

Bemessungsverfahren für Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter Belastung

(Deutsches Anwendungsdokument zu EOTA TR 050 vom Oktober 2018)

Stand: August 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Anwendungsbereich	3
1.1	Allgemeines.....	3
1.2	Typen, Abmessungen und Werkstoffe der Ankerschienen.....	3
1.3	Belastung der Ankerschiene	4
1.4	Besondere Begriffe in dieser Technischen Regel.....	5
2	Kombination von statischen und zyklischen Belastungen und von Einflussbereichen	7
3	Bemessung von Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter Belastung	9
3.1	Bemessungskonzept.....	9
3.2	Bemessungsverfahren I – Komplexe Methode	11
3.2.1	Anwendungsbedingungen	11
3.2.2	Berechnung des Ermüdungswiderstandes $\Delta NR_d, E, n$ in Abhängigkeit von der unteren zyklischen Belastung NE_{lod}	11
3.2.3	Erforderliche Nachweise	13
3.3	Bemessungsverfahren I – Einfaches Verfahren	13
3.3.1	Anwendungsbedingungen	13
3.3.2	Erforderliche Nachweise	13
4	Verweise	14

1 Anwendungsbereich

1.1 Allgemeines

Die Konstruktion des Ankerschienensystems ist für seine Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von entscheidender Bedeutung. Es wird empfohlen, Einflüsse auf das Tragverhalten durch unkontrollierte Verschiebungen durch konstruktive Maßnahmen zu minimieren.

Unkontrollierte Verschiebungen sind zu begrenzen, um die erhöhten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit, insbesondere bei schwellender zyklischer Belastung, zu erfüllen. Schlupf ist generell zu vermeiden.

Diese Technische Regel enthält Bemessungsverfahren für Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter zyklischer Zugbelastung. Sie gilt für Ankerschienen mit einer Europäischen Technischen Bewertung (ETA) mit charakteristischen Widerständen und Abständen unter ermüdungsrelevanter zyklischer Beanspruchung auf der Grundlage von EAD 330008-02-0601 [1].

Anmerkung: Diese Technische Regel stellt den aktuellen Stand der Technik dar und ist in Verbindung mit den Bestimmungen von DIN EN 1992-4 [2] zu verwenden.

Sie beschreibt Bemessungsverfahren für Ankerschienen in Betonbauteilen (Verbindung zwischen tragenden Bauteilen und Befestigung von nichttragenden Elementen an tragenden Bauteilen) unter ermüdungsrelevanter zyklischer Zugbelastung mit oder ohne statischer oder quasi-statischer Zugbelastung. Es dürfen keine statischen, quasi-statischen oder ermüdungsrelevanten zyklischen Querlasten zusammen mit der ermüdungsrelevanten zyklischen Zuglast auftreten.

Diese Technische Regel beschreibt Bemessungsverfahren für Ankerschienen, die in Bauteile aus verdichtetem Normalbeton der Festigkeitsklassen von C20/25 bis C90/105 entsprechend DIN EN 206-1 [3] eingebaut werden. Die Ankerschienen können in gerissenem und ungerissenem Beton verwendet werden.

Diese Technische Regel ist für sicherheitsrelevante Anwendungen vorgesehen, bei denen das Versagen von Ankerschienen zum Einsturz oder teilweisen Einsturz des Bauwerks, zur Gefährdung von Menschenleben oder zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten führen kann. Sie kann auch für nichttragende Elemente angewendet werden.

Die Weiterleitung der zu verankernden Lasten auf die Auflager des Betonbauteils ist für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1992-1-1 [4] nachzuweisen.

Die Technische Regel behandelt nicht die Bemessung des Anbauteiles. Die Bemessung des Anbauteiles muss so durchgeführt werden, dass sie den entsprechenden Normen entspricht.

1.2 Typen, Abmessungen und Werkstoffe der Ankerschienen

Diese Technische Regel gilt für Ankerschienen mit starrer Verbindung zwischen Anker und Schiene (z. B. geschweißt, geschmiedet, geschraubt). Der spezifizierte Verwendungszweck, der in der ETA angegeben ist, muss eingehalten sein.

Die effektive Verankerungstiefe beträgt $h_{ef} \geq 40$ mm.

Diese Technische Regel bezieht sich auf Ankerschienen, die entweder aus Kohlenstoffstahl oder aus nichtrostendem Stahl hergestellt sind. Die Oberfläche des Stahls kann beschichtet oder unbeschichtet sein. Diese Technische Regel gilt für Ankerschienen mit einem Nennwert der charakteristischen Zugfestigkeit des Stahles $f_{uk} \leq 1000$ N/mm².

1.3 Belastung der Ankerschiene

Im Allgemeinen ist ein Ermüdungsnachweis erforderlich, wenn bei schwelloser Zugbelastung der Ankerschiene mindestens 1000 Lastwechsel zu erwarten sind.

Im Allgemeinen sind bei der Bemessung alle Arten von Einwirkungen zu berücksichtigen, die im Zeitraum der Verwendung einer Ankerschiene auftreten. Im Zusammenhang mit der ermüdungsrelevanten zyklischen Belastung werden typischerweise harmonische und/oder periodische Einwirkungen einschließlich unterschiedlicher (Spitze-zu-Spitze-Amplituden) berücksichtigt.

Harmonische und periodische Einwirkungen können bestehen aus:

- Schwingungen, die den Nullpunkt berühren,
- Schwingungen mit gleichen algebraischen Vorzeichen.

Zyklische Belastungen können aus einer konstanten Amplitude (Einstufenkollektiv) oder aus verschiedenen Amplituden bestehen. Wenn unterschiedliche Amplituden berücksichtigt werden müssen, kann die Lastsequenz unter Anwendung der Miner Regel [5] in ein schadensäquivalentes Einstufenkollektiv umgewandelt werden. Ein Beispiel für ein schadensäquivalentes Einstufenkollektiv oder ein tatsächliches Einstufenkollektiv ist in Abbildung 1.1 dargestellt.

Für den gesamte Zeitraum der Ermüdungsbeanspruchung ist die Kenntnis der Wöhlerkurve oder zumindest der Dauerermüdungstragfähigkeit erforderlich, und es können die in Abschnitt 3 dieses Dokuments beschriebenen Bemessungsmethoden I und/oder II verwendet werden.

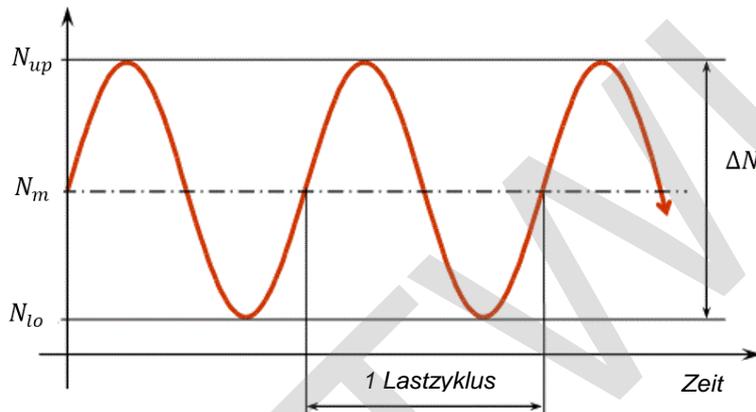


Abbildung 1.1 Definition der Lasten des Belastungszyklus

(N_{up} = maximale (obere) zyklische Last, N_{lo} minimale (untere) zyklische Last, N_m = Mittelwert, ΔN = zyklische Spitze-zu-Spitze-Amplitude)

Die Zuordnung zwischen Bemessungsverfahren und Bewertungsmethode ist in Tabelle 1.1 dargestellt. Die Bewertungsmethode ist in der Europäischen Technischen Bewertung (ETA) angegeben.

Tabelle 1.1 Bewertungsmethoden und zugehörige Bemessungsverfahren für ermüdungsrelevante zyklische Beanspruchungen

		Bewertungsmethode		
		A1	A2	B
		Kontinuierliche Funktion des Ermüdungswiderstandes abhängig von der Anzahl der Lastzyklen	Trilineare Funktion des Ermüdungswiderstandes abhängig von der Anzahl der Lastzyklen	Dauerermüdungswiderstand
Bemessungsverfahren	I	X	X	Nicht anwendbar
	II	X	X	X

1.4 Besondere Begriffe in dieser Technischen Regel

Indizes

E	statische / quasi-statische Einwirkung (Belastung, Last)
N	Normalkraft
R	Widerstand
M	Werkstoff, Material
n	Anzahl der Belastungszyklen, Schwingspielzahl
k	charakteristischer Wert
d	Bemessungswert
s	Stahl
c	Betonausbruch
p	Herausziehen aus dem Beton
up	obere
lo	untere

Einwirkungen

N_{Ed}	Bemessungswert der statischen oder quasi-statischen Einwirkung
$N_{Elo d}$	Bemessungswert der unteren zyklischen Last = statischer Lastanteil
ΔN_{Ed}	Bemessungswert der ermüdungsrelevanten zyklischen Last
$N_{Eup d}$	$= N_{Elo d} + \Delta N_{Ed}$, Bemessungswert der oberen zyklischen Last
$N_{Ed,eq}$	Bemessungswert der äquivalenten statischen Beanspruchung, berechnet nach DIN EN 1992-4 [2]
$\Delta N_{Ed,eq}$	Bemessung der äquivalenten ermüdungsrelevanten zyklischen Beanspruchung

Widerstände

N_{Rk}	charakteristischer Widerstand unter statischer Beanspruchung
N_{Rd}	Bemessungswert des charakteristischen Widerstandes unter statischer Beanspruchung
ΔN_{Rk}	charakteristischer Widerstand gegen Ermüdung
ΔN_{Rd}	Bemessungswert des Widerstandes gegen Ermüdung
$\Delta N_{Rk,0,n}$	Charakteristischer Ermüdungswiderstand ohne statischen Lastanteil ($N_{Elo d} = 0$) und n Lastzyklen, in der ETA angegeben
$\Delta N_{Rk,s,0,n}$	Charakteristischer Ermüdungswiderstand gegen Stahlversagen unter Zug ohne statischen Lastanteil ($N_{Elo d} = 0$) und n Lastzyklen, in der ETA angegeben
$\Delta N_{Rk,p,0,n}$	Charakteristischer Ermüdungswiderstand gegen Herausziehen unter Zug ohne statischen Lastanteil ($N_{Elo d} = 0$) und n Lastzyklen, in der ETA angegeben
$\Delta N_{Rk,c,0,n}$	Charakteristischer Ermüdungswiderstand gegen Betonausbruch unter Zug ohne statischen Lastanteil ($N_{Elo d} = 0$) und n Lastzyklen, in der ETA angegeben
$\Delta N_{Rk,0,\infty}$	Charakteristischer Dauerermüdungswiderstand ohne statischen Lastanteil ($N_{Elo d} = 0$), in der ETA angegeben
$\Delta N_{Rk,s,0,\infty}$	Charakteristischer Dauerermüdungswiderstand gegen Stahlversagen ohne statischen Lastanteil ($N_{Elo d} = 0$), in der ETA angegeben

- $\Delta N_{Rk,p,0,\infty}$ Charakteristischer Dauerermüdungswiderstand gegen Herausziehen ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$), in der ETA angegeben
- $\Delta N_{Rk,c,0,\infty}$ Charakteristischer Dauerermüdungswiderstand gegen Betonausbruch ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$), in der ETA angegeben
- $\Delta N_{Rd,0,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,s,0,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes gegen Stahlversagen ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,p,0,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes gegen Herausziehen ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,c,0,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes gegen Betonausbruch ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,0,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$)
- $\Delta N_{Rd,s,0,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes gegen Stahlversagen ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$)
- $\Delta N_{Rd,p,0,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes gegen Herausziehen ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$)
- $\Delta N_{Rd,c,0,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes gegen Betonausbruch ohne statischen Lastanteil ($N_{Elod} = 0$)
- $\Delta N_{Rd,E,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes mit ($N_{Elod} > 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,s,E,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes gegen Stahlversagen mit ($N_{Elod} > 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,p,E,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes gegen Herausziehen mit ($N_{Elod} > 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,c,E,n}$ Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes gegen Betonausbruch mit ($N_{Elod} > 0$) und n Lastzyklen
- $\Delta N_{Rd,E,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes mit ($N_{Elod} > 0$)
- $\Delta N_{Rd,s,E,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes gegen Stahlversagen mit ($N_{Elod} > 0$)
- $\Delta N_{Rd,p,E,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes gegen Herausziehen mit ($N_{Elod} > 0$)
- $\Delta N_{Rd,c,E,\infty}$ Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes gegen Betonausbruch mit ($N_{Elod} > 0$)

2 Kombination von statischen und zyklischen Belastungen und von Einflussbereichen

Diese Technische Regel behandelt nur Kombinationen von statischen und zyklischen Zugbelastungen senkrecht zur Betonoberfläche. Lastkombinationen einschließlich statischer und zyklischer Querbelastungen, die allein oder in Kombination mit jeder Art von Zugbelastung wirken, werden in dieser Technischen Regel nicht behandelt.

Der Einflussbereich einer einzelnen statischen Zuglast ist gemäß DIN EN 1992-4 [2] zu berücksichtigen (siehe Abbildung 2.1).

Der Einflussbereich einer zyklischen Zuglast wird entsprechend Abbildung 2.2 angenommen.

Die äquivalente statische Einwirkung $N_{Ed,eq}$ und die äquivalente Ermüdungseinwirkung $\Delta N_{Ed,eq}$ werden durch lineare Überlagerung berechnet (siehe Abbildung 2.3). Dies gilt für Einzel- oder Mehrfachbelastungen, die gleichzeitig auf die Ankerschiene wirken.

Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die äquivalente statische Einwirkung $N_{Ed,eq}$ und die äquivalente Ermüdungseinwirkung $\Delta N_{Ed,eq}$ an der gleichen Stelle wirken.

Basierend auf der Verteilung der äquivalenten statischen und Ermüdungseinwirkungen kann die entsprechende statische und Ermüdungsbelastung für den betrachteten Anker ermittelt werden.

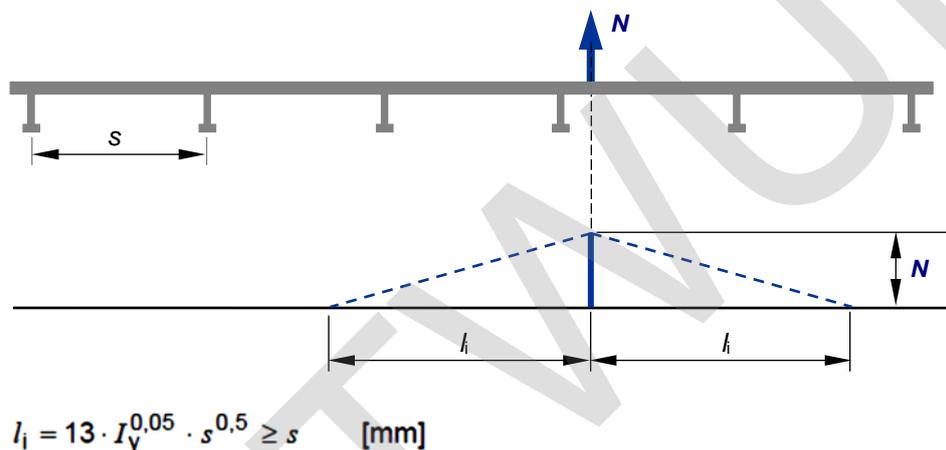


Abbildung 2.1 Einflussbereich einer einzelnen statischen Last

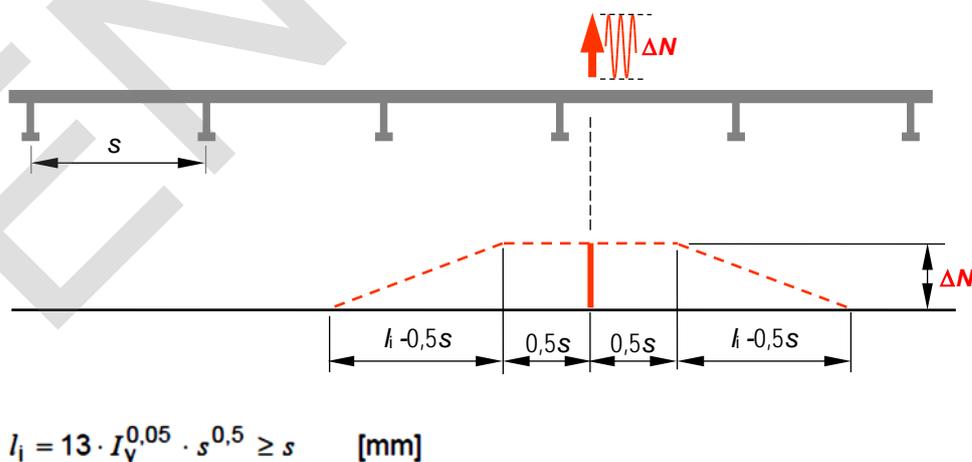
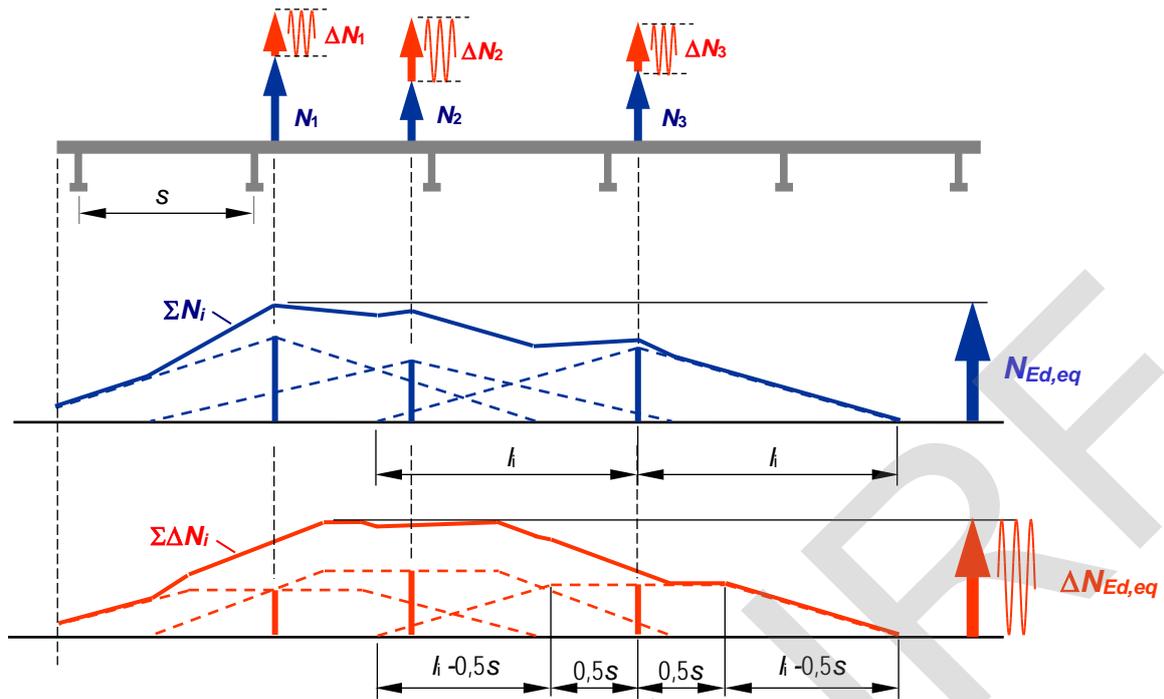


Abbildung 2.2 Einflussbereich einer einzelnen zyklischen Last



$$l_i = 13 \cdot I_y^{0,05} \cdot s^{0,5} \geq s \quad [\text{mm}]$$

Abbildung 2.3 Beispiel für mehrere statische und zyklische Lasten, die gleichzeitig wirken

3 Bemessung von Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter Belastung

3.1 Bemessungskonzept

Die Bemessung von Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter zyklischer Belastung erfolgt nach dem Teilsicherheitskonzept. Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungseinwirkungen ΔE_d die Bemessungswiderstände ΔR_d nicht überschreiten.

$$\Delta E_d \leq \Delta R_d \quad (3.1)$$

mit: ΔE_d = Bemessungseinwirkung

ΔR_d = Bemessungswiderstand

Für die Festlegung der Bemessungseinwirkungen ist das folgende Verfahren anzuwenden:

$$\Delta E_d = \gamma_{F,fat} \cdot \Delta E_k \quad (3.2)$$

mit: ΔE_k = charakteristischerer Wert der Einwirkung

$\gamma_{F,fat}$ = Teilsicherheitsbeiwert der ermüdungsrelevanten Einwirkung

Folgende Teilsicherheitsbeiwerte werden empfohlen:

$\gamma_{F,fat} = 1,0$ wenn für ein Belastungskollektiv mit verschiedenen Einwirkungsebenen der Maximalwert der Einwirkungen ΔE_{max} für die Bemessung angenommen wird

$\gamma_{F,fat} = 1,2$ wenn die Belastung aus einem tatsächlichen Einstufenkollektiv besteht oder wenn die Beanspruchung der tatsächlichen Belastungskollektive unter Anwendung der Miner Regel [5] zu einem schadensäquivalenten Einstufenkollektiv umgerechnet wird

Für Ankerschienen werden die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände unter ermüdungsrelevanter zyklischer Belastung empfohlen.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter zyklischer Belastung sind im Nationalem Anhang zur DIN EN 1992-4 [2] angegeben.

Für den Übergangsbereich zwischen statischem Widerstand (γ_M) bis zum Dauerermüdungswiderstand ($\gamma_{M,fat}$) werden die Teilsicherheitsbeiwerte wie folgt berechnet:

$$\gamma_{M,fat,n} = \gamma_{M,fat} + (\gamma_M - \gamma_{M,fat}) \cdot (\Delta N_{Rk,n} - \Delta N_{Rk,\infty}) / (N_{Rk} - \Delta N_{Rk,\infty})$$

Zur Bestimmung des Bemessungswertes des Dauerermüdungswiderstandes ist der durch Versuche ermittelte Kennwert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fat}$ (z. B. $\Delta N_{Rd} = \Delta N_{Rk} / \gamma_{M,fat}$) zu dividieren.

Für den Übergangsbereich zwischen statischem Widerstand bis zum Dauerermüdungswiderstand ist der durch Versuche ermittelte Kennwert durch den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fat,n}$ (z. B. $\Delta N_{Rd,n} = \Delta N_{Rk,n} / \gamma_{M,fat,n}$) zu dividieren.

Die allgemeine Form des Nachweises im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Ermüdungseinfluss ist wie folgt:

$$(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd}) \leq 1,0 \quad (3.4)$$

Jede Versagensart muss separat nachgewiesen werden.

Die Bemessung von Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter Belastung ist prinzipiell nach Tabelle 3.1 zu führen. Für das Bemessungsverfahren I sind die Gleichungen im Abschnitt 3.2.3 zu verwenden, für das Bemessungsverfahren II sind die Gleichungen im Abschnitt 3.3.2 zu verwenden.

Tabelle 3.1 Prinzip für die Bemessung von Ankerschienen unter ermüdungsrelevanter Belastung

Schritt	Ergebnis	Anmerkung
<p>1 Wöhlerkurve für die Bemessung des Ermüdungswiderstandes mit einer unteren zyklischen Belastung $N_{E lod} = 0$ und n Lastzyklen ($\Delta N_{Rd,0,n}$)</p>		<p>Die Wöhlerkurve kann für jede Versagensart bestimmt werden.</p> <p>Mindestens muss der Dauerermüdungswiderstand $\Delta N_{Rd,0,\infty}$ angegeben sein.</p>
<p>2 Goodman-Diagramm für eine bestimmte Anzahl Lastzyklen n</p>		<p>Das Goodman-Diagramm ermöglicht die Ermittlung des Ermüdungswiderstandes $\Delta N_{Rd,E,n}$ abhängig von der unteren zyklischen Belastung $N_{E lod}$ für eine bestimmte Anzahl von Lastzyklen n</p>
<p>3 Umgerechnete Wöhlerkurve unter Schwelllast mit $N_{E lod} > 0$</p>		<p>Umrechnung der Wöhlerkurve mit keiner oder geringer unterer zyklischer Belastung $N_{E lod} = 0$ (siehe Schritt 1)</p> <p>in Wöhlerkurven für verschiedene untere zyklische Belastungen ($N_{E lod} > 0$)</p> <p>mit Hilfe des Goodman-Diagramms (siehe Schritt 2) für eine bestimmte Anzahl von Lastzyklen n</p>
<p>4 Nachweise: Stahlversagen Herausziehen Betonausbruch</p>	<p>$\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,s,E,n} \leq 1,0$</p> <p>$\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,p,E,n} \leq 1,0$</p> <p>$\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,c,E,n} \leq 1,0$</p>	<p>ΔN_{Ed}</p> <p>Bemessungswert der aufgetragenen ermüdungsrelevanten zyklischen Belastung</p>

3.2 Bemessungsverfahren I – Komplexe Methode

3.2.1 Anwendungsbedingungen

- (a) eine genaue Ermittlung der unteren zyklischen Belastung $N_{Elo d}$ ist möglich und/oder
- (b) eine obere Grenze der Lastzyklen n während der Lebensdauer ist bekannt

Auf Grundlage von (a) und (b) sind die folgenden Werte für die Bemessung zu verwenden:

Bemessungsfall 1: nur Bedingung (a) ist erfüllt:

$$\Delta N_{Rd,E,n} = \Delta N_{Rd,E,\infty}$$

Der Ermüdungswiderstand für die Bemessung wird mit Hilfe des Goodman-Diagramms unter der Annahme einer unendlichen Anzahl von Zyklen $n = \infty$ und dem entsprechenden Wert der unteren zyklischen Belastung $N_{Elo d}$ nach Abschnitt 3.2.2 Gleichung (3.6) bestimmt

und

$$\Delta N_{Ed} = N_{Eup d} - N_{Elo d}$$

Es wird nur der ermüdungsrelevante Anteil der Gesamtlast berücksichtigt.

Bemessungsfall 2: nur Bedingung (b) ist erfüllt:

$$\Delta N_{Rd,E,n} = \Delta N_{Rd,0,n}$$

Der Ermüdungswiderstand für die Bemessung wird aus der Wöhlerkurve für die gegebene Anzahl von Lastzyklen n bestimmt.

und

$$\Delta N_{Ed} = N_{Eup d}$$

Es wird angenommen, dass alle einwirkenden Belastungen ermüdungsrelevant sind.

Bemessungsfall 3: Bedingungen (a) und (b) sind beide erfüllt:

$$\Delta N_{Rd,E,n}$$

Es wird nur der ermüdungsrelevante Anteil der Gesamtlast berücksichtigt.

3.2.2 Berechnung des Ermüdungswiderstandes $\Delta N_{Rd,E,n}$ in Abhängigkeit von der unteren zyklischen Belastung $N_{Elo d}$

Die Wöhlerkurve wird durch zyklische Belastungsversuche ermittelt, bei denen eine konstante, möglichst niedrige Mindestbelastung verwendet wird (d.h. der Beitrag oder Einfluss der niedrigeren zyklischen Belastung auf die gesamte aufgebrachte Belastung ist minimal). Dieses Verfahren ermöglicht die Bestimmung des charakteristischen Ermüdungswiderstandes $\Delta N_{Rk,0,n}$ für eine bestimmte Anzahl von Lastspielen n für jede Versagensart.

In Fällen, in denen Einwirkungen aus einer nicht zu vernachlässigenden unteren zyklischen Belastung und einem ermüdungsrelevanten Teil bestehen, ist es notwendig, den Einfluss der unteren zyklischen Belastung auf den Ermüdungswiderstand zu bestimmen. Dieser wird mit Hilfe des Goodman-Diagramms ermittelt, das die Bestimmung des Ermüdungswiderstandes in Abhängigkeit von der Größe der aufgebrachten unteren zyklischen Belastung ermöglicht. Die grundlegenden Prinzipien des Goodman-Diagramms gelten für jede Versagensart.

Die Definition der unteren zyklischen Belastung $N_{E lod}$ hängt von den folgenden Fällen ab (siehe auch Abbildung 3.1):

- die statische Last N_{Ed} wird durch die zyklische Last ΔN_{Ed} verstärkt, das heißt $N_{E lod}$ entspricht N_{Ed}
- die statische Last N_{Ed} wird mit der zyklischen Last ΔN_{Ed} überlagert, was dazu führt, dass $N_{E lod}$ kleiner ist als N_{Ed}
- die statische Last N_{Ed} wird durch die zyklische Last ΔN_{Ed} reduziert, was bedeutet, dass $N_{E lod}$ entspricht $N_{Ed} - \Delta N_{Ed}$

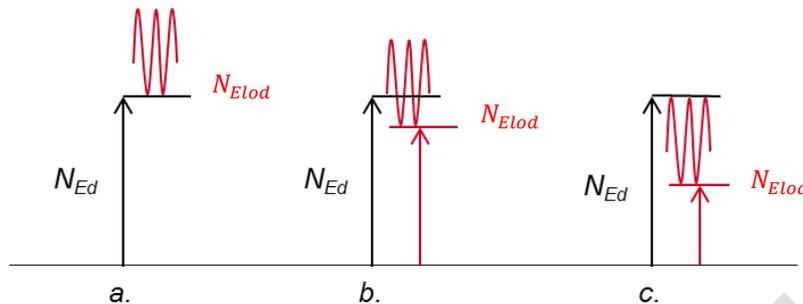


Abbildung 3.1 Überlagerung von statischer und ermüdungsrelevanter zyklischer Belastung

Abbildung 3.2 zeigt das Goodman-Diagramm für eine bestimmte Anzahl von Lastzyklen n . $N_{E lod}$ ist die untere zyklische Belastung und $\Delta N_{Rd,E,n}$ ist der entsprechende Ermüdungswiderstand.

Der Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes $\Delta N_{Rd,0,n}$ mit unterer zyklischer Belastung $N_{E lod}$ gleich Null für n Lastzyklen und der Bemessungswert des statischen Widerstandes N_{Rd} können durch Verwendung der entsprechenden Materialteilsicherheitsbeiwerte aus den charakteristischen Werten berechnet werden.

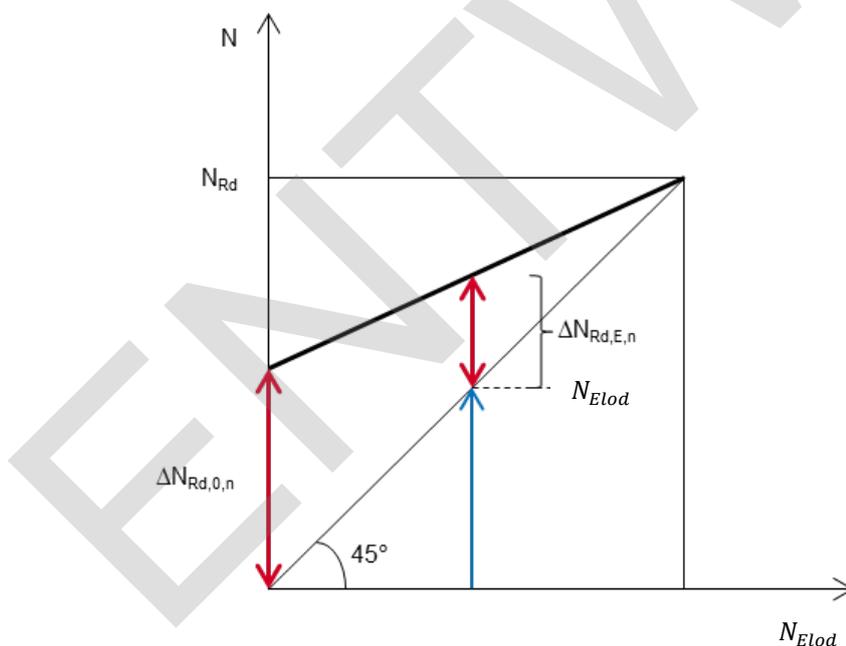


Abbildung 3.2 Goodman-Diagramm. Beispiel für die Bestimmung des Ermüdungswiderstandes als Funktion der unteren zyklischen Belastung ($N_{E lod} \geq 0$)

Für Schwingungen mit gleichen algebraischen Vorzeichen wird der Bemessungswert des Ermüdungswiderstandes für n Zyklen $\Delta N_{Rd,E,n}$ und der Dauerermüdungswiderstand $\Delta N_{Rd,E,\infty}$ nach Gleichung (3.5) bzw. (3.6) berechnet.

$$\Delta N_{Rd,E,n} = \Delta N_{Rd,0,n} \cdot \left(1 - \frac{N_{Eload}}{N_{Rd}}\right) \quad (3.5)$$

$$\Delta N_{Rd,E,\infty} = \Delta N_{Rd,0,\infty} \cdot \left(1 - \frac{N_{Eload}}{N_{Rd}}\right) \quad (3.6)$$

3.2.3 Erforderliche Nachweise

Bemessungsfall 1: Stahlversagen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,s,E,\infty}) \leq 1,0$ (3.7)

Herausziehen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,p,E,\infty}) \leq 1,0$ (3.8)

Betonausbruch: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,c,E,\infty}) \leq 1,0$ (3.9)

Bemessungsfall 2: Stahlversagen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,s,0,n}) \leq 1,0$ (3.10)

Herausziehen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,p,0,n}) \leq 1,0$ (3.11)

Betonausbruch: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,c,0,n}) \leq 1,0$ (3.12)

Bemessungsfall 3: Stahlversagen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,s,E,n}) \leq 1,0$ (3.13)

Herausziehen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,p,E,n}) \leq 1,0$ (3.14)

Betonausbruch: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,c,E,n}) \leq 1,0$ (3.15)

3.3 Bemessungsverfahren I – Einfaches Verfahren

3.3.1 Anwendungsbedingungen

Eine genaue Bestimmung der unteren zyklischen Belastung N_{Eload} ist nicht möglich und eine Obergrenze für die Anzahl der Lastzyklen n über die Lebensdauer der Ankerschiene ist nicht bekannt.

Daher sind die folgenden Werte für die Bemessung zu verwenden:

$$\Delta N_{Rd,E,n} = \Delta N_{Rd,0,\infty}$$

Der Ermüdungswiderstand für die Bemessung ist der Bemessungswert des Dauerermüdungswiderstandes ohne statischen Lastanteil $N_{Eload} = 0$.

und

$$\Delta N_{Ed} = N_{Eupd}$$

Es wird angenommen, dass alle einwirkenden Belastungen ermüdungsrelevant sind.

3.3.2 Erforderliche Nachweise

Stahlversagen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,s,0,\infty}) \leq 1,0$ (3.16)

Herausziehen: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,p,0,\infty}) \leq 1,0$ (3.17)

Betonausbruch: $(\Delta N_{Ed} / \Delta N_{Rd,c,0,\infty}) \leq 1,0$ (3.18)

4 Verweise

- [1] EAD 330008-02-0601 Europäisches Bewertungsdokument für Ankerschienen (in englischer Sprache)
- [2] DIN EN 1992-4:2019-04 Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton
- [3] DIN EN 206-1:2001-07 +
DIN EN 206-1/A1:2004-10 +
DIN EN 206-1/A2:2005-09 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [4] DIN EN 1992-1-1:2011-01 +
DIN EN 1992-1-1/A1:2015-03 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004+AC:2010 und EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 +
DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau + Änderung A1
- [5] Miner, M., A.: Cumulative Damage in Fatigue, Journal of Applied Mechanics, 12 (1945), 159-164

Impressum

Herausgeber:
Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
vertreten durch den Präsidenten
Dipl.-Ing. Gerhard Breitschaft
Kolonnenstraße 30 B
10829 Berlin

Telefon: +49 30 787 30-0
Telefax: +49 30 787 30-320
E-Mail: dibt@dibt.de
www.dibt.de

Redaktionsleitung:
Dr.-Ing. Doris Kirchner

Letzte redaktionelle Überarbeitung: August 2020

Diese Publikation wird im Internet unter www.dibt.de veröffentlicht und ist kostenfrei verfügbar.
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers.