

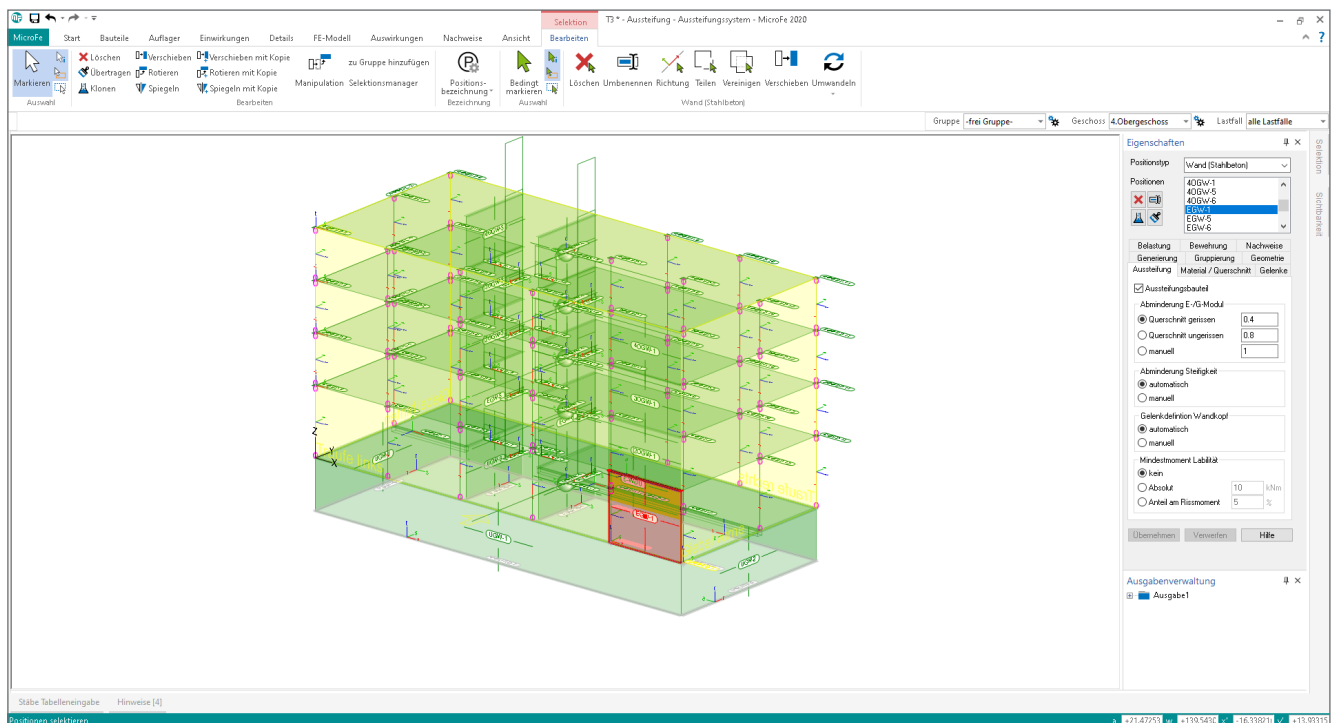
Dipl.-Ing. Sascha Heuß

Aussteifung unregelmäßiger Systeme

Leistungsbeschreibung des MicroFe-Moduls

M130.de MicroFe 3D Aussteifung – Massivbau-Aussteifungssysteme

Neben den Vertikallasten müssen auch die Horizontallasten aus Wind, Imperfektionen und Erdbeben durch Aussteifungsbauteilen sicher in den Baugrund abgetragen werden. Das Modul M130.de ermittelt Horizontallasten, überprüft die Labilität und verteilt die Horizontallasten auf die aussteifenden Bauteile. Die Bemessung erfolgt praxisgerecht mit den BauStatik-Modulen S420.de, S421.de, S442.de oder S443.de, die über den Detailnachweis an das Modul M130.de gekoppelt sind.



Vorteile der FE-Methode gegenüber der klassischen H-Lastverteilung

Wahl des Aussteifungssystems

Nach gängiger Lehrmeinung ist das Aussteifungssystem eines Tragwerks so zu wählen, dass folgende Kriterien möglichst gut erfüllt werden:

- Durchgehende Aussteifungselemente von der Gründung bis zum Dach
- Symmetrische Anordnung der Aussteifungselemente im Grundriss
- Schubmittelpunkt und Gebäudeschwerpunkt sollten annähernd übereinstimmen
- alle Decken sind in einer Ebene angeordnet
- alle Aussteifungselemente verfügen über die gleiche Höhe

In der Praxis werden diese aus konstruktiver Sicht idealen Lösungen aufgrund architektonischer Vorgaben nur selten erreicht. Es ist eine klare Tendenz zu immer komplexeren Tragstrukturen zu erkennen, die weitergehende Untersuchungen nach sich ziehen.

Typische Beispiele hierfür sind Erdgeschosse mit Ladenlokalen, Staffelgeschosse oder Tiefgaragen mit von den Regelgeschossen abweichenden Grundrissen oder der Materialwechsel von Mauerwerkswänden in den Obergeschossen auf Stahlbeton-Wände in den unteren Geschossen.

Grenzen der klassischen Lastverteilung auf Grundlage der Biegesteifigkeiten

Grundgedanke des klassischen Berechnungsverfahrens ist die Rückführung des Aussteifungssystems auf eine Reihe gekoppelter eingespannter Kragstützen mit konstanter Steifigkeit über alle Geschosse.

Die Aufteilung der Horizontallasten erfolgt dabei üblicherweise auf Grundlage der Biegesteifigkeiten der Aussteifungsbauteile. Es wird ein Translations- und ein Rotationsanteil der H-Last je Scheibe bestimmt. Der resultierende Lastanteil ergibt sich aus der Summe der beiden vorgenannten Anteile.

Das Verfahren ist beispielsweise in [1], Kapitel Stahlbetonbau beschrieben. Dabei wird von einer festen Einspannung der Aussteifungselemente und einer Vernachlässigung der Wölbsteifigkeit der Einzelquerschnitte ausgegangen, d.h. es treten keine Normalspannungen infolge Wölbkrafttorsion in den Querschnitten der Aussteifungsbauteile auf.

Die Annahme von Kragstützen ist dann zutreffend, wenn die Querschnittsabmessungen (Grundriss) im Verhältnis zur Stablänge (Gebäudehöhe) relativ klein sind. D.h. je gedrungener die Konstruktion ist, desto stärker stellt sich ein Schubtragverhalten ein, welches zu abweichenden Lastanteilen in den Aussteifungsbauteilen führen würde.

Querschnittssprünge und Systemwechsel

Das o.g. Verfahren wurde im Modul S811.de abgebildet und um die Möglichkeit erweitert, näherungsweise Querschnittssprünge in den aussteifenden Wänden zu erfassen. Die Näherung besteht hier darin, dass geschossweise von einer Volleinspannung der Aussteifungselemente ausgegangen wird. In der Realität hängt jedoch der Lastanteil eines jeden Aussteifungselementes auch von seiner Lagerung in den darunter befindlichen Geschossen ab. D.h. je mehr Querschnittssprünge vorhanden sind und je größer der Systemwechsel von einem auf das nächste Geschoss ist, desto unzutreffender sind die Ergebnisse einer solchen Lastverteilung.

Split-Level-Bauweise und Aussteifungsbauteile mit unterschiedlichen Höhen

Als weitere Einschränkung des klassischen Verfahrens ist die Berechnung von Konstruktionen mit in unterschiedlichen Höhen angreifenden Deckenscheiben (Split-Level-Bauweise) oder von Tragwerken mit unterschiedlich hohen Aussteifungselementen zu nennen. Diese Bauweisen sind mit der Lastverteilung auf Grundlage der Biegesteifigkeiten nicht nachweisbar, da die Höhen der einzelnen Aussteifungselemente bei der Lastverteilung nicht berücksichtigt werden. Stellt man sich gedanklich eine Lastaufteilung auf zwei Wänden mit gleichem Querschnitt aber unterschiedlicher Höhe vor, so wird man der niedrigeren Wand einen größeren Lastanteil zuweisen, da diese wesentlich steifer ist. Die Aufteilung auf Grundlage der Biegesteifigkeiten liefert jedoch gleiche Lastanteile für beide Wände.

Vorteile einer Finite-Elemente-Berechnung

Die oben genannten Vereinfachungen gelten bei einer Berechnung mit dem Modul M130.de nicht. D.h. es gibt keine Einschränkungen bzgl. der Wahl des Aussteifungssystems.

Das tatsächliche statische System wird wirklichkeitsgetreu erfasst. Die Schnittgrößen werden am Gesamtsystem berechnet und somit auch der Einfluss der Steifigkeitsverteilung in Stablängsrichtung über die Geschosse hinweg korrekt erfasst.

Die Entscheidung, ob das Tragwerk vorwiegend auf Biegung oder Schub die Lasten abträgt, muss nicht im Vorfeld bei der Wahl der Berechnungsmethode getroffen werden, sondern ist Ergebnis der Berechnung und spielt somit in der praktischen Anwendung des Moduls keine Rolle.

Bauweise	S811.de	M130.de
Regelmäßiger Grundriss über alle Geschosse	✓	✓
Unterschiedliche Steifigkeiten je Geschoss	○	✓
Lagerung auf Stützen	○	✓
Materialwechsel in Aussteifungswänden	○	✓
Lagerung auf kreuzenden Wänden	✗	✓
Lagerung auf Unterzügen	✗	✓
Split-Level-Bauweise	✗	✓
Unterschiedliche Höhe der Wände	✗	✓

- ✓ Berechnung möglich
- Berechnung mit Einschränkungen möglich
- ✗ Berechnung nicht möglich

Bild 1. Übersicht über die Berechnungsmethoden

Ermittlung der Horizontallasten

Windlasten

Für die Windlastermittlung bietet sich das Modul M031.de Lastmodell Gebäudehülle an. Hiermit werden die Windlasten abhängig von der Windlastzone, des Gebäudestandortes und der Dachform für ein Gesamtgebäude ermittelt und auf die Bauteile verteilt. Bei einer Aussteifungsberechnung im Massivbau bietet sich in der Regel die automatische Lastverteilung auf die Deckenränder an. Alternativ können die Windlasten auch manuell an beliebiger Stelle im Tragwerk vorgegeben werden.

Erdbebenbelastungen

Mit dem Modul M513 Erdbebenuntersuchungen zu MicroFe und EuroSta können seismische Untersuchungen nach dem multimodalen Antwortspektrenverfahren durchgeführt werden. Die daraus resultierenden Schnittgrößen werden im Modul M130.de berücksichtigt und werden sowohl im Nachweis der Zugspannungen als auch bei der Ermittlung der Wandschnittgrößen zur Übernahme mit angeboten.

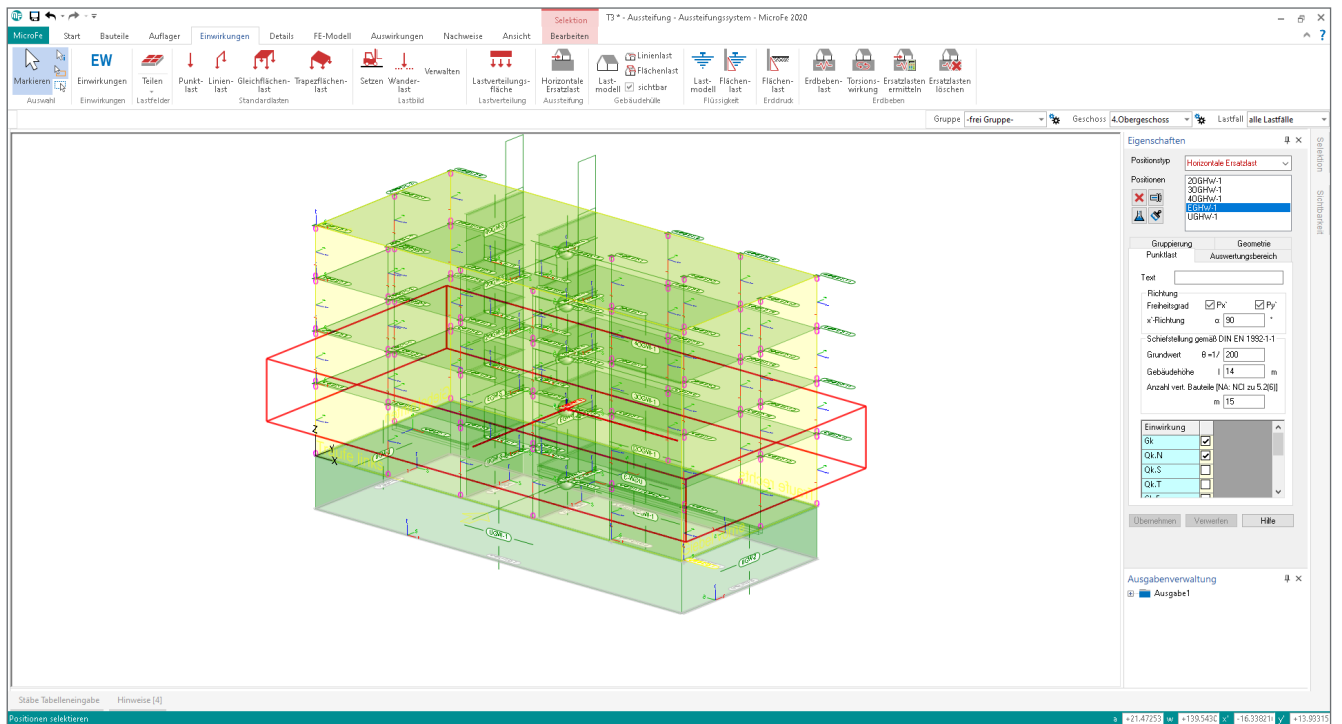


Bild 2. Eingabe horizontale Ersatzlasten

Horizontale Ersatzlasten/Imperfektionen

Bei einer Aussteifungsberechnung werden die Imperfektionen in der Regel als horizontale Ersatzlasten in Deckenebene angenommen. Hierfür wird im Modul M130.de ein eigener Lasttyp angeboten, der die Ersatzlasten aus den im Tragwerk eingetragenen Vertikallasten automatisch ermittelt.

Hierbei werden die Vertikallasten in einem definierten Auswertungsbereich erfasst. Mit den entsprechenden Vorgaben zur Schiefstellung und deren Abminderung über die Anzahl der Bauteile und der Geschosshöhe werden daraus die horizontalen Ersatzlasten automatisch gemäß DIN EN 1992-1-1, 5.2(7) [2] ermittelt.

Bei allen weiteren Untersuchungen werden diese Lasten als in ungünstiger Richtung wirkend angenommen.

Modellierung

Aussteifend und nicht aussteifend

Die aussteifende Wirkung von Wänden beruht vorwiegend auf deren Scheibentragwirkung. D.h. in Plattenrichtung leisten sie nur einen geringen Beitrag zur Steifigkeit des Gesamtsystems.

Weiterhin sind kurze Wände oder Wände mit verhältnismäßig kleinem E-Modul (Mauerwerk im Verhältnis zu Stahlbeton) nur wenig in Bezug auf die Aussteifung wirksam.

Vorlagen und eigene Einstellungen

Um diesen Umständen gerecht zu werden, stehen im Modul M130.de Vorlagen für aussteifende und nicht aussteifende Wände und Stützen zur Verfügung. Die Wahl der Gelenke und Steifigkeiten ist automatisch so festgelegt, dass das oben beschriebene Tragverhalten erreicht wird.

Gegenüber einer monolithischen Modellierung ergeben sich folgende Vorteile:

- klarer Lastfluss hin zu den als aussteifend festgelegten Bauteilen
- vorwiegender Lastabtrag über die Scheibentragwirkung der Aussteifungselemente

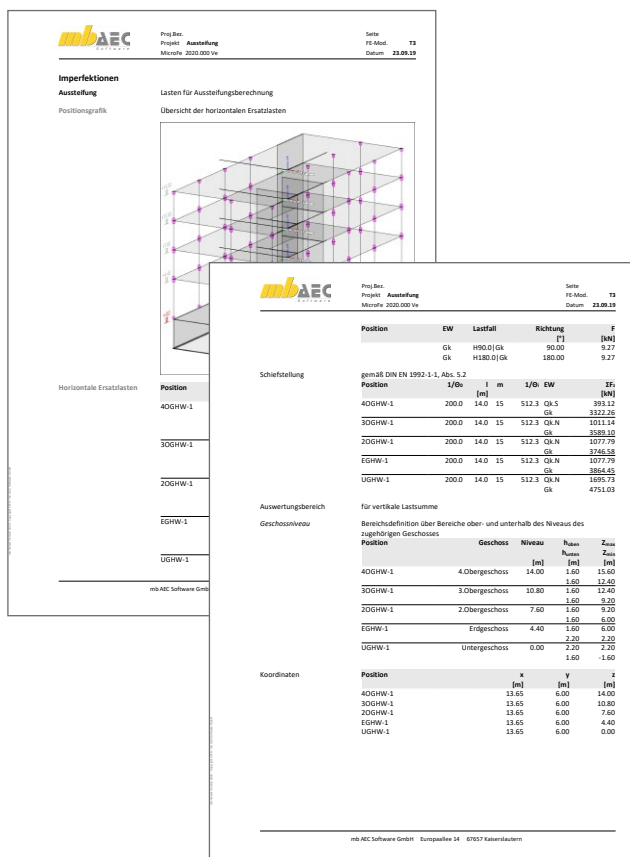


Bild 3. Dokumentation der horizontalen Ersatzlasten

Die Steuerung der wesentlichen Wandeigenschaften erfolgt im Register „Aussteifung“. Die Definition einer Wand oder Stütze als Aussteifungsbauteil zieht folgende Auswirkungen nach sich:

- Die Biegesteifigkeit und Drillsteifigkeit der Wand werden auf 10% ihres rechnerischen Wertes abgemindert.
- Bei Stahlbetonbauteilen folgt die Abfrage, ob die Wand gem. [2], Anhang H als gerissen oder ungerissen zu berücksichtigen ist (siehe auch Kapitel „Labilitätsuntersuchung“).
- Die Wand wird in der Labilitätsuntersuchung und im Nachweis der Zugspannungen berücksichtigt, sofern sie als ungerissen definiert wurde.

Wird ein Bauteil nicht als Aussteifungsbauteil definiert, stellt sich folgendes Verhalten ein:

- Biege-, Drill- und Schubsteifigkeit werden auf 10% ihres rechnerischen Wertes abgemindert.
- Wände erhalten am Kopf ein Gelenk, das keine Kräfte in Längsrichtung überträgt.
- Die Bauteile werden bei der Labilitätsuntersuchung nicht berücksichtigt.

Soll von diesen automatisch gesetzten Eigenschaften abgewichen werden, kann durch Wahl manueller Steifigkeitsabminderungen oder manueller Gelenkdefinitionen in die Modellierung eingegriffen werden. Solange die Option „automatisch“ gewählt ist, sind die entsprechenden Eigenschaften in den Kapiteln „Gelenke“ und „Material/Querschnitt“ gesperrt.

Somit steht für Standardfälle eine einfache Definition mit „einem Klick“ und für Sonderfälle eine umfassende Steuerungsmöglichkeit der mechanischen Eigenschaften zur Verfügung.

Bild 4. Kapitel Aussteifung

Labilitätsuntersuchung

Exkurs: Bedeutung der Labilitätszahl

Zu Beginn einer Aussteifungsberechnung steht üblicherweise die Ermittlung der Labilitätszahlen für Translation und Rotation nach [2], 5.8.3.3. Dabei handelt es sich um ein Näherungsverfahren, dass die Steifigkeit eines Tragwerks dahingehend beurteilt, ob eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung zulässig ist oder ob nach Theorie II. Ordnung gerechnet werden muss. In der Regel wird man bestrebt sein, eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung durchzuführen.

Die Ermittlung der Labilitätszahl ist an eine Reihe von Randbedingungen gebunden und kann insbesondere für die Rotation nicht mehr durchgeführt werden, wenn geschossweise unterschiedliche Aussteifungselemente vorliegen. Die Gleichungen DIN EN 1992-1-1, 5.18 [2] und DIN EN 1992-1-1/NA, NA.5.18.1 [3] sind für einen Stab mit konstanten Steifigkeiten über die gesamte Stablänge aufgestellt. Liegen abweichende Randbedingungen vor, ist man gezwungen mit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen eine Abschätzung der Steifigkeiten vorzunehmen. Eine ausführliche Herleitung der Labilitätszahl sowie deren Umsetzung im Aussteifungsmodul S811.de können [5] entnommen werden.

Für Mauerwerkskonstruktionen steht mit DIN EN 1996-1-1, Gl. 5.1 [4] ein Kriterium für die Abschätzung der Translationssteifigkeit zur Verfügung. Weicht die Konstruktion von den in [4] 5.4 angegebenen Randbedingungen ab, kann Gl. 5.1 nicht zur Beurteilung der Gebäudeaussteifung herangezogen werden.

Für Mischsysteme gibt es normativ keine eindeutige Regelung. Weder die Gleichungen aus Eurocode 2 [2] noch die Gleichung aus Eurocode 6 [4] kann für solche Systeme als zutreffend erachtet werden.

Nachweis im Modul M130.de

Sinn und Zweck der Labilitätsuntersuchung ist es, nachzuweisen, dass die Horizontallastverteilung nach Theorie I. Ordnung durchgeführt werden darf. D.h. die Zuwächse nach Theorie II. Ordnung infolge Vertikallasten sind in einer unkritischen Größenordnung. In DIN EN 1992-1-1, 5.8.2(6) [2] wird hierfür folgendes Kriterium angegeben:

Die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung dürfen vernachlässigt werden, wenn sie weniger als 10 % der entsprechenden Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung betragen.

Im Modul M130.de werden als bemessungsmaßgebende Auswirkungen die Momente am Wand- und Stützenfuß betrachtet. Es erfolgt ein Vergleich der Einspannmomente nach Theorie I. Ordnung und der Einspannmomente nach Theorie II. Ordnung. Ist der Zuwachs kleiner als 10 % wird der Nachweis als erfüllt betrachtet. Die Dokumentation erfolgt tabellarisch als Gegenüberstellung aller Momente nach Theorie I. Ordnung und nach Theorie II. Ordnung. Eine schnelle Übersicht erhält man mit der grafischen Ausgabe. Hier werden die Aussteifungsbauteile, deren Schnittgrößenzuwachs größer 10 % ist, rot gekennzeichnet.

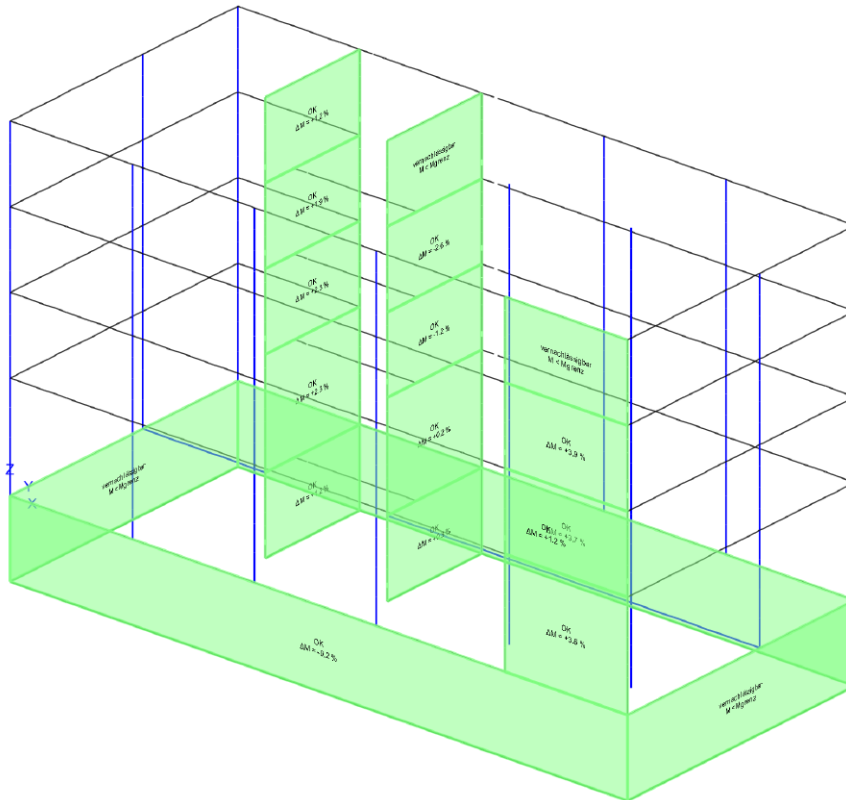


Bild 5. Grafische Ausgabe der Labilitätsuntersuchung

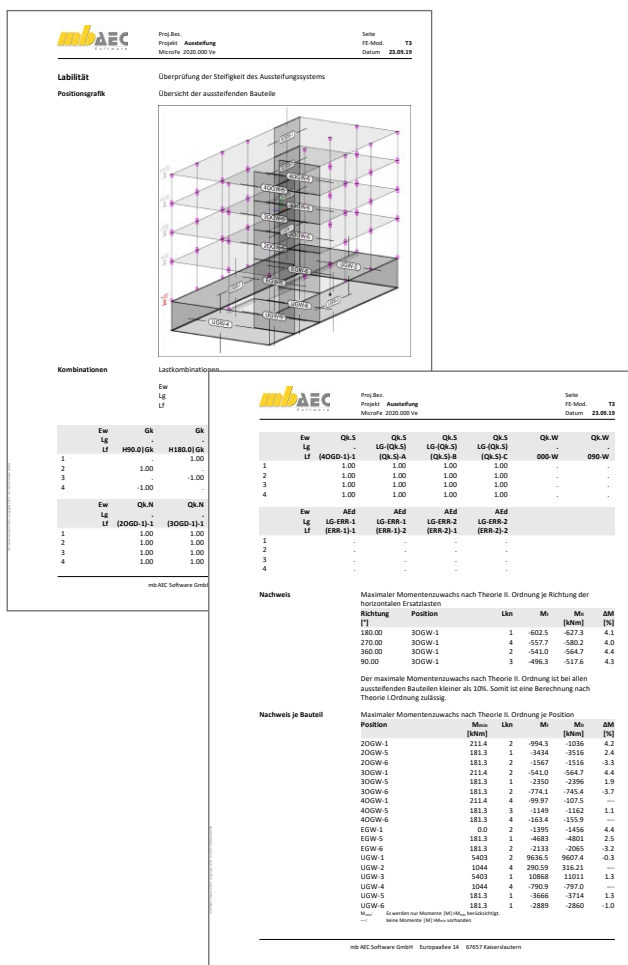


Bild 6. Dokumentation der Ergebnisse der Labilitätsuntersuchung

Mindestmoment Labilität

Bei dem Vergleich der Schnittgrößen je Bauteil kann es vorkommen, dass es bei einzelnen Bauteilen zu einem großen relativen Zuwachs in den Schnittgrößen kommt. Dies ist meist dann der Fall, wenn diese Bauteile im Vergleich zu den anderen an der Aussteifung beteiligten Bauteilen gering belastet sind, d.h. der absolute Zuwachs ist vergleichsweise klein und für die Beurteilung des Gesamttragwerkes unbedeutend. Um solche Wände aus der Labilitätsuntersuchung zu eliminieren, kann ein unterer Grenzwert für die Momentenbelastung festgelegt werden. Liegt die Belastung unter diesem Grenzwert, bleibt das Aussteifungselement von der Untersuchung ausgeschlossen.

Nachweis der Zugspannungen

Berücksichtigung Zustand II

Im Regelfall ist bei Stahlbetonbauteilen von gerissenen Querschnitten im Zustand II auszugehen. Gemäß DIN EN 1992-1-1, Anhang H, Gl. H.3 [2] kann dies berücksichtigt werden, indem der E-Modul mit dem Faktor 0,4 multipliziert wird. Falls nachgewiesen werden kann, dass der Querschnitt im Grenzzustand der Tragfähigkeit ungerissen bleibt, darf der Faktor auf 0,8 erhöht werden. Ein Querschnitt darf gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 5.8.3.3 Anmerkung 3 [3] als ungerissen angenommen werden, wenn die Betonzugspannungen den Wert f_{ctm} nicht überschreiten.

Im Modul M130.de werden demzufolge für alle Wände, die als ungerissen definiert werden, Spannungsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt und somit die Zulässigkeit der Annahme nachgewiesen.

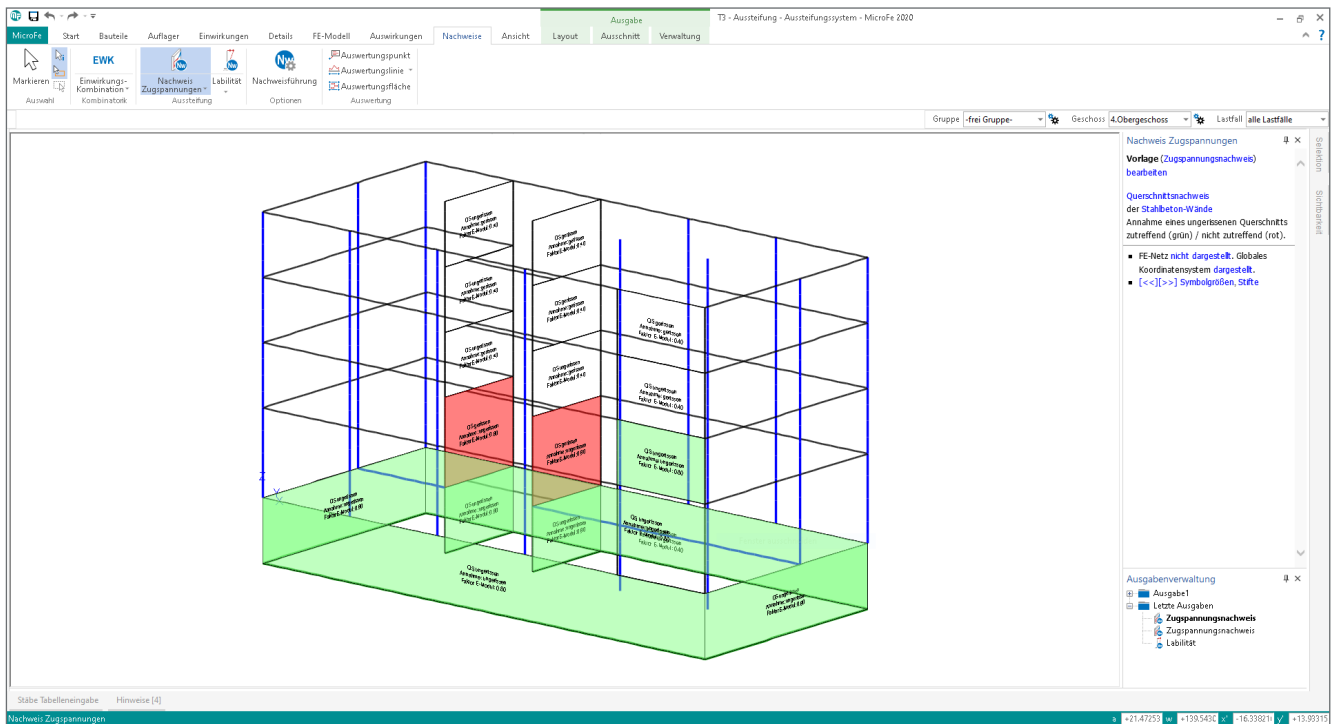


Bild 7. Übersicht über Berechnungsannahmen

Wände, ungerissen	Annahme, dass Querschnitt im GZT ungerissen ist				
	Position	Lkn	$\sigma_{1,ed}$ [N/mm ²]	f_{ctm} [N/mm ²]	η [%]
20GW-1	4	1.224	2.900	42.2	OK
EGW-5	1	6.641	2.900	229.0	n.OK
EGW-6	2	8.338	2.900	287.5	n.OK
UGW-1	5	1.453	2.900	50.1	OK
UGW-2	5	0.935	2.900	32.2	OK
UGW-3	1	1.919	2.900	66.2	OK
UGW-4	6	0.653	2.900	22.5	OK
UGW-5	1	1.777	2.900	61.3	OK
UGW-6	3	0.969	2.900	33.4	OK

n.OK: Annahme eines ungerissenen Querschnitts trifft nicht zu

Bild 8. Nachweis der Betonzugspannungen

Zur schnellen Überprüfung und Dokumentation der diesbezüglichen Annahmen kann die grafische Ausgabe herangezogen werden.

Die Grafik ist folgendermaßen zu interpretieren:

- Alle als gerissen angenommenen Querschnitte werden weiß dargestellt.
- Alle als ungerissen angenommenen Querschnitte werden farbig dargestellt.
- Ist die Annahme eines ungerissenen Querschnitts zutreffend, wird die Wand grün dargestellt.
- Ist die Annahme nicht zutreffend, wird der Querschnitt rot dargestellt.

Wandkopf- und -fußkräfte

Beanspruchungen aus Horizontallasten

Ziel der Berechnungen mit dem Modul M130.de ist die Verteilung der Horizontallasten auf die aussteifenden Bauteile. Dementsprechend werden für die Ermittlung der Wandkopfkräfte und Wandfußkräfte, die zur Weiterleitung bereitgestellt werden, nur Schnittgrößen bereitgestellt, die aus Horizontalbelastungen resultieren.

Integration der Wandspannungen

Die Spannungen an den Wandköpfen und -füßen werden als resultierende Kräfte und Momente zusammengefasst dargestellt. In der grafischen Ausgabe wird dabei zwischen Scheiben- und Plattenbeanspruchungen unterschieden, wobei jeweils drei Schnittgrößen zusammengefasst dargestellt werden.

Die Ausgabe Scheibenbeanspruchung beinhaltet dabei die Normalkraft, die Querkraft und das Moment in Scheibenrichtung. Die Ausgabe Plattenbeanspruchung beinhaltet entsprechend das Moment um die schwache Wandachse, das Torsionsmoment und die Querkraft in Plattenrichtung.

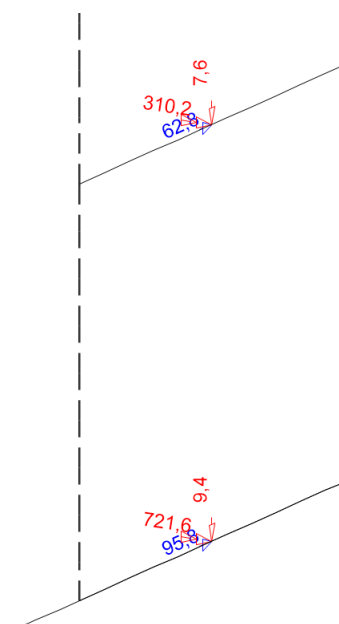


Bild 9. Beispielausgabe Scheibenbeanspruchung am Wandfuß

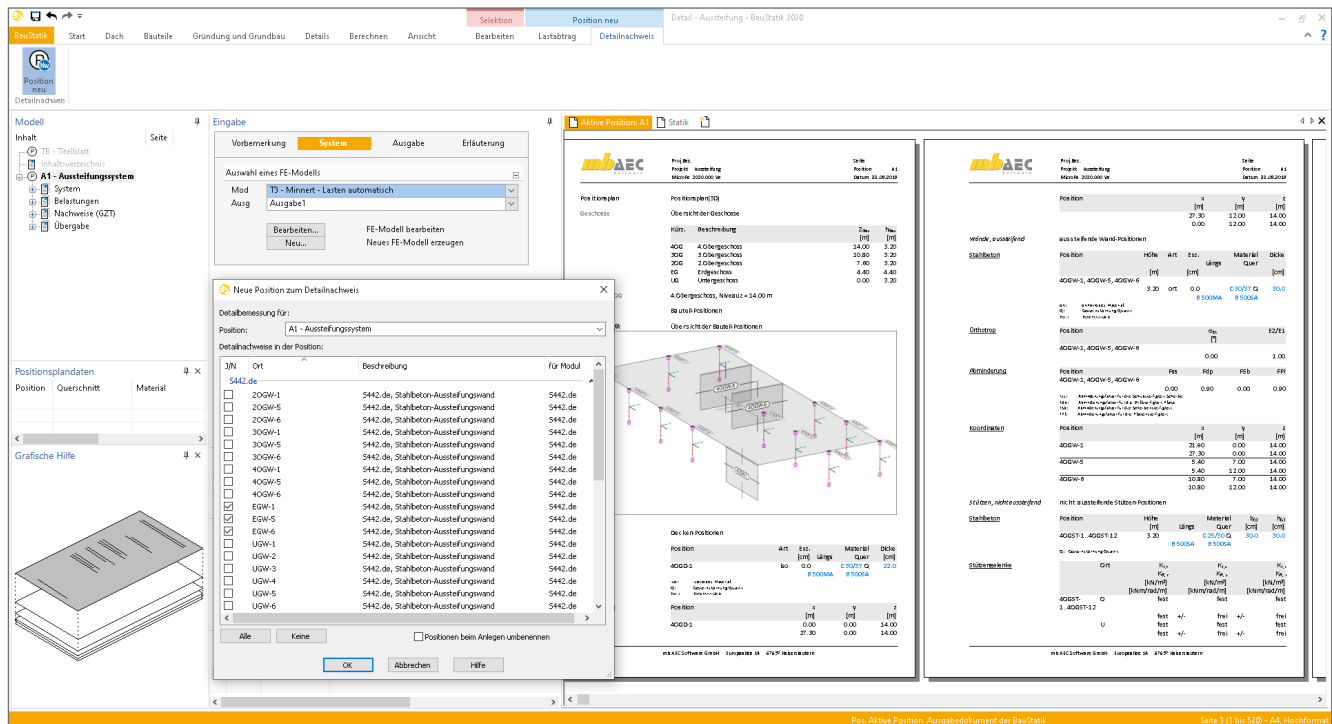


Bild 10. Wandposition zum Detailnachweis

Detailnachweis

Bemessung mit S442.de und S443.de

Für die Bemessung der Stahlbeton-Wände sind die BauStatik-Module S442.de und S443.de vorgesehen. Dort erfolgt eine praxisgerechte Bemessung unter Berücksichtigung der Zugkeildeckung auf der Zugseite und der Stabilität auf der Druckseite. Über Einbindung des Modells mit S019 in die BauStatik können die Wände als Positionen zum Detailnachweis mit geringem Eingabeaufwand nachgewiesen werden. Aus M130.de werden Wandabmessungen, Materialien und Beanspruchungen infolge Horizontallasten übernommen. Die dazugehörigen Beanspruchungen infolge Vertikallasten können direkt aus einer Plattenbemessung per Lastabtrag ergänzt werden. Übergeben werden die Scheiben- und Plattenbeanspruchungen am Wandfuß, da dies die Stelle der Nachweisführung in den Modulen ist.

Bemessung mit S420.de und S421.de

Analog zu den Stahlbeton-Modulen können auch Mauerwerkswände zur Bemessung über den Detailnachweis angebunden werden. Auch hier erfolgt die Übergabe der Wandfußkräfte, die vereinfachend als über die gesamte Wandhöhe konstant angenommen werden.

Dipl.-Ing. Sascha Heuß
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] Albert, A.: Schneider Bautabellen für Ingenieure, 23. Auflage, Bundesanzeiger Verlag, Köln 2018.
- [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] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, Eurocode 2: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [4] DIN EN 1996-1-1:2010-12, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.
- [5] Heuß, S.: Aussteifungsberechnung optimiert. mb-news 06/2018

Preise und Angebote

M130.de MicroFe 3D Aussteifung – Massivbau-Aussteifungssysteme **1.999,- EUR**
Leistungsbeschreibung siehe www.mbaec.de

MicroFe comfort **3.999,- EUR**
MicroFe-Paket „Platten-, Scheiben- und Faltwerksysteme“
beinhaltet: M100.de, M110.de, M120.de und M161

PlaTo **1.499,- EUR**
MicroFe-Paket „Platten“
beinhaltet: M100.de

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgekosten-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Oktober 2019

Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste: www.mbaec.de