

**Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit**

Aufgabenschwerpunkt „Nachhaltige Mobilität und Immissionsschutz“

Forschungskennzahl (UFOPLAN) 3710 55 146

**Umgebungslärmrichtlinie:
Verfahren zur Identifizierung von Lärmbrennpunkten - Modellstadt**

von

Sebastian Eggers

Frank Heidebrunn

Carsten Kurz

**LÄRMKONTOR GmbH
Altonaer Poststraße 13b
22767 Hamburg**

**IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES**

Juli 2014

Kurzbeschreibung

Die Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG und das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geben nur allgemeine Hinweise darauf, wann im Rahmen der Lärmaktionsplanung Lärminderungsmaßnahmen entwickelt und durchgeführt werden sollen. Es bestehen keine einzuhaltende Lärmgrenzwerte oder Vorgaben zur Anzahl Lärmbetroffener, ab deren Erreichen Maßnahmen im Lärmaktionsplan vorgesehen werden müssen.

Die für den jeweiligen Lärmaktionsplan zuständige Behörde hat also auch die Aufgabe, die Lärmsituation zu bewerten und Kriterien für die Lärmaktionsplanung aufzustellen. Dabei ist die in den Lärmkarten dargestellte Höhe der Lärmpegel allein nicht ausreichend, um als Kriterium für die Entscheidung zur Planung und Durchführung von Maßnahmen im Rahmen der Lärmaktionsplanung herangezogen zu werden. Entscheidend ist vielmehr die Angabe, wie viele Menschen welchen Lärmpegeln ausgesetzt sind. Neben der Verortung hoher Lärmwerte muss deshalb zur Identifikation von Lärmbelastungsschwerpunkten („Hotspots“) auch eine Berücksichtigung der Anzahl Betroffener erfolgen.

Im Arbeitspaket 3 im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde eine detaillierte Literaturanalyse durchgeführt. Hierbei wurden vorrangig die in der 1. Stufe aufgestellten Lärmaktionspläne deutscher Kommunen (insbesondere Ballungsräume) sowie weiterer europäischer Ballungsräume ausgewertet. Ergänzend wurde die einschlägige nationale und internationale Literatur analysiert. Dabei wurde eine Reihe von verwendeten Hotspot-Identifizierungsverfahren ermittelt. Fünf dieser Verfahren wurden an einer Musterstadt mit rund 100.000 Einwohnern erprobt. Die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren wurden ermittelt, dargestellt und verglichen. Abschließend wurden die jeweiligen Stärken und Schwächen der einzelnen Verfahren in Datenblättern dargestellt.

Abstract

The Environmental Noise Directive 2002/49/EC and the Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) only provide general hints as to when noise reduction measures are to be developed and executed within the context of noise action planning. Noise boundary values and rules with respect to the number of affected parties make it mandatory to integrate measures into the noise action plan once they have been reached.

It is therefore the task of the public authority in charge of a respective noise action plan to assess the noise situation in order to establish noise action planning criteria. For this purpose, the extent of the noise levels depicted on the noise maps alone is not sufficient to serve as a criterion based on which the decision to plan and to execute measures as part of noise action planning can be made. What is much more important is the information regarding the number of individuals that are affected by certain noise levels. In addition to the localization of high noise values, it is also necessary to consider the number of affected parties in order to identify noise “hot spots”.

For the working package 3 of this research project, a detailed analysis of the existing literature was conducted. This entailed mainly the evaluation of noise action plans for German communities set up during stage 1 (particularly urban centers) as well as for additional European urban centers set up during stage 1. In addition, the pertinent national and international literature was analyzed, and as a result, it was possible to determine a number of hot spot identification measures that were utilized. Five of these were tested using a model town of 100,000 inhabitants. The results of the

different methods were analyzed, depicted and compared. In a final step, the strengths and weaknesses of each method were documented on fact sheets.

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	6
2	Abbildungsverzeichnis	8
3	Abkürzungen	9
4	Zusammenfassung	10
5	Summary.....	11
6	Einführung.....	12
6.1	Modellstadt.....	12
6.2	Berechnungsverfahren.....	17
6.3	Hotspot-Ermittlung über Flächenbewertung	17
7	Hotspot-Ermittlungsverfahren.....	18
7.1	NoiseScore.....	18
7.1.1	Berechnungsfunktion.....	18
7.1.2	Beschreibung des Verfahrens	18
7.1.3	Vor- und Nachteile des Verfahrens	19
7.2	LärmKennZiffer	19
7.2.1	Berechnungsfunktion.....	19
7.2.2	Beschreibung des Verfahrens	19
7.2.3	Vor- und Nachteile des Verfahrens	20
7.3	UCE _{DEN}	20
7.3.1	Berechnungsfunktion.....	20
7.3.2	Beschreibung des Verfahrens	20
7.3.3	Vor- und Nachteile des Verfahrens	21
7.4	P-Score.....	21
7.4.1	Berechnungsfunktion.....	21
7.4.2	Beschreibung des Verfahrens	21
7.4.3	Vor- und Nachteile des Verfahrens	22
7.5	Highly annoyed	22
7.5.1	Berechnungsfunktion.....	22
7.5.2	Beschreibung des Verfahrens	22
7.5.3	Vor- und Nachteile des Verfahrens	23
8	Ergebnisdarstellung	24
8.1	Gesamtergebnisse	24
8.2	Grafische Darstellungen	25

8.3	Darstellung der Berechnungsergebnisse.....	26
8.3.1	Darstellung in Hektar-Teilflächen.....	26
8.3.2	Darstellung der 30 höchstbelasteten Teilflächen.....	34
8.3.3	Verschiebung des Berechnungsrasters.....	42
8.3.4	Gleitender Betrachtungsbereich	49
9	Fazit.....	53
10	Quellenverzeichnis.....	54
11	Datenblätter	55
11.1	NoiseScore.....	55
11.2	LärmKennZiffer	57
11.3	UCE _{DEN}	58
11.4	Highly Annoyed	59
11.5	P-Score.....	60

2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan mit Gebäuden und Straßen.....	14
Abbildung 2: Beurteilungspegel DEN als Raster mit einer Rasterweite von 10 m.....	15
Abbildung 3: Personen pro Hektar	16
Abbildung 4: Übersicht über die betrachteten Werte und die Gesamtbewertung.....	24
Abbildung 5: Anzahl der Betroffenen $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha.....	28
Abbildung 6: NoiseScore / ha.....	29
Abbildung 7: LärmKennZiffer $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha	30
Abbildung 8: UCE_{DEN} / ha.....	31
Abbildung 9: P-Score $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha.....	32
Abbildung 10: highly annoyed / ha	33
Abbildung 11: Betroffene $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha, Top 30.....	36
Abbildung 12: NoiseScore / ha, Top 30	37
Abbildung 13: LärmKennZiffer $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha, Top 30.....	38
Abbildung 14: UCE_{DEN} / ha, Top 30	39
Abbildung 15: P-Score $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha, Top 30	40
Abbildung 16: highly annoyed / ha, Top 30	41
Abbildung 17: Verschiebung des Rasterursprungs um je 50 m in x- und y-Richtung.....	42
Abbildung 18: Betroffene $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha, Top 30, verschobenes Raster	43
Abbildung 19: NoiseScore / ha, Top 30, verschobenes Raster.....	44
Abbildung 20: LärmKennZiffer $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha, Top 30, verschobenes Raster	45
Abbildung 21: UCE_{DEN} / ha, Top 30, verschobenes Raster.....	46
Abbildung 22: P-Score $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha, Top 30, verschobenes Raster	47
Abbildung 23: highly annoyed / ha, Top 30, verschobenes Raster.....	48
Abbildung 24: Skizze zum gleitenden Betrachtungsbereich - Fassadenwerte werden mehrerer Bewertungsfeldern zugewiesen	49
Abbildung 25: LKZ mit gleitendem Betrachtungsbereich (Kreisfläche = 1 ha)	50
Abbildung 26: LKZ mit herkömmlichem Hektar-Raster	51
Abbildung 27: LKZ mit gleitendem Betrachtungsbereich (Kreisfläche = 1 ha) für ein gesamstädtisches Gebiet	52

3 Abkürzungen

%HA	Prozent „highly annoyed“, „stark Belästigte“
LKZ	LärmKennZiffer
NS	NoiseScore
UCE _{DEN}	Lärm-Einwohnerpegel
P-Wert	Bayrisches Lärmbewertungsmaß P
ULR	Umgebungslärmrichtlinie
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
VBEB	Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm
VBUS	Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen
DEN	Day-Evening-Night
L _{DEN}	Lärmindex “Day-Evening-Night” mit Zuschlägen für den Abend- und Nachtzeitraum
L _{r,TAN}	Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht, der dem L _{DEN} entspricht
A	Autobahn
B	Bundesstraße
L	Landesstraße
K	Kreisstraße

4 Zusammenfassung

Zur Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie sind von den zuständigen Behörden Lärmaktionsplan zu erarbeiten. Dazu ist auf der Grundlage der Lärmkartierung die Lärmsituation zu bewerten und es sind Lärmbelastungsschwerpunkten („Hotspots“) zu ermitteln. Die in den Lärmkarten dargestellten Lärmpegel allein sind dafür nicht ausreichend. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, wieviel Menschen welchen Lärmpegeln ausgesetzt sind. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden fünf Verfahren ermittelt, die hinsichtlich ihrer Methode und ihrer Berechnungsfunktion beschrieben und deren Vor- und Nachteile dargestellt werden:

- NoiseScore
- LärmKennZiffer
- UCE_{DEN}
- P-Score
- highly annoyed.

Die Verfahren wurden an einer Musterstadt mit rund 100.000 Einwohnern erprobt und die jeweiligen Ergebnisse dargestellt. Dabei stellte sich heraus, dass die Lesbarkeit der Hotspot-Pläne stark von der Darstellung der ermittelten Werte abhängt. Da die berechneten Wertebereiche je nach Verfahren sehr unterschiedlich ausfallen, sind jeweils angepasste Darstellungen notwendig. Eine Identifizierung der tatsächlich höchstbelasteten Bereiche der Stadt und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist auf Grundlage dieser Darstellungen schwer möglich. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden daher die 30 jeweils höchstbelasteten Teilflächen für jedes Verfahren ermittelt und dargestellt. Die Analyse dieser Ergebnisse lässt folgende Aussagen zu:

- LKZ, P-Score und UCE ergaben grundsätzlich sehr ähnliche Ergebnisse, die sich weitgehend auch in der Darstellung der Anzahl der Belasteten über 65 dB(A) L_{DEN} wiederfinden. Demgegenüber weicht der NoiseScore von diesen Ergebnissen zum Teil und das Verfahren „highly annoyed“ erheblich davon ab.
- Tendenziell wird bei LKZ, P-Score und UCE die Anzahl der belasteten Personen stärker gewichtet. Beim „highly annoyed“ dagegen liegt die Gewichtung deutlich mehr auf den hoch lärmbelasteten Bereichen.
- Der NoiseScore liefert sowohl Hotspots, die LKZ, P-Score und UCE aufzeigen, als auch Hotspots, die sich aus der Berechnung des „highly annoyed“ ergeben.

Welches Verfahren letztendlich angewendet werden sollte, hängt von den Lärminderungszielen ab, die sich die jeweilige Kommune gesetzt hat. Unabhängig vom gewählten Bewertungsverfahren sind die ermittelten Belastungsschwerpunkte unbedingt vor Ort beziehungsweise mit ausreichender Ortskenntnis zu überprüfen. Oftmals sind die Hotspots den zuständigen Behörden auch schon im Grundsatz bekannt; die beschriebenen Ermittlungsverfahren ermöglichen eine Überprüfung und ggf. Bestätigung dieser Einschätzung.

Zusätzlich wurde untersucht, wie sich eine Verschiebung des Darstellungsrasters und ein gleitender Betrachtungsbereich auf die Ergebnisse und ihre Darstellung auswirken. Für jedes der fünf Verfahren wurde ein Datenblatt erstellt.

5 Summary

In order to implement the Environmental Noise Directive, noise action plans have to be set up by the authorities in charge. Therefore, noise hot spots are to be determined based on the results derived from noise mapping the noise situation. The noise levels depicted on the noise maps are insufficient for that purpose. Additionally, one has to take into consideration how many people are affected by which noise levels. Within the course of literature research five methods were found the procedures and calculation functions of which are described in the following, along with their advantages and disadvantages:

- NoiseScore
- LärmKennZiffer (noise reference number)
- UCE_{DEN}
- P-Score
- Highly annoyed

The methods were tested using a model city of about 100,000 inhabitants and the results for each were depicted. It became apparent during the process that the readability of the hot spot maps depended largely on the depiction of the determined values. Since the calculated ranges of values differ considerably between methods, it is necessary to adjust their presentation accordingly. It is rather difficult to identify the areas of a city that are actually most affected and to compare the results based on these depictions. In order to improve result comparability, the 30 most affected subareas were determined for each method and depicted. This analysis leads to the following conclusions:

- The results from LKZ, P-Score and UCE were generally rather similar and most of them could be found in the depiction of the number of affected individuals with over 65 dB(A) L_{DEN} . The NoiseScore, however, did deviate partially from these results, those of the “highly annoyed” method were significantly different.
- LKZ, P-Score and UCE tend to place more emphasis on the number of affected individuals. With the “highly annoyed” method the focus is clearly more on the areas with a high noise load.
- The NoiseScore shows hot spots that are also identified by LKZ, P-Score and UCE, as well as hot spots that are determined through the calculations based on the “highly annoyed” method.

The decision for a certain method depends, in the end, on the noise reduction targets set by the community in question. Regardless of the chosen assessment method, it is vital to check the determined hot spots on location or with sufficient knowledge of the area in question. Frequently, the public authorities in charge are already aware of those hot spots; the evaluation methods described make it possible to assess and to confirm those estimates.

In addition, the effects of a shift of the presentation raster and of a gliding observation area the results and their depiction were investigated. A fact sheet was created for each of the five methods.

6 Einführung

Nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie¹ (ULR) sollen auf der Grundlage von Lärmkarten Lärmaktionspläne aufgestellt werden. Die Richtlinie enthält jedoch keine detaillierten Ausführungen, wann Maßnahmen zur Lärminderung erforderlich sind. So werden weder einzuhaltende Lärmgrenzwerte vorgegeben, noch gibt es Vorgaben ab welcher Anzahl von Lärmbetroffenen Maßnahmen zu planen oder umzusetzen sind. Auch in der nationalen Gesetzgebung zur Umsetzung der ULR (§§ 47a bis f BImSchG) ist dieser Aspekt nicht konkretisiert. In den Lärmkarten lassen sich zwar die Bereiche mit hohen Lärmpegeln erkennen, allerdings ist dieses Kriterium allein nicht ausreichend, um festzustellen, in welchen Bereichen Maßnahmen im Rahmen der Lärmaktionsplanung erforderlich werden. Zur Ermittlung von Lärmbelastungsschwerpunkten, so genannten „Hotspots“, ist es daher sinnvoll, die Anzahl der Personen mit der Höhe der Lärmbelastung zu verschneiden. Dies kann für die jeweils nach VBEB² berechneten Fassadenpegel einzeln geschehen, wobei die sehr große Anzahl der berechneten Punkte die Identifizierung von Hotspots erschwert. Es ist somit zweckmäßig, die für die einzelnen Fassadenpunkte ermittelten Ergebnisse zusammenzufassen und linien- oder flächenhaft darzustellen. Hierfür bestehen unterschiedliche Verfahren, die an einer fiktiven Modellstadt (im Weiteren kurz als Musterstadt bezeichnet) erprobt wurden.

6.1 Modellstadt

Für die Hotspot-Analyse sollte eine für viele Situationen typische Umgebung genutzt werden, in der verschiedene Belastungsszenarien enthalten sind. Um dies zu gewährleisten, wurde auf vorhandene Stadtstrukturen zurückgegriffen, in denen der Typus „entfernt zum Stadtgebiet liegende Verkehrswege“ oder auch „trennende Straßen“ vorhanden ist. Weiterhin sollten großflächige Wohngebiete (als Einfamilienhaus- und Blockbebauung) sowie Gewerbegebiete und ein kompaktes Stadtzentrum in die Musterstadt eingebunden sein.

Als Basis wurde eine fiktive Modellstadt verwendet. Hierfür wurden sämtliche Verkehrswege sowie Gebäude mit ihren Nutzungen modelliert. Anschließend wurde mit einem Verkehrsmodell die Straßenverkehrsbelastungen der Musterstadt (Pkw, Lkw, Bus) simuliert.

Da für die Hotspot-Analyse ein größeres Modellgebiet erforderlich ist, wurde die Musterstadt in einigen Gebieten verdichtet und um weitere Stadtteile ergänzt, so dass sie über rund 100.000 Einwohnerinnen und Einwohner verfügt. Für die „kleinen“ Straßen wurden pauschal Verkehrsmengen auf Grundlage von Erfahrungswerten angesetzt. Für die bestehenden Hauptverkehrsstraßen mit Durchgangsverkehr (etwa „Kreisstraße“ oder „Landesstraße“) wurden die Verkehrsmengenansätze entsprechend dem Einwohnerzuwachs erhöht und detailliert auf Plausibilität geprüft.

¹ Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm

² Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEB) vom 9. Februar 2007, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit / Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Die Berechnung der Fassadenpegel erstreckt sich auf alle in Abbildung 1 dargestellten Straßenabschnitte, selbst wenn deren Verkehrsmenge teilweise sehr deutlich unter 3 Mio. Kfz/Jahr liegt. In Abbildung 2 ist der Lärmindex „DEN“ (Day-Evening-Night) als Rasterpegel dargestellt. Um eine Einschätzung der Hotspot-Analyseverfahren zu ermöglichen, sind in Abbildung 3 zudem die „Personen pro Hektar“ ausgewiesen.

Abbildung 1: Lageplan mit Gebäuden und Straßen



Abbildung 2: Beurteilungspegel DEN als Raster mit einer Rasterweite von 10 m

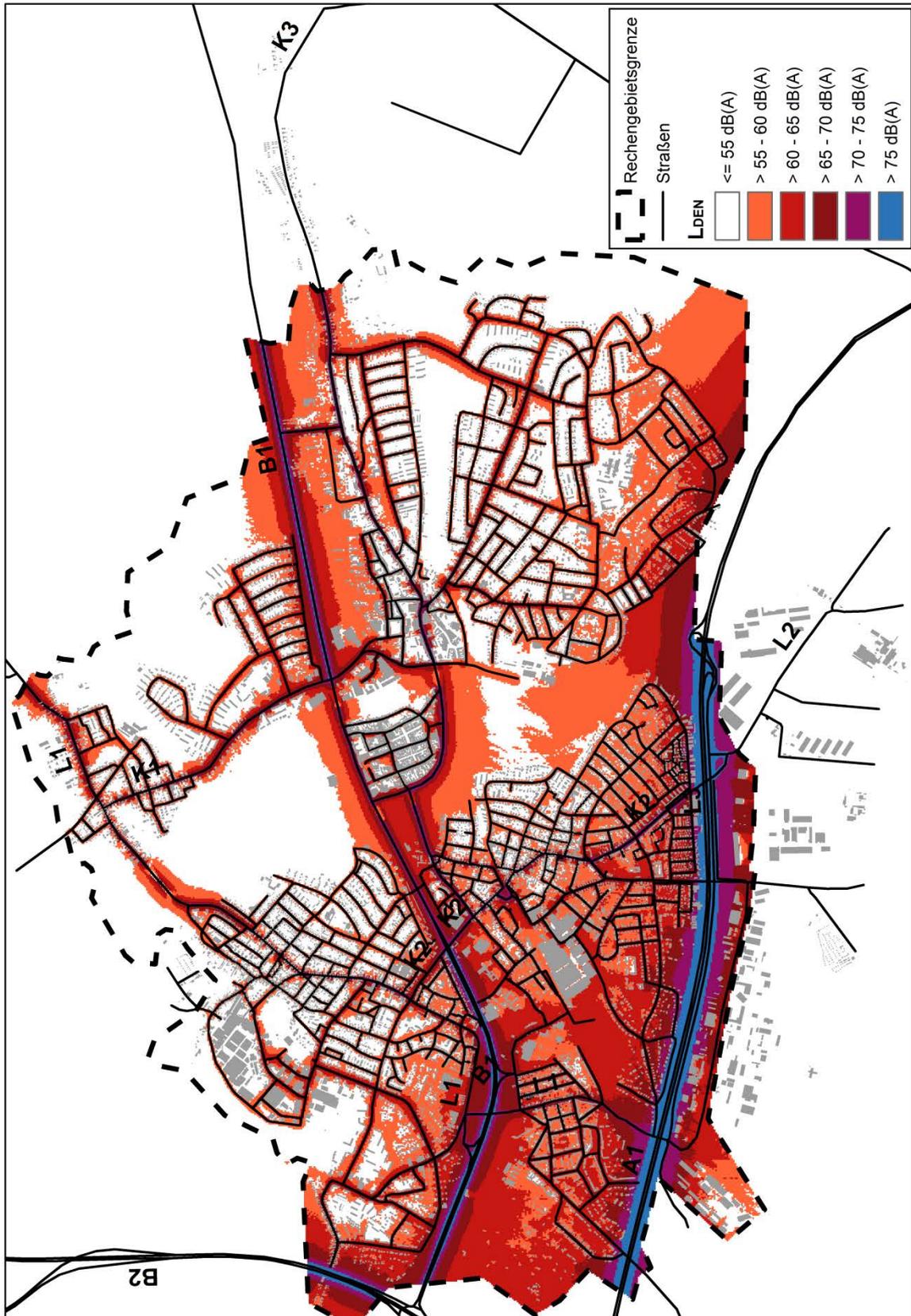
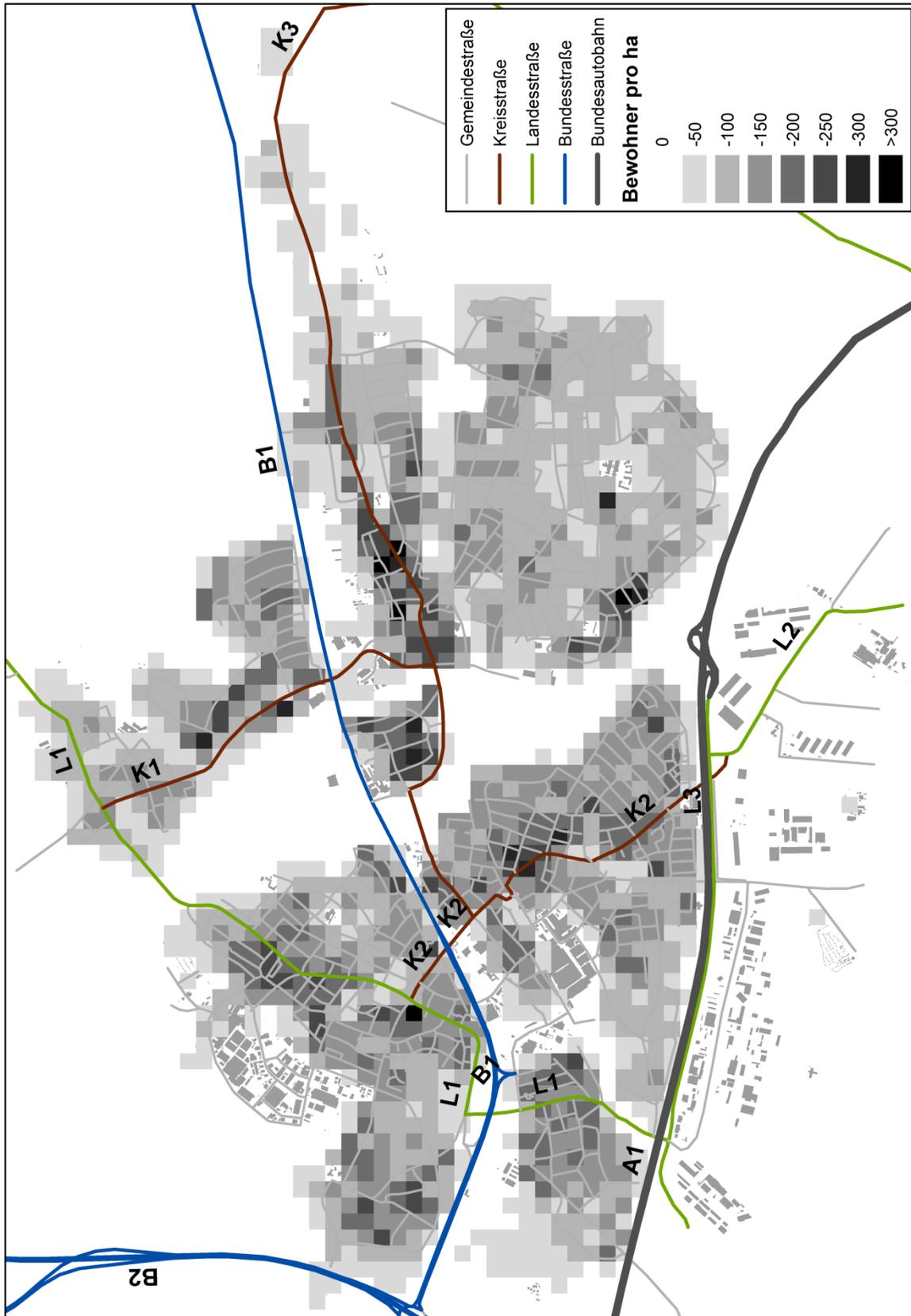


Abbildung 3: Personen pro Hektar



6.2 Berechnungsverfahren

Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts betrachteten Hotspot-Analyseverfahren wurden aufgrund einer umfangreichen Auswertung der europaweit durchgeführten Lärmaktionsplanungen zur Umsetzung der 1. Stufe der Umgebungslärmrichtlinie ausgewählt (Giering 2013).

Für die Analyse der Hotspot-Verfahren sind die Immissionspegel für die in ihren Wohnungen durch Umgebungslärm belasteten Menschen ausschlaggebend. Nach der in der Lärmkartierung nach EU-Umgebungslärmrichtlinie verwendeten „Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm“ (VBEB) werden diese Pegel über „Fassadenpegel“ in einer Entfernung von 0,5 m vor der Fassade und in einer Höhe von 4 m über Gelände ermittelt. Die zu berechnenden Fassadenpunkte werden dabei gleichmäßig an der Fassade verteilt. Die Bewohnerinnen und Bewohner eines Gebäudes werden gleichmäßig den Fassadenpunkten eines Gebäudes bzw. den dort ermittelten Lärmpegeln zugeordnet. Hierbei handelt es sich um eine pauschalisierte Betrachtung der Betroffenen in Wohngebäuden in nur einer Höhe. Dieses Verfahren bildet deshalb zwar bestimmte Situationen (wie etwa hohe Gebäude oder unbewohnte Vorderseiten) nicht vollständig ab. Es ist jedoch als pauschalisiertes Verfahren für die strategische Lärmkartierung ausreichend und daher verbindlich eingeführt.

Alle Berechnungen wurden nach der Berechnungsvorschrift für den Umgebungslärm an Straßen VBUS³ durchgeführt. Bei der Beurteilung wurden sowohl die Beurteilungspegel für den Index „DEN“ (Day-Evening-Night) als auch für den Index „Night“ betrachtet.

6.3 Hotspot-Ermittlung über Flächenbewertung

Die gebräuchlichste Methode zur übersichtlichen Darstellung der pro Fassadenpunkt ermittelten Ergebnisse ist deren Aggregation in Teilflächen von jeweils 100 m * 100 m (1 ha).

Es kann unter Umständen problematisch sein, dass in einem Falle ein großes Gebäude mit vielen Personen in einer einzelnen Teilfläche liegt, während ein anderes gleich großes Gebäude auf vier Teilflächen verteilt ausgewertet wird. Die Effekte einer „Verschiebung“ des Rasterursprungs der betrachteten Teilflächen um eine halbe Kantenlänge (50 m) wurden ebenfalls betrachtet. Abschließend wurde eine „gleitende Ermittlung“ anhand eines Bewertungsverfahrens dargestellt, das in Kapitel 8.3.4 näher erläutert wird.

³ Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS). Bundesanzeiger vom 17.08.2006.

7 Hotspot-Ermittlungsverfahren

Die im Folgenden dargestellten Hotspot-Analyseverfahren sind das Resultat der Auswertung der in Europa durchgeführten Lärmaktionsplanungen zur Umsetzung der 1. Stufe der Umgebungslärmrichtlinie (Giering 2013). Diese Verfahren finden insbesondere dann Anwendung, wenn Vergleiche zwischen unterschiedlichen Varianten, zum Beispiel zur Evaluierung von Lärminderungsmaßnahmen, durchgeführt werden sollen. Daher ist besonderes Augenmerk darauf zu richten, dass beim Vergleich der Varianten die gleiche Vorgehensweise gewählt wird.

7.1 NoiseScore

7.1.1 Berechnungsfunktion

$$NS = \sum_i n_i \cdot 10^{0,15 \cdot (L_{DEN,i} - 50 - dl - dL_{source})} \quad \text{mit } L_{DEN,i} \leq 65 \text{ dB(A)}$$

$$n_i \cdot 10^{0,30 \cdot (L_{DEN,i} - 57,5 - dl - dL_{source})} \quad \text{mit } L_{DEN,i} > 65 \text{ dB(A)}$$

mit

NS Lärmbewertungsmaß (Noise Score)

n_i Zahl der Personen im Gebäude i

$L_{DEN,i}$ Lärmindikator L_{DEN} der am stärksten belasteten Fassade einer Wohnung

dl Abweichung der Schalldämmung der Fassade einer Wohnung vom Mittelwert der Schalldämmung aller Gebäude

dL_{source} Korrektur, die der unterschiedlichen Belästigungswirkung der verschiedenen Lärmarten Rechnung trägt.

7.1.2 Beschreibung des Verfahrens

Der NoiseScore (NS) (Probst, 2006) basiert auf einer Funktion, die linear vom Schallpegel L_{DEN} abhängt. Sie weist unter 65 dB(A) eine geringere Steigung auf als oberhalb von 65 dB(A). Der sich aus der Funktion ergebende Wert wird mit der Betroffenenzahl multipliziert. Da die Funktion in ihrem Gültigkeitsbereich keine Untergrenze aufweist, erfolgen die Berechnungen für alle Pegelbereiche. Die Betroffenen mit Belastungen bis zu 65 dB(A) gehen dementsprechend mit einem geringeren Gewicht in das Ergebnis ein als die, die Pegel von mehr als 65 dB(A) ausgesetzt sind.

Vorgesehen ist diese Funktion für den höchsten Pegel an jeder Wohnung (entsprechend dem ULR-Ansatz der „am stärksten belasteten Fassade“). Da zumindest in Deutschland die genaue Lage der Wohnungen in den Gebäuden in der Regel nicht bekannt ist, wurde hier abweichend von dem europäischen Ansatz der „am stärksten belasteten Fassade“ eine gleichmäßige Verteilung der Immissionsorte auf die Fassade angenommen und das Verfahren nach VBEB angewendet. Dieses Verfahren wurde auch für die Bewertung nach dem NoiseScore benutzt.

Das Maß für die Abweichung der Schalldämmung der Fassade einer Wohnung vom Mittelwert der Schalldämmung aller Gebäude (dl) ist in den seltensten Fällen bekannt und wurde im Rahmen dieser Betrachtung mit Null belegt. Darüber hinaus wurde der Parameter dL_{source} auf den Wert Null gesetzt, da nur der Straßenlärm betrachtet wurde.

7.1.3 Vor- und Nachteile des Verfahrens

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - ermöglicht auch Vergleiche bei sehr niedrigen Schallpegeln 	<ul style="list-style-type: none"> - keine Dokumentation zu den Parametern dI und dL_{Source} - erzeugt sehr hohe Werte (> 1. Mio.), damit schlecht handhabbar - bezieht sich auf den höchsten Pegel einer Wohnung, deren Lage im Gebäude üblicherweise unbekannt ist - benötigt Angaben zur Schalldämmung von Gebäuden, die nicht ohne weiteres vorliegen - nicht für den L_{Night} definiert - bewertet die Höhe des Schallpegels stark gegenüber der Anzahl Belasteter, so dass sich Schwerpunkte durch wenige Betroffene ergeben können - Berechnungsverfahren kann im Rahmen der Information der Öffentlichkeit vertiefte Erläuterungen erfordern

7.2 LärmKennZiffer

7.2.1 Berechnungsfunktion

$$LKZ = \sum_i E_i * (L_{R,i} - GW)$$

mit

- E_i Einwohner
- $L_{R,i}$ Immissionspegel
- GW Grenzwert / Zielwert / Schwellenwert

7.2.2 Beschreibung des Verfahrens

Die LärmKennZiffer (LKZ) (Bönninghausen / Popp, 1988) ergibt sich aus der Überschreitung eines nutzungsabhängigen Schwellenwertes multipliziert mit der Betroffenenzahl. Dabei sind das Ermittlungsverfahren und der Schwellenwert je nach Aufgabenstellung unterschiedlich einsetzbar.

Bei dieser Funktion werden erst oberhalb einer frei wählbaren Schwelle Werte ermittelt. Um die hier betrachteten Verfahren untereinander vergleichen zu können, wurde diese Schwelle in allen Fällen bei einem L_{DEN} von 65 dB(A) gesetzt⁴. Betrachtungen von anderen Indizes (zum Beispiel L_{Night}) und anderen Schwellenwerten sind ebenfalls möglich.

⁴ Die Schwelle von 65 dB(A) L_{DEN} wurde in Anlehnung an das vom Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem Umweltgutachten zur Vermeidung von Gesundheitsgefährdung für geeignet befundene Umwelthandlungsziel (SRU, 2008) gewählt.

7.2.3 Vor- und Nachteile des Verfahrens

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - für beliebige Rechenverfahren, Beurteilungszeiten und Schwellenwerte anwendbar - Berechnungsmethode lässt sich einfach vermitteln 	<ul style="list-style-type: none"> - Änderung der Belastungshöhe oberhalb des Schwellenwertes wird unabhängig von der Pegelhöhe gleich bewertet

7.3 UCE_{DEN}

7.3.1 Berechnungsfunktion

$$UCE_{DEN} = 10 * \log_{10} \left[\sum_i P_i * 10^{(L_{R,i}/10)} \right]$$

mit

P_i Einwohner der Wohnung i

$L_{R,i}$ höchster Immissionspegel L_{DEN} an der Wohnung i

7.3.2 Beschreibung des Verfahrens

Der Lärm-Einwohnerpegel UCE_{DEN} (Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2010) basiert auf dem logarithmischen Produkt aus dem de-logarithmierten L_{DEN} und der Betroffenenzahl. Damit unterscheidet sich dieses Verfahren von den anderen Methoden, die in unterschiedlicher Weise den L_{DEN} und die Betroffenenzahl miteinander verknüpfen. Die so bestimmten UCE_{DEN} -Werte können anders als die Ergebnisse der übrigen hier betrachteten Verfahren nur mit Aufwand (etwa zu Hektar- oder Gebäudewerten) addiert werden.

Auch der Lärm-Einwohnerpegel UCE_{DEN} stellt ausschließlich auf den höchsten Schallpegel L_{DEN} nach Umgebungslärmrichtlinie an der jeweiligen Wohnung ab. Es wurde hier ebenfalls abweichend das Verfahren nach VBEB verwendet. Im Unterschied zum NoiseScore wird jedoch erst ab einem L_{DEN} von mindestens 55 dB(A) eine Bewertung vorgenommen. Deshalb ergibt sich bereits bei Personen, die von einer Lärmbelastung von 55 dB(A) betroffen sind, ein UCE_{DEN} von 55. Ein Ergebnis von „null“ ergibt sich lediglich, wenn keine Personen in einem Gebäude betroffen sind.

Ein Problem bei der Anwendung dieses Verfahrens ist, dass die Einwohnerzahl ebenfalls logarithmisch betrachtet wird. Änderungen der betroffenen Personen wirken sich somit unterschiedlich auf die Bewertung aus. Eine Steigerung von 10 auf 100 Betroffene wird genauso bewertet wie eine Steigerung von 100 auf 1.000 Betroffene (bei jeweils gleichem Pegel).

7.3.3 Vor- und Nachteile des Verfahrens

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - stellt die hoch lärmbelasteten Bereiche heraus 	<ul style="list-style-type: none"> - nicht für den L_{Night} definiert. - Werte liegen nahe beieinander (und suggerieren einen Lärmpegel) - Wert kann nur für einen gegebenen Bereich berechnet werden und ist nur mit Aufwand aggregierbar - Berechnungsverfahren lässt sich nur schwer vermitteln - bewertet die Höhe des Schallpegels stark gegenüber der Anzahl Belasteter, so dass Schwerpunkte durch wenige Betroffene ausgelöst werden können

7.4 P-Score

7.4.1 Berechnungsfunktion

$$P = \sum E_i * (2^{(L_{R,i}/10)} - 2^{(GW/10)})$$

mit

- E_i Einwohner
- $L_{R,i}$ Immissionspegel
- GW Grenzwert / Zielwert / Schwellenwert

7.4.2 Beschreibung des Verfahrens

Das Bayerische Lärmbewertungsmaß (P-Score) (Bundesministerium für Verkehr, 1997) ergibt sich auf Basis eines Lärmpegels, eines Schwellenwertes und der Betroffenenanzahl. Dabei sind das Ermittlungsverfahren und der Schwellenwert je nach Aufgabenstellung unterschiedlich einsetzbar.

Bei dieser Funktion werden erst oberhalb einer frei wählbaren Schwelle Werte ermittelt. Um die hier betrachteten Verfahren untereinander vergleichen zu können, wurde diese Schwelle in allen Fällen bei einem L_{DEN} von 65 dB(A) gesetzt. Betrachtungen von anderen Indizes (zum Beispiel L_{Night}) und anderen Schwellenwerten sind ebenfalls möglich.

Im Unterschied zum ähnlichen LKZ-Verfahren werden beim P-Score die Überschreitungen nicht linear gewichtet. Vielmehr erfolgt mit ansteigender Schwellenüberschreitung eine zunehmende Gewichtung. Dabei wird eine Erhöhung von 1 dB(A) bei einer Überschreitung von 20 dB(A) etwa doppelt so stark gewichtet wie eine Erhöhung von 1 dB(A) knapp über dem Schwellenwert.

7.4.3 Vor- und Nachteile des Verfahrens

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - für beliebige Rechenverfahren, Beurteilungszeiten und Schwellenwerte anwendbar - bewertet höhere Schwellenwertüberschreitungen überproportional, aber in einer Größenordnung, bei der wenige Betroffene das Ergebnis bestimmen 	<ul style="list-style-type: none"> - Berechnungsverfahren lässt sich nur schwer vermitteln

7.5 Highly annoyed

7.5.1 Berechnungsfunktion

$$\%HA = 9,868 * 10^{-4} * (L_{r,TAN} - 42)^3 - 1,436 * 10^{-2} * (L_{r,TAN} - 42)^2 + 0,5118 * (L_{r,TAN} - 42)$$

mit

$L_{r,TAN}$ Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht, der dem L_{DEN} entspricht

7.5.2 Beschreibung des Verfahrens

Das betrachtete Verfahren zur Ermittlung starker Belästigung⁵ (Prozent „highly annoyed“ (% HA)) ist in der VDI 3722-2⁶ beschrieben. Es wird eine Gleichung verwendet, die für den Bereich von 42 dB(A) bis 75 dB(A) definiert ist. Sie bezieht sich nur auf den Straßenverkehr. Für Flug- und Schienenverkehrslärm werden jeweils andere Formeln genannt. Über einen Substitutionspegel lassen sich diese Lärmarten wirkungsgerecht zum Straßenverkehrslärm addieren. Das Ergebnis dieser Funktion ist der Anteil stark belästigter Personen in Prozent. Multipliziert man die Einwohnerzahl eines Gebietes mit diesem Ergebnis, erhält man eine „Beeinträchtigungskenngröße“. Zur Analyse dieses Verfahrens wurde hier ebenfalls die Methode nach VBEB verwendet.

⁵ Die VDI 3722 verweist auf eine Studie von Schultz (1978), wonach „eine Person als ‚stark belästigt‘ bezeichnet wird, wenn sie auf einer Belästigungsskala die oberen 28 % der Skalenlänge gewählt hat“.

⁶ VDI 3722 - Blatt 2 (2013):
Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Blatt 2: Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten

7.5.3 Vor- und Nachteile des Verfahrens

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">- stellt die hoch lärmbelastete Bereiche heraus- ermöglicht zusammen mit anderen Größen eine wirkungsgerechte Gesamtlärbewertung	<ul style="list-style-type: none">- Wert kann nur für einen gegebenen Bereich berechnet werden- zu Grunde liegendes Berechnungsverfahren lässt sich nur schwer vermitteln

8 Ergebnisdarstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellberechnungen analysiert. Zusätzlich wird ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Hotspots betrachtet (vgl. Hintzsche und Popp, 2009).

Bei einer flächenhaften Darstellung werden die auf Hektar-Flächen aggregierten Bewertungen farblich skaliert unterschieden. Um darüber hinaus die mit den Verfahren identifizierten Schwerpunkte vergleichen zu können, werden jeweils die 30 höchstbelasteten Teilflächen ermittelt und dargestellt. Jedes Verfahren wird zudem hinsichtlich der Fragestellung untersucht, wie es auf eine Verschiebung des Beurteilungsrasters reagiert. Abweichungen bei den identifizierten Hotspots werden hervorgehoben.

8.1 Gesamtergebnisse

Bei der Berechnung ergeben sich Bewertungen für das Gesamtgebiet. Dabei wurden im Einzelnen die folgenden Gesamtwertungen festgestellt. Es zeigt sich, dass die Bewertung jeweils höchst unterschiedlich ausfällt.

Abbildung 4: Übersicht über die betrachteten Werte und die Gesamtbewertung

Verfahren zur Ermittlung von Hotspots	Betrachtete Werte	Gesamtbewertung
Anzahl Betroffene _{DEN}	L _{DEN} > 65 dB(A)	6.871
Anzahl Betroffene _{Night}	L _{Night} > 55 dB(A)	8.910
NS	DEN	64.740.128
LKZ _{DEN}	L _{DEN} > 65 dB(A)	22.588
LKZ _{Night}	L _{Night} > 55 dB(A)	29.395
UCE _{DEN}	DEN	110
% HA	DEN	6,94%
P _{DEN}	L _{DEN} > 65 dB(A)	170.873
P _{Night}	L _{Night} > 55 dB(A)	112.160

Es wird somit in der späteren Darstellung für jedes Verfahren eine eigene Skalierung verwendet.

8.2 Grafische Darstellungen

- **Punktuelle Darstellungen**

Eine gebäudebezogene Plandarstellung von Fassadenpunktergebnissen (rund 156.000 für die betrachtete Musterstadt) ist bei Städten mit 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern nicht mehr lesbar und daher nicht zielführend.

- **Flächenhafte Darstellungen**

Um die unterschiedlichen Verfahren vergleichen zu können, ist eine normierte Größe zweckmäßig. In diesem Falle wurde die Darstellung der jeweiligen Ergebnisse je Hektar (100 m x 100 m) gewählt. Dieses Vorgehen hat sich in zahlreichen Lärmaktionsplänen bewährt.

- **Skalierungen**

Die Lesbarkeit der Hotspot-Pläne hängt stark von der Darstellung der ermittelten Werte ab. Da der Wertebereich je nach Hotspot-Bewertungsfunktion (zum Beispiel linear oder exponentiell) sehr unterschiedlich ist, sind zu jedem Verfahren angepasste Darstellungen erforderlich.

Im Kapitel 8.3 werden die Pläne mit ihrem jeweils vollständigen Wertebereich dargestellt. Die Berechnungsergebnisse der unterschiedlichen Verfahren ergeben erwartungsgemäß sehr unterschiedliche Ergebnisse, Wertebereiche und Verteilungen. Es war deshalb erforderlich, für das jeweilige Verfahren eine geeignete Skalierung zu finden.

Die Auswahl einer Skalierung bzw. eines Schwellenwertes muss grundsätzlich in Abhängigkeit von der Belastungssituation und der gewünschten „Menge“ an Hotspots getroffen werden. In hoch belasteten, größeren Gebieten könnte eine „offensive“ Skalierung beziehungsweise Schwellenwertwahl zu einer großen Anzahl von Schwerpunkten führen. Bei geringen Belastungen, die jedoch noch relevant sind, könnte eine „defensive“ Skalierung beziehungsweise Schwellenwertwahl zu wenigen Hotspots bzw. keinem Hotspot führen.

Zunächst wurde eine Farbskala gewählt, die für alle Verfahren Anwendung findet. Dabei war eine breite Spreizung der Skala über 13 Stufen das Ziel, um möglichst auch geringere Unterschiede erkennbar zu machen. Das wirkt sich allerdings auf die intuitive Erfassung der Planinhalte nachteilig aus.

Bei Verfahren, die einen Schwellenwert oder eine untere Grenze berücksichtigen, werden nicht bewertete Bereiche dabei nicht farblich dargestellt („weiß“). Für die übrigen 13 Klassen wurden jeweils die höchsten ermittelten Beurteilungswerte in die höchste Klasse eingeteilt, die Klassengrößen wurden dann entsprechend gerundet gewählt

Für die Verfahren LKZ und P-Score sowie bei der Darstellung der Betroffenen ist eine Überschreitung eines Schwellenwertes Voraussetzung. Für diese Verfahren wurden jeweils lineare Skalen verwendet. Für die LKZ ergeben sich Klassengrößen von 50, für P-Score von 400, bei den Betroffenen von 10.

Auch für die Bewertung der Prozent „highly annoyed“ (% HA) wurde eine lineare Skala gewählt, wobei die höchsten Werte in der höchsten Klasse eingeordnet wurden. Es ergibt sich eine Klassenbreite von „2 %“.

Der Lärm-Einwohnerpegel (UCEDEN) basiert auf einer logarithmischen Summierung des de-logarithmierten Schalldruckpegels und führt zu Werten, die im Bereich üblicher Schallpegelskalen liegen. Auch hierfür wird eine lineare Skala verwendet, die entsprechend den niedrigsten und höchsten vorkommenden Beurteilungswerten gewählt wurde. Es ergibt sich eine Skala von 48 bis 92 mit einer Klassenbreite von 2.

Der NoiseScore (NS) basiert auf einer Exponentialfunktion, sodass zur Abbildung der

berechneten Werte eine logarithmische Skala zweckmäßig ist. Der auftretende Wertebereich von 0,084 bis 3,68 Millionen lässt eine Teilung je Zehnerpotenz pro zwei Klassen zu.

8.3 Darstellung der Berechnungsergebnisse

8.3.1 Darstellung in Hektar-Teilflächen

In Abbildung 5 bis Abbildung 9 sind jeweils die summierten Werte für die Hektar-Teilflächen dargestellt. Grundsätzlich wird hierbei die jeweilige „Betrachtungsschwelle“ der verschiedenen Verfahren deutlich. Je nach Verfahren sind entweder

- für alle bewohnten Gebiete der Stadt Werte vorhanden (NoiseScore), da keine untere Grenze bei der Bewertung existiert,
- für weite Bereiche des Stadtgebietes Werte vorhanden (% HA, UCE_{DEN}), da die vom Bewertungsverfahren gegebene untere Grenze recht niedrig angesetzt ist (42 dB(A) für L_{DEN} bei % HA, 55 dB(A) beim UCE_{DEN}) oder
- nur für Bereiche mit Belasteten ab einer gewählten Schwelle (hier 65 dB(A) für L_{DEN}) Werte vorhanden (Betroffene, LKZ, P-Score).

Die Verfahren, die einen Schwellenwert nutzen, geben bereits über das Vorhandensein eines Wertes (0 = keine Werte) Schwerpunkte wieder. Bei den übrigen Verfahren muss die Identifizierung allein über die Höhe der Bewertung erfolgen. Hierbei könnten (je nach Verfahren) aber auch Bereiche mit sehr vielen „Betroffenen“ bei geringen Pegeln als „Belastungsschwerpunkt“ ausgewiesen werden. Beim UCE_{DEN} wären zum Beispiel 200 Einwohner bei 60 dB(A) höher bewertet als 10 Einwohner bei 70 dB(A).

- Bei der Darstellung der Anzahl Betroffener über 65 dB(A) (Abbildung 5) zeichnen sich die Hauptverkehrsstraßen deutlich ab. Ein Schwerpunkt ist am Schnittpunkt der Kreisstraßen K1 und K3 sowie im weiteren Verlauf der K3 zu erkennen.
- Auch beim NoiseScore (Abbildung 6) zeichnen sich die Hauptverkehrsstraßen deutlich ab. Anders als bei der „Anzahl Belasteter“ oder der LKZ wird bis auf unbewohnte Bereiche die Stadtfläche vollständig mit farbigen Rastern überzogen. Belastungsschwerpunkte finden sich entlang der Autobahn A1, der Kreisstraße K2, der Landstraße L1 sowie der Bundesstraße B1 und der Kreisstraße K3.
- Die LKZ (Abbildung 7) ähnelt sowohl in der Verteilung der Rasterflächen als auch in den Belastungsschwerpunkten dem Ergebnis der „Anzahl Betroffener“.
- Der UCE (Abbildung 8) liefert auf den ersten Blick ein abweichendes Bild, da viele Flächen in Rot dargestellt werden, was entsprechend der Skala eine mittelhohe Belastung bedeutet. Dieser Eindruck täuscht jedoch, da sich ähnliche Belastungsschwerpunkte an der Kreisstraße K3 und der Autobahn A1 wie bei den anderen Verfahren ergeben.
- Beim Verfahren „Highly Annoyed“ (Abbildung 10) werden wie bei den anderen Verfahren die Belastungsschwerpunkte entlang der Hauptverkehrsstraßen sichtbar. Allerdings liegen die Schwerpunkte fast ausschließlich an der Autobahn A1.

- Der P-Score (Abbildung 9) zeigt ein ähnliches Bild wie die LKZ oder die Anzahl Belasteter. Es bestehen jedoch an der Kreisstraße K2 und der Landstraße L1 weitere Schwerpunkte.

Bei den gewählten Darstellungen zeigen sich jeweils tendenziell ähnliche Belastungsschwerpunkte. Diese befinden sich an den beschrifteten Straßen: „Autobahn“ (A1), „Bundesstraße“ (B1 und B2), „Landesstraße“ (L1, L2 und L3) sowie „Kreisstraße“ (K1, K2 und K3).

Abbildung 5: Anzahl der Betroffenen $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A)}$ / ha

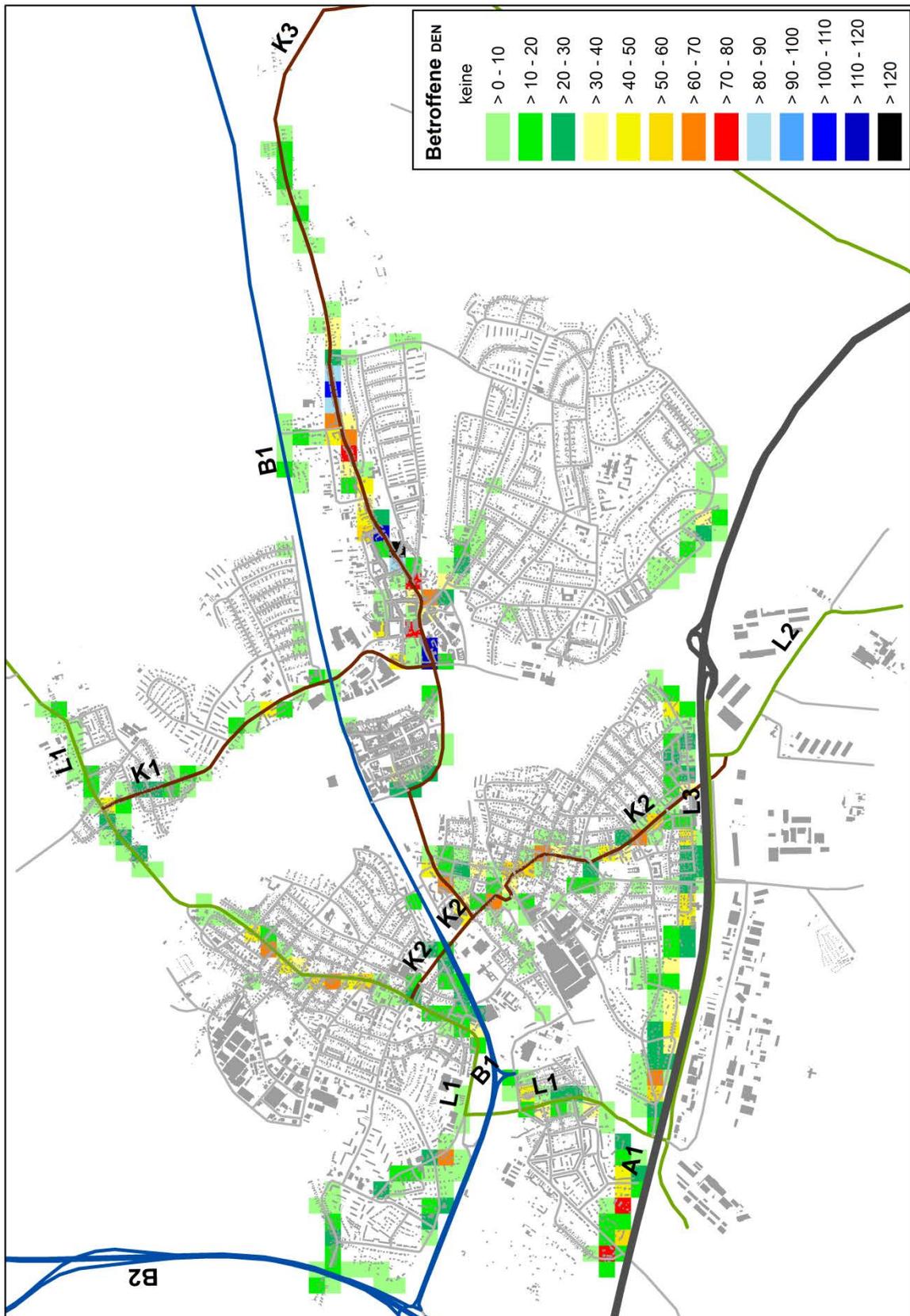


Abbildung 6: NoiseScore / ha

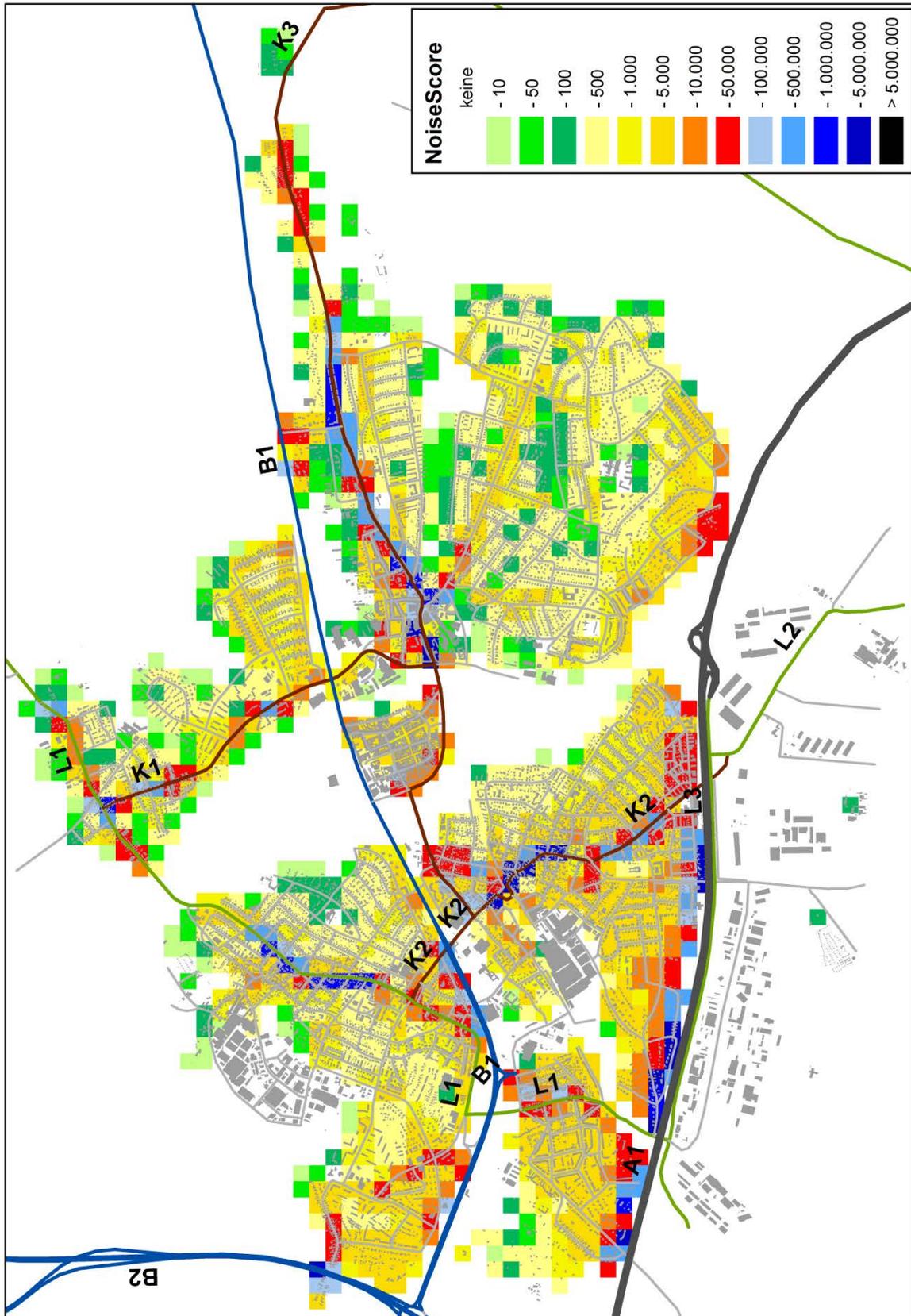


Abbildung 7: LärmKennZiffer $L_{DEN} > 65 \text{ dB(A) / ha}$



Abbildung 8: UCE_{DEN} / ha

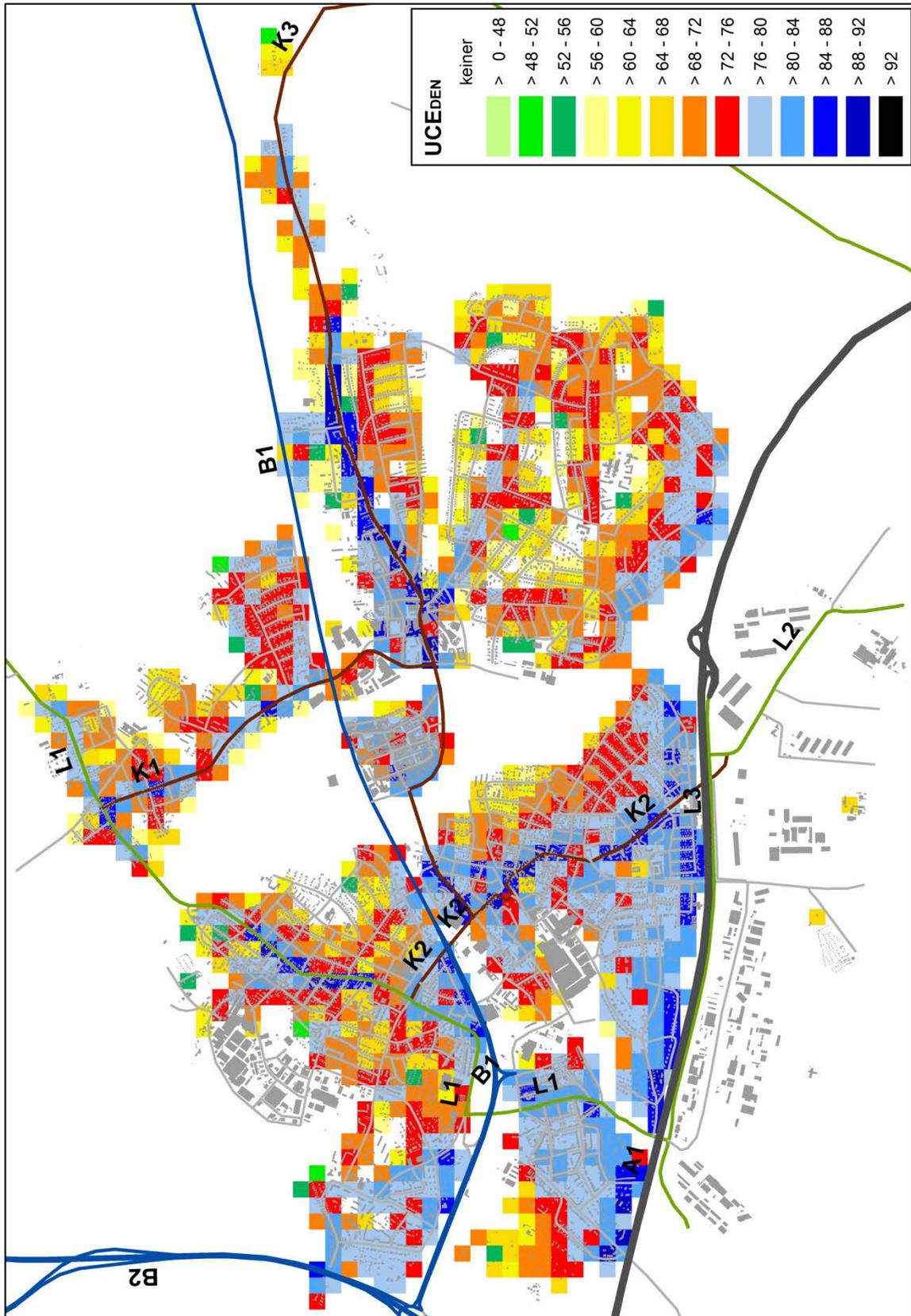
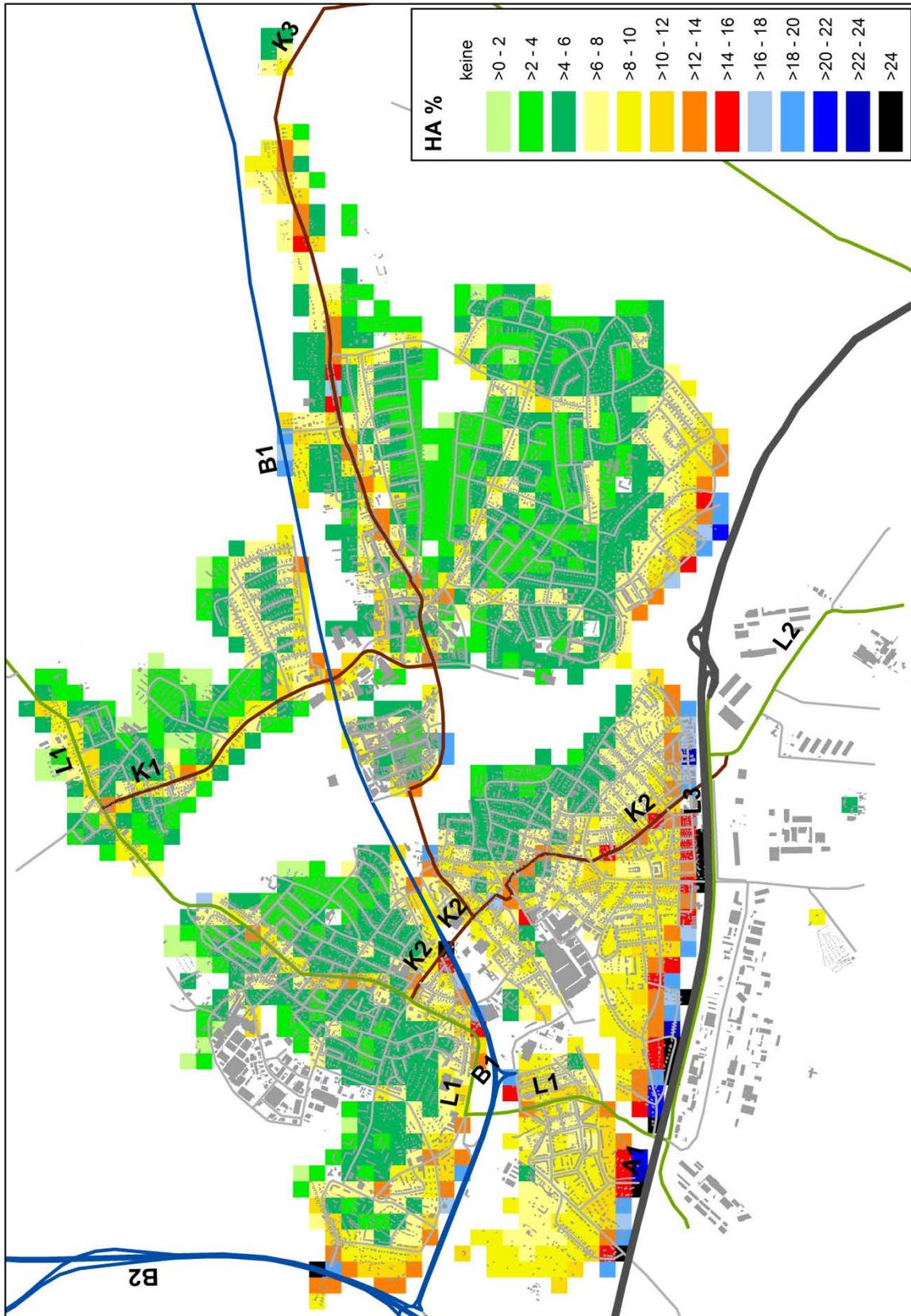


Abbildung 9: P-Score $L_{DEN} > 65$ dB(A) / ha



Abbildung 10: highly annoyed / ha



8.3.2 Darstellung der 30 höchstbelasteten Teilflächen

Eine Identifizierung der tatsächlich höchstbelasteten Bereiche der Stadt ist auf Grundlage der Karten in Kapitel 8.3.1 nur schwer möglich. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden daher die 30 jeweils höchstbelasteten Teilflächen ermittelt und dargestellt. Hierbei wurden für eine grobe Orientierung drei Farbklassen gebildet. Bei der Beschriftung wurde die Rangfolge ergänzt, wobei der Wert 1 der höchstbelasteten Teilfläche entspricht. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die höchsten 10 Werte rot, die 10 folgenden Werte orange und die restlichen 10 Werte grün eingefärbt. Die Untersuchungen haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

- Es zeigt sich, dass sowohl die Betrachtung der Anzahl der Betroffenen >65 dB(A) (Abbildung 11), die LKZ (Abbildung 13), UCE (Abbildung 14) als auch das Verfahren P-Score (Abbildung 15) die höchsten Belastungen im Bereich der Kreisstraße K3 östlich der K1 aufweisen. Hinzu kommt ein Belastungsschwerpunkt an der Autobahn A1 westlich der Landesstraße L1.
- LKZ und P-Score verorten zudem weitere Schwerpunkte an der Kreisstraße K2 zwischen der Bundesstraße B1 und der Autobahn A1 sowie an der Landstraße L1 nördlich der Kreisstraße K2. Bei einer Betrachtung der Betroffenen ohne Gewichtung der tatsächlichen Schwellenwertüberschreitung werden weitere Schwerpunkte in der Nähe der Autobahn A1 sowie der Bundesstraße B1 ermittelt.
- Das Verfahren UCE (Abbildung 14) zeigt entlang der Kreisstraße K2 südlich der Bundesstraße B1 eine höhere Platzierung der Schwerpunkte, entlang der Kreisstraße K3 eine teilweise geringere. Die Betroffenheit an der Autobahn A1 wird ebenfalls geringfügig höher bewertet.
- Für die Verfahren „Anzahl Betroffene“, LKZ, P-Score und UCE wurden, bis auf sehr wenige Ausnahmen, die gleichen Schwerpunkte ermittelt. Dabei sind 24 gleiche Teilflächen identifiziert worden. Insgesamt stimmen die Verfahren LKZ, P-Score und UCE in den Platzierungen 1 bis 3 vollständig, bis Platzierung 10 größtenteils überein.
- Die Verfahren NoiseScore (Abbildung 12) und „highly annoyed“ (Abbildung 16) zeigen eine von den übrigen Verfahren deutlich abweichende Priorisierung. Beim NoiseScore werden ebenfalls Belastungsschwerpunkte an der Kreisstraße K3 sowie an der Kreisstraße K2 identifiziert, die höchsten Belastungen werden jedoch entlang der Autobahn A1 sowie in einem Bereich an der Bundesstraße B2 ermittelt. Die für die zuvor genannten Verfahren höchstbelasteten Schwerpunkte 1 bis 3 werden mit der Priorität 6, 16 sowie 21 ermittelt.
- Noch stärker von den bisherigen Ergebnissen weicht die Beurteilung nach „highly annoyed“ ab. Hier werden die Belastungsschwerpunkte fast ausschließlich in direkter Nähe zur Autobahn A1 sowie den Bundesstraßen B1 und B2 ermittelt. Einzig im Bereich der „Innenstadt“ ergeben sich weitere Schwerpunkte, die von den anderen Verfahren nicht ausgewiesen werden. Die in den vorherigen Verfahren identifizierten Schwerpunkte an der Kreisstraße K3 sowie der Kreisstraße K2 werden durch das Verfahren „highly annoyed“ nicht in den ersten 30 Schwerpunkten ermittelt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die linearen Verfahren (LKZ, P-Score und UCE) fast durchgängig die gleichen Belastungsschwerpunkte mit fast der gleichen Reihenfolge ermitteln. Tendenziell werden bei diesen Verfahren die Anzahl der Betroffenen stärker gewichtet als die

Pegel. Hierzu stark abweichende Ergebnisse liefert das Verfahren „highly annoyed“. Hier liegen die Hotspots fast ausnahmslos an der Autobahn, wo die höchsten Pegelwerte auftreten. Tendenziell wird bei diesem Verfahren die Höhe der Lärmbelastung stärker gewichtet.

Zwischen den genannten Extremen liegen die Ergebnisse des Noise Score. Hier finden sich sowohl die Hotspots der linearen Verfahren mit dem Schwerpunkt an der Kreisstraße K3 als auch Hotspots des Verfahrens „highly annoyed“ an der Autobahn A1.

Abbildung 11: Betroffene $L_{DEN} > 65$ dB(A) / ha, Top 30



Abbildung 13: LärmKennZiffer $L_{DEN} > 65$ dB(A) / ha, Top 30



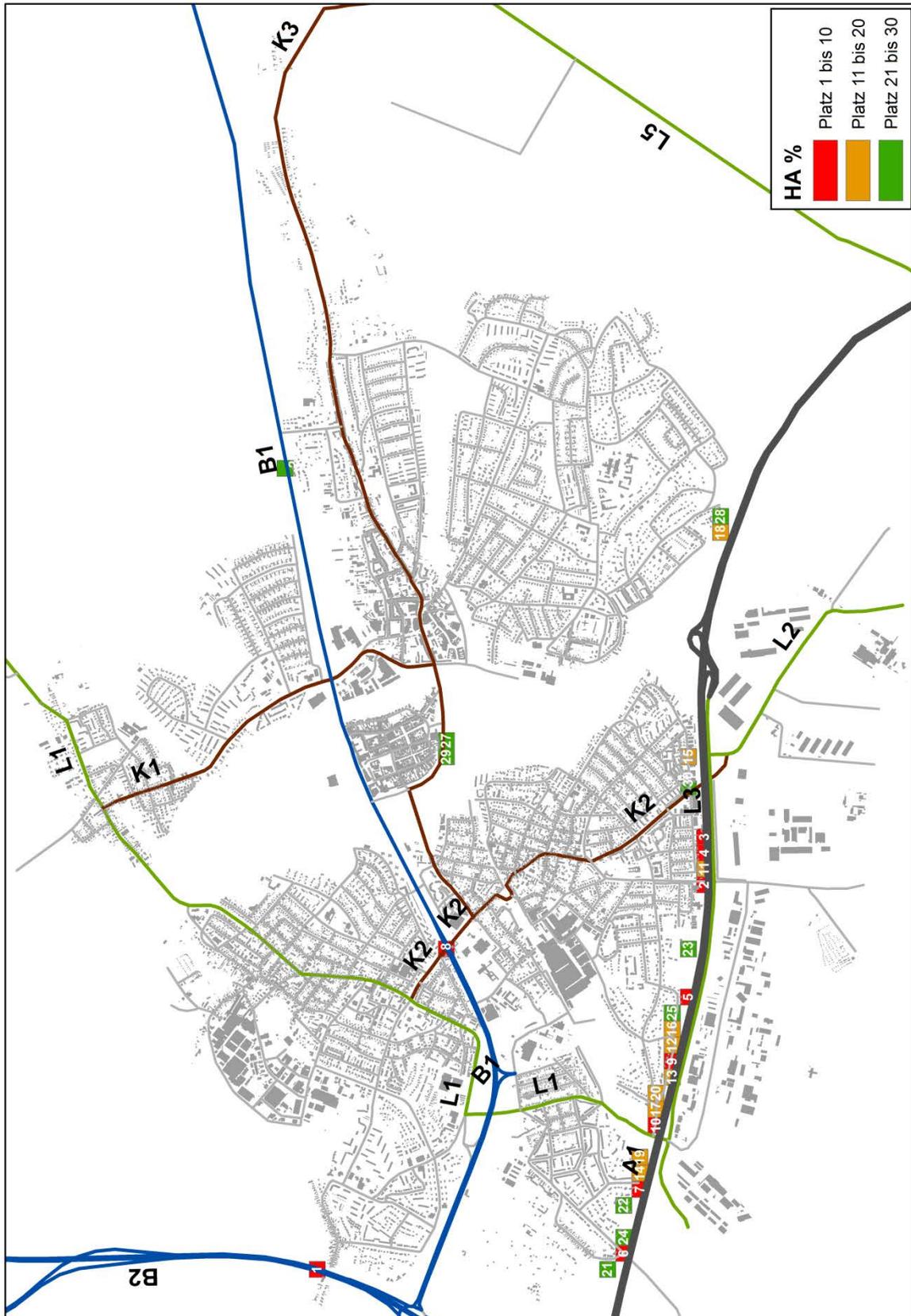
Abbildung 14: UCE_{DEN} / ha, Top 30



Abbildung 15: P-Score LDEN > 65 dB(A) / ha, Top 30



Abbildung 16: highly annoyed / ha, Top 30



8.3.3 Verschiebung des Berechnungsrasters

Die in der vorherigen Auswertung gewählte Einteilung der Stadtfläche in Hektar-Flächen erfolgte zunächst willkürlich. Im Weiteren wurde dann untersucht, welchen Einfluss die Festlegung des Rasterursprungs auf die ermittelten Hotspots hat. Hierzu wurde das Raster um jeweils die 1/2 Länge (50 m) nach rechts sowie die 1/2 Länge (50 m) nach oben verschoben (siehe Skizze in Abbildung 17). Danach erfolgte eine Neuberechnung der Hotspots mit den verschiedenen Verfahren. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen wieder in der Rangfolge der 30 höchstbelasteten Teilflächen dargestellt. Es zeigt sich, dass alle Verfahren bei einer Verschiebung des Rasterursprungs zwar grundsätzlich ähnliche Schwerpunkte wie bei dem Ausgangsraster ausweisen, allerdings mit einer deutlichen Abweichung in der Reihenfolge der höchstbelasteten Raster. Speziell kleine Bereiche, die zuvor aus nur einer „hochbelasteten“ Hektar-Fläche bestehen, sind besonders anfällig für eine Verschiebung des Rasters, wodurch sich zwei „mittelbelastete“ Hektar-Flächen ergeben können. Es wird deshalb empfohlen, bei einer Auswertung so ermittelter Hektar-Flächen nicht nur einzelne höchstbelastete Flächen zu betrachten, sondern auch mehrere aneinandergrenzende hochbelastete Flächen zu berücksichtigen, da auch diese einen Hotspot darstellen können.

Abbildung 17: Verschiebung des Rasterursprungs um je 50 m in x- und y-Richtung

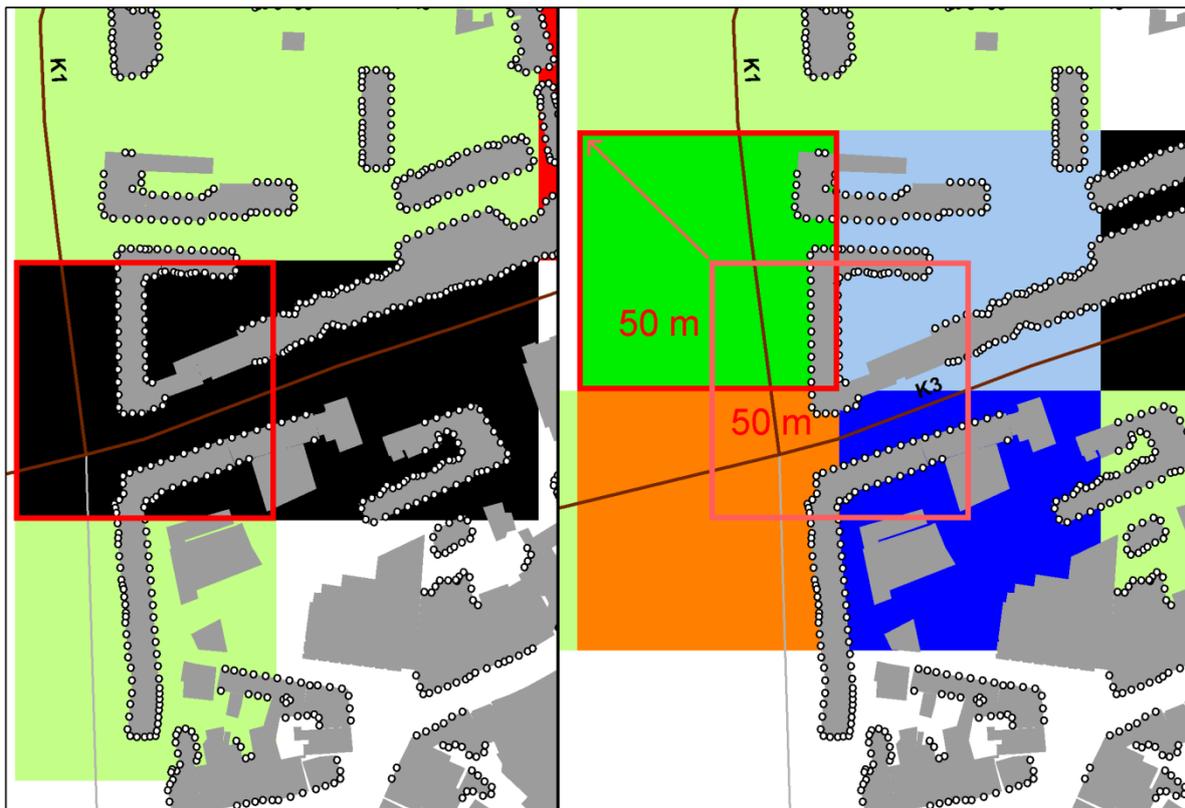


Abbildung 18: Betroffene $L_{DEN} > 65$ dB(A) / ha, Top 30, verschobenes Raster

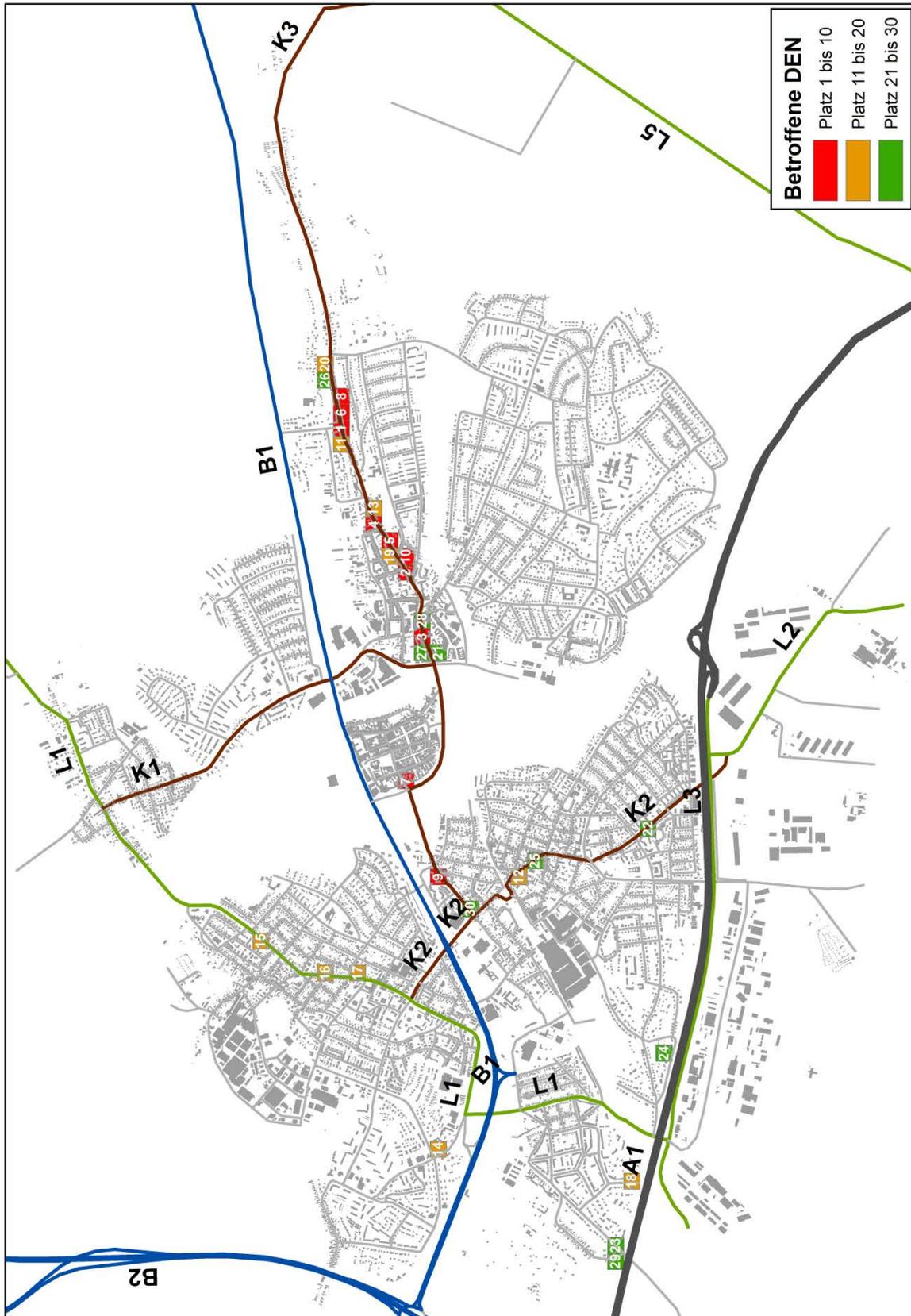


Abbildung 19: NoiseScore / ha, Top 30, verschobenes Raster



Abbildung 21: UCE_{DEN} / ha, Top 30, verschobenes Raster



Abbildung 22: P-Score $L_{DEN} > 65$ dB(A) / ha, Top 30, verschobenes Raster



Abbildung 23: highly annoyed / ha, Top 30, verschobenes Raster



8.3.4 Gleitender Betrachtungsbereich

Abschließend wird eine „gleitende Ermittlung“ anhand eines Bewertungsverfahrens dargestellt. Hierbei wurde für kleinere Teilflächen (zum Beispiel 10 m * 10 m) die Bewertungszahl in einem größeren Umfeld (zum Beispiel 100 m * 100 m) ermittelt.

In dem nachfolgend dargestellten Beispiel in Abbildung 25 wurde für ein Raster von 10 m * 10 m jeweils in einem Radius von rund 56 m (Kreisfläche entspricht somit 1 ha) die für jeden Fassadenpunkt vorliegende LKZ_{DEN} ermittelt (Abbildung 24). Gegenüber den vorherigen Aggregationen ist zu beachten, dass über die Rasterflächen keine „Summation“ der Belastungen erfolgen kann, da die für den jeweiligen Fassadenpunkt ermittelten Werte in mehreren Bewertungsfeldern summiert werden. In diesem Beispiel sind etwa die im Schnittbereich liegenden Fassadenpunkte sowohl dem oberen wie auch dem unteren Rasterfeld zugewiesen. Der Vorteil dieser Auswertung liegt darin, dass durch den (willkürlich) gewählten Rasterursprung keine beziehungsweise nur sehr geringe Einflüsse auf die dargestellten Ergebnisse zu erwarten sind. Gerade bei der detaillierten Betrachtung von Stadtteilen wird zudem die tatsächliche Lage der Belastungsschwerpunkte deutlich (siehe zum Vergleich Abbildung 26). Nachteilhaft ist dagegen die schlechte Erkennbarkeit der eigentlichen Hotspots (Abbildung 27). Hier überlagern weitere Karteninformationen, etwa die Straßen, die ermittelten Belastungsschwerpunkte.

Abbildung 24: Skizze zum gleitenden Betrachtungsbereich - Fassadenwerte werden mehreren Bewertungsfeldern zugewiesen

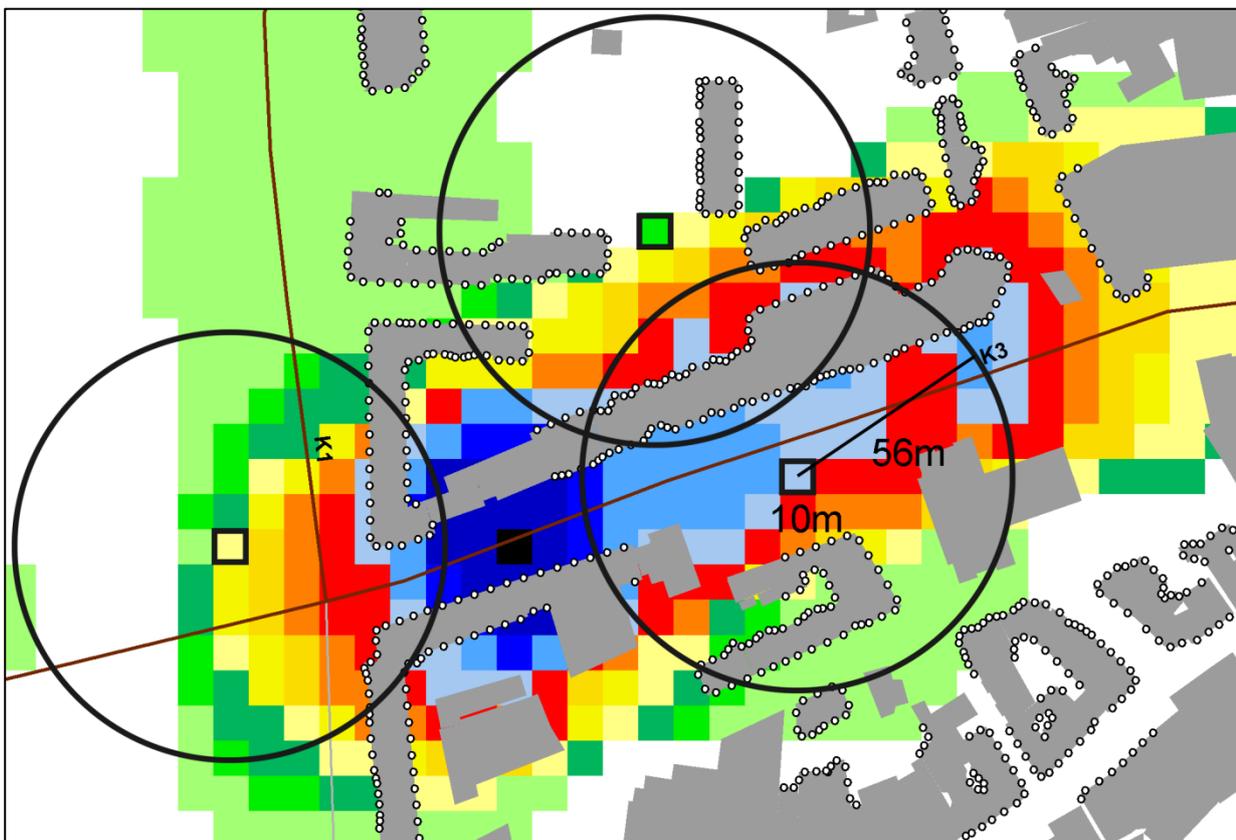


Abbildung 25: LKZ mit gleitendem Betrachtungsbereich (Kreisfläche = 1 ha)

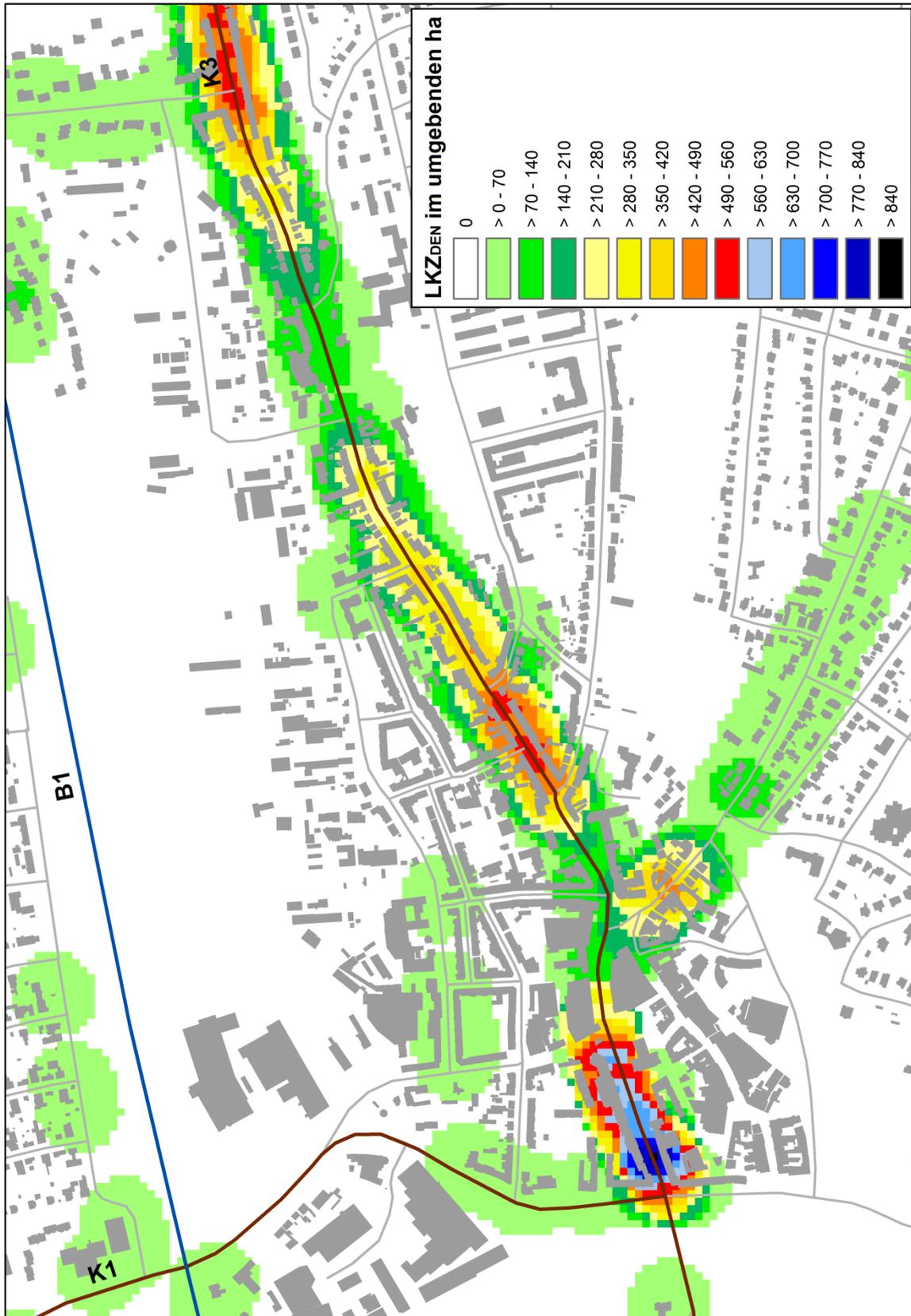
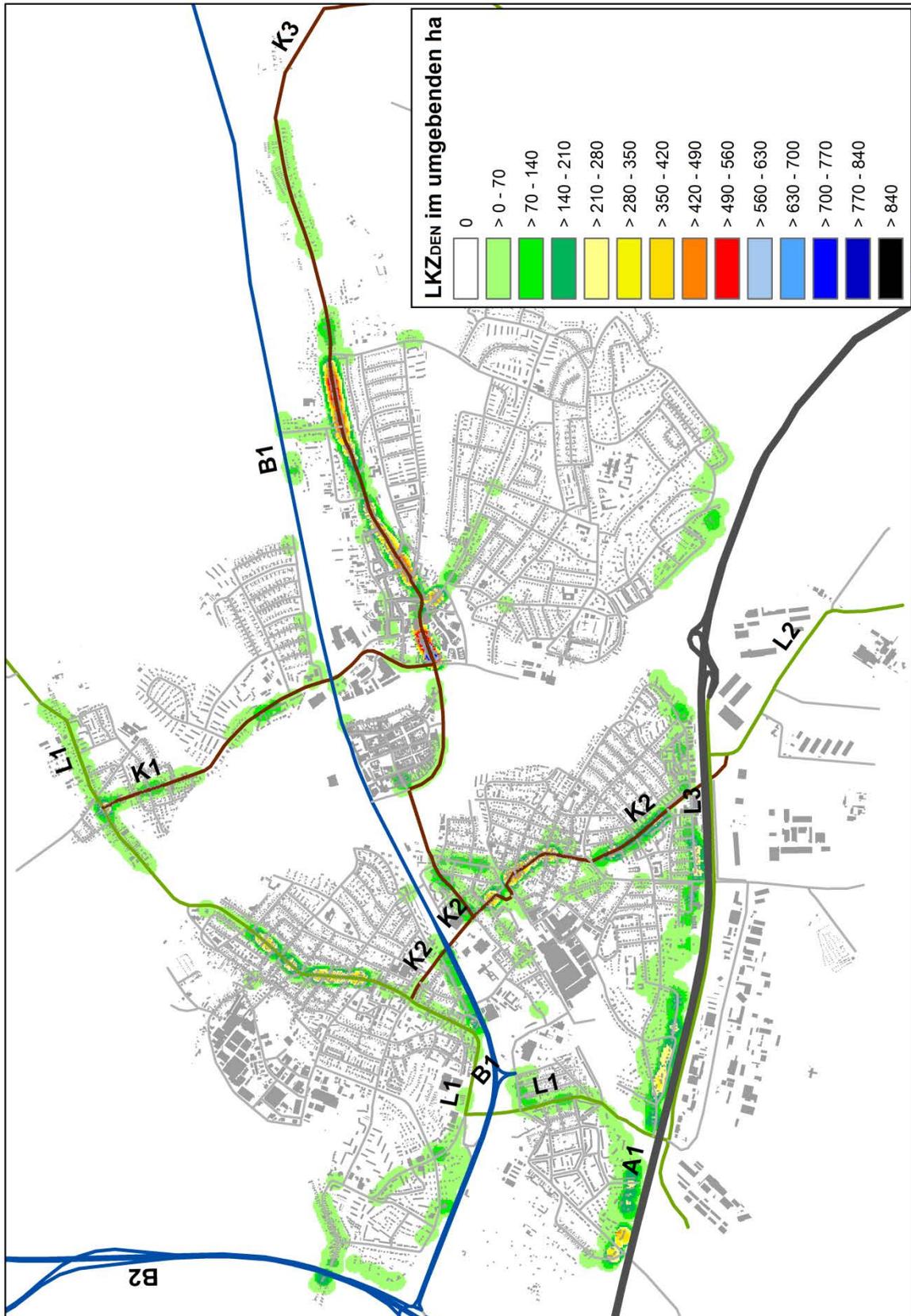


Abbildung 26: LKZ mit herkömmlichem Hektar-Raster



Abbildung 27: LKZ mit gleitendem Betrachtungsbereich (Kreisfläche = 1 ha) für ein gesamtstädtisches Gebiet



9 Fazit

Es wurden fünf verschiedene Verfahren zur Ermittlung von Hotspots betrachtet. Die Analyse dieser Verfahren hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

- LKZ, P-Score und UCE ergaben grundsätzlich sehr ähnliche Ergebnisse, die sich weitgehend auch in der Darstellung der Anzahl der Belasteten über 65 dB(A) L_{DEN} wiederfinden. Demgegenüber weicht der NoiseScore von diesen Ergebnissen zum Teil und das Verfahren „highly annoyed“ erheblich davon ab.
- Tendenziell wird bei LKZ, P-Score und UCE die Anzahl der belasteten Personen stärker gewichtet. Beim „highly annoyed“ dagegen liegt die Gewichtung deutlich mehr auf den hoch lärmbelasteten Bereichen.
- Der NoiseScore liefert sowohl Hotspots, die LKZ, P-Score und UCE aufzeigen, als auch Hotspots, die sich aus der Berechnung des „highly annoyed“ ergeben.

Welches Verfahren letztendlich angewendet werden sollte, hängt von den Lärminderungszielen ab, die sich die jeweilige Kommune gesetzt hat:

- Sofern die Hotspots nach einem frei definierbaren Schwellenwert ermittelt werden sollen, zum Beispiel bei der stufenweisen Identifizierung von Belastungsschwerpunkten, beschränkt sich die Auswahl auf die Verfahren LKZ und P-Score.
- Bei bestimmten Fragestellungen kann es zudem erforderlich sein, Hotspots für den Nachtzeitraum genauer zu betrachten. Dies ist grundsätzlich ebenfalls nur mit den Verfahren LKZ und P-Score möglich.

Unabhängig vom gewählten Bewertungsverfahren sind die ermittelten Belastungsschwerpunkte unbedingt vor Ort beziehungsweise mit ausreichender Ortskenntnis zu überprüfen, da sich zum Beispiel eine Verschiebung des Berechnungsrasters auf die Ausweisung der Hotspots auswirkt. Oftmals sind die Hotspots den zuständigen Behörden schon im Grundsatz bekannt; die beschriebenen Ermittlungsverfahren ermöglichen eine Überprüfung und ggf. Bestätigung dieser Einschätzung. Darüber hinaus sind die Hotspot-Karten hilfreich, um eine Prioritätenreihung der geplanten Lärminderungsmaßnahmen vorzunehmen. Zudem sind sie ein wertvolles Hilfsmittel für eine fundierte Diskussion im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung.

10 Quellenverzeichnis

- Bönnighausen, G., Popp, C. (1988): LärmKennZiffer-Methode. Methode zur Beurteilung lärmbedingter Konfliktpotentiale in der städtebaulichen Planung, Freie und Hansestadt Hamburg. Hamburg
- Bundesministerium für Verkehr (1997): Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes — VLärmSchR 1997
- Giering, Kerstin (2013):
Forschungsprojekt OptiLAP - Evaluierung und Optimierung der Lärmaktionsplanung nach der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG - Arbeitspaket 3: Verfahren zur Identifizierung von Lärmbrennpunkten
- Hintzsche, M., Popp, C. (2009): Strategic action planning in Hamburg - an approach for large agglomerations, EURONOISE 2009. Edinburgh
- Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, Ministère du Développement durable et des Infrastructures, Administration de l'environnement (2010): Plan d'action de lutte contre le bruit des grands axes routiers de plus de six millions de passages de véhicules par an. Luxembourg
- Miedema, H. M. E., Oudshoorn, C. G. M. (2001): Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and their Confidence Intervals, Environmental Health Perspectives, 109(2001), 409–416
- Probst, W. (2006): Zur Bewertung von Umgebungslärm, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 53/2006, Seite 105-114
- Schiewe, Prof. Dr. Jochen, Weninger, Beate, Kornfeld, Anna-Lena (2012):
Forschungsprojekt OptiLAP - Evaluierung und Optimierung der Lärmaktionsplanung nach der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG - Arbeitspaket 2.1 - Analyse und Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit von Lärmkarten in der Öffentlichkeitsbeteiligung. Dessau-Roßlau.
- Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) (2008): Umwelt und Gesundheit, Risiken richtig einschätzen; Deutscher Bundestag Drucksache 14/2300
- VDI 3722 – Blatt 2 (2013):
Wirkung von Verkehrsräuschen - Blatt 2: Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten

11 Datenblätter

11.1 NoiseScore

Kurzbeschreibung

Der NoiseScore (NS) basiert auf einer Funktion, die linear vom Schallpegel L_{DEN} abhängt. Sie weist unter 65 dB(A) eine geringere Steigung auf als oberhalb von 65 dB(A). Der sich aus der Funktion ergebende Wert wird mit der Betroffenzahl multipliziert. Sie verwendet den höchsten Schallpegel L_{DEN} der Wohnung.

Anwendungsbereich

Dieses Verfahren wurde entwickelt zum Vergleich unterschiedlicher Varianten bei kleinräumigen Untersuchungen.

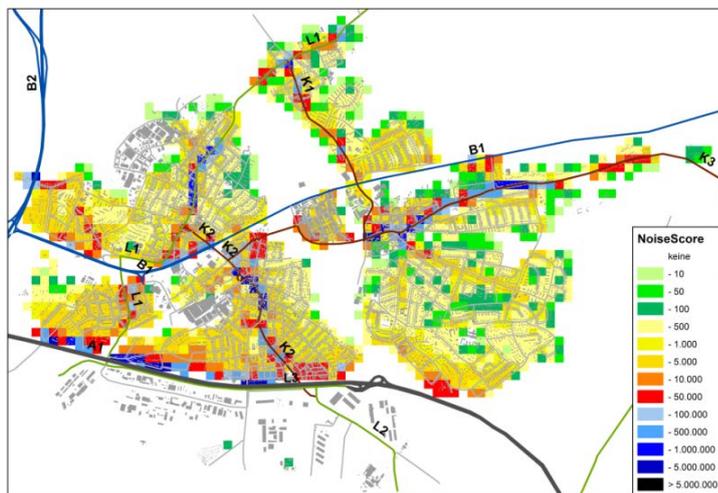
Berechnungsfunktion

$$NS = \sum_i n_i \cdot 10^{0,15 \cdot (L_{DEN,i} \cdot 50 \cdot dl \cdot dL_{source})} \quad \text{mit } L_{DEN,i} \leq 65 \text{ dB(A)}$$

$$NS = \sum_i n_i \cdot 10^{0,30 \cdot (L_{DEN,i} \cdot 57,5 \cdot dl \cdot dL_{source})} \quad \text{mit } L_{DEN,i} > 65 \text{ dB(A)}$$

NS	Lärmbewertungsmaß (Noise Score),
n_i	Zahl der Personen im Gebäude i ,
$L_{DEN,i}$	Lärmindikator L_{DEN} der am stärksten belasteten Fassade einer Wohnung,
dl	Abweichung der Schalldämmung der Fassade einer Wohnung vom Mittelwert der Schalldämmung aller Gebäude,
dL_{source}	Korrektur, die der unterschiedlichen Belästigungswirkung der verschiedenen Lärmarten Rechnung trägt.

Beispielhaftes Ergebnis



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - ermöglicht auch Vergleiche bei sehr niedrigen Schallpegeln 	<ul style="list-style-type: none"> - keine Dokumentation zu den Parametern dI und dL_{Source} - erzeugt sehr hohe Werte (> 1. Mio.), damit schlecht handhabbar - bezieht sich auf den höchsten Pegel einer Wohnung, deren Lage im Gebäude üblicherweise unbekannt ist - benötigt Angaben zur Schalldämmung von Gebäuden, die nicht ohne weiteres vorliegen - nicht für den L_{Night} definiert - bewertet die Höhe des Schallpegels stark gegenüber der Anzahl Belasteter, so dass sich Schwerpunkte durch wenige Betroffene ergeben können - Berechnungsverfahren kann im Rahmen der Information der Öffentlichkeit vertiefte Erläuterungen erfordern

11.2 LärmKennZiffer

Kurzbeschreibung

Die LärmKennZiffer (LKZ) ergibt sich aus der Überschreitung eines Schwellenwertes multipliziert mit der Betroffenenzahl.

Anwendungsbereich

Das Ermittlungsverfahren und der Schwellenwert können je nach Aufgabenstellung unterschiedlich gewählt werden um unterschiedliche Fragestellungen bearbeiten zu können. Das Verfahren eignet sich für kleinräumige Vergleiche nach nationalen Vorschriften ebenso wie für großräumige, bundeslandweite Ermittlungen von Belastungsschwerpunkten nach Umgebungslärmrichtlinie.

Berechnungsfunktion

$$LKZ = \sum_i E_i * (L_{R,i} - GW)$$

E_i Einwohner
 $L_{R,i}$ Immissionspegel
 GW Grenzwert / Zielwert / Schwellenwert

Beispielhaftes Ergebnis



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - für beliebige Rechenverfahren, Beurteilungszeiten und Schwellenwerte anwendbar - Berechnungsmethode lässt sich einfach vermitteln 	<ul style="list-style-type: none"> - Änderung der Belastungshöhe oberhalb des Schwellenwertes wird unabhängig von der Pegelhöhe gleich bewertet

11.3 UCE_{DEN}

Kurzbeschreibung

Der Lärm-Einwohnerpegel (UCE_{DEN}) basiert, anders als bei den anderen Verfahren, nicht auf dem Schallpegel in dB(A) sondern auf der Schallenergie, die mit der Betroffenenanzahl multipliziert wird. Die sich daraus ergebenden Werte werden nach Ermittlung des UCE_{DEN} logarithmiert und mit 10 multipliziert, wie dies bei der Umrechnung von Schallpegeln in dB auch erfolgt.

Anwendungsbereich

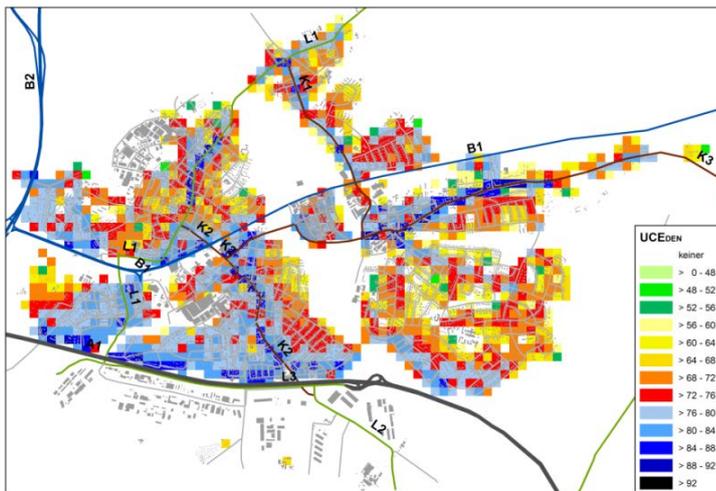
Dieses Verfahren eignet sich besonders zum kleinräumigen Variantenvergleich bei gleichbleibender Anzahl potentiell Belästigter.

Berechnungsfunktion

$$UCE_{DEN} = 10 * \log_{10} \left[\sum_i P_i * 10^{(L_{R,i}/10)} \right]$$

P_i Einwohner der Wohnung i
 L_{R,i} höchster Immissionspegel L_{DEN} an der Wohnung i

Beispielhaftes Ergebnis



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - stellt die hoch lärmbelasteten Bereiche heraus 	<ul style="list-style-type: none"> - nicht für den L_{Night} definiert. - Werte liegen nahe beieinander (und suggerieren einen Lärmpegel) - Wert kann nur für einen gegebenen Bereich berechnet werden und ist nur mit Aufwand aggregierbar - Berechnungsverfahren lässt sich nur schwer vermitteln - bewertet die Höhe des Schallpegels stark gegenüber der Anzahl Belasteter, so dass Schwerpunkte durch wenige Betroffene ausgelöst werden können

11.4 Highly Annoyed

Kurzbeschreibung

Das betrachtete Verfahren zur Ermittlung starker Belästigung basiert auf einer Wirkungskurve, die den Anteil der Bevölkerung abschätzt, der sich „stark gestört“ fühlt. Das Ergebnis dieser Funktion ist der Anteil stark belästigter Personen in Prozent (Prozent „highly annoyed“ (% HA)).

Anwendungsbereich

Die hier genannte Formel bezieht sich nur auf den Straßenverkehr. Für Flug- und Schienenverkehrslärm werden jeweils andere Formeln genannt. Über einen Substitutionspegel lassen sich diese Lärmarten wirkungsgerecht zum Straßenverkehrslärm addieren. So können auch die Gesamtbelästigung ermittelt und Planungsalternativen verglichen werden.

Berechnungsfunktion

$$\%HA = 9,868 * 10^{-4} * (L_{r,TAN} - 42)^3 - 1,436 * 10^{-2} * (L_{r,TAN} - 42)^2 + 0,5118 * (L_{r,TAN} - 42)$$

$L_{r,TAN}$ Beurteilungspegel für Tag-Abend-Nacht, der dem L_{DEN} entspricht

Beispielhaftes Ergebnis



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - stellt die hoch lärmbelastete Bereiche heraus - ermöglicht zusammen mit anderen Größen eine wirkungsgerechte Gesamtlärbewertung 	<ul style="list-style-type: none"> - Wert kann nur für einen gegebenen Bereich berechnet werden - zu Grunde liegendes Berechnungsverfahren lässt sich nur schwer vermitteln

11.5 P-Score

Kurzbeschreibung

Das Bayrisches Lärmbewertungsmaß (P-Score) ergibt sich auf Basis eines Lärmpegels, eines Grenzwertes und der Betroffenenanzahl. Im Unterschied zum ähnlichen LKZ-Verfahren werden beim P-Score die Überschreitungen nicht linear gewichtet. Vielmehr erfolgt mit ansteigender Schwellenüberschreitung eine zunehmende Gewichtung.

Anwendungsbereich

Das Ermittlungsverfahren und der Grenzwert können je nach Aufgabenstellung unterschiedlich gewählt werden um unterschiedliche Fragestellungen bearbeiten zu können. Das Verfahren eignet sich für kleinräumige Vergleiche nach nationalen Vorschriften ebenso wie für großräumige, bundeslandweite Ermittlungen von Belastungsschwerpunkten nach Umgebungslärmrichtlinie.

Berechnungsfunktion

$$P = \sum E_i * (2^{(L_{R,i}/10)} - 2^{(GW/10)})$$

E_i Einwohner
 $L_{R,i}$ Immissionspegel
 GW Grenzwert / Zielwert / Schwellenwert

Beispielhaftes Ergebnis



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - für beliebige Rechenverfahren, Beurteilungszeiten und Schwellenwerte anwendbar - bewertet höhere Schwellenwertüberschreitungen überproportional, aber in einer Größenordnung, bei der wenige Betroffene das Ergebnis bestimmen 	<ul style="list-style-type: none"> - Berechnungsverfahren lässt sich nur schwer vermitteln