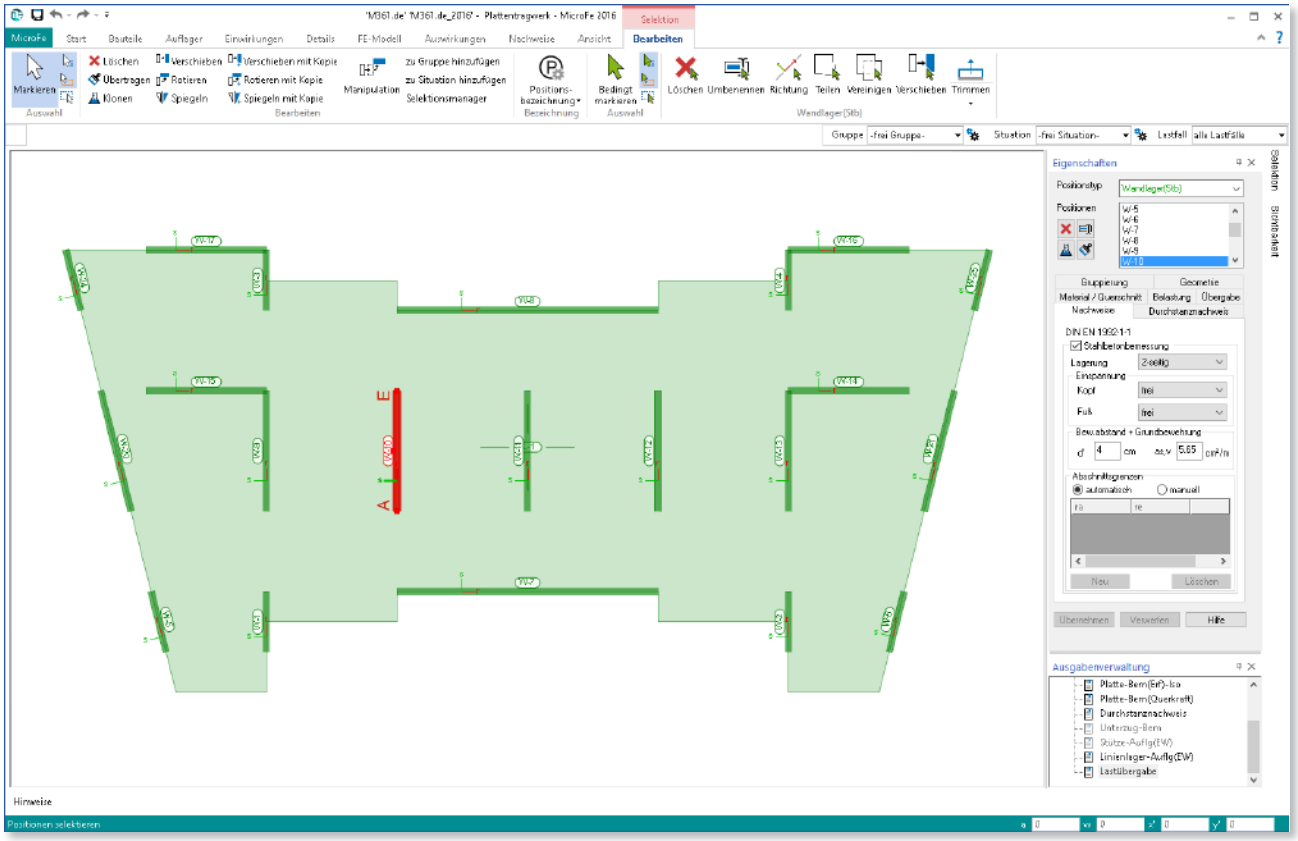
Dipl.-Ing. Nouman Elias M.Sc.

Nachweis von Stahlbetonwänden in MicroFe

Leistungsbeschreibung des MicroFe-Moduls M361.de Stahlbeton-Wand (ebene Systeme) - EC 2, DIN EN 1992-1-1

Die Bemessung von Stahlbetonwänden mit ihren Zug- und knickgefährdeten Druckbereichen ist vergleichsweise aufwändig. Das Modul M361.de übernimmt diese Aufgabe für alle Wände innerhalb des Plattenprogramms PlaTo. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf einer praxisgerechten Bewehrungsverteilung und einer kompakten Ausgabe.



Modellierung

Voraussetzung für die Anwendung des Moduls M361.de ist die Nutzung des „Plattentragwerks / PlaTo". Die Stahlbetonwände werden mit dem Modul M361.de in PlaTo berechnet.

Der Nachweis bzw. die Bemessung der Stahlbetonwände wird über die Registerkarte „Nachweise" gesteuert. Dort sind die Lagerungsbedingungen, Bewehrungsabstände, Grundbewehrung und die Vorgabe der Abschnittsgrenzen (automatisch oder manuell) festzulegen. Die Lagerung der Wand erfolgt zwei- bis vierseitig, wobei die obere und untere Lagerung wahlweise gelenkig oder eingespannt gewählt werden kann.

Bild 1. Registerkarte „Nachweise"

Berechnungsgrundlagen

Knicklängenermittlung

Nach EC 2 [1] 5.8.3.2 (7) wird die Knicklänge aus den Lagerungsbedingungen oben und unten zuerst ermittelt, danach wird der Einfluss der Querwände über den Faktor β_1 gemäß EC 2, 12.6.5.1 berücksichtigt, wobei in Gleichung (12.9) l_w durch l_0 ersetzt wird.

Beispiel 1:

Eine Stahlbetonwand sei 4,8 m lang (b), 3,00 m hoch (lichte Höhe l_w) und 30 cm dick (h) und dreiseitig gehalten. Die Wand ist unten eingespannt und oben gelenkig gelagert. Die Knicklänge wird wie folgt ermittelt.

Zunächst wird die Knicklänge aus dem Vertikalsystem ermittelt, die aus EC 2 Bild 5.7 zu $\beta_0 = 0{,}7$ abgelesen werden kann.

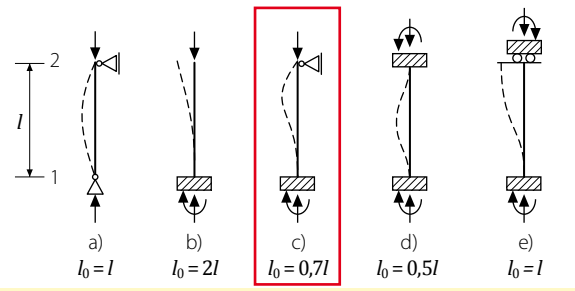


Bild 2. EC 2 [3] Bild 5.7

Dann werden die Bedingungen der seitlichen Lagerungen nach EC 2 [1] Tabelle 12.1 berücksichtigt:

$$\beta_1 = \frac{1}{1+\left(\frac{\beta_0 \cdot l_w}{3 \cdot b}\right)^2} = \frac{1}{1+\left(\frac{0{,}7 \cdot 3{,}00}{3 \cdot 4{,}8}\right)^2} = 0{,}979$$

Damit ergibt sich die Knicklänge zu:

$l_0 = 0{,}7 \cdot 0{,}979 \cdot 3{,}00 = 2{,}056$ m

Position	β_0 [-]	β_1 [-]	Höhe [m]	l_0 [m]
W-1	0.70	0.98	3.00	2.06

Bild 3. Ausgabe der Knicklängenberechnung

Schnittgrößenermittlung

Die Schnittgrößen werden in MicroFe aus den resultierenden Auflagerlasten, bestehend aus Normallast f_t und den Momenten m_r und m_s, ermittelt.

In der Scheibenrichtung wird die Normalkraft vereinfacht über die Höhe der Wand als konstant angenommen. Die Ermittlung erfolgt am Fuß der Wand. Diese Normalkraft wird aus f_t, m_s und dem Eigengewicht der Wand ermittelt.

In Plattenrichtung wird der Momenten- und Querkraftverlauf über die Höhe der Wand aus dem Mittelwert der Momente m_r ermittelt und die Verläufe dieses Momentes werden über die Wandbreite konstant angenommen.

Beispiel 2:

Für die Wand im Beispiel 1 wird angenommen, dass eine ständige Einwirkung Gk und eine veränderliche Einwirkung Qk.N vorliegen. Daraus werden die Auflagerlasten von MicroFe wie folgt berechnet:

		Anfang	Mitte	Ende
f_t^* KN/m	Gk	1325,937		-347,501
	$Qk.N$	595,214		-152,395
m_r KNm/m	Gk		73,030	
	$Qk.N$		32,153	
m_s KNm/m	Gk		219,366	
	$Qk.N$		97,937	

* Auflagergröße : (+) Druck , (-) Zug

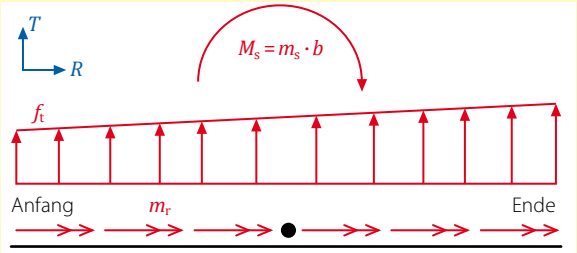


Bild 4. Positive Richtung der Auflagerlasten

Das Eigengewicht der Wand pro Meter (Lastfall Gk):

$g_W = h \cdot l_w \cdot \gamma_c = 0{,}3 \cdot 3{,}00 \cdot 25 = 22{,}5$ KN/m

In Scheibenrichtung wird ein trapezförmiger Verlauf vorausgesetzt. [(-) Druck , (+) Zug]

$$n_A = -f_{t,A} - g_W + 6 \cdot \frac{m_s \cdot b}{l^2}$$

$$n_E = -f_{t,E} - g_W - 6 \cdot \frac{m_s \cdot b}{l^2}$$

Für den Lastfall Gk:

$$n_{A,Gk} = -1325{,}94 - 22{,}5 + 6 \cdot \frac{219{,}37 \cdot 4{,}8}{4{,}8^2} = -1074{,}23 \text{ kN/m}$$

$$n_{E,Gk} = 347{,}50 - 22{,}5 - 6 \cdot \frac{219{,}37 \cdot 4{,}8}{4{,}8^2} = 50{,}79 \text{ kN/m}$$

Genauso wird n_A und n_E für den Lastfall Qk.N gerechnet:

$$n_{A,Qk.N} = -595{,}21 + 6 \cdot \frac{97{,}94 \cdot 4{,}8}{4{,}8^2} = -472{,}79 \text{ kN/m}$$

$$n_{E,Qk.N} = 152{,}40 - 6 \cdot \frac{97{,}94 \cdot 4{,}8}{4{,}8^2} = 29{,}98 \text{ kN/m}$$

In Plattenrichtung:

$M_r = m_r$

Für eine Wand, die von unten eingespannt und oben gelenkig ist, wird V_s mit der folgenden Gleichung gerechnet:

$$V_s = \frac{1{,}5 \cdot M_r}{l_w}$$

$V_{s,Gk} = (1{,}5 \cdot 73{,}03)/3{,}0 = 36{,}51$ kN/m

$V_{s,Qk.N} = (1{,}5 \cdot 32{,}15)/3{,}0 = 16{,}08$ kN/m

je Lastfall

Lf	Länge [m]	$m_{r,k}$ [kNm/m]	$v_{s,k}$ [kN/m]	$n_{A,k}$ [kN/m]	$n_{E,k}$ [kN/m]
LF-GK	4.80	73.03	36.52	-1074.23	50.79
LF-Qk		32.15	16.08	-472.79	29.97

Bild 5. Ausgabe der charakteristischen Schnittgrößen

Nachweise der Biegung mit Druckkraft

Für diesen Nachweis wird die Wand in Nachweisabschnitte aufgeteilt, deren Breite bei automatischer Aufteilung maximal der 4fachen Wandstärke entspricht. Es wird mit einer über die Abschnittslänge gemittelten Normalkraft gerechnet. Zunächst wird für jeden Abschnitt in jeder Kombination überprüft, ob die Schlankheit kleiner der Grenzschlankheit nach EC 2 [1], 5.8.3.1 ist. Die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung dürfen vernachlässigt werden, wenn gilt:

$\lambda \leq \lambda_{\text{lim}}$

Dabei ist:

λ Schlankheit der Wand

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{\sqrt{12} \cdot l_0}{h}$$

λ_{lim} Grenzschlankheit

$\lambda_{\text{lim}} = 25$ für $|n| \geq 0{,}41$

$\lambda_{\text{lim}} = 16/\sqrt{|n|}$ für $|n| < 0{,}41$

n Bezogene Normalkraft

$$n = \frac{N_{\text{Ed}}}{A_c \cdot f_{\text{cd}}}$$

Sofern Nachweise nach Theorie II. Ordnung erforderlich sind, wird das „Verfahren mit Nennkrümmung" (früher „Modellstützenverfahren") angewendet. Dabei wird zunächst eine Tabelle mit den Ausmitten und Krümmungsbeiwerten EC 2 [1], 5.8.8 ausgegeben. Sie beinhaltet die Ausmitte nach Theorie I. Ordnung (e_0), die Ausmitte aus Imperfektionen (e_a), und die Zusatzausmitte nach Theorie II. Ordnung (e_2). Die Auswirkungen des Kriechens können am Beiwert K_φ abgelesen werden, der zu einer Vergrößerung der Ausmitte nach Theorie II. Ordnung führt.

Für die vollständigen Berechnungsgrundlagen wird auf EC 2 [1], 5.8.8 verwiesen. Der Krümmungsbeiwert wird mit $c = 10$ angenommen. Mit den so ermittelten Ausmitten wird das Bemessungsmoment ermittelt, das in der Tabelle „Biegung mit Druckkraft" ausgegeben wird.

Es gilt:

$M_{\text{Ed}} = M_{0\text{Ed}} + M_2$

Dabei ist:

$M_{0\text{Ed}}$ Das Moment nach Theorie I. Ordnung, einschließlich Imperfektionen

$M_{0\text{Ed}} = N_{\text{Ed}} \cdot (e_0 + e_a)$

M_2 Das Nennmoment nach Theorie II. Ordnung

$M_2 = N_{\text{ED}} \cdot e_2$

Sofern Theorie II. Ordnung nicht berücksichtigt werden muss, wird mit den Momenten nach Theorie I. Ordnung ohne Imperfektionen gerechnet.

Treten in einem Abschnitt Zugkräfte und Momente auf, erfolgt die Bemessung in diesem Kapitel nur für die Momentenbelastung, da hier die innere und äußere Plattenbewehrung nachgewiesen wird.

Die Zugkräfte werden separat nachgewiesen (siehe nächster Abschnitt) und von einer konzentriert an den Wandenden angeordneten Bewehrung aufgenommen.

Die Ausgabe der erforderlichen Vertikalbewehrung erfolgt für den Gesamtquerschnitt, d.h. jeweils die Hälfte muss auf jeder Wandseite angeordnet werden.

Beispiel 3:

Für die Wand aus den vorigen Beispielen wird die Festigkeit des Betons C25/30 und des Betonstahl B500A angenommen. Mit vier Abschnitten (jeder Abschnitt ist 1,2 m lang) wird der Verlauf der Normallasten in der Kombination Lkn 2 ($1{,}35 \cdot Gk + 1{,}5 \cdot Qk.N$) gerechnet (siehe Bild 6).

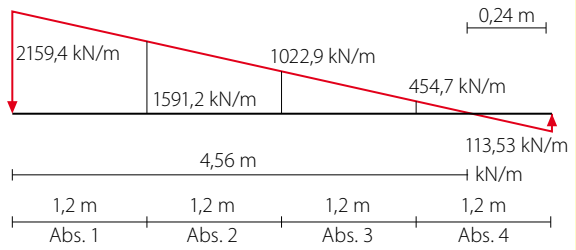


Bild 6. Verlauf der Normallasten je Abschnitt

Für alle Abschnitte gilt:

$$\lambda = \frac{2{,}056 \cdot \sqrt{12}}{0{,}3} = 23{,}74$$

Abschnitt 1:

$$N_{\text{Ed},1} = 1{,}2 \cdot \frac{(2159{,}4 + 1591{,}2)}{2} = 2250{,}36 \text{ kN}$$

$$n_1 = \frac{-2250{,}36 \cdot 10^3}{1200 \cdot 300 \cdot 0{,}85 \cdot \frac{25}{1{,}5}} = -0{,}4412$$

$$|n_1| > 0{,}41 \rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 25 \rightarrow \lambda < \lambda_{\text{lim}}$$

Abschnitt 2:

$$N_{\text{Ed},2} = 1{,}2 \cdot \frac{(1591{,}2 + 1022{,}9)}{2} = 1568{,}46 \text{ kN}$$

$$n_2 = \frac{-1568{,}46 \cdot 10^3}{1200 \cdot 300 \cdot 0{,}85 \cdot \frac{25}{1{,}5}} = -0{,}3075$$

$$|n_2| < 0{,}41 \rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 16/\sqrt{0{,}3075} = 28{,}9 \rightarrow \lambda < \lambda_{\text{lim}}$$

Der Nachweis nach Theorie II. Ordnung ist nicht erforderlich.

Abs.	Lkn	$n_{A,Ed}$ [kN/m]	$n_{E,Ed}$ [kN/m]	n [-]	λ [-]	λ_{lim} [-]
1	2	-2159.4	-1591.2	-0.44	23.74	25.00
2	2	-1591.2	-1022.9	-0.31	23.74	28.85
3	2	-1022.9	-454.70	-0.17	23.74	38.37
4	2	-454.70	113.53	-0.04	23.74	79.86

Bild 7. Ausgabe zur Berechnung der Schlankheiten

Zugkeildeckung

Der Nachweis der Zugkeildeckung erfolgt nicht mit den Nachweisabschnitten des Knicknachweises, sondern wird für den gesamten Zugkeil geführt. Die Länge des Zugkeils ist von der Kombination abhängig. Maßgebend wird die Kombination, die die maximale Zugkraft liefert, nicht diejenige, die die maximale Randspannung liefert.

Die erforderliche Bewehrung ermittelt sich wie folgt:

$$\text{erf.}\, A_s = \frac{q \cdot l_r}{2 \cdot f_{yd}}$$

Dabei ist:

q	Trapezlastordinate des Zugkeils
l_r	Länge des Zugkeils
f_{yd}	Bemessungswert der Stahlfestigkeit

Für die Zugkeildeckung werden neben den Grundkombinationen noch die Kombinationen der Lagesicherheit (EQU) gebildet.

Beispiel 4:

Die Wand aus vorigen Beispielen hat in der Kombination Lkn 2 einen Zugkeil (siehe Bild 6). Die erforderliche Bewehrung ermittelt sich zu:

$q = 113{,}53\ \text{kN/m} = 113{,}53\ \text{N/mm}$

$l_r = 0{,}24\ \text{m} = 240\ \text{mm}$ (Bild 6)

$f_{yd} = f_{yk}/1{,}15 = 500/1{,}15 = 435\ \text{N/mm}^2$

$$\text{erf.}\, A_s = \frac{q \cdot l_r}{2 \cdot f_{yd}} = \frac{113{,}53 \cdot 240}{2 \cdot 435} = 31\ \text{mm}^2 = 0{,}31\ \text{cm}^2$$

Abdeckung der Zugkeilkraft

ra [m]	re [m]	Lkn	$n_{A,Ed}$ [kN/m]	$n_{E,Ed}$ [kN/m]	R [kN]	$A_{s,erf}$ [cm²]
4.56	4.80	2	0.00	113.53	13.61	0.31

Bild 8. Ausgabe zur Zugkeildeckung

Querkraft

Da das Modul keine Querkraft in der Wandlängsrichtung ermittelt, wird der Querkraftnachweis nur in Wandquerrichtung geführt. Für die vollständigen Berechnungsgrundlagen wird auf EC 2 [1], 6.2 verwiesen.

Bemessung für Querkraft in Wandquerrichtung

Lkn	v_{Ed} [kN/m]	θ [°]	$v_{Rd,max}$ [kN/m]	$v_{Rd,c}$ [kN/m]	$a_{sw,erf}$ [cm²/m²]
2	73.41	18.4	573.75	115.55	-

Bild 9. Ausgaben zum Querkraftnachweis

Mindestbewehrung

Die Mindestbewehrung in vertikaler und horizontaler Richtung wird nach EC 2 [1], [2], 9.6.2 und 9.6.3 ermittelt. Dabei gilt:

Falls $\lambda < \lambda_{lim}$ und $|N_{Ed}| < 0{,}3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$

$$A_{s,v\,min} = \frac{0{,}15 \cdot |N_{Ed}|}{f_{yd}} \geq 0{,}0015 \cdot A_c$$

$$A_{s,h\,min} = 0{,}2 \cdot A_{s,v}$$

Falls $\lambda \geq \lambda_{lim}$ und $|N_{Ed}| \geq 0{,}3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$

$$A_{s,v\,min} = 0{,}003 \cdot A_c$$

$$A_{s,h\,min} = 0{,}5 \cdot A_{s,v}$$

Dabei ist:

$A_{s,v\,min}$	Mindest-Vertikalbewehrung
$A_{s,h\,min}$	Mindest-Horizontalbewehrung
A_c	Betonquerschnittsfläche

Erforderliche Bewehrung

In der Eingabe des M361.de wird die Grundbewehrung definiert. Die gewählte Grundbewehrung wird als in der gesamten Wandfläche vorhanden vorausgesetzt. Danach berechnet M361.de die zusätzliche Bewehrung für jeden Abschnitt.

Biegung mit Druckkraft — Biegung mit Druckkraft Abs. 6.1

	Abs.	Lkn	m_{rd} [kNm/m]	n_d [kN/m]	a_{sv} [cm²/m]	a_{sh} [cm²/m]
W-1	1	2	152.71	-1881.65	6.49^M	2.50^H
	2	2	142.42	-1310.16	4.52^M	2.50^H
	3	2	142.42	-738.67	11.36	2.50^H
	4	2	142.42	-167.19	23.70	2.50^H

M : Mindestbewehrung nach 9.6.2(1)
H : Mindestbewehrung nach 9.6.3(1)

Momente inklusive Anteile aus Theorie II. Ordnung
Die Bewehrung ist je zur Hälfte innen und außen einzulegen.

Zugkeildeckung — Abdeckung der Zugkeilkraft

	ra [m]	re [m]	Lkn	$n_{A,Ed}$ [kN/m]	$n_{E,Ed}$ [kN/m]	R [kN]	$A_{s,erf}$ [cm²]
W-1	4.55	4.80	2	0.00	118.56	14.76	0.34

Bewehrung — Erforderliche Bewehrung

Grundbewehrung — Grundbewehrung je Seite

Position	Art	$a_{sg,v}$ [cm²/m]
W-1	Stabstahl vertikal	5.65

Zulagen vertikal — Vertikale Zulagen je Seite

Position	Abschnitt	ra [m]	re [m]	$a_{s,erf}$ [cm²/m]
W-1	1	0.00	1.20	0.84
	3	2.40	3.60	5.71
	4	3.60	4.80	18.05

Bild 10. Ausgabe zur Bewehrung

Dipl.-Ing. Nouman Elias M.Sc.
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

[1] 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.

[2] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Eurocode 2: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

[3] Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K,: Eurocode 2 für Deutschland - DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- u. Spannbetonbauwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang, Kommentierte Fassung. Berlin: Ernst & Sohn; Beuth, 2012.

[4] DIN EN 1990:2012-12, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/ AC:2010.

[5] DIN EN 1990/ NA:2012-12, Eurocode 0: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Grundlagen der Tragwerksplanung

Aktuelle Angebote

M361.de **Stahlbeton-Wand (ebene Systeme) - EC 2, DIN EN 1992-1-1** **399,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

MicroFe comfort **3.999,- EUR**
MicroFe-Paket „Platten + räumliche Systeme“

PlaTo **1.499,- EUR**
MicroFe-Paket „Platten“

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: Februar 2016

Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste: www.mbaec.de