



Abschlussbericht

Betrachtung des Gesamtlärms - eine Hilfe für eine effektive Lärmaktionsplanung?

Untersuchung am Beispiel des Ballungsraums Düsseldorf

Gesamtlärbetrachtung von Verkehrsgeräuschen (Straßen-, Schienen- und
Flugverkehrslärm) nach VDI 3722 Blatt 2 und auf Basis der energetischen
Pegeladdition

Berichtersteller: Sascha Reichert

Inhalt

1. Zusammenfassung	2
1.1 Anlass, Zielsetzung und Vorgehen	2
1.2 Erkenntnisse der Gesamtlärberechnung für die Lärmaktionsplanung	2
1.3 Erkenntnisse aus der Bürgerbefragung zum Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen	3
2. Anlass.....	4
3. Zielstellung.....	5
4. Durchgeführte Berechnungen	5
4.1 Datengrundlagen	6
4.2 Technische Grundlagen	6
4.3 Energetische Pegeladdition	6
4.4 Berechnungen nach VDI 3722 Blatt 2.....	6
4.5 Hot-Spot-Analyse.....	10
4.6 Ergebnisse - Betroffenenanalyse nach VBEB EU-Umgebungslärmrichtlinie..	12
4.7 Ergebnisse - Hot-Spot-Analyse nach der LKZ-Methode (Lärmkennziffer).....	18
4.8 Fazit zu den durchgeführten Berechnungen.....	22
5. Bürgerbefragung.....	23
5.1 Ergebnisse der Bürgerbefragung.....	24
5.2 Fazit zur Auswertung der Bürgerbefragung.....	31
6. Literatur.....	34

1. Zusammenfassung

1.1 Anlass, Zielsetzung und Vorgehen

Die deutschen Rechtsvorschriften zum Geräuschemissionsschutz sehen bislang keine zusammenfassende Betrachtung unterschiedlicher Geräuschquellen vor, sondern betrachten einzelne Quellenarten isoliert in unterschiedlichen Regelwerken. In Literatur und Normung [1, 2] werden jedoch auch verschiedene Verfahren zur Gesamtlärmbetrachtung diskutiert. Es stellt sich daher für die Lärmaktionsplanung die Frage, ob eine Gesamtlärmbetrachtung gegenüber der bisherigen Betrachtung einzelner Quellenarten zusätzliche Erkenntnisse bzgl. der Hauptbelastungsgebiete ("Hot-Spots") liefern kann. Daher hat das LANUV dies im Rahmen der Zielvereinbarung mit dem MKULNV in einer Pilotstudie untersucht.

Die aktuellste Methodik zur Gesamtlärmberechnung liefert derzeit die VDI 3722-2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“. Sie ermöglicht lediglich ein Zusammenfassen von Schallquellen aus dem Verkehrsbereich (Straßen-, Schiene- und Luftverkehr), was im Rahmen der Lärmaktionsplanung keine Einschränkung darstellt, da dort typischerweise nur diese Quellen betrachtet werden. Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich daher alleine auf den Bereich der Geräuschquellen aus dem Verkehrsbereich. Mit dem Begriff Gesamtlärm wird hier immer nur die Teilmenge der Verkehrsquellen angesprochen.

Als Untersuchungsgebiet wurde die Landeshauptstadt Düsseldorf ausgewählt, da hier in vielen Bereichen Mehrfachbelastungen durch unterschiedliche Schallquellen bestehen und durch die Kartierung als Ballungsraumgemeinde innerhalb der Umgebungslärmrichtlinie entsprechende Datengrundlagen vorliegen. Für dieses Gebiet wurden Gesamtlärmberechnungen auf Basis der VDI 3722-2 und alternativ als energetische Pegelsummation durchgeführt. Die daraus ermittelten Gesamtlärm-Hot-Spots wurden mit den Hauptbelastungsgebieten aus den Berechnungen zu einzelnen Quellenarten verglichen und auf zusätzlich identifizierte Hot-Spots geprüft.

Bislang liegen nur wenige Erkenntnisse zu solchen Gesamtlärmberechnungen vor, so dass die ermittelten Gesamtlärm-Hot-Spots auf ihre Relevanz zu prüfen waren. Hierzu wurde im Untersuchungsgebiet eine Bürgerbefragung zur Wahrnehmung von Lärm beim Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen durchgeführt. Das so festgestellte subjektive Lärmempfinden der Bürger gestattet eine Einordnung der Ergebnisse aus den Gesamtlärmberechnungen.

1.2 Erkenntnisse der Gesamtlärmberechnung für die Lärmaktionsplanung

Die berechnete Anzahl der betroffenen Personen zeigt bei einer Ermittlung anhand der VDI 3722-2, der energetischen Pegeladdition und der Einzelquellenarten nur unwesentliche Unterschiede. Der Vergleich der Hot-Spots aus der Gesamtlärmberechnung nach

VDI 3722-2 zeigt gegenüber der Berechnung aus den Einzelquellenarten einige, wenige zusätzliche Hot-Spots, die energetische Pegeladdition ermittelte dagegen im Vergleich mit der VDI 3722-2 weniger zusätzliche Hot-Spots.

Sowohl Für die Ermittlung anhand der VDI 3722-2 als auch für die energetische Pegeladdition ist daher festzustellen, dass diese nur unwesentliche zusätzliche Erkenntnisse zur Ermittlung von Lärmschwerpunkten liefern. Vor dem Hintergrund des hohen Aufwandes für eine zusätzliche Gesamtlärberechnung und der weiter unten dargestellten schlechten Übereinstimmung mit der empfundenen Lärmbelästigung ist ein genereller Einsatz in der Lärmaktionsplanung nicht gerechtfertigt.

1.3 Erkenntnisse aus der Bürgerbefragung zum Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen

Die Befragung wurde mittels Postwurfsendung und per Online-Befragung durchgeführt. Insgesamt konnten 1238 Fragebögen ausgewertet werden. Dabei gaben 73 % der Antwortenden an, durch mindestens zwei Verkehrslärmquellen gestört oder belästigt zu werden, d.h. eine Mehrfachbelastung ist nicht nur rechnerisch sondern auch subjektiv vorhanden. Eine bewusste Wahrnehmung der Gesamtlärmsituation bzw. eine besondere Stör- oder Belästigungswirkung aufgrund einer Mehrfachbelastung lässt sich aus der Befragung jedoch nicht ableiten.

Weiterhin ist festzustellen, dass die Intensität der Einwirkung einzelner Verkehrslärmquellen einen Einfluss auf die Stör- und Belästigungswirkung anderer wahrgenommener Lärmquellen hat. So nimmt z.B. die störende oder belästigende Wirkung anderer Lärmquellen mit zunehmender Belästigung durch Flugverkehr ab.

Der Vergleich der nach VDI 3722-2 berechneten mit der berichteten Belästigung bestätigt die Plausibilität der Wirkungskurven für die einzelnen Verkehrslärmquellen. Ein linearer Zusammenhang zwischen berechnetem Gesamtlärm und berichteter Mehrfachbelastung war jedoch nicht festzustellen. Die Ergebnisse lassen eine moderierende Wirkung der dominierenden Quellenart auf die Belästigungswirkung der übrigen einwirkenden Quellenarten vermuten, hier erscheinen weitergehende Untersuchungen von Seiten der Wirkungsforschung sinnvoll. Das UBA lässt derzeit Untersuchungen zur VDI 3722-2 durchführen [3]; die Erkenntnisse aus dieser Pilotstudie können hierzu Anstöße liefern und sollen daher an das UBA weitergegeben werden.

Vor diesem Hintergrund bleibt die Relevanz der im Rahmen der Gesamtlärberechnung ermittelten zusätzlichen Hot-Spots und damit ein Einsatz als Werkzeug innerhalb der Lärmaktionsplanung fraglich.

2. Anlass

Eine zusammenfassende Betrachtung unterschiedlicher Geräuschquellen ist weder nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie noch nach deutschen Rechtsvorschriften zum Immissionsschutz vorgesehen. Lärmaktionsplanung und Lärmsanierung werden daher getrennt für jede Verkehrslärmquelle an den einzelnen Straßen- und Schienenwegen sowie Flughäfen und dazu noch separat in Abhängigkeit von den einzelnen Baulastträgern durchgeführt.

Dieses Vorgehen lässt außer Acht, dass in den Städten und vor allem in den Ballungsräumen viele Menschen durch mehrere Lärmquellen gleichzeitig beeinträchtigt bzw. belästigt werden. Eine wirkungsvolle Analyse der Lärmsituation und die Ermittlung der Bereiche mit den größten Lärmproblemen ist daher eher auf Grundlage einer Gesamtlärmbetrachtung als durch eine isolierte Betrachtung einzelner Quellenarten zu erwarten. Der Gesamtlärm kann im ersten Ansatz durch eine einfache energetische Pegeladdition ermittelt werden. Die vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse [4, 5] zeigen jedoch, dass die Wirkung von Geräuschen verschiedener Verkehrsträger auf den Menschen unterschiedlich ist. Daher ist es sinnvoll, das durchschnittliche subjektive Lärmempfinden der Menschen bei der Gesamtlärmbetrachtung mit zu berücksichtigen. Mit der Richtlinie VDI 3722-2 „Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“ liegt seit 2013 eine Aussage über die derzeit bekannten Wirkungen von Straßen-, Schienen- und Fluglärm auf den Menschen vor, die die vorhandenen Untersuchungen der letzten Jahre zusammenfasst. Die Richtlinie stellt für das Einwirken verschiedener Geräuschquellenarten aus dem Verkehrsbereich Kenngrößen auf Grundlage von Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Verfügung. Mit diesen Kenngrößen können flächenhafte Gesamtlärmpegel berechnet und die Anzahl der sich belästigt, stark belästigt, schlafgestört und stark schlafgestört fühlenden Menschen abgeschätzt werden.

Um das Potential einer Gesamtlärmbetrachtung für die Lärmaktionsplanung abzuschätzen, wurde vom LANUV im Rahmen der Zielvereinbarung mit dem MKULNV diese Pilotstudie durchgeführt. Die Methodik der VDI 3722-2 ermöglicht lediglich eine Zusammenfassung von Schallquellen aus dem Verkehrsbereich, für weitere Geräuschquellen wie Gewerbe, Industrie, Sport- oder Freizeitanlagen liefert sie keine Ansätze. Im Rahmen der Lärmaktionsplanung stellt dies keine Einschränkung dar, da der Fokus dort auf dem Verkehrsbereich liegt. Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich daher alleine auf den Bereich der Geräuschquellen aus dem Verkehrsbereich. Mit dem Begriff Gesamtlärm wird hier immer nur die Teilmenge der Verkehrsquellen angesprochen.

3. Zielstellung

Im Rahmen der Untersuchung werden Gesamtlärberechnungen auf Basis der energetischen Pegeladdition sowie anhand der wirkungsorientierten VDI 3722-2 durchgeführt. Im Vergleich mit klassischen Berechnungen zu einzelnen Quellenarten wird geprüft, ob die zusammenfassende Betrachtung aller Verkehrslärmquellen zusätzliche Erkenntnisse wie z.B. neue Hot-Spots ermittelt, die bei der Lärmaktionsplanung eine andere Priorisierung von Lärmschwerpunkten oder einen geänderten Maßnahmenkatalog ergeben können. Ziel ist damit die Bewertung von Gesamtlärberechnungen als Werkzeug im Rahmen der Lärmaktionsplanung zur EU-Umgebungslärmrichtlinie.

Bislang liegen nur wenige Erkenntnisse zu solchen Gesamtlärberechnungen vor. Weiteres Ziel war daher eine Prüfung der Relevanz einer Gesamtlärberechnung nach VDI 3722-2 um die Wertigkeit der zusätzlich ermittelten Gesamtlärm-Hot-Spots beurteilen zu können. Ergänzend wurde daher im Untersuchungsgebiet eine Bürgerbefragung zur Wahrnehmung von Lärm beim Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen durchgeführt. Das so festgestellte subjektive Lärmempfinden der Bürger gestattet eine Plausibilitätsprüfung der zugrundeliegenden Wirkungskurven der VDI 3722-2 und verbessert die Einordnung der Ergebnisse aus den Gesamtlärberechnungen.

4. Durchgeführte Berechnungen

Für die Untersuchung musste zunächst ein geeignetes Untersuchungsgebiet ausgewählt werden. Die Landeshauptstadt Düsseldorf bietet sich dazu an, da hier in vielen Bereichen Mehrfachbelastungen durch unterschiedliche Schallquellen bestehen und durch die Kartierung als Ballungsraumgemeinde innerhalb der Umgebungslärmrichtlinie entsprechende Datengrundlagen vorliegen.

Als Eingangsdaten für die Berechnung wurden daher die Ergebnisdaten (Lärmkarten und Fassadenpunkte der Lärmquellen Straßen-, Schienen- und Flugverkehr) der Lärmkartierung der Stufe 2 des Ballungsraumes Düsseldorf verwendet. Für die Daten zu den Schienenwegen des Bundes musste auf die Berechnungen der 1. Stufe der Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes zurückgegriffen werden, da mit Beginn der Untersuchungen und Berechnungen Mitte 2014 noch keine aktuellen Daten der Stufe 2 vorlagen. Bei der Stadt Düsseldorf handelt es sich um einen Ballungsraum der Stufe 1. Bereits in der 1. Stufe wurde das gesamte Schienennetz des Bundes in Düsseldorf kartiert. Somit liegen auch hier flächendeckende Lärmkartierungsergebnisse vor.

4.1 Datengrundlagen

Es wurden folgende Daten verwendet:

- **Rasterlärnkarten** im 10 m Raster aus den Berechnungen der Lärmkartierung Stufe 2 mit den Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} für Straßen, nicht-Bundeseigene Schienenwege (z.B. Straßenbahnen), Bundesschienenwege und den Großflughafen Düsseldorf,
- **Fassadenpunkte** im Shape-Format (ca. 590.000 Datensätze) mit den Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} für die Straßen und sonstigen Schienenwege – die Immissionswerte für die Bundesschienenwege und den Großflughafen Düsseldorf wurden aus den Fassadenpunkten des EBA und aus der Rasterlärnkarte des Großflughafens Düsseldorf durch die „Near“-Funktion im ArcGIS berechnet. Weiterhin beinhalten die Fassadenpunkte Informationen zur Einwohneranzahl, die zur Abschätzung der Betroffenenanzahl benötigt wird.

4.2 Technische Grundlagen

Für die Berechnungen wurde größtenteils das Softwareprodukt ArcGIS von ESRI eingesetzt, so z.B. für die Berechnung der Rasterlärnkarten und für die Feldberechnungen in den Fassadenpunkten. Für weitere statistische Auswertungen kam das Produkt Excel von Microsoft zum Einsatz.

4.3 Energetische Pegeladdition

Rasterlärnkarten:

Die Pegel der Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} der einzelnen Lärmquellen wurden energetisch summiert, so dass eine neue Gesamtlärnkarte für diese Lärmindizes entstand.

Fassadenpunkte:

Die Pegel der Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} der einzelnen Lärmquellen wurden energetisch summiert, so dass ein neuer Gesamtpegel für diese Lärmindizes pro Fassadenpunkt entstand. Somit konnten auch hier entsprechend der VBEB nach EU-Umgebungsärmrichtlinie Betroffenenstatistiken für den energetischen Gesamtlärmpegel ermittelt werden.

4.4 Berechnungen nach VDI 3722 Blatt 2

Ausgangspunkt für die Berechnungen sind die Expositions-Wirkungsbeziehungen der verschiedenen Verkehrsgeräuschquellen. Diese Expositions-Wirkungsbeziehungen wurden aus verschiedenen Literaturquellen und Forschungsarbeiten zum Thema abgeleitet und werden durch Gleichungen für Wirkungskurven repräsentiert. In der Norm werden Gleichungen für die Wirkungsbeziehungen für die Belästigung, starke Belästigung, Schlafstörung und starke Schlafstörung entwickelt. Mit diesen Gleichungen kann z.B. der Prozentsatz der belästigten Menschen errechnet werden, der sich bei bestimmten Pegeln

und verursacht durch bestimmte Verkehrsgeräuschquellen ergibt. Wirkt z.B. der Flugverkehr mit 65 dB(A) L_{DEN} ein, ergibt sich auf Grundlage der Expositions-Wirkungsbeziehungen, dass sich ca. 48,3 % der Menschen durch diesen Lärm belästigt fühlen. Ein gleich hoher Anteil belästigter Menschen ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Lärmwirkung beim Straßenverkehr erst bei einem Pegel von 70,14 dB(A), dies ist der sogenannte renormierte Ersatzpegel für den Fluglärm. Beim Schienenverkehr hingegen ergibt sich bei einem Pegel von 65 dB(A) eine Belästigung von 23,4 %, die bezogen auf den Straßenverkehr einen renormierten Ersatzpegel von 58,7 dB ergibt.

Die VDI 3722-2 nutzt für die Addition den Pegel des Straßenverkehrslärms als Bezug. Für jede Quellenart wird zunächst anhand ihrer Dosis-Wirkungs-Kurve der Prozentsatz belästigter bzw. schlafgestörter Personen ermittelt (s.a. Abb. 1). Aus diesem Prozentsatz wird dann anhand der Dosis-Wirkungs-Kurve für den Straßenverkehr der zugehörige „renormierte Ersatzpegel“ bestimmt. Anstelle der tatsächlich berechneten Pegel der einzelnen Quellenart werden anschließend die „renormierten Ersatzpegel“ addiert. Die energetische Addition der Ersatzpegel ergibt den sogenannten „effektbezogenen Substitutionspegel“, für diesen wird dann anhand der Dosis-Wirkungs-Kurve für den Straßenverkehr (als Bezugsgröße) der Anteil der vom Gesamtlärm belästigten oder schlafgestörten Personen ermittelt.

Somit entstehen Gesamtlärmpegel für Belästigung und starke Belästigung auf Grundlage des Lärmindex L_{DEN} und es entstehen Gesamtlärmpegel für Schlafstörung und starke Schlafstörung für den Lärmindex L_{Night} .

Rasterlärmkarten:

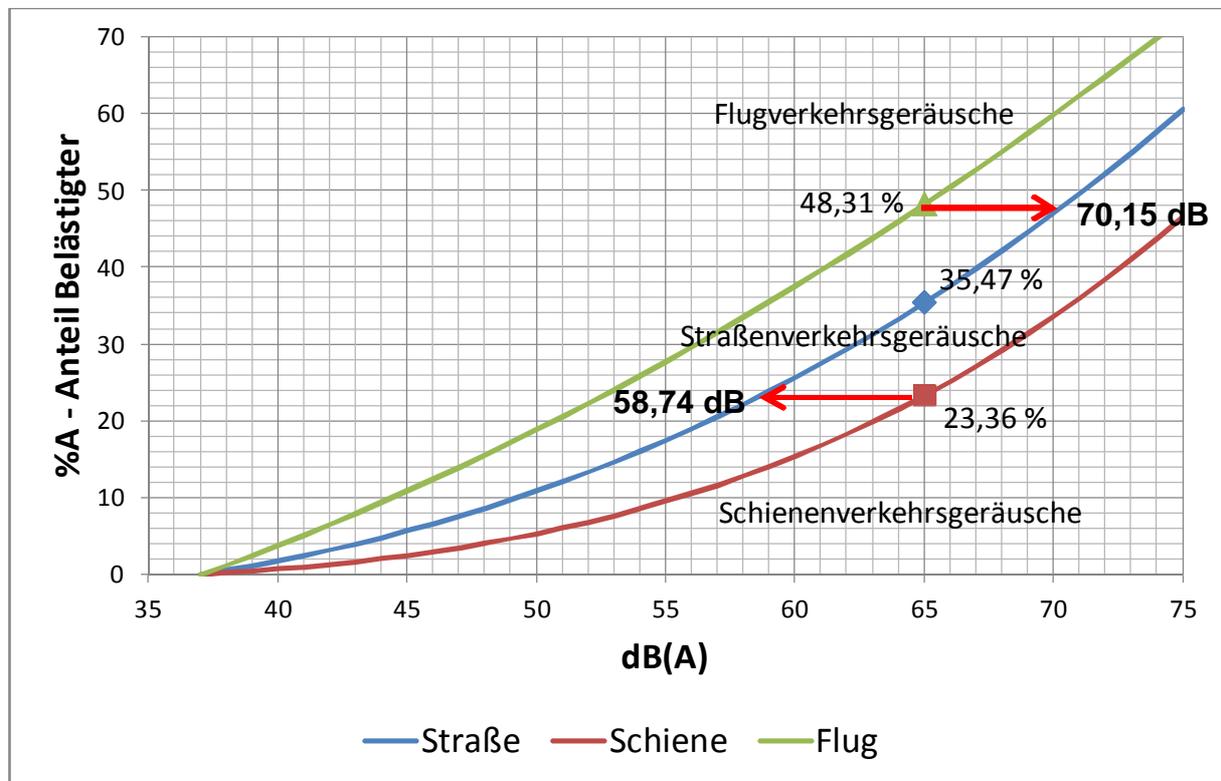
Ferner wurden anhand der Methodik der VDI 3722-2 auch Rasterlärmkarten mit Gesamtlärmpegeln für Belästigung, starke Belästigung, Schlafstörung und starke Schlafstörung errechnet.

Fassadenpunkte:

Es wurden Gesamtlärmpegel nach VDI 3722-2 pro Fassadenpunkt errechnet. Daraus konnten entsprechend der VBEB [6] für Schienenverkehr, Flugverkehr, Straßenverkehr und für den Gesamtlärm nach EU-Umgebungslärmrichtlinie Betroffenenstatistiken ermittelt werden. Dies diente dem Vergleich mit den Betroffenenzahlen aus der Lärmkartierung Stufe 2 nach EU-Umgebungslärmrichtlinie.

Weiterhin wurde die Anzahl der belästigten, stark belästigten, schlafgestörten und stark schlafgestörten Personen für Schienenverkehr, Flugverkehr, Straßenverkehr und für den Gesamtlärm berechnet.

Abbildung 1: Grafische Darstellung der Expositions-Wirkungsbeziehungen für einzelne Quellenarten für den Anteil belästigter Personen



Beispiele für die Berechnungen nach VDI 3722 Blatt 2:

Berechnung des effektbezogenen Substitutionspegels am Beispiel %A – Belästigung: Straßen-, Schienen- und Flugverkehrsgeräusche

Betrachtet wird ein Immissionsort mit dem gleichzeitigen Einwirken folgender Geräuschquellen:

- Straßenverkehrsgeräusche: 65 dB(A)
- Schienenverkehrsgeräusche: 65 dB(A)
- Flugverkehrsgeräusche: 65 dB(A)

Berechnung Prozent Belästigte %A Schienenverkehrsgeräusche: **23,36 %A**;
23,36 %A entsprechen einem renormierten Ersatzpegel von **58,74 dB**.

Berechnung Prozent Belästigte %A Flugverkehrsgeräusche: **48,31 %A**;
48,31 %A entsprechen einem renormierten Ersatzpegel von **70,15 dB**.

Nach energetischer Addition der renormierten Ersatzpegel von 58,74 dB und 70,15 dB und des Straßenverkehrsgeräuschpegels von 65 dB beträgt der auf Straßenverkehrsgeräusche bezogene effektbezogene Substitutionspegel für den Gesamtlärm: **71,54 dB**

Berechnung der belästigten Personen pro Fassadenpunkt am Beispiel %A – Belästigung: Straßen-, Schienen- und Flugverkehrsgeräusche

Betrachtet wird ein Fassadenpunkt mit dem gleichzeitigen Einwirken folgender
Geräuschquellen:

Straßenverkehrsgeräusche:	65 dB(A)
Schienenverkehrsgeräusche:	65 dB(A)
Flugverkehrsgeräusche:	65 dB(A)

Berechnung Prozent Belästigte %A Schienenverkehrsgeräusche: **23,36 %A, d.h. 23,36 %
der Personen**, die dem Fassadenpunkt zugeordnet wurden, fühlen sich **belästigt durch
Schienenlärm**;

23,36 %A entsprechen einem renormierten Ersatzpegel von **58,74 dB**.

Berechnung Prozent Belästigte %A Flugverkehrsgeräusche: **48,31 %A, d.h. 48,31 % der
Personen**, die dem Fassadenpunkt zugeordnet wurden fühlen sich **belästigt durch
Fluglärm**;

48,31 %A entsprechen einem renormierten Ersatzpegel von **70,15 dB**.

Berechnung Prozent Belästigte %A Straßenverkehrsgeräusche: **35,47 %A, d.h. 35,47 % der
Personen**, die dem Fassadenpunkt zugeordnet wurden fühlen sich **belästigt durch
Straßenlärm**.

Nach energetischer Addition der renormierten Ersatzpegel von 58,74 dB und 70,15 dB und
des Straßenverkehrsgeräuschpegels von 65 dB beträgt der auf Straßenverkehrsgeräusche
bezogene effektbezogene Substitutionspegel für den Gesamtlärm: **71,54 dB**.

Berechnung Prozent Belästigte %A Gesamtlärm entsprechend der Formel für
Straßenverkehrsgeräusche (als Bezugsgröße): **63,73 %A, d.h. 63,73 % der Personen**, die
dem Fassadenpunkt zugeordnet wurden fühlen sich **durch den Gesamtlärm belästigt**.

Notwendige Anpassungen der Wertebereiche für die Gesamtlärberechnungen

Methodische Probleme der VDI 3722-2 – Wertebereiche:

Durch die beschränkt definierten Gültigkeitsbereiche ist die Gesamtlärberechnung nach VDI 3722-2 nur sehr eingeschränkt als Hilfsmittel für die Lärmaktionsplanung geeignet. Das Problem ergibt sich durch die Beschränkung der Wertebereiche für den renormierten Ersatzpegel, denn nur innerhalb dieser Werte finden die Gleichungen ihre Gültigkeit:

- Belästigte Personen: $37 \text{ dB(A)} \leq L_{\text{DEN}} \leq 75 \text{ dB(A)}$
- Stark belästigte Personen: $42 \text{ dB(A)} \leq L_{\text{DEN}} \leq 75 \text{ dB(A)}$
- Schlafgestörte Personen: $40 \text{ dB(A)} \leq L_{\text{Night}} \leq 65 \text{ dB(A)}$
- Stark schlafgestörte Personen: $40 \text{ dB(A)} \leq L_{\text{Night}} \leq 65 \text{ dB(A)}$

In der Realität gibt es aber zahlreiche Immissionsorte mit höheren oder niedrigeren Pegeln. Die Immissionsorte mit Pegeln $L_{\text{Night}} > 65 \text{ dB(A)}$ und $L_{\text{DEN}} > 75 \text{ dB(A)}$ im gesundheitsrelevanten Bereich sind für die Priorisierung bei der Lärmaktionsplanung von besonderer Bedeutung und sind zwingend in die Gesamtlärbetrachtung mit einzuschließen. Eine Regelung, wie mit diesen höheren Werten umgegangen werden soll, existiert in der VDI 3722-2 nicht. Daher musste im Vorfeld eine eigene Regelung für diese Untersuchung getroffen werden, wie die Pegelwerte außerhalb des Wertebereiches berücksichtigt werden können.

Es wurde geprüft bis zu welchen Pegeln dennoch sinnvolle und logische renormierte Ersatzpegel berechnet werden. Da für die Berechnung der Anzahl der belästigten Personen für die Einzellärmquellen und für die Berechnung des Gesamtlärmpegels unterschiedliche neue Wertebereiche festgelegt werden mussten, bedeutete dies einen zusätzlichen Aufwand innerhalb der Arbeiten zu dieser Untersuchung. Schließlich wurden neue Wertebereiche und neue Regelungen festgelegt, die in Anhang 1 „Festlegung Wertebereiche“ definiert sind.

4.5 Hot-Spot-Analyse

Für eine Analyse der Lärmsituation im Rahmen der Lärmaktionsplanung und der Ermittlung der größten Lärmprobleme ist eine Hot-Spot-Analyse notwendig. Mit dieser Hot-Spot-Analyse sollen die Gebiete gefunden werden, in denen durch hohe Gesamtpegel viele Menschen betroffen sind. Dabei soll die Priorität mit zunehmendem Pegel und der Anzahl der betroffenen Personen steigen. Im Endeffekt sollen die Bereiche ermittelt werden, in denen besonders viele hochbelastete Menschen durch Lärmschutzmaßnahmen entlastet werden können.

Um den Erkenntnisgewinn einer Gesamtlärbetrachtung für die Lärmaktionsplanung zu analysieren, werden die Hot-Spots der Gesamtlärberechnung mit den Hot-Spots der Einzellärmquellen verglichen. Hier ist die Frage zu klären, ob durch die Gesamtlärbetrachtung andere bzw. ergänzende Hot-Spots gegenüber einer Einzellärmquellenbetrachtung identifiziert werden. Im Laufe der Untersuchung wurden einige

Möglichkeiten zur Hot-Spot-Analyse angewendet, wie z.B. Entlogarithmieren der dB-Werte in Abhängigkeit zur Betroffenenanzahl, unterschiedliche Raumbezüge wie 50m x 50m oder 10m x 10m Raster, Dichteanalysen. Die Methode der Lärmkennziffer nach Bönninghausen/Popp [7] lieferte bzgl. der Hot-Spots die aussagekräftigsten Ergebnisse und kommt daher hier zur Anwendung.

LKZ – Lärmkennziffer (nach Bönninghausen/Popp):

Die Lärmkennziffer pro Fassadenpunkt ergibt sich aus der Einwohnerzahl multipliziert mit der Differenz aus dem berechneten Pegel und einem Grenzwertpegel. Für die Ermittlung der Hot-Spots basierend auf der Lärmkennziffer wurde das Gebiet der Stadt Düsseldorf in ein 100m x 100m-Raster aufgeteilt. Im Anschluss wurden die Fassadenpunkte mit den Rastern verschnitten und die Lärmkennziffern der verschnittenen Fassadenpunkte in den einzelnen 100m x 100m Rastern aufsummiert. Somit entsteht eine aufsummierte Lärmkennziffer pro 100m x 100m Raster, welche die zu untersuchenden Hot-Spots darstellt. Hierfür wurden folgende Lärmkennziffern für jeden Fassadenpunkt ermittelt:

1. [Einwohner * (Pegel - 65 dB(A))] (für **L_{DEN} Gesamtlärm energetisch, %A belästigt, %HA stark belästigt**)
2. [Einwohner * (Pegel - 55 dB(A))] (für **L_{Night} Gesamtlärm energetisch, %SD schlafgestört, %HSD stark schlafgestört**)
3. Anzahl der belästigten, stark belästigten, schlafgestörten und stark schlafgestörten Personen (siehe VDI 3722 Blatt 2, Anhang B4 oder weiter oben die Beispiele unter Nr. 4.4)

4.6 Ergebnisse - Betroffenenanalyse nach VBEB EU-Umgebungslärmrichtlinie

Die Berechnung der betroffenen Personen in Düsseldorf erfolgte nach VBEB EU-Umgebungslärmrichtlinie [6] für die Lärmindices L_{DEN} und L_{Night} und für den Gesamtlärm durch energetische Addition bzw. durch Berechnung des Substitutionspegels für Belästigung und starke Belästigung nach VDI 3722-2.

Anzahl der betroffenen Personen nach VBEB (siehe Abbildung 2 und 3)

Anzahl Personen	$L_{DEN} > 55 \text{ dB(A)}$	$L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$	$L_{Night} > 45 \text{ dB(A)}$	$L_{Night} > 55 \text{ dB(A)}$
Straße	268.311	64728	298.968	70.612
Schiene	139.001	32.249	216.549	51.818
Flug	70.612	392	1.645	748
Gesamtlärm energetisch	355.785	91.391	402.012	113.275
Gesamtlärm Belästigung	330.552	78.562		
Gesamtlärm starke Belästigung	312.568	78.484		
Gesamtlärm Schlafstörung			340.995	79.398
Gesamtlärm starke Schlafstörung			339.777	78.907

Anzahl der belästigten, stark belästigten, schlafgestörten und stark schlafgestörten Personen nach VDI 3722 Blatt 2 in Düsseldorf (siehe Abbildung 4):

Berechnung der belästigten, stark belästigten, schlafgestörten und stark schlafgestörten Personen nach VDI 3722 Blatt 2, Anhang B4 oder siehe oben Kap. 4.4 Beispiele für die Berechnungen.

Anzahl Personen	belästigte Personen	stark belästigte Personen	schlafgestörte Personen	stark schlafgestörte Personen
Straße	107.422	43.776	53.468	23.059
Schiene	41.055	12.289	24.775	9.328
Flug	19.397	4.985	646	387
Gesamtlärm	124.140	50.970	59.961	25.844

Abbildung 2: Betroffenzahlen für Düsseldorf je 5 dB(A) Isophone für den Lärmindex L_{DEN} - abgebildet sind die Ergebnisse der Umgebungslärmkartierung der Einzellärmquellen und rechts die drei Ergebnisse der Gesamtlärberechnungen

Belästigt: Substitutionspegel nach VDI 3722-2 pro Fassadenpunkt für den Gesamtlärm %A und Ermittlung der Betroffenzahlen nach VBEB

Stark belästigt: Substitutionspegel VDI 3722-2 pro Fassadenpunkt für den Gesamtlärm %HA und Ermittlung der Betroffenzahlen nach VBEB

Energetisch: energetische Addition der Pegel der Einzelquellen pro Fassadenpunkt und Ermittlung der Betroffenzahlen nach VBEB

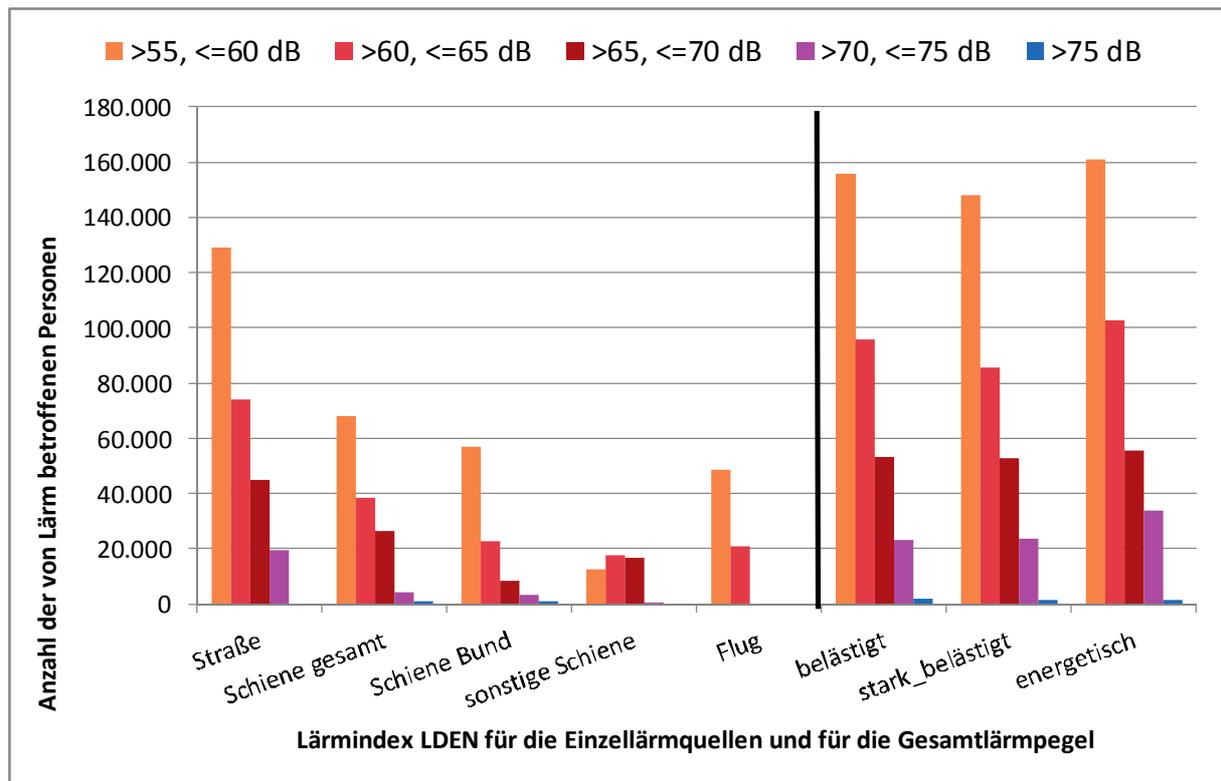


Abbildung 3: Betroffenzahlen für Düsseldorf je 5 dB(A) Isophone für den Lärminde L_{Night} – abgebildet sind die Ergebnisse der Umgebungslärmkartierung der Einzellärmquellen und rechts die drei Ergebnisse der Gesamtlärberechnungen

Schlafgestört: Substitutionspegel VDI 3722-2 pro Fassadenpunkt für den Gesamtlärm %SD und Ermittlung der Betroffenzahlen nach VBEB

Stark schlafgestört: Substitutionspegel VDI 3722-2 pro Fassadenpunkt für den Gesamtlärm %HSD und Ermittlung der Betroffenzahlen nach VBEB

Energetisch: energetische Addition der Pegel der Einzelquellen pro Fassadenpunkt und Ermittlung der Betroffenzahlen nach VBEB

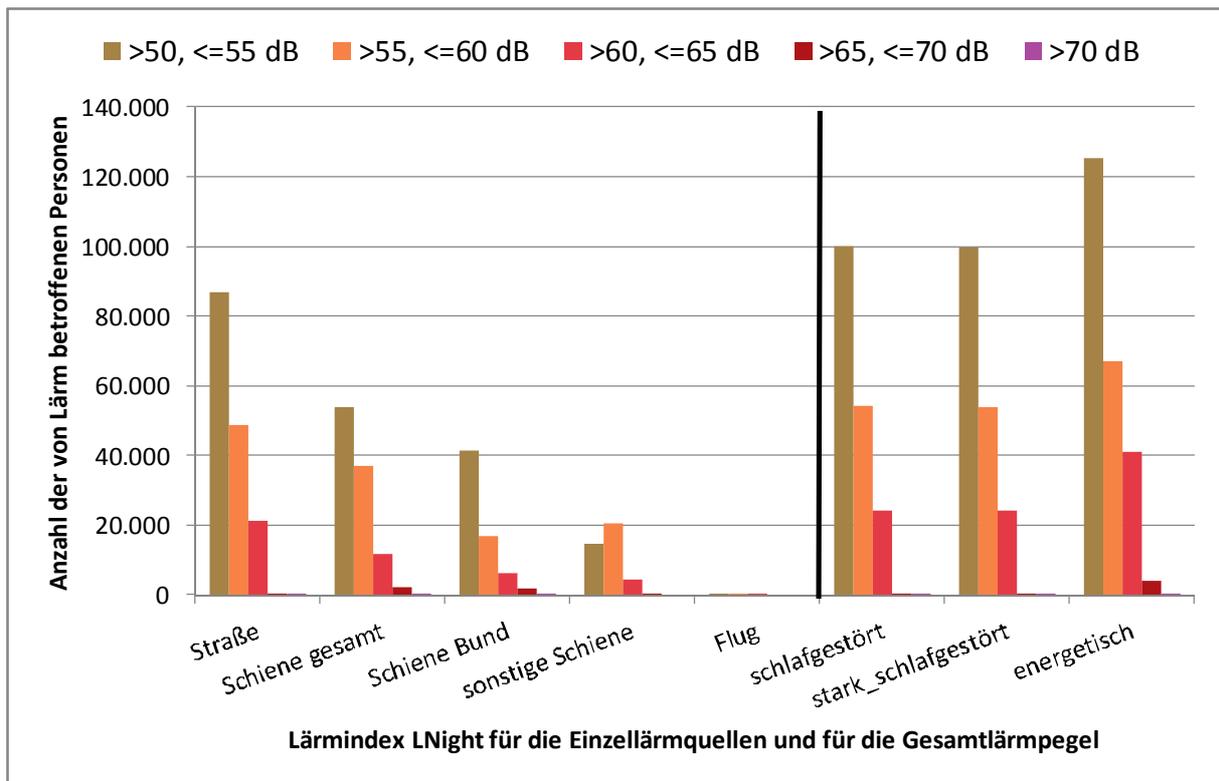
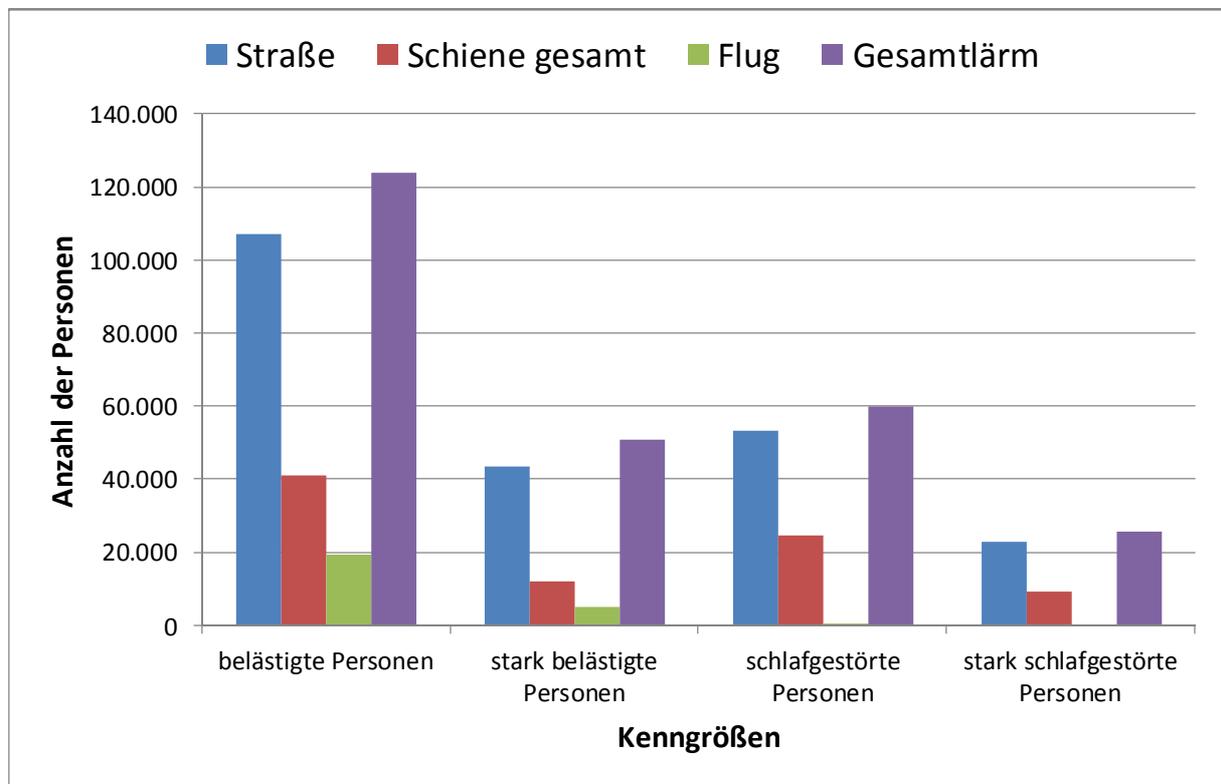


Abbildung 4: Anzahl der nach VDI 3722 Blatt 2 berechneten (stark) belästigten bzw. (stark) schlafgestörten Personen für die drei Verkehrsquellen und für den Gesamtlärm



Erläuterungen zu den Abbildungen 5, 6, 7 und 8:

Abbildung 5: L_{DEN} Lärmkarten übereinander gelegt

Die Lärmkarten für $L_{DEN}(\text{Straße})$, $L_{DEN}(\text{Schiene})$ und $L_{DEN}(\text{Flug})$ der Einzelquellen aus den Berechnungen zur Lärmkartierung Stufe 2 wurden hier übereinander gelegt und die Flächen mit den gleichen Eigenschaften zusammengefasst sowie der höchste Pegel an oberster Stelle angezeigt und dann dem Pegelverlauf absteigend dargestellt. Dabei handelt es sich um die optische Priorisierung der maximalen Einwirkung. Es wird für eine Fläche immer der höchste Pegelwert unabhängig von der Quelle angezeigt, alle niedrigeren Einwirkungen treten so in der Darstellung zurück.

Abbildung 6: L_{DEN} energetisch

Energetische Pegelsummation aus den berechneten Rasterdaten der Lärmkartierung zur Stufe 2 der Einzelquellen Straße, Schiene und Flug. Die Werte aus den Lärmkarten für $L_{DEN}(\text{Straße})$, $L_{DEN}(\text{Schiene})$ und $L_{DEN}(\text{Flug})$ wurden je Rasterpunkt energetisch aufaddiert.

Abbildung 7: L_{DEN} Belästigung

Substitutionspegel (Gesamtlärmpegel) nach VDI 3722-2 aus den Lärmkarten der Berechnungen zur Lärmkartierung Stufe 2 der Einzelquellen Straße, Schiene und Flug für %A

Abbildung 8: L_{DEN} starke Belästigung

Substitutionspegel (Gesamtlärmpegel) nach VDI 3722-2 aus den Lärmkarten der Berechnungen zur Lärmkartierung Stufe 2 der Einzelquellen Straße, Schiene und Flug für %HA

Abb. 5: L_{DEN} Lärmkarten übereinandergelegt

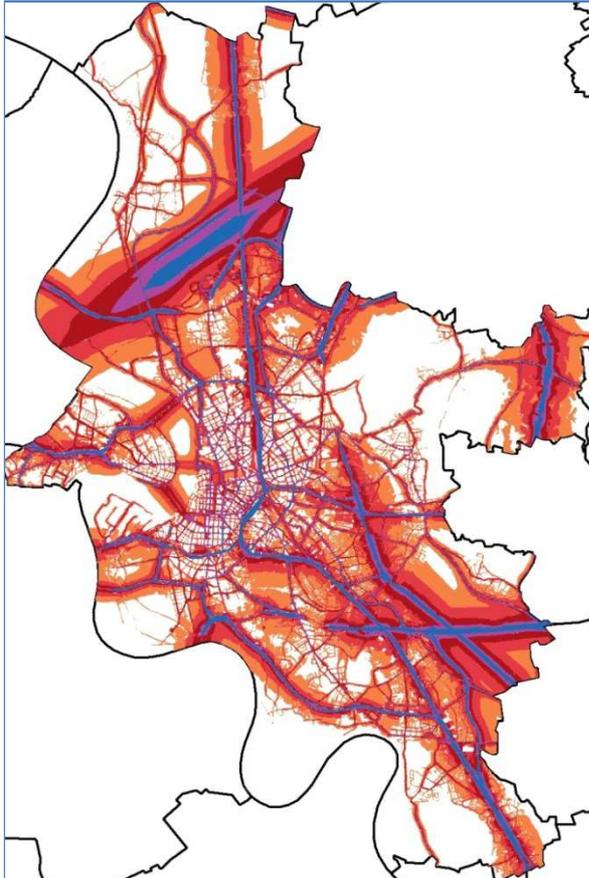


Abb. 6: L_{DEN} energetisch

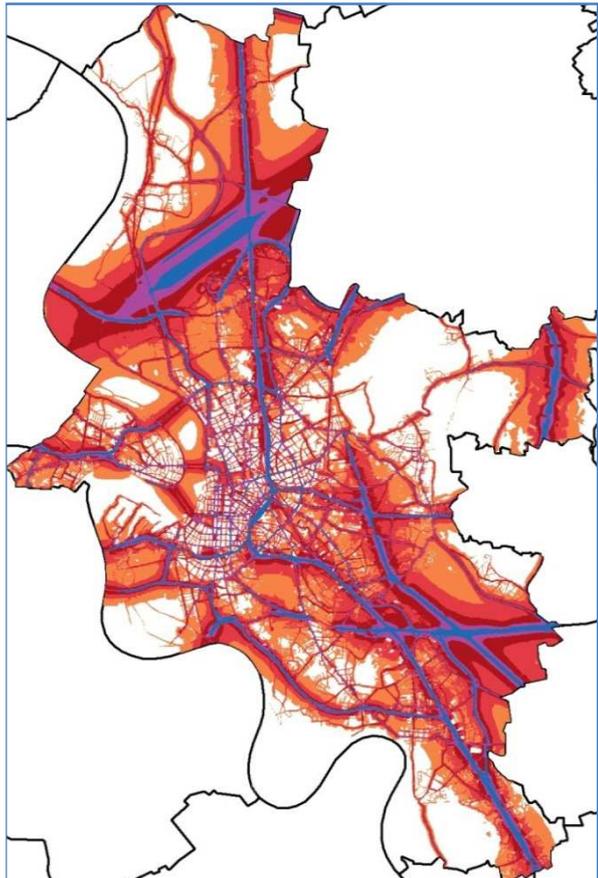
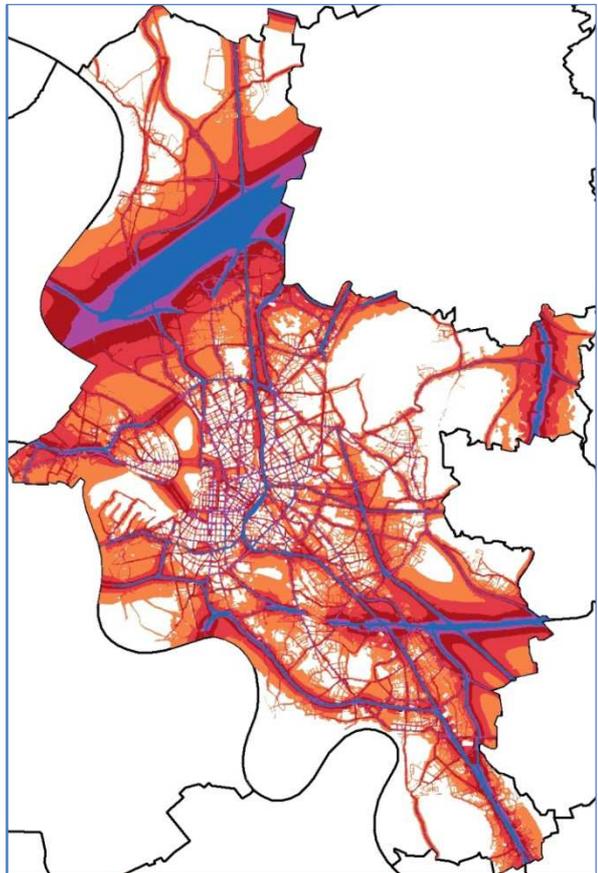


Abb. 8: L_{DEN} Belästigung



Abb. 7: L_{DEN} starke Belästigung



4.7 Ergebnisse - Hot-Spot-Analyse nach der LKZ-Methode (Lärmkennziffer)

Es wurde folgende Methode für die Hot-Spot-Analyse gewählt: Vergleich der 10 bzw. 100 am meisten belasteten 100m x 100m Gebiete für LKZ L_{DEN} (Straße), LKZ L_{DEN} (Schiene), LKZ L_{DEN} (Flug) mit der LKZ Anzahl der belästigten Personen und Anzahl der stark belästigten Personen für Gesamtlärm. Es werden zwei Vergleiche jeweils für 10 und für 100 Hot-Spots durchgeführt. Im ersten Vergleich wird an den 10 bzw. 100 maximalen Hot-Spots die LKZ der Einzelquellen aus der Lärmkartierung Stufe 2 der aus der Gesamtlärmbewertung der VDI 3722 2 ermittelten LKZ der Anzahl der belästigten Personen gegenüber gestellt. Im zweiten Vergleich erfolgt dies für die LKZ der stark belästigten Personen.

Die **10** am meisten belasteten Gebiete (%A Belästigung):

[LKZ L_{DEN} **Straße**, LKZ L_{DEN} **Schiene**, LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen**]:

5 Übereinstimmungen – 5 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der drei Verkehrsgeräuschquellen (siehe Abbildung 9).

[LKZ L_{DEN} **Straße**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen durch Gesamtlärm**]:

4 Übereinstimmungen – 6 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Straßenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Schiene**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen durch Gesamtlärm**]:

2 Übereinstimmungen – 8 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Schienenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen durch Gesamtlärm**]:

0 Übereinstimmungen – 10 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Flugverkehrsquelle

Die **100** am meisten belasteten Gebiete (%A Belästigung):

[LKZ L_{DEN} **Straße**, LKZ L_{DEN} **Schiene**, LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen**]:

75 Übereinstimmungen – 25 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der drei Verkehrsgeräuschquellen (siehe Abbildung 10)

[LKZ L_{DEN} **Straße**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen durch Gesamtlärm**]:

60 Übereinstimmungen – 40 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Straßenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Schiene**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen durch Gesamtlärm**]:

25 Übereinstimmungen – 75 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Schienenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [LKZ **Anzahl der belästigten Personen durch Gesamtlärm**]:

0 Übereinstimmungen – 100 der Hot-Spots der [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Flugverkehrsquelle

Die **10** am meisten belasteten Gebiete (%HA starke Belästigung):

[LKZ L_{DEN} **Straße**, LKZ L_{DEN} **Schiene**, LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

8 Übereinstimmungen – 2 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der drei Verkehrsgeräuschquellen

[LKZ L_{DEN} **Straße**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

7 Übereinstimmungen – 3 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Straßenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Schiene**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

2 Übereinstimmungen – 8 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Schienenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

0 Übereinstimmungen – 10 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Flugverkehrsquelle

Die **100** am meisten belasteten Gebiete (%HA starke Belästigung):

[LKZ L_{DEN} **Straße**, LKZ L_{DEN} **Schiene**, LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

86 Übereinstimmungen – 14 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der drei Verkehrsgeräuschquellen

[LKZ L_{DEN} **Straße**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

69 Übereinstimmungen – 31 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Straßenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Schiene**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

23 Übereinstimmungen – 77 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Schienenverkehrsquelle

[LKZ L_{DEN} **Flug**] vs. [Anzahl der stark belästigten Personen durch Gesamtlärm]:

5 Übereinstimmungen – 95 der Hot-Spots der [Anzahl der stark belästigten Personen Gesamtlärm] sind keine Schnittmenge mit den Hot-Spots der Flugverkehrsquelle

Abbildung 9: 5 Hot-Spots [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] ohne Übereinstimmung (rot dargestellt), die übrigen Hot-Spots stimmen überein.

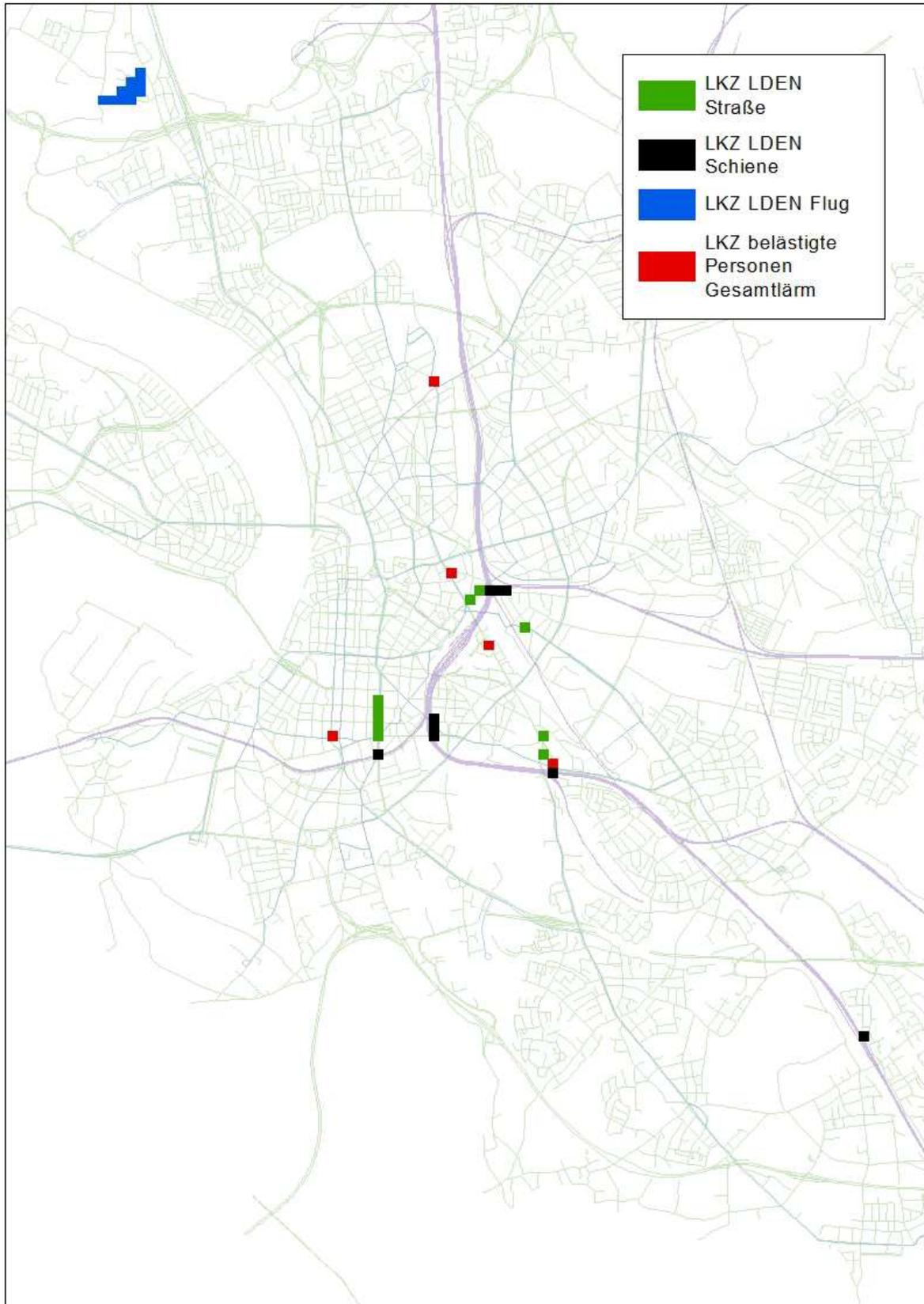
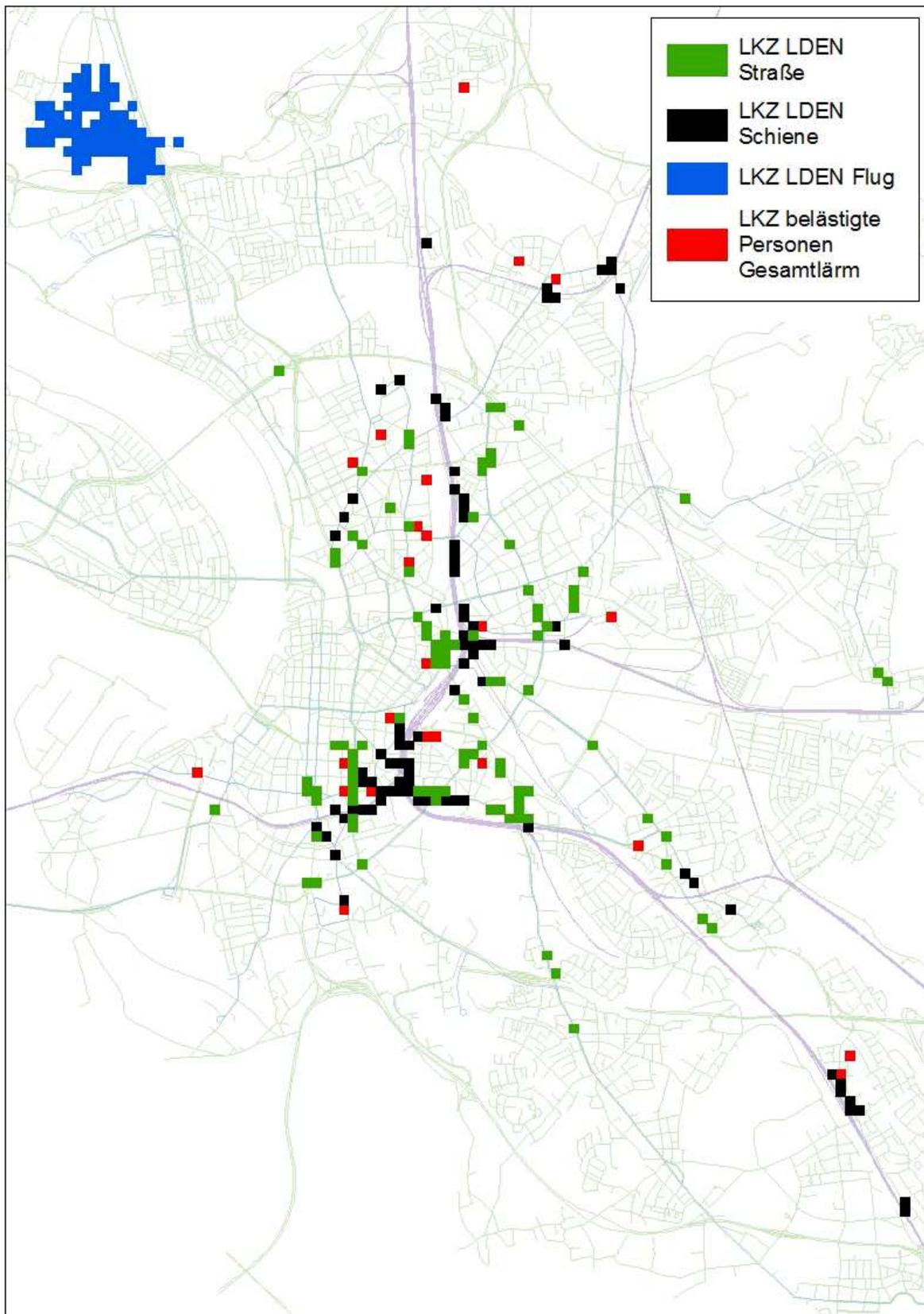


Abbildung 10: 25 Hot-Spots [Anzahl der belästigten Personen Gesamtlärm] ohne Übereinstimmung (rot dargestellt), die übrigen Hot-Spots stimmen überein.



4.8 Fazit zu den durchgeführten Berechnungen

Anzahl der betroffenen Personen:

Allein aus dem Vergleich der Anzahl betroffener Personen nach VBEB und aus der Anzahl der belästigten, stark belästigten, schlafgestörten und stark schlafgestörten Personen nach VDI 3722-2 sind keine zusätzlichen Erkenntnisse abzulesen. Die Anzahl der von Gesamtlärm betroffenen Personen bzw. belästigten Personen ist zwar höher, als die bei der Einzelquellenbetrachtung von Straßen-, Schienen- oder Flugverkehrslärm betroffenen bzw. belästigten Personen, der Unterschied ist aber unwesentlich. Dabei liefert die energetische Pegeladdition den größten Unterschied in den Betroffenenzahlen zwischen Einzel-lärmquellen und Gesamtlärm, zeigt dabei aber kaum neue Gesamtlärm-Hot-Spots auf. Damit liefert diese Methode keine zusätzlichen Erkenntnisse zur Ermittlung von Lärmschwerpunkten für die Lärmaktionsplanung.

Hot-Spot-Analyse nach der LKZ-Methode:

Zunächst erfolgte ein Vergleich der 10 am stärksten belasteten Hot-Spots zwischen den Hot-Spots (Lärmkennziffer – LKZ nach Bönninghausen/Popp) der nach Umgebungslärmrichtlinie berechneten Schallpegel der einzelnen Verkehrsarten (Straße, Schiene, Flug) und den Hot-Spots der nach VDI 3722-2 (LKZ nach Anhang B4) berechneten Anzahl belästigter Personen für den Gesamtlärm. Dabei zeigt sich, dass 5 Hot-Spots mit belästigten Personen für den Gesamtlärm und 2 Hot-Spots mit stark belästigten Personen für den Gesamtlärm nicht mit den Hot-Spots der einzelnen Verkehrsquellen übereinstimmen, d.h. dies sind neue und ohne diese Methode bis dahin nicht erkannte Lärm-Hot-Spots. Interessanterweise werden immer noch 4 dieser Gesamtlärm-Hot-Spots nicht durch die 25 am stärksten belasteten Hot-Spots der Einzellärmquellen abgedeckt.

Beim Vergleich der 100 am stärksten belasteten Hot-Spots stimmen nur noch 25 der Hot-Spots mit belästigten Personen und 14 mit stark belästigten Personen nicht mit den Hot-Spots der der einzelnen Verkehrslärmquellen übereinstimmen. D.h. hier werden durch die Gesamtlärmbetrachtung 25 bzw. 14 neue Hot-Spots aufgezeigt.

Für die Lärmaktionsplanung kann daraus abgeleitet werden, dass die sehr stark belasteten Hot-Spots aus der Gesamtlärmberechnung nach VDI 37222 eventuell neue Hinweise auf Lärmschwerpunkte und Lärmprobleme geben. Aber umso höher die Anzahl der auszuwertenden Hot-Spots wird, umso geringer ist die Anzahl der nicht übereinstimmenden bzw. neuen Gesamtlärm-Hot-Spots. Für die großräumige Lärminderungsplanung kann die Gesamtlärmberechnung nur wenige neue Erkenntnisse liefern. Die Gesamtlärmberechnung kann der Erkennung einzelner punktueller Lärmschwerpunkte und als Ergänzung zur Lärminderungsplanung an den Einzellärmquellen dienen. Dabei bleibt zu hinterfragen, wie relevant die neu gefundenen Lärm-Hot-Spots sind und inwieweit diese wirklich die tatsächlich empfundene Gesamtlärmbelastigung abbilden.

Darüber hinaus liefert die Betrachtung der 100 am stärksten belasteten Hot-Spots der einzelnen Lärmquellen im Vergleich mit den Gesamtlärm-Hot-Spots noch weitere interessante Erkenntnisse, die nachfolgend erläutert werden:

Für den Straßenverkehrslärm ergibt sich mit 60 Hot-Spots (Belästigung) bzw. 69 Hot-Spots (starke Belästigung) die höchste Übereinstimmung mit den Hot-Spots der Gesamtlärmberechnung. Dies resultiert sicherlich daraus, dass der Straßenverkehr mit Abstand die Lärmquelle mit den meisten Betroffenen in Düsseldorf darstellt.

Anders sieht es dagegen beim Schienenlärm aus, der mit 25 bzw. 23 Hot-Spots wenig Übereinstimmungen mit den Hot-Spots des Gesamtlärms aufweist, obwohl Düsseldorf beim Schienenverkehr durch sehr hohe Schallpegel und relativ viele Betroffene geprägt ist. Eine wesentliche Ursache liegt in der VDI 3722-2 selber begründet, die bei der Berechnung des Substitutionspegels die Schienenverkehrsgeräusche pegelgemindert berücksichtigt (Schienenbonus). D.h. es findet eine systematische Unterschätzung des Schienenlärms statt, die eher zum Wegfall von Schienenlärm-Hot-Spots führt.

Bei den Flugverkehrsgeräuschen gibt es mit 0 bzw. 5 Hot-Spots kaum Übereinstimmungen mit den Hot-Spots der Gesamtlärmberechnung, obwohl bei der Berechnung des Substitutionspegels der Pegel des Fluglärms stark überhöht wird (Fluglärmalus). Dies ist jedoch auch dem räumlich konzentrierten Auftreten und dem vergleichsweise niedrigen Pegel der Flugverkehrsgeräusche auf dem bewohnten Gebiet der Stadt Düsseldorf geschuldet.

5. Bürgerbefragung

Ziel der Bürgerbefragung sind zusätzliche Erkenntnisse zur Wahrnehmung von Lärm beim Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen. Die Stadt Düsseldorf kann eventuell daraus neue Lärmschwerpunkte und Handlungsansätze für die Lärmaktionsplanung ableiten. Weiterhin dienen die Befragungsergebnisse zur subjektiven Lärmwahrnehmung dem Abgleich mit den Ergebnissen der Gesamtlärmberechnung, so dass eine Bewertung der Berechnungsmethoden der VDI 3722-2 für zukünftige Gesamtlärmbetrachtungen durchgeführt werden kann. Die Berechnung des energetischen Summenpegels wurde auf Grund der wenig aussagekräftigen Hot-Spot Analyse hier nicht weiter berücksichtigt. Für die Bürgerbefragung wurde eigens ein Fragebogen (siehe Anhang 2 „Fragebogen“) in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Düsseldorf entwickelt.

Die Bürgerbefragung wurde in zwei Phasen durchgeführt: Die erste Phase bestand aus einer räumlich begrenzten Befragung per Postwurfsendung, die zweite Phase umfasste eine Online-Befragung im gesamten Stadtgebiet.

1.Phase – Befragung per Postwurfsendung

Mit den Postwurfsendungen sollten Personen in ausgewählten Gebieten angesprochen werden, die geprägt sind von unterschiedlicher Lärmbelastung und der Einwirkung verschiedener Verkehrslärmquellen als Einzellärmquelle oder in Kombination und Zusammenwirken mehrerer Lärmquellen (Straße, Schiene, Flug). Hierfür wurden im Vorfeld Gebiete mit unterschiedlicher Lärmbelastung von gering, mittelmäßig bis hoch auf Grundlage der Gesamtlärberechnungen nach VDI 3722-2 – hier die Kenngröße „Belästigung“ – definiert. Diese Gebiete gründeten auf der Hot-Spot-Analyse und betrachten daher das Stadtgebiet Düsseldorf in einem 100m x 100m Raster. Für dieses Raster wurden die entsprechenden Kenngrößen berechnet, welche Grundlage für die Bewertung der Lärmbelastung sind. Auf Grund der verschiedenen Zusammensetzungen aus 3 Lärmquellen und ihren 4 Kombinationen mit den 3 Belastungsstufen, wurden 21 unterscheidbare Gebiete kategorisiert. Mit Hilfe einer Gebietseinteilung konnten die Fragebögen bestimmten Gebieten zugeordnet und entsprechend ausgewertet werden. Insgesamt wurden ca. 60 Gebiete per Zufall mit den entsprechenden Eigenschaften ausgewählt und dort insgesamt 4000 Fragebögen verteilt. Am Ende waren von den 800 Rückläufern 658 sinnvoll auswertbar, die nicht auswertbaren Fragebögen waren zumeist unvollständig ausgefüllt.

2.Phase – Online-Befragung

Bei der Online-Befragung konnten sich alle Bürger der Stadt Düsseldorf beteiligen und das von Ihnen angegebene Lärmproblem einem bestimmten Ort durch Markierung in einer Karte zuweisen. Somit war es auch möglich eine Verortung der Antworten vorzunehmen, die für die Auswertung von hoher Wichtigkeit ist. Letztendlich konnten nach Aussortierung unvollständig ausgefüllter Fragebögen 580 Antworten einer sinnvollen Auswertung zugeführt werden. Somit lagen aus beiden Befragungsphasen insgesamt 1238 Fragebögen zur Auswertung vor.

5.1 Ergebnisse der Bürgerbefragung

Bei der Befragung wurde u.a. in einer 5-stufigen Skala (überhaupt nicht, wenig, mittelmäßig, stark, sehr stark gestört oder belästigt) [8] nach der gefühlten Belästigung oder Störung der drei verschiedenen Verkehrslärmquellen Straße, Schiene und Flug gefragt, wobei jeweils pro Verkehrsart ein Fragenkomplex sich detailliert mit den unterschiedlichen Tageszeiträumen und der Situation bei geschlossenen bzw. geöffneten Fenstern beschäftigte. Zusätzlich wurde nach weiteren sechs Lärmquellen wie Industrie- und Gewerbe oder Sport- und Freizeitanlagen und deren Störwirkung gefragt. Eine Frage beschäftigte sich auch gezielt mit der Wahrnehmung des Zusammenwirkens bzw. Einwirkens verschiedener Lärmquellen. Gefragt wurde ebenfalls nach Aufwachreaktionen aufgrund einzelner Verkehrsquellen.

Die Ergebnisse zeigen, dass von den in irgendeiner Form belästigten oder gestörten Befragten mit 92 % ein Großteil der Befragten dies zumindest einer oder mehreren

Verkehrsarten anlastet. Dreiviertel (73 %) davon fühlen sich durch mindestens zwei Verkehrsarten und sogar ein Viertel (27 %) fühlen sich durch alle drei Verkehrsarten in unterschiedlicher Ausprägung belästigt oder gestört (siehe Abb. 11).

Reduziert man die Betrachtung auf die Wertigkeiten von "mittelmäßig" an steigend, fühlen sich nur noch ca. die Hälfte 49% der Befragten von mindestens einer Verkehrsquelle und 31% von mindestens zwei Verkehrsquellen und nur noch 4% von drei Verkehrsquellen gestört oder belästigt (siehe Abb. 12). D.h. kombinierte Belastungen von Verkehrslärmquellen waren für zwei Drittel der Befragten eher nachrangig; es ist anzunehmen, dass mit zunehmender Belästigung andere Geräuschquellen neben dem Verkehr eine stärkere Rolle spielen.

Abbildung 11: Anteil der Verkehrslärmquellen von denen sich die Befragten mindestens wenig gestört oder belästigt fühlen

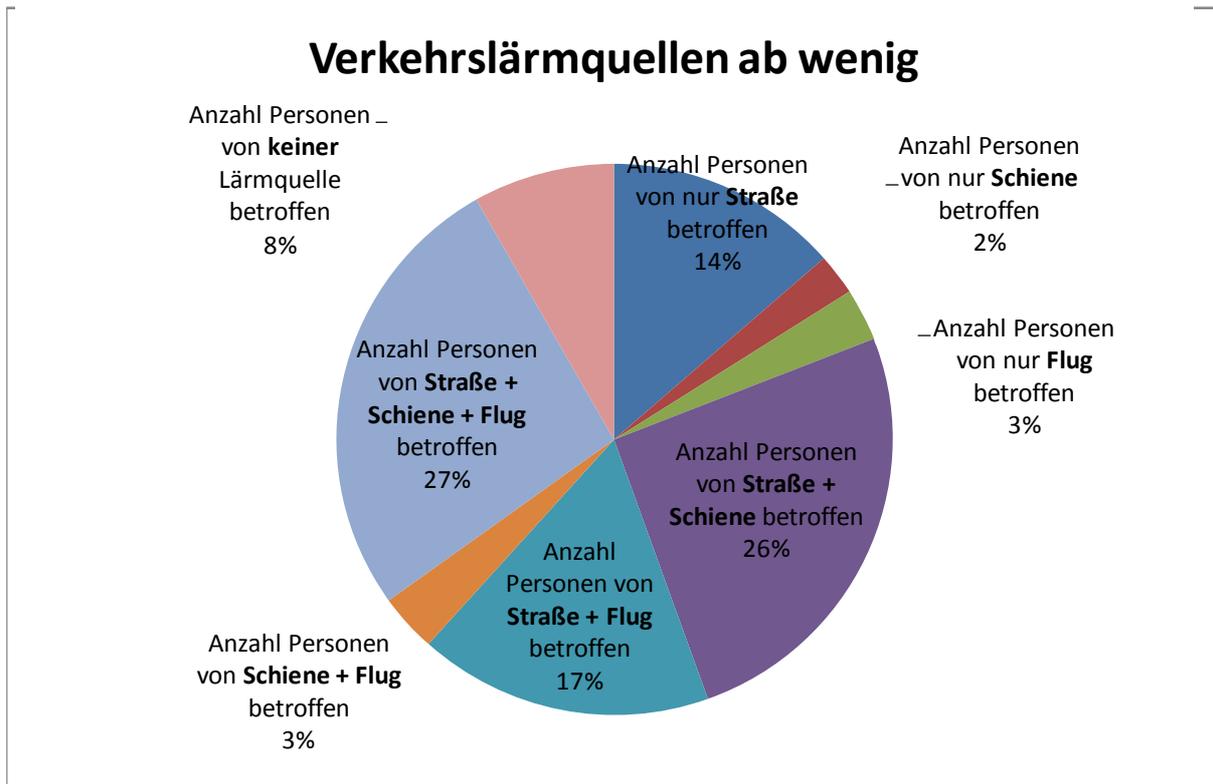
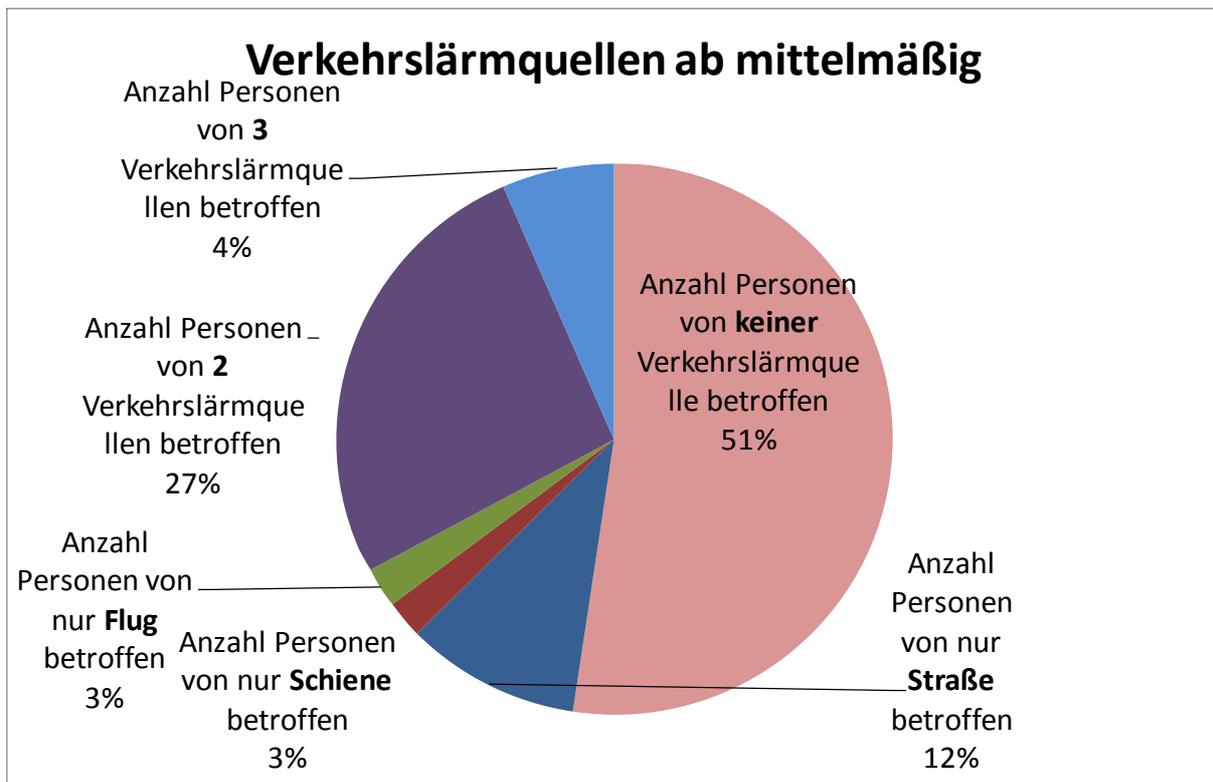


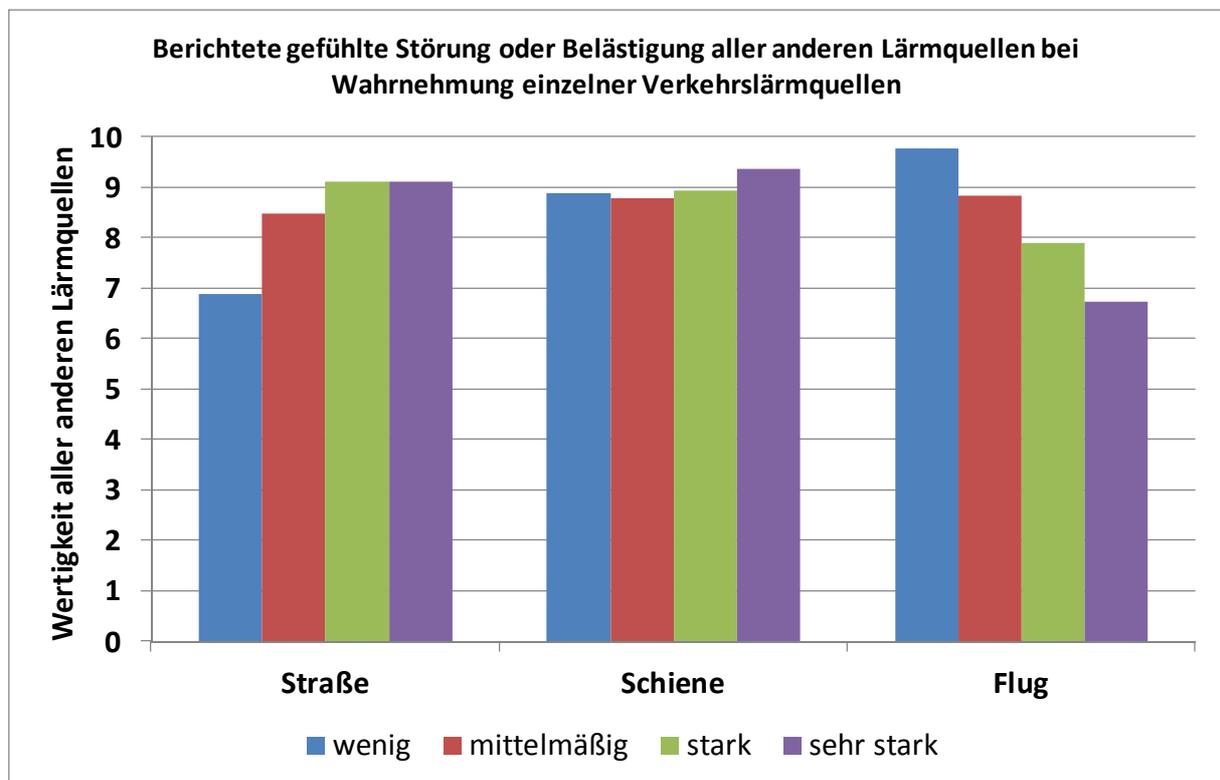
Abbildung 12: Anteil der Verkehrslärmquellen von denen sich die Befragten mindestens mittelmäßig gestört oder belästigt fühlen



Interessante Ergebnisse lieferte die Auswertung inwieweit sich die Befragten bei berichteter Störung oder Belästigung einzelner Verkehrslärmquellen durch andere Lärmquellen gestört oder belästigt fühlen. Hierfür wurden die Aussagen der Befragten über die Stärke der Störung und Belästigung in Zahlenwerte umgerechnet (überhaupt nicht = 0, wenig = 1, mittelmäßig = 2, stark = 3, sehr stark = 4).

In Abbildung 13 ist gut zu erkennen, dass bei berichteter Störung und Belästigung durch Straßenverkehrslärm mit zunehmender berichteter Stärke der Störung oder Belästigung des Straßenverkehrslärms auch die wahrgenommene Stärke der Störung oder Belästigung aller anderen berichteten Lärmquellen zunimmt (von wenig gestört mit einer aufsummierten Wertigkeit der Belästigung aller anderen Lärmquellen von ca. 7 bis sehr stark gestört mit einer Wertigkeit von ca. 9). Beim Schienenverkehrslärm sind keine Effekte zu erkennen, dort bleiben die anderen berichteten Störungen und Belästigungen in etwa in gleicher Höhe. Beim Fluglärm ist wiederum ein deutlich gegenteiliger Effekt gegenüber dem Straßenlärm festzustellen. Hier nimmt die Wertigkeit der Störwirkung aller anderen Lärmquellen mit zunehmender berichteter Stärke des Fluglärms ab. Der Effekt ist recht deutlich, so nimmt die aufsummierte Wertigkeit aller anderen Lärmquellen von rund 10 bei wenig berichtetem Fluglärm bis 7 bei sehr stark wahrgenommenen Fluglärm ab. Dies spricht für eine mit der Belästigungswirkung zunehmende Dominanz der Fluglärmquelle in der Wahrnehmung der befragten Personen.

Abbildung 13: Berichtete Stärke der gefühlten Einwirkung aller anderen benannten Lärmquellen bei Einwirkung einzelner Verkehrslärmquellen



Eine weitere Auswertung beschäftigte sich mit dem Vergleich der berechneten Belästigung und Schlafstörung nach VDI 3722-2 mit der berichteten Störung und Belästigung aus der Bürgerbefragung. Hierbei wurden die detaillierten Antworten (Belästigung unterschieden zwischen tags, abends und nachts – vor dem Haus, Innen geschlossenes oder offenes Fenster und Schlafverhalten) zur Stärke der Störung oder Belästigung der einzelnen Verkehrslärmquellen herangezogen. Die Angaben wurden wieder in die bereits benannten Zahlenwerte umgerechnet; durch die Vielzahl der Antwortmöglichkeiten ergab sich gegenüber der vorhergehenden Betrachtung ein deutlich weiterer Wertebereich. Diese berichteten Stör- oder Belästigungswertigkeiten wurden mit den berechneten Kenngrößen %A (Annoyed – Belästigung), %HA (starke Belästigung), %SD (Schlafstörung) und %HSD (starke Schlafstörung) des Gebietes verglichen, dem der Fragebogen zugeordnet werden konnte.

Hierbei konnte festgestellt werden, dass die berichteten Störungen oder Belästigungen der einzelnen Verkehrslärmquellen (Straße, Schiene, Flug) einen linearen Zusammenhang mit den berechneten Kenngrößen für diese einzelnen Verkehrsquellen aufweisen. Der Straßenverkehr weist mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2=0,11$ den geringsten linearen Zusammenhang mit der Kenngröße %A auf. Der Schienenverkehr weist mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2=0,33$ und der Flugverkehr mit $R^2=0,36$ einen deutlich höheren linearen Zusammenhang auf (Siehe Abb. 14, 15, 16). Gleichfalls gibt es einen linearen Zusammenhang mit der berechneten Kenngröße %SD Schlafstörung – welche mit den Bestimmtheitsmaßen $R^2=0,06$ Straße, $R^2=0,31$ Schiene und $R^2=0,18$ Flug nicht so eindeutig ausfallen. Dies bedeutet, dass sich die berichteten Störungen oder Belästigungen für die einzelnen Verkehrslärmquellen mit den berechneten Kenngrößen der VDI 3722-2 abbilden lassen. Dies spricht für die Plausibilität der Kenngrößen der VDI 3722-2 für die einzelnen Verkehrslärmquellen.

Abbildung 14:

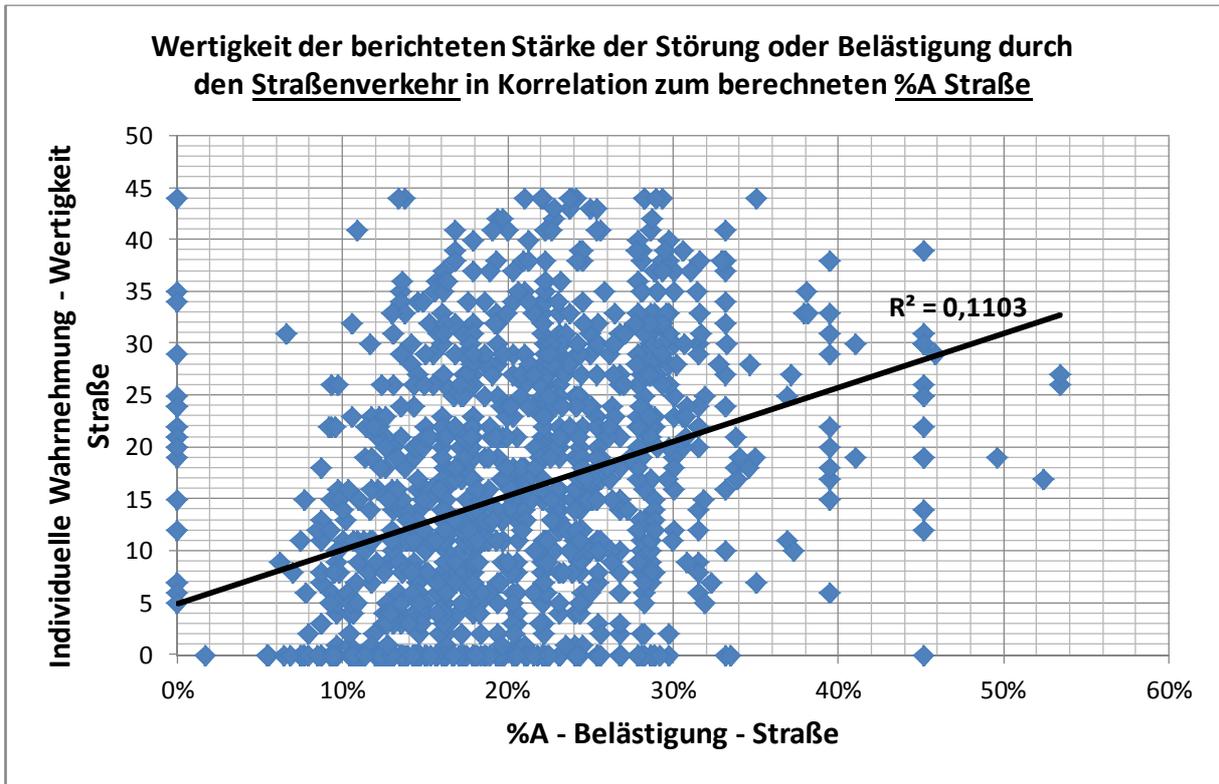


Abbildung 15:

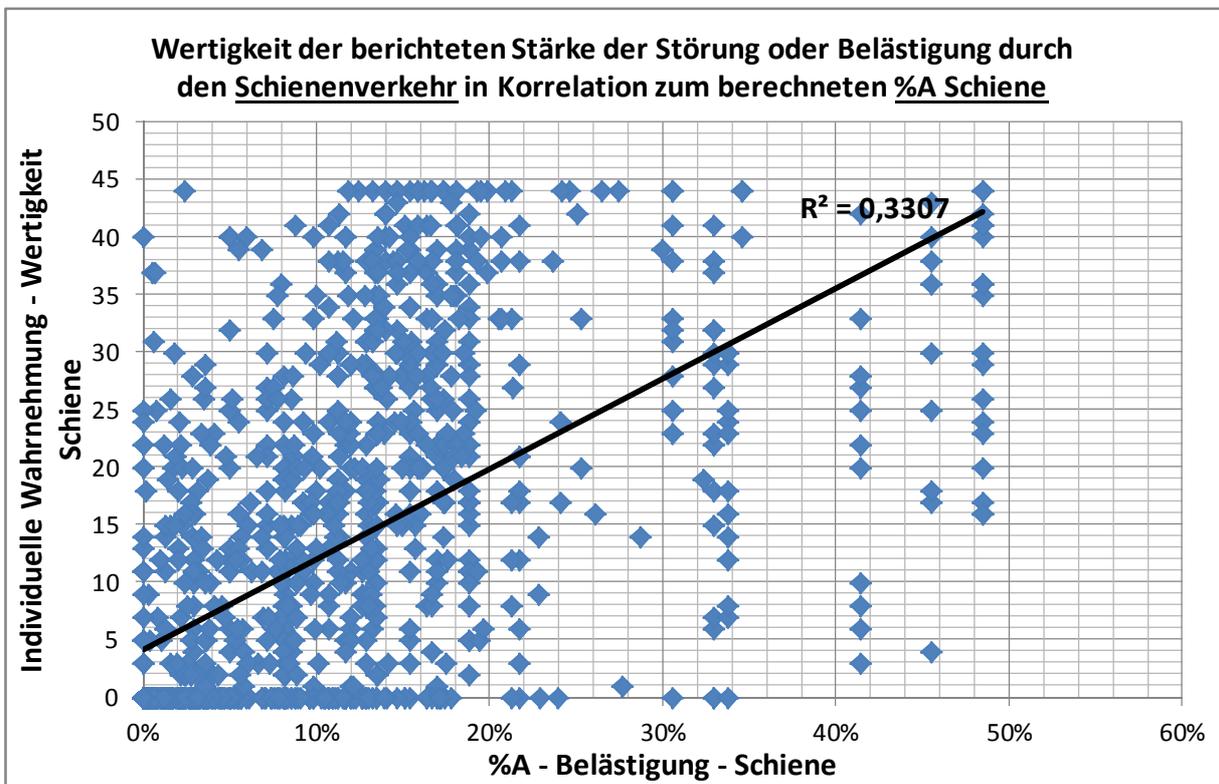
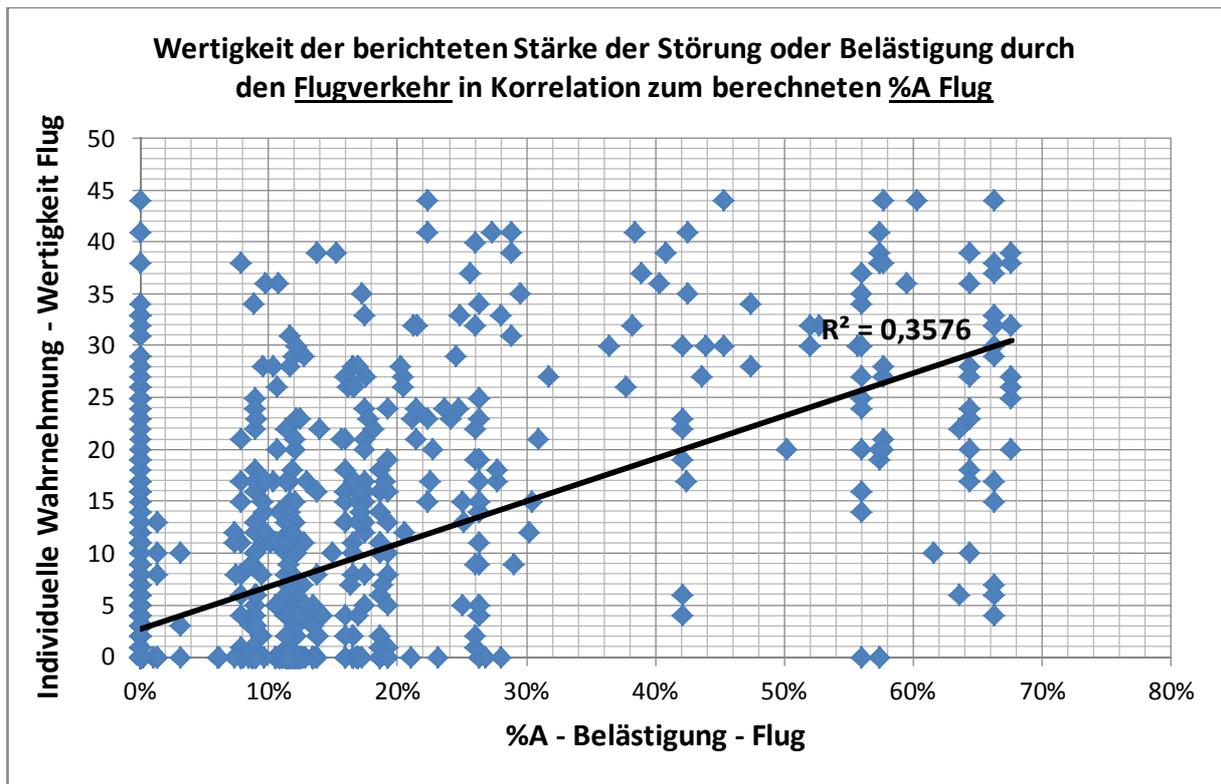
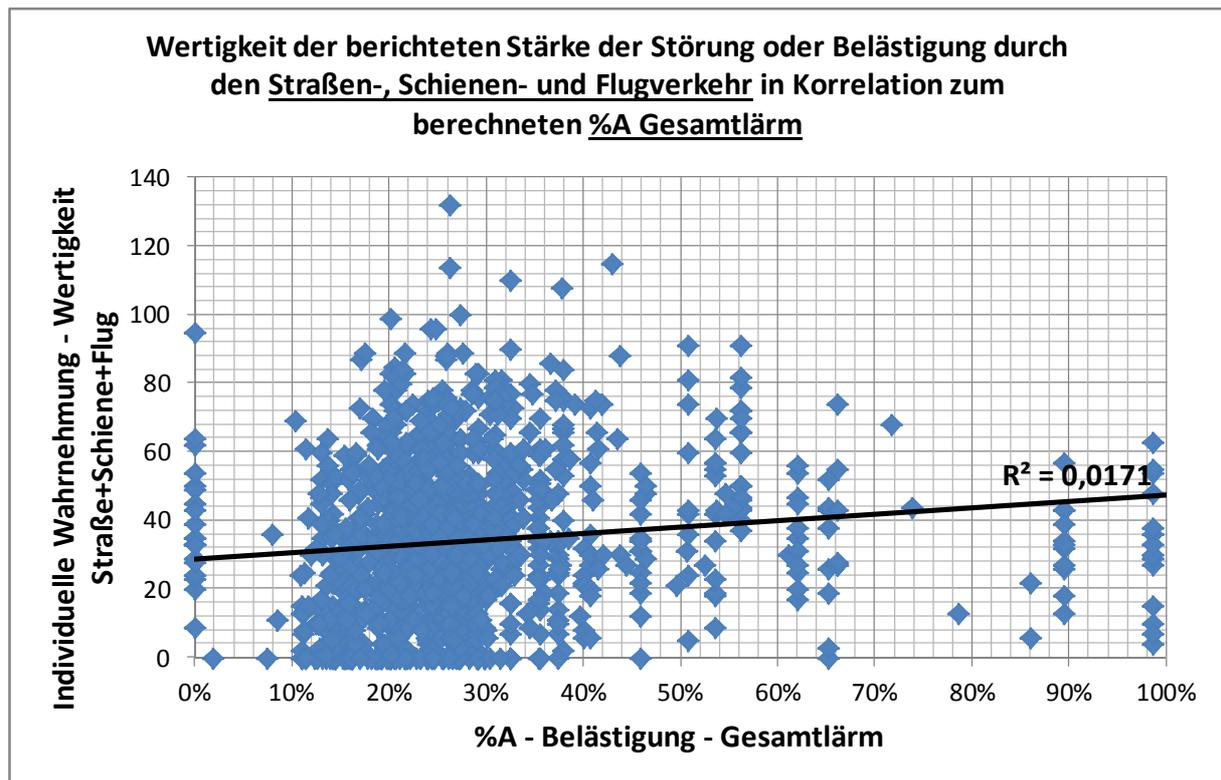


Abbildung 16:



Die Ergebnisse der Befragung sollten in einem zweiten Schritt auch zur Bewertung der Relevanz des nach VDI 3722-2 berechneten Gesamtlärms herangezogen werden. Hierfür wurden die berichteten Wertigkeiten der Störungen oder Belästigungen für alle drei Verkehrsquellen aufsummiert und mit den Kenngrößen %A und %SD nach VDI 3722-2 für den Gesamtlärm verglichen. Hierbei ist mit den Bestimmtheitsmaßen $R^2=0,02$ für %A und $R^2=0,01$ für %SD kaum ein linearer Zusammenhang festzustellen (siehe Abb. 17).

Abbildung 17:



5.2 Fazit zur Auswertung der Bürgerbefragung

Mit 92 % fühlen sich relativ viele der befragten Bürger durch mindestens eine Verkehrslärmquelle in unterschiedlicher Ausprägung belästigt oder gestört. Immerhin 73 % der Befragten fühlen sich durch mindestens zwei Verkehrslärmquellen gestört oder belästigt; damit nimmt ein großer Teil subjektiv mehrere Lärmquellen als störend oder belästigend wahr. D.h. eine Mehrfachbelastung kann nicht nur rechnerisch aufgezeigt werden, sondern wird von den Befragten auch subjektiv so berichtet.

Weiterhin ist festzustellen, dass die Stärke der Einwirkung einzelner Verkehrslärmquellen einen Einfluss auf die Stör- und Belästigungswirkung anderer wahrgenommener Lärmquellen hat. Somit wirken andere Lärmquellen mit zunehmender Störung oder Belästigung durch Straßenverkehr auch selber zunehmend störender oder belästigender. Anders verhält es sich mit dem Flugverkehr, hier nimmt die störende oder belästigende Wirkung der anderen

Lärmquellen mit zunehmender Belästigung des Flugverkehrs ab. Dies spricht für eine Dominanzwirkung von starken Fluglärmwirkungen.

Die berichteten Stör- und Belästigungswirkungen der einzelnen Verkehrslärmquellen lassen einen linearen Zusammenhang mit den berechneten Kenngrößen %A (Belästigung) und %SD (Schlafstörung) für die einzelnen Verkehrslärmquellen erkennen. Damit können die Kenngrößen der VDI 3722-2 für die einzelnen Verkehrslärmquellen als plausibel angenommen werden. Anders sieht es bei dem nach VDI 3722-2 zusammengefassten Gesamtlärm aus, hier ist kein linearer Zusammenhang zur berichteten Störwirkung mehrerer Lärmquellen festzustellen. Die Auswertung der Angaben zu den Mehrfachbelastungen lässt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Einwirkung mehrerer Einzelquellen und den Aussagen zur Einschätzung der Gesamtlärmsituation erkennen. Zwar werden bei berichteter Mehrfachbelastung die Einzelquellen für sich alleine gesehen als störend bzw. belästigend wahrgenommen, aber im Vergleich mit dem berechneten Gesamtlärm ist mit zunehmender Anzahl und mit zunehmender Störwirkung der wahrgenommenen Einzelquellen kein zunehmender berechneter Gesamtlärmpegel zu beobachten.

Auch die gezielte Frage nach dem Zusammenwirken verschiedener Verkehrslärmquellen als wahrgenommenes Gesamtlärmproblem erbrachte keinen Zusammenhang zwischen der Bewertung der Mehrfachbelastung und der Bewertung der Einzelbelastung. D.h. mit zunehmender Anzahl von Nennungen von Einzellärmquellen und mit zunehmender berichteter Störwirkung dieser Einzellärmquellen ist keine zunehmende Nennung der Mehrfachbelastung als wahrgenommenes Gesamtlärmproblem zu beobachten.

Die Tiefe dieser Untersuchung lässt es nicht zu, die Hintergründe dieser Differenzen vollständig aufzudecken. So können Schwächen in den Fragestellungen die Einschätzung der Gesamtlärmsituation erschwert haben, ebenso mag aber auch die hier abgefragte qualitative Einschätzung der Gesamtlärmsituation die Befragten überfordert haben. Trotzdem regen die Ergebnisse zu einer kritischen Betrachtung der Gesamtlärmberechnung nach der VDI 3722-2 an. Es ist zu vermuten, dass in bestimmten Situationen eine einzelne Geräuschquellenart Dominanz entfaltet und dadurch moderierend auf die Wahrnehmung der anderen Quellenarten einwirkt. Das eher einfache Modell der VDI 3722-2 zum Zusammenwirken der Lärmquellen als Gesamtlärm wird diesen Situationen offensichtlich nicht gerecht.

Dies stellt keine überraschende Erkenntnis dar, denn die VDI 3722-2 weist selber im Vorwort auf mögliche Defizite hin: „Untersuchungen und Studien über die Beeinträchtigung durch mehrere Quellen, und welche Geräuschquelle die vorherrschende innerhalb der Gesamtgeräuschsituation ist, sind schwieriger. Der Stand der Forschung ist hier eindeutig: es gibt hierzu keine generelle Antwort.“ [2] Weiter heißt es: „Das Substitutionsverfahren ist im Wesentlichen nur ein Hilfsmittel. Notwendige neue Forschungen zur Ableitung von Expositions-Wirkungsbeziehungen beim Einwirken mehrerer Quellenarten liegen zurzeit

nicht vor, sind aber dringend erforderlich. Es wird sich daher erst in Zukunft zeigen, welche Modelle zur Vorhersage einer Gesamtbeeinträchtigung durch mehrere Quellenarten am besten geeignet sind“. In der Richtlinie selbst wird also bereits auf den Forschungs- bzw. Überarbeitungsbedarf insbesondere von Seiten der Wirkungsforschung hingewiesen, der aus Sicht dieses Untersuchungsvorhabens nur bestätigt werden kann. Das UBA lässt derzeit Untersuchungen zur VDI 3722-2 durchführen [3]; die Erkenntnisse aus dieser Pilotstudie können hierzu Anstöße liefern und sollen daher an das UBA weitergegeben werden.

Die Ergebnisse der Bürgerbefragung konnten die Gesamtlärberechnungen nach der VDI 3722-2 nicht allgemein bestätigen. Damit bleiben die mit dieser Methode ermittelten zusätzlichen Lärmschwerpunkte bzgl. ihrer tatsächlichen Relevanz für die Betroffenen vor Ort fraglich. In Anbetracht des Verhältnisses von Aufwand und Nutzen ist die Gesamtlärbetrachtung der VDI 3722-2 im derzeitigen Zustand noch kein empfehlenswertes Hilfsmittel für die Lärmaktionsplanung.

6. Literatur

- [1] LANUV NRW, Essen [2012]: „Überlegungen zu einem Projekt zum Themenkreis Gesamtlärm und Anhang Entwicklung der Gesamtlärbetrachtung“, Bericht vom 02.03.2016 an das MKULNV.
- [2] NALS im DIN und VDI [2013]: „VDI 3722 Blatt 2 - Wirkung von Verkehrsgeräuschen Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“, Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
- [3] Wothge, J. [2016]: „Aktuelle Erkenntnisse zu den kombinierten Wirkungen von Geräuschen. Ein Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes“, Lärmbekämpfung, Vol. 11, Ed. 2016/7, S. 128-130, Springer-VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- [4] Giering, Prof. Dr., K.; Hrsg. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau [2010]: „Lärmwirkungen Dosis-Wirkungsrelationen“, Texte 13/2010 Umweltbundesamt, http://www.umweltbundesamt.de/uba-infomedien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3917
- [5] Finke, H.-O.; Guski, R.; Rohrmann, B.; Hrsg. Umweltbundesamt, Berlin [1980]: „Betroffenheit einer Stadt durch Lärm – Bericht über eine interdisziplinäre Untersuchung“, Texte Umweltbundesamt.
- [6] Bundesministerium der Justiz [2006]: „Bundesanzeiger – Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsverfahren für den Umgebungslärm nach § 5 Abs. 1 der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV)“, Jahrgang 58, Nummer 154a, 17. August 2006, Bundesanzeiger Verlagsges.mmbH., Köln.
- [7] Bönninghausen G.; Popp C. [1988]: „Die Lärmkennziffer-Methode : ein Beitrag zur Umweltverträglichkeitsprüfung; [Methode zur Beurteilung lärmbedingter Konfliktpotentiale in der städtebaulichen Planung]“, Baubehörde, Freie und Hansestadt Hamburg
- [8] Rohrmann, B. [1978]: „Empirische Studie zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung“, Zeitschrift für Sozialpsychologie 1978, 9, S. 222-245