

Interaktionsfläche

SectionPro-Tutorial: 3D-Widerstandsbereiche bei schiefer Biegung

BridgeKernel · 2026

Einleitung

Die Überprüfung eines Stahlbetonquerschnitts unter kombinierter Normalkraft und Biegung ist bei einachsiger Biegung einfach: Ein einziges Interaktionsdiagramm (N, M) beschreibt den gesamten Widerstandsbereich. Bei schiefer Biegung hingegen hängt der Widerstand gleichzeitig von N , M_z und M_y ab, und keine einzelne 2D-Kurve reicht aus. Der vollständige Widerstandsbereich wird zu einer dreidimensionalen Fläche im Raum (N, M_z, M_y) .

SectionPro berechnet diese Interaktionsfläche für jeden vom Benutzer definierten Grenzzustand. Ein Lastpunkt innerhalb der Fläche bedeutet Sicherheit, ein Punkt außerhalb Überschreitung der Tragfähigkeit. Die Fläche wird in einem interaktiven 3D-Betrachter angezeigt und kann in PDF, Excel und Text exportiert werden.

Dieser Artikel stellt die Analyse der Interaktionsfläche an zwei Geometrien und zwei Bemessungsnormen vor: einem **achteckigen Querschnitt** (Eurocode 2) und einem **elliptischen Querschnitt** (ACI 318), jeweils analysiert im GZT und im GZG.

Berechnete Ergebnisse

SectionPro liefert drei Ergebniskategorien für jede Interaktionsfläche:

3D-Widerstandsbereich

- Interaktive triangulierte Fläche
- Eine Fläche pro Grenzzustand
- Einstellbare Netzauflösung
- Rotation, Zoom, Verschiebung
- Einstellbare Flächenopazität

Begrenzungsrahmen

- N_{\min}, N_{\max} : Normalkraftbereich
- $M_{z, \min}, M_{z, \max}$: Momentenbereich
- $M_{y, \min}, M_{y, \max}$: Momentenbereich
- Extremale Tragfähigkeit pro Richtung

Exporte

- PDF: Begrenzungsrahmen + 3D-Ansichten
- XLS: Netzkoordinaten + Dreiecke
- TXT: Netzkoordinaten (Spalten)

Testszzenarien

Achteckiger Querschnitt (Eurocode 2). Im GZT folgt der Beton einem Parabel-Rechteck-Gesetz mit $\gamma_c = 1\{, }50$ und der Stahl ist elastoplastisch mit Verfestigung ($\gamma_s = 1\{, }15$). Im GZG sind beide Materialien linear-elastisch mit benutzerdefinierten zulässigen Spannungen.

Elliptischer Querschnitt (ACI 318). Im GZT folgt der Beton dem äquivalenten Rechteck-Spannungsblock nach Whitney, mit φ -Faktoren ($0\{, \}65$ bis $0\{, \}90$), Obergrenze $\varphi_N = 0\{, \}80$ und voller Blockspannung, da $\rho = 1\{, \}07\%$ den architektonischen Schwellenwert von 1% überschreitet. Im GZG sind beide Materialien linear-elastisch mit benutzerdefinierten zulässigen Spannungen.

Achteckiger Querschnitt (Eurocode 2)

Eingabedaten

Beton

- Achteckiger Querschnitt
- $b_1 = 2\{, \}00$ m, $b_2 = 0\{, \}50$ m
- $h_1 = 1\{, \}00$ m, $h_2 = 0\{, \}60$ m

Bewehrung

- 48 Stäbe, gleichmäßiger Abstand 150 mm
- Durchmesser $\varphi = 32$ mm
- Betondeckung 50 mm, 1 Lage

Materialgesetze (EC2)

- Beton C30/37: $f_{ck} = 30$ MPa
- Stahl B500B: $f_{yk} = 500$ MPa

Abbildung 1: Achteckiger Querschnitt: Geometrie und Bewehrungsanordnung.

GZT (Grundkombination)

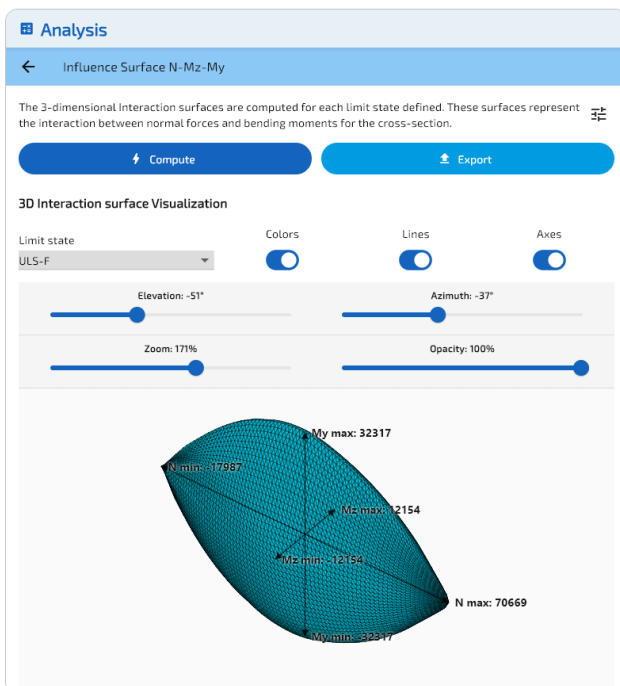


Abbildung 2: Interaktionsfläche im GZT, farbige Dreiecke.

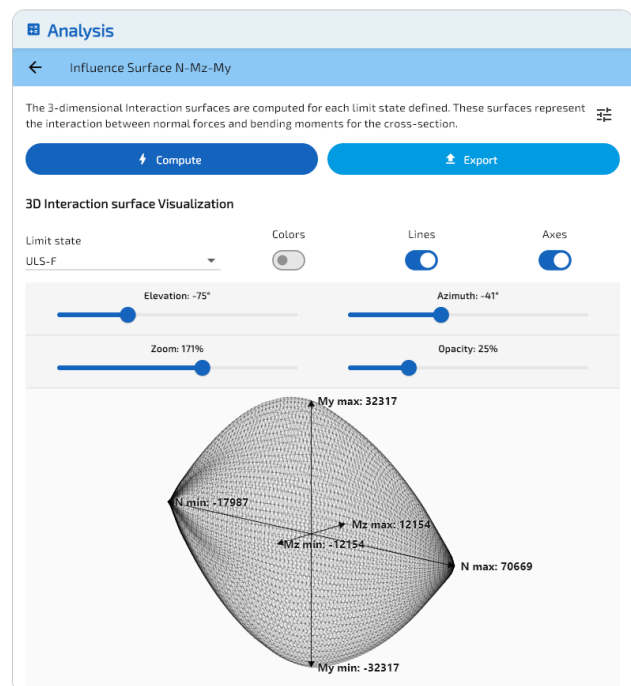


Abbildung 3: Interaktionsfläche im GZT, Drahtgitteransicht.

GZG (Charakteristisch)

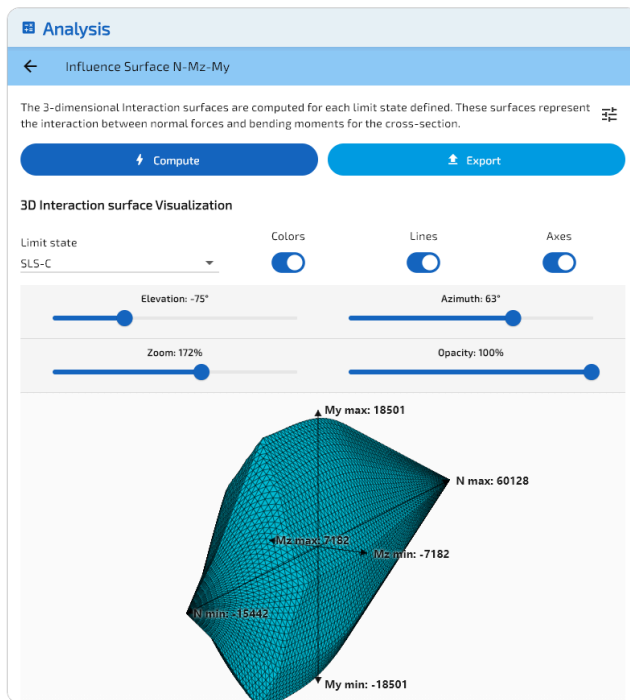


Abbildung 4: Interaktionsfläche im GZG, farbige Dreiecke.

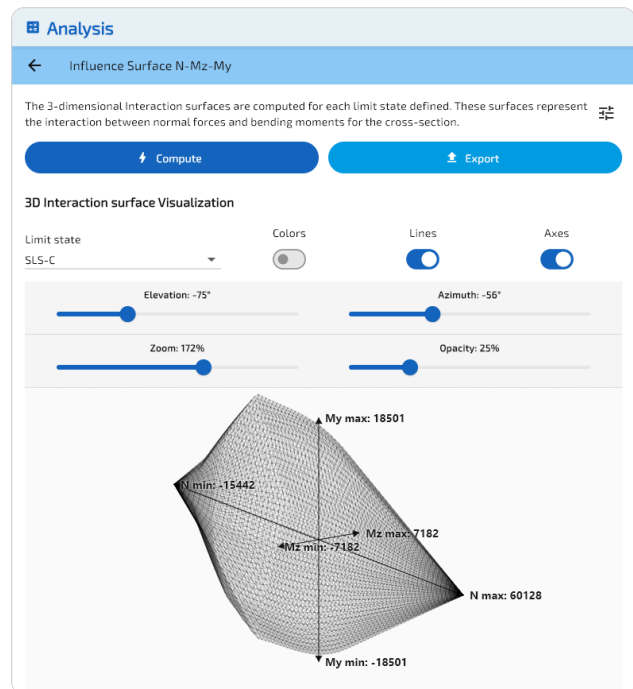


Abbildung 5: Interaktionsfläche im GZG, Drahtgitteransicht.

Begrenzungsrahmen

	Normalkraft N (kN)	Moment M_z (kN·m)	Moment M_y (kN·m)
GZT min	-17987	-12154	-32317
GZT max	70669	12154	32317
GZG min	-15442	-7182	-18501
GZG max	60128	7182	18501

- Der Querschnitt ist breiter als hoch ($b_1 = 2\{, \}00$ m, $h_1 = 1\{, \}00$ m), sodass die Extremwerte von M_y deutlich größer sind als die von M_z : Die starke Achse ist die vertikale (Querbiegung).
- Die GZT-Fläche ist größer als die GZG-Fläche, da die nichtlineare Parabel-Rechteck-Betonkennlinie eine höhere Tragfähigkeit bietet als das elastische GZG-Gesetz.

Elliptischer Querschnitt (ACI 318)

Eingabedaten

Beton

- Elliptischer Querschnitt
- Breite = 3{,}00 m (starke Achse)
- Höhe = 2{,}00 m (schwache Achse)

Bewehrung

- 40 Stäbe entlang des Umfangs
- Durchmesser $\varphi = 40$ mm
- Betondeckung 50 mm, 1 Lage

Materialgesetze (ACI 318)

- Beton: $f'_c = 30$ MPa
- Stahl: $f_y = 500$ MPa

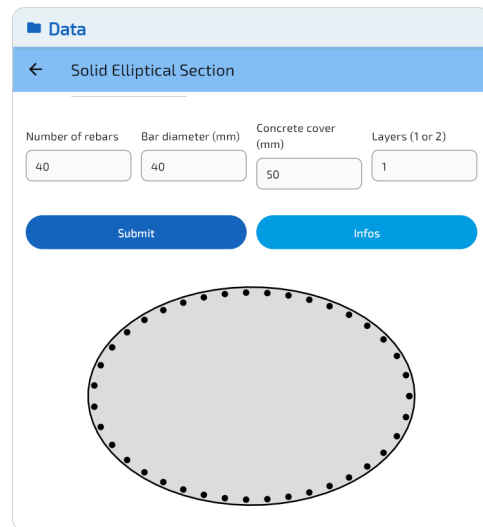


Abbildung 6: Elliptischer Querschnitt: Geometrie und Bewehrungsanordnung.

Im GZT wird die Betonspannungsverteilung durch den Whitney-Block ersetzt ($\beta_1 = 0{,}832$). Die φ -Faktoren ($0{,}90/0{,}65$) und die Obergrenze $\varphi_N = 0{,}80$ werden angewendet. Da $\rho = 1{,}07\%$ den Schwellenwert von 1 % überschreitet, wird die volle Blockspannung mobilisiert.

GZT

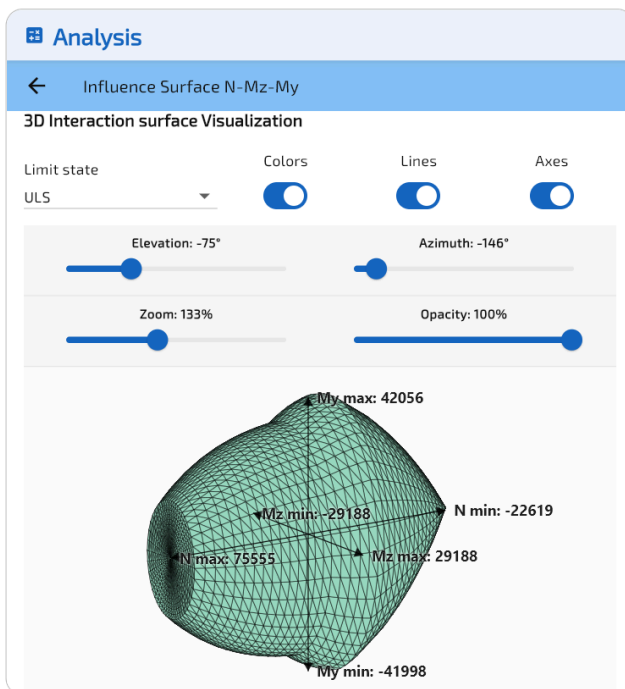


Abbildung 7: Interaktionsfläche im GZT, farbige Dreiecke.

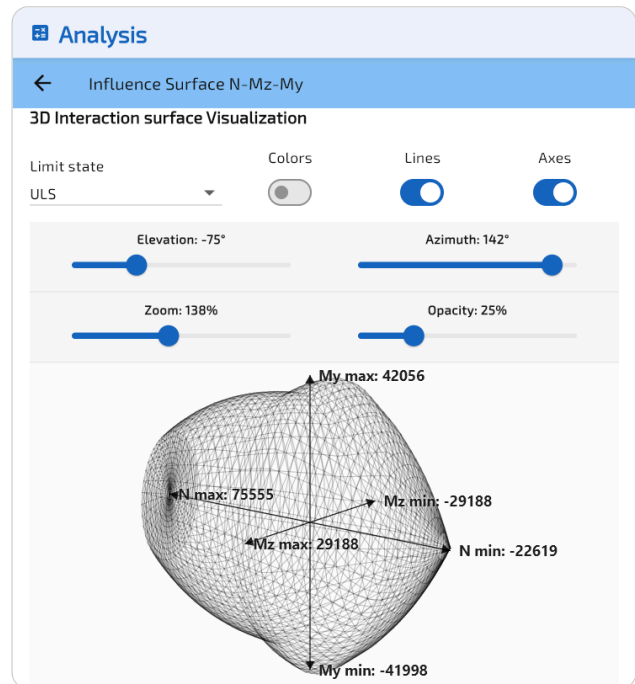


Abbildung 8: Interaktionsfläche im GZT, Drahtgitteransicht.

GZG

Im GZG folgen beide Materialien elastischen Gesetzen mit zulässigen Spannungen ($\sigma_c = 11\{, \}5$ MPa, $\sigma_s = 250$ MPa), was die kleinere Fläche gegenüber dem GZT erklärt.

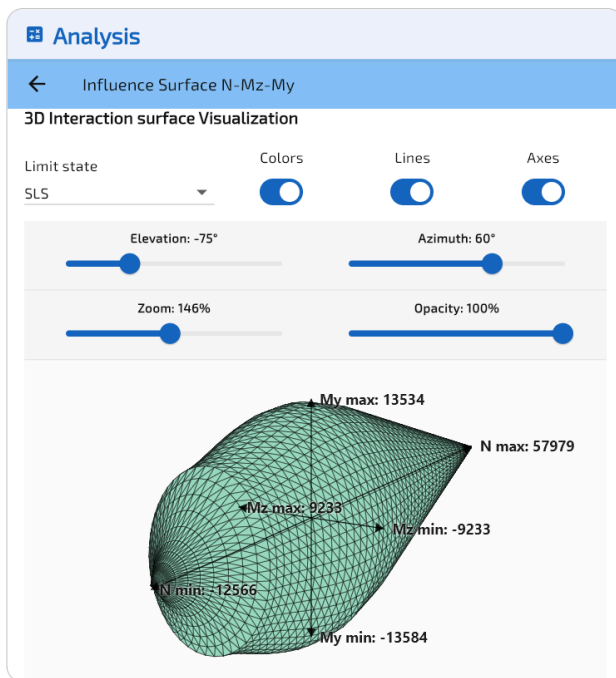


Abbildung 9: Interaktionsfläche im GZG, farbige Dreiecke.

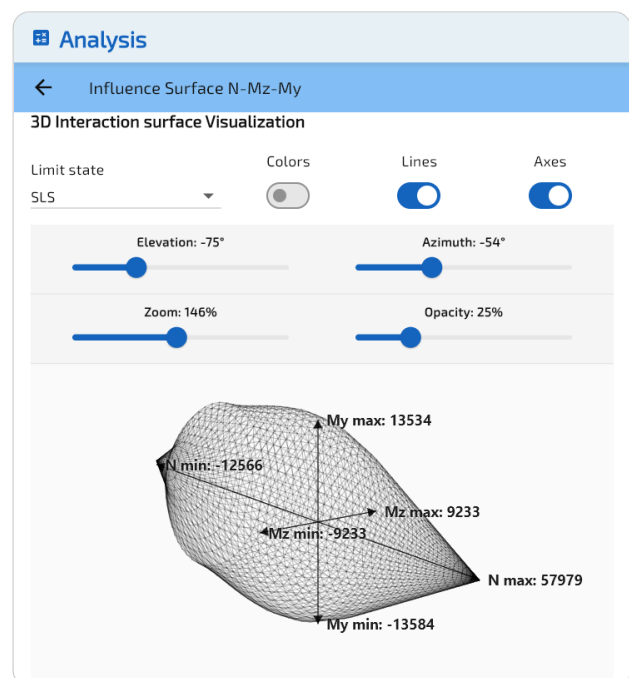


Abbildung 10: Interaktionsfläche im GZG, Drahtgitteransicht.

Begrenzungsrahmen

	Normalkraft N (kN)	Moment M_z (kN·m)	Moment M_y (kN·m)
GZT min	-22619	-29188	-41998
GZT max	75555	29188	42056
GZG min	-12566	-9233	-13584
GZG max	57979	9233	13534

- Der Querschnitt ist breiter als hoch ($3\{, \}00 \times 2\{, \}00$ m), sodass die Extremwerte von M_y größer sind als die von M_z , aber die Fläche behält dank der elliptischen Geometrie eine recht runde Form.
- Die GZT-Fläche ist größer als die GZG-Fläche. Die φ -Faktoren ($\varphi = 0\{, \}65$, $\varphi_N = 0\{, \}80$) ergeben einen effektiven Faktor von $0\{, \}52$. Im GZG begrenzt die zulässige Spannung ($\sigma_c = 11\{, \}5$ MPa) die Drucktragfähigkeit.

Export

SectionPro exportiert die Interaktionsfläche als PDF (Begrenzungsrahmen + 3D-Ansichten), Excel (Knotenkoordinaten und Dreiecksverbindung pro Grenzzustand) und Text (Spalten fester Breite).

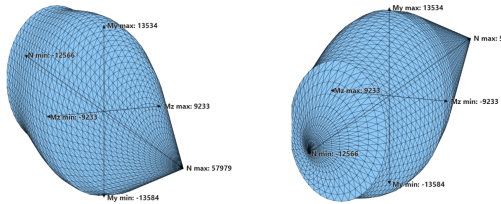
INFLUENCE SURFACE CALCULATION RESULTS

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-03-16 22:30

Below are figures allowing 3D visualization of the resistance domains of the studied reinforced concrete section. The bounding boxes represent the extreme values of the resisting forces.

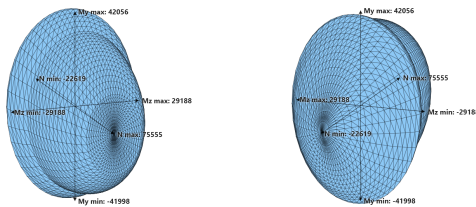
SLS : Serviceability limit state

Bounding box	Axial force N (kN)	Moment Mz (kN-m)	Moment My (kN-m)
Minimum value	-12566	-9232.7	-13584
Maximum value	57979	9232.7	13534



ULS : Ultimate limit state

Bounding box	Axial force N (kN)	Moment Mz (kN-m)	Moment My (kN-m)
Minimum value	-22619	-29188	-41998
Maximum value	75555	29188	42056



GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE

Abbildung 11: PDF-Export: Begrenzungsrahmen und 3D-Ansichten.

INFLUENCE SURFACE CALCULATION RESULTS

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-03-16 22:32

INFLUENCE SURFACE NODES

ID	SLS N kN	SLS Mz kN-m	SLS My kN-m	ULS N kN	ULS Mz kN-m	ULS My kN-m
1	-12566.37	0.00	455.54	-22619.47	0.00	819.97
2	-11126.67	735.28	403.35	-19892.39	2557.77	811.22
3	-11126.67	729.70	297.26	-19892.39	2516.78	108.24
4	-11126.67	714.06	192.56	-19892.39	2391.21	-557.84
5	-11126.67	689.11	90.35	-19892.39	2204.62	-1146.42
6	-11126.67	655.70	-8.52	-19892.39	1985.45	-1625.51
7	-11126.67	613.41	-104.44	-19892.39	1741.43	-2023.96
8	-11126.67	562.89	-196.03	-19892.39	1489.98	-2328.95
9	-11126.67	501.17	-280.80	-19892.39	1275.81	-2547.72
10	-11126.67	429.11	-355.88	-19892.39	926.37	-2780.14
11	-11126.67	348.12	-422.33	-19892.39	704.46	-2900.77
12	-11126.67	257.87	-478.01	-19892.39	456.63	-2996.54
13	-11126.67	158.72	-517.58	-19892.39	281.52	-3046.76
14	-11126.67	53.15	-534.98	-19892.39	78.28	-3072.02
15	-11126.67	-54.09	-534.86	-19892.39	-78.28	-3072.02
16	-11126.67	-159.62	-517.22	-19892.39	-281.52	-3046.76
17	-11126.67	-258.70	-477.68	-19892.39	-456.63	-2996.54
18	-11126.67	-348.90	-421.81	-19892.39	-704.46	-2900.77
19	-11126.67	-429.75	-355.24	-19892.39	-926.37	-2780.14
20	-11126.67	-501.72	-280.06	-19892.39	-1275.81	-2547.72
21	-11126.67	-563.41	-195.32	-19892.39	-1489.98	-2328.95
22	-11126.67	-613.84	-103.63	-19892.39	-1741.43	-2023.96
23	-11126.67	-656.03	-7.68	-19892.39	-1985.45	-1625.51
24	-11126.67	-689.34	91.23	-19892.39	-2204.62	-1146.42
25	-11126.67	-714.20	193.48	-19892.39	-2391.21	-557.84
26	-11126.67	-729.84	298.18	-19892.39	-2516.78	108.24
27	-11126.67	-735.33	404.28	-19892.39	-2557.77	811.22
28	-11126.67	-732.29	510.75	-19892.39	-2511.26	1542.12
29	-11126.67	-720.56	617.04	-19892.39	-2384.84	2227.62
30	-11126.67	-700.44	722.57	-19892.39	-2200.96	2795.51
31	-11126.67	-671.42	826.17	-19892.39	-1977.22	3277.78
32	-11126.67	-630.20	926.34	-19892.39	-1738.23	3662.90
33	-11126.67	-579.44	1021.31	-19892.39	-1507.85	3960.63
34	-11126.67	-518.39	1111.70	-19892.39	-1238.45	4214.13
35	-11126.67	-447.15	1195.20	-19892.39	-1039.81	4368.97
36	-11126.67	-364.46	1268.31	-19892.39	-770.16	4517.62
37	-11126.67	-269.76	1325.50	-19892.39	-572.99	4603.18
38	-11126.67	-166.18	1367.41	-19892.39	-322.42	4665.74
39	-11126.67	-55.99	1391.86	-19892.39	-122.30	4694.04
40	-11126.67	56.98	1391.86	-19892.39	122.30	4694.04
41	-11126.67	167.13	1367.14	-19892.39	322.42	4665.74
42	-11126.67	270.60	1325.03	-19892.39	572.99	4603.18
43	-11126.67	365.22	1267.64	-19892.39	770.16	4517.62
44	-11126.67	447.84	1194.58	-19892.39	1039.81	4368.97
45	-11126.67	518.97	1110.97	-19892.39	1238.45	4214.13
46	-11126.67	579.90	1020.51	-19892.39	1507.85	3960.63
47	-11126.67	630.56	925.45	-19892.39	1738.23	3662.90
48	-11126.67	671.68	825.27	-19892.39	1977.22	3277.78
49	-11126.67	700.69	721.67	-19892.39	2200.96	2795.51
50	-11126.67	720.72	616.12	-19892.39	2384.84	2227.62
51	-11126.67	732.34	509.81	-19892.39	2511.26	1542.12
52	-11126.67	735.28	403.35	-19892.39	2557.77	811.22
53	-9686.97	1470.57	351.16	-17165.31	5075.23	836.95

Abbildung 12: Excel-Export: Knotenkoordinaten und Dreiecke.

Leistung

Die Berechnung der Interaktionsfläche ist in der Praxis instantan. Die folgende Tabelle zeigt die reinen Rechenzeiten (ohne grafische Darstellung), gemessen auf einem Desktop-PC für die beiden Querschnitte dieses Artikels bei drei Netzaufösungen (25 × 25, 50 × 50 und 100 × 100).

Querschnitt	Grob (1.2k Drei.)	Mittel (4.9k Drei.)	Fein (19.8k Drei.)
Achteckig – EC2	7 ms	17 ms	24 ms
Elliptisch – ACI 318	7 ms	6 ms	10 ms

Der EC2-Kern erzeugt fünf Flächen in einem Aufruf, ACI 318 zwei in getrennten Aufrufen. Alle Flächen werden in weniger als 25 ms berechnet, selbst bei der feinsten Auflösung.

Schlussfolgerung

Die Interaktionsfläche ermöglicht die Visualisierung des gesamten Widerstandsbereichs bei schiefer Biegung. Das Verifikationsmodul von SectionPro projiziert jede Lastkombination auf diese Fläche und gibt den Sicherheitsbeiwert zurück, was Gegenstand des nächsten Artikels sein wird.

Die beiden Beispiele zeigen, wie Geometrie und Bemessungsnorm den Widerstandsbereich formen. Die Exportformate (PDF, Excel, Text) liefern die für Berechnungsberichte erforderlichen Daten.

