittelten Schwingschnellen an den Aufbewahrungsorten bestimmter Exponate gezeigt. Es wird dabei lediglich auf die maßgeblichen Messpunkte eingegangen.

Position/ Geschoss des Exponates	Bezeichnung der Exponate	Einstufung des Risikos für die Exponate	Maximale gemessene Schwingschnelle aus Nutzung [mm/s]	Zugehöriges Ereignis (Erschütterungsquelle aus Nutzung)	Maximale gemessene Schwingschnelle mit Tandemwalze [mm/s]
Empore	Grabsteinplatten	Verrutschen, Herunterfallen	0.6	Gehen auf der Empore	k.A.
Empore	Statuen (Platte bei Marienstatue)	wackelig, können umfallen	8.7	Gehen auf der Empore	0.5
Streifenfundament für Stütze bei Empore	--	--	0.05	Lastenkran	0.2
Empore, labiles Metallregal	Keramiken, Knochen, Steine etc.	Verrutschen, Herunterfallen	1.9	Lastenkran	k.A.

Tabelle 2: Gemessene Erschütterungsexpositionen im ISG

Im speziellen Fall der Marienstatue, welche auf der Empore steht, wurden sehr hohe Schwingungen direkt neben der Statue gemessen, welche durch das normale Begehen des Podests verursacht wurden. Die maximal gemessene Schwingschnelle neben der Marienstatue hat bei kurzzeitiger Einwirkung zu keiner feststellbaren Beeinträchtigung des Materials geführt. Um zu berücksichtigen, dass es während der Baumaßnahme nicht ausgeschlossen werden kann, dass Schwingungen für einen längeren Zeitraum einwirken, als beim vergleichsweise kurzen Begehen der Empore, wird davon ausgegangen, dass für die Exponate des AMF 50 % der maximal gemessenen Schwinggeschwindigkeit als zulässig angesehen werden kann:

- **bei impulsartiger oder transients Anregung 4.3 mm/s**
- **bei stationärer Anregung bis zu 2.2 mm/s.**

Außerdem sind im Fall des AMF - in Absprache mit dem Personal - Schutzmaßnahmen bezüglich der Lagerung verschiedener Exponate zu wählen. Mögliche und zum Zeitpunkt der Planung plausible Schutzmaßnahmen sind auf Seite 5 aufgeführt.

3 Auswahl von Referenzmesspunkten

Bei der Durchführung von Überwachungsmessungen ist es zweckmäßig, die Schwingungen an wenigen, repräsentativen Referenzmesspunkten festzustellen.

Als Referenzmesspunkte kommen vor allem Messpunkte am Fundament und auf den Geschossdecken in Frage, da an diesen Messpunkten deutlich weniger Störeinflüsse als an labilen Strukturen (z.B. an Regalen oder Paletten) vorliegen und die Übertragungsfunktionen von den Geschossdecken zu den jeweiligen Aufbewahrungsorten bekannt sind. Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Zugänglichkeit und die Möglichkeiten zur Befestigung der Sensoren auf den Geschossdecken, bzw. am Fundament besser für Überwachungsmessungen geeignet sind als an den Aufbewahrungsorten der Exponate.

Da die Übertragungsfaktoren des Gebäudes in gewissem Maß auch von der Art und Position der Anregung abhängig ist, wird im Fall des ISG und MWK empfohlen jeweils zwei Messpunkte in unterschiedlichen Geschossen zu installieren die als repräsentativ bzw. kritisch angesehen werden. In Kapitel 3.1 und 3.2 werden die entsprechenden Geschosse identifiziert und zulässige Schwingungsschnellen an den jeweiligen Punkten festgelegt.

Die Strukturen des AMF verhalten sich schwingungstechnisch nicht wie ein übliches Gebäude, vielmehr ist die „Überhöhung“ vom Erdgeschoss zur Empore deutlich höher als zwischen zwei Geschossdecken in üblichen Gebäuden, dafür ist die Schwingungsabnahme über die Länge des Gebäudes (hier maßgeblich von Ost nach West) deutlich höher, da es in der Halle kein durchgängiges Fundament bzw. keinen durchgängigen Fußboden gibt. Die Pegeldifferenzen zwischen verschiedenen Messpunkten werden in Kapitel 3.3 beschrieben. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse werden dann Referenzmesspunkte ausgewählt.

3.1 Auswahl der Referenzmesspunkte am Museum für Weltkulturen (MWK)

Die nachfolgende Grafik zeigt die maßgeblichen Übertragungsfunktionen vom Erdgeschoss zu den Geschossdecken des MWK. Es zeigt sich, dass die größte Überhöhung bei 16 bis 25 Hz im 6. OG des Gebäudes zu erwarten ist. Die für Betondecken relativ tiefen Resonanzfrequenzen können im vorliegenden Fall durch die relativ großen Deckenspannweiten erklärt werden. Als „kritische Geschossdecke“ wird für das MWK somit das 6. OG ausgewählt.

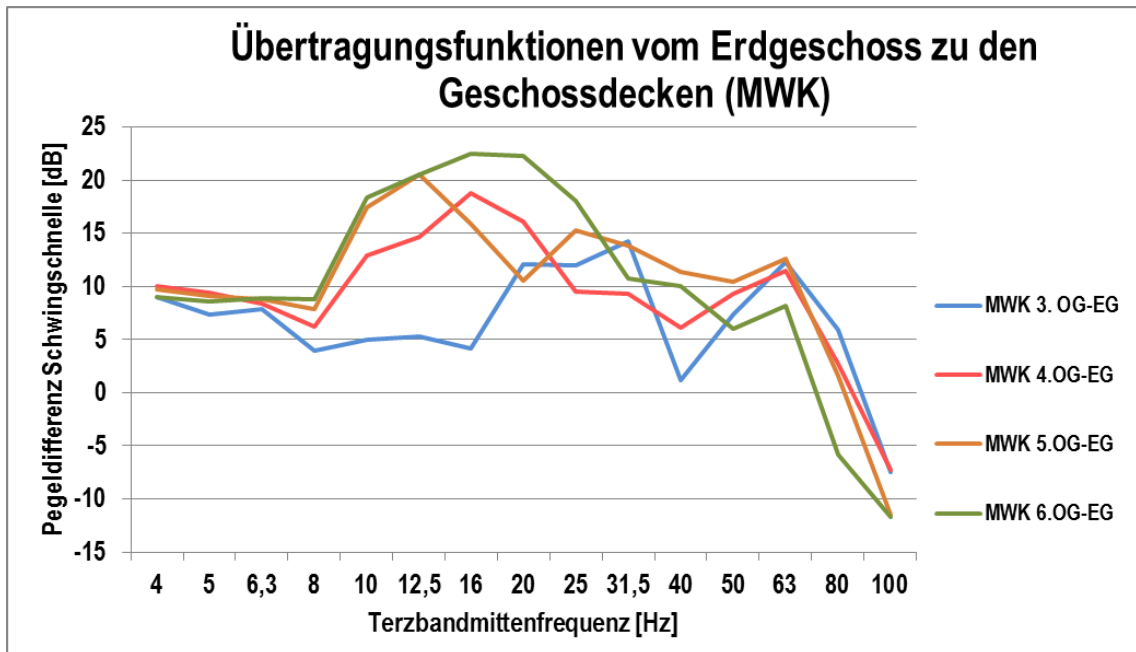


Abbildung 1: Gebäudeübertragungsfunktionen MWK

Im 6. OG des MWK befinden sich mit Ausnahme der hängenden Lagerung (nur 5.OG) alle Arten von Aufbewahrungsorten (Schilde angelehnt, Schränke, Ziehregal, Podest), in denen schwingungsempfindliche oder wertvolle Gegenstände aufbewahrt werden.

Die ermittelten Übertragungsfunktionen von den Geschossdecken zu den maßgeblichen Aufbewahrungsorten werden nachfolgend dargestellt:

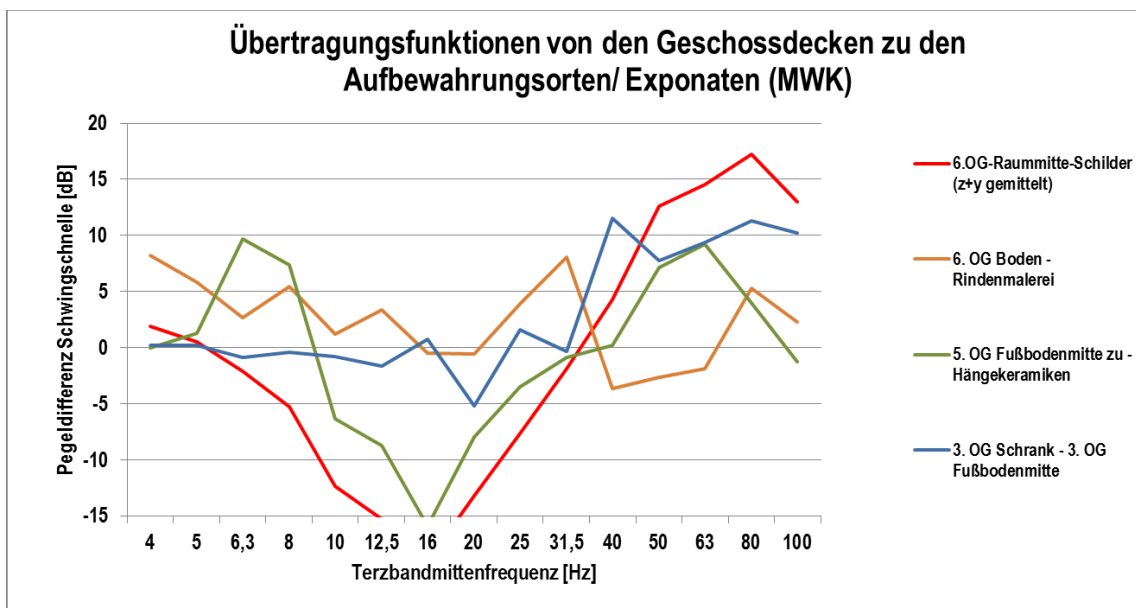


Abbildung 2: Übertragungsfunktionen Geschossdecken – Exponate MWK

Addiert man in jedem Frequenzband den Maximalwert aus den Übertragungsfunktionen vom EG zu den Geschossdecken zum Maximalwert der Übertragungsfunktionen von der Geschossdecke zu den Aufbewahrungsorten hinzu, so ergibt sich eine fiktive

maximale Übertragungsfunktion vom EG zu den Aufbewahrungsorten der Exponate. Aus den spektralen Maximalwerten vom Aufbewahrungsort der jeweiligen Exponate zur Geschossdecke ergibt sich ebenfalls eine fiktive maximale Übertragungsfunktion. Die beiden fiktiven maximalen Übertragungsfunktionen (ÜF) sind nachfolgend dargestellt.

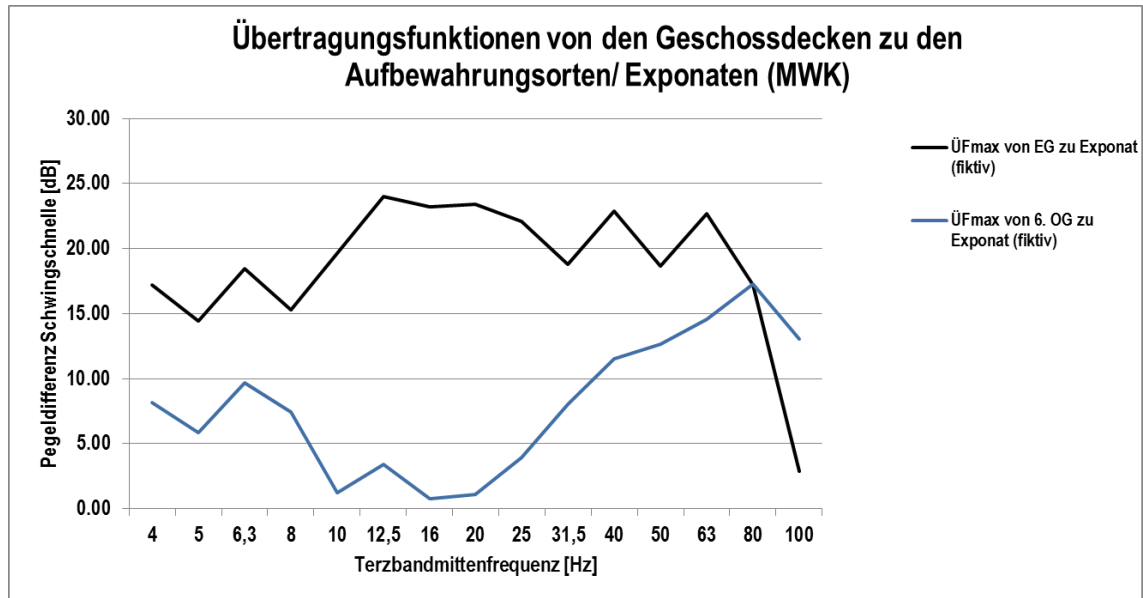


Abbildung 3: maximale Übertragungsfunktionen MWK

Hieraus ergibt sich im Fall vom EG zum Exponat eine maximale Differenz von 24 dB (entspricht etwa 16-facher Verstärkung), während die maximale Differenz zwischen der Schwinggeschwelle am Exponat und der Geschossdecke bei 17 dB (entspricht etwa 7-facher Verstärkung) liegen.

Je nachdem, wo die maßgeblichen Frequenzanteile der Schwingungen liegen, werden vorläufig folgende Schwinggeschwindigkeiten als zulässig an den Referenzmesspunkten angesehen. Die vorläufig als zulässig genannten Schwinggeschwindigkeiten können während des Bauablaufs nach Abstimmung mit dem Personal des Museums und einem erschütterungstechnischen Fachmann an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Maßgeblicher Frequenzanteil (nach Terzbändern)	Zulässige Schwinggeschwindigkeit im EG [mm/s]		Zulässige Schwinggeschwindigkeit im 6. OG [mm/s]	
	impulsartig	stationär	impulsartig	stationär
4 bis 10 Hz	0.3	0.2	0.7	0.3
12,5 bis 25 Hz	0.1	0.1	1.4	0.7
31,5 Hz bis 100 Hz	0.2	0.1	0.3	0.2

Tabelle 3: Vorläufig zulässige Schwinggeschwindigkeiten an Referenzpunkten des MWK

3.2 Auswahl der Referenzmesspunkte am Institut für Stadtgeschichte (ISG)

Die nachfolgende Grafik zeigt die maßgeblichen Übertragungsfunktionen vom Fundament (Fu) zu den Geschossdecken des ISG. Es zeigt sich, dass die größte Über-

höhung zwischen 10 und 25 Hz im 6. OG des Gebäudes zu erwarten ist. Wie beim MWK können die für Betondecken relativ tiefen Resonanzfrequenzen durch die relativ großen Deckenspannweiten erklärt werden. Als „kritische Geschossdecke“ im ISG wird somit ebenfalls das 6. OG ausgewählt.

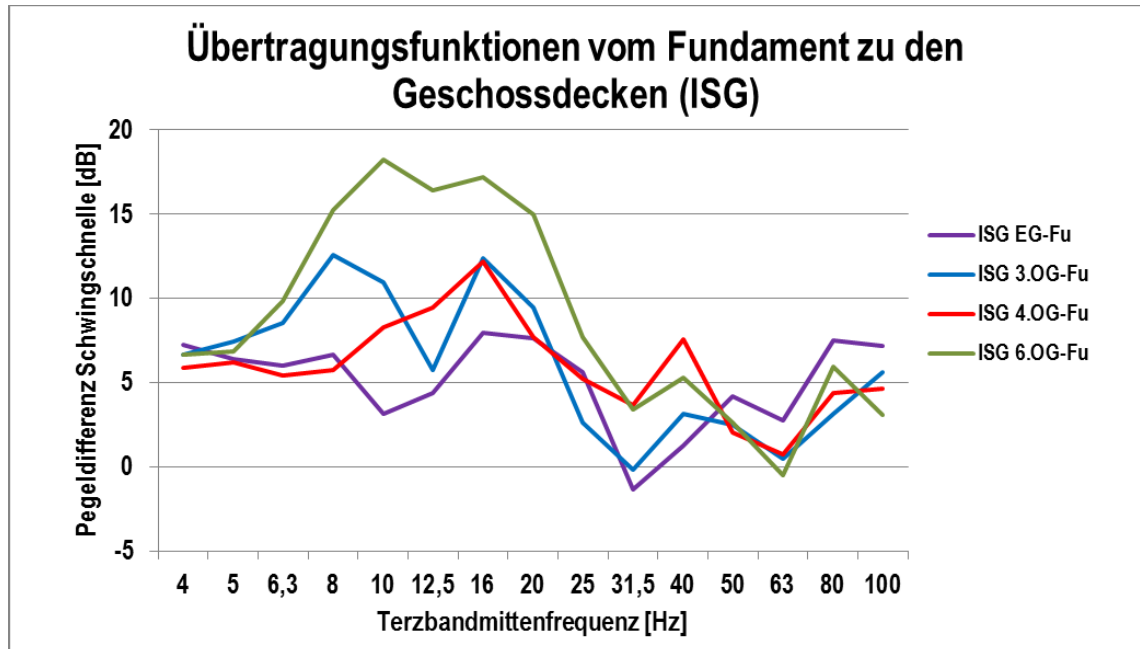


Abbildung 4: Gebäudeübertragungsfunktionen ISG

Die ermittelten Übertragungsfunktionen von den Geschossdecken zu den maßgeblichen Aufbewahrungsorten werden nachfolgend dargestellt. Es zeigt sich, dass die Regale und der Fotoschrank ihre Resonanzfrequenzen (maximalen Überhöhungen) in unterschiedlichen Frequenzbereichen haben.

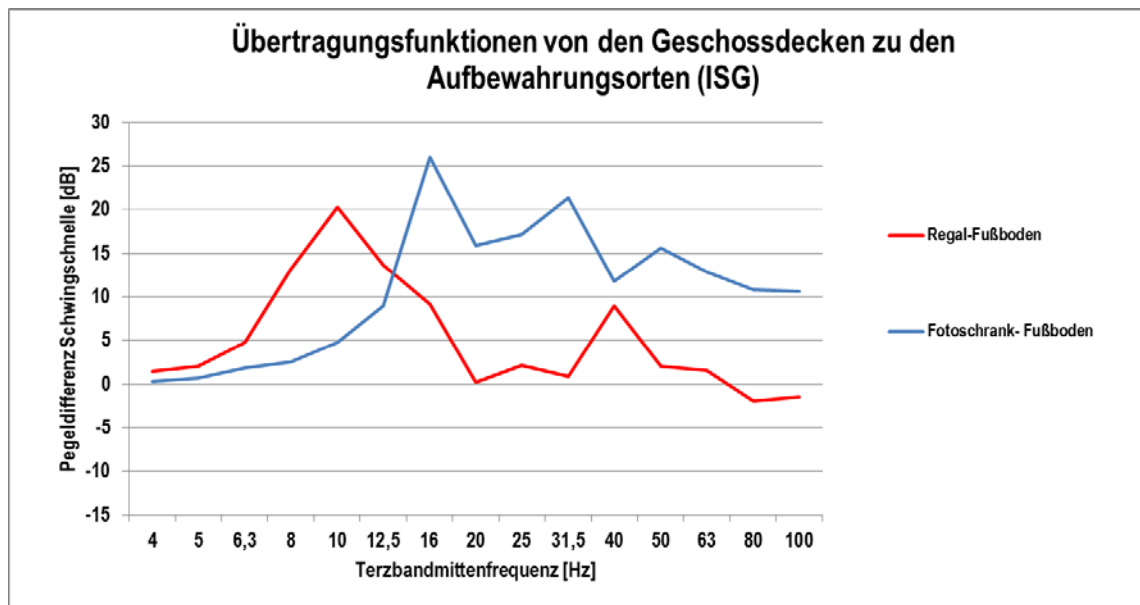


Abbildung 5: Übertragungsfunktionen Geschossdecken – Aufbewahrungsorte ISG

Um zulässige Schwinggeschwindigkeiten an den Referenzmesspunkten am Fundament und im 6.OG festzulegen, wird jeweils der Maximalwert aus der Übertragungsfunktion zwischen Regal und Geschossdecke und die Pegeldifferenz zwischen Fotoschrank und dem 6. OG gebildet, um die unten dargestellten maximalen Übertragungsfunktionen zu ermitteln.

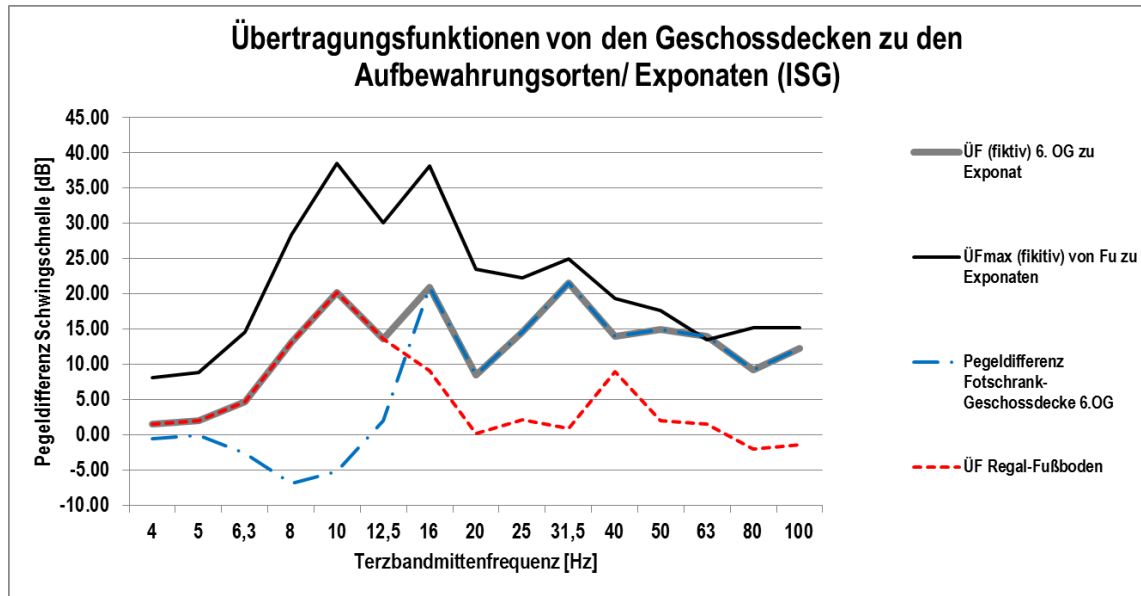


Abbildung 6: maximale Übertragungsfunktionen ISG

Entsprechend der Auswertung ergeben sich maximale Übertragungsfaktoren von bis zu 38 dB (etwa 80-fache Verstärkung) vom Fundament bis zu den Exponaten. Die führt zu sehr geringen zulässigen Schwingungen am Fundament. An der Geschossdecke des 6. OG ergeben sich Pegelunterschiede von bis zu etwa 22 dB (etwa 12-fache Verstärkung).

Aufgrund der teilweise extremen Verstärkung der Schwingungen erscheint der Fundamentmesspunkt ungeeignet, da hier selbst bei minimalen Schwinggeschwindigkeiten, die z.B. durch Aufzugfahrten oder Vorbeigehen am Fundamentmesspunkt die als zulässig festzulegenden Schwinggeschwindigkeiten überschritten werden würden, obwohl sich diese Erschütterungen im Nahbereich natürlich nicht zu einer Anregung des gesamten Bauwerks führen.

Es wird daher als zweckmäßig angesehen, einen Referenzmesspunkt auf dem Fotoschrank zu setzen, an dem die zulässige Schwinggeschwindigkeit unabhängig des maßgeblichen Frequenzanteils bei stationärer Anregung auf vorläufig 0.3 mm/s wird. In Anlehnung an die DIN 4150-3 erhöht sich dieser Wert bei impulsartiger Anregung auf 0.6 mm/s. Ein zweiter Referenzmesspunkt im ISG ist an der Geschossdecke im 6. OG vorzusehen. Je nachdem, wo die maßgeblichen Frequenzanteile an der Geschossdecke liegen, werden die in der nachfolgenden Tabelle vorläufig festgelegten Schwinggeschwindigkeiten als zulässig angesehen. Die vorläufig als zulässig genannten Schwinggeschwindigkeiten können während des Bauablaufs nach Abstimmung mit dem Personal des Museums und einem erschütterungstechnischen Fachmann an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Maßgeblicher Frequenzanteil (nach Terzbändern)	Zulässige Schwinggeschwindigkeit auf Fotoschrank 4. OG [mm/s]		Zulässige Schwinggeschwindigkeit im 6. OG [mm/s]	
	impulsartig	stationär	impulsartig	stationär
4 bis 16 Hz	0.6	0.3	0.3	0.15
20 bis 50 Hz	0.6	0.3	0.6	0.3
63 Hz bis 100 Hz	0.6	0.3	1.2	0.6

Tabelle 4: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des ISG

3.3 Auswahl der Referenzmesspunkte am Archäologischen Museum Frankfurt (AMF)

Im AMF werden vor allem die Streifenfundamente der tragenden Metallstützen der Empore als repräsentativ eingestuft, da diese nur geringfügig aus Erschütterungen, die sich Nutzung des AMF ergeben, beeinflusst werden. Dennoch lassen sich aus den bekannten Übertragungsfunktionen (ÜF) zur Empore, zum westlichen Teil der Halle und zu den Regalen im Hallenbereich die dort vorliegenden berechnen.

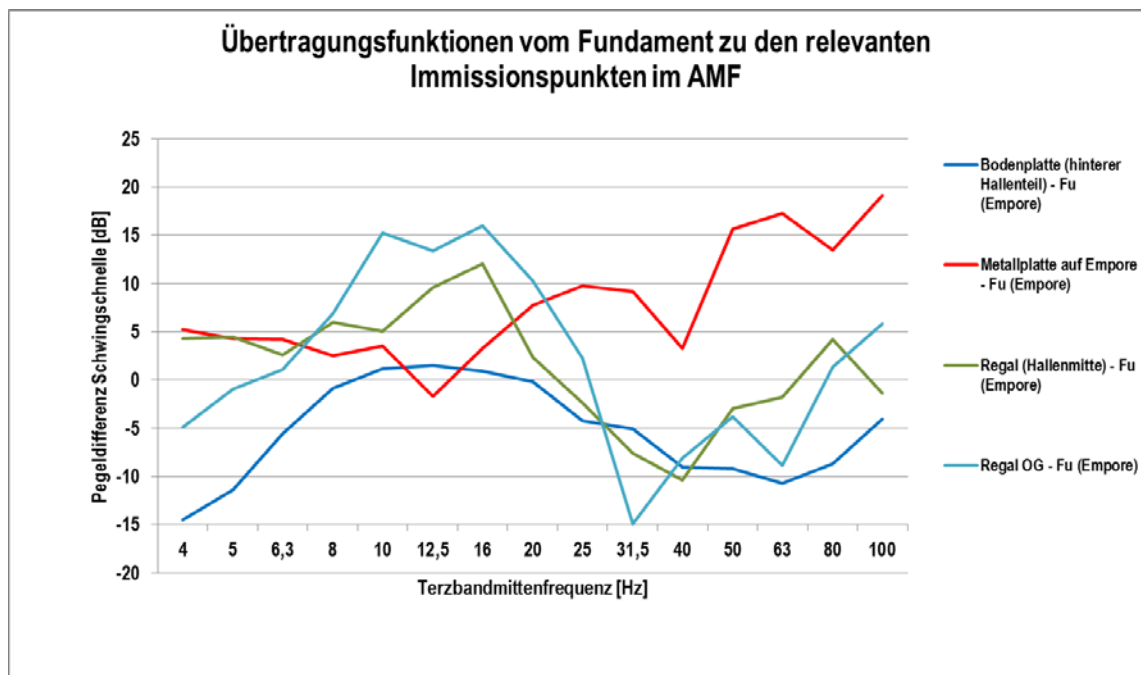


Abbildung 7: Maßgebliche Übertragungsfunktionen des AMF

Die maximalen Übertragungsfaktoren sind im tieffrequenten Bereich bei den Aufbewahrungsorten in Regalen festzustellen und im mittleren und höheren Frequenzbereich auf der Empore. Je nachdem, wo die maßgeblichen Frequenzanteile an der Geschossdecke liegen, werden die in der nachfolgenden Tabelle vorläufig festgelegten Schwingschnellen als zulässig angesehen. Die vorläufig als zulässig genannten Schwinggeschwindigkeiten können während des Bauablaufs nach Abstimmung mit dem Personal des Museums und einem erschütterungstechnischen Fachmann an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Anhang 5 zur erschütterungstechnischen Untersuchung

Riederwaldtunnel – Immissionsschutzkonzept MWK, ISG und AMF

Projekt-Nr.: 22623

Seite 13 von 20

Maßgeblicher Frequenzanteil (nach Terzbändern)	Zulässige Schwinggeschwindigkeit am Streifenfundament der Metallstütze [mm/s]	
	impulsartig	stationär
4 bis 40 Hz	0.6	0.3
50 bis 100 Hz mit Objekten auf der Empore	0.5	0.2
50 bis 100 Hz ohne Objekte auf der Empore	2.0	1.0

Tabelle 5: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des AMF

4 Empfohlenes Immissionsschutzkonzept

Der Bereich der Museen an der Borsigallee 8 umfasst das Museum für Weltkulturen (MWK), das Institut für Stadtgeschichte (ISG) und das archäologische Museum Frankfurt (AMF), welche räumlich getrennt sind.

Im Rahmen von Messungen wurden an den Objekten im MWK, ISG und AMF unterschiedliche Erschütterungsexpositionen und Nutzungen festgestellt, aus denen sich zusammen mit den messtechnisch ermittelten Übertragungseigenschaften von den Referenzpunkten zu Aufbewahrungsorten vorläufig als zulässig anzusehende Schwinggeschwindigkeiten ergeben.

Aufgrund der vielen Unterschiede bezüglich der Objekte, deren Aufbewahrungsorte und deren Fragilität sind messtechnische Überwachungen in allen drei Museumsbereichen vorzusehen.

Es sind insgesamt fünf Referenzmesspunkte zur bauzeitlichen Überwachung vorzusehen. Diese sind:

- Messpunkt 1: MWK (Fundament gemäß DIN 4150-3)
- Messpunkt 2: MWK (6. OG Geschossdeckenmitte)
- Messpunkt 3: ISG (4. OG auf Fotoschrank)
- Messpunkt 4: ISG(6. OG Geschossdeckenmitte)
- Messpunkt 5 AMF (östlicher Hallenteil mittig, Streifenfundament für Metallstütze)

Position und Messrichtung sind mithilfe Planskizzen und teilweise mit Fotos in Kapitel 5 genauer beschrieben. Sollte eine Messung an einem der genannten Referenzmesspunkte nicht möglich sein, oder sich im Zuge des Bauablaufs als nicht zweckmäßig erweisen, so ist ein Ersatzmesspunkt zu bestimmen, für den in Abstimmung mit dem zuständigen Personal der Museen und einem erschütterungstechnischen Experten eine zulässige Schwinggeschwindigkeit festgelegt werden.

Für die Messpunkte sind je nach Art der Anregung (eher impulsartig oder eher stationär) vorläufig folgende Schwinggeschwindigkeiten (ohne Frequenz- oder Zeitbewertung) als zulässig anzusehen (Details, siehe Kapitel 3.1, 3.2, 0):

Maßgeblicher Frequenzanteil (nach Terzbändern)	Zulässige Schwinggeschwindigkeit Messpunkt 1 [mm/s]		Zulässige Schwinggeschwindigkeit Messpunkt 2 [mm/s]	
	impulsartig	stationär	impulsartig	stationär
< 10 Hz	0.3	0.2	0.7	0.3
12,5 bis 25 Hz	0.1	0.1	1.4	0.7
> 31,5 Hz	0.2	0.1	0.3	0.2

Tabelle 6: Vorläufig zulässige Schwinggeschwindigkeiten an Referenzpunkten des MWK

Maßgeblicher Frequenzanteil (nach Terzbändern)	Zulässige Schwinggeschwindigkeit Messpunkt 3 [mm/s]		Zulässige Schwinggeschwindigkeit Messpunkt 4 [mm/s]	
	impulsartig	stationär	impulsartig	stationär
< 16 Hz	0.6	0.3	0.3	0.15
20 bis 50 Hz	0.6	0.3	0.6	0.3
> 63 Hz	0.6	0.3	1.2	0.6

Tabelle 7: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des ISG

Maßgeblicher Frequenzanteil (nach Terzbändern)	Zulässige Schwinggeschwindigkeit Messpunkt 5 [mm/s]	
	impulsartig	stationär
< 40 Hz	0.6	0.3
> 50 Hz mit Objekten auf der Empore	0.5	0.2
> 50 Hz ohne Objekte auf der Empore	2.0	1.0

Tabelle 8: Vorläufig zulässige Schwingschnellen an Referenzpunkten des AMF

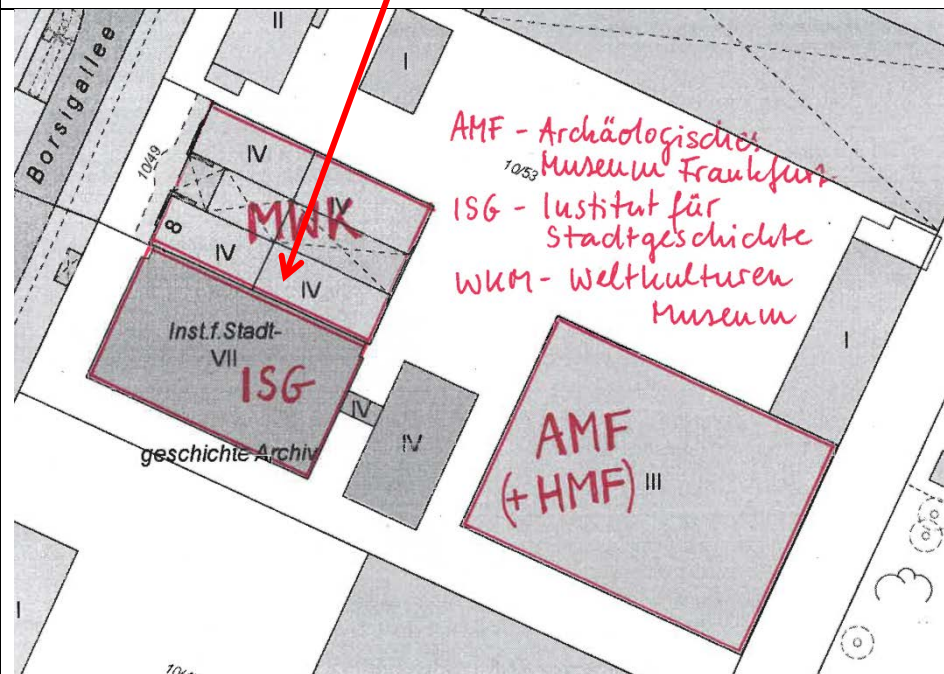
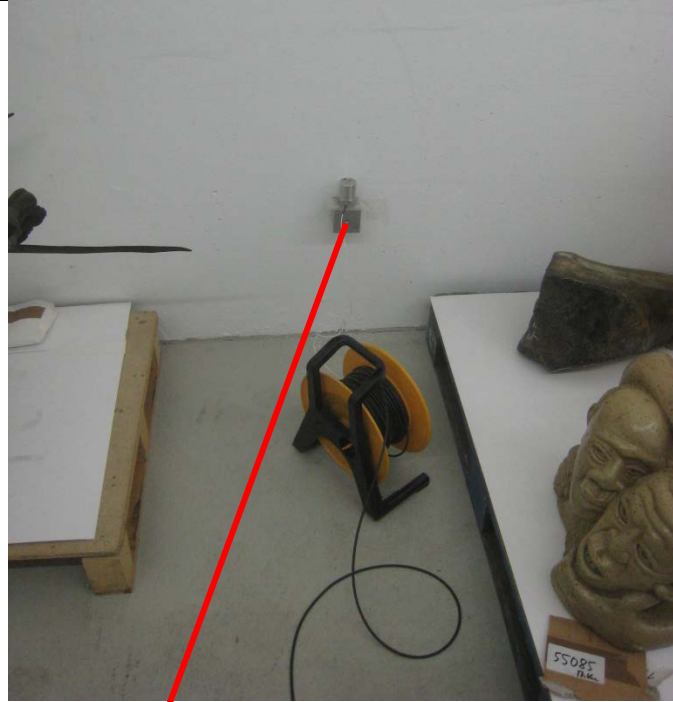
Sollte sich während des Bauvorhabens zeigen, dass die als zulässig vereinbarten Schwinggeschwindigkeiten nicht mit vertretbarem Aufwand eingehalten werden können, ist in Abstimmung mit einem Immissionsschutzbeauftragten und dem Museumspersonal festzulegen, ob die als zulässig vereinbarten Schwingschnellen im Einzelfall weiter erhöht werden können. Sollte sich herausstellen, dass die vereinbarten Schwinggeschwindigkeiten nicht auf ein ausreichendes Maß erhöht werden können, um das Bauverfahren mit vertretbarem Aufwand durchzuführen, sind besondere Vereinbarungen bezüglich der Aufbewahrung während der Dauer der erschütterungsintensiven Bauarbeiten festzulegen.

Zu Beginn der erschütterungsintensiven Bauarbeiten im Umkreis von etwa 150 m und während besonders erschütterungsintensiver Bauarbeiten im Nahbereich, sollten die Messungen bemannt stattfinden. Dies bedeutet, dass sowohl eine fachkundige Person im Bereich Erschütterungen, als auch fachkundiges Personal der Museen vor Ort sein muss. Aus der Erschütterungsprognose geht hervor, dass nicht auszuschließen ist, dass die als vorläufig als zulässig anzusehenden Schwinggeschwindigkeiten überschritten werden. Hierbei sind neben der Kontrolle der Schwingschnellen auch die Einwirkungen auf fragile Objekte und solche mit geringen Aufstandsflächen zu beobachten.

Die Messungen an den Referenzmesspunkten sollten in der Regel unbemannt stattfinden, wobei die Messdaten jederzeit (also auch während der Messung) einsehbar sein müssen. Bei der Überschreitung der als zulässig vereinbarten Schwinggeschwindigkeiten an einem oder mehreren Messpunkten ist die Bauleitung umgehend vom Immissionsschutzbeauftragten zu informieren. Die erschütterungsintensiven Arbeiten sind daraufhin einzustellen bzw. sind auf ein zulässiges Maß zu reduzieren. Sollte eine als zulässig vereinbarte Schwinggeschwindigkeit um mehr als 50 % überschritten werden, ist neben der Bauleitung auch das jeweils zuständige Museumspersonal umgehend zu informieren. Dem Museumspersonal ist ein Ansprechpartner zu nennen, welcher auf Anfrage Auskunft über die derzeitige erschütterungstechnische Situation geben kann.

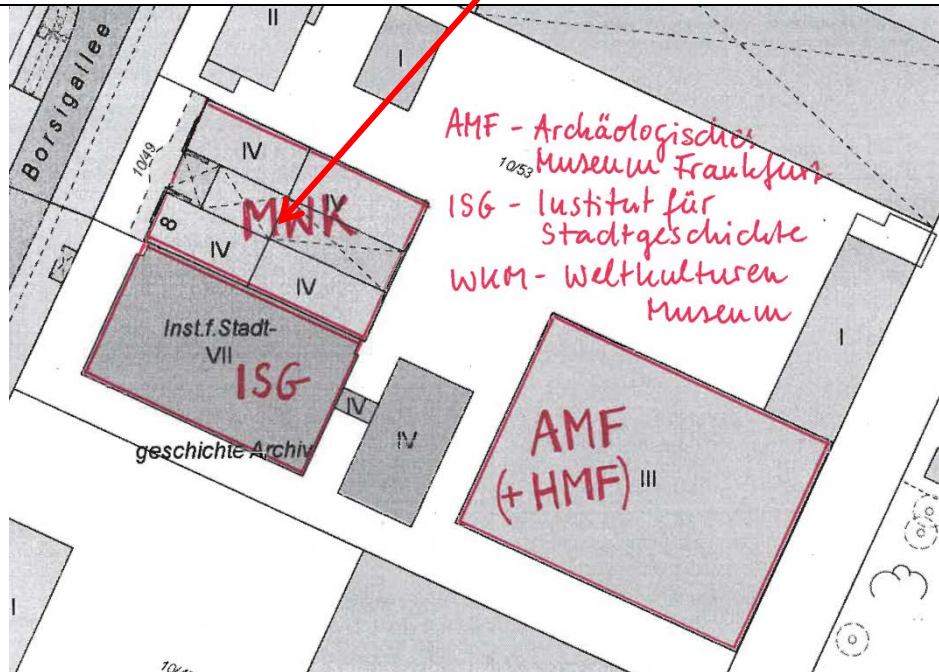
5 Kennzeichnung der Referenzmesspunkte

Messpunkt 1: MWK (Fundament gemäß DIN 4150-3)



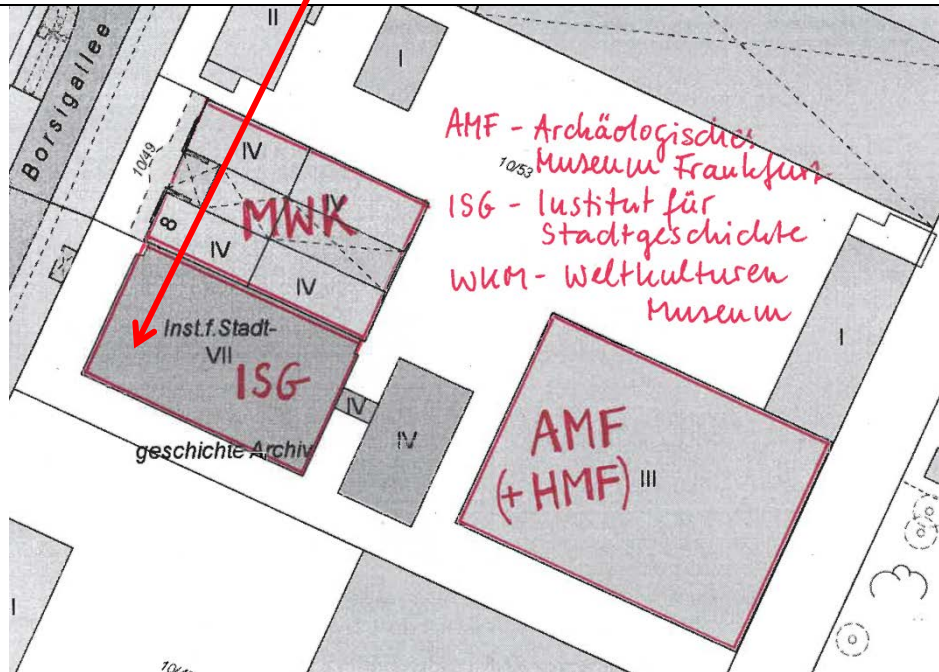
Quelle: Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main ©Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

Messpunkt 2: MWK (6. OG Geschosdeckenmitte)



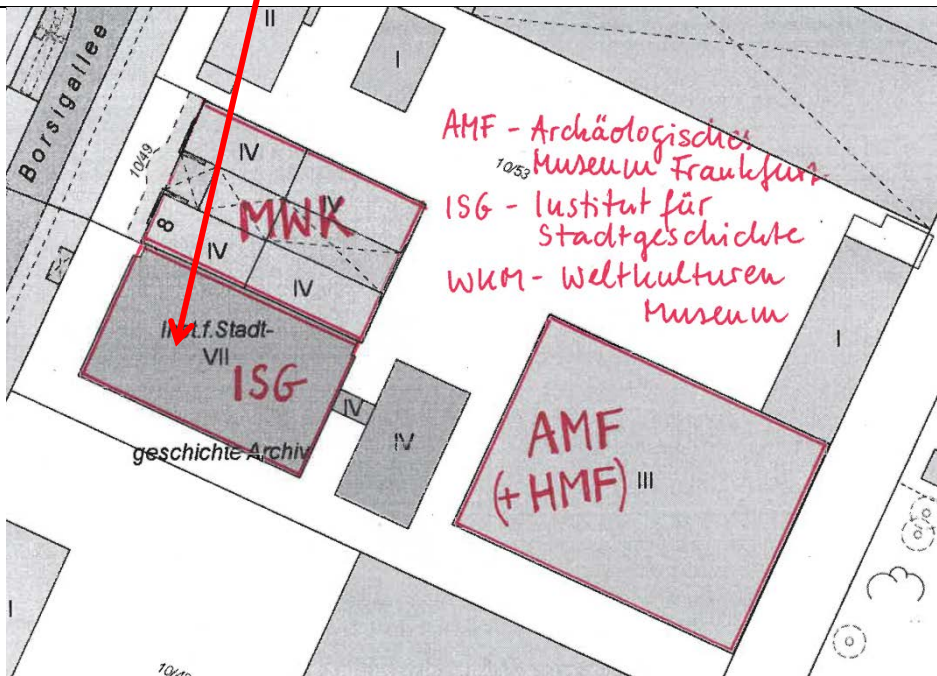
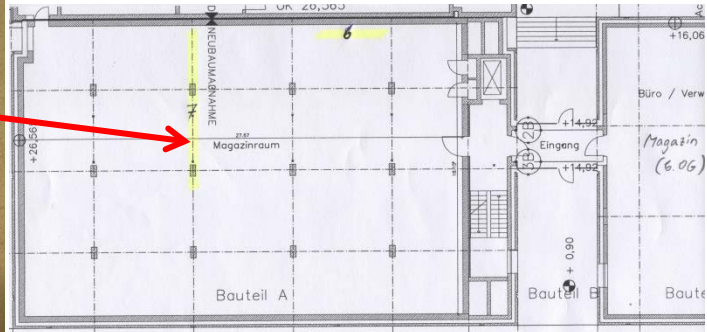
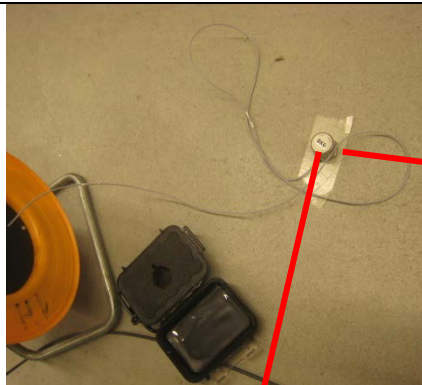
Quelle: Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main ©Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

Messpunkt 3: ISG (4. OG Fotoschrank)



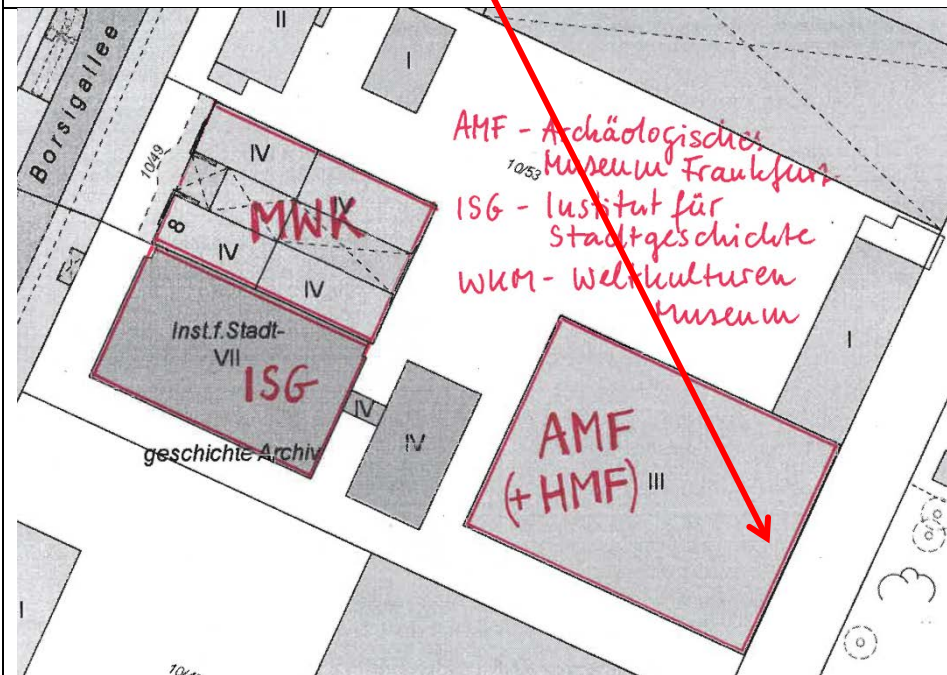
Quelle: Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main ©Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

Messpunkt 4: ISG (6. OG Geschosdeckenmitte)



Quelle: Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main ©Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

Messpunkt 5: AMF
(östlicher Hallenteil mittig, Streifenfundament für Metallstütze)



Quelle: Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main ©Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation