

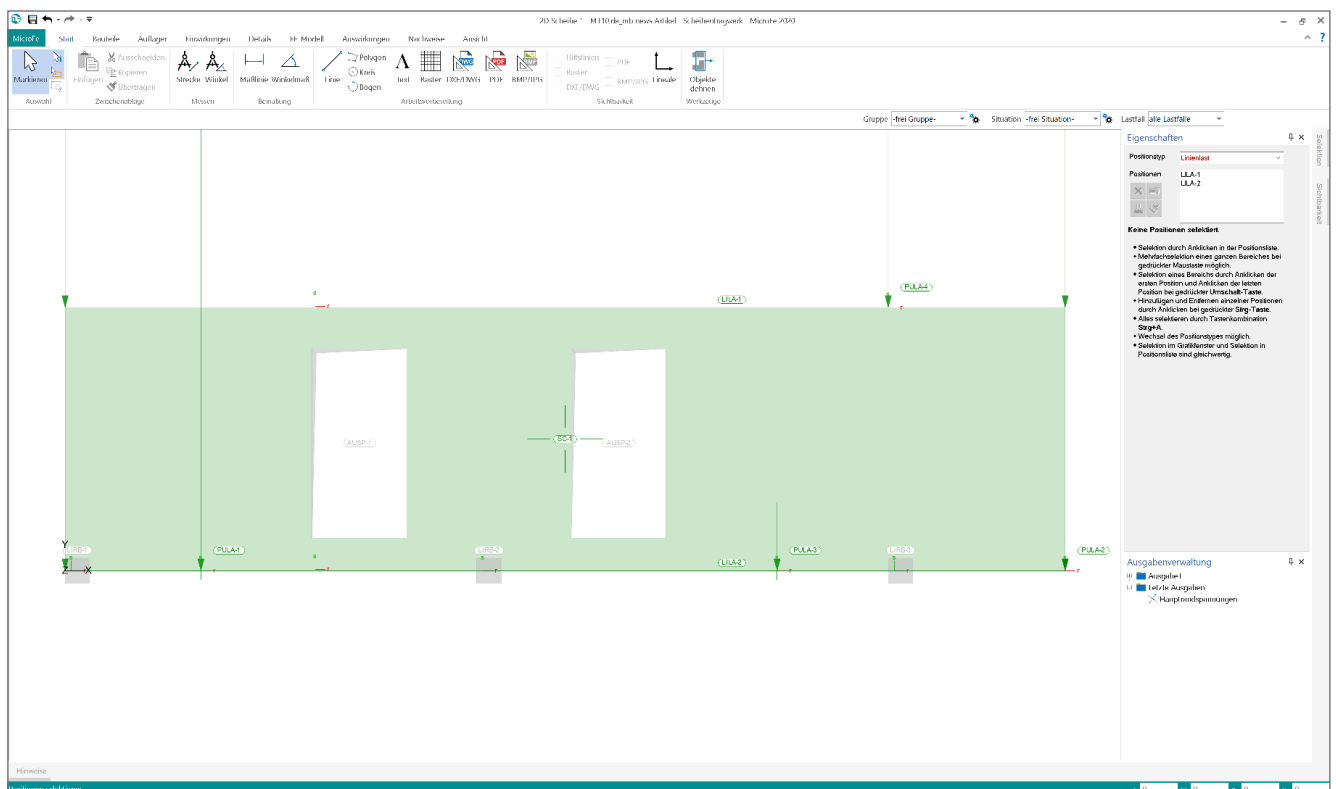
Sinah Guth M. Sc.

# Scheibenberechnung mit der Finite-Elemente-Methode

Leistungsbeschreibung des MicroFe-Moduls

M110.de MicroFe 2D Scheibe – Stahlbeton-Scheibensysteme

Als Ergänzung zur Positionsstatik ermöglicht das MicroFe-Grundmodul „M110.de“ dem Tragwerksplaner die 2D-FE-Berechnung von Wandscheiben und wandartigen Trägern. Der folgende Artikel soll einen Überblick über die Arbeitsabläufe und Möglichkeiten bei der Modellierung und Bemessung von Stahlbeton-Scheibensystemen mit M110.de bieten.



## Allgemeines

Berechnungen nach dem Prinzip der Finiten Elemente werden immer dann notwendig, wenn die klassischen Berechnungsverfahren an ihre Anwendungsgrenzen stoßen. Die Modellierung bietet in Hinsicht auf Belastung und Geometrie große Freiheiten. Bei der Scheibenbemessung mithilfe der FE können z.B. Aussparungen, nachgiebige Lagerungen oder Schubbeanspruchungen Berücksichtigung finden.

Bei Scheiben handelt es sich um Flächentragwerke, die nur in ihrer Mittelebene belastet werden. Es herrscht ein ebener Spannungszustand, d.h. es treten keine senkrecht zur Scheibe gerichteten Spannungen auf. Prinzipiell kann zwischen den beiden Scheibentypen „Wand“ und „wandartiger Träger“ unterschieden werden. Im Allgemeinen besitzen Scheiben im Unterschied zu Balken eine über die Höhe nichtlineare Dehnungs- und Spannungsverteilung.

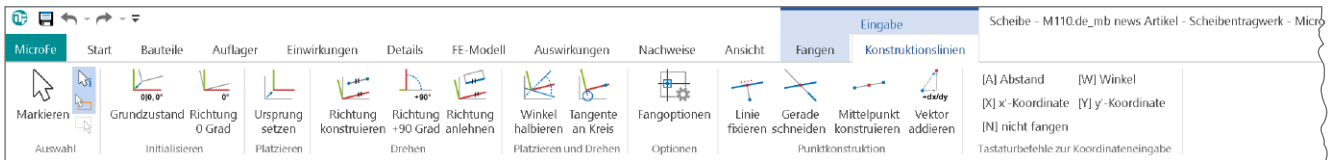


Bild 1. Kontextregister Konstruktionslinien

## Eingabe

Das Modul M110.de zeichnet sich wie alle FE-Systeme der mb WorkSuite durch die positionsorientierte Modellierung von Bauteilen über eine grafisch-interaktive Eingabe aus. Durch die klare Strukturierung der Benutzeroberfläche ist eine intuitive Bedienung gewährleistet.

### Eingabehilfen

MicroFe stellt einige hilfreiche Werkzeuge für eine effektive Modellierung zur Verfügung. Diese können auch die vergleichsweise einfache Modellierung einer 2D-Scheibe deutlich erleichtern.

Als grundlegendes Hilfsmittel wird die Eingabe durch Konstruktionslinien unterstützt. Hierbei wird das Konzept aufgegriffen, mit dem die Konstruktion an einer Zeichenplatte erfolgt. Die orthogonal angeordneten Konstruktionslinien verhalten sich wie Lineale einer Zeichenmaschine und lassen sich um den Ursprung drehen und verschieben. Das Kontextregister „Konstruktionslinien“ (Bild 1) wird automatisch während der Eingabe von Positionen angezeigt.

Die Modellierung kann weiterhin durch die Eingabe von Rastern erleichtert werden. Es stehen die beiden Varianten kartesische und polare Raster zur Verfügung.

Bei den kartesischen Rastern handelt es sich um Raster mit orthogonal zueinanderstehenden Rasterlinien, die wahlweise „fest“ oder „frei“ definiert werden. Kartesisch feste Raster erzeugen Rasterlinien in gleichmäßigen Abständen getrennt für r- und s-Richtung innerhalb vorzugegebender Grenzen. Bei einem kartesisch freien Raster hingegen können die Abstände zwischen den Rasterlinien unabhängig definiert werden.

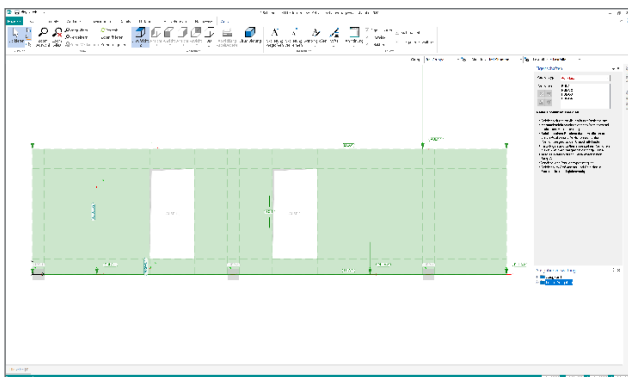


Bild 2. Beispiel eines kartesisch freien Rasters

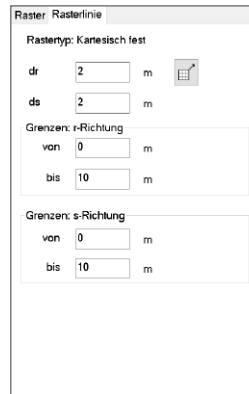


Bild 3. Eigenschaften eines kartesisch festen Rasters

Bei dem zweiten Rastertyp „Polares Raster“ wird ausgehend von einem Pol ein Raster wahlweise mit festen oder frei vorgegebenen Grad- und Abstandsangaben erzeugt.

Ein weiteres beliebtes Hilfsmittel ist das Einfügen von DXF- und DWG-Dateien. Die Hinterlegung von 2D-CAD-Zeichnungen ermöglicht es, Geometrien z.B. aus der Entwurfsplanung abzugreifen.

Mit dem Zusatzmodul „M140 PDF, BMP, JPG als Eingabehilfe für MicroFe und EuroSta“ werden die möglichen Eingabehilfen um Grafikdateien im BMP-, JPG-, PNG-, GIF-, EMF- und TIF-Format sowie im PDF-Format erweitert.

Hinterlegungsgrafiken dienen nicht nur als Eingabehilfe, sondern können auch zur Ausgestaltung der Ausgaben eingesetzt werden.

Alle Eingabehilfen können miteinander kombiniert verwendet werden.

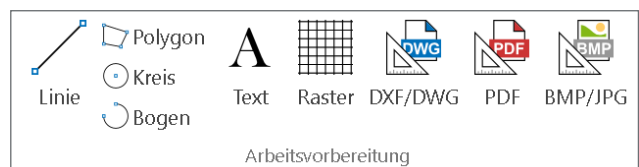


Bild 4. Eingabehilfen

### Bauteile

Als grundlegende Bauteile stehen Scheiben und Balken aus Stahlbeton zur Verfügung. In Verbindung mit dem Zusatzmodul M322.de können auch Scheiben aus Brettsperrholz bemessen werden. Die Scheibengeometrie kann rechteckig, rund oder polygonal gewählt werden. Alternativ zur polygonalen Eingabe kann eine Scheibe auch aus mehreren Einzelscheiben zusammengesetzt werden.

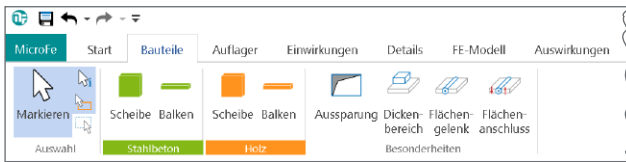


Bild 5. Register „Bauteile“

Die Scheibendicke kann konstant, unterschiedlich oder veränderlich eingegeben werden. Eine veränderliche Dicke wird über drei Punkte definiert, denen jeweils eine Dicke zugeordnet wird. Der Querschnitt kann zusätzlich gezielt durch Dickenbereiche modifiziert werden. Innerhalb eines Dickenbereiches wird die ursprüngliche Dickenangabe der Scheibe überschrieben.

Entsprechend der Materialauswahl werden die in den Projekt-Stammdaten hinterlegten normgerechten Materialkennwerte herangezogen. Ein in die beiden Richtungen  $r$  und  $s$  unterschiedliches Tragverhalten kann zudem mit der Option „orthotrop“ definiert werden. Dies erfolgt über das Verhältnis der E-Moduln je Tragrichtung und der Definition der ersten Tragrichtung über den Winkel zur globalen  $x$ -Achse.

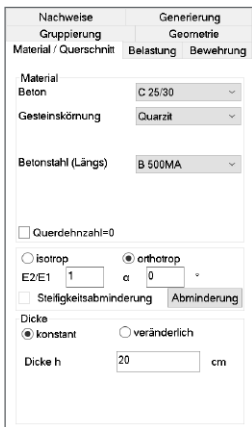


Bild 6. Kapitel „Material/ Querschnitt“

Ein deutlicher Vorteil der Scheibeberechnung mithilfe der Finite-Elemente-Methode gegenüber klassischer Berechnungsverfahren ist die Möglichkeit, Aussparungen innerhalb des Scheibenbauteils definieren zu können. Somit lassen sich an beliebiger Stelle rechteckige, runde oder polygonale Öffnungen berücksichtigen.

Als weitere Besonderheit steht die Eingabe von Flächengelenken zur Verfügung. Über Flächengelenke kann entlang einer Linie festgelegt werden, wie FE-Elemente untereinander verbunden werden sollen. Die Gelenkdefinition kann am Rand oder in der Fläche einer Scheibenposition definiert werden. Der Positionstyp „Flächenanschluss“ bietet gegenüber dem reinen Flächengelenk zusätzlich die Möglichkeit, lineare Federsteifigkeiten für den Anschluss vorzugeben. Mit dem Zusatzmodul „M524 Definition von Arbeitslinien für nichtlineare Verbindungen (Flächengelenk)“ können die mechanischen Verbindungen auf Grundlage von Arbeitslinien beschrieben werden. Diese ermöglichen anhand der Nachbildung der Weg-Kraft-Beziehung im positiven und im negativen Verformungsbereich die Abbildung physikalisch nichtlinearer Effekte.

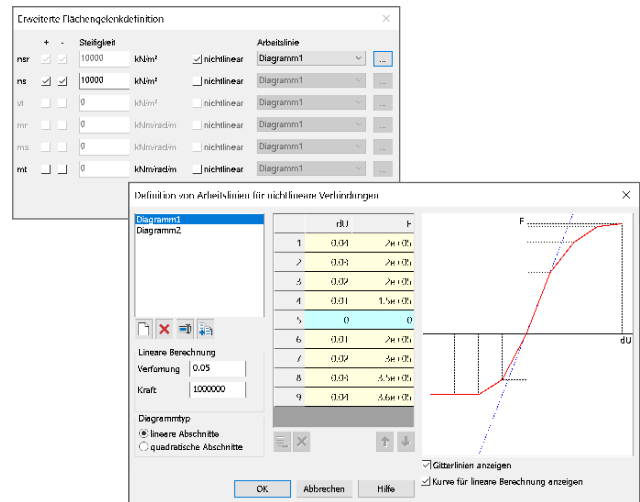


Bild 7. Erweiterte Flächengelenkdefinition und Definition von Arbeitslinien für nichtlineare Verbindungen

### Auflager

Zur Modellierung von Lagerungen können Punkt- oder Linienlager verwendet werden

Eine wirklichkeitsnahe Abbildung der Lagerungsbedingungen ist bei der Berechnung von Scheibentragwerken von großer Bedeutung. Im Vergleich zu balkenförmigen Trägern hat die Steifigkeit der Auflager bei wandartigen Trägern einen starken Einfluss auf die Schnittgrößen und Auflagerkräfte. Bei mehrfeldrigen Systemen geht aufgrund der hohen Biegesteifigkeit von Scheiben die Durchlaufwirkung verloren und bereits geringe Unterschiede in der Nachgiebigkeit der Stützungen führen zu Schnittgrößenumlagerungen. [1]

Punktuellen Stützungen von Scheibentragwerken sollten zur Vermeidung von Singularitäten durch kurze Linienlager ersetzt werden.

### Belastung

Neben den bauteilbezogenen Lasten – dem Eigengewicht und zusätzlichen ständigen Lasten – stehen die gewohnten Standardlasten zur Verfügung. Bei der Eingabe von Lastwerten bieten die Einzelwertübernahme und der Lastabtrag besonderen Komfort.



Bild 8. Register „Einwirkungen“

Der Lastabtrag ermöglicht die Verknüpfung von Lastpositionen in MicroFe mit Auflagern aus BauStatik-Positionen, so dass Lagerreaktionen mühelos weitergeleitet werden können.

Mithilfe der Einzelwertübernahme können BauStatik- sowie MicroFe-Ergebnisse zur Eingabe von Lastwerten herangezogen werden. Dank der automatischen Korrekturverfolgung werden hierbei stets die aktuellen Ergebnisse bereitgestellt.

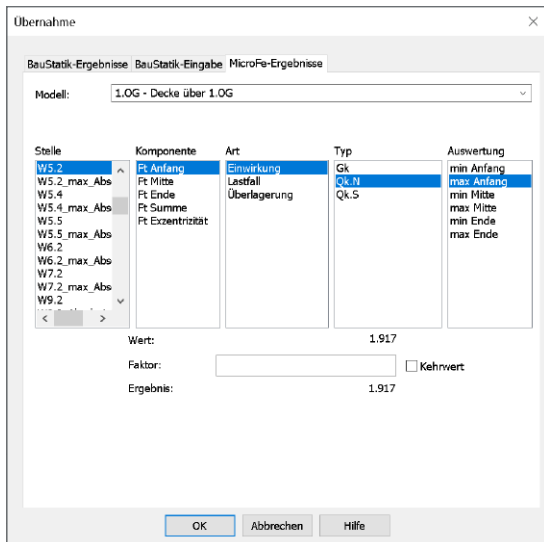


Bild 9. Einzelwertübernahme aus MicroFe-Ergebnissen

### Exportieren eines Scheibenmodells aus einem Plattenmodell

Mit dem Modul „M317.de Wandartiger Träger (ebene Systeme)“ können wandartige Träger mechanisch korrekt in 2D-FE-Plattenmodellen berücksichtigt werden. Die dort ermittelten Belastungen an Wandkopf und -fuß können inklusive aller sonstigen Informationen zu Geometrie und Lagerungssituation des Trägers mit einem Klick an ein 2D-Scheibenmodell übertragen werden. Nähere Informationen hierzu können [3] entnommen werden.

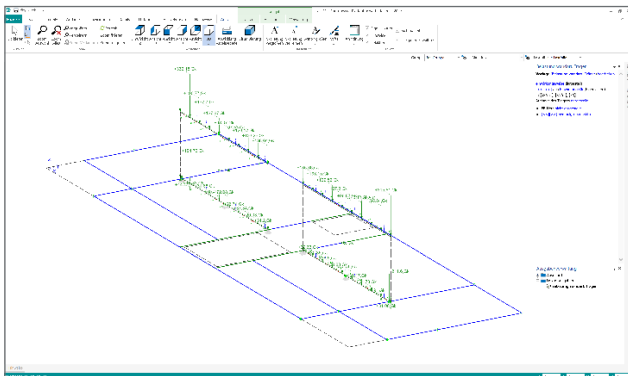


Bild 10. Wandartiger Träger im Plattenmodell

### Berechnung

Die statische Berechnung erfolgt auf Grundlage des Hooke'schen Gesetzes mit linear elastischem Materialverhalten im ungerissenen Zustand I. Nach DIN EN 1992-1-1, 5.4 (1) dürfen die Schnittgrößen von Bauteilen auf Grundlage der Elastizitätstheorie sowohl für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit als auch der Tragfähigkeit bestimmt werden. [2]

Rissbildungen und daraus resultierende Umlagerungen der Schnittgrößen sind bei der Bemessung und konstruktiven Durchbildung des Tragwerkes durch ingenieurmäßige Überlagerungen zu berücksichtigen. So ist z.B. bei der Bemessung wandartiger Träger zu beachten, dass die Zugbewehrung nicht gemäß der elastischen Berechnung über den gesamten Zugkeil zu verteilen, sondern konzentriert im Schwerpunkt der Zug-

spannungsfelder anzuordnen ist. Für die Integration der erforderlichen Bewehrung über die Höhe der Zugzone stehen die Auswertungslinien zur Verfügung. Auch bei der Ermittlung von Aufhängebewehrung ist darauf zu achten, dass eine auf Grundlage elastischer Spannungsverläufe berechnete abgestufte Bewehrung sinnvollerweise durch eine über die Bauteilhöhe konstante Bewehrung zu ersetzen ist. Für weitere Hinweise zum richtigen Umgang mit linear elastischen Scheibenberechnungen sei auf DAfStb-Heft 631 [1], 4.4 verwiesen.

### Nachweise

Folgende Nachweise werden in M110.de angeboten:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit
  - Ermittlung der Längsbewehrung je Seite
  - Ermittlung der Querbewehrung je Seite
  - Ermüdungsnachweis
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
  - Rissbreitennachweis
  - Spannungsnachweis

Die Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen erfolgt auf Grundlage von DIN EN V 1992-1-1, Anhang A2.9. Unter Vernachlässigung der Betonzugfestigkeit ergeben sich die Bewehrungsgrade für die beiden Scheibenrichtungen zu  $\rho_r = f_{tdr}/f_{yd}$  und  $\rho_s = f_{tds}/f_{yd}$ , wobei  $f_{tdr}$  und  $f_{tds}$  die rechnerischen Zugspannungen und  $f_{yd}$  den Bemessungswert der Betonstahlfestigkeit darstellen.

Zusätzlich werden die Betondruckspannungen begrenzt:

$$\sigma_c \leq \sigma_{Rd} = v \cdot f_{cd} \quad (1)$$

mit

$$v = 1,0 \cdot \eta_1 \quad \text{für Druckknoten}$$

$$v = 0,75 \cdot \eta_1 \cdot v_2 \quad \text{für Druck-Zugknoten}$$

mit

$$v_2 = (1,1 - f_{ck}/500) \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{für Normalbeton}$$

$$\eta_1 = 0,4 + 0,6 \cdot \rho/2200 \quad \text{für Leichtbeton}$$

Bei Nichterfüllung der Bedingung erfolgt keine Bemessung für die betreffenden Knoten, sondern eine Druckspannungsüberschreitung wird ausgewiesen.

### Ausgabe

MicroFe unterscheidet zwischen grafisch-interaktiver Ergebnisdiskussion im Arbeitsbildschirm und der grafischen und tabellarischen DIN-A4-Ausgabe.

Eine wertvolle Hilfe bei der Ergebnisauswertung bieten die Auswertungspositionen. Schnittgrößen, Spannungen, Verformungen, Nachweisergebnisse usw. lassen sich an definierten Punkten, Linien oder Flächen darstellen. Für Auswertungslinien und -flächen steht neben der Wertedarstellung je FE-Knoten zudem die Auswertung als Mittelwert oder Resultierende des definierten Bereichs zur Verfügung. Somit können beispielsweise Zugspannungen oder Bewehrungsmengen in gewünschten Schnitten aufintegriert werden.

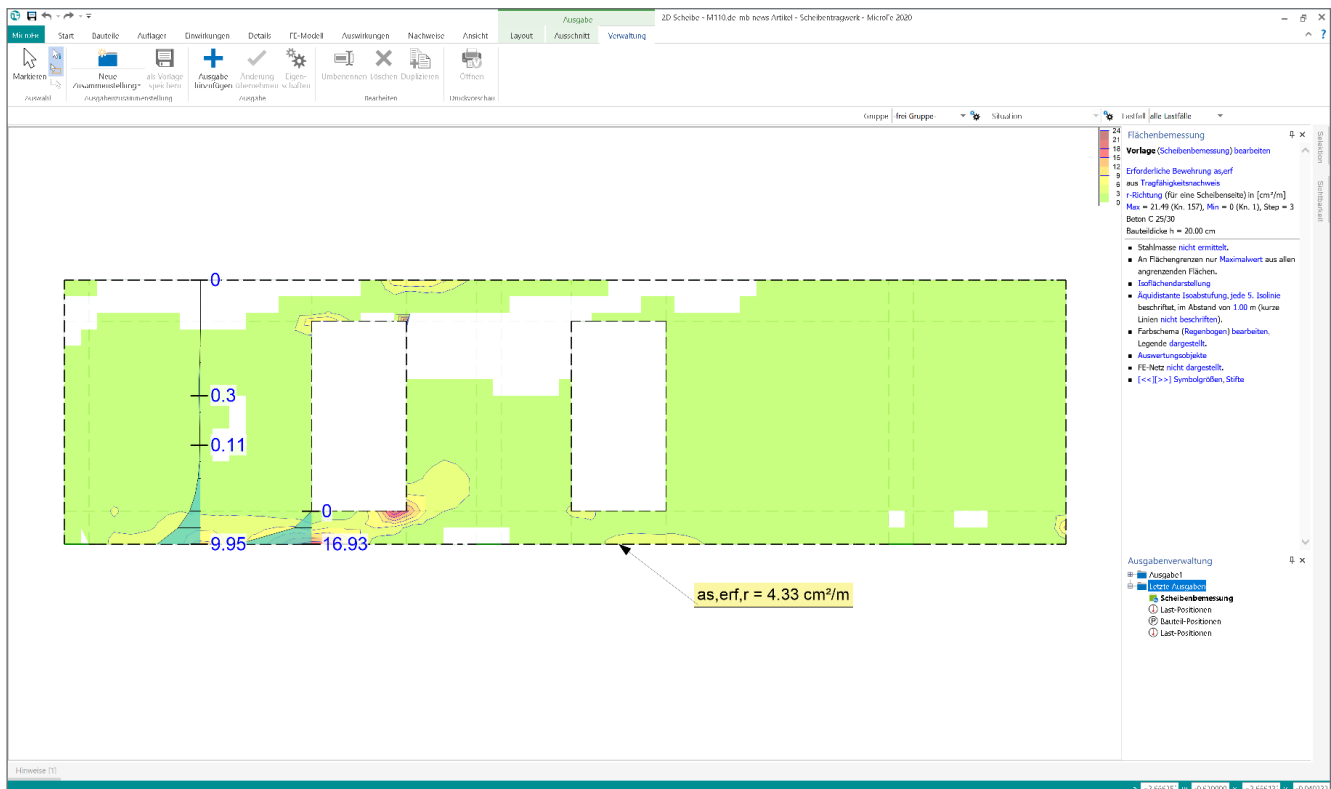


Bild 11. Grafische Ausgabe der Scheibebemessung

## Fazit

Das MicroFe-Modul M110.de bietet alle nötigen Werkzeuge, um Scheibentragwerke, inkl. geometrischer und mechanischer Besonderheiten wie Aussparungen und Anschlüsse, realitätsnah zu modellieren. Lineare Scheibeberechnungen erfordern stets eine ingenieurmäßige Auswertung der Ergebnisse, um eine korrekte Bewehrungsführung sicherzustellen. Kräfteverläufe innerhalb der Scheibentragwerke lassen sich außerdem mithilfe der Hauptspannungstrajektorien veranschaulichen und können für die Ableitung von Stabwerkmodellen herangezogen werden.

Sinah Guth M. Sc.  
mb AEC Software GmbH  
mb-news@mbaec.de

## Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau: DafStb Heft 631, Hilfsmittel zur Schnittgrößermittlung und zu besonderen Detailnachweisen bei Stahlbetontragwerken, 2019, Beuth Verlag, Berlin
- [2] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [3] Dipl.-Ing (FH) Markus Öhlenschläger: Wandartige Träger in MicroFe, mb-news 4/2020

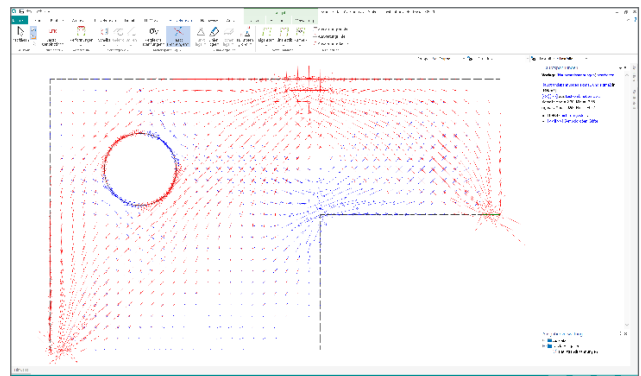


Bild 12. Grafische Ausgabe der Hauptspannungen

## Preise und Angebote

### M110.de MicroFe 2D Scheibe – Stahlbeton-Scheibensysteme

Weitere Informationen unter  
<https://www.mbaec.de/modul/M110.de>

### MicroFe comfort

MicroFe-Paket „Platten-, Scheiben- und Faltwerkssysteme“

beinhaltet: M100.de, M110.de, M120.de und M161

Weitere Informationen unter <https://www.mbaec.de/produkte/microfe/pakete/>

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: August 2020

Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

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