BabyPowderStudios Sitzkonsolen Nachweis

Dieser Bericht beschreibt den Sitzaufbau und untersucht die Beanspruchung von Konsolen, L-Adaptern und Verschraubungen bei einer äquivalent-statischen Frontalbelastung von 30 g. Eine separate Einzelanschlussprüfung betrachtet zusätzlich 15.000 N je M10-Karosserieanschluss. Dokumentiert sind die Modellannahmen, Spannungsverläufe und Grenzen der Berechnung.

Geltungsbereich

BMW 1er · E-Serie, F-Serie

BMW 2er · F-Serie, G-Serie

BMW 3er · E9X, F-Serie, G-Serie

BMW 4er · F-Serie, G-Serie

Die Ergebnisse gelten bei Übereinstimmung von Geometrie, Werkstoff, Befestigung, Fahrzeugauflagen und Lastannahmen mit dem Rechenmodell. Die aufgeführten Baureihen wurden nicht jeweils separat validiert.

Wichtiges Verbot (Gurte)
Sicherheitsgurte dürfen weder am Sitz noch an dessen Befestigungen nach Art. 253-16 verankert werden. Für die Gurte sind eigene, dafür vorgesehene und von der Sitzbefestigung unabhängige Anlenkpunkte zu verwenden.
Grundlage: FIA Art. 253-6.2 und 6.2.4; Einbauzeichnungen 253-61-a bis 253-61-d. [7]

In diesem Bericht

Aufbau und geometrische Zuordnung 02-03
30-g-Lastfall und FEM-Grundlagen 04-07
Sitzkonsolen und M8-/M10-Anschlüsse 08-10
L-Adapter, Vorspannung und Gleiten 11-12
Einordnung und Quellen 13
M10-Einzelanschlussprüfung: 15.000 N 14-21

01 Aufbau und Datenstand

Bauteil / Größe	Grundlage und Verwendung
Konsole links und rechts	S355, lasergeschnitten, 8 mm. Je zwei M10-Senkkopfschrauben 10.9, bestätigt mit 42 Nm angezogen, an originalen BMW-Aufnahmen; Abstand 365,721 mm.
Konsole zur Laufschiene	Je zwei M8; aktive Lochreihe y = +11 mm, Abstand 320 mm. Die neue 36-Nm-Angabe wird nur den ausdrücklich beschriebenen Adapter- und Sitzanschlüssen zugeordnet.
Laufschiene	Stahl, ca. 370 mm lang und 40 mm hoch. Wie vorgegeben ideal starr. Keine zusätzliche Masse aus einem erfundenen Vollblock.
L-Adapter	S355, 4 mm; links/rechts als STEP. Untere mittlere Langlöcher, 310 mm Abstand. Sitzanschlüsse B7 und S3; Schraube S3 in Langlochmitte angenommen.
M8 an Adapter und Sitz	Senkkopf, Klasse 10.9, trocken, 36 Nm. Rosette aus Vollmaterial A1, Schäfer + Peters, Außendurchmesser 22 mm, Bohrung 9 mm, Höhe 4,5 mm [1].
Masse und Schwerpunkt	15 kg für Sitz, beide Schienen und Adapter einschließlich Befestigungsteilen; Schwerpunkt 300 mm über Konsolenoberseite. Fahrer 80 kg.
Gurte	6-Punkt-Gurte an Karosserie. Fahrerträgheit im Basisfall vollständig über Gurtanker idealisiert; vertikale Fahrergewichtskraft bleibt auf dem Sitz.

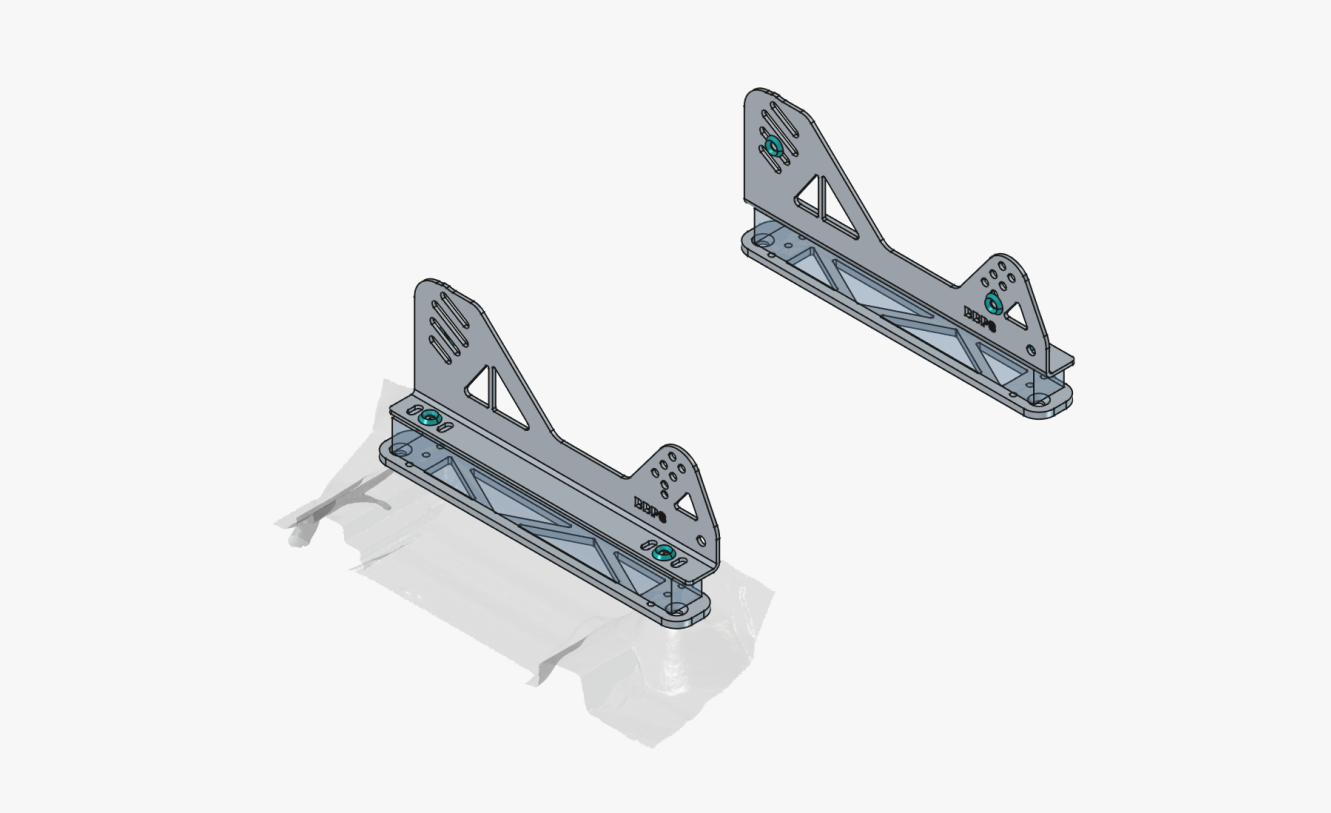
Sitz: Recaro Pole Position nach Nutzerangabe. Die konkrete Sitzvariante, Homologationsnummer und die Freigabe dieser Eigenbauadapter durch den Sitzhersteller sind nicht belegt.

Geometrie und Auflagen

Der Adapter liegt nach Nutzerangabe plan auf der Schiene. Mangels Schienen-CAD wird eine ebene, starre Gegenfläche unter dem gesamten unteren Flansch angenommen. Die tatsächliche Schienenbreite und die rückseitige Anlage am Sitz sind nicht vermessen. Am Sitz wird die Kraft flächig über den Rosettenfuß in den Adapter eingeleitet; Sitzschale, Gewindeeinsatz und rückseitige Klemmgeometrie sind nicht aufgelöst.

Der Innenraumscan definiert die Konsolenauflagen. Die Erhöhung bei X = 0 ist laut Nutzer die bleibende originale BMW-Gewindeaufnahme. Die etwa 18 mm tiefer liegende Umgebung wird dort nicht als zusätzliche Auflage verwendet. Die zweite Fahrzeugseite ist nicht separat im Scan registriert; ihre Kontaktgeometrie bleibt eine übertragene Annahme.

02 Geometrische Zuordnung



FreeCAD-Aufbau: zwei Konsolen, ideal starre Schienen, linke/rechte L-Adapter und acht schematisch dargestellte Rosetten. Türkis markiert die Rosetten. Der Abstand von 480 mm zwischen den Darstellungen ist ein Darstellungsabstand und kein vermessenes Fahrzeugmaß.

Kontakt zur Karosserie

Der Scan wurde im vorherigen Rechenstand an einer Konsole registriert. Verwendet werden nur Flächen in der Umgebung der M10-Aufnahmen, deren Höhen zur Unterseite der Konsole passen. Die geometrische Auswahl ergibt etwa 118 bis 122 mm² am kleinen BMW-Gewindeboss und etwa 1.385 bis 1.397 mm² am zweiten Anschluss; die Unterschiede hängen von Netz und Flächenintegration ab.

Die Auflage wird auf die nominale Konsolenunterseite bei Z = -1,5 mm abgebildet. Eine Höhentoleranz von 1 mm gegenüber dem Scan dient der robusten Flächenauswahl. Der Scan liefert keine Blechdicke, Gewindetragfähigkeit oder Kontaktsteifigkeit der BMW-Aufnahmen. Die Umgebung des kleinen Bosses liegt etwa 18 mm tiefer und wird nicht künstlich als flächige Stütze benutzt.

Darstellung und Rechenmodell

Die sichtbaren Rosetten orientieren sich an den Produktmaßen. Ihre Außenkontur und die 90°-Senkung sind für die Darstellung angenommen. In der FEM werden Kreisringflächen verwendet; die sichtbaren Rosettenkörper werden nicht als elastische Volumenkörper mitgerechnet. Die Masse kleiner Befestigungsteile bleibt innerhalb der vorgegebenen Näherung von insgesamt 15 kg.

03 Lasten und Kraftfluss

Die Rosette reduziert keine Trägheitskraft. Für den Aufbau gelten im gewählten Vergleichslastfall F = 15 kg × 30 × 9,80665 m/s² = **4,413 kN** und M = F × 0,300 m = **1,324 kNm** oberhalb der Konsolen. Pro Seite wird die Hälfte angesetzt.

30 g ist eine frei gewählte Vergleichsbeschleunigung aus der Voruntersuchung und keine aus FIA Artikel 253 abgeleitete Prüflast. Weil die Fahrtrichtung im CAD nicht bestätigt wurde, werden +X und -X untersucht. Z zeigt nach oben. Die 50/50-Aufteilung auf beide Seiten und die Längs-Schwerpunktlage bei X = 182,821 mm sind angenommen.

Lastfall	S3: Fx / Fz [N]	B7: Fx / Fz [N]	größte Anschlusskraft [N]
+X	904 / 1.274	904 / -1.726	1.949
-X	-904 / -1.697	-904 / 1.244	1.923

Kräfte je linkem Adapter, nach Abzug seiner explizit angesetzten Eigenmasse von 1,357 kg. Die unterschiedliche Höhe von B7 und S3 und die Kraftschwerpunkte der ausgeschnittenen Auflageflächen gehen in das Momentengleichgewicht ein. Rechts ergeben sich im ideal gespiegelten Adapter dieselben Beträge.

Einfluss des Fahrers

Karosseriefeste Gurte vermeiden eine direkte Gurtankerkraft in der Konsole. Sie beweisen jedoch nicht, dass im Unfall keine Fahrerkräfte über Sitzkontakt, Becken, Reibung oder Gurtführung auf den Sitz wirken. Der Basisfall mit null Fahrerträgheitsanteil ist daher keine konservative obere Grenze.

angenommener Fahreranteil an der Längslast	Gesamt-Längskraft bei 30 g	Kippmoment bei gleicher Höhe
0 % (Basis)	4,413 kN	1,324 kNm
25 % (Sensitivität, keine zusätzliche V3-FEM)	10,297 kN	3,089 kNm
100 % (Rechenhülle, kein behaupteter Lastpfad)	27,949 kN	8,385 kNm

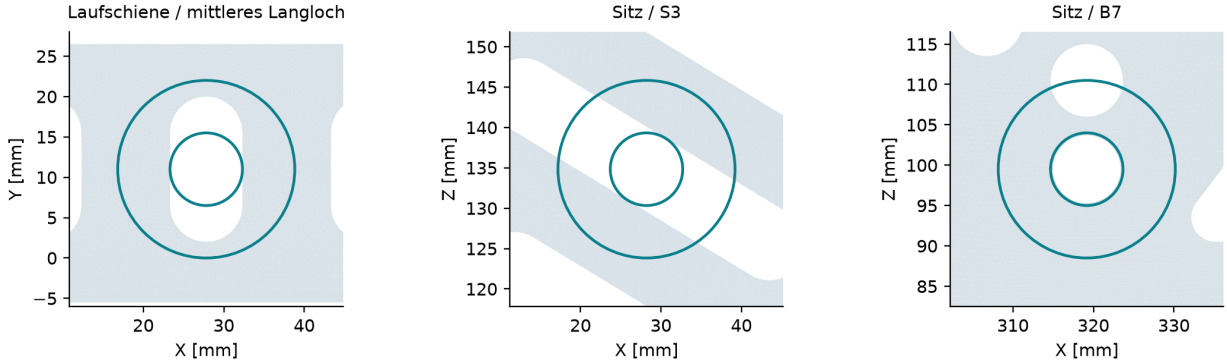
Die vertikale Last des 95-kg-Systems beträgt zusätzlich 931,6 N. Die 15 kg enthalten die modellierten Adapter; deren Trägheit wird nicht doppelt angesetzt. Die beiden Konsolen liegen außerhalb der 15-kg-Aufbaumasse und werden mit eigener Stahlmasse zusätzlich belastet.

Übertragung auf die Konsole: Die starre Schiene leitet die resultierenden Kräfte und Momente weiter. V3 berücksichtigt den Lastangriff an der Adapteraußenfläche. Die Kräfte und Momente werden aus der Ausführung mit 22-mm-Rosetten übernommen.

Unterer Klemmbereich, Ø 22 verfeinert	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]
+X / S3-Ende	-602	-90	-1.966
+X / B7-Ende	-1.604	90	-1.297
-X / S3-Ende	912	86	-1.379
-X / B7-Ende	1.295	-86	-1.827

Reaktionen der idealen Klemmbereiche auf den Adapter, ohne Montagevorspannung. Die druckseitigen Flächenreaktionen der Schiene kommen hinzu. Diese Werte sind keine vollständigen Schraubenzugkräfte.

04 Auflage der 22-mm-Rosetten



Türkis: Rosettenauflage Ø 22 / 9 mm | Weiß: fehlendes Material

Auflage	wirksame Fläche [mm²]	mittlere Pressung [MPa]
Schiene, je Schraube	235,7	74,3
Sitz S3	187,8	93,2
Sitz B7	287,6	60,9

Ausgewertet wird ausschließlich die bestätigte Rosette mit 22 mm Außendurchmesser. Die Tabelle verwendet die tatsächlichen Ausschnitte der Auflage und die mittlere analytische Vorspannung von 17,50 kN je Schraube. Die Haftkraft hängt zusätzlich vom Reibwert und vom Erhalt der Klemmkraft unter Last ab.

Die Flächen entstehen durch Verschneiden der Kreisringauflage mit der tatsächlichen Adapteroberfläche. Der Innenradius beträgt 4,5 mm. Am unteren Langloch und an S3 fällt ein großer Teil der nominellen Ringfläche weg. B7 verliert zusätzliche Auflage durch das benachbarte Bohrloch. Die rechnerisch volle Ringfläche von 316,5 mm² wäre deshalb an keiner dieser Stellen uneingeschränkt verfügbar.

Mittlere Pressung aus der angenommenen Vorspannung

Bei der mittleren Reibannahme ergibt sich eine Vorspannung von 17,50 kN je Schraube. Daraus folgen geometrische Mittelwerte von **74,3 MPa** unten, **93,2 MPa** an S3 und **60,9 MPa** an B7. Die örtlichen Kontaktspitzen und die Biegung der Rosette können deutlich höher liegen.

Die Angabe **A1** beschreibt hier die Edelstahlgruppe, keine zugesicherte Festigkeitsklasse der Rosette. Härte, Streckgrenze und Nachweis gegen Durchziehen bzw. Biegen über dem Langloch fehlen. Die Bezeichnung „Vollmaterial“ allein schließt diese Nachweise nicht ab.

05 FEM-Methode und Netzprüfung

CalculiX 2.22, quadratische 10-Knoten-Tetraeder (C3D10), S355 mit E = 210.000 MPa, v = 0,30 und ρ = 7.850 kg/m³. Die Stahlkennlinie bleibt elastisch; 355 MPa dient als nomineller Vergleich zur Streckgrenze [6], ohne Werkstoffzeugnis für das vorliegende Blech. Montagevorspannungen werden analytisch abgeschätzt und sind **nicht** in den ausgewiesenen FEM-Spannungen enthalten.

Modellmerkmal	Umsetzung
Unterer Anschluss	Knoten der oberen Flanschfläche innerhalb des Kreisrings Ø 22 / 9 mm werden ideal festgehalten. Das entspricht einer unendlich steifen, haftenden Klemmung. Schraubendehnung und Rosettennachgiebigkeit sind nicht enthalten.
Plane Schienenauflage	Druckseitige GAPUNI-Kontakte unter der Flanschunterseite; Abheben zulässig. Penalty-Steifigkeit 10^4 N/mm³, über Knotenflächen gewichtet. Kein Reibkontakt auf der übrigen Fläche.
Sitzanschlüsse	Resultierende Kraft als flächige Last auf dem ausgeschnittenen Kreisring der äußeren Stegfläche. Annahme einer wirksamen Haftverbindung. Kein Gewinde-, Kopf- oder Sitzschalenmodell.
Konsole	Neu gerechnete V3-Resultierende; M10-Loch-/Senkflächen ideal fest; Scanauflage nur druckseitig. Eigenmasse enthalten.
Netzprüfung	Dieselbe 22-mm-Ausführung wird auf grobem und verfeinertem Netz ausgewertet. Geometrie, Werkstoff und Lastansatz sind unverändert; Revision 4 wertet ausschließlich die bestätigte Ausführung aus und ergänzt die Konsolenanschlüsse.

Adapter-Netz	Knoten	C3D10-Elemente	CAD-Volumenfehler
Grob	134.932	72.030	0,000033 %
Verfeinert	282.962	160.506	0,000112 %

Die Kreisschnitte werden auf linear unterteilten quadratischen Oberflächendreiecken integriert. Flächenlasten erhalten dabei ihren tatsächlichen Schwerpunkt. Die Randknoten der Klemmung bilden den Kreis diskret ab; Spannungsspitzen an dieser idealen Kante können netzabhängig bleiben. Für den Fernbereich werden Kugelbereiche mit Radius 19 mm um die vier Anschlussmittelpunkte ausgeschlossen.

Die rechte Adaptergeometrie ist als exakte Spiegelung der linken STEP-Geometrie geprüft. Unter gespiegelten Lasten und Lagerungen sind die von-Mises-Spannungen und Verschiebungsbeträge identisch; ein separater rechter Adapterlauf würde keine zusätzliche Geometrieinformation liefern. Die Konsolen links/rechts werden getrennt ausgewertet.

06 Ergebnisse der erneuten Rechnung

Adapter / Netz	σmax [MPa]	umax [mm]
+X, grob	396,1	0,434
-X, grob	311,4	0,490
+X, verfeinert	474,6	0,440
-X, verfeinert	455,0	0,495

σmax: extrapolierte nodale von-Mises-Spannung, einschließlich idealer Klemmkanten. umax: maximale Adapterverschiebung relativ zur starren Schiene. Keine plastische Restverformung, kein Bruchlastfaktor.

Verfeinerter Adapter	Fernbereich [MPa]	abhebender Flansch [mm]
+X	101,0	0,0439
-X	117,9	0,0372

Netzvergleich und Interpretation

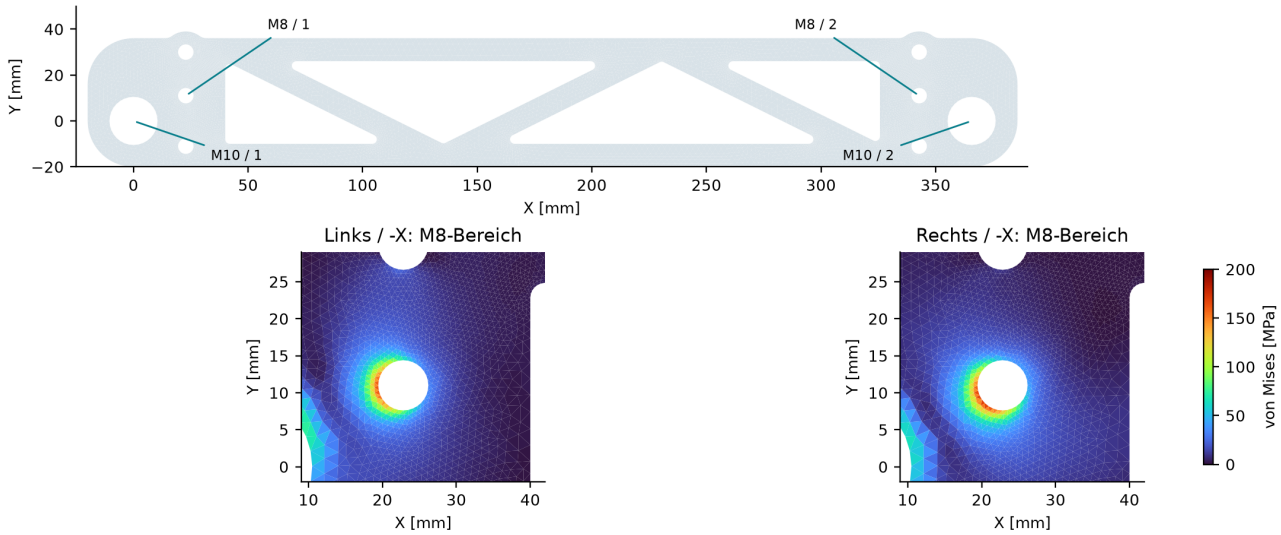
+X: Beim Verfeinern ändert sich die Ø-22-mm-Spannungsspitze um 19,8 %, die maximale Verschiebung um 1,5 %. Ein kleiner Gleichgewichtsfehler allein bestätigt keine lokale Spannungskonvergenz.

-X: Beim Verfeinern ändert sich die Ø-22-mm-Spannungsspitze um 46,1 %, die maximale Verschiebung um 1,0 %. Ein kleiner Gleichgewichtsfehler allein bestätigt keine lokale Spannungskonvergenz.

Werte oberhalb 355 MPa kennzeichnen in diesem elastischen Modell möglichen örtlichen Fließbeginn. Die tatsächliche Spannungsumlagerung oder Versagenslast ist damit nicht berechnet. Die Ergebnisse gelten nur, solange die angenommenen Klemmbereiche wirksam haften.

07 Sitzkonsole: Bauteil und Auflage

Jede Konsole besteht aus 8 mm S355 und verbindet zwei M8-Schienenanschlüsse mit zwei M10-Karosserieankern. Die ausgewertete Masse beträgt 0,887 kg je Konsole; ihre eigene Trägheit ist zusätzlich zur 15-kg-Aufbaumasse enthalten. Die nachfolgende Auswertung gilt für beide Seiten und die Lastfälle +X / -X mit den bestätigten 22-mm-Rosetten am Adapter.



Oben: Zuordnung der Anschlüsse in lokalen Konsolenkoordinaten. Unten: kritischer M8-Bereich im Lastfall -X, links/rechts; gleiche Farbskala. Die Konsole selbst enthält keine neu hinzugefügten 22-mm-Rosetten. Diese sitzen an den zuvor beschriebenen Adapter- und Sitzanschlüssen.

Konsole mit aktualisiertem Lastangriff und Scanauflage

Konsole / Richtung	σmax [MPa]	umax [mm]	Kontaktmodell
Links / +X	144,3	0,0080	Druckkontakt, grobes Netz
Links / -X	173,9	0,0151	Druckkontakt, grobes Netz
Rechts / +X	150,7	0,0122	Druckkontakt, grobes Netz
Rechts / -X	183,8	0,0110	Druckkontakt, grobes Netz

Die Konsolenwerte sind abhängig von der idealen M10-Lagerung und der übertragenen Scanauflage. Sie sind kein Festigkeitsnachweis für das BMW-Bodenblech oder seine Gewindeeinsätze. Die neue Rosette hebt diese bereits in V2 vorhandenen Modellgrenzen nicht auf.

Die Konsole ist mit 59.069 Knoten und 33.432 C3D10-Elementen gerechnet. Eine eigene Netzkonvergenzstudie der V4-Konsolen ist nicht erfolgt. Der größte Wert von 183,8 MPa liegt im Modell unter 355 MPa; daraus folgt keine Reserve für die gesamte Verschraubung oder die BMW-Aufnahme.

08 M8: Laufschiene auf Sitzkonsole

Je Seite sind zwei M8-Anschlüsse mit 320 mm Abstand bei y = +11 mm aktiv. Anschluss 1 liegt bei x ≈ 22,82 mm, Anschluss 2 bei x ≈ 342,82 mm. Die Lochwandflächen sind kinematisch an die ideal starre Schiene gekoppelt. Die Tabelle zeigt die an diesen Flächen übertragenen Kräfte auf die Konsole, nicht die innere Zugkraft einer vorgespannten Schraube.

Seite / Last	Anschluss	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Betrag [N]
Links / +X	1	906	158	1.809	2.030
Links / +X	2	1.301	-158	-2.275	2.625
Links / -X	1	-1.074	-158	-2.227	2.477
Links / -X	2	-1.133	158	1.761	2.100
Rechts / +X	1	910	-139	1.812	2.032
Rechts / +X	2	1.297	139	-2.278	2.625
Rechts / -X	1	-1.069	140	-2.226	2.474
Rechts / -X	2	-1.137	-140	1.761	2.101

Z ist nach oben positiv: positive Fz hebt die Konsole am Schienenanschluss an, negative Fz drückt sie nach unten. Die größte Anschlussresultierende beträgt 2,625 kN. Der Kräftewechsel entsteht aus dem Kippmoment des Sitzaufbaus; eine gleichmäßige Verteilung der Längskraft auf alle Schrauben würde diese Belastung nicht beschreiben.

Was die Schraubenrechnung hier leisten kann

Zusätzlich zu den Kräften übertragen die starren Lochwandkopplungen lokale Momente. Die ausgegebenen Resultierenden dürfen deshalb nicht direkt als reine Scher- oder Zugbelastung eines gelenkigen M8-Bolzens interpretiert werden. Die Kopplung ersetzt Schrauben, Lochspiel, Kontakt zwischen Schiene und Konsole sowie deren Vorspannung.

Für eine vereinfachte reine Kraftabschätzung kann As = 36,6 mm² für ein M8-Regelgewinde verwendet werden. Mit N = max(Fz, 0) und V = √(Fx² + Fy²) ergibt sich σv = √[(N/As)² + 3(V/As)²]. Über alle vier Last-/Seitenkombinationen liegt dieses nominelle, vorspannungsfreie Maß bei höchstens **72,5 MPa**. Es lässt die übertragenen lokalen Momente, Schraubenbiegung, Setzen und Gewindetragfähigkeit weg und ist daher kein abgeschlossener M8-Nachweis.

> Die bestätigten 36 Nm beziehen sich auf Adapter- und Sitzanschlüsse. Für die Verbindung Schiene-Konsole liegt keine gesonderte bestätigte Montageangabe vor. Der ursprüngliche Datenstand nannte M8 in Klasse 12.9; die spätere Korrektur auf 10.9 erfolgte im Zusammenhang mit den Adapter-/Sitzschrauben. Für diesen M8-Anschluss wird deshalb keine klassenspezifische Freigabe oder Anzugsempfehlung abgeleitet.

Noch zu prüfen

Reale Auflagebreite der Schiene, Schraubenkopf und Gegenauflage, Gewindeeingriff, Lochspiel und Klemmsteifigkeit bestimmen die Aufteilung zwischen Reibschluss, Lochleibung, Schraubenzug und Schraubenbiegung. Die ideal starre Schiene liefert hierfür nur die strukturellen Anschlusslasten.

09 M10: Sitzkonsole auf Karosserie

Je Konsole verbinden zwei M10-Senkkopfschrauben der Klasse 10.9 die Konsole mit den originalen BMW-Aufnahmen. Anker 1 liegt bei x = 0, Anker 2 bei x = 365,721 mm. Die Bohrungs- und Senkflächen sind im FEM-Modell festgehalten; die aus dem Scan abgeleitete übrige Auflage trägt nur Druck.

Seite / Last	Anker	Rx [N]	Ry [N]	Rz [N]	Auflage Pz [N]
Links / +X	1	-1.023	-173	-1.874	71
Links / +X	2	-1.443	173	-349	2.627
Links / -X	1	1.199	173	1.287	940
Links / -X	2	1.267	-173	-2.004	252
Rechts / +X	1	-1.024	115	-1.884	79
Rechts / +X	2	-1.442	-115	-334	2.614
Rechts / -X	1	1.190	-116	1.342	884
Rechts / -X	2	1.277	116	-2.065	312

Rx/Ry/Rz sind Reaktionen der ideal festen M10-Loch- und Senkflächen auf die Konsole. Pz ist die getrennte, druckseitige Auflagereaktion. Negative Rz beschreibt eine haltende Kraft nach unten; positive Rz ist eine Stützkraft der idealisierten Lochlagerung und keine reale Druckkraft im Schraubenschaft.

Lastniveau und Grenzen der M10-Abschätzung

Die größte nach unten haltende Lochreaktion beträgt 2,065 kN; die größte horizontale Resultierende 1,454 kN. Für ein M10-Regelgewinde mit angenommener Steigung 1,5 mm ist As ≈ 58,0 mm². Mit N = max(-Rz, 0), V = √(Rx² + Ry²) und σv = √[(N/As)² + 3(V/As)²] ergibt sich höchstens **52,3 MPa** als nominelle Kraftabschätzung ohne Vorspannung und Biegung.

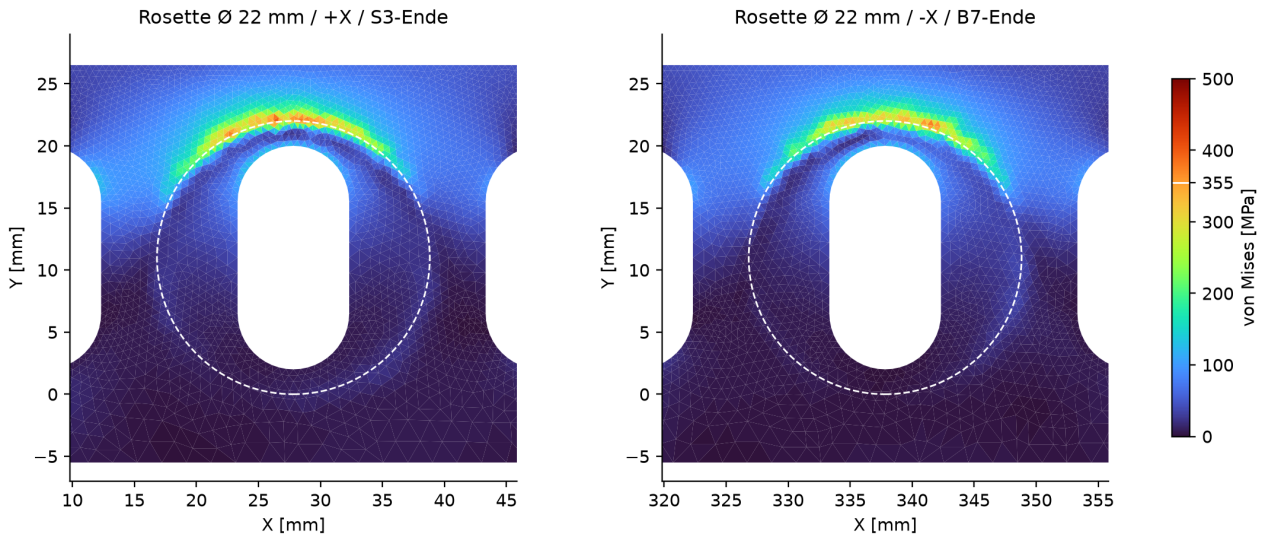
Die nominelle axiale Prüfbelastung eines M10-Regelgewindes in Klasse 10.9 beträgt rechnerisch 58,0 mm² × 830 MPa = 48,14 kN [3]. Dies ist keine zulässige Anschlusslast: Senkkopftragfähigkeit, Hebelwirkung, Gewindeauszug und BMW-Bodenblech sind damit nicht geprüft. Die festen Lochflächen übertragen zusätzlich lokale Momente; der größte Betrag liegt bei rund 28,8 Nm. Ein Verhältnis aus Prüfkraft und Lochreaktion wäre kein belastbarer Sicherheitsfaktor.

BMW-Auflage und tatsächlicher Kontakt

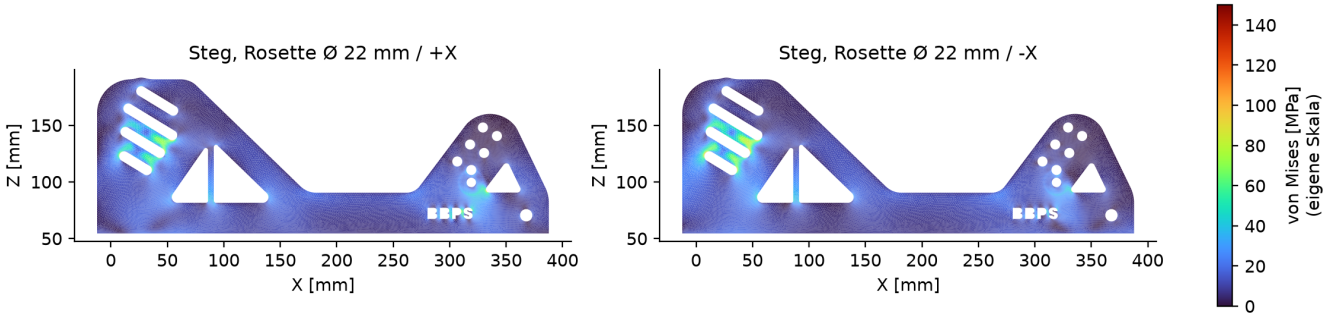
Nach Ausschluss der festgehaltenen Bohrungsränder verbleiben im verwendeten Netz 111,4 mm² freie Auflage am kleinen Boss und 1.375,0 mm² am zweiten Anker. Unter Last stehen davon nur etwa 39 bis 57 mm² bzw. 328 bis 529 mm² unter Druck. Die größte Auflagereaktion beträgt 2,627 kN. Die mittlere Pressung der jeweils aktiven Fläche erreicht bis 16,6 MPa; lokale Penalty-Kontaktspitzen erreichen rund 479 MPa und sind nicht konvergenzgeprüft.

> Der originale BMW-Boss wird als tragende Aufnahme berücksichtigt. Seine Wanddicke, Werkstoffgüte, Gewindetragfähigkeit und Anbindung an das Bodenblech sind aus dem Scan nicht bestimmbar. Weder die Kontaktspitzen noch die nominelle Schraubenabschätzung schließen den Nachweis dieses Anschlusses ab; für M10 sind inzwischen 42 Nm bestätigt. Die daraus abgeschätzte Vorspannung steht in Kapitel 18 (Seite 19); sie ist nicht im 30-g-FEM-Modell enthalten.

10 Spannungsbilder L-Adapter



Detail der unteren Flanschklemmung: links S3-Ende (+X), rechts B7-Ende (-X). Beide Bilder zeigen die 22-mm-Ausführung mit derselben Farbskala. Gestrichelter Kreis: idealer Klemmbereich. Elementflächen zeigen den Mittelwert nodaler Spannungen; Tabellen enthalten die nodalen Maxima.



Die Kanten der festgehaltenen Kreisringbereiche erzeugen eine örtliche Modellabhängigkeit. Eine geglättete Farbfläche darf daher nicht als Nachweis gegen Rosettenbruch, Durchziehen oder Lochleibungsversagen gelesen werden.

11 36 Nm, Vorspannung und Gleiten

„Trocken“ legt den Reibwert nicht eindeutig fest. Für die Abschätzung werden μG = μK = 0,10 / 0,14 / 0,20 als Szenarien gewählt. Sie sind keine gemessenen Grenzen. Senkwinkel 90°, Gewindesteigung 1,25 mm, Flankendurchmesser 7,188 mm und ein wirksamer Kopfreibradius von 6,413 mm sind angesetzt.

$T = Fv \cdot [d2/2 \cdot \tan(\varphi + \arctan(\mu G / \cos 30°)) + \mu K \cdot reff / \sin 45°]$
$\varphi = \arctan(p / (\pi \cdot d2))$, $reff = 2/3 \cdot (8^3 - 4{,}5^3) / (8^2 - 4{,}5^2)$
Modell: gleichmäßige projizierte Pressung auf der Senkfläche; keine Messung der Vorspannung.

μG = μK	Vorspannung [kN]	Axialspannung [MPa]	Montagespannung von Mises [MPa]	μF = 0,15: Haftkraft [kN]
0,10	23,61	645	802	3,54
0,14	17,50	478	656	2,63
0,20	12,60	344	550	1,89

Montage-Vergleichsspannung: vereinfachte Kombination aus axialer Spannung über As = 36,6 mm² und Gewindetorsion über Kerndurchmesser 6,466 mm. Sie ist kein örtlicher Kerb- oder Kopfspannungsnachweis. Der Reibwert μF der Adapter-Gegenfläche ist unabhängig von Gewinde- und Kopfreibung.

Haftreserve ist nicht unter allen Annahmen vorhanden

Die größte Basislast am Sitzanschluss beträgt rund 1,95 kN. Bei Fv = 17,50 kN und μF = 0,15 liefert eine wirksame Reibfläche rechnerisch 2,63 kN: Reservefaktor etwa 1,35, noch ohne Setzen oder äußere Entlastung. Bei Fv = 12,60 kN und μF = 0,10 verbleiben nur 1,26 kN; dann ist die Haftannahme bereits im Basislastfall nicht abgesichert. Die 36 Nm sind eine Nutzervorgabe, keine hier erteilte Anzugsempfehlung für die Sitzgewindeeinsätze.

Am unteren Anschluss müssen zusätzlich lokale Abhebekräfte und Hebelwirkungen berücksichtigt werden. Die FEM-Reaktionen der idealen Klemmbereiche sind keine fertigen Schraubenzugkräfte. Eine konservative erste Haftabschätzung lautet μF · max(Fv − entlastende äußere Normalkraft, 0). Ohne bekannte Schrauben-/Klemmteilsteifigkeit und Kontaktpressung wird daraus hier kein Verbindungsnachweis erklärt.

Festigkeitsklasse und Kopftragfähigkeit

Für 10.9 werden As = 36,6 mm² und Prüfspannung 830 MPa verwendet: nominelle Gewinde-Prüfkraft 30,38 kN; Mindest-Rp0,2 = 940 MPa [3]. Gegenüber 12.9 sinkt die nominelle Prüfspannungsreserve um rund 14 %. Senkkopfschrauben können eine reduzierte Kopftragfähigkeit haben; ISO 10642:2026 behandelt diesen Fall ausdrücklich [4]. Die genaue Schraubennorm, Kopfausführung und Einschraubtiefe sind noch nicht belegt.

12 Einordnung, Prüfumfang und Quellen

Einordnung der bisherigen ±30-g-Rechnung

Die vorangehenden Kapitel dokumentieren den bisherigen ±30-g-Lastfall. Der zweite Berichtsteil behandelt gesondert die bestätigte Prüfvorgabe von 15 kN je M10-Karosserieanschluss. Das tatsächlich anzuwendende Sitz-/Serienreglement und die passenden technischen Listen müssen zur Abnahme feststehen.

Offene Nachweise: reale Schrauben-/Rosettenkontakte mit Vorspannung und Gleiten; A1-Rosettenfestigkeit und Langlochüberbrückung; Sitzgewindeeinsätze und rückseitige Auflage; Schienen und Verriegelung; BMW-Anker und Bodenblech; nachgewiesene Lastaufteilung im Crash; vollständige Richtungs- und Prüflasten des anwendbaren Reglements.

Rechenkontrolle und Reproduzierbarkeit

Für die ausgewerteten Läufe wurden vollständige Endzustände, positive Jacobideterminanten an fünf Stichprobenpunkten je Element und Kräfte-/Momentengleichgewicht geprüft. Größter Kräftefehler: 0,0370 %; größter Momentenfehler: 0,0130 %. Maximale numerische Durchdringung am Adapter: 0,004823 mm. Diese Werte beschreiben die numerische Lösung des gewählten Modells, nicht dessen Validierung am Fahrzeug.

Die unveränderten Rechenläufe rosette22_coarse, rosette22_refined sowie console_left/right_gap_v3 liegen unter dem archivierten Rechenstand V3. Der auf diese Ausführung begrenzte Ergebnisstand, Lasten, Prüfergebnis und SHA-256-Verzeichnis liegen unter dem archivierten Rechenstand V4. Für diese Basiskapitel wurde kein neuer Solverlauf benötigt; die 15-kN-Einzelanschlussrechnungen aus Revision 7 sind im zweiten Berichtsteil dokumentiert. Die STEP-/STL-Quelldateien und das ursprüngliche CAD-Dokument wurden für die Berechnung nicht überschrieben. Der FreeCAD-Ergebnisstand der Revision 4 enthält ausschließlich die sechs zugehörigen Ergebnisfelder für Adapter und Konsolen.

Quellen und Zuordnung

[1] Produkt und Maße · abgerufen 06.09.2026

[2] FIA Appendix J, Artikel 253, 23.06.2026 · abgerufen 06.09.2026

[3] Andrews Fasteners: Werkstoffkennwerte nach ISO 898-1 · abgerufen 06.09.2026

[4] ISO 10642:2026: reduzierte Tragfähigkeit von Senkköpfen · abgerufen 06.09.2026

[5] CalculiX 2.22: Elemente, GAP, Randbedingungen und Ausgabe · abgerufen 06.09.2026

[6] Tata Steel: S355-Werkstoffkennwerte nach Dickenbereich · abgerufen 06.09.2026

Zusätzlich: Nutzerangaben und lokale CAD-/Scan-Dateien; V2-Rechenstand als Geometrie- und Lagerungsgrundlage. Erstellung: rechnergestützte technische Voruntersuchung, ohne unterschriebene Freigabe durch einen Prüfingenieur.

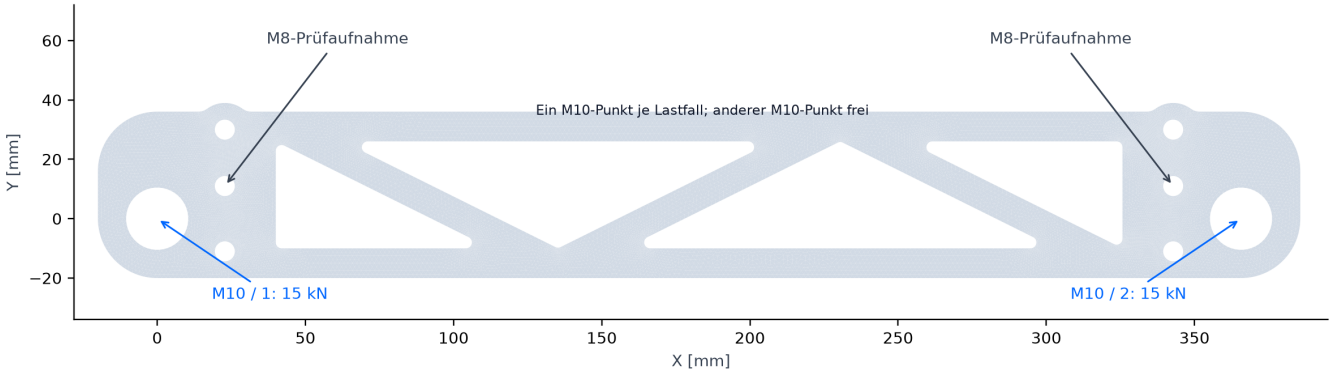
[7] DMSB-Handbuch 2026, Art. 253, Stand 30.06.2026: Gurtbefestigung, Abschnitt 6.2, Seiten 3-5 · geprüft 08.09.2026.

TEIL B · 15-kN-EINZELANSCHLUSSPRÜFUNG

13 M10-Karosserieanschlüsse

15.000 N je Einzelpunkt · S355, 8 mm · M10 10.9 · 42 Nm

Der vorherige Berichtsteil dokumentiert Aufbau und ±30-g-Frontalbelastung. Dieser Teil ergänzt die eigenständige M10-Prüfung.



Umfang: Jeder der beiden M10-Anschlüsse einer Konsole wird einzeln mit 15 kN untersucht. Sitz, L-Adapter und deren Befestigung sind Gegenstand des vorangehenden 30-g-Teils; diese Einzelanschlussprüfung betrifft ausschließlich die Konsole. Der zweite M10-Anschluss bleibt im Einzelversuch frei. Für die spiegelgleiche Gegenseite gelten dieselben Beträge unter gespiegelter Prüfaufnahme.

Verfeinertes Modell	M10 / 1	M10 / 2
Größtes Richtungsmaximum σv [MPa]	3.213	3.181
Fernbereich: Richtungsmaximum [MPa]	719	740
Größte Verschiebung über alle Richtungen [mm]	0,548	0,550

Die Tabellen beschreiben den definierten virtuellen Prüfaufbau. Lasten senkrecht zur Konsole dominieren. Örtliche Spannungsspitzen liegen vor allem an der ideal festen M8-Prüfaufnahme; Werte oberhalb der Streckgrenze sind linear-elastische Extrapolationen. Sie sind keine berechneten Bruchspannungen.

14 Lastdefinition und Prüfaufnahme

Festlegung	Umsetzung
Prüfkraft	|F| = 15.000 N je einzelnem M10-Anschluss. Keine Teilung durch zwei oder vier. Keine gleichzeitige Vierpunktlast.
Krafteinleitung	Vektoriell gleichmäßig über die Senk- und Zylinderfläche des ausgewählten M10-Lochs verteilt. Ideal haftende Lastübertragung; keine simulierte Schrauben-Kontaktpressung.
Gegenlager	Beide aktiven M8-Lochwandflächen bei y = 11 mm und 320 mm Abstand sind in X/Y/Z festgehalten. Sie vertreten eine steife Prüfaufnahme.
Freie Bereiche	Zweiter M10-Anschluss sowie übrige Außenflächen einschließlich Konsolenunterseite ohne Auflagereaktion.
Hebelarm	Aus der CAD-Geometrie zwischen M10-Krafteinleitung und M8-Prüfaufnahme. Kein 300-mm-Sitzschwerpunkt und kein zusätzlicher 40-mm-Schienenhebel.
Berechnete Seiten	Zwei M10-Punkte an einer Konsole. Spiegelung des gesamten Bauteils und der Prüfaufnahme liefert identische Maxima für die Gegenseite.

Warum die Last nicht auf eine feste M10-Fläche gelegt wird

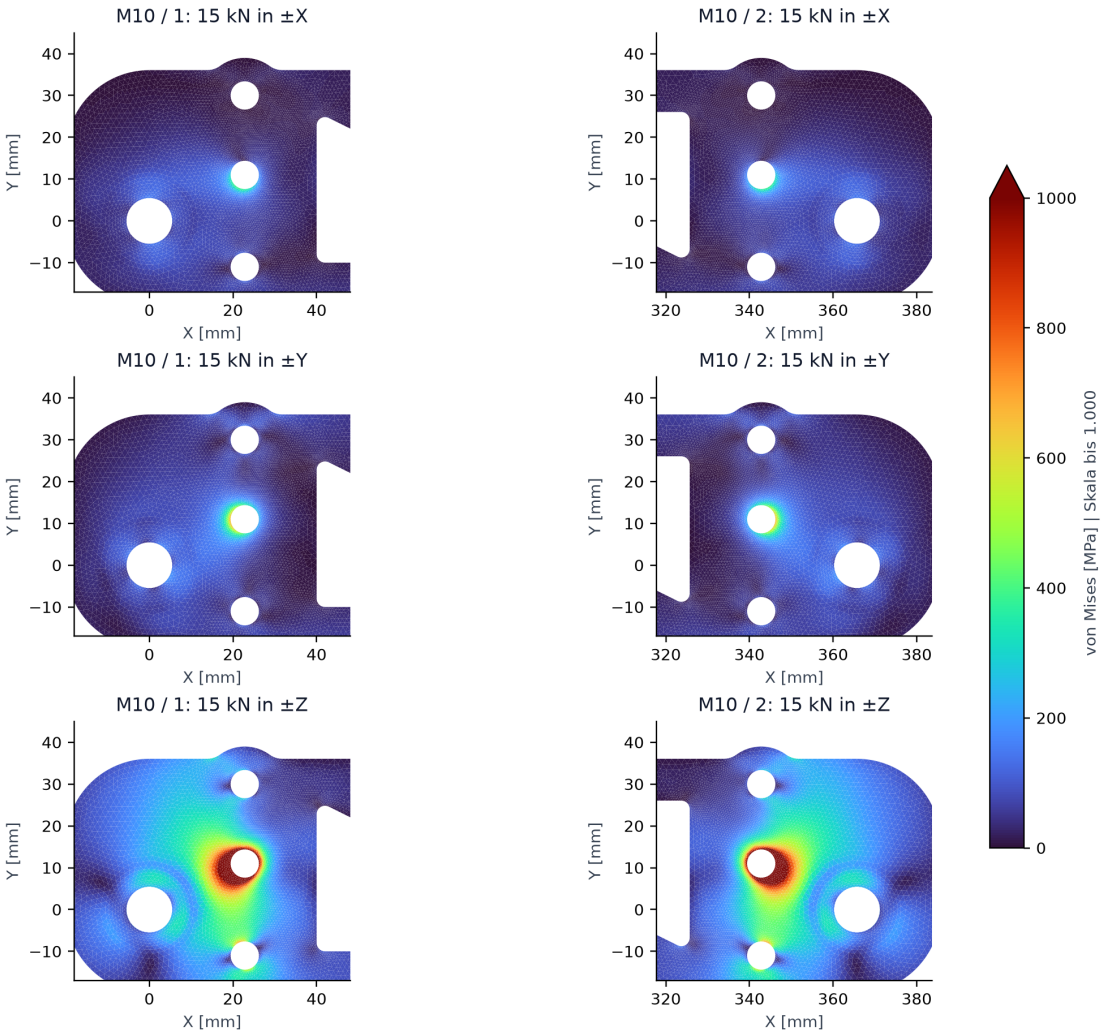
Würde man 15 kN direkt auf dieselben Freiheitsgrade aufbringen, die als Karosserielager festgehalten werden, könnte das Lager die Kraft unmittelbar abfangen. Ein scheinbar spannungsarmes Bauteil wäre dann kein Nachweis. Hier ist der belastete M10-Bereich beweglich; die Kraft muss durch die Konsole zur M8-Prüfaufnahme fließen.

Abgrenzung zum realen Fahrzeug

Dies ist ein ausdrücklich angenommener virtueller Einzelanschlussversuch, kein aus dem FIA-Text abgeleiteter Prüfaufbau. Die ursprünglichen Scanauflagen werden hier nicht zusätzlich festgehalten: Sie würden die vorgegebene Einzelpunktlast teilweise umlenken. Im Fahrzeug tragen BMW-Auflage, Schraube, Reibung und Sitzaufbau gemeinsam. Ihre reale Lastaufteilung kann dieser isolierte Versuch nicht bestimmen.

Die vorgegebene 15-kN-Last greift am M10-Anschluss an. Die Kraft im realen Schraubenschaft muss deshalb nicht exakt 15 kN betragen: Druckkontakt, Reibung und Hebelwirkungen können die Anteile ändern. Die separate Schraubenabschätzung setzt ausdrücklich 15 kN als äußere Schraubenlast an.

15 Richtungen und örtliche Spannungen

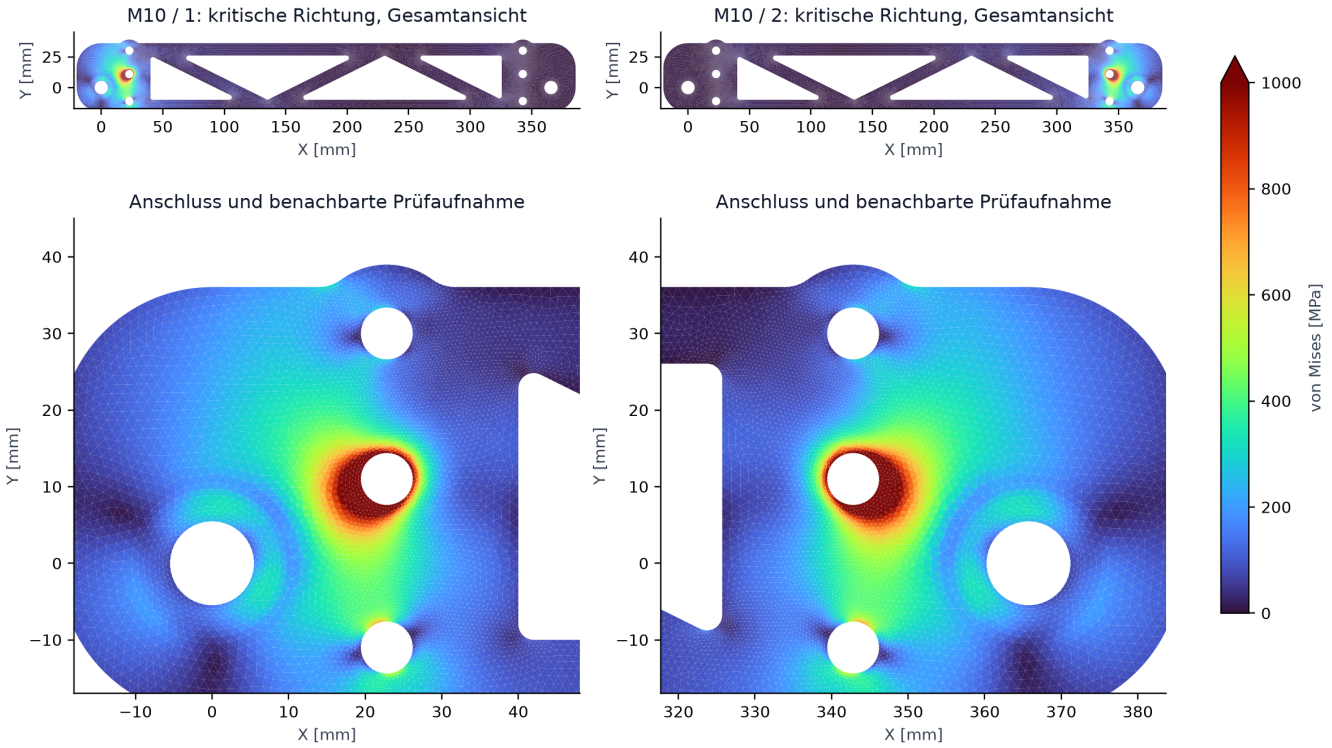


Verfeinertes Netz, Draufsicht mit Senkflächen. Linke Spalte: M10 / 1. Rechte Spalte: M10 / 2. Die Bilder zeigen den belasteten M10-Bereich und die benachbarte M8-Prüfaufnahme. Gesättigte Farben oberhalb 1.000 MPa; Tabellenwerte erfassen das gesamte Volumen.

Punkt	±X: σv,max [MPa]	±Y: σv,max [MPa]	±Z: σv,max [MPa]
1	426	707	3.211
2	410	703	3.180

Negative Richtungen haben nur im verwendeten linearen Modell dieselben Spannungsbeträge. Reale Kontakte öffnen und schließen richtungsabhängig; für diese wird keine Gleichwertigkeit behauptet. S355 beginnt nominell bei 355 MPa zu fließen.

16 Ungünstigste schräge Richtung



Punkt	Kraftrichtung n = F / 15 kN	Ort der Spitze [mm]
1	(-0,0325, 0,0157, 0,9993)	(20,29, 8,74, -1,50)
2	(0,0226, -0,0013, 0,9997)	(345,65, 9,14, -1,50)

Jedes Bild verwendet einen einheitlichen Kraftvektor für das ganze Bauteil. Die ungünstigste Richtung wird aus drei unabhängigen linearen Basislasten je M10-Punkt bestimmt: $\sigma v^2(n) = n^T S^T Q S n$, $|n| = 1$. Der größte Eigenwert von $S^T Q S$ liefert das Richtungsmaximum je FE-Knoten. Damit sind auch schräge Richtungen zwischen den Achsen erfasst.

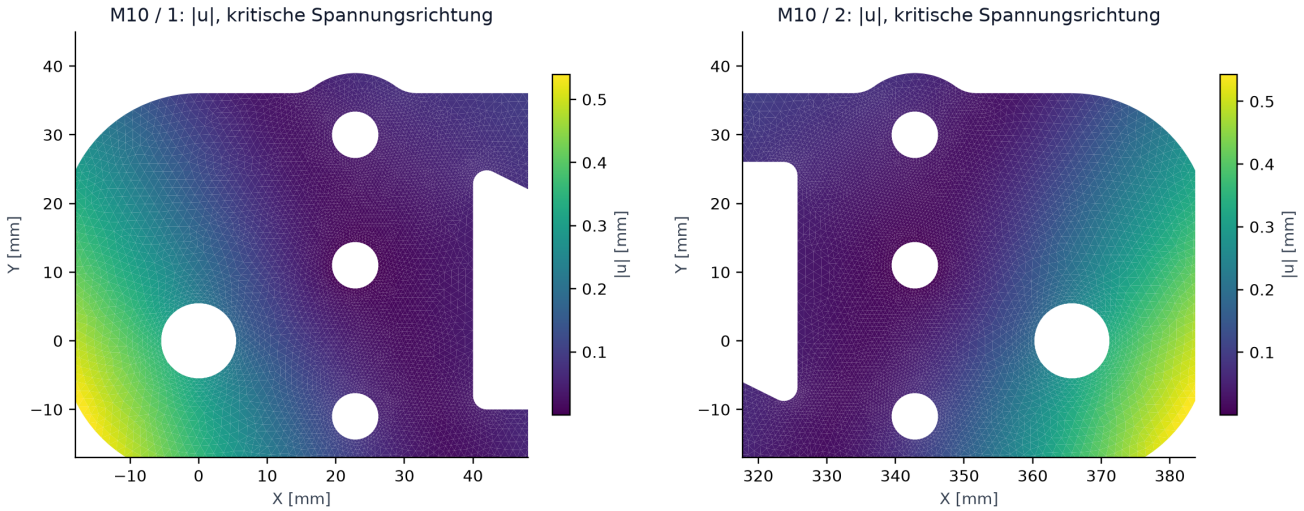
Die höchsten Werte des Gesamtmodells können an der Prüfaufnahme liegen. Sie dürfen weder als M10-Schraubenspannung noch als Spannung im BMW-Gewindeeinsatz bezeichnet werden. Beide Bauteile sind nicht als elastische Körper modelliert.

17 Netzvergleich und Modellgültigkeit

Netz	Knoten	C3D10-Elemente
Grob	59.069	33.432
Verfeinert	161.575	98.123

Größe / Punkt	Grob	Verfeinert	Änderung
σv,max [MPa] / 1	2.735	3.213	17,5 %
Fernbereich [MPa] / 1	665	719	8,1 %
M10-Nahbereich [MPa] / 1	1.016	973	-4,2 %
|u|max [mm] / 1	0,546	0,548	0,3 %
σv,max [MPa] / 2	2.806	3.181	13,3 %
Fernbereich [MPa] / 2	704	740	5,2 %
M10-Nahbereich [MPa] / 2	1.022	988	-3,3 %
|u|max [mm] / 2	0,549	0,550	0,3 %

Fernbereich: mindestens 19 mm Abstand in der XY-Ebene von allen vier aktiven Anschlussachsen. M10-Nahbereich: weniger als 19 mm um die jeweils belastete M10-Achse. Es handelt sich um fest definierte Auswertebereiche, nicht um eine normative Spannungsbewertung oder um ausgeschlossene Schwachstellen.



Zwei Netzstufen zeigen die Empfindlichkeit, belegen aber keine asymptotische Konvergenz der Spannungsspitzen. Werkstoffmodell: E = 210.000 MPa, v = 0,3; keine Plastizität, kein Kontaktöffnen/Gleiten und keine Schraubenvorspannung in der FEM. Die 42 Nm werden in Kapitel 18 auf Seite 19 separat abgeschätzt.

18 M10 10.9 bei 42 Nm

Bestätigte Montageangabe: 42 Nm, Festigkeitsklasse 10.9. Trocken wird entsprechend dem bisherigen Montagekontext angenommen. μG = μK = 0,10 / 0,14 / 0,20 sind Reibszenarien, keine gemessenen Werte. Angenommen: M10-Regelgewinde, Steigung 1,5 mm, As = 58,0 mm²; 90°-Senkung und ideal wirksamer Kontakt über die CAD-Senkfläche Ø 11 bis 21 mm.

$T = Fv \cdot [d2/2 \cdot \tan(\varphi + \arctan(\mu G / \cos 30°)) + \mu K \cdot reff / \sin 45°]$
$\varphi = \arctan(p / (\pi \cdot d2))$, d2 = 9,026 mm, reff = 8,260 mm
Die tatsächliche Kopfauflage kann kleiner sein; dann ändern sich Vorspannung und Pressung.

μG = μK	Fv [kN]	Montage σv [MPa]	Fv + 15 kN: σax [MPa]	μF = 0,15: Haftkraft [kN]
0,10	21,73	462	633	3,26
0,14	16,08	377	536	2,41
0,20	11,56	315	458	1,73

Montagespannung kombiniert nominelle Axialspannung und Gewindetorsion. Fv + 15 kN setzt vorsichtig die gesamte äußere Zuglast zusätzlich zur Vorspannung an; es ist keine aus Klemmteilsteifigkeiten bestimmte Schraubenkraft. Setzen, Gewindeeinsatz und Senkkopf werden damit nicht nachgewiesen.

Haftkraft bei Querlast

Bei mittlerer Reibannahme ergeben sich 16,08 kN Vorspannung und 2,41 kN Haftkraft je wirksamer Reibfläche bei μF = 0,15. Eine Querlast von 15 kN ist etwa 6,22-mal so groß. Selbst mit μF = 0,20 und der höchsten berechneten Vorspannung sind es nur 4,35 kN. Reiner Reibschluss reicht in diesen Szenarien nicht; nach Gleiten werden Schaftkontakt, Lochleibung und Senkkopfkontakt maßgebend.

Nomineller Schraubenquerschnitt

Ohne Vorspannung: 258,6 MPa bei 15 kN rein axial; 447,9 MPa von Mises bei 15 kN reiner Querkraft über As. Für 10.9: Prüfspannung 830 MPa, nominelle Gewinde-Prüfkraft 48,14 kN und Mindest-Rp0,2 = 940 MPa [3]. Eine nominelle Querschnittsreserve ist kein Festigkeitsnachweis des vollständigen Senkkopfanschlusses.

Für gleichzeitigen Zug und Querkraft bei |F| = 15 kN sowie vollständiger Addition des Zuganteils zu Fv ergibt sich ohne Resttorsion $\sigma v,max = \sqrt{(1,5\ Fv^2 + 3\ F^2)} / As$. Die drei Szenarien liefern 641, 562, 510 MPa. Diese Abschätzung enthält keine Biegung oder örtlichen Kerben.

19 Senkung und BMW-Aufnahme

Die Senkung reduziert die zylindrische Lochwand

Die CAD-Konsole ist insgesamt 8 mm dick. Das M10-Loch besitzt Ø 11 mm; der zylindrische Anteil reicht von Z = -1,5 bis +1,5 mm und ist damit nur 3 mm hoch. Darüber liegt die 5 mm tiefe Senkung bis Ø 21 mm. Die Kraftübertragung darf daher nicht pauschal als gerader Bolzen in einer durchgehend 8 mm hohen Lochwand bewertet werden.

Vereinfachtes Bezugsmaß	Rechnung	Wert
Lochleibung über volle 8 mm	15.000 / (10 × 8)	187,5 MPa
Nur zylindrischer 3-mm-Anteil	15.000 / (10 × 3)	500,0 MPa
Projizierte Senkringfläche	π/4 × (21² - 11²)	251,3 mm²
Mittlere Montagepressung, Senkring	Fv / 251,3	46,0 bis 86,5 MPa

Die beiden Lochleibungswerte sind Bezugsrechnungen, keine tatsächlichen Kontaktspannungen oder Grenztragfähigkeiten. Nach Gleiten verteilt sich Last zwischen Senkung und Zylinder. Die FEM verwendet stattdessen eine ideal gleichmäßig verteilte Vektorlast auf der gesamten Anschlussfläche. Das kann örtliche Kontaktspitzen unterschätzen.

Was der Innenraumscan belegt

Der Scan weist Lage und äußere Form der beiden BMW-Auflagen nach. Die kleine Erhöhung bei X = 0 ist nach Nutzerangabe die originale Gewindeaufnahme; sie bleibt Bestandteil des tatsächlichen Fahrzeugaufbaus. Der isolierte Prüfaufbau dieser Revision enthält jedoch keine tragende Karosserie-Auflage.

Aus dem Scan sind weder Werkstoff und Wanddicke des Gewindebosses noch Einschraubtiefe, Gewindezustand, Bodenblechdicke oder dessen Anbindung bestimmbar. Deshalb kann für die BMW-Aufnahme selbst keine zulässige 15-kN-Last angegeben werden.

Für den vollständigen Anschluss bleiben Senkkopftragfähigkeit, Gewindeauszug, lokale Durchzieh- und Lochleibungsmechanismen sowie das Karosserieblech offen. 42 Nm bestätigen das Montage-Drehmoment, ersetzen aber keine gemessene Vorspannung oder Angaben zur BMW-Aufnahme.

20 Ergebnis und Reproduktion

Teiluntersuchung	Ergebnis
15 kN je M10-Punkt	Beide Punkte einzeln gerechnet; alle Richtungen im definierten linearen Modell erfasst.
Konsole in der Prüfaufnahme	Kein durchgehend elastischer Nachweis: Überschreitungen auch im ausgewiesenen Fernbereich. Lokale Spitzen hängen von der Prüfaufnahme und Netzfeinheit ab.
M10-Querschnitt bei 42 Nm	Nominelle Querschnittsabschätzung mit Reibwertszenarien vorhanden; kein vollständiger Schrauben-/Senkkopfnachweis.
Reibschluss	15 kN reine Querlast werden von den betrachteten Haftkräften nicht abgedeckt.
BMW-Gewindeaufnahme und Bodenblech	Mit den vorhandenen Geometrieinformationen nicht nachgewiesen.

Zuordnung zur FIA-Regel

Die 15-kN-Einzelpunktlast am M10-Karosserieanschluss ist die für diese Revision bestätigte Nutzer-Prüfvorgabe. In der herangezogenen FIA-Fassung steht die 15-kN-Anforderung in Art. 253-16.4 bei der Verbindung Sitz zu Sitzhalter. Art. 253-16.2 behandelt die Anbindung der Halter an Fahrzeuganker [2]. Diese Revision ist daher kein vollständiger FIA-Nachweis und ersetzt die bisherige Untersuchung der anderen Anschlüsse nicht.

Numerische Kontrolle

Zwei neue Solverläufe mit zwölf abgeschlossenen linearen Basislastschritten. Maximales Kraftresiduum 0,001052 N; maximales Momentenresiduum 0,0903 Nmm. Positive Jacobideterminanten an fünf Stichprobenpunkten je Element und CAD-Volumenvergleich wurden für beide Netze geprüft. Die Eigenwertmaxima wurden gegen den zugehörigen zusammengesetzten Spannungszustand geprüft.

Reproduktion und Quellen

Archiv: C:/code/bbps/Sitzkonsolen Nachweis. Neue Eingaben, Solver-Rohdaten, Netze, Richtungsfelder, Grafiken und Prüfwerte: analysis/BMW_M10_15kN_V7. Skripte: m10_v7.py, m10_analytical_v7.py, plot_m10_v7.py und report_m10_v7.py. README_Revision_7.md enthält die Rechenbefehle. README_Revision_11.md und report_combined_v11.py beschreiben diesen Gesamtbericht.

[2] FIA Appendix J, Artikel 253, Stand 23.06.2026, Seiten 17 bis 19.

[3] Andrews Fasteners: Kennwerte nach ISO 898-1, Klasse 10.9. Quellen am 08.09.2026 geprüft.

[5] CalculiX 2.22 Handbuch; archivierte CAD-Daten, S355-Werkstoffansatz und Nutzerangaben. Logo und Impressum: archivierter BabyPowderStudios-Stand vom 06.09.2026.