

Nr.39

Geräusche und
Erschütterungen verursacht
durch elektrisch
angetriebene Wärmepumpen

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6

D-4300 Essen 1

1983

ISSN 0720-8499

Geräusche und Erschütterungen,
verursacht durch elektrisch
angetriebene Wärmepumpen

H. Strauch und K. Schwenger

(426)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Summary

1. Einleitung
2. Aufgabenstellung
3. Art der Wärmepumpe in Abhängigkeit von nutzbaren Umweltenergieträgern
 - 3.1. Wärmepumpe für den Energieträger Grundwasser
 - 3.2. Wärmepumpe für den Energieträger Oberflächenwasser
 - 3.3. Wärmepumpe für den Energieträger Erdreich
 - 3.4. Wärmepumpe für den Energieträger Umgebungsluft
 - 3.5. Wärmepumpe für sonstige Energieträger
4. Arbeitsweise der Wärmepumpe
5. Versuchsdurchführung
 - 5.1. Untersuchungsmethode
 - 5.1.1. Geräusche
 - 5.1.1.1. Emissionen
 - 5.1.1.2. Immissionen
 - 5.1.2. Erschütterungen
 - 5.1.2.1. Emissionen
 - 5.1.2.2. Immissionen
 - 5.2. Meßtermine
 - 5.3. Meßgeräte
 - 5.3.1. Geräuschmeßgeräte
 - 5.3.2. Erschütterungsmeßgeräte
6. Ergebnisse
 - 6.1. Geräusch- und Erschütterungsmessungen
 - 6.1.1. Meßbericht
 - 6.2. Zusammenfassung der Meßergebnisse

- 6.2.1. Geräuschemissionen
- 6.2.2. Geräuschimmissionen
- 6.2.3. Erschütterungen

7. Minderungsmaßnahmen

Schrifttum

Anhang (Meßberichte und Abbildungen)

GERÄUSCHE UND ERSCHÜTTERUNGEN, VERURSACHT DURCH ELEKTRISCH ANGETRIEBENE WÄRMEPUMPEN

H. Strauch und K. Schwenger

Z u s a m m e n f a s s u n g

In Wohnräumen und im Außenbereich von Wohnhäusern (Ein- und Zweifamilienhäusern) wurden die von unterschiedlichen Wärmepumpen verursachten Geräusche und Erschütterungen untersucht.

Wärmepumpen, die dem Oberflächen- oder dem Grundwasser Wärme entziehen und überwiegend in Kellerräumen der Wohnhäuser aufgestellt sind, erzeugen in diesen Aufstellräumen mittlere Schalldruckpegel von $\overline{L_{ASm}} = 55$ bis 70 dB.

Die in den an den Aufstellraum angrenzenden Wohnräumen ermittelten Meßergebnisse der Geräusche erlauben die Annahme, daß der z.B. in der VDI-Richtlinie 2058 für die Tageszeit geforderte Beurteilungspegel $L_r = 35$ dB(A), bei sorgfältiger Installation der Wärmepumpe bezüglich der Körperschallübertragung, einzuhalten ist.

Der für die Nachtzeit geforderte Beurteilungspegel von $L_r = 25$ dB(A) wird nicht in allen Fällen ohne zusätzliche Minderungsmaßnahmen einzuhalten sein.

Für die Schalleistung der üblicherweise im Außenwohnbereich aufgestellten Aggregate von Wärmepumpen, die der Atmosphäre Wärme entziehen, wurden Schalleistungspegel von $L_{WA} = 70$ bis 85 dB festgestellt.

Die von den Wärmepumpen in den Wohnräumen erzeugten Erschütterungen lagen beim stationären Betrieb der Wärmepumpe unterhalb der in der DIN 4150 genannten Anhaltswerte für die bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke (KB-Werte); lediglich während der Nachtzeit kann der Anhaltswert durch stoßartige Erschütterungen beim Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe überschritten werden.

S u m m a r y

The sound levels and vibrations generated by various heat pumps were determined inside and outside dwellings (such as single homes and two-family homes).

Heat pumps withdrawing heat from surface or ground water which were set up in the basement of dwellings generated average sound pressure levels ranging from $\overline{L_{ASm}} = 55$ to 70 dB in the rooms where they were set up.

The results of noise measurements obtained in the adjoining rooms permit the assumption that the value of $L_r = 35$ dB(A) recommended in the VDI-Guideline 2058 for daytime hours is not exceeded if structural sound transmission is avoided by careful installation of the pump.

However, it will not be possible to meet the value of $L_r = 25$ dB(A) recommended for nighttime hours in all cases without additional noise abatement measures.

Heat pumps set up outside dwellings which withdraw heat from the atmosphere generated sound power levels ranging from $L_{WA} = 70$ to 85 dB.

The vibrations caused by the heat pumps in the living quarters of the homes during stationary operation remained below the perception levels set by DIN 4150 for buildings (KB-values); a possibility of exceeding these levels exists solely during nighttime hours when the pump is switched on or off which causes impulse vibrations.

1. Einleitung

Die durch die Ölkrisen von 1973 und 1979 hervorgerufene Suche nach alternativen Energiequellen brachte den Wärmepumpen eine beträchtliche Absatzsteigerung. Die Zahl der jährlich produzierten Wärmepumpen in der Bundesrepublik Deutschland stieg von 700 im Jahre 1973 auf über 8000 Stück im Jahre 1979 (die Zuwachsrates ist in Abb. 1 dargestellt); so prognostizierte z.B. ein westdeutsches Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen (RWE) für seinen Versorgungsbereich für das Jahr 1980 eine Absatzsteigerung von 300 % gegenüber dem Vorjahr [1].

Nach diesen Prognosen sollten 1990 mehr als 1 Million Wärmepumpen den Wärmebedarf von Privathaushalten decken. Die prognostizierten Werte wurden allerdings schon 1980 nicht erreicht. Nach vorsichtigen Schätzungen liegen die Verkaufszahlen etwa um 1/4 bis 1/3 niedriger als vorhergesagt. Dieser geringe Absatz mag daran liegen, daß mit anderen Energiesparmaßnahmen wie Absenkung der Raumtemperatur und Nichtbeheizen unbenutzter oder wenig benutzter Räume, exakte Steuerung der Heizungsanlage, Erneuerung veralteter Brenner und Kessel sowie durch erhöhte Wärmedämmung der Gebäudeaußenhaut der Verbrauch der Primärenergie und damit auch die Heizkosten gesenkt werden können.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Heizungsanlagen, in denen im allgemeinen Öl, Gas, Kohle verbrannt werden, arbeitet die Wärmepumpe nach dem Prinzip, der Umwelt Wärme (Energie) zu entziehen, diese Wärme dann mittels zugeführter Energie auf ein höheres Temperaturniveau zu "pumpen" und an einen aufzuheizenden Raum niedrigerer Temperatur abzugeben. Zur Erhöhung des Energieniveaus eines die Wärme tragenden Arbeitsmittels werden üblicherweise Verdichter (Kompressoren) benötigt. Außerdem sind je nach Art der Wärmepumpen noch Kreiselpumpen, Ventilatoren und Gebläse notwendig, die Geräusche und Erschütterungen verursachen und zu störenden Immissionen im Einwirkungsbereich der Wärmepumpen führen können.

2. A u f g a b e n s t e l l u n g

Der Umwelt kann auf verschiedene Art Energie entzogen werden; die Wärmepumpen unterscheiden sich daher in ihrem konstruktiven Aufbau in Abhängigkeit von den Umweltenergieträgern. Während bei Wärmepumpen, die dem Oberflächenwasser oder Grundwasser Energie entziehen, das Wasser mit einer Kreiselpumpe zum Wärmetauscher gefördert wird, benötigt man bei Wärmepumpen, die der Umweltluft Energie entziehen, Ventilatoren bzw. Gebläse, die diese Umweltluft durch einen Wärmetauscher drücken oder saugen.

Bedingt durch diesen konstruktiven Aufbau der einzelnen Wärmepumpen werden bestimmte Anforderungen an den Aufstellort gestellt, so daß Wärmepumpen, die dem Oberflächen- oder Grundwasser Wärme entziehen, vorwiegend als Kompaktanlagen (Wärmetauscher + Verdichter + Kreiselpumpe) als eine Einheit aufgebaut sind und im Innenbereich von Gebäuden (Keller) aufgestellt werden. Wärmepumpen, die der Umgebungsluft Wärme entziehen, werden entweder als Kompaktanlagen im Außenbereich oder im Keller oder auf dem Speicher installiert, wobei für die Luftansaugung und Luftausblasung genügend große Strömungsquerschnitte vorhanden sein müssen. Diese Wärmepumpen können allerdings auch als sogenannte "Splitanlagen" installiert werden, bei denen der Wärmetauscher mit Gebläse oder Ventilator im Außenbereich und die Baueinheit mit den übrigen Bauelementen im Innenbereich des Wohnhauses aufgestellt ist.

Um erste Hinweise über die von Wärmepumpen verursachten Geräusche und Erschütterungen in Wohnhäusern zu erhalten, sind an installierten Wärmepumpenanlagen verschiedener Hersteller die Geräusche und Erschütterungen zu messen. Die Messungen sollen an Wärmepumpen, die üblicherweise für das Beheizen von Wohnhäusern (Ein- und Zweifamilienhäuser) mit Wärmeleistungen bis etwa 50 KW benutzt werden, bei den angetroffenen Einbau- und Aufstellbedingungen in den Wohnräumen durchgeführt werden. Durch die Vorgabe, die Geräuschimmissionen und Erschütterungsimmissionen nur im eingebauten Zustand der Wärmepumpen zu ermitteln, die natürlich durch die Aufstellung und Einbaubedingungen der Wärmepumpe und durch die Hauskonstruktion mitbestimmt werden, soll vordringlich eine Übersicht über die beim Einbau derartiger Wärmepumpenanlagen

üblicherweise zu erwartenden Geräusch- und Erschütterungsimmissionen gegeben werden. Ein quantitativer Vergleich der Geräusche und Erschütterungen der einzelnen Wärmepumpen untereinander ist wegen der genannten einschränkenden Randbedingungen nicht geplant, aber auch nur bedingt möglich.

Trotz der einschränkenden Randbedingungen für einen Vergleich der Wärmepumpen untereinander soll versucht werden, Anhaltswerte der Geräuschemission von Wärmepumpen zu ermitteln. Für diese Ermittlungen sollen die Meßvorschriften der DIN 45635 beachtet werden, was allerdings wegen der unterschiedlichen Aufstellbedingungen der Wärmepumpen, insbesondere in den verschiedenartigsten Kellerräumen, fehlerbehaftete Emissionswerte erwarten läßt [2] . Mit der Untersuchung sollte auch geprüft werden, ob bei der Installation von Wärmepumpen z.B. die in der VDI-Richtlinie 2058 "Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft" [3] und die in der Vornorm DIN 4150, Teil 2, "Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden" [4] aufgeführten Richt- und Anhaltswerte für die Beurteilung von Geräuschen und Erschütterungen in Wohnräumen bzw. vergleichbaren Räumen eingehalten oder überschritten werden.

3. Art der Wärmepumpe in Abhängigkeit von nutzbaren Umweltenergieträgern

Für den Betrieb von Wärmepumpen bietet sich die Nutzung der verschiedenen Umweltenergieträger an. Hier stehen als wesentliche Energieträger das Erdreich, das Grund- und Oberflächenwasser und die Umgebungsluft zur Verfügung. Sie sind alle gleichsam Speicher der Sonnenenergie, so daß mit diesen Energieträgern indirekt die Sonnenenergie genutzt wird. Jedoch sind nicht alle genannten Energieträger in unserem geographischen Bereich das ganze Jahr über zum wirtschaftlichen Betrieb von Wärmepumpen geeignet. Während der Wärmeinhalt der Umgebungsluft stark von der Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung abhängt - in den Sommermonaten tritt eine durchschnittliche Sonnenscheindauer von etwa 6 Stunden pro Tag auf, im Winter von 1-2 Stunden pro Tag (die Werte gelten für den Raum Essen für das Jahr 1980) -, reagiert die Grundwassertemperatur und die Erdreichtemperatur in 1-2 m Tiefe nur sehr gering auf die Schwankungen der Sonneneinstrahlung; in dieser Tiefe liegt während des ganzen Jahres eine fast gleichbleibende Temperatur von 8-10°C vor.

Wenn das ganze Jahr über eine Wärmepumpe aus einer der genannten Energiearten die benötigte Heizenergie liefern kann, so bezeichnet man diese Wärmepumpe als "monovalente" Wärmepumpe. Reicht dagegen die mit einer Wärmepumpe genutzte Umweltenergie nicht zur Deckung der benötigten Heizenergie aus, und es wird eine Wärmepumpenanlage mit einer konventionellen Heizungsanlage oder auch mit mehreren Heizungsanlagen kombiniert, so spricht man von einer "bivalenten" oder sogar "multivalenten" Wärmepumpenanlage.

3.1. Wärmepumpe für den Energieträger Grundwasser

Die Nutzung des Grundwassers als Energiequelle ist wegen seiner während des ganzen Jahres nahezu konstanten Wassertemperatur von 8-10°C für den Betrieb von Wärmepumpen besonders geeignet.

In Abb. 2 ist beispielhaft das Prinzip einer Grundwasser-Wasser-Wärmepumpe skizziert.

Zur Nutzung dieses Energieträgers sind ein Förderbrunnen und ein Sickerbrunnen erforderlich. Aufgrund der zeitlich nahezu konstan-

ten Wassertemperatur wird dieser Energieträger vorwiegend für monovalente Wärmepumpenanlagen genutzt, d.h., die Wärmepumpe liefert ausschließlich die für das Haus benötigte Wärmemenge [5, 6] .

3.2. Wärmepumpe für den Energieträger Oberflächenwasser

Im Gegensatz zum Grundwasser ist die Temperatur eines Oberflächenwassers nicht konstant, sondern jahreszeitabhängig. Eine wirtschaftliche Nutzung durch Wärmepumpenanlagen ist somit aufgrund thermodynamischer Gesetzmäßigkeiten nur während der wärmeren Jahreszeit möglich.

In Abb. 3 ist das Prinzip einer solchen Wärmepumpe dargestellt, die vom Aufbau der Grundwasserwärmepumpe ähnelt.

3.3. Wärmepumpe für den Energieträger Erdreich

Der Energieträger Erdreich ist ebenfalls wegen seiner zeitlich konstanten Temperatur, die nur gering von der Lufttemperatur beeinflusst wird, für den Betrieb von Wärmepumpen geeignet. Dem Erdreich wird Wärme entzogen, indem in 1-2 m Tiefe ein Rohrleitungssystem verlegt wird, welches von einem Arbeitsmittel (Kühlmittel) durchströmt wird, das die dem Erdreich entzogene Wärme aufnimmt und der Wärmepumpe zuführt. Nachteilig bei der Nutzung dieser Energieart kann das im Nahbereich der Rohrleitungen auftretende Auskühlen des Bodens für die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe sein. Auch dieser Energieträger wird vorwiegend zum Betrieb von monovalenten Wärmepumpenanlagen benutzt. Das Prinzip dieser Wärmepumpenart ist in Abb. 4 skizziert.

3.4. Wärmepumpe für den Energieträger Umgebungsluft

Die Energieentnahme aus der Umgebungsluft (Atmosphäre) ist grundsätzlich überall möglich, weil die Umgebungsluft überall und praktisch in unbegrenzter Menge zur Verfügung steht. Da mit den sinkenden Temperaturen des Energieträgers die Heizleistung einer Wärmepumpe abnimmt, der Wärmebedarf eines Gebäudes bei sinkenden Tempe-

raturen aber zunimmt, ist es wirtschaftlich nicht sinnvoll, eine Wärmepumpe, die der Atmosphäre Energie entzieht, für die ganzjährige Nutzung dieser Umweltenergieart einzusetzen. Dies gilt insbesondere für die Bundesrepublik Deutschland mit ihrem Klima. Aufgrund dieses Klimas ist es zweckmäßig, die Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer konventionellen Heizungsanlage zu kombinieren, also zu einer bivalenten Heizungsanlage zu erweitern [5, 6]. Das Prinzip der Luft-Wasser-Wärmepumpe ist in Abb. 5 wiedergegeben.

3.5. Wärmepumpen für sonstige Energieträger

Die direkte Nutzung der Sonnenenergie mittels Sonnenkollektoren in Verbindung mit Wärmepumpen ist technisch ebenfalls möglich, bei den klimatischen Verhältnissen in der Bundesrepublik Deutschland jedoch nur in den Sommermonaten wirtschaftlich zu nutzen.

Die sogenannten Energiedächer, Energiestapel oder andere Solar-energiesysteme scheinen hier günstiger zu sein. Ihr Vorteil besteht darin, daß sie auch bei trüb-dunstigem Wetter der Umwelt Wärme entziehen können.

Weiterhin kann auch die Wärmeenergie von Fortluft oder Abluft aus Gebäuden zum Betrieb von Wärmepumpen genutzt werden. So kann z.B. die Abluft aus klimatisierten oder zwangsbelüfteten Räumen (Viehställe, beheizte Räume usw.) für den Wärmepumpenbetrieb eingesetzt werden.

Den prozentualen Anteil der verschiedenen Umweltenergieträger bei der Nutzung durch Wärmepumpen zeigt die in der Abb. 6 wiedergegebene Darstellung, die der VDI 1982 veröffentlichte [1].

Hiernach ist die Wärmepumpe, die der Umgebungsluft Energie entzieht, am stärksten verbreitet, dicht gefolgt jedoch von der Wärmepumpenart, die dem Grundwasser oder dem Oberflächenwasser Energie entnimmt.

4. A r b e i t s w e i s e d e r W ä r m e p u m p e

Die Wärmepumpe ist im Prinzip eine Kompressionskälteanlage, die ebenfalls auch jeder Kühlschrank darstellt. Die Wärmepumpe hat die gleichen Bauelemente wie eine solche Kälteanlage, und zwar im wesentlichen Verdampfer, Kompressor, Kondensator und Entspannungsventil (Drosselventil).

Verdampfer und Kondensator sind von ihrer Funktion her Wärmetauscher; sie unterscheiden sich dadurch, daß das in der Wärmepumpe verwendete Arbeitsmittel (Kältemittel) im Verdampfer einen anderen Zustand hat als im Kondensator.

Abb. 7 zeigt das Schema einer solchen Kompressionswärmepumpe.

Während eine Kälteanlage die notwendige Wärme für das Verdampfen des Arbeitsmittels (Kältemittels) einem Raum, der gekühlt werden soll, entzieht, führt die Wärmepumpe einem Raum durch Verflüssigung des Arbeitsmittels (Kältemittels) Wärme zu. Der Wärmepumpenprozeß nutzt das Phänomen, daß eine Flüssigkeit, die unter hohem Druck steht, bei einer höheren Temperatur verdampft als die, die unter niedrigem Druck steht. Der Dampfdruck einer Flüssigkeit hängt sowohl vom Druck als auch von der Temperatur ab; in der Abb. 8 ist beispielhaft die Dampfdruckkurve eines bestimmten Kältemittels dargestellt [7] .

Der Darstellung in Abb. 8 ist zu entnehmen, daß bestimmte Flüssigkeiten auch noch bei niedrigen Temperaturen verdampfen können, wenn der Druck dementsprechend gering ist.

Bei Wärmepumpen wird als Arbeitsmittel üblicherweise Frigen oder Ammoniak benutzt. Im Verdampfer geht bei geringem Druck das Arbeitsmittel vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand über. Die dazu notwendige Verdampfungswärme wird den Umweltenergieträgern, z.B. dem Erdreich, dem Grundwasser oder der Atmosphäre entzogen. Durch den nachgeschalteten Kompressor wird der im Verdampfer entstandene Dampf abgesaugt, verdichtet und das Arbeitsmittel somit auf ein höheres Energieniveau gebracht. Im nachgeschalteten Kondensator (Wärmetauscher) wird bei konstantem Druck der Dampf unter Wärmeabgabe verflüssigt; das Arbeitsmittel gibt seine Wärme an das den Kondensator durchströmende Kühlwasser ab, welches Wärmeträger für die Heizungsanlage des zu beheizenden Raumes ist. Das verflüssigte, noch unter hohem Druck stehende Arbeitsmittel wird

durch ein Drosselventil auf den Ausgangsdruck entspannt, so daß erneut der Wärmepumpenkreisprozeß ablaufen kann.

5. Versuchsdurchführung

5.1. Untersuchungsmethode

Wärmepumpen haben, wie erwähnt, im wesentlichen drei geräusch- und erschütterungsemitierende Anlagenteile, die im Wohnbereich oder in der Nachbarschaft Geräusch- oder Erschütterungsimmissionen verursachen können:

den Verdichter (Kompressor),
den Antrieb des Verdichters (z.B. Elektromotor),
die Wärmetauscher mit ihren Fördermaschinen für den wärmeliefernden Energieträger (Pumpen, Ventilatoren, Gebläse).

Die Einschaltdauer einer Wärmepumpenanlage, und damit die Einschaltdauer der Anlagenteile, richtet sich nach dem Angebot und nach der Nachfrage von Wärme. Diese wärmetechnischen Fragen werden hier nicht näher untersucht. Für die Ermittlung der Geräuschimmissionen wird nur der Wärmepumpenbetrieb während der Einschaltdauer betrachtet, für die Ermittlung der Erschütterungsimmissionen wird zusätzlich zum stationären Wärmepumpenbetrieb das Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe betrachtet, da hierbei stoßartige Kräfte in das Fundament eingeleitet werden können.

Bezüglich der zu betrachtenden Immissionspunkte wird aufgrund der Wärmepumpenbauart unterschieden in:

- a) Immissionspunkte im Außenbereich des Hauses, in dem die Wärmepumpe installiert ist;
- b) Immissionspunkte in Wohnräumen des Hauses, insbesondere in den Wohnräumen, die an den Aufstellraum der Wärmepumpe angrenzen;
- c) Immissionspunkte auf Geschoßdecken, und zwar in verschiedenen Geschossen mehrgeschossiger Häuser (Erschütterungen).

Um die Untersuchungen durchführen zu können, wurden Wärmepumpenhersteller angeschrieben und gebeten, Orte installierter Wärmepumpen zu nennen.

Aus den von den Herstellern genannten Aufstellungsorten von Wärmepumpen wurden unter Berücksichtigung des Untersuchungszieles die für die Messung geeigneten Wärmepumpen ausgewählt.

Die vorzunehmenden Messungen wurden in Abhängigkeit folgender Installationsarten der Wärmepumpen aufgeteilt in:

Messungen an Innenanlagen, d.h. an Wärmepumpen, die innerhalb des Gebäudes installiert sind;

Messungen an Außenanlagen, d.h. an Wärmepumpen, die außerhalb des Gebäudes installiert sind und

Messungen an Splitanlagen, d.h. an Wärmepumpen, die teils innerhalb und teils außerhalb des Gebäudes installiert sind.

5.1.1. Geräusche

5.1.1.1. Emissionen

Zur Kennzeichnung der Geräuschemissionen wird üblicherweise der A-bewertete Schalleistungspegel L_{WA} benutzt. Nach der DIN 45635 wird der Schalleistungspegel berechnet aus dem mittleren Schalldruckpegel $\overline{L_{ASm}}$ auf einer die Maschine umschließenden Hüllfläche S ; dieser Wert wird dann addiert zum sogenannten Hüllflächenmaß

$$L_S = 10 \lg \frac{S}{S_0}$$

$$L_{WA} = \overline{L_{ASm}} + 10 \lg \frac{S}{S_0}$$

S = Hüllfläche m^2 ; $S_0 = 1 m^2$

Da an dieses Verfahren bezüglich des Aufstellraumes der Maschinen bestimmte Bedingungen hinsichtlich des Volumens und der Raumrückwirkung gestellt sind - diese Bedingungen bei den Innenanlagen wegen kleiner Kellerräume, Aufstellung der Wärmepumpe in Raumecken, nicht immer realisierbar waren - wurde in den Fällen, in denen der Schallleistungspegel nach dem Hüllflächenverfahren nicht festgestellt werden konnte, als grober Ersatz für die Emissionskennzeichnung der mittlere Schalldruckpegel im Aufstellraum der Wärmepumpe ermittelt, und zwar durch Abwedeln des Schallfeldes im Aufstellraum. Hiermit kann, bei Kenntnis der mittleren Bauschalldämmeße der Kellerwände und der Kellerdecke, näherungsweise auf die Geräuschimmissionen in angrenzenden Wohnräumen geschlossen werden.

Neben dem Schalleistungspegel L_{WA} oder dem mittleren Schalldruckpegel $\overline{L_{ASm}}$ im Aufstellraum wurde ein A-bewertetes Terzspektrum der Wärmepumpengeräusche aufgezeichnet.

5.1.1.2. Immissionen

Die Geräuschimmissionen der Wärmepumpen wurden bei Innenanlagen in den dem Aufstellraum der Wärmepumpe angrenzenden Wohnräumen und bei Außenanlagen im Einwirkungsbereich der Wärmepumpe, z.B. in 10 m Entfernung von der Wärmepumpe oder vor dem der Wärmepumpe nächstgelegenen Wohnraumfenster oder an der Grundstücksgrenze gemessen.

Als kennzeichnende Größe für die Geräuschimmission wurde wegen des zeitlich konstanten Verlaufs der Wärmepumpengeräusche, wie bei den Geräuschemissionen, die Meßwertart L_{ASm} gewählt.

Bei den Messungen in Wohnräumen wurde wegen möglicher stehender Wellen der Meßwert durch Abwedeln des Schallfeldes im Wohnraum ermittelt.

Die Messungen im Wohnraum wurden allerdings nur dann vorgenommen, wenn im Aufstellraum der Wärmepumpe (Keller) der mittlere Schalldruckpegel $L_{ASm} \geq 55$ dB war oder herausragende Einzeltöne das Wärmepumpengeräusch bestimmten.

Dieses Auswahlkriterium wurde aufgrund von Voruntersuchungen bezüglich des Meßaufwandes gewählt, da bei Schallpegeln ≤ 55 dB(A) im Aufstellraum und bei normaler Bauweise der Wohngebäude im Wohnraum im allgemeinen das Wärmepumpengeräusch nicht meßbar war.

Ebenso wie bei Geräuschemissionen wird zur Kennzeichnung der Geräuschemissionen neben dem Schalldruckpegel L_{ASm} ein A-bewertetes Terzspektrum ermittelt und aufgezeichnet.

5.1.2. Erschütterungen

5.1.2.1. Emissionen

Eine Kenngröße zur Kennzeichnung von Erschütterungsemissionen, vergleichbar mit der Schalleistung bei Geräuschemissionen, ist z. Zt. noch nicht bekannt.

Erschütterungsemissionen werden daher ersatzweise durch einen Meßwert, der am Aufstellort in einem bestimmten Abstand von der Maschine ermittelt wird, gekennzeichnet.

Zur Kennzeichnung der Erschütterungsemissionen wird hier in Anlehnung an die Vornorm DIN 4150 die Schwinggeschwindigkeit v , und zwar in den drei Schwingungsrichtungen x , y und z gewählt. Gemessen wird diese Schwinggeschwindigkeit am Aufstellort der Wärmepumpe in 0,5 m Entfernung vom Fuß der Wärmepumpe.

5.1.2.2. Immissionen

Zur Kennzeichnung der Erschütterungsimmisionen in Wohnräumen wird nach der DIN 4150 die "bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke KB" benutzt. Der KB-Wert wird berechnet aus der Schwinggeschwindigkeit v und der vorherrschenden Frequenz f der Wohnraumdeckenschwingung.

Die von den Wärmepumpen verursachten Erschütterungen wurden auf bis zu 3 Wohnraumdecken (je Stockwerk max. 2 Decken) für die drei Schwingungsrichtungen während des Ein- und Ausschaltvorganges der Wärmepumpen sowie beim stationären Betrieb gemessen.

Die Anzahl und die Lage der Meßpunkte wurde vor Ort festgelegt, wobei als Meßpunkte Punkte mit den vermutlich größten Schwinggeschwindigkeitsamplituden gewählt wurden.

5.2. Meßtermine

Die Zeitpunkte der Messungen wurden so gewählt, daß bei den Erhebungen nach Möglichkeit zwischen Nutzgeräusch (Geräusch der Wärmepumpen) und Fremdgeräuschen ein ausreichender Abstand vorhanden war. Die Messungen wurden in der ersten Hälfte des Jahres 1982 ausgeführt.

5.3. Meßgeräte

5.3.1. Geräuschmeßgeräte

Die Geräuschemissionen und -immissionen der Wärmepumpen wurden mit Schallpegelmessern, die den geltenden Vorschriften entsprechen, ermittelt.

Zusätzlich zum Schallpegelmesser wurde ein Echtzeitanalysator, Typ 1995 der Firma Gen Rad, eingesetzt, mit dem, in Verbindung mit einem X-Y-Schreiber der Firma Hewlett und Packard, das Terzspektrum aufgezeichnet wurde. Die benutzte Meßkette ist in der Abb. 9 schematisch skizziert.

5.3.2. Erschütterungsmeßgeräte

Die Erschütterungen wurden mit einer Meßeinrichtung erfaßt, die aus einer Dreikomponentenstation besteht, die die Schwinggeschwindigkeit v für die x-, y- und z-Richtung mit dem Aufnehmer HS 1 der Firma Geospace mißt. Das Meßsignal wird mit einem UV-Schreiber (Visicorder der Firma Honeywell) in Verbindung mit einem Galvanometerverstärker aufgezeichnet. Die Meßkette für die Erschütterungsmessungen ist in der Abb. 10 schematisch skizziert.

6. E r g e b n i s s e

Die LIS hat Hersteller und Vertreiber von Wärmepumpen angeschrieben und sie gebeten, Messungen an ihren Wärmepumpen vornehmen zu dürfen. Acht Firmen erlaubten der LIS, an 25 verschiedenen Wärmepumpen Geräusch- und Erschütterungsmessungen durchzuführen.

Von diesen 25 Wärmepumpenanlagen waren:

- 10 Anlagen Luft-Wasser-Wärmepumpen, die als Kompaktanlagen im Außenbereich aufgestellt waren;
- 3 Anlagen Luft-Wasser-Wärmepumpen, die als Kompaktanlagen im Innenbereich von Wohnhäusern aufgestellt waren;
- 2 Anlagen Luft-Wasser-Wärmepumpen, die als Splitanlagen aufgestellt waren, wobei der Wärmetauscher mit dem zugehörigen Ventilator im Außenbereich aufgestellt war und der Kompressor mit Kondensator im Innenbereich des Wohnhauses;
- 9 Anlagen Wasser-Wasser-Wärmepumpen, die als Kompaktanlagen im Innenbereich der Wohnhäuser aufgestellt waren;
- 1 Anlage Sole-Wasser (Energiedach)-Wärmepumpe als Kompaktanlage im Innenbereich des Wohnhauses.

6.1. Geräusch- und Erschütterungsmessungen

6.1.1. Meßbericht

Wegen der unterschiedlichen Aufstellbedingungen der einzelnen Wärmepumpen in Wohnhäusern oder im Außenbereich von Wohnhäusern, aber auch wegen der unterschiedlichen Baukonstruktion der einzelnen Wohnhäuser und der damit zusammenhängenden unterschiedlichen mittleren Bauschalldämme und Schwingungseigenschaften dieser Häuser, wurde es als zweckmäßig angesehen, die bei jeder Messung vorgefundenen Randbedingungen, die für eine Übertragung des Ergebnisses von Bedeutung sein können, in einem kurzen Meßbericht festzuhalten. Mit diesen Daten im Meßbericht über Aufstellräume, Meßpunktlage und Einzelheiten zur Meßdurchführung sind somit am ehesten die Immissionen für neu aufzustellende Wärmepumpen unter ähnlichen Randbedingungen abzuschätzen.

Nachfolgend ist daher für jede der 25 untersuchten Wärmepumpen,

an denen Geräusch- und Erschütterungsmessungen durchgeführt wurden, ein Meßbericht erstellt worden mit folgenden Angaben:

Wärmepumpenart:

Hier ist angegeben, ob eine Luft-Wasser, Wasser-Wasser, Sole-Wasser-Wärmepumpe vermessen wurde.

Heizleistung:

Angabe der max. oder Nenn-Heizleistung in Kilowatt

Aufstellort:

Hier ist angegeben, ob die Wärmepumpe innerhalb oder außerhalb des Wohnhauses aufgestellt war.

Betriebsart:

Hier ist angegeben, ob die Wärmepumpe zur Heizung alleine benutzt wurde (monovalent), mit einer (bivalent) oder mit mehreren (multivalent) Heizungsanlagen kombiniert war. Außerdem ist hier angegeben, ob es sich um eine Kompakt- oder Splitanlage handelte.

Geräusche:

Meßdurchführung und Ergebnisse; Emissionen:

Hier sind die Art der Meßwertermittlung genannt und der zur Kennzeichnung der Geräuschemissionen ermittelte Schallpegel.

Meßdurchführung und Ergebnisse; Immissionen:

Hier sind die Art der Meßwerterfassung und der zur Kennzeichnung der Geräuschimmissionen ermittelte Schallpegel angegeben.

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:

Hier sind die erkennbaren Minderungsmaßnahmen, die vom Hersteller an der Wärmepumpe angebracht wurden, aufgeführt.

Erschütterungen:

Meßdurchführung und Ergebnis; Erschütterungen am Aufstellort:
Die Schwinggeschwindigkeit v in x-, y- und z-Richtung am Aufstellort der Wärmepumpe ist hier aufgeführt.

Meßdurchführung und Ergebnis der Erschütterungen am Immissionsort:

Hier sind die Art der Meßwerterfassung und die Schwinggeschwindigkeiten am Immissionsort aufgelistet.

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:

Hier sind wie bei den Geräuschen die vom Hersteller vorgesehenen Minderungsmaßnahmen an der Wärmepumpe aufgeführt.

Nachträgliche vorgenommene Minderungsmaßnahmen:

Wenn aufgrund der vorgenommenen Messungen festgestellt wurde, daß durch einfache Maßnahmen die Emissionen zu vermindern waren, so wurden diese Maßnahmen durchgeführt und die Wirksamkeit dieser Maßnahmen ermittelt.

Die einzelnen Meßberichte sind als Anhang diesem Untersuchungsbericht beigelegt.

6.2. Zusammenfassung der Meßergebnisse

6.2.1. Geräuschemissionen

Um einen Überblick über die von Wärmepumpen verschiedener Art verursachten Geräusche zu bekommen, ist der gemessene Schalldruckpegel und daraus abgeleitet der Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Heizleistung in Diagrammform dargestellt.

In der Abbildung 11 ist für die Wärmepumpenart "Luft-Wasser-Wärmepumpe", und zwar für den Anlagenteil, der außerhalb des Wohnhauses aufgestellt war, der arithmetische Mittelwert des Schalldruckpegels L_{ASm} , der in 1 m Abstand von den Begrenzungsflächen dieses Wärmepumpen-Anlagenteils gemessen wurde, in Abhängigkeit von der Nennheizleistung aufgetragen.

Der Abbildung ist zu entnehmen, daß bei den untersuchten Luft-Wasser-Wärmepumpen bis 30 kW Heizleistung der Mittelwert der Schalldruckpegel nur in geringem Maße von der Heizleistung abhängt. So wurde z.B. festgestellt, daß eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 5,8 kW genau so laut war wie eine Wärmepumpe mit 24 kW Heizleistung. Festgestellt wurde ebenfalls bei den

Messungen, daß Wärmepumpen gleichen Typs eines Herstellers unterschiedlich stark Geräusche emittieren. Zwei Wärmepumpen gleicher Heizleistung des gleichen Herstellers an vergleichbaren Aufstellorten hatten Unterschiede im mittleren Schalldruckpegel von 4 dB(A). Diese Pegelunterschiede waren allerdings häufig auf unterschiedliche Montage und Wartungszustände der Wärmepumpen wie z.B. schleifende Ventilatoren, nicht funktionsfähige Dämpfungselemente oder auf klappernde Bleche des Gehäuses zurückzuführen.

Für den Immissionsschutz ist beachtenswert, daß die außerhalb der Wohngebäude installierten Anlagenteile der Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht von allen Flächen gleich stark emittieren, sondern stark und weniger stark emittierende Flächen besitzen. Dies ist konstruktiv bedingt, da der als Luft-Wasser-Wärmetauscher ausgelegte Anlagenteil an einer Fläche Luft ansaugt, die Luftwärme tauscht und die Luft an einer anderen Fläche wieder abbläst. Diese beiden Flächen emittieren stärker, so daß Pegelunterschiede zwischen "lauten" und "leisen" Flächen von bis zu 8 dB(A) im Abstand von 1 m festgestellt wurden.

Die Spannweite der an außen stehenden Anlagenteilen ermittelten Schallpegel vor den "lauten" und "leisen" Flächen dieser Anlagenteile, ist aus Abbildung 12 zu entnehmen. Hiernach wurden sowohl Schalldruckpegel von $L_{ASm} = 52$ dB, aber auch Schalldruckpegel von $L_{ASm} = 72$ dB festgestellt.

Um Anhaltswerte über die von Luft-Wasser-Wärmepumpen erzeugten Schalleistungen zu bekommen, und zwar für den im Außenbereich der Wohnhäuser aufgestellten Anlagenteil, wurde der Schalleistungspegel L_{WA} nach dem Hüllflächenverfahren ermittelt. In Abbildung 13 sind in Abhängigkeit von der Heizleistung die Schalleistungspegel dargestellt. Das Diagramm zeigt für den Heizleistungsbereich 10 bis 30 kW Schalleistungspegel L_{WA} zwischen 70 und 85 dB, wobei jedoch zu beachten ist, daß die Heizleistung der Wärmepumpen für 1- und 2-Familienhäuser üblicherweise zwischen 10 und 15 kW liegt und somit für diesen Bereich die Mehrzahl der Meßwerte vorliegen; der Bereich zwischen 15 und 30 kW ist jedoch nur mit zwei Meßwerten belegt, so daß für diesen Heizleistungsbereich keine sicheren Angaben zu machen sind.

Für die Wasser-Wasser-Wärmepumpen, die als Kompaktanlagen überwiegend innerhalb der Wohngebäude (Keller) stehen, sind in Abbildung 14 die im Aufstellraum der Wärmepumpe ermittelten mittleren

Schalldruckpegel \overline{L}_{ASm} wiedergegeben.

Die Heizleistung der untersuchten Wasser-Wasser-Wärmepumpen umfaßte den Bereich von 6,8 kW bis 82 kW Heizleistung, wobei die Anlage mit 82 kW Heizleistung nicht für das Beheizen eines Wohnhauses benutzt wurde, sondern zum Heizen eines Tierstalles.

Auch bei dieser Wärmepumpenart scheint der von der Anlage erzeugte mittlere Schalldruckpegel nur gering von der Heizleistung abzuhängen. Die Werte der Schalldruckpegel in den Aufstellräumen der Wärmepumpe unterschiedlicher Leistung liegen zwischen 58 und 70 dB(A).

Lediglich zwei Wärmepumpen kleiner Leistung (etwa 10 kW) lagen hier deutlich unter 60 dB(A). Auch hier wurden Unterschiede der Geräuschemissionen zwischen Wärmepumpen gleichen Typs vom gleichen Hersteller festgestellt. In einem Fall, bei dem drei Wärmepumpen des gleichen Typs im selben Raum aufgestellt waren, wurde zwischen der lautesten und der leisesten Anlage eine Pegeldifferenz von 12 dB(A) festgestellt. Als vermutliche Ursache dieser Differenz wurden unterschiedlich starke Emissionen des Wärmepumpenbauelementes Kompressor genannt.

6.2.2. Geräuschemissionen

Zur Diskussion der Geräuschemissionen von Wärmepumpen ist es zweckmäßig, Wasser-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen getrennt zu betrachten, da Wasser-Wasser-Wärmepumpen, wie erwähnt, als Kompaktanlagen überwiegend im Innenbereich von Gebäuden installiert sind (Kellerräume) und Immissionen daher vorwiegend innerhalb desselben Gebäudes zu beachten sind. Luft-Wasser-Wärmepumpen als Kompaktanlagen oder auch der geräuschintensivere Teil der Splitanlage sind dagegen fast immer im Außenbereich aufgestellt, so daß auch Geräuschemissionen dieser Anlagen in der Nachbarschaft zu beachten sind.

Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, wurden in den Aufstellräumen von Wasser-Wasser-Wärmepumpen mittlere Schalldruckpegel zwischen 58 und 70 dB(A) gemessen. In den Wohnräumen, die an Aufstellräume angrenzten, wurden mittlere Schalldruckpegel bis zu 42 dB(A) festgestellt. Dieser höchste gemessene Wert von 42 dB(A) wurde nun

nicht vom höchsten Emissionswert verursacht, sondern dieser Wert wurde bei einem Emissionspegel von 60 dB(A) gemessen. In einem anderen Fall, bei gleichem Emissionspegel von 60 dB(A) im Aufstellraum, wurde im darüberliegenden Wohnraum nur ein Schallpegel von 29 dB(A) gemessen. Diese Differenz zwischen Aufstellraum und Wohnraum ist stark von der Baustruktur des Hauses, wie auch von der sorgfältigen Installation der Wärmepumpe und der Führung des Rohrleitungssystems hinsichtlich der Übertragung von Körperschall abhängig.

Abgesehen von diesem hier geschilderten Fall, bei dem zwischen Aufstellraum der Wärmepumpe und Wohnraum nur eine mittlere Pegelminderung von 18 dB(A) auftrat, haben die übrigen Meßergebnisse im Mittel eine Pegeldifferenz von etwa 30 dB(A) zwischen Aufstellraum und angrenzendem Wohnraum ergeben. Für Wasser-Wasser-Wärmepumpen mit Heizleistungen zwischen 12 und 46 kW, die als Kompaktanlagen in Kellerräumen aufgestellt sind und bei deren Installation keine groben Einbaufehler vorliegen, ist aufgrund der Messungen anzunehmen, daß in den angrenzenden Wohnräumen Geräuschimmissionswerte von $L_{ASm} = 35$ dB(A) nicht überschritten werden.

Damit ist auch anzunehmen, daß der in der VDI-Richtlinie 2058 genannte Immissionsrichtwert für Wohnräume während der Tageszeit von 35 dB(A), insbesondere unter der Annahme, die Wärmepumpe ist nicht während der 16 Tagesstunden (6.00 bis 22.00 Uhr) dauernd in Betrieb, einzuhalten ist.

Der Immissionsrichtwert nach der VDI 2058 von 25 dB(A) für die Nachtzeit wird dagegen - falls die Wärmepumpe in der Nacht betrieben wird - ohne besondere Schallschutzmaßnahmen bei der Installation und Verlegung des Rohrleitungssystems nicht in jedem Fall einzuhalten sein, vor allem deshalb nicht, weil das Wärmepumpengeräusch Einzeltöne enthält (die Terzen mit den Mittenfrequenzen 50, 100, 250, 500 Hz ragen häufig mehr als 10 dB über die benachbarten Terzen hinaus), die einen Einzeltonzuschlag bis zu 5 dB rechtfertigen.

Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Heizleistungen zwischen 6 und 28 kW, die als Kompaktanlagen im Außenbereich aufgestellt waren, wurden in Abständen zwischen 4 und 11 m - Abstände entweder zwischen Aufstellort der Wärmepumpe und Grundstücksgrenze oder zwischen Aufstellort und schutzwürdigem Immissionspunkt (z.B. Fen-

ster) -, Geräuschemissionswerte von $L_{ASm} = 42$ bis 58 dB gemessen.

Die Geräuschemissionen der Wärmepumpen dieses Heizleistungsreiches streuen stark wegen der unterschiedlichen Emissionen aber auch zusätzlich wegen der nicht gleichen Ausbreitungsbedingungen. So wurden in 10 m Abstand sowohl L_{ASm} -Werte von 58 aber auch von 48 dB(A) festgestellt. Zieht man hier zur Beurteilung der von Wärmepumpen verursachten Geräuschemissionen die in der VDI 2058 genannten Immissionsrichtwerte "außen" heran, so ist aufgrund der Messungen anzunehmen, daß Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Heizleistungen zwischen 6 und 28 kW während der Tageszeit - vorausgesetzt die Wärmepumpe ist nicht dauernd in Betrieb, sondern etwa 4 Stunden während der Tageszeit eingeschaltet - den Immissionsrichtwert von 50 dB(A) für "Reine Wohngebiete" einhalten, wenn sie etwa 20 m vom zu schützenden Immissionspunkt aufgestellt werden können. Bei geringeren vorhandenen Abständen in "Reinen Wohngebieten" sollte der Aufstellort der Wärmepumpe sorgfältig aufgrund der Schalleistung der Wärmepumpe und der Lage der Ansaug- und Ausblasöffnungen des Wärmepumpen-Wärmetauschers gewählt werden.

Wird die Luft-Wasser-Wärmepumpe auch während der Nachtzeit betrieben, so ist auch in Abständen größer 20 m zwischen Aufstellort und Immissionspunkt, je nach Schalleistung der Wärmepumpe, mit Überschreitungen des Richtwertes (35 dB(A)) zu rechnen. Minderungsmaßnahmen an der Wärmepumpe oder auf dem Ausbreitungsweg (Kapselungen, Abschirmwände) sind in diesem Falle notwendig.

6.2.3. Erschütterungen

Für die Erschütterungsemissionen der in Wohnhäusern installierten Wasser-Wasser-Wärmepumpen mit Heizleistungen zwischen 12 und 46 kW, gekennzeichnet durch die Schwinggeschwindigkeit v der Aufstellfläche in 0,5 m Abstand von der Wärmepumpe, wurden Werte von $\hat{v} = 0,02$ bis 0,10 mm/s gemessen.

An den im Außenbereich der Wohnhäuser aufgestellten Luft-Wasser-Wärmepumpen, die teilweise auf gewachsenem Boden, teilweise auf kleinen Fundamenten standen, waren in 6 von 17 Fällen keine Erschütterungen in 0,5 m Abstand von der Wärmepumpe wahrnehmbar.

In den übrigen Fällen, also bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Heizleistungen von 6 bis 28 kW, wurden Schwinggeschwindigkeiten von $\hat{v} = 0,01$ bis $0,4$ mm/s in $0,5$ m Abstand von der Wärmepumpe gemessen.

Erschütterungsimmissionen, also Erschütterungen der Wohnraumdecken oberhalb der Aufstellorte von Wärmepumpen in Kellern bzw. von Wohnraumdecken der Häuser, in deren Außenbereich die Wärmepumpen standen, waren - stationärer Betrieb der Wärmepumpen vorausgesetzt - sowohl bei den Wasser-Wasser-Wärmepumpen wie auch bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht wahrnehmbar und wurden meßtechnisch nicht erfaßt.

Lediglich auf einer Badezimmerdecke - das Badezimmer lag unmittelbar neben der im Außenbereich aufgestellten Wärmepumpe - wurden Schwinggeschwindigkeiten von $\hat{v}_z = 0,22$ mm/s gemessen. Unter Anwendung des in der DIN 4150 zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen vorgeschriebenen Verfahrens zur KB-Wert-Bestimmung ergibt sich hier ein KB-Wert von $0,02$. Zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen wird in dieser Norm empfohlen, daß in Wohnräumen von Gebäuden, die in "Reinen Wohngebieten" liegen, KB-Werte von $0,2$ während der Tageszeit und von $0,15$ während der Nachtzeit für dauernd auftretende und für mit Unterbrechung auftretende Erschütterungen einzuhalten sind. Der ermittelte KB-Wert ist um den Faktor 10 kleiner als der nach der Norm zulässige KB-Wert. Aufgrund der Untersuchung ist anzunehmen, daß bei stationärem Betrieb der Wärmepumpen diese empfohlenen KB-Werte eingehalten werden.

Selten auftretende Erschütterungen sollen nach dieser Norm einen KB-Wert von 4 während der Tageszeit und einen KB-Wert von $0,15$ während der Nachtzeit auf Wohnraumdecken in Wohnungen des "Reinen und Allgemeinen Wohngebietes" einhalten. Da bei Erschütterungen das Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe bezüglich der KB-Werte von Einfluß sein kann, wurden die Ein- und Ausschaltvorgänge gemessen. In Abbildung 15 ist beispielhaft die Schwinggeschwindigkeit beim Ein- und Ausschalten einer Luft-Wasser-Wärmepumpe dargestellt, und zwar die Schwinggeschwindigkeit v der drei Schwingrichtungen des Kellerbodens (Aufstellort) und der Wohnraumdecke.

Aus der Abbildung 15 ist deutlich das Ein- und Ausschalten im zeitlichen Verlauf der Schwinggeschwindigkeit v zu erkennen. Die Werte

des Ein- und Ausschaltvorganges liegen etwa um den Faktor 10 höher als beim stationären Betrieb der Wärmepumpe.

Die aus den maximalen Schwinggeschwindigkeiten v und der vorherrschenden Frequenz f nach der DIN 4150 errechneten KB-Werte liegen hier bei $KB = 0,25$ und sind damit deutlich kleiner als die in der Norm für die Tageszeit genannten Anhaltswerte von $KB = 4$, die in Wohnungen nicht überschritten werden sollten.

Wird die Wärmepumpe dagegen auch während der Nachtzeit betrieben, so wird der hierfür in der Norm genannte Anhaltswert von $KB = 0,15$ durch den Einschaltstoß überschritten. Bei Nachtbetrieb von Wärmepumpen ist daher der Einschaltvorgang der Wärmepumpe besonders zu beachten.

7. M i n d e r u n g s m a ß n a h m e n

Von Wärmepumpen, die in Wohngebäuden installiert sind - überwiegend Kompaktanlagen der Wasser-Wasser-Wärmepumpen bzw. ein Anlagenteil der Splitanlagen von Luft-Wasser-Wärmepumpen -, wird in die angrenzenden Wohnräume Schall auf dem Luftschallweg, auf dem Körperschallweg und auch über das Arbeitsmittel und Heizwasser übertragen.

Erschütterungen werden im wesentlichen durch Einleiten von Kräften und Momenten in die Aufstellfläche der Wärmepumpe und von dort über die Baustruktur des Gebäudes in die Wohnraumdecken geleitet.

Alle Maßnahmen zur Minderung der Geräusche und Erschütterungen in den Wohnräumen müssen daher darauf ausgerichtet sein, falls die Emission selbst nicht verringert werden kann, die Ausbreitung des Schalls bzw. die Ausbreitung der Erschütterungen zu behindern.

Die Emission einer Wärmepumpe ist im allgemeinen bei der Installation nicht mehr zu verringern, da hierzu im allgemeinen konstruktive Änderungen notwendig sind. Trotzdem sind gelegentlich durch mangelnde Montagesorgfalt oder durch defekte Schwingungsisoliererelemente in der Wärmepumpenanlage erhöhte Emissionswerte durch "klappernde" Verkleidungsbleche, Bauelemente oder Rahmentteile zu beobachten.

Bei einigen Wärmepumpen konnte durch Abstellen dieses nicht einer sachgerechten Montage entsprechenden "Klappereffektes" Pegelmininderungen bis zu 3 dB erreicht werden.

Wirksame Maßnahmen zur Luftschalldämpfung und -dämmung wie z.B. Kapseln für die Wärmepumpe, schallabsorbierende Auskleidung des Aufstellraumes, sind in der VDI-Richtlinie 2711 und in der VDI-Richtlinie 2715 ausführlich beschrieben [8, 9]. Diese zur Behinderung der Luftschallausbreitung wirksamen Maßnahmen waren allerdings bei den untersuchten Wärmepumpeninstallationen in keinem Fall vorhanden.

Maßnahmen zur Körperschalldämpfung konnten dagegen bei allen untersuchten Wärmepumpenanlagen beobachtet werden. So waren die Anlagen überwiegend auf körperschallisolierenden Matten (1,5 bis 5 cm starke Gummi- oder Korkmatten), teilweise in Verbindung

mit einem gesonderten Fundament oder auf Schwingungsisoliererelementen aufgestellt, die gleichzeitig eine Maßnahme (allerdings nur geringer Wirksamkeit) zur Behinderung der Erschütterungsausbreitung darstellten.

Ebenfalls waren die Rohrleitungen in den meisten Fällen elastisch aufgehängt und die Führung der Rohrleitungen durch Wände war so, daß sich zwischen Wand und Rohr elastische Zwischenlagen befanden.

Zur Behinderung der Körperschallausbreitung in den Rohren war häufig ein Kompensator (Gummibalg oder Gummischlauch) eingebaut, der eine wirksame Minderungsmaßnahme darstellt (siehe auch VDI 3727 [10]).

Maßnahmen zur Minderung des Flüssigkeitsschalls in strömenden Medien wurden bei keiner Wärmepumpe zu Beginn der Messungen festgestellt. Nur bei einer Anlage, bei der im Wohnraum ein Pegel von 39 dB(A) festgestellt wurde - die Anlage hatte aufgrund der Fußbodenheizung kein zusätzliches Speichervolumen zwischen Wärmepumpe und Heizungssystem -, wurde nachträglich ein Flüssigkeitsschalldämpfer eingebaut, der eine Minderung des Mittelungspegels im Wohnraum um 7 dB(A) und in der vorherrschenden Terz von 11 dB brachte (siehe Meßbericht Nr. 3).

An den im Außenwohnbereich aufgestellten Anlagenteilen von Wärmepumpen wurden Schallschirme oder Teilkapseln als Minderungsmaßnahmen eingesetzt. Teilkapseln reichen häufig aus, da im Umfeld der Wärmepumpe nicht alle Bereiche schutzbedürftig sind und in diese Bereiche die Ansaug- oder Ausblasöffnungen der Luftführungen von Luft-Wasser-Wärmepumpen Geräusche emittieren können. Sind allerdings diese unempfindlichen Bereiche im Umfeld der Wärmepumpen nicht vorhanden, so müssen auch Ansaug- und Ausblasöffnungen in ihren Emissionen begrenzt, eventuell mit Schalldämpfern versehen werden.

S c h r i f t t u m

- [1] VDI-Nachrichten Nr. 25, 18.06.1982.
- [2] DIN 45635; Blatt 1:
Geräuschemessungen an Maschinen
(Januar 1972).
- [3] VDI-Richtlinie 2058, Blatt 1:
Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft
(Juni 1973).
- [4] Vornorm DIN 4150, Teil 2:
Erschütterungen im Bauwesen;
Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.
(1975).
- [5] RWE Bau-Handbuch Technischer Ausbau.
Hrsg.: Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG.
Energie-Verlag GmbH, Heidelberg 1981/82.
- [6] RINCK, Th., R. RITZERFELD, P. STUCH u. K. WIENAND:
RWE-Anwendungstechnik
Wärmepumpeninstallation, Ausg. Sept. 1981.
Energie-Verlag GmbH, Heidelberg.
- [7] KIRN, H. u. A. HADENFELD:
Wärmepumpen, 5. Auflage, Band I u. II;
CF Müller-Verlag, Karlsruhe 1980.
- [8] VDI-Richtlinie 2711:
Schallschutz durch Kapselung
(Juni 1978).

- [9] VDI-Richtlinie 2715 (Entwurf):
Lärminderung an Wärmepumpen und Heißwasser-
Heizungsanlagen
(Juni 1974).
- [10] VDI-Richtlinie 3727, Blatt 2 (Entwurf):
Schallschutz durch Körperschalldämpfung
(Februar 1982).

A n h a n g

(Meßberichte und Abbildungen)

MESSBERICHT NR. 1

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 246 kW max (3 W Pumpen zu je 82 kW)
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : multivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Aufstellraumes, mittlerer
 Schalldruckpegel:
 WP 1: $L_{ASm} = 58,5$ dB
 WP 2: $L_{ASm} = 59,5$ dB
 WP 3: $L_{ASm} = 70,5$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche außerhalb des Aufstell-
 raumes wegen des vorhandenen hohen Hinter-
 grundpegels nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 44$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung bei Inbetrieb-
 nahme der einzelnen Wärmepumpen
 (siehe Seite 39)

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstellraumes
 nicht meßbar.

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 Feststellen der Wärmepumpentüren;
 Festschrauben der Verkleidungsbleche;
 Minderung: $\Delta L = 2,5$ dB(A)

MESSBERICHT NR. 1

ErschütterungenErgebnis: EmissionsmessungWärmepumpe 1, Ausschaltvorgang

MP 1: $\hat{v}_z = 0,12 \text{ mm/s}; f_z > 50 \text{ Hz}$	MP 2: $\hat{v}_z = 0,16 \text{ mm/s}; f_z > 50 \text{ Hz}$
$\hat{v}_x = 0,21 \text{ mm/s}; f_x > 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_x = 0,21 \text{ mm/s}; f_x > 50 \text{ Hz}$
$\hat{v}_y = 0,22 \text{ mm/s}; f_y > 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_y = 0,25 \text{ mm/s}; f_y > 50 \text{ Hz}$

Wärmepumpe 2, Einschaltvorgang

MP 1: $\hat{v}_z = 0,44 \text{ mm/s}; f_z > 100 \text{ Hz}$	MP 2: $\hat{v}_z = 0,30 \text{ mm/s}; f_z \approx 70 \text{ Hz}$
$\hat{v}_x = 0,15 \text{ mm/s}; f_x \approx 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_x = 0,04 \text{ mm/s}; f_x \approx 50 \text{ Hz}$
$\hat{v}_y = 0,45 \text{ mm/s}; f_y \approx 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_y = 0,11 \text{ mm/s}; f_y = 25 \text{ Hz}$

Wärmepumpe 3, Einschaltvorgang

MP 3: $\hat{v}_z = 0,38 \text{ mm/s}; f_z \approx 100 \text{ Hz}$	MP 4: $\hat{v}_z = 0,24 \text{ mm/s}; f_z \approx 100 \text{ Hz}$
$\hat{v}_x = 0,25 \text{ mm/s}; f_x > 100 \text{ Hz}$	$\hat{v}_x = 0,06 \text{ mm/s}; f_x > 100 \text{ Hz}$
$\hat{v}_y = 0,31 \text{ mm/s}; f_y > 100 \text{ Hz}$	$\hat{v}_y = 0,06 \text{ mm/s}; f_y > 100 \text{ Hz}$

MESSBERICHT NR. 2

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 71 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Raum;
 mittlerer Schalldruckpegel: $L_{ASm} = 66$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusch wegen des vorhandenen
 Hintergrundpegels nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 38$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung vor der Pumpe:
 $\hat{v}_z = 0,06$ mm/s; $f_z = 25$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,03$ mm/s; $f_x \approx 100$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,04$ mm/s; $f_y \approx 100$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstell-
 raumes nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe auf 3 cm dicker Gummimatte
 aufgestellt

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 Feststellen der Türen;
 Festschrauben der Blechverkleidung;
 Minderung: $\Delta L = 3$ dB(A)

MESSBERICHT NR. 1

Erschütterungen

Ergebnis: Emissionsmessung

Wärmepumpe 1, Ausschaltvorgang

MP 1: $\hat{v}_z = 0,12 \text{ mm/s}; f_z > 50 \text{ Hz}$	MP 2: $\hat{v}_z = 0,16 \text{ mm/s}; f_z > 50 \text{ Hz}$
$\hat{v}_x = 0,21 \text{ mm/s}; f_x > 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_x = 0,21 \text{ mm/s}; f_x > 50 \text{ Hz}$
$\hat{v}_y = 0,22 \text{ mm/s}; f_y > 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_y = 0,25 \text{ mm/s}; f_y > 50 \text{ Hz}$

Wärmepumpe 2, Einschaltvorgang

MP 1: $\hat{v}_z = 0,44 \text{ mm/s}; f_z > 100 \text{ Hz}$	MP 2: $\hat{v}_z = 0,30 \text{ mm/s}; f_z \approx 70 \text{ Hz}$
$\hat{v}_x = 0,15 \text{ mm/s}; f_x \approx 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_x = 0,04 \text{ mm/s}; f_x \approx 50 \text{ Hz}$
$\hat{v}_y = 0,45 \text{ mm/s}; f_y \approx 50 \text{ Hz}$	$\hat{v}_y = 0,11 \text{ mm/s}; f_y = 25 \text{ Hz}$

Wärmepumpe 3, Einschaltvorgang

MP 3: $\hat{v}_z = 0,38 \text{ mm/s}; f_z \approx 100 \text{ Hz}$	MP 4: $\hat{v}_z = 0,24 \text{ mm/s}; f_z \approx 100 \text{ Hz}$
$\hat{v}_x = 0,25 \text{ mm/s}; f_x > 100 \text{ Hz}$	$\hat{v}_x = 0,06 \text{ mm/s}; f_x > 100 \text{ Hz}$
$\hat{v}_y = 0,31 \text{ mm/s}; f_y > 100 \text{ Hz}$	$\hat{v}_y = 0,06 \text{ mm/s}; f_y > 100 \text{ Hz}$

MESSBERICHT NR. 2

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 71 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Raum;
 mittlerer Schalldruckpegel: $L_{ASm} = 66$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusch wegen des vorhandenen
 Hintergrundpegels nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 38$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

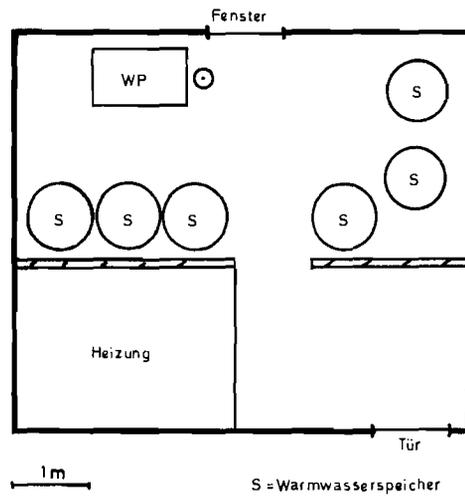
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung vor der Pumpe:
 $\hat{v}_z = 0,06$ mm/s; $f_z = 25$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,03$ mm/s; $f_x \approx 100$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,04$ mm/s; $f_y \approx 100$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstell-
 raumes nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe auf 3 cm dicker Gummimatte
 aufgestellt

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 Feststellen der Türen;
 Festschrauben der Blechverkleidung;
 Minderung: $\Delta L = 3$ dB(A)

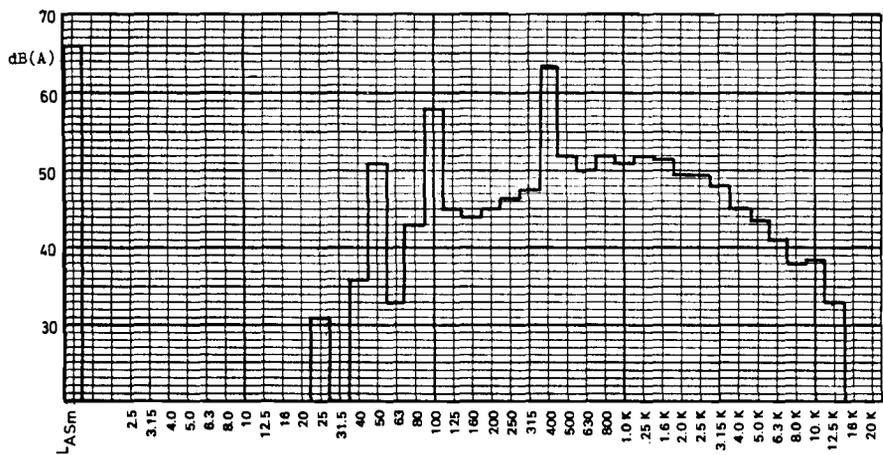
MESSBERICHT NR. 2



Messpunkte:

⊙ Erschütterungen

Aufstellraum der WP : Keller



Abwedeln des Raumes

Terz-Mittelfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 3

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 46 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Raum;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 60$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Abwedeln des Kinderzimmers im 1. Obergeschoß;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 32$ dB
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 25$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

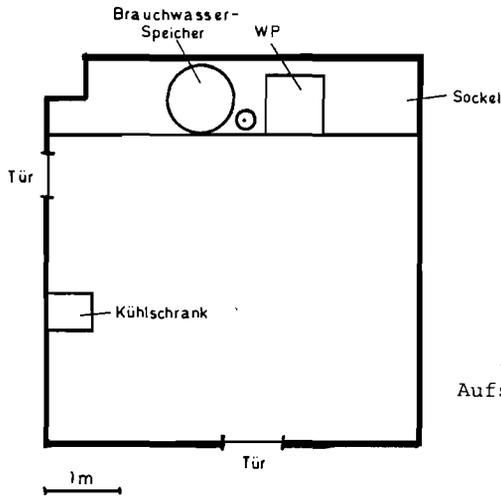
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung
 $\hat{v}_z = 0,02$ mm/s; $f_z = 10$ Hz
 $\hat{v}_x < 0,01$ mm/s; $f_x = 10$ Hz
 $\hat{v}_y < 0,01$ mm/s; $f_y = 10$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstell-
 raumes nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 separates Fundament, 4 cm Federblech,
 sowie 1,5 cm dicke Gummimatte

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 Ankopplung der Heizungsrohre über Kompen-
 satoren und Einbau eines Flüssigkeitsschall-
 dämpfers
 Minderung: $\Delta L = 7$ dB(A)

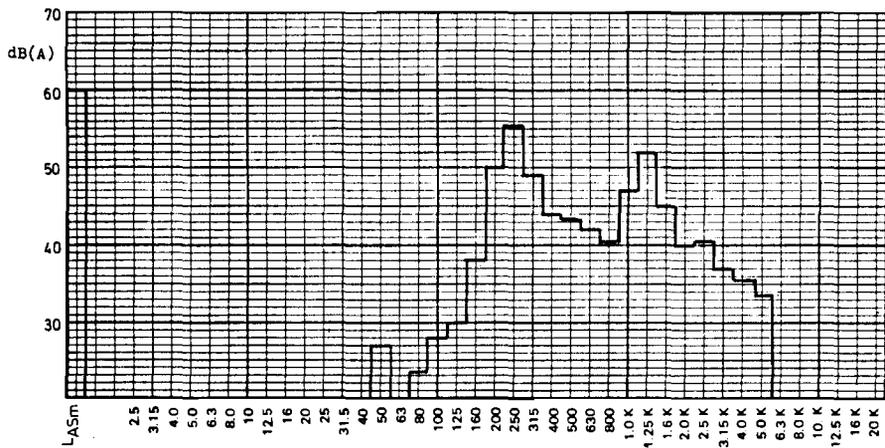
MESSBERICHT NR. 3



Aufstellraum der WP : Keller

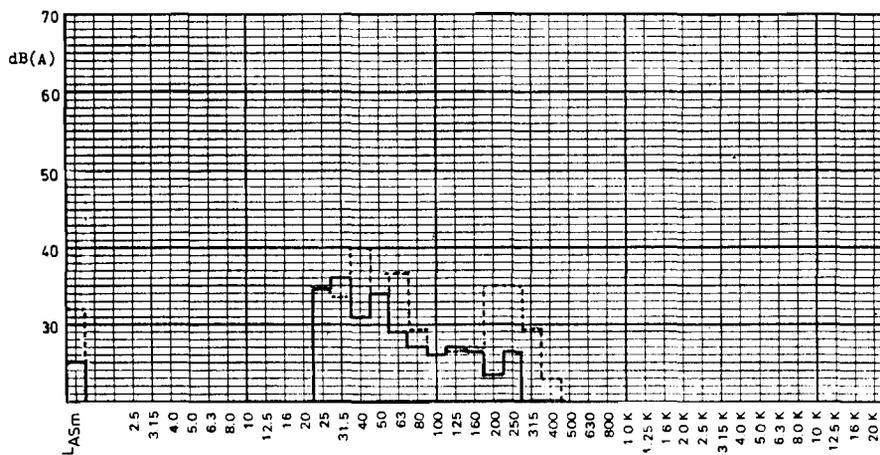
Messpunkte:

⊙ Erschütterungen



Abwedeln des Kellerraumes

Terz-Mittelfrequenzen(Hz)



Abwedeln des Kinderzimmers

Terz-Mittelfrequenzen(Hz)

----- Ausgangszustand
 ————— mit Minderung

MESSBERICHT NR. 4

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
Heizleistung : 38,4 kW max
Aufstellort : innen
Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 62$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
Messen des Schalldruckpegels im Wohnzimmer
über dem Keller; Wohnraummitte;
mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 29$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
keine

Erschütterungen

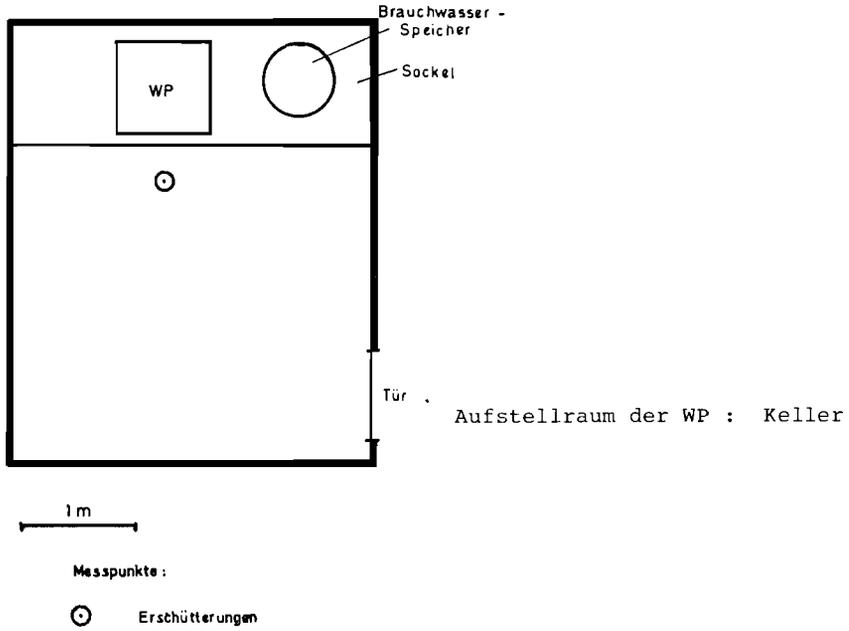
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
Schwinggeschwindigkeitsmessung wurde nicht
durchgeführt, da Erschütterungen nicht wahr-
nehmbar waren.

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
Schwinggeschwindigkeitsmessung wurde nicht
durchgeführt, da Erschütterungen nicht wahr-
nehmbar waren.

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
5 cm dicke Korkmatte

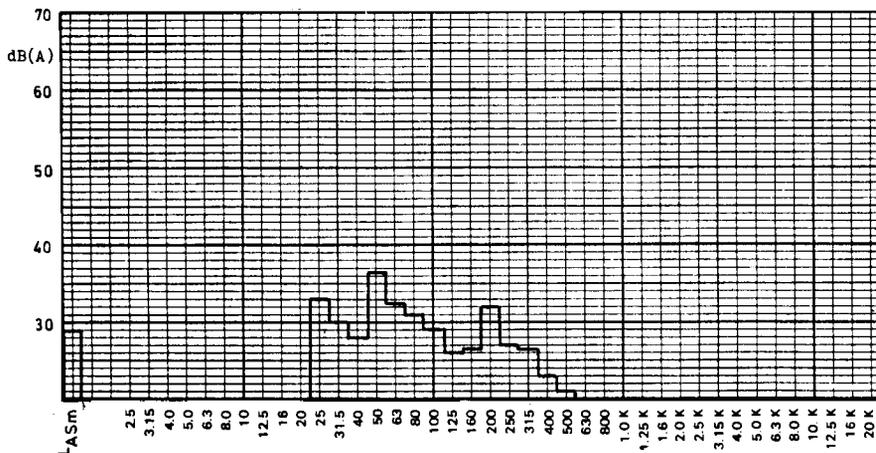
Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
keine

MESSBERICHT NR. 4



Abwedeln des Kellers

Terz-Mittelfrequenzen(Hz)



Eßzimmer über dem Keller

MESSBERICHT NR. 5

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 38,4 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 62$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche außerhalb des Aufstell-
 raumes wegen des vorhandenen Hintergrundpegels
 nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 26$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

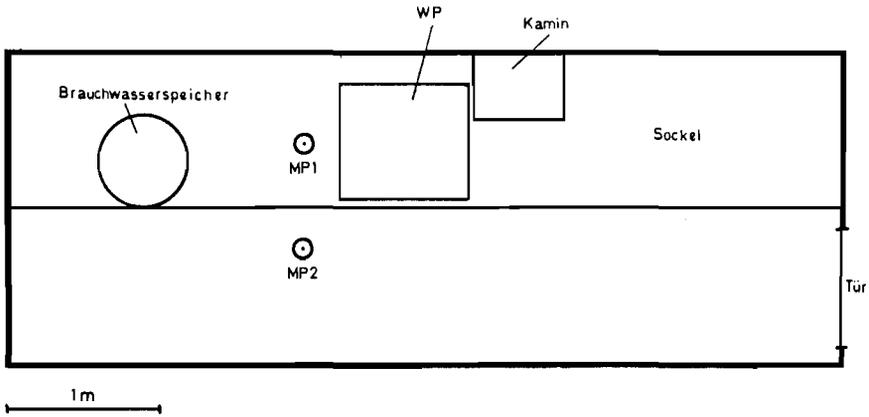
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwingungsgeschwindigkeitsmessung
 MP 1: $\hat{v}_z \approx 0,05$ mm/s MP 2: $\hat{v}_z \approx 0,03$ mm/s
 $\hat{v}_x \approx 0,05$ mm/s $\hat{v}_x \approx 0,03$ mm/s
 $\hat{v}_y \approx 0,05$ mm/s $\hat{v}_y \approx 0,03$ mm/s
 $f_{z,x,y}$ nicht auswertbar

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstellraumes
 nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe ist auf 3 cm dicker Gummimatte
 aufgestellt

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

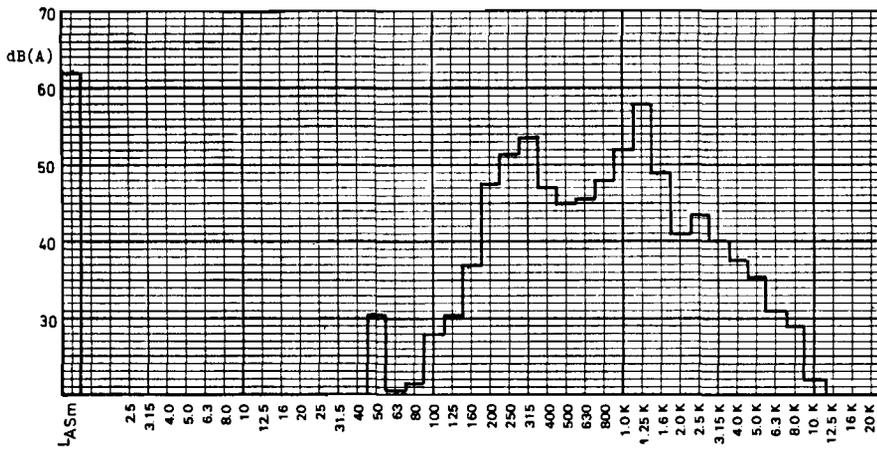
MESSBERICHT NR. 5



Messpunkte:

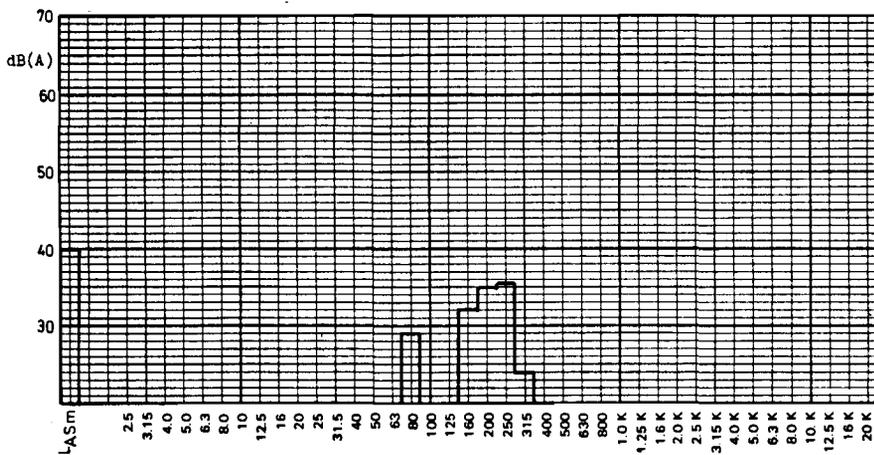
Aufstellraum der WP : Keller

⊙ Erschütterungen



Keller abgewandelt

Terz-Mittelfrequenz(Hz)



Messpunkt in der Küche über dem Keller

Terz-Mittelfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 6

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 36,1 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $L_{ASm} = 65$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels in der Küche
 über dem Keller; Raummitte;
 mittlerer Schalldruckpegel: $L_{ASm} = 40$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung

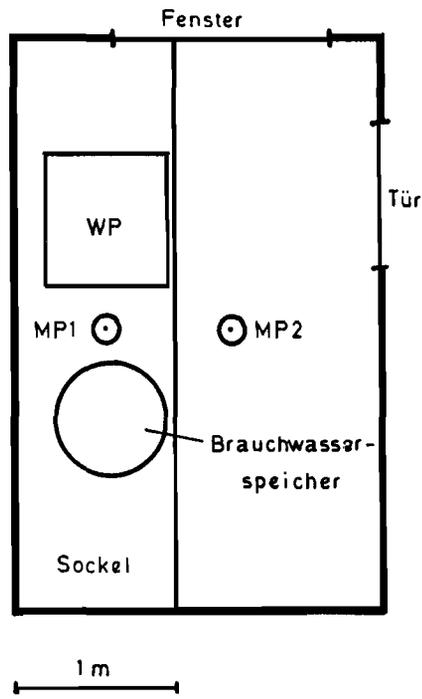
MP 1: $\hat{v}_z = 0,05$ mm/s	MP 2: $\hat{v}_z = 0,04$ mm/s
$\hat{v}_x = 0,01$ mm/s	$\hat{v}_x < 0,01$ mm/s
$\hat{v}_y = 0,02$ mm/s	$\hat{v}_y < 0,01$ mm/s
$f_z \approx 70$ Hz	$f_z \approx 70$ Hz
$f_x \approx 70$ Hz	$f_x \approx 70$ Hz
$f_y \approx 70$ Hz	$f_y \approx 70$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstellraumes
 nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe auf 3 cm dicker Gummimatte
 aufgestellt

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

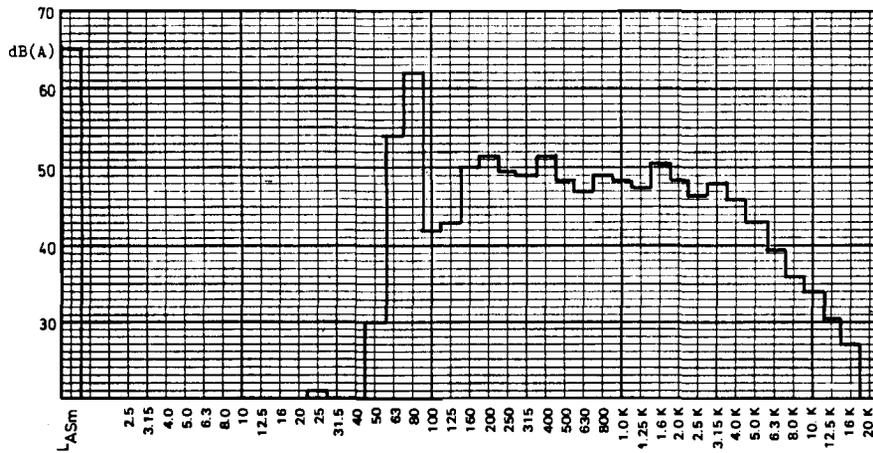
MESSBERICHT NR. 6



Meßpunkte :

⊙ Erschütterung

Aufstellraum der WP : Keller



Abwedeln des Kellers

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 7

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 22,4 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 60$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Wohnraum neben
 dem Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 29$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 1:

$$\begin{aligned}
 \hat{v}_Z &= 0,07 \text{ mm/s}; f_Z \approx 45 \text{ Hz} \\
 \hat{v}_X &= 0,03 \text{ mm/s}; f_X \approx 45 \text{ Hz} \\
 \hat{v}_Y &= 0,06 \text{ mm/s}; f_Y \approx 45 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

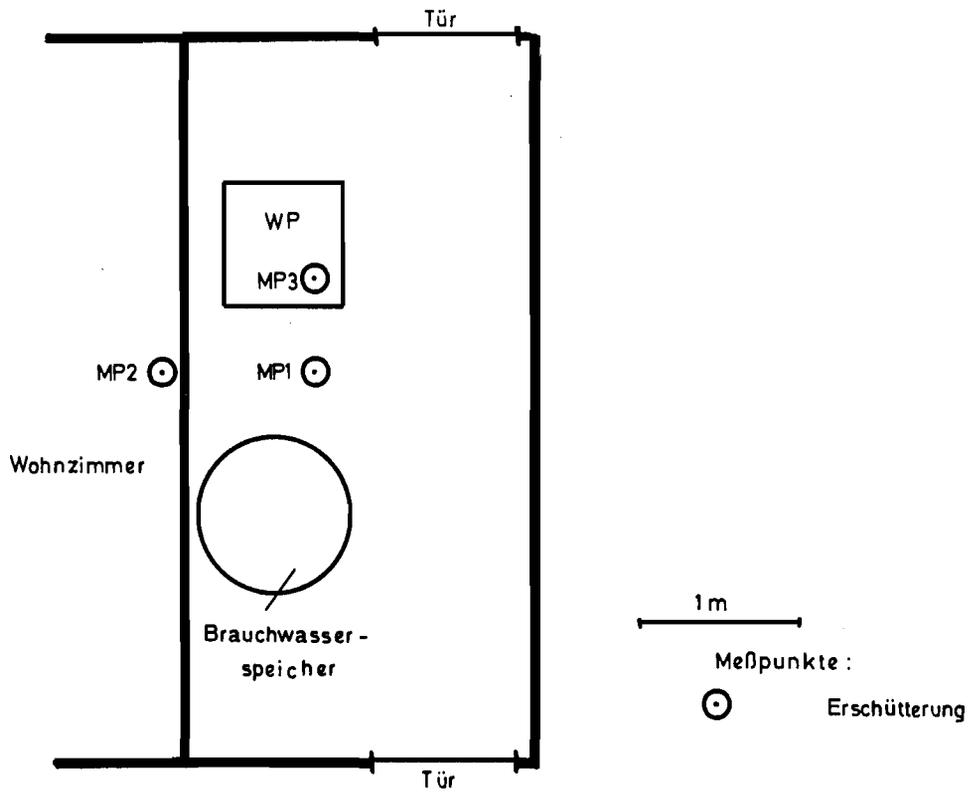
Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 2:

nicht auswertbar

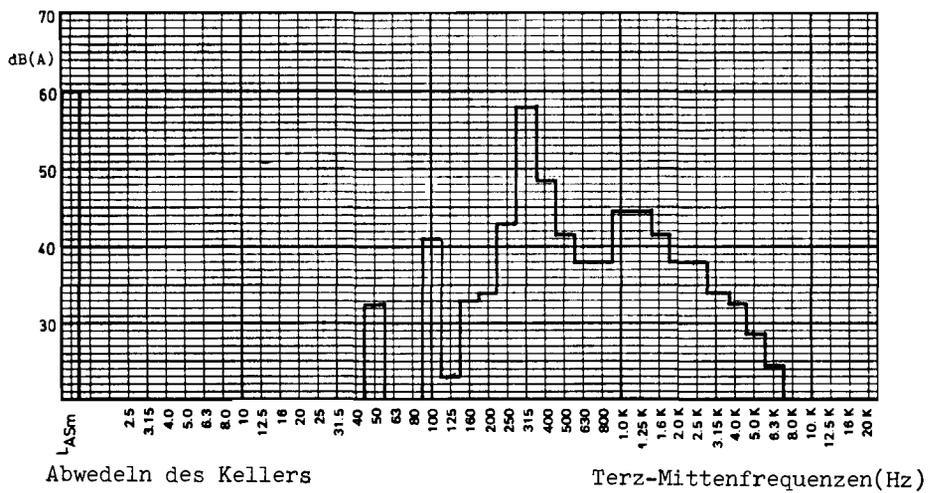
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 5 cm dicke Korkmatte

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 7



Aufstellraum der WP : Abstellraum ebenerdig



MESSBERICHT NR. 8

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
 Heizleistung : 18 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 59,5$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels in der Mitte
 des Raumes über dem Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 42$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

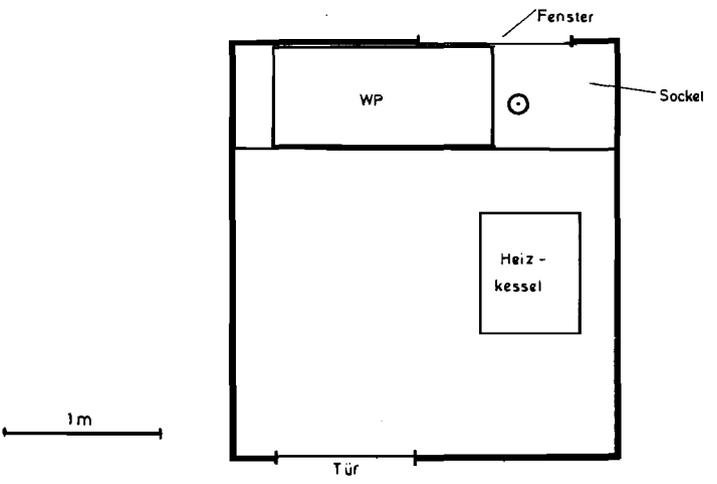
Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung
 $\hat{v}_z = 0,08$ mm/s; $f_z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,06$ mm/s; $f_x \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,11$ mm/s; $f_y \approx 45$ Hz

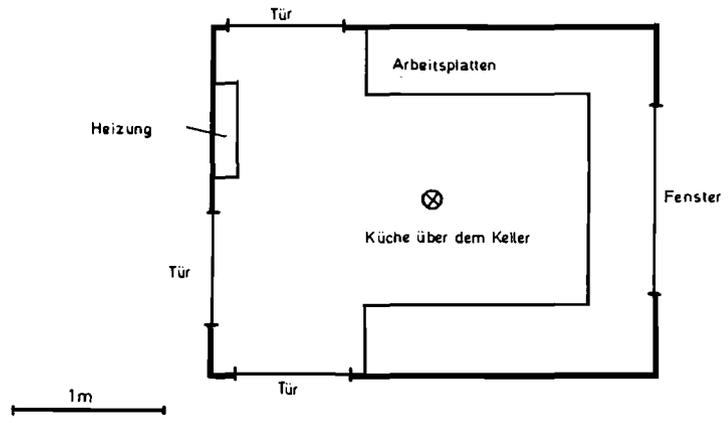
Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstellraumes
 waren nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

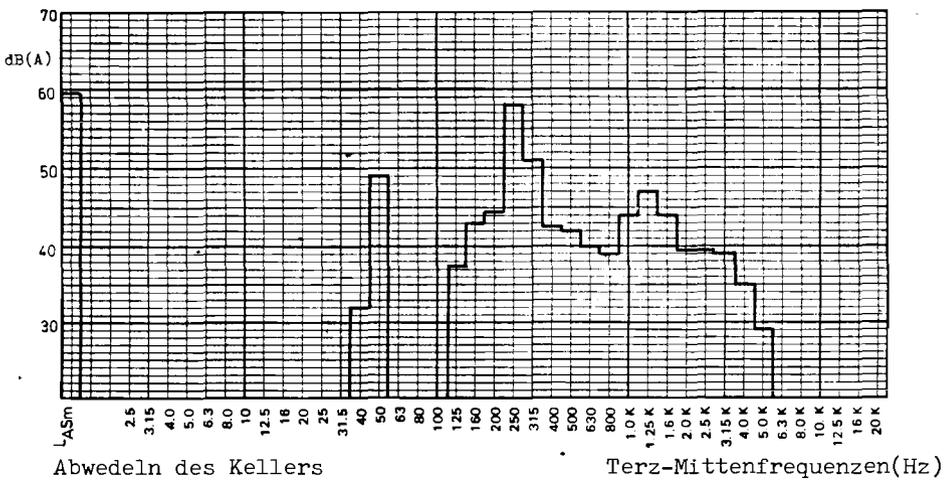
Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 Entkopplung der Wärmepumpe vom Heizungsrohr-
 system durch Kompensatoren (noch nicht durch-
 geführt)



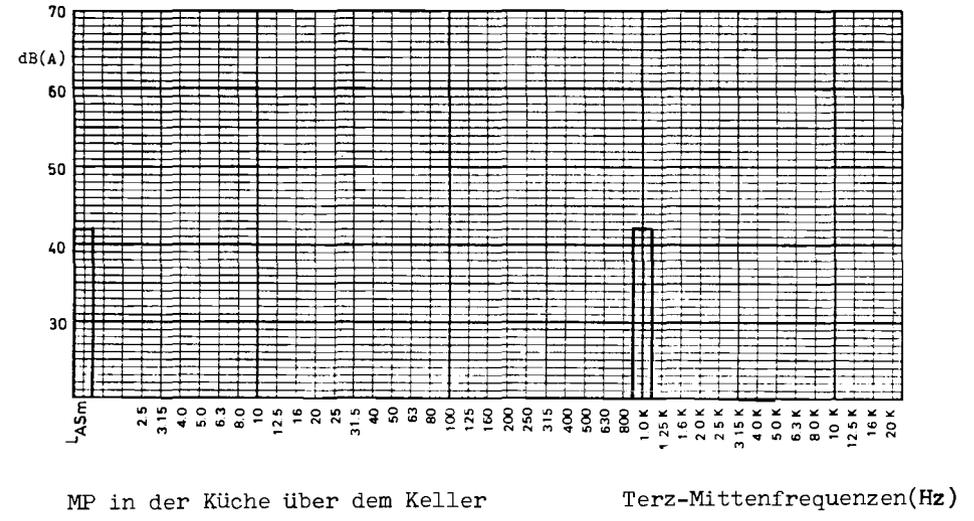
Messpunkte:
 ○ Erschütterungen
 Aufstellraum der WP : Keller



Messpunkte:
 ⊗ Geräusche
 Anordnung des MP in der Küche



Abwedeln des Kellers



MP in der Küche über dem Keller

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 9

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 18 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 68$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels außerhalb des
 Gebäudes vor den geöffneten Fenstern
 (MP 2 und 3);
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 55$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung
 $\hat{v} < 0,01$ mm/s; $f \approx 50$ Hz
 $\hat{v}^z < 0,01$ mm/s; $f^z \approx 50$ Hz
 $\hat{v}^x < 0,01$ mm/s; $f^x \approx 50$ Hz
 $\hat{v}_y < 0,01$ mm/s; $f_y^x \approx 50$ Hz

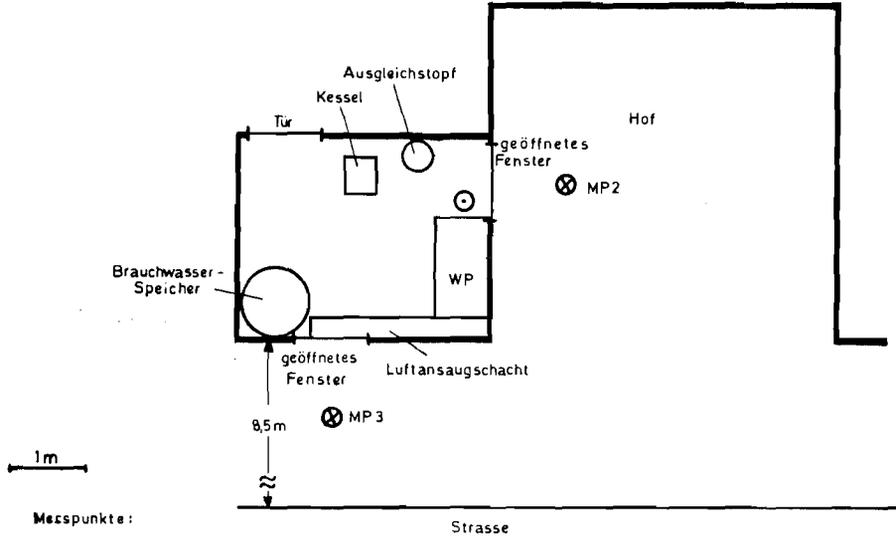
Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen außerhalb des Aufstellraumes
 waren nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe steht auf einem 0,5 m hohen vier-
 füßigen Eisengestell auf jeweils 2 cm dicken
 Span- und Korkplatten

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 9

Wohnhaus

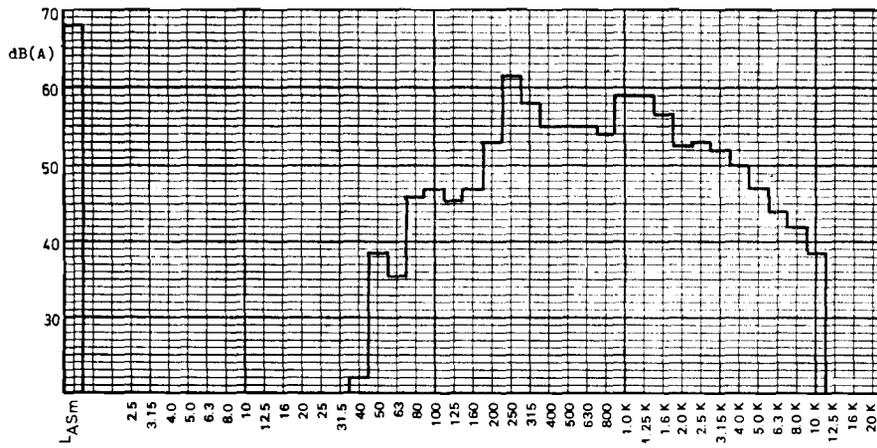


Messpunkte:

- ⊗ Geräusche
- ⊙ Erschütterungen

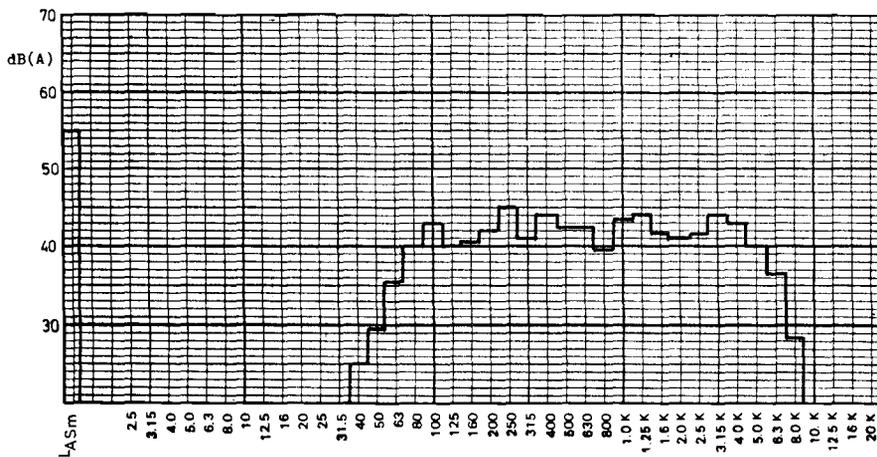
Strasse

Aufstellraum der WP : Keller



Abwedeln des Kellers

Terz-Mittelfrequenzen(Hz)



MP 2 und 3
vor den geöffneten Fenstern

Terz-Mittelfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 10

Wärmepumpenart: Wasser/Wasser
Heizleistung : 12,1 kW max
Aufstellort : innen
Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
Mikrofon 0,56 m hoch über dem Boden;
1 m vor der Wärmepumpe;
mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 54$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
Wärmepumpengeräusche außerhalb des Aufstell-
raumes wegen des vorhandenen Hintergrundge-
räusches nicht meßbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
keine

Erschütterungen

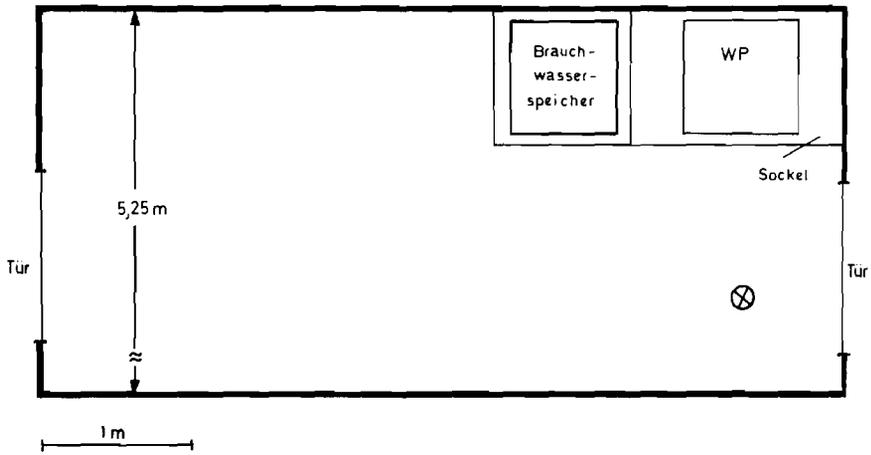
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
keine

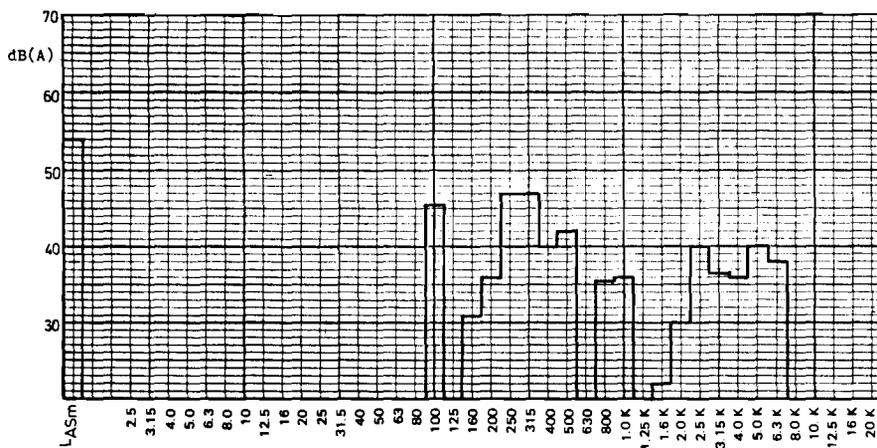
MESSBERICHT NR. 10



Messpunkte:

⊗ Geräusche

Aufstellraum der WP : Keller



Mikrofon 1 m vor der WP
0,56 m über dem Boden

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 11

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 28 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes von 2 Teilflächen
 der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 64$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels vor dem Haus-
 eingang;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 52$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

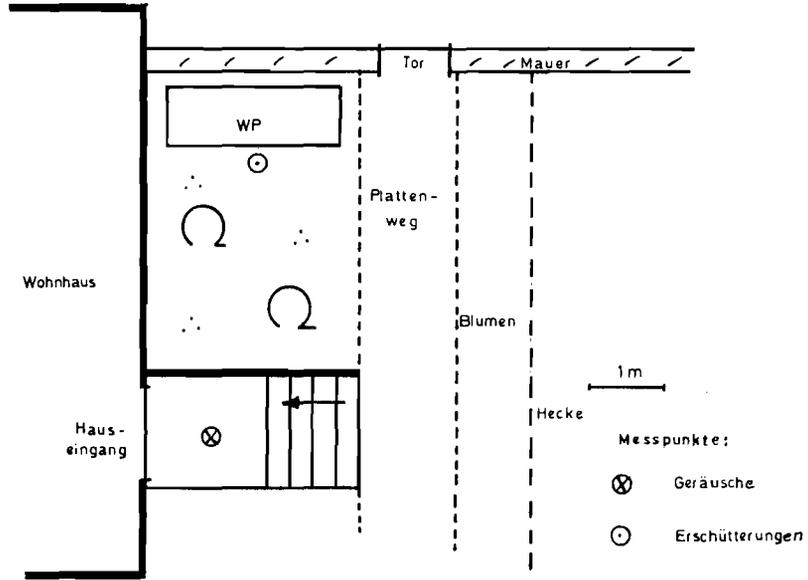
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung auf dem
 Fundament: $\diamond_z = 0,01$ mm/s; f_z nicht auswertbar
 $\diamond_x = 0,03$ mm/s; $f_x \approx 50$ Hz
 $\diamond_y = 0,01$ mm/s; $f_y > 100$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen im Wohnhaus nicht wahr-
 nehmbar

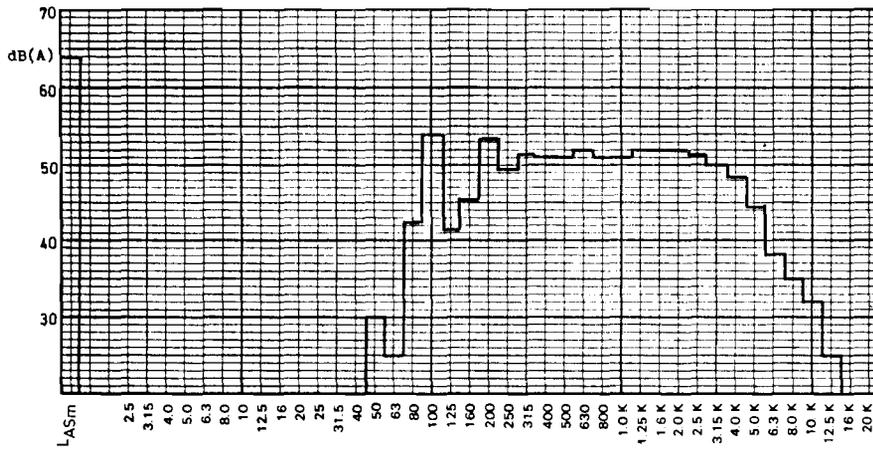
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 11

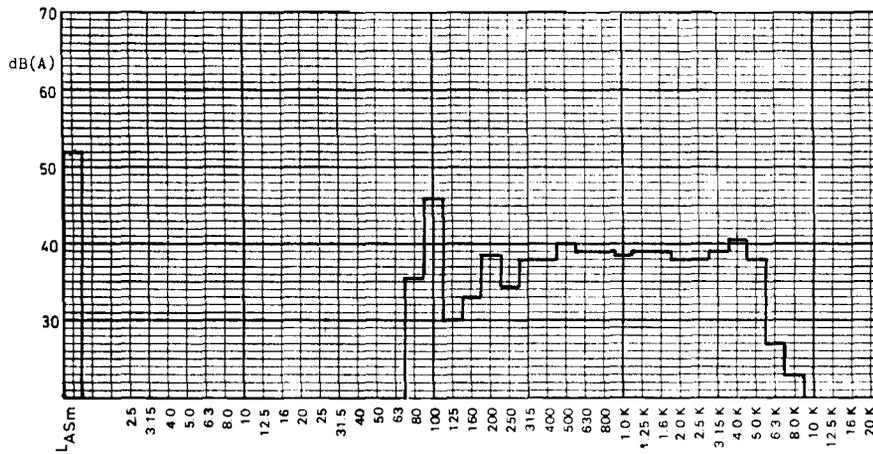


Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln von 2 Teilflächen der Wärmepumpe

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)



MP vor dem Hauseingang

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 12

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 26,4 kW max (2 Wärmepumpen)
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes auf der Hüllfläche
 der beiden Wärmepumpen;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 68$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels 10,5 m vor der
 Pumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 58$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

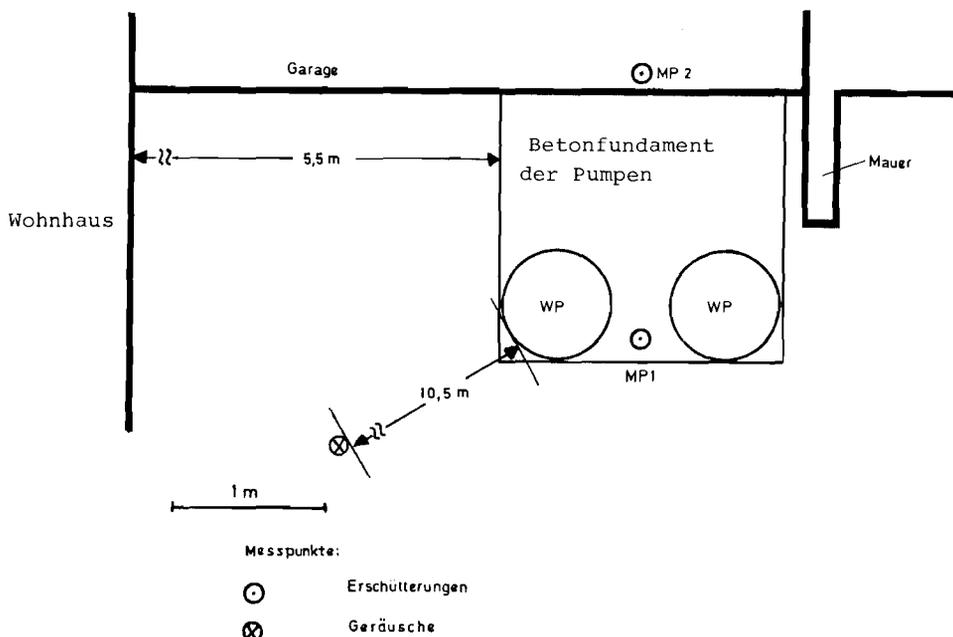
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 1:
 $\hat{v} = 0,14$ mm/s; $f \approx 45$ Hz
 $\hat{v}^Z = 0,03$ mm/s; $f^Z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_Y^X = 0,17$ mm/s; $f_Y^X \approx 45$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 2:
 $\hat{v} = 0,02$ mm/s; $f \approx 45$ Hz
 $\hat{v}^Z = 0,02$ mm/s; $f^Z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_Y^X = 0,16$ mm/s; $f_Y^X \approx 45$ Hz

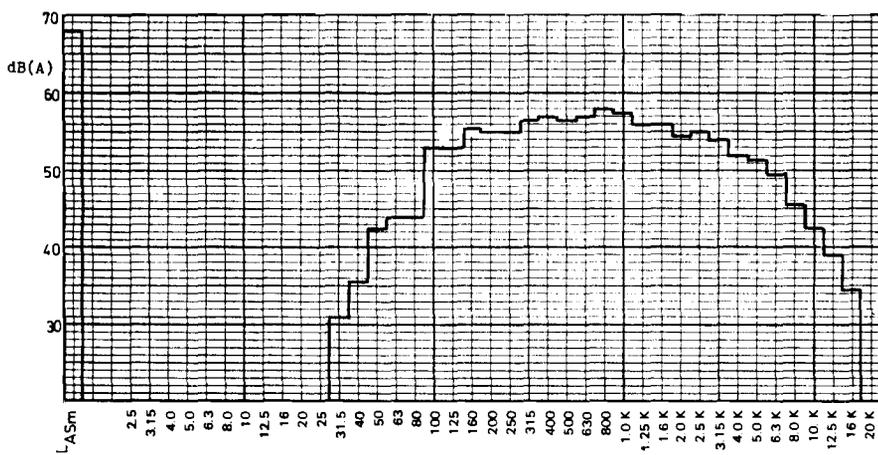
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 Auswechseln einer Kompressorhalterung;
 Richten des Gehäuses, da Lüfter schleift

MESSBERICHT NR. 12

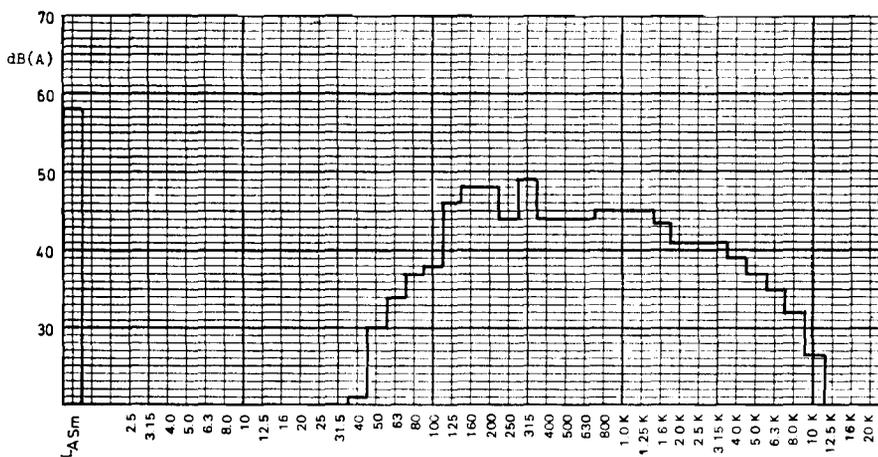


Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln der Hüllfläche der Wärmepumpen

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)



MP 10,5 m vor den Wärmepumpen

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 13

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 23,2 kW max (4 Wärmepumpen)
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Messen des Schalldruckpegels in 1,2 m Höhe
 vor der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 68$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche außerhalb des Aufstell-
 raumes nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

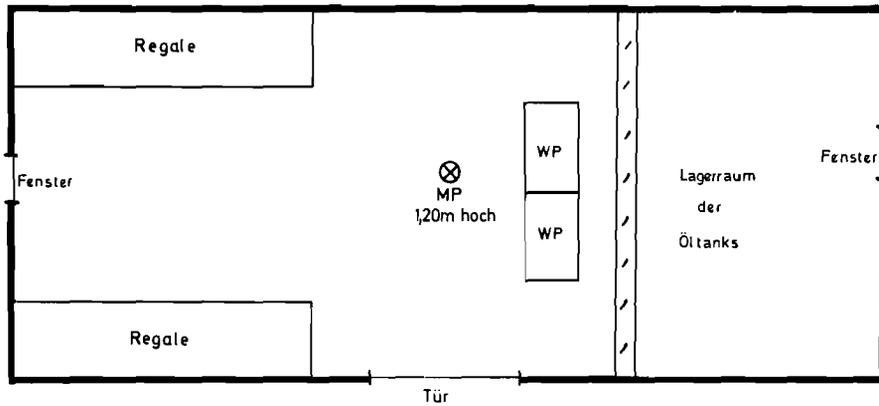
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Abfederung der Wärmepumpe durch Gummipuffer

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 13

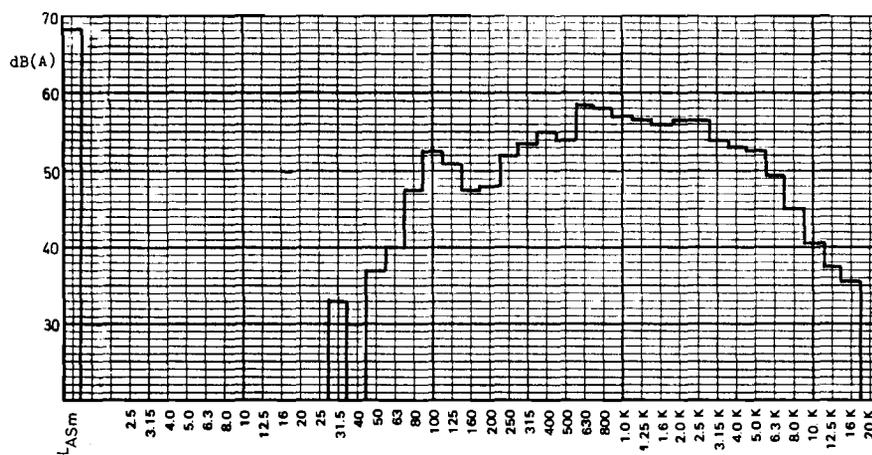


1m

Messpunkte:

⊗ Geräusche

Aufstellraum der WP : Keller



Mikrofon 1 m vor den WP
1,2 m über dem Boden

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 14

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 14,6 kW max
 Aufstellort : Wärmepumpe innen; Wärmetauscher außen
 Betriebsart : bivalent, Splitanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes des Wärmetauschers;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 56,5$ dB

Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 60$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Wohnraum;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 27,5$ dB

Wärmepumpengeräusche an der Grundstücksgrenze nicht meßbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmetauscher im Außenbereich; Gehäuse mit
 Schallschluckmaterial belegt (Kapsel)

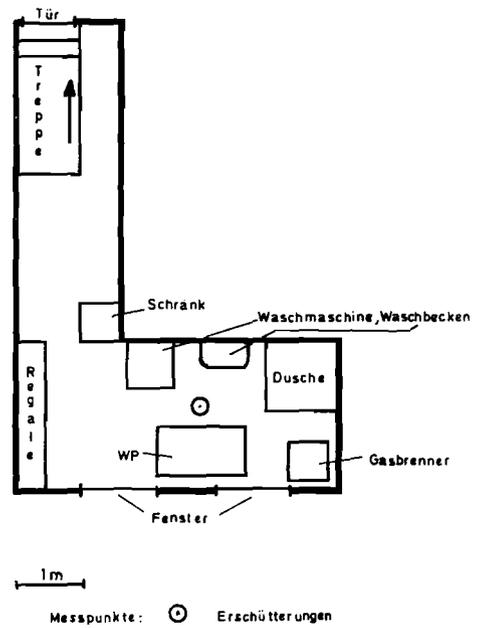
Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 1:
 $\hat{v} = 0,06$ mm/s; $f_z \approx 30$ Hz
 $\hat{v}^z = 0,04$ mm/s; $f^z \approx 30$ Hz
 $\hat{v}^x = 0,04$ mm/s; $f^x \approx 20$ Hz
 \hat{v}_y

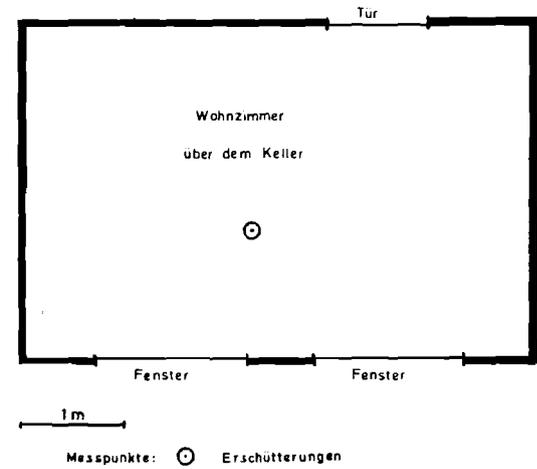
Messdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung im Wohnraum:
 Einschalten d. WP:
 $\hat{v} = 0,35$ mm/s; $f_z = 32$ Hz; $KB = 0,25$
 $\hat{v}^z = 0,06$ mm/s; $f^z \approx 50$ Hz; $KB \approx 0,04$
 $\hat{v}^x = 0,08$ mm/s; $f^x \approx 50$ Hz; $KB \approx 0,06$
 \hat{v}_y

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

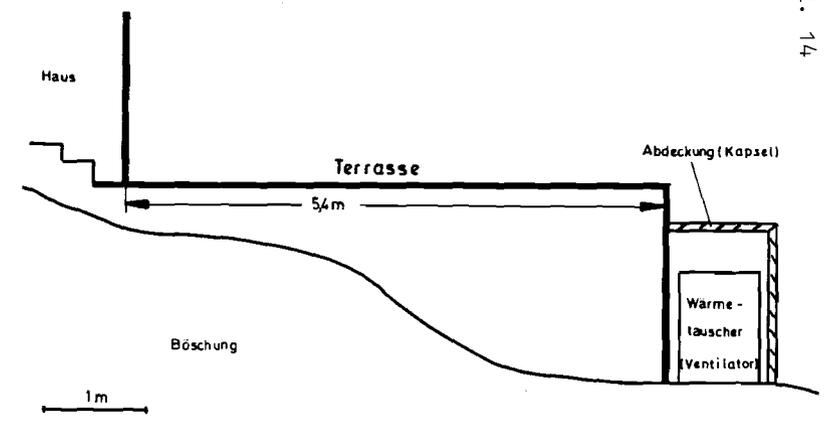
Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine



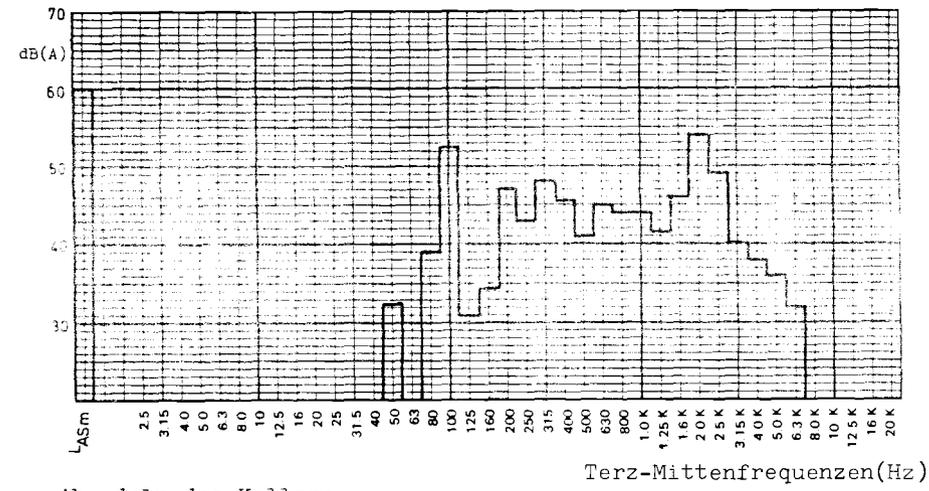
Kellerraum mit Anordnung der WP



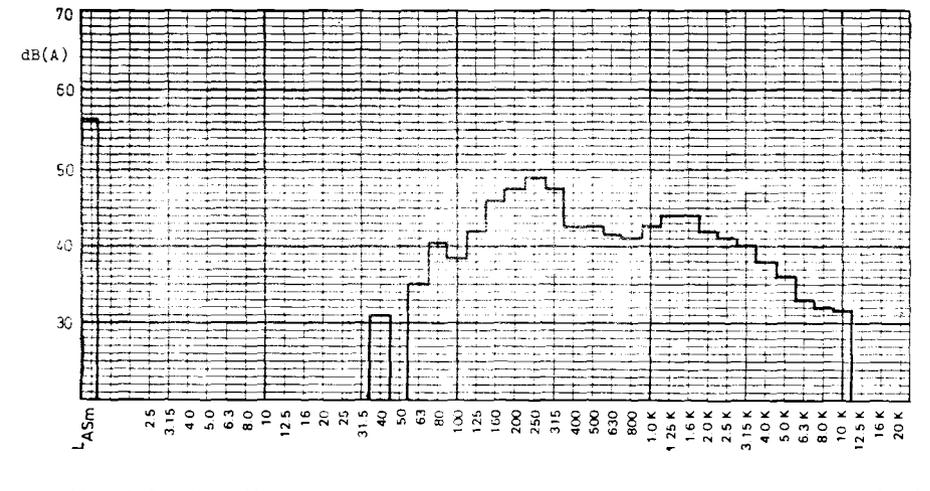
Meßpunktanordnung im Wohnraum



Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln des Kellers



Abwedeln des Wärmetauschers

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 15

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 13,8 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : monovalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes vor 4 Teilflächen
 der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 58$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels 4,8 m oberhalb
 der Wärmepumpe vor einem Wohnraumfenster;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 54$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

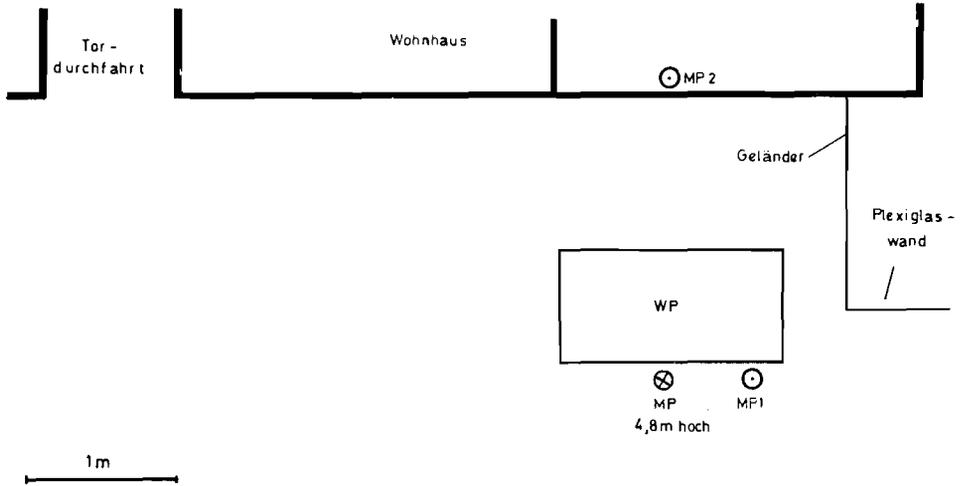
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 1:
 $\hat{v} = 0,08$ mm/s; $f = 20$ Hz
 $\hat{v}^z = 0,01$ mm/s; $f^z = 20$ Hz
 $\hat{v}^x = 0,01$ mm/s; $f^x = 20$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,01$ mm/s; $f_y = 20$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 2:
 $\hat{v} = 0,01$ mm/s; $f = 8$ Hz; $KB < 0,01$
 $\hat{v}^z = 0,01$ mm/s; $f^z = 5$ Hz; $KB < 0,01$
 $\hat{v}^x = 0,01$ mm/s; $f^x = 5$ Hz; $KB < 0,01$
 $\hat{v}_y = 0,01$ mm/s; $f_y = 5$ Hz; $KB < 0,01$

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe ist auf 10 cm dicken Holzbalken
 und 1 cm dicker Gummimatte aufgestellt

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

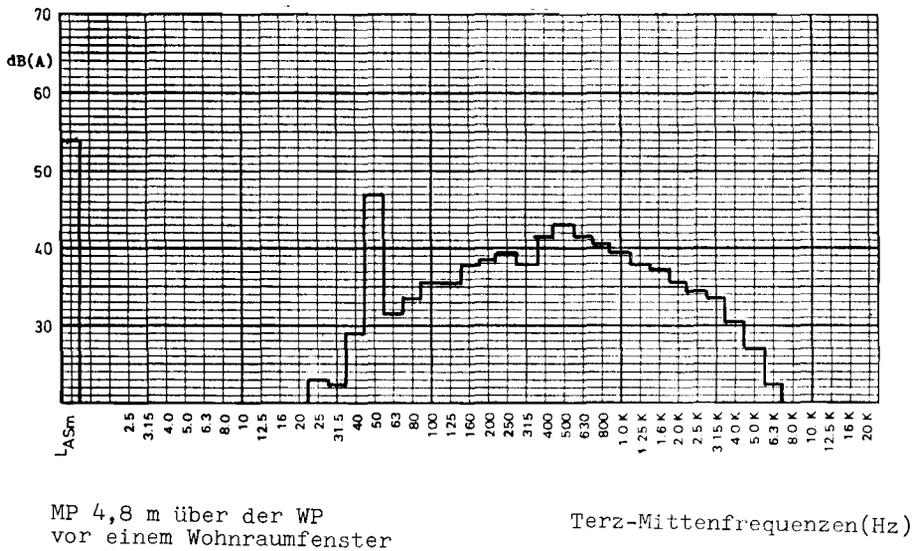
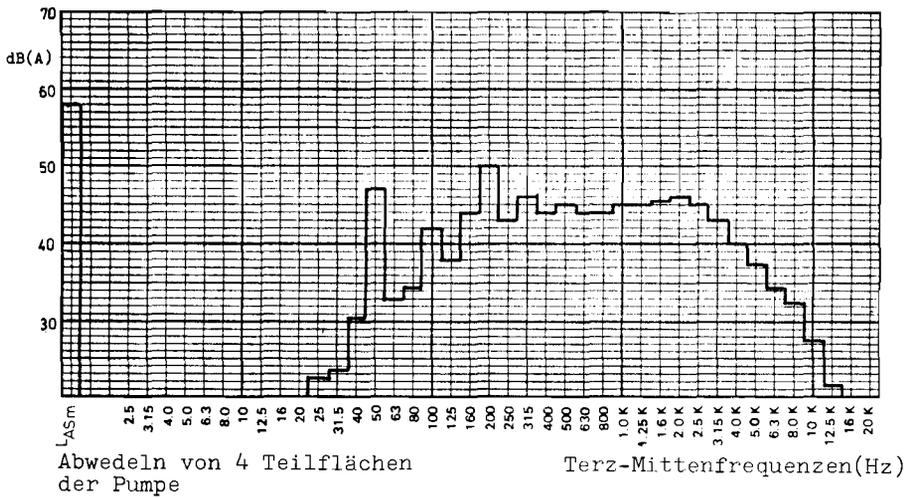
MESSBERICHT NR. 15



Messpunkte:

- ⊙ Erschütterungen
- ⊗ Geräusche

Aufstellort der WP : Außenbereich



MESSBERICHT NR. 16

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 13,2 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : monovalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes vor den 4 Teil-
 flächen der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 65,5$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels in 4 m Abstand
 von der Pumpe an der Grundstücksgrenze;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L_{ASm}} = 58$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung:

MP 1: $\hat{v}_z = 0,11$ mm/s; $f_z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,22$ mm/s; $f_x \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,17$ mm/s; $f_y \approx 45$ Hz

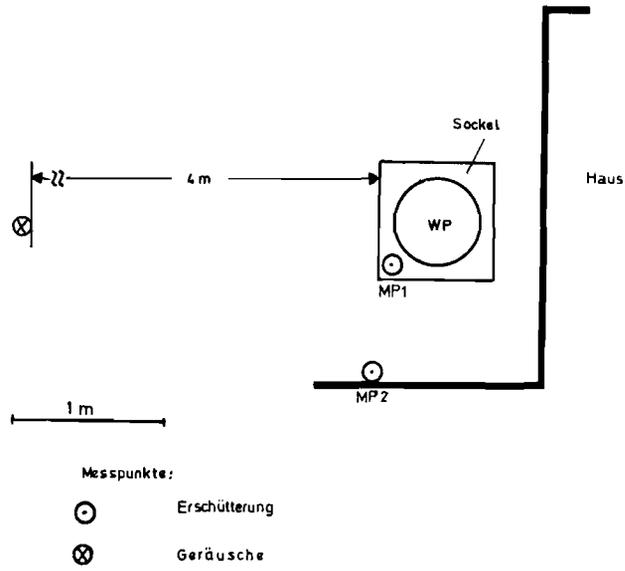
 MP 2: $\hat{v}_z = 0,07$ mm/s; $f_z \approx 100$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,42$ mm/s; $f_x \approx 100$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,56$ mm/s; $f_y \approx 100$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen abseits des Aufstellungsortes
 waren nicht wahrnehmbar

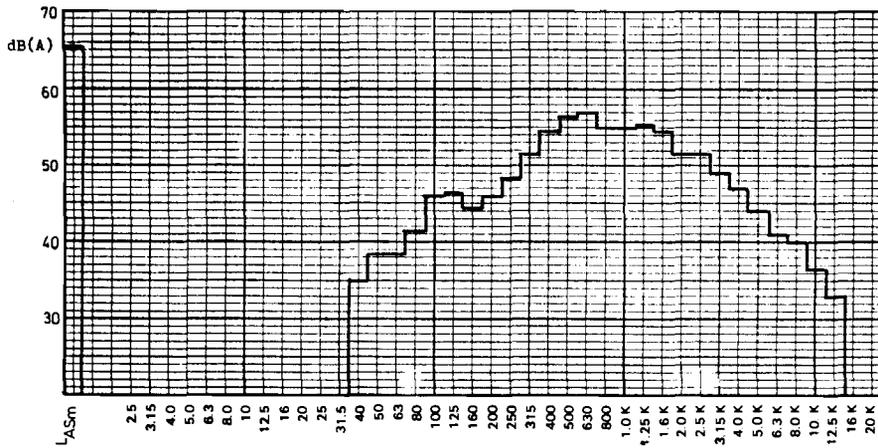
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 16

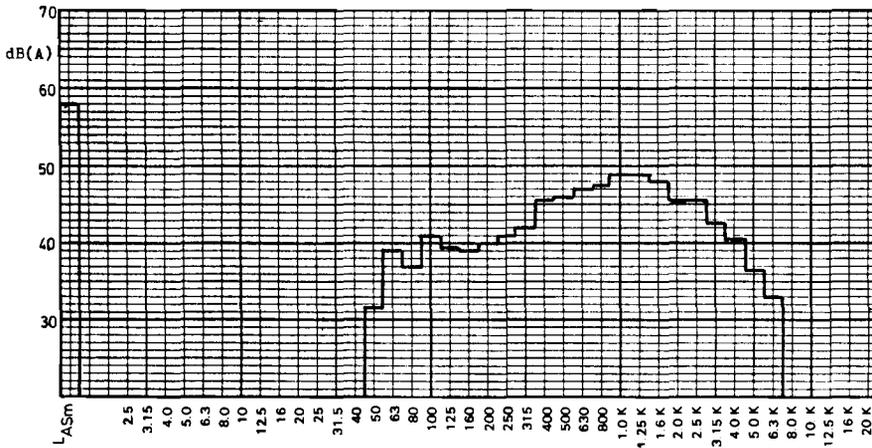


Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln von 4 Teilflächen der Wärmepumpe

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)



MP an der Grundstücksgrenze

Terz-Mittenfrequenzen(Hz)

MESSBERICHT NR. 17

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 13,2 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : monovalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes auf der Hüll-
 fläche der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 61,5$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels 11 m von der
 WP entfernt vor dem Fenster;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 48$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 dichtes Gebüsch zwischen Wärmepumpe und
 Haus

Erschütterungen

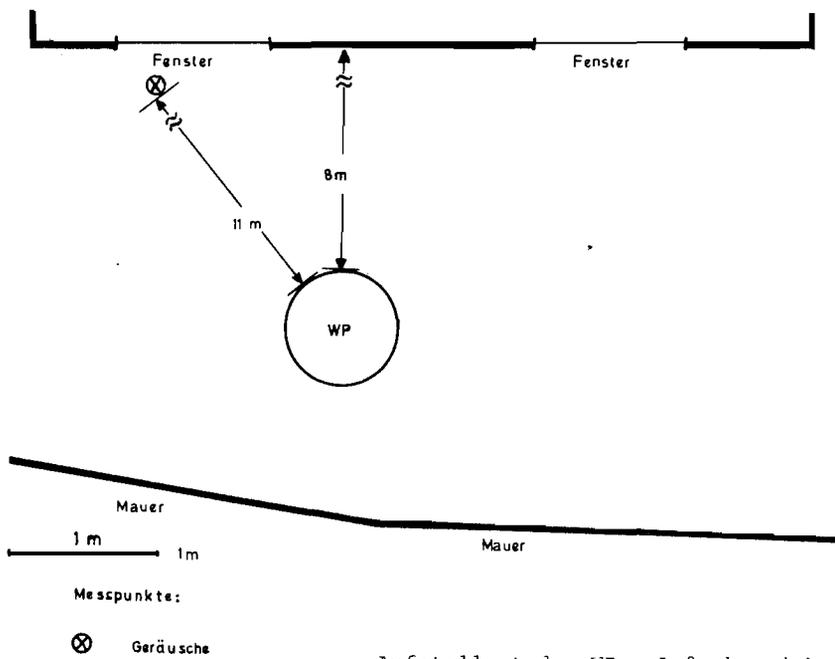
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

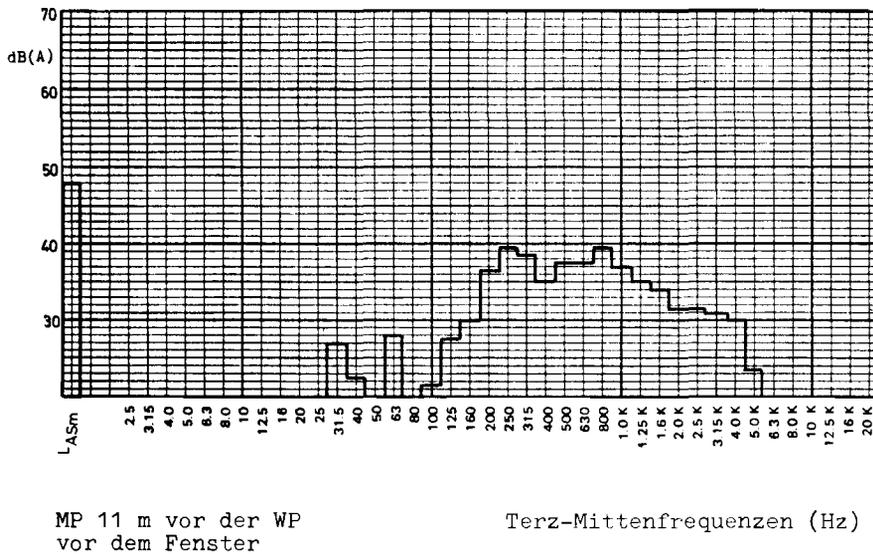
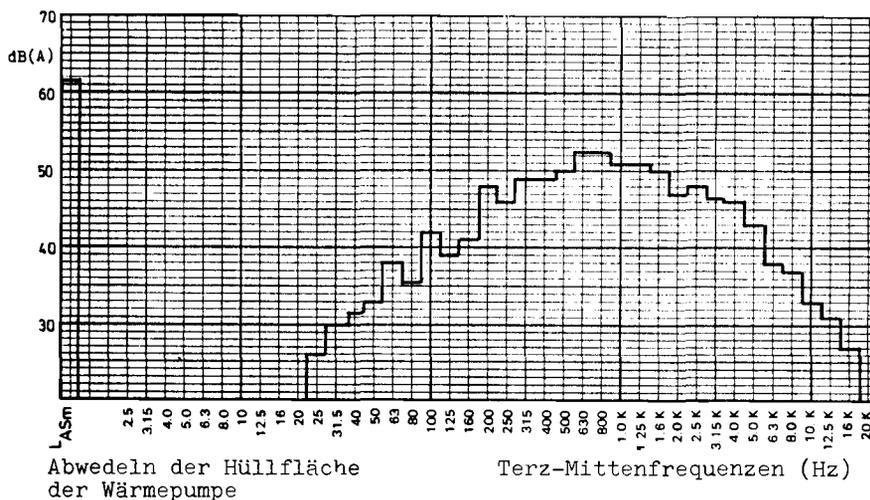
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 17



Aufstellort der WP : Außenbereich



MESSBERICHT NR. 18

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 13 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes vor den 5 Teil-
 flächen der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 62$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche an der Grundstücksgrenze
 wegen des vorhandenen hohen Hintergrunde-
 räusches nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 41$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

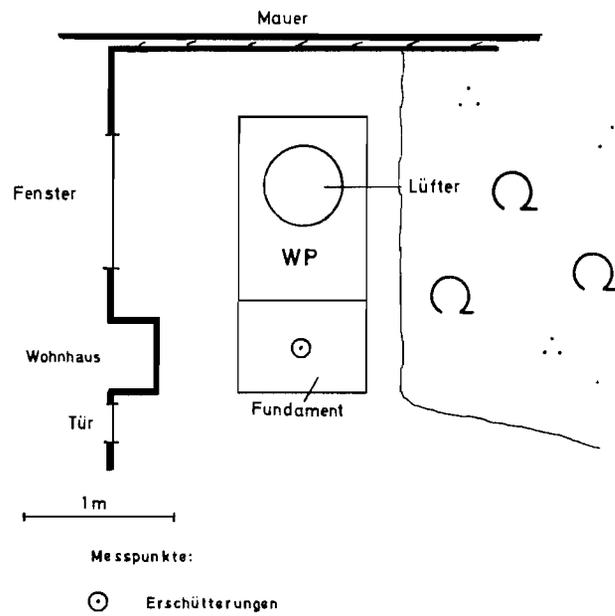
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung auf dem
 Fundament: $\hat{v}^z = 0,11$ mm/s; $f^z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}^x = 0,17$ mm/s; $f^x \approx 45$ Hz
 $\hat{v}^y = 0,06$ mm/s; $f^y \approx 45$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen abseits des Aufstellungs-
 ortes nicht wahrnehmbar

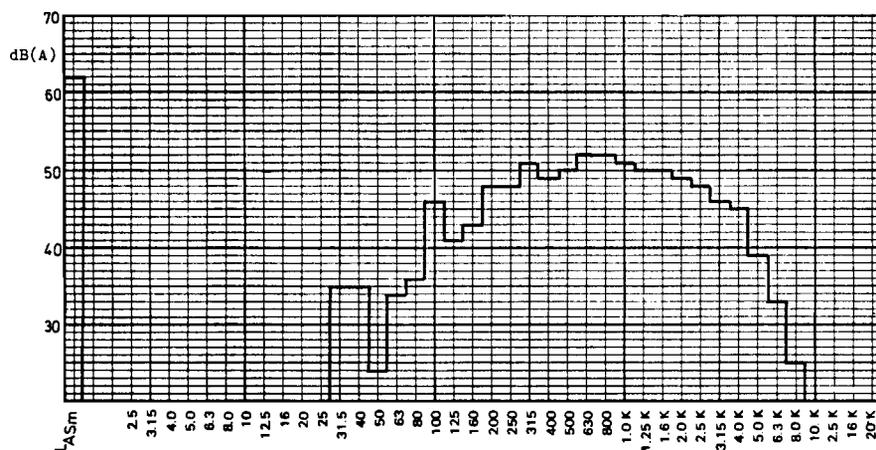
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 18



Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln der 5 Teilflächen
der Wärmepumpe

Terz-Mittenfrequenzen (Hz)

MESSBERICHT NR. 19

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 12,4 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes vor den 5
 Teilflächen der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 57$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels in 5 m
 Abstand von der Wärmepumpe an der Grund-
 stücksgrenze (Straße);
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 52,5$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

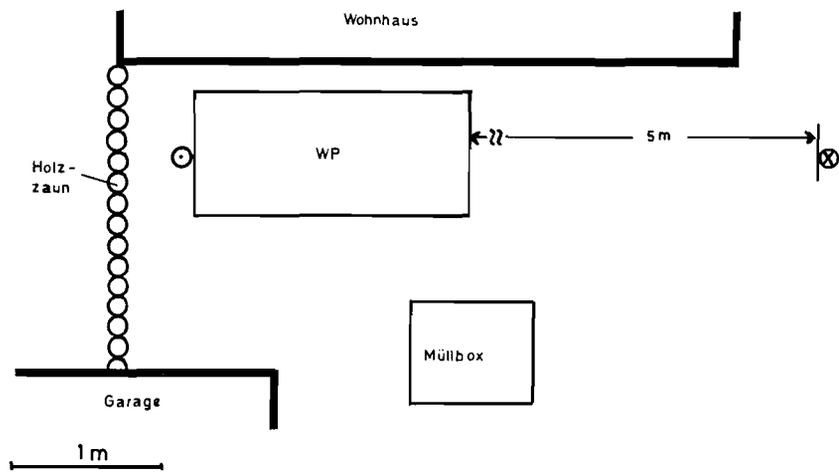
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung:
 $\hat{v}_z = 0,14$ mm/s; $f_z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,27$ mm/s; $f_x \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,12$ mm/s; $f_y \approx 45$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen waren abseits des Aufstell-
 ortes nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

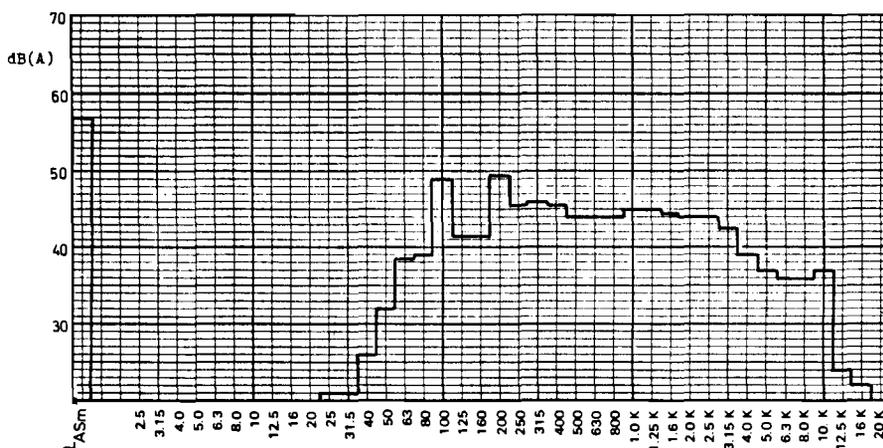
MESSBERICHT NR. 19



Messpunkte:

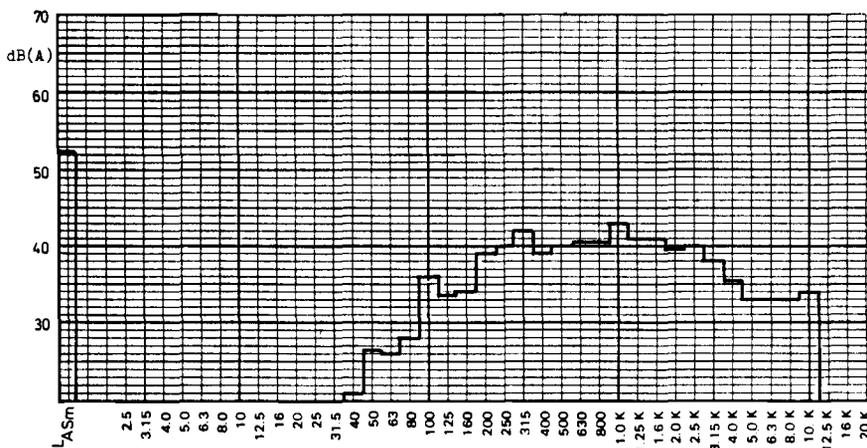
- ⊗ Geräusche
- ⊙ Erschütterungen

Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln von 5 Teilflächen der Wärmepumpe

Terz-Mittelfrequenzen (Hz)



MP an der Grundstücksgrenze

Terz-Mittelfrequenz (Hz)

MESSBERICHT NR. 20

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 12,4 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : monovalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes vor den 5
 Teilflächen der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 58$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche auf dem Nachbargrund-
 stück wegen des vorhandenen Hintergrund-
 pegels nicht meßbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Schallschirm in Form eines Holzlatten-
 geflechtes

Erschütterungen

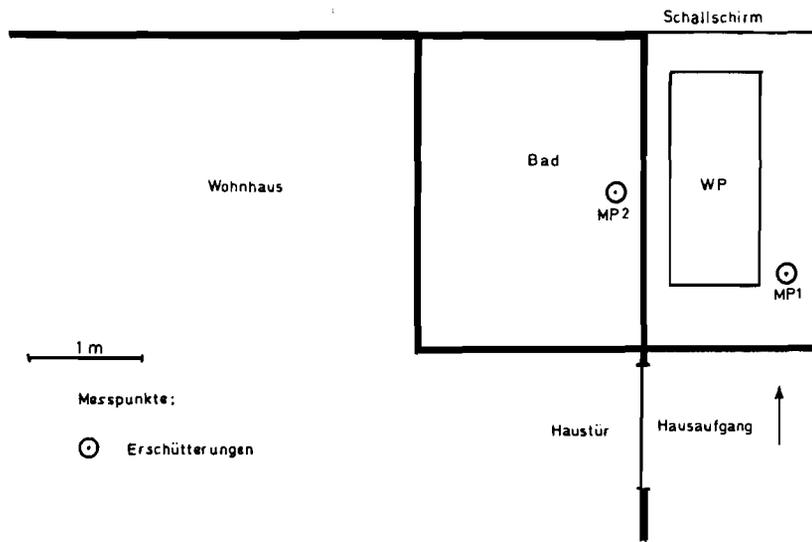
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 1:
 $\hat{v}_z = 0,06$ mm/s; $f_z \approx 50$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,06$ mm/s; $f_x \approx 30$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,06$ mm/s; $f_y \approx 50$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 2:
 $\hat{v}_z = 0,02$ mm/s; $f_z \approx 25$ Hz; $KB < 0,02$
 $\hat{v}_x = 0,01$ mm/s; $f_x \approx 25$ Hz; $KB < 0,01$
 $\hat{v}_y = 0,02$ mm/s; $f_y \approx 25$ Hz; $KB < 0,02$

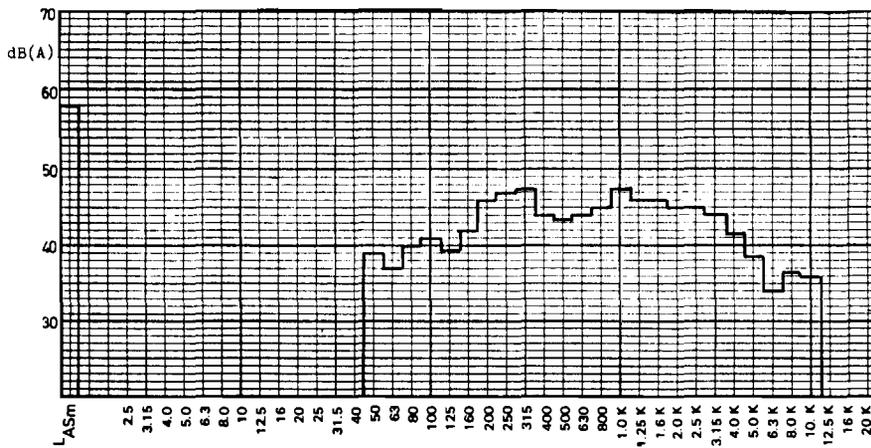
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe auf 1,5 cm dicker Gummi-
 noppenmatte aufgestellt

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 20



Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln der 5 Teilflächen
der Wärmepumpe

Terz-Mittelfrequenzen (Hz)

MESSBERICHT NR. 21

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 12,4 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : monovalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes vor den 5
 Teilflächen der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 57$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messen des Schalldruckpegels vor dem Fenster,
 4 m von der Wärmepumpe entfernt, 2,5 m über
 dem Boden;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 47,5$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

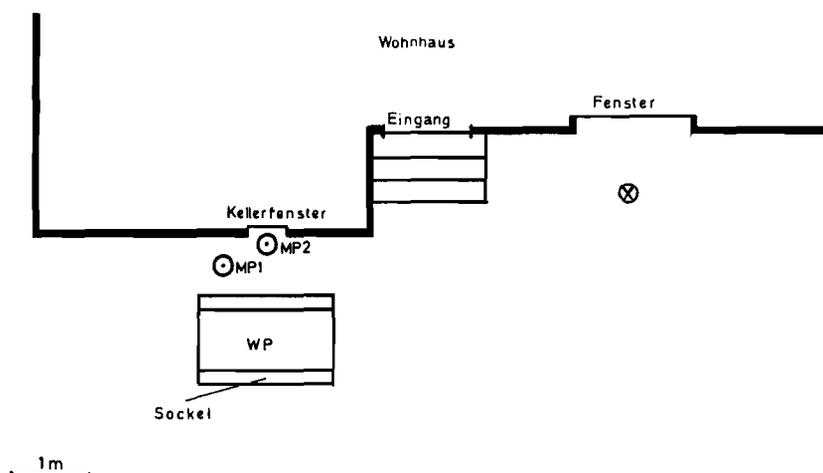
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 1:
 $\hat{v}_z = 0,06$ mm/s; $f_z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,14$ mm/s; $f_x \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,07$ mm/s; $f_y \approx 45$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung MP 2 :
 $\hat{v}_z = 0,01$ mm/s; $f_z \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_x = 0,03$ mm/s; $f_x \approx 45$ Hz
 $\hat{v}_y = 0,01$ mm/s; $f_y \approx 45$ Hz

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

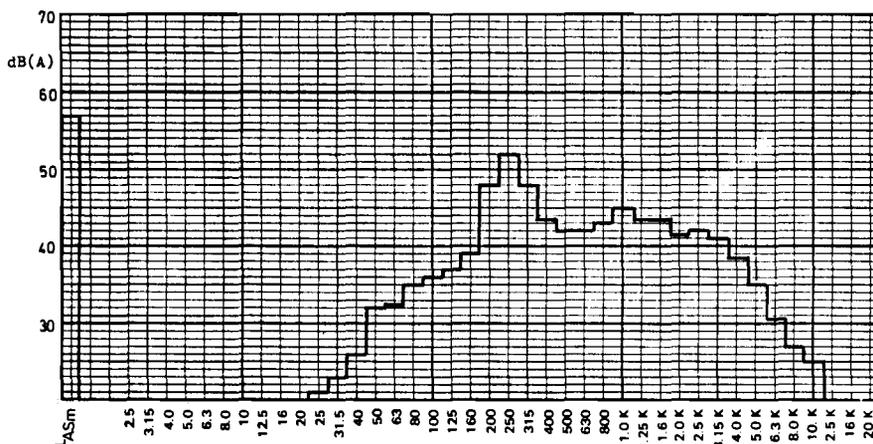
Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 21



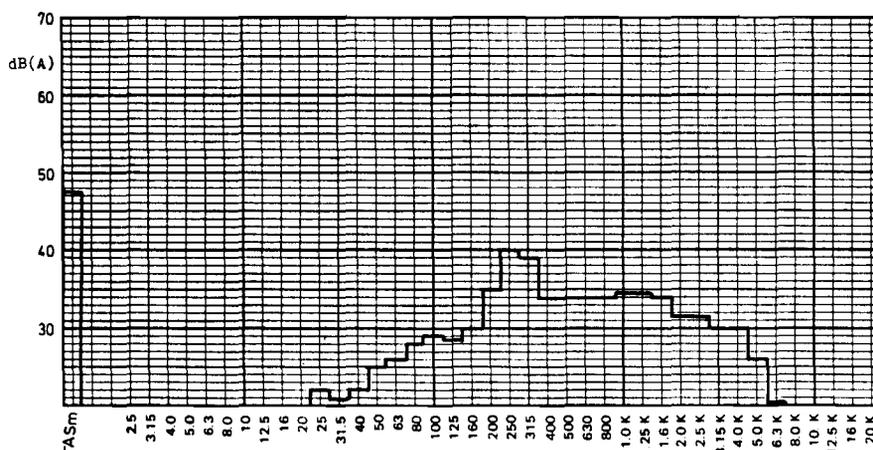
- Messpunkte:
- ⊗ Geräusche
 - ⊙ Erschütterungen

Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln der 5 Teilflächen der Wärmepumpe

Terz-Mittelfrequenzen (Hz)



MP vor dem Fenster

Terz-Mittelfrequenz (Hz)

MESSBERICHT NR. 22

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
Heizleistung : 11,5 kW max
Aufstellort : außen
Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
Abwedeln des Schallfeldes vor den 5
Teilflächen der Wärmepumpe;
mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 56$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
Messen des Schalldruckpegels vor dem Nach-
barhaus;
mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 44,5$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
keine

Erschütterungen

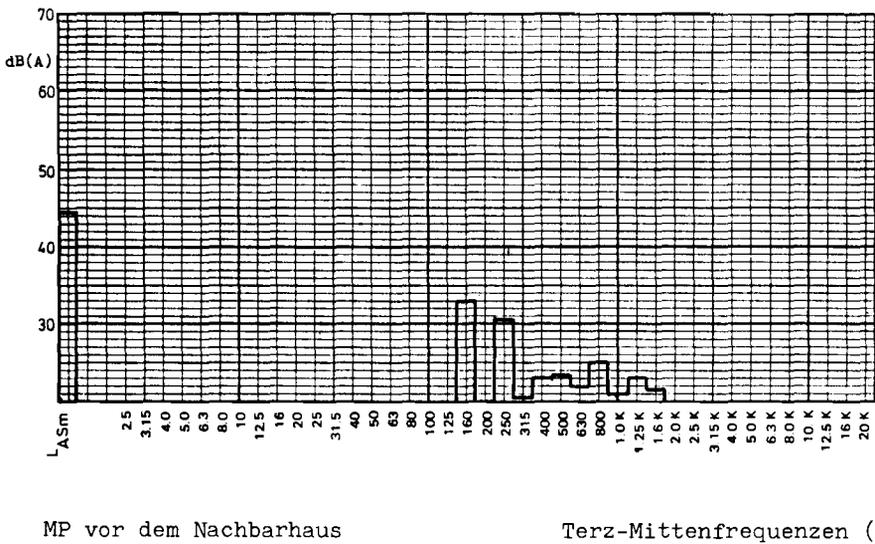
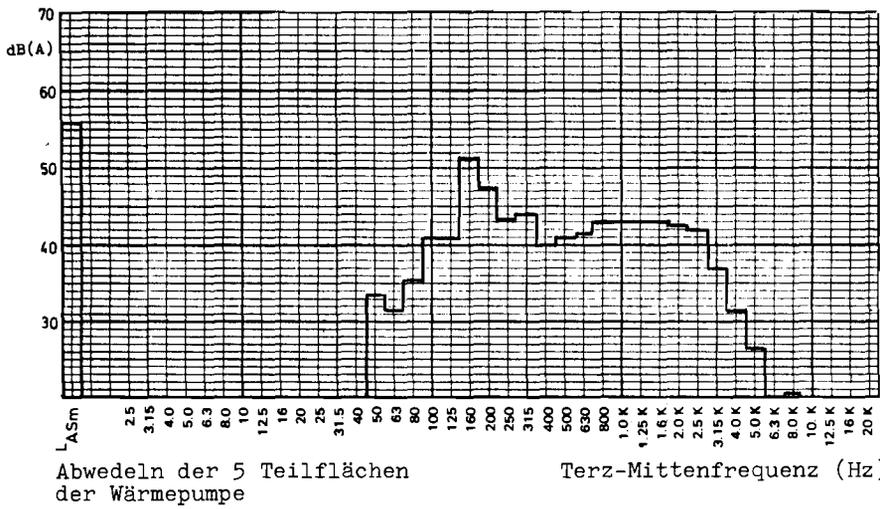
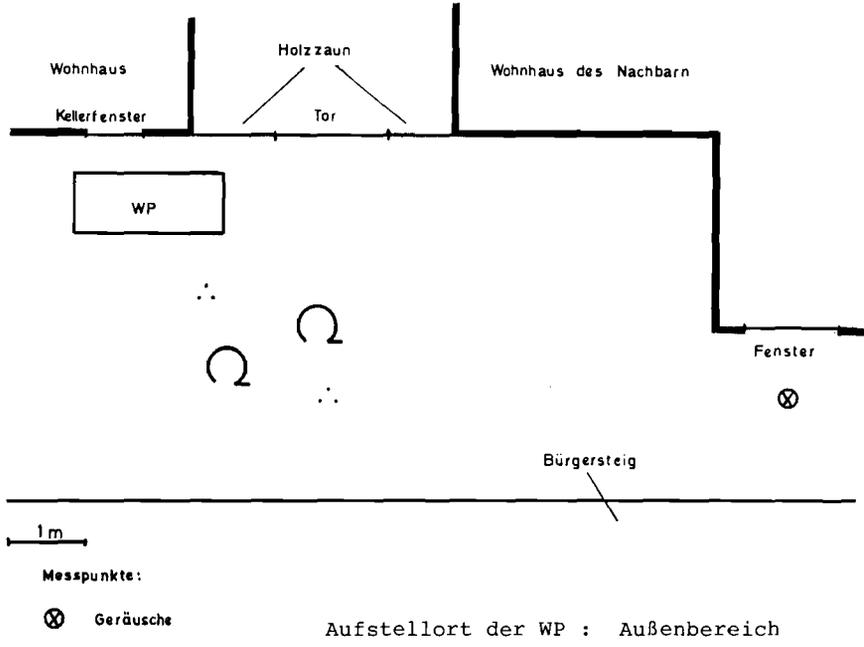
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
Wärmepumpe ist auf Bahnschwellen gelagert;
Untergrund: Kies

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
keine

MESSBERICHT NR. 22



MESSBERICHT NR. 23

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 11,5 kW max
 Aufstellort : außen
 Betriebsart : monovalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes vor den 5
 Teilflächen der Wärmepumpe;
 mittlerer Schalldruckpegel: $\overline{L}_{ASm} = 55$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche am Immissionspunkt des
 benachbarten Hauses wegen vorhandener Hinter-
 grundgeräusche nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 42$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 dichtes, die WP umgebendes Buschwerk

Erschütterungen

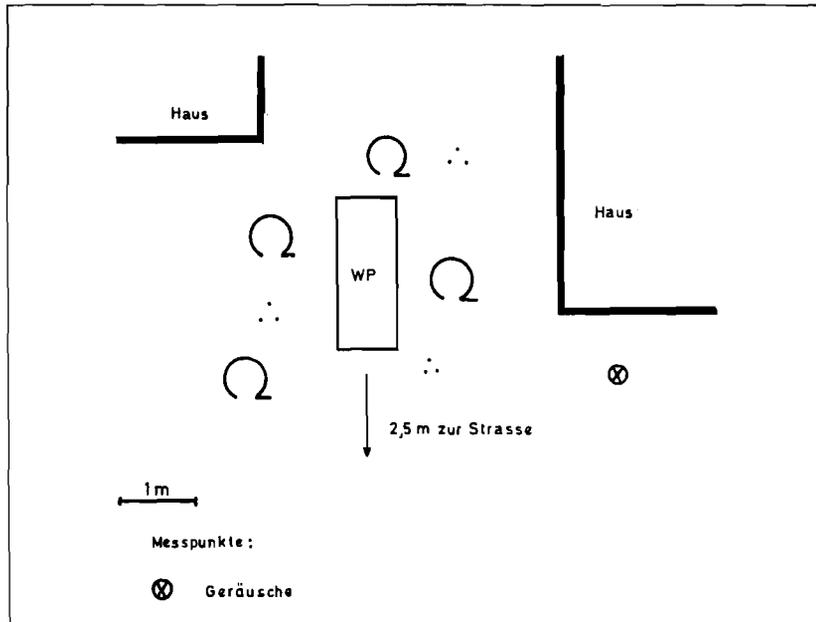
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

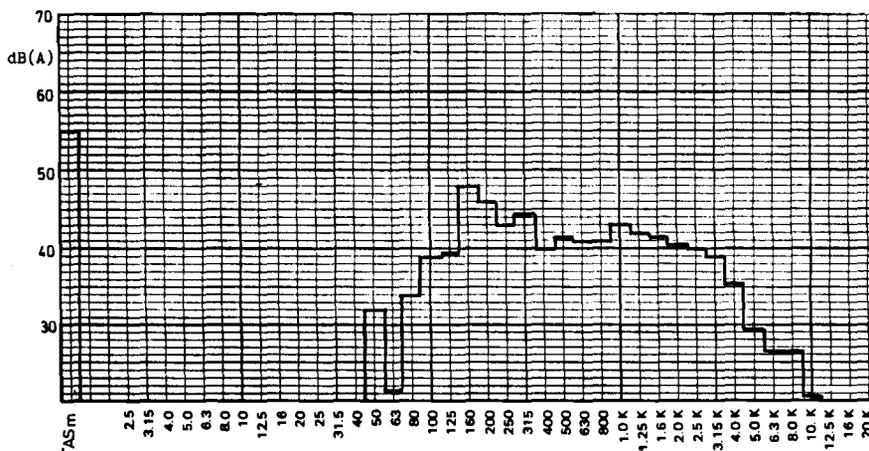
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe ist auf Bahnschwellen gelagert;
 Untergrund: Kies

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 23



Aufstellort der WP : Außenbereich



Abwedeln der 5 Teilflächen
der Wärmepumpe

Terz-Mittenfrequenzen (Hz)

MESSBERICHT NR. 24

Wärmepumpenart: Luft/Wasser
 Heizleistung : 5,8 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $L_{ASm} = 65$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche außerhalb des Auf-
 stellraumes wegen des vorhandenen hohen
 Hintergrundgeräusches nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 49$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Schwinggeschwindigkeitsmessung

MP 2: $\hat{v}_z \approx 0,02$ mm/s; $f_z = 20$ Hz
 $\hat{v}_x \approx 0,01$ mm/s; $f_x > 100$ Hz
 $\hat{v}_y \approx 0,02$ mm/s; $f_y > 100$ Hz

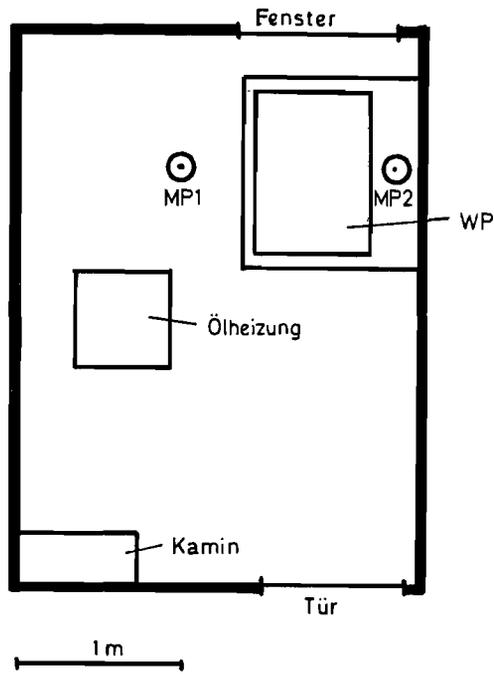
MP 1: $\hat{v}_z \approx 0,01$ mm/s; $f_z \approx 20$ Hz
 $\hat{v}_x < 0,01$ mm/s; $f_x \approx 20$ Hz
 $\hat{v}_y < 0,01$ mm/s; $f_y \approx 20$ Hz

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Erschütterungen waren außerhalb des Aufstell-
 raumes nicht wahrnehmbar

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Wärmepumpe steht auf eigenem Fundament und
 4 Gummielementen

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

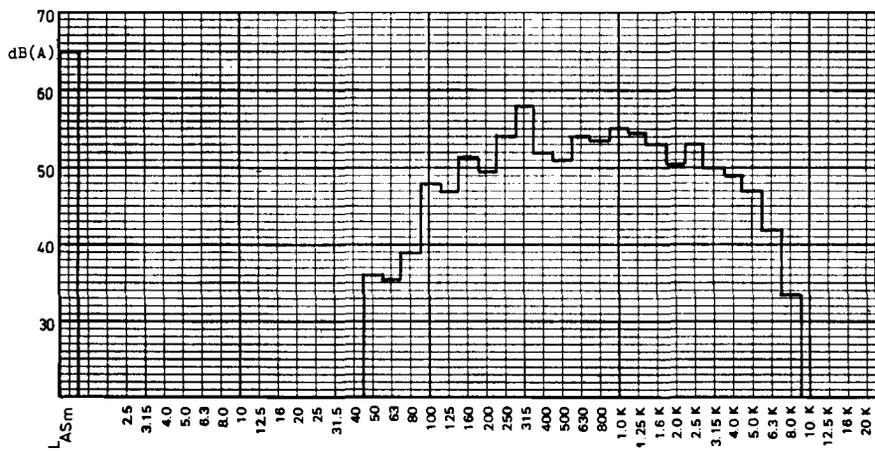
MESSBERICHT NR. 24



Meßpunkte:

⊙ Erschütterungen

Aufstellraum der WP : Keller



Abwedeln des Kellers

Terz-Mittenfrequenzen (Hz)

MESSBERICHT NR. 25

Wärmepumpenart: Sole/Wasser
 Heizleistung : 8,5 kW max
 Aufstellort : innen
 Betriebsart : bivalent, Kompaktanlage

Geräusche

Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Abwedeln des Schallfeldes im Keller;
 mittlerer Schalldruckpegel: $L_{ASm} = 54$ dB

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Wärmepumpengeräusche außerhalb des Aufstell-
 raumes wegen des vorhandenen Hintergrundge-
 räusches nicht meßbar;
 Hintergrundpegel: $L_{ASm} = 29$ dB

Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 keine

Erschütterungen

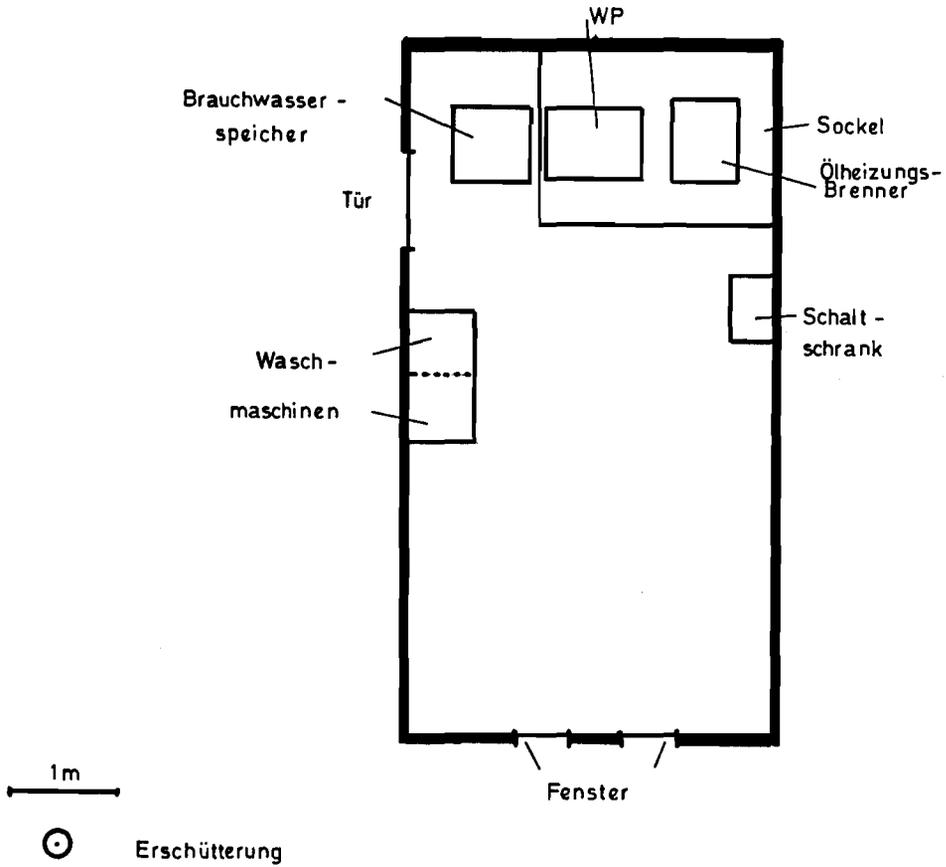
Meßdurchführung und Ergebnis; Emission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

Meßdurchführung und Ergebnis; Immission:
 Messung wurde nicht durchgeführt, da Er-
 schütterungen nicht wahrnehmbar waren

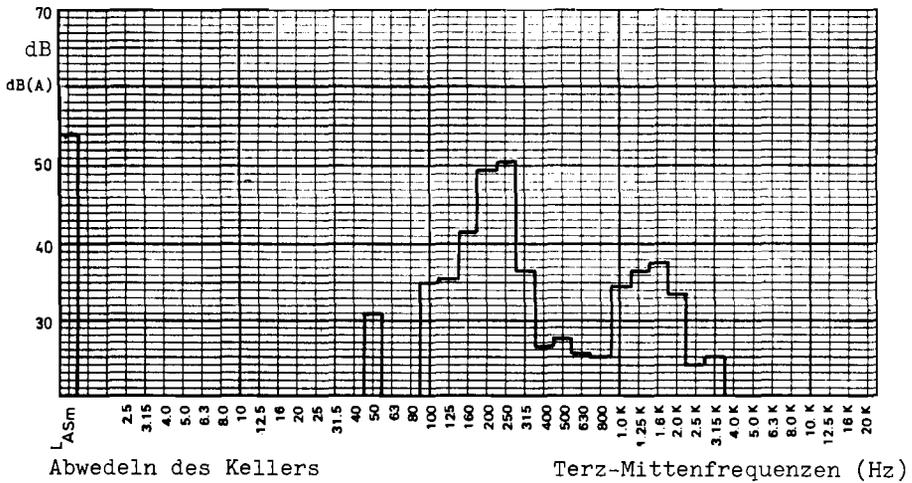
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:
 Lagerung der WP auf Gummielementen, Mineral-
 fasermatte auf dem Sockel, Entkopplung der WP
 vom Heizungskreislauf durch Kompensatoren

Nachträglich vorgenommene Minderungsmaßnahmen:
 keine

MESSBERICHT NR. 25



Aufstellraum der WP : Keller



**ELEKTRO - WÄRMEPUMPEN -
ANLAGEN IM RWE - VERSORGUNGS -
GEBIET**

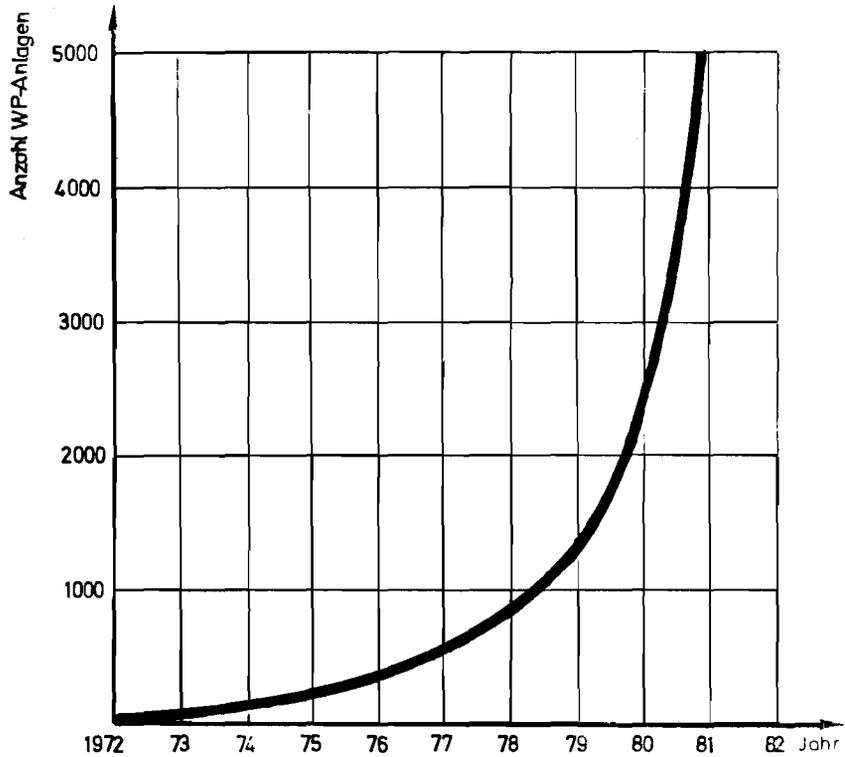


Abb. 1: Prognostizierte Anzahl installierter Wärmepumpen im Versorgungsbereich des RWE

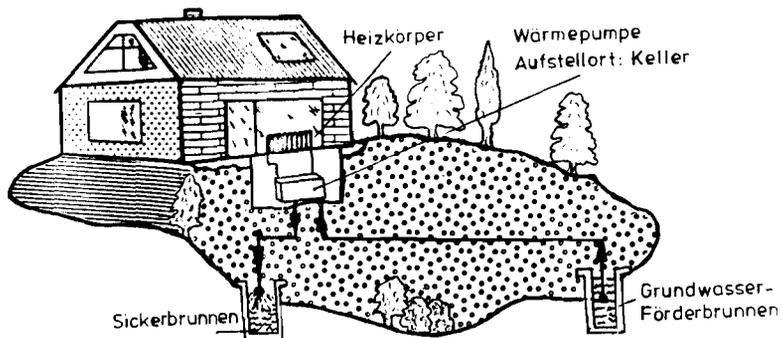


Abb. 2: Prinzip einer Grundwasser-Wasser-Wärmepumpe

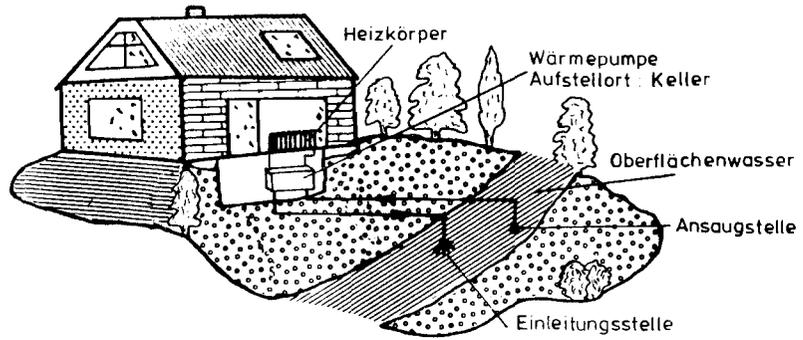


Abb. 3: Prinzip einer Oberflächenwasser-Wasser-Wärmepumpe

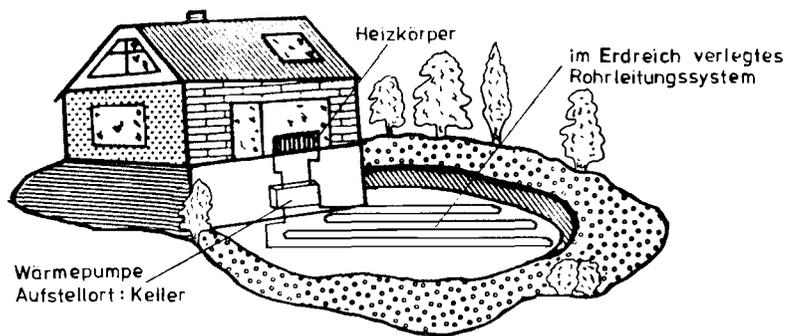


Abb. 4: Prinzip einer Erdreich-Wasser-Wärmepumpe

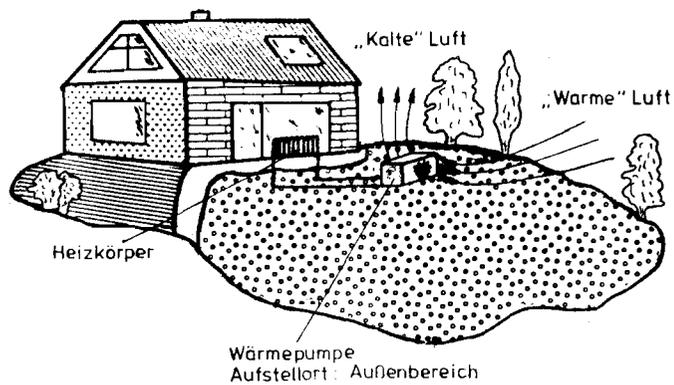


Abb. 5: Prinzip einer Luft-Wasser-Wärmepumpe

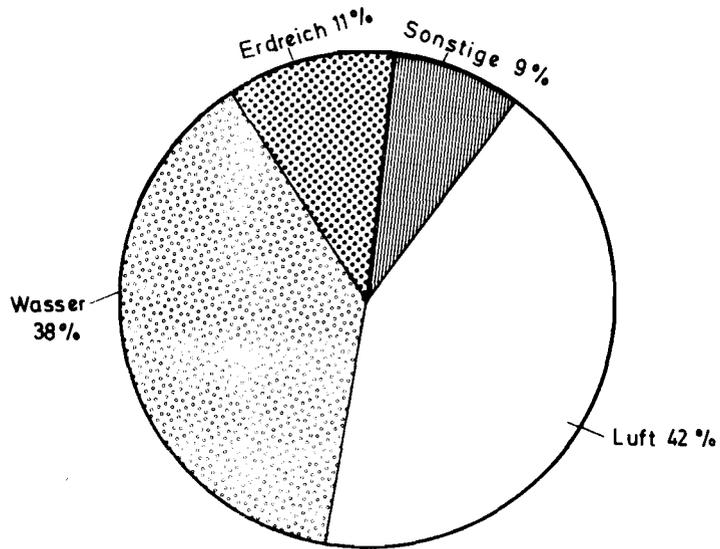


Abb. 6: Prozentuale Verteilung der durch Wärmepumpen genutzten Umweltenergie

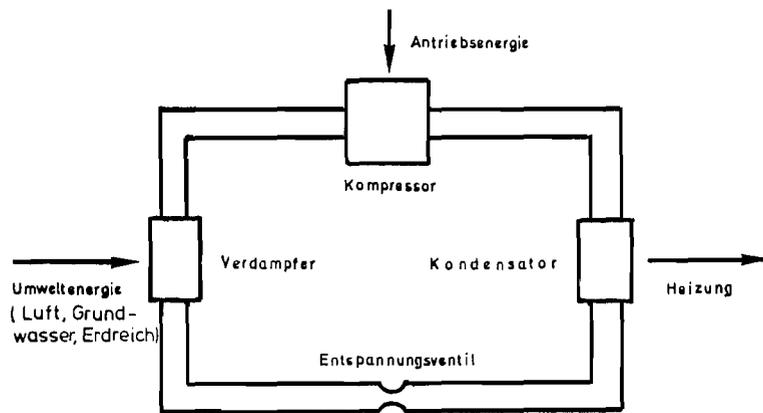


Abb. 7: Schema des Aufbaus einer Wärmepumpe

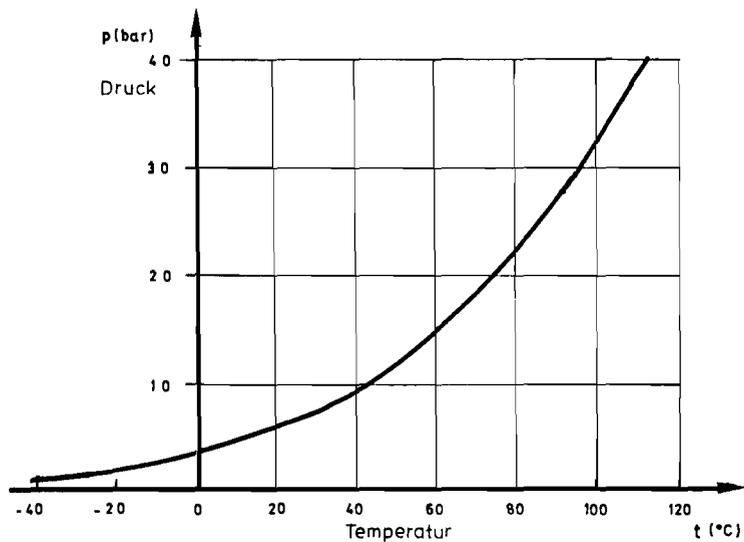


Abb. 8: Dampfdruckkurve



Abb. 9: Meßkette für Geräusche

Schwingungsaufnehmer

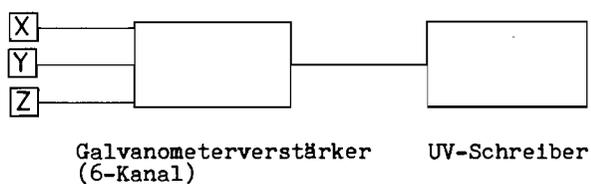
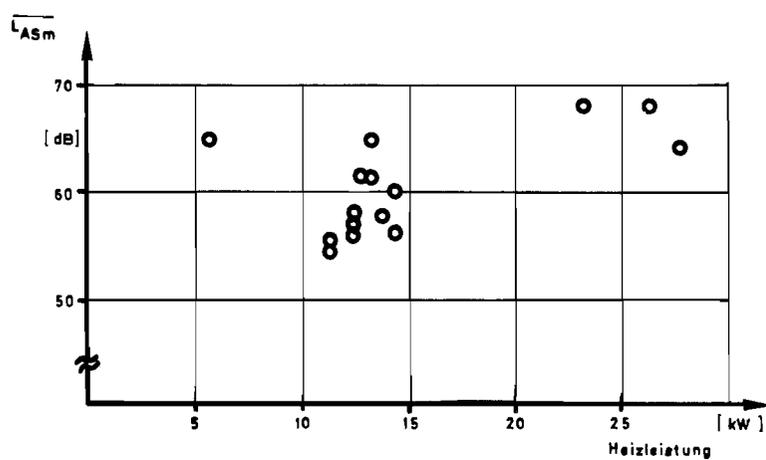


Abb. 10: Meßkette für Erschütterungen

Abb. 11: Mittlerer Schalldruckpegel $\overline{L_{ASm}}$ in 1 m Abstand; gemittelt über alle Begrenzungsflächen; Luft-Wasser-Wärmepumpe

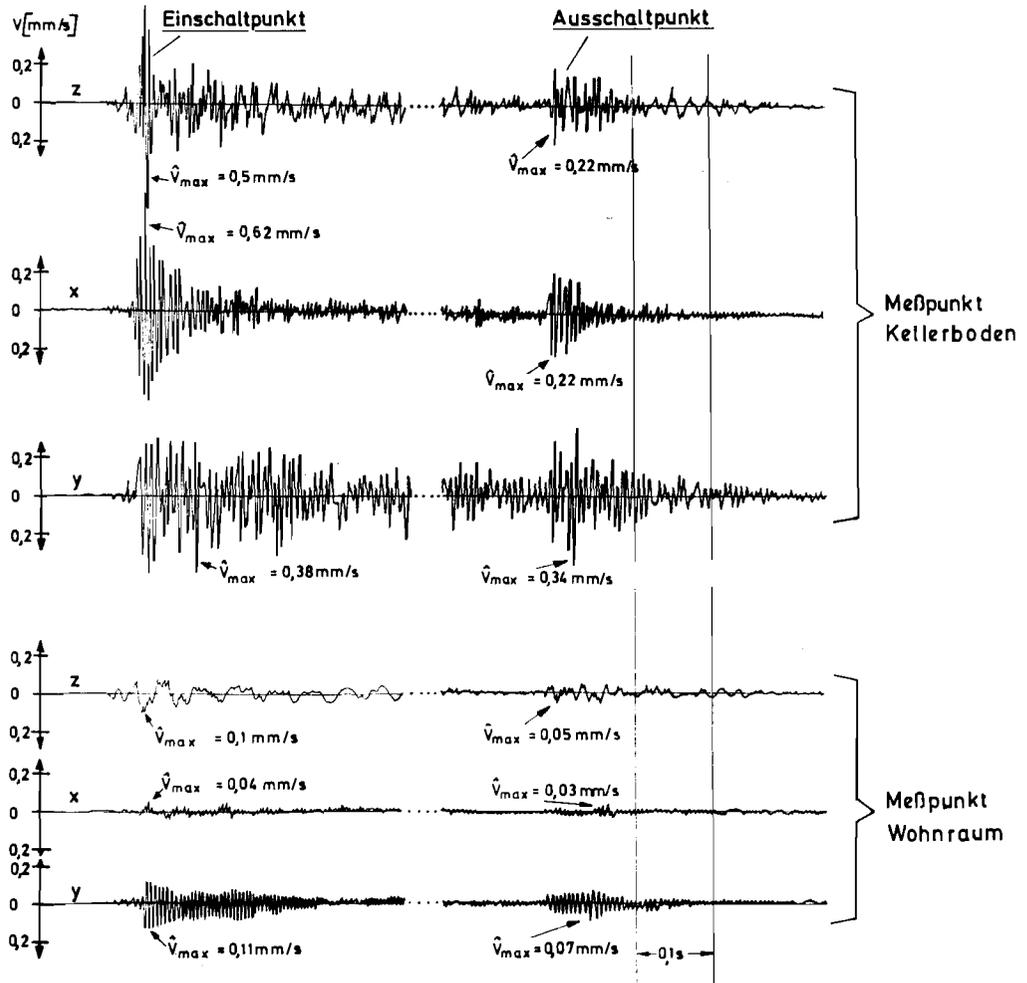


Abb. 15: Schwinggeschwindigkeit v der drei Schwingrichtungen x , y , z des Kellerbodens und der Wohnraumdecke über dem Keller

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzelexemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:
Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:
Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung
-Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B.:
(In Vorbereitung) Umweltpolitik in der VR China und technologische Entwicklung.
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:
Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:
Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:
Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:
Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:
Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:
Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:
Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).
- Berichte-Nr. 30: MANNS, H. und H. GIES:
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).

- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luf
(1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:
Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an
Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:
Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und
der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von
Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen
Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:
Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).

Anmerkung:

Die LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in vielen Universitäts- und Hoch-
schulbibliotheken zur Ausleihe bzw. Einsichtnahme zur Verfügung.