

DEON AG  
dipl. Arch. ETH BSA  
Herr Martin Schuler  
Pfistergasse 23  
CH 6003 Luzern

Luzern, 25. September 2020

**c1 6817**

**Bahnhof Nord, Sursee**

## Ziel-/Nutzungsvereinbarung Bauphysik

Mit dieser Ziel-/Nutzungsvereinbarung werden einerseits die bauphysikalisch relevanten Kriterien festgelegt und die einzuhaltenden Anforderungen definiert. Andererseits wird festgelegt, welche Kriterien von RSP Bauphysik AG zu beurteilen und zu verantworten sind (offerierte Dienstleistungen) und welche Kriterien anderweitig beurteilt und verantwortet werden.

Betreffend den Schallschutz und Raumakustik werden auch die vorgesehenen Massnahmen hinsichtlich Einhaltung der vereinbarten Anforderungen beurteilt und allenfalls optimiert, bzw. bestätigt, dass die vereinbarten Anforderungen bei korrekter Ausführung eingehalten werden können.

Das Einhalten der Schallschutzanforderungen betreffend die Geräusche von haustechnischen Anlagen und festen Einrichtungen im Gebäude ist von den entsprechenden Fachplanern zu gewährleisten (Elektroplaner/HLKS).

Zudem wird protokolliert, wann welche Bearbeitung erfolgte und welche Entscheidungen getroffen wurden.

Folgende Bauphysik-Kriterien werden unterschieden:

- |   |               |
|---|---------------|
| – Behaglichkeit                         | vgl. Anhang A |
| – Wärmeschutz im Winter/Energiestandard | vgl. Anhang B |
| – Wärmeschutz im Sommer                 | vgl. Anhang C |
| – Feuchteschutz                         | vgl. Anhang D |
| – Luftdichtheit                         | vgl. Anhang E |
| – Schallschutz (Innen- und Aussenlärm)  | vgl. Anhang F |
| – Lärmschutz                            | vgl. Anhang G |
| – Raumakustik                           | vgl. Anhang H |

## 1. Objektspezifikationen

### 1.1 Nutzung

- Wohnhaus EFH
- Wohnhaus MFH mit Mietwohnungen (Mindestanforderungen an den Schallschutz)
- Schulhaus
- Verwaltungsbau
- Gemischte Nutzung (Verkauf, Büro, Wohnen)
- .....

### 1.2 Raumklimatische Bedingungen

- Es werden die im Merkblatt SIA 2024 definierten Standard-Nutzungsbedingungen (Raumklima) eingehalten.
- Es werden spezielle klimatische Bedingungen vereinbart:
  - Raumlufttemperatur ... °C
  - Relative Raumluftfeuchte ... %

## 2. Bauphysik-Kriterien: Standard, Dienstleistungen und Bearbeitung/Verantwortung

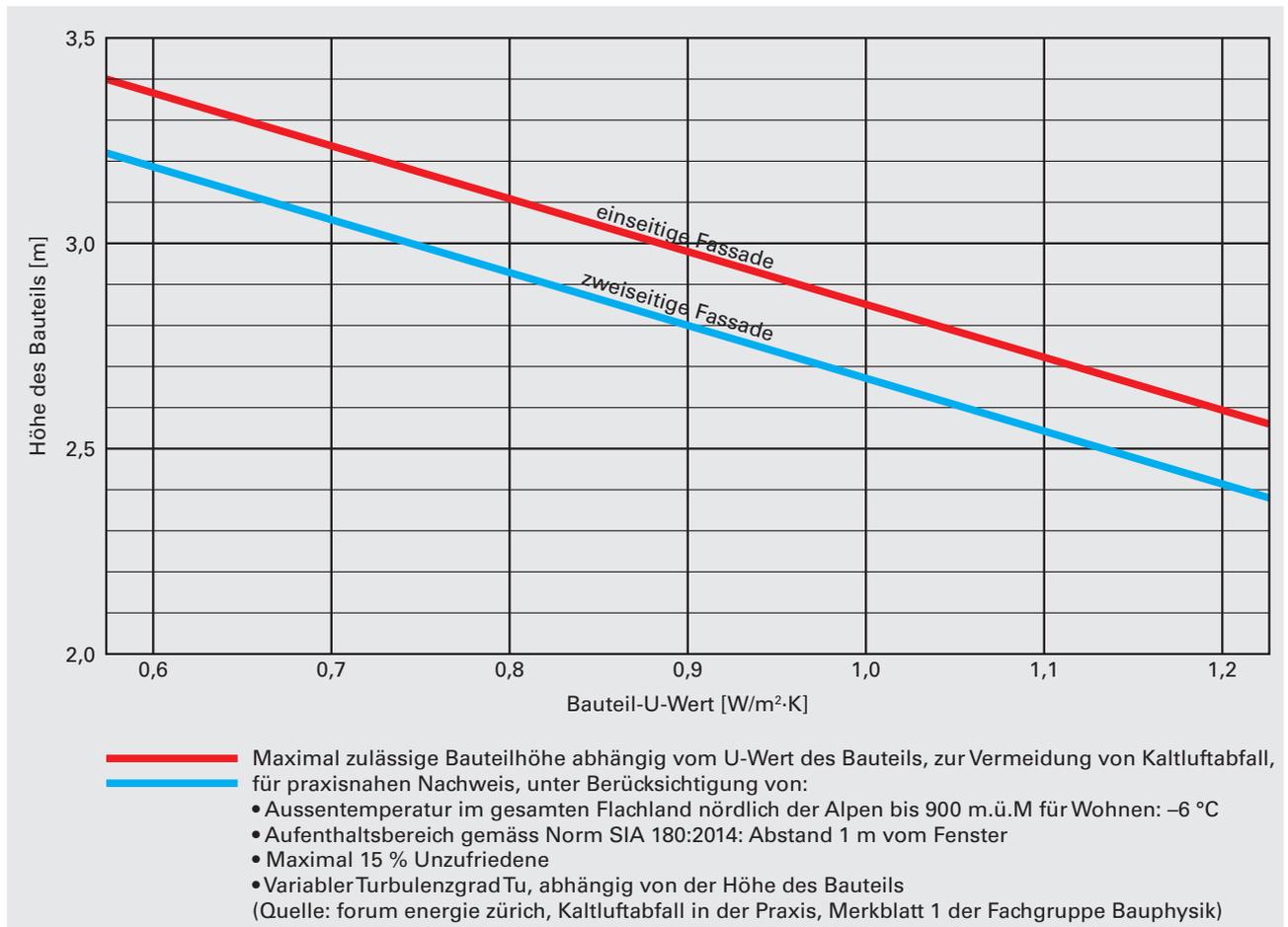
### 2.1 Behaglichkeit (Hinweise vgl. Anhang A)

	Beurteilung/ Verantwortung durch	
	RSP AG	Andere
– Generelle thermische Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> HLK
– Temperatur in den Räumen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> HLK
– Oberflächentemperaturen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Zugluft generell	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> HLK
– Zugluft/Kaltluftabfall	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Gewährleistung mit «Warmluftvorhang» (Heizkörper)	<input type="checkbox"/>	
• Gewährleistung ohne «Warmluftvorhang» (Heizkörper)	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Akzeptierte Randbedingungen für Kaltluftabfall/Behaglichkeit	<input checked="" type="checkbox"/>	
– massgebende Aussenlufttemperatur		–6 °C
– in Kauf genommene Unzufriedene		20 %
– Behaglich in folgendem Abstand zum Aussenbauteil		1 m
– Turbulenzgrad Tu		40 %
• Evtl. differenzierte rechnerische Beurteilung des Kaltluftabfalls	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Gewährleistung der relativen Raumluftfeuchte (keine Garantie für Luftfeuchten)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> HLK
– Gewährleistung der Luftqualität (Schadstoffe u.Ä.)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> HLK

#### 2.1.1 Stand der Bearbeitung/Aussagen RSP

Mai 2020:

- Definieren der Anforderungen und Abgrenzung der Verantwortlichkeiten



Max. zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{\text{max}}$  eines Bauteils, bei unterschiedlichen, objektspezifisch zu vereinbarenden Randbedingungen (Zielvereinbarung) bzw. wie sie vom Forum Energie Zürich für die Praxis festgelegt wurden.

## 2.2 Wärmeschutz im Winter/Energiestandard (Hinweise vgl. Anhang B)

	Beurteilung/ Verantwortung durch	
	RSP AG	Andere
– Konzeptionelle Überlegungen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Mindestwärmeschutz gemäss Norm SIA 180:2014	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Einzelbauteilnachweis mit:		
• Standardlösung 1 für Höchstanteil nicht erneuerbare Energie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Standardlösung 2 oder 3 für Höchstanteil nicht erneuerbare Energie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Standardlösung 4 bis 11 für Höchstanteil nicht erneuerbare Energie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Systemnachweis gemäss Norm SIA 380/1:2016 für Standard:		
• MuKE n 2014 (Mindestwärmeschutz)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• MINERGIE (Anforderungen einhalten, mit/ohne Zertifizierung?)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• MINERGIE-A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• MINERGIE-P (Primäranforderung anstreben)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Nachweis der Einhaltung von Standards, unter Mitwirkung der relevanten Fachplaner:		
• MINERGIE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• MINERGIE-A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• MINERGIE-P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Zusatz ECO (Bauweise an diesem Standard ausrichten, ohne Zertifizierung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2.2.1 Spezielle Randbedingungen/Anforderungen

#### Gebäudestandard 2019 der Stadt Sursee:

- Leitlinie für öffentliche oder von Öffentlichkeit unterstützte Bauten.
- Ordentliche Zertifizierung nach MINERGIE A oder P oder SIA Effizienzpfad Energie mit Bestätigung einer unabhängigen Stelle.
- Wärmebedarf mit Energie aus erneuerbaren Ressourcen abdecken.
- Mind. 20% des Stroms wird am Gebäude produziert.
- ECO Anforderungen: Baustoffe gemäss ECO-BKP wählen.
- **Ein abschliessender Entscheid der Stadt Sursee dazu steht noch aus.**

#### Energiestandard gemäss Besprechung vom 22. Juni 2020 im Planungsteam

- Eine Zertifizierung soll wenn immer möglich vermieden werden.
  - Es soll kein Label angestrebt sondern ökologisch und ökonomisch sinnvoll geplant und gebaut werden.
  - Da das Gebäude keiner Ausnützungsziffer unterliegt, ist der Energiebonus nach PBV §14 gar kein Thema. Dies wurde von Daniel Ellenberger, Stadt Sursee auf Anfrage bestätigt.
  - Bei der Wahl des Energiestandards ist der Kühlung ein hoher Stellenwert beizumessen.
  - Stand heute wird folgende Richtung zur Weiterentwicklung favorisiert:
    - Minergie P anstreben, jedoch ohne Zertifizierung
    - Baustoffe gemäss ECO-BKP wählen, jedoch keine ECO-Zertifizierung
    - Planung unter Berücksichtigung des SIA-Effizienzpfad Energie (SIA Merkblatt 2040), ohne «Zertifizierung»
  - Folgende Energiequellen sollen geprüft werden (Auflistung nach Priorität):
    - Monovalent mit Grundwasser
    - Bivalent mit Grundwasser und Erdsonden
    - Bivalent mit Grundwasser und Fernwärme
    - Monovalent mit Erdsonden (38 Tiefenbohrungen zu 230 m nötig)
- Die Lösung mit Fernwärme schafft ungewünschte Abhängigkeiten (Vertragsbedingungen des Anbieters).

### 2.2.2 Stand der Bearbeitung/Aussagen RSP

Mai 2020:

- Definieren der Anforderungen und Abgrenzung der Verantwortlichkeiten
- Konzept für Verlauf der thermischen Gebäudehülle (vgl. Pläne).  
Anmerkung: Innerhalb der thermischen Gebäudehülle sind teilweise auch Räume angeordnet, welche nicht aktiv beheizt werden; die thermische Gebäudehülle definiert nur den Perimeter, über welchen die energetischen Anforderungen nachgewiesen werden (Heizwärmebedarf gemäss Norm SIA 380/1).

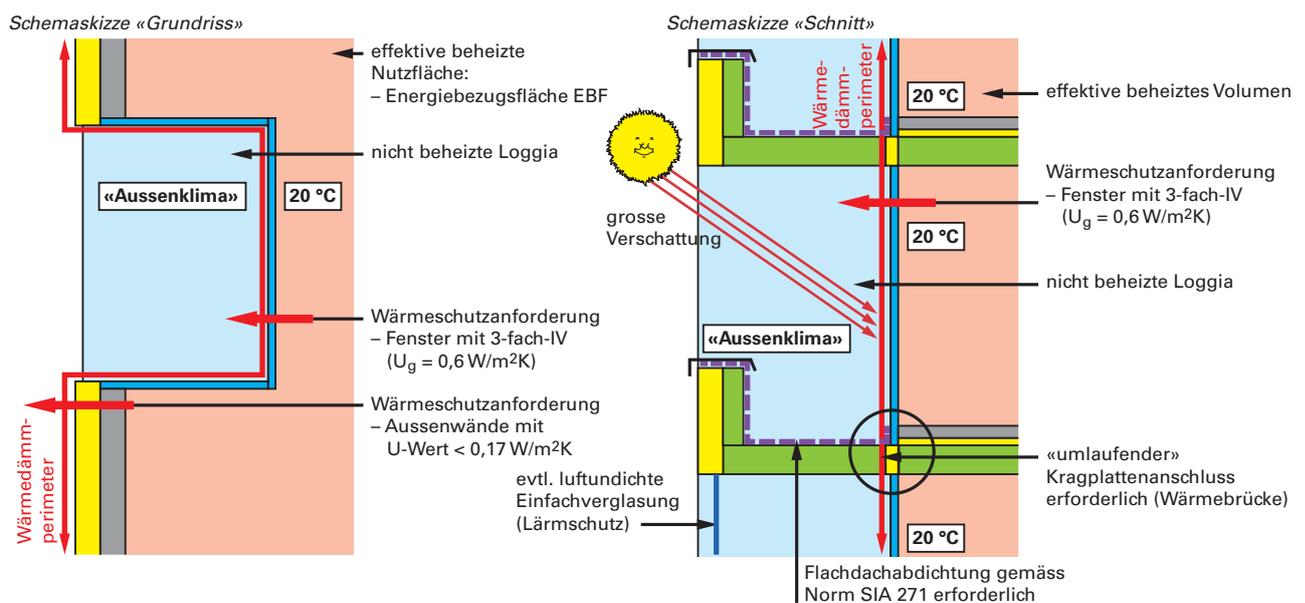
- Vorschlag für Anforderungen an den Wärmeschutz der Bauteile, mit dem Ziel einen Wärmeschutz im Kontext von MINERGIE-P zu gewährleisten:
  - Aussenwände mit U-Werten  $\leq 0,17 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
  - Flachdächer mit U-Werten  $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
  - Decke/Wände zwischen beheizten und unbeheizten Räumen/Erdreich mit U-Werten  $\leq 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
  - Böden/Wände gegen Erdreich mit U-Werten ( $U \cdot b$ )  $\leq 0,17 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
  - Fenster mit Rahmen-U-Wert  $U_f \leq 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , 3-fach-Isolierglas ( $U_g$ -Wert  $\leq 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ), warmer Kante ( $\Psi_g$ -Wert  $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) und g-Wert von etwa 53 %

22. Juni 2020; Verlauf Dämmperimeter Gebäudehülle bei Loggien (Entscheidungsgrundlage):  
Für die Loggien stehen verschiedene Konzepte zur Diskussion:

- Loggia ausserhalb der thermischen Gebäudehülle
  - evt. mit einfach verglastem Abschluss bei Fassadenflucht
- Loggia innerhalb der thermischen Gebäudehülle
  - mit Einschränkung der Nutzer
  - «ohne» Einschränkung der Nutzer

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der Konzepte aufgezeigt, um eine Entscheidung für die weitere Planung herbeizuführen.

### Variante 1: Loggia als Kaltraum



- Auf den ersten Blick eher kostengünstige Lösung
- Erfordert Kragplattenanschlüsse zur thermischen Trennung der auskragenden Betondecke
- Hohe Anforderungen an Ausbildung/Entwässerung der Flachdächer (Norm SIA 271 einhalten)
- Schlecht besonnte Fenster gegen die Loggia (wenig Energiegewinn durch Verschattung)
- Reduzierter Nutzwert der Loggia, z.B. als Jahreszeitenzimmer
- Ohne zusätzliche Verglasung kein Lärmschutz für die Loggia (z.B. luftundichte Fenster mit Einfachglas für genügenden Aussenluftwechsel, zur Vermeidung von Oberflächenkondensat)



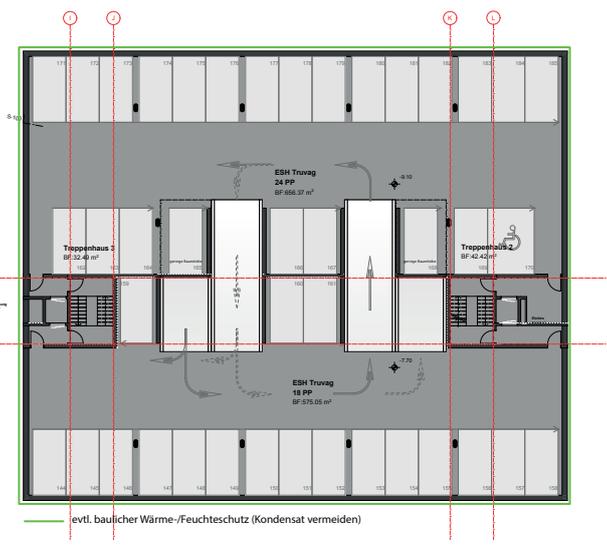
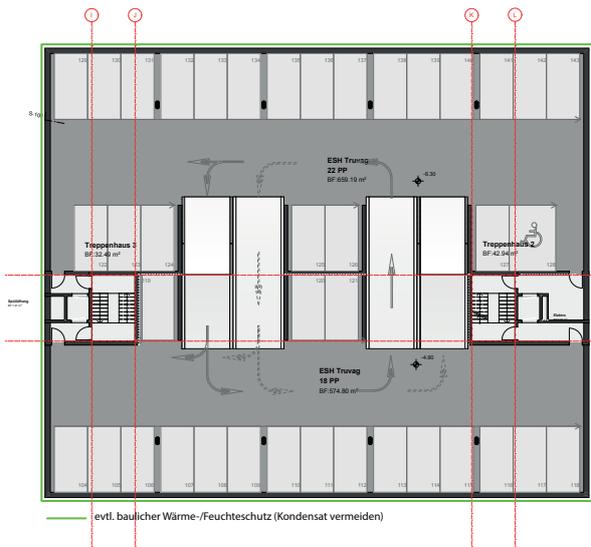
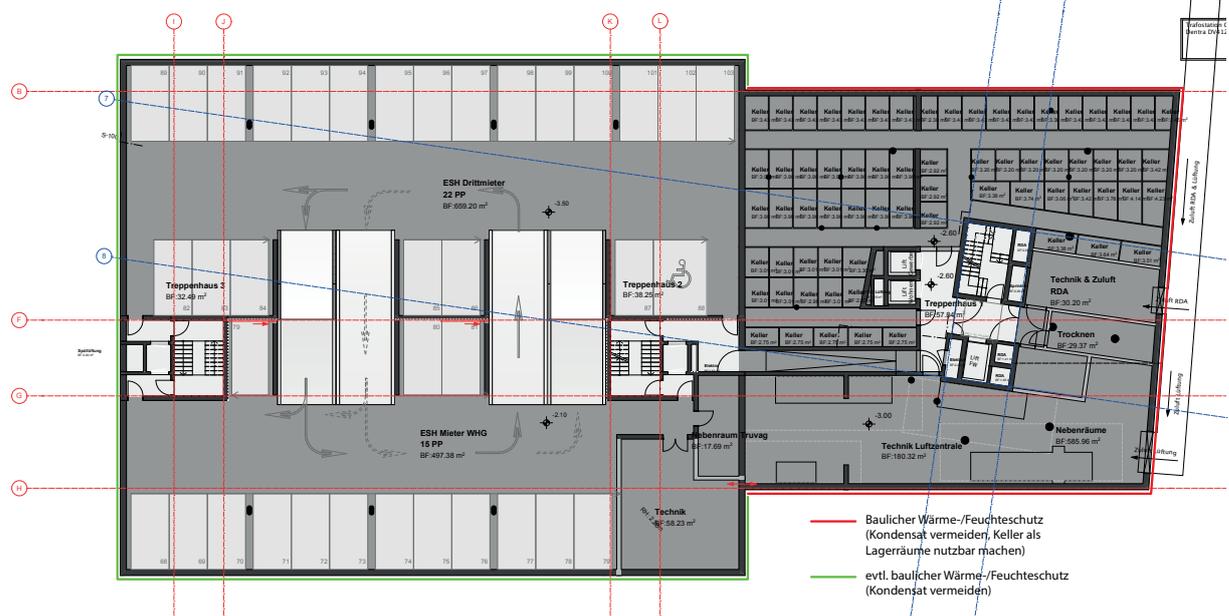
**Anmerkung zum Wärmeschutz bei den Fenstern**

- Bei der Variante 1, ohne wärmedämmende Verglasung vor der Loggia, müssen die Fenster zwingend mit 3-fach-Isolierglas ausgeführt werden.
- Bei den Varianten 2 und 3 macht bei den Fenstern zur Loggia hin nur eine 2-fach-Isolierverglasung Sinn und auch die Fenster vor der Loggia, welche die thermische Gebäudehülle bilden, können mittels 2-fach-Isolierglas aufgeführt werden. Nur wenn es aus Sicht des Heizwärmebedarfs, z.B. für einen Standard wie MINERGIE-P, erforderlich wird, müsste auf 3-fach-Isolierglas gewechselt werden.

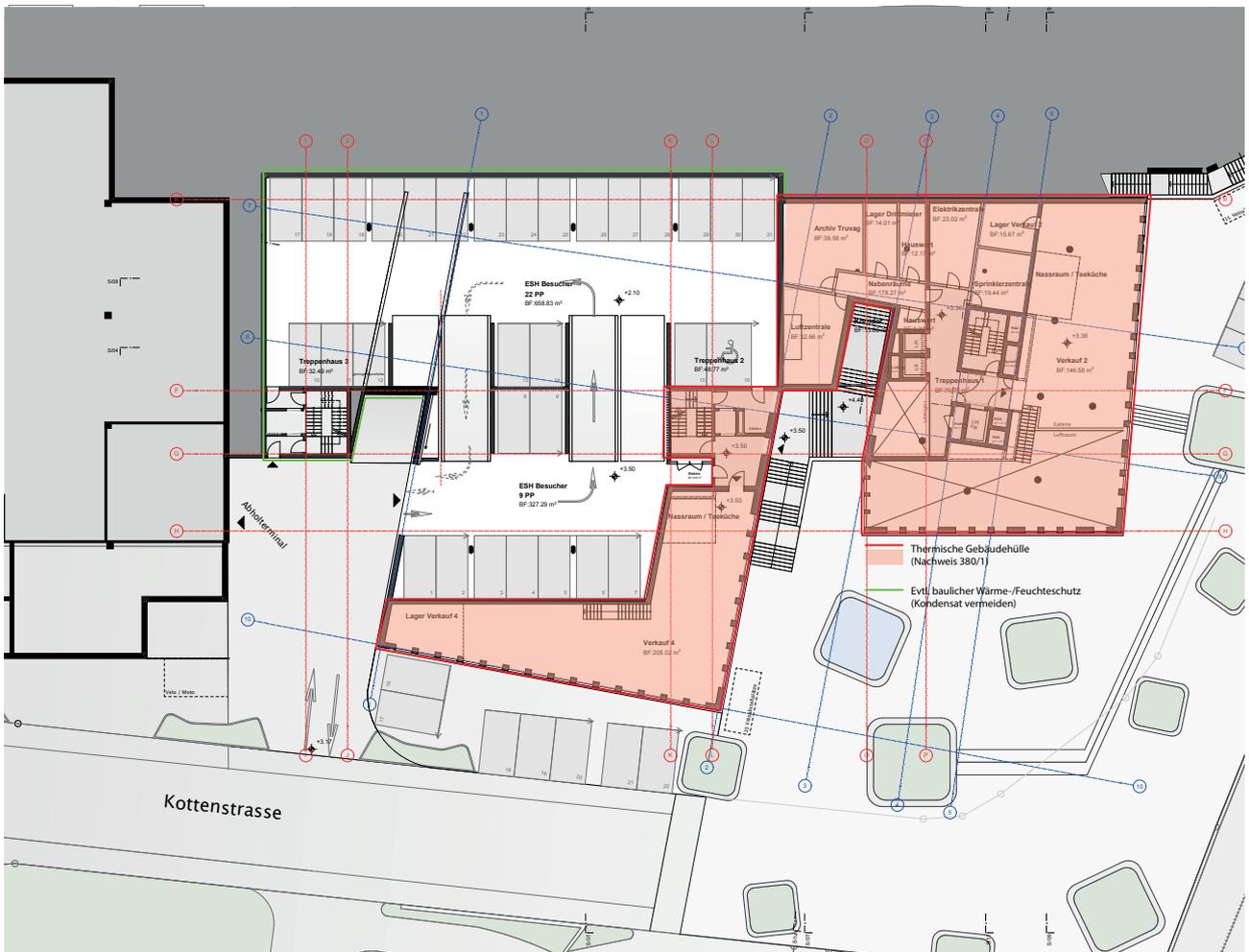
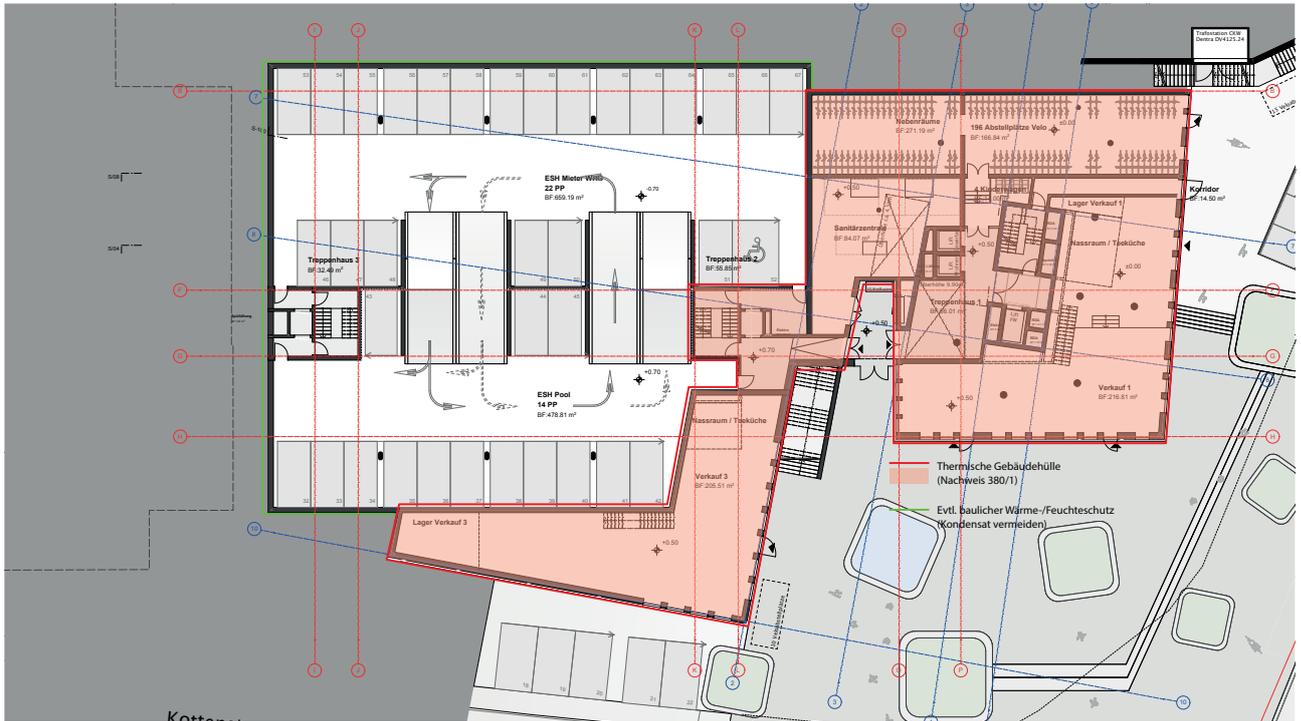
**Anmerkung zum Lärmschutz**

- Für den Schutz vor Aussenlärm ist die Fensterfront zwischen den effektiv beheizten Wohnungen und den Loggien massgebend. Durch die Loggia ist die Lärmbelastung auf die Fenster zur Loggia hin geringer, womit weniger hohe Anforderungen an das Schalldämmvermögen der Fenster gestellt werden.
- An die Fenster in der Fassadenebene, welche bei den Varianten 2 und 3 die thermische Gebäudehülle bilden, werden keine speziellen Anforderungen an den Schallschutz gestellt. Es können somit normale Wärmeschutzgläser verwendet werden.

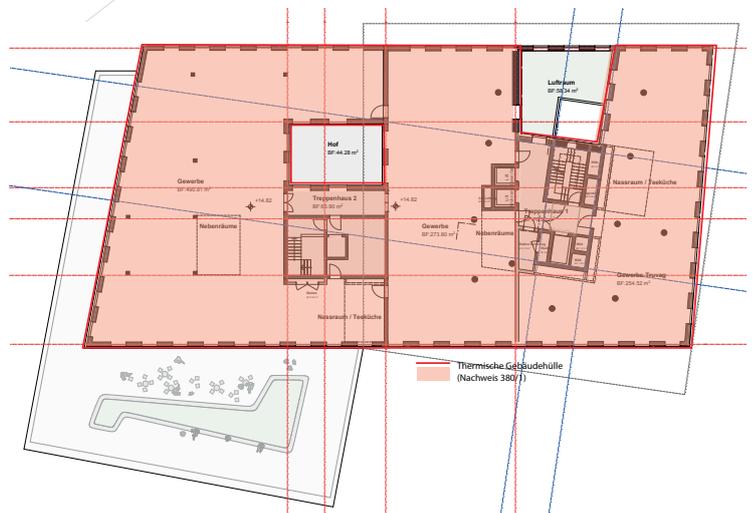
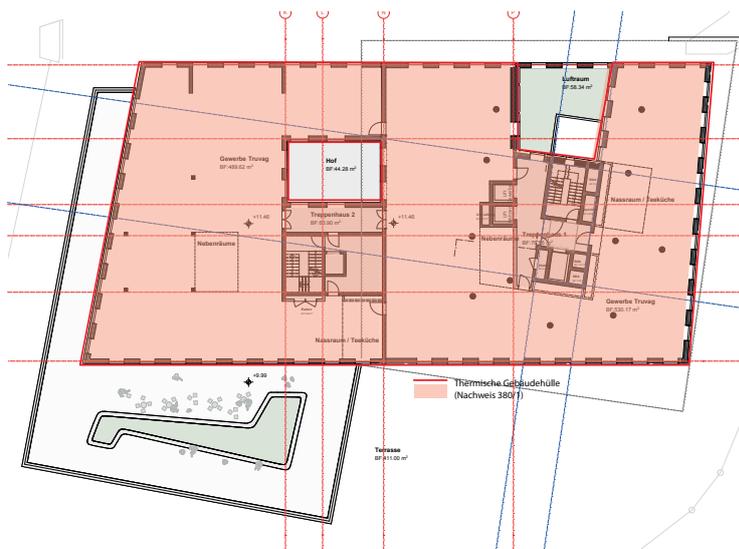
### Grundrisse 1. bis 3. Untergeschoss



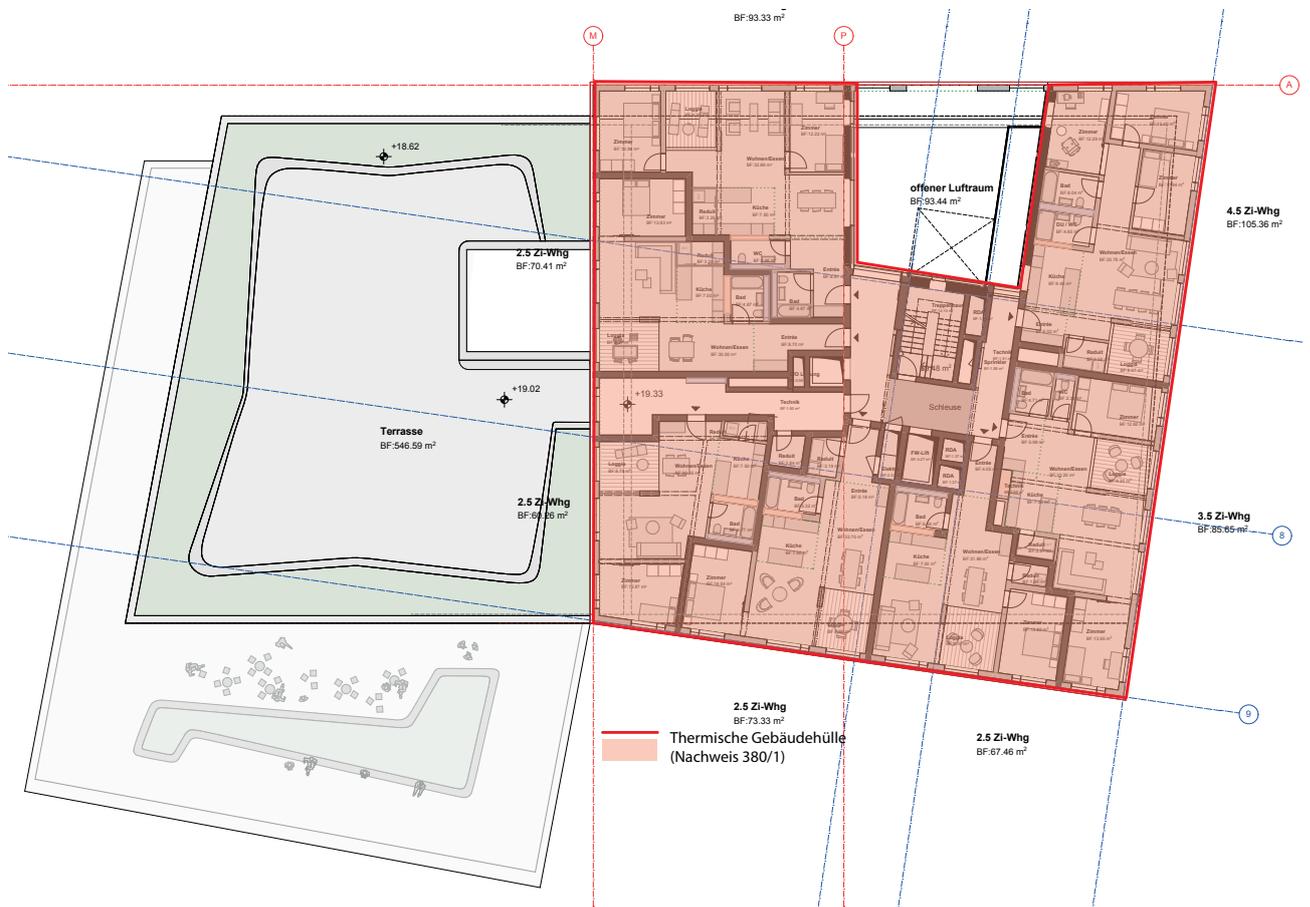
## Grundriss Bahnhofstrasse und Zwischengeschooss



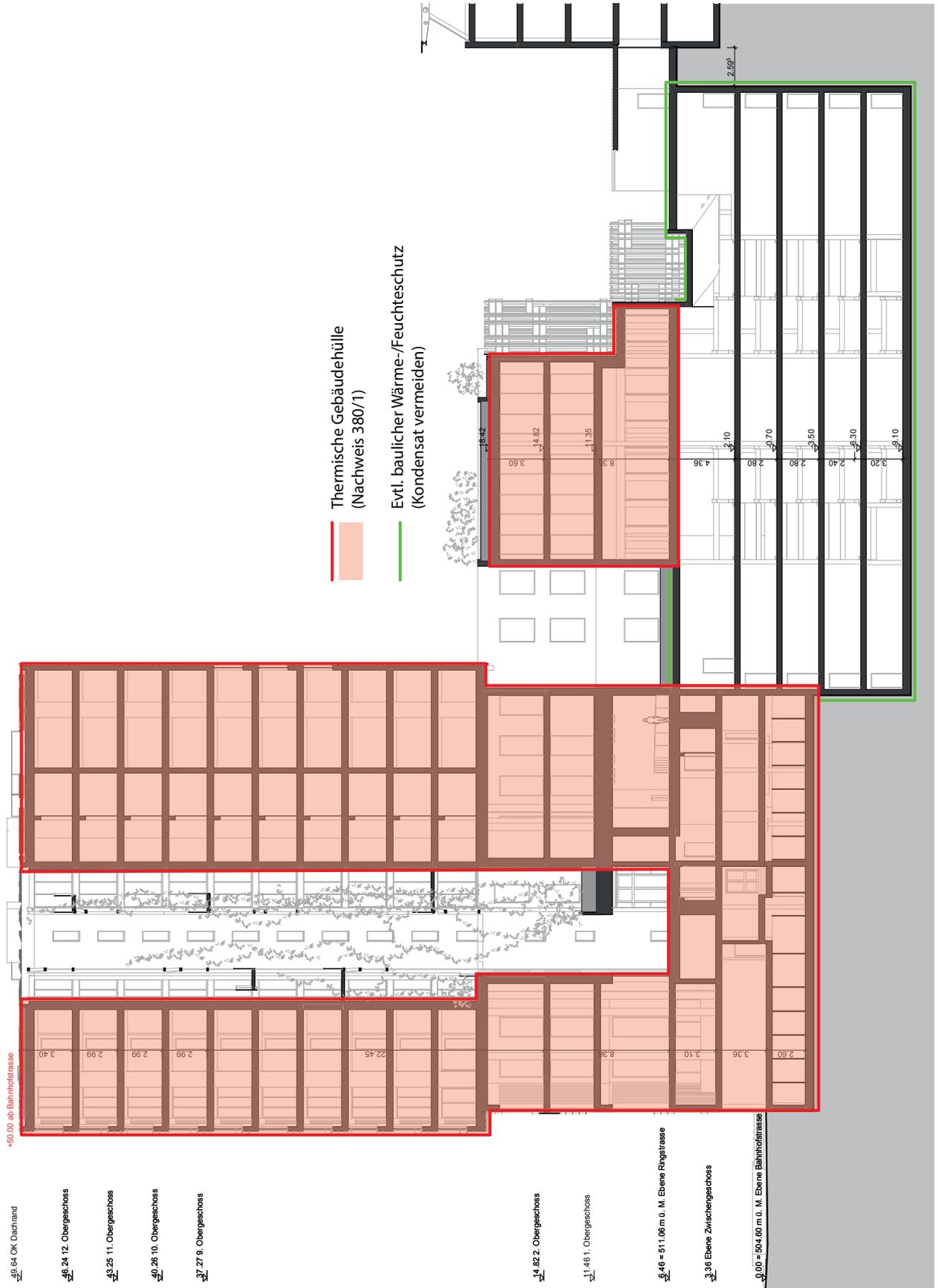
## Grundriss Ringstrasse/1. und 2. Gewerbegeschoss



## Wohngeschoss Regelgrundriss/Dachterrasse



# Längsschnitt



## 2.3 Wärmeschutz im Sommer (Hinweise vgl. Anhang C)

Beurteilung/  
Verantwortung durch  
RSP AG      Andere  
                     

- Das **Nachweisverfahren 1** kann angewendet werden
  - Einhalten von einfachen Kriterien.
    - alle Fenster mit Sonnenschutz mit  $g_{\text{tot}} \leq 0,1$  und Windklasse 6
    - Oberlichter kleiner als 5% der Nettogeschossfläche und mit Sonnenschutz
    - Dächer mit  $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
    - Die Raumtiefe beträgt mindestens 3,5 m
    - Gegenüberliegende Fassaden mit Fenstern haben mindestens einen Abstand von 7 m
    - Maximal zulässiger Glasanteil eingehalten (abhängig von Nutzung, Anzahl Fassaden mit Fenstern, Bedienungsort des Sonnenschutzes, Fensterorientierung und fixem Sonnenschutz)
  - Nachweis einer effizienten Nachtauskühlung.
  
- Das **Nachweisverfahren 2** kann angewendet werden
  - Nachweis einer effizienten Nachtauskühlung.
  - Nachweis, dass der Sonnenschutz die Anforderungen erfüllt:
    - g-Wert-Anforderung abhängig von Glasanteil und Fensterorientierung
    - Windfestigkeit gemäss Norm SIA 342:2009
    - automatisch gesteuert bei aktiv gekühlten Räumen
    - Oberflächentemperatur max. 5 K höher als Raumtemperatur (bei innen liegendem Sonnenschutz «kritisch»)
  - Nachweis, dass der Wärmeschutz und die Wärmespeicherfähigkeit ausreichend sind
    - Dach mit  $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
    - Wärmespeicherfähigkeit in jedem Raum  $45 \text{ Wh/m}^2\cdot\text{K}$
  
- Das **Nachweisverfahren 3** muss angewendet werden
  - Nachweis mittels Simulation, dass der thermische Komfort gemäss Norm SIA 180:2014, Ziffer 2.2, eingehalten werden kann.

### 2.3.1 Stand der Bearbeitung/Aussagen RSP

Mai 2020:

- Je nach Konzept/Randbedingungen kann das Nachweisverfahren 1 angewendet werden oder es sind differenzierte Berechnungen für das Nachweisverfahren 3 erforderlich.

September 2020:

- Es ist ein aussen liegender, windfester, textiler Sonnenschutz vorgesehen.

## 2.4 Feuchteschutz (Hinweise vgl. Anhang D)

	Beurteilung/ Verantwortung durch	
	RSP AG	Andere
– Vermeiden von Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbildung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Wärmebrückenberechnungen, Kriterium Oberflächentemperaturfaktor $f_{Rsi}$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Verhindern von unzulässiger Auffeuchtung im Bauteil	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Simulation von Auf- und Defeuchtung mit «WUFI»		
• evtl. Dampfdiffusionsnachweis nach «Glaser»		
– Feuchteschutz in Untergeschossräumen (Lagerräume)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Baulicher Wärme-/Feuchteschutz		
• Hinweise zur Luftkonditionierung (Luftentfeuchtung)		

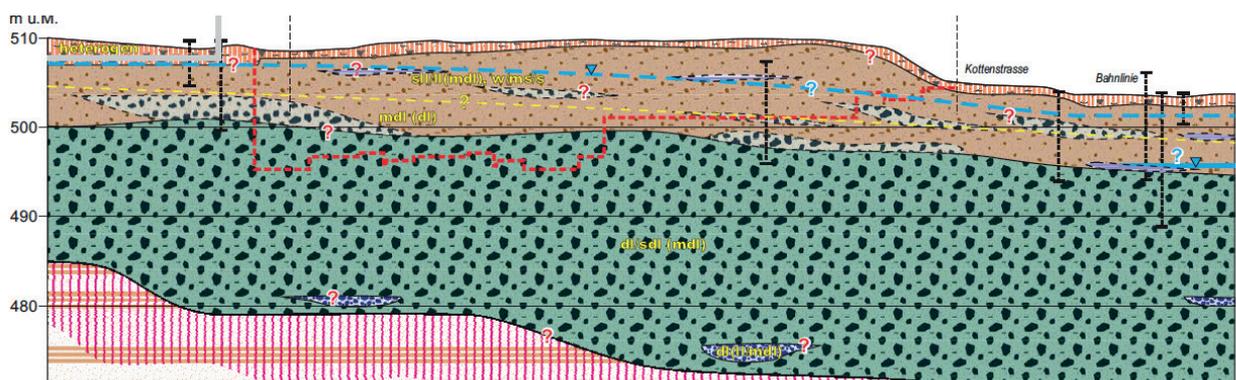
### 2.4.1 Stand der Bearbeitung/Aussagen RSP

Mai 2020:

- Die vorgesehene thermische Gebäudehülle gewährleistet hohe raumseitige Oberflächentemperaturen mit entsprechend geringem Risiko betreffend Feuchteschäden.
- In Keller-/Lagerräumen im Sockel- und Untergeschoss bietet der bauliche Wärme-/Feuchteschutz bei Bauteilen gegen Erdreich und Aussenklima gute Voraussetzungen für «trockene Lagerräume» (Verlauf vgl. Pläne im Kapitel 2.2 «Wärmeschutz im Winter»).
- Die für Lagerräume erforderlichen raumklimatischen Bedingungen werden mittels Lüftung/entfeuchtete Zuluft gewährleistet.
- Bei Grundwassereinfluss kann mit einer etwa 10 cm dicken XPS-Platte bei den Aussenwänden eine Perimeterdämmung realisiert werden, welche im Sommerhalbjahr die Oberflächentemperatur in unbeheizten Räumen von etwa 13,5 °C auf etwa 19,5 °C erhöht, dies bei Raumlufttemperaturen von 20 °C. Dadurch ist ein geringerer Aufwand für die Luftentfeuchtung zu erwarten (bei Keller-/Lagerräumen) bzw. in der Einstellhalle wird ohne Luftentfeuchtung das Risiko von Oberflächenkondensatausscheidung minimiert. Bei der Bodenplatte über Erdreich/Grundwasser wird meist auf eine Wärmedämmung unter der Bodenplatte verzichtet und das Risiko sowie die Akzeptanz von Kondensatausscheidung ist wesentlich grösser als im Wandbereich.
- Bei erdberührten Bauteilen/Grundwassereinfluss definiert der Bauingenieur die zu erreichende Dichtigkeitsklasse und die entsprechenden baulichen Massnahmen.
- Durch normkonforme, fachgerechte Ausführung von Dächern, Wänden und Fenstern ist zu gewährleisten, dass Wasserinfiltrationen vermieden werden können.

Juli 2020:

- Der Grundwasser spiegel ist gemäss Gutachten von Keller+Lorenz AG hoch (vgl. Planausschnitt).
- Gemäss tel. Besprechung mit Herr Markus Erler von Keller + Lorenz AG ist nicht mit einem «ruhigen Grundwasser» zu rechnen sondern eher mit einem sich bewegenden Grundwasserverlauf.
- Es ist somit zu erwarten, dass sich das Bauwerk im Grundwasserbereich infolgen Grundwasserstrom auskühlt und dass das Kondensatrisiko im Sommerhalbjahr bei Aussenbauteilen gegen Grundwasser ohne entsprechende Massnahmen gegeben ist.



## 2.5 Luftdichtheit (Hinweise vgl. Anhang E)

- Konzeptionelle Überlegungen
- Festlegen der Nutzungszonen (Verlauf der Luftdichtung)
- Überprüfen der Planung hinsichtlich Gewährleistung der Luftdichtheit
- Kontrolle der Ausführung in Zusammenarbeit mit Bauleitung
- Kontroll- und Abnahmemessungen (Blower-Door-Messung)

Beurteilung/ Verantwortung durch	
RSP AG	Andere
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2.5.1 Stand der Bearbeitung/Aussagen RSP

Mai 2020:

- Angaben und Konzept für Dokumentation/Eingabe Luftdichtheit.

#### Anforderungen gemäss Norm SIA 180\_2014

- Die Anforderungen an die Luftdichtheit betreffen nicht nur die thermische Gebäudehülle, sondern situationsbedingt auch Trennwände innerhalb eines Gebäudes (Wohnungstrennwände, unterschiedliche Nutzungszonen in Gewerbehäusern usw.). Welche Zonen eines Gebäudes den Luftdichtheitsanforderungen genügen müssen, hat der Planer festzulegen.
- Für Neubauten mit mechanischer Lüftung (MINERGIE) ist ein Grenzwert  $q_{a50,li}$  von  $1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  einzuhalten.
- Einzelleckagen dürfen auch bei erfüllttem Grenzwert weder zu Schäden am Gebäude noch zur Verminderung der Behaglichkeit führen (z.B. infolge Zugluft, Geruch, Schall).
- Die Lage und der Verlauf der Luftdichtung in der Fläche, bei den An- und Abschlüssen sowie bei Durchdringungen müssen im Luftdichtheitskonzept festgelegt werden.
- Die Luftdichtung ist in der Regl warmseitig der Wärmedämmung anzubringen. Die Luftdichtung kann auch die Funktion der Dampfbremse übernehmen.

#### Hinweise zur Planung und Ausführung

- Die Unternehmer sind im Rahmen der Ausschreibung/Auftragsvergabe darauf hinzuweisen, dass sie beizutragen haben, dass die Anforderungen an die Luftdichtheit eingehalten werden.
- Die Ausführung der luftdichten Schicht, insbesondere der An- und Abschlüsse sowie Durchdringungen ist von der Bauleitung zu überwachen/kontrollieren.
- Die Einhaltung der Anforderungen kann mittels Blower-Door-Messung geprüft werden.

#### Umfang des Luftdichtheitskonzeptes

Dieses Luftdichtheitskonzept beinhaltet folgende Elemente:

- Nachweisformular Luftdichtheitskonzept Fragebogen von MINERGIE
- Pläne mit Eintrag des Verlaufs der Luftdichtheit bzw. der Bauteile mit Anforderungen an die Luftdichtheit
- Prinzipskizzen mit Hinweisen zur Ausführung der Luftdichtheit



Konzeptüberlegungen zur Gewährleistung der Luftdichtheit am Beispiel des Regelgeschosses Wohnungen (gilt sinngemäss für alle Geschosse).

## 2.6 Schallschutz (Innen- und Aussenlärm) (Hinweise vgl. Anhang F)

	Beurteilung/ Verantwortung durch	
	RSP AG	Andere
– Einhalten der Anforderungen zwischen differenten Nutzern (Norm SIA 181:2006)		
• Mindestanforderungen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Erhöhte Anforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Spezielle Anforderung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Vereinbaren der empfohlenen Werte (Norm SIA 181:2006, innerhalb einer Nutzungseinheit)		
• Stufe 1 (geringere Anforderungsstufe)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Stufe 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Spezielle Anforderung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Beurteilung der Anforderung an Luftschallschutz bzw. Schalldämmvermögen der Fassade bei bekannter Lärmbelastung (vgl. 2.7 Lärmschutz)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Detaillierte Zielvereinbarung für:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Luft- und Trittschallschutz im Gebäudeinnern		
• Geräusche von haustechnischen Anlagen		
– Schallschutzkonzept (Schallschutzbericht) und Bauteilauslegung für:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Luftschallschutz (Innen- und Aussenlärm)		
• Trittschallschutz		
– Plan-/Detailkontrollen hinsichtlich Einhaltung des Schallschutzes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2.6.1 Zielvereinbarung und Nachweis Schallschutz

Basierend auf dem Planungsstand «September 2020» haben wir einen ersten, groben Vorschlag für den Schallschutz erarbeitet und dabei die geltenden normativen und gesetzlichen Anforderungen berücksichtigt. Dieser Vorschlag dient einerseits als Zielvereinbarung für den Schallschutz. Zudem werden die Konstruktionen so festgelegt, dass die gestellten Anforderungen erreicht werden können.

Die Beurteilung basiert im Wesentlichen auf:

- Grundriss- und Schnittplänen.
- Der Norm SIA 181: 2006 «Schallschutz im Hochbau».
- Besprechungen mit Architekten/Planern.

### 2.6.2 Anforderungen

Beim vorliegenden Objekt gehen wir davon aus, dass der erforderliche Schallschutz zwischen differenten Nutzungen den Mindestanforderungen aus Norm SIA 181 genügen müssen.

Innerhalb einer Nutzungseinheit gibt Norm SIA 181 nur Empfehlungen: Der Schallschutz ist den Anforderungen des Bestellers entsprechend zu definieren und die Bauteile sind so auszulegen, dass der vereinbarte Schallschutz erreicht wird. Die Tabellen im Anhang A, insbesondere die Tabelle A8 dient als Basis für die Festlegung der Schallschutzziele.

Für das zu beurteilende Projekt haben wir die relevantesten Schallübertragungen in die Pläne eingetragen (vgl. folgende Pläne). Wir gehen im Folgenden auf die spezifischen Bauteile/Anforderungen ein und geben Hinweise zu Konstruktionslösungen.

Die effektiv gewählten Konstruktionen sind uns noch vorzulegen und bei Änderungen gegenüber den folgenden Festlegungen bezüglich Einhaltung der vereinbarten Anforderungen neu zu beurteilen. Eine fachgerechte Bauausführung wird vorausgesetzt, damit die vorliegende Beurteilung des Schallschutzes zutrifft.

Wenn Abweichungen zwischen den Anforderungen bzw. dem vereinbarten und dem zu erwartenden Schallschutz resultieren, müssen diese entweder von der Bauherrschaft genehmigt werden oder es ist eine konstruktive Anpassung erforderlich.

# Regelgeschoss Wohnungen



Konzeptüberlegungen zum Schallschutz im Bereich der Wohnnutzung

# Längsschnitt



Konzeptüberlegungen zum Schallschutz bei den Geschossdecken

## 2.6.3 Schallschutzmassnahmen Wohngeschosse

### 2.6.3.1 Bauteile W1: Wohnungstrennwände

#### Anforderungen:

- Die Anforderungen richten sich nach Norm SIA 181.
- Für Mietwohnungen sind die Mindestanforderungen zwingend einzuhalten, diese werden als zu erreichender Standard vereinbart.
- Für den Mindestschallschutz muss ein Wert  $D_i \geq 52$  dB gewährleistet sein (erhöhte Anforderung 55 dB).

#### Konstruktionsaufbau:

- Holzkonstruktion gemäss Holzbauing. Jung:
  - Gipsfaser- oder Gipskartonplatten 2 x 15 mm
  - Installationsrost, von Tragstruktur schalltechnisch entkoppelt montiert, Hohlraum bedämpft
  - Brettsperrholzplatte 160 mm, beidseitig mit 18 mm Gipsfaserplatte beplankt
  - Installationsrost, von Tragstruktur schalltechnisch entkoppelt montiert, Hohlraum bedämpft
  - Gipsfaser- oder Gipskartonplatten 2 x 15 mm
- Elektroinstallationen/Steckdosen sind in den Vorsatzschalen möglich.

### 2.6.3.2 Bauteile W2: Trennwände zwischen Badezimmern unterschiedlicher Nutzer

#### Anforderungen:

- Für den Mindestschallschutz muss ein Wert  $D_i \geq 47$  dB gewährleistet sein (wir empfehlen aber, wie bei den anderen Wohnungstrennwänden, einen Schallschutz  $D_i$  von 52 dB zu vereinbaren).

#### Konstruktionsaufbau:

- Wir gehen von sinn gemässen Konstruktionen wie bei den Wänden W1 aus.
- Teilweise sind Vorwandinstallationen vorhanden.

### 2.6.3.3 Bauteile W3: Trennwände Erschliessung Badezimmer

#### Anforderungen:

- Für den Mindestschallschutz muss ein Wert  $D_i \geq 47$  dB gewährleistet sein (wir empfehlen aber, wie bei den Wohnungstrennwänden, einen Schallschutz  $D_i$  von 52 dB zu vereinbaren).

#### Konstruktionsaufbau:

- Wir gehen von sinn gemässen Konstruktionen wie bei den Wänden W1 aus.
- Teilweise sind Vorwandinstallationen vorhanden.

### 2.6.3.4 Bauteile W4: Trennwände mit Türen zwischen Erschliessung und Wohnung

#### Anforderungen:

- Es werden gemäss Norm SIA 181 nur Anforderungen an die Türe gestellt.
- Die Wohnungsabschlusstüre muss gemäss Norm SIA 181 ein Luftschalldämmvermögen  $R'_w + C$  von 37 dB aufweisen.

#### Vorgesehene Konstruktionen:

- Türe mit Luftschalldämmvermögen  $R'_w + C$  von 37 dB ausschreiben und diese Anforderung werkvertraglich vereinbaren.

### 2.6.3.6 Bauteile W5: Wohnungsinterne Wände, z.B. zwischen Wohnen und Schlafen

#### **Anforderungen:**

- Norm SIA 181 stellt keine Anforderungen an den Schallschutz innerhalb einer Wohnungseinheit.
- Norm SIA 181 empfiehlt zwischen Wohn- und Schlafräumen einen Luftschallschutz von  $D_i \geq 40$  dB (Stufe 1) bzw. von  $D_i \geq 45$  dB (Stufe 2) zu gewährleisten; geht dabei aber primär von Wänden ohne Türeinfluss aus.

#### **Vereinbarter Schallschutz:**

- Es wird für wohnungsinterne Wände ohne Türeinfluss ein Schallschutz der Stufe 1 mit  $D_i \geq 40$  dB vereinbart.
- Bei den Wänden mit Türen wird kein spezieller Schallschutz vereinbart (Türen ohne Planet möglich).

#### **Konstruktionsaufbau:**

- Leichtbauwände mit C-Profilen oder Holzkanteln.

### 2.6.3.7 Bauteile D1: Geschossdecken zwischen Wohnungen

#### **Anforderungen Luftschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $D_i \geq 52$  dB

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 53$  dB

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Holzkonstruktion gemäss Holzbauing. Jung:
  - Bodenbelag variabel
  - Zementunterlagsboden 80 mm
  - Trittschalldämmung Mineralfaserplatte 20 mm
  - Kalksplittschüttung 120 mm
  - Grobspanplatte OSB 18 mm
  - Bauzeitabdichtung
  - Brettstapel 180 mm
  - Dreischichtplatte 19 mm oder abgehängte Decken

### 2.6.3.8 Bauteile D2: Geschossdecke zwischen Wohnungen und Büros

#### **Anforderungen Luftschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $D_i \geq 52$  dB

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 53$  dB

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Betondecke mit trittschallgedämmter Bodenüberkonstruktion

### 2.6.3.9 Bauteile D3: Geschossdecke zwischen Büros

#### **Anforderungen Luftschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $D_1 \geq 52$  dB

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 53$  dB

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Betondecke mit trittschallgedämmter Bodenüberkonstruktion

### 2.6.3.10 Bauteile D4: Geschossdecke zwischen Büros und Verkauf (ohne Beschallung)

#### **Anforderungen Luftschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $D_1 \geq 52$  dB

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 53$  dB

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Betondecke mit trittschallgedämmter Bodenüberkonstruktion

### 2.6.3.11 Bauteile D5: Geschossdecke zwischen Verkaufsräumen (ohne Beschallung)

#### **Anforderungen Luftschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $D_1 \geq 47$  dB

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 58$  dB

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Betondecke mit trittschallgedämmter Bodenüberkonstruktion

### 2.6.3.12 Bauteile D6: Geschossdecke zwischen Verkaufsräumen (ohne Beschallung) und Nebenräumen

#### **Anforderungen Luftschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $D_1 \geq 47$  dB

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 58$  dB (indirekte Übertragung im Bereich Verkauf)

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Betondecke mit trittschallgedämmter Bodenüberkonstruktion

### 2.6.3.13 Bauteil D7: Decken zwischen den Parkdecks

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Es sind indirekte Übertragungen in die oberen Geschosse relevant.
- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 53$  dB

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Es sind keine speziellen Massnahmen hinsichtlich den Trittschallschutz vorgesehen.
- Rollgeräusche der Fahrzeuge sind hinsichtlich die Schallübertragung unkritisch.
- Hinsichtlich der Übertragung von Gehgeräuschen ist die oberste Decke, unter den lärmempfindlichen Räumen, relevant. Damit die Mindestanforderung von  $L' < 53$  dB gewährleistet werden kann, ist eine etwa 30 cm dicke Betonplatte erforderlich.

### 2.6.3.14 Bauteil D8: Boden über Erdreich bei nicht lärmempfindlichen Räumen

#### **Anforderungen Trittschallschutz:**

- Es sind indirekte Übertragungen in die oberen Geschosse relevant.
- Mindestanforderung gemäss Norm SIA 181  $L' < 53$  dB

#### **Vorgesehene Konstruktionen:**

- Aus schalltechnischer Hinsicht sind keine speziellen tritt-/körperschalldämmenden Massnahmen zur Vermeidung der Übertragung erhöhter Geh- und Rollgeräusche erforderlich.
- Die Bodenaufbauten können somit ohne trittschalldämmende Bodenüberkonstruktionen ausgeführt werden.
- Relevant sind allfällige Körperschallübertragungen aus haustechnischen Installationen (vgl. «Anforderungen an den Schutz gegen Geräusche haustechnischer Anlagen»).

## 2.6.4 Schallschutzmassnahmen Bürogeschosse

### 2.6.4.1 Bürotrennwände differente Nutzer

#### **Anforderungen:**

- Die Anforderungen richten sich nach Norm SIA 181.
- Für den Mindestschallschutz muss ein Wert  $D_i \geq 52$  dB gewährleistet sein (erhöhte Anforderung 55 dB).

#### **Konstruktionsaufbau:**

- Betonierte Trennwand mind. 20 cm dick, Binderlöcher mit Expansionsmörtel ausgegossen.
- Elektroinstallationen/Steckdosen sind möglich, bei beidseitiger Anordnung sind die Steckdosen um 30 cm versetzt anzuordnen.

### 2.6.4.2 Bürointerne Trennwände

#### **Anforderungen:**

- Norm SIA 181 stellt keine Anforderungen an den Schallschutz innerhalb eines Büros.
- Norm SIA 181 empfiehlt einen Schallschutz abhängig von der Vertraulichkeit, z.B.:
  - Büro – Büro mit  $D_i \geq 35$  dB (Stufe 1) bzw. von  $D_i \geq 40$  dB (Stufe 2)
  - Büro – Direktion mit  $D_i \geq 45$  dB (Stufe 1) bzw. von  $D_i \geq 50$  dB (Stufe 2)

#### **Vereinbarter Schallschutz:**

- Der erforderliche Schallschutz soll in Zusammenarbeit mit den Nutzern definiert und vereinbart werden.

#### **Konstruktionsaufbau:**

- In der Regel werden Leichtbauwände ausgeführt.

## 2.6.5 Schallschutzmassnahmen Verkaufsgeschoss

### 2.6.5.1 Wände zwischen differenten Verkaufslokalen

#### **Anforderungen:**

- Die Anforderungen richten sich nach Norm SIA 181.
- Für Verkaufslokale ist von einer geringen Lärmempfindlichkeit und einer mässigen Lärmbelastung (Verkauf ohne Beschallung) auszugehen.
- Für den Mindestschallschutz muss ein Wert  $D_i \geq 47$  dB (Verkauf ohne Beschallung) gewährleistet werden. Wir empfehlen einen Schallschutz von  $D_i \geq 52$  dB anzustreben.

#### **Konstruktionsaufbau:**

- Betonierte Trennwand mind. 20 cm dick, Binderlöcher mit Expansionsmörtel ausgegossen.
- Elektroinstallationen/Steckdosen sind möglich, bei beidseitiger Anordnung sind die Steckdosen um 30 cm versetzt anzuordnen.

## 2.6.6 TH (Treppen und Podeste)

#### **Randbedingungen:**

- Körperschallübertragung in benachbarte Wohnungen (Horizontal- bzw. Diagonalübertragung)
- Anforderung Norm SIA 181 bei Lärmbelastung «mässig» und Lärmempfindlichkeit «mittel»:
  - $L' \leq 53$  dB (Mindestanforderung) bzw.
  - $L' \leq 50$  dB (erhöhte Anforderung).

#### **Vereinbarer Schallschutz:**

- $L' \leq 53$  dB

#### **Konstruktive Massnahmen:**

- Zur Sicherung des Trittschallschutzes müssen Treppenläufe unten und oben sowie evtl. seitlich körperschallgedämmt aufgelagert werden (winkelförmige Auflagerelemente mit punktuell eingebauten Gummilagern, z.B. HBT Isol, Bremgarten: Isotrepp mit bewerteter Trittschallminderung von  $\Delta L_w = 24$  bzw. 28 dB, oder gleichwertige Produkte).
- Von den flankierenden Wänden (Wohnungstrennwände) sind die Treppen schalltechnisch zu trennen.
- Die Podeste werden, sinngemäss wie die Geschossdecken, mit trittschallgedämmten Bodenüberkonstruktionen ausgeführt.

## 2.6.7 Lift

#### **Randbedingungen:**

- Lärmempfindlichkeit «mittel»
- Der Liftschacht grenzt nicht direkt an lärmempfindliche Räume an

#### **Anforderungswert:**

- $L_{H1} \leq 33$  dB (Mindestanforderung)

#### **Konstruktive Massnahmen:**

- Einschalige Liftschachtkonstruktion mit 25 cm dicken Betonwänden

#### **Zu erreichender Schallschutz:**

- Mit dem gewählten Konzept kann der erforderliche Schallschutz gewährleistet werden.

## 2.6.8 HT: Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude

### Anforderungen bei mittlerer Lärmempfindlichkeit:

- Einzelgeräusche:
  - Funktionsgeräusche  $L_H \leq 33 \text{ dB(A)}$  für Mindestanforderung
  - Benutzergeräusche  $L_H \leq 38 \text{ dB(A)}$  für Mindestanforderung
- Dauergeräusche:
  - Funktions- oder Benutzergeräusche  $L_H \leq 28 \text{ dB(A)}$  für Mindestanforderung

### Vorgehen zum Erreichen des Schallschutzes bei Geräuschen haustechnischer Anlagen:

- Der Fachplaner (Sanitär, Heizung, Lüftung ...) muss geeignete Massnahmen festlegen, mit denen die Anforderungswerte eingehalten werden können. Er muss diesbezüglich die baulichen Randbedingungen berücksichtigen.
- Falls der Fachplaner mit den vorgesehenen baulichen Massnahmen (Raumdispositionen, Leitungsführung, Vorwandinstallationen, Installationsschächten usw.) durch seine Auswahl der Materialien (Rohrsysteme, Montageart, Befestigungs- und Trennelemente u.ä.) die gestellten Anforderungen aus Norm SIA 181:2006 nicht erfüllen kann, muss er dafür sorgen, dass die baulichen Randbedingungen entsprechend angepasst werden.

## 2.7 Lärmschutz (Hinweise vgl. Anhang G)

	Beurteilung/ Verantwortung durch	
	RSP AG	Andere
– Lärmschutznachweis (Beurteilung nach Lärmschutz-Verordnung LSV)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
• Empfindlichkeitsstufe der Bauzone		
• Lärmbelastung		
• Anforderung an Luftschallschutz bzw. Schalldämmvermögen Fassade	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Der Lärmschutz wird durch SINUS AG beurteilt und die Einhaltung der Anforderungen nachzuweisen.		
– Basierend auf der Beurteilung der Lärmbelastung durch SINUS AG definiert RSP Bauphysik AG die Anforderungen an die Gebäudehülle, insbesondere das Schalldämmvermögen der Fenster.		

### 2.7.1 Stand der Bearbeitung/Aussagen RSP betreffend Rückkühler

Mai 2020:

- Gemäss SINUS AG sind bei Wohnungen die Immissionsgrenzwerte ES III einzuhalten (65 dBA bei Tag und 55 dBA in der Nacht).  
Der Kanton wünsche das Einhalten der Planungswerte der ES III so weit als möglich (60 dBA bei Tag und 50 dBA in der Nacht).
- Gemäss SINUS AG gibt es teilweise Überschreitungen der Planungswerte, die Immissionsgrenzwerte seien jedoch eingehalten. In der Nacht weist SINUS AG teilweise Pegel von 53 dBA bis max. 58 dBA aus.
- Für den Grossteil der Fassade (Beurteilungspegel  $L_r$  in der Nacht  $\leq 52$  dB) resultiert eine Mindestanforderung an den Schallschutz von:
  - $D_e \geq 27$  dB (Mindestschallschutz)
  - $D_e \geq 30$  dB (erhöhter Schallschutz)
 Je Erhöhung des Immissionsgrenzwertes bzw. Beurteilungspegel  $L_r$  in der Nacht ab 52 dBA erhöht sich auch die Anforderung an den Schallschutz der Fassade, z.B. bei Beurteilungspegel  $L_r$  von 58 dBA:
  - $D_e \geq 33$  dB (Mindestschallschutz)
  - $D_e \geq 36$  dB (erhöhter Schallschutz)
- Ein Schallschutz  $D_e$  bis etwa 28 dB kann mit üblichen Wärmeschutzverglasungen gewährleistet werden, für höhere Anforderungen sind Schallschutzgläser erforderlich.

Juli 2020:

- Bei den Loggien bildet die auf Fassadenflucht angeordnete Verglasung die thermische Gebäudehülle.
- Die Loggien werden nicht beheizt und nicht mechanisch belüftet, können jedoch als «Jahreszeitenzimmer» genutzt werden.
- Gemäss Abklärung bei SINUS AG ist für den Schallschutz die Fensterfront von Wohnraum zur Loggia (unter Berücksichtigung von geöffneten Loggiafenstern) relevant.

## 2.8 Raumakustik (Hinweise vgl. Anhang H)

	Beurteilung/ Verantwortung durch	
	RSP AG	Andere
– Eruiieren/festlegen der zu berücksichtigenden Anforderungen		
• DIN 18041:2016 «Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung»	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• SUVA «Akustische Mindestanforderungen für die Lärmbekämpfung (Planungshinweise)»	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• SECO «Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz betr. Art. 22 (Lärm und Erschütterungen)»	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Nachweis dass die raumakustischen Anforderungen eingehalten sind:		
• Zuordnung der Anforderungen abhängig von Nutzung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Evtl. Nachhallzeitberechnungen für Referenzräume	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
– Raumakustikbericht mit Zusammenfassung der Erkenntnisse	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2.8.1 Stand der Bearbeitung/Aussagen RSP

Mai 2020:

- Im Bereich der Wohngeschosse ist es üblich, bauseitig auf raumakustische Massnahmen zu verzichten. Mit üblichen Möblierungen können auch ohne bauliche Massnahmen vernünftige raumakustische Massnahmen erreicht werden. In grösseren Räumen kann es aber, bei spärlicher Möblierung, zu eher langen Nachhallzeiten kommen. Der Verzicht auf raumakustische Massnahmen ist so zu vereinbaren und vom Bauträger zu genehmigen.
- Im Bereich der Büroräume sind die Anforderungen gemäss SUVA/SECO bzw. DIN 18041:2016 einzuhalten. Wenn diese im System «Mieterausbau» fertig gestellt werden sind die Anforderungen von den Planern des Mieterausbaus zu berücksichtigen.
- Im Bereich der Verkaufsräume sind die raumakustisch erforderlichen Massnahmen mit der entsprechenden Verkaufsorganisation noch zu klären (evtl. Mieterausbau).

## 2.9 Allgemeine Bauphysik-/Baukonstruktionsberatung

- Überprüfen Konstruktionskonzept mit Architekt
- Plan- und Detailkontrolle

Beurteilung/ Verantwortung durch	
RSP AG	Andere
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2.9.1 Stand der Bearbeitung

Mai 2020:

- Besprechung vom 8. Mai 2020 bei DEON AG.
- Keine konkrete Bearbeitung bzw. Plan- und Detailkontrolle.

September 2020:

- Besprechung vom 21. September 2020 bei DEON AG betreffend die Zielvereinbarung Stand Vorprojekt.

## 2.10 Qualitätskontrolle

- Baustellenkontrollen bei bauphysikalisch relevanten Arbeiten
- Qualitätskontrollen
  - Schallmessungen
  - Oberflächentemperaturmessungen
  - Feuchtemessungen

Beurteilung/ Verantwortung durch	
RSP AG	Andere
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2.10.1 Stand der Bearbeitung

- Keine Bearbeitung.

### 3. Zustimmung

Die Unterzeichner sind mit der vorliegenden Ziel-/Nutzungsvereinbarung betreffend die Bauphysik-Kriterien einverstanden und haben vom Stand der Bearbeitung Kenntniss genommen:

Bauherrschaft:

Bahnhof Nord Immobilien AG  
c/o Truvag Treuhand AG  
Leopoldstrasse 6  
6210 Sursee

Ort, Datum: Unterschrift:

.....

Architekten:

DEON AG  
dipl. Arch. ETH BSA  
Pfistergasse 23  
6003 Luzern

Ort, Datum: Unterschrift:

.....

Leuenberger Architekten AG  
Centralstrasse 43  
6210 Sursee

Ort, Datum: Unterschrift:

.....

HLK-Ingenieure:

Polke Ziege von Moos AG  
Zollikerstrasse 6  
8032 Zürich

Ort, Datum: Unterschrift:

.....

Bauphysiker:

RSP BAUPHYSIK AG  
Bleicherstrasse 11  
6003 Luzern

Luzern, 25. September 2020



Marco Ragonesi, dipl. Architekt HTL/Bauphysiker

Weil der Mensch einen grossen Teil seiner Lebenszeit in geschlossenen Räumen verbringt, ist es naheliegend, an die Räume bzw. Gebäude hohe Ansprüche betreffend die Behaglichkeit zu stellen.

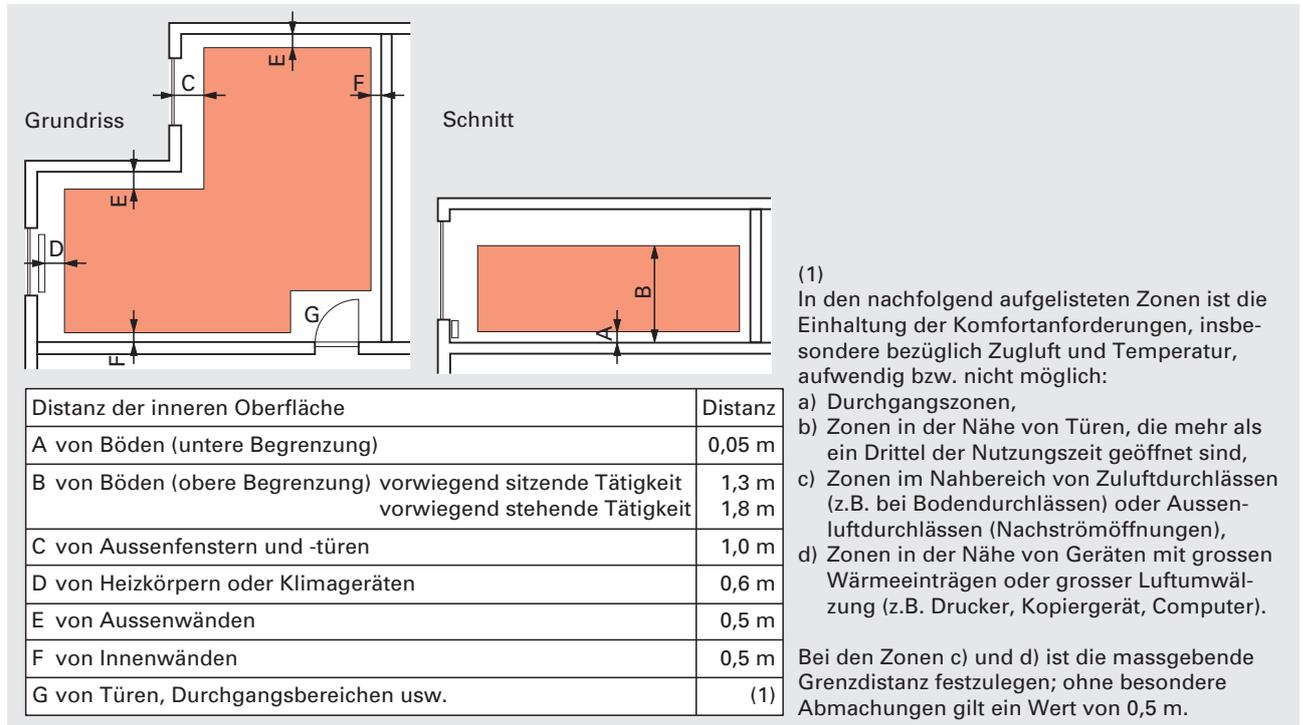


Bild A1: Definition des Aufenthaltsbereichs gemäss Norm SIA 180:2014. Die thermische Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich muss in allen Jahreszeiten während der Nutzungszeit sichergestellt werden, wenn:

- Die Aussenklimabedingungen den Auslegungsbedingungen entsprechen.
- Die Nutzung der Projektierung entspricht.
- Der Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen gemäss Projektierung erfolgt.
- Die Bekleidung der Aussentemperatur angepasst wird.

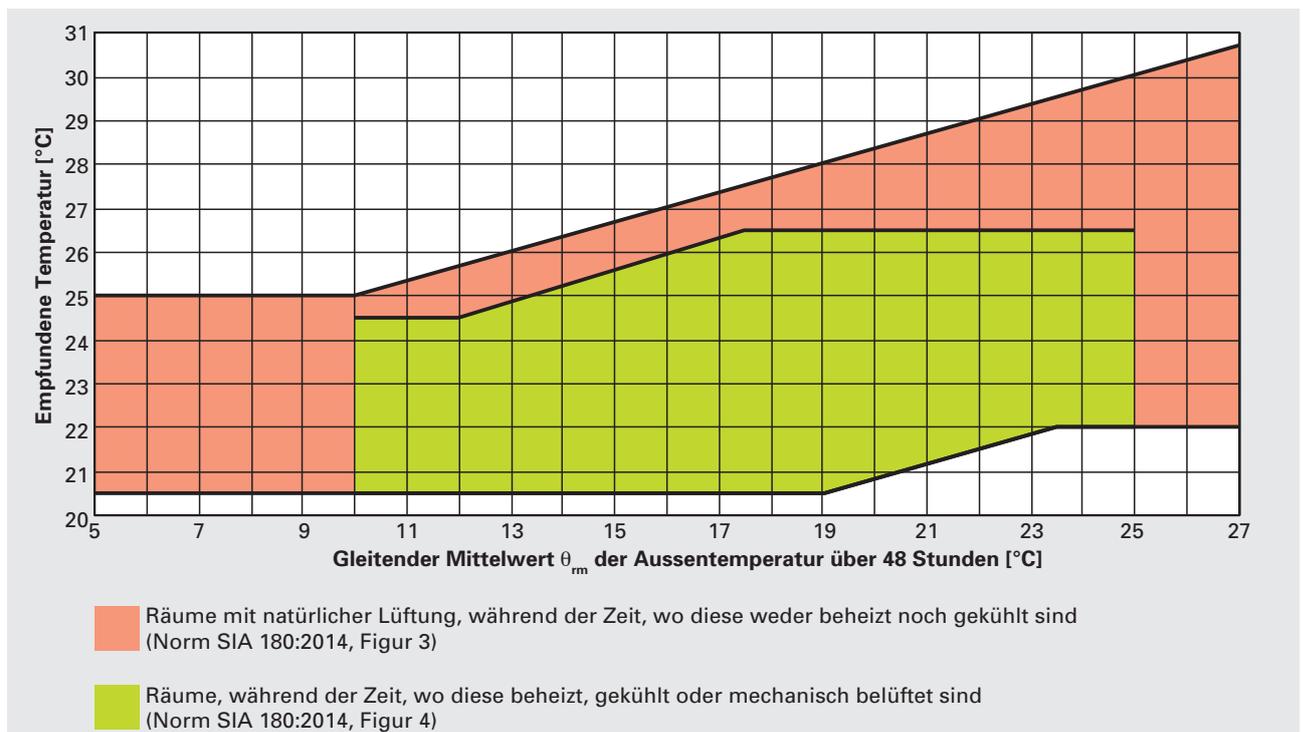


Bild A2: Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur in Wohn- und Büroräumen, je nach Aussentemperatur (gleitender Mittelwert).

**Wände und Fenster:**

**Zugluft infolge Kaltluftabfall**

Bei hohen Glasflächen (speziell in Eckräumen) oder bei sehr hohen opaken Bauteilen ist dem Problem des Kaltluftabfalls mit geeigneten Massnahmen zu begegnen. Solche Massnahmen sind:

- Reduktion der Höhe des Bauteils.
- Bessere Wärmedämmung.
- Örtliche Heizkörper oder Warmluftauslässe.
- Niedriger Turbulenzgrad.
- Anordnung des Mobiliars (genügende Distanz von Stühlen u.Ä. zum Aussenbauteil).
- Einschränkung des Aufenthaltsbereichs.

Die maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen sind primär abhängig von:

- Bauteilhöhe.
- Raumtemperatur und Aussentemperatur, bei der die Behaglichkeit zu gewährleisten ist.
- Anzahl von Unzufriedenen, die in Kauf genommen werden.
- Abstand vom Aufenthaltsbereich zur Bauteiloberfläche.
- Globalstrahlungsintensität und Turbulenzgrad.

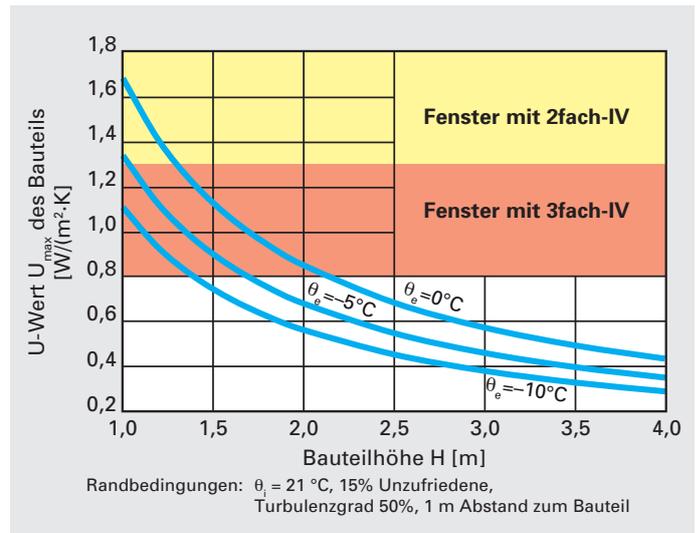


Bild A3: Max. zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{max}$  eines Bauteils, bei verschiedenen Aussentemperaturen  $\theta_e$ , in Abhängigkeit der Bauteilhöhe  $H$ , zur Vermeidung von Behaglichkeitsproblemen durch Kaltluftabfall ohne weitere Massnahmen, für einen Raum mit internen Wärmelasten (nicht gültig für über Eck verglaste Räume; Quelle: Norm SIA 180:2014).

Bild A3 zeigt beispielhaft, welche Bauteil-U-Werte abhängig von der Bauteilhöhe erreicht werden müssen, damit bei Aussentemperaturen von 0 °C bis -10 °C kein unbehaglicher Kaltluftabfall resultiert. Der im Diagramm eingetragene Bereich der mit 2-fach- oder 3-fach-Isoliergläsern in etwa zu erreichenden Fenster-U-Werte  $U_w$  macht deutlich:

- dass die heute übliche Bauweise, mit meist raumhohen Fenstern, theoretisch nicht ohne Wärmequelle vor denselben realisiert werden könnte bzw.
- dass über eine Ziel- oder Nutzungsvereinbarung eine «eingeschränkte Behaglichkeit» zu vereinbaren ist, z.B.:
  - Einschränkung der Aussentemperatur, bei der die Behaglichkeit noch gewährleistet ist.
  - Berücksichtigen eines kleineren Turbulenzgrades von z.B. 40 %.
  - Inkaufnahme von mehr als 15 % Unzufriedenen (z.B. Kategorie B, mit 20% Unzufriedenen normale Auslegung gemäss EN ISO 7730:2005).

Bild A4 zeigt die erforderlichen Bauteil-U-Werte, abhängig von different zu vereinbarenden Behaglichkeitszielen, bzw. wie sie vom Forum Energie Zürich für die Praxis festgelegt wurden. Erfahrungen zeigen, dass es im Schweizer Mittelland, bei Fenstern mit U-Werten  $U_w$  um 1,0 W/m²·K (Einzelbauteilanforderung gemäss MuKEn 14), auch ohne Wärmequelle vor den Fenstern kaum zu Reklamationen kommt. Die Behaglichkeit wird selbst bei raumhohen Fenstern bis etwa 2,8 m Höhe kaum bemängelt.

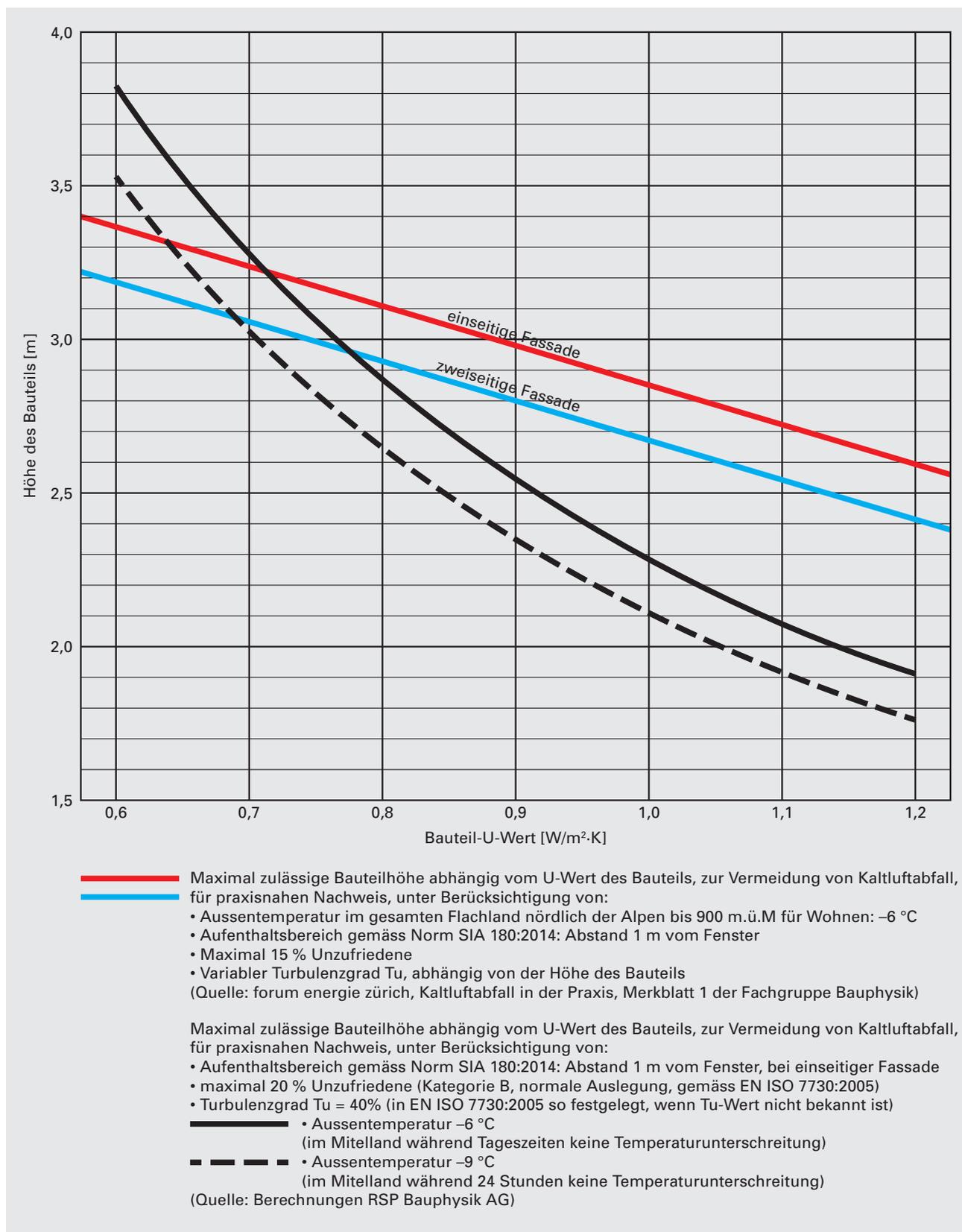


Bild A4: Max. zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{max}$  eines Bauteils, bei differenten, objektspezifisch zu vereinbarenden Randbedingungen (Zielvereinbarung) bzw. wie sie vom Forum Energie Zürich für die Praxis festgelegt wurden.

Die Baukonstruktion muss so gewählt und dimensioniert werden, dass die Behaglichkeit und die Bauschadenfreiheit garantiert werden können. Ein weitergehender Wärmeschutz richtet sich einerseits nach den geltenden Mindestanforderungen aus den Energiegesetzen bzw. der MuKE n und andererseits nach den Labels, die es meist auf «freiwilliger Basis» zu erreichen gilt.

**Behaglichkeit und Bauschadenfreiheit**

Am Mindestwärmeschutz für die Behaglichkeit und die Bauschadenfreiheit wird sich kaum viel ändern, weil dies nach bauphysikalischen Kriterien festgelegte Kennwerte sind.

Wenn die in Bild B1 gelisteten Werte aus Norm SIA 180:2014 eingehalten werden, gelten unter normalen Nutzungsbedingungen die Anforderungen an die Behaglichkeit und Bauschadenfreiheit (Oberflächenkondensat bzw. Schimmelpilzbildung) als erfüllt.

Weil das Feuchteschadenrisiko bei Bauteilübergängen wesentlich höher ist als innerhalb der Bauteilflächen, gilt es, durch Vermeidung bzw. Reduktion von Wärmebrücken Feuchteschäden zu vermeiden (vgl. Anhang D «Feuchteschutz»).

Bauteil gegen Bauteil	Aussenklima oder im Erdreich bis 2 m	unbeheizte Räume	mehr als 2 m im Erdreich <sup>1)</sup>
Dach	0,4 W/m <sup>2</sup> ·K <sup>2)</sup>	0,5 W/m <sup>2</sup> ·K	0,6 W/m <sup>2</sup> ·K
Wand	0,4 W/m <sup>2</sup> ·K <sup>3)</sup>	0,6 W/m <sup>2</sup> ·K	0,6 W/m <sup>2</sup> ·K
Boden	0,3 W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4)</sup>	0,6 W/m <sup>2</sup> ·K	0,6 W/m <sup>2</sup> ·K
Fenster, Türen, Tore	2,4 W/m <sup>2</sup> ·K <sup>3)</sup>	2,4 W/m <sup>2</sup> ·K	–
Rolladenkasten	2,0 W/m <sup>2</sup> ·K	2,0 W/m <sup>2</sup> ·K	–

<sup>1)</sup> Höhere Werte sind zulässig, wenn mittels Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen nach SN EN ISO 10211 belegt wird, dass die Behaglichkeit gesichert ist und keine Gefahr von Oberflächenkondensation und Schimmelbildung besteht.

<sup>2)</sup> Unter Vorbehalt der «einfachen Kriterien» betreffend den Wärmeschutz im Sommer.

<sup>3)</sup> Unter Vorbehalt der Anforderungen hinsichtlich Vermeidung von Zugluft infolge Kaltluftabfall.

<sup>4)</sup> U-Wert ≤ 0,4 W/m<sup>2</sup>·K bei Boden auf Erdreich.

Bild B1: Maximal zulässige U-Werte für Behaglichkeit und Feuchteschutz (Quelle: Norm SIA 180:2014).

**Einzelbauteilanforderungen**

Wenn die Einzelbauteilanforderungen gemäss kantonalen Energiegesetzen bzw. MuKE n bei allen Bauteilen vorbehaltlos eingehalten werden können, ist es möglich, den Nachweis des genügenden Wärmeschutzes mit einem Einzelbauteilnachweis zu führen (vgl. Bild B2).

Bauteil gegen Bauteil	Aussenklima oder im Erdreich bis 2 m		Unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich	
	Neubau	Umbau/Sanierung	Neubau	Umbau/Sanierung
Opake Bauteile (Dach, Decke, Wand, Boden)	0,17 W/m <sup>2</sup> ·K	0,25 W/m <sup>2</sup> ·K	0,25 W/m <sup>2</sup> ·K	0,28 W/m <sup>2</sup> ·K
Fenster, Fenstertüren	1,00 W/m <sup>2</sup> ·K	1,00 W/m <sup>2</sup> ·K	1,30 W/m <sup>2</sup> ·K	1,30 W/m <sup>2</sup> ·K
Türen	1,20 W/m <sup>2</sup> ·K	1,20 W/m <sup>2</sup> ·K	1,50 W/m <sup>2</sup> ·K	1,50 W/m <sup>2</sup> ·K
Tore (gemäss SIA 343)	1,70 W/m <sup>2</sup> ·K	1,70 W/m <sup>2</sup> ·K	2,00 W/m <sup>2</sup> ·K	2,00 W/m <sup>2</sup> ·K
Storenkasten <sup>(*)</sup>	0,50 W/m <sup>2</sup> ·K	0,50 W/m <sup>2</sup> ·K	0,50 W/m <sup>2</sup> ·K	0,50 W/m <sup>2</sup> ·K

<sup>(\*)</sup> Verbreiterung des Fensterrahmens von maximal 30 cm Höhe (zusätzlich zum 15 cm hohen Rahmen) als innere Abdeckung des Storenkastens.

Bild B2: Grenzwerte für flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten bei Neubauten (Umbauten/Umnutzungen) bei 20 °C Raumtemperatur. (Quelle: Tabellen 2 und 3 aus Norm SIA 380/1:2016, ohne Abweichungen zur MuKE n14)

### Systemanforderungen

Damit der Planer bei einzelnen Bauteilen von den Einzelbauteilanforderungen abweichen kann wie auch für Nachweise im Kontext von MINERGIE, ist ein Systemnachweis nach Norm SIA 380/1 erforderlich (Bilanzverfahren, vgl. Bild B3).

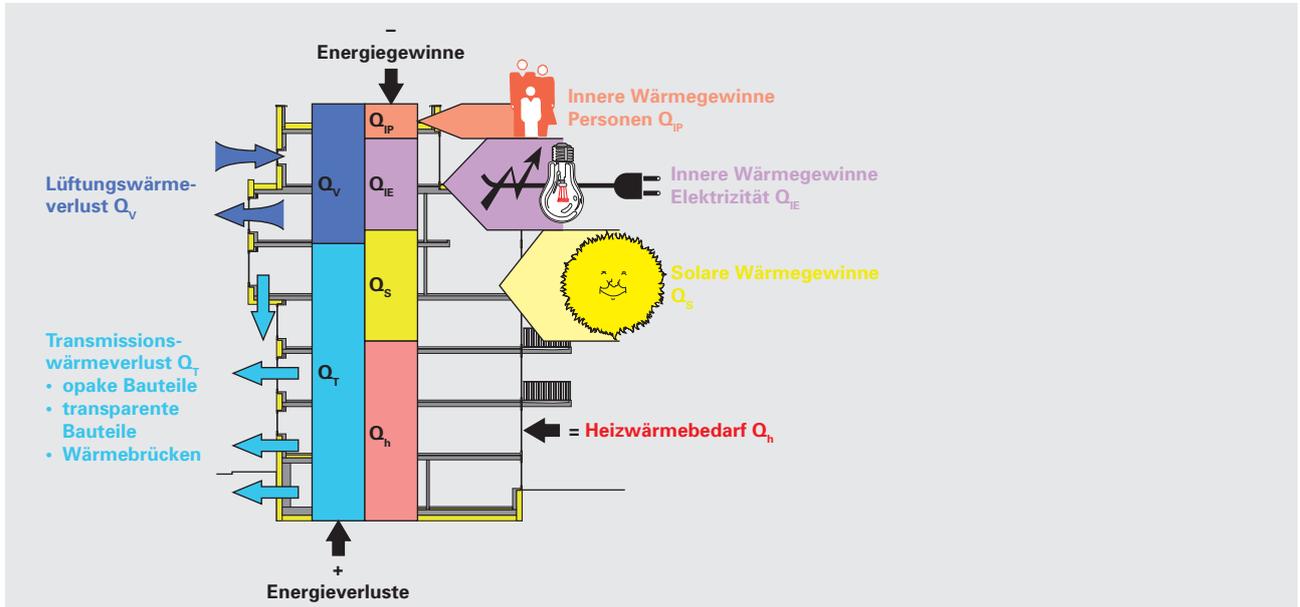


Bild B3: Mit dem Berechnungsverfahren nach Norm SIA 380/1 werden bei einem Gebäude über die Monate die Energieverluste und die Energiegewinne bilanziert. Der verbleibende Heizwärmebedarf  $Q_h$  ist das Effizienzkriterium für die thermische Gebäudehülle, die Anforderungen werden mit dem Wert  $Q_{h,li}$  definiert:

- MuKEn 08 bzw. 14:  $Q_h \leq Q_{h,li}$
- MINERGIE:  $Q_h \leq Q_{h,li}$
- MINERGIE-A:  $Q_h \leq Q_{h,li}$
- MINERGIE-P:  $Q_h \leq 0,7 \cdot Q_{h,li}$

### Nachweis Verfahren 1: Einfache Kriterien

Damit das einfache Verfahren angewendet werden kann, müssen alle Räume folgende Bedingungen einhalten:

- Alle Fenster verfügen über einen Sonnenschutz mit  $g_{tot} \leq 0,1$  (Verglasung und Sonnenschutz) bei Einhaltung der Windklasse 6.
- Die Oberlichter sind kleiner als 5 % der Nettogeschossfläche und verfügen über einen Sonnenschutz.
- Dächer mit  $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .
- Die Raumtiefe beträgt mindestens 3,5 m.
- Gegenüberliegende Fassaden mit Fenstern haben mindestens einen Abstand von 7 m.
- Nachweis der effizienten Nachtauskühlung.

Werden alle erwähnten Bedingungen eingehalten, kann der maximal zulässige Glasanteil gemäss Bild C1 ermittelt werden.

### Anforderungen an die Nachtauskühlung

Für den Nachweis wird von einem Luftvolumenstrom von  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  ausgegangen. Dies entspricht bei Wohnbauten mit einer Raumhöhe von 2,5 m einem etwa dreifachen Luftwechsel. Dieser Luftwechsel kann wie folgt erreicht werden:

- Die öffnbare Fensterfläche muss 5 % der Bodenfläche betragen.
- Ist die Raumtiefe kleiner als das 2,5-fache der Raumhöhe, genügen öffnbare Fenster auf einer Fassade. Beträgt die Raumtiefe das 2,5- bis 5-fache der Raumhöhe, sind die öffnbaren Fenster auf zwei unterschiedlichen Fassaden (gegenüberliegend oder über Eck) anzuordnen (Querlüftung).
- Die Öffnungsflächen sind so anzuordnen, dass sie auch nachts offen bleiben können.
- Im Idealfall werden Lüftungsöffnungen so positioniert, dass über mehrere Geschosse gelüftet werden kann (Kamineffekt).

Bauteil/Bauweise			Schwer	Mittel	Leicht
Boden			- Stahlbeton - 6 cm Unterlagsboden	- 6 cm Unterlagsboden - Bodenbelag wärmeleitend	Verfahren 1 nicht zulässig
Decke			- Stahlbeton - 80 % der Decke frei	- Stahlbeton - Massivholz (10 cm)	
Wand			- Stahlbeton - Backstein, Kalksandstein u.Ä.	- Backstein, Kalksandstein u.Ä. - Gipskarton - Massivholz (10 cm)	
Nutzung	Anzahl Fassaden mit Fenster	Bedienung Sonnenschutz	Glasanteil $f_g$ bezogen auf die Fassadenfläche		
Wohnen	eine	manuell	50 % (* 60 %)	40 % (* 48 %)	
		automatisch	70 % (* 84 %)	60 % (* 72 %)	
	mehrere	manuell	30 % (* 36 %)	30 % (* 36 %)	
		automatisch	50 % (* 60 %)	40 % (* 48 %)	
Büro, Schule, Versammlung,	eine	automatisch	40 % (* 48 %)	30 % (* 36 %)	
	mehrere	automatisch	30 % (* 36 %)	30 % (* 36 %)	

(\* ... %) Diese Werte sind dann zulässig, wenn sich die Fenster auf einer Fassade mit der Ausrichtung zwischen Südsüdost bis Südsüdwest befinden und die Fenster über einen Balkon verfügen, welcher mindestens eine Tiefe von  $1/2$  der Fensterhöhe aufweist.

Bild C1: Maximal zulässiger Glasanteil, abhängig von Bauweise, Nutzung, Anzahl Fassaden sowie der Bedienung des Sonnenschutzes.

### Nachweis Verfahren 2:

- Nachweis einer effizienten Nachtauskühlung.
- Nachweis, dass der Sonnenschutz die Anforderungen erfüllt.
- Nachweis, dass der Wärmeschutz und die Wärmespeicherfähigkeit ausreichend sind.
- Damit das Nachweisverfahren angewandt werden kann, müssen alle Anforderungen erfüllt werden. Wird von einer Anforderung abgewichen, muss das Verfahren 3 verwendet werden.

### Anforderungen an die Nachtauskühlung

Für den Nachweis wird von einem Luftvolumenstrom von  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ausgegangen. Dies entspricht bei Wohnbauten mit einer Raumhöhe von 2,5 m einem etwa dreifachen Luftwechsel. Dieser Luftwechsel kann wie folgt erreicht werden:

- Die öffenbare Fensterfläche muss 5 % der Bodenfläche betragen.
- Ist die Raumtiefe kleiner als das 2,5-fache der Raumhöhe, genügen öffenbare Fenster auf einer Fassade. Beträgt die Raumtiefe das 2,5- bis 5-fache der Raumhöhe, sind die öffenbaren Fenster auf zwei unterschiedlichen Fassaden (gegenüberliegend oder über Eck) anzuordnen (Querlüftung).
- Die Öffnungsflächen sind so anzuordnen, dass sie auch nachts offen bleiben können.
- Im Idealfall werden Lüftungsöffnungen so positioniert, dass über mehrere Geschosse gelüftet werden kann (Kamineffekt).

### Nachweis des Sonnenschutzes

Damit der Nachweis gemäss dem Verfahren 2 erfüllt werden kann, müssen alle Verglasungen (Fassaden und Oberlichter) folgende Grundanforderungen genügen.

### Automatische Steuerung

Diese Anforderung ist dann zu erfüllen, wenn die Räume aktiv gekühlt werden.

Die Praxiserfahrungen zeigen aber, dass es durchaus auch bei nicht aktiv gekühlten Wohnbauten sinnvoll ist, in eine etwas aufwendigere Steuerung des Sonnenschutzes zu investieren. Insbesondere bei nicht windfestem Sonnenschutz kann damit vermieden werden, dass der Sonnenschutz bei einem kurzen Windstoss hochgefahren wird und dann nicht mehr selbsttätig nach unten fährt.

### Windfestigkeit

Der Sonnenschutz muss den Windfestigkeiten gemäss SIA 342:2009 Ziff. B.2 entsprechen. Diese sehen in Abhängigkeit der Klimaregion (Mittelland, Voralpen, Föhntäler), der Geländekategorie (Seeufer, Ebene, Ortschaften, Stadtgebiet) sowie der Einbauhöhe unterschiedliche Windfestigkeiten vor. Die Anforderungen an die Windfestigkeiten für das Mittelland liegen grösstenteils im Bereich der Windklasse 3 bis 5. Für Einbauhöhen über 28 m ist eventuell die Windklasse 6 erforderlich. Einfache, seilgeführte, textile Sonnenschutzsysteme weisen meist eine Windklasse 2 auf. Damit können die Anforderungen gemäss dem Verfahren 2 nicht eingehalten werden. Werden die Anforderungen an die Windfestigkeit nicht eingehalten, muss der Nachweis gemäss dem Verfahren 3 erbracht werden.

### Oberflächentemperatur

Die innere Oberflächentemperatur der Verglasungen darf maximal 5 Kelvin höher als die Raumtemperatur sein. Vor allem bei innen liegendem Sonnenschutz gilt es zu prüfen, ob das eingehalten werden kann. Bei heute üblichen Isoliergläsern und aussen liegendem Sonnenschutz lässt sich diese Anforderung einhalten.

### Anforderung an den g-Wert $g_{\text{tot}}$

In Abhängigkeit der Fassadenorientierung sowie des Glasanteils werden unterschiedliche Anforderungen an den Gesamtenergiedurchlassgrad  $g_{\text{tot}}$  gestellt (vgl. Bild C2). Für die Nord-, Nordwest- und Nordost-Fassaden ist zu beachten, dass im Fall von reflektierenden Nachbarfassaden die Anforderungen einer nach Süden orientierten Fassade eingehalten werden müssen.

Bei Eckräumen gelten für alle Verglasungen dieselben Anforderungen. Die Praxiserfahrungen zeigen, dass bei Räumen mit hohem Glasanteil ( $f_g$  ab 50 %) ein  $g_{\text{tot}}$  von 7 % erreicht werden muss.

Kleine Glasflächen einer dritten verglasten Fassade können auf die Hauptfassaden addiert werden, solange diese Flächen darauf Platz haben. Die detaillierte Berechnung der Anforderung erfolgt gemäss SIA 180:2014.

Je nach g-Wert der Verglasung gilt es, den vom Sonnenschutz zu leistenden TS-Wert zu ermitteln.

Der TS-Wert ist der Direktstrahlungsdurchlassgrad vom Sonnenschutz und sagt aus, wie viel Solarstrahlung

bzw. Solarenergie durch den Sonnenschutz auf die dahinter liegende Verglasung trifft. Handelsübliche Sonnenschutzsysteme weisen folgende TS-Werte auf:

- Rafflamellen (ganz geschlossen): 0,02 bis 0,3
- Rollläden: 0,01 bis 0,3
- Textiler Sonnenschutz: 0,04 bis 0,4

Bild C3 gibt Auskunft über den erforderlichen TS-Wert, um zusammen mit dem g-Wert der Verglasung den geforderten  $g_{tot}$ -Wert zu erreichen.

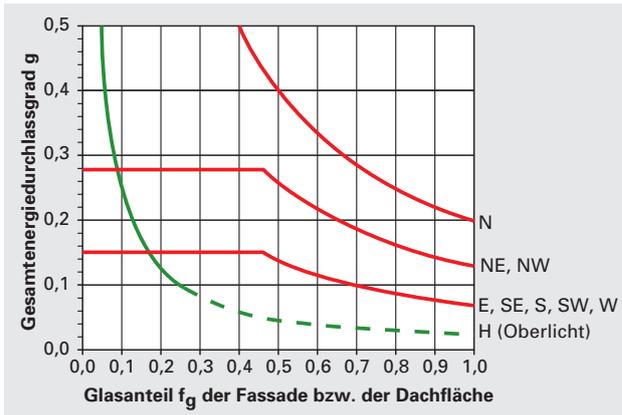


Bild C2: Anforderung an den Gesamtenergiedurchlassgrad  $g_{tot}$  abhängig vom Glasanteil und der Orientierung (Quelle: Norm SIA 180:2014).

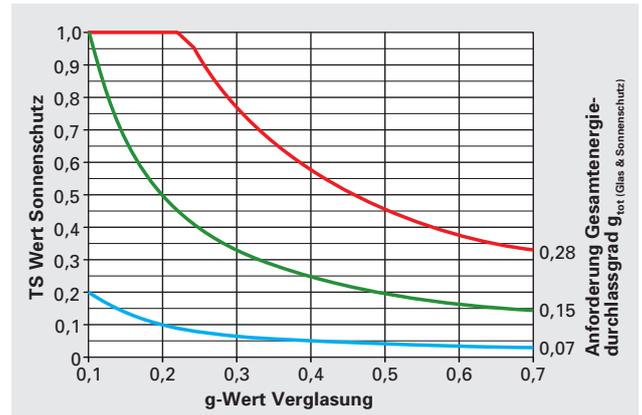


Bild C3: Abschätzung des benötigten TS-Werts (Sonnenschutz) in Abhängigkeit der Anforderung an den Gesamtenergiedurchlassgrad sowie der Verglasung (g-Wert). Detaillierte Berechnung gemäss EN 13363-1.

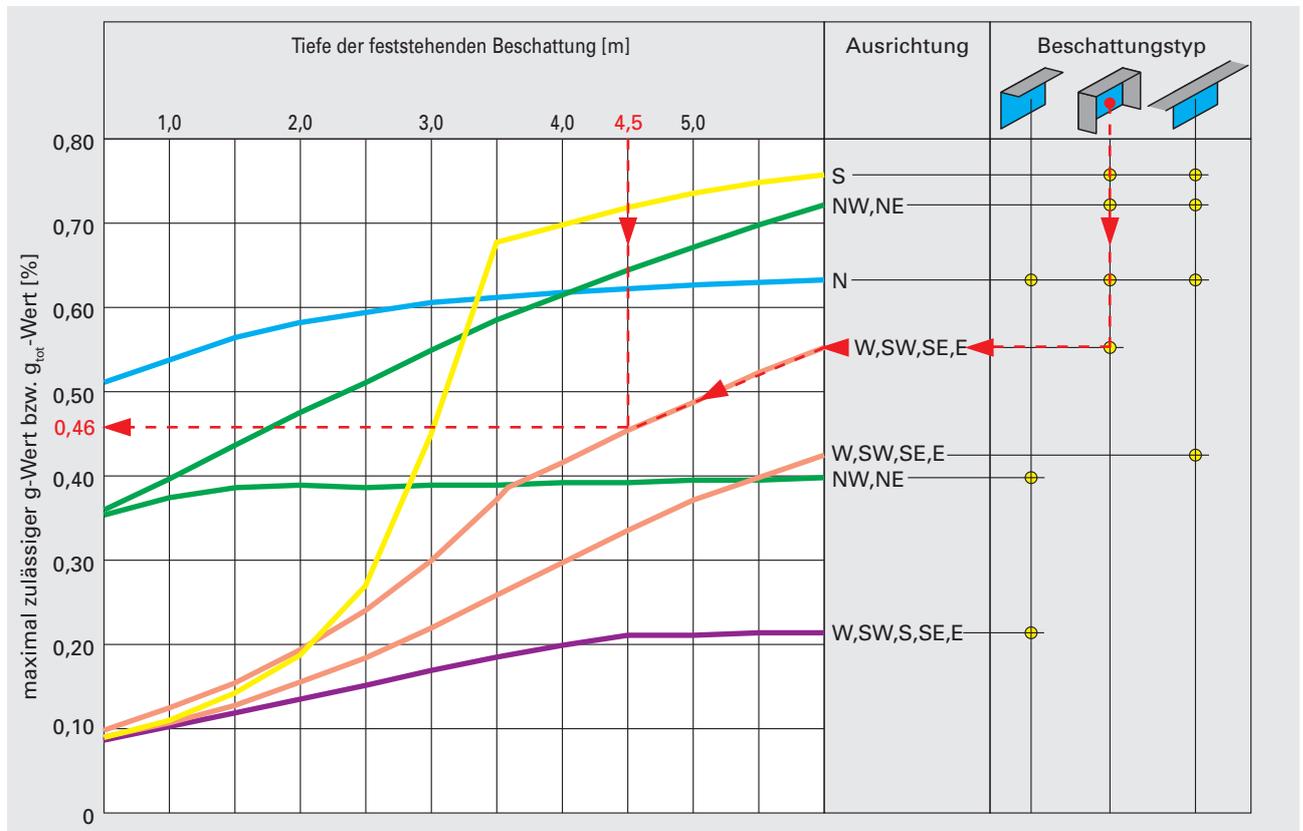


Bild C4: Maximal zulässiger g-Wert (ohne Sonnenschutz) bzw.  $g_{tot}$ -Wert (mit Sonnenschutz), abhängig von der fixen Beschattung und der Orientierung der Fassade. Das Ablesebeispiel zeigt, dass bei einer gegen W, SW, SO oder O orientierten Loggia, bei einer Tiefe von 4,5 m (Fenster 4 m breit und 3 m hoch), ein g-Wert von 46 % zulässig ist, was ohne zusätzlichen Sonnenschutz erreicht werden kann. Externe Verschattungen durch Nachbargebäude wurden nicht berücksichtigt.

**Einfluss von fixen Beschattungen**

In vielen Fällen werden die Fenster durch Balkone, Loggien oder andere fixe Einrichtungen beschattet. In diesen Fällen stellt sich die Frage, ob auf einen zusätzlichen, beweglichen Sonnenschutz verzichtet werden kann. In Norm SIA 180:2014 ist ein Verfahren beschrieben, mit dem der Einfluss der fixen Beschattung beurteilt werden kann. Bild C4 zeigt für drei unterschiedliche Beschattungstypen (Balkon so breit wie das Fenster, Balkon beidseitig über das Fenster weitergeführt, Loggia mit Seitenblende) bei differenten Ausrichtungen den noch erforderlichen g-Wert der Verglasung oder, wenn der Einfluss der fixen Beschattung nicht ausreicht, den  $g_{tot}$ -Wert von Verglasung und beweglichem Sonnenschutz.

Wichtig: Alle anderen, nicht fix beschatteten Fenster im Raum müssen den Anforderungen an den Sonnenschutz genügen, damit für den gesamten Raum die Anforderung an den Sonnenschutz eingehalten ist.

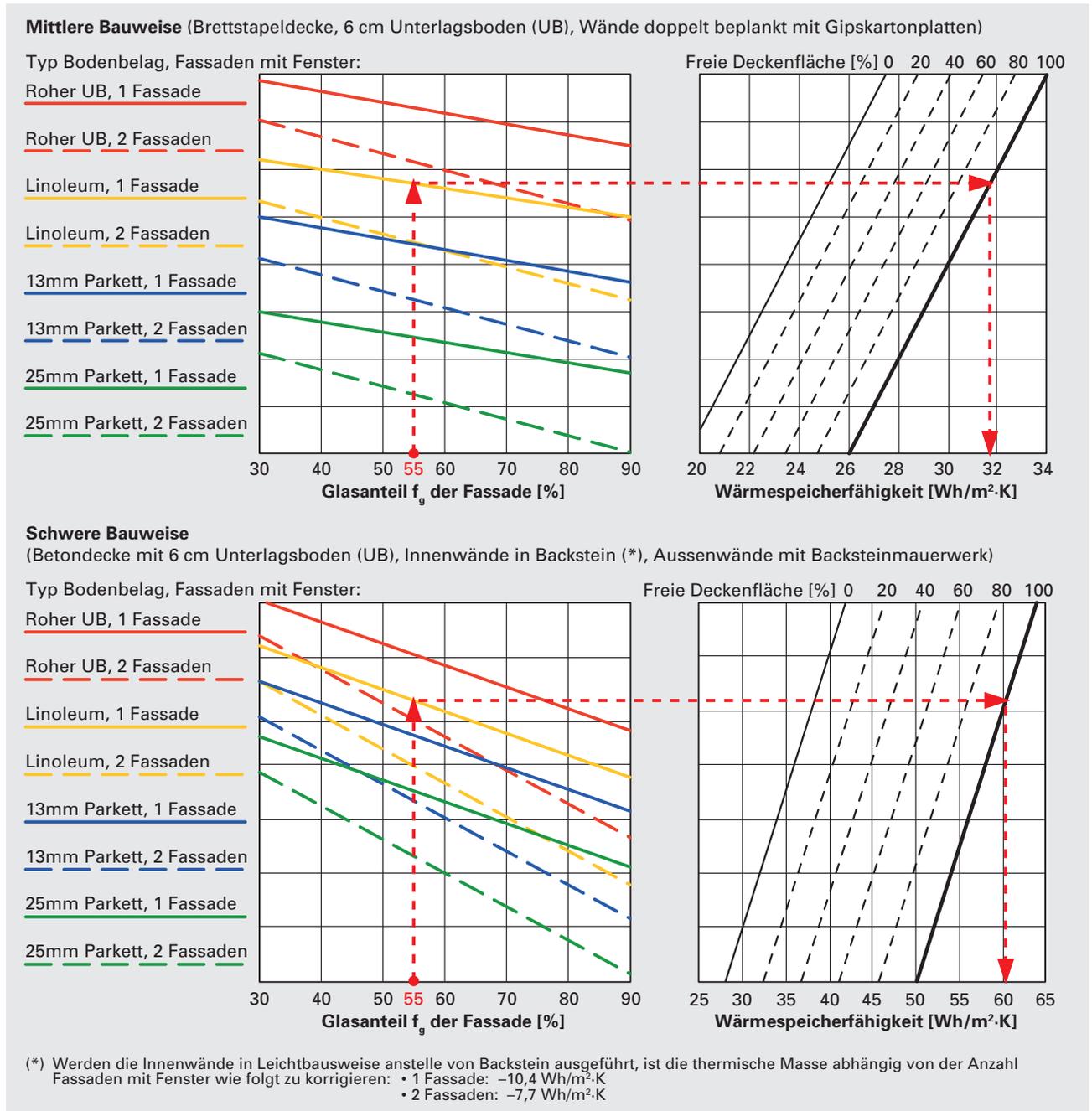


Bild C5: Ermittlung der thermischen Speichermasse für einen Raum von 8,5 m Länge, 4,8 m Breite und 2,5 m Höhe: Bei einem Glasanteil  $f_g$  von 55 % resultiert bei zu 100 % freier Decke und einem Linoleumboden und bei Fenster auf nur 1 Fassade bei der leichten Bauweise eine Wärmespeicherefähigkeit von etwa 32 Wh/m<sup>2</sup>·K und bei der schweren Bauweise eine solche von etwa 60 Wh/m<sup>2</sup>·K.

### **Anforderungen an die Wärmedämmung/Wärmekapazität**

Die Anforderungen an den für den sommerlichen Wärmeschutz erforderlichen U-Wert werden von jedem MuKE-Gebäude eingehalten. Für den sommerlichen Wärmeschutz wird im Dach ein U-Wert von  $\leq 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  gefordert. Für Wände, Boden und Fenster werden keine speziellen U-Wert-Anforderungen gestellt.

Etwas strenger sind die Anforderungen an die Wärmespeicherfähigkeit. Die Wärmespeicherfähigkeit muss in jedem Raum  $45 \text{ Wh/m}^2\cdot\text{K}$  betragen.

In der alten Norm zum sommerlichen Wärmeschutz lag dieser Wert noch bei  $30 \text{ Wh/m}^2\cdot\text{K}$  und konnte bei üblicher Baukonstruktion eingehalten werden. Die neu geforderten  $45 \text{ Wh/m}^2\cdot\text{K}$  sind vor allem bei leichter Bauweise kaum zu erreichen. Aber auch bei massiver Bauweise ist das Einhalten der Anforderung schwierig, wenn z.B. Teile der Betondecke von einer Akustikdecke abgedeckt werden oder der Bodenbelag einen eher hohen Wärmedurchlasswiderstand aufweist. Ein 25 mm dicker Parkett entkoppelt die thermische Speichermasse des Unterlagsbodens bereits wesentlich vom Raum, wodurch die thermische Speichermasse des Raums gegenüber einem Linoleumbodenbelag wesentlich reduziert wird.

Bild C5 zeigt den Einfluss der konstruktiven Entscheide betreffend die Decken- und Bodenflächen auf die zu erreichende Wärmespeicherfähigkeit des Raums, für Räume mit einer oder zwei Fassaden, bei der Bauweise «mittel» und «schwer».

### **Nachweis Verfahren 3 «dynamische Gebäudesimulation»:**

Wenn die Verfahren 1 oder 2 nicht angewendet werden können, ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes differenziert, mittels dynamischer Gebäudesimulationen zu führen. Dazu wird für die zu beurteilenden kritischen Zonen ein dreidimensionales Simulationsmodell erstellt. Berücksichtigt werden die Klimadaten, die Gebäudehülle (Baukonstruktion, Wärmespeichermasse, Fenster ...), die internen Lasten (Personen, Geräte, Licht), die Gebäudetechnik sowie die Beschattung. Damit lassen sich die zeitlichen Verläufe der Komfortvariablen (Lufttemperatur, empfundene Temperatur) rechnerisch vorhersagen.

#### ***Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes*** (gemäss Norm SIA 180:2014, Ziff. 5.2.6/Anhang C.1)

Für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird, wie bei den Verfahren 1 und 2, eine Betrachtung der Raumgeometrie (Flächen, Fenster usw.), der Baukonstruktion (Schichtaufbau, Wärmespeichermasse) sowie der Beschattung gemacht. Der Nachweis erfolgt beim Verfahren 3 jedoch dynamisch über das Sommerhalbjahr (16. April bis 15. Oktober 2011) und mit fiktiven internen Lasten. Damit wird der Nachweis unabhängig von der effektiven Nutzung geführt.

Diese Simulation dient somit lediglich dem Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäss SIA-Norm und sie sagt wenig über die nutzungsspezifisch differenten, effektiven Raumtemperaturen im Sommer aus. Vor allem bei Nutzungen mit hohen internen Lasten (z.B. Schulräume) weichen die effektiven Raumtemperaturen stark von denjenigen des Nachweisverfahrens ab.

Der sommerliche Wärmeschutz gilt dann als eingehalten, wenn die Raumtemperaturen über alle simulierten Stunden innerhalb der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 liegen (vgl. Bild C6, roter Bereich). Es sind keine Überschreitungen zulässig.

#### ***Nachweis der sommerlichen Raumtemperaturen*** (gemäss Norm SIA 180:2014, Anhang C.2)

Für den Nutzer der Räume sind die effektiv zu erwartenden Raumtemperaturen entscheidend, dies unter Annahme einer möglichst realen Nutzung. Für die Beurteilung der effektiv zu erwartenden Raumtemperaturen wird zwischen zwei Varianten unterschieden.

### **Räume mit Fensterlüftung**

Für Räume mit reiner Fensterlüftung gilt die Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 (vgl. Bild C6, roter Bereich). Die obere Grenzkurve ist nach oben nicht begrenzt, was heisst, dass bei hohen Aussentemperaturen auch entsprechend hohe Raumtemperaturen zulässig sind. Für einen heissen Sommer, wie etwa im Jahr 2015, heisst das, dass während 7 bis 10 Tagen eine maximale Raumtemperatur von über  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  noch «normkonform» und somit zulässig ist. Erfahrungsgemäss werden jedoch derart hohe Raumtemperaturen von den Nutzern nicht geschätzt und kaum akzeptiert. Es ist daher empfehlenswert, bei der Beurteilung der sommerlichen Raumtemperaturen die Grenzkurve für mechanisch gelüftete und gekühlte Räume zu verwenden (vgl. Bild C6, grüner Bereich).

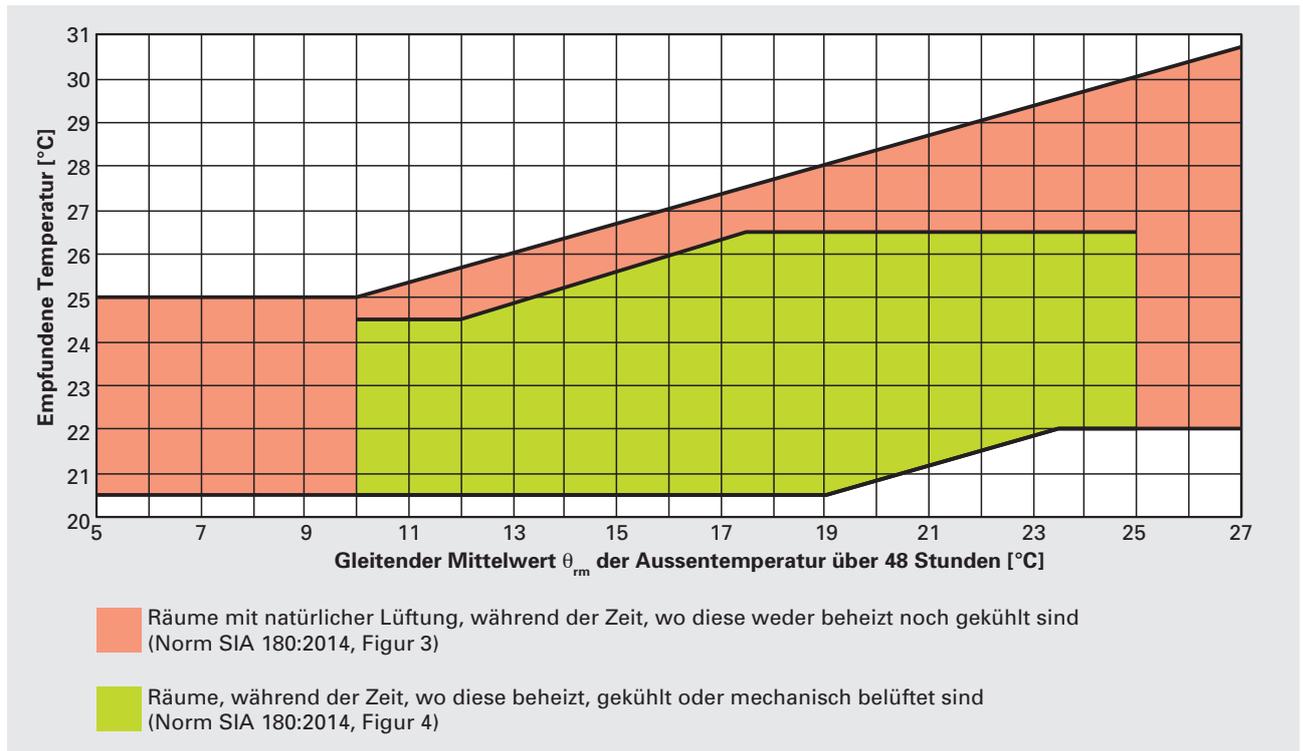


Bild C6: Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur in Wohn- und Büroräumen, je nach Aussentemperatur (gleitender Mittelwert).

### Räume mit mechanischer Lüftung oder Kühlung

Für gekühlte und/oder mechanisch belüftete Räume ist in Norm SIA 180:2014 eine Grenzkurve definiert (vgl. Bild C6, grüner Bereich). Anders als bei der Grenzkurve für Räume mit reiner Fensterlüftung, sind hier Überschreitungen der Temperaturen zulässig. Gemäss Norm SIA 382/1:2014 werden folgende Bereiche unterschieden:

- Keine Stunden über dem Grenzwert: Kühlung nicht notwendig
- 0 bis 100 Stunden Überschreitung (\*): Kühlung erwünscht
- Mehr als 100 Stunden Überschreitung (\*): Kühlung notwendig

(\* ) Für Wohnbauten liegt die Grenze bei 400 Stunden.

**Vermeidung von Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbefall an Oberflächen**

Das Gebäude ist im Detail so zu projektieren und auszuführen, dass im bewohnten Raum an keiner Stelle Oberflächenkondensat auftritt und keine Gefahr von Schimmelpilzbefall besteht. Kurzfristig darf an Oberflächen (z.B. Verglasung/Glasrandverbund) Kondenswasser ausgeschieden werden, wenn dies nicht zu Schäden führt, z.B. durch das Abtropfen auf feuchteempfindliche Fensterbänke, Bodenbeläge u.Ä.

Um das Schimmelpilzrisiko zu vermeiden, darf die Oberflächenfeuchte (relative Feuchte der oberflächennahen Luftschicht) den Wert von 80 % nicht während mehr als zweier aufeinanderfolgender Wochen pro Jahr übersteigen.

Für das Risiko von Oberflächenkondensat ist die momentane Raumlufffeuchte massgebend. Die von der Raumlufftemperatur und der relativen Raumlufffeuchte abhängige Taupunkttemperatur der Raumluff darf an den Bauteiloberflächen nicht unterschritten werden.

**Einfluss Nutzung**

Die Erfahrungen zeigen, dass oft ein Fehlverhalten der Nutzer zu Feuchteschäden, insbesondere Schimmelpilzbildung führt. Abgesehen von Feuchteinflüssen wie Baurestfeuchtigkeit (z.B. während der ersten beiden Nutzungsjahre) oder Wasserinfiltrationen (Durchfeuchtung von aussen), hat es der Nutzer in der Hand, die relative Feuchte zu beeinflussen, z.B. durch:

- Feuchteproduktion, unbewusst durch die Nutzung (Kochen, Duschen, Pflanzen, Aquarien u.Ä.) oder bewusst durch Befeuchtung.
- Feuchteabfuhr durch genügenden Luftwechsel, entweder durch vom Nutzer beeinflusstes Lüften über die Fenster und/oder über den Luftaustausch mit einer mechanischen Lüftung.

Es ist die Aufgabe des Nutzers, die relative Raumlufffeuchte in einem zulässigen Bereich zu halten: Um Feuchteschäden zu vermeiden, darf die relative Luftfeuchte in den Räumen mit Personenbelegung die Grenzen gemäss Bildern D1 und D2 nicht überschreiten.

Aussenlufttemperatur [°C]	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20
Raumlufffeuchte $\varphi_{i,max}$ [%]	78	69	61	54	48	42	38	34	30
Taupunkt $\theta_{i,D,max}$ [°C]	16,0	14,1	12,2	10,3	8,6	6,8	5,1	3,5	1,9

Bild D1: Maximal zulässiges Tagesmittel der Raumlufffeuchte für eine Raumlufftemperatur von 20 °C und die diesen Klimabedingungen entsprechende Taupunkttemperatur (Quelle: Norm SIA 180:2014).

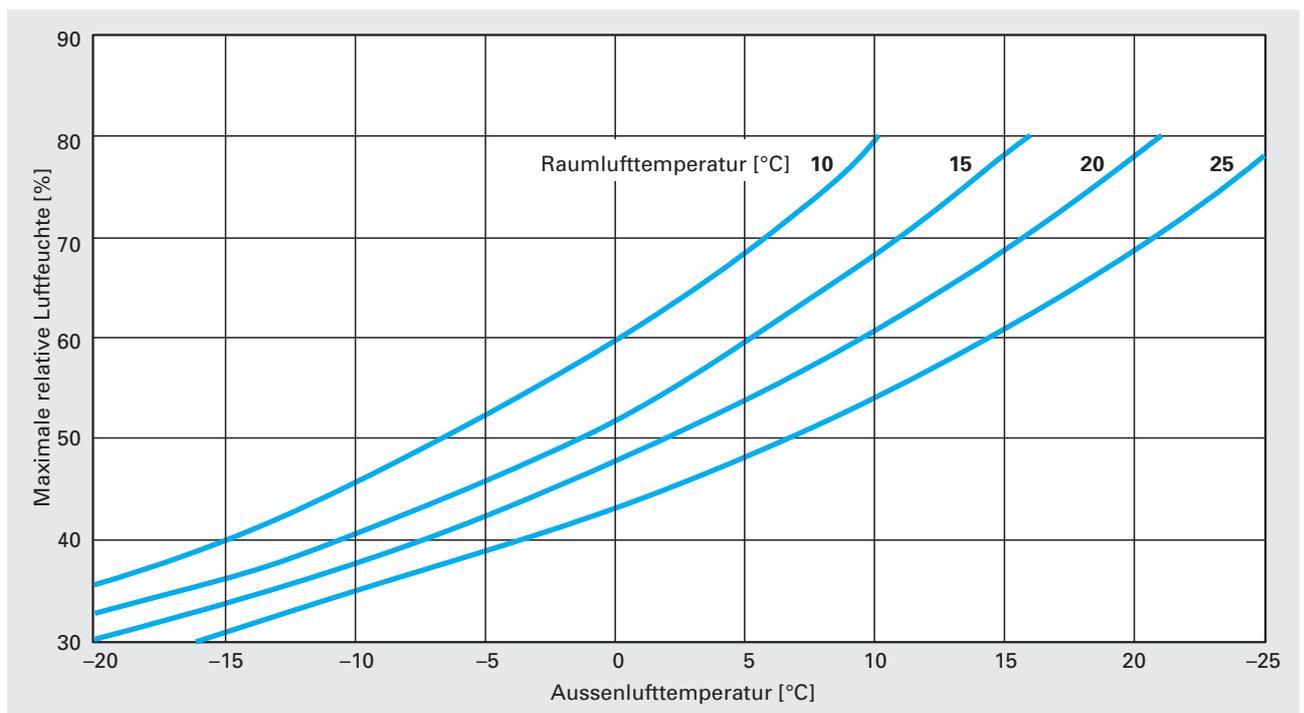


Bild D2: Maximal zulässige relative Feuchte der Raumluff zur Bestimmung des Aussenluftvolumenstroms (Tagesmittelwerte; Quelle: Norm SIA 180:2014).

**Einfluss Baukonstruktion**

Je besser der Wärmeschutz, desto höher sind die Oberflächentemperaturen und desto geringer ist das Risiko, dass sich Schimmelpilze bilden oder sogar Oberflächenkondensat ausgeschieden wird. Unter der Voraussetzung, dass die maximal zulässigen relativen Raumluftheuchten nicht überschritten werden, erfüllt die Baukonstruktion die Anforderungen, wenn:

- Die flächigen Bauteile die maximal zulässigen U-Werte einhalten (z.B.  $U \leq 0,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  für Bauteile gegen Aussenluft).
- Bei konstruktiven Wärmebrücken bei Bauteilen (ausgenommen Fenster und Türen) und Bauteilübergängen der Oberflächentemperaturfaktor  $f_{\text{Rsi}}$  grösser oder gleich den Grenzwerten in Bild 2.4.3 ist.
- Sowohl bei zwei- wie auch bei dreidimensionalen Bauteilübergängen müssen die Anforderungen an die Oberflächentemperatur eingehalten werden. Weil Bauteilübergänge in der Regel mittels zweidimensionaler Wärmebrückenberechnungen analysiert werden, soll in Anbetracht der in dreidimensionalen Bereichen noch tieferen Oberflächentemperaturen (vgl. Bild D4: Temperaturdifferenz = 1,3 Kelvin und  $f_{\text{Rsi}}$ -Differenz = 0,04) und zur Berücksichtigung von Unwägbarkeiten bei der Bauausführung ein Sicherheitszuschlag erfolgen. Bei der Klimastation Luzern soll zum Beispiel bei einer zweidimensionalen Wärmebrückenberechnung statt einem  $f_{\text{Rsi}}$ -Faktor von 0,71 ein solcher von 0,75 erreicht werden.

Raumluftheuchte (unkontrollierte Raumluftheuchte, Sicherheitsfaktor 1,25) Klimastation	Vermeidung von Schimmel- pilzbefall $f_{\text{Rsi,min}}$	Oberflächen- kondensat $f_{\text{Rsi,min}}$
Basel-Binnigen	0,71	0,60
Bern Liebefeld	0,71	0,60
Chur	0,73	0,61
Davos	0,70	0,62
Genève-Cointrin	0,72	0,59
La-Chaux-de-Fonds	0,70	0,61
Lugano	0,73	0,58
Luzern	0,71	0,71
Samedan	0,71	0,63
Schaffhausen	0,71	0,61
Sion	0,74	0,60
Zürich SMA	0,71	0,60

Bild D3: Minimale Oberflächentemperaturfaktoren  $f_{\text{Rsi}}$  bei ausgewählten Klimastandorten zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Oberflächenkondensat (Quelle: Norm SIA 180:2014).

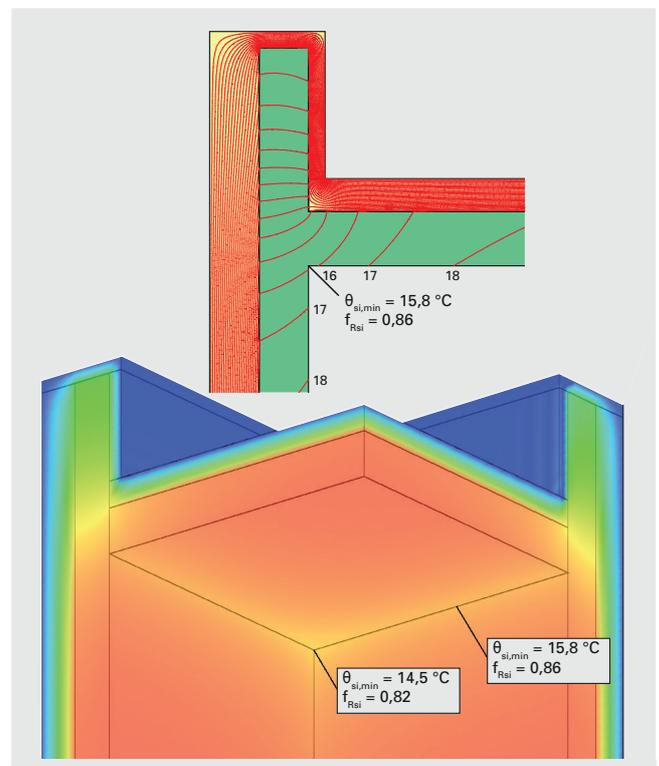


Bild D4: Zwei- und dreidimensionale Wärmebrückenberechnung einer Dachrandausbildung. Wenn gewährleistet werden soll, dass auch in dreidimensionalen Eckbereichen genügend hohe Oberflächentemperaturen erreicht werden, ist bei einer zweidimensionalen Wärmebrückenberechnung ein höherer Grenzwert einzuhalten als in Bild D3 gefordert.

### Verhinderung von unzulässiger Feuchte in Bauteilen durch Diffusions- und Kapillarprozesse

Es darf keine schädliche Anreicherung von Feuchte in der Konstruktion auftreten, verursacht durch konvektive Luftströme, Kapillarleitung und Wasserdampfdiffusion.

#### *Konstruktive Massnahmen*

Der Bauablauf ist so zu gestalten, dass vor dem Bezug eine Austrocknung der Konstruktion erfolgen kann. Die Bauteile sind so zu konzipieren, dass ihre eigene Baufeuchte nicht auf andere Bauteile schädigend übertragen wird. Feuchtwanderungen von Bauteil zu Bauteil (z.B. zwischen Wand und Decke) sind zu unterbinden. Kaltseitig der Wärmedämmung angeordnete, nicht belüftete Hohlräume erfordern eine kritische Prüfung: Extreme Temperaturänderungen können zu Kondenswasserausscheidung führen.

Flächen, die Wärme gegen den klaren Nachthimmel abstrahlen und als äusserste Schicht der Konstruktion nur wenig Masse aufweisen (z.B. verputzte Aussenwärmedämmung), müssen so beschaffen sein, dass das anfallende Kondenswasser weder ein Algenwachstum fördert noch zu einer verstärkten Anhaftung von Feinstaub an diesen Flächen führt. Durch geeignete Massnahmen wie sorptionsfähige Oberflächen, Vordächer usw. kann die Kondensatmenge an diesen Oberflächen minimiert werden. Aus ökologischen Überlegungen ist vom Einsatz von Bioziden abzusehen.

#### *Feuchtetechnisch «unkritische» Bauteile*

Bei normaler Wohn- und Arbeitsnutzung (ohne besondere Klimatisierung) sind schädliche Anreicherungen von Feuchte in folgenden Wand- bzw. Dachkonstruktionen nicht zu erwarten:

- Aussenwärmedämmung mit dampfdurchlässigem Aussenputz.
- Homogen gedämmte Wand mit dampfdurchlässiger äusserer Bekleidung.
- Wärmedämmung mit äusserer hinterlüfteter Bekleidung (Wand oder Dach).
- Umkehrdach mit dafür geeigneter Wärmedämmung und dampfdurchlässiger Abdeckung.

#### *Konvektionskondensat*

Die Erfahrungen zeigen, dass die durch konvektive Luftströme verursachten Feuchteschäden sehr gravierend sein können, bis hin zu einer Schädigung der Tragstruktur (z.B. Fäulnisbildung an Holztragelementen). Durch eine warmseitig luftdichte Gebäudehülle gilt es, Konvektionskondensat zu vermeiden (vgl. Kapitel 2.5 «Luft-dichtheit»).

#### *Nachweis Wasserdampfdiffusionsvorgänge*

Für den Nachweis der Wasserdampfdiffusionsvorgänge gibt es das Glaserverfahren. Das Glaserverfahren gemäss SN EN ISO 13788 kann als Nachweisverfahren für die meisten Konstruktionen dienen, um zu beurteilen, ob sich im Laufe der Zeit durch Diffusionsprozesse eine unzulässige Anreicherung der Feuchte ergibt. Der Diffusionsnachweis gilt als erbracht, wenn:

- Am Ende des Sommers (Austrocknungsperiode) kein Kondensationswasser im Bauteil verbleibt.
- Die in der Kondensationsperiode aufsummierte Kondensatwassermenge folgende Werte in den angrenzenden Schichten nicht überschreitet:
  - Holz und Holzwerkstoffe: 3 % der Schichtmasse
  - Wärmedämmstoffe: 1 % des Schichtvolumens
  - poröse Baustoffe mit kapillarer Feuchtetransportfähigkeit: 800 g/m<sup>2</sup>

Insbesondere bei Holzkonstruktionen mit diffusionsdichter Aussenschicht und Wärmedämmung zwischen der Holztragstruktur ist das Nachweisverfahren nach Glaser nicht zulässig. Bei solchen Bauteilen muss der Nachweis unter Berücksichtigung der dynamischen Effekte gemäss SN EN 15026 erfolgen und mindestens die Angaben zum Kondensatrisiko innerhalb der Konstruktion und zu den zu erwartenden Feuchteänderungen der verschiedenen Schichten enthalten.

### Formänderungen organischer Materialien infolge zu langer Feuchte- oder Trockenperioden vermeiden

Zum Schutz organischer Materialien vor zu grossen Formänderungen sollen die Tagesmittelwerte der relativen Raumlufffeuchte bei Höhenlagen bis 800 m ü.M. im Allgemeinen zwischen 30 % und 70 % liegen. In Höhenlagen über 800 m ü.M. reduzieren sich die Untergrenze und die Obergrenze um 1 % r.F. pro 100 m. Auf einer Höhe von 1800 m ü.M. liegt der Bereich z.B. zwischen 20 % und 60 % r.F.

Die Untergrenze der relativen Raumlufffeuchte darf pro Monat an maximal 5 aufeinanderfolgenden Tagen unterschritten, die Obergrenze pro Monat an maximal 5 aufeinanderfolgenden Tagen überschritten werden.

Der zulässige Bereich der relativen Raumluftfeuchte ist ohne aktive Befeuchtung und ohne Entfeuchtung einzuhalten, ausser wenn die folgenden Massnahmen hierfür nicht ausreichend sind:

- Bedarfsgerechte Lüftung, die evtl. abhängig von den Aussentemperaturen reduziert wird.
- Bedarfsgerechte Heizung oder Kühlung zur Erreichung der Raumlufttemperatur-Sollwerte im Winter und im Sommer.
- Wärmerückgewinnung mit Feuchteübertragung.
- Erhöhung oder Reduktion der Feuchtequellen im Raum.

### Feuchtigkeitsprobleme in Kellerräumen

Im Winter wird der Keller durch «Dauerlüften» immer trockener. Im Sommer geschieht genau das Gegenteil: Durch einen Aussenluftwechsel wird der Keller feuchter, weil die absolute Feuchte der Aussenluft insbesondere bei Tag erheblich höher ist als im Kellerraum. Die Folgen sind modriger Geruch, Schimmelpilzbildung oder sogar Oberflächenkondensat. Durch den heute geforderten Wärmeschutz und die Vermeidung von Energieverlusten bei Leitungen bleiben die Kellerräume häufig eher kalt, wodurch sich die Feuchteproblematik noch akzentuiert. Grundwassereinfluss kann die Nutzbarkeit von Untergeschossräumen zusätzlich limitieren.

Wer aber im Untergeschoss Räume plant, will diese auch nutzen können. Und weil ein trockener Estrich meist fehlt, werden an Kellerräume Anforderungen wie an Lagerräume gestellt: Der Raum soll so trocken sein, dass alle denkbaren Waren gelagert werden können. Hierfür sind aber entsprechende Massnahmen erforderlich.

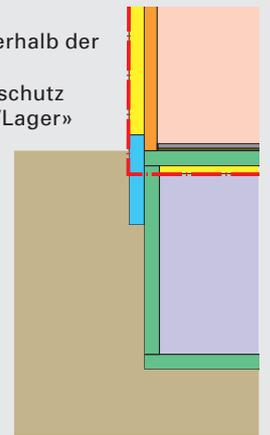
Aussenwände wärmedämmen

Bild D5 zeigt drei mögliche Konzepte für den Wärmeschutz bei Untergeschossräumen:

- Konzept 1 zeigt die «Minimalvariante» mit einer Wärmedämmung nur aus Sicht der Bauschadenfreiheit im beheizten Erdgeschoss. Es resultieren im Untergeschoss eher tiefe Raum- und Oberflächentemperaturen. Die Nutzung solcher Räume ist ohne technische Massnahmen eingeschränkt und bei «Feuchträumen» (z.B. Waschen, Trocknen) können Schimmelpilzbildung und evtl. sogar Oberflächenkondensat nicht ausgeschlossen werden.
- Bei den Konzepten 2 und 3 ist mindestens die Aussenwand wärmedämmt. Bei unbeheizten Keller- bzw. Lagerräumen ist bereits eine minimale Perimeterdämmung von etwa 10 cm ausreichend, um den Nutzwert der Räume im Untergeschoss erheblich zu erhöhen. Die Raumtemperaturen werden konstanter, die Oberflächentemperaturen höher und die relative Raumluftfeuchte lässt sich dadurch reduzieren. Beim «Vollwärmeschutz» gemäss Konzept 3 lassen sich die Untergeschossräume hochwertig nutzen, wenn sie zusätzlich beheizt und belüftet werden.

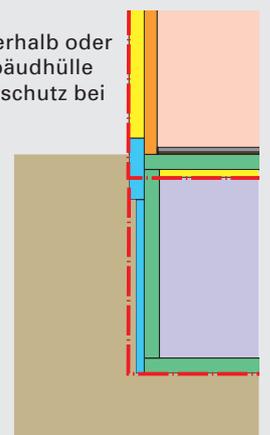
#### Konzept 1

- Untergeschoss unbeheizt und ausserhalb der thermischen Gebäudehülle
- kein baulicher Wärme- und Feuchteschutz
- eingeschränkte Nutzung als «Keller/Lager»
- Evtl. Risiko betreffend Feuchteschäden in Wasch-/Trockenräumen, z.B. in oberem Wandbereich, bei tiefer liegendem Terrain und ungenügenden baulichen Wärme- und Feuchteschutz
- Im Sommerhalbjahr reduzierter Luftwechsel und Luftentfeuchtung erforderlich



#### Konzept 2

- Untergeschoss unbeheizt und ausserhalb oder evtl. innerhalb der thermischen Gebäudehülle
- mit baulichem Wärme- und Feuchteschutz bei den Aussenwänden
- Boden über Erdreich ungedämmt
- gute Perspektiven für Nutzung als «Keller/Lager», insbesondere mit der Möglichkeit die Luft im Sommerhalbjahr bei Bedarf zu entfeuchten
- Feuchteschäden können in der Regel ausgeschlossen werden



#### Konzept 3

- Untergeschoss beheizt/belüftet und innerhalb der thermischen Gebäudehülle
- Bei grosser Bodenfläche und wenn Untergeschosse unter Terrain, je nach Raumnutzung auch ohne wärmedämmten Boden über Erdreich funktionsfähig
- «uneingeschränkte» Nutzung der Untergeschossräume abhängig vom Tageslichteinfall
- gegenüber Obergeschoss geringerer Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung und dadurch längere «Heizperiode» im Untergeschoss
- als «Keller/Lager» kaum Feuchteprobleme und hierfür gut geeignet

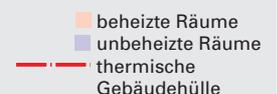
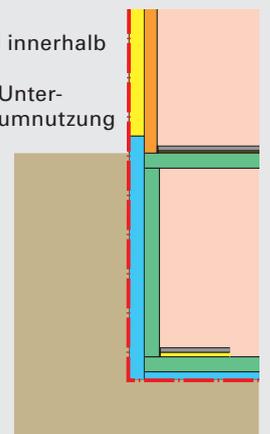


Bild D5: Wärmedämmkonzepte im Bereich von Untergeschossräumen, die an das Erdreich angrenzen.

Eine Garantie für trockene Untergeschossräume gibt der bauliche Wärme- und Feuchteschutz aber alleine auch nicht. Hierzu muss zusätzlich die Möglichkeit einer Luftentfeuchtung geboten werden. Die Chance, dass solche Untergeschossräume auch ohne Luftentfeuchtung als Lagerräume nutzbar sind, erhöht sich aber mit einer Wärmedämmung bei den Aussenwänden gegenüber dem Konzept 1 deutlich.

### Luftentfeuchtung

Eine zuverlässige Beeinflussung der Raumlufffeuchte ist nur durch haustechnische Massnahmen, wie Entfeuchten der Raumluff, möglich. Es sollen Luftentfeuchter mit Hygrostatsteuerung verwendet und eine Luftfeuchtigkeit von maximal 60 % angestrebt werden. Die Fenster müssen stets geschlossen bleiben, solange entfeuchtet wird. Als häufigst anzutreffende Verfahren zur Luftentfeuchtung gelten die Kondensations- und Adsorptionstrocknung.

Bei der Kondensationstrocknung wird die zu trocknende Luft über kalte Oberflächen geführt, sodass sich die in der Luft enthaltene Feuchte an diesen Oberflächen niederschlägt bzw. auskondensiert und dadurch abgeschieden werden kann.

Ein Adsorptionsentfeuchter wird überall dort eingesetzt, wo konstant gleichbleibende Feuchtigkeitswerte erforderlich sind und wo auch bei tiefen Temperaturen eine hohe Entfeuchtungsleistung erzielt werden muss (vgl. Bild D6). Bei Anlagen im Dauerbetrieb ist die Adsorptionsentfeuchtung die effizienteste und günstigste Entfeuchtungsmethode. Die Luft wird bei dieser Technik durch einen Filter angesaugt und über das langsam rotierende Trockenrad geführt. Hier findet der Feuchtigkeitsaustausch statt. Die Wassermoleküle binden sich an das Sorptionsmittel. Die vom Trockenrad adsorbierte Feuchtigkeit wird im separierten Regenerationssektor durch einen im Gegenstrom geführten heissen Luftstrom wieder ausgetrieben und anschliessend auskondensiert.

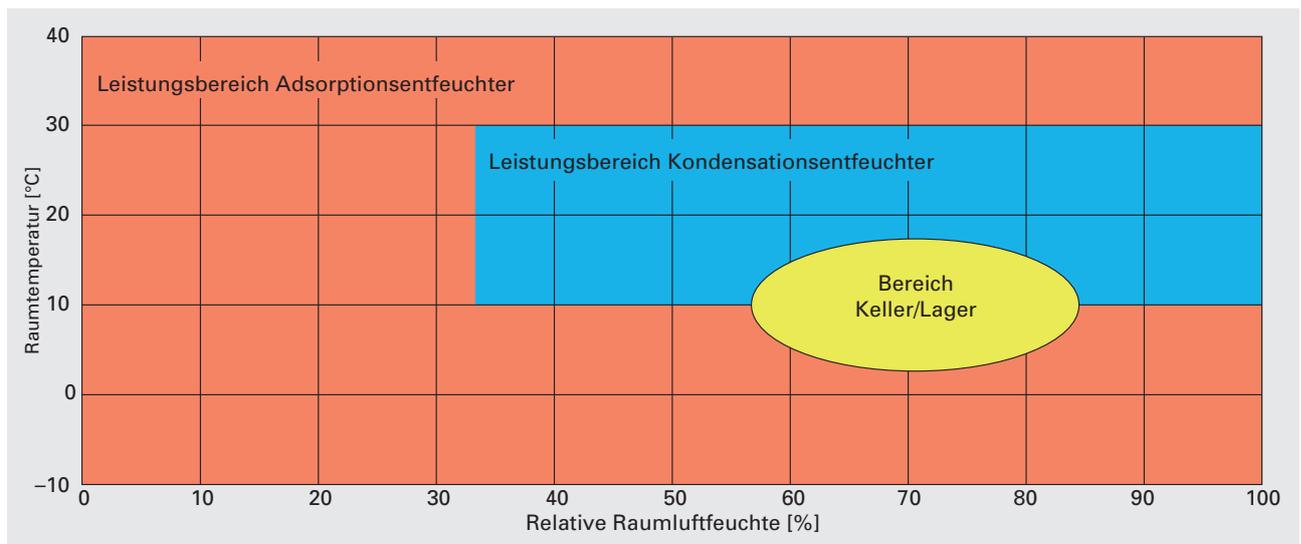


Bild D6: Adsorptionsentfeuchter haben einen breiter gefächerten Arbeitsbereich und sind bei Dauerbetrieb effizienter als Kondensationsentfeuchter (Quelle: Krüger + CO. AG).

### Richtig lüften

Die Gefahr von zu hoher Raumlufffeuchte besteht im unbeheizten Untergeschoss nicht primär in der kalten Jahreszeit, sondern im Sommer. Eine Trocknung mittels Aussenluftwechsel kann nur dann erreicht werden, wenn trockenere Aussenluft in den Kellerraum gelangt als die dort auszutauschende Raumluff. Damit über geöffnete Kellerfenster im Sommer nicht zu viel Luftfeuchtigkeit in den Keller gelangt, soll deshalb eine bewusste Lüftung nur dann erfolgen, wenn die Luftfeuchtigkeit im Freien geringer ist als diejenige im Keller (absolute Luftfeuchte aussen/innen). Bei mechanischer Lüftung lässt sich der Luftwechsel basierend auf Messwerten (klimatische Randbedingungen aussen und innen) steuern und so dem Kellerraum nur dann Aussenluft zuführen, wenn dadurch eine Trocknung des Kellerraumes resultiert.

Kellerräume beheizen

Durch das Beheizen von Keller- bzw. Lagerräumen kann die relative Raumlufffeuchte positiv beeinflusst werden und die Oberflächentemperaturen lassen sich dadurch erhöhen. Aus energetischer Sicht ist diese Massnahme jedoch kaum effizient und deshalb für Räume, deren Nutzung keine Beheizung erfordern, nicht sinnvoll.

**Anforderungen gemäss Norm SIA 180**

Die Norm SIA 180:2014 definiert Grenz- und Zielwerte für Neubauten und Umbauten/Erneuerungen. Beim Grenzwert wird unterschieden zwischen Bauten mit natürlicher und solchen mit mechanischer Lüftung (vgl. Bild E1). Einzelleckagen dürfen auch bei eingehaltenem Grenzwert nicht zu Schäden am Gebäude (z.B. durch Konvektionskondensat) und zur Verminderung der Behaglichkeit (z.B. infolge Zugluft und Geruch) führen. Die Gebäudehülle und die Trennbauteile zu den angrenzenden Nutzungszonen müssen grundsätzlich luftdicht sein.

Der  $q_{a50}$ -Wert ist nicht zu verwechseln mit dem effektiven Luftwechsel  $n_L$  unter «natürlichen Bedingungen», als Folge von Wind- und Temperaturdifferenzen sowie unter Berücksichtigung des Benutzerverhaltens. Es bestehen folgende Schwierigkeiten:

- Es ist nicht bekannt, mit welcher Konstruktion bzw. welchen Detailausbildungen die vorgegebenen  $q_{a50}$ -Werte erreicht werden können.
- Es fehlen weitgehend Messungen und einfache Rechenmethoden, die den Bezug zwischen dem  $q_{a50}$ -Wert und dem effektiven Luftwechsel  $n_L$  herstellen.

	Grenzwert		Zielwert
	für natürliche Lüftung $q_{a50,ji}$ [ $m^3/h \cdot m^2$ ]	für mechanische Lüftung $q_{a50,ji}$ [ $m^3/h \cdot m^2$ ]	generell $q_{a50,ta}$ [ $m^3/h \cdot m^2$ ]
<b>Neubauten</b>	2,4	1,6	0,6
<b>Umbauten, Erneuerungen</b>	3,6	2,4	1,2

Bild E1: Grenz- und Zielwerte (Quelle: SIA-Norm 180, 2014, Tabelle 5). Bei Bauten in den Standards MINERIG-P und -A werden mit  $q_{a50} \leq 0,75$  besonders hohe Anforderungen an die Luftdichtheit gestellt.

**Planung/konzeptionelle Überlegungen**

Mit einem Luftdichtheitskonzept soll festgelegt werden, wie die Luftdichtheit gewährleistet werden kann, wobei es folgende Massnahmen zu beachten gilt:

- Massnahmen in der Fläche.
- Ausbildung der An- und Abschlüsse.
- Dichtungsmassnahmen bei Durchdringungen.

**Luftdichtheit warmseitig gewährleisten**

Bei der Planung ist zu berücksichtigen, dass die Konstruktion warmseitig der Wärmedämmung luftdicht sein muss. Ein Anschluss der Luftdichtung im Kaltbereich kann zu Kondensat und entsprechenden Folgeschäden führen. Die Oberflächen- bzw. Grenzschichttemperatur im Bereich des luftdichten Anschlusses muss deshalb höher sein als die für das Schimmelpilzwachstum kritische Temperatur und damit auch höher als die Taupunkttemperatur der Raumluft. Gemäss Norm SIA 180:2014 ist ein  $f_{Rsi}$ -Faktor von 0,70 bis 0,76 (je nach Klimastation) einzuhalten, um Schimmelpilzbildung bei normalen raumklimatischen Bedingungen (Wohn-, Büro-, Schulbauten) zu vermeiden. Auch im Bereich des luftdichten Anschlusses soll somit ein « $f_{Rsi}$ - bzw. Temperaturfaktor» von 0,70 bis 0,76 eingehalten werden (Beispiel  $f_{Rsi} = 0,75$ :  $+12,5 \text{ }^\circ\text{C}$  Oberflächentemperatur bei  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  Raumlufttemperatur und  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  Aussenlufttemperatur).

Die Luftdichtheitsebene ist sorgfältig zu planen und die erforderlichen Massnahmen sind auszu-schreiben. Die Lage und der Verlauf der Luftdich-

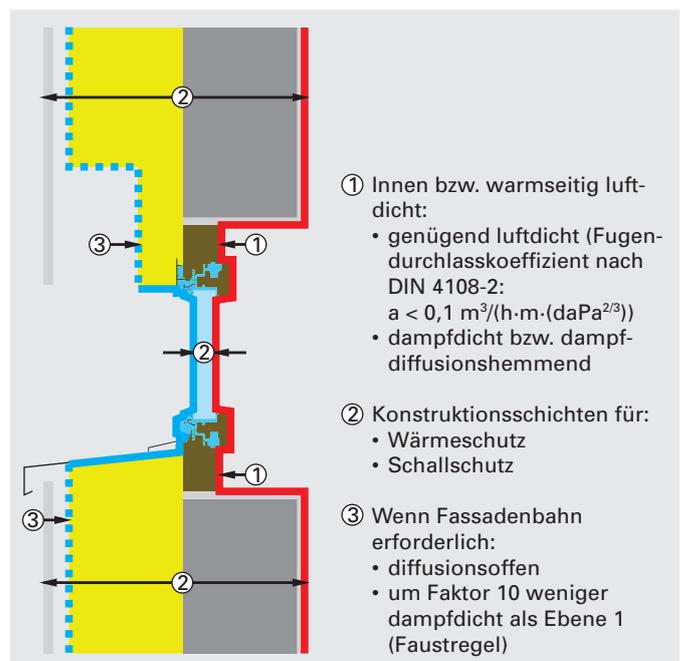


Bild E2: Es sind die drei «Funktionsebenen» Luftdichtheit (warmseitig), Wärme- und Schallschutz (Konstruktionsaufbau, Fenster) und Wind-/Schlagregendichtheit (ausssen, kaltseitig) zu unterscheiden und entsprechend zu konzipieren.

zung in der Fläche, bei den An- und Abschlüssen sowie bei Durchdringungen müssen im Luftdichtheitskonzept festgelegt werden. Die Arbeiten sind zwischen den am Bau Beteiligten zu koordinieren.

Es ist zu beachten, dass nicht nur die Gebäudehülle, sondern auch die Trennbauteile zwischen unterschiedlichen Nutzungen in den Planungssperimeter mit einbezogen werden (vgl. Bild E3). Für jedes Bauteil der Hüllfläche und diejenigen zwischen unterschiedlichen Nutzungszonen ist die Art und Lage der Luftdichtung festzulegen. Der Wechsel der Luftdichtheitsebene in Konstruktionen (z.B. von innen nach aussen) ist problematisch und nach Möglichkeit zu vermeiden. Durchdringungen der Luftdichtheitsschicht sollen weitgehend vermieden werden. Speziell zu planen sind die Bauteilübergänge, wie z.B. der luftdichte Fenstereinbau oder der Anschluss Aussenwand/Dach.

**Luftdichtheitsmesskonzept**

Es muss nicht nur ein Luftdichtheits- und Lüftungskonzept, sondern auch ein Konzept für die Messung der Luftdichtheit erstellt werden. Diese Konzepte sind aufeinander abzustimmen. Ist dies nicht der Fall, können einzelne Nutzungszonen innerhalb der thermischen Gebäudehülle nicht gemessen werden (z.B. eine Wohnung in einem Mehrfamilienhaus, vgl Bild E3).

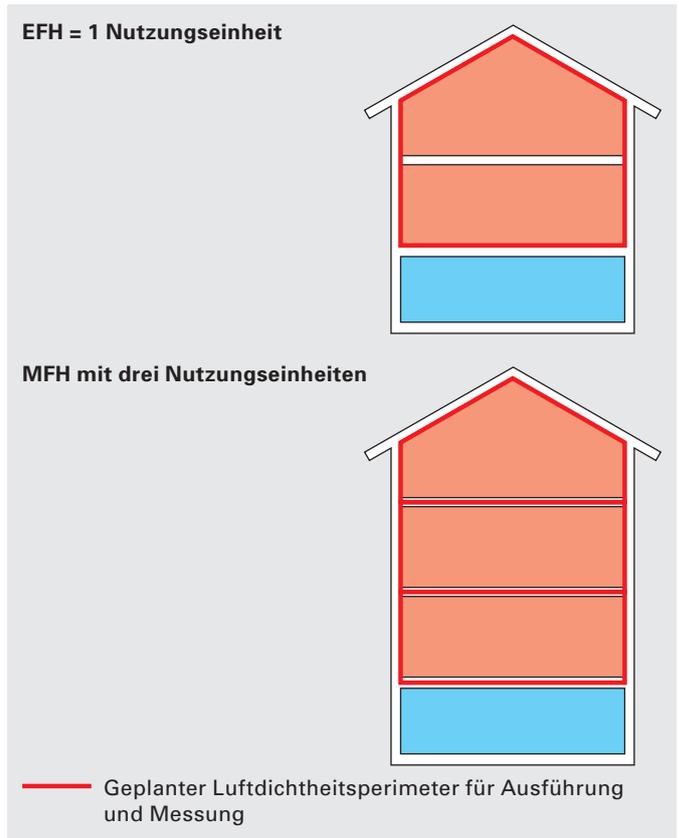


Bild E3: Beispiel für Luftdichtheitsperimeter bei einem Einfamilienhaus (eine Nutzungseinheit) und einem Mehrfamilienhaus (mehrere Nutzungseinheiten).

Phase	1)	2)	Massnahmen und Kontrollen
<b>Projektierung</b>	x		- Abklärung der Schadstoffsituation mit verfügbaren Daten
		x	- Messungen zur Abklärung der Schadstoffsituation
	x		- Konzeptionelles Vorgehen (Luftdichtheits- und Lüftungskonzept)
	x		- Festlegen der Nutzungszonen mit Anforderungen an die Luftdichtheit
	x		- Detailstudien (An- und Abschlüsse, Durchdringungen usw.)
	x		- Klare Darstellung in Plänen und Ausschreibung
	x		- Abklärung der nötigen Vorsorgemassnahmen zum Radonschutz
	x		- Planung der Gasdichtheit gegenüber Bodenluft sowie Planung der optionalen Radondrainage
	x		- Festlegen der Anforderungen mit allen Beteiligten
	x		- Radonmessungen vor Umbauten
<b>Ausführung</b>	x		- Kontrollen von Materialien und Ausführungsqualität durch die Bauleitung vor Ort, während aller Bauphasen
		x	- Dichtheitstest während/nach der Ausführung der Luftdichtheitsebene, Leckageortung und Nachbesserung der Fehlstellen
<b>Inbetriebnahme</b>		x	- Abnahmemessung für die Luftdichtheit
		x	- Evtl. Leckageortung und Abdichtung, mit dem Ziel, die Anforderungen zu erfüllen
<b>Betrieb</b>		x	- Bei Bedarf: Detaillierte Messung der Luftdurchlässigkeit, verbunden mit Leckageortung und weiteren Messverfahren in den Bereichen thermische Behaglichkeit und Energie
	x		- Anerkannte Radonmessung nach Strahlenschutzverordnung, anlässlich der nächsten Heizperiode, wenn das Gebäude durch Erdregister belüftet wird, oder wenn erdberührende Räume als permanente Wohn- oder Arbeitsräume genutzt oder umgenutzt werden, sowie bei energetischen oder thermischen Sanierungen
		x	- Bei Verdacht auf zu hohe Schadstoffkonzentrationen: Messungen vornehmen

1) Grundleistung

2) Besonders zu vereinbarende Leistung

Bild E4: Massnahmen und Kontrollen betreffend die luftdichte Gebäudehülle und gute Raumluftqualität (Quelle: SIA-Norm 180:2014).

### Untersuchungs- und Messmethoden

Die Messung der Luftdichtheit der Gebäudehülle erfolgt ausschliesslich mit dem Differenzdruckverfahren. Dieses bildet die Grundlage für die Berechnung des in der Norm SIA 180:2014 verwendeten  $q_{a50}$ -Werts. Als Mess-Referenzwert wird der Mittelwert der Gesamt-Luftdurchlässigkeit aus einer Über- und einer Unterdruckmessung festgelegt (vgl. Bild E5).

Beim Differenzdruckverfahren wird die Aussentüre oder das Fenster eines Gebäudes durch eine Plane mit eingebautem Ventilator ersetzt (vgl. Bild E6). Mit dem Ventilator werden im Gebäudeinnern Unter- und Überdrücke von jeweils etwa 10 bis 80 Pa erzeugt und die dazugehörigen Luftvolumenströme bestimmt. Das durch den Ventilator nach aussen respektive innen strömende Luftvolumen  $V$  entspricht der Luftmenge, die durch Leckstellen in der Gebäudehülle eindringt. Durch Regression aus mindestens 5 Messpunkten wird der Volumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz berechnet. Absichtlich vorhandene Öffnungen bzw. Funktionsöffnungen in der Luftdichtheitsebene dürfen vor der Messung geschlossen bzw. abgeklebt werden.

Mit dem Kennwert  $q_{a50}$  wird die durchschnittliche Luftdichtheit der Gebäudehülle bzw. der untersuchten Messzone beschrieben. Dieser lässt aber keine Aussagen über Ort und Grösse der Leckstellen zu. Gut zugängliche Leckstellen lassen sich bei Unterdruck im Gebäude an Zuglufterscheinungen erkennen. Diese können unter anderem mittels Rauchstäbchen, Wollfaden oder Anemometer aufgespürt werden, lassen sich damit aber meist nur ungenau lokalisieren. Die Leckstellensuche wird deshalb durch Infrarotaufnahmen ergänzt, welche qualitative, nicht aber quantitative Aussagen zu den Leckagen zulassen.

Für die Leckstellensuche mit Infrarotgeräten ist eine Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen von mindestens 5 Kelvin und ein Unterdruck im Gebäude notwendig. Die einströmende Kaltluft kühlt die Innenoberfläche im Bereich der Leckstelle ab, was zu schlierenartigen Stellen in den Infrarot-Bildern führt (vgl. Bild E7). Besonders genau können Leckstellen visualisiert werden, wenn dabei das Subtraktionsverfahren angewendet wird, was aber zeitaufwendig ist.

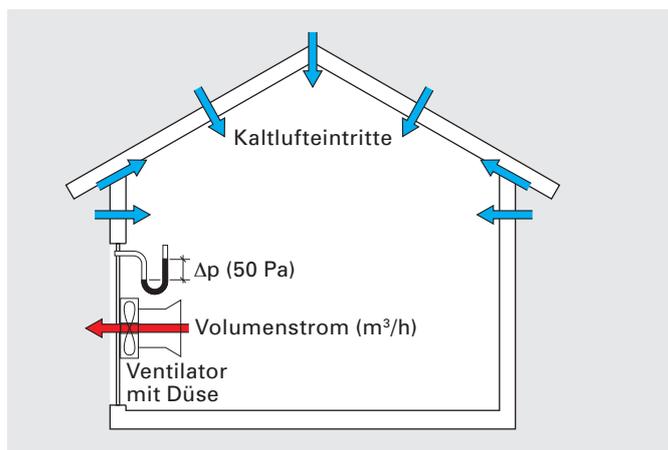


Bild E5: Prinzipschema Messung Luftdurchlässigkeit im Unterdruck (z.B. mit Blower-Door).



Bild E6: Eingebautes Blower-Door-Gerät.

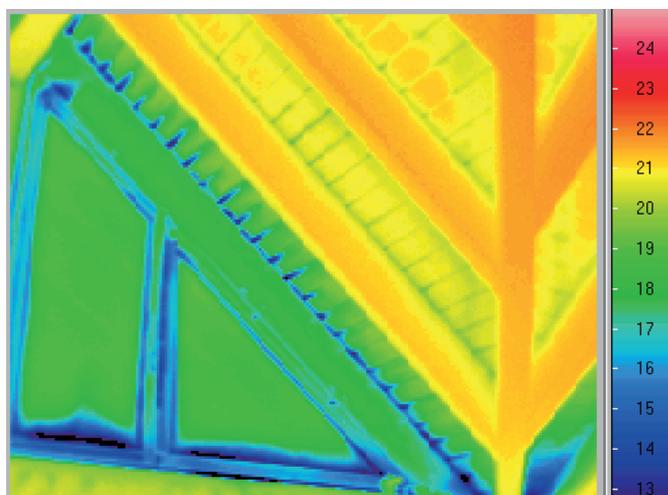


Bild E7: Thermografie-Aufnahme von Luftundichtheiten im Trauf- und Ortbereich (Quelle: Ing. Büro Baucheck Tanner).

### **F1: Regelung betreffend die einzuhaltenden Anforderungen**

Die Anforderungen sind in Norm SIA 181:2006 definiert. Es wird unterschieden zwischen dem verbindlich einzuhaltenden Schallschutz zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten und dem empfohlenen Schallschutz innerhalb einer Nutzungseinheit.

Die Mindestanforderungen (Mietwohnungen) bzw. die erhöhten Anforderungen (Eigentumswohnungen) sind bei unterschiedlichen Nutzungseinheiten ohne Handlungsspielraum einzuhalten.

Innerhalb von Nutzungseinheiten besteht für den Schallschutz ein gewisser Handlungsspielraum; der erforderliche Schallschutz soll mittels Zielvereinbarung festgelegt werden.

#### **F1.1: Anforderungen für den Schallschutz zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten**

Es wird zwischen drei Anforderungsstufen unterschieden: Den Mindestanforderungen, den erhöhten Anforderungen und speziellen Anforderungen.

- Die Mindestanforderungen gewährleisten einen Schallschutz, der lediglich erhebliche Störungen zu verhindern vermag.
- Die erhöhten Anforderungen bieten einen Schallschutz, bei dem sich ein Grossteil der Menschen in Gebäuden behaglich fühlt. Das Erreichen der erhöhten Anforderungen ist aber nicht gleichbedeutend mit «nichts hören»!
- Bei Doppel- und Reihen-Einfamilienhäusern sowie bei neu bebautem Stockwerkeigentum gelten die erhöhten Anforderungen.
- Bei besonderen Nutzungen oder bei besonderen Schallschutzansprüchen (auch für einzelne Räume oder Lärmarten) sind spezielle Anforderungen festzulegen und zu vereinbaren (Zielvereinbarung). Spezielle Verhältnisse sind insbesondere dann gegeben, wenn die Lärmempfindlichkeit und/oder der Grad der Lärmbelastung erheblich von den «normalen» Beschreibungen abweichen. Die Mindest- oder die erhöhten Anforderungen sind aber in jedem Fall einzuhalten.

#### **F1.2: Anforderungen für den Schallschutz innerhalb von Nutzungseinheiten**

- Die Norm SIA 181:2006 regelt den Schallschutz zwischen verschiedenen Nutzungseinheiten verbindlich. Für den Schallschutz innerhalb der Nutzungseinheit gibt es keine normativen Anforderungen.
- Die Norm SIA 181:2006 macht aber Aussagen zum empfohlenen Schallschutz und unterscheidet zwischen:
  - der Stufe 1 («Mindest-Schallschutz») und
  - der Stufe 2 («erhöhter Schallschutz»)vergleiche dazu die Tabelle in diesem Anhang.

#### **F1.3: Qualitätskontrolle mittels Schallmessungen**

- Norm SIA 181:2006 fordert eine Qualitätskontrolle nicht.
- Es kann aber sinnvoll sein, den erreichten Schallschutz in einer möglichst frühen Ausführungsphase messtechnisch zu prüfen, damit allenfalls noch Nachbesserungen möglich sind:
  - Luft- und Trittschallschutz von Geschossdecken
  - Luftschallschutz von Trennwänden
  - Geräusche von haustechnischen InstallationenZudem soll durch visuelle Kontrollen dazu beigetragen werden, dass eine hohe Ausführungsqualität erreicht wird.

**F2: Anforderungen an Luftschallschutz bei Innenlärm**

Lärmbelastung	klein	mässig	stark *	sehr stark *
Beispiele für emissionsseitige Raumart und Nutzung (Senderraum)	Geräuscharme Nutzung: Leserraum, Warteraum, Patientenzimmer, Sanitätszimmer, Archiv	Nutzung normal: Wohnraum, Schlafraum, Küche, Bad, WC, Korridor, Aufzugsschacht, Treppenhaus, Büroraum, Konferenzraum, Labor, Verkaufsraum ohne Beschallung	Lärmige Nutzung: Hobbyraum, Versammlungsraum, Schulzimmer, Kinderkrippe, Kindergarten, Heizung, Einstellgarage, Maschinenraum, Restaurant ohne Beschallung, Verkaufsraum mit Beschallung und dazugehörige Erschliessungsräume	Lärmintensive Nutzung: Gewerbebetrieb, Werkstatt, Musikübungsraum, Turnhalle, Restaurant mit Beschallung und dazugehörige Erschliessungsräume
Lärmempfindlichkeit (Empfangsraum)	Mindestanforderung $D_i$ **			
<b>gering</b> Räume für vorwiegend manuelle Tätigkeit; Räume, welche von vielen Personen oder nur kurzzeitig benützt werden. Beispiele: Werkstatt, Handarbeits-, Empfangs-, Warteraum, Grossraumbüro (bei Ausschluss späterer Unterteilung in mehrere Nutzungseinheiten oder Einzelbüros), Kantine, Restaurant, Küche, Bad, WC, Verkaufsraum, Labor, Korridore.	<b>42 dB</b>	<b>47 dB</b>	<b>52 dB</b>	<b>57 dB</b>
<b>mittel</b> Räume für Wohnen, Schlafen und für geistige Arbeiten. Beispiele: Wohn- und Schlafzimmer, Studio, Schulzimmer, Musikübungsraum, Wohnküche, Büroraum, Hotelzimmer, Spitalzimmer ohne spezielle Ruheraumfunktion.	<b>47 dB</b>	<b>52 dB</b>	<b>57 dB</b>	<b>62 dB</b>
<b>hoch</b> Räume für Benutzer mit besonders hohem Ruhebedürfnis. Beispiele: spezielle Ruheräume in Spitälern und Sanatorien, spezielle Therapieräume mit hohem Ruhebedarf, Lese- und Studierzimmer.	<b>52 dB</b>	<b>57 dB</b>	<b>62 dB</b>	<b>67 dB</b>
* zusätzliche Anforderungen bei Lokalen mit Musik und Produktionsbetrieben mit erheblichen tieffrequenten Emissionen o.Ä. bei Nachtbetrieb (19.00 bis 07.00 h).				
** Sonderregelung für Türen/Verglasungen von direkt erschlossenen Räumen, wenn die Erschliessung ausschliesslich dem Zugang zu gleichartigen oder bezüglich Lärmbelastung gleich eingestufteten Räumen dienen: Türen und Verglasungen müssen $R'_{w} + C \geq 37$ dB aufweisen.				
<b>Erhöhte Anforderung: Es gelten um 3 dB erhöhte Werte</b>				

**F3: Subjektive Beurteilung « Luftschallschutz »**

Spektral- und volumenkorrigierte bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{i,tot}$ in dB		Sprachverständlichkeit von normaler Unterhaltssprache
Grundgeräusch 20 dB(A)	Grundgeräusch 30 dB(A)	
<b>65</b>	<b>55</b>	kaum hörbar
<b>55</b>	<b>45</b>	hörbar, jedoch nicht zu verstehen
<b>50</b>	<b>40</b>	teilweise zu verstehen
<b>40</b>	<b>30</b>	gut zu verstehen

Subjektive Empfindung des Luftschallschutzes zwischen Räumen in Abhängigkeit vom Grundgeräusch. In einer ruhigen Umgebung sollte der Schallschutz zwischen Räumen besonders gut sein (Quelle: Norm SIA 181:2006).

**F4: Anforderungen an Trittschallschutz**

Lärmbelastung	klein	mässig	stark	sehr stark
Beispiele für emissionsseitige Raumart und Nutzung (Senderraum)	Archiv, Warteraum, Leserraum	Wohnraum, Schlafräum, Küche, Bad, WC, Büro, Heiz- und Klimaraum, Korridor, Treppe, Laubengang, Passage, Terrasse, Einstellgarage	Restaurant, Saal, Schulzimmer, Kinderkrippe, Kindergarten, Turnhalle, Werkstatt, Musikübungsraum und zugehörige Erschliessungsräume	Die in der Stufe «stark» festgehaltenen Nutzungen, wenn diese auch in der Nacht von 19.00 Uhr bis 07.00 Uhr vorkommen
Lärmempfindlichkeit (Empfangsraum)	Anforderungswert L'			
<b>gering</b> Räume für vorwiegend manuelle Tätigkeit; Räume, welche von vielen Personen oder nur kurzzeitig benützt werden. Beispiele: Werkstatt, Handarbeits-, Empfangs-, Warteraum, Grossraumbüro (bei Ausschluss späterer Unterteilung in mehrere Nutzungseinheiten oder Einzelbüros), Kantine, Restaurant, Küche, Bad, WC, Verkaufsraum, Labor, Korridore.	<b>63 dB</b>	<b>58 dB</b>	<b>53 dB</b>	<b>48 dB</b>
<b>mittel</b> Räume für Wohnen, Schlafen und für geistige Arbeiten. Beispiele: Wohn- und Schlafzimmer, Studio, Schulzimmer, Musikübungsraum, Wohnküche, Büroraum, Hotelzimmer, Spitalzimmer ohne spezielle Ruheraumfunktion.	<b>58 dB</b>	<b>53 dB</b>	<b>48 dB</b>	<b>43 dB</b>
<b>hoch</b> Räume für Benützer mit besonders hohem Ruhebedürfnis. Beispiele: spezielle Ruheräume in Spitälern und Sanatorien, spezielle Therapieräume mit hohem Ruhebedarf, Lese- und Studierzimmer.	<b>53 dB</b>	<b>48 dB</b>	<b>43 dB</b>	<b>38 dB</b>
<b>Erhöhte Anforderung: Es gelten um 3 dB verringerte Werte</b>				
<b>Sonderregelung Trittschall bei Balkonen</b>	– Mindestanforderung L' ≤ 63 dB – erhöhte Anforderung L' ≤ 60 dB			
<b>Sonderregelung Trittschall bei Umbauten</b>	Es gelten um 2 dB höhere (schlechtere) Werte gegenüber den Neubauwerten gemäss Tabelle			

**F5: Subjektive Beurteilung «Trittschallschutz»**

Spektral- und volumenkorrigierter bewerteter Standard-Trittschallpegel L' <sub>tot</sub> in dB		Normales Gehen mit Strassen- oder Hausschuhen	Rennen von Kindern, Barfussgehen	Möbelrücken, mehrere tobende Kinder
Grundgeräusch 20 dB(A)	Grundgeräusch 30 dB(A)			
<b>60</b>	<b>70</b>	gut hörbar	sehr gut hörbar	äusserst gut hörbar
<b>55</b>	<b>65</b>	hörbar	gut hörbar	äusserst gut hörbar
<b>50</b>	<b>60</b>	schwach hörbar	hörbar	sehr gut hörbar
<b>45</b>	<b>55</b>	unhörbar	schwach hörbar	gut hörbar
<b>40</b>	<b>50</b>	unhörbar	unhörbar	hörbar
<b>35</b>	<b>45</b>	unhörbar	unhörbar	schwach hörbar

Subjektive Empfindung des Trittschallschutzes zwischen Räumen in Abhängigkeit vom Grundgeräusch. In einer ruhigen Umgebung sollte der Schallschutz zwischen Räumen besonders gut sein. Im Zusammenhang mit der subjektiven Empfindung des Trittschallschutzes ist neben der Art des Bodenbelages auch die Art des Begehens bzw. des Schuhwerks von Bedeutung. Diesbezüglich negative Auswirkungen zeigen sich öfters bei harten Gehbelägen. Innerhalb einer Nutzungseinheit kann es beim Begehen harter Bodenbeläge zu unangenehmen Dröhnereffekten kommen, welche infolge Eigenschwingungen der beteiligten Konstruktionselemente auftreten. Die zugehörige Geräuschart wird als Geh- oder Raumschall bezeichnet (Quelle: Norm SIA 181:2006).

**F6: Anforderungen an Luftschallschutz bei Aussenlärm**

Lärmbelastung	Grad der Störung durch Aussenlärm			
	klein bis mässig		erheblich bis sehr stark	
Lage des Empfangsorts	abseits von Verkehrssträgern, keine störenden Betriebe		im Bereich von Verkehrssträgern oder störenden Betrieben	
Beurteilungsperiode	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Beurteilungspegel dB(A)	$L_r \leq 60$	$L_r \leq 52$	$L_r > 60$	$L_r > 52$
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswert $D_e$			
<b>gering</b> Räume für vorwiegend manuelle Tätigkeit; Räume, welche von vielen Personen oder nur kurzzeitig benützt werden. Beispiele: Werkstatt, Handarbeits-, Empfangs-, Warteraum, Grossraumbüro (bei Ausschluss späterer Unterteilung in mehrere Nutzungseinheiten oder Einzelbüros), Kantine, Restaurant, Küche, Bad, WC, Verkaufsraum, Labor, Korridore.	22 dB	22 dB	$L_r - 38$ dB	$L_r - 30$ dB
<b>mittel</b> Räume für Wohnen, Schlafen und für geistige Arbeiten. Beispiele: Wohn- und Schlafzimmer, Studio, Schulzimmer, Musikübungsraum, Wohnküche, Büroraum, Hotelzimmer, Spitalzimmer ohne spezielle Ruheraumfunktion.	27 dB	27 dB	$L_r - 33$ dB	$L_r - 25$ dB
<b>hoch</b> Räume für Benutzer mit besonders hohem Ruhebedürfnis. Beispiele: spezielle Ruheräume in Spitälern und Sanatorien, spezielle Therapieräume mit hohem Ruhebedarf, Lese- und Studierzimmer.	32 dB	32 dB	$L_r - 28$ dB	$L_r - 20$ dB
<b>Erhöhte Anforderung: Es gelten um 3 dB erhöhte Werte</b>				

**F7: Anforderungen an Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude**

Emissionsseitige Geräuschart (Senderraum)	Einzelgeräusch (Geräusch mit einer Dauer von max. 3 Minuten und einer geringen Auftretenshäufigkeit im Verlauf einer Tag- bzw. Nachtphase)		Dauergeräusche
	Funktionsgeräusche (Intensität und zeitlicher Ablauf weitgehend unabhängig von der Art der Benutzung)	Benutzungsgeräusche (Intensität und zeitlicher Ablauf weitgehend abhängig von der Art der Benutzung)	Funktions- oder Benutzungsgeräusche
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswert $L_H$		
<b>gering</b> Räume für vorwiegend manuelle Tätigkeit; Räume, welche von vielen Personen oder nur kurzzeitig benützt werden.	38 dB(A)	43 dB(A)	33 dB(A)
<b>mittel</b> Räume für Wohnen, Schlafen und für geistige Arbeiten.	33 dB(A)	38 dB(A)	28 dB(A)
<b>hoch</b> Räume für Benutzer mit besonders hohem Ruhebedürfnis.	28 dB(A)	33 dB(A)	25 dB(A)
<b>Erhöhte Anforderung: Es gelten um 3 dB verringerte Werte; 25 dB(A) gilt als Kleinstwert</b>			
<b>Sonderfall Mischnutzungen:</b> Bei unterschiedlichen Nutzungseinheiten «Wohnen» und «Industrie/Gewerbe» innerhalb eines Gebäudes gelten für den Schutz der Wohnungen gegenüber Geräuschen aus der gewerblichen Nutzung gegenüber den Tabellenwerten um 5 dB(A) verschärfte Anforderungen, mit einem Kleinstwert von 25 dB(A). Wenn die gewerbliche Nutzung nicht zu erhöhter Lärmemission aus manuellen Tätigkeiten, Apparatebetrieb u.ä. führt (nicht störende Betriebe), kann auf die Verschärfung der Anforderung verzichtet werden.			

**F8: Empfehlungen zum Luft- und Trittschallschutz innerhalb von Nutzungseinheiten**

Luft- und Trittschallschutz			Empfehlung Luftschall		Empfehlung Trittschall	
Nutzung	Raum 1	Raum 2	D <sub>i</sub> Stufe 1	D <sub>i</sub> Stufe 2	L' Stufe 1	L' Stufe 2
Wohnen	Schlafen	Schlafen	40 dB	45 dB	55 dB	50 dB
	Schlafen	Wohnen	40 dB	45 dB	55 dB	50 dB
	Schlafen	Nasszelle	40 dB	45 dB	55 dB	50 dB
	Schlafen	Arbeiten	40 dB	45 dB	55 dB	50 dB
Büro	Büro	Büro	35 dB	40 dB	60 dB	55 dB
	Büro	Sitzung	40 dB	45 dB	60 dB	55 dB
	Büro	Direktion	45 dB	50 dB	60 dB	55 dB
	Korridor	Büro	30 dB	35 dB	60 dB	55 dB
	Sitzung	Direktion	45 dB	50 dB	60 dB	55 dB
	Korridor	Direktion	35 dB	40 dB	60 dB	55 dB
	Sitzung	Sitzung	40 dB	45 dB	60 dB	55 dB
	Korridor	Sitzung	30 dB	35 dB	60 dB	55 dB
Schule	Klasse	Klasse	45 dB	50 dB	60 dB	55 dB
	Korridor	Klasse	35 dB	40 dB	60 dB	55 dB
	Musikzimmer	Klasse	55 dB	60 dB	50 dB	45 dB
	Musikzimmer	Musikzimmer	55 dB	60 dB	50 dB	45 dB
	Werken	Klasse	50 dB	55 dB	50 dB	45 dB
	Werken	Werken	45 dB	50 dB	50 dB	45 dB
Hotel	Zimmer	Zimmer	50 dB	55 dB	55 dB	50 dB
	Korridor	Zimmer	40 dB	45 dB	55 dB	50 dB
	Zimmer	Betrieb	55 dB	60 dB	50 dB	45 dB
Altersheim, Spital	Zimmer	Zimmer	50 dB	55 dB	55 dB	50 dB
	Korridor	Zimmer	30 dB	35 dB	55 dB	50 dB
Räume für Sozialkontakte (1)	Zimmer	Zimmer	50 dB	55 dB	55 dB	50 dB
	Korridor	Zimmer	35 dB	40 dB	55 dB	50 dB

(1) Räume, zwischen denen keine Sprachverständlichkeit gegeben sein darf (z.B. Praxis, Sozialamt)

**F9: Empfehlungen zu Geräuschen haustechnischer Anlagen innerhalb von Nutzungseinheiten**

Nutzung	Dauergeräusche (L <sub>n</sub> )	
	Empfehlung Stufe 1	Empfehlung Stufe 2
Schlaf- und Kinderzimmer	30 dB(A)	25 dB(A)
Wohnen, Büro, Arbeitszimmer, Altersheim, Spital, Hotel	35 dB(A)	30 dB(A)

## F10: Empfehlungen aus VDI-Richtlinien zum Schallschutz in Büros

### F10.1: Wahrnehmung der Geräusche aus benachbarten Räumen

Schallschutzklasse	Einzelbüro/Mehrpersonenbüro	Vertrauliches Büro
A	normale Sprache im Allgemeinen nicht verstehbar	gehobene Sprache im Allgemeinen nicht verstehbar
B	normale Sprache teilweise verstehbar	gehobene Sprache im Allgemeinen kaum verstehbar
C	normale Sprache verstehbar	verstehbar

Anmerkung: Der verbalen Beschreibung der Tabelle liegen im Falle der Mehrpersonenbüros ein Fremdgeräuschpegel von  $\geq 35$  dBA und in allen anderen Fällen von  $\geq 30$  dBA zugrunde.

### F10.2: Empfehlung für den Luftschallschutz $D_i$ zwischen Büroräumen

	Schallschutzklasse <sup>(1)</sup>		
	A	B	C
Einzelbüro	42 dB	37 dB	32 dB
Mehrpersonenbüro	37 dB	32 dB	27 dB
Vertrauliches Büro	50 dB	45 dB	

(1) Besprechungsräume sind sinngemäss einzuordnen.

### F10.3: Empfehlung für den Luftschallschutz $D_i$ gegenüber Verkehrsflächen

Nutzungsintensität	Schallschutzklasse		
	A	B	C
Einzelbüro gering frequentierte Verkehrsflächen	37 dB	32 dB	27 dB
Einzelbüro hoch frequentierte Verkehrsflächen	42 dB	37 dB	32 dB
Mehrpersonenbüro	37 dB	32 dB	27 dB
Vertrauliches Büro	45 dB	40 dB	40 dB

Anmerkungen:  
 – Bei transparenten Wänden sind gegebenenfalls geringere Werte ausreichend, da eine Sichtverbindung gegeben ist.  
 – Die angegebenen Empfehlungen beziehen sich auf alle Schallübertragungswerte inklusive Türen.

### F10.4: Empfehlung für den Trittschallschutz $L'$ für Verkehrswege und sonstige Bereiche

	Schallschutzklasse		
	A	B	C
Einzelbüro	55 dB	60 dB	65 dB
Mehrpersonenbüro			
Vertrauliches Büro			

**F11: Praktische Auswirkung der Luftschalldämmung zwischen Wohnungen**

Grundgeräuschpegel im eigenen Raum			Beurteilung von Ereignissen aus der Nachbarwohnung		
30 dBA	25 dBA	20 dBA	Geräusche normaler Lautstärke (Radio in Zimmerlautstärke) Schallpegel L = 65 dBA	Lautstarke Geräusche (lauter eingestelltes Radio, Blockflöte) Schallpegel L = 75 dBA	Sehr laute Geräusche (Klavier, laut eingestellte Stereoanlage, Hausmusik) Schallpegel L = 85 dBA
Bewertetes Schalldämm-Mass $R'_w$ [dB]					
35	40	45	hörbar, voll verständlich	sehr gut verständlich, störend	
40	45	50	noch hörbar, ausreichend vertraulich	gut verständlich, noch störend	
45	50	55	noch schwach hörbar, aber volle Vertraulichkeit	noch gut hörbar aber nicht mehr voll verständlich	extrem störend
50	55	60	nicht mehr wahrnehmbar	noch hörbar, ausreichend vertraulich	sehr störend
55	60	65	nicht mehr wahrnehmbar	noch schwach hörbar, aber volle Vertraulichkeit	sehr störend
60	65	70	nicht mehr wahrnehmbar	nicht mehr wahrnehmbar	störend
65	70	75	nicht mehr wahrnehmbar	nicht mehr wahrnehmbar	noch deutlich hörbar, gering störend
70	75	80	nicht mehr wahrnehmbar	nicht mehr wahrnehmbar	noch schwach wahrnehmbar, nicht mehr störend

**Beispiel:**

Bei Wohnbauten an ruhiger Lage beträgt der Grundgeräuschpegel etwa 20 dBA. Bei einem Schalldämmvermögen der Trennbauteile von  $R'_w = 55$  dB sind lautstarke Gespräche und lauter eingestellte Radios noch gut hörbar, aber nicht mehr voll verständlich.

**F12: Praktische Auswirkung der Luftschalldämmung auf die Vertraulichkeit und die Störungsfreiheit in Verwaltungsgebäuden**

Grundgeräuschpegel im «ruhigen» Raum			Beurteilung von Ereignissen im «ruhigen Raum		
35 dBA	30 dBA	25 dBA	Gespräche/ Telefon leise Schallpegel L = 60 dBA	Gespräche in normaler Lautstärke Schallpegel L = 65 dBA	Lautstarke Gespräche und Telefonate Schallpegel L = 70 bis 75 dBA
Bewertetes Schalldämm-Mass $R'_w$ [dB]					
10	15	20	sehr störend, eigene Telefonate gestört	unzumutbar	unzumutbar
15	20	25	sehr störend, eigene Telefonate noch möglich	sehr störend, eigene Telefonate gestört	unzumutbar
20	25	30	störend hörbar	sehr störend, eigene Telefonate noch möglich	sehr störend, eigene Telefonate gestört
25	30	35	deutlich hörbar	störend	sehr störend, eigene Telefonate noch möglich
30	35	40	hörbar	noch voll verständlich	störend
35	40	45	schwach hörbar, aber nicht mehr störend	nahezu volle Verständlichkeit	noch voll verständlich
40	45	50	unhörbar	Verständlichkeit nicht mehr voll gegeben, Beginn geringer Vertraulichkeit	nahezu volle Verständlichkeit
45	50	55	unhörbar	praktisch ausreichende Vertraulichkeit	Verständlichkeit nicht mehr voll gegeben, Beginn geringer Vertraulichkeit
50	55	60	unhörbar	völlige Vertraulichkeit	praktisch ausreichende Vertraulichkeit
55	60	65	unhörbar	völlige Vertraulichkeit	völlige Vertraulichkeit
60	65	70	unhörbar	völlige Vertraulichkeit	völlige Vertraulichkeit

**Beispiel:**

In einem Einzelbüro, ohne laufende Geräte, beträgt der Grundgeräuschpegel etwa 30 dBA. Bei einem Schalldämmvermögen der Trennbauteile von  $R'_w = 45$  dB sind in normaler Lautstärke geführte Gespräche nicht mehr voll verständlich und es ist eine geringe Vertraulichkeit gegeben.

## Anhang G1: Auszug aus Lärmschutz-Verordnung (LSV)

### G1.1 Ziele

- Schutz vor schädlichem und lästigem Lärm
  - Aussenlärm, erzeugt beim Betrieb neuer und bestehender Anlagen.
  - Ausscheidung und Erschliessung von Bauzonen in lärmbelasteten Gebieten.
  - Erteilung von Baubewilligungen für Gebäude, die lärmempfindliche Räume enthalten und in lärmbelasteten Gebieten liegen.
  - Schallschutz gegen Aussen- und Innenlärm an neuen Gebäuden mit lärmempfindlichen Räumen.
  - Schallschutz gegen Aussenlärm an bestehenden Gebäuden mit lärmempfindlichen Räumen.

### G1.2 Lärmempfindliche Räume

- Räume in Wohnungen, ausgenommen Küchen ohne Wohnanteil, Sanitärräume und Abstellräume.
- Räume in Betrieben, in denen sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten, ausgenommen Räume mit gewerblichem Betriebslärm (z.B. Werkstätten).

### G1.3 Anforderungen an Bauzonen und Baubewilligungen in lärmbelasteten Gebieten

#### *G1.3.1 Ausscheidung neuer Bauzonen und neuer Zonen mit erhöhtem Lärmschutzbedürfnis (Art. 29)*

Neue Bauzonen für Gebäude mit lärmempfindlichen Räumen und neue nicht überbaubare Zonen mit erhöhtem Lärmschutzbedürfnis dürfen nur in Gebieten ausgeschieden werden, in denen die Lärmimmissionen die Planungswerte nicht überschreiten oder in denen diese Werte durch planerische, gestalterische oder bauliche Massnahmen eingehalten werden können.

Beispiel: Parzelle wurde nach dem 1. 1. 1985 eingezont und erschlossen.

#### *G1.3.2 Erschliessung von Bauzonen (Art. 30)*

Bauzonen für Gebäude mit lärmempfindlichen Räumen, die bei Inkrafttreten des Gesetzes (1. 1. 1985) noch nicht erschlossen waren, dürfen nur so weit erschlossen werden, als die Planungswerte eingehalten sind oder durch eine Änderung der Nutzungsart oder durch planerische, gestalterische oder bauliche Massnahmen eingehalten werden können. Die Vollzugsbehörde kann für kleine Teile von Bauzonen Ausnahmen gestatten.

Beispiel: Parzelle wurde vor dem 1. 1. 1985 eingezont und wird nach dem 1. 1. 1985 erschlossen.

#### *G1.3.3 Baubewilligung in lärmbelasteten Gebieten (Art. 31)*

Sind die Immissionsgrenzwerte überschritten, so dürfen Neubauten und wesentliche Änderungen von Gebäuden mit lärmempfindlichen Räumen nur bewilligt werden, wenn diese Werte eingehalten werden können:

- durch die Anordnung der lärmempfindlichen Räume auf der dem Lärm abgewandten Seite des Gebäudes; oder
- durch bauliche oder gestalterische Massnahmen, die das Gebäude gegen Lärm abschirmen.

Können die Immissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden, so darf die Baubewilligung nur erteilt werden, wenn an der Errichtung des Gebäudes ein überwiegendes Interesse besteht und die kantonale Behörde zustimmt.

Beispiel: Parzelle wurde vor dem 1. 1. 1985 eingezont und vor dem 1. 1. 1985 erschlossen.

### G1.4 Belastungsgrenzwerte

- Für Gebiete und Gebäude, in denen sich Personen in der Regel nur am Tag oder in der Nacht aufhalten, gelten für die Nacht bzw. den Tag keine Belastungsgrenzwerte.
- Bei Räumen in Betrieben, die in Gebieten der Empfindlichkeitsstufen I, II oder III liegen, gelten um 5 dBA höhere Planungswerte und Immissionsgrenzwerte. Dies gilt jedoch nicht für Räume in Schulen, Anstalten und Heimen.

**G1.5 Empfindlichkeitsstufen**

- Empfindlichkeitsstufe I: Zonen mit erhöhten Lärmschutzbedürfnissen, namentlich in Erholungszonen.
- Empfindlichkeitsstufe II: Zonen, in denen keine störenden Betriebe zugelassen sind, namentlich in Wohnzonen sowie Zonen für öffentliche Bauten und Anlagen.
- Empfindlichkeitsstufe III: Zonen, in denen mässig störende Betriebe zugelassen sind, namentlich in Wohn- und Gewerbebezonen (Mischzonen).
- Empfindlichkeitsstufe IV: Zonen, in denen srakt störende Betriebe zugelassen sind, namentlich in Industriezonen.

**G1.6 Belastungsgrenzwerte**

- Abhängig von der Empfindlichkeitsstufe gelten für Strassenverkehrslärm (Motorfahrzeuglärm, Bahnlärm auf Strassen), Eisenbahnlärm (Normal- und Schmalspurbahnen) und Industrie-/Gewerbelärm (Güterumschlag Gewerbe, Verkehr auf Betriebsareal, Parkhäuser und Parkplätze ausserhalb von Strasse, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage) die Belastungsgrenzwerte gemäss Bild G1, die im offenen Fenster von lärmempfindlichen Räumen zu beurteilen bzw. einzuhalten sind.

Empfindlichkeitsstufe	Planungswert Lr in dBA		Immissionsgrenzwert Lr in dBA		Alarmwert Lr in dBA	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Bild G1: Belastungsgrenzwerte für Strassenverkehrslärm, Eisenbahnlärm und Industrie-/Gewerbelärm

Die akustische Qualität eines Raumes wird wesentlich von der Raumanordnung im Gebäude, der Schalldämmung seiner Umfassungsbauteile, der Geräuschentwicklung haustechnischer Anlagen sowie der Raumform und Raumgrösse (Primärstruktur) und der Oberflächenbeschaffenheit der Raumbegrenzungsflächen und Einrichtungsgegenstände (Sekundärstruktur) bestimmt. Die Dimensionierung und die räumliche Verteilung schallabsorbierender und schallreflektierender Flächen im betrachteten Raum sind dabei wesentliche Einflussgrössen. Die raumakustische Qualität hat einen bedeutsamen Einfluss auf das Verstehen von Sprache. Ist die Sprache nur mühsam zu verstehen, müssen verstärkt kognitive Prozesse mobilisiert werden, um die Sprachinformationen verarbeiten zu können.

### H1: Anforderungen aus Normen, Empfehlungen u.Ä.

Betreffend die Anforderungen an die Raumakustik stützen wir uns primär auf folgende Normen:

- DIN 18041:2016 «Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung»
- ISO 3382-3 «Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Grossraumbüros (2012)»
- Norm SIA 181:2006 «Schallschutz im Hochbau»
- SUVA «Akustische Mindestanforderungen für die Lärmbekämpfung (Planungshinweise)»
- SECO «Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz betr. Art. 22 (Lärm und Erschütterungen)».

Die Norm SIA 181:2006 «Schallschutz im Hochbau» legt raumakustische Anforderungen in Form von volumenabhängigen Sollnachhallzeiten  $T_{\text{soll}}$  an Unterrichtsräume und Sporthallen fest, welche der DIN 18041:(2004) entsprechen:

- Unterrichtsräume  $T_{\text{soll}} = 0,32 \cdot \log(V) - 0,17$  [s]
- Sporthallen (Einfachsporthalle, ohne Publikum)  $T_{\text{soll}} = 1,27 \cdot \log(V) - 2,49$  [s]

Für weitere Räume wird direkt auf DIN 18041 verwiesen. Bei den folgenden, nutzungsspezifischen Anforderungen stützen wir uns abgesehen von der Lärminderung an Arbeitsplätzen («SECO-Anforderungen») primär auf die DIN 18041:2016.

### H2: Anforderungen aus DIN 18041:2016

DIN 18041 gilt für Räume mit einem Raumvolumen bis etwa 5'000 m<sup>3</sup>, für Sport- und Schwimmhallen bis 30'000 m<sup>3</sup>. Sie legt die raumakustischen Anforderungen, Empfehlungen und Planungsrichtlinien zur Sicherung der Hörsamkeit vorrangig für die Sprachkommunikation einschliesslich der dazu erforderlichen Massnahmen fest. In DIN 18041 werden zwei Anwendungen unterschieden:

#### Hörsamkeit über mittlere und grössere Entfernungen (Räume der Gruppe A)

- Wie z.B. Unterrichtsräume in Schulen, Gruppenräume in Kindertageseinrichtungen, Konferenzräume, Gerichts- und Ratssäle, Seminarräume, Hörsäle, Tagungsräume, Sport- und Schwimmhallen.
- Die Hörsamkeit wird durch eine für die Nutzung angepasste Nachhallzeit und Schallenkung sichergestellt; die Hörsamkeit über geringe Entfernung ist bei diesen Räumen mit eingeschlossen.
- Die Grundlage für eine gute Hörsamkeit ist das akustisch aufeinander abgestimmte Zusammenwirken von Raumgeometrie, Raumgrösse und Raumausstattung sowie dem Gesamtstörschalldruckpegel.
- Wenn der Nutzungsschwerpunkt im Bereich der Sprachkommunikation liegt, dann sind drei Komponenten zu beachten: Sprecher, Übertragung und Hören/Verstehen; sie werden durch Schallreflexionen, Nachhall und Störgeräusche beeinflusst.
- Für eine optimale Sprachkommunikation über mittlere und grössere Entfernung müssen bei geringer bis mässiger Sprechanstrengung des Sprechers (normale bis angehobene Sprechweise) möglichst viel Direkt-schall und deutlichkeitserhöhende Anfangsreflexionen bis 50 ms nach dem Direkt-schall vom Sprecher zum Hörer gleitet werden. Anzustreben ist dazu eine weitgehende Reduzierung der Beeinträchtigungen durch längeren störenden Nachhall, langverzögerte energiereiche Reflexionen und Störgeräusche.

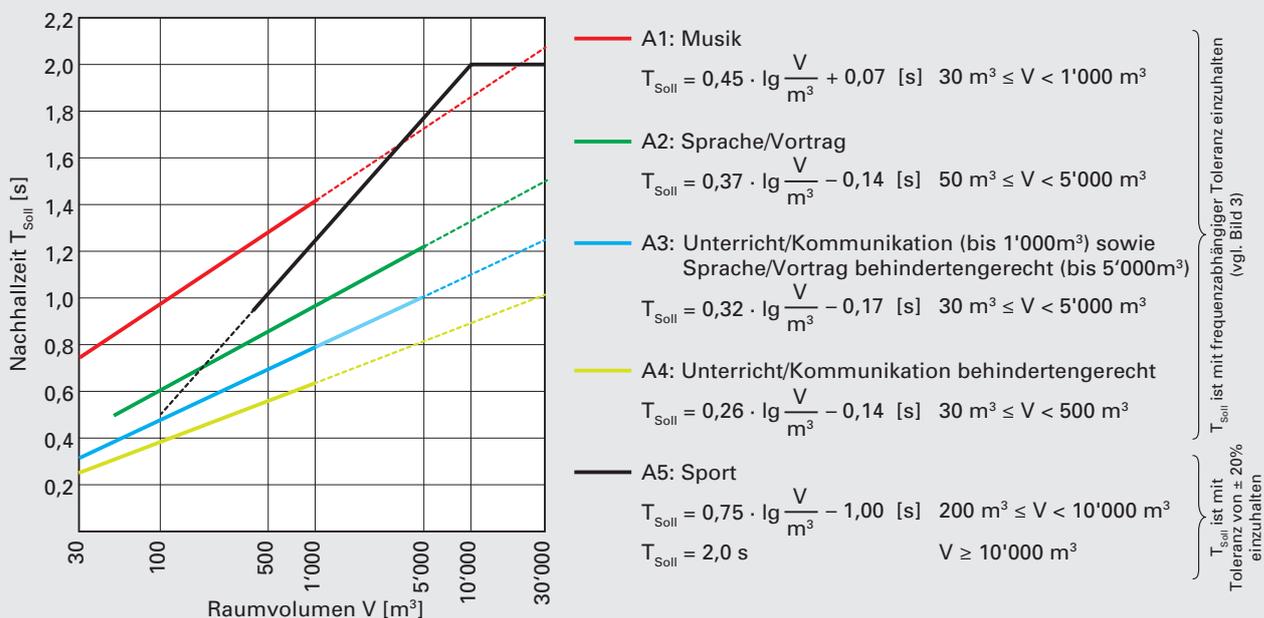
#### Hörsamkeit über geringe Entfernungen (Räume der Gruppe B)

- Wie z.B. Büros, Speiseräume, Kantinen, Ausstellungsräume, Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität, Eingangshallen, Schalterhallen.
- Die Hörsamkeit wird durch Schallabsorption und Störgeräuschminderung erreicht; über grössere Entfernung ist die Hörsamkeit in diesen Räumen stark eingeschränkt.

- Mit Massnahmen zur Raumbedämpfung wird eine Senkung des mittleren Grundgeräuschpegels im Raum und eine Begrenzung der Halligkeit erreicht. In Räumen der Gruppe B werden Empfehlungen für das Verhältnis von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A des Raumes zum Raumvolumen V, im Folgenden A/V-Verhältnis, im Frequenzbereich von 250 Hz bis 2'000 Hz angegeben. Daraus lassen sich auch die empfohlenen Nachhallzeiten bestimmen.

### H2.1: Anforderungen aus DIN 18041 für Räume der Gruppe A

Beispiele für Räume/Nutzungen die der Gruppe A (Hörsamkeit über mittlere und grosse Entfernungen) zuzuordnen sind
<b>A1: Musik</b> (gute Hörsamkeit für unverstärkte Musik, sprachliche Darbietungen sind nur mit gewissen Einschränkungen der Sprachverständlichkeit möglich) - Musikraum mit aktivem Musizieren und Gesang
<b>A2: Sprache/Vortrag</b> (sprachliche Darbietungen einzelner Sprecher erzielen eine hohe Sprachverständlichkeit, musikalische Darbietungen werden in der Regel als zu transparent und klar empfunden, jedoch günstig für musikalische Probenarbeit) - Gerichts- und Ratssaal, Gemeindesaal - Hörsaal, Versammlungsraum, Schulaula
<b>A3: Sprache/Vortrag behindertengerecht</b> (hohe Sprachverständlichkeit bei einzelnen Sprechern, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei fremdsprachlicher Nutzung) - Gerichts- und Ratssaal, Gemeindesaal - Hörsaal, Versammlungsraum, Schulaula
<b>A3: Unterricht/Kommunikation</b> (Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich) - Unterrichtsraum, Tagungsraum, Besprechungsraum, Konferenzraum, Seminarraum - Gruppenraum in Kindertageseinrichtungen, Pflegeeinrichtungen und Seniorenheimen
<b>A4: Unterricht/Kommunikation behindertengerecht</b> (sprachliche Kommunikation ist mit mehreren Sprechern möglich, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei fremdsprachlicher Nutzung) - Unterrichtsraum, Tagungsraum, Besprechungsraum, Konferenzraum, Seminarraum - Gruppenraum in Kindertageseinrichtungen, Pflegeeinrichtungen und Seniorenheimen
<b>A5: Sport</b> (sprachliche Kommunikation über kurze Entfernungen ist im Allgemeinen gut möglich) - Sport- und Schwimmhallen für nahezu ausschliessliche Nutzung als Sportstätte



Raum/Tätigkeit	Raumvolumen V [m³] / res. Nachhallzeit Tsoll [s]					
	50	100	500	1'000	5'000	10'000
A1: Musik	0,83	0,97	1,28	1,42	1,73	1,87
A2: Sprache/Vortrag	0,49	0,60	0,86	0,97	1,23	1,34
A3: Unterricht/Kommunikation & Sprache/Vortrag behindertengerecht	0,37	0,47	0,69	0,79	1,01	1,11
A4: Unterricht/Kommunikation behindertengerecht	0,30	0,38	0,56	0,64	0,82	0,90
A5: Sport	0,27	0,50	1,02	1,25	1,77	2,00

Bild H1: Anforderungen an Räume der Gruppe A gemäss DIN 18041

Die Sollwerte der Nachhallzeit für die fünf Nutzungsarten A1 bis A5 sind abhängig vom Volumen V zu berechnen. Der Nachweis der Einhaltung der geforderten frequenzabhängigen Nachhallzeiten erfolgt rechnerisch und gegebenenfalls nach Fertigstellung des Raumes durch Messungen. Es ist eine frequenzabhängige Betrachtung der Nachhallzeit erforderlich. Ein linearer frequenzabhängiger Verlauf ist für die Nachhallzeit anzustreben. Ein moderater Anstieg der Nachhallzeit zu tiefen Frequenzen hin beeinträchtigt die Hörsamkeit nicht. Die raumakustische Situation für Sprachkommunikation wird umso günstiger empfunden, je kürzer die Nachhallzeit ist. Bei Mehrzwecknutzungen sind entsprechend der Wertigkeit der Hauptnutzung Zwischenwerte zwischen den Sollwerten zu ermitteln, sofern nicht durch variable akustische Massnahmen die unterschiedlichen Anforderungen berücksichtigt werden.

Die Anforderungen an die Nachhallzeiten in Musikunterrichts- oder auch Musikprobenräumen sind stark nutzungsabhängig und liegen typischerweise zwischen den Sollkurven der Nutzungsarten A1 und A2. Dabei sollen Unterrichtsräume für Musikschüler, z.B. für Gesang, Blockflöte oder ähnliches, zur Erhöhung der Spielfreude, tendenziell längere Nachhallzeiten aufweisen, während Musikunterrichts- und auch Proberäume, z.B. für Blas- und Streichinstrumente sich an der Sollkurve für Nutzungsart A2 orientieren können. Für Musikunterrichtsräume in Schulen ist eine Variabilität in der Nachhallzeit anzustreben, welche den Bereich zwischen den Sollkurven der Nutzungsarten A1 und A3 abdeckt. Des Weiteren ist bei Schlagwerk und vergleichbar lauten Bandprobenräumen eine höhere Raumbedämpfung notwendig. Die Nachhallzeiten für die Nutzungsart A3 sind hier als Obergrenze anzusehen.

Die Nachhallzeiten gelten für die relevanten Nutzungsszenarien des Raumes unter Berücksichtigung der Schallabsorption der Möblierung und von Personen. Bei den Nutzungsszenarien sind insbesondere auch geringere Besetzungsdichten zu berücksichtigen, wofern diese zu erwarten sind. Die Anforderungen an die Nachhallzeit beziehen sich auf den besetzten Zustand (Besetzungsgrad: 80% der Regelbesetzung) des jeweiligen Raumes). Für die Schallabsorption der Personen können die Kennwerte gemäss Bild G2 verwendet werden.

Der Toleranzbereich der frequenzabhängigen Nachhallzeit T zwischen 125 Hz und 4'000 Hz, bezogen auf die Nachhallzeit  $T_{Soll}$  bei mittleren Frequenzen, ist in Bild G3 für die Nutzungsarten A1 bis A4 gezeigt. Für Frequenzen ausserhalb des Toleranzbereichs von 125 Hz und 4'000 Hz sind Orientierungswerte mit Strichen angeben. Für die Nutzungsart A5 gelten die Sollwerte  $T_{Soll}$  zwischen 250 Hz und 2'000 Hz mit einer Genauigkeit von  $\pm 20\%$ . Bei teilbaren Sporthallen sind die Anforderungen sowohl für bei der ungeteilten Halle als auch bei den Hallenteilen einzuhalten.

Beschreibung	Frequenz [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Einzelne Person in einer Gruppe, stehend, 1 Person je 6 m<sup>2</sup> Fläche; typischer Höchstwert (1)</b>	0,12	0,45	0,80	1,20	1,30	1,40
<b>Person sitzend auf ungepolsterter Bestuhlung (1); (2)</b>	0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55
<b>Person sitzend auf Leichtpolsterbestuhlung (1); (2)</b>	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25
<b>Person sitzend auf Hochpolsterbestuhlung (1); (2)</b>	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15
<b>Kind in Vorschuleinrichtung (3)</b>	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,25
<b>Schüler Primarstufe (bis 11 Jahre), sitzend an Tischen (3)</b>	0,05	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45
<b>Schüler Sekundarstufe, sitzend an Tischen (3)</b>	0,10	0,15	0,35	0,50	0,50	0,55

(1) Für geringere Besetzungsdichten steigt die Schallabsorptionsfläche/Person an; die Werte in der Tabelle sind dann als Mindest-Schallabsorptionsfläche anzusehen  
 (2) Die Werte basieren auf Reihenbestuhlung mit etwa 0,5 m<sup>2</sup>/Person  
 (3) Die Werte basieren auf einer in Klassenräumen typischen Sitzanordnung an Tischen und auf ungepolsterten Stühlen

Bild H2: Zusätzliche Schallabsorptionsfläche je Person in m<sup>2</sup> gemäss DIN 18041

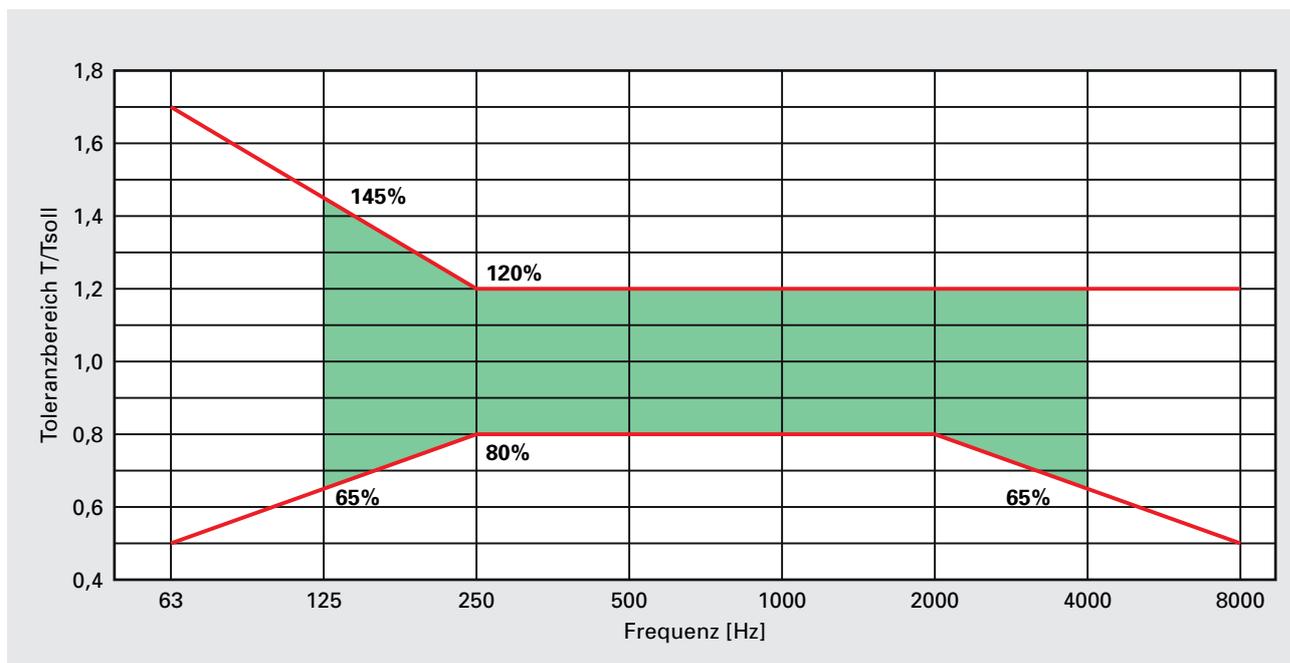


Bild H3: Frequenzabhängiger Toleranzbereich T/T<sub>soll</sub> gemäss DIN 18041

## H2.2: Hinweise für die Planung für Räume der Gruppe A

### H2.2.1: Volumenkenzahl

Um eine der Raumnutzung angepasste Nachhallzeit T erzielen zu können, sind die in Bild H4 angegebenen Volumenkenzahlen k anzustreben. Im Überschreitungsfall können umfangreichere schallabsorbierende Massnahmen erforderlich werden. Dadurch wird der Schalldruckpegel am Hörort reduziert. Dies ist in grösseren Räumen mit Entfernungen zwischen Sprecher und Hörer von über 8 m von Nachteil (sofern keine elektroakustische Verstärkung vorgesehen ist). Zu kleine Volumenkenzahlen führen dazu, dass die angestrebten Nachhallzeiten unterschritten werden. Dies ist insbesondere für Räume, die auch für Musikdarbietungen genutzt werden, von Nachteil.

In Musikprobenräumen oder Musikunterrichtsräumen werden bei einer ausreichend hohen Volumenkenzahl hohe mittlere Schalldruckpegel im Raum vermieden. Die mindestens anzustrebende Volumenkenzahl hängt von der Anzahl der Musizierenden und der Art der Instrumente ab. Für kleinere Musikprobe- und Unterrichtsräume mit bis zu etwa 10 gleichzeitig Musizierenden (z.B. Unterrichtsräume für Einzel- und Kleingruppenunterricht, kleine Ensembleprobenräume) soll die Volumenkenzahl 15 bis 20 m<sup>3</sup>/Person nicht unterschreiten, für grössere Musikprobenräume sind Volumenkenzahlen von 30 bis 50 m<sup>3</sup>/Person anzustreben.

Hauptnutzung des Raumes für:	Volumenkenzahl k [m <sup>3</sup> /Person]
Sprachdarbietung	4 bis 6
Musik- und Sprachdarbietung	6 bis 8
Musikdarbietung	7 bis 12

Bild H4: Volumenkenzahlen k für verschiedene Hauptnutzungen eines Raumes gemäss DIN 18041

### H2.2.2: Geometrische Gestaltung der Räume

Die Primärstruktur des Raumes sollte kreisförmige und elliptische Grundrisse ohne ergänzende raumakustische Massnahmen vermeiden. Konkav gekrümmte Flächen können akustisch kritisch sein, da es zu Fokussierungen oder ungewünschten Schallübertragungen kommen kann. Wenn der Radius der Wölbung den grössten Abstand der Wölbung zur gegenüber liegenden Fläche (z.B. lichte Höhe bei gewölbten Decken) nicht übersteigt, sollten zusätzliche raumakustische Massnahmen eingeplant werden.

Die Sekundärstruktur des Raumes (Gestaltung der Wände und der Decke) ist in Abhängigkeit von der Raumgeometrie zur Schalllenkung und zur Schallstreuung auszulegen:

- Der Wegunterschied zwischen dem Direktschall (Sichtverbindung zur Schallquelle) und dem energiereichen reflektierten Schallanteil (z.B. erste Schallreflexion an der Wand und/oder Decke) sollte bei vorangiger Sprachnutzung nicht mehr als 17 m betragen. Beträgt in diesem Fall der Abstand zwischen den Wandflächen hinter und gegenüber der Darbietungszone mehr als 9 m so ist diese Rückwand hinter dem Publikumsbereich raumakustisch zu behandeln.
- Nützliche deutlichkeits- und klarheitserhöhende Anfangsreflexionen unter Beachtung des zulässigen Wegunterschiedes sind durch schallreflektierende mittlere Deckenbereiche zu realisieren, bei Musiknutzung durch zusätzliche Stellwandelemente auf der Darbietungszone, wenn die vorhandenen Begrenzungsflächen wegen der grösseren Entfernungen hierfür nicht genutzt werden können.
- Parallele Flächen im Raum ohne zusätzliche raumakustische Massnahmen (teilweise schallabsorbierend, diffus streuend oder mindestens 5° geneigt) sollten vermieden werden.
- Die Begrenzungsflächen der Darbietungszone sind schallreflektierend auszubilden. Für ausschliessliche Sprachnutzung, auch unter Nutzung elektroakustischer Anlagen, sollten diese Flächen als Tieftonabsorber ausgebildet werden.

### **H2.2.3: Positionierung akustisch wirksamer Flächen**

Grundsätzlich ist es wünschenswert, die absorbierenden Flächen und Elemente gleichmässig auf die Raumbooberflächen bzw. im Raum zu verteilen. Zweckmässig sind die im Bild G5 gezeigten Anordnungen. Die Grösse der schallabsorbierenden Oberflächen ist so zu bestimmen, dass die geforderten Nachhallzeiten erreicht werden. Schallabsorber mit bevorzugter Wirksamkeit im tieffrequenten Bereich sind in Schallquellennähe, in Raumecken oder Raumkanten besonders wirksam.

Hat der betrachtete Raum einen rechtwinkligen Grundriss und sind die Wände eben und nicht durch Möbel, Regale, Fensterrücksprünge o.Ä. gegliedert, so besteht bei einer vollständig schallabsorbierend bekleideten Decke die Gefahr, dass Flatterechos auftreten. Diese Gefahr kann vermieden werden, indem ein mittleres Deckenfeld schallreflektierend ausgeführt wird; als Ausgleich müssten jedoch die Wände teilweise schallabsorbierend gestaltet werden. Bei Räumen mit einem Volumen bis etwa 250 m<sup>3</sup> besteht keine Gefahr zur akustischen Überdämpfung, es kann eine vollflächig schallabsorbierende Decke in Kombination mit einer ebenfalls schallabsorbierenden Rückwand eingesetzt werden.

Werden Deckenflächen mit thermisch aktivierten Bauteilsystemen geplant (Betonkernaktivierung), ist der Einsatz von absorbierenden Akustikmassnahmen an der Decke durch eine Verschattung der Kühl- und Heizfläche und daraus resultierender Beeinflussung der Thermik eingeschränkt möglich. Ein vollständiger Verzicht auf akustische Massnahmen an der Decke führt in der Anwendung, z.B. in Schulen, Kindertageseinrichtungen oder Mehrpersonenbüros, zu einem häufig nicht befriedigenden raumakustischen Ergebnis.

In Räumen mit einer Länge von mehr als etwa 9 m können von der Rückwand direkt oder über Winkelspiegelreflexionen langverzögerte Schallanteile in den vorderen Raumbereich gelenkt werden, die zu einer Minderung der Sprachverständlichkeit führen (vgl. Bild G6). In diesem Fall müssen diese Reflexionsflächen entweder schallabsorbierend bekleidet oder so geneigt werden, dass der auftreffende Schall als nützliche Verstärkung zu den von der Schallquelle entfernten Hörern hin reflektiert wird. Auch stark gegliederte schallstreuende Oberflächen (z.B. Bücherregale) sind zweckmässig.

Bei zueinander parallelen Flächen sollte zumindest eine der gegenüberliegenden Flächen gegliedert oder schallabsorbierend gestaltet werden (vgl. Bild H7). Dies gilt insbesondere bei grösseren Räumen mit nicht ansteigender Bestuhlung. Auch eine Schrägstellung der Flächen um mindestens etwa 5° ist günstig.

Um bei grösseren Entfernungen den nützlichen Schall zu verstärken und so eine verbesserte Sprachverständlichkeit zu erzielen, wird die geeignete Anordnung und Ausrichtung reflektierender Flächen notwendig. Die Wand hinter dem Vortragenden sowie der mittlere Teil der Decke, von dem erste Reflexionen zu den Zuhörern gelangen, sollten im mittleren und hohen Frequenzbereich schallreflektierend und als Tieftonabsorber ausgebildet werden. Sind die Decke oder die Seitenwandflächen nicht eben, sondern grossflächig gegliedert, so sind die Einzelelemente so auszurichten, dass der Schall in die mittlere und hintere Zuhörerfläche gelenkt wird (vgl. Bild H8).

In Räumen mit rechtwinkliger Geometrie und weitgehend ebener Beschaffenheit der Oberflächen (z.B.

Sport- und Schwimmhallen) können sich bei ungünstiger Verteilung schallabsorbierender Flächen, z.B. bei ausschliesslich schallabsorbierender Bekleidung der Decke, deutlich längere Nachhallzeiten einstellen, als dies nach der Berechnung zu erwarten ist. Um dies zu verhindern, sollten an mindestens einer Wandfläche Kombinationen aus schallabsorbierenden und/oder schallstreuenden Massnahmen eingesetzt werden.

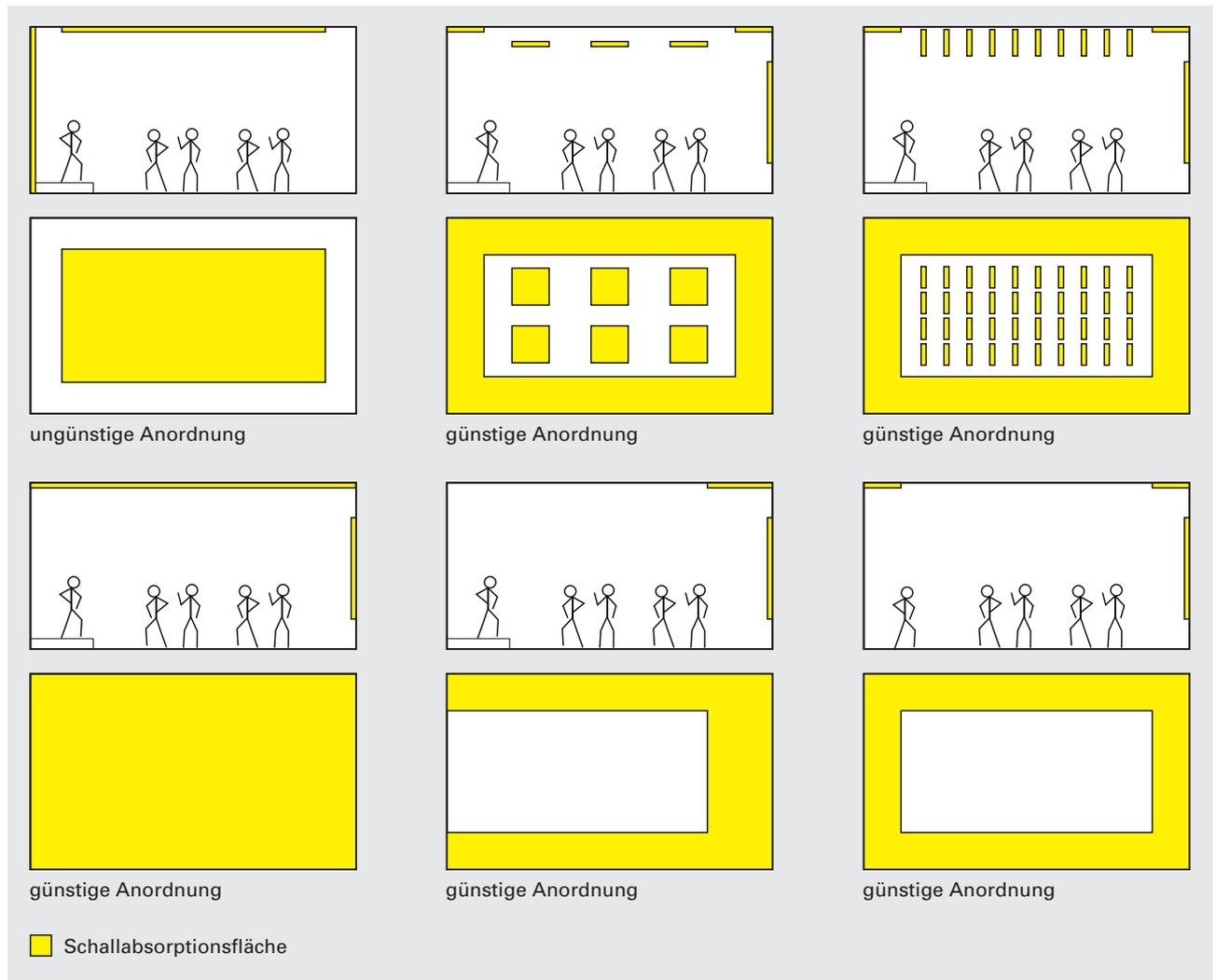


Bild H5: Verteilung von Schallabsorptionsflächen für Räume kleiner bis mittlerer Raumgrösse, z.B. Unterrichts- und Sitzungsräume (oben Aufriss, darunter Deckenuntersichten) gemäss DIN 18041

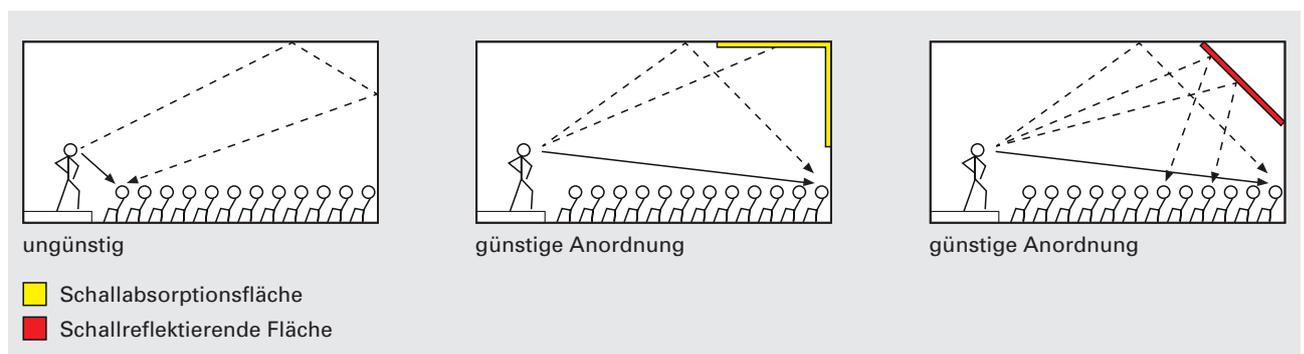


Bild H6: Reflexionen an der Rückwand vermeiden gemäss DIN 18041

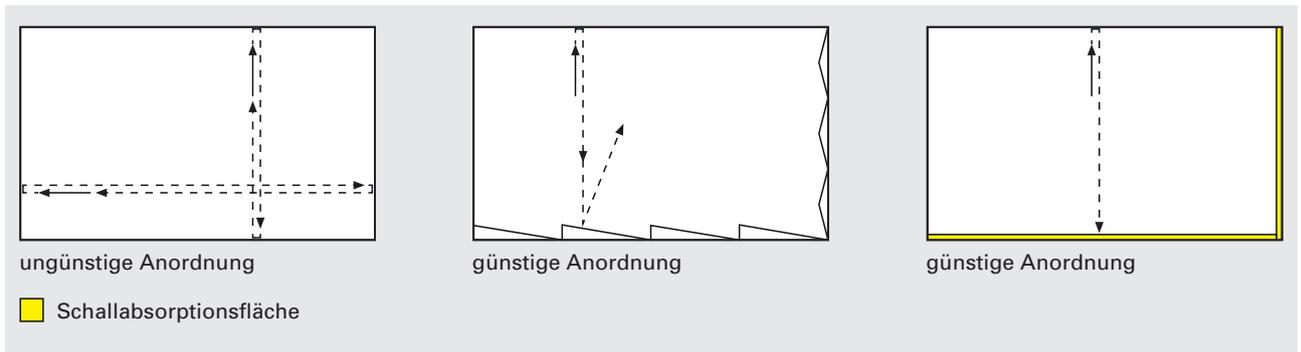


Bild H7: Flatterechos bei parallelen Wänden vermeiden gemäss DIN 18041

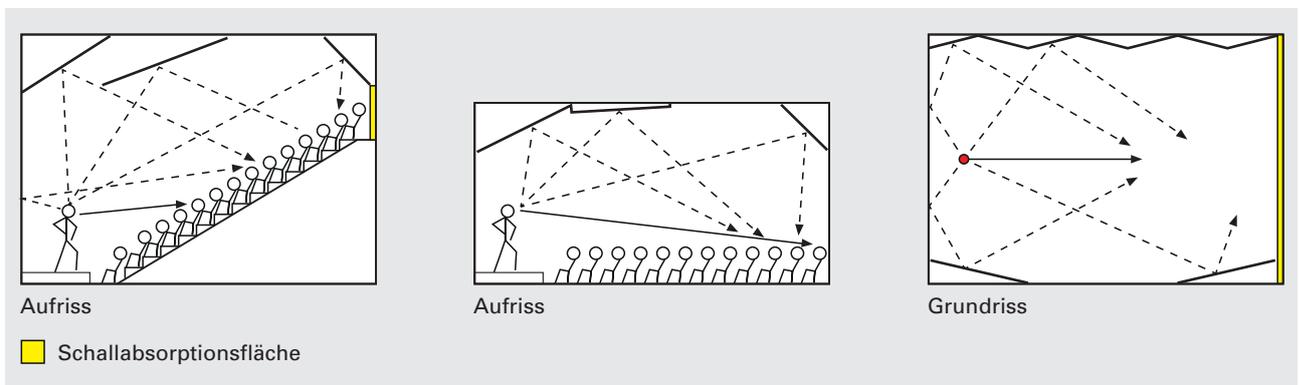


Bild H8: Nützliche Reflexionen für den hinteren Raumbereich gemäss DIN 18041

### H2.3: Anforderungen aus DIN 18041 für Räume der Gruppe B

Für Räume der Raumgruppe B sind Massnahmen zur Raumbedämpfung zu empfehlen. Damit werden eine Senkung des mittleren Grundgeräuschpegels im Raum und eine Begrenzung der Halligkeit erreicht. In Räumen der Gruppe B werden Empfehlungen für das Verhältnis von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A des Raumes zum Raumvolumen V, im Folgenden A/V-Verhältnis, im Frequenzbereich von 250 Hz bis 2'000 Hz angegeben. Daraus können auch die resultierenden Nachhallzeiten ermittelt werden.

Raum/Tätigkeit	A/V-Verhältnis [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ] <sup>(1)</sup>		Nachhallzeit T <sub>soil</sub> [s] <sup>(1)</sup>				
	Raumhöhe h ≤ 2,5 m	Raumhöhe h > 2,5 m		Raumhöhe h [m]			
				2,50	3,00	3,50	4,00
<b>B1: Ohne Aufenthaltsqualität</b> Eingangshallen, Treppenhäuser u.Ä., als reine Verkehrsflächen (ausgenommen Verkehrsflächen in Schulen, Krankenhäusern u.Ä.)	ohne Anforderung		ohne Anforderung	–	–	–	–
<b>B2: Kurzfristiges Verweilen</b> Eingangshallen, Treppenhäuser u.ä., als Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität (Empfangsbereich mit Wartezonen), Ausstellungsräume, Schalterhallen, Umkleiden in Sporthallen)	A/V ≥ 0,15	$A/V \geq [4,80 + 4,69 \lg (h/1m)]^{-1}$	$0,78 + 0,76 \cdot \lg (h)$	1,08	1,14	1,19	1,24
<b>B3: Langfristiges Verweilen</b> Ausstellungsräume mit Interaktivität, Verkehrsflächen in Schulen, Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen, Patientenwartezimmer, Pausenräume, Speiseräume, Kantinen, Bibliotheken, Verkaufsräume, Einzelbüros	A/V ≥ 0,20	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \lg (h/1m)]^{-1}$	$0,51 + 0,76 \cdot \lg (h)$	0,81	0,87	0,92	0,97
<b>B4: Arbeitsräume</b> Rezeption/Schalterbereich mit ständigem Arbeitsplatz, Ausleihbereich von Bibliotheken, Ausgabenbereich in Kantinen, Bewohnerzimmer in Pflegeeinrichtungen, Büroräume für mehrere Personen	A/V ≥ 0,25	$A/V \geq [2,13 + 4,69 \lg (h/1m)]^{-1}$	$0,35 + 0,76 \cdot \lg (h)$	0,65	0,71	0,76	0,81
<b>B5: Besondere Anforderung an Lärminderung</b> Speiseräume und Kantinen in Schulen, Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen, Arbeitsräume mit besonders hohem Geräuschaufkommen (z.B. Werkstätten, Grossküchen), Callcenter (vgl. auch VDI 2569), Leitstellen, Sicherheitszentralen, Intensivpflegebereiche, Wachstationen, Spielflure und Umkleiden in Schulen	A/V ≥ 0,30	$A/V \geq [1,47 + 4,69 \lg (h/1m)]^{-1}$	$0,24 + 0,76 \cdot \lg (h)$	0,54	0,60	0,65	0,70

Die angeführten Orientierungswerte für das mindestens erforderliche A/V-Verhältnis (bzw. die umgerechnete Anforderung an die Nachhallzeit) gelten in den einzelnen Oktaven von 250 Hz bis 2'000 Hz ohne Berücksichtigung der Schallabsorption durch Personen und sind in Abhängigkeit der lichten Raumhöhe h angegeben.

In mehrgeschossigen Räumen (z.B. Atrien mit angeschlossenen Laubengängen) bezieht sich h auf die gesamte Raumhöhe. Eine etagenweise Betrachtung führt jedoch zu einer grösseren Absorptionsfläche (bzw. kürzeren Nachhallzeit) und ist somit im Hinblick auf die Schallpegelminderung von Vorteil. Die mittlere lichte Raumhöhe h kann berechnet werden, indem das Raumvolumen durch die Nettogrundfläche des Raumes geteilt wird.

Bei Räumen mit mehreren Nutzungen bzw. Nutzungsarten, z.B. Wartebereich im Krankenhaus mit einem Schalterbereich mit ständigem Arbeitsplatz, ist die jeweils höhere Empfehlung an das A/V-Verhältnis zu berücksichtigen.

<sup>(1)</sup> In Anlehnung an Räume der Gruppe A sind die Nachhallzeiten bzw. die erforderlichen Schallabsorptionsflächen unter Berücksichtigung des frequenzabhängigen Toleranzbereichs T/T<sub>soil</sub> zu verstehen (vgl. Bild 3).

Bild H9: Nachhallzeit-Sollwerte für Gruppe B (Hörsamkeit über geringere Entfernung), gemäss DIN 18041:2016

**H3: Anforderungen aus ISO 3382-3, Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Grossraumbüros (2012)**

Diese Norm zur Definition der Anforderungen an ein Grossraumbüro ist aktueller Standard um gute raumakustische Bedingungen im Grossraumbüro zu erhalten und zu messen. Folgende Messparameter sind für die Beurteilung der Raumakustik relevant (vgl. Bild H10):

- Sprachübertragungsindex STI (speech transmission index, DIN EN 60268-16) am nächsten Arbeitsplatz: Übertragungsqualität der Sprache im Hinblick auf deren Verständlichkeit (physikalische Messgrösse).
- Ablenkungsabstand  $r_D$  [m]: Abstand mit  $STI = 0,5$ ; weiterentfernt rasche Zunahme der Konzentrationsfähigkeit und Privatsphäre.
- Vertraulichkeitsabstand  $r_p$  [m]: Abstand mit  $STI = 0,2$ ; weiterentfernt Konzentrationsfähigkeit und Privatsphäre wie bei getrennten Büros.
- Räumliche Abklingrate der Sprache  $D_{2,5}$  [dB]: Rate des räumlichen Abklingens des A-bewerteten Schalldruckpegels (Sprache) je Abstandsverdopplung.
- A-bewerteter Schalldruckpegel der Sprache  $L_{p,A,S,4m}$ : A-bewerteter Nenn-Schalldruckpegel der normalen Sprache im Abstand von 4 m von der Quelle.
- Mittlerer A-bewerteter Fremdgeräuschpegel  $L_{p,A,B}$  (Annahme für Planung und Simulation): Schalldruckpegel am Arbeitsplatz während der Arbeitszeit, ohne Personenanwesenheit, d.h. primär Geräusche von haustechnischen Anlagen.

Diese Bedingungen führen teilweise zu widersprüchliche Anforderungen in Bezug auf Anordnung von Absorbieren und Trennelementen. Entsprechende Prognosen sind daher nur mit spezieller Raumakustiksoftware zu erstellen. Wenn die Anforderung an die Schallabsorption gemäss DIN 18041 für die Nutzungsart B4 eingehalten ist und die nachfolgenden Hinweise berücksichtigt werden, können in der Regel die Bedingungen gemäss ISO 3382-3 (vgl. Bild H10) eingehalten und gute raumakustische Verhältnisse erreicht werden.

Mit folgenden Massnahmen kann die Akustik im Grossraumbüro optimiert werden:

- Räumliche Trennung von lauten und ruhigen Arbeitsplätzen.
- Sehr hohe Schallabsorption an der Decke (ohne Unterbrüche, insbesondere nicht über den Arbeitsplatz-Trennelementen (Schallschirmen)).
- Genügend hohe Trennelemente als Schallschirm zwischen nahen Arbeitsplätzen; höher bei Steharbeitsplätzen bzw. mit verstellbaren Arbeitsplätzen «mitfahrend».
- Vermeidung von Schallreflexionen über Wände und Fensterfronten.
- Eventuell muss ein erhöhter Grundschallpegel erzeugt werden (akustisches Maskierungssystem). Ein solcher «Fremdgeräuschpegel darf gemäss SECO/SUVA aber maximal 45 dB betragen.

Weiterführende Angaben zur raumakustischen Optimierung für Büroräume sind in folgenden Dokumenten zu finden:

- ISO 17624, Akustik – Leitfaden für den Schallschutz in Büros und Arbeitsräumen durch Schallschirme (2005). Beschreibung verschiedener Arten von dünnen Raumteilern und Abschätzung deren Schallschirmwirkung. Berechnungsmodelle und Erfahrungswerte.
- VDI 2569 Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro (Entwurf Februar 2016).

	Schlechte akustische Bedingungen	Mittlere akustische Bedingungen	Gute akustische Bedingungen
Räumliche Abklingrate $D_{2,5}$	$D_{2,5} < 5$ dB	$5$ dB $\leq D_{2,5} < 7$ dB	$D_{2,5} \geq 7$ dB
A-bewerteter Pegel $L_{p,A,S,4m}$	$L_{p,A,S,4m} > 50$ dB	$50$ dB $\geq L_{p,A,S,4m} > 48$ dB	$L_{p,A,S,4m} \leq 48$ dB
Ablenkungsabstand $r_D$	$r_D > 10$ m	$10$ m $\geq r_D > 5$ m	$r_D \leq 5$ m

Bild H10: Bedingungen für die Akustik in Grossraumbüros gemäss ISO 3382-3 (Anhang A)

**H4: Gesetzliche Vorschriften bei Arbeitsplätzen**

Bei neuen Industriehallen und Produktionsräumen sind raumakustische Massnahmen (z.B. eine einfache Akustikdecke) vorzusehen und in die Planung zu integrieren. Sie gehören zum heutigen Stand der Industriearchitektur. Das Arbeitsgesetz (SR 833.11) und die zugehörige Arbeitsverordnung 3 (SR 822.113) legitimieren das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) zum Erlass von Richtlinien zu akustischen Anforderungen bei Arbeitsplätzen. Relevant ist die SECO «Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz betr. Art. 22 (Lärm und Erschütterungen)».

Bezüglich belästigendem Lärm sind einerseits maximal zulässige Pegel für unterschiedliche Tätigkeiten definiert (vgl. Bilder H11 und H12).

Andererseits sind für Räume, in denen ständige Arbeitsplätze vorhanden sind, drei raumakustische Kriterien festgelegt, von denen mindestens eines erfüllt werden muss (dieselbe Festlegung macht auch die SUVA in «Akustische Mindestanforderungen für die Lärmbekämpfung (Planungshinweise)»:

- Mittlerer Schallabsorptionsgrad  $\alpha_s \geq 0,25$

$$\alpha_s = A_{tot} / S_{tot}$$

$A_{tot}$  = gesamtes Schallschluckvermögen [m<sup>2</sup>]  
 $S_{tot}$  = Summe der Raumbegrenzungsflächen [m<sup>2</sup>]

In Anlehnung an die Anforderungen aus DIN 18041 für Räume der Gruppe B ist davon auszugehen, dass sich der mittlere Schallabsorptionsgrad  $\alpha_s$  auf den Frequenzbereich von 250 Hz bis 2'000 Hz bezieht.

- Nachhallzeit T in Abhängigkeit des Raumvolumens eingehalten (vgl. Bild G13).
- Schalldruckpegelabnahme für arbeits- und funktionsbereiten Arbeitsraum pro Distanzverdopplung: DL2  $\geq 4$  dB (DL2 wird im mittleren Entfernungsbereich (5 bis 16 m) von einer punktförmigen Schallquelle in den Oktavbändern 125 Hz bis 4'000 Hz gemessen und arithmetisch gemittelt).

Tätigkeit	Lärmexpositionspegel L <sub>EX</sub> [dBA]	
	Normale Anforderung (1)	Erhöhte Anforderung (2)
<b>Gruppe 1:</b> Industrielle und gewerbliche Tätigkeiten	< 85	≤ 75
<b>Gruppe 2:</b> Allgemeine Bürotätigkeiten und vergleichbare Tätigkeiten in der Produktion und Überwachung	≤ 65	≤ 55
<b>Gruppe 3:</b> Überwiegend geistige Tätigkeiten, die eine hohe Konzentration verlangen	≤ 50	≤ 40

(1) Normalanforderung: Richtwerte, die in der Regel im überwiegenden Teil der Anwendungsfälle einzuhalten sind.  
 (2) Erhöhte Anforderung: Richtwerte für Lärminderungsziele. Gleichzeitig sind sie als Richtwerte bei erhöhten Ansprüchen an die Arbeitsleistung, die Arbeitsqualität und bei besonderer Konzentration usw. zu betrachten.

Bild H11: Tätigkeitsbezogene Lärmexpositions-Richtwerte

Raum	Lärmexpositionspegel L <sub>EX</sub> [dBA]	
	Normale Anforderung	Erhöhte Anforderung
Kleinbüro (bis 3 Personen)	40	35
Mittleres Büro	40	35
Sitzungs- und Konferenzzimmer	40	35
Grossraumbüro	45	40
Büro mit mehreren Büromaschinen	45	40
EDV-Maschinenraum	50	45
Werkstattbüro	60	55
Labor	50	45
Pausen- und Bereitschaftsräume	60	55
Liege-, Ruhe- und Sanitätsräume	40	35
Kantine	55	50
Operationssaal	40	35
Unterrichtsräume	40	35
Dienstwohnung (nachts)	35	30

Als Hintergrundgeräusche (Fremdgeräusche) gelten in diesem Zusammenhang alle Lärmimmissionen, die von eingebauten technischen Einrichtungen stammen (z.B. haustechnische Anlagen wie Belüftungssysteme, Kompressoren, Heizungen) und Lärmimmissionen von aussen (Betriebslärm, Verkehrslärm).

Bild H12: Richtwerte für Hintergrundgeräusche

Raumvolumen [m <sup>3</sup> ]	Maximale Nachhallzeit T (1) [s]
< 50	0,5
50 bis 200	0,5 bis 0,8
200 bis 1'000	0,8 bis 1,2
1'000 bis 5'000	1,2 bis 1,4
5'000 bis 20'000	1,4 bis 1,6
> 20'000	1,6

(1) als Mittelwert im Frequenzbereich von 125 bis 4'000 Hz; untere Grenze des Volumenbereichs: kleinere Nachhallzeit; obere Grenze des Volumenbereichs: grössere Nachhallzeit.

Bild H13: Richtwerte der Nachhallzeiten für funktionsbereite Arbeitsräume