



1. Grundlagen

1.1 Arten von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen

Anlagen der Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik werden unter dem Sammelbegriff HLKK-Anlagen zusammengefasst. Solche Anlagen können eine oder mehrere Funktionen kombiniert erfüllen.

Heizungen sind Vorrichtungen zur Erwärmung von Gebäuden und Räumen (Gebäudeheizungen) und zur Warmwasseraufbereitung. Blockheizkraftwerke bis 1 MW elektrischer Leistung und Anlagen zur Verbrennung von Holzsnitzeln und -pellets sind den Heizungsanlagen gleichgestellt.

Lüftungen sind Vorrichtungen zur Be-/Entlüftung von Gebäuden und Räumen ohne Kühlung und ohne Be-/Entfeuchtung der Luft.

Klimaanlagen sind Vorrichtungen zur Erzeugung und Aufrechterhaltung einstellbarer Lufttemperaturen und Luftfeuchtwerte in Gebäuden und Räumen.

Kälteanlagen sind Vorrichtungen zur Erzeugung von Temperaturen unter der Umgebungstemperatur zur Kühlung von Räumen oder Prozessen.

1.2 Geltungsbereich

Diese Vollzugshilfe gilt generell für Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen (HLKK-Anlagen) im Sinne von Anhang 6 Ziffer 1 Absatz 1 Buchstabe e der Lärmschutz-Verordnung (LSV). Insbesondere gilt sie sowohl für ortsfeste als auch mobile Anlagen und Anlagen, die temporär dem Betrieb einer ortsfesten Anlage dienen.

Beispiele für Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen nach Anhang 6, Ziff. 1 Abs. 1 Bst. e LSV:

- Öl- und Gasheizungen
- Holzheizungen
- Blockheizkraftwerke
- Lüftungsanlagen
- Heubellüftungen, Stallbe- und -entlüftungen
- Abluftventilatoren
- Klimageräte
- Rückkühlanlagen
- Kälteanlagen
- Kühlaggregate auf LKW
- Kühlcontainer auf abgestellten Zügen
- Lüftungs- und Klimaanlagen bei abgestellten Personenzügen

Unter die Bestimmungen dieser Vollzugshilfe fallen sowohl haustechnische Anlagen als auch HLKK-Anlagen für Prozesse.

Für Luft/Wasser-Wärmepumpen ist die Vollzugshilfe 6.21. «Lärmtechnische Beurteilung von Luft/Wasser-Wärmepumpen» anzuwenden.

Die vorliegende Vollzugshilfe befasst sich nicht mit der Beurteilung von Geräuschen haustechnischer Anlagen im Sinne der SIA Norm 181 «Schallschutz im Hochbau».

Heizkraftwerke (Fernwärmeheizungen) und Anlagen zur Gewinnung von Biogas aus Biomasse, das zum Betrieb von Blockheizkraftwerken eingesetzt wird, geht über den Geltungsbereich dieser Vollzugshilfe hinaus, weshalb diese Vollzugshilfe die mit Biogas betriebenen Blockheizkraftwerke und die Gasgewinnung selbst nicht behandelt.

Bei Energieerzeugungsanlagen über 1 MW elektrischer Leistung sind die einzelnen Teilanlagen je nach Anlagentyp gemäss Anhang 6 Ziff. 1 Abs. 1 Bst. a resp. Bst. e LSV zuzuordnen.

Von gewissen HLKK-Anlagen können Erschütterungen und Körperschall ausgehen. Dieses Thema ist zu beachten, ist jedoch nicht Gegenstand dieser Vollzugshilfe.

Zur Abgrenzung dieser Vollzugshilfe gegenüber «Anlagen der Industrie, des Gewerbes und der Landwirtschaft» nach Anhang 6 Ziff. 1 Abs. 1 Bst. a LSV sind hier einige Beispiele des Anlagentyps Bst. a aufgeführt:

- Druckluftanlagen
- Notstromaggregate
- Prozesstechnische Anlagen (z.B. zur Gefriertrocknung)

1.3 Rechtliche Grundlagen

- Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (USG; SR 814.01)
- Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV; SR 814.41)

Art. 11 Abs. 2 USG (Vorsorgeprinzip)

Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

Art. 12 Abs. 2 USG (Emissionsbegrenzungen)

Begrenzungen werden durch Verordnungen oder, soweit diese nichts vorsehen, durch unmittelbar auf dieses Gesetz abgestützte Verfügungen vorgeschrieben.

Art. 7 Abs. 1 LSV (neue ortsfeste Anlagen)

Die Lärmemissionen einer neuen ortsfesten Anlage müssen nach den Anordnungen der Vollzugsbehörde so weit begrenzt werden:

- als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist und*
- dass die von der Anlage alleine erzeugten Lärmmissionen die Planungswerte nicht überschreiten.*

Art. 36 Abs. 1 LSV (Ermittlungspflicht)

Die Vollzugsbehörde ermittelt die Aussenlärmmissionen ortsfester Anlagen oder ordnet deren Ermittlung an, wenn sie Grund zur Annahme hat, dass die massgebenden Belastungsgrenzwerte überschritten sind oder ihre Überschreitung zu erwarten ist.

Art. 37a Abs. 1 und 2 Festlegen der Lärmmissionen und Kontrolle

Die Vollzugsbehörde hält in ihrem Entscheid über die Erstellung, Änderung oder Sanierung einer Anlage die zulässigen Lärmmissionen fest. Steht fest oder ist zu erwarten, dass die Lärmmissionen einer Anlage von den im Entscheid festgehaltenen Immissionen auf Dauer wesentlich abweichen, so trifft die Vollzugsbehörde die notwendigen Massnahmen.

Anhang 6, Ziffer 1, Absatz 1, Buchstabe e LSV (Geltungsbereich)

Die Belastungsgrenzwerte nach Ziffer 2 gelten für den Lärm von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage.

1.4 Ziele des einheitlichen Vollzugs

Bereits im Rahmen des Bewilligungsverfahrens ist sicher zu stellen, dass der Betrieb neuer HLKK-Anlagen die bundesrechtlichen Lärmschutzbestimmungen (Vorsorge und Planungswert) einhalten und zu keinen lärmrechtlichen Problemen führen werden. Der einheitliche Vollzug bei der Beurteilung von HLKK-Anlagen gibt für die Anlagenhersteller, Planer, Bauherrschaften, Installateure und Vollzugsbehörden Sicherheit bei der Planung, der Eingabe und der Behandlung von Gesuchen und bei Lärmklagen.

1.5 Rechtlicher Stellenwert der Vollzugshilfe

Diese Vollzugshilfe des Cercle Bruit richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und fördert eine einheitliche Vollzugspraxis. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

1.6 Instrumente des Vollzugs

Folgende Instrumente führen dazu, dass der Vollzug bei der lärmtechnischen Beurteilung von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen vereinheitlicht wird:

- Überprüfen des Vorsorgeprinzips (siehe Kapitel 2.1).
- Vorgaben zur Ermittlung des Beurteilungspegels (siehe Kapitel 2.3).
- Formular für den Lärmschutznachweis von einfachen HLKK-Anlagen (siehe Anhang 1)

2. Beurteilung

2.1 Grundsätze für die Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips

Dem Vorsorgeprinzip ist grundsätzlich und unabhängig von der Einhaltung der Belastungsgrenzwerte der LSV sowie der bestehenden Lärmbelastung Rechnung zu tragen. Neu eingebaute HLKK-Anlagen erfüllen dieses Prinzip, wenn die Lärmemissionen im Bereich des Standes der Technik liegen, der Aufstellungsort zweckmässig gewählt ist und die Betriebszeiten soweit als betrieblich möglich eingeschränkt sind. Im Einzelfall muss geklärt werden, ob unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung die Emissionen soweit begrenzt sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Bei eingehaltenen Planungswerten gelten weitere vorsorgliche Massnahmen nach der Rechtsprechung nur dann als wirtschaftlich tragbar, wenn mit

geringem Aufwand eine erhebliche Emissionsreduktion (> 5 dB) erreicht werden kann (vgl. BGE 124 II 517 E. 5a).

Folgende emissionsreduzierende Massnahmen müssen im Rahmen der Umsetzung des Vorsorgeprinzips geprüft werden:

- Wahl einer Anlage mit tiefem Schalleistungspegel
- Aufstellungsort der lärmigen Anlagenkomponenten
- Schalldämpfung jeglicher Art
- mögliche betriebliche Regulierungen

2.11 Der Stand der Technik als Teil des Vorsorgeprinzips

Der Stand der Lärmschutz-Technik entspricht dem aktuellen Entwicklungsstand fortschrittlicher Prozesse, Einrichtungen oder Betriebsweisen, welche ein hohes Schutzniveau für die Umwelt erreichen. Es handelt sich dabei um Massnahmen, welche Schallemissionen wirksam zu begrenzen vermögen, am Markt verfügbar sind und sich – unter Wahrung der Verhältnismässigkeit zwischen Aufwand und Nutzen – in der Praxis bereits bewährt haben.

Weitere Lärmschutzmassnahmen sind dann vorzusehen, wenn die massgeblichen Belastungsgrenzwerte zwar eingehalten werden, die Lärmimmissionen bei den Nachbarn jedoch hörbar sind und mit geringem Aufwand eine erhebliche Emissionsreduktion erreicht werden kann.

2.2 Lärmschutzmassnahmen bei HLKK-Anlagen

2.2.1 Heizanlagen Öl- und gasbefeuerte Heizanlagen

Lärmschutzmassnahmen:

- Brennerschalldämmhaube
- Abgasschalldämpfer
- Schallabsorption im Aufstellraum
- Ansaugschalldämpfer
- Modulierender Brenner, dessen Leistung sich der benötigten Wärmeleistung anpasst
- Erhöhte Brennerstartgeräusche sind durch günstige Abstimmung zwischen Brenner und Kessel zu minimieren
- Richtige Wahl der Kesselgrösse

Holzpellet- und Holzsplit-Heizanlagen

Lärmschutzmassnahmen:

- Schalldämmhaube über Stokerschneckenantrieb
- Abgasschalldämpfer
- Schallabsorption im Aufstellraum
- Ansaugchalldämpfer

Blockheizkraftwerke

Aus schalltechnischer Sicht ist es nicht notwendig, die verschiedenen Motorarten bei Blockheizkraftwerken (BHKW) wie Diesel-, Zündstrahl-, Fremdzünder oder sonstige Viertaktmotoren zu unterscheiden, weil sie sich schalltechnisch nicht erheblich unterscheiden. Hauptschallquelle der BHKW ist in der Regel der Verbrennungsmotor. Die Abgasgeräusche sind tieffrequent und weisen Pegelspitzen im Bereich von 60 bis 80 Hz auf, welche häufig als lästig oder störend empfunden werden [6]. Die tieffrequenten Pegelspitzen werden durch einen Zuschlag für Tonhaltigkeit von bis zu 6 dB in der Lärmbeurteilung berücksichtigt.

Hinweis: BHKW können auch Erschütterungen und Körperschall erzeugen. Dies ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

Ein BHKW mit Verbrennungsmotor besteht aus folgenden schalltechnisch wesentlichen Komponenten:

- Motorblock einschliesslich Stromgenerator (Genset bzw. Modul)
- Ansaugöffnung für die Verbrennungsluft mit Luftfilter
- Kühleinrichtungen (Ventilatoren von Rückkühlwerken)
- Abgasöffnung

Lärmschutzmassnahmen:

- Schalldämmhauben und Einhausungen
- Abgasschalldämpfer
- Schallabsorption im Aufstellraum
- Zuluft- und Abluftchalldämpfer
- schwingungsarm lagern zur Vermeidung von Körperschallübertragung

2.22 Lüftungsanlagen

Lärmschutzmassnahmen:

- Drehzahlregelung der Ventilatoren und Aggregate
- Einhausung der Aggregate
- Zuluft- und Abluftchalldämpfer
- Schwingungsisolation

2.23 Klimaanlage

Kompakt-/Split-Klimaanlage

Kompakt-/Split-Klimaanlagen sind vom Prinzip her mit Wärmepumpen zu vergleichen, jedoch mit umgekehrtem Wärmefluss. Entsprechend können die Lärmschutzmassnahmen für Wärmepumpen auch bei Klimaanlagen angewendet werden.

2.24 Kälteanlagen

Verdichter (Kompressor)

Lärmschutzmassnahmen:

- Einhausungen
- schwingungsarm lagern zur Vermeidung von Körperschallübertragung
- Schallabsorption im Aufstellraum

Luftgekühlte Verflüssiger (Luftkühler)

Lärmschutzmassnahmen:

- Richtung der Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnungen
- geräuscharmes Produkt: langsam drehende Ventilatoren mit entsprechend grösserer Verflüssigerfläche (bei exponierter Lage soll die Drehzahl 500 min^{-1} nicht überschreiten [6])
- Schalldämpfer

Kühltürme

Lärmschutzmassnahmen:

- geräuscharmer Ventilator
- Verminderung Wassergeäusch im Aufprallbereich

2.3 Lärmschutznachweis

Die massgebenden Belastungsgrenzwerte der LSV dürfen nicht überschritten werden. Ob die Grenzwerte eingehalten werden, ist mit einem Lärmschutznachweis aufzuzeigen.

Der Beurteilungspegel L_r wird nach Anhang 6 LSV wie folgt berechnet:

$$L_{r,i} = L_{eq,i} + K1_i + K2_i + K3_i + 10 \cdot \log(t_i / t_0)$$

$L_{r,i}$	Teilbeurteilungspegel der Lärmphase i
$L_{eq,i}$	A-bewerteter Mittelungspegel während der Lärmphase i am Immissionsort (Messwert oder berechneter Wert)
$K1_i$	Pegelkorrektur für die Lärmphase i aufgrund des Anlagentyps
$K2_i$	Pegelkorrektur für die Lärmphase i aufgrund der Hörbarkeit des Tongehalts am Immissionsort
$K3_i$	Pegelkorrektur für die Lärmphase i aufgrund der Hörbarkeit des Impulsgehalts am Immissionsort
$10 \cdot \log(t_i / t_0)$	Betriebszeitkorrektur für die Lärmphase i
t_i	Durchschnittliche tägliche Dauer der Lärmphase i in Minuten
t_0	720 Minuten

$$L_r = 10 \cdot \log \sum 10^{0.1 \cdot L_{r,i}}$$

L_r	Beurteilungspegel (energetische Summe der Teilbeurteilungspegel $L_{r,i}$)
-------	---

Weitere Erläuterungen zu den Pegelkorrekturen K1 bis K3 und der Betriebszeitkorrektur $10 \cdot \log(t_i/t_0)$ sind im Kapitel 2.4 zu finden.

Der Beurteilungspegel L_r ist in der Mitte der offenen Fenster lärmempfindlicher Räume respektive bei unbebauten Bauparzellen im gesetzlichen Bauabstand zur Parzellengrenze zu ermitteln¹. Bei Anlagen von Mehrfamilienhäusern gelten die Grenzwerte auch am eigenen Gebäude. Ausnahmen bilden Betriebsräume und Wohnungen auf dem eigenen Betriebsareal.

Die alleine von einer neuen Anlage erzeugten Lärmimmissionen – nach Gewährleistung der Anforderungen und Umsetzung der Massnahmen im Sinne der Vorsorge – dürfen die Planungswerte gemäss Anhang 6 LSV nicht überschreiten².

Zu beachten ist, dass bei Räumen in Betrieben, die in Gebieten der Empfindlichkeitsstufen I, II und III liegen, um 5 dB höhere Planungswerte und Immissionsgrenzwerte gelten³.

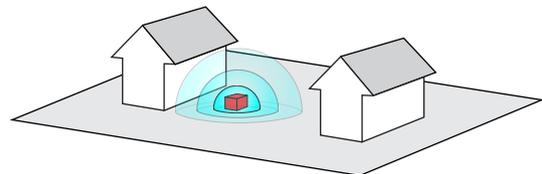
Der A-bewertete Mittelungspegel L_{eq} , in der Mitte der offenen Fenster von lärmempfindlichen Räumen (Immissionsort), kann wie folgt aus dem Schalleistungspegel $L_{W,A}$ der Anlage berechnet werden:

$$L_{eq} = L_{W,A} - 11 \text{ dB} + D_C - 20 \cdot \log(s / s_0)$$

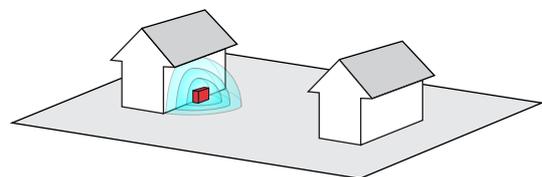
L_{eq}	A-bewerteter Mittelungspegel in der Mitte der offenen Fenster von lärmempfindlichen Räumen (Messwert oder berechneter Wert)
$L_{W,A}$	A-bewerteter Schalleistungspegel
D_C	Richtwirkungsmass
$20 \cdot \log(s / s_0)$	Abstandsämpfung
s	Abstand s in Metern zwischen der Anlage und dem massgebenden Fenster oder bei unbebauten Bauparzellen im gesetzlichen Bauabstand zur Parzellengrenze
s_0	1 Meter

Der Schalleistungspegel $L_{W,A}$ der Anlage ist aus den Angaben des Herstellers zu entnehmen. Liegen detailliertere Angaben, wie z.B. die Verteilung des Schalldruckpegels im Freifeld (Richtcharakteristik) vor und ist die Orientierung der Anlage bekannt, so kann mit dem entsprechenden Schalldruckpegel gerechnet werden, ansonsten ist der Schalleistungspegel zu verwenden.

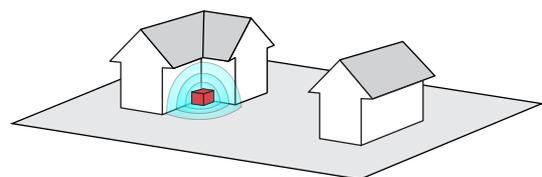
Das Richtwirkungsmass D_C beträgt:



freistehend +3 dB
(mindestens 5 Meter Abstand zur Wand)



an der Wand +6 dB



einspringende Ecke +9 dB

¹ Art. 39 LSV

² Art 7 Abs. 1 Bst. b LSV

³ Art. 42 LSV

2.4 Pegelkorrekturen und Betriebszeitkorrektur

2.4.1 Pegelkorrekturen

Pegelkorrektur K1

Für Anlagen, die unter den Geltungsbereich dieser Vollzugshilfe fallen, beträgt die Pegelkorrektur K1 am Tag 5 und in der Nacht 10 dB.

Sind die Immissionen von HLKK-Anlagen eines Prozesses jedoch zu jedem Zeitpunkt nicht aus dem Gesamtlärm der Industrieanlage herauszuhören, so kann die Bewertung der Immissionen der HLKK-Anlagen ausnahmsweise mit Zuordnung zu Anhang 6 Ziff. 1 Abs. 1 Bst. a LSV erfolgen. Sie erhalten für die Tag- und die Nachtperiode jeweils eine Pegelkorrektur K1 von 5 dB.

Pegelkorrektur K2

Die «Ermittlung» der Tonhaltigkeit erfolgt durch eine Fachperson, welche die Pegelkorrektur aufgrund ihrer Erfahrung festsetzt. Es können auch Hilfsmittel aus Studien herangezogen werden [9] [10]. Weiter gilt es Kapitel 2.5 zu beachten.

Pegelkorrektur K3

Die «Ermittlung» der Impulshaltigkeit erfolgt durch eine Fachperson, welche die Pegelkorrektur aufgrund ihrer Erfahrung festsetzt. Es können auch Hilfsmittel aus Studien herangezogen werden [10]. Das Ein- und Ausschalten von HLKK-Anlagen verursacht im Regelfall keine Pegelspitzen. In der Lärmprognose ist deshalb die Pegelkorrektur $K3 = 0$ zu setzen. Tatsächlich vorhandene deutliche oder stark hörbare Impulshaltigkeit weist auf einen Defekt hin. Die Impulshaltigkeit solcher Anlagen ist – unabhängig davon, ob die Grenzwerte eingehalten sind – in jedem Falle durch den Anlageninhaber im Sinne der Vorsorge zu beseitigen.

2.4.2 Durchschnittliche tägliche Dauer der Lärmphasen (Betriebszeitkorrektur)

Bei einzeln betriebenen HLKK-Anlagen wird für die allgemeine Beurteilung keine Betriebszeitkorrektur vorgenommen.

Bei HLKK-Anlagen, deren Betriebsdauer technisch durch fest eingestellte Ein- und Ausschaltzeiten begrenzt sind (Zeitschaltuhr), kann für die allgemeine Beurteilung eine Betriebszeitkorrektur berücksichtigt werden.

2.5 Anlagen mit tieffrequenten Geräuschanteilen

Bei HLKK-Anlagen werden die Geräusche hauptsächlich als störend wahrgenommen, wenn ein Brummen vorhanden ist. Die Störung tritt vor allem während Nachtzeiten in ruhiger Wohnumgebung auf.

Das Geräusch kann bereits störend wirken, wenn das Geräusch so leise ist, dass es gerade wahrgenommen wird. Zudem können tieffrequente technische Geräusche je nach Abmessung eines Raumes «stehende Wellen» ausbilden. Das kann bedeuten, dass man das Brummen in der Nähe der Wände deutlich hören kann, in der Mitte des Raumes jedoch praktisch nicht.

Tieffrequente Geräusche können z.B. bei BHKW, Brennern, Kompressoren und Ventilatoren auftreten. Werden die Belastungsgrenzwerte durch solche tieffrequenten Geräusche zwar eingehalten und kommt es dennoch zu Störungen, so können gestützt auf Art. 11 Abs. 2 USG Massnahmen zur Emissionsbeschränkung festgelegt werden. Zur Beurteilung des Störgrades kann die DIN 45680 [14] herangezogen werden. Diese beinhaltet eine Vorerhebung, bei welcher der Wert $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ grösser als 20 dB sein muss, damit eine tieffrequente Geräuscheinwirkung vorliegt⁴. Ist dies der Fall, so wird eine Terzbandanalyse durchgeführt, bei der die zugehörigen Hörschwellen berücksichtigt werden. Die Untersuchung zeigt auf, welche Frequenzen auftreten bzw. zu dämpfen sind. Entsprechend lassen sich Massnahmen festlegen.

⁴ Der Entwurf DIN 45680:2013-09 sieht als Schwellwert für die Pegeldifferenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ neu 15 dB vor.

2.6 Anlagen mit mehreren Betriebsstufen, mehreren Teilanlagen und drehzahlgesteuerte Anlagen

Bei HLKK-Anlagen mit mehreren Betriebsstufen und drehzahlgesteuerten Anlagen wird der durchschnittliche Betrieb beurteilt. Wenn die Betriebsstufen in klar definierten Zeiträumen auftreten, so werden die verschiedenen Betriebsstufen als Lärmphasen über den Beurteilungszeitraum berücksichtigt.

Bei HLKK-Anlagen der Industrie, des Gewerbes und der Landwirtschaft, welche aus mehreren Teilanlagen bestehen, wird die durchschnittliche Lärmbelastung des repräsentativen Betriebs beurteilt. Wenn die Betriebslast der Anlage zeitgesteuert eingeschränkt ist resp. dezidierte Lärmphasen auftreten, welche sich wesentlich vom durchschnittlichen Betriebszustand abheben, so sind diese speziell zu berücksichtigen.

2.7 Berechnungstool für einfache Anlagen und Situationen

Für die Lärmberechnung von einzelnen Anlagen und einfachen Umgebungssituationen kann das «Formular für den Lärmschutznachweis» (Anhang 1) verwendet werden.

Grosse Anlagen, die aus mehreren Teilquellen bestehen, und Anlagen mit komplexer Ausbreitungssituation müssen in einem ausführlichen Lärmgutachten beurteilt werden. Dazu können gängige Lärmberechnungsprogramme herangezogen werden.

2.8 Überprüfung der Lärmimmissionen bei Lärmklagen

Bei speziellen Verhältnissen und in Zweifelsfällen sind Messungen sinnvoll. Auch bei Lärmklagen ist die Überprüfung der Lärmimmissionen mittels Messungen ein geeignetes Mittel. Wenn möglich erfolgt die Messung im offenen Fenster des am stärksten betroffenen lärmempfindlichen Raumes. Die Messung ist für die Beurteilung massgebend.

Hinweise:

- Die Pegelkorrekturen K2 (Tongehalt) und K3 (Impulsgehalt) sind am Immissionsort durch eine Fachperson zu bestimmen.

3. Weiterführende Unterlagen

3.1 Literatur

- [1] BAFU (Hrsg.) 2016: Ermittlung und Beurteilung von Industrie- und Gewerbelärm. Vollzugshilfe für Industrie- und Gewerbeanlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1636: 40 S.
- [2] SUVA, Lärmbekämpfung durch Kapselungen, Infoschrift Nr. 66026
- [3] SUVA, Schallemissionsmessungen an Maschinen, Infoschrift Nr. 66027
- [4] SUVA, Lärmbekämpfung an Maschinen und Anlagen, Infoschrift Nr. 66076
- [5] Lips W., Strömungsakustik in Theorie und Praxis, Expert Verlag, Band 474
- [6] Lips W., Akustik für Gebäudetechnik-Ingenieure, Hochschule Luzern
- [7] Bayerisches Landesamt für Umwelt, Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen, Ein Leitfaden, 2011
- [8] VDI-Richtlinie 2715: Schallschutz an heiztechnischen Anlagen, November 2011
- [9] Bericht über die Beurteilungshilfe zur Bestimmung der Tonhaltigkeit von Wärmepumpen nach Anhang 6 der Lärmschutz-Verordnung, Autoren: Prof. Ercolino Rosa und Prof. Dr. Urs Bopp, Trefzer Rosa + Partner GmbH, Bündtenweg 4B, 4453 Nussdorf
- [10] NDS-U Abschlussarbeit Modul E, Beurteilung von Ton- und Impulshaltigkeit nach LSV vom 23.3.2003, FHBB Fachhochschule Nordwestschweiz beider Basel / Autor: Bruno Buchmann / Betreuung: Dr. M. Ringger
- [11] VDI-Richtlinie 2081 Blatt 2: Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen – Beispiele. Mai 2005
- [12] VDI-Richtlinie 2715: Schallschutz an heiztechnischen Anlagen. November 2011

- [13] DIN EN 12102: Klimageräte, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen und Entfeuchter mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung - Messung der Luftschallemissionen - Bestimmung des Schalleistungspegels; Deutsche Fassung EN 12102:2013
- [14] DIN 45680: Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft; DIN 45680:1997-03⁵
- [15] EMPA Untersuchungsbericht Nr. 460'395-2a: Beurteilung und Begrenzung des Lärms von abgestellten Zügen

3.2 Rechtsprechung

Fälle der aktuellen Rechtsprechung von den kantonalen Gerichten und vom Bundesgericht sind auf dem Informationsportal des Cercle Bruit⁶ zu finden.

⁵ Norm in Überarbeitung: E DIN 45680:2013-09

⁶ www.laerm.ch/rechtsprechung

Lärmschutznachweis für HLKK Anlagen bei einfachen Situationen

Beurteilung der Lärmimmissionen von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kühlanlagen

Generelle Angaben / Standort der Anlage

Adresse Parzelle Nr.
 PLZ / Ort Baugesuchs-Nr.

Angaben zur Anlage (techn. Datenblatt + Situationsplan mit eingezeichneter Anlage beilegen)

Art der Anlage: Lüftung Klimatisierung Rückkühler andere Angabe des Herstellers:
 Hersteller Schalleistung L_{wA} dBA LwA
 Modell / Typ Schalldruckpegel L_{pA} dBA LpA
 Leistung kW bei s_1 m

Schalleistungspegel aussen L_{wA} 0 dBA

Distanz (s) Quelle - Empfänger: m
 (Nachbargebäude; wenn unbebaute Nachbarparzelle: Baulinie, resp. Grenzabstand; MFH: im Gebäude selber)

Planungswert gemäss Anhang 6 LSV ES II (Wohnzone) ES III (z.B. Mischzone) ES IV 50 dBA Nacht
 60 dBA Tag

Betroffener Raum ist Betriebsraum gemäss Art. 42 LSV? Ja

Berechnung des Beurteilungspegels L_r am Empfangsort

Korrekturfaktoren

Richtwirkungs-  Anlage im Gebäude, Schacht an der Fassade (+ 6 dB)
 korrektur D_c  Anlage im Gebäude, Schacht in einspringender Fassadenecke (+ 9 dB)
 Anlage aussen an der Fassade (+ 6 dB)
 Anlage aussen in einspringender Fassadenecke (+ 9 dB)
 Anlage freistehend, auf Dach (+ 3 dB) 6 dB

Schalldruckpegel L_{pA} am Empfangsort ($L_{pA} = L_{wA} - 11 + D_c - 20 \cdot \log(s/s_0)$) dBA

Pegelkorrektur K1 Betrieb während der Nacht (19:00 - 07:00 Uhr) 10 dB
 Betrieb am Tag (07:00 - 19:00 Uhr) 5 dB

Pegelkorrektur K2 Hörbarkeit der Tonhaltigkeit
 nicht hörbar
 schwach hörbar + 2 dB (Normalfall)
 deutlich hörbar + 4 dB
 stark hörbar + 6 dB 2 dB

Pegelkorrektur K3 Hörbarkeit der Impulshaltigkeit
 nicht hörbar (Normalfall: 1-stufiger monovalenter Betrieb)
 schwach hörbar + 2 dB (2-stufiger Betrieb od. Doppelanlage)
 deutlich hörbar + 4 dB
 stark hörbar + 6 dB 0 dB

Pegelkorrektur durch Betriebsdauer t: 720 Min. in der Nacht 0.0 dB
 (In der Regel: t = 720 Min, Abweichungen sind zu begründen) 720 Min. am Tag 0.0 dB

Lärmschutzmassnahmen Schalldämpfer dB
 Andere: dB dB 0 dB
 Andere:

Beurteilungspegel L_r Nacht dBA
 Tag dBA

Der Planungswert von 50 dBA wird in der Nacht
 60 dBA wird am Tag

Wurde das Vorsorgeprinzip berücksichtigt? Ja Nein

Verfasser

1. Öl-/Gasheizung

1.1 Fakten

In einem Einfamilienhaus wurde 2004 die bestehende Heizung durch eine neue Öl- resp. Gasheizung ersetzt. Diese wurde ohne spezielle Lärmschutzmassnahmen eingebaut. Die Heizung wird für die Warmwassererzeugung und Gebäudeerwärmung betrieben. Die Anlage schaltet je nach Wärmebedarf während 24 Stunden ein und aus.

Die durchschnittliche Betriebszeit beträgt:

	Tag (7–19 h)	Nacht (19–7 h)	Total
Sommer	3 h	3 h	6 h
Winter	7 h	5 h	12 h

Aufgrund von Lärmklagen der Nachbarn wird eine Lärmmessung durchgeführt. Die Nachbarn befinden sich in der Lärm-Empfindlichkeitsstufe (ES) II.

1.2 Beurteilung

Der gemessene Immissionspegel der Heizung beträgt 36.8 dB(A). Es ist ein schwach hörbarer Tongehalt und einem nicht hörbaren Impulsgehalt vorhanden. Die Beurteilung erfolgt für die Nacht.

Die durchschnittliche tägliche Betriebsdauer beträgt $(3\text{ h} + 7\text{ h}) / 2 = 5\text{ h}$ am Tag und $(3\text{ h} + 5\text{ h}) / 2 = 4\text{ h}$ in der Nacht.

	Werte
L_{eq}	36.8 dB(A)
K1 Nacht	10 dB
K2	2 dB
K3	0 dB
t	240 Minuten
PW ES II Nacht	45 dB(A)

$$L_r = L_{eq} + K1 + K2 + K3 + 10 \cdot \log(t / t_0)$$

$$L_r = 36.8\text{ dB(A)} + 10\text{ dB} + 2\text{ dB} + 0\text{ dB} + 10 \cdot \log(240\text{ Min.} / 720\text{ Min.}) = 48.8\text{ dB(A)} - 4.8\text{ dB} = 44.0\text{ dB(A)}$$

Der Beurteilungspegel beträgt 44 dB(A) und der Planungswert ist somit knapp eingehalten. Würde die Betriebszeitkorrektur nicht berücksichtigt resp. die Heizung immer laufen, so würde der Beurteilungspegel 49 dB(A) betragen und der Planungswert wäre um 4 dB überschritten.

Da bisher keine vorsorglichen Lärmschutzmassnahmen umgesetzt wurden, ist ein Schalldämpfer einzubauen. Durch den Einbau eines Schalldämpfers mit 10 dB Wirksamkeit reduzieren sich die Lärmimmissionen auf rund 27 dB(A). Diese heben sich nicht mehr wesentlich von den restlichen Umgebungsgeräuschen in einem Wohnquartier ab.

1.3 Erläuterung und Hinweise

Ein Schalldämpfer kann entweder zwischen Heizung und Kamin eingebaut, in den Kamin eingebaut oder auf dem Kamin aufgesetzt werden. Die Kosten eines Schalldämpfers liegen in der Grössenordnung von 500 bis 1 000 CHF. Ein Schalldämpfer kann je nach Bauart eine Wirksamkeit von 10 bis 25 dB erreichen.

Der Einbau eines Schalldämpfers gilt als Stand der Technik und stellt eine Massnahme im Sinne der Vorsorge dar, welche technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist.

2. Heubelüftung

2.1 Fakten

Bei einem Bauernbetrieb wird während des Sommerhalbjahres (Mai bis Oktober) eine Heubelüftungsanlage betrieben, um das Heu zu trocknen und einen Brand im Heustock zu verhindern. Die Heubelüftungsanlage befindet sich aussen an der Fassade der Scheune.

Nachdem Heu oder Emd in die Scheune gebracht wird, läuft die Heubelüftung jeweils 2 Tage ununterbrochen und danach als Intervallbelüftung weitere 2 bis 4 Tage (abhängig von Luftfeuchtigkeit und Temperatur). Dies geschieht 15 Mal pro Sommer.

	Dauer	pro Tag
Dauerbelüftung	2 Tage	24 h
Intervallbelüftung	2–4 Tage	4 h

Im Weiler «Matten», der sich in der Lärm-Empfindlichkeitsstufe (ES) III befindet, fühlen sich mehrere Neuzuzüger durch die Lärmimmissionen gestört. Aufgrund der Klagen ist eine lärmrechtliche Beurteilung notwendig.

2.2 Beurteilung

Der Schalldruckpegel der Heubelüftung wurde in 7 m Abstand zur Anlage gemessen und beträgt 74 dB(A). Die Distanz zum Weiler «Matten» beträgt 75 m. Es ist am Immissionsort ein deutlich hörbarer Tongehalt und einem nicht hörbaren Impulsgehalt vorhanden (Normalfall). Die Beurteilung erfolgt für die Nacht.

	Werte
L_p in 7 m Abstand	74 dB(A)
s	75 m
K1 Nacht	10 dB
K2	4 dB
K3	0 dB
PW ES III Nacht	50 dB(A)
IGW ES III Nacht	55 dB(A)
Wirkung Holzwand	10 dB

Als Lärmschutzmassnahme wurde zu Testzwecken eine provisorische Holzwand bei der Heubelüftung installiert. Es wurde mit der Holzwand eine Pegelreduktion von 10 dB gemessen.

Die durchschnittliche tägliche Betriebsdauer wird aus der jährlichen Dauer (T) und der Anzahl der jährlichen Betriebstage (B) berechnet ($t = T / B$). In Analogie zur Beurteilung des saisonalen Betriebs von Beschneigungsanlagen⁷ ist eine feste Anzahl Betriebstage zu berücksichtigen. Bei Heubelüftungen ist zur Ermittlung der durchschnittlichen täglichen Betriebsdauer in allen Fällen $B = 100$ Tage einzusetzen.

$$T = 15 \cdot (2 \text{ Tage} \cdot 24 \text{ h/Tag} + 3 \text{ Tage} \cdot 4 \text{ h/Tag}) = 900 \text{ h bzw. je 450 h für den Tag und die Nacht}$$

$$t = 450 \text{ h} / 100 \text{ Tage} = 4.5 \text{ h am Tag und in der Nacht}$$

⁷ Leitfaden Lärmschutz bei Beschneigungsanlagen, Amt für Umwelt Graubünden

Für die Berechnung des Beurteilungspegels kann in einfachen Situationen das CB-Formular verwendet werden.

$$L_{eq} = L_{p,7m} - 20 \cdot \log(s / 7 \text{ m}) - \text{Wirkung Holzwand}$$

$$L_{eq} = 74 \text{ dB(A)} - 20 \cdot \log(75 \text{ m} / 7 \text{ m}) - 10 \text{ dB} = 74 \text{ dB(A)} - 20.6 \text{ dB} - 10 \text{ dB} = 43.4 \text{ dB(A)}$$

$$L_r = L_{eq} + K1 + K2 + K3 + 10 \cdot \log(t / t_0)$$

$$L_r = 43.4 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 10 \cdot \log(270 \text{ Min.} / 720 \text{ Min.}) = 57.4 \text{ dB(A)} - 4.3 \text{ dB} = 53.1 \text{ dB(A)}$$

Ist die Heubelüftung vor 1985 erstellt worden, so kann der Immissionsgrenzwert eingehalten werden. Ist die Heubelüftung nach 1985 erstellt worden, so wird der Planungswert beim Weiler «Matten» überschritten.

Mögliche Lärmschutzmassnahmen sind:

- Verbesserte Lärmschutzwand
- Quellennahe schallabsorbierende Kapselung/Einhausung des Motors
- Schalldämpfung wo die Luft angesogen wird
- Luft vorwärmen, so dass die Belüftungszeit reduziert und früher auf die Intervallbelüftung umgestellt werden kann
- Aufstellungsort auf der Seite, wo es keine bewohnten Gebäude und unüberbaute Bauzonen in der Nähe hat

2.3 Erläuterungen und Hinweise

Als laute und stark störende Lärmquelle ist die Heubelüftung einzeln zu beurteilen. Es werden nur die effektiven Betriebstage der Heubelüftung berücksichtigt. Die restlichen Betriebstage des Hofes ohne Betrieb der Heubelüftung dürfen in der Lärmbeurteilung nicht berücksichtigt werden.

Schalldruckpegel von Heubelüftungsanlagen variieren zwischen 60 und 80 dB(A) in 7 m Abstand. Auf der Homepage von Agroscope ist eine ausführliche Ventilatoren-Liste (2011) zu finden. Es gibt im Internet kaum neuere Angaben zum Schalleistungspegel von Ventilatoren bzw. Heubelüftungsanlagen, deshalb wird empfohlen bei bestehenden Anlagen Messungen durchzuführen.

Es sind in der Praxis oft Occasionen und ältere Modelle in Betrieb. Es ist zu überprüfen, ob diese ordnungsgemäss funktionieren und korrekt betrieben werden.

3. LKW-Kühlaggregat

3.1 Fakten

Das Betriebsareal eines neuen Logistikbetriebs grenzt an ein Wohnquartier mit der Lärmempfindlichkeitsstufe (ES) III. Die meisten relevanten Lärmquellen befinden sich auf der dem Wohnquartier abgewandten Seite und fallen daher bei der Beurteilung nicht ins Gewicht. Kritisch sind dagegen fünf Standplätze für Kühlcontainer mit dieselbetriebenen Kühlaggregaten, welche sich auf der Seite des Wohnquartiers in einem Abstand von rund 120 m zu den nächsten Liegenschaften mit lärmempfindlicher Nutzung befinden.

3.2 Beurteilung

Der Schalleistungspegel der Kühlaggregate beträgt je 90 dB(A). Da sich die 5 Standplätze direkt nebeneinander befinden und die Distanz zum Empfänger relativ gross ist, kann überschlagsmässig mit einem Summenpegel von $90 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \log(5) = 97 \text{ dB(A)}$ und einer mittleren Distanz gerechnet werden.

Die Standplätze sind freistehend. Es ist am Immissionsort ein deutlich hörbarer Tongehalt und einem nicht hörbaren Impulsgehalt vorhanden. Die Beurteilung erfolgt für die Nacht. Es werden nur die dieselbetriebenen Kühlaggregate berücksichtigt da andere Lärmquellen in diesem Fall am Immissionsort nicht relevant sind.

	Werte
Kühlaggregate	5 Stk.
$L_{W,A}$	je 90 dB(A)
$L_{W,A,tot}$	97 dB(A)
s	120 m
D_C	3 dB
K1 Nacht	10 dB
K2	4 dB
K3	0 dB
t	je 180 Minuten
PW ES III Nacht	50 dB(A)

$$L_{eq} = L_{W,A,tot} - 11 \text{ dB} + D_C - 20 \cdot \log(s / s_0)$$

$$L_{eq} = 97 \text{ dB(A)} - 11 \text{ dB} + 3 \text{ dB} - 20 \cdot \log(120 \text{ m} / 1 \text{ m}) = 89 \text{ dB(A)} - 41.6 \text{ dB} = 47.4 \text{ dB(A)}$$

$$L_r = L_{eq} + K1 + K2 + K3 + 10 \cdot \log(t / t_0)$$

$$L_r = 47.4 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 10 \cdot \log(180 \text{ Min.} / 720 \text{ Min.}) = 61.4 \text{ dB(A)} - 6.0 \text{ dB} = 55.4 \text{ dB(A)}$$

Der Planungswert der Lärm-Empfindlichkeitsstufe ES III wird in der Nacht bei der am stärksten betroffenen Liegenschaft überschritten.

Mögliche Lärmschutzmassnahmen sind:

- Verschieben der Standplätze auf die abgewandte Seite des Betriebes
- Elektrischer Betrieb der Kühlaggregate (Reduktion bis zu 10 dB)
- Errichten einer Lärmschutzwand zwischen den Standplätzen und den Wohnliegenschaften

3.3 Erläuterungen und Hinweise

Bei Logistikbetrieben sind oftmals die Kühlaggregate, aufgrund der Pegelkorrektur K1 von +10 dB in der Nacht die massgebenden Schallquellen. In der Regel sind bei solchen Situationen jedoch ebenfalls das Handling mit den Kühlcontainern, Ver-, Be- und Entladevorgänge etc. zu berücksichtigen. Dies ist jedoch nicht Bestandteil dieser Vollzugshilfe.

Sollten sich in anderen Fällen die einzelnen Aggregate weiter verteilt befinden, oder die Distanz zum Empfänger deutlich geringer sein, so kann jede einzelne Quelle separat berechnet und dann die einzelnen Pegel energetisch addiert werden. Bei komplexeren Fällen bietet sich eine Berechnung mittels eines Schallausbreitungsberechnungsprogramms an.

4. Rückkühler

4.1 Fakten

In einem Rechenzentrum werden für die Kühlung der Betriebsräume auf dem Dach Rückkühler betrieben. Für alle zu kühlende Anlageteile kommen sechs mechanisch miteinander verbundene Rückkühler (Standardausführung) zum Einsatz. Bei Volllast des Rechenzentrums und hohen Aussentemperaturen (Sommer) laufen maximal vier Rückkühler auf voller Leistung rund um die Uhr. Die restlichen Rückkühler dienen als Ausfallreserve.

Im Baugesuch wurde für das Rechenzentrum eine Auflage formuliert, die den Nachweis zur Einhaltung des für die Rückkühler geltenden Belastungsgrenzwertes in der Nachbarschaft erfordert. Die nächstgelegenen lärmempfindlichen Räume befinden sich in der ES III in einem Abstand von 120 m.

4.2 Beurteilung

Der Schalldruckpegel der Rückkühler mit Axialventilatoren, serienmässig mit 2 Drehzahlen, Nennleistung 100 bis 400 kW beträgt nach EN 13487 in 10 m Entfernung 51 bis 58 dB(A). Der Summenpegel von 4 Rückkühlern beträgt bei Volllast $58 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \log(4) = 64 \text{ dB(A)}$. Lärmschutzmassnahmen sind keine vorgesehen.

Es wird von einem schwach hörbaren Tongehalt und einem nicht hörbaren Impulsgehalt ausgegangen (Normalfall). Die Beurteilung erfolgt für die Nacht.

	Werte
Rückkühler	4 Stk.
L_p in 10 m Abstand	je 58 dB(A)
$L_{p,tot}$ in 10 m Abstand	64 dB(A)
s	120 m
K1 Nacht	10 dB
K2	2 dB
K3	0 dB
t	je 720 Minuten
PW ES III Nacht	50 dB(A)

Für die Berechnung des Beurteilungspegels kann das CB-Formular verwendet werden.

$$L_{eq} = L_{p,tot,10m} - 20 \cdot \log(s / 10 \text{ m})$$

$$L_{eq} = 64 \text{ dB(A)} - 20 \cdot \log(120 \text{ m} / 10 \text{ m}) = 64 \text{ dB(A)} - 21.6 \text{ dB(A)} = 42.4 \text{ dB(A)}$$

$$L_r = L_{eq} + K1 + K2 + K3 + 10 \cdot \log(t / t_0)$$

$$L_r = 42.4 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 10 \cdot \log(720 \text{ Min.} / 720 \text{ Min.}) = 54.4 \text{ dB(A)} - 0 \text{ dB} = 54.4 \text{ dB(A)}$$

Der Beurteilungspegel beträgt 54 dB(A) beim Betrieb der vier Rückkühler bei Volllast. Die Rückkühler überschreiten somit den Planungswert von 50 dB(A) in der Nacht. Für die Anlage sind Massnahmen zur Reduktion der Geräusentwicklung notwendig.

Damit der Planungswert in der Nacht eingehalten werden kann, sind folgende Massnahmen möglich:

- Begrenzung der Ventilatorendrehzahl (Teillastbetrieb), dafür mehr Rückkühler gleichzeitig in Betrieb
- Geräte der Standardausführung durch leisere, lärmoptimierte Geräte ersetzen (grössere Rückkühlerflächen, langsam drehende Ventilatoren)
- Standort der Rückkühler prüfen und allenfalls mit Lärmschutzwand auf dem Dach gegen die Nachbarschaft abschirmen

Als Lärmschutzmassnahme werden leisere Rückkühler gewählt und die Ventilator Drehzahl von 22 bis 06 Uhr reduziert. Der Schalldruckpegel der Rückkühler beträgt in 10m Entfernung 43 bis 55 dB(A). Der Summenpegel von 4 Rückkühlern beträgt bei hoher Drehzahl $55 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \log(4) = 61.0 \text{ dB(A)}$ und von 6 Rückkühlern bei tiefer Drehzahl $43 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \log(6) = 50.8 \text{ dB(A)}$.

Es wird von einem schwach hörbaren Tongehalt und einem nicht hörbaren Impulsgehalt ausgegangen (Normalfall). Die Beurteilung erfolgt für die Nacht.

	Werte	
Rückkühler	4 Stk.	6 Stk.
Drehzahl Stufe	II	I
Betriebszeit	6–22 Uhr	22–6 Uhr
L_p in 10m Abstand	je 55 dB(A)	je 43 dB(A)
$L_{p,tot}$ in 10m Abstand	61 dB(A)	51 dB(A)
s	120 m	
K1 Nacht	10 dB	
K2	2 dB	
K3	0 dB	
PW ES III Nacht	50 dB(A)	

Lärmphase 1 (19–22 Uhr und 06–07 Uhr): $t_1 = 4 \text{ Stunden} = 240 \text{ Min.}$

Lärmphase 2 (22–06 Uhr): $t_2 = 8 \text{ Stunden} = 480 \text{ Min.}$

$$L_{eq,1} = 61 \text{ dB(A)} - 20 \cdot \log(120 \text{ m} / 10 \text{ m}) = 61 \text{ dB(A)} - 21.6 \text{ dB(A)} = 39.4 \text{ dB(A)}$$

$$L_{r,1} = 39.4 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 10 \cdot \log(240 \text{ Min.} / 720 \text{ Min.}) = 51.4 \text{ dB(A)} - 4.8 \text{ dB} = 46.6 \text{ dB(A)}$$

$$L_{eq,2} = 50.8 \text{ dB(A)} - 20 \cdot \log(120 \text{ m} / 10 \text{ m}) = 50.8 \text{ dB(A)} - 21.6 \text{ dB(A)} = 29.2 \text{ dB(A)}$$

$$L_{r,2} = 29.2 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + 10 \cdot \log(480 \text{ Min.} / 720 \text{ Min.}) = 41.4 \text{ dB(A)} - 1.8 \text{ dB} = 39.4 \text{ dB(A)}$$

$$L_r = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot L_{r,1}} + 10^{0.1 \cdot L_{r,2}}) = 47.4 \text{ dB(A)}$$

Der Beurteilungspegel beträgt 47 dB(A) beim Betrieb der Rückkühler. Der Planungswert von 50 dB(A) in der Nacht kann mit den vorgesehenen Lärmschutzmassnahmen eingehalten werden.

4.3 Erläuterungen und Hinweise

Die Berechnung der zwei unterschiedlichen Betriebsstufen erfolgt als zwei separate Lärmphasen. Für die Beurteilung der Lärmimmissionen der Anlage werden die Beurteilungspegel der zwei Lärmphasen energetisch addiert.