



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND WOHNEN

Nachhaltiges Bauen in Baden-Württemberg (NBBW)

Nachhaltigkeitskriterien im staatlich geförderten kommunalen Hochbau in Baden-Württemberg

Nachhaltigkeitskriterium 6 (NAKR 6)

Thermische und akustische Behaglichkeit in Innenräumen

Nachhaltigkeitskriterium 6 (NAKR 6)

Thermische und akustische Behaglichkeit in Innenräumen

- B. Technischer Leitfaden
- C. Nachweisformular
- D. Berechnungshilfe
- E. Prüfungschecklisten

B. Technischer Leitfaden

1. Ziel und Intention

Die thermische und akustische Behaglichkeit in Innenräumen soll für alle Nutzer im Gebäude sichergestellt werden.

Im Winter hat die Dämmung der Gebäudehülle den größten Einfluss auf die Temperaturen in Innenräumen. Im Sommer sind es die solaren Einträge durch die transparenten Flächen von Fassaden und Dächern. Vor allem über die Gestaltung der Gebäudehülle kann der Wärmeenergieverbrauch (für Heizung und gegebenenfalls Kühlung) reduziert und können ausgeglichene Raumtemperaturverhältnisse geschaffen werden.

Mit Hilfe einer thermischen Gebäudesimulation wird die zu erwartende thermische Situation im Gebäude nachgebildet. Es besteht damit die Möglichkeit, die baulichen Parameter zu variieren und zu optimieren und die energetischen Aufwendungen der Gebäudetechnik für eine vorgegebene Behaglichkeitsanforderung zu reduzieren.

Die raumakustische Qualität von Innenräumen kann für die meisten Fälle mit der Nachhallzeit oder dem Verhältnis der akustisch wirksamen Fläche (äquivalenten Schallabsorptionsfläche) zum Raumvolumen (A/V-Verhältnis) bewertet werden. Räume, in denen viel gesprochen wird, müssen differenzierter betrachtet werden. In Unterrichtsräumen steht die Verständlichkeit des Vortragenden an jeder Stelle des Raumes (Sprachverständlichkeit) im Vordergrund. Dagegen wird in Großraumbüros das Telefonieren anderer Mitarbeiter als störend empfunden. Für eine gute akustische Behaglichkeit ist daher die Umsetzung nutzungsabhängiger akustischer Dämpfungsmaßnahmen notwendig.

2. Erläuterung

Im Hinblick auf die thermische Behaglichkeit und Energieeinsparung werden zuerst die baulichen Maßnahmen betrachtet. Dabei geht es um die Einhaltung der Anforderungen an den Wärmeschutz.

Als ein wesentlicher Indikator für die thermische Behaglichkeit wird die operative Temperatur nach DIN EN 15251 herangezogen. Unter dem Begriff „operative Temperatur“ versteht man die vom Menschen empfundene Raumtemperatur. Dabei handelt es sich um den Mittelwert aus den Strahlungstemperaturen der Innenraumflächen einschließlich Heizflächen und der Raumlufttemperatur unter der Bedingung niedriger Luftgeschwindigkeiten im Raum.

Ein wesentlicher Indikator für die akustische Raumqualität ist das A/V-Verhältnis. Die akustisch wirksame Fläche (äquivalente Schallabsorptionsfläche) A bestimmt sich dabei als Summe der Produkte aus der Fläche in $[m^2]$ und dem oberflächenspezifischen Absorptionsgrad der einzelnen Bauteile (Decken usw.). Das Volumen V in $[m^3]$ entspricht dem Raumvolumen. Die Berechnung erfolgt für verschiedene Frequenzen, damit die akustische Qualität sowohl für tiefe Frequenzen (125 Hz) wie auch für hohe Frequenzen (4.000 Hz) sichergestellt wird.

Ein weiterer Indikator für die akustische Raumqualität ist die Nachhallzeit, die als diejenige Zeitspanne definiert ist, während der der Schalldruckpegel in einem Raum nach Beenden einer Schallfeldanregung um 60 dB abfällt.

3. Durchführung

3.1 Anforderungen

Die Anforderungen an den Wärmeschutz (einschließlich dem sommerlichen Wärmeschutz) von Gebäuden sind zusammen mit weiteren Anforderungen zur Energieeinsparung in der EnEV geregelt. Die Erfüllung dieser Anforderungen wird im NAKR 2 erfasst.

Der bauteilbezogene Mindestwärmeschutz und der akustische Komfort sind Bestandteil der Anforderungen des vorliegenden Nachhaltigkeitskriteriums.

Der Nachweis der Einhaltung von Toleranzbereichen der operativen Temperatur mit Hilfe einer thermischen Gebäudesimulation ist erst ab einem bestimmten Investitionsvolumen Bestandteil der Anforderungen des vorliegenden Nachhaltigkeitskriteriums.

3.2 Bauteilbezogener Mindestwärmeschutz

Der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen an den bauteilbezogenen Mindestwärmeschutz erfolgt nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3 und den hierzu ergangenen bauaufsichtlichen Vorschriften. Er umfasst die Wärmedämmung von Bauteilen sowie Wärmebrücken in der Gebäudehülle.

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz sollen ein hygienisches Raumklima sowie einen dauerhaften Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sicherstellen.

3.3 Operative Temperatur im Winter und Sommer

Der Nachweis ist für Gebäude mit Herstellungskosten ≥ 3 Millionen EUR zu erbringen.

Neben den unter 3.1 und 3.2 genannten baulichen Anforderungen an den Wärmeschutz ist für diese Gebäudegröße eine thermische Gebäudesimulation in Form einer zonalen thermischen Raumsimulation, unter Beachtung der formulierten Rahmenbedingungen und Empfehlungen zur operativen Temperatur nach DIN EN 15251, durchzuführen. Die Simulation muss für den Winter (innerhalb der Heizperiode) und für den Sommer (außerhalb der Heizperiode) durchgeführt werden. Die Simulation erfolgt für eine Auswahl kritischer Räume. Die Festlegung der zu bewertenden kritischen Räume trifft der Fachplaner.

Die zur Simulation eingesetzte Software muss nach VDI 6020 oder DIN EN 15265 validiert sein. Die Dokumentation zur thermischen Gebäudesimulation muss eine Zusammenfassung enthalten, in der die Auslegungstemperatur für die Räume der Hauptnutzungen und der prozentuale Anteil der Unter- und Überschreitungzeiten im Winter und Sommer dargestellt sind.

Für Räume ohne maschinelle Kühlung ist die Anwendung des „Adaptiven Komfortmodells“ (Vergleich der operativen Innentemperatur mit dem gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur) nach DIN EN 15251 zulässig.

3.4 Raumakustische Nachweisgrößen

Als Nachweisgrößen stehen die Nachhallzeit nach DIN 18041 und das A/V-Verhältnis in Abhängigkeit von der Raumnutzung zur Verfügung. Die Festlegung der zu bewertenden Räume trifft der Fachplaner.

A/V-Verhältnis

Das A/V-Verhältnis wird als Mittelwert für die Frequenzen 125, 250, 500, 1.000, 2.000 und 4.000 Hz berechnet. Die akustisch wirksame Absorptionsfläche (äquivalente Schallabsorptionsfläche) A ergibt sich als Summe der Produkte aus der Fläche in $[m^2]$ und dem oberflächenspezifischen Absorptionsgrad der einzelnen Bauteile (Decken usw.). Das Volumen V in $[m^3]$ entspricht dem Raumvolumen.

Nachhaltigkeitskriterium 6: Thermische und akustische Behaglichkeit in Innenräumen

Zusätzlich müssen in Abhängigkeit von der Raumnutzung gegebenenfalls die Möblierung und ein festgelegter Prozentsatz an Personenbelegung bei der Berechnung des A/V-Verhältnisses berücksichtigt werden.

Nachhallzeit

Für mittelgroße und große Räume mit einer dichten Personenbelegung (1 bis 3 m²/Person) und der Anforderung an eine gute Sprach-/Musikverständlichkeit wird die Nachhallzeit gemäß DIN 18041 als Nachweisgröße verwendet.

Mit folgenden Gleichungen wird die Soll-Nachhallzeit in Sekunden [s] für die jeweilige Raumnutzung (Raumtyp) ermittelt.

Unterricht:

$$T_{Soll} = (0,32 \cdot \lg \frac{V}{[m^3]} - 0,17) \quad [s] \quad (1)$$

Sprache (Versammlungsraum):

$$T_{Soll} = (0,37 \cdot \lg \frac{V}{[m^3]} - 0,14) \quad [s] \quad (2)$$

Musik (Musikunterrichtsraum, Saal für Musikdarbietungen):

$$T_{Soll} = (0,45 \cdot \lg \frac{V}{[m^3]} + 0,07) \quad [s] \quad (3)$$

Sport (eine Sportgruppe):

$$T_{Soll} = (1,27 \cdot \lg \frac{V}{[m^3]} - 2,49) \quad [s] \quad (4)$$

Sport (mehrere Sportgruppen parallel):

$$T_{Soll} = (0,95 \cdot \lg \frac{V}{[m^3]} - 1,74) \quad [s] \quad (5)$$

In der Planung kann die für den Raum erwartete Nachhallzeit T (Mittelwert) über die Umrechnung des Mittelwertes der A/V-Verhältnisse für die Frequenzen 125, 250, 500, 1.000, 2.000 und 4.000 Hz mit der Gleichung nach Sabine berechnet werden.

$$T = 0,163 \cdot \left[\frac{s}{m} \right] \cdot V / A \quad [s] \quad (6)$$

Die akustische Qualität von Räumen wird auch von der Abweichung der Nachhallzeit oder des A/V-Verhältnisses in einzelnen Frequenzen vom Mittelwert der Nachhallzeit oder des A/V-Verhältnisses bestimmt. Diese Abweichung sollte nicht mehr als 50 % betragen, damit die Schallwellen in einzelnen Frequenzen nicht wesentlich geringer absorbiert werden als im Durchschnitt.

Nachhaltigkeitskriterien im staatlich geförderten kommunalen Hochbau in Baden-Württemberg
Nachhaltigkeitskriterium 6: Thermische und akustische Behaglichkeit in Innenräumen

Folgende Tabelle enthält die Anforderungen für die jeweiligen Nachweisgrößen.

	Soll-Wert	Ist-Wert
Raumtyp	Mittelwert A/V [m⁻¹] für 6 Oktaven (125 - 4.000 Hz)	Mittelwert A/V [m⁻¹] für 6 Oktaven (125 - 4.000 Hz)
Bürräume (ohne lose Möblierung und Personen)	≥ 0,20	
Laborräume (ohne lose Möblierung und Personen)	≥ 0,20	
Kantinen (möbliert und zu 50 % mit Personen besetzt)	≥ 0,22	
Mensen (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	≥ 0,24	
Raumtyp	T/T_{Soll} für 6 Oktaven (125 - 4.000 Hz)	T/T_{Soll} für 4 Oktaven (250 - 2.000 Hz)
Besprechungsräume (Kommunikation) (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Unterrichtsräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Versammlungsräume (Sprache/Vortrag) (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Musikräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Raumtyp	T/T_{Soll} für 4 Oktaven (250 - 2.000 Hz)	T/T_{Soll} für 4 Oktaven (250 - 2.000 Hz)
Sporträume ≤ 10.000 m ³ (ohne lose Möblierung und Personen)	0,7 - 1,3	
Raumtyp	T [s] (für 4 Oktaven 250 - 2.000 Hz)	T [s] (für 4 Oktaven 250 - 2.000 Hz)
Sporträume > 10.000 m ³ (ohne lose Möblierung und Personen)	1,4 - 2,6	

Tabelle 1: Raumakustische Anforderungen in Abhängigkeit vom Raumtyp

4. Nachweise

Folgende Dokumente sind vorzuhalten:

Nachweisformular

Die Einhaltung des bauteilbezogenen Mindestwärmeschutzes, gegebenenfalls die berechneten Eckdaten der thermischen Gebäudesimulation und die Einhaltung der Anforderungen an den raumakustischen Komfort sind in das Formular einzutragen und die Richtigkeit der Ermittlungen sind vom Fachplaner zu bestätigen.

Herstellungskosten

Die Herstellungskosten werden aus dem NAKR 5 übernommen.

Bauteilbezogener Mindestwärmeschutz

Der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen an den bauteilbezogenen Mindestwärmeschutz erfolgt nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3 und den hierzu ergangenen bauaufsichtlichen Vorschriften.

Thermische Gebäudesimulation (bei Herstellungskosten \geq 3 Mio. EUR)

Die Herstellungskosten, ab denen eine thermische Raumsimulation notwendig ist, sind netto und enthalten die Kosten der Kostengruppen 300, 400 und 540 nach DIN 276.

Es ist eine thermische Gebäudesimulation in Form einer zonalen thermischen Raumsimulation vorzulegen, die von einem qualifizierten Fachplaner durchgeführt wurde.

Die Simulation erfolgt für eine Auswahl kritischer Räume. Die Auswahl der Räume ist von der Himmelsrichtung, der Lage im Gebäude, der raumumschließenden Bauteile und dem Nutzungsprofil abhängig. Die Festlegung der zu bewertenden kritischen Räume trifft der Fachplaner.

Raumakustischer Komfort

Der Nachweis über die Einhaltung der raumakustischen Komfortanforderungen erfolgt über das A/V-Verhältnis, das Nachhallzeiten-Verhältnis T/T_{Soll} oder die Nachhallzeit nach Tabelle 1. Die Festlegung der zu bewertenden Räume trifft der Fachplaner.

Falls die Anforderungen für einzelne Räume rechnerisch nicht eingehalten werden, so ist für diese Räume der raumakustische Komfort über eine Messung nach NAKR 10 nachzuweisen.

5. Externe Datengrundlagen

- [1] EnEV – Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. November 2013 (BGBl. I S. 3951).
- [2] DIN 4108-2:2013-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [3] DIN 4108-3:2001-07, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- [4] DIN 18041:2016-03, Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung
- [5] DIN EN 15251:2012-12, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- [6] DIN EN 15265:2007-11, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren ...
- [7] VDI 6020 Blatt 1:2001-05, Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation – Gebäudesimulation

C. Nachweisformular

1. Gebäudedaten

Gebäudespezifische Daten	
Projektbezeichnung
Gebäudetyp
Herstellungskosten aus NAKR 5 (Netto für KG 300+400+540)

2. Bauteilbezogener Mindestwärmeschutz

Anforderungen nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3	ja	nein
Die Anforderungen an den bauteilbezogenen Mindestwärmeschutz werden eingehalten.		

3. Operative Temperatur im Winter und Sommer

Die Nachweisführung ist nur für Gebäude mit Herstellungskosten ≥ 3 Mio. EUR notwendig.

Winter	
Angabe der minimalen operativen Temperatur, auf die das Gebäude in den Räumen der Hauptnutzung ausgelegt ist.	[°C]
Welcher Kategorie nach DIN EN 15251 (I, II oder III) entspricht dieser Wert?
Die prozentuale Unterschreitung der operativen Temperatur beträgt während der Nutzungszeit:%

Sommer	
Angabe der maximalen operativen Temperatur, auf die das Gebäude in den Räumen der Hauptnutzung ausgelegt ist.	[°C]
Welcher Kategorie nach DIN EN 15251 (I, II oder III) entspricht dieser Wert?
Die prozentuale Überschreitung der operativen Temperatur beträgt während der Nutzungszeit:%

4. Raumakustischer Komfort

Anforderungen gemäß Abschnitt B.3.4	ja	nein
Die Anforderungen an den raumakustischen Komfort werden eingehalten.		
Falls nein: Die Erfüllung der Anforderungen wird über eine Messung nach NAKR 10 nachgewiesen.		

	Soll-Wert	Ist-Wert
Raumtyp	Mittelwert A/V [m ⁻¹] (für 6 Oktaven)	Mittelwert A/V [m ⁻¹] (für 6 Oktaven)
Büroräume (ohne lose Möblierung und Personen)	≥ 0,20	
Laborräume (ohne lose Möblierung und Personen)	≥ 0,20	
Kantinen > 50 m ² (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	≥ 0,20	
Raumtyp	T/T _{Soll} (für Oktaven 125 - 4.000 Hz)	T/T _{Soll} (für Oktaven 125 - 4.000 Hz)
Unterrichtsräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Besprechungsräume ≤ 50 m ² (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Versammlungsräume > 50 m ² (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Musikräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Sporträume ≤ 10.000 m ³ (ohne lose Möblierung und Personen)	0,7 - 1,3	
	T [s] (für Oktaven 250 - 2.000 Hz)	T [s] (für Oktaven 250 - 2.000 Hz)
Sporträume > 10.000 m ³ (ohne lose Möblierung und Personen)	1,6 - 2,4	

Tabelle 1: Raumakustische Anforderungen in Abhängigkeit vom Raumtyp

5. Bestätigung des Bearbeiters

Die Bestätigung ist nur für Gebäude mit Herstellungskosten ≥ 3 Millionen EUR notwendig.

Ich bestätige die Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben zur thermischen Gebäudesimulation.

Daten des Bearbeiters	
Vorname	
Name	
Bürobezeichnung	
Straße	
PLZ Ort	
Ort, Datum	

6. Bestätigung des Bearbeiters

Ich bestätige die Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben zum akustischen Komfort des Gebäudes.

Daten des Bearbeiters	
Vorname	
Name	
Bürobezeichnung	
Straße	
PLZ Ort	
Ort, Datum	

7. Bestätigung des Bearbeiters

Ich bestätige die Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben zum bauteilbezogenen Wärmeschutz.

Daten des Bearbeiters	
Vorname	
Name	
Bürobezeichnung	
Straße	
PLZ Ort	
Ort, Datum	

E1. Prüfungsscheckliste (formale Prüfung)

1. Prüfung auf Vollständigkeit des Dokumenteneingangs

Folgende Dokumente liegen vor.

Nachweisunterlagen	ja	nein
Nachweisformular		
Nachweis über die Einhaltung des bauteilbezogenen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3		
Thermische Gebäudesimulation (bei Herstellungskosten \geq 3 Mio. EUR)		
Nachweis über die Einhaltung der raumakustischen Komfortanforderungen		
Bestätigung des Bearbeiters zum Nachweis des bauteilbezogenen Mindestwärmeschutzes		
Bestätigung des Bearbeiters zur thermischen Gebäudesimulation (bei Herstellungskosten \geq 3 Mio. EUR)		
Bestätigung des Bearbeiters zu den raumakustischen Berechnungen		

E2. Erweiterte Prüfungscheckliste (freiwillige erweiterte Prüfung)

1. Prüfung auf Vollständigkeit des Nachweisformulars

Das Nachweisformular wurde vollständig ausgefüllt.

Nachweisformular	ja	nein
Bauteilbezogener Mindestwärmeschutz		
Es wurden Angaben zum bauteilbezogenen Mindestwärmeschutz eingetragen.		
Thermische Gebäudesimulation (bei Herstellungskosten ≥ 3 Mio. EUR)		
Winter		
Es wurden Angaben zur operativen Auslegungstemperatur der Räume der Hauptnutzungen eingetragen.		
Es wurden Angaben zur Kategorie nach DIN EN 15251 eingetragen.		
Es wurden prozentuale Angaben zu den Unterschreitungszeiten angegeben.		
Sommer		
Es wurden Angaben zur operativen Auslegungstemperatur der Räume der Hauptnutzungen eingetragen.		
Es wurden Angaben zur Kategorie nach DIN EN 15251 eingetragen.		
Es wurden prozentuale Angaben zu den Überschreitungszeiten angegeben.		
Raumakustischer Komfort		
Es wurden Angaben zum raumakustischen Komfort eingetragen.		

2. Prüfung auf Einhaltung der Anforderungen

Die im Leitfaden formulierten Anforderungen wurden eingehalten.

Anforderungen	ja	nein
Bauteilbezogener Mindestwärmeschutz		
Die Anforderungen an den bauteilbezogenen Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3 werden eingehalten.		
Thermische Gebäudesimulation		
Die Herstellungskosten gemäß NAKR 5 betragen mindestens 3 Mio. EUR.		
Wenn die Herstellungskosten mindestens 3 Mio. EUR betragen: Es wurde eine thermische Gebäudesimulation durchgeführt.		
Raumakustischer Komfort		
Die Anforderungen an den raumakustischen Komfort nach Abschnitt B.3.4 werden eingehalten.		
Falls nein: Die Erfüllung der Anforderungen wird über eine Messung nach NAKR 10 nachgewiesen.		

Nachhaltigkeitskriterium 6: Thermische und akustische Behaglichkeit in Innenräumen**3. Prüfung durch stichprobenartige Kontrolle der Nachweise**

Nach stichprobenartiger Kontrolle liegen die Nachweise inhaltlich vollständig vor.

Bauteilbezogener Mindestwärmeschutz	ja	nein
Die im Nachweisformular eingetragene Einhaltung des bauteilbezogenen Mindestwärmeschutzes wird durch Nachweise nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3 belegt.		

Thermische Gebäudesimulation Bei Herstellungskosten \geq 3 Mio. EUR	ja	nein
Winter		
Die im Nachweisformular eingetragenen operativen Auslegungstemperaturen sind der thermischen Gebäudesimulation zugrunde gelegt.		
Die im Nachweisformular eingetragenen prozentualen Unterschreitungszeiten sind durch die Simulation belegt.		
Sommer		
Die im Nachweisformular eingetragenen operativen Auslegungstemperaturen sind der thermischen Gebäudesimulation zugrunde gelegt.		
Die im Nachweisformular eingetragenen prozentualen Überschreitungszeiten sind durch die Simulation belegt.		

Raumakustischer Komfort	ja	nein
Die im Nachweisformular eingetragene Einhaltung der raumakustischen Komfortanforderungen wird für die ausgewählten Räume aller Hauptnutzungen durch Berechnungen belegt.		
Falls nein: Die Erfüllung der Anforderungen wird über eine Messung nach NAKR 10 nachgewiesen.		