



## Software für Statik und Dynamik



[www.dlubal.com](http://www.dlubal.com)



**Dipl.-Ing. (FH) Andreas  
Hörold**  
Organisator

Marketing & Public Relations  
Dlubal Software GmbH



**Dipl.-Ing. (BA) Markus  
Baumgärtel**  
Co-Organisator

Customer Support  
Dlubal Software GmbH

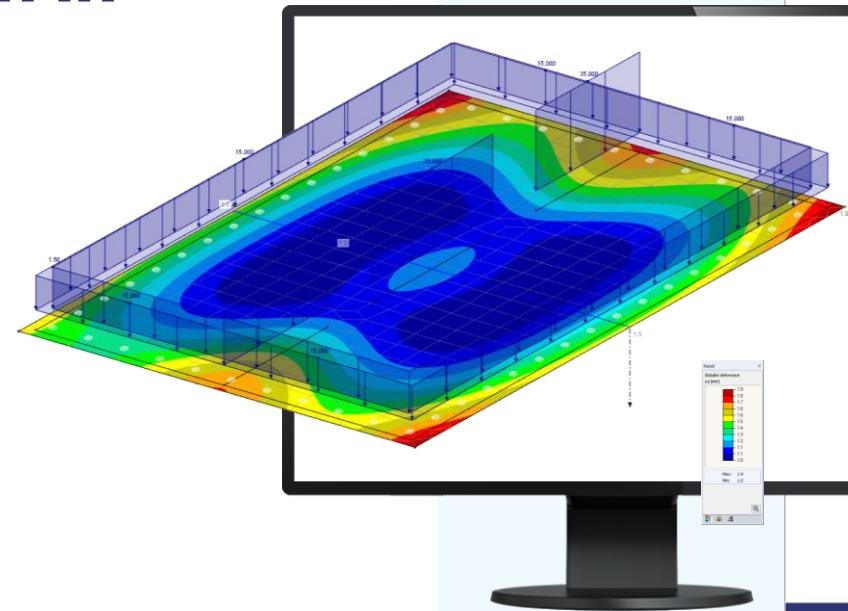


**Dipl.-Ing. (FH) Adrian  
Langhammer**  
Co-Organisator

Product Engineering & Customer Support  
Dlubal Software GmbH

## Webinar

# Boden-Bauwerk- Interaktion in RFEM



# Fragen während der Präsentation



## GoToTraining-Bedienpanel **Desktop**

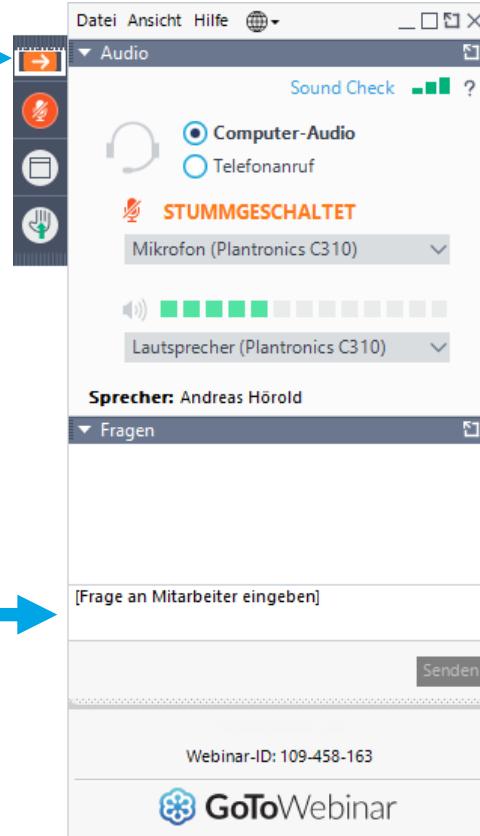


E-Mail: [info@dlubal.com](mailto:info@dlubal.com)



## Bedienpanel ein- oder ausblenden

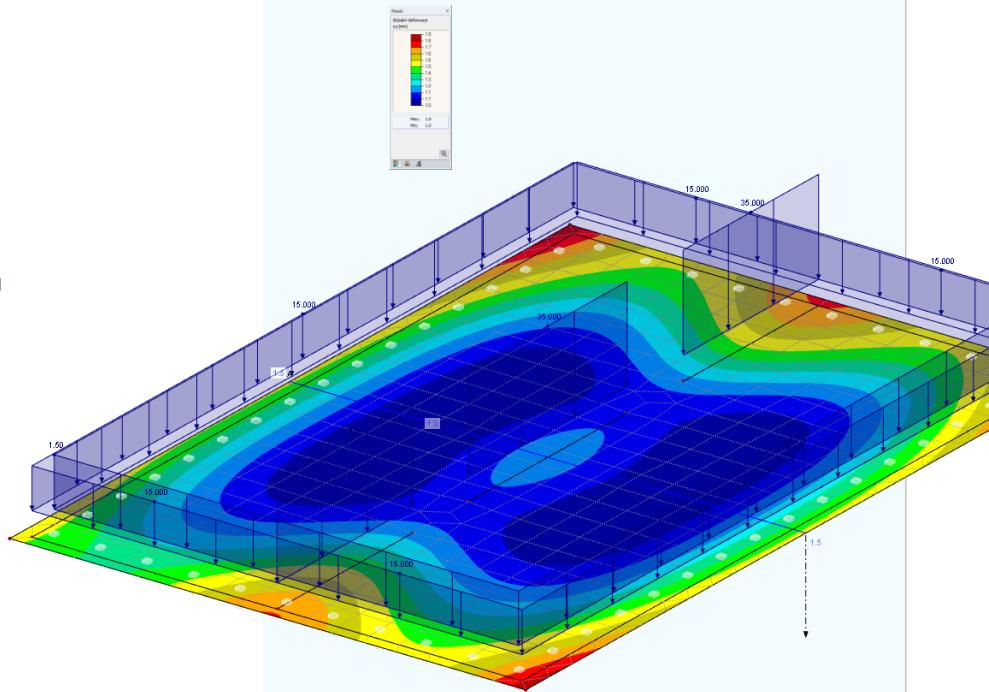
## Frage stellen



## Audioeinstellungen anpassen

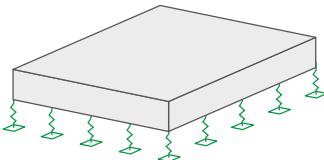
# INHALT

- 01 Vorstellung verschiedener Bodenmodelle
  - 02 Anwendung von Bodenmodellen in RFEM
  - 03 Bemessung einer Bodenplatte

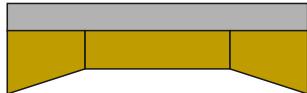


# Bodenmodelle

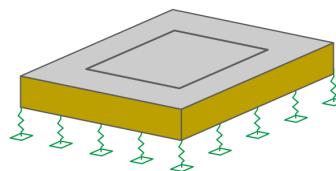
## Bettungsmodulverfahren



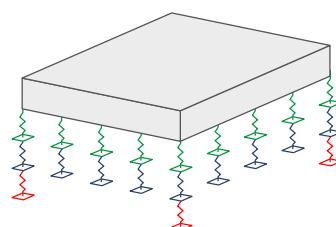
## Modifiziertes Bettungsmodulverfahren



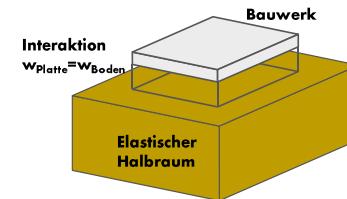
## Modifiziertes zweiparametrisches Bodenmodell mit Bettungskragen



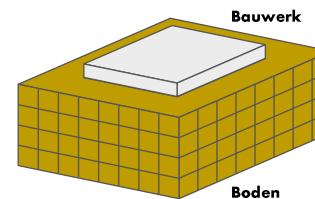
## Modifiziertes zweiparametrisches Bodenmodell mit Zusatzfedern



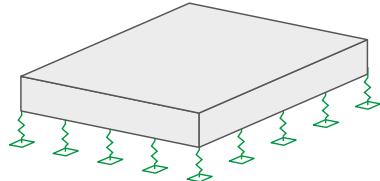
## Steifemodulverfahren



## 3D-Halbraumverfahren



# Bettungsmodulverfahren



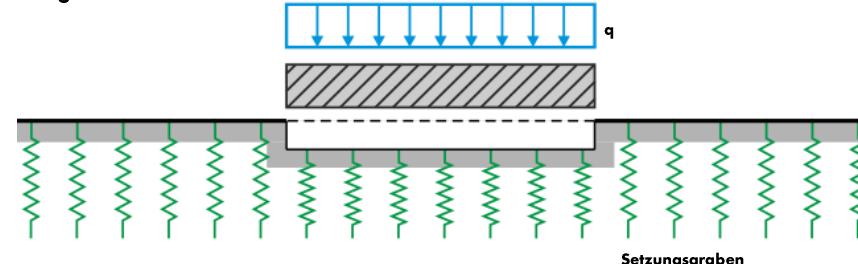
$$k_s = \frac{\sigma_0}{s}$$

$k_s$  Winklersche Bettungszahl

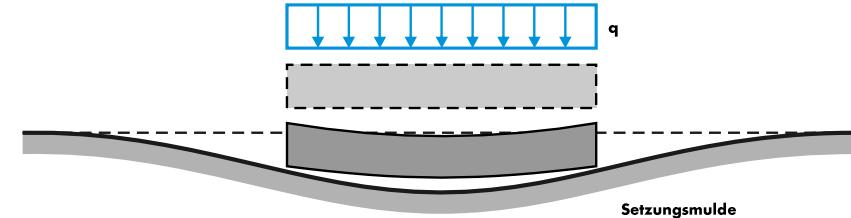
$\sigma_0$  Sohlspannungen

s Setzung

Bettungsmodulverfahren



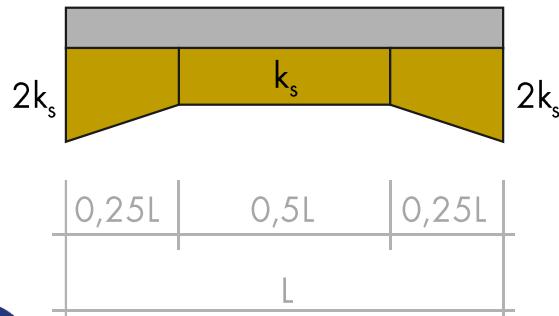
Steifemodulverfahren



# Modifiziertes Bettungsmodulverfahren

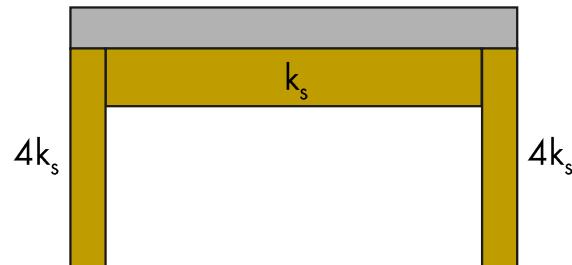
## Nach Dörken und Dehne [2]

- Lineare Vergrößerung des Bettungsmoduls im Randbereich



## Nach Bellmann und Katz [3]

- Erhöhung des Bettungsmoduls um Faktor 4 im Randbereich (eine FE-Elementreihe)



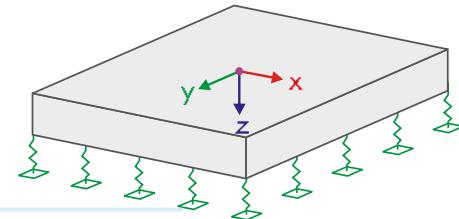
# Bewertung Bettungsmodulverfahren

## Vorteile

- Einfache Eingabe
- Kurze Rechenzeit (keine iterative Berechnung)
- Erweiterung auf modifiziertes Bettungsmodulverfahren prinzipiell möglich

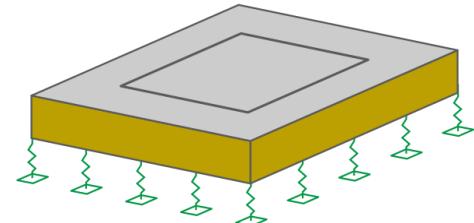
## Nachteile

- Unzureichende Bodenmodellierung
- Keine Berücksichtigung angrenzender Bodenbereiche
- Keine Berücksichtigung der Schubtragfähigkeit des Bodens
- Keine Bodenschichtungen erfassbar
- Interaktion zwischen Bauwerken nicht erfassbar
- Wenig realitätsnahe Ergebnisse



# Modifiziertes zweiparametrisches Bodenmodell mit Bettungskrägen

- Bettungskrägen sollte so weit reichen, bis die Setzungen am Rand gegen Null gehen
- Bettungskrägen mit nur sehr geringer Steifigkeit



## Nach Pasternak [5]

Bettungsziffer

$$c_{1,z} = \frac{E_0}{H \cdot (1 - 2 \cdot \mu^2)}$$

Schubtragfähigkeit

$$c_{2,v} = E_0 \cdot \frac{H}{6 \cdot (1 + \mu)}$$

## Nach Barwaschow [5]

Bettungsziffer

$$c_{1,z} = \frac{E_0}{H \cdot (1 - \mu^2)}$$

Schubtragfähigkeit

$$c_{2,v} = E_0 \cdot \frac{H}{20 \cdot (1 - \mu^2)}$$

$$E_0 \quad \text{Elastizitätsmodul} = E_s \cdot \frac{1 - \mu - 2 \cdot \mu^2}{1 - \mu}$$

H      Bettungsdicke

$\mu$       Querdehnzahl

# Modifiziertes zweiparametrisches Bodenmodell mit Zusatzfedern

## Verfahren des "Effektiven Baugrundes" nach Kolar und Nemec [4]

Im Allgemeinen gilt:  $c_2 = c_{2,x} = c_{2,y}$

Schubtragfähigkeit

$$c_{2,v} = c_{1,z} \cdot s^2$$

$$s = \frac{s_0}{4 \text{ bis } 5}$$

$s_0$  Reichweite der Setzungsmulde  
(Abstand vom Plattenrand, bei dem die Setzungen unter 1% der Fundamentrandwerte absinken)

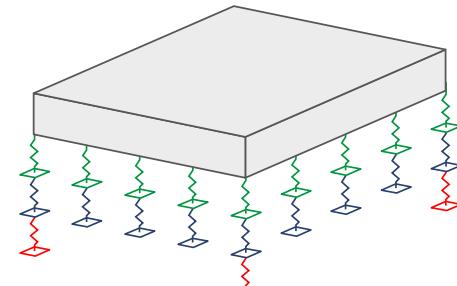
Anhaltswerte für  $c_{2,v}$

$$0,1 \cdot c_{1,z} < c_{2,v} < 1,0 \cdot c_{1,z}$$

lockerer Sand:  $c_{2,v}$  gegen 0

festes Gestein:  $c_{2,v}$  gegen 1

$$\text{mittlere Schubtragwirkung: } c_{2,v} = 0,5 \cdot c_{1,z}$$



# Modifiziertes zweiparametrisches Bodenmodell mit Zusatzfedern

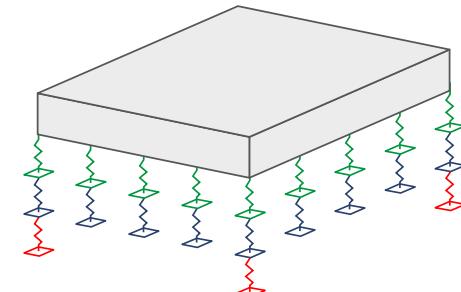
Verfahren des "Effektiven Baugrundes" nach Kolar und Nemec [4]

Linienfedern

$$k = \sqrt{c_{1,z} \cdot c_{2,v}}$$

Einzelfedern in den äußereren Ecken

$$K = \frac{c_{2,v}}{2}$$





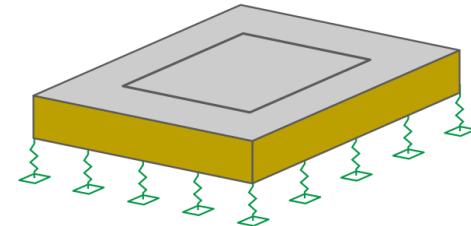
# Bewertung modifizierte zweiparametrische Bodenmodelle

## Vorteile

- Bei richtigem Einsatz realitätsnahe Ergebnisse
- Berücksichtigung angrenzender Bodenbereiche
- Schubtragfähigkeit des Bodens wird berücksichtigt
- Kurze Rechenzeit (keine iterative Berechnung)
- Interaktion zwischen Bauwerken beim Bodenmodell mit Bettungskrallen erfassbar

## Nachteile

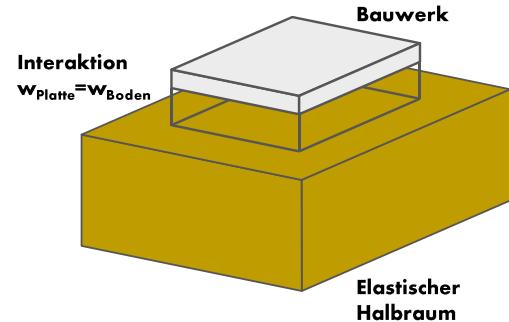
- Zusätzliche Überlegungen und Eingaben sind notwendig
- Interaktion zwischen Bauwerken beim Bodenmodell mit Zusatzfedern nicht erfassbar
- Bodenschichtungen nur näherungsweise erfassbar





# Steifemodulverfahren

- Bei FE-Lösung wird eine auf die Kontaktfläche zwischen Bauwerk und Boden bezogene Steifigkeitsmatrix der Bodenoberfläche aufgebaut
- Diskrete Knotenpunkte treten in dieser Kontaktfläche als Referenzpunkte auf
- FE-Programm ermittelt die auf die Auflageresenkungen bezogene Systemsteifigkeit in diesen Referenzpunkten
- Auflageresenkungen des Plattenmodells und Oberflächensetzungen des Bodens werden auf iterativem Weg in Einklang gebracht ( $w_{\text{Platte}} = w_{\text{Boden}}$ )
- Steifigkeit des statischen Systems und als elastischer Halbraum modellierter Boden stellen damit eine Einheit dar





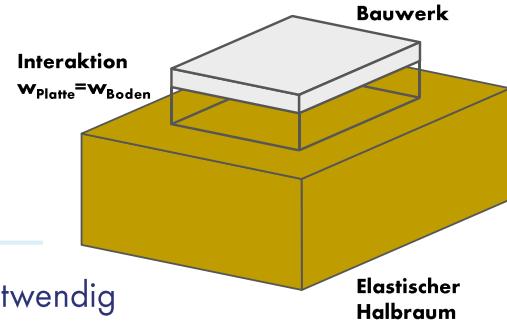
# Bewertung Steifemodulverfahren

## Vorteile

- In der Regel realitätsnahe Ergebnisse
- Wirklichkeitsnahe Bodenmodellierung
- Berücksichtigung angrenzender Bodenbereiche
- Bodenschichtungen und Interaktion zwischen Bauwerken erfassbar

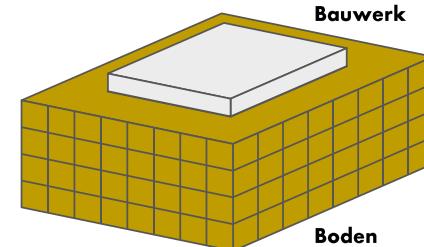
## Nachteile

- Iterative Berechnung notwendig und Superpositionsgesetz gilt nicht mehr (nichtlineare Berechnung)
- Erhöhte Rechenzeit durch iterative Berechnung



# 3D-Halbraumverfahren

- Elastischer Halbraum des Bodens wird durch Abbildung der Bodenschichten als 3D-Modell mit FE-Volumenelementen modelliert
- Dadurch gute Verbindung zwischen Baugrund und Bauwerk
- Bodenmodellierung bis zum Abklingbereich der Setzung
- 3D-Halbraumverfahren bildet die komplexe Modellierung des Boden-Bauwerk-Systems am direktesten ab



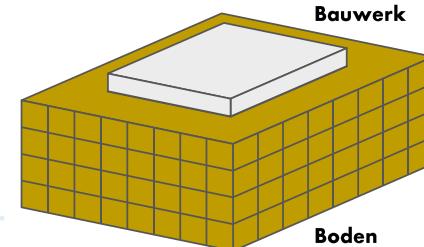
# Bewertung 3D-Halbraumverfahren

## Vorteile

- Sehr realitätsnahe Bodenmodellierung
- Berücksichtigung angrenzender Bodenbereiche
- Bodenschichtungen und Interaktion zwischen Bauwerken sehr gut erfassbar
- Keine iterative Berechnung

## Nachteile

- Hoher Generierungsaufwand und erhöhter Aufwand bei Ergebnisauswertung
- Das Softwaresystem muss über 3D-Volumenelemente verfügen
- Durch 3D-Modellierung des Bodens mitunter sehr große Systemmatrizen und damit hoher Speicherplatzbedarf und lange Rechenzeiten (erhöhte Systemvoraussetzungen für Rechner)



# Beispiel: Modifiziertes zweiparametrisches Bodenmodell mit Bettungskrägen

## Eingabewerte

Elastizitätsmodul  $E_0 = 10000 \text{ kN/m}^2$

Bettungsdicke  $H = 5 \text{ m}$

Querdehnzahl  $\mu = 0,2$

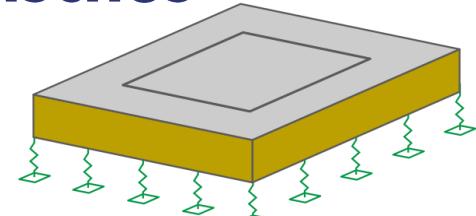
## Bodenparameter

(nach Barwaschow [5])

Bettungsziffer

$$c_{1,z} = \frac{E_0}{H \cdot (1 - \mu^2)}$$

$$c_{1,z} = 2083,33 \text{ kN/m}^3$$



Schubtragfähigkeit

$$c_{2,v} = E_0 \cdot \frac{H}{20 \cdot (1 - \mu^2)}$$

$$c_{2,v} = 2604,17 \text{ kN/m}$$

# Beispiel: Modifiziertes zweiparametrisches Bodenmodell mit Zusatzfedern

## Bodenparameter

Bettungsziffer

$$c_{1,z} = 2083,33 \text{ kN/m}^3$$

Schubtragfähigkeit

Annahme: mittlere Schubtragwirkung

$$c_{2,v} = 0,5 \cdot c_{1,z}$$

$$c_{2,v} = 1041,67 \text{ kN/m}$$

## Zusatzfedern

Linienfedern

$$k = \sqrt{c_{1,z} \cdot c_{2,v}}$$

$$k = \sqrt{2083,33 \cdot 1041,67}$$

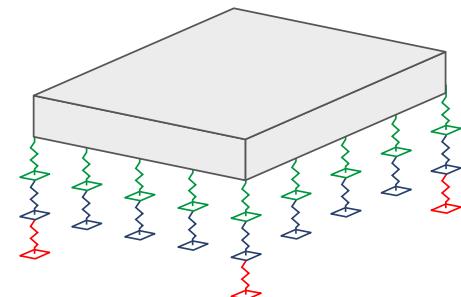
$$k = 1473,14 \text{ kN/m}^2$$

Einzelfedern in den äußeren Ecken

$$K = \frac{c_{2,v}}{2}$$

$$K = \frac{1041,67 \text{ kN/m}}{2}$$

$$K = 520,84 \text{ kN/m}$$



# Literaturverzeichnis

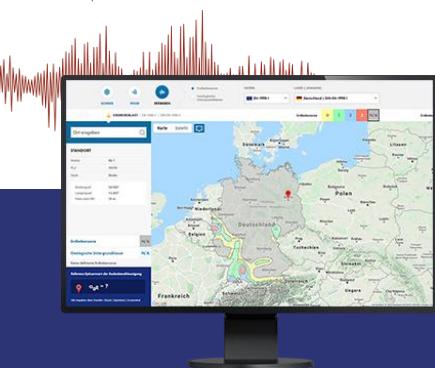
- [1] Barth, C.; Rustler, W.: Finite Elemente in der Baustatik-Praxis, 2. Auflage. Berlin: Beuth, 2013
- [2] Dörken, W.; Dehne, E.: Grundbau in Beispielen Teil 2. Nach neuer DIN 1054:2005, 4. Auflage. Köln: Werner, 2007
- [3] Bellmann, J.; Katz, C.: Bauwerk-Boden Wechselwirkungen, 3. FEM-Tagung Darmstadt, TH Darmstadt, 1994
- [4] Kolar, V.; Nemec, I.: Modelling of Soil-Structure Interaction. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989
- [5] Barwaschow, W. A.: Setzungsberechnungen von unterschiedlichen Modellen, Osnowania, fundamenti i mechanika gruntow, Heft 4/77, Moskau 1977 (russisch)



# Kostenlose Online-Dienste

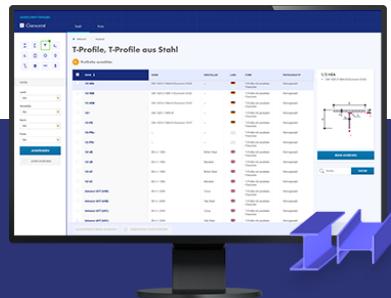
## Geo-Zonen-Tool

Dlubal Software bietet ein Online-Tool zur Ermittlung der charakteristischen Lastwerte der entsprechenden Lastzone an.



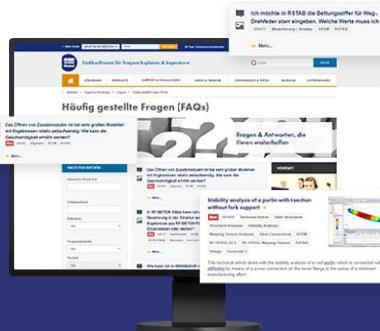
## Querschnittswerte

Das kostenfreie Online-Tool ermöglicht, aus einer umfangreichen Profildatenbank Standardprofile auszuwählen oder parametrisierte Querschnitte zu definieren und deren Querschnittswerte zu berechnen.



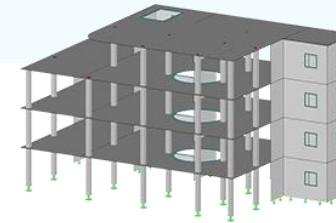
## FAQs & Knowledge Base

Schauen Sie sich die häufig gestellten Fragen an unser Support-Team sowie die hilfreichen Tipps und Tricks in unseren Fachbeiträgen an, um Ihre Arbeit effizienter zu gestalten.



## Modelle zum Herunterladen

Hier finden Sie eine Vielzahl an Beispieldateien, die Sie beim Einstieg in die Dlubal-Programme bzw. bei deren Anwendung unterstützen.





# Kostenlose Online-Dienste

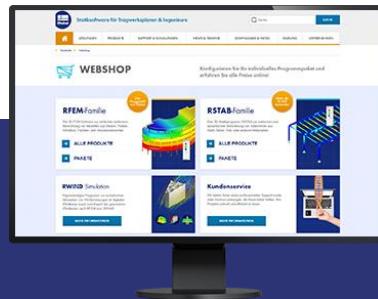
## Youtube-Kanal - Webinare, Videos

Sehen Sie sich die Videos und Webinare zur Statiksoftware von Dlubal an.



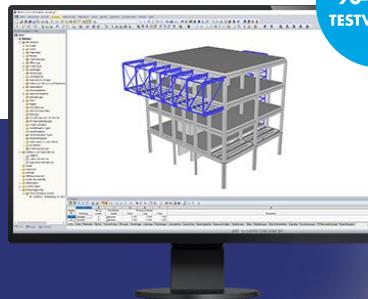
## Webshop mit Preisen

Erstellen Sie Ihr individuelles Softwarepaket und sehen Sie alle Preise online!



## Testversionen

Sie lernen am besten, wie Sie mit unseren Programmen umgehen, indem Sie sie einfach selbst testen. Laden Sie sich die 90-Tage-Testversion unserer Statikprogramme herunter.



## Kostenloser Support per E-Mail und Live-Chat



# Hier finden Sie weitere Informationen zu Dlubal Software



Besuchen Sie unsere  
Webseite

[www.dlubal.com](http://www.dlubal.com)

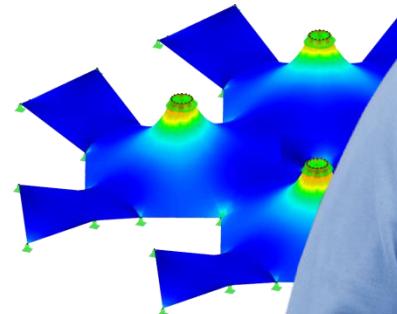
- Videos und aufgezeichnete Webinare
- Newsletter
- Veranstaltungen und Messen/Seminare
- Knowledge Base-Artikel



Sehen Sie den  
Einsatz von  
Dlubal Software  
in einem  
Webinar



Kostenlose  
Testversion  
herunterladen



**Dlubal Software GmbH**  
Am Zellweg 2, 93464 Tiefenbach  
Germany

Telefon: +49 9673 9203-0  
E-Mail: [info@dlubal.com](mailto:info@dlubal.com)



[www.dlubal.com](http://www.dlubal.com)