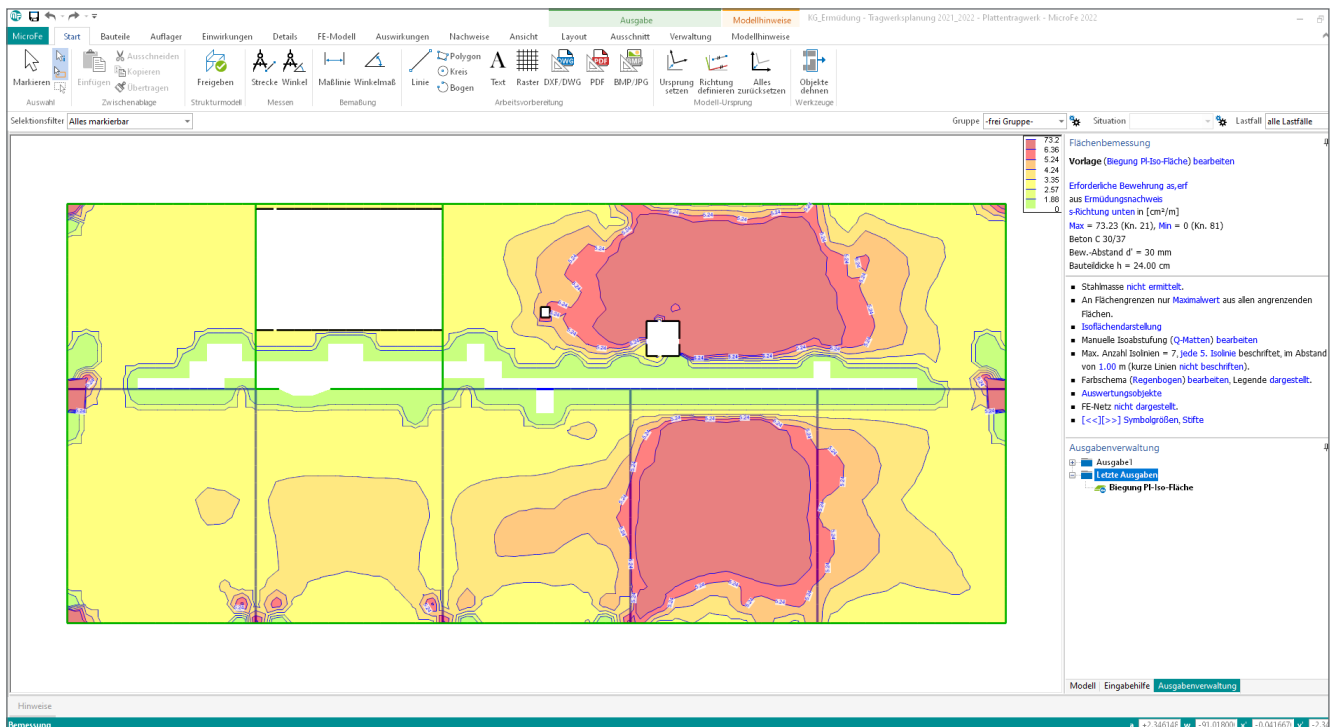


Dipl.-Ing. Sven Hohenstern

# Ermüdungsnachweis in MicroFe

## Leistungsbeschreibung des MicroFe-Moduls M354.de Ermüdungsnachweis für Platten und Fertigwerke

Mit dem Modul M354.de lässt sich der vereinfachte Ermüdungsnachweis für Stahlbetonbauteile im Hochbau in 2D- und 3D-Modellen nach DIN EN 1992-1-1 [1] führen.



### Einführung

Auch wenn für Tragwerke des üblichen Hochbaus im Allgemeinen kein Nachweis gegen Ermüdung geführt werden braucht (vgl. DIN EN 1992-1-1/NA [2]), kann in speziellen Fällen auch im Hochbau ein Ermüdungsnachweis erforderlich werden, bspw. bei einer durch regelmäßigen und häufigen LKW-Lieferverkehr oder durch täglich mit Gabelstaplern befahrenen Decke (vgl. DAfStb-Heft 600 [3]).

Der Nachweis gegen Ermüdung ist dann zu führen für:

- die Längsbewehrung
- die Querkraftbewehrung
- Beton unter Druckbeanspruchung
- die Druckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung
- Beton von querkraftbeanspruchten Bauteilen ohne Querkraftbewehrung

DIN EN 1992-1-1 erlaubt im Abschnitt 6.8.6 (2) für nicht geschweißte Bewehrungsstäbe unter Zugbeanspruchung und eine Schwingspielanzahl  $N < 10^8$  einen vereinfachten Nachweis ohne Auswertung von Ermüdungsfestigkeitskurven oder schädigungsäquivalenten Schwingbreiten. Auch der Nachweis des Betons darf vereinfacht nach Abschnitten 6.8.7 (2), (3) und (4) geführt werden.

### Eingabe

Der Nachweis gegen Ermüdung kann für die Stahlbetonbauteile Platte, Scheibe, Fläche, Decke, Wand, Unterzug, Stab und Stütze jeweils auf der Registerkarte „Nachweise (GZT)“ aktiviert werden (Bild 1). Bei Scheibenpositionen ist der Ermüdungsnachweis auf die Längsbewehrung beschränkt.

Eigenschaften: Position 'KG - Platte (Stahlbeton)'

Allgemein	Material/Querschnitt	Mechanik
Vernetzung	Belastung	Bewehrung
<b>Nachweise [GZT]</b>	Nachweise (GZG)	Tragstruktur

---

Mindestbewehrung ☐

Längsbewehrung  
 Querkraftbewehrung

Querkraftbewehrung ☐

Druckstrebenneigungswinkel

automatisch  
 manuell

Ermüdung ☐

Nachweis führen

$f_{cd,fat}$	15,00	N/mm <sup>2</sup>	Druckfestigkeit
$\Delta\sigma_{s,lim}$	70,00	N/mm <sup>2</sup>	Schwingbreite

Bild 1. Positionseigenschaften Ermüdungsnachweis

Für die vereinfachten Nachweise sind lediglich die Parameter  $f_{cd,fat}$  und  $\Delta\sigma_{s,lim}$  vorzugeben.

Der Bemessungswert der einaxialen Festigkeit des Betons  $f_{cd,fat}$  ist gemäß [1], Gl. (6.76) zu ermitteln, vgl. Gl. (1).

$$f_{cd,fat} = k_1 \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (1)$$

mit

$k_1$	= 1,0 gemäß [2], NDP Zu 6.8.7 (1)
$\beta_{cc}(t_0)$	Beiwert für die Betonfestigkeit bei Erstbelastung (siehe [1], 3.1.2 (6))
$t_0$	Zeitpunkt der ersten zyklischen Belastung des Betons in Tagen

Die zulässige Schwingbreite  $\Delta\sigma_{s,lim} = k_1$  ist gemäß [2], NDP Zu 6.8.6 (1) mit  $k_1 = 70 \text{ N/mm}^2$  voreingestellt. In [3], Tabelle H6.5 sind weitere Grenzwerte der Spannungsschwingbreiten für Betonstahl aufgeführt.

## Nachweise

Der Nachweis gegen Ermüdung wird in MicroFe zur Bemessung des Bauteils verwendet, so dass bei Bedarf die Längs- und/oder Querkraftbewehrung programmseitig soweit erhöht wird, bis alle nachfolgend beschriebenen Teilnachweise erfüllt sind.

### Ermüdungsnachweis der Längsbewehrung

Die maximale Spannungsamplitude des Betonstahls  $\Delta\sigma_s$  wird gemäß 6.8.6 (2) unter der häufigen Einwirkungskombination als Differenz von maximal und minimal auftretender Betonstahlspannung ermittelt (vgl. Gl. (3)), wobei Druckspannungen zu Null gesetzt werden.

Der Nachweis gilt als erbracht, wenn die maximale Spannungsamplitude  $\Delta\sigma_s$  die zulässige Spannungsschwingbreite  $\Delta\sigma_{s,lim}$  nicht überschreitet, vgl. Gl. (2).

$$\Delta\sigma_s \leq \Delta\sigma_{s,lim} \quad (2)$$

mit

$$\Delta\sigma_s = \sigma_{s,max} - \sigma_{s,min} \quad (3)$$

$\Delta\sigma_{s,lim}$	zulässige Spannungsschwingbreite
$\sigma_{s,max}$	maximale Betonstahlzugspannung unter häufiger Einwirkungskombination
$\sigma_{s,min}$	minimale Betonstahlzugspannung unter häufiger Einwirkungskombination an der gleichen Stelle, wo $\sigma_{s,max}$ auftritt

### Ermüdungsnachweis der Querkraftbewehrung

Der Nachweis gegen Ermüdung der Querkraftbewehrung wird analog zur Längsbewehrung (s.o.) geführt, wobei die Ermittlung der maximalen Spannungsamplitude  $\Delta\sigma_s$  für die Querkraftbewehrung mit dem modifizierten Druckstrebenneigungswinkel  $\theta_{fat}$  gemäß [1], 6.8.2 (3) erfolgt.

### Ermüdungsnachweis von Beton unter Druckbeanspruchung

Der Nachweis gegen Ermüdung von Beton unter Druckbeanspruchung gilt als erbracht, wenn die Bedingung nach [1], Gl. (6.77) eingehalten ist, vgl. Gl. (4). Die maximalen und minimalen Druckspannungen  $\sigma_{c,max}$  und  $\sigma_{c,min}$  werden unter der häufigen Einwirkungskombination ermittelt, wobei Zugspannungen zu Null gesetzt werden.

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0,9 \text{ für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

$$\leq 0,8 \text{ für } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

mit

$\sigma_{c,max}$	maximale Betondruckspannung unter häufiger Einwirkungskombination (Druckspannungen positiv)
$\sigma_{c,min}$	minimale Betondruckspannung unter häufiger Einwirkungskombination an der gleichen Stelle, wo $\sigma_{c,max}$ auftritt
$f_{cd,fat}$	Betondruckfestigkeit nach Gl. (1)

### Ermüdungsnachweis der Druckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung

Der Nachweis gegen Ermüdung der Betondruckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung ist gemäß [1], 6.8.7 (3) ebenfalls mit Gl. (6.77) zu führen (vgl. Ermüdungsnachweis von Beton unter Druckbeanspruchung). Für den Nachweis wird die erforderliche Abminderung von  $f_{cd,fat}$  um  $v_1$  mit  $v_1$  gemäß [2], NDP zu 6.2.3 (3) programmintern automatisch vorgenommen, vgl. Gl. (5).

$$v_1 = 0,75 \cdot v_2 \quad (5)$$

mit

$$v_2 = 1,0 \quad \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$v_2 = (1,1 - f_{ck}/500) \quad \text{für } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

### Ermüdungsnachweis von Beton von querkraftbeanspruchten Bauteilen ohne Querkraftbewehrung

Der Nachweis gegen Ermüdung von Beton von querkraftbeanspruchten Bauteilen ohne Querkraftbewehrung gilt als erbracht, wenn die Bedingung gemäß [1], Gl. (6.78) bzw. Gl. (6.79) eingehalten ist. Die betragsmäßig maximalen und minimalen Querkrafte  $V_{Ed,max}$  und  $V_{Ed,min}$  werden unter der häufigen Einwirkungskombination ermittelt.

$$\text{für } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} \geq 0: \quad \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,c}|} \leq 0,5 + 0,45 \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,c}|} \leq 0,9 \text{ für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

$$\leq 0,8 \text{ für } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$
  

$$\text{für } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} < 0: \quad \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,c}|} \leq 0,5 - \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,c}|} \quad (7)$$

mit

- $V_{Ed,max}$  Bemessungswert der maximalen Querkraft unter häufiger Einwirkungskombination
- $V_{Ed,min}$  Bemessungswert der minimalen Querkraft unter häufiger Einwirkungskombination in dem Querschnitt, wo  $V_{Ed,max}$  auftritt
- $V_{Rd,c}$  Bemessungswert des Querkraftwiderstands nach [1], Gl. (6.2a)

### Ausgabe

Die Bemessungsergebnisse aus dem Nachweis gegen Ermüdung lassen sich mit den üblichen Bemessungsausgaben (grafisch-interaktiv und/oder positionsorientiert) für Längs- und Querkraftbewehrung der jeweiligen Bauteile dokumentieren.

Neben der zur Erfüllung des Ermüdungsnachweises erforderlichen Bewehrung wird auch das Stahlspannungsschwingbreitenverhältnis  $\Delta\sigma_s^* = \Delta\sigma_s / \Delta\sigma_{s,lim}$  und die Ausnutzung der zulässigen Betondruckspannungen  $\sigma_{cd}^*$  getrennt nach Längs- und Querkraftbewehrung ausgeben. Für eine Stelle wird jeweils entweder  $\Delta\sigma_s^*$  oder  $\sigma_{cd}^*$  dokumentiert – je nachdem, welcher Nachweis maßgebend ist.

Dipl.-Ing. Sven Hohenstern  
mb AEC Software GmbH  
mb-news@mbaec.de

### Literatur

[1] 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. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.

[2] Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Ausgabe April 2013. Beuth Verlag.

[3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAfStb. Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2). 1. Auflage 2012. Beuth Verlag

Flächenbemessung  
**Vorlage (Biegung Pl-ISO-Fläche) bearbeiten**

Stahlspannungsschwingbreitenverhältnis  $d\sigma_{s5} / d\sigma_{s5,lim}$  aus Ermüdungsnachweis  
 s-Richtung unten  
 Max = 1 (Kn. 937), Min = 0 (Kn. 81)  
 Beton C 30/37  
 Bauteildicke h = 24.00 cm

---

as, gesamt	Gesamtbewehrung (erf+vorh)
as, erf	erforderliche Bewehrung
as, vorh	vorhandene Bewehrung (Grund+Zulagen)
<input checked="" type="checkbox"/> dSigmaS / dSigmaS,lim	Stahlspannungsschwingbreitenverhältnis
Sigma, cd*	Ausnutzung der zul. Betondruckspannungen

Bild 2. Ergebnisoptionen der grafisch-interaktiven Bemessungsausgabe der Längsbewehrung von Platten

Querkraftbemessung  
**Vorlage (Querkraft Platte) bearbeiten**

Ausnutzung der zul. Betondruckspannungen  $\sigma_{cd}^*$  aus Ermüdungsnachweis  
 Max = 0.77, Min = 0, Step = 0.1

---

asw/sw	Querkraftbewehrung aus allen Nachweisen
asw/sw, r	Querkraftbewehrung (r+s) aus Tragfähigkeitsnachweis
asw/sw, r	Querkraftbewehrung in r-Richtung aus Tragfähigkeitsnachweis
asw/sw, s	Querkraftbewehrung in s-Richtung aus Tragfähigkeitsnachweis
vEd, res	resultierende Bemessungsquerkraft aus Tragfähigkeitsnachweis
vEd, r	Bemessungsquerkraft in r-Richtung aus Tragfähigkeitsnachweis
vEd, s	Bemessungsquerkraft in s-Richtung aus Tragfähigkeitsnachweis
vEd, r / vRd, max, r	Querkraftausnutzung in r-Richtung aus Tragfähigkeitsnachweis
vEd, s / vRd, max, s	Querkraftausnutzung in s-Richtung aus Tragfähigkeitsnachweis
asw/sw	Querkraftbewehrung aus Ermüdungsnachweis
dSigmaS / dSigmaS,lim	Stahlspannungsschwingbreitenverhältnis aus Ermüdungsnachweis
<input checked="" type="checkbox"/> Sigma, cd*	Ausnutzung der zul. Betondruckspannungen aus Ermüdungsnachweis

Bild 3. Ergebnisoptionen der grafisch-interaktiven Bemessungsausgabe der Querkraftbewehrung von Platten

Ermüdungsnachweis Platte									
Knoten	$m_{s,Ed}$	$m_{s,Ed}$	$m_{s,Ed}$	$\sigma$	$\Delta\sigma_s^*$	$\sigma_{cd}^*$	$a_s$	$a_s$	Lkn
	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[cm <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> /m]	
ru	9.74	11.97	1.54 Max	178.78	0.95		3.14	2946	
	6.20	9.58	0.88 Min	111.99				2947	
	8.50	13.31	1.41 Max	156.90	0.98		4.71	2942	
	7.20	7.46	0.85 Min	88.40				2943	
su	-5.55	-3.77	4.95 Max	69.33	0.95		7.71	2948	
	2.66	-3.25	3.05 Min	2.54				2949	
	-5.18	-3.81	4.93 Max	146.99	0.60		2.95	3891	
	2.29	-3.21	3.06 Min	105.31				3892	
ro	2.66	-3.25	3.05 Max	68.01	0.97		4.05	2949	
	-5.51	-3.79	4.95 Min	0.00		0.30	2.95	2950	
	-5.18	-3.81	4.93 Max	-3.31				3891	
	2.29	-3.21	3.06 Min	-2.41				3892	
so	-8.80	-4.49	-5.95 Max	68.66	0.96		11.07	2951	
	2.57	-3.08	-2.96 Min	1.81				2952	
	-8.80	-4.49	-5.95 Max	158.94	0.96		3.27	2951	
	2.57	-3.08	-2.96 Min	91.92				2952	
ru	2.57	-3.08	-2.96 Max	67.94	0.97		3.99	2952	
	-8.82	-4.55	-5.91 Min	0.00				2953	
	4.48	5.91 Max		0.37					
	2.57	-3.08	-2.96 Min						

Bild 4. Tabellarische Bemessungsausgabe der Längsbewehrung von Platten

### Preise und Angebote

M354.de Ermüdungsnachweis für Platten und Faltwerke  
Weitere Informationen unter  
<https://www.mbaec.de/modul/M354de>

MicroFe comfort 2022  
MicroFe-Paket „Platten-, Scheiben- und Faltwerksysteme“

PlaTo 2022  
MicroFe-Paket „Platten“

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Juli 2022  
Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste: [www.mbaec.de](http://www.mbaec.de)