

Handbuch · 1.27.0-beta.1

Nichtlineare Polaren und Schnittdynamik · Bedienung ab 1.27.0-beta.1

Diese Zusatzmodelle stehen unter **Flugzustand und Lasten → Profilbasierte Lastannahmen → Nichtlineare Profilpolaren und Schnittdynamik**. Zunächst den zusätzlichen Profil-/Traglinienfall einschalten. Grundkonfiguration und bestehende 2D-/3D-Ansichten bleiben unverändert. Die Zusatzfelder erscheinen nur für das gewählte Modell; eine aktive Schnittdynamik verlangt ausdrücklich eingegebene physikalische Daten.

Polarenkennfeld

„Nichtlineare Traglinie aus Kennfeld“ wählen und eine passende JSON-Datei laden oder ihren Inhalt einfügen. Das Format `msws-polar-v1` enthält `source`, `configuration` und `rows`. Jede Zeile besteht in dieser Reihenfolge aus **eta**, **Reynolds-Zahl**, **Klappenwinkel in Grad**, **Anstellwinkel in Grad**, **cl**, **cd** und **Cm um c/4**. Eta ist y/Halbspannweite. Quelle und genaue Profil-/Klappenkonfiguration benennen; positive Momentenbeiwerte bedeuten Nase hoch. Eine Koordinatendatei DAT oder ein NACA-Name ersetzt keine belegte Polare.

Das Raster muss alle Kombinationen seiner Stützstellen enthalten. Eta muss 0 und 1 umfassen, der Anstellwinkel mindestens zwei Werte. Bei konstanten Daten entlang der Spannweite werden sie an eta 0 und 1 wiederholt. Reynolds-Zahl und Klappenstellung dürfen eine einzelne Stützstelle besitzen; dann ist ausschließlich dieser Wert zulässig. Höchstens 12.000 Zeilen und 2 MB. Interpolation erfolgt linear in eta, Klappenwinkel und Anstellwinkel sowie logarithmisch in Reynolds. Außerhalb der Abdeckung wird keine Ersatzpolare geraten.

Die symmetrische Traglinie wird mit 12 und 24 Stützstellen gelöst. Erforderlicher Auftrieb und Nicktrimmung werden mit der Strukturrechnung gekoppelt. Auch der Gesamtwiderstand stammt in diesem Zusatzfall aus den Polaren einschließlich induziertem Anteil. Die im Kennfeld enthaltene Klappenwirkung wird nicht zusätzlich über die vereinfachte Klappen-Zusatzkraft gezählt. Referenz-, VFE- und andere Lastfälle bleiben eigenständig und verwenden ihre bisherigen Lastmodelle.

Die Modellgrenzen sind geringe Kompressibilität bis 100 m/s und Viertelsehnenpfeilung bis 10 Grad. Bei mehr als 3 % Netzabweichung, mehr als 0,05 örtlicher cl-Abweichung oder flachem/abfallendem Auftriebsast bleibt der Polarenfall unbestätigt. Stationäre Lösungen im Ablösebereich sind kein Nachweis eindeutiger oder dynamisch stabiler Strömung. Spalt- und Fowlerklappen benötigen passende externe Kennfelder; solche Daten werden nicht aus einer einfachen Klappengeometrie erzeugt.

Hub und Verdrehung eines Flügelstreifens

„Schnittdynamik berechnen“ aktivieren. Alle Massen-, Trägheits-, Steifigkeits- und Dämpfungsgrößen müssen denselben Flügelstreifen beschreiben. Die Fachhilfen erklären jede Eingabe. Längen werden in diesem Teilmodell in **Metern** eingegeben. Das Drehträgheitsmoment in $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ bezieht sich auf die elastische Achse; es ist kein Flächenträgheitsmoment in mm^4 . Das Programm verlangt $J > m\cdot e^2$, damit die Massenmatrix positiv definit ist.

Hub ist positiv nach oben, Verdrehung positiv Nase hoch und Schwerpunktversatz positiv hinter der elastischen Achse. Das Modell beginnt im statischen Gleichgewicht. Der Klappenwinkel ändert sich danach über die eingegebene Zeit linear zwischen Anfangs- und Endwert. Ein Servo- oder Anschlagverlauf wird damit nicht selbst ermittelt. Die Polare wird bei jedem Zeitschritt mit dem durch Bewegung geänderten effektiven Anstellwinkel ausgewertet.

Das Newmark-Verfahren verwendet $\beta=1/4$ und $\gamma=1/2$; ein zweiter Lauf mit halbem Zeitschritt prüft die Auflösung. Über 2 % Abweichung bleibt die numerische Prüfung offen. Die reduzierte Frequenz

der höchsten ungedämpften Strukturmode wird ausgegeben; über 0,05 ist die quasistationäre Annahme nur orientierend. Eine kurze Klappenrampe kann zusätzliche hohe Frequenzen einbringen. Auch ein kleiner angezeigter Wert ersetzt deshalb keine Untersuchung instationärer Luftkräfte. Maximal 2.000 Schritte vor Verfeinerung, Hub bis 0,1 Sehnenlängen und Verdrehung bis 10 Grad.

Die Ergebnisfläche zeigt Hub und Verdrehung im Zeitverlauf. Beide Kurven sind zur Lesbarkeit jeweils auf ihren eigenen maximalen Absolutwert normiert; ihre tatsächlichen Einheiten und Maximalwerte stehen in der Legende. CSV und Excel enthalten alle ausgegebenen Zeitpunkte. PDF enthält eine gekennzeichnete Auswahl gleichmäßig verteilter Zeitpunkte und die Extrema jeder ausgegebenen Größe.

Der Schnitt ist ein Teilmodell. Seine Stützreaktionen werden noch nicht in sämtliche Gesamtflügel-/Anschlussnachweise zurückgeführt. Der Rollbeschleunigungsbeitrag $\Delta L_y / I_{xx}$ betrifft ausschließlich den repräsentierten einseitigen Streifen. Weder vollständige Flugbewegung noch Flattergrenze werden nachgewiesen. Bei aktiver Schnittdynamik bleibt die Gesamtfreigabe deshalb offen, auch wenn die numerischen Teilprüfungen bestehen.

Gemeinsames Druck-Schub-Beulen von Kastenwänden

Unter **Holme → Gemeinsamer Flügelkasten → betreffende Wand → Lokales Wandbeulen** ein isotropes oder speziell orthotropes Plattenmodell wählen. Bei aktivierter Druck-Schub-Interaktion die belegten **Limit-Druckspannungen längs und quer** eingeben. Sie gelten als externe Hülle in allen ausgewerteten Feldern dieser Wand; die globale Biegerechnung liefert sie nicht automatisch. 0 nur eingeben, wenn die betreffende Richtung nachweislich druckfrei ist. Zug wird nicht zur rechnerischen Stabilisierung verwendet.

Der aktuelle Querkraft-/Torsionsschub der Wand wird gemeinsam mit beiden Druckspannungen in die geometrische Steifigkeit eingesetzt. Der Nachweislastfaktor wirkt auf alle drei Komponenten einmal. Die Reserve ist der gemeinsame Laststeigerungsfaktor bis zur linearen Verzweigung. Das Feld muss rechteckig, dünn und an vier Rändern gelenkig gehalten sein. Speziell orthotrop bedeutet hier $D_{16}=D_{26}=0$ und keine B-Matrix-Kopplung. Ausschnitte, flexible Rippen, Schubverformung dicker Sandwichplatten, Verwölbung und Nachbeulen bleiben außerhalb dieses Teilmodells. Ein einzelner externer Schubbeulenkennwert reicht für die Druck-Schub-Interaktion nicht aus.

Downloads und Betreiberdiagnose

Nach jeder Eingabeänderung neu berechnen; anschließend PDF, Excel oder CSV in der Ergebnis-/Downloadleiste wählen. Bei einer Fehlermeldung ist ein angezeigter Berechnungswert noch keine erfolgreich heruntergeladene Datei.

Administratoren finden unter **Entwicklung & Änderungsverlauf → Exportdiagnose** die letzten zwölf Dateierzeugungen mit Format, Phase, Dauer und Spitzenbedarf an Arbeitsspeicher. Die Diagnose enthält keine Projektwerte, Dateiinhalte oder Zugriffstoken. „generated“ bestätigt nur die serverseitige Dateierzeugung. Ein Verbindungsabbruch danach muss zusätzlich anhand des passenden Serverzeitpunkts untersucht werden.

Fachliche Grundlagen dieser Teilmodelle

- [Sivells/Neely, NACA-TR-865 \(1947\)](#): Traglinie mit nichtlinearen Profilkennlinien.
- [OpenFAST AeroDyn](#): Tabellen für Profilpolaren und Reynolds-Interpolation.
- [OpenSees](#): Newmark-Integration und dynamisches Gleichgewicht.
- [Weaver/Nemeth \(2008\)](#): orthotrope Platten unter kombinierten Lasten. Die hier verwendete endliche vierseitig gelenkige Ritz-Platte ist keine Übernahme ihrer Regressionsformeln für lange Platten.

Die Literatur beschreibt Methoden und Grenzen. Die daraus entwickelte Implementierung benötigt zusätzlich eigene Vergleichsrechnungen und projektspezifisch belegte Eingabedaten.

Optionale vertiefte Strukturmodelle

Stabilität des räumlichen Rohrgerüsts

Unter **Anschlüsse → Flügelbefestigung am Rumpf → Rumpfgerüst** kann die elastische Gesamtstabilität zusätzlich berechnet werden. Der kleinste Faktor, bei dem die Steifigkeitsmatrix des belasteten Systems ihre positive Definitheit verliert, wird als Stabilitätsreserve ausgegeben. Druckkräfte liefern geometrische Steifigkeit; stabilisierende Zugkräfte werden konservativ weggelassen. Limit und Ultimate werden separat mit ihrem jeweiligen aktiven Kontaktzustand untersucht. Ein Faktor unter 1 bedeutet, dass die gewählte Belastung den linearen Stabilitätsgrenzwert überschreitet.

Die aktive Kontaktkonfiguration wird während dieser Eigenwertprüfung festgehalten. Das ist kein Nachweis großer Verformungen oder einer Laststeigerung mit wechselnden Kontakten. Die geometrische Steifigkeit stammt aus den Rohrmitgliedern; das Mittelteil liefert seine elastische Steifigkeit. Knicken, Knotendetails und Schalen sind anhand des zutreffenden Modells zusätzlich zu untersuchen.

Örtliche Ermüdungsspektren an A bis D

Unter **Anschlüsse → Flügelbefestigung am Rumpf → Aufnahme A/B/C/D · örtliches Ermüdungsspektrum** zuerst das Modell aktivieren. Die Werte sind bereits örtliche, extern ermittelte einachsige Spannungen am zu prüfenden Detail. Sie werden nicht automatisch aus Bolzenquerkräften abgeleitet. Je Spektrumsschritt Minimalspannung, Maximalspannung und Anzahl der Lastspiele eingeben. Spannungseinheit ist N/mm²; positive Werte bedeuten Zug. Negative Mittelspannungen erhalten keinen rechnerischen Lebensdauervorteil.

Die kalibrierte Wöhlerlinie wird durch Spannungsamplitude S_{ref} , Lastspielzahl N_{ref} und positive Steigung m beschrieben: $N = N_{ref} \times (S_{ref}/S_{a,eq})^m$. Die Zugmittelspannungskorrektur lautet $S_{a,eq} = S_a / (1 - \max(0, S_m)/R_m)$. Die Schadenssumme ist $D = \sum(n/N)$, die Reserve D_{zul}/D . Die gültige Unter- und Obergrenze der Wöhlerlinie muss aus den Werkstoff-/Bauteildaten stammen. Außerhalb dieses Bereichs wird kein positiver Nachweis ausgegeben. Die Miner-Summe berücksichtigt keine Lastreihenfolge, mehrachsige Beanspruchung, Rissfortschritt oder Schadenstoleranz.

Mehrere Fügepartner im Gurtstoß

Unter **Gurtstöße · Position und Schub-/Schälverlauf** kann die Zahl der Fügepartner auf zwei, drei oder vier gesetzt werden. Drei und vier Partner besitzen jeweils eigene EA-Werte und Dicken. Alle Partner haben dieselbe Überlappungslänge und -breite; benachbarte Partner sind über Klebschichten gleicher eingegebener Dicke und elastischer Eigenschaften verbunden. Fügepartner werden von oben nach unten gezählt. Ein- und Ausleitpartner müssen verschieden sein. Der Höhenversatz der gemeinsamen Kraftlinie bezieht sich auf die Mitte des gesamten Schichtpakets.

Die Rechnung koppelt Längsdehnung, Biegung und Klebschub/-öffnung. Für isotrope oder axial entkoppelte Partner wird $EI = EA \times t^2/12$ verwendet; eine allgemeine Laminat-Biegematrix wird nicht ersetzt. Die Auswertung vergleicht verfeinerte Netze; bei mehr als 3 % verbleibender Spitzenwertabweichung bleibt der Nachweis ungültig. Die Kurven unterscheiden die Klebfugen durch durchgezogene beziehungsweise gestrichelte Linien. Die lineare Interaktion verwendet konservativ die höchsten absoluten Schub- und Schälspannungen. Kompression darf daher nicht als Klebfestigkeitsgewinn interpretiert werden.

Gemeinsamer Flügelkasten

Unter **Holme** → **Gemeinsamer Flügelkasten** · **freie Zellkontur** das gemeinsame Wandnetz beschreiben. Knotenkoordinaten x/z in mm beziehen sich auf ein einheitliches Querschnittssystem; x zeigt nach hinten und z nach oben. Jede Wand verbindet zwei Knoten. Die linke Zelle liegt bei Betrachtung vom Anfangs- zum Endknoten links; die rechte Zelle ist bei einer Außenwand 0. Jede Zelle muss einen geschlossenen Umlauf gegen den Uhrzeigersinn bilden. Gemeinsame Wände werden genau einmal eingegeben.

Wanddicke, G , zulässige Schubspannung und Bruchspannung beschreiben die wirkliche Wand. Die Rollen Hauptsteg und Hilfssteg dienen der Querkraftübertragung und sind nur für senkrechte Wände zulässig. Andere Wände erhalten die Rolle Haut. Ein aktiver Hilfsholm benötigt mindestens eine entsprechend zugeordnete Wand. Die eingegebene Zellgeometrie, die Gurtgeometrie und die tatsächliche Konstruktion müssen zueinander passen; die freien Wandknoten ändern die Gurtabstände nicht automatisch.

Die Faktoren für Breite, Höhe und Dicke am Randbogen sind Verhältnisse zum Wurzelquerschnitt; zwischen Wurzel und Randbogen wird linear interpoliert. Die Topologie bleibt entlang der Spannweite gleich. Alle Wände nehmen an derselben kompatiblen Q/T-Lösung teil. Der alte getrennte Hauptholm-/Außenkastenansatz wird hierfür nicht zusätzlich angesetzt. Für eine Mittelteilfortführung ist ein eigener tatsächlicher Mittelteilquerschnitt erforderlich. Die Querschnittsansicht zeigt die eingegebenen Wandmittellinien und örtlichen Dicken; der 3D-Viewer bleibt eine schematische Strukturansicht.

Wandbeulen im freien Flügelkasten

An jeder Wand kann eine lokale Stabilitätsprüfung aktiviert werden. Die Feldlänge liegt in Spannweitenrichtung zwischen den tragfähigen Abstützungen; die zweite Abmessung ergibt sich aus der Wand zwischen ihren Knoten. Die Rechnung setzt ein dünnes rechteckiges, an allen vier Rändern gelenkig gelagertes Feld unter Schub, optional mit den oben beschriebenen konstanten Druckspannungen, voraus. Beide Seitenlängen müssen mindestens zehn Wanddicken betragen. Der eingegebene Lastfaktor multipliziert die lokale Schubspannung für diese Stabilitätsprüfung; er muss zum gewählten Nachweisniveau passen.

Isotrop: E und Querkontraktionszahl eingeben. **Speziell orthotrop:** D_{11} , D_{22} , D_{12} und D_{66} in N mm für die tatsächliche Wand eingeben. Vorausgesetzt werden $B = 0$ und $D_{16} = D_{26} = 0$. Eine einzelne D -Matrix darf nicht stillschweigend auf verjüngte Dicken übertragen werden; deshalb ist hier der Dickenfaktor 1 erforderlich. **Externer Kennwert:** eine belegte kritische Schubspannung für die zutreffende Geometrie, Lagerung und Wand eingeben. Ein Kennwert darf nicht unabhängig von diesen Bedingungen als reine Materialfestigkeit behandelt werden.

Die Eigenwertrechnung verwendet eine Sinusbasis und vergleicht aufeinanderfolgende Verfeinerungen. Fehlende beziehungsweise nicht konvergierte Stabilitätsmodelle bleiben offen. Ausschnitte, Druck-/Schubinteraktion, elastische Randlagerung, Verwölbung und allgemeine Sandwich-/Laminatmoden sind nicht abgedeckt.

Individuelles gegenläufiges Steckungspaar

Unter **Anschlüsse** → **Durchgehende Flügelsteckung** → **Gegenläufiges Paar** → **Individuelle Lastteilung** beide Einzelteile beschreiben. Vier Einstecktiefen gehören zu den zwei Teilen mit jeweils linker und rechter Einleitung. Werkstoff- und Querschnittswerte gelten je Teil. Bei einer Laschensteckung gelten die gemeinsamen Laschenmaße; individuell unterschiedliche Laschenformen sind nicht abgebildet.

Für die fünf unabhängigen Kanäle Q_z , Q_x , M_x , M_z und T werden wirksame Gesamtsteifigkeiten eingegeben. Sie müssen die beiden Einsteckbereiche und das Mittelstück zusammen enthalten. Kraftkanäle verwenden N/mm, Verschiebungsspiel in mm und Vorspannung in N. Momentenkanäle verwenden N mm/rad, Winkelspiel in rad und Vorspannmoment in N mm. Positive und negative

Vorspannungen sind gerichtet. Das Spiel ist der Totbereich je Richtung um die unverschobene Kontaktlage.

Das Modell ist beidseitig elastisch: $F = k \times \text{sign}(u + P_0/k) \times \max(0, |u + P_0/k| - g)$. Bei vorhandenem Spiel ist P_0 der elastische Versatzparameter; es ist nicht automatisch die tatsächliche Kraft im unbelasteten montierten System. Die gemeinsame Gleichgewichtsrechnung bestimmt die tatsächlichen Kräfte. Limit und Ultimate werden separat gelöst; Vorspannung wird dabei nicht mit dem Ultimate-Faktor multipliziert. Die Detailtabelle enthält die Einzelteilwerte. Lokale Hülsenendspitzen, Reibung und Kreuzkopplungen bleiben außerhalb dieses Modells.

Elastische Klappenantriebe und Blockieren

Unter **Ruder und Klappen → Betätigung** für den gemeinsamen Antrieb oder das unabhängige Segment die elastische Lastteilung aktivieren. Die Anzahl der Pfade muss zur tatsächlichen Anzahl der Aktuatoren pro Halbflügel passen. Je Pfad Gesamtsteifigkeit in N/mm, Spiel in mm, gerichtete Vorspannung in N und maximales Blockiermoment in N m angeben. Die Pfade teilen dieselbe Hebelgeometrie. Unterschiedliche wirksame Steifigkeiten führen zu unterschiedlichen Kräften; eine reine Division durch die Aktuatorzahl wäre dafür falsch.

Die zulässige Winkelabweichung kontrolliert die linear angenäherte Nachgiebigkeit und das Spiel am Klappenhorn. Der statische Blockierfall addiert konservativ die Beträge der möglichen Aktuator-Blockierkräfte und der äußeren Anlenklast. Das ist kein dynamischer Aufprallnachweis. Die Kinematik prüft Singularitäten und verfeinert gefundene lokale Extremwerte zwischen Abtastpunkten; eine mathematisch garantierte globale Suche wird nicht behauptet.

Profilprojekt sicher übernehmen

Für die erweiterte Übergabe die miteinander geprüften Stände **MS Profilrechner 3.8.2** und **MS Tragflügel-Strukturrechner 1.26.0-beta.1** verwenden. Im Profilprojekt Modellbau oder manntragend ausdrücklich wählen. Die Datei enthält Geometrie, Konturen, Projektart und Konsistenzprüfsummen. Jede Kontur benötigt 20 bis 5000 Punkte. Falsche Achsensysteme, widersprüchliche Projektarten und beschädigte Inhalte werden abgewiesen.

Die Feldvorschau kontrollieren und die Übernahme ausdrücklich bestätigen. Werkstoffe, Massen, Fluglasten, Sicherheitsbeiwerte, Anschlussdimensionen und Freigaben stammen weiterhin aus dem Strukturprojekt. Eine Geometrieübernahme macht bisherige Berechnungsergebnisse ungültig und erfordert die vollständige Neuberechnung. Beide Plugins bleiben unabhängig verwendbar; der Profilrechner muss für den Dateiimport nicht gleichzeitig auf derselben Website installiert sein. Prüfsummen belegen Konsistenz, nicht die Identität des Dateierstellers. Produktlizenz und Berechtigung für die Aerodynamikkopplung bleiben erforderlich.

Flügelbefestigung, Gurtstöße und Mittelteilkästen

Flügelbefestigung, Rumpfgerüst, lokale Anschlussnachweise, Gurtstöße und geschlossene Mittelteilkästen sind wählbare technische Teilmodelle. Eine positive Reserve in diesen Modellen ersetzt keinen vollständigen Nachweis der gesamten Konstruktion. Die Ergebnisliste nennt weiterhin den fehlenden Umfang.

Flügelbefestigung und vernetztes Rumpfgerüst

Unter **Anschlüsse → Flügelbefestigung am Rumpf · 2 Hauptbolzen** die elastische Mittelteilrechnung aktivieren. Der zusätzliche Bereich **Rumpfgerüst · miteinander verbundene Rohre** beschreibt ein räumliches Gerüst aus bis zu 16 Knoten und 28 geraden Kreisrohren. Die biegesteifen Rohrknoten besitzen jeweils drei Verschiebungen und drei Verdrehungen. Das Gerüst und der Mittelteilbalken werden gemeinsam gelöst: Eine Belastung bei A kann damit auch die Nachgiebigkeit und Lagerkräfte bei B, C und D beeinflussen.

Die Hauptbolzenachsen verlaufen weiterhin parallel zur Rumpflängsachse. Alle Aufnahmepositionen beziehen sich auf die Bolzenmitte. x verläuft nach hinten, y entlang der Spannweite, z nach oben. Die Rumpfmittle ist $y = 0$; die Referenzhöhe zwischen den Gurten ist $z = 0$. Hauptbolzen A/B liegen bei $y = \text{minus/plus halbem Achsabstand}$. Hilfsbolzen C/D verwenden ihre eigenen x-/y-Abstände und Höhen. Bei einem Neuprojekt ist die Aufnahmehöhe mittig; bestehende Höhen werden nicht verändert.

Bolzenmitten als Knoten A-D einsetzen überträgt die vorhandenen Bolzenmittelpunkte in die ersten Knoten. Weitere Knoten, Rohrverbindungen und Randbedingungen beschreibt der Anwender. Der zugeordnete Gerüstknoten muss mit dem jeweiligen Bolzenmittelpunkt innerhalb von 0,01 mm übereinstimmen. Nach einer Positionsänderung beide Angaben wieder abstimmen. Die Prinzipansicht zeigt die tatsächlichen Gerüstlinien, Knotennummern sowie A/B rot und C/D orange. Sie ist eine zusätzliche Darstellung; Grundriss, 3D-Struktur, Holmquerschnitt und Anschlussviewer bleiben erhalten.

Die Abstützung beschreibt die Verbindung zur weitertragenden Rumpfstruktur: frei, alle Freiheitsgrade fest, drei Verschiebungen fest oder einzelne Verschiebungsrichtungen fest. Ein gezeichneter Knoten allein ist keine Abstützung. Unzureichende Randbedingungen können ein bewegliches System erzeugen; die Rechnung weist eine singuläre Steifigkeit zurück. Im Gerüstmodell entfallen die bisherigen unabhängigen Rumpffedern $f1/f2/f3$. Lager- und übrige Übertragungsfedern bleiben Teil des Lastpfads. Ausgeschaltete Modelle behalten ihre Eingabewerte.

Für jedes Rohr sind Außendurchmesser, Wanddicke und wirksame Knicklänge erforderlich. E und G müssen ein zulässiges isotropes Material beschreiben. Die Knicklänge kommt aus der realen Abstützung; das Unterteilen eines Rohrs in mehrere Rechenelemente verkürzt sie nicht automatisch. Die Rohrberechnung verwendet $A = \pi(D^2 - d^2)/4$, $I = \pi(D^4 - d^4)/64$ und $J = 2I$. Die räumliche Steifigkeit entsteht durch Koordinatentransformation der lokalen Balkenmatrix und gemeinsame Knotengleichungen.

Limit und Ultimate werden mit den jeweils bereits gelösten Lasten getrennt ausgewertet. Als konservative nominale Spannungsobergrenze werden Axialkraft und Biegung sowie Querkraft und Torsion zusammengeführt. Der Vergleichswert lautet $\sigma_v = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)}$. Die elastische Druckstabilität verwendet $N_{cr} = \pi^2 EI / L_k^2$; die konservative Interaktion ist $\sigma_v / f + N_{comp} / N_{cr} \leq 1$. Der Ultimate-Vergleichskennwert muss zum Material- und Versagensmodell passen. Eine Zugbruchspannung allein begründet keine allgemeine plastische Freigabe.

Die Rohre verwenden Euler-Bernoulli-Biegung. Rohrbeulen, reale Schweißknoten, globale Verzweigungsstabilität, lokale Lascheneinleitung, plastische Umlagerung und große Verformungen sind nicht enthalten. Verdrehungen über 0,05 rad beziehungsweise relative Knotenverschiebungen über 5 % einer Rohrlänge verhindern eine gültige Kleinverformungsauswertung. Diese Grenzen sind Modellprüfungen, keine zulässigen Betriebsverformungen.

Mittelteil mit Schubverformung

Der Bereich **Mittelteil · Schubverformung** ergänzt den elastischen Mittelteilbalken um die wirksamen Schubsteifigkeiten in x und z. Einzugeben ist jeweils κGA in N einschließlich des passenden Schubkorrekturfaktors. Die Timoshenko-Matrix verwendet $\phi = 12EI / (\kappa GA L^2)$. Damit ändern sich die Verformungskompatibilität und bei statisch unbestimmter Lagerung auch die Aufnahmebelastungen. Nicht aktiviert bleibt der bisherige Euler-Bernoulli-Ansatz erhalten.

Diese Steifigkeiten und die EA-/EI-/GJ-Werte der elastischen Sektion müssen den tatsächlich gewählten Aufbau beschreiben. Eine selbst eingegebene Steifigkeit ist noch kein Wand-, Anschluss- oder Stabilitätsnachweis. Bei einem eigenen Mittelteilkasten wird dessen berechnetes reines Torsions-GJ automatisch übernommen; EA und EI stammen bei unabhängigen Gurten aus deren Sektion. Die wirksamen Schubsteifigkeiten bleiben eigene Eingaben. Eine gekoppelte Schub-/Torsions-Schalenmatrix wird nicht automatisch abgeleitet.

Lokale Anschlussnachweise A/B/C/D

Am jeweiligen Bolzendetail erscheint **Aufnahme ... · Buchse, Holz und Kreisnaht**. Die drei Zusatzmodelle sind getrennt aktivierbar und verwenden dieselben tatsächlichen Ultimate-Lagerkräfte. Die Anzahl der Scherflächen bleibt eine konstruktionsabhängige Kundeneingabe. Die zusätzlichen Angaben sind nur für die bewusst eingeschalteten Teilnachweise erforderlich.

Buchse: Das Modell setzt eine Kosinus-Druckverteilung über einen belasteten Halbkreis an. Aus der Kraftbilanz folgt $p_{\max} = 4F/(\pi dL)$. d ist der Bolzendurchmesser und L die wirksame Kontaktlänge. Der eingegebene Spitzendruckkennwert muss zu diesem Ansatz passen. Reales Passungsspiel, Randkontakt, unterschiedliche Kontaktsteifigkeiten und plastische Pressung werden nicht daraus ermittelt.

Holzeinleitung: Bohrungsdurchmesser und tragender Kontaktdurchmesser im Holz sind eigene Angaben. Bei einer Buchse ist der tragende Durchmesser ihr Außendurchmesser. Tragende Dicke, kleinste wirksame Breite und kleinster Randabstand ab Lochmitte bestimmen die nominalen Kontakt-, Netto- und Ausscherflächen. Für Richtungsabhängigkeit werden belegte Lochleibungskennwerte parallel und quer zur Faser eingegeben. Der Winkel wird aus der tatsächlichen y-/z-Kraftrichtung und der eingegebenen Faserrichtung berechnet. Der Hankinson-Ansatz lautet $f_{\alpha} = f_{\text{parallel}} f_{\text{quer}} / (f_{\text{parallel}} |\sin \alpha|^n + f_{\text{quer}} |\cos \alpha|^n)$. Der voreingestellte Exponent 2 ist mit den verwendeten Daten zu bestätigen. Allgemeine Druckkennwerte dürfen nicht ungeprüft als Lochleibungskennwerte eingesetzt werden.

Nettozug und Ausscheren verwenden $F/((b - d_{\text{Loch}})t)$ beziehungsweise $F/(2(e - d_{\text{Loch}}/2)t)$. Hierfür sind zum gesamten Kraftrichtungsbereich passende, ungünstigste Kennwerte einzusetzen. Die Tragfähigkeit entlang der Bolzenachse wird als extern belegter Wert verglichen. Spalten, Querzug, Lastdauer, Klimaeinfluss, Holzwerkstoffaufbau und Laminatmoden sind dadurch nicht vollständig nachgewiesen. Die Holzkennwerte werden gegen Ultimate-Kräfte verglichen und müssen entsprechend aufbereitet sein.

Kreisnaht: Beschrieben wird eine geschlossene Kreisnaht senkrecht zur Bolzenachse. Radius r , wirksame Kehlnahtdicke a und Längsabstand der Querkraft zur Naht liefern $A = 2\pi r a$ und $W = \pi r^2 a$. Normalspannung aus Axialkraft und Biegemoment wird mit nominaler Querkraftspannung über den angegebenen Vergleichskennwert beurteilt. $a/r > 0,2$ wird als außerhalb des dünnen Nahtlinienmodells zurückgewiesen. Beliebige Rohrverschneidungen, Nahtwurzel/-übergang, Wärmeeinfluss und Ermüdung bleiben zusätzliche Nachweise.

Positionierte Mittelteil-Gurtstöße

Nach Aktivierung der elastischen Mittelteilrechnung und unabhängiger Ober-/Untergurte kann **Gurtstöße · Position und Schub-/Schälverlauf** verwendet werden. Bis zu sechs getrennte Überlappungen sind möglich. Jede erhält Obergurt oder Untergurt, signierten Beginn y ab Rumpfmittle und Überlappungslänge. Überlappungen desselben Gurts dürfen sich nicht überschneiden; Stöße müssen vollständig im beschriebenen Mittelteil liegen. Die bisherigen unpositionierten Gurtstoßfelder werden bei diesem Modell ausgeblendet, ihre Werte bleiben erhalten.

Für jede Überlappung wird die größte tatsächliche Gurtkraft innerhalb ihres Lageintervalls aus den elastischen Ultimate-Schnittgrößen bestimmt. Die Berechnung untersucht alle relevanten Lastfälle und Intervallgrenzen. Die gewählte Gurtkraft wird konservativ als vollständige Übertragung zwischen den beiden Fügepartnern angesetzt. Der Ort des maßgebenden Schnitts erscheint im Ergebnis.

Die Überlappung besteht aus zwei axial und auf Biegung elastischen Fügepartnern und einer elastischen Klebschicht. Benötigt werden Überlappungslänge und -breite, Dicke und EA jedes Fügepartners, Klebschichtdicke, Klebstoff-Schubmodul und wirksamer Normalmodul. EI wird aus $EA \cdot t^2/12$ abgeleitet; der jeweilige Fügepartner ist damit ein rechteckiger homogener beziehungsweise entsprechend äquivalenter Balken. Für beliebige Lamine mit axialer/Biegekopplung reicht diese Vorgabe nicht aus.

Die gemeinsame äußere Kraftlinie liegt im eingegebenen Abstand zur Klebschichtmitte. Beide entgegengesetzten Kräfte wirken auf derselben Linie. Dadurch entstehen die zugehörigen Randmomente ohne willkürlichen Schälfaktor. Reale äußere Fügepartnerarme sind nicht Teil dieses lokalen Modells. Der Normalmodul der Klebschicht muss deren seitliche Dehnungsbehinderung berücksichtigen; er ist nicht zwingend gleich dem freien Zug-E-Modul.

Die eigene Energieformulierung verbindet axiale Dehnung und Euler-Bernoulli-Krümmung mit Schub- und Normalfedern der Klebschicht. Hermite-Elemente und eine an den Enden verdichtete Einteilung mit 8, 16 und 32 Elementen liefern Schub- und Schälspannungsverlauf. Eine Spitzenänderung über 3 % bei der Verfeinerung kennzeichnet den Nachweis als ungültig. Dies ist eine numerische Konvergenzkontrolle innerhalb des Modells, keine Aussage über die Übereinstimmung mit einem realen Klebversuch.

Die Reserve verwendet die konservative lineare Interaktion $|\tau|_{\max}/\tau_U + |\sigma_{\text{peel}}|_{\max}/\sigma_{\text{peel},U}$. Zug- und Druckbeträge der Schälung werden als Hülle mit demselben Kennwert beurteilt; druckbedingte Entlastung wird nicht gutgeschrieben. Länge unter fünffacher Fügepartnerdicke oder eine Klebschicht dicker als die halbe kleinere Fügepartnerdicke werden zurückgewiesen. Werkstoffnichtlinearität, Ablösung, Rissfortschritt, Ermüdung und Rückwirkung der Stoßnachgiebigkeit auf das Gesamtmodell bleiben offen.

Torsionskästen: freie Mittelteilzellen

Unter **Anschlüsse → Mittelteil separat → Eigener geschlossener Mittelteilkasten** erscheint **Torsionskasten · freie Zellen und gemeinsame Wände**. Das Modell ersetzt die Rechteck-Wandgeometrie und deren Wandwerkstoffe durch bis zu 16 Querschnittsknoten, 28 gerade Wände und acht geschlossene Zellen. Die alten Rechteckwerte bleiben für einen späteren Modellwechsel gespeichert. **Vorhandenen Rechteckkasten übernehmen** erzeugt einen Ausgangsquerschnitt aus diesen Werten; eine vorhandene freie Kontur wird dabei ersetzt.

Knotenkoordinaten liegen auf Wandmittellinien. x wird ab Holm-/Hauptbolzenmitte nach hinten und z ab der Mitte zwischen den Gurten nach oben gemessen. Die höchsten und tiefsten Konturpunkte müssen bei plus/minus halbem Gurtmittenabstand liegen. Eine Wand wird durch Startknoten, Endknoten, linke Zelle und rechte Zelle beschrieben. Außen ist Zelle 0 auf der rechten Seite. Jede Zelle wird in der x/z-Zeichnung gegen den Uhrzeigersinn umlaufen. Eine gemeinsame Wand wird einmal mit ihren zwei Nachbarzellen erfasst. Die Vorschau zeichnet gemeinsame Wände orange.

Jede Wand besitzt eigene Dicke, G, Limit- und Ultimate-Schubkennwerte sowie eine optionale Fugennachgiebigkeit als Zusatz zu $L/(Gt)$. Die Kontur muss zusammenhängend, geschlossen und ohne Kreuzungen, Doppelwände oder ineinanderliegende Zellen sein. Eine echte Unterbrechung darf nicht durch einen großen endlichen Nachgiebigkeitswert als geschlossen ausgegeben werden. Das Rechteck-Plattenbeulen wird in diesem freien Modell zurückgewiesen; seine Randbedingungen sind auf allgemeine Wandfelder nicht übertragbar.

Für die vertikale Querkraft sind die tatsächlich tragenden senkrechten Wände als Stege zu markieren. Der Grundschubfluss wird entsprechend $G \cdot t \cdot H$ verteilt. Anschließend werden Umlaufschubflüsse aus gemeinsamer Verdrehung und Torsionsgleichgewicht gelöst. Die Flüsse auf einer gemeinsamen Wand ergeben sich aus der Differenz der angrenzenden Zellflüsse zuzüglich ihres Grundflusses. Beide Lastvorzeichen bleiben erhalten; es wird keine entlastende Doppelzählung unabhängiger Kästen vorgenommen.

Positive Umlaufrichtung in der x/z-Zeichnung entspricht minus M_y des rechtshändigen elastischen Balkens; die Schnittgrößenübergabe berücksichtigt dies. Mathematisch gilt $C_q + b = 2A \cdot \theta'$ und $T = T_{\text{Grund}}$

+ $2A^Tq$. Diagonale C-Einträge summieren die Wandnachgiebigkeiten, gemeinsame Wände erzeugen negative Nebendiagonalen. b enthält die Grundfluss-Umlaufintegrale. Die Wandspannung ist $|q_{Wand}|/t$. Vertikale Kraft- und Momentenbilanz werden nach der Lösung geprüft. Pure Torsion liefert die bekannte Bredt-Batho-Lösung. Die Voraussetzung ist ein formtreuer dünnwandiger Querschnitt mit freier Verwölbung und einer definierten Querkrafteinleitung; es ist keine allgemeine Schalenrechnung.

Die Wandtabelle und ihre kleinste Reserve sind maßgebend. Rechteck-Einzelwerte links/rechts/oben/unten werden für freie Zellen nicht als echte Einzelwandwerte ausgegeben. Die gesonderte Schubverschiebung des Carry-through bleibt eine Grundsteg-Näherung $QL/\Sigma(GtH)$, ohne Rückflussenergie und Schub-Torsionskopplung. Die Torsionsverdrehung enthält hingegen die gelöste gemeinsame Zellverdrehung. Der umlaufende Schubanschluss benötigt weiterhin Überlappungsbreite und zugehörige Kennwerte. Seine gleichmäßige Überlappung erfasst keine lokalen Schäl- und Füge-Endeffekte.

Die freien Konturen gelten für das Mittelteil. Die vorhandenen Außenflügel-Kastenmodelle bleiben in ihrem bisherigen Umfang. Eine gemeinsame freie Gesamtberechnung von Hauptholm-Kasten und großem Außenkasten, Ausschnittumleitung, nachgiebigen Rippen, Verwölbungszwang und Wandstabilität ist in diesem Modell nicht enthalten. Bei aktivem Zweisteg-Hauptholm wird der große äußere Kasten deshalb weiterhin nicht zusätzlich als unabhängiger Torsionsträger angesetzt.

Ergebnisführung, Projekte und Exporte

Die zusätzlichen Eingaben liegen in benannten aufklappbaren Bereichen und erscheinen nur bei passenden Modellvoraussetzungen. Felder besitzen Erläuterungen als Fachhilfe und Maus-Hinweis. Ergebnisübersicht und anschließend aufklappbare Tabellen zeigen Bauteil, Nachweis, maßgebenden Lastfall und Reserve. Für die Gurtstöße können Schub-/Schälkurven geöffnet werden. Nach Eingabeänderungen bleiben alte Kurven als vorheriger Stand gekennzeichnet, bis neu gerechnet wurde.

Projektwerte verwenden weiterhin den bestehenden Speicher- und Exportweg. Ausgeschaltete Zusatzmodelle wirken nicht auf die Rechnung; ihre Werte bleiben im Projekt erhalten. Zusätzliche Pflichtdaten werden erst im aktivierten Modell verlangt. Die vorhandene Downloadleiste und Berechtigungsprüfung für PDF, Excel und CSV bleiben bestehen. Die Nachweiszeilen werden über die gemeinsame Exportaufbereitung ausgegeben.

Fachliche Grundlagen

Rahmen- und Balkenkinematik: [TU Delft – Rahmen](#) und [Euler-Bernoulli-Balken](#). Dünnwandige Mehrzellenquerschnitte: [MIT – Structural Mechanics, Unit 15](#). Richtungsbezogene Holzlochleibung: [USDA – Wood Handbook, Kapitel 8](#).

Die genannten Quellen erläutern die Grundlagen. Maßgebend sind die beschriebenen Modellannahmen und passende projektspezifische Kennwerte.

Geführte Grundkonfiguration

Der erste Haupttreiter heißt **Grundkonfiguration**. Er enthält vier direkt anwählbare Schritte. Die bisherigen Eingabefelder und Projektwerte werden weiterverwendet; es gibt keine zweite Geometrie- oder Rechenengine.

Schritt	Eingaben und Zweck
Form	Spannweite, Wurzel- und Randbogentiefe. Projektname und Anwendungsbereich sowie Pfeilung und Bezugsfläche liegen in benannten aufklappbaren Bereichen.

Schritt	Eingaben und Zweck
Rumpfbereich	Standardbezug der Rippen ab der Wurzelrippe an der Rumpfseitenwand; ihr Abstand zur Mittellinie folgt automatisch aus der halben Rumpfbreite. Ein direkter Verweis führt zur Flügelbefestigung.
Profile	Bisherige manuelle Profile, eigene Profilbibliothek und lizenzabhängige Projektübernahme.
Prüfen	Zusammenfassung der tatsächlichen Eingaben, Hinweise auf offene Geometrieübernahme und Verweise auf fehlerhafte Felder. Anschließend folgen Rippen/Ruder, Lasten, Tragstruktur und Anschlüsse.

Bestehende 2D- und 3D-Viewer

Grundriss, 3D-Struktur, Holmquerschnitt und Flügelanschluss bleiben erhalten. Zwischen den vier Grundschritten bleibt die gewählte Ansicht erhalten. Zoom, Drehen, Einpassen, Bauteilsichtbarkeit und Vollbild werden weiter von den bisherigen Viewern bedient. Die Vorschau steht auf größeren Bildschirmen neben der Eingabe und bleibt beim Scrollen sichtbar. Auf schmalen Bildschirmen wird sie kompakt vor der Eingabe angezeigt; zusätzliche Anzeigeoptionen sind innerhalb des Vorschaubereichs erreichbar. Bei geringer Bildschirmhöhe wird die Fixierung aufgehoben, damit die Eingabe bedienbar bleibt. Die mobile Umschaltung zur Vorschau und die Vollbildfunktion bleiben verfügbar.

Grundmaße und individuelle Rippen bewusst abstimmen

Eine Änderung von Spannweite, Grundtiefen oder Pfeilungsangaben überschreibt die vorhandenen Rippen nicht sofort. Ein Hinweis erklärt, dass die Vorschau weiterhin die bestehenden Rippen zeigt. Zwei Wege stehen zur Verfügung:

1. Grundform auf Rippen anwenden ... öffnet die Beschreibung der Änderungen. Erst **Rippen jetzt an Grundmaße anpassen** übernimmt sie: Die erste Rippenposition bleibt bestehen; die übrigen Positionen werden proportional bis zur neuen Halbspannweite verteilt. Sehnen und Vorderkanten folgen den angegebenen Grundmaßen und der Pfeilung. Rippennamen, Verwindung und V-Form bleiben erhalten. Individuelle Sehnen und Vorderkanten werden dadurch ersetzt.

2. Bestehende Rippengeometrie verwenden übernimmt Gesamtspannweite und Endsehnen aus den vorhandenen Rippen in die Grundmaße. Noch nicht übernommene Pfeilungsänderungen werden zurückgesetzt. Individuelle Rippenwerte bleiben bestehen.

Die **Geometrieübernahme zurücknehmen**-Aktion stellt die zuvor vorhandenen Rippenpositionen, Sehnen und Vorderkanten wieder her. Haben Sie diese anschließend erneut bearbeitet oder Rippen hinzugefügt/entfernt, überschreibt die Rücknahme diese Änderungen nicht. Verwenden Sie bei Bedarf einen zuvor gesicherten Projektstand. Die Rücknahme gilt für die letzte Übernahme in der aktuellen Sitzung; sie ist kein Ersatz für den Projektverlauf.

Solange neue Grundmaße noch nicht abgestimmt sind oder Spannweite beziehungsweise Endsehnen den vorhandenen Rippen widersprechen, führt der Berechnen-Knopf zur Abstimmung zurück. Eine offene Grundmaßänderung bleibt auch beim Speichern und Wiederherstellen einer Projektakte erkennbar. Bestehende Projekte werden beim Öffnen nicht automatisch neu erzeugt. Der Benutzer entscheidet, welche Geometrie weiterverwendet wird.

Die Wurzeltiefe gilt im Standardfall an der Rumpfseitenwand. Die Wurzelrippe liegt damit automatisch bei der halben Rumpfbreite; die in der Rippentabelle eingegebenen y-Werte beginnen dort lokal mit 0. Die automatische Netto-Flügelfläche integriert nur die freiliegenden Rippenfelder beider Halbflügel. Eine zusätzlich ausgewiesene Brutto-Referenzfläche ergänzt ausschließlich zum Vergleich die gedachte rechteckige Rumpfüberdeckung. Struktur-, Last- und Flächenbelastungsrechnung verwenden die Nettofläche. Der Mittellinienbezug bleibt als ausdrücklich gekennzeichnete Sonderfall für eine tatsächlich

durchgehende Flügelfläche erhalten.

Altprojekte der Projektformate 1 und 2 werden nicht stillschweigend umgedeutet. Ihre bisherigen globalen y-Koordinaten und die bisherige Flächenzahl werden zunächst im Mittellinien-Sondermodus bewahrt. Wenn die gespeicherte Wurzeltiefe tatsächlich an der Rumpfsseitenwand gemessen wurde, in Schritt 1 den Standardbezug wählen und die Grundform bewusst auf die Rippen anwenden.

Weiterarbeiten und Fehler finden

Mit **Weiter** durchlaufen Sie die vier Grundschrte. **Weiter zu Rippen & Ruder** öffnet den bisherigen lokalen Rippen- und Rudereditor. Die Hauptreiter bleiben jederzeit direkt anwählbar. Fehlerverweise in der Übersicht öffnen den passenden Grundschrte und gegebenenfalls dessen Detailbereich. Ausgeblendete Schritte behalten ihre Werte und werden mitgespeichert.

Die Downloadleiste mit **PDF, Excel und CSV** bleibt über dem Arbeitsbereich verfügbar. Sie benötigt weiterhin eine aktuelle Berechnung und gegebenenfalls die vorhandene Exportberechtigung. „Grundangaben ohne formale Eingabefehler“ ist kein Festigkeitsnachweis und keine konstruktive Freigabe.

Rumpfaufnahme und Mittelteil

Unter **Anschlüsse & Betätigung → Flügelbefestigung am Rumpf · 2 Hauptbolzen** bleiben Achsabstand, Bolzenmitten und die einfache Abscher-Auslegung der Einstieg. Der Kunde bestimmt die Scherflächenzahl. Bolzenachsen bleiben parallel zur Rumpflängsachse; gedrehte Lagerfedern ändern diese Bolzenrichtung nicht.

Die aufklappbaren Zusatzbereiche heißen **1 · Elastisches Mittelteil und Kontaktlager**, **2 · Aufnahme A/B/C/D · Sicherung und erweiterte Anschlussdetails** und **3 · Mittelteilgurte**. Sie sind beim neuen Projekt ausgeschaltet. Erst nach Aktivierung werden zusätzliche Werte verlangt. Alte Projekte behalten ihre bisherigen Modelle. Eine deaktivierte Zusatzrechnung benutzt keine darin verbliebenen Zahlen.

Elastische Lagerrechnung

Das Mittelteil ist ein gerader räumlicher Euler-Bernoulli-Balken mit sechs Freiheitsgraden je Knoten. Beschrieben werden EA, EI für beide Biegeachsen und GJ. Bei aktivierter unabhängiger Gurtrechnung werden EA/EI aus diesen Gurten bestimmt; bei eigenem geschlossenem Mittelteilkasten wird GJ aus dessen Zellrechnung übernommen. Gurtmittenabstand und Kastenhöhe müssen dann übereinstimmen. Positive GJ-Eingabe ohne beschriebenen Kasten ist noch kein Torsionsfestigkeitsnachweis.

Alle Aufnahmen müssen innerhalb der lastfreien Mittelteilbreite liegen. Die Außenflügel-Wurzelrippen liegen außerhalb dieser Aussparung. Die Kräfte und Momente der beiden Außenflügel werden bilanznerhaltend an die Mittelteilenden transportiert. Außenlasten bleiben fest: Diese Rechnung führt keine aerodynamische Lastumlagerung durch Verformung aus.

Je Aufnahme sind drei orthogonale Federrichtungen möglich. Ungedreht gilt 1=x nach hinten, 2=y nach rechts, 3=z nach oben. Drehfolge: Rz(Gier) Ry(Neigung) Rx(Rollen). Alle Positionen bezeichnen Bolzenmitten. z=0 liegt mittig zwischen den Gurtmitten; die geometrische Ebene ist von einer eventuell verschobenen elastischen Neutralachse zu unterscheiden.

Die absoluten Steifigkeiten von Lager, Rumpf und Rippen-/Lastübertragung stehen in N/mm. Die Nachgiebigkeiten addieren sich in Reihe. Ein Lagerwert 0 gibt eine Richtung frei; die übrigen Angaben dieser Richtung verschwinden. Für eine tragende Richtung müssen alle drei Steifigkeiten positiv und konstruktiv belegt sein. Eine insgesamt freie Bewegung wird als nicht lösbar zurückgewiesen. Ohne aktiviertes Rohrnetz wird der Rumpf durch einzelne Federn beschrieben. Bei aktivem Rohrnetz ersetzt dessen gemeinsame Verformung die unabhängigen Rumpffedern.

Spiel ist der kraftfreie Weg pro Seite. 0,2 mm gesamtes beidseitiges Spiel entspricht 0,1 mm Eingabe. Kontakte können beidseitig, nur für positive oder nur für negative lokale Reaktionen tragen.

Montagevorspannung verschiebt die Feder-Ruhelage; sie ist keine zusätzliche äußere Kraft und wird bei Ultimate nicht mit dem Lastfaktor multipliziert. Kontaktiteration, alle sechs Gleichgewichte und kleine Verformungen werden geprüft. Bei Kontaktwechseln wird Ultimate eigenständig gelöst.

Die Ergebnisansicht zeigt Kräfte, Kontaktzustände und Verschiebungen. Die Kurve zeigt die vertikale Mittelteilverformung überhöht; sie ist keine maßstäbliche Verformungsdarstellung des gesamten Flügels. Die Grenze 0,05 rad bzw. 5 % der Mittelteilbreite ist ein softwareseitiger Gültigkeitswächter, kein normativer Zulässigkeitswert.

Anschlussdetails und Gurte

Für erweiterte Anschlussdetails zunächst das bestehende Bolzendetail derselben Aufnahme aktivieren. Der größte Lastanteil einer Scherfläche beträgt bei zwei gleich belasteten Flächen 0,5, bei einer 70/30-Verteilung 0,7. Er wird auch in der einfachen Mindestquerschnittsberechnung berücksichtigt. Zug-/Scherbruch, Streckgrenze, wirksamer Biegehebel und belegte Spannungserhöhungsfaktoren gehören zur tatsächlichen Konstruktion.

Weitere optionale Prüfungen betreffen axiale Sicherung, Buchsen, Laschen und einen einzelnen Rohr-Ersatzstab. Lokale Holz-/Laminat-Tragfähigkeiten werden als extern belegte richtungsbezogene Kapazitäten eingegeben. Der Rechner erzeugt diese lokalen Material-/Kontaktkennwerte nicht selbst. Lineare Interaktionen und Ersatzstäbe ergeben keine vollständige allgemeine Anschlussfreigabe.

Ober- und Untergurt können unterschiedliche Breite, Dicke, E-Moduli und Zug-/Druckkennwerte erhalten. Normalkraft sowie beide Biegemomente werden am selben Schnitt gleichzeitig ausgewertet. Der Kasten wird bei Beschreibung aus den tatsächlichen elastischen Q-/T-Schnitten separat für Limit und Ultimate geprüft. Lokales Beulen, Verwölbung und Flügelebene-Querkraft benötigen zusätzliche Modelle.

Geklebte Ober-/Untergurtstöße lassen sich getrennt beschreiben. Die Schubverzugsrechnung berücksichtigt ungleiche Dehnsteifigkeiten und Schubspitzen an den Überlappungsenden. Schälung wird nominell aus der exzentrischen Kraft und einem ausdrücklich belegten Endfaktor bewertet. Dieser Ansatz ist kein allgemeines Schälris-/Ablösemodell. Konservativ wird die größte Gurtkraft über sämtliche Mittelteil-Schnitte angesetzt; beliebig angeordnete reale Stöße werden noch nicht geometrisch vernetzt.

Zahlung und freiwillige Unterstützung

Wenn der Betreiber kostenpflichtige Berechnungsdowloads anbietet, zeigt die Downloadleiste den erforderlichen Kontozugang und Kaufweg. Rechnen und portable Projektdateien sind von dieser zusätzlichen Zahlungssperre unabhängig. Nach einem bestätigten Kauf kann das berechnete Kundenkonto die freigegebenen Formate herunterladen. Erstattete, offene oder fremde Bestellungen erteilen keine Freigabe.

Eine freiwillige Unterstützung ist eine eigenständige Option und erzeugt kein Exportrecht. Die angezeigten Empfänger- und Zahlungsangaben stammen vom Betreiber.

Modelle und Rechenbilanz

Unter **Lastfälle** zuerst den Momentenbezug festlegen: Viertelsehnenlinie mit C_m , eigene Bezugslinie mit C_m oder echter Druckpunkt ohne zusätzliches C_m . x wird ab der Wurzelnasenleiste nach hinten gemessen; C_m ist positiv Nase hoch. Der geometrische C_m -Bezug und der auftriebsgewichtete Kraftbezug werden getrennt berechnet und korrekt ineinander umgerechnet. Für das Leitwerk gilt der Hebelarm **ab Schwerpunkt**.

VFE lässt sich aus **Lastvielfachem und Trimmung** bestimmen oder mit **vorgegebenem CL** rechnen. Ein Kraft- oder Momentenrest bleibt ausdrücklich offen. Lokale Klappenkräfte werden nicht mehr

zusätzlich zum bereits berechneten Gesamtauftrieb addiert. Für Referenz und VFE beziehen sich die Beiwerte auf die gesamte jeweilige Konfiguration; im Profilfall werden Profil- und Klappenanteile getrennt bilanziert.

Unter **Tragstruktur → Stabilität** die tatsächliche Gurtabstützung wählen. Freier Gurt aktiviert Euler. Vierseitig gehaltene Platte verwendet ein isotropes oder speziell orthotropes Beulmodell. Symmetrische Sandwich-Kernbettung benötigt einen realen voll verklebten Kern. Haupt- und Hilfsholm besitzen getrennte Auswahlen. D-Matrizen gelten nur im angegebenen, ungekoppelten und geometrisch ähnlich skalierten Laminatmodell. Nicht benötigte Felder sind ausgeblendet.

In der Auswertung **Rechenkontrolle → Lastfall** öffnen. Hier stehen die verwendeten Modelle, Kapazitäten, Reserven, Bezugslagen und Bilanzreste. PDF, CSV und Excel enthalten dieselben Werte; in Excel unter **34 Rechenkontrolle**. Ein offener Nachweis ist keine berechnete Reserve null. Geänderte Eingaben machen die angezeigten Prüfwerte bis zur Neuberechnung veraltet.

Altprojekte neu prüfen: Fehlende Modellauswahlen werden nicht geraten. Den wirklichen Aufbau auswählen und mit bestätigten Kennwerten neu rechnen. Die frühere pauschale Sandwich-Schub-Knitterformel wird nicht mehr verwendet. Die zugehörigen Fachhilfen erläutern Modellgrenzen und erforderliche Kennwerte.

2. Projekte und Datenübernahme

Drei unterschiedliche Speicherwege

Weg	Was er leistet	Voraussetzung / Grenze
Auf diesem Gerät speichern	Lokale Projektstände im Browser	An Browser und Website gebunden; kein Ersatz für eine Sicherungsdatei
.mss.json herunterladen	Portable Strukturprojektdatei	Datei selbst aufbewahren; nicht mit einem Ergebnisbericht verwechseln
Im Benutzerkonto speichern / öffnen	Serverprojekt und Versionsstände	WordPress-Anmeldung und aktivierte Server-Projektakten

Die Projektleiste zeigt den Projektnamen. Unter **Projektdetails** stehen Projekt-ID und Revision. **Öffnen, Datei und Verlauf** bündelt Dateimport, Download der Projektdatei und lokale Revisionsauswahl. Eine Projekt-ID bezeichnet die Akte; sie enthält selbst keine Berechnung.

Serverprojekte sind benutzergebunden. Die Oberfläche bietet Speichern, Laden, Liste aktualisieren, Papierkorb und Wiederherstellen. Es werden höchstens sechs Stände je Serverprojekt geführt. Beim Abschalten der Server-Projektakten im Backend werden vorhandene Serverprojekte nicht gelöscht; der Frontendzugriff wird deaktiviert.

Projekt öffnen und weiterbearbeiten

Eine .mss.json über den Dateimport laden oder einen gespeicherten Stand auswählen. Projektname, Anwendungsbereich, Profilquelle und wesentliche Abmessungen kontrollieren. Danach **Berechnung aktualisieren** ausführen. Der Rechner übernimmt beim Öffnen keine vorherige Ergebnisfarbe als neue Berechnung. Das gilt ebenso beim Anlegen eines neuen Projekts.

Nach wichtigen Konstruktionsänderungen einen nachvollziehbaren neuen Projektstand speichern und die portable Datei sichern. Lokales Speichern, Server-Speichern und PDF-Download sind getrennte Aktionen. Ein PDF ist ein Ergebnisdokument und ersetzt keine editierbare Projektdatei.

Profilquelle und Projektart

In **Grundkonfiguration** → **Form** → **Projektname und Anwendungsbereich** den Anwendungsbereich passend zum Projekt wählen. Die verfügbaren Lastpfade und die Profilübergabe berücksichtigen diese Projektart. Ohne Profilübergabe können die angebotenen manuellen NACA-4-Profilangaben verwendet werden.

Eine Kopplung zum MS-Profilrechner benötigt die entsprechende Freigabe und verwertbare Projektdaten. Die Oberfläche unterstützt angebotene lokale Profilprojekte beziehungsweise einen Dateiimport. Für geräteübergreifende Übertragung die vollständige Profilprojektdatei verwenden; eine alleinige ID genügt nicht.

Bei Übernahme prüfen, welche Geometrie- und Profildfelder ersetzt werden. Herkunft, Revision und Prüfinformationen dienen der Nachvollziehbarkeit. Unpassende oder veraltete Übergabedaten nicht allein wegen einer plausibel aussehenden Vorschau übernehmen. Der optionale aerodynamische Strukturfall ist eine eigene Aktivierung und kein automatischer CFD- oder XFOIL-Lauf in diesem Plugin.

3. Geometrie, Koordinaten und Visualisierung

Eingaben und Einheiten

Die Oberfläche nennt die Einheit unmittelbar am Feld. Gesamtspannweite, Flügelfläche, Rippenpositionen, Sehnen und Strukturabmessungen nicht ohne Umrechnung zwischen Metern und Millimetern übertragen. Bruchkennwerte und zulässige Kennwerte sind ebenfalls unterschiedliche Eingabearten.

Mindestens zwei Rippen beschreiben eine Halbflügelgeometrie. Die Rippenliste enthält die lokalen Geometriedaten; dazwischen wird interpoliert. Im Standardbezug beginnt $y = 0$ an der Wurzelrippe auf der Rumpfsseitenwand; global liegt diese Station bei der halben Rumpfbreite. Der automatisch angezeigte Versatz darf nicht ein zweites Mal in die einzelnen Positionen eingerechnet werden. Der Mittellinienbezug ist nur für den Sonderfall einer wirklich durchgehenden Flügelfläche vorgesehen.

Die Netto-Flügelfläche außerhalb des Rumpfs kann aus der Rippengeometrie übernommen oder manuell geführt werden. Sie ist die Bezugsfläche für Struktur, Flächenlast, Flächenbelastung und die im Rechner ermittelten Beiwerte. Die separat ausgegebene Brutto-Referenzfläche einschließlich gedachter Rumpfüberdeckung dient nur dem transparenten Vergleich mit Quellen, die diese Konvention verwenden. Eine manuelle Fläche verändert nicht automatisch die lokale Rippengeometrie. Abweichungen deshalb bewusst prüfen. Pfeilungsbezug, Vorderkantenversatz und Holmpositionen sind ebenfalls getrennte Angaben.

Holmlinien und Ruder

Haupt- und Hilfsholm besitzen jeweils eine gerade Linie. Diese wird durch Wurzel-/Endposition oder Wurzelposition und eigenen Winkel definiert. Eine örtliche Holmverschiebung verändert auch den Hebel zur aerodynamischen Lastlinie.

Querruder und Klappensegmente haben eigene Spannweitengrenzen und Scharnierlagen. Der Segmentwähler erleichtert das Bearbeiten mehrerer Klappen. Das bloße Ausblenden eines Editors deaktiviert dessen Segment nicht. Aktive Segmente dürfen sich nicht unzulässig überdecken. Ausschlag, Geometrie und Lastannahmen müssen zusammenpassen.

Ansichten richtig lesen

Ansicht	Dargestellter Inhalt
Grundriss	Rippen, Planform, Haupt-/Hilfsholm, Ruder, Bezüge und aktivierte Bolzen A-D
3D-Struktur	Schematische unverformte Struktur mit schaltbaren Bauteilen und optionaler Reservefarbe
Holmquerschnitt	Schematischer Querschnitt, einschließlich gewählter Kasten-/Trennwandanordnung
Flügelanschluss	Vorschau des gewählten Lastpfads; bei aktiver Rumpfaufnahme aktuelle Bolzenpositionen

In 3D dreht Ziehen die Ansicht; Umschalt + Ziehen verschiebt, das Mausrad zoomt, Doppelklick passt ein. Oben, Vorne und Isometrisch stellen vordefinierte Richtungen ein. Bauteile können separat ausgeblendet werden. Das ändert keine Last und deaktiviert keinen Nachweis.

Eine Gurt- oder Bolzendicke in der Grafik kann zur Erkennbarkeit überhöht sein. Maßgeblich sind die eingegebenen beziehungsweise berechneten Zahlen. Die Reservefarbe beschreibt den ausgewählten Bauteilnachweis je Rippenfeld, keine lokale Hautspannung und keine Verformung. Hüllwerte verschiedener Seiten bilden keinen gemeinsamen verformten Zustand.

4. Lastfälle und aerodynamische Kopplung

Referenzfall

Masse, Lastvielfaches, Geschwindigkeit, Luftdichte und weitere Flugzustandsangaben bestimmen den Referenzfall. Die Leitwerkskraft kann innerhalb der angebotenen Modelle berücksichtigt werden. Die gewählte Lastverteilung wird auf die entsprechende Halbflügellast normiert; die Halbflügelmasse wird als örtliche Trägheitslast angesetzt.

Verfügbar sind Schrenk-, elliptische, sehnensproportionale und referenzbasierte Sektionsverteilungen. Eine hübsche Kurvenform ersetzt keine fachliche Auswahl der passenden Lastannahme. Änderungen des Lastvielfachen und der Geschwindigkeit wirken auf unterschiedliche Teile des Modells; sie sind nicht austauschbare Stellgrößen.

Zusätzliche Fälle

Fall	Eingabe und Wirkung
VFE / Landeklappen	Eigene Geschwindigkeit, Dichte, Lastvielfaches und Beiwerte der Klappenkonfiguration
Links / Rechts	Vorgegebenes statisches Rollmoment und optionale einseitige Klappenabweichung
Profilfall	Zusätzliche profilbasierte lineare aerodynamische Strukturrechnung bei entsprechender Aktivierung

Im VFE-CL-Modus beschreibt der eingegebene Auftriebsbeiwert die gesamte ausgefahrene Konfiguration; im Trimm-Modus wird der erforderliche Wert berechnet. Das Modell verteilt Grund- und lokale Klappenanteile so, dass die Klappenzusatzlast nicht ein zweites Mal als Gesamtauftrieb angesetzt wird.

Aerodynamische und Trägheitsangaben müssen trotzdem zusammenpassen; relevante Abweichungen werden gemeldet.

Links und rechts werden getrennt gerechnet. Eine Hüllkurve nimmt ungünstige Werte aus mehreren Seiten beziehungsweise Fällen auf. Ihre Maxima müssen nicht gleichzeitig auftreten. Der eingegebene statische Rollmomentenansatz ist kein vollständiges dynamisches Rollmanöver.

Profilfall einordnen

Die optionale Profilrechnung nutzt die vorhandenen Profil-/Verwindungsdaten und ein lineares aerodynamisches Modell. Sie liefert einen zusätzlichen Strukturfall. Sie bildet keinen Strömungsabriss, keine vollständige Klappenpolare und keine aeroelastische Rückkopplung ab. Die Geometrieübernahme allein schaltet diesen Nachweis nicht automatisch ein.

Für die Auswertung jeden aktivierten Fall kontrollieren. Die Gesamtbewertung verwendet die vorhandenen aktiven Nachweise; ein Filter auf „Referenzfall“ entfernt die ungünstigeren anderen Fälle nicht aus dem Projekt. Noch nicht berechnete Fälle sind nicht als belastbare Ergebnisse anwählbar.

5. Holmgurte, Stege und Stabilität

Zwei Eingabearten für den Hauptgurt

Gurtbemessung	Eingabe
Rovingbelegung	Belegung, Verbunddaten und Breite; Dicke wird abgeleitet
Feste Gurtmaße	Breite und Dicke je Gurt; Fläche = Breite × Dicke

Der Gurtabstand bezeichnet den Abstand der Gurtmittellinien. Breite und Dicke beziehen sich auf einen Gurt. Die Tabelle **Gurtquerschnitte je Rippe** zeigt vorhandene und erforderliche Flächen; eine Tabellenzeile wählt die zugehörige Rippe in der Vorschau. Bei festen Maßen sind Rovingzahlen nur rechnerische Äquivalente.

Sind beide Rovingzahlen null, gilt die automatische Festigkeitsauslegung: $A_{\text{erf}} = \max(F/\sigma_{\text{zul}}, \gamma \cdot F/\sigma_{\text{Bruch}})$. Die größte Belegung je Rippe aus allen aktiven Lastfällen wird zu einem gemeinsamen Flügel zusammengeführt; alle Fälle werden damit neu gerechnet. Niedrige eingegebene Bruchfestigkeiten werden nicht automatisch angehoben. Stabilität und Anschlüsse werden dabei noch nicht automatisch dimensioniert.

Einzelsteg oder Zweisteg-Kasten

Beim Einzelsteg gilt die tragende Stegdicke. Beim Zweisteg-Kasten beide Stege, Stegabstand und Schließhäute beschreiben. Die Summe der Stegdicken dient der Querkraftaufteilung; Torsion beansprucht jede Wand nach ihrer eigenen Dicke. Schließhäute besitzen eigene Materialkennwerte. Ein Außenkasten ersetzt keine beschriebene Kastenfortführung im Rumpfmittelteil.

Hilfsholm und Stabilität

Der optionale Hilfsholm erhält eigene Querschnitte und Werkstoffdaten. Biegung und Querkraft werden im kompatiblen Ersatzmodell nach EI beziehungsweise GA aufgeteilt. Eine Änderung kann deshalb beide Holme betreffen; anschließend stets neu rechnen.

Die Stabilität wird an allen Rippenschnitten ausgewertet. Je Prüffart erscheint die maßgebende Rippe. Für zwei Stege werden Dicke und Beanspruchung jeder Wand zusammen geprüft; beim Hilfsholm gilt die örtliche Stegdicke. Freie Gurtbreite höchstens gleich örtlicher Gurtbreite; übrige freie Feldbreiten und Längen gelten über den gesamten Holm.

Euler prüft einen **einzelnen freien Druckgurt**: $I_{\min} = \min(b \cdot t^3, t \cdot b^3)/12$ und $N_{\text{krit}} = \pi^2 \cdot E \cdot I_{\min} / (K \cdot L)^2$. Das frühere Trägheitsmoment des getrennten Gurtpaars war dafür ungeeignet. Für kontinuierlich gehaltene Gurtplatten steht jetzt ein eigenes Randmodell zur Verfügung; veränderliche Querschnitte innerhalb einer freien Knicklänge bleiben gesondert zu beurteilen.

Sandwich erfordert reale Kernabstützung. Das Modell erfasst nur die symmetrische Vollkern-Normalbettung mit gleichen Decklagen. Antisymmetrisches Knittern, Kernschubbruch und Ablösung bleiben separat. Im Standardstegmodell ist für orthotrope oder Sandwich-Stege ein belegter externer kritischer Schubkennwert erforderlich; die alte empirische Schub-Knitterformel entfällt.

6. Mittelteil und Torsionskästen

Holmfortführung auswählen

Unter **Tragstruktur** → **Hauptholm** → **Holmfortführung und Rumpfmittelteil** liegen Lastpfad, Wurzelfortführung und separate Mittelteilangaben zusammen. Wurzelquerschnitt fortführen nur dann wählen, wenn die reale Konstruktion diesen Querschnitt auch im Mittelteil besitzt.

Bei einem separat beschriebenen Mittelteil müssen Gurtabstand, Gurt-/Stegquerschnitte und gegebenenfalls eigener geschlossener Kasten vollständig zusammenpassen. Ein im Außenflügel gewählter Zweisteg-Kasten schließt den Torsionspfad im Mittelteil nicht automatisch.

Kastenfamilien

Bereich	Vorhandener Funktionsumfang
Haupt-Holmkasten	Zwei Stege und obere/untere Schließhaut als geschlossene Zelle
Großer Flügelkasten	Zwischen Haupt- und Hilfsholm; bestehende Ein-/Zweizellenmodelle sowie drei bis sechs Zellen
Eigener Mittelteilkasten	Eine bis sechs gleich breite Zellen mit gemeinsamen Trennwänden

Mehrzellenkästen berücksichtigen gemeinsame Verdrehung und unterschiedliche Schubflüsse der Zellen. Trennwände sind keine voneinander unabhängigen Außenwände. Die angebotenen Kastenfamilien sind keine frei editierbare allgemeine Zellentopologie.

Im Standardmodell werden ein Zweisteg-Hauptholmkasten und ein großer Flügelkasten nicht automatisch zusammengesetzt. Für eine gemeinsame Berechnung das optionale freie Wandnetz unter „Gemeinsamer Flügelkasten“ vollständig beschreiben. Eine unterbrochene Außenkontur ist kein geschlossener Kasten; die entsprechende Modellwahl wird abgewiesen. Im Mittelteil kann die vorgesehene lineare Fugennachgiebigkeit zusätzlich beschrieben werden.

Mittelteil aus den Lagerkräften

Die optionale Rückführung der Rumpfaufnahmekräfte setzt einen separat beschriebenen geschlossenen Mittelteil und einen lastfreien Mittelausschnitt voraus. Alle Lager müssen innerhalb der berücksichtigten Mittelteilbreite liegen. Die Mittelteilausdehnung darf nicht beliebig in belastete Außenflügelfelder hineinreichen.

Der Rechner bildet zusätzliche Schnittgrößen aus Außenlasten und Lagerreaktionen. Die bisherige Wurzelprüfung bleibt als Vergleich erhalten; die kleinere Reserve wird berücksichtigt. Der Außenflügel wird dadurch nicht künstlich entlastet. Die reale Kraftübertragung hinterer Aufnahmen durch Rippen und Anschlüsse ist damit noch nicht nachgewiesen.

Optionale Gurtstöße werden als symmetrischer Überlappungsstoß mit mittleren Spannungen vorausgelegt. Schälung und Füge-Endspitzen sind darin nicht vollständig erfasst. Das zusätzliche isotrope Plattenbeulmodell ersetzt keinen orthotropen Nachweis für Holz-/CFK-Lamine oder Sandwich.

7. Flügelbefestigung A/B und C/D

Konstruktion und Bedienpfad

Die Anschlussart **Flügelbefestigung am Rumpf · 2 Hauptbolzen** beschreibt einen einteiligen Tragflügel mit Rumpfaussparung und durchgehendem Hauptholm. Das Material der Holmgurte legt diese Anschlussart nicht fest. Die Bolzenachsen verlaufen parallel zur Rumpflängsachse.

Aktivierung unter **Tragstruktur → Hauptholm → Holmfortführung und Rumpfmittelteil**. Lastpfad **Einteiliger durchlaufender Holm / Carry-through** wählen, dann die Berechnung der Flügelbefestigung einschalten. Hintere Aufnahmen bei entsprechender Konstruktion aktivieren.

Aufnahme / Maß	Bedeutung
A links und B rechts · rot	Hauptbolzen am durchgehenden Hauptholm
Achsabstand a	Abstand von Mitte A bis Mitte B entlang der Spannweite
C links und D rechts · orange	Hintere Hilfsbolzen / Verdrehsicherungen
Längsabstand C bzw. D	Von der Hauptbolzenlinie bis zur jeweiligen Bolzenmitte, positiv nach hinten
Seitenabstand C bzw. D	Betrag von der Rumpfmittellinie bis zur jeweiligen Bolzenmitte

Alle Positionsangaben bezeichnen **Bolzenmitten**. A/B liegen bei $y = -a/2$ und $+a/2$. Die hinteren Aufnahmen besitzen voneinander unabhängige Abstände. Links wird der eingegebene positive Seitenabstand intern negativ, rechts positiv verwendet.

Höhe und Lastverteilung

Gemeinsames $z = 0$ liegt mittig zwischen Ober- und Untergurt am Hauptbolzen. Neuprojekte beginnen auf dieser Höhe. C/D und die Lastbezugsebene verwenden denselben Bezug, nicht jeweils eine neue lokale Profilmittte. Abweichende Höhen werden im räumlichen Modell eingegeben; gespeicherte Projekte behalten ihre vorhandenen Werte.

Das vertikale Grundmodell berücksichtigt Gesamtlast, Rollmoment und Längs-/Torsionsmoment. Vier vertikale Lager sind statisch unbestimmt; relative Vertikalsteifigkeiten bestimmen die Verteilung mit.

1/1/1/1 bedeutet die Annahme gleicher Steifigkeit. Eine Bolzenzahl oder eine grafische Position bestimmt diese Steifigkeiten nicht automatisch.

Zwei gelenkige Hauptbolzen auf einer Linie können im Modell ein vorhandenes Längs-/Torsionsmoment allein nicht abstützen. Ein entsprechender Hinweis ist kein Widerspruch zu „zwei Hauptbolzen gewählt“, sondern ein Hinweis auf den fehlenden weiteren Lastpfad. Die hinteren Aufnahmen müssen der tatsächlichen Konstruktion entsprechen.

Einfache Abscher-Auslegung

Für die Querschnittsauslegung A/B genügen zusätzlich die gemeinsame Scherbruchfestigkeit und je eine kundenseitige ganze Scherflächenzahl für A und B. Alle drei Felder dürfen für die reine Lagerkraftberechnung leer bleiben; eine teilweise ausgefüllte Bemessung ist nicht vollständig. Ausgegeben werden maßgebender Fall, Bemessungskraft, Fläche und Minstdurchmesser. Für gleich dicke Hauptbolzen wird der größere erforderliche Durchmesser genannt.

8. Räumliche Lagerung und Anschlussdetails

Wann das räumliche Modell benötigt wird

Räumliche Lagerung · Richtungen und Höhen ergänzt horizontale Kräfte, Richtungssteifigkeiten und Höhenhebel. Es verwendet x nach hinten, y nach rechts und z nach oben. Die Kräfte werden als Kräfte des Flügels auf den Rumpf bezeichnet. Absolute Verformungen lassen sich aus bloßen Steifigkeitsverhältnissen nicht ableiten.

Die bisherigen positiven Vertikalsteifigkeiten bleiben wirksam. Die x-/y-Steifigkeiten verwenden denselben Maßstab; der Wert 0 bedeutet dort eine freie Richtung. Neue Projekte erhalten absichtlich keine erfundene horizontale Abstützung. Ein nicht abgestütztes System kann unlösbar sein. Nur real vorhandene Richtungen und Lastpfade ansetzen, nicht beliebige Werte zur Beseitigung einer Fehlermeldung.

Die gemeinsame Lastbezugshöhe erzeugt zusätzliche Hebel für horizontale Lasten. Die optionale zusätzliche Seitenkraft und das zusätzliche Giermoment werden jedem aktiven Fall gleich überlagert. Sie stellen keinen automatisch erzeugten Schiebefluglastfall dar.

Richtung der Bolzenkräfte

Größe	Bedeutung für längs gerichtete Bolzen
F _x	Axialkraft längs der Bolzenachse
F _y und F _z	Komponenten quer zur Bolzenachse
Querresultierende	Maßgebend für die einfache Abscher-Vorauslegung im räumlichen Modell

F_x wird nicht als zusätzliche Abscherlast in die reine Querschnittsauslegung eingerechnet. Die axiale Sicherung bleibt separat zu betrachten. Die Zahl der Scherflächen bestimmt die Querschnittsauslegung und ersetzt keine Eingabe der Anschlusssteifigkeit.

Optionale Bolzen- und Laschenprüfung

A, B, C und D besitzen aktivierbare Detailblöcke. Hier werden tatsächlicher Durchmesser, konstruktive Scherflächen, Materialkennwerte und Biegehebel beschrieben. Für C/D gilt das dargestellte Detailmodell ebenfalls für längs gerichtete Bolzen. Die Auslegung eines erforderlichen Durchmessers und die Prüfung eines vorhandenen Durchmessers sind unterschiedliche Aufgaben.

Die Prüfung umfasst Ultimate-Abscherbruch und eine konservative Limit-Fließprüfung aus axialer Kraft, Biegung und Schub für den beschriebenen isotropen Vollbolzen. Optional kommen Nennspannungsprüfungen gleich belasteter Laschen auf Lochleibung, Nettozug und Ausscheren hinzu.

Bohrung, Randabstand und wirksame Laschenbreite müssen geometrisch zusammenpassen. Bei gleichzeitig aktiver einfacher und detaillierter Hauptbolzenprüfung müssen die gemeinsamen A/B-Scherangaben übereinstimmen. Kontakt, Spiel, Buchsen, Laschenbiegung, örtliche Holmeinleitung und Rohrgerüst sind damit nicht vollständig erfasst. Der Gesamtanschluss bleibt ausdrücklich offen.

9. Beschläge, Steckung und Klappenbetätigung

Lastpfade nicht verwechseln

Gewählter Lastpfad	Gemeinter Aufbau
Durchlaufender Holm / Carry-through	Durchgehender Hauptlastpfad; optional Rumpfaufnahme A-D
Lösbarer Bolzenanschluss + Carry-through in Serie	Beschlag und anschließendes Mittelteil bilden eine Anschlusskette
Nur lösbarer Beschlaganschluss	Lokaler Beschlag; Rumpfstruktur separat
Modellbau-Steckung	Rohr, Stab oder Lasche mit den angebotenen Steckungs-Teilprüfungen

Die Oberfläche begrenzt Auswahlmöglichkeiten nach Anwendungsbereich. Für die jetzt vereinbarte einteilige Flügelkonstruktion mit zwei Hauptbolzen ist der durchlaufende Holm mit der eigenen Rumpfaufnahme vorgesehen. Die allgemeine Beschlag-Bolzengruppe ist ein anderes Modell und kein Ersatz für die A/B/C/D-Geometrie.

Bei unsymmetrischen Beschlag-Punktgruppen werden die beiden Biegemomente gekoppelt verteilt. Nicht abtragbare Momente erfordern eine andere reale Punktanordnung; größere Bolzen beheben das fehlende Gleichgewicht nicht. Ein größerer Bolzen verkleinert zudem den verfügbaren Netzquerschnitt.

Die serielle Anschlusskette wird durch das schwächere berücksichtigte Teil begrenzt. Ein starker Bolzen hebt einen schwachen Carry-through nicht auf. Ohne ein vorhandenes passendes Teilmodell werden fehlende Nachweise nicht automatisch als erfüllt bewertet.

Beschläge und Steckungen bedienen

In **Anschlüsse & Betätigung** die zur Konstruktion gehörenden Daten bearbeiten. Beschlagpunkte besitzen ihre eigenen Koordinaten und lokalen Kennwerte. Die dortigen Bezugsebenen nicht mit der längs-/spannweitenbezogenen Rumpfaufnahme vermischen.

Bei einer Modellbau-Steckung Querschnittsform, Abmessungen, Werkstoff, Einstecklängen und die angebotenen Anschlussangaben vollständig beschreiben. Außenabmessung, Wanddicke und innere Abmessung sind unterschiedliche Größen. Die dargestellte Steckung ist eine schematische Orientierung; die Zahlenwerte bestimmen den Nachweis.

Klappenbetätigung

Die Klappen geometrie wird in **Rippen & Ruder** beschrieben. Die Betätigung wird in **Anschlüsse & Betätigung** festgelegt. Je nach Modell werden gemeinsame oder getrennte Antriebe und die zugehörigen Hebel-/Kraftangaben verwendet. Mehrere aktive Klappen segmente bleiben auch dann aktiv, wenn nur ein Segment editor sichtbar ist.

Die Betätigungsrechnung behandelt die angebotenen statischen Teilmodelle. Sie ist keine dynamische Prüfung von Ausfahrvorgang, Spiel, Anschlagstoß oder Ermüdung. Vorzeichen und Hebel geometrie beachten; ein Hebel nahe einer ungünstigen Stellung kann hohe Kräfte verursachen. Nach Geometrie- oder Antriebsänderungen neu berechnen und den maßgebenden Segment-/Lastfall kontrollieren.

10. Ergebnisse, Downloads und Fehlersuche

Reserve, Vollständigkeit und Ergebnisalter

Eine Reserve kleiner als 1 kennzeichnet eine Unterschreitung im betreffenden berechneten Teilnachweis. Eine Reserve ab 1 betrifft nur diesen Teilnachweis und die angesetzten Kennwerte. Der Vollständigkeitsstatus ist zusätzlich zu lesen. Ein offener Torsionspfad oder Gesamtanschluss wird nicht durch eine günstige Gurtreserve geschlossen.

Nach Änderungen kennzeichnet der Rechner alte Ergebnisse als veraltet. Die Vorschau folgt den neuen Eingaben ohne alte Reservefarben; Downloads bleiben bis zur erfolgreichen Neuberechnung gesperrt. Änderungen während einer laufenden Anfrage können deren Antwort ebenfalls ungültig machen.

Lastfall und Bauteil sind zwischen Diagrammen und Vorschau gekoppelt. Die Gesamtbewertung und Berichte umfassen die aktiven Nachweise; der gerade gewählte Diagrammfilter ist keine Löschung anderer Fälle. Die Auslegungshilfe nennt betroffene Eingaben und bietet den Sprung **Zur Eingabe**. Eine übernommene Änderung erfordert erneut eine vollständige Rechnung.

Downloadbuttons finden

Direkt unter den sechs Hauptreitern liegt die Leiste **Berechnung herunterladen**. Dort stehen **Berechnung aktualisieren**, **PDF**, **Excel** und **CSV**. Die Exportbuttons werden nach einer erfolgreichen aktuellen Rechnung bedienbar. Sie sind von **.mss.json herunterladen** in der Projektleiste zu unterscheiden.

Ausgabe	Zweck
PDF	Lesbarer Berechnungsbericht einschließlich Hinweisen und Teilnachweisen
Excel / XLSX	Strukturierte Ergebnisarbeitsmappe; kein Ersatz für den Plugin-Rechenkern
CSV	Tabellarische Weiterverarbeitung
.mss.json	Editierbare Projektakte zum erneuten Laden im Rechner

Typische Meldungen

Beobachtung	Nächster Prüfschritt
Downloads grau	Berechnung aktualisieren; Pflichtfeldfehler und letzte Eingabeänderung prüfen
Keine Bolzen in der Vorschau	Durchlaufenden Lastpfad, aktive Rumpfaufnahme und 3D-Ebene A-D prüfen
C/D fehlen	Hintere Torsionsaufnahmen aktivieren und gültige Positionswerte eingeben
Räumliche Lagerung unlösbar	Reale Richtungsabstützungen, Geometrie und gemeinsame Steifigkeitsverhältnisse prüfen
Trotz zwei Stegen Torsionspfad offen	Schließhaut und insbesondere Mittelteil-/Kastenfortführung kontrollieren
Serverprojekt fehlt	Anmeldung, Benutzerkonto, Serverregister-Aktivierung und Papierkorb prüfen
Alte Oberfläche nach Update	Geladene Version sowie Browser-, Seiten- und Asset-Cache prüfen

11. Umfang und Nachvollziehbarkeit

Die angebotenen statischen Teilmodelle ersetzen keine vollständige Fluglast-, Böen- oder Manöverhülle und keine Flatter-, Ermüdungs- oder Schadenstoleranzrechnung. Maßgebend sind die Modellgrenzen der ausgewählten Nachweise. Eine positive Teilreserve bedeutet keine Gesamtfreigabe.

Für einen nachvollziehbaren Projektstand gemeinsam aufbewahren: .mss, .json, verwendete Profilquelle, Herkunft der Werkstoff- und Lastdaten sowie den aktuellen Berechnungsbericht. Die Dateiversion und Modellannahmen wie Lagersteifigkeiten oder Kastenfortführung müssen zum Bericht passen.

Die Anzeige eines Maus-Hinweises bestimmt der Browser. Auf Touchgeräten oder für längeres Lesen die jeweilige **Fachhilfe** öffnen; sie ist auch per Tastatur erreichbar.

12. Automatische Dimensionierung

Mindestwerte ermitteln und übernehmen

Die Dimensionierungshilfe liegt direkt unter der Downloadleiste. Ein Klick berechnet den aktuellen Eingabestand, erhöht unterstützte Querschnittsmaße und rechnet anschließend alle aktiven Lastfälle vollständig neu. Die Zielreserve stammt aus „Zielreserve Auslegung“ bei den Anschlüssen; Standard ist 1,10.

Berechnet werden Gurtfestigkeit und Plattenbeulen, Stegfestigkeit und Schubbeulen, Schließhautschub sowie einfache Bolzen- und Beschlagmaße. Haupt- und Hilfsholm werden nach jeder Änderung wegen der EI-/GA-Lastaufteilung gemeinsam neu bewertet. Größere Bohrungen lösen eine erneute Prüfung von Netzquerschnitt und Randligament aus. Bei automatischer Rovingbelegung können explizite Wurzel-/Randbogenwerte eingesetzt werden.

Es werden ausschließlich Erhöhungen übernommen. Wurzel- und Randbogenmaße werden bei Holmen gemeinsam skaliert; die vorhandene Abstufung bleibt soweit die Rundung erlaubt erhalten. Deshalb sind

dies aufgerundete, modellbezogene Zielwerte und keine global optimierte Minimalstruktur. Vorhandene Überdimensionierungen werden nicht abgebaut.

Änderungen kontrollieren

Geänderte Eingaben erscheinen gelb und erhalten den Text „Automatisch: Altwert → Neuwert“. Die Änderungsliste führt direkt zum Feld. „Automatische Änderungen zurücknehmen“ stellt die ursprünglichen Werte wieder her und berechnet erneut; zwischenzeitlich manuell bearbeitete Felder bleiben erhalten. „Markierungen als geprüft entfernen“ entfernt nur die Kennzeichnung.

Ungeprüfte Änderungen werden mit der Projektakte gespeichert, in deren Integritätsprüfung einbezogen und beim erneuten Öffnen wieder angezeigt. Danach ist wie bei jedem Projektimport neu zu berechnen. Beim Öffnen älterer Pluginversionen kann diese zusätzliche Kennzeichnung verloren gehen; die eingegebenen Maße bleiben normale Projektwerte.

Grenzen und Abbruch

Lasten, Werkstoffkennwerte, Scherflächenzahl, Lagerabstände, freie Feldbreiten und Knicklängen werden nicht geändert. Euler-, Sandwich-, Klebe-, räumliche Anschluss- und weiterführende Detailnachweise werden nicht automatisch passend gemacht. Gelb bedeutet „automatisch geändert“, nicht „fachlich freigegeben“.

Die Suche endet nach höchstens zwölf Änderungsschritten oder nach Erreichen der Zeit-/Maßgrenzen. Pro Schritt wird begrenzt erhöht und neu gerechnet. Nicht erreichte Ziele werden ausdrücklich gemeldet. Unmögliche Gurtgeometrie oder ungültige Zahlen verhindern die Übernahme. Ein zeitüberschrittener oder durch weitere Eingaben veralteter Serverlauf schreibt keine Werte ins Formular.

13. Eigene Profilbibliothek

Upload und Auswahl

Im Frontend unter **1 · Grundkonfiguration → Profile → Eigene Profilbibliothek** oder im WordPress-Menü **MS-Tragflügel-Strukturrechner → Profilbibliothek** werden DAT-/TXT-Dateien hochgeladen. Unterstützt werden Selig-Konturen und Lednicer-Dateien mit Punktzahlen für Ober- und Unterseite. Profilname und Herkunft lassen sich ergänzen. „Hochladen und prüfen“ speichert ein technisch lesbares Profil zunächst mit ausstehender Freigabe.

Die Datei darf höchstens 128 KiB und 2.000 Koordinatenpunkte enthalten. Zahlen verwenden Dezimalpunkte; die Sehne muss in x-Richtung liegen. Konturen mit fehlenden Seiten, nicht endlichen Werten, kreuzenden Oberflächen oder ungültiger Geometrie werden abgewiesen. Die Koordinaten werden auf eine Sehne von 1 normiert und auf 201 gemeinsame Punkte verteilt. Die Originaldatei bleibt unverändert gespeichert.

Nach dem Upload oder nach „Liste laden“ zeigt die Auswahl Kontur, Profildicke, Wölbung, Herkunft und Revision. „Als Wurzelprofil“, „Als Randbogenprofil“ beziehungsweise „Für beide verwenden“ übernimmt den gewählten Stand ausdrücklich. Ein anderer Upload verändert das Projekt nicht automatisch.

Freigabe und Zugriffsrechte

Administratoren prüfen unter **Profilbibliothek** die Warteschlange „Freigabe ausstehend“. Mit Prüfvermerk können sie freigeben, ablehnen oder eine Freigabe zurücknehmen. Jede Statusänderung wird protokolliert. Eine zwischenzeitliche Änderung durch einen anderen Administrator verlangt erneutes Laden. Auch Backenduploads erhalten zunächst den Status ausstehend.

Allgemein auswählbar sind freigegebene Profile. Eigene ausstehende, abgelehnte oder zurückgezogene Uploads bleiben dem Eigentümer und Administrator zugänglich. Die Dateiprüfung und die Freigabe für den Katalog sind keine Bestätigung aerodynamischer Kennwerte oder einer zulässigen Konstruktion.

Angemeldete Benutzer werden über ihr WordPress-Konto zugeordnet. Bei Gästen schützt ein zufälliges HttpOnly-Cookie den Zugriff auf die eigenen privaten Uploads. Nach Cookieverlust ist diese private Liste nicht wiederherstellbar; die zuvor gespeicherte Projektdatei enthält weiterhin die benötigten Profilkordinaten. Die öffentlich lesbare Profilvorschau enthält weder den privaten Prüfverlauf noch die Originaldatei.

Profilbibliothek: Projektstand und Betrieb

Feste Revisionen und Berechnung

Eine neue Revision erhält eine eigene unveränderliche Koordinatenfassung innerhalb derselben Profil-ID. Projekte speichern für Wurzel und Randbogen jeweils Name, Revision, Koordinaten, Herkunft und SHA-256-Prüfsumme. Eine spätere Freigabe, Ablehnung oder Rücknahme verändert diese Kopie nicht. Für eine neue Revision muss der Anwender erneut auswählen und übernehmen.

Die 3D-Ansicht nutzt die tatsächlichen Konturen und interpoliert sie zwischen Wurzel und Randbogen. Der optionale profilbasierte Traglinienfall nutzt dieselbe Geometrie, soweit die bestehende Aerodynamikfunktion lizenziert und aktiviert ist. Ein Upload erzeugt keine gemessenen Polaren: Auftriebsgrenzen, Auftriebsanstieg und Widerstandsannahmen bleiben Eingaben beziehungsweise Annahmen des vorhandenen Modells. Die Holmhöhe und Gurtabmessungen werden nicht automatisch aus der Profilkontur abgeleitet.

CSV, XLSX und PDF enthalten lesbare Profilangaben mit Revision und Koordinatenprüfsumme. Die vollständige Koordinatenkopie liegt in der MSS-Projektdatei. Berichte ersetzen diese Projektdatei nicht. Formelartige Benutzernamen und Herkunftstexte werden im CSV als Text ausgegeben; negative Zahlen bleiben Zahlen. Der kompakte PDF-Bericht verwendet WinAnsi-Schriften: häufige mathematische Zeichen werden umschrieben, andere nicht darstellbare Zeichen als Fragezeichen ausgegeben. Projektdateien und XLSX behalten Unicode.

Profilbestände erhalten

Projektdateien enthalten die verwendete Profilrevision. Eine zurückgenommene allgemeine Profilfreigabe löscht keine historische Profilkopie im eigenen Projekt. Für die Sicherung der Serverbestände ist der Betreiber zuständig.