

Fertigung: 1
Anlage: 7
Blatt: 1-31 + 8A

Ingenieurbüro für Schall- und Wärmeschutz Wolfgang Rink Dipl.-Ing.

öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schall- und Wärmeschutz
Meßstelle für Geräusch-Emissionen und -Immissionen gem. §26 BImSchG

Postfach 31, 79275 Reute · Telefon (0 76 41) 40 78 · Telefax (0 76 41) 15 58
Schwarzwaldstraße 37, 79276 Reute · e-mail mail@isw-rink.de



Bauakustik
Raumakustik
Immissionsschutz
Thermische Bauphysik

GUTACHTEN

Nr. 2540.3/753 vom 20.09.2001

Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust
- Lärm-Immissionsschutz

Auftraggeber

Bürgermeisteramt Rust
Fischerstraße 51

77977 Rust

INHALTSVERZEICHNIS

1. VORBEMERKUNGEN	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Ausgangsdaten	2
1.3 Quellenverzeichnis	3
2. AUSGANGSSITUATION	4
2.1 Örtliche und planungsrechtliche Gegebenheiten	4
2.2 Verkehrstechnische Situation	5
3. SCHALLTECHNISCHE BEURTEILUNGSKRITERIEN	6
3.1 Schalltechnische Größen	6
3.2 Schalltechnische Anforderungen	7
3.2.1 Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1	7
3.2.2 TA Lärm	9
3.2.3 Verkehrslärmschutzverordnung	11
3.2.4 DIN 4109	12
3.3 Vorgehensweise	13
3.3.1 Begrenzung der Schallemission im Plangebiet zum Schutz der Nachbarschaft außerhalb des Plangebiets	13
3.3.2 Schutz der Personalwohnungen vor Lärmeinwirkung aus dem Indoor-Fahrgeschäft	14
3.3.3 Schutz der Personalwohnungen vor Straßenverkehrslärmeinwirkung	14
4. ERMITTLUNG IMMISSIONSWIRKSAMER FLÄCHENBEZOGENER SCHALLEISTUNGSPEGEL	15
4.1 Schallemission	15
4.2 Schallausbreitung	15
4.3 Schallimmissionen	17
4.4 Empfehlung	19
5. STRASSENVERKEHRSLÄRM	20
5.1 Schallemission	20
5.1.1 Rechenverfahren	20
5.1.2 Randbedingungen	21
5.1.3 Emissionspegel	21
5.2 Schallausbreitung	22
5.2.1 Rechenverfahren	22
5.2.2 Randbedingungen	22
5.3 Schallimmissionen	23
5.4 Schallschutzmaßnahmen	23
5.5 Empfehlung	25

6. REALISIERBARKEIT VON MASSNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR LÄRMEINWIRKUNG DURCH DAS INDOOR-FAHRGESCHÄFT	26
6.1 Raumschallpegel	26
6.2 Geplantes bauliches und technisches Konzept	27
6.3 Schalltechnische Beurteilung der das Indoor-Fahrgeschäft umgebenden Bauteile	28
7. ZUSAMMENFASSUNG	30

Anlagen: 8

1. VORBEMERKUNGEN

1.1. Aufgabenstellung

Die Gemeinde Rust plant die Aufstellung des Bebauungsplans "Mühlefeld - westlicher Teil", um die planungsrechtlichen Voraussetzungen für den Bau von Personalwohnungen und eines Indoor-Fahrgeschäfts auf den Grundstücken Flst.-Nr. 2966 und 2974 der Gemarkung Rust zu schaffen.

Es muß sichergestellt werden, daß einerseits der zukünftige bestimmungsgemäße Betrieb des Indoor-Fahrgeschäfts sowie die Nutzung der den Personalwohnungen zugeordneten Pkw-Stellplätze keine unzulässige Lärmeinwirkung auf schutzbedürftige Einwirkungsorte innerhalb und außerhalb des Plangebiets zur Folge haben werden und andererseits auch die Personalwohnungen vor einer unzulässigen Lärmeinwirkung durch den Kraftfahrzeugverkehr auf der das Plangebiet tangierenden Hausener Straße geschützt werden.

Im vorliegenden schalltechnischen Gutachten sind daher maximal zulässige Emissionspegel für das in Teilflächen gegliederte Plangebiet zahlenwertmäßig derart festzulegen, daß deren zukünftige bestimmungsgemäße Nutzung keine Überschreitung der zur Beurteilung der Schutzbedürftigkeit vor Gewerbelärmeinwirkungen maßgebenden "Soll-Werte" sowohl in schutzbedürftigen Räumen der angrenzenden Personalwohnungen als auch vor bestehenden Gebäuden in der Nachbarschaft des Plangebiets verursachen kann. Es ist nachzuweisen, daß die Einhaltung des für die Teilflächen des Indoor-Fahrgeschäfts maßgeblichen Emissionspegels durch die Wahl der schalltechnisch geeigneter Bauelemente für die Gebäudeaußenbauteile generell möglich ist.

Die vor den Fassaden der geplanten Personalwohnungen durch den Kraftfahrzeugverkehr auf der unmittelbar angrenzenden Hausener Straße zu erwartenden Immissionspegel sind rechnerisch zu prognostizieren und mit den für Verkehrslärmeinwirkung im Zuge der Bauleitplanung maßgebenden "Soll-Werten" zu vergleichen. Da aufgrund der örtlichen und baulichen Gegebenheiten "aktive" Schallschutzmaßnahmen nicht realisierbar sind, hat als Grundlage für eine Dimensionierung "passiver" Schallschutzmaßnahmen eine Ermittlung der von einer Überschreitung dieser "Soll-Werte" betroffenen Fassadenteilflächen und deren Zuordnung zum jeweiligen "Lärmpegelbereich" zu erfolgen.

1.2 Ausgangsdaten

Von dem mit der Ausarbeitung des Bebauungsplans beauftragten Büro Karlheinz Allgayer, Freier Architekt und Stadtplaner, Freiburg, wurde eine Ausfertigung des Bebauungsplans "Mühlefeld - westlicher Teil", zeichnerischer Teil und Ansichten, in der Fassung vom 17.08.2001 (Vorentwurf) zur Verfügung gestellt.

Informationen über die geplante Realisierung der Personalwohnungen wurden einem vom Architekturbüro Dipl.-Ing. Mack, Breisach, überlassenen Plansatz im Maßstab 1 : 100 (Planstand: 07.2001) entnommen.

Daten über die Frequentierung der Hausener Straße im hier interessierenden Streckenabschnitt wurden von der Beller Consult GmbH, Freiburg, auf telefonische Anfrage mitgeteilt.

Ergänzende Informationen über die im vorliegenden Zusammenhang interessierenden örtlichen und baulichen Gegebenheiten wurden dem vom Büro für Städtebau und Dorfentwicklung, Dipl.-Ingenieure Brenner · Dietrich · Schöttle, Freie Architekten, Freiburg, ausgearbeiteten Bebauungsplan "Mühlefeld" entnommen bzw. durch Augenschein bei einem Ortstermin in Rust erhoben.

Orientierende Schallpegelmessungen zur Ermittlung der schalltechnischen Situation innerhalb eines Indoor-Fahrgeschäfts der im vorliegenden Zusammenhang interessierenden Art sind am 14.09.2001 im Fahrgeschäft "Piraten im Batavia" im Europa-Park Rust durchgeführt worden.

1.3 Quellenverzeichnis

- [1] BauNVO (01.90/04.93)
"Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke
(Baunutzungsverordnung)"
- [2] Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1 (05.87)
"Schallschutz im Städtebau; Berechnungsverfahren;
Schalltechnische Orientierungswerte für die städtebauliche Planung"
- [3] BImSchG (05.90/06.94)
"Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch
Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
(Bundes-Immissionsschutzgesetz)"
- [4] TA Lärm (08.98)
"Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum
Bundes-Immissionsschutzgesetz
(Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm)"
- [5] Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV (06.90)
"Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-
Immissionsschutzgesetzes"
- [6] Lärmfibel (11.94)
"Städtebauliche Lärmfibel, Hinweise für die Bauleitplanung"
Hrsg.: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

-
- [7] BImSchG (05.90/06.94)
"Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz)"
 - [8] Bekanntmachung des Baden-Württembergischen Wirtschaftsministeriums über die Einführung technischer Baubestimmungen; hier: Norm DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau - Ausgabe November 1989 vom 02.02.93 - AZ: VI-2601.1/6
 - [9] DIN 4109 (11.89/08.92)
"Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise"
 - [10] DIN 18 005 Teil 1 (05.87)
"Schallschutz im Städtebau; Berechnungsverfahren"
 - [11] "Geräuschimmissionsschutz in der Bauleitplanung; Konzepte für die praxisorientierte Umsetzung im Vollzug"
- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hg.);
ACCON-Bericht 1198-1740/12
 - [12] DIN ISO 9613-2 (10.99)
"Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien;
Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2: 1996)"
 - [13] RLS-90 (04.90/04.91/03.92)
"Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen"
 - [14] BauBG (08.97)
"Baugesetzbuch"
 - [15] Beiblatt 1 zu DIN 4109 (11.89/08.92)
"Schallschutz im Hochbau; Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren"

2. AUSGANGSSITUATION

2.1 Örtliche und planungsrechtliche Gegebenheiten

Der räumliche Geltungsbereich des Bebauungsplans umfaßt Grundstück Flst.-Nr. 2974, eine Teilfläche von Grundstück Flst.-Nr. 2865 sowie Grundstück Flst.-Nr. 2965.

In Anlage 1 ist ein Auszug aus dem zeichnerischen Teil des Bebauungsplans (Entwurfssfassung vom 17.08.2001) wiedergegeben.

Das gesamte Plangebiet soll als "sonstiges Sondergebiet" im Sinne von § 11 BauNVO [1] dargestellt werden. Das Plangebiet, welches in erster Näherung als eben und höhengleich bezeichnet werden kann, wird in Teilflächen gegliedert, deren Nutzung u. a. mit "nur Fahrgeschäft", "nur Personalwohnungen" bzw. "Stellplätze" eindeutig definiert wird.

Die dem Plangebiet nächstbenachbarte schutzbedürftige Bebauung ist ebenfalls aus Anlage 1 ersichtlich. Gemäß Darstellung im Bebauungsplan "Mühlefeld" befinden sich die an den östlichen Fahrbahnrand der Hausener Straße angrenzenden Grundstücke Flst.-Nr. 5967, 5984 und 5992 innerhalb von "Mischgebieten", alle übrigen - vorwiegend mit Wohnhäusern bebauten - Grundstücke innerhalb "allgemeiner Wohngebiete". Auch die in nördlicher Richtung an das Plangebiet angrenzenden, mit Wohnhäusern bebauten Grundstücke sind in einem "allgemeinen Wohngebiet" gelegen, während die vom vorliegenden Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" nicht erfaßte Teilfläche von Grundstück Flst.-Nr. 2966 im Bebauungsplan "Mühlefeld" als "Mischgebiet" dargestellt ist.

In westlicher Richtung wird das Plangebiet durch den Junkerbach, den Mühlbach bzw. die Elz begrenzt; jenseits dieser Gewässer befindet sich der "Europa-Park".

2.2 Verkehrstechnische Situation

Von der Beller Consult GmbH ist für die "durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke" (DTV) auf der L 104 im hier interessierenden Streckenabschnitt der Hausener Straße ein für das Jahr 2010 ermittelter Prognosewert von $DTV_{2010} = 5\,900$ Kfz/24 h mitgeteilt worden. Da sich dieser Streckenabschnitt innerhalb der "geschlossenen

Ortschaft" befindet, beträgt die zulässige Fahrzeughöchstgeschwindigkeit $v_{zul} = 50 \text{ km/h}$.

3. SCHALLTECHNISCHE BEURTEILUNGSKRITERIEN

3.1 Schalltechnische Größen

Als wichtigste Größe für die rechnerische Prognose, die meßtechnische Erfassung und/oder die Beurteilung einer Lärmeinwirkung auf den Menschen dient der A-bewertete Schalldruckpegel - meist vereinfachend als "Schallpegel" (L) bezeichnet.

Um auch zeitlich schwankende Schallvorgänge mit einer Einzahlangabe hinreichend genau kennzeichnen zu können, wurde der "Mittelungspegel" (L_m bzw. L_{Aeq}) definiert, der durch Integration des momentanen Schalldruckpegels über einen bestimmten Zeitraum gewonnen wird.

Der "Schalleistungspegel" (L_W) gibt die gesamte von einem Schallemittelen ausgehende, der "flächenbezogene Schalleistungspegel" (L''_W) die je Quadratmeter Fläche abgestrahlte Schalleistung an.

Die durch den Krafffahrzeugverkehr auf öffentlichen Straßen verursachte Schallemission wird durch den "Emissionspegel" ($L_{m,E}$) gekennzeichnet. Diese Größe beschreibt den Mittelungspegel in 25 m Abstand von der jeweiligen Richtungsfahrbahn bei freier Schallausbreitung.

Die in verschiedenen Regelwerken definierten Orientierungs- und Immissionsrichtwerte beziehen sich meist auf einen "Beurteilungspegel" (L_r) am Ort der Lärmeinwirkung (Immissionspegel).

Der Beurteilungspegel wird in aller Regel rechnerisch aus dem Mittelungspegel bestimmt, wobei zusätzlich eine eventuell erhöhte Störwirkung von Geräuschen (wegen ihres besonderen Charakters oder wegen des Zeitpunkts ihrer Einwirkung) durch entsprechend definierte Zuschläge berücksichtigt wird.

Die Beurteilungspegel werden im Regelfall getrennt für die Zeiträume "tags" (6.00 bis 22.00 Uhr) und "nachts" (22.00 bis 6.00 Uhr) ermittelt.

3.2 Schalltechnische Anforderungen

3.2.1 Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1

In Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1 [2] werden - abhängig von der Art der baulichen Nutzung am Einwirkungsort - Orientierungswerte angegeben, deren Einhaltung oder Unterschreitung im Rahmen der Bauleitplanung als "wünschenswert" bezeichnet wird, "... um die mit der Eigenart des betreffenden Baugebietes oder der betreffenden Baufläche verbundene Erwartung auf angemessenen Schutz vor Lärmbelastungen zu erfüllen".

Weiter wird im o. g. Beiblatt ausgeführt, daß bei zwei angegebenen Nachtwerten der niedrigere für Industrie-, Gewerbe- und Freizeitlärm sowie für Geräusche von vergleichbaren öffentlichen Betrieben gelten soll.

Schalltechnische Orientierungswerte für die städtebauliche Planung gem. Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1 [2]		
Gebietskategorie	Orientierungswerte in dB(A)	
	tags	nachts
a) reine Wohngebiete, Wochenendhausgebiete, Ferienhausgebiete	50	40 bzw. 35
b) allgemeine Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete, Campingplatzgebiete	55	45 bzw. 40
c) Friedhöfe, Kleingartenanlagen und Parkanlagen	55	55
d) besondere Wohngebiete	60	45 bzw. 40
e) Dorfgebiete, Mischgebiete	60	50 bzw. 45
f) Kerngebiete, Gewerbegebiete	65	55 bzw. 50

Die in Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1 [2] genannten Orientierungswerte

"... haben vorrangig Bedeutung für die Planung von Neubaugebieten mit schutzbedürftigen Nutzungen und für die Neuplanung von Flächen, von denen Schallemissionen ausgehen und auf vorhandene oder geplante schutzbedürftige Nutzungen einwirken können ..."

Zur Anwendung der Orientierungswerte wird im o. g. Regelwerk [2] weiter ausgeführt:

"Der Belang des Schallschutzes ist bei der in der städtebaulichen Planung erforderlichen Abwägung der Belange als ein wichtiger Planungsgrundsatz neben anderen Belangen - z. B. dem Gesichtspunkt der Erhaltung überkommener Stadtstrukturen - zu verstehen. Die Abwägung kann in bestimmten Fällen bei Überwiegen anderer Belange - insbesondere in bebauten Gebieten - zu einer entsprechenden Zurückstellung des Schallschutzes führen."

3.2.2 TA Lärm

Gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG [3] sind "Anlagen" im Sinne dieses Gesetzes derart zu errichten und zu betreiben, daß keine Immissionen auftreten, die "... nach Art, Ausmaß und Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft ..." herbeizuführen. Als Maß für die im BImSchG [3] als "schädliche Umwelteinwirkungen" beschriebenen Geräusche sind die in der TA Lärm [4] definierten Immissionsrichtwerte heranzuziehen.

Immissionsrichtwerte "außen"

Die in der Nachbarschaft von lärmemittierenden Anlagen einzuhaltenden Immissionsrichtwerte sind abhängig von der Gebietskategorie am betrachteten Lärmeinwirkungsort. In der TA Lärm, Abschnitt 6.1 [4] werden folgende "Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden" festgelegt:

Immissionsrichtwerte gem. TA Lärm [4] Abschnitt 6.1		
Gebietskategorie	Immissionsrichtwerte in dB(A)	
	tags	nachts
a) Industriegebiete	70	70
b) Gewerbegebiete	65	50
c) Kern-, Dorf- und Mischgebiete	60	45
d) allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete	55	40
e) reine Wohngebiete	50	35
f) Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35

Diese Immissionsrichtwerte sind mit den in 0,5 m Abstand "... außerhalb vor der Mitte des geöffneten Fensters des vom Geräusch am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raumes ..." (z. B. Büro-, Wohn- und Schlafräume) benachbarter Gebäude ermittelten Beurteilungspegeln zu vergleichen.

Zur Ermittlung der Beurteilungspegel ist gemäß TA Lärm [4] das nachfolgend verkürzt dargestellte Verfahren heranzuziehen:

- Der Beurteilungspegel "tags" ist auf einen Zeitraum von 16 Stunden während der Tageszeit (6.00 bis 22.00 Uhr) zu beziehen. Während bestimmter Teilzeiten mit erhöhter Empfindlichkeit (an Werktagen von 6.00 bis 7.00 Uhr und von 20.00 bis 22.00 Uhr sowie an Sonn- und Feiertagen von 6.00 bis 9.00 Uhr, von 13.00 bis 15.00 Uhr und von 20.00 bis 22.00 Uhr) ist ein Zuschlag von 6 dB(A) zum Mittelungspegel in Ansatz zu bringen; ausgenommen hiervon sind Einwirkungsorte in Industrie-, Gewerbe-, Kern-, Dorf- und Mischgebieten.
- Als Bezugszeitraum für den Beurteilungspegel "nachts" ist "... die volle Nachtstunde (z. B. 1.00 bis 2.00 Uhr) mit dem höchsten Beurteilungspegel ..." zu berücksichtigen.

Immissionsrichtwerte "innen"

In Abschnitt 6.2 der TA Lärm [4] wird ausgeführt:

"Bei Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung betragen die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel für betriebsfremde schutzbedürftige Räume nach DIN 4109, Ausgabe November 1989, unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der in Nummer 6.1 unter Buchstaben a bis f genannten Gebiete

tags	35 dB(A)
nachts	24 dB(A)

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten."

3.2.3 Verkehrslärmschutzverordnung

In der Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV [5] werden Immissionsgrenzwerte festgelegt, welche beim Bau oder der wesentlichen Änderung von Straßen und Schienenwegen anzuwenden sind.

In der vom Innenministerium Baden-Württemberg herausgegebenen "städtebaulichen Lärmfibel" [6] wird ausgeführt, daß bei Überschreitung der in Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1 [2] genannten Orientierungswerte auch im Rahmen der Bauleitplanung zumindest die Einhaltung der in der Verkehrslärmschutzverordnung [5] definierten Immissionsgrenzwerte anzustreben ist, da diese die Schwelle zur "schädlichen Umwelteinwirkung" gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz [7] kennzeichnen; wörtlich heißt es:

"In diesem Bereich zwischen dem in der Bauleitplanung nach dem Verursacherprinzip möglichst einzuhaltenden schalltechnischen Orientierungswert nach DIN 18 005 und dem entsprechenden Grenzwert nach der 16. BImSchV besteht für die Gemeinden bei plausibler Begründung ein Planungsspielraum, um in den vielen Fällen, bei denen in Ermangelung anderer geeigneter Flächen geplante Wohnbebauung an bestehende Verkehrswege heranrückt, die erforderlichen Darstellungen und Festsetzungen treffen zu können.

Auch eine Überschreitung der Grenzwerte ist grundsätzlich denkbar, da der sachliche Geltungsbereich der 16. BImSchV den Fall einer an eine bestehende Straße heranrückenden Bebauung nicht umfaßt und die städtebauliche Planung erheblichen Spielraum zur Verfügung hat. Bei der Neuplanung eines Wohngebietes dürfte allerdings nur eine besondere Begründung die einer sachgerechten Abwägung standhaltenden Argumente für eine Lärmexposition jenseits der Grenze "schädlicher Umwelteinwirkung" liefern können."

In der Verkehrslärmschutzverordnung [5] werden für "reine und allgemeine Wohngebiete" folgende Immissionsgrenzwerte angegeben:

"tags"	59 dB(A)
"nachts"	49 dB(A)

Für "Mischgebiete" gelten um jeweils 5 dB(A) höhere Werte.

3.2.4 DIN 4109

In der Bekanntmachung des baden-württembergischen Wirtschaftsministeriums vom 02.02.93 über die Einführung der Norm DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau [8] wird im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens ein entsprechender Nachweis über die ausreichende Luftschalldämmung der zum Einsatz vorgesehenen Außenbauteile gefordert, wenn

"a) der Bebauungsplan festsetzt, daß Vorkehrungen zum Schutz vor Außenlärm am Gebäude zu treffen sind (§ 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB)

oder

b) der sich aus amtlichen Lärmkarten oder Lärminderungsplänen nach § 47a des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ergebende 'maßgebliche Außenlärmpegel' (Abschnitt 5.5 der Norm DIN 4109) auch nach den vorgesehenen Maßnahmen zur Lärminderung ... gleich oder höher ist als ...

- 61 dB(A) bei Aufenthaltsräumen in Wohnungen, Übernachtungsräumen, Unterrichtsräumen und ähnlichen Räumen,

- 66 dB(A) bei Büroräumen und ähnlichen Räumen."

Um Menschen während ihres Aufenthalts in Gebäuden vor der Einwirkung von Außenlärm zu schützen, werden in der DIN 4109 [9] Anforderungen an die Schalldämmung von Außenbauteilen in Abhängigkeit u. a. vom "maßgeblichen Außenlärmpegel" vor der jeweiligen Fassade und von der Art der Raumnutzung festgelegt.

Bei der Ermittlung von Straßenverkehrslärmeinwirkungen ist der Beurteilungspegel "tags" nach der DIN 18 005 Teil 1 [10] zu bestimmen. Für eine detaillierte rechnerische Prognose wird in dieser Norm auf die "Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen" verwiesen, nach deren aktueller Fassung die Berechnungen im vorliegenden Gutachten durchgeführt werden.

3.3 Vorgehensweise

3.3.1 Begrenzung der Schallemission im Plangebiet zum Schutz der Nachbarschaft außerhalb des Plangebiets

Um eine aus der baulichen und betrieblichen Nutzung des Plangebiets (insbesondere der für das Indoor-Fahrgeschäft vorgesehenen Teillächen) resultierende unzulässige Lärmeinwirkung auf die schutzbedürftige Nachbarschaft auszuschließen, müssen dort die in den einschlägigen Regelwerken jeweils in Abhängigkeit von der Art der baulichen Nutzung am Einwirkungsort abhängigen, die Schallimmission begrenzenden "Soll-Werte" eingehalten werden. Diese können im Bebauungsplan festgesetzt werden - allerdings nur für Einwirkungsorte innerhalb von dessen räumlichem Geltungsbereich. Da in einem Bebauungsplan keine Festsetzungen getroffen werden können, welche an Orten gelten sollen, die nicht innerhalb des Plangebiets liegen, hat das Bundesverwaltungsgericht¹ entschieden, daß Bebauungspläne, welche "Zaunwerte" festsetzen, rechtsunwirksam sind. Es ist daher erforderlich, (auch) Festsetzungen zu treffen, welche die Schallemission begrenzen.

Für die potentiell lärmemittierenden Teilflächen des Plangebiets müssen daher im folgenden maximal zulässige Emissionspegel in Form von Werten für den "immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel" (IFSP) für die Tages- und die Nachtzeit ermittelt werden. Kriterium für die Festsetzung dieser Werte ist die Einhaltung der in Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1 [2] für Gewerbelärm angegebenen

¹ Bundesverwaltungsgericht, AZ: 4 NB 3.97 vom 27.01.98

Orientierungswerte bzw. der bei den hier vorliegenden Arten der baulichen Nutzung für dieselbe Gebietskategorie in der TA Lärm [4] zahlenwertmäßig identisch angegebenen Immissionsrichtwerte unter Berücksichtigung einer "Lärmvorbelastung" im Sinne der TA Lärm. Da diese - mutmaßlich durch den auf den Zeitraum "tags" begrenzten Betrieb des nahegelegenen Europa-Parks bestimmte - Lärmvorbelastung im Detail nicht bekannt ist, wird vorsorglich von der schalltechnisch ungünstigen Situation ausgegangen, daß diese Lärmvorbelastung identisch sei mit dem jeweils maßgebenden Immissionsrichtwert am Einwirkungsort. In Anlehnung an die Ausführungen in Abschnitt 3.2.1 der TA Lärm ist deshalb zu fordern, daß die aus der zukünftigen bestimmungsgemäßen baulichen und betrieblichen Nutzung der lärmemittierenden Teilflächen im Plangebiet resultierende Zusatzbelastung die Immissionsrichtwerte an den jeweils maßgebenden Immissionsorten in der Nachbarschaft des Plangebiets im Zeitraum "tags" um mindestens 6 dB(A) unterschreitet.

3.3.2 Schutz der Personalwohnungen vor Lärmeinwirkung aus dem Indoor-Fahrgeschäft

Entsprechend den Ausführungen im vorigen Abschnitt ist ein Schutz der auf der hierfür vorgesehenen, innerhalb des Plangebiets gelegenen Teilfläche zu errichtenden Personalwohnungen vor einer unzulässigen Lärmeinwirkung aus dem Indoor-Fahrgeschäft durch Festsetzung in der TA Lärm angegebenen Immissionsrichtwerte "innen" sicherzustellen.

3.3.3 Schutz der Personalwohnungen vor Straßenverkehrslärmeinwirkung

Die Personalwohnungen sind vor einer unzulässigen Straßenverkehrslärmeinwirkung durch "passive" Maßnahmen, d. h. durch Maßnahmen am schutzbedürftigen Gebäude selbst zu schützen. Eine Dimensionierung dieser Maßnahmen hat auf der Grundlage der jeweiligen Zuordnung der Außenfläche des schutzbedürftigen Raums

zu den im Rahmen des vorliegenden Gutachtens zu ermittelnden "Lärmpegelbereichen" zu erfolgen.

4. ERMITTLUNG IMMISSIONSWIRKSAMER FLÄCHENBEZOGENER SCHALLEISTUNGSPEGEL

4.1 Schallemission

Da in einem "nicht-vorhabenbezogenen" Bebauungsplan die Nutzung einzelner Teilflächen nicht definitiv festgeschrieben werden kann, muß bei der Ermittlung und Beurteilung der zukünftigen schalltechnischen Situation auf die Berücksichtigung betriebsspezifischer Daten verzichtet werden. In diesem Fall soll gemäß den Ausführungen in Abschnitt 4.5 der DIN 18 005 Teil 1 [10] bei Gewerbegebieten "... zur Feststellung der Notwendigkeit von Schallschutzmaßnahmen von einem flächenbezogenen A-Schalleistungspegel ... von ... $L''_w = 60 \text{ dB}$..." ausgegangen werden.

Im vorliegenden Fall wird allen potentiell lärmemittierenden, im Bebauungsplan als "sonstiges Sondergebiet" dargestellten Teilflächen zunächst der o. g. flächenbezogene Ausgangs-Schalleistungspegel von $L''_w = 60 \text{ dB(A)}$ zugeordnet.

4.2 Schallausbreitung

Der durch einen lärmemittierenden Vorgang an einem bestimmten Einwirkungsort hervorgerufene Immissionspegel ist abhängig vom jeweiligen Emissionspegel und den Schallausbreitungsbedingungen auf der Ausbreitungsstrecke zwischen den Schallquellen und den betrachteten Einwirkungsorten. Einflußgrößen auf die Schallausbreitungsbedingungen sind:

- Länge des Schallausbreitungsweges

-
- Luft- und Bodenabsorption sowie Witterung
 - Schallabschirmung durch Geländemodellierung, Bebauung oder spezielle Abschirmmaßnahmen (z.B. Lärmschutzwand, Lärmschutzwall)
 - Schallreflexionen an schallharten Flächen in der Umgebung des Schallausbreitungsweges (Gebäudefassaden u. ä.)

Zur Ermittlung der den innerhalb des Bebauungsplangebiets vorgesehenen lärmemittierenden Teilflächen zuzuordnenden immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel (IFSP) werden in Anlehnung an die Ausführungen in der vom Ministerium für Umwelt und Verkehr herausgegebenen Untersuchung "Geräusch-Immissionsschutz in der Bauleitplanung" [11] - auf Veranlassung des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Freiburg - folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Die emittierenden Teilflächen werden jeweils als Flächenschallquelle mit der Höhe $h = 0$ m über Geländeniveau angesetzt.
- Bei der Berechnung der Schallausbreitung wird nur die geometrische Ausbreitungsdämpfung A_{div} gemäß Abschnitt 7.1 der DIN ISO 9613-2 [12] berücksichtigt.
- Die Immissionsorthöhe wird mit $h = 3,0$ m über dem jeweiligen Geländeniveau festgelegt.

Zur Berechnung der Schallausbreitung wird das vom Ingenieurbüro Braunstein + Berndt GmbH, Leutenbach, entwickelte Rechenprogramm SOUNDPLAN in der aktuellen Version 5.05 herangezogen.

Die Flächenschallquellen werden im Rahmen dieses Programms in Teilflächen zerlegt, deren Abmessungen klein gegenüber ihrem Abstand zum jeweils nächstgelegenen interessierenden Immissionsort sind. Anhand der entsprechend den in Abschnitt 1.2 genannten Plänen in den Rechner eingegebenen Koordinaten wird dort ein Geländemodell simuliert, das mit einem von dem zu untersuchenden Immissionsort ausgehenden Suchstrahl abgetastet wird. Im jeweiligen Geländeschnitt werden die Schallquellen erfaßt und der entsprechend o. g. Rechenverfahren durch Direktschallausbreitung verursachte Immissionsanteil am Einwirkungsort bestimmt.

Durch Integration der Immissionsanteile über den gesamten interessierenden Winkelbereich ergibt sich jeweils der am Einwirkungsort verursachte Immissionspegel.

4.3 Schallimmissionen

Die in Anlage 2 mit "Fahrgeschäft" bzw. "Verkehrsfläche" gekennzeichneten Teilflächen des Plangebiets wurden zunächst - wie oben erwähnt - mit einem flächenbezogenen Ausgangs-Schalleistungspegel von $L''_w = 60 \text{ dB(A)}$ belegt. Bei den ebenfalls in Anlage 2 eingetragenen Immissionsorten wurde der unter dieser Voraussetzung jeweils zu erwartenden Immissionspegel rechnerisch bestimmt und dem jeweils korrespondierenden Orientierungswert gegenübergestellt; erwartungsgemäß wird dieser teilweise deutlich überschritten.

Mit dem Ziel, den jeweils maßgebenden Immissionsrichtwert "tags" an allen schutzbedürftigen Lärmeinwirkungsorten in der Nachbarschaft des Plangebiets um mindestens 6 dB(A) zu unterschreiten bzw. den Immissionsrichtwert "nachts" einzuhalten, wurden auf der Grundlage dieser Rechenergebnisse, auf deren Darstellung hier verzichtet wird, folgende Werte für den immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel (IFSP) für die einzelnen Teilflächen angesetzt:

Teilfläche	IFSP in dB(A)	
	"tags"	"nachts"
Fläche Fahrgeschäft	52	38
Verkehrsfläche A	50	44
Verkehrsfläche B	57	51
Verkehrsfläche C	50	42
Verkehrsfläche D	59	50

Anmerkung:

Da einerseits das Indoor-Fahrgeschäft als Teil des Europa-Parks nur im Zeitraum "tags" betrieben wird, andererseits aber eine Festsetzung von Betriebszeiten im Bebauungsplan nicht zulässig ist, wurde für die betreffende Teilfläche lediglich ein extrem niedriger Wert für den IFSP "nachts" angesetzt.

Im Lageplan in Anlage 3 sind die den einzelnen Flächen zuzuordnenden Werte für den immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel "tags" eingetragen.

In Anlage 4 werden die unter Berücksichtigung der hier genannten Werte für den IFSP "tags" an den ausgewählten Immissionsorten ermittelten Immissionspegel rechnerisch nachgewiesen. In Anlage 5 erfolgt dieser Nachweis für die Situation "nachts", wobei hier auf eine zahlenwertmäßige Berücksichtigung der dem Fahrgeschäft zugeordneten Teilfläche verzichtet wird. Die nachfolgend der besseren Übersicht halber aufgelisteten Rechenergebnisse zeigen, daß unter der Voraussetzung einer Begrenzung der Schallemission auf die in der obigen Tabelle angegebenen Werte für den immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel (IFSP) bei allen dem Plangebiet nahegelegenen schutzbedürftigen Gebäuden die Immissionsrichtwerte bzw. Orientierungswerte "tags" um mindestens 6 dB(A) unterschritten, "nachts" mindestens eingehalten werden.

Immissionsort (Flst.-Nr.)	Immissionspegel "tags" / "nachts" in dB(A)	"Soll-Wert" "tags" / "nachts" in dB(A)
2977/2	45,7 / 34,9	49 / 40
2976/1	48,9 / 39,4	49 / 40
5955	48,5 / 39,3	49 / 40
5961	48,8 / 39,6	49 / 40
5963	48,4 / 39,0	49 / 40
2966	49,0 / 39,3	54 / 45
5984	48,2 / 39,4	54 / 45
5952	45,8 / 36,4	49 / 40

4.4 Empfehlung

Die in Abschnitt 4.3 in der Tabelle auf Seite 18 angegebenen immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel (IFSP) sind im Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" festzusetzen.

Die Einhaltung (oder Unterschreitung) dieser Werte ist bei der Antragstellung auf Baugenehmigung oder Nutzungsänderung nachzuweisen. Bei diesem Nachweis sind aufgrund betriebsspezifischer Randbedingungen ggf. erforderliche Zuschläge (z. B. Impulshaltigkeit, Tonhaltigkeit usw.) entsprechend den Festlegungen in der TA Lärm [4] zu berücksichtigen.

Anmerkung:

Falls die Schallausbreitung z. B. durch die abschirmende Wirkung von zwischen den Schallquellen und den betrachteten Einwirkungsorten zu berücksichtigenden Gebäuden (z. B. Personalwohnungen zwischen Fahrgeschäft und Einwirkungsorten jenseits der Hausener Straße) beeinflusst wird, können die tatsächlich emittierten flächenbezogenen Schalleistungspegel L''_w den jeweiligen immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel IFSP zahlenwertmäßig übersteigen.

Des weiteren kann der von lärmarmen Anlagen innerhalb einer Teilfläche nicht in Anspruch genommene Teil des zugehörigen Lärmkontingents erforderlichenfalls auf lärmintensive Anlagen innerhalb einer anderen Teilfläche übertragen werden.

5. STRASSENVERKEHRSLÄRM

5.1 Schallemission

5.1.1 Rechenverfahren

Der durch den Kraftfahrzeugverkehr auf einer öffentlichen Straße in 25 m Entfernung von der Mitte des nächstgelegenen Fahrstreifens bei freier Schallausbreitung in 4,0 m Höhe über Straßenniveau verursachte Mittelungspegel $L_m^{(25)}$ wird gemäß den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-90 [13] für den (idealisierten) Fall einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von $v = 100$ km/h und eines Fahrbahnbelags aus nicht geriffeltem Gußasphalt in Abhängigkeit von der maßgebenden stündlichen Verkehrsstärke (M) auf der jeweiligen Richtungsfahrbahn und dem Lkw-Anteil (p) rechnerisch ermittelt. Abweichende Randbedingungen bezüglich Fahrbahnoberfläche (D_{Stro}) und zulässiger Höchstgeschwindigkeiten (D_v) werden, ebenso wie die erhöhte Schallemission an Steigungen von mehr als 5 % (D_{Stg}), durch Korrekturwerte berücksichtigt.

Aus dem Mittelungspegel $L_m^{(25)}$ und diesen Korrekturwerten wird der die Schallemission der betreffenden Richtungsfahrbahn kennzeichnende Emissionspegel $L_{m,E}$ gebildet.

5.1.2 Randbedingungen

Bei der Ermittlung der Emissionspegel werden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Gleichverteilung der Verkehrsmenge auf beide Richtungsfahrbahnen
- Aufteilung der Verkehrsmengen auf die Zeiträume "tags" und "nachts" sowie Lkw-Anteile entsprechend den Angaben in Tabelle 3 der RLS-90 für die Straßengattung "Landesstraße"
- Fahrbahnlängsneigung $g \leq 5 \%$ ($D_{Stg} = 0 \text{ dB(A)}$)
- Fahrbahnbelag aus nichtgeriffeltem Gußasphalt, Asphaltbeton oder Splitt-Mastix-Asphalt gemäß Tabelle 4, Zeile 1, der RLS-90 ($D_{Stro} = 0 \text{ dB(A)}$)

5.1.3 Emissionspegel

Mit den genannten Ausgangsdaten wurden unter Anwendung der in den RLS-90 [13] angegebenen Gleichungen folgende Werte für die maßgebende stündliche Verkehrsstärke M , den Lkw-Anteil p , den Korrekturwert für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten D_v sowie für den durch den Straßenverkehr auf der L 104 im hier interessierenden Streckenabschnitt verursachten Emissionspegel $L_{m,E}$ in den Beurteilungszeiträumen "tags" (6.00 bis 22.00 Uhr) und "nachts" (22.00 bis 6.00 Uhr) ermittelt:

Straße	M in Kfz/h		p in %		v _{zul} in km/h		D _v in dB(A)		L _{m,E} in dB(A)	
	t	n	t	n	Pkw	Lkw	t	n	t	n
L 104	354	47	20	10	50	50	-3,5	-4,1	63,5	52,5

Der einer Richtungsfahrbahn zuzuordnende Emissionspegel ist jeweils um 3 dB(A) niedriger als der o. g. Wert für die Gesamtbelastung.

5.2 Schallausbreitung

5.2.1 Rechenverfahren

Hinsichtlich der Einflußgrößen auf die Schallausbreitung gelten die Ausführungen in Abschnitt 4.2 sinngemäß, allerdings werden hier nicht die dort genannten Randbedingungen sondern die in den RLS-90 [13] angegebenen berücksichtigt. Die Berechnung der Schallausbreitung erfolgte wiederum mit Hilfe des Rechenprogramms SOUNDPLAN, welches die Linienschallquellen (Richtungsfahrbahnen) in Teilabschnitte zerlegt, deren Abmessungen klein gegenüber ihrem Abstand zum jeweils nächstgelegenen Immissionsort sind.

5.2.2 Randbedingungen

Folgende Randbedingungen wurden bei der Immissionsprognose vereinfachend festgelegt:

- Die Höhenabmessungen der bestehenden Gebäude wurden entsprechend der jeweils durch Augenschein ermittelten Geschößzahl abgeschätzt.
- Für alle Gebäudefassaden wurde die "Korrektur zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektierenden Flächen" in Anlehnung an die Angaben in Tabelle 7 der RLS-90 [13] mit einem Wert von $D_E = -1$ dB(A) angesetzt.

Auch bei der Prognose der Straßenverkehrslärmeinwirkung wurden die in Anlage 2 dargestellten Objekte berücksichtigt.

5.3 Schallimmissionen

Die Straßenverkehrslärmeinwirkung wurde für alle in Anlage 6 mit einer lfd. Nr. versehenen Immissionsorte vor der zur Hausener Straße orientierten Baugrenze der für den Bau von Personalwohnungen vorgesehenen Teilfläche im räumlichen Geltungsbereich des Bebauungsplans geschoßweise ermittelt.

Wenn davon ausgegangen wird, daß die für den Bau von Personalwohnungen vorgesehene Teilfläche im räumlichen Geltungsbereich des Bebauungsplans hinsichtlich ihrer Schutzbedürftigkeit vor Straßenverkehrslärmeinwirkung wie ein "allgemeines Wohngebiet" oder die wie ein "Mischgebiet" einzustufen ist, so zeigen die in Anlage 7 aufgelisteten Werte für die Beurteilungspegel, daß sowohl die für die genannten Gebietskategorien maßgebenden Orientierungswerte von Beiblatt 1 zu DIN 18 005 [2] als auch die Immissionsgrenzwerte der Verkehrslärmschutzverordnung [5] an der überwiegenden Mehrzahl der Immissionsorte deutlich überschritten werden. Die Durchführung von Schallschutzmaßnahmen ist somit erforderlich.

5.4 Schallschutzmaßnahmen

Da bei den hier vorliegenden örtlichen und geplanten baulichen Gegebenheiten wirksame "aktive" Schallschutzmaßnahmen nicht realisierbar sind, ist im Bebauungsplan festzusetzen, daß "... Vorkehrungen zum Schutz vor Außenlärm am Gebäude zu treffen sind ..." [9].

Durch geeignete "passive" Maßnahmen, d. h. durch den Einsatz von Gebäudeaußenbauteilen mit einer hinreichend hochwertigen Luftschalldämmung, kann sichergestellt werden, daß der in das jeweilige Gebäudeinnere übertragene Lärm auf ein zumutbares Maß begrenzt wird.

Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen werden in Tabelle 8 der bauordnungsrechtlich eingeführten DIN 4109 [9] in Abhängigkeit von der Raumnutzung und von der Zuordnung der betreffenden Fassade zu einem der dort definierten "Lärmpegelbereiche" angegeben. Diese Lärmpegelbereiche weisen eine Klassenbreite von 5 dB(A) auf und sind ihrerseits dem "maßgeblichen Außenlärmpegel" zugeordnet. Der durch den Straßenverkehr verursachte maßgebliche Außenlärmpegel ist gemäß Festlegung in Abschnitt 5.5 der DIN 4109 [9] identisch mit dem um 3 dB(A) erhöhten, rechnerisch ermittelten Wert für den Beurteilungspegel "tags". Der jeweils geforderte Wert der Luftschalldämmung für Gebäudeaußenbauteile in Abhängigkeit von der Raumnutzung wird als Auszug aus der o. g. Tabelle nachfolgend angegeben:

Anforderung an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen							
Lärmpegelbereich	I	II	III	IV	V	VI	VII
maßgeblicher Außenlärmpegel in dB(A)	bis 55	56 bis 60	61 bis 65	66 bis 70	71 bis 75	76 bis 80	> 80
Raumarten:							
Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und ähnliches erf. $R'_{w,res}$ in dB	30	30	35	40	45	50	2)
Büroräume ¹⁾ und ähnliches erf. $R'_{w,res}$ in dB	-	30	30	35	40	45	50
¹⁾ An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt. ²⁾ Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.							

Wenn das Verhältnis der gesamten Außenfläche eines Raums (S_{W+F}) zu seiner Grundfläche (S_G) einen Wert von $\neq 0,8$ aufweist, so ist der in der obigen Tabelle genannte Wert für das erforderliche resultierende Schalldämmmaß erf. $R'_{w,res}$ um den in

Tabelle 9 der DIN 4109 [9] angegebenen Korrekturwert zu erhöhen oder zu reduzieren.

Die an der zur Hausener Straße orientierten Baugrenze der für den Bau von Personalwohnungen vorgesehenen Teilfläche geschoßweise ermittelten Lärmpegelbereiche werden in Anlage 7 tabellarisch angegeben. Im Lageplan in Anlage 8 werden die vor den Gebäuden im schalltechnisch jeweils ungünstigsten Geschoß bestimmten Lärmpegelbereiche grafisch dargestellt.

Im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens kann auf der Basis dieser Vorgaben unter Berücksichtigung der jeweiligen Raumgeometrie die erforderliche Luftschalldämmung der Gebäudeaußenbauteile ermittelt und deren Einhaltung durch die Wahl entsprechender Bauelemente sichergestellt werden.

Anmerkung:

Sofern durch Maßnahmen am Gebäude eine Reduzierung der Lärmeinwirkung auf die Außenfläche schutzbedürftiger Räume nachgewiesen wird (z. B. abschirmend ausgeführte Laubengangbrüstungen und schallabsorbierende Laubengangunterseiten, vorgehängte Glaselemente o. ä.) kann die erforderliche Luftschalldämmung der Außenfläche entsprechend verringert werden.

5.5 Empfehlung

Im zeichnerischen Teil des Bebauungsplans sollen gemäß § 9 Absatz 2 Nr. 5 des Baugesetzbuchs - BauGB [14] die Flächen gekennzeichnet werden, "... bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen ... erforderlich sind".

Die in Form von Lärmpegelbereichen ermittelten Anforderungen an die Luftschalldämmung von Gebäudeaußenbauteilen können im Bebauungsplan festgesetzt werden.

6. REALISIERBARKEIT VON MASSNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR

LÄRMEINWIRKUNG DURCH DAS INDOOR-FAHRGESCHÄFT

Da einerseits den Lärm-Immissionsschutz betreffende Festsetzungen im Bebauungsplan einer bestimmungsgemäßen Nutzung der jeweiligen Teilflächen im Bebauungsplangebiet nicht entgegenstehen dürfen, andererseits aber allein der den immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel kennzeichnende Zahlenwert keine unmittelbare Beurteilung zuläßt, ob diese Voraussetzung erfüllt wird, erfolgt anschließend eine überschlägige Ermittlung erforderlicher Schallschutzmaßnahmen.

6.1 Raumschallpegel

Als Grundlage für eine Abschätzung des innerhalb der ein Indoor-Fahrgeschäft umgebenden Gebäudehülle herrschenden Raumschallpegels wurden orientierende Schallpegelmessungen bei dem für diesen Anlagentyp laut Mitteilung der Europa-Park GmbH repräsentativen Fahrgeschäft "Piraten im Batavia" durchgeführt. Auf eine Beschreibung dieses Fahrgeschäfts und der an vier verschiedenen, im Raum verteilten Meßpunkten am 14.09.2001 bei regulärem Betrieb der Anlage durchgeführten Schallpegelmessungen wird hier verzichtet.

Für den durch Integration des Momentanpegels über einen Zeitraum von jeweils 60 s bestimmten Mittelungspegel (L_{AFm}) und den innerhalb dieses Zeitraums jeweils aufgetretenen absoluten Maximalpegel (L_{Amax}) wurden folgende Wertebereiche ermittelt:

Mittelungspegel	$79,6 \leq L_{AFm} \leq 90,5 \text{ dB(A)}$
Maximalpegel	$88,5 \leq L_{Amax} \leq 95,3 \text{ dB(A)}$

Vorsorglich wird im folgenden unterstellt, daß innerhalb des auf der im Bebauungsplan mit "Fahrgeschäft" gekennzeichneten Teilfläche zu errichtenden Gebäudes ein

Raumschallpegel von $L_i = 90$ dB(A) ständig während des Beurteilungszeitraums "tags" vorherrsche.

6.2 Geplantes bauliches und technisches Konzept

In den in Abschnitt 1.2 genannten Grundrißplänen sind sämtliche Außenwände geplanter Gebäude (Personalwohnungen und zur Aufnahme des Indoor-Fahrgeschäfts vorgesehenes Gebäude) mit einer Dickenabmessung von $d = 30$ cm dargestellt. Für die Dachfläche über dem Indoor-Fahrgeschäft wurde vom zuständigen Sachbearbeiter der Europa-Park GmbH, Herrn Keller, folgender Konstruktionsaufbau (von oben nach unten) angegeben:

- Kiesschüttung oder Gründach
- Foliendichtung
- Wärmedämmschicht
- Schalung aus Trapezprofilblech

Die zum Europa-Park orientierten Außenwände des Fahrgeschäfts sind lokal in dem an den Mühlbach angrenzenden Ein-/Ausgangsbereich sowie für zwei Rolltore (welche bei Betrieb der Anlage ständig geschlossen bleiben) durchbrochen. In der mit dem für Personalwohnungen vorgesehenen Gebäude gemeinsamen Wand sind Notausgänge integriert, welche jeweils als Schleuse mit zwei Türebene ausgebildet werden.

Die technischen Einrichtungen des Indoor-Fahrgeschäfts (insbesondere das Schienensystem) werden laut Auskunft von Herrn Keller vollständig getrennt vom Gebäude installiert. Die Art des Fahrgeschäfts, welches sich derzeit noch in der Planung befindet, wird hinsichtlich seiner technischen Ausstattung vergleichbar sein mit verschiedenen, im Europa-Park bereits befindlichen Anlagen (z. B. "Piraten im Batavia"); es sollen schienengebundene Fahrzeuge für jeweils 4 Personen eingesetzt werden.

6.3 Schalltechnische Beurteilung der das Indoor-Fahrgeschäft umgebenden Bauteile

Mit einem Dachaufbau der oben beschriebenen Art werden - abhängig von der Dicke und der dynamischen Steifigkeit des als Wärmedämmschicht eingesetzten Materials und von der flächenbezogenen Masse der Auflast (Kiesschüttung, Vegetationsschicht) - Werte der Luftschalldämmung in der Größenordnung von $45 \text{ dB} \leq R'_{w,R} \leq 52 \text{ dB}$ erreicht.

Der unter der Voraussetzung des oben genannten Werts für den Raumschallpegel über diese Dachfläche abgestrahlte flächenbezogene Schalleistungspegel unterschreitet bereits bei Einhaltung des zuerst genannten Werts für das bewertete Schalldämmmaß den für den immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel "tags" geforderten Wert von $\text{IFSP} = 52 \text{ dB(A)}$ deutlich.

Da in Montagebauweise auszuführende Fassadenkonstruktionen aus zweischalig angeordneten Trapezprofilblechen Werte der Luftschalldämmung in derselben Größenordnung aufweisen, ist aus schalltechnischer Sicht eine Ausführung der Außenwände der Indoor-Anlage in Massivbauweise nicht erforderlich. Eine unzulässige Schallübertragung über offenbare Bauteile innerhalb der das Indoor-Fahrgeschäft umgebenden Gebäudehülle (Rolltore, RWA-Anlagen u. a.) muß durch eine entsprechende Festlegung der erforderlichen Schalldämmung in Abhängigkeit von Art, Flächenabmessung und geometrischer Anordnung dieser Bauelemente erfolgen, wenn bei entsprechendem Planungsfortschritt hinreichend gesicherte Daten hierüber vorliegen. Grundsätzlich ist allerdings sichergestellt, daß unter den hier vorliegenden Randbedingungen die erforderliche Luftschalldämmung mit handelsüblichen Bauelementen eingehalten werden kann.

Um eine Überschreitung des in der TA Lärm festgelegten Immissionsrichtwerts "innen, tags" durch Luftschallübertragung über die dem Indoor-Fahrgeschäft und unmittelbar angrenzenden schutzbedürftigen Räumen (Wohn- und Schlafräume in Personalwohnungen) gemeinsame Trennwand mit Sicherheit auszuschließen, muß diese ein bewertetes Schalldämmmaß in der Größenordnung von $R'_{w,R} = 60$ dB aufweisen. Dieser Wert kann entsprechend den Angaben in Tabelle 1 von Beiblatt 1 zu DIN 4109 [15] allein mit einer einschaligen biegesteifen Wand (unabhängig von deren flächenbezogener Masse) nicht mehr mit hinreichender Sicherheit erreicht werden. Auch wenn die in den Plänen mit einer Dickenabmessung von $d = 30$ cm dargestellte Trennwand in Form einer Stahlbetonscheibe realisiert wird, und somit eine flächenbezogene Masse von > 600 kg/m² erreicht wird, ist eine zusätzliche schalldämmende Vorsatzschale (auf der zum Indoor-Fahrgeschäft orientierten Wandoberfläche) erforderlich.

Da die technischen Einrichtungen des Indoor-Fahrgeschäfts nach den vorliegenden Informationen keine baulichen Verbindungen mit der hier interessierenden Trennwand aufweisen werden, läßt sich eine derartige Wandvorsatzschale mit einem Ständerwerk aus handelsüblichen C-Profilen, einer Beplankung aus Gipskarton- oder Gipsfaserplatten sowie einer Hohlraumbedämpfung aus Faserdämmmaterial im Schalenzwischenraum relativ problemlos realisieren.

Auch bei den zu den Personalwohnungen orientierten Teilflächen der das Indoor-Fahrgeschäft umgebenden Gebäudehülle ist somit ein Einsatz von massiven Bauelementen für den fahrgeschäft-seitigen Teil der zweischaligen Wand nicht erforderlich.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden schalltechnischen Gutachten wurden für die potentiell lärmemittierenden Teilflächen im räumlichen Geltungsbereich des Bebauungsplans "Mühlefeld - westlicher Teil" die den "immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungs-

pegel" (IFSP) kennzeichnende Werte bestimmt, welche die im Hinblick auf die Lärmentwicklung zulässige Nutzung der betrachteten Teilflächen während der Tages- und während der Nachtzeit (auch unter Berücksichtigung einer Lärmvorbelastung durch den Betrieb des nahegelegenen Europa-Parks) begrenzen. Diese den einzelnen Teilflächen zugeordneten Werte sind in der Tabelle in Abschnitt 4.3 auf Seite 18 aufgelistet und für den Zeitraum "tags" in den Lageplan in Anlage 3 eingetragen.

Kriterium für die Ermittlung dieser Werte war die Einhaltung der Immissionsrichtwerte gemäß TA Lärm [4] bzw. der für die hier interessierenden Arten der baulichen Nutzung in Beiblatt 1 zu DIN 18 005 Teil 1 [2] zahlenwertmäßig identisch festgelegten Orientierungswerte für Gewerbelärm vor potentiell schutzbedürftigen Gebäuden im Nahbereich des Planungsgebiets.

In Abschnitt 5 wird nachgewiesen, daß eine Einhaltung des für die Teilfläche "Fahrgeschäft" geforderten Wertes für den IFSP "tags" durch eine geeignete Auswahl der zur Realisierung der das Fahrgeschäft umgebenden Gebäudehülle einzusetzenden Bauelemente sichergestellt werden kann. Entsprechendes gilt auch für die Maßnahmen zum Schutz vor einer unzulässigen Lärmeinwirkung auf die unmittelbar an das Fahrgeschäft angrenzenden Personalwohnungen.

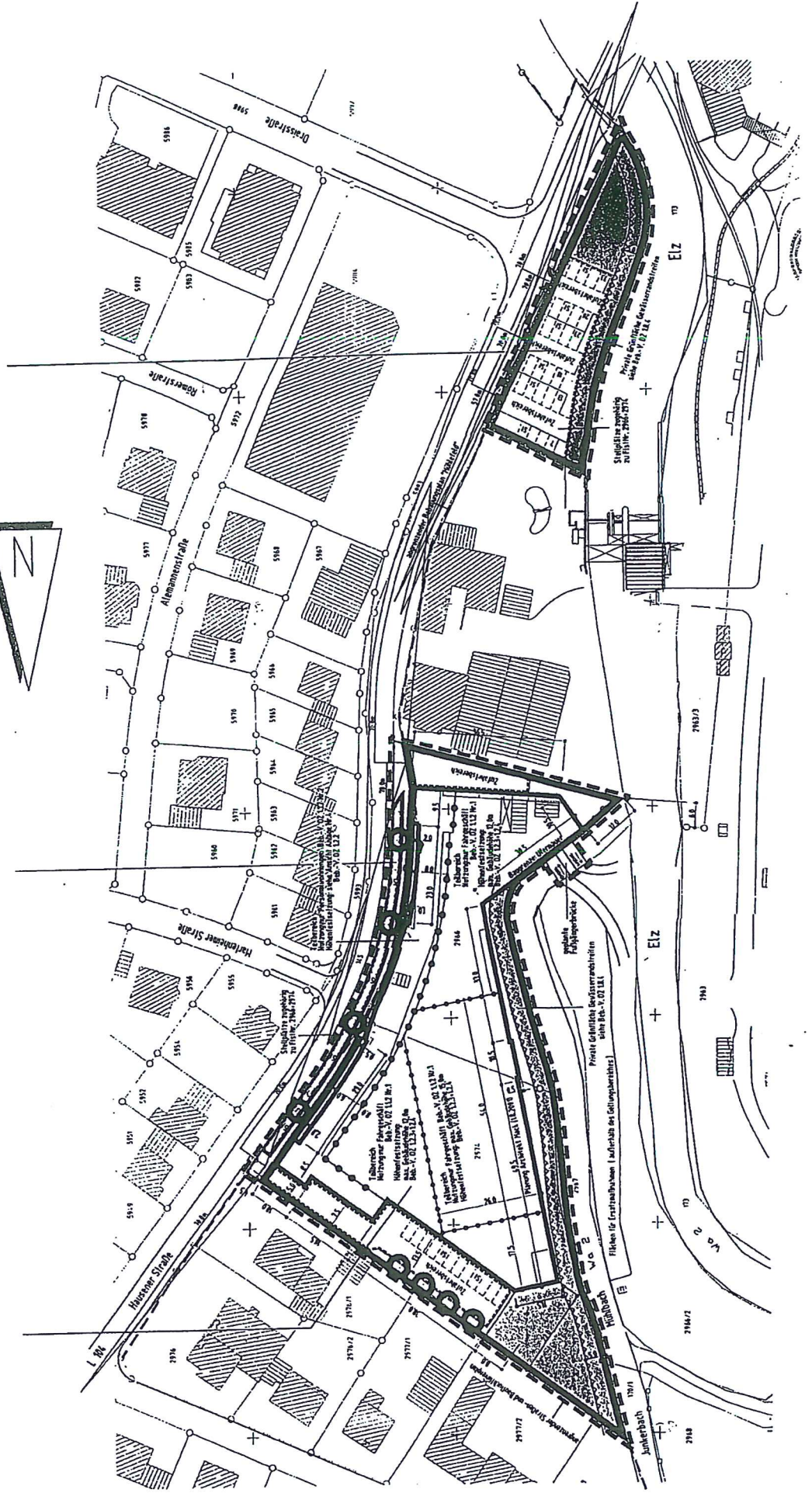
Die rechnerische Ermittlung der durch den Kraftfahrzeugverkehr auf der Hausener Straße verursachten Lärmeinwirkung auf die zu dieser Straße orientierte Baugrenze ergab, daß die im Rahmen der Bauleitplanung heranzuziehenden Orientierungswerte deutlich überschritten werden.

Da "aktive", im Rahmen des Bebauungsplans festzusetzende Schallschutzmaßnahmen unter den vorliegenden örtlichen und geplanten baulichen Gegebenheiten nicht realisierbar sind, ist durch den Einsatz von Gebäudeaußenbauteilen mit einer hinreichend hochwertigen Luftschalldämmung der in schutzbedürftige Räume der Personalwohnungen übertragene Straßenverkehrslärm auf ein zumutbares Maß zu begrenzen.

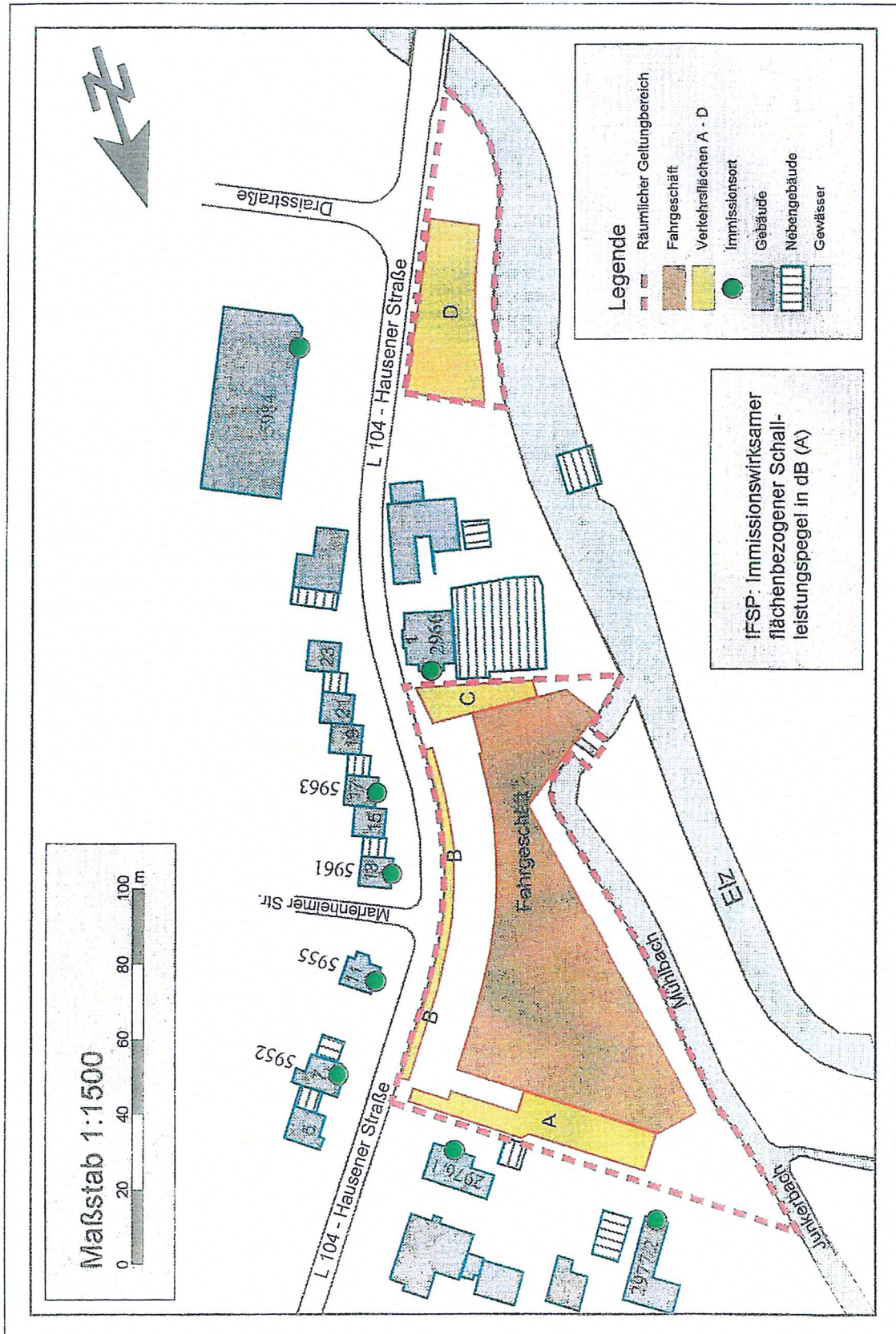
Die jeweilige Anforderung an die Luftschalldämmung der Gebäudeaußenbauteile ist entsprechend den Festlegungen in DIN 4109 [7] abhängig von der Art der Raumnutzung, der Raumgeometrie und der Zuordnung der Außenbauteile zum jeweiligen Lärmpegelbereich. Dieser wird für die zur Hausener Straße orientierte Baugrenze der für Personalwohnungen vorgesehenen Teilfläche geschoß- und fassadenweise in Anlage 7 tabellarisch und für das schalltechnisch jeweils ungünstigste Geschoß in Anlage 8 grafisch dargestellt.

Ingenieurbüro für
Schall- und Wärmeschutz
Wolfgang Rink

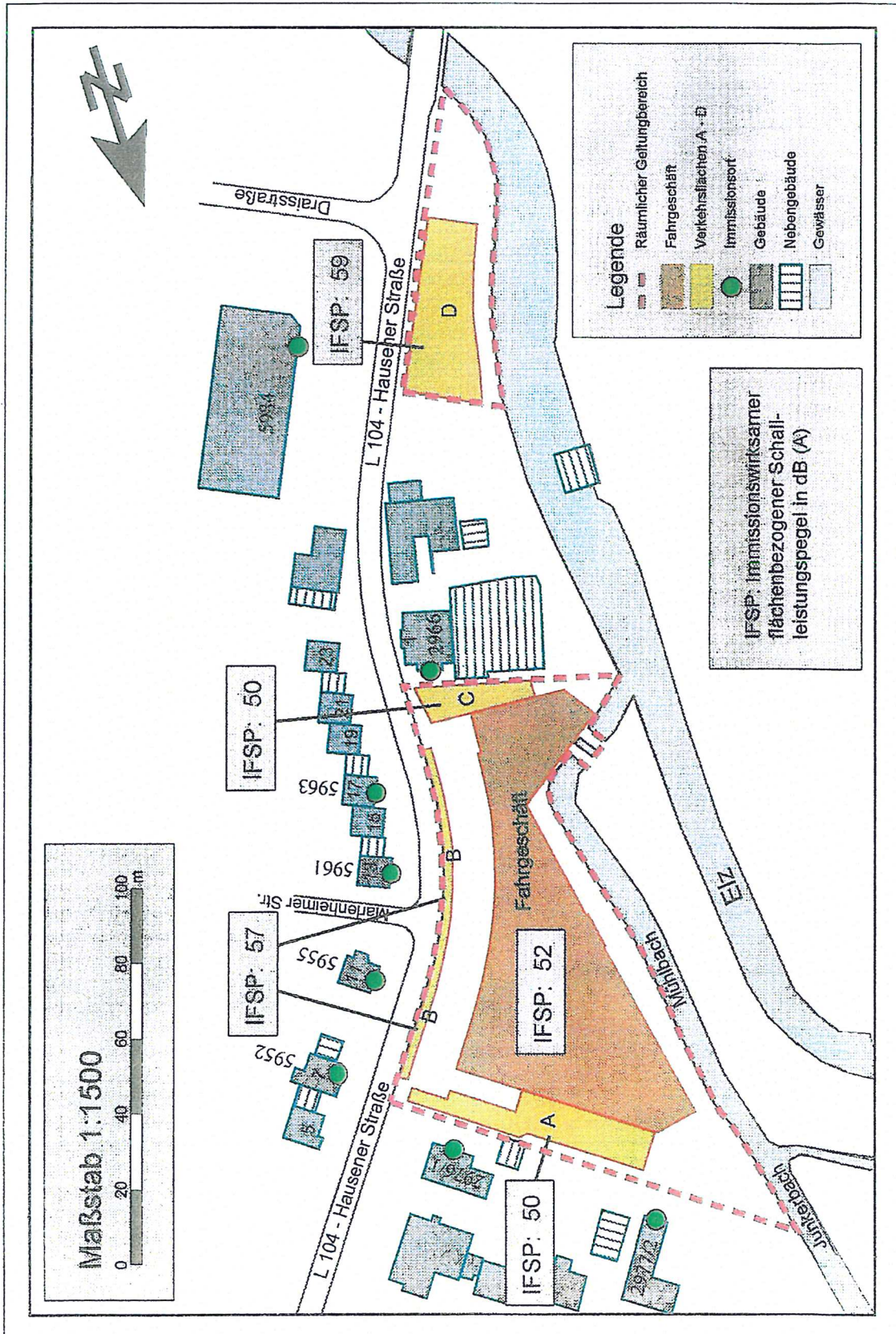
Bebauungsplan "Mühlfeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust
- Lageplan mit Eintragung des räumlichen Geltungsbereichs und der Nutzung einzelner Teilflächen; Maßstab ca. 1 : 1 000 (verkleinerter Auszug aus dem Bebauungsplan, zeichnerischer Teil, Entwurfssfassung vom 17.08.2001)



Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust
 - Lageplan mit Eintragung der bei der Immissionsprognose berücksichtigten Objekte
 und ausgewählter Immissionsorte außerhalb des Plangebiets
 (Erläuterungen siehe Text, Abschnitt 4)



Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust
- Lageplan mit Eintragung der den einzelnen Teilflächen zuzuordnenden Werte für den "immissionswirksamen flächenbezogenen Schalleistungspegel, tags" (IFSP)
(Erläuterungen siehe Text; Abschnitt 4)



Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust

- Auflistung der an den Einwirkungsorten außerhalb des Plangebiets verursachten Immissionspegel bei Berücksichtigung der in der Tabelle in Abschnitt 4.3 den einzelnen Teilflächen zugeordneten Werte für den IFSP "tags"
(Erläuterungen siehe Text, Abschnitt 4.3 und Legende in Anlage 5)

Schallquelle	L _w dB(A)	L _w dB(A)	S m ²	A _{div} dB	A _{gr} dB	A _{bar} dB	A _{atm} dB	R _e dB(A)	L _s dB(A)	L _{r,i} dB(A)
Fisl. Nr. 2977/2 L_{r,i} = 45,7 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	46,5	0,0			29,7	43,9	43,9
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	41,0	0,0			22,4	39,4	39,4
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	50,7	0,0			25,5	33,2	33,2
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	54,4	0,0			19,5	23,9	23,9
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	58,8	0,0			18,4	32,2	32,2
Fisl. Nr. 2976/1 L_{r,i} = 48,9 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	45,0	0,0			39,3	46,2	46,2
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	37,3	0,0			35,4	43,7	43,7
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	44,5	0,0			34,4	40,0	40,0
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	52,6	0,0			23,7	26,7	26,7
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	57,9	0,0				33,0	33,0
Fisl. Nr. 5955 L_{r,i} = 48,5 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	45,3	0,0			34,6	45,3	45,3
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	45,9	0,0			27,2	35,2	35,2
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	38,5	0,0			17,7	44,6	44,6
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	49,0	0,0			23,5	28,8	28,8
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	55,9	0,0				34,9	34,9
Fisl. Nr. 5961 L_{r,i} = 48,8 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	45,0	0,0			35,8	45,7	45,7
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	48,8	0,0			25,8	32,6	32,6
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	38,2	0,0				44,9	44,9
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	45,2	0,0			27,6	32,7	32,7
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	54,4	0,0				36,4	36,4
Fisl. Nr. 5963 L_{r,i} = 48,4 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	46,2	0,0			38,0	45,0	45,0
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	50,9	0,0			13,9	29,5	29,5
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	40,0	0,0			27,9	43,2	43,2
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	41,7	0,0			34,2	37,4	37,4
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	53,0	0,0			36,1	40,0	40,0
2986 (Betr.gelände) L_{r,i} = 49,0 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	46,2	0,0			36,1	44,7	44,7
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	52,9	0,0			21,9	28,5	28,5
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	44,7	0,0			32,5	39,3	39,3
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	32,2	0,0			30,2	44,2	44,2
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	50,2	0,0			34,4	41,5	41,5
Fisl. Nr. 5994 L_{r,i} = 48,2 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	55,3	0,0			12,4	34,9	34,9
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	57,7	0,0			11,1	22,9	22,9
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	54,5	0,0				28,5	28,5
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	51,4	0,0			8,1	25,0	25,0
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	43,2	0,0			37,3	48,0	48,0
Fisl. Nr. 5952 L_{r,i} = 45,8 dB(A)										
Fläche Fahrgeschäft	87,2	52,0	3328	47,4	0,0			23,2	42,9	42,9
Verkehrsfläche A	77,3	50,0	542	44,7	0,0				35,6	35,6
Verkehrsfläche B	80,1	57,0	202	42,2	0,0			13,7	40,9	40,9
Verkehrsfläche C	73,3	50,0	214	51,5	0,0			15,1	25,2	25,2
Verkehrsfläche D	87,8	59,0	759	57,1	0,0				33,7	33,7

Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust

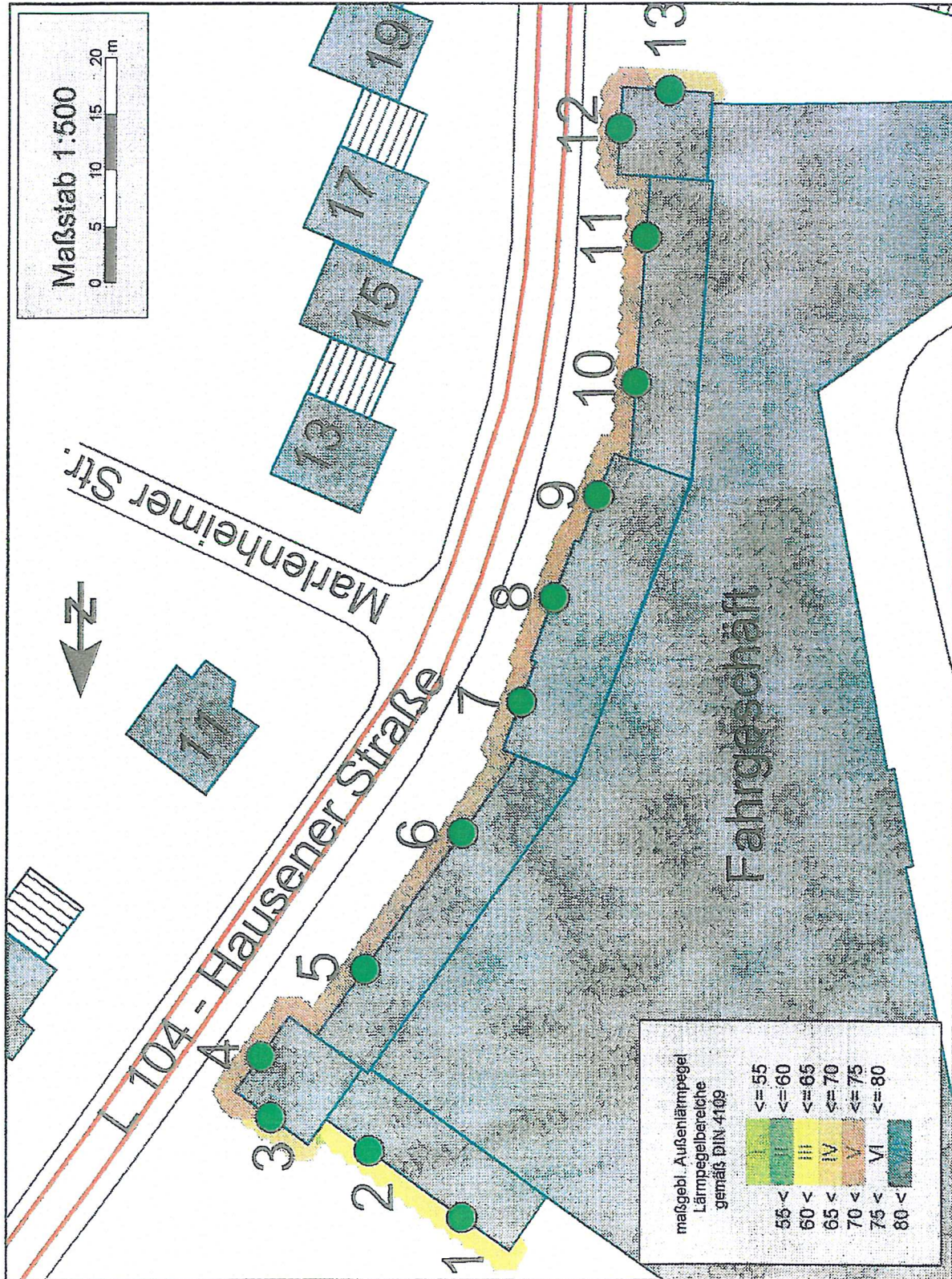
- Auflistung der an den Einwirkungsorten außerhalb des Plangebiets verursachten Immissionspegel bei Berücksichtigung der in der Tabelle in Abschnitt 4.3 den einzelnen Teilflächen zugeordneten Werte für den IFSP "nachts"
(Erläuterungen siehe Text, Abschnitt 4.3 und Legende)

Schallquelle	L _w dB(A)	L'' _w dB(A)	S m ²	s m	A _{div} dB	A _{gr} dB	A _{bar} dB	R _e dB(A)	L _s dB(A)	L _r dB(A)
Fist. Nr. 2977/2 L_rn 34,9 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	32	41,0	0,0		17,2	33,5	33,5
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	97	50,7	0,0		20,5	27,4	27,4
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	147	54,4	0,0		11,5	15,9	15,9
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	245	58,8	0,0		18,0	24,2	24,2
Fist. Nr. 2976/1 L_rn 39,4 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	21	37,3	0,0		29,4	37,7	37,7
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	47	44,5	0,0		28,4	34,0	34,0
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	120	52,6	0,0		16,0	18,8	18,8
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	220	57,9	0,0			24,0	24,0
Fist. Nr. 5955 L_rn 39,3 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	55	45,9	0,0		22,6	29,5	29,5
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	24	38,5	0,0		13,2	38,6	38,6
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	79	49,0	0,0		15,9	21,0	21,0
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	176	55,9	0,0			25,9	25,9
Fist. Nr. 5961 L_rn 39,6 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	78	48,8	0,0		21,7	27,0	27,0
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	23	38,2	0,0			38,9	38,9
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	51	45,2	0,0		20,3	24,9	24,9
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	147	54,4	0,0		15,6	27,7	27,7
Fist. Nr. 5963 L_rn 39,0 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	99	50,9	0,0		18,0	24,5	24,5
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	28	40,0	0,0		23,7	37,3	37,3
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	34	41,7	0,0		27,0	29,8	29,8
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	126	53,0	0,0		27,5	31,2	31,2
2966 (Betr.gelände) L_rn 39,4 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	125	52,9	0,0		17,9	23,0	23,0
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	49	44,7	0,0		26,5	33,3	33,3
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	12	32,2	0,0		22,2	36,2	36,2
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	92	50,2	0,0		28,9	33,5	33,5
Fist. Nr. 5984 L_rn 39,4 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	217	57,7	0,0		11,7	17,8	17,8
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	150	54,5	0,0		7,0	22,6	22,6
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	104	51,4	0,0		7,0	17,4	17,4
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	41	43,2	0,0		30,6	39,2	39,2
Fist. Nr. 5952 L_rn 36,4 dB(A)										
Verkehrsfläche A	71,3	44,0	542	48	44,7	0,0			29,6	29,6
Verkehrsfläche B	74,1	51,0	202	36	42,2	0,0		10,2	34,9	34,9
Verkehrsfläche C	65,3	42,0	214	106	51,5	0,0		13,7	18,5	18,5
Verkehrsfläche D	78,8	50,0	759	202	57,1	0,0			24,7	24,7

Legende

- L_w Schalleistungspegel
- L''_w immissionswirksamer flächenbezogener Schalleistungspegel
- S Fläche der Schallquelle
- s mittlere Entfernung Emissionsort - Immissionsort
- A_{div} mittlere Entfernungsminderung
- R_e Reflexionsanteil
- L_s Immissionspegel
- L_r Beurteilungspegel

Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust
 - Lageplan mit Eintragung von Immissionsorten auf der zur Hausener Straße orientierten Baugrenze und Darstellung der für das jeweils schalltechnisch ungünstigste Geschöß ermittelten Lärmpegelbereiche
 (Erläuterungen siehe Text, Abschnitte 5.3 und 5.4)



Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust
 - geschoßweise Auflistung der durch den Kraftfahrzeugverkehr auf der Hausener Straße verursachten Beurteilungspegel an den in Anlage 6 gekennzeichneten Einwirkungsorten und Zuordnung der jeweiligen Fassadenabschnitte geplanter Wohnungen zu einem Lärmpegelbereich gemäß DIN 4109
 (Erläuterungen siehe Text, Abschnitte 5.3 und 5.4)

Immissionsort	Geschoß	Beurteilungspegel		maßg. Außen- lärmpegel in dB(A)	Lärm- pegel- bereich
		LrT in dB(A)	LrN		
01	1	57	46	60	II
	2	59	48	62	III
	3	59	48	62	III
02	1	59	48	62	III
	2	61	50	64	III
	3	61	50	64	III
03	1	66	55	69	IV
	2	66	55	69	IV
	3	66	55	69	IV
	4	66	54	69	IV
04	1	71	60	74	V
	2	71	60	74	V
	3	70	59	73	V
	4	69	58	72	V
05	1	69	58	72	V
	2	69	58	72	V
	3	69	58	72	V
06	1	69	58	72	V
	2	69	58	72	V
	3	69	58	72	V
07	1	70	59	73	V
	2	70	59	73	V
	3	69	58	72	V
	4	69	58	72	V
08	1	70	59	73	V
	2	70	59	73	V
	3	70	59	73	V
	4	69	58	72	V
09	1	70	59	73	V
	2	70	59	73	V
	3	69	58	72	V
	4	69	58	72	V
10	1	69	58	72	V
	2	69	58	72	V
	3	69	58	72	V
11	1	70	59	73	V
	2	70	59	73	V
	3	69	58	72	V
12	1	72	61	75	V
	2	71	60	74	V
	3	70	59	73	V
	4	69	58	72	V
13	1	66	55	69	IV
	2	66	55	69	IV
	3	66	55	69	IV
	4	66	55	69	IV

Bebauungsplan "Mühlefeld - westlicher Teil" auf Gemarkung Rust
- Lageplan mit Eintragung der für das jeweils schalltechnisch ungünstigste
Geschoß ermittelten Lärmpegelbereiche
(Erläuterungen siehe Text, Abschnitte 5.3 und 5.4)

