



# Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND WOHNEN

## **Nachhaltiges Bauen in Baden-Württemberg (N!BBW)**

### **Nachhaltigkeitskriterien im staatlich geförderten Hochbau in Baden-Württemberg**

#### **Nachhaltigkeitskriterium 3 (NAKR 3) Thermische und akustische Behaglichkeit**

##### Wichtiger Hinweis

Die Nachhaltigkeitskriterien NAKR 1 bis NAKR 10 beziehen sich teilweise auf gesetzliche Anforderungen. Die gesetzlichen Anforderungen sind aufgrund der Überführung in Einzelkriterien systembedingt nicht zwingend vollständig wiedergegeben und aus technischen Gründen auch nicht zwingend aktuell.

Bei der Errichtung oder Änderung baulicher Anlagen müssen auf jeden Fall die aktuellen gesetzlichen Anforderungen eingehalten werden.

## **Nachhaltigkeitskriterium 3 (NAKR 3)**

### **Thermische und akustische Behaglichkeit**

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

## **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 15798 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 konditionierter Oberflächen 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.

Die Nachhallzeit kann gemessen oder aus dem  $A/V$ -Verhältnis berechnet werden.

### **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 Herstellungskosten (KG 300, 400 und 550) von 3 Mio. EUR (netto) 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 erst ab Herstellungskosten (KG 300, 400 und 550) von 3 Mio. EUR (netto) zu erbringen.

Für Sporthallen ist der Nachweis aufgrund der hohen Aktivität nicht notwendig.

Bei Durchführung einer zonalen thermischen Raumsimulation nach DIN EN 16798-1 sind folgende Anforderungen zu berücksichtigen.

1. Die Simulation muss für den Winter (innerhalb der Heizperiode) und für den Sommer (außerhalb der Heizperiode) durchgeführt werden.
2. Die Simulation erfolgt für eine Auswahl kritischer Räume. Die Festlegung der zu bewertenden kritischen Räume trifft der Fachplaner.
3. Die zur Simulation eingesetzte Software muss nach VDI 6020 validiert sein.
4. Die Dokumentation zur thermischen Gebäudesimulation muss eine Zusammenfassung enthalten, in der die ermittelten Kategorien (I – IV) pro kritischem Raum und die Summe der Flächen aller Räume eines Raumtyps (Fläche des jeweiligen Raumtyps) jeweils für Winter und Sommer dargestellt sind.

Die folgende Tabelle B.2 gemäß DIN EN 16798-1 enthält die raumnutzungsabhängigen Mindestwerte (Winter) und Höchstwerte (Sommer) der operativen Temperatur pro Kategorie.

Für Räume ohne maschinelle Kühlung ist die Anwendung des adaptiven Verfahrens nach DIN EN 16798-1 Kapitel B.2.2 zulässig.

Bei Neubauten ist mindestens die Kategorie II im Winter und Sommer einzuhalten.

Bei Komplettmodernisierungen ist mindestens die Kategorie III im Winter und Sommer einzuhalten.

**Nachhaltigkeitskriterium 3: Thermische und akustische Behaglichkeit****Tabelle B.2 — Standardauslegungswerte der operativen Innentemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschinellen Kühlanlagen (für weitere Beispiele siehe FprCEN/TR 16798-2 [7])**

Gebäude-/Raumtyp	Kategorie	Operative Temperatur, °C	
		Mindestwert für Heizung (Winterperiode), etwa 1,0 clo	Höchstwert für Kühlung (Sommerperiode), etwa 0,5 clo
Wohngebäude, Wohnräume (Schlafzimmer, Wohnzimmer, Küchen usw.) Sitzende Tätigkeit ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	28,0
Wohngebäude, andere Räume (Hauswirtschaftsräume, Lagerräume usw.) Stehende, gehende Tätigkeit ~ 1,5 met	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	
Büros und ähnlich genutzte Räume (Einzel- und Großraumbüros, Konferenzräume, Hör- bzw. Zuschauersäle, Cafeterien, Restaurants, Klassenräume) Sitzende Tätigkeit ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
	IV	18,0	28,0
ANMERKUNG Es wird von 50 % relativer Luftfeuchte und geringen Luftgeschwindigkeiten (< 0,1 m/s) ausgegangen.			

**3.4 Raumakustische Nachweisgrößen**

Als Nachweisgrößen stehen die Nachhallzeit nach DIN 18041 und das A/V-Verhältnis in Abhängigkeit von der Raumnutzung zur Verfügung.

**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 [m²] und dem oberflächenspezifischen Absorptionsgrad der einzelnen Bauteile (Decken usw.).

### Nachhaltigkeitskriterium 3: Thermische und akustische Behaglichkeit

Das Volumen  $V$  in  $[m^3]$  entspricht dem Raumvolumen.

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  $m^2$ /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.

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

Eine angemessene akustische Qualität von Räumen wird erreicht, wenn die mittlere Nachhallzeit oder das A/V-Verhältnis des Raumes einen nutzungsspezifischen Sollwert einhält.

**Nachhaltigkeitskriterium 3: Thermische und akustische Behaglichkeit**

Folgende Tabelle enthält die Anforderungen für die jeweiligen Nachweisgrößen.

<b>Raumtyp</b>	<b>Mittelwert <math>A/V</math> [<math>m^{-1}</math>] für 6 Oktaven (125 – 4.000 Hz)</b>	<b><math>T/T_{Soll}</math> [s] für 6 Oktaven (125 – 4.000 Hz)</b>
Büroräume (ohne lose Möblierung und Personen)	$\geq 0,20$	
Kantinen (möbliert und zu 50 % mit Personen besetzt)	$\geq 0,24$	
Unterrichtsräume/Gruppenräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)		0,7 - 1,3
Besprechungsräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)		0,7 - 1,3
Versammlungsräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)		0,7 - 1,3
Musikräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)		0,7 - 1,3
		<b><math>T/T_{Soll}</math> [s] für 4 Oktaven (250 – 2.000 Hz)</b>
Sporträume $\leq 10.000 m^3$ (ohne lose Möblierung und Personen)		0,7 - 1,3
		<b><math>T</math> [s] (für 4 Oktaven 250 – 2.000 Hz)</b>
Sporträume $> 10.000 m^3$ (ohne lose Möblierung und Personen)		1,6 - 2,4

Tabelle 1: Raumakustische Anforderungen in Abhängigkeit vom Raumtyp

## **4. Nachweise**

Folgende Dokumente sind vorzuhalten:

### **Nachweisformular**

Die Daten sind entsprechend der Vorgaben im Formular vollständig einzutragen.

### **Herstellungskosten**

Die Herstellungskosten werden aus dem NAKR 7 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**

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, dem Sonnenschutz 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  $T/T_{\text{Soll}}$  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] DIN 4108-2:2013-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [2] DIN 18041:2016-03, Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung
- [3] DIN EN 16798-1:2022-03, Energetische Bewertung von Gebäuden Lüftung von Gebäuden Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6
- [4] 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 7	.....

### 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 (KG 300, 400 und 550)  $\geq$  3 Mio. EUR notwendig.

Winter	
Das Gebäude erfüllt nach DIN EN 16798-1 die Kategorie:	.....

  

Sommer	
Der Flächenanteil der maschinell gekühlten Räume im Gebäude beträgt:	.....[%]
Das Gebäude erfüllt nach DIN EN 16798-1 die Kategorie:	.....

**4. Raumakustischer Komfort**

Anforderungen gemäß DIN 18041	ja	nein
Die Anforderungen an den raumakustischen Komfort werden eingehalten.		
Die Erfüllung der Anforderungen wird über eine Messung nach NAKR 10 nachgewiesen.		

	Soll-Wert	Ist-Wert
Raumtyp	Mittelwert A/V [m <sup>-1</sup> ] (für 6 Oktaven)	Mittelwert A/V [m <sup>-1</sup> ] (für 6 Oktaven)
Büroräume (ohne lose Möblierung und Personen)	≥ 0,20	
Kantinen > 50 m <sup>2</sup> (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	≥ 0,24	
Raumtyp	T/T <sub>Soll</sub> (für Oktaven 125 - 4.000 Hz)	T/T <sub>Soll</sub> (für Oktaven 125 - 4.000 Hz)
Unterrichtsräume/Gruppenräume (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Besprechungsräume ≤ 50 m <sup>2</sup> (möbliert und zu 80 % mit Personen besetzt)	0,7 - 1,3	
Versammlungsräume > 50 m <sup>2</sup> (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 <sup>3</sup> (ohne lose Möblierung und Personen)	0,7 - 1,3	
Raumtyp	T/T <sub>Soll</sub> [s] für 4 Oktaven (250 – 2.000 Hz)	T/T <sub>Soll</sub> [s] für 4 Oktaven (250 – 2.000 Hz)
Sporträume ≤ 10.000 m <sup>3</sup> (ohne lose Möblierung und Personen)	0,7 - 1,3	
Raumtyp	T [s] (für Oktaven 250 - 2.000 Hz)	T [s] (für Oktaven 250 - 2.000 Hz)
Sporträume > 10.000 m <sup>3</sup> (ohne lose Möblierung und Personen)	1,6 - 2,4	

Tabelle 1: Raumakustische Anforderungen in Abhängigkeit vom Raumtyp

## E. Prüfungsscheckliste

### 1. Prüfung auf Vollständigkeit des Dokumenteneingangs

Folgende Dokumente liegen vor.

Nachweisunterlagen	ja	nein
Nachweisformular vollständig ausgefüllt		
Nachweis über die Einhaltung des bauteilbezogenen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3		
Thermische Gebäudesimulation (nur bei Herstellungskosten ab 3 Mio. EUR)		
Nachweis über die Einhaltung der raumakustischen Komfortanforderungen		

### 2. Prüfung auf Einhaltung der Anforderungen

Die im Leitfaden formulierten Anforderungen wurden eingehalten.

Anforderungen	ja	nein
<b>Bauteilbezogener Mindestwärmeschutz</b>		
Die Anforderungen an den bauteilbezogenen Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 in Verbindung mit DIN 4108-3 werden eingehalten.		
<b>Thermische Gebäudesimulation</b>		
Es wurde eine thermische Gebäudesimulation durchgeführt (nur bei Herstellungskosten ab 3 Mio. EUR).		
<b>Raumakustischer Komfort</b>		
Die Anforderungen an den raumakustischen Komfort werden eingehalten.		