

MicroFe und die DIN 1045-1 / DIN 1055-100

Welche detektivischen Fähigkeiten die mb-Software verleiht



DIN 1045-1, DIN 1055-100...?
Ich kombiniere... !

Es gibt keine Bemessung nach der neuen DIN 1045-1 ohne Berücksichtigung der Kombinatorik nach DIN 1055-100. Nachdem die Programmanwendung der neuen DIN 1045-1 innerhalb MicroFe bereits beschrieben wurde¹, soll dieser Artikel den Fokus auf die dazugehörige Kombinatorik richten.

Die Formeln (14) und (15) in DIN 1055-100 legen fest, wie Einwirkungen miteinander kombiniert werden müssen. Dabei werden die Einwirkungen unterschieden in Leiteinwirkungen und Begleiteinwirkungen². Letztere werden über einen Kombinationsbeiwert PSI abgemindert, dessen Wert aus Tabelle „DIN 1055-100 A.2. Beiwerte

1 „Was ist neu in ING+ 6.0“ ab Seite 23, entsprechender Abschnitt unter http://www.mbaec.de/fem/infos/microfe_7.3.pdf
2 Im Folgenden werden diejenigen Einwirkungen Leiteinwirkung genannt, die nicht durch einen Kombinationsbeiwert PSI abgemindert werden, Begleiteinwirkungen werden mit PSI abgemindert.

PSI“ ersichtlich ist. Dabei variieren die PSI-Werte im Intervall [0.0, 1.0]³. Für die Bildung der maßgebenden Bemessungsschnittgrößen muss die richtige Leiteinwirkung innerhalb der veränderlichen Einwirkungen bestimmt werden. Dazu wird aus allen Kombinationen diejenige maßgebend, die als Summe die ungünstigsten Bemessungsschnittgrößen liefert. Je nach Nachweis oder Bemessung wird ein anderer Kombinationstyp verlangt und durch die unterschiedlichen Kombinationsbeiwerte PSI werden verschiedene Einwirkungen zu Leiteinwirkungen.

Diese Aufgabe ist bereits bei wenigen Einwirkungen umfangreich und benötigt einen ständigen Zugriff auf die charakteristischen Schnittgrößen aus den einzelnen Einwirkungen.

In MicroFe ist es gelungen, den Ingenieur bei dieser Aufgabe auf komfortable Weise zu unterstützen. Im Vergleich zu den Bearbeitungsschritten, die zur Bemessung nach der bisherigen Norm DIN 1045(07.88) erforderlich waren, kommt für den Bearbeiter lediglich die Zuordnung der Lastfälle zu Einwirkungen und die Typisierung der Einwirkung hinzu.

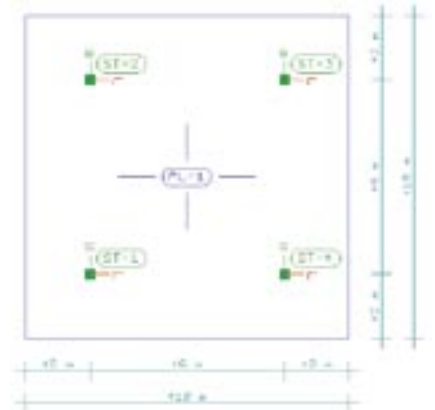
Im Folgenden wird die Implementierung der neuen Norm in MicroFe gezeigt und Effekte in der Einwirkungskombinatorik anhand der Ergebnisse von sieben verschiedenen Modellen erörtert:

PLATTE 1

Untersucht wird eine quadratische Platte von 10 m Länge und 20 cm Dicke. Die Platte ruht auf vier Stützen, jeweils 2 m vom Rand nach innen gesetzt, und ist belastet mit dem Ei-

3 Man beachte, dass auch die PSI-Faktoren 0.0 und 1.0 als Kombinationsbeiwert vertreten sind.

gengewicht und einer Verkehrslast. Das Eigengewicht wird in LF1, die Verkehrslast in LF2 definiert.



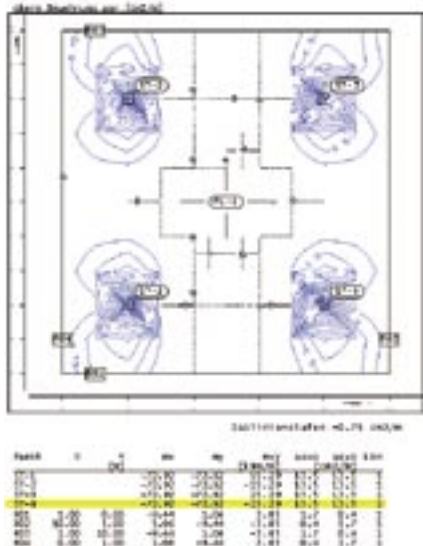
Aus LF1 wird die erste Einwirkung mit Typ „ständige Einwirkung“ gebildet. Eine zweite Einwirkung ergibt sich aus LF2 mit Typ „Kategorie A,B Wohnräume“.



Diese Definition stellt den gesamten Mehraufwand zur Bemessung nach der neuen DIN 1045(07.01) im Vergleich zur alten DIN 1045(07.88) dar.

Die statische Berechnung liefert charakteristische Schnittgrößen pro Lastfall, und anhand der definierten Einwirkungen bildet MicroFe automatisch die maßgebenden Ein-

wirkungskombinationen, samt allen Beiwerten zur Berechnung der Bemessungsschnittgrößen.



Da ein symmetrisches System mit symmetrischer Belastung vorliegt, bestätigt die Kontrolle der symmetrischen Bemessungsschnittgrößen über den Stützen (-72.92 kNm/m) mit entsprechenden Bemessungswerten (13.5 cm²/m) auf den ersten Blick die Richtigkeit des Ergebnisses.

Trotzdem liefert das Ergebnis nicht die maßgebenden Bemessungsschnittgrößen! – Warum?

Die gesamte Platte wurde durch eine Verkehrslast, die in einem Lastfall wirkt, belastet. Dadurch wird die Verkehrslast immer vollständig angesetzt oder vollständig nicht in Ansatz gebracht. Es ist also keine feldweise Belastung möglich.

PLATTE 2

Für eine zweite Berechnung wird die Verkehrslast mit zwei Mausklicks über den Stützen kreuzweise in neun Lastfelder geteilt. MicroFe generiert dadurch die Verkehrslast pro Lastfeld in einen eigenen Lastfall. Die Platte ist jetzt durch LF1 = ständige Last und LF2 - LF10 = Verkehrslast belastet. Einwirkung 1, Typ „ständige Einwirkung“ besteht aus LF1 und Einwir-

kung 2, Typ „Kategorie A,B Wohnräume“ aus den Lastfällen 2 bis 10.



Das Ergebnis ist erwartungsgemäß wieder symmetrisch, weist aber im Vergleich zum ersten System höhere Bemessungsschnittgrößen von -75.64 kNm/m und einen höheren Bemessungswert von 14.2 cm²/m aus.

Stütze	M	V
ST-1	-75.64	14.2
ST-2	-75.64	14.2
ST-3	-75.64	14.2
ST-4	-75.64	14.2

Zur Kontrolle der Bemessungsschnittgrößen wird in der letzten Spalte die Nummer der maßgebenden Kombination (Lkn) dokumentiert. Für jede Stütze ist eine andere Kombination maßgebend, für Stütze ST-4 wurde demnach das Stützmoment mit der Lastkombination 8 ermittelt.

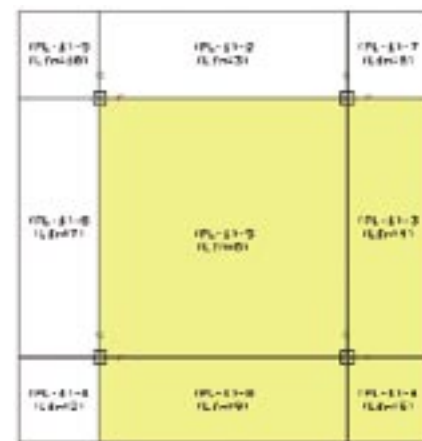
In der Kombinationstabelle wird die Beteiligung der einzelnen Lastfälle an den Bemessungsschnittgrößen nachvollziehbar.

Die ständige Last (Einwirkung 1, Lastfall 1) weist hier immer den Faktor 1.35 aus: das Eigengewicht wirkt demnach immer ungünstig.

Stütze	M	V	Lkn
ST-1	-75.64	14.2	1
ST-2	-75.64	14.2	2
ST-3	-75.64	14.2	3
ST-4	-75.64	14.2	8

Die Verkehrslast (Einwirkung 2, bestehend aus neun Lastfeldern in den Lastfällen 2-10) wurde nur teilweise ungünstig angesetzt (in Kombination 8 aus LF4 + LF5 + LF6 + LF9, jeweils mit Faktor 1.5). Die Lastfelder mit entlastender Wirkung auf die Bemessungsschnittgrößen wurden mit den Faktor 0.0 ausgeschaltet.

Eine Markierung der ungünstig wirkenden Lastfelder (mit den Lastfällen LF4 + LF5 + LF6 + LF9) ergibt das erwartete Lastbild für das Stützmoment über ST-4.



Analog dazu ergibt sich für jede Bemessungsstelle in der Platte potentiell ein jeweils eigenes Lastbild (Einwirkungskombination). Dabei wird an jeder Bemessungsstelle für die beiden Bewehrungsrichtungen und für die obere und untere Bewehrung getrennt nach den maßgebenden Kombinationen gesucht⁴.

Die Auswahl der maßgebenden Lastfelder innerhalb der Einwirkung aus Verkehrslast bildet MicroFe automatisch. Der Ingenieur steuert dies durch sinnvolle Einteilung der Verkehrslast in Lastfelder.

In diesem Beispiel spielt der Kombinationsbeiwert PSI noch keine Rolle, weil nur eine veränderliche Einwirkung vorhanden ist.

⁴ In der hier gezeigten Ausgabe werden nur die extremalen Bemessungsergebnisse mit den dazugehörigen Kombinationen dokumentiert.

PLATTE 3

Es ist zu erwarten, dass sich das nach Einführung einer weiteren Einwirkung ändert. Dazu wird eine Einzellast in Lastfall 2 mit 50 kN am Plattenrand rechts neben ST-4 aufgebracht. Die Einteilung der Lastfelder bleibt unverändert. MicroFe wird die Lastfelder mit den nun noch freien Lastfallnummern 3-11 belegen⁵.



Ein Blick in die Lastkombinationstabelle der Bemessungsausgabe zeigt, wie durch die Ergänzung um eine weitere veränderliche Einwirkung die Anzahl der maßgebenden Einwirkungskombinationen ansteigt.

Ebenso lässt sich jetzt die Auswirkung des Kombinationsbeiwertes zwischen den beiden veränderlichen Einwirkungen (Verkehrslast und Einzellast) erkennen.

Je nachdem welche der beiden Einwirkungen die Leiteinwirkung ist, wird der Lastfaktor der Begleiteinwirkung als Produkt des Teilsicherheitsbeiwertes und Kombinationsbeiwertes $1.5 * 0.7 = 1.05$ dokumentiert. Die Tabelle weist jetzt auch für die ständige Einwirkung (LF1) die Faktoren 1.0 oder 1.35 aus, je nachdem, ob das Eigengewicht günstig bzw. ungünstig wirkt.

Für die veränderlichen Einwirkungen 2 und 3 ergeben sich drei unterschiedliche Faktoren: günstig wirkende Einwirkung (0.0), Begleiteinwirkung (1.05) oder Leiteinwirkung (1.5).

PLATTE 4

Eingangs wurde auf das Intervall [0.0, 1.0] der Kombinationsbeiwerte hingewiesen.

Welche Auswirkung der jeweilige Einwirkungstyp auf die Bemessungsschnittgrößen hat, soll folgende Veränderung des Beispiels zeigen. Dazu wird die Verkehrslast dem Einwirkungstyp „Kategorie E, Lageräume“ zugewiesen.

Der Kombinationsbeiwert für diesen Einwirkungstyp ergibt sich zu 1.0. Für diese Einwirkung wird also keine Abminderung erfolgen. Ein Blick in die Bemessungsausgabe lässt diesen Effekt sofort erkennen.

Die Faktoren der Verkehrslast nehmen jetzt nur noch die Werte 0.0 (günstig) und 1.5 (ungünstig) an.

Ob es sich bei dem Faktor 1.5 um eine Leiteinwirkung oder eine Begleiteinwirkung mit dem Kombinationsbeiwert 1.0 handelt, lässt sich nur durch Betrachtung des Lastfaktors der anderen veränderlichen Einwirkung (Einwirkung 3, Lastfall 2) feststellen.

Spätestens jetzt fällt auf, dass auch die Lastfaktoren der Einzellast nur die Werte 0.0 oder 1.5 annehmen, obwohl auch der Faktor 1.35 (als Produkt $1.5 * 0.7$) denkbar wäre.

Die Begründung ergibt sich aus folgender Betrachtung:

Generell kann die Einzellast günstig oder ungünstig auf die Bemessungsschnittgrößen wirken. Im günstigen Fall ist sie durch den Faktor 0.0 auszuschalten. Im ungünstigen Fall stehen die Faktoren 1.5 (Leiteinwirkung) und 1.35 (mit Kombinationsbeiwert abgeminderte Begleiteinwirkung) zur Verfügung.

⁵ MicroFe verwaltet die Lastfallnummern vollautomatisch. Die Lastfallnummern können aber auch individuell definiert werden.

MicroFe hat von beiden Möglichkeiten die richtige ausgewählt, indem die Einwirkung der Einzellast im ungünstig wirkenden Fall als Leiteinwirkung mit Faktor 1.5 angesetzt wird. Die Verkehrslast wird – als Leiteinwirkung oder als Begleiteinwirkung – durch den PSI-Wert 1.0 immer den Faktor 1.5 erhalten.

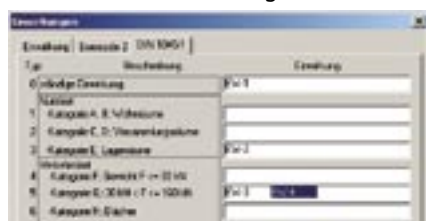
Nur so bildet sich die maßgebende ungünstigste Bemessungsschnittgröße.

PLATTE 5

Die bestehende Belastung wird um eine weitere veränderliche Einwirkung einer Einzellast in Plattenmitte ergänzt: 50 kN, LF3, Einwirkung 4, Typ „Kategorie G: $30 \text{ kN} < F \leq 160 \text{ kN}$ “.



Nach den Erkenntnissen aus PLATTE 4 ist zu erwarten, dass eine der beiden Einzellast-Einwirkungen, sobald sie an einer Kombination beteiligt ist, auch die Leiteinwirkung stellt.



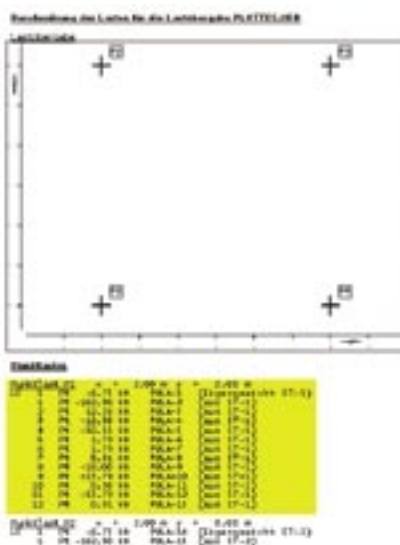
In der Kombinationstabelle zeigt MicroFe – vollautomatisch – weitere Kombinationen, diesmal mit Beteiligung unterschiedlicher PSI-Werte, wobei die Leiteinwirkung immer bei Einwirkung 3 oder Einwirkung 4 liegt.

Lastweiterleitung⁶:

War die Typisierung der Einwirkungen innerhalb eines Geschosses maßgebend für die Bildung der Bemessungsschnittgrößen, so stellt sich nun die Frage, wie die Lastweiterleitung diesem Aspekt Rechnung trägt. Bislang leitete man die Lasten mit g- und p-Anteil oder als so genannte MIN/MAX-Werte an das untere Geschoss weiter. Im Sinne der DIN 1055-100 wären diese Lasten nicht mehr einwirkungskonform typisiert und die weitere Überlagerung nicht eindeutig beschreibbar.

MicroFe leitet deshalb die Lasten als charakteristische Größen lastfallweise weiter und kann so die Einwirkungen des oberen Geschosses auch im unteren Geschoss einwirkungskonform und normgerecht berücksichtigen.

Die Lastweiterleitung wird dadurch unabhängig vom Kombinationstyp.

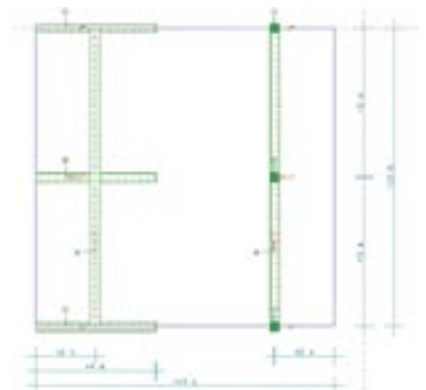


Somit kann in einem unteren Geschoss eine Kombination gebildet werden, wie sie in den oberen Geschossen nicht benötigt wurde.

Darüber hinaus können sowohl die Einwirkungen aus den oberen Geschossen als auch die Einwirkungen aus den unteren Geschossen normgerecht als Leiteinwirkung angesetzt werden.

PLATTE 6

Um in einem anschaulichen Beispiel zu bleiben, wird die Deckenplatte des unteren Geschosses durch drei parallele Wände mit 4 m Länge gehalten, davor drei Stützen. Über die Wände und Stützen verläuft je ein Unterzug, der die Stützen des oberen Geschosses abfängt.



Die Verkehrslast der unteren Platte ist einer neuen Einwirkung vom Typ „Kategorie C, D: Versammlungsräume“ zugeordnet und ebenfalls in Lastfelder geteilt, diesmal nur über der mittleren Stütze⁷.

6 Generelles zur Lastweiterleitung in MicroFe unter <http://www.mbaec.de/fem/datapage/e2.pdf>

7 Es obliegt dem Ingenieur zu beurteilen, ob eine weitere Unterteilung der Verkehrslast, z. B. über den drei Wänden sinnvoll ist. Der Mehraufwand in der Eingabe ist die Teilung der Verkehrslast in mehrere Lastfelder und erfolgt durch einfaches Anklicken der Teilungspunkte.

