Dipl.-Ing. (FH) Markus Öhlenschläger

Arbeitsschritte in der Stahlbeton-Deckenbemessung

Effektive Bearbeitungsschritte von der Modellierung bis zur Bemessung von Geschossdecken

Typischerweise erfolgt im Hochbau die Bemessung von Bauteilen nach dem statischen Prinzip der Positionsstatik. Hierbei werden Stück für Stück einzelne Bauteile, unter Vernachlässigung der Wechselwirkung zwischen weiteren Bauteilen, nachgewiesen. Die Lagerreaktionen werden im Anschluss an die Nachweise als Belastungen an folgende Bauteile übertragen. In diese Arbeitsweise reihen sich auch Geschossdecken ein, die mühelos und mit praxisgerechten Werkzeugen in MicroFe umfassend nachgewiesen werden.



Bild 1. Beispiel Deckensystem in MicroFe

Grundlagen

Die Anwendung MicroFe ermöglicht die statische Analyse, Berechnung und Bemessung nach dem Prinzip der Finiten Elemente. MicroFe wurde für die Belange der Tragwerksplanung im Bauwesen konzipiert und zeichnet sich daher durch einen hohen Praxisbezug und umfangreiche ingenieurmäßige Lösungen aus. Das breite Spektrum der Möglichkeiten von 2D- und 3D-Flächen- und Stabtragwerken ist in verschiedene Grundmodule [1] gegliedert. Mit dem Basismodul "M100.de Stahlbeton-Plattensysteme" können sowohl Deckensysteme aus Stahlbetonbauteilen als auch solche aus Holz bearbeitet werden. Die für ein Deckensystem erforderlichen Nachweise gliedern sich in die Bereiche "Grenzzustand der Tragfähigkeit" und "Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit".

Im folgenden Artikel wird der effiziente Weg, Schritt für Schritt, von der Modellierung bis zur umfassenden Nachweisführung aufgezeigt. Hierbei reicht der Inhalt von Tipps für die Modellierung über eine empfohlene Folge der Nachweise bis zur prüffähigen und nachvollziehbaren Ausgabe.



Bild 2. Ausgabe der Nachweise eines Deckensystems

Überblick Deckensysteme

Ein Deckensystem fasst die Teilmenge von Bauteilen zusammen, die für eine Decke über einem Geschoss erforderlich sind. Im einfachsten Fall besteht ein Deckensystem aus einem Bauteil "Decke", das von Wänden und Stützen getragen wird. Dabei tritt häufig eine mehrachsige Lastabtragung auf. Hinzu kommen Öffnungen für Treppen, Aufzüge oder für die Infrastruktur des Gebäudes.



Bild 3. FE-Netz eines komplexeren Deckensystems

In komplexeren Fällen besteht ein Deckensystem aus mehreren Deckenbauteilen, z.B. für Balkone oder bei stark unterschiedlichen Situationen von Deckenspannweiten. Bei unterschiedlichen Deckenbauteilen weisen diese abweichende Deckenstärken auf. Zusätzlich ergänzt werden Deckensysteme durch Unterzüge, Überzüge oder auch Höhenversätze in der Ebene.



Bild 4. FE-Netz eines einfacheren Deckensystems

Sowohl in einfachen als auch in komplexeren Deckensystemen wird als Grundlage für die Finite-Elemente-Berechnung in der Regel ein ebenes 2D-Modell gewählt. Der hierbei verwendete mechanische Elementansatz ermöglicht die Untersuchung von vertikalen Verformungen und die daraus resultierenden Biege- und Querkraftbeanspruchungen.

Für ein Deckensystem sind in jedem Fall umfangreiche und vielfältige Nachweise zu führen. Diese umfassen den Bereich der Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT), wie z. B. die Ermittlung der Biege-, Querkraft- und Durchstanzbewehrung (siehe Bild 2), sowie die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG), wie z. B. Verformungsnachweise.

Die in der Folge beschriebene und empfohlene Reihenfolge der Bearbeitungsschritte führt zu einer besonders effizienten Bemessung von Deckensystemen.



Bild 5. Arbeitsvorbereitung über "freies Raster" und Sicht aus ViCADo

Arbeitsschritte in der Modellierung

Schritt 1: Bauteile

Die Modellierung eines MicroFe FE-Modells beginnt im ProjektManager mit der Auswahl des gewünschten bzw. benötigten Modelltyps. Für ein Deckensystem wird in der Regel der Modelltyp "MicroFe 2D Platte" verwendet.

Durch den bauteilorientierten Modellaufbau erfolgt die Modellierung intuitiv und vergleichbar mit der realen Gebäudestruktur. Der Zugriff auf Bauteile wie Decken, Unterzüge sowie Aussparungen oder auch Gelenke für Bauteilstöße erfolgt über das Register "Bauteile". Alle auflagernden Bauteile wie Wände oder Stützen sind über das Register "Auflager" erreichbar.



Bild 6. Bauteilbezogene Auflager

Mit den bauteilbezogenen Auflagern (Stützenlager bei Punktauflagern und Wandlager bei Linienauflagern) lassen sich auf einfache Weise realistische Federwerte ermitteln. Ausgangspunkt sind dabei die Abmessungen und Materialangaben der auflagernden Bauteile.

Mehr zum Thema:

mbinar A|MF - Grundlagen Modellierung MicroFe 2D Platte (Level A) https://youtu.be/-Rcv167p3F4



🚺 Tipp

Für eine effiziente Modellierung können geometrische Hilfen wie Raster, DXF/DWG-Dateien oder Grafik- und PDF-Dateien genutzt werden. Durch die Hinterlegung von ViCADo-Grafiken stehen auch Sichten oder Raster aus ViCADo-Architekturmodellen zur Verwendung bereit.

Schritt 2: Belastungen

Für alle Lastwerte erfolgt eine lastfall- sowie einwirkungstreue Definition. Hierbei ist zu beachten, dass alle Lastwerte eines Lastfalls immer gleichzeitig auf das System einwirken. Die Hauptbelastungen des Deckensystems, die flächigen ständigen und veränderlichen Lasten auf der Decke, werden als Positionslasten direkt in den Eigenschaften der Deckenpositionen definiert.

🚹 Tipp

Für die Vorgabe der Lastwerte steigern die Möglichkeiten der Einzelwertübernahme und des Lastabtrages deutlich die Effizienz der Bearbeitung. Veränderungen an den Lastwerten führen dank der Korrekturverfolgung automatisiert zu einer Neuberechnung und Neubemessung des Deckensystems.

Weitere Belastungen, z.B. zur Berücksichtigung aufstehender Bauteile oder örtlich abweichender Belastungsniveaus, werden durch Punkt-, Linien- und Flächenlasten erreicht. Darüber hinaus erweitern Wanderlasten, Temperaturlasten sowie Vorspannungen die Möglichkeiten zur Modellierung der Einwirkungen auf das Deckensystem.



Bild: 7. FE-Netz mit Netzverfeinerung in den Übergängen zu den Balkonen

Arbeitsschritte in der Berechnung

Schritt 3: FE-Netz und Berechnung

Grundlage für die Berechnung des Deckensystems ist ein geeignetes Finite-Elemente-Netz. Die Grundwerte, wie z.B. die Maschenweite und Art des Netzes, werden über die Eigenschaften der Decken festgelegt. Das FE-Netz wird durch MicroFe automatisiert erzeugt und ist über das Register "FE-Netz" einsehbar. Wird eine örtliche Verdichtung des Netzes erforderlich, kann dies über Netzverfeinerungsbereiche (Bild 7) erreicht werden.

🚺 Tipp

Im Standardfall liefern die Decken eine Maschenweite von 50 cm. In der Anwendung ist zu prüfen, ob eine ausreichende Netzgröße im Modell vorhanden ist. Als grobe Orientierung für eine ausreichende Netzgröße kann eine Elementanzahl von "5 Elementen" verwendet werden. Somit sollte das Netz in den für die Bemessung relevanten Bereichen, z.B. ein Deckenfeld zwischen zwei Lagern, mindestens 5 Elemente aufweisen.

Schritt 4: Berechnung

Alle Ergebnisse der FE-Berechnungen sind über das Register "Auswirkungen" zugänglich. In der Regel liegen alle Ergebnisse auf charakteristischem Niveau (Bild 9) vor und können auf Ebene der Lastfälle oder Einwirkungen ausgewertet und diskutiert werden. Sobald ein Ergebnis, wie z.B. Schnittgrößen des Deckensystems, angezeigt werden soll, führt MicroFe die Vernetzung und Berechnung des Modells durch.



Bild 8. Darstellung des verformten Systems

🚺 Tipp

Die linear-elastischen Verformungen aus der FE-Berechnung (Bild 8) zeigen schnell, wie das Modell arbeitet. Die Lager und die Bereiche mit den größten Verformungen sind direkt erkennbar. Die Kontrolle der Verformungen sollte daher nach Abschluss der Modellierung erfolgen. Es ist zu beachten, dass die linear-elastischen Verformungen nicht für eine Nachweisführung geeignet sind, da Effekte wie das Fließen oder Schwinden des Betons nicht berücksichtigt werden.



Bild 9. Schnittgrößen-Ergebnisse des Deckensystems



Bild 10. Ausnutzung des Verformungsnachweises

Arbeitsschritte für die Nachweisführung

Die Nachweisführung erfolgt auf der Grundlage der charakteristischen Ergebnisse. Somit ist die Bildung der Bemessungsschnittgrößen Bestandteil der Nachweisführung. Grundsätzlich ist die Reihenfolge der einzelnen Nachweise in MicroFe frei wählbar. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die im Folgenden dargestellte Reihenfolge der Nachweise eine besonders effiziente Bearbeitung ermöglicht.

Schritt 5: Nachweis der Verformungen

In der Regel wird die Querschnittsbemessung von auf Biegung beanspruchten Bauteilen stark durch die Verformungsbegrenzung beeinflusst. Die Nachweisführung sollte daher mit den Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit beginnen. Wesentlicher Bestandteil der Nachweisführung ist der Positionstyp "Verformungsnachweis". Diese Flächenposition ist für die nachzuweisenden Felder und Bereiche im Modell zu platzieren.

Für den Verformungsnachweis wird das Modul "M352.de Verformungsnachweis Zustand II für Platten (ebene Systeme)" benötigt. Zur Ermittlung der Verformungen des Deckensystems werden die Steifigkeiten für die Decken- und Unterzugkomponenten ermittelt. Dabei werden auch die Bewehrungsmengen in den Stahlbetonbauteilen berücksichtigt. Ist die vorhandene Steifigkeit nicht ausreichend, kann die statisch erforderliche Bewehrung in den Bauteilen erhöht werden.

Mehr zum Thema:

mbinar A|NV - MicroFe: Nachweis der Verformungen von Deckensystemen (Level A) https://youtu.be/yWyQZaRDvx0



🚹 Tipp

Wenn die Bewehrung erhöht wird, um die Steifigkeit zu vergrößern, sollte die Bewehrung sowohl unten als auch oben parallel angehoben werden. Dies hat einen großen Einfluss auf die Schwindverformung.

Schritt 6: Ermittlung der Biegebewehrung

Nach dem Verformungsnachweis erfolgt die Biegebemessung. Anhand der Expositionsklassen wird der erforderliche Randabstand der Bewehrung ermittelt. Durch Klicken auf "Biegebemessung Platte" wird die statisch erforderliche Biegebewehrung ermittelt. MicroFe bietet die Möglichkeit, diese durch manuelle Bewehrungsauswahl in Form von Matten- und Stabstahlbewehrung abzubilden (Bild 11).

🚺 Tipp

Alle Entscheidungen, die bei der manuellen Bewehrungswahl getroffen werden, wie z.B. die Auswahl von Mattenoder Stabstahlbewehrung, können in die Bewehrungsplanung in ViCADo übernommen werden. Dadurch werden Mehrfacheingaben vermieden.



Bild 11. Wahl der Grundbewehrung



Bild 12. Bemessung für Dübelleisten zur Erhöhung des Durchstanzwiderstandes

Neben der plattenbezogenen Grundbewehrung, die eine großflächige und positionsorientierte Bewehrungsauswahl bietet, helfen die Zulagenbereiche auch lokale Spitzen abzudecken.

Schritt 7: Querkraftbemessung der Platte

Bei Deckensystemen wird angestrebt, dass im Bereich der Platten keine Querkraftbewehrung erforderlich ist. Zeigt die Ausgabe der Querkraftbemessung eine erforderliche Bewehrung an, so ist Folgendes zu prüfen. Werden punktuell erforderliche Bewehrungsmengen angezeigt (Bild 13) und liegen diese im Bereich von Lagern oder Lasteinleitungen, so ist dies ein Hinweis auf ein mögliches Durchstanzproblem und nicht auf ein Querkraftproblem. Die entsprechenden Stellen im Modell sind mit einem Durchstanznachweis zu versehen.

🚺 Tipp

Neben der Ermittlung der statisch erforderlichen Querkraftbewehrung liefert der Querkaftnachweis eine weitere wichtige Erkenntnis: Wo sind Durchstanznachweise erforderlich?



Bild 13. Punktuelle Querkraftbewehrung

Schritt 8: Durchstanznachweis

Der Durchstanznachweis ersetzt den Querkraftnachweis in Bereichen konzentrierter Lasteinwirkungen oder Auflagerreaktionen. Wenn also der Querkraftnachweis punktuell erforderliche Bewehrung ausweist, sind hier Durchstanznachweise zu führen. Der Durchstanznachweis liefert aufgrund des mehrachsigen Spannungszustandes eine höhere Tragfähigkeit des Betons, ohne dass zusätzliche Bewehrung erforderlich ist. Somit können Situationen entstehen, in denen keine Durchstanzbewehrung erforderlich ist, obwohl an dieser Stelle Querkraftbewehrung angezeigt wäre.

Die Nachweisführung gegen Durchstanzen sowie die eventuelle Ermittlung von notwendiger Durchstanzbewehrung wird durch das Modul "M350.de Durchstanznachweis für Platten" ermöglicht.

🚺 Tipp

Im Bereich der Durchstanznachweise wird die Ausgabe der Querkraftnachweise automatisch entfernt. Dies ist notwendig, um unnötige Mehrfachnachweise zu vermeiden.

Ist zum Erreichen des erforderlichen Durchstanzwiderstands Bewehrung erforderlich, kann diese durch Dübelleisten abgedeckt werden. Die Bemessung der erforderlichen Dübelleisten (Bild 12) kann direkt in MicroFe erfolgen und für die Bewehrungsplanung in ViCADo übernommen und verwendet werden.

Mehr zum Thema:

mbinar-Serie 2023, Teil 15: Detailnachweise im Tragwerk https://youtu.be/oZvqKDK111c





Bild 14. Untere Längsbewehrung der Unterzüge und Überzüge

Schritt 9: Bemessung von Unterzügen

Unterzüge und Überzüge sind wichtige und häufige Bestandteile von Deckensystemen. Sie versteifen das System und wirken als weitere Unterstützung der Decken. Durch die FE-Berechnung wirken die Unterzüge gemeinsam mit den Decken und die Bauteilbemessung erfolgt als Gesamtsystem für die Decke. In Bezug auf die Wirksamkeit eines Unterzuges ist eine entsprechende Querschnittsabmessung und somit Steifigkeit zu erreichen.

🚺 Тірр

Für eine grobe Abschätzung können die Vorbemessungsregeln des Querschnitts nach Schneider Bautabellen [2] von I/8 bis I/14 angewendet werden.

Im Anschluss an die Biege- und Querkraftbemessung (Bild 14) erfolgt die Überführung in eine konkrete Längs- und Bügelbewehrung wie bei den Platten durch die manuelle Bewehrungswahl. Die einzelnen Verlegungen können ebenfalls direkt in die Bewehrungsplanung in ViCADo überführt werden.



Bild 15. Lastwerte für die BauStatik aus "Lastmodell Balken"

Schritt 10: Bemessung mit Lastmodell Balken

Neben der Unterzugs- bzw. Überzugsbemessung im Zusammenspiel mit der Decke im MicroFe-Modell kann wahlweise auch eine Bemessung in der BauStatik durchgeführt werden. Dazu werden in MicroFe mit dem Lastmodell Balken [3] die auf den Unterzug wirkenden Lasten ermittelt und in die BauStatik übertragen. Die Ermittlung der Lasten erfolgt mithilfe eines modifizierten FE-Modells, das die Unterzüge und Überzüge als Linienlager simuliert und die Lagerreaktionen dieser Lager als Lasten für die Bemessung bereitstellt (Bild 15).

Diese Art der Bemessung liefert eine robuste Bemessungsund Nachweisführung, da auf diese Weise die maximale Steifigkeit angenommen wird und somit die Bemessung in der BauStatik mit der größtmöglichen Belastung geführt wird. Die Bemessung in BauStatik ist mit den Modulen "S340.de Stahlbeton-Durchlaufträger, veränderliche Querschnitte" und "S300.de Stahlbeton-Durchlaufträger" möglich.

🚺 Тірр

Das Lastmodell Balken und die separate Bemessung der BauStatik können ideal als umfangreiche Vorbemessung genutzt werden. Die Ergebnisse der BauStatik-Bemessung können in das MicroFe-Modell übertragen und als Grundlage für die Nachweise des Gesamtsystems verwendet werden.

Mehr zum Thema:

mbinar C|LB - MicroFe: Lastmodell Balken zur Ermittlung von Unterzugsbelastungen (Level C)

https://youtu.be/rjHU18cJNFQ





Bild 16. Mauerwerksnachweise für alle Wände in einem Geschoss

Arbeitsschritte für Lagernachweise

Für die Ermittlung der Wegfederwerte der lagernden Bauteile sind dort bereits alle nachweisrelevanten Informationen zum Querschnitt, zur Höhe sowie zum Material und zur Festigkeitsklasse bekannt. Es ist daher naheliegend, diese Bauteilinformationen mit den Lagerreaktionen für einen Nachweis zusammenzuführen.

Schritt 11: Komplettes Lastniveau

Im klassischen Hochbau ist es üblich, die belasteten Bauteile direkt über den tragenden Bauteilen anzuordnen. In diesem Fall werden die Decken nicht belastet und ein vollständiges Lastniveau ist für die Bemessung der Decke nicht erforderlich.

Wird jedoch eine in das Deckensystem integrierte Bemessung der tragenden Bauteile angestrebt, ist ein vollständiges Lastniveau zwingend erforderlich. Hier hilft das Modul "M161 Lastübergabe, Lastübernahme". Mit der Lastübernahme wird die komplette Last inkl. Laststellung komfortabel von einem Geschoss auf das nächste Geschoss übertragen. Somit ist die gesamte Last bekannt und die Grundlagen für die Nachweisführung sind vollständig.

Schritt 12: Mauerwerksnachweise

Die Nachweisführung der lagernden Bauteile aus Mauerwerk (Bild 16) gliedern sich in die zwei Module "M314.de Mauerwerk-Stütze (ebene Systeme)" für Stützen sowie "M360.de Mauerwerk-Wandnachweis (ebene Systeme)" für Wände. In den Eigenschaften der Wand- und Stützenlager aus Mauerwerk ist die Nachweisführung nach dem vereinfachten Verfahren zu aktivieren und einige wenige Parameter einzugeben.

🚹 Тірр

Für Mauerwerksnachweise nach dem vereinfachten Verfahren sind teilweise je Bauteil die angrenzende Deckenspannweite und die Auflagerung der Wand zwei-, dreioder vierseitig erforderlich. Hier könnten im ersten Schritt alle Wände einheitlich mit den ungünstigsten Werten belegt werden.

Mehr zum Thema:

mbinar #24-16 - mb WorkSuite: Mauerwerksnachweise in der mb WorkSuite (Level A) https://youtu.be/UtazYxUsIAs



Mehr zum Thema:

mbinar B|BL - MicroFe: Nachweis und Bemessung von Lager-Positionen (Level B) https://youtu.be/9WQbmwwgupQ



Schritt 13: Bemessung von Stahlbeton-Lagern

Auch die lagernden Wand- und Stützenbauteile aus Stahlbeton können, unter Berücksichtigung der Lagerreaktionen sowie der Bauteilabmessungen, mithilfe der Module "M313.de Stahlbeton-Stützenbemessung, Verfahren mit Nennkrümmung (ebene Systeme)" und "M361.de Stahlbeton-Wand (ebene Systeme)" bemessen und nachgewiesen werden.

Schritt 14: Stahl-Stützennachweise

Stützenlager aus Stahl-Profilen gehören ebenfalls zu typischen Ausführungsvarianten bei Deckensystemen. Das Modul "M315.de Stahl-Stützennachweis (ebene Systeme)" ermöglicht die Nachweisführung für modellierte Stahl-Stützen.

Arbeitsschritte für weitere Nachweise

Schritt 15: Balkonanschlusselemente

Für den Anschluss von Bauteilen wie Balkonplatten unter Berücksichtigung einer thermischen Trennung hat sich die Verwendung von tragenden Wärmedämmelementen etabliert. Die Firma Schöck bietet hierzu eine umfangreiche Produktpalette von Anschlusselementen an, die im Zuge einer Deckenberechnung direkt in MicroFe ohne doppelten Modellierungsaufwand bemessen werden können. Wie in Bild 17 zu erkennen ist, können umfangreiche und anspruchsvolle Balkongeometrien über die Bemessung im MicroFe-Modell behandelt werden.



Bild 17. Bemessung von Schöck-Isokorb im 2D-MicroFe-System der Decke

Mehr zum Thema:

mbinar #23-19 - MicroFe: Bemessung von Schöck Isokorb® Elementen (Level A) https://youtu.be/eJgqfDhPCzo



Schritt 16: Nachweis von Stahl-Unterzügen

Neben den Möglichkeiten der Stahlbetonunterzüge können auch Stahlträger in einem Deckensystem verwendet werden, um zusätzliche Auflager zu berücksichtigen. Dabei ist zu beachten, dass die Modellierung der Steifigkeiten eines Stahlträgers im Umfang des Basismoduls "M100.de MicroFe 2D Platte" enthalten ist. Für die Nachweisführung wird das Modul "M700.de EuroSta.stahl-Basismodul, ebenes System" benötigt.

Mehr zum Thema:

mbinar A|MF - Grundlagen Modellierung MicroFe 2D Platte (Level A) https://youtu.be/cEYok8Uxn2c



Fazit

MicroFe bietet mit einer Vielzahl von praxisgerechten und effizienten Leistungsmerkmalen einen einzigartigen und schnellen Workflow für die ganzheitliche Bearbeitung von Geschossdecken. Die Möglichkeiten beschränken sich dabei nicht nur auf die Bemessung und Nachweisführung, sondern erstrecken sich auch auf die angrenzenden tragenden Bauteile. Insbesondere die Möglichkeit, Mauerwerksnachweise für tragende Wände zu führen, hebt den Bearbeitungskomfort auf ein einzigartiges Niveau.

Dipl.-Ing. (FH) Markus Öhlenschläger mb AEC Software GmbH mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] Öhlenschläger, M.: FE-Berechnungen in der mb WorkSuite 2020. mb-news 1-2020
- [2] Schneider Bautabellen, 24. Auflage, Seite 4.120
- [3] Heuß, S.: FE-Balken mit der BauStatik nachweisen. mb-news 6-2021

Preise und Angebote

Pakete

MicroFe comfort 2024 MicroFe-Paket "Platten-, Scheibenund Faltwerksysteme"

PlaTo 2024 MicroFe-Paket "Platten"

Module M161 Lastübergabe, Lastübernahme

M313.de Stahlbeton-Stützenbemessung, Verfahren mit Nennkrümmung (ebene Systeme)

M314.de Mauerwerk-Stütze (ebene Systeme)

M315.de Stahl-Stützennachweis (ebene Systeme)

M350.de Durchstanznachweis für Platten

M352.de Verformungsnachweis Zustand II für Platten (ebene Systeme)

M360.de Mauerwerk-Wandnachweis (ebene Systeme)

M361.de Stahlbeton-Wand (ebene Systeme)

Weitere Informationen unter https://www.mbaec.de/produkte/MicroFe

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 2024

Betriebssysteme: Windows 10 (22H2, 64-Bit), Windows 11 (22H2, 64-Bit), Windows Server 2022 (21H2) mit Windows Terminalserver