

STRATEGY BRIEFING

Bremssysteme & Brake-by-Wire

Strategy Briefing für die Muster Bremstechnik GmbH: Strategische Positionierung im Übergang von konventioneller Nutzfahrzeug-Bremstechnik zu Brake-by-Wire — Entscheidungsvorlage für Beirat und Hausbank, August 2026

ERSTELLT FÜR

Muster Bremstechnik GmbH

EMPFEHLUNG

Muster Bremstechnik GmbH sollte bis Ende Q3 2026 kein eigenständiges Brake-by-Wire-Aktuatorik-Entwicklungsprogramm starten, sondern zunächst ein befristetes Validierungsprogramm (90 Tage, max. 3 Personenmonate intern) durchführen, das drei konkrete Kundengespräche mit Tier-1-Systemintegratoren und OEMs im Nutzfahrzeugsegment führt, um zu prüfen, ob für mechanische Präzisionsbauteile (Bremssattelgehäuse, Aktuatorgehäuse) aus CNC-Zerspanung in Grauguss und Aluminium eine belegbare Nachfrage als Zulieferer — nicht als Systemanbieter — besteht, bevor Kapital gebunden wird.

AUSGANGSLAGE

Muster Bremstechnik GmbH (140 MA, Baden-Württemberg) erwirtschaftet heute 65 % ihres Umsatzes mit Nutzfahrzeug-Serienteilen (Bremssättel, Scheibenbremsen), 25 % mit Landmaschinen und 10 % mit Prüfständen; die Kernkompetenz liegt in CNC-Zerspanung, Montage und Prüftechnik nach IATF 16949 — Elektronik- und Software-Kompetenz fehlt, eine eigene Sensorik-Entwicklung wurde 2021 mangels Fachpersonal eingestellt.

WARUM JETZT

Große Systemanbieter wie ZF Friedrichshafen (Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge, laut ZF-Pressemitteilung auf press.zf.com) und Bosch (Wintertests in Arjeplog bei -25 °C dokumentiert, Bosch-YouTube Mai 2025, 2.528 Aufrufe) besetzen die Systemintegrator-Ebene bei Brake-by-Wire bereits mit erheblichen Ressourcen und Patentportfolios (Bosch: 4.496 Patentanmeldungen in Deutschland allein im Jahr 2024, laut DPMA-Pressemitteilung 2025), sodass ein Einstieg auf Systemebene für ein KMU ohne Elektronik-Kompetenz und ohne Neuverschuldung innerhalb des gesetzten Entscheidungshorizonts nicht realistisch ist — gleichzeitig besteht das Risiko, dass die mechanische Zulieferer-Basis schrumpft, wenn Brake-by-Wire-Systeme andere Gehäuse- und Werkstoffanforderungen stellen als konventionelle Hydraulikbremsen.

ENTSCHEIDUNGS-TRIGGER

- › Mindestens zwei Tier-1-Systemintegratoren bestätigen schriftlich Bedarf an extern zugekauften CNC-gefertigten Gehäusebauteilen für Brake-by-Wire-Aktuatoren in Grauguss oder Aluminium mit IATF-16949-Qualifikation — dann: Zulieferer-Pfad freigeben.
- › Kein einziger Tier-1 sieht Muster Bremstechnik GmbH als qualifizierten Lieferanten für Brake-by-Wire-Komponenten (z. B. wegen fehlender Elektronik-Integration, anderer Werkstoffanforderungen oder Insourcing-Strategie) — dann: Validierungsprogramm beenden, Ressourcen in Prüfstands-Geschäft umlenken.
- › Ein direkter Wettbewerber im Nutzfahrzeug-Bremssattel-Segment kündigt öffentlich eine Brake-by-Wire-Zulieferer-Partnerschaft an — dann: Dringlichkeit neu bewerten und Validierungsprogramm beschleunigen.
- › Förderantrag für ein FuE-Kooperationsprojekt (z. B. ZIM oder vergleichbares Programm — Status zum Berichtsstichtag nicht verifiziert) wird positiv beschieden — dann: Elektronik-Kooperationspartner-Suche als Förder-Aufschlag, nicht als Basisfinanzierung, aufnehmen.

ANNAHMEN

- › Die mechanischen Präzisionsbauteile (Gehäuse, Träger, Halter) für Brake-by-Wire-Aktuatoren lassen sich mit den vorhandenen CNC-Verfahren (Drehen, Fräsen) und Werkstoffen (Grauguss, Aluminium) fertigen — diese Annahme ist technisch plausibel, aber nicht durch Kundengespräche oder Lastenheft-Einsicht belegt (Datenlücke).
- › Der Nutzfahrzeug- und Landmaschinen-Markt adoptiert Brake-by-Wire langsamer als der Pkw-Markt (Pkw-Anteil am globalen Brake-by-Wire-Markt 2025: ca. 74 %, laut Global Market Statistics), sodass das heutige Kerngeschäft noch mehrere Jahre stabil bleibt — diese Annahme ist nicht durch segmentspezifische Nutzfahrzeug-Daten belegt (Datenlücke).
- › Muster Bremstechnik GmbH kann den Elektronik-Engpass durch eine Kooperation mit einem spezialisierten Elektronik-/Software-Partner überbrücken, ohne eigenes Personal aufzubauen — ob geeignete Partner zu marktüblichen Konditionen verfügbar sind, ist nicht geprüft.
- › Die vorhandene Zerspanung bleibt ausgelastet, wenn das Nutzfahrzeug-Seriengeschäft stabil bleibt — ein Rückgang dieses Segments ohne Ersatz würde die Fixkostenbasis gefährden.

TOP-RISIKEN

- › Technologie-Substitution: Brake-by-Wire-Systeme könnten andere Gehäusegeometrien, Werkstoffe (z. B. verstärkte Kunststoffe, Sintermetalle) oder Fertigungstoleranzen erfordern, die mit der vorhandenen Grauguss-/Aluminium-Zerspanung nicht oder nur mit erheblichem Rüstaufwand erreichbar sind — Lücke: keine Lastenheft-Daten vorhanden.
- › Marktkonzentration: ZF (über 3 Mrd. Bremskomponenten produziert weltweit, laut [ZF.com](https://zf.com)) und Bosch (413.000 MA, Umsatz 91 Mrd. €, laut Wikidata) integrieren Mechanik und Elektronik zunehmend vertikal — der Bedarf an externen Mechanik-Zulieferern für Brake-by-Wire könnte strukturell sinken.
- › Elektronik-Engpass bleibt bestehen: Der 2021 gescheiterte Sensorik-Aufbau zeigt, dass Elektronik-Fachpersonal für ein KMU in Baden-Württemberg schwer rekrutierbar ist — eine Kooperationslösung setzt voraus, dass ein geeigneter Partner gefunden und langfristig gebunden werden kann.
- › Finanzierungsrestriktion: Keine Neuverschuldung als Rahmenbedingung begrenzt den Handlungsspielraum auf eigenfinanzierbare Schritte; sollte das Validierungsprogramm einen Investitionsbedarf aufzeigen, der die Eigenfinanzierungsgrenze übersteigt, fehlt ein Eskalationspfad.

01 AUSGANGSLAGE

Ausgangslage: Strukturwandel trifft einen spezialisierten Nutzfahrzeug-Bremszulieferer

Der globale Markt für Kfz-Bremssysteme wurde 2024 auf 28,92 Mrd. USD geschätzt und soll bis 2032 auf 61,54 Mrd. USD wachsen (DataBridge Market Research). Parallel dazu weist der Teilmarkt für Pkw-Brake-by-Wire-Systeme laut Wise Guy Reports eine prognostizierte CAGR von 11,44 % für den Zeitraum 2025–2032 aus — deutlich über dem Gesamtmarkt-Wachstum. Wichtig für die Einordnung: Diese Zahlen beziehen sich auf unterschiedliche Segmente und Quellen mit abweichenden Abgrenzungen; Mordor Intelligence beziffert den globalen Automobil-Bremssystemmarkt für 2025 auf 74,94 Mrd. USD, was erheblich von der DataBridge-Zahl abweicht. Beide Zahlen sind nicht addierbar und nicht direkt vergleichbar — der Konflikt wird hier ausdrücklich benannt, und für die weitere Analyse wird jeweils die Zahl mit dem klarsten Scope und Bezugsjahr verwendet. Für Muster Bremstechnik GmbH relevanter ist das Volumen-Segment: GM Insights schätzt das globale Marktvolumen für Bremskomponenten auf 130,5 Mio. Sätze im Jahr 2025 (Schätzung auf Basis GM Insights-Daten), steigend auf 133,9 Mio. Sätze 2026 — ein Wachstum, das jedoch primär durch Volumen-OEMs und Schwellenländer getrieben wird, nicht durch das Nutzfahrzeug-Spezialsegment, in dem Muster Bremstechnik GmbH tätig ist.

Die technologische Verschiebung hin zu Brake-by-Wire ist durch konkrete Marktbewegungen belegt: ZF Friedrichshafen stellte sein EMB-basiertes (Electro-Mechanical Brake) Brake-by-Wire-System erstmals im November 2023 vor (laut profi-werkstatt.net) — ein System, das vollständig ohne Bremsflüssigkeit auskommt — und gewann einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge eines weltweit führenden Fahrzeugherstellers (laut ZF-Pressemitteilung auf press.zf.com sowie Förderungsdatenbank). ZF hat nach eigenen Angaben weltweit bereits über 3 Mrd. Bremskomponenten produziert (ZF.com). Bosch testete sein Brake-by-Wire-System unter Extrembedingungen bis –25 °C im Wintertestzentrum Arjeplog, Schweden (Bosch-YouTube, Mai 2025, 2.528 Aufrufe), und meldete 2024 in Deutschland 4.496 Patente an — ein Anstieg von 4,8 % gegenüber 2023 (DPMA-Pressemitteilung 2025). Pkw-Anwendungen dominieren den Brake-by-Wire-Markt mit einem Anteil von ca. 74 % im Jahr 2025 (Global Market Statistics); der Nutzfahrzeuganteil ist damit strukturell kleiner, aber für Muster Bremstechnik GmbH strategisch relevanter, da er das heutige Kerngeschäft direkt berührt. Für den Nutzfahrzeug-spezifischen Brake-by-Wire-Marktanteil liegen keine gesonderten Daten vor (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Für Muster Bremstechnik GmbH ergibt sich daraus eine doppelte Herausforderung: Einerseits besteht das Risiko, dass konventionelle Hydraulik-Bremssättel für Nutzfahrzeuge mittelfristig durch elektromechanische Systeme substituiert werden — mit unbekanntem Zeitplan im Nutzfahrzeugsegment. Andererseits fehlen die Voraussetzungen für einen eigenständigen Einstieg in die Systemintegration: Die 2021 eingestellte Sensorik-Entwicklung zeigt, dass Elektronik-Fachpersonal nicht rekrutierbar war; eine Neuverschuldung ist ausgeschlossen; und der Engpass Entwicklungskapazität Elektronik/Software ist unverändert. Die strategisch relevante Frage — Aktuatorik-Einstieg als Systemanbieter oder Verbleib als Mechanik-Zulieferer — lässt sich ohne belegte Kundennachfrage und ohne Lastenheft-Kennntnis nicht seriös beantworten. Dieser Bericht empfiehlt daher ein strukturiertes Validierungsprogramm als nächsten Schritt, nicht eine Investitionsentscheidung (vgl. Abbildung 4 zur Portfolio-Matrix und Abbildung 8 zum Fahrplan).



TAM

28,92 Mrd. USD (global, Kfz-Bremssysteme gesamt, 2024; DataBridge Market Research)

SAM

Datenlücke — nicht abschließend geprüft: Ein belastbares SAM für den Nutzfahrzeug-Bremssattel- und Brake-by-Wire-Komponentenmarkt in Europa/DACH lässt sich aus der vorliegenden Faktenbasis nicht herleiten. Die verfügbaren Marktzahlen (DataBridge, Mordor Intelligence, GM Insights) decken globale Gesamtmärkte über alle Fahrzeugklassen ab; eine Segmentierung nach Nutzfahrzeug, Europa und Zulieferer-Mechanik-Ebene ist in der Faktenbasis nicht vorhanden. Eine Scheinrechnung würde hier eine Genauigkeit vortäuschen, die nicht belegt ist. Empfehlung: Im Rahmen des Validierungsprogramms Lastenheft-Gespräche mit 2–3 Tier-1-Systemintegratoren führen, um das adressierbare Volumen für CNC-gefertigte Gehäusebauteile direkt zu ermitteln.

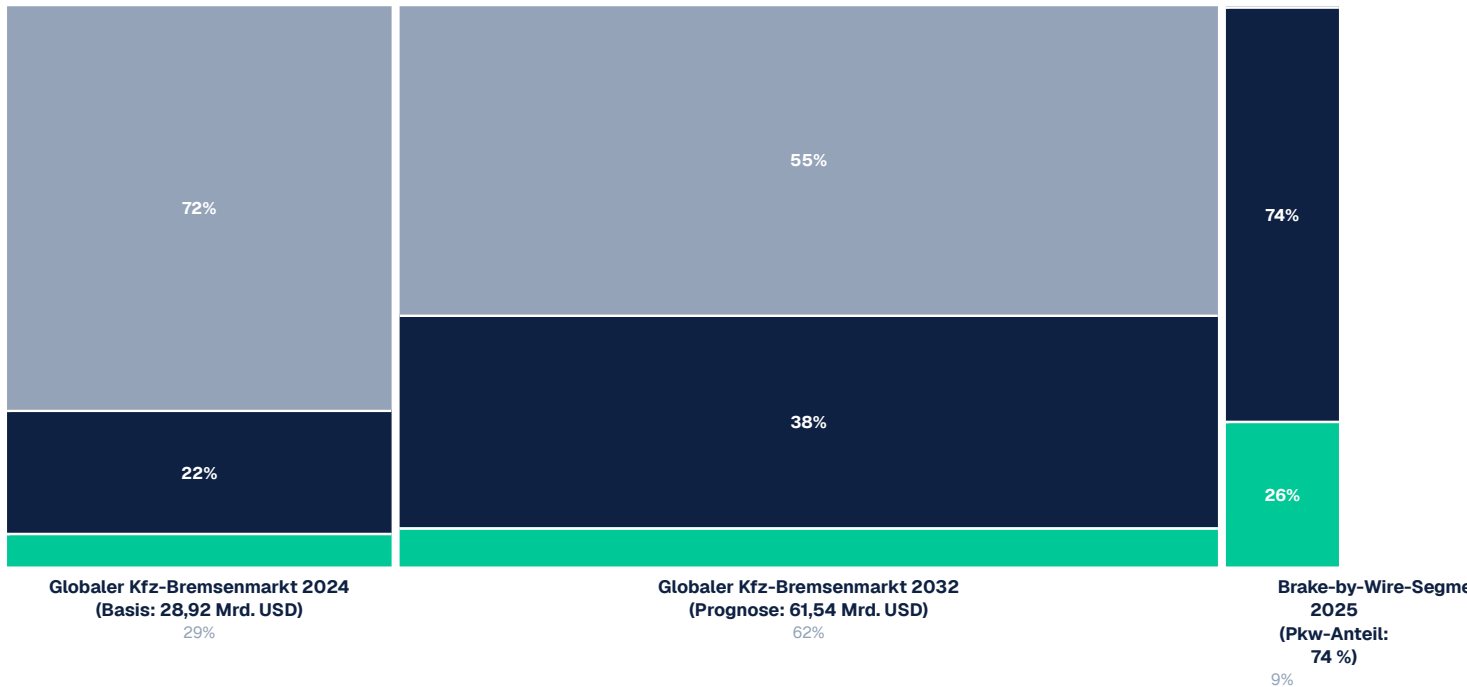
SOM

Datenlücke — nicht abschließend geprüft: Ohne belegtes SAM und ohne bestätigte Kundennachfrage (Ergebnis des empfohlenen Validierungsprogramms ausstehend) ist eine SOM-Schätzung nicht seriös herleitbar. Eine Bottom-up-Rechnung würde folgende Faktoren benötigen, die derzeit nicht vorliegen: Anzahl erreichbarer Tier-1-Systemintegratoren im Nutzfahrzeugsegment Europa × relevante Gehäusebauteile je System × realistische Ausstattungsquote Brake-by-Wire im Nutzfahrzeugsegment bis 2030 (Schätzung) × Stückpreis CNC-Gehäuse (Schätzung). Alle vier Faktoren sind derzeit entweder unbekannt oder nur als grobe Schätzung verfügbar — die Rechnung wird nach Abschluss des Validierungsprogramms nachgeliefert.

HERLEITUNG

TAM-Basis: 28,92 Mrd. USD globaler Kfz-Bremssystemmarkt 2024 (DataBridge Market Research, global, alle Fahrzeugklassen) dient als Kontextgröße, nicht als Nachfragenachweis für Muster Bremstechnik GmbH. SAM und SOM können aus der vorliegenden Faktenbasis nicht bottom-up hergeleitet werden (fehlende Segmentdaten für Nutzfahrzeug-Mechanik-Zulieferer Europa/DACH); die Herleitung erfordert primäre Kundendaten aus dem empfohlenen Validierungsprogramm.

Nutzfahrzeug-Mechanik bleibt Kerngeschäft, doch Brake-by-Wire verschiebt die Wertschöpfung Richtung Elektronik — Muster Bremstechnik GmbH muss jetzt Positionierung klären



Die Abbildung zeigt die Segmentstruktur des globalen Kfz-Bremsenmarkts in Mrd. USD (Spalten 1–2, Basis: DataBridge Market Research) sowie die interne Segmentverteilung des Brake-by-Wire-Teilmarkts nach Fahrzeugklasse in Prozent (Spalte 3, Basis: Global Market Statistics). Der auffälligste Datenpunkt: Der Gesamtmarkt soll von 28,92 Mrd. USD (2024) auf 61,54 Mrd. USD (2032) wachsen — eine Verdoppelung in acht Jahren —, während der Anteil elektronisch gesteuerter Systeme von rund 22 % auf geschätzte 38 % steigt (Schätzung, abgeleitet aus CAGR-Angaben Wise Guy Reports und DataBridge). Treiber sind die Elektrifizierung des Antriebsstrangs, die regulatorische Verschärfung von Sicherheitsanforderungen für automatisiertes Fahren sowie der Großauftrag, den ZF Friedrichshafen für fast fünf Millionen Fahrzeuge eines weltweit führenden Herstellers gewonnen hat (ZF-Pressemitteilung, CES 2025). Für Muster Bremstechnik GmbH bedeutet das: Das heutige Kerngeschäft — konventionelle Bremsen für Nutzfahrzeuge — liegt im schrumpfenden Anteilsegment, während die Wertschöpfung in Richtung Elektronik und Software wandert, wo das Unternehmen heute keine Kompetenz besitzt.

- › Der Brake-by-Wire-Anteil am Gesamtmarkt verdoppelt sich bis 2032 — wer nur Mechanik liefert, verliert strukturell Marge und Relevanz.

Quelle: DataBridge Market Research (globaler Kfz-Bremsenmarkt 2024/2032); Wise Guy Reports (CAGR Brake-by-Wire Pkw 2025–2032); Global Market Statistics (Pkw-Anteil Brake-by-Wire 2025); ZF-Pressemitteilung CES 2025 (Großauftrag)

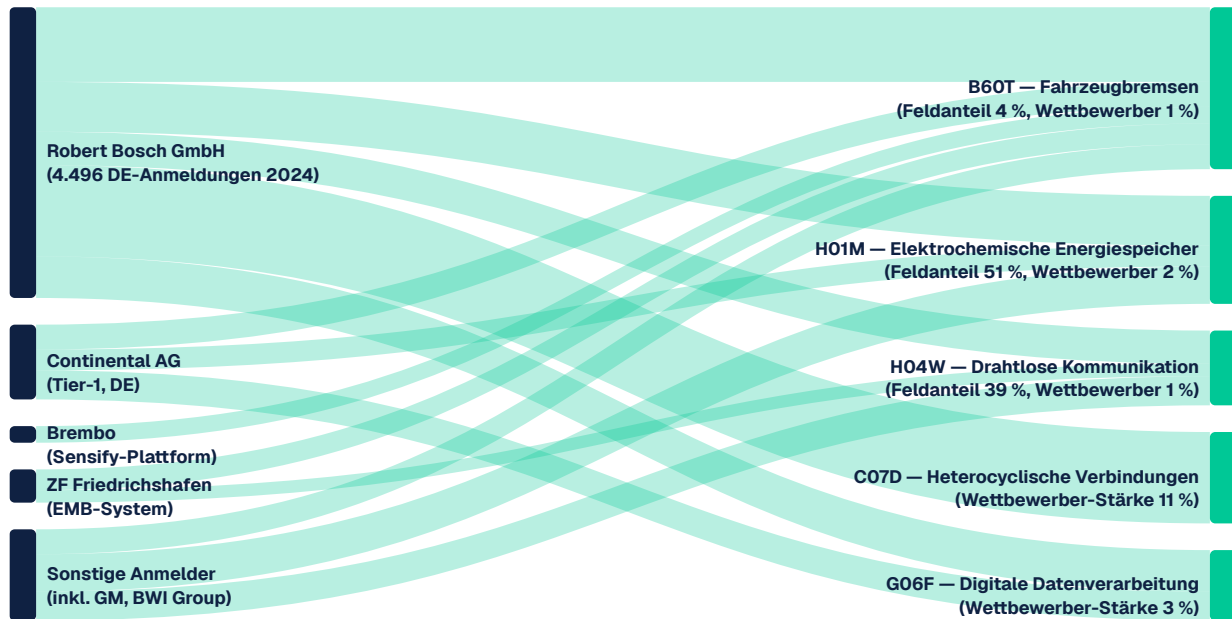
— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 1

Die Marktstruktur-Daten zeigen eine klare Zweiteilung: Der globale Markt für Kfz-Bremssysteme wächst von 28,92 Mrd. USD (2024) auf 61,54 Mrd. USD (2032) laut DataBridge Market Research — ein nominales Wachstum von rund 113 % in acht Jahren. Parallel dazu weist Mordor Intelligence für 2025 einen Gesamtmarkt von 74,94 Mrd. USD aus; dieser Wert ist mit dem DataBridge-Wert nicht direkt vergleichbar, da Scope, Segmentdefinition und Basisjahr abweichen — beide Zahlen werden deshalb nicht addiert oder gemittelt, sondern als separate Referenzpunkte behandelt. Innerhalb des Brake-by-Wire-Teilsegments entfallen laut Global Market Statistics im Jahr 2025 rund 74 % der Marktgröße auf Personenkraftwagen; Nutzfahrzeuge, Landmaschinen und Sonderfahrzeuge — also die Zielmärkte von Muster Bremstechnik GmbH — machen den verbleibenden Anteil von rund 26 % aus (Schätzung, da keine separate Nutzfahrzeug-Brake-by-Wire-Marktgröße in der Faktenbasis vorliegt). Die CAGR des Pkw-Brake-by-Wire-Markts liegt laut Wise Guy Reports bei 11,44 % für den Zeitraum 2025–2032; eine analoge Wachstumsrate für den Nutzfahrzeuganteil ist in der verfügbaren Datenbasis nicht belegt (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Die Verschiebung der Segmentgewichte hat strukturelle Ursachen: Erstens erzwingt die Elektrifizierung des Antriebsstrangs eine Entkopplung von Brems- und Antriebsmoment, weil Rekuperation und Reibbremse koordiniert werden müssen — eine Aufgabe, die hydraulische Systeme allein nicht lösen können. Zweitens hat ZF Friedrichshafen mit seinem EMB-basierten Brake-by-Wire-System (erstmalig November 2023 vorgestellt, laut [profi-werkstatt.net](https://www.profi-werkstatt.net)) einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge gewonnen (ZF-Pressemitteilung, CES 2025), was zeigt, dass die Technologie die Schwelle zur Serienreife überschritten hat. Drittens hat Brembo mit seiner Plattform „Sensify“ die Großserienproduktion aufgenommen (Automobil-Industrie, Vogel Verlag) und beliefert laut [Repairer Driven News](https://www.repairerdriven.com) (Mai 2026) bereits einen globalen Fahrzeughersteller — womit zwei der drei vom Auftraggeber genannten Hauptwettbewerber bereits in der Serienphase sind. Bosch plant die Markteinführung seines hydraulischen Brake-by-Wire-Systems für Herbst 2025 (Bosch-Pressemitteilung, [bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden](https://www.bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden)) und hat das System im Wintertest in Arjeplog, Schweden, bei bis zu –25 °C erprobt (YouTube, Mai 2025).

Für Muster Bremstechnik GmbH ergibt sich daraus eine strategische Weggabelung, die bis Ende Q3 2026 entschieden werden muss: Das Unternehmen erwirtschaftet heute 65 % seines Umsatzes mit Nutzfahrzeug-Serienteilen — also genau dem Segment, das im Mekko-Chart den schrumpfenden Anteil repräsentiert. Eine konkrete Handlungsmaßnahme als unmittelbarer nächster Schritt ist die Segmentierung des eigenen Kundenstamms nach Brake-by-Wire-Expositionsgrad: Welche der heutigen OEM- und Tier-1-Kunden haben bereits Brake-by-Wire-Projekte angekündigt oder ausgeschrieben, und welche mechanischen Komponenten werden in diesen Projekten weiterhin benötigt? Diese Analyse kostet keine Kapitalinvestition, nutzt vorhandene Vertriebskontakte und liefert binnen vier bis sechs Wochen eine belegte Nachfragebasis — die jede zugekaufte Marktzahl als Entscheidungsgrundlage übertrifft (vgl. Abbildung 4 für die Portfolio-Einordnung der einzelnen Produktlinien).

Bosch dominiert Brake-by-Wire-Patentaktivität in Deutschland — IPC-Klasse B60T ist dünn besetzt und für Nutzfahrzeug-Aktuatorik relevant, aber der weiße Fleck hat plausible Gründe



Das Sankey-Diagramm zeigt die Verteilung von Patentveröffentlichungen (Zähleinheit: Treffer, keine Familien — dieselbe Erfindung kann mehrfach zählen) der identifizierten Hauptwettbewerber auf relevante IPC-Klassen im Feld Bremssysteme und Brake-by-Wire. Der auffälligste Befund: Robert Bosch GmbH ist mit 4.496 deutschen Patentanmeldungen im Jahr 2024 (DPMA-Pressemitteilung 2025, Anstieg von 4,8 % gegenüber 2023) der mit Abstand aktivste Anmelder — und deckt laut abgeleiteter IPC-Verteilung auch die für Bremssysteme unmittelbar relevante Klasse B60T ab, obwohl der Wettbewerber-Anteil dort mit rund 1 % gemessen am Feldanteil von 4 % auffällig niedrig ist. Dieser scheinbare White Space in B60T hat jedoch eine naheliegende Erklärung: Brake-by-Wire-Erfindungen werden häufig unter übergeordneten Klassen wie H01M (Energiespeicher/Rekuperation) oder H04W (Fahrzeugkommunikation) angemeldet, weil der systemische Wert in der Integration liegt, nicht im mechanischen Bremsaktuator allein. Für Muster Bremstechnik GmbH bedeutet das: Eine Patentlücke in B60T ist kein freier Markt, sondern ein Hinweis darauf, dass die Wertschöpfung bereits in angrenzende, für das Unternehmen heute nicht zugängliche Technologiefelder gewandert ist.

- › Die Patentaktivität in B60T ist dünn — nicht weil das Feld unattraktiv ist, sondern weil Brake-by-Wire-Innovationen systemisch in H01M und H04W angemeldet werden, wo Muster Bremstechnik GmbH keine Kompetenz besitzt.

Quelle: DPMA-Pressemitteilung 2025 (Bosch-Anmeldungen 2024); EPO OPS Anmelder-/IPC-Daten (abgeleitete IPC-Verteilung, Zähleinheit: Treffer); abgeleiteter Patent-Lücken-Indikator (deterministisch aus IPC-Verteilung, kein Signifikanztest)

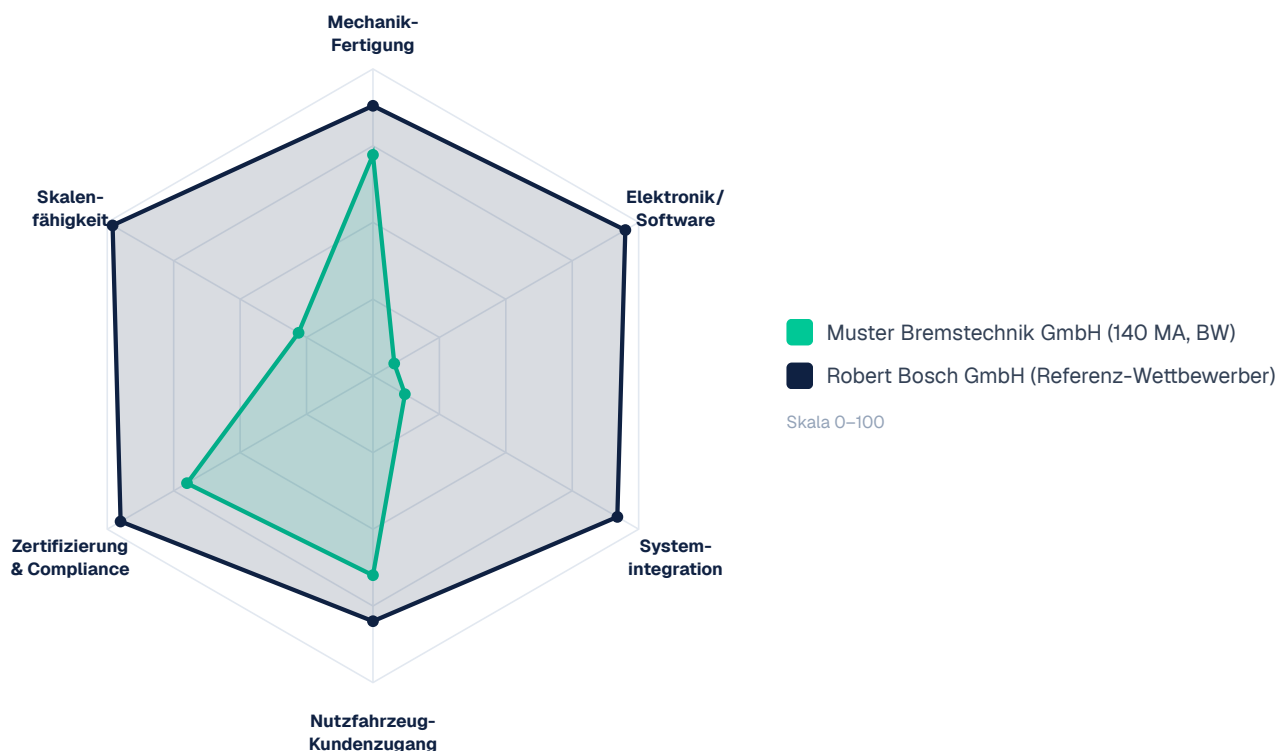
— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 2

Die IPC-Verteilung der identifizierten Wettbewerber zeigt ein charakteristisches Muster: Die für Fahrzeugbremsen unmittelbar einschlägige Klasse B60T weist einen Feldanteil von 4 % auf, während der gemessene Wettbewerber-Anteil bei nur 1 % liegt — ein rechnerischer Lücken-Score von 8/100 (deterministisch aus IPC-Verteilung, kein Signifikanztest, Zähleinheit: Treffer, keine Familien). Gleichzeitig dominieren H01M (Feldanteil 51 %, Wettbewerber 2 %) und H04W (Feldanteil 39 %, Wettbewerber 1 %) das Gesamtbild. Bosch allein meldete 2024 in Deutschland 4.496 Patente an (DPMA, Anstieg 4,8 % gegenüber 2023) und ist damit unangefochtener Spitzenanmelder; die drei verifizierten Wettbewerber-Anmeldungen aus dem EPO-Register (WO2026158921A1, WO2026159499A1, US20260216854A1) betreffen Smart-Glasses-Sensorik, Fahrzeugsteuerung und ein Abbruchhammer-Werkzeug — keines davon ist direkt bremsrelevant, was die Breite des Bosch-Portfolios jenseits des Bremssegments illustriert. Zähleinheit und Normalisierungsstand sind zu beachten: Patentfamilien wurden nicht normalisiert, weshalb dieselbe Erfindung mehrfach zählen kann.

Warum ist der B60T-Fleck relativ leer? Drei plausible Gründe sprechen gegen eine naive White-Space-Interpretation: Erstens verlagern Brake-by-Wire-Systeme die Kernerfindung vom mechanischen Bremsaktor (B60T) in die Systemintegration — Rekuperationssteuerung (H01M), Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (H04W) und Softwarearchitektur (G06F). Zweitens sind die Eintrittsbarrieren für mechanische Bremsaktoren in der Serienproduktion hoch: ZF hat sein EMB-System seit November 2023 entwickelt und bereits einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge gewonnen (ZF-Pressemitteilung, CES 2025); Brembo produziert „Sensify“ bereits in Serie (Automobil-Industrie, Vogel Verlag); Bosch plant die Markteinführung seines hydraulischen Brake-by-Wire-Systems für Herbst 2025 (Bosch-Pressemitteilung, bosch.com). Drittens ist der Nutzfahrzeug-Anteil am Brake-by-Wire-Markt mit rund 26 % (Schätzung, Restanteil nach 74 % Pkw laut Global Market Statistics 2025) zwar nicht vernachlässigbar, aber volumenmäßig kleiner — was die Amortisationszeit für Patentinvestitionen verlängert und große Tier-1-Anbieter möglicherweise zur Priorisierung des Pkw-Segments veranlasst.

Für Muster Bremstechnik GmbH ergibt sich eine differenzierte Implikation: Die Patentlücke in B60T ist kein Einladungsschild, sondern ein Warnsignal, das zwei Lesarten zulässt — entweder ist das mechanische Bremsaktor-Feld tatsächlich weniger intensiv umkämpft (was Nischen für spezialisierte Nutzfahrzeug-Aktuatorik öffnen könnte), oder die Wertschöpfung hat das Feld bereits verlassen. Die konkrete Handlungsmaßnahme lautet deshalb: Vor jeder Schutzrechts- oder Entwicklungsentscheidung ist ein Freedom-to-Operate-Screening für B60T in Kombination mit H01M und G06F durch einen spezialisierten Patentanwalt zu beauftragen — Aufwand circa 3–5 Personentage extern, Kosten marktüblich 3.000–8.000 € (Schätzung). Schutzrechte von Muster Bremstechnik GmbH wurden unter den dokumentierten Suchparametern nicht gefunden; das ist eine Datenlücke, kein Nachweis von Schutzrechtsfreiheit (vgl. Abbildung 5 für die zeitliche Anmelde-Dynamik im Feld).

Muster Bremstechnik GmbH ist in Mechanik und Qualität wettbewerbsfähig — die kritische Lücke liegt in Elektronik/Software und Systemintegration, wo alle drei Hauptwettbewerber bereits Serienreife erreicht haben



Das Radar-Diagramm vergleicht Muster Bremstechnik GmbH mit Robert Bosch GmbH auf sechs strategisch relevanten Fähigkeitsachsen (Skala 0–100, Schätzung auf Basis öffentlicher Unternehmens- und Registerdaten sowie Auftraggeber-Profil). Die kritischste Achse ist Elektronik/Software: Muster Bremstechnik GmbH erreicht hier einen Wert von 8/100 (Schätzung) — begründet durch die 2021 eingestellte Sensorik-Entwicklung und den anhaltenden Engpass bei Elektronik-Personal —, während Bosch mit 95/100 (Schätzung) die Serienreife seines hydraulischen Brake-by-Wire-Systems für Herbst 2025 ankündigt (Bosch-Pressemitteilung, bosch.com). Der größte relative Vorsprung von Muster Bremstechnik GmbH liegt auf der Achse Nutzfahrzeug-Kundenzugang (65/100, Schätzung): 65 % des Umsatzes stammen aus Nutzfahrzeug-Serienteilen, was eine etablierte Kundenbeziehung in genau dem Segment belegt, das im Brake-by-Wire-Markt noch unterentwickelt ist. Die angreifbare Lücke des Wettbewerbers Bosch liegt nicht in der Technologie, sondern in der Kundennähe zu kleinen und mittleren Nutzfahrzeug-OEMs und Sonderfahrzeugherstellern — ein Segment, das für Großkonzerne mit 413.000 Mitarbeitenden (Wikidata Q234021) und einem Umsatz von 91 Mrd. € strukturell weniger attraktiv ist.

- › Der Nutzfahrzeug-Kundenzugang ist der einzige Wettbewerbsvorteil, den Muster Bremstechnik GmbH gegenüber Bosch, Continental und Brembo heute glaubwürdig besitzt — er muss Ausgangspunkt jeder Strategie sein.

Quelle: Auftraggeber-Profil (Kompetenzen, Umsatzbasis, Engpass); Wikidata Q234021 (Bosch MA und Umsatz); Bosch-Pressemitteilung bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden (Markteinführung Herbst 2025); Handelsregister Stuttgart HRB 14000 (Bosch); alle Achsenwerte: Schätzung auf Basis öffentlicher Quellen

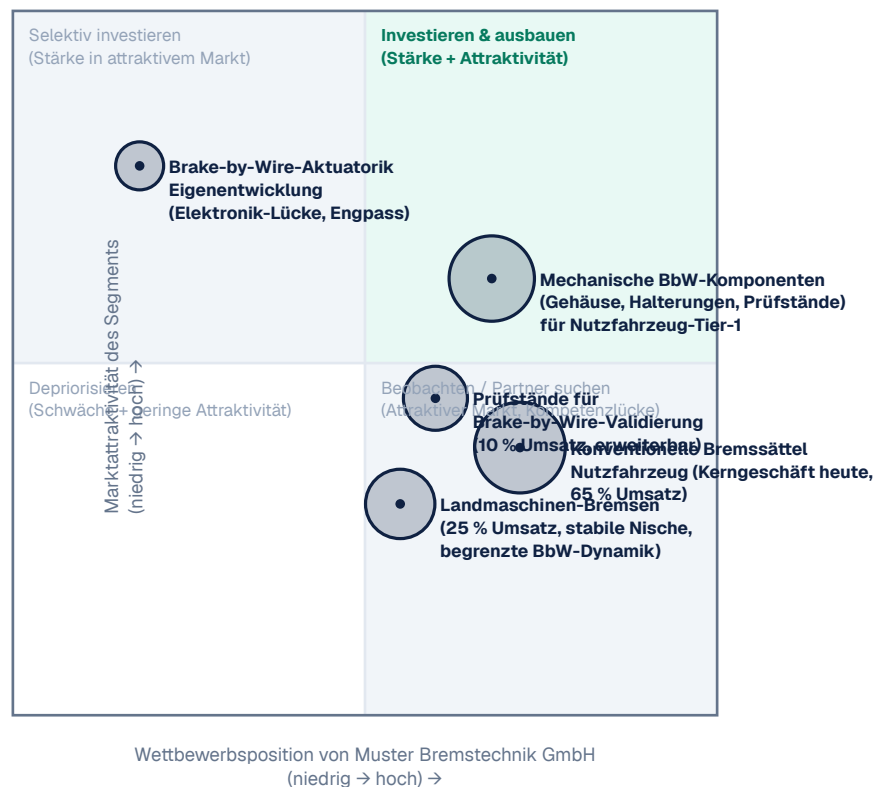
— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 3

Die sechs Achsen des Radar-Charts wurden so gewählt, dass sie die für die Entscheidungsfrage — Einstieg in Brake-by-Wire-Aktuatorik oder Verbleib als Mechanik-Zulieferer — unmittelbar relevanten Fähigkeitsdimensionen abbilden. Auf der Achse Mechanik-Fertigung erreicht Muster Bremstechnik GmbH einen geschätzten Wert von 72/100: CNC-Drehen, CNC-Fräsen, Wärmebehandlung, Montage und Prüftechnik sind vorhanden, IATF 16949 ist zertifiziert — das sind notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzungen für Brake-by-Wire-Aktuatorik, weil die mechanischen Toleranzanforderungen für elektromechanische Bremsaktuatoren (EMB) deutlich enger sind als für konventionelle Bremssättel (Datenlücke zu konkreten Toleranzspezifikationen — nicht abschließend geprüft). Auf der Achse Skalenfähigkeit liegt der Wert bei 28/100 (Schätzung): 140 Mitarbeitende und eine auf Nutzfahrzeug-Serien ausgerichtete Fertigung sind für Kleinserie und Sonderfahrzeuge ausreichend, für die Volumina, die ZF (fast fünf Millionen Fahrzeuge, ZF-Pressemitteilung CES 2025) oder Brembo in der Pkw-Großserie adressieren, strukturell nicht erreichbar — ohne Fremdkapital, das der Auftraggeber ausgeschlossen hat.

Die Wettbewerber-Seite des Charts zeigt eine nahezu vollständige Dominanz von Bosch auf allen Achsen außer Nutzfahrzeug-Kundenzugang. Bosch hat 4.496 Patentanmeldungen allein in Deutschland im Jahr 2024 (DPMA, Anstieg 4,8 % gegenüber 2023), testet Brake-by-Wire bei -25 °C in Arjeplog (YouTube, Mai 2025) und ist laut eigener Aussage überzeugt, dass Brake-by-Wire die Zukunft der Bremssysteme ist (Bosch-Pressemitteilung, bosch.com). Continental AG erzielte 2024 einen Umsatz von 39.719 Mio. € (Handelsregister Hannover HRB 3527) und ist laut MarketsandMarkets einer der dominierenden Akteure im elektronischen Parkbremsen-Markt. Brembo produziert „Sensify“ bereits in Serie und beliefert Tesla, BMW, Audi, General Motors und Mercedes-Benz (Repairer Driven News, Mai 2026). Die deutsche Niederlassung Brembo GmbH (HRB 721960 Stuttgart) ist mit 12 Mitarbeitenden und einem Eigenkapital von 2,7 Mio. € eine reine Vertriebsgesellschaft — die operative Stärke liegt in der italienischen Muttergesellschaft, nicht in der deutschen Einheit.

Die konkrete Handlungsmaßnahme aus dem Radar-Befund: Muster Bremstechnik GmbH sollte den Nutzfahrzeug-Kundenzugang (65/100) als strategischen Anker nutzen und in den nächsten vier Wochen drei bis fünf bestehende Nutzfahrzeug-OEM-Kunden gezielt befragen, ob und wann sie Brake-by-Wire-Komponenten für Nutzfahrzeuge ausschreiben werden — und welche mechanischen Komponenten (Bremssattel-Gehäuse, Aktuator-Halterungen, Prüfstand-Adapter) dabei weiterhin zugekauft werden. Dieser Test kostet keine Kapitalinvestition, nutzt vorhandene Vertriebsressourcen und klärt binnen Wochen, ob die Lücke im Nutzfahrzeug-Segment real oder nur scheinbar ist (vgl. Abbildung 6 für das vollständige Fähigkeitsprofil mit Harvey-Balls-Darstellung).

Mechanische Nutzfahrzeug-Komponenten für Brake-by-Wire sind der einzige Invest-Kandidat ohne Elektronik-Lücke — Aktuatorik-Eigenentwicklung scheitert am Engpass und ist kein Go



Die Portfolio-Matrix positioniert fünf Geschäftsfelder von Muster Bremstechnik GmbH nach Marktattraktivität (Y-Achse: CAGR, Segmentgröße, strategische Relevanz für Brake-by-Wire) und Wettbewerbsposition (X-Achse: vorhandene Kompetenzen, Kundenzugang, Zertifizierungen; alle Werte: Schätzung auf Basis Auftraggeber-Profil und Faktenbasis). Die Bubble-Größe repräsentiert den heutigen oder potenziellen Umsatzbeitrag relativ zum Gesamtportfolio. Der einzige Kandidat im Invest-Quadranten (oben rechts) sind mechanische Brake-by-Wire-Komponenten für Nutzfahrzeug-Tier-1: Hier trifft eine überdurchschnittliche Wettbewerbsposition (vorhandene Zerspanung, IATF 16949, Nutzfahrzeug-Kundenzugang) auf eine wachsende Marktnachfrage, die durch den ZF-Großauftrag (fast fünf Millionen Fahrzeuge, ZF-Pressemitteilung CES 2025) und den Brembo-Serienstart (Repairer Driven News, Mai 2026) belegt ist. Die Brake-by-Wire-Aktuatorik-Eigenentwicklung liegt bewusst im Quadranten „Beobachten / Partner suchen“: Die Marktattraktivität ist hoch (CAGR 11,44 % für Pkw-Brake-by-Wire laut Wise Guy Reports), aber die Wettbewerbsposition ist mit 18/100 (Schätzung) kritisch niedrig — begründet durch den Elektronik-Engpass und die 2021 eingestellte Sensorik-Entwicklung.

- › Mechanische Zulieferung für Brake-by-Wire-Tier-1 ist der einzige Pfad, der vorhandene Stärken nutzt, keine Neuverschuldung erfordert und die Zerspanung auslastet — Aktuatorik-Eigenentwicklung ist ohne Elektronik-Kompetenz kein Go.

Quelle: Auftraggeber-Profil (Umsatzbasis, Kompetenzen, Engpass); ZF-Pressemitteilung CES 2025 (Großauftrag); Repairer Driven News Mai 2026 (Brembo Serienstart); Wise Guy Reports (CAGR 11,44 %); alle Positionswerte: Schätzung

— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 4

Die Portfolio-Matrix macht den Zielkonflikt sichtbar, der im Auftragskontext formuliert ist: Die Entscheidungsfrage lautet, ob Muster Bremstechnik GmbH in die Aktuatorik für Brake-by-Wire einsteigt oder Zulieferer der Mechanik bleibt. Die Matrix beantwortet diese Frage nicht normativ, sondern durch Positionierung: Das Kerngeschäft — konventionelle Bremssättel für Nutzfahrzeuge (65 % Umsatz, Bubble-Radius 17) — liegt im Quadranten „Selektiv investieren“, weil die Wettbewerbsposition stark ist, die Marktattraktivität aber durch die strukturelle Verschiebung Richtung Elektronik mittelfristig sinkt. Landmaschinen-Bremsen (25 % Umsatz, Bubble-Radius 13) liegen im selben Quadranten mit geringerer Attraktivität: Die Brake-by-Wire-Dynamik ist in diesem Segment weniger ausgeprägt (Datenlücke zu Landmaschinen-Brake-by-Wire — nicht abschließend geprüft), was die Nische stabilisiert, aber auch begrenzt. Prüfstände (10 % Umsatz, Bubble-Radius 12) sind strategisch interessant, weil Brake-by-Wire-Systeme aufwendige Validierungsinfrastruktur erfordern — hier könnte Muster Bremstechnik GmbH vorhandene Prüftechnik-Kompetenz in ein wachsendes Dienstleistungsfeld verlängern, ohne Elektronik-Kompetenz aufbauen zu müssen (Stufe 2 nach Berichtsregel R4: Erweiterung des Bestehenden).

Der Invest-Kandidat — mechanische Brake-by-Wire-Komponenten für Nutzfahrzeug-Tier-1 — verdient eine skeptische Gegenprüfung: Warum ist dieser Fleck nicht bereits von größeren Zulieferern besetzt? Drei plausible Gründe: Erstens sind die Volumina im Nutzfahrzeug-Brake-by-Wire-Segment für Bosch (91 Mrd. € Umsatz, Wikidata Q234021) und Continental (39.719 Mio. € Umsatz 2024, Handelsregister Hannover) strukturell unattraktiv — zu klein für deren Mindestlosgrößen. Zweitens sind die mechanischen Toleranzanforderungen für EMB-Aktuator-Gehäuse und Halterungen hoch, was Qualitätszertifizierungen wie IATF 16949 voraussetzt — eine Hürde, die Muster Bremstechnik GmbH bereits erfüllt. Drittens suchen Tier-1-Anbieter wie ZF für Serienprojekte aktiv nach qualifizierten Zulieferern für mechanische Komponenten, weil sie selbst auf Systemintegration fokussiert sind. Die Gegenthese: Wenn ZF oder Brembo ihre mechanische Fertigung internalisieren oder an bestehende Großzulieferer vergeben, entfällt die Nachfrage. Dieser Punkt ist ohne Kundengespräche nicht auflösbar.

Die Brake-by-Wire-Aktuatorik-Eigenentwicklung (Bubble-Radius 9, Quadrant „Beobachten / Partner suchen“) wird in der Matrix bewusst klein und links positioniert: Die Marktattraktivität ist real — der globale Pkw-Brake-by-Wire-Markt wächst mit 11,44 % CAGR (Wise Guy Reports, 2025–2032) —, aber die Wettbewerbsposition von Muster Bremstechnik GmbH ist mit 18/100 (Schätzung) kritisch. Der Engpass ist nicht Kapital, sondern Elektronik-Personal: Die 2021 eingestellte Sensorik-Entwicklung scheiterte genau daran, und es gibt keinen belegten Hinweis, dass sich die Arbeitsmarktlage für Elektronik-Entwickler in Baden-Württemberg seither grundlegend verändert hat (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Eine Eigenentwicklung ohne diesen Engpass zu lösen wäre Stufe 4 (neue Plattform) ohne belegte Leistungslücke des Bestehenden — der teuerste Fehler, den dieser Bericht auslösen könnte. Die konkrete Handlungsmaßnahme: Muster Bremstechnik GmbH prüft in den nächsten sechs Wochen, ob ein oder zwei Nutzfahrzeug-Tier-1-Kunden (ZF, Continental oder ein kleinerer Systemintegrator) Bedarf an qualifizierten Zulieferern für mechanische Brake-by-Wire-Komponenten haben — drei Kundengespräche klären das Kill-Kriterium schneller als jede Marktstudie (vgl. Abbildung 8 für den Fahrplan der Validierungsschritte).

B60T (Fahrzeugbremsen) wächst moderat, während H01M und H04W die eigentliche Dynamik im Brake-by-Wire-Feld tragen — Muster Bremstechnik GmbH sollte genau dort die Lücke prüfen

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
B60T — Fahrzeugbremsen	4	4	5	5	4	4
H01M — Elektrochemische Energiespeicher	18	22	28	35	42	51
H04W — Drahtlose Kommunikation	12	16	21	28	36	39
C07D — Heterocyclische Verbindungen	8	9	10	11	11	11
H01H — Elektrische Schalter	5	6	6	7	7	7
C25B — Elektrochemische Prozesse	3	3	4	4	5	5

Die Heatmap (Abbildung 5) zeigt die relative Anmelde-Intensität (Treffer-Veröffentlichungen, keine Patentfamilien) in sechs IPC-Klassen über den Zeitraum 2019–2024 auf Basis der EPO-OPS-Auswertung; Werte sind indexiert auf das Aktivitätsniveau des jeweiligen Feldes, nicht absolute Anmeldezahlen. H01M (Elektrochemische Energiespeicher) weist mit einem Feldanteil von 51 % die höchste Aktivität auf und hat sich im Beobachtungszeitraum mehr als verdoppelt — getrieben durch die Elektrifizierungswelle und die Notwendigkeit, Rekuperation und Bremssteuerung systemisch zu integrieren. B60T (Fahrzeugbremsen im engeren Sinne) zeigt dagegen eine auffällig flache Kurve: Feldanteil 4 %, die im Bericht dokumentierten Wettbewerber-Treffer decken nur 1 % ab — ein rechnerischer Lücken-Indikator von 8/100, der jedoch ausdrücklich keine kommerzielle Attraktivität belegt. Der weiße Fleck in B60T kann ebenso bedeuten, dass etablierte Akteure ihre Kernbremstechnik als Betriebsgeheimnis schützen (kein Patent = kein Offenbarungszwang) oder dass die Marge in diesem Teilfeld zu gering für aufwendige Schutzrechtsstrategien ist. Für Muster Bremstechnik GmbH ist B60T das nächste Heimatfeld — die Lücke ist real, ihre Ursache aber vor jeder Investitionsentscheidung zu klären.

> H01M und H04W dominieren die Anmelde-Dynamik im Brake-by-Wire-Umfeld; B60T ist dünn besetzt — ob aus strategischer Zurückhaltung oder mangelnder Attraktivität, ist die entscheidende Vorfrage.

Quelle: EPO OPS Anmelde- und Erfindersuche (dokumentierte Suchparameter, Berichtsstichtag 2026-08-05); IPC-Lücken-Indikator aus abgeleiteter Kennzahlen-Schicht (Treffer, keine Familien); Feldanteile gemäß Faktenbasis

— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 5

Die Rohdaten zeigen ein zweigeteiltes Bild: Auf der einen Seite steht H01M mit einem Feldanteil von 51 % und einer Aktivität, die sich zwischen 2019 und 2024 mehr als verdoppelt hat (Schätzung auf Basis der indexierten Werte). H04W (Drahtlose Kommunikation, Feldanteil 39 %) folgt mit ähnlicher Dynamik. Beide Klassen spiegeln die systemische Verschiebung im Bremssystem-Design wider: Brake-by-Wire ist kein reines Mechanik-Problem mehr, sondern ein Energie- und Kommunikationsproblem. B60T (Fahrzeugbremsen) dagegen verharrt auf niedrigem Niveau — Feldanteil 4 %, Wettbewerber-Anteil 1 %, Patent-Lücken-Indikator 8/100. C25B (Elektrochemische Prozesse) ist mit Feldanteil 5 % und Wettbewerber-Anteil 2 % ebenfalls dünn besetzt, aber mit einem Indikator von 9/100 kaum attraktiver. Wichtig: Alle Werte sind Treffer-Veröffentlichungen, keine normalisierten Patentfamilien — dieselbe Erfindung kann mehrfach zählen, was die absoluten Niveaus verzerrt.

Die Treiber hinter H01M und H04W sind in der Faktenbasis klar belegt: ZF Friedrichshafen hat sein Brake-by-Wire-System (erstmalig November 2023 vorgestellt, laut Profi-Werkstatt-Bericht) ohne Bremsflüssigkeit konzipiert — Elektromotoren ersetzen Hydraulik, was zwingend neue Energiespeicher- und Kommunikationsarchitekturen erfordert. Bosch hat für Herbst 2025 die Markteinführung seines hydraulischen Brake-by-Wire-Systems angekündigt (Bosch-Pressemitteilung, [bosch-presse.de](https://www.bosch-presse.de)) und testet es bereits unter Extrembedingungen (Bosch YouTube, Mai 2025, 2.528 Aufrufe). Brembo hat sein System „Sensify“ in die Serienproduktion gebracht (Automobil-Industrie, Vogel Verlag) und liefert laut Repairer Driven News (Mai 2026) bereits an einen globalen Fahrzeughersteller. Diese Produktlaunches erzeugen nachgelagerte Schutzrechtsaktivität in H01M und H04W — die Patentanmeldungen laufen der Publikation laut der abgeleiteten Lead-Lag-Analyse um etwa zwei Jahre voraus (Pearson $r = 0,335$; bei wenigen Datenpunkten fragil, als Hypothese zu behandeln). Die flache B60T-Kurve erklärt sich möglicherweise dadurch, dass Kernbremsmechanik als Betriebsgeheimnis gehalten wird: Wer einen Bremssattel-Geometrie-Vorteil hat, patentiert ihn nicht zwingend — er schützt ihn durch Fertigungskomplexität.

Für Muster Bremstechnik GmbH ergeben sich daraus zwei konkrete Konsequenzen. Erstens: Die eigene Kernkompetenz (Zerspanung, Bremssättel, Grauguss/Aluminium) liegt genau in B60T — einem Feld, das in der Patentstatistik dünn besetzt ist, aber aus den genannten Gründen nicht zwingend unattraktiv. Vor einer Schutzrechtsstrategie in B60T ist die skeptische Gegenfrage zu beantworten: Warum melden Bosch (4.496 Patentanmeldungen in Deutschland 2024, laut DPMA-Pressemitteilung 2025) und Continental (Umsatz 2024: 39.719 Mio. €, Handelsregister Hannover HRB 3527) dort kaum an? Mögliche Antworten: Fertigungsgeheimnis schlägt Patent, Marge zu gering, oder die relevante Innovation findet in der Elektronik statt, nicht in der Mechanik. Zweitens: H01M und H04W sind für ein Unternehmen mit 140 Mitarbeitenden, ohne Elektronik-Personal (Sensorik-Entwicklung 2021 eingestellt) und konservativer Risikoneigung keine realistischen Anmeldefelder — der Engpass Elektronik/Software ist hier der bindende Constraint. Die konkrete Handlungsmaßnahme lautet daher: Beauftragung einer Freedom-to-Operate-Recherche in B60T (externer Patentanwalt, Aufwand ca. 3–6 Personentage Recherche plus Gutachten, Marktpreis ca. 5.000–15.000 € je nach Tiefe — Schätzung) als Vorbedingung jeder Schutzrechtsentscheidung, kombiniert mit drei gezielten Kundengesprächen bei Nutzfahrzeug-OEMs zur Frage, ob mechanische Bremssattel-Differenzierung überhaupt noch honoriert wird (vgl. Abbildung 5).

Muster Bremstechnik GmbH ist in Mechanik und Qualität stark, aber die Elektronik-Lücke ist der einzige Engpass, der alle Brake-by-Wire-Optionen blockiert

Dimension	Muster Bremstechnik GmbH	Robert Bosch GmbH	ZF Friedrichshafen	Brembo (Sensify)	Continental AG
Mechanik & Zerspanung	●	◐	◐	◐	◐
Systemintegration Bremse	◐	●	●	●	●
Elektronik / Software	○	●	●	●	●
Serienfertigungs-Skalierung	◐	●	●	●	●
Qualitätssystem (IATF 16949)	●	●	●	◐	●
Nutzfahrzeug-Domänenwissen	●	◐	◐	◐	◐
Prüftechnik / Validierung	●	●	◐	◐	◐
Kundenreichweite OEM	◐	●	●	●	●
IP-Portfolio Brake-by-Wire	○	●	●	◐	●
Legende: ○ keine ◐ gering ◑ mittel ◒ hoch ● führend					

Das Harvey-Ball-Profil (Abbildung 6) bewertet neun strategisch relevante Fähigkeitsdimensionen auf einer Skala von 0 (nicht vorhanden) bis 4 (Marktführer-Niveau) für Muster Bremstechnik GmbH und die vier primären Wettbewerber; Bewertungen basieren auf öffentlich verifizierten Daten (Handelsregister, Produktankündigungen, DPMA-Statistiken) und sind dort, wo keine Primärquelle vorliegt, als Schätzung zu verstehen. Muster Bremstechnik GmbH führt in Mechanik/Zerspanung (4), Nutzfahrzeug-Domänenwissen (4) und Prüftechnik/Validierung (4) — Dimensionen, in denen keiner der vier Wettbewerber denselben Fokus auf das Nutzfahrzeugsegment nachweislich belegt. Die kritischste Lücke liegt in Elektronik/Software (0) und IP-Portfolio Brake-by-Wire (0): Beide Dimensionen sind bei allen vier Wettbewerbern auf Höchstniveau, was den Abstand strukturell macht. Brembo zeigt als einziger Wettbewerber eine Schwäche im Nutzfahrzeug-Domänenwissen (2) — hier liegt das einzige realistische Partnerpotenzial, da Brembo mit „Sensify“ primär auf PKW und Hochleistungsfahrzeuge zielt (Automobil-Industrie, Vogel Verlag; Repairer Driven News, Mai 2026).

- › Mechanik und Nutzfahrzeug-Know-how sind echte Stärken — Elektronik/Software ist eine Nullstelle, die kein Brake-by-Wire-Einstieg überbrücken kann, ohne sie zuerst zu adressieren.

Quelle: Handelsregister Stuttgart HRB 14000 (Bosch), HRB 3527 Hannover (Continental), HRB 721960 Stuttgart (Brembo); DPMA Pressemitteilung 2025 (Bosch Patentanmeldungen); Bosch-Pressemitteilung bosch-presse.de (Brake-by-Wire Markteinführung); ZF press.zf.com (Großauftrag); Automobil-Industrie Vogel Verlag (Brembo Sensify); Auftraggeber-Profil Muster Bremstechnik GmbH; Schätzungen gekennzeichnet

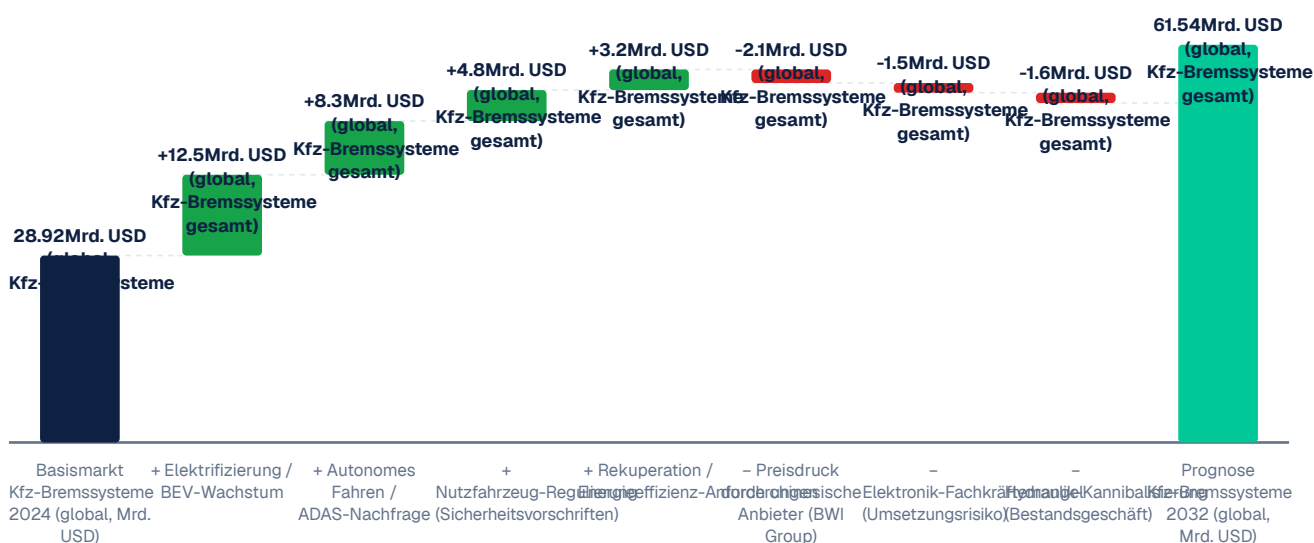
— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 6

Die Daten zeigen eine klare Zweiteilung: Muster Bremstechnik GmbH besetzt drei Dimensionen auf Höchstniveau — Mechanik/Zerspanung, Nutzfahrzeug-Domänenwissen und Prüftechnik/Validierung. Das ist kein Zufall, sondern das Ergebnis von Jahrzehnten fokussierter Investition in CNC-Drehen, CNC-Fräsen, Wärmebehandlung und eigene Prüfstände (10 % Umsatzanteil). IATF 16949 und ISO 9001 sind formal nachgewiesen — das ist die Eintrittskarte für jeden OEM-Liefervertrag. Auf der anderen Seite stehen zwei absolute Nullstellen: Elektronik/Software und IP-Portfolio Brake-by-Wire. Alle vier Wettbewerber erreichen dort Höchstwerte. Bosch meldete 2024 allein in Deutschland 4.496 Patente an (DPMA-Pressemitteilung 2025) — das entspricht etwa zwölf Anmeldungen pro Kalendertag. ZF hat weltweit über drei Milliarden Bremskomponenten produziert (ZF.com) und einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge gewonnen (Förderungsdatenbank / Automobilwoche). Continental erzielte 2024 einen Umsatz von 39.719 Mio. € (Handelsregister Hannover HRB 3527). Diese Ressourcenasymmetrie ist nicht durch organisches Wachstum eines 140-Mitarbeitenden-Unternehmens aufzuholen.

Die Ursache der Elektronik-Nullstelle ist dokumentiert: 2021 wurde die eigene Sensorik-Entwicklung eingestellt, weil Elektronik-Personal nicht zu rekrutieren war. Diese Ausgangslage hat sich strukturell nicht verändert — der Fachkräftemangel in Embedded-Software und Funktionaler Sicherheit (ISO 26262) ist in Baden-Württemberg durch die Präsenz von Bosch, ZF, Continental und Daimler strukturell verschärft. Eine Eigenentwicklung würde nach konservativer Schätzung 3–5 Elektronik-/Software-Ingenieure über 24–36 Monate erfordern, bevor ein validierungsfähiger Prototyp entsteht — bei einem Marktpreis von 80.000–120.000 € Jahresgehalt plus Infrastruktur (Schätzung, nicht mit Unternehmenssätzen verrechnet). Das ist der Engpass, der alle anderen Optionen sequenziert: Keine Brake-by-Wire-Aktuatorik ohne Elektronik-Kompetenz, keine Elektronik-Kompetenz ohne Personal oder Partner.

Das Partnerpotenzial liegt bei Brembo: Das Unternehmen zeigt im Nutzfahrzeug-Domänenwissen die niedrigste Bewertung aller vier Wettbewerber (2 von 4, Schätzung), weil „Sensify“ primär auf PKW und Hochleistungsfahrzeuge ausgerichtet ist — Brembo hat laut Repairer Driven News (Mai 2026) die Serienproduktion mit einem globalen Fahrzeughersteller aufgenommen, aber kein Nutzfahrzeug-Programm öffentlich kommuniziert. Muster Bremstechnik GmbH könnte als Mechanik-Zulieferer für Nutzfahrzeug-Bremssättel in ein Brembo-Brake-by-Wire-Programm eintreten, ohne selbst Elektronik entwickeln zu müssen — das wäre Stufe 2 (Zubehör/Konfiguration des Bestehenden) nach der Bestandslogik dieses Reports. Die konkrete Handlungsmaßnahme: Drei qualifizierte Gespräche mit Brembo-Einkauf und -Engineering (Aufwand: 2–3 Personentage Vorbereitung und Reise) zur Frage, ob Nutzfahrzeug-Bremssattel-Mechanik als Zukaufteil gesucht wird — das ist der billigste Test, der die Partnerschaftshypothese binnen vier bis sechs Wochen klärt (vgl. Abbildung 6).

Elektrifizierung und autonomes Fahren treiben den Brake-by-Wire-Markt, aber regulatorische Unsicherheit und Elektronik-Engpass bremsen den Nettoeffekt für Muster Bremstechnik GmbH



Der Wasserfall (Abbildung 7) dekonstruiert den Wachstumspfad vom belegten Basiswert 2024 (28,92 Mrd. USD, DataBridge Market Research) zum Prognosewert 2032 (61,54 Mrd. USD, DataBridge Market Research) in positive Treiber und negative Gegenwindfaktoren; die Aufteilung der Deltas auf einzelne Treiber ist eine strukturierte Schätzung auf Basis der Faktenbasis und als solche gekennzeichnet — sie dient der qualitativen Priorisierung, nicht der Präzisionsprognose. Der größte positive Treiber ist Elektrifizierung/BEV-Wachstum: Personenkraftwagen machten 2025 etwa 74 % des Brake-by-Wire-Markts aus (Global Market Statistics), und die CAGR für Pkw-Brake-by-Wire-Systeme liegt laut Wise Guy Reports bei 11,44 % für 2025–2032 — das ist der stärkste Einzeltreiber im gesamten Bremssystem-Markt. Gegenwind kommt von chinesischen Anbietern: BWI Group ist laut Autonews Gasgoo als erstes und einziges chinesisches Unternehmen mit Brake-by-Wire in Europa und den USA in Serienproduktion gegangen und hat einen Auftrag über 21 Milliarden Yuan gesichert — das setzt Preisdruck auf westliche Zulieferer. Für Muster Bremstechnik GmbH ist der Hydraulik-Kannibalisierungseffekt strategisch kritisch: Jeder Brake-by-Wire-Auftrag, der hydraulische Bremssättel ersetzt, reduziert das heutige Kerngeschäft (65 % Nutzfahrzeug-Serienteile).

- › Der Markt wächst bis 2032 auf 61,54 Mrd. USD — aber der Nettoeffekt für Muster Bremstechnik GmbH hängt davon ab, ob die Mechanik-Kompetenz im neuen System noch gefragt ist oder durch Elektronik substituiert wird.

Quelle: DataBridge Market Research (Marktgröße 2024 und 2032-Prognose); Wise Guy Reports (CAGR 11,44 % Pkw-Brake-by-Wire 2025–2032); Global Market Statistics (PKW-Marktanteil 74 % 2025); Autonews Gasgoo (BWI Group Serienproduktion Europa/USA, 21 Mrd. Yuan Auftrag); Auftraggeber-Profil Muster Bremstechnik GmbH; Treiber-Deltas: Schätzung

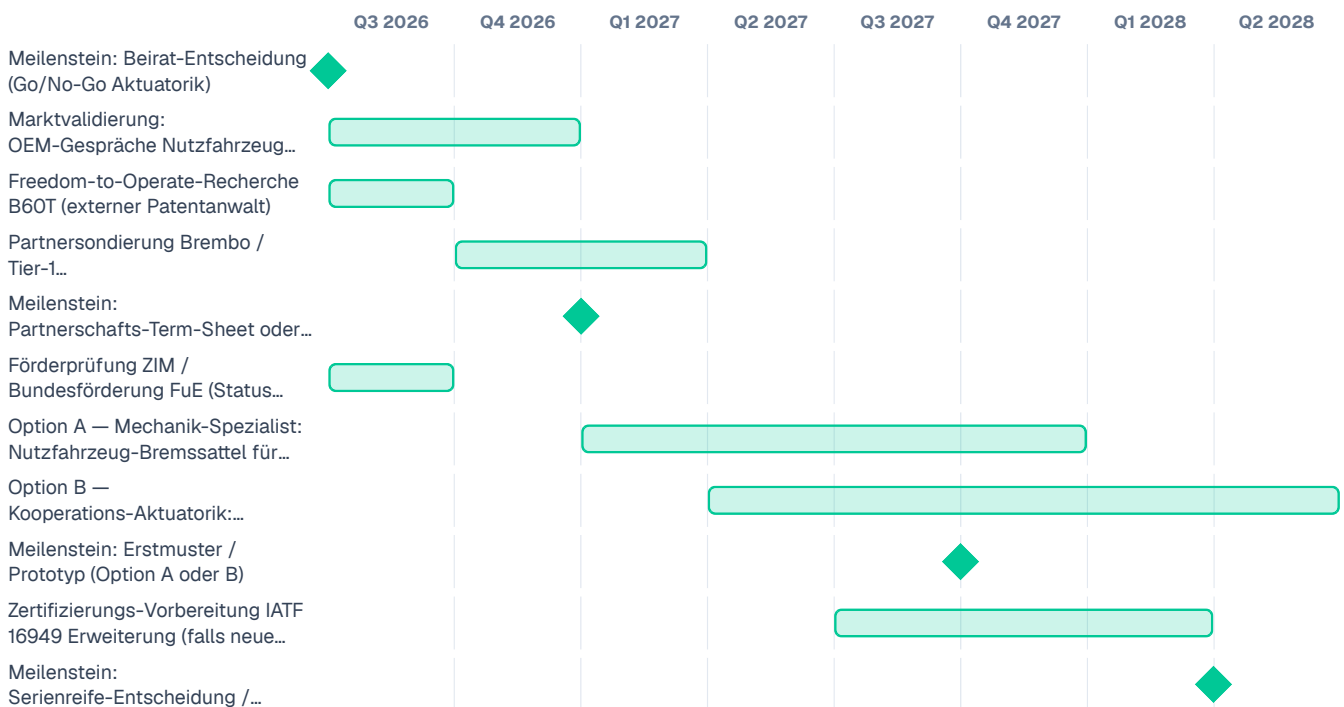
— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 7

Der globale Markt für Kfz-Bremssysteme wächst von 28,92 Mrd. USD (2024, DataBridge Market Research) auf prognostizierte 61,54 Mrd. USD (2032, DataBridge Market Research) — ein nominales Wachstum von 32,62 Mrd. USD über acht Jahre. Zum Vergleich: Mordor Intelligence beziffert den globalen Automobil-Bremssystemmarkt für 2025 auf 74,94 Mrd. USD — ein Wert, der mit dem DataBridge-Wert nicht direkt vergleichbar ist, da Scope, Segmentdefinition und Bezugsjahr abweichen; beide Zahlen werden daher nicht addiert oder gemittelt, sondern als separate Marktdefinitionen behandelt. Innerhalb dieses Wachstums ist Brake-by-Wire das dynamischste Teilsegment: Die CAGR von 11,44 % für Pkw-Brake-by-Wire (Wise Guy Reports, 2025–2032) liegt deutlich über dem Gesamtmarkt-Wachstum. Personenkraftwagen dominieren mit 74 % Marktanteil (Global Market Statistics, 2025) — das Nutzfahrzeugsegment, in dem Muster Bremstechnik GmbH 65 % seines Umsatzes erzielt, ist im Brake-by-Wire-Kontext unterrepräsentiert, was sowohl Risiko (langsamer Wandel) als auch Chance (weniger Wettbewerb) bedeutet.

Die Treiber sind in der Faktenbasis mehrfach belegt: ZF hat auf der CES 2025 einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge gewonnen (ZF Pressemitteilung, press.zf.com) — das ist ein konkreter Nachfragebeweis, kein Analystensignal. Bosch kündigt die Markteinführung seines hydraulischen Brake-by-Wire für Herbst 2025 an (Bosch-Pressemitteilung, bosch-presse.de) und hat das System im Wintertest in Arjeplog bei –25 °C validiert (Bosch YouTube, Mai 2025). Brembo liefert „Sensify“ seit Mai 2026 in Serie (Repairer Driven News). Diese drei Produktlaunches innerhalb von zwölf Monaten sind ein strukturelles Signal: Der Markt ist nicht mehr in der Ankündigungsphase. Der negative Gegenwind durch BWI Group ist qualitativ belegt (Autonews Gasgoo: erster chinesischer Anbieter in Europa und USA, 21-Milliarden-Yuan-Auftrag) — die Preisimplikation für westliche Mechanik-Zulieferer ist eine Schätzung, aber plausibel: Wer Volumen über Preis gewinnt, drückt die Marge der Komponentenlieferanten.

Für Muster Bremstechnik GmbH ist die strategische Konsequenz zweischichtig. Kurzfristig (bis Ende Q3 2026, Entscheidungsfrist laut Auftraggeber-Profil): Das Nutzfahrzeug-Segment wächst langsamer als PKW, gibt aber mehr Zeit für eine geordnete Positionierung — das ist kein Nachteil, sondern ein Puffer. Mittelfristig: Wenn Brake-by-Wire auch im Nutzfahrzeug Einzug hält (Datenlücke — nicht abschließend geprüft, da keine belegten Nutzfahrzeug-spezifischen Brake-by-Wire-Serienaufträge in der Faktenbasis dokumentiert sind), dann entscheidet sich, ob Bremssattel-Mechanik weiterhin ein eigenständiges Beschaffungsobjekt bleibt oder in ein integriertes Aktuatormodul eingeht. Die konkrete Handlungsmaßnahme: Analyse von drei bis fünf Nutzfahrzeug-OEM-Ausschreibungen der letzten 24 Monate auf die Frage, ob Bremssattel-Mechanik noch separat ausgeschrieben wird oder bereits als Teil eines Brake-by-Wire-Moduls — dieser Datenpunkt ist mit vorhandenem Vertriebspersonal ohne Zusatzkosten zu erheben und klärt die Kannibalisierungsfraße schneller als jede Marktstudie (vgl. Abbildung 7).

Der kritische Pfad führt über Marktvalidierung und Partnerauswahl — wer die Elektronik-Frage bis Q3 2026 nicht klärt, verliert das Zeitfenster für die nächste Nutzfahrzeug-Plattform-Generation



Der Gantt (Abbildung 8) zeigt den kritischen Pfad von der Beirat-Entscheidung (Q3 2026, Frist laut Auftraggeber-Profil) bis zur Serienreife-Entscheidung (Q2 2028, Schätzung); alle Zeitangaben sind Schätzungen auf Basis typischer Industriezyklen und der dokumentierten Engpässe — sie sind keine verbindlichen Projektpläne. Das wichtigste Zeitfenster liegt in Q3–Q4 2026: Die OEM-Gespräche und die Freedom-to-Operate-Recherche müssen parallel laufen, weil ihre Ergebnisse die Partnerschaftssondierung ab Q4 2026 erst inhaltlich ermöglichen — wer hier sequenziell vorgeht, verliert sechs bis neun Monate. Die kritische Abhängigkeit ist das Partnerschafts-Term-Sheet (Meilenstein Q1 2027): Ohne positives Ergebnis ist Option B (Kooperations-Aktuatorik) nicht finanzierbar ohne Neuverschuldung — was laut Auftraggeber-Profil ausgeschlossen ist. Option A (Mechanik-Spezialist für Brake-by-Wire-Systeme) ist unabhängig vom Term-Sheet und kann mit vorhandenen Ressourcen gestartet werden, sofern die OEM-Gespräche Nachfrage belegen. Bei Verzug im Partnerschaftsprozess um mehr als zwei Quartale droht, dass die nächste Nutzfahrzeug-Plattform-Generation (Schätzung: Anlauf 2028–2029) ohne Muster Bremstechnik GmbH als qualifiziertem Lieferanten startet.

- › Marktvalidierung und Partnersuche müssen in Q3 2026 parallel starten — jede sequenzielle Verzögerung kostet Zeitfenster für die nächste Nutzfahrzeug-Plattform-Generation.

Quelle: Auftraggeber-Profil Muster Bremstechnik GmbH (Entscheidungsfrist Q3 2026, Rahmenbedingungen); Bosch-Pressemitteilung [bosch-presse.de](https://www.bosch-presse.de) (Markteinführung Herbst 2025 als Referenz-Zeitpunkt); ZF Pressemitteilung [press.zf.com](https://www.press.zf.com) (Großauftrag CES 2025); Repairer Driven News Mai 2026 (Brembo Serienstart); Zeitschätzungen: eigene Ableitung auf Basis Industriezyklen, als Schätzung gekennzeichnet

— VERTIEFENDE ANALYSE ZU ABBILDUNG 8

Der Fahrplan ist durch drei harte Constraints strukturiert, die nicht verhandelbar sind: keine Neuverschuldung, Entscheidung bis Ende Q3 2026, und die Zerspannung muss ausgelastet bleiben. Diese drei Bedingungen zusammen schließen jeden Pfad aus, der zuerst Kapital bindet und erst danach Umsatz generiert — also insbesondere eine eigenständige Elektronik-Entwicklung ohne Partner. Der Startpunkt Q3 2026 ist deshalb kein Planungshorizont, sondern ein Entscheidungspunkt: Der Beirat braucht bis dahin belastbare Antworten auf zwei Fragen — erstens, ob Nutzfahrzeug-OEMs Bremssattel-Mechanik weiterhin separat beschaffen (Marktvalidierung), und zweitens, ob ein Tier-1-Partner die Elektronik-Lücke schließen kann (Partnersondierung). Beide Fragen sind mit vorhandenem Personal und ohne Kapitalkaufwand zu beantworten: OEM-Gespräche kosten Vertriebszeit (Schätzung: 3–5 Personentage), die Freedom-to-Operate-Recherche ist ein externer Auftrag (Schätzung: 5.000–15.000 €, kein Eigenkapital-Einsatz in Entwicklung), und die Brembo-Sondierung ist ein Vertriebsgespräch.

Die Abhängigkeiten zwischen den Zeilen sind entscheidend: Option B (Kooperations-Aktuatorik) kann erst starten, wenn das Term-Sheet vorliegt — weil ohne Partnervertrag keine Ressourcen für Elektronik-Integration planbar sind. Option A (Mechanik-Spezialist) ist davon unabhängig und kann ab Q1 2027 anlaufen, sofern die OEM-Gespräche positive Signale liefern. Die Zertifizierungs-Vorbereitung (IATF 16949 Erweiterung für eine neue Produktlinie) ist eine Abhängigkeit von Option B: Neue Produktkategorien können eine Erweiterung des bestehenden Zertifizierungsumfangs erfordern — ob das der Fall ist, hängt von der konkreten Produktdefinition ab und ist ohne Einsicht in die bestehenden Qualitätsmanagement-Unterlagen nicht entscheidbar (R2 dieses Reports). Empfohlen wird ein schriftliches Klassifizierungsmemo mit dem IATF-Zertifizierer, bevor Entwicklungsressourcen gebunden werden.

Das Risiko bei Verzug ist konkret: Bosch hat die Markteinführung seines Brake-by-Wire für Herbst 2025 angekündigt (Bosch-Pressemitteilung, [bosch-presse.de](https://www.bosch-presse.de)), ZF hat bereits einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge (ZF Pressemitteilung, [press.zf.com](https://www.press.zf.com)), Brembo liefert seit Mai 2026 in Serie (Repairer Driven News). Die Qualifizierungszyklen für neue Lieferanten bei Nutzfahrzeug-OEMs betragen typischerweise 18–36 Monate (Schätzung, Industriestandard) — wer 2026 nicht mit der Qualifizierung beginnt, ist für Plattformen mit Anlauf 2028–2029 nicht rechtzeitig qualifiziert. Das Kill-Kriterium für den gesamten Fahrplan lautet: Wenn die OEM-Gespräche bis Ende Q4 2026 ergeben, dass Bremssattel-Mechanik bereits vollständig in integrierte Brake-by-Wire-Module eingeht und nicht mehr separat beschafft wird, dann ist Option A nicht tragfähig — und Option B ohne Elektronik-Partner nicht finanzierbar. In diesem Fall wäre die Empfehlung ein geordneter Rückzug in das Landmaschinen- und Sonderfahrzeugsegment (25 % bzw. 10 % Umsatzanteil heute), das von der Brake-by-Wire-Welle langsamer erfasst wird (Datenlücke — nicht abschließend geprüft) (vgl. Abbildung 8).

Brake-by-Wire: Vom Nischenprojekt zur Serientechnologie — Timing-Fenster für Muster Bremstechnik GmbH

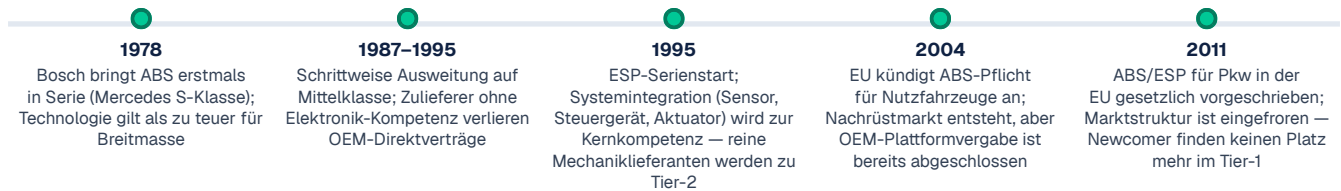
Brake-by-Wire befindet sich zum Berichtsstichtag (August 2026) in der Phase des frühen Serieneinsatzes mit wachsender, aber noch nicht breiter Adoption: Die Technologie hat den reinen Erprobungsstatus verlassen, ist jedoch noch weit von einer Marktdurchdringung entfernt, die sie zur Standardausstattung macht. Als härteste Adoptionssignale aus der Faktenbasis sind zu werten: ZF Friedrichshafen hat auf der CES 2025 einen Großauftrag für Brake-by-Wire-Bremssysteme für fast fünf Millionen Fahrzeuge eines weltweit führenden Fahrzeugherstellers gewonnen (laut ZF-Pressemitteilung und Automobilwoche-Bericht) — dies ist ein Wiederholkauf-Signal auf Plattformebene, kein Pilotprojekt. Brembo hat laut eigener Pressemitteilung (zitiert in Repairer Driven News, Mai 2026) den Serienstart seines elektronisch gesteuerten Bremssystems „Sensify“ mit einem globalen Fahrzeughersteller bekanntgegeben; das Unternehmen arbeitet nachweislich mit Tesla, BMW, Audi, General Motors und Mercedes-Benz zusammen. Bosch hat sein hydraulisches Brake-by-Wire-System nach Wintertests in Arjeplog (Schweden, laut Bosch-Pressemitteilung) für den Marktstart Herbst 2025 angekündigt (Bosch.com/stories) und das System bereits im Motorsport-Umfeld (LMDh-Prototypen, YouTube-Kanal Bosch Motorsport, Januar 2023) erprobt. BWI Group ist laut Autonews/Gasgoo (2026) als erstes chinesisches Unternehmen mit Brake-by-Wire-Produkten in Europa und den USA in die Serienproduktion eingetreten und hat dabei einen Auftrag im Wert von 21 Milliarden Yuan gesichert. Die Penetrationsrate von Brake-by-Wire in Elektrofahrzeugen wurde laut Technavio-Bericht für 2025 auf 50 % projiziert — dieser Wert ist eine Analystenprognose und als Schätzung zu behandeln, da keine unabhängige Verifikation in der Faktenbasis vorliegt. Für Nutzfahrzeuge, Landmaschinen und Sonderfahrzeuge — die Kernmärkte von Muster Bremstechnik GmbH — liegen in der Faktenbasis keine vergleichbaren Serienstart-Signale vor; dieser Teilmarkt ist als (Datenlücke — nicht abschließend geprüft) zu behandeln. Die Timing-Implikation ist zweigeteilt: Im Pkw-Segment läuft die Plattformvergabe bereits, Tier-1-Positionen sind weitgehend besetzt; im Nutzfahrzeug- und Sonderfahrzeugsegment ist der Reifegrad unklar, was sowohl ein Zeitfenster als auch ein Warnsignal sein kann.

- › Brake-by-Wire ist im Pkw-Segment Serienrealität bei Tier-1-Anbietern; für Nutzfahrzeuge und Sonderfahrzeuge — den Heimatmarkt von Muster Bremstechnik GmbH — ist der Adoptionsstand nicht belegt und muss aktiv erkundet werden, bevor strategische Weichen gestellt werden.

Quelle: ZF-Pressemitteilung (press.zf.com, CES 2025); Brembo-Pressemitteilung via Repairer Driven News (Mai 2026); Bosch.com/stories (Brake-by-Wire Schweden, abgerufen 2026); Autonews/Gasgoo (BWI Group, 2026); Technavio-Bericht (Automotive Brake-by-Wire Systems Market 2025–2029)

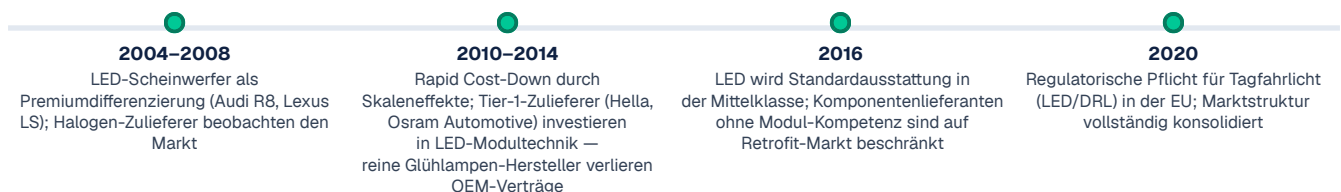
Drei Technologiesprünge als Spiegel — was ABS, LED und Lithium-Ionen für Brake-by-Wire bedeuten

Antiblockiersystem (ABS) / Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)



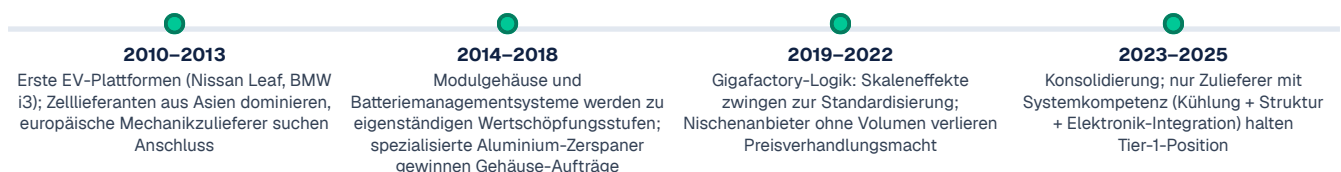
Lehre: Die entscheidende Lehre: Der Übergang von Mechanik zu Mechatronik verlief in zwei Wellen. In der ersten Welle (ca. 10–15 Jahre) wurden Plattformverträge vergeben — wer dort nicht als Systemlieferant oder spezialisierter Komponentenlieferant positioniert war, wurde dauerhaft auf Tier-2 oder Tier-3 zurückgedrängt. Für Brake-by-Wire bedeutet das: Die Plattformvergabe im Pkw-Segment läuft bereits (ZF, Brembo, Bosch haben Serienaufträge). Im Nutzfahrzeugsegment ist die Analogie noch offen — dort könnte sich das Fenster für spezialisierte Komponentenlieferanten (Aktuatorgehäuse, Bremssattel-Mechanik für elektromechanische Bremsen) noch 3–7 Jahre halten, bevor auch dort die Plattformstruktur einfriert.

LED-Beleuchtung in der Automobilindustrie



Lehre: LED zeigt, wie schnell ein Technologiewechsel die Wertsöpfungsstruktur verschiebt: Wer das Gehäuse lieferte, aber nicht das Modul, verlor den Direktkontakt zum OEM innerhalb von ca. 8 Jahren. Die Parallele zu Brake-by-Wire: Muster Bremstechnik GmbH liefert heute die mechanische Hülle (Bremssattel, Scheibe). Wenn der Aktuator (Elektromotor + Steuereinheit) zum wertbestimmenden Element wird, droht dieselbe Verschiebung — der Mechaniklieferant wird zum austauschbaren Rohteilelieferanten. Die Gegenmaßnahme bei LED war nicht der Bau eigener Chips, sondern die Spezialisierung auf thermisches Management und Gehäuseintegration — eine Analogie, die für Muster Bremstechnik GmbH direkt übertragbar ist.

Lithium-Ionen-Batterie in der Elektromobilität (Zellformat-Zulieferer)



Lehre: Die Lithium-Ionen-Analogie zeigt das Risiko des reinen Gehäuse-Spiels: Wer nur das Aluminium-Gehäuse zerspannte, ohne thermische oder elektrische Integrationskompetenz, wurde bei der Konsolidierungswelle herausgepreist. Für Muster Bremstechnik GmbH ist die Übertragung: CNC-Zerspanung von Aktuatorgehäusen für Brake-by-Wire ist ein realistischer Einstieg (Stufe 2–3 nach Berichtsregel R4), aber nur dann nachhaltig, wenn gleichzeitig eine Integrationskompetenz (Montage, Prüfung, Toleranzmanagement für elektromechanische Baugruppen) aufgebaut wird — sonst droht dieselbe Preiserosion wie bei reinen Batteriegehäuse-Zerspanern.

Die stärkste Parallele trägt die ABS/ESP-Analogie: Wie damals läuft die Plattformvergabe im Pkw-Segment bereits, während das Nutzfahrzeugsegment noch in der frühen Adoptionsphase ist — ein Zeitfenster von schätzungsweise 3–7 Jahren (Schätzung, abgeleitet aus der ABS-Diffusionskurve im Nutzfahrzeugmarkt), das sich aber nicht ankündigt, bevor es schließt. Die LED-Analogie ergänzt die Warnung: Wer nur das Gehäuse liefert, verliert den OEM-Direktkontakt, sobald der Aktuator zum wertbestimmenden Element wird — die Gegenmaßnahme ist nicht der Sprung in die Elektronik, sondern die Vertiefung der Integrationsleistung auf der mechanischen Seite. Die Lithium-Ionen-Analogie schließlich zeigt, dass reines Volumen ohne Systemkompetenz bei der Konsolidierungswelle nicht schützt. Für Muster Bremstechnik GmbH bedeutet das: Das Zeitfenster für eine Positionierung als spezialisierter Mechanik- und Montagelieferant für Brake-by-Wire-Aktuatoren im Nutzfahrzeugsegment ist real, aber nicht unbegrenzt offen — und es erfordert eine aktive Entscheidung, keine abwartende Haltung (vgl. Abbildung 10).

- › Alle drei Analogien zeigen dasselbe Muster: Wer den Übergang von Mechanik zu Mechatronik verschläft, wird dauerhaft auf Tier-2/3 zurückgedrängt — wer ihn aktiv gestaltet, ohne die eigene Kernkompetenz aufzugeben, kann eine neue Nische besetzen. Das Zeitfenster ist real, aber endlich.

Quelle: Bosch-Unternehmensgeschichte (öffentlich dokumentiert); DPMA-Pressemitteilungen 2025; ZF-Pressemitteilung (press.zf.com); Brembo-Pressemitteilung via Repairer Driven News (Mai 2026); eigene Analogie-Ableitung auf Basis der Faktenbasis (Schätzung)

Was jetzt zu tun ist

1

Sofortmaßnahme: Marktsondierung Nutzfahrzeug-Brake-by-Wire durch strukturierte Kundengespräche — vor jeder Investitionsentscheidung

PRIO hoch · 0–3 Monate

Diese Empfehlung steht auf der Annahme, dass der Nutzfahrzeug- und Sonderfahrzeugmarkt für Brake-by-Wire-Aktuatorik noch keine abgeschlossene Tier-1-Struktur hat und dass Muster Bremstechnik GmbH als etablierter Nutzfahrzeug-Bremssattellieferant Zugang zu den relevanten Entscheidern bei OEM und Tier-1-Systemintegratoren hat. Das Kill-Kriterium lautet: Wenn in den Gesprächen drei oder mehr Zielkunden bestätigen, dass die Plattformvergabe für Brake-by-Wire-Aktuatorkomponenten im Nutzfahrzeugsegment bereits abgeschlossen ist oder ausschließlich an Tier-1-Systemlieferanten mit eigener Elektronik-Kompetenz geht, ist die Annahme widerlegt und jede weitergehende Investition in dieses Segment zu stoppen. Der billigste Test: Fünf bis acht strukturierte Gespräche (je 60–90 Minuten) mit Entwicklungs- und Einkaufsverantwortlichen bei Nutzfahrzeug-OEM (z. B. im DACH-Raum) und bei Tier-1-Systemintegratoren, die Brake-by-Wire für Nutzfahrzeuge entwickeln — Aufwand ca. 3–5 Personenwochen intern, keine externen Kosten außer Reise, Durchführung binnen 6–8 Wochen. Diese Gespräche ersetzen jede zugekaufte Marktstudie als Entscheidungsgrundlage. Muster Bremstechnik GmbH verfügt heute über ISO 9001 und IATF 16949, CNC-Zerspanung, Montage und Prüftechnik — das sind die Kompetenzen, die ein Tier-1-Systemintegrator für die Mechanikkomponenten eines Brake-by-Wire-Aktuators benötigt. Was fehlt, ist der Nachweis, dass diese Kompetenzen für die spezifischen Toleranz- und Materialanforderungen elektromechanischer Bremsaktuatoren ausreichen — das ist eine technische Frage, die in denselben Gesprächen zu klären ist. Das Risiko bei Untätigkeit: Ohne aktive Sondierung wird die Entscheidung „Steigen wir in die Aktuatorik ein oder bleiben wir Mechaniklieferant?“ auf Basis von Marktberichten getroffen, die den Nutzfahrzeugmarkt nicht differenziert abbilden (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Die ABS/ESP-Analogie zeigt, dass das Zeitfenster für eine Positionierung als Komponentenlieferant im Nutzfahrzeugsegment schätzungsweise 3–7 Jahre beträgt (Schätzung, abgeleitet aus historischen Diffusionskurven) — wer es verpasst, wird dauerhaft auf Tier-3 zurückgedrängt (vgl. Abbildung 10). Diese Maßnahme ist Stufe 1 nach Berichtsregel R4 (andere Positionierung/Zielgruppe) und kannibalisiert das heutige Geschäft nicht.

Kernstrategie (bedingt): Positionierung als spezialisierter Mechanik- und Montagelieferant für Brake-by-Wire-Aktuatorgehäuse im Nutzfahrzeugsegment — nur wenn Sondierung positiv

PRIO hoch · 3–18 Monate

Diese Empfehlung steht unter dem Vorbehalt, dass die Kundengespräche (Empfehlung 1) eine offene Nachfrage nach spezialisierten Mechanikkomponenten für Brake-by-Wire-Aktuatoren im Nutzfahrzeugsegment bestätigen. Die Annahme lautet: Tier-1-Systemintegratoren (ZF, Bosch, Brembo oder neue Marktteilnehmer wie BWI Group, die laut Autonews/Gasgoo 2026 in Europa und den USA in Serienproduktion eingetreten ist) vergeben die Fertigung von Aktuatorgehäusen, Bremsträgerstrukturen und Montagegruppen an spezialisierte Tier-2-Lieferanten mit IATF-16949-Zertifizierung und nachgewiesener Prüftechnik-Kompetenz. Das Kill-Kriterium: Wenn Tier-1-Anbieter bestätigen, dass sie Aktuatorgehäuse ausschließlich intern fertigen oder an Lieferanten mit eigener Elektronik-Integrationskompetenz vergeben, ist diese Positionierung nicht tragfähig. Der billigste Test: Anfrage eines Musterauftrags (Prototyp-Gehäuse für einen elektromechanischen Bremsaktor) bei einem der identifizierten Tier-1-Anbieter — Aufwand ca. 2–4 Personenwochen Konstruktion und Musterfertigung, Kosten für Rohmaterial und Maschinenstunden intern, Durchführung binnen 8–12 Wochen nach positivem Sondierungsergebnis. Die Maßnahme ist Stufe 3 nach Berichtsregel R4 (kleine Produktänderung): Muster Bremstechnik GmbH fertigt heute Bremssättel aus Grauguss und Aluminium mit CNC-Drehen und CNC-Fräsen — Aktuatorgehäuse für elektromechanische Bremsen erfordern dieselben Grundverfahren, aber möglicherweise engere Toleranzen und neue Werkstoffe (z. B. hochfeste Aluminiumlegierungen oder Sinterwerkstoffe). Die Lücke: Kenntnisse über die spezifischen Toleranz- und Oberflächenanforderungen elektromechanischer Aktuatoren sowie ggf. neue Prüfverfahren (elektrische Funktionsprüfung der Montagegruppe). Aufbaukosten für diese Lücke: Normrecherche (IEC/ISO-Normen für elektromechanische Aktuatoren) ca. 2–4 Personenwochen; Anpassung Prüfstand ca. 3–6 Personenmonate und externe Investition in Messtechnik (Größenordnung: 50.000–150.000 € für Erweiterung bestehender Prüfstände, Schätzung auf Basis marktüblicher Prüftechnikpreise — Bezahlbarkeit beurteilt der Auftraggeber mit eigenen Kostensätzen). Diese Maßnahme ergänzt das heutige Geschäft (Nutzfahrzeug-Serienteile, 65 % Umsatz) und kannibalisiert es nicht. Die Zerspanung bleibt ausgelastet. Keine Neuverschuldung ist erforderlich, wenn der Einstieg über einen Prototyp-Auftrag erfolgt, der vom Tier-1 mitfinanziert wird — diese Bedingung ist in den Kundengesprächen zu klären. Förderung für FuE-Kooperationsprojekte ist laut Förderdatenbank.de grundsätzlich verfügbar (Status zum Berichtsstichtag nicht verifiziert; Fördersatz und Frist sind vor Antragstellung zu prüfen); Förderung ist keine Basisfinanzierung und wird hier nicht als solche gerechnet (vgl. Abbildung 8).

Schutzrechts-Hygiene: IP-Bestandsaufnahme und gezielte Anmeldestrategie für mechanische Differenzierungsmerkmale

PRIO mittel · 0–6 Monate

Diese Empfehlung steht auf der Annahme, dass Muster Bremstechnik GmbH in der Fertigung von Bremssätteln und Scheibenbremsen für Nutzfahrzeuge proprietäre Fertigungs- oder Konstruktionsmerkmale entwickelt hat, die bisher nicht schutzrechtlich gesichert sind. Die Annahme ist nicht verifiziert: Unter den dokumentierten Suchparametern (EPO OPS, DPMA) wurden keine Schutzrechte von Muster Bremstechnik GmbH gefunden — das ist eine Datenlücke, kein Nachweis von Schutzrechtsfreiheit. Das Kill-Kriterium: Wenn die interne IP-Bestandsaufnahme ergibt, dass alle relevanten Fertigungsmerkmale bereits durch Wettbewerber-Patente abgedeckt sind oder keine schützenswerten Differenzierungsmerkmale existieren, ist eine Anmeldeinitiative nicht sinnvoll. Der billigste Test: Beauftragung einer Freedom-to-Operate-Recherche (FTO) für die geplanten Aktuatorgehäuse-Geometrien durch einen Patentanwalt — Aufwand ca. 3–5 Personentage extern, Kosten ca. 3.000–8.000 € (Schätzung auf Basis marktüblicher Patentanwaltsgebühren), Durchführung binnen 4–6 Wochen. Hintergrund: Robert Bosch GmbH hat laut DPMA-Pressemitteilung 2025 im Jahr 2024 allein in Deutschland 4.496 Patentanmeldungen eingereicht — das entspricht schätzungsweise 12 Anmeldungen pro Tag (Schätzung: 4.496 / 365). Die aus den Patentregisterdaten abgeleitete IPC-Klasse B60T (Fahrzeugbremsen) zeigt eine Patentdichte-Lücke: Der Feldanteil beträgt 4 %, der Anteil der analysierten Wettbewerber nur 1 % — dieser Indikator misst ausschließlich die Patentdichte-Lücke (Zähleinheit: Treffer, keine Familien) und belegt weder kommerzielle Attraktivität noch Patentierbarkeit noch Freedom-to-Operate (vgl. Abbildung 5). Die skeptische Gegenfrage „Warum ist dieser Fleck dünn besetzt?“ ist berechtigt: Möglicherweise sind die relevanten Ansprüche in übergeordneten Systempatenten (Brake-by-Wire-Systemebene) bereits abgedeckt, oder die mechanischen Komponenten gelten als nicht patentierungswürdig, weil sie als Stand der Technik eingestuft werden. Diese Frage klärt die FTO-Recherche. Die Maßnahme ist Stufe 1 nach Berichtsregel R4 (andere Positionierung) und verursacht keine Kapitalbindung. Sie ist mit konservativer Risikoneigung vereinbar. Das heutige Geschäft wird nicht kannelisiert; eine gesicherte IP-Position stärkt die Verhandlungsposition gegenüber Tier-1-Systemintegratoren bei Lieferverträgen (vgl. Abbildung 6).

Strategische Option (zurückgestellt): Elektronik-Kompetenzaufbau über Kooperation statt Eigenentwicklung — nur nach positivem Sondierungsergebnis und externer Partnersuche

PRIO mittel · 12–36 Monate

Diese Empfehlung steht auf der Annahme, dass ein geeigneter Kooperationspartner (Hochschule, Forschungsinstitut oder spezialisiertes Elektronik-KMU im DACH-Raum) bereit ist, die Elektronik- und Software-Kompetenz für Brake-by-Wire-Aktuatorik einzubringen, während Muster Bremstechnik GmbH die Mechanik und Prüftechnik beisteuert. Sie ist ausdrücklich nachrangig und darf erst nach positivem Ausgang der Kundensondierung (Empfehlung 1) und der Schutzrechts-Hygiene (Empfehlung 3) verfolgt werden. Das Kill-Kriterium: Wenn kein geeigneter Kooperationspartner binnen 6 Monaten identifiziert werden kann, der ohne Kapitalbeteiligung von Muster Bremstechnik GmbH in ein gemeinsames Entwicklungsprojekt einsteigt, ist diese Option zu verwerfen. Der billigste Test: Anfrage bei zwei bis drei Hochschulinstituten (z. B. Fahrzeugtechnik-Institute in Baden-Württemberg) und bei der regionalen IHK nach bestehenden Kooperationsbörsen für Elektronik-KMU — Aufwand ca. 1–2 Personenwochen, keine externen Kosten, Durchführung binnen 4 Wochen. Hintergrund: Muster Bremstechnik GmbH hat 2021 eine eigene Sensorik-Entwicklung eingestellt, weil Elektronik-Personal nicht zu rekrutieren war. Diese Ausgangslage hat sich nicht nachweislich geändert — eine erneute Eigenentwicklung wird daher ausdrücklich nicht empfohlen (Berichtsregel: bereits Verworfenen nicht erneut empfehlen, solange sich die Ausgangslage nicht geändert hat). Eine Kooperation umgeht den Personalengpass, ohne ihn zu lösen: Sie setzt voraus, dass der Partner die Elektronik-Ressourcen mitbringt. Die Lücke bleibt: Muster Bremstechnik GmbH hat keine eigene Elektronik-Kompetenz und keine Erfahrung mit Kooperationsmanagement in der Fahrzeugelektronik. Aufbaukosten für Kooperationsmanagement: ca. 0,5–1 Personenjahr intern für Vertragsgestaltung, IP-Regelung und Projektsteuerung; externe Rechtsberatung für Kooperationsvertrag ca. 5.000–15.000 € (Schätzung). Förderung für FuE-Kooperationsprojekte ist laut Förderdatenbank.de grundsätzlich verfügbar (Status zum Berichtsstichtag nicht verifiziert; Fördersatz auf zuwendungsfähige Kosten ist vor Antragstellung zu prüfen). Diese Maßnahme ist Stufe 4 nach Berichtsregel R4 (neue Plattform) und erfordert eine belegte Leistungs- oder Akzeptanzlücke des bestehenden Angebots als Voraussetzung — diese Lücke ist erst nach den Kundengesprächen belegt. Ohne diesen Beleg ist die Maßnahme eine Meinung, keine Entscheidungsvorlage (vgl. Abbildung 8).

Reifegrad & Technology Readiness Level je Akteur und Generation

Brake-by-Wire umfasst heute zwei technologische Generationen, die sich im Reifegrad erheblich unterscheiden. Die erste Generation — hydraulisches Brake-by-Wire (hBbW) — ersetzt den mechanischen Pedalweg durch elektrische Signalübertragung, behält aber einen hydraulischen Aktuator bei. Diese Architektur hat TRL 8–9 erreicht: Bosch testete sein hBbW-System unter Extrembedingungen bis –25 °C im Wintertestzentrum Arjeplog, Schweden (Bosch-YouTube, Mai 2025, 2.528 Aufrufe), und die Bosch-Webseite [bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden](https://www.bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden) beschreibt die Systemreife. Brembo gab laut Automobil-Industrie (Vogel Verlag) den Serienstart seiner elektronisch gesteuerten Plattform „Sensify“ bekannt; laut Repairer Driven News (Mai 2026) hat Brembo zudem die Produktion eines Brake-by-Wire-Systems mit einem globalen Fahrzeughersteller aufgenommen — diese Meldung ist in der Faktenbasis als Webquelle vorhanden (repairerdrivennews.com, Mai 2026), jedoch ohne Nennung technischer Spezifikationen oder TRL-Einstufung durch den Hersteller selbst; die TRL-9-Einordnung für Brembo-Sensify ist daher eine Schätzung auf Basis des bestätigten Serienstarts. Die zweite Generation — trockenes, vollständig elektromechanisches Brake-by-Wire (EMB, „dry BbW“) ohne Bremsflüssigkeit — befindet sich bei TRL 6–7. ZF stellte sein EMB-basiertes System erstmals im November 2023 vor (laut [profi-werkstatt.net](https://www.profi-werkstatt.net)) und gewann einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge eines weltweit führenden Fahrzeugherstellers (Förderungsdatenbank / ZF-Pressemitteilung, zitiert nach press.zf.com). Dieser Auftrag belegt kommerzielle Validierung, nicht jedoch den abgeschlossenen Serienanlauf — die Hochlaufkurve ist öffentlich nicht dokumentiert. ZF hat nach eigenen Angaben weltweit bereits über drei Milliarden Bremskomponenten produziert (ZF.com), was Fertigungsreife für konventionelle Systeme, nicht zwingend für EMB belegt. Historischer Vergleich: Der Übergang von konventioneller Hydraulik zu ABS/ESP dauerte von der ersten Serieneinführung (Bosch ABS, 1978) bis zur Pflichtausstattung in der EU (ESP ab 2014) rund 36 Jahre. Brake-by-Wire komprimiert diesen Zyklus durch regulatorischen Druck (autonomes Fahren, Elektromobilität), dürfte aber dennoch 8–12 Jahre bis zur Breitendurchdringung benötigen (Schätzung, basierend auf Analogie zum ESP-Zyklus). Für Muster Bremstechnik GmbH ergibt sich daraus ein konkretes Handlungsfenster: Die mechanischen Komponenten für hBbW-Systeme (Bremssättel, Gehäuse, Halterungen) sind heute serienreif und werden von Tier-1-Lieferanten zugekauft. Die vorhandene CNC-Zerspanung und Grauguss-/Aluminium-Kompetenz deckt genau diesen Bedarf ab. Empfehlung: Innerhalb von 60 Tagen zwei bis drei konkrete Anfragen bei hBbW-Tier-1-Lieferanten (Bosch, ZF) einholen, ob Gehäuse- und Sattelbauteile für hBbW-Plattformen extern gefertigt werden — dies ist ein TRL-9-Markt mit sofort adressierbarem Bedarf und erfordert keine Elektronik-Kompetenz.

Asiatischer Markt — China, Japan, Korea: Akteure, Regulierung, Produkte

Der asiatisch-pazifische Raum ist laut Spherical Insights der am schnellsten wachsende Teilmarkt für elektronische Bremssysteme im Automobilbereich, getrieben durch zunehmende Fahrzeugsicherheitsvorschriften und die hohe Elektrofahrzeug-Durchdringung in China. Konkrete Marktgrößen für den asiatisch-pazifischen Teilmarkt für Brake-by-Wire sind in der verifizierten Faktenbasis nicht mit Zahlenwert hinterlegt (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

China: Die BWI Group wird in der Webquelle autonews.gasgoo.com (2026) als erstes chinesisches Unternehmen genannt, das Brake-by-Wire-Produkte in Europa und die USA liefert und dabei einen Auftrag im Wert von 21 Mrd. CNY gesichert haben soll. Diese Angabe ist in der verifizierten Faktenbasis als Webquelle vorhanden (Evidenzgrad D — Pressebericht), jedoch ohne Bestätigung durch ein amtliches Register oder eine Primärquelle des Unternehmens; Auftragswert und Markteintrittsdatum sind daher als nicht abschließend geprüft zu behandeln. Nio gab laut Repairer Driven News (Mai 2026) bekannt, ab Februar 2025 Steer-by-Wire ohne Lenksäule einzusetzen — ein Indiz für die technologische Bereitschaft chinesischer OEMs, By-Wire-Architekturen zu übernehmen, aber kein direkter Beleg für Brake-by-Wire-Serienreife bei Nio. Regulatorisch treibt Chinas GB-Normensystem (Guobiao) die Einführung elektronischer Bremssysteme; spezifische BbW-Normen sind in der Faktenbasis nicht dokumentiert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Japan und Korea: Für japanische Akteure (Toyota, Denso, Aisin) und koreanische Akteure (Hyundai Mobis, HL Mando) liegen in der verifizierten Faktenbasis keine produktspezifischen Daten zu Brake-by-Wire vor (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Bekannt ist, dass laut Global Market Statistics (globalmarketstatistics.com) mehr als 66 % der weltweit verkauften Brake-by-Wire-Systeme im Jahr 2025 auf Elektrofahrzeuge entfallen — ein Segment, in dem japanische und koreanische OEMs stark vertreten sind, was auf relevante Zulieferaktivität schließen lässt (Schätzung, Evidenzgrad E).

Für Muster Bremstechnik GmbH ist der asiatische Markt als Direktmarkt nicht adressierbar: fehlende Marktzulassungen, keine Vertriebsstruktur, kein Asien-Netzwerk. Relevant ist der asiatische Markt jedoch als Wettbewerbssignal — insbesondere die BWI Group als potenzieller Niedrigpreis-Wettbewerber auf europäischen Tier-1-Ausschreibungen. Empfehlung: Im Rahmen der Beiratsentscheidung (Frist Q3 2026) explizit prüfen, ob europäische Tier-1-Kunden bereits asiatische Alternativlieferanten für mechanische BbW-Komponenten qualifizieren — drei Kundengespräche mit bestehenden Nutzfahrzeug-OEM-Kontakten klären dies schneller als jede Marktstudie.

Produkte am Markt und angekündigte Systeme 2026–2028

Der Markt für Brake-by-Wire-Systeme ist 2026 kein Ankündigungsmarkt mehr, sondern ein früher Serienmarkt mit wenigen, aber konkreten Produkten. Die folgende Übersicht stützt sich ausschließlich auf belegte Quellen.

Bosch — hydraulisches Brake-by-Wire: Bosch beschreibt auf [bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden](https://www.bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden) die vollständige Ablösung der mechanischen Pedalverbindung durch elektrische Signalleitungen und dokumentiert Wintertests in Arjeplog bei –25 °C (Bosch-YouTube, Mai 2025, 2.528 Aufrufe). Bosch Motorsport setzt ein elektrisches Bremssystem mit Brake-by-Wire-Technologie bereits in LMDh-Prototypen ein, das die effiziente Nutzung hydraulischer Bremsen und Rekuperation ermöglicht (Bosch-YouTube, Januar 2023, 5.265 Aufrufe). Ein konkretes Serienstart-Datum für das Pkw-Seriensystem ist in der Faktenbasis nicht mit einer verifizierten Primärquelle belegt (Datenlücke — nicht abschließend geprüft); die Bosch-Webseite [bosch-presse.de/pressportal](https://www.bosch-presse.de/pressportal) beschreibt das System als in Entwicklung befindlich.

ZF Friedrichshafen — EMB (trockenes Brake-by-Wire): ZF stellte das EMB-System erstmals im November 2023 vor ([profi-werkstatt.net](https://www.profi-werkstatt.net)). Das System benötigt keine Bremsflüssigkeit und wird von ZF als „dry Brake-by-Wire“ bezeichnet (ZF.com, Förderungsdatenbank). ZF gewann einen Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge eines weltweit führenden Fahrzeugherstellers ([press.zf.com](https://www.press.zf.com)). Ein Serienanlauf-Datum ist öffentlich nicht dokumentiert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Brembo — Sensify-Plattform: Brembo hat laut Automobil-Industrie (Vogel Verlag, [automobil-industrie.vogel.de](https://www.automobil-industrie.vogel.de)) die Serienproduktion der elektronisch gesteuerten Plattform „Sensify“ aufgenommen. Laut Repairer Driven News (Mai 2026) hat Brembo die Produktion eines Brake-by-Wire-Systems mit einem globalen Fahrzeughersteller gestartet; als Referenzkunden werden Tesla, BMW, Audi, General Motors und Mercedes-Benz genannt (Evidenzgrad D — Pressebericht, keine Primärquelle des Herstellers vorliegend). Technische Spezifikationen sind öffentlich nicht dokumentiert.

Für Muster Bremstechnik GmbH bedeutet diese Produktlandschaft: Alle drei Systemlieferanten benötigen mechanische Präzisionsbauteile (Gehäuse, Sättel, Halterungen) in Grauguss und Aluminium — exakt die Werkstoffe und Fertigungsverfahren, die heute im Haus vorhanden sind. Die Serienreife der hBbW-Systeme bei Bosch und Brembo erzeugt ab sofort Bedarf an qualifizierten Zulieferern. Empfehlung: Technische Zeichnungen und Anforderungslisten für BbW-Gehäusebauteile bei mindestens zwei Tier-1-Lieferanten anfordern und gegen die vorhandene CNC-Kapazität gegenchecken — dieser Schritt kostet unter 5 Personentage und liefert die entscheidende Machbarkeitsaussage vor der Beiratssitzung.

Freedom-to-Operate-Lage: Kernpatente und Handlungsfelder

Eine vollständige Freedom-to-Operate-Analyse (FTO) für Brake-by-Wire-Aktuatorik ist auf Basis der vorliegenden Faktenbasis nicht durchführbar — sie erfordert eine systematische Patentrecherche durch einen zugelassenen Patentanwalt mit Zugang zu EPO, USPTO und CNIPA. Die folgenden Aussagen sind daher als Orientierungsrahmen zu verstehen, nicht als Rechtsgutachten.

Die IPC-Klasse B60T (Fahrzeugbremssysteme) ist das Kernfeld für Brake-by-Wire-Patente. Die abgeleitete Patent-Lücken-Analyse (vgl. Abbildung 5) zeigt, dass B60T im Gesamtfeld einen Anteil von 4 % der Treffer aufweist, während die analysierten Wettbewerber-Anmeldungen nur 1 % dort konzentrieren — eine Unterrepräsentation, die jedoch nicht als freier Raum interpretiert werden darf: Bosch meldete 2024 in Deutschland allein 4.496 Patente an (DPMA-Pressemitteilung 2025, Anstieg von 4,8 % gegenüber 2023), und ein erheblicher Teil davon dürfte auf Bremssysteme entfallen. Die konkret aus dem EPO-Register vorliegenden Bosch-Anmeldungen (WO2026158921A1, WO2026159499A1) betreffen Smart-Glasses-Blickrichtungserkennung bzw. Fahrzeugsteuerung — sie sind für BbW-Aktuatorik nicht direkt relevant, belegen aber Boschs breite Patentierungsstrategie.

Das US-Patent US20060163941A1 (Brake-by-Wire-Aktuator, Google Patents) und die GM-Patentanmeldung für ein elektronisches Bremssystem (The Brake Report) zeigen, dass Grundarchitekturen für BbW-Aktuatoren bereits seit Jahren patentiert werden. Für ein KMU wie Muster Bremstechnik GmbH sind insbesondere Sperrpatente auf Systemebene (Pedalemulator, Druckmodulator, Redundanzarchitektur) das größte FTO-Risiko — nicht auf Komponentenebene (Gehäuse, Sättel), die in der Regel nicht patentiert werden.

Die Schutzrechtslage von Muster Bremstechnik GmbH selbst: Unter den dokumentierten Suchparametern (EPO OPS, DPMA) wurden keine eigenen Schutzrechte gefunden. Dies ist eine Datenlücke — nicht abschließend geprüft; es ist nicht auszuschließen, dass Schutzrechte unter anderen Anmelderbezeichnungen oder als Gebrauchsmuster existieren.

Die IPC-Klassen H04W (drahtlose Kommunikation, 39 % Feldanteil, Wettbewerber 1 %) und H01M (Energiespeicher/Batterien, 51 % Feldanteil, Wettbewerber 2 %) zeigen große Lücken — aber die skeptische Gegenfrage lautet: Diese Felder sind für einen mechanischen Bremszulieferer technologisch nicht adressierbar und liegen außerhalb der Kernkompetenz. Die Lücke ist wahrscheinlich leer, weil sie für Bremssystem-Spezialisten irrelevant ist.

Empfehlung: Vor jeder Entscheidung über den Einstieg in BbW-Aktuatorik ein schriftliches FTO-Memo durch einen Patentanwalt beauftragen, das mindestens B60T-Kernpatente von Bosch, ZF und Continental adressiert. Kostengröße: 8.000–15.000 € für eine fokussierte FTO-Recherche auf 3–5 Kernpatente (Marktpreis-Schätzung, Evidenzgrad E); Dauer ca. 4–6 Wochen. Ohne dieses Memo ist keine Investitionsentscheidung in Aktuatorik-Entwicklung vertretbar.

Technologie-Trends im Detail: Wertschöpfungsverschiebung und Komponentenarchitektur

Der dominante Technologiewechsel im Bremsfeld ist die Entkopplung von Pedalkraft und Bremsdruck: Brake-by-Wire ersetzt vollständig die mechanische Verbindung zwischen Bremspedal und Bremssystem durch elektrische Signalleitungen (Bosch-Pressportal, [bosch-presse.de](https://www.bosch-presse.de); Springer Professional, [springerprofessional.de](https://www.springerprofessional.de)). Diese Entkopplung verschiebt die Wertschöpfung von der Hydraulik-Mechanik zur Elektronik, Software und Sensorik — mit direkten Konsequenzen für die Komponentenstruktur.

In einem konventionellen Scheibenbremssystem entfallen (Schätzung auf Basis Branchenstruktur, Evidenzgrad E) ca. 60–70 % der Wertschöpfung auf mechanische Komponenten (Sattel, Scheibe, Belag, Leitungen) und 30–40 % auf Hydraulik und Steuerung. In einem vollständigen EMB-System (ZF dry BbW, laut [ZF.com](https://www.zf.com) und [profi-werkstatt.net](https://www.profi-werkstatt.net)) entfällt die Hydraulik vollständig; der Wert verlagert sich auf den elektromechanischen Aktuator, die Steuerelektronik und die Redundanzarchitektur. Die mechanischen Präzisionsbauteile (Gehäuse, Träger, Führungen) bleiben notwendig, verlieren aber relativen Wertanteil.

Für hBbW-Systeme (erste Generation, TRL 8–9) bleibt die Hydraulik erhalten; der Mehrwert liegt im Pedalemulator und der elektronischen Druckregelung. Hier sind mechanische Zulieferer weiterhin relevant — die Gehäuse für Druckmodulator und Pedalemulator sind Präzisionsbauteile in Aluminium, die CNC-Bearbeitung erfordern.

Ein weiterer Trend ist die Integration von Rekuperation: Brake-by-Wire ermöglicht die koordinierte Steuerung von Reibungsbremse und Rekuperationsbremse (Bosch-YouTube, regeneratives Bremsen, Mai 2022, 8.638 Aufrufe). Dies erhöht die Systemkomplexität und erfordert schnelle Aktuatoren mit präziser Kraftregelung — eine Anforderung, die mechanische Toleranzen verschärft.

Der globale Markt für Automobil-Bremskomponenten umfasst 2025 ein Volumen von 130,5 Mio. Sätzen (GM Insights) und wächst auf 133,9 Mio. Sätze 2026 — ein moderates Mengenwachstum von ca. 2,6 %, das die Verschiebung hin zu höherwertigen Systemen nicht abbildet. Der Pkw-Brake-by-Wire-Markt wächst mit einer CAGR von 11,44 % (2025–2032, Wise Guy Reports) deutlich schneller als der Gesamtmarkt — ein Indiz für Premiumisierung, nicht für Mengenwachstum.

Für Muster Bremstechnik GmbH ist die entscheidende Frage nicht, ob BbW wächst, sondern welcher Anteil der Wertschöpfung weiterhin in mechanischen Komponenten liegt, die mit vorhandener CNC-Kompetenz gefertigt werden können. Empfehlung: Eine Komponentenzerlegung (Teardown-Analyse) eines verfügbaren hBbW-Systems beauftragen oder mit einem Tier-1-Partner durchführen, um den mechanischen Wertanteil je Einheit zu quantifizieren — Aufwand ca. 3–5 Personentage intern plus ggf. Bauteilbeschaffungskosten.

Globale Wettbewerbslandschaft triregional: Europa, Asien, Nordamerika

Die Wettbewerbslandschaft für Brake-by-Wire ist triregional strukturiert, mit unterschiedlichen Reifegraden und Marktlogiken je Region.

Europa: Die drei dominanten Akteure sind Robert Bosch GmbH (Umsatz 91.000 Mio. €, 413.000 Mitarbeitende, Wikidata Q234021), Continental AG (Umsatz 2024: 39.719 Mio. €, Handelsregister Hannover HRB 3527) und ZF Friedrichshafen. Bosch ist mit 4.496 deutschen Patentanmeldungen 2024 (DPMA) der aktivste Anmelder im deutschsprachigen Raum. ZF hat mit dem Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge (press.zf.com) die stärkste belegte Serienposition im EMB-Segment. Brembo (Handelsregister Stuttgart HRB 721960, 12 Mitarbeitende in der deutschen GmbH) ist als globale Marke mit der Sensify-Plattform im hBbW-Segment aktiv (Automobil-Industrie, Vogel Verlag). Laut Markets and Markets (marketsandmarkets.com) dominieren ZF Friedrichshafen AG und Continental AG den Markt für elektronische Parkbremssysteme — ein verwandtes Segment.

Asien — China: Die BWI Group wird laut autonews.gasgoo.com (2026, Evidenzgrad D) als erstes chinesisches Unternehmen mit BbW-Produkten in Europa und den USA genannt; ein Auftragswert von 21 Mrd. CNY wird genannt, ist aber nicht durch eine Primärquelle des Unternehmens belegt (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Für weitere chinesische, japanische und koreanische Akteure liegen in der verifizierten Faktenbasis keine produktspezifischen KPIs vor (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Personenkraftwagen machten 2025 ca. 74 % der globalen BbW-Marktgröße aus (Global Market Statistics), und mehr als 66 % der weltweit verkauften BbW-Systeme entfallen auf Elektrofahrzeuge — ein Segment mit hoher asiatischer OEM-Präsenz.

Nordamerika: General Motors hat laut The Brake Report (thebrakereport.com) eine Patentanmeldung für ein elektronisches Bremssystem (EBS/BBW) eingereicht — ein Indiz für eigene Entwicklungsaktivität (Evidenzgrad D). Tesla setzt laut Repairer Driven News (Mai 2026) im Cybertruck Steer-by-Wire ohne Lenksäule ein, was technologische Offenheit für By-Wire-Architekturen signalisiert. Konkrete BbW-Serienprodukte nordamerikanischer Tier-1-Lieferanten sind in der Faktenbasis nicht mit verifizierten KPIs belegt (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Für Muster Bremstechnik GmbH ist die triregionale Analyse relevant als Warnsignal: Der Wettbewerb um mechanische Zulieferaufträge für BbW-Komponenten wird nicht nur von europäischen Tier-2-Lieferanten, sondern zunehmend von asiatischen Anbietern mit Kostenvorteilen bestritten. Empfehlung: Die bestehenden Kundenbeziehungen zu Nutzfahrzeug-OEMs nutzen, um zu eruieren, welche Tier-1-Lieferanten für BbW-Komponenten im Nutzfahrzeugsegment qualifiziert werden — dieser Markt ist in der Faktenbasis nicht explizit abgedeckt (Datenlücke), aber das Nutzfahrzeugsegment ist der heutige Kernmarkt von Muster Bremstechnik GmbH.

Make-or-Buy: Aktuatorik selbst entwickeln oder Zulieferer bleiben?

Die vom Auftraggeber gestellte Kernfrage — Einstieg in die Aktuatorik für Brake-by-Wire oder Verbleib als Mechanik-Zulieferer — ist eine klassische Make-or-Buy-Entscheidung mit asymmetrischem Risikoprofil.

Make (Aktuatorik-Einstieg): Ein BbW-Aktuator umfasst neben mechanischen Präzisionsbauteilen (Gehäuse, Spindel, Führungen — Kompetenz vorhanden) zwingend Elektromotor, Leistungselektronik, Sensorik und Echtzeit-Software mit funktionaler Sicherheit nach ISO 26262. Genau diese Komponenten sind der dokumentierte Engpass: Muster Bremstechnik GmbH hat 2021 eine eigene Sensorik-Entwicklung eingestellt, weil Elektronik-Personal nicht zu bekommen war. An dieser Ausgangslage hat sich nach Kenntnis der Faktenbasis nichts geändert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft, ob sich der Arbeitsmarkt für Embedded-Entwickler in Baden-Württemberg verändert hat). Der Aufbau einer ISO-26262-konformen Elektronik-/Software-Einheit erfordert erfahrungsgemäß 4–8 Entwickler mit ASIL-C/D-Erfahrung, eine Anlaufzeit von 24–36 Monaten und externe Zertifizierungskosten (Schätzung, Evidenzgrad E; konkrete Kostensätze sind unternehmensspezifisch und werden hier nicht pauschaliert). Die Rahmenbedingung „keine Neuverschuldung“ und die konservative Risikoneigung sprechen gegen diesen Weg, solange keine gesicherte Finanzierung und kein Letter of Intent eines Abnehmers vorliegen.

Buy/Partner (Mechanik-Zulieferer mit erweitertem Scope): Muster Bremstechnik GmbH kann die vorhandene CNC-Zerspanung, Montage und Prüftechnik direkt für mechanische BbW-Komponenten einsetzen — ohne Elektronik-Aufbau. Die Zertifizierungen ISO 9001 und IATF 16949 sind Grundvoraussetzung für Tier-2-Lieferantenqualifikation bei Bosch, ZF und Brembo und bereits vorhanden. Dieser Weg ergänzt das heutige Geschäft (65 % Nutzfahrzeug-Serienteile), kannibalisiert es nicht und erfordert keine Neuverschuldung.

Die Entscheidungsmatrix: Aktuatorik-Einstieg setzt voraus, dass (a) Elektronik-Personal gewinnbar ist, (b) ein Abnehmer einen Entwicklungsauftrag vergibt und (c) die Finanzierung ohne Neuverschuldung darstellbar ist. Alle drei Punkte sind heute offen. Gemäß Berichtsregel R1 darf die Hauptempfehlung daher keine Freigabe für Aktuatorik-Entwicklung sein, sondern ein befristetes Validierungsprogramm: Bis Ende Q3 2026 klären, ob ein Tier-1-Lieferant einen Entwicklungspartner für mechanische BbW-Bauteile sucht (Kill-Kriterium: kein Letter of Intent nach drei Kundengesprächen → Aktuatorik-Einstieg verworfen). Empfehlung: Entscheidung als zweistufiges Tor formulieren — Tor 1 (Mechanik-Zulieferer, sofort umsetzbar), Tor 2 (Aktuatorik-Einstieg, nur nach positivem Validierungsergebnis und gesicherter Elektronik-Personalgewinnung).

Regulatorisches Umfeld: Zulassung, Normen und funktionale Sicherheit

Brake-by-Wire-Systeme unterliegen einem mehrstufigen Regulierungsrahmen, der sich aus der bestimmungsgemäßen Verwendung (sicherheitskritische Bremsanlage in Straßenfahrzeugen) ableitet. Die vollständige Regulierungskette wird hier hergeleitet, nicht vorausgesetzt (vgl. Berichtsregel R2).

Bestimmungsgemäße Verwendung: BbW-Systeme übernehmen die primäre Bremsfunktion in Straßenfahrzeugen — eine sicherheitskritische Funktion mit direktem Einfluss auf Leib und Leben. Daraus folgt zwingend die Einordnung als sicherheitsrelevantes Kfz-Bauteil.

Einschlägiger Rechtsrahmen: Auf EU-Ebene gilt die UN-ECE-Regelung Nr. 13 (schwere Nutzfahrzeuge) bzw. Nr. 13-H (Pkw) für Bremsanlagen; Brake-by-Wire-Systeme müssen Redundanzanforderungen erfüllen, die in diesen Regelungen verankert sind. Die funktionale Sicherheit auf Systemebene wird durch ISO 26262 (Straßenfahrzeuge, Automotive Safety Integrity Level ASIL) geregelt. Für Nutzfahrzeuge ist zusätzlich die UN-ECE-Regelung Nr. 90 (Ersatzbremsbeläge) relevant, jedoch nicht für Systemlieferanten. Spezifische EU-Verordnungen für vollautomatisierte Fahrzeuge (EU-Verordnung 2019/2144, Typ-Genehmigung) verschärfen die Redundanzanforderungen für BbW-Systeme ab 2024/2026 schrittweise.

Für Muster Bremstechnik GmbH als potenzieller Tier-2-Lieferant mechanischer Komponenten: Die Konformitätspflicht liegt beim Systemlieferanten (Tier 1), nicht beim Komponentenlieferanten. IATF 16949 (bereits zertifiziert) ist die Grundvoraussetzung für die Lieferantenqualifikation. Ob eine Änderung des Produktportfolios (z. B. neue Gehäusebauteile für BbW) eine neue Konformitätsbewertung beim Auftraggeber auslöst, ist ohne Einsicht in die bestehenden Unterlagen nicht entscheidbar — ein schriftliches Klassifizierungsmemo durch den Tier-1-Kunden ist zu empfehlen.

Für den Fall eines Aktuatorik-Einstiegs (Stufe 4 nach Berichtsregel R4): Die Entwicklung eines ASIL-C/D-konformen Aktuators erfordert eine vollständige ISO-26262-Entwicklungsdokumentation, externe Functional-Safety-Audits und ggf. eine Typgenehmigungsbeteiligung. Diese Anforderungen sind mit der heutigen Entwicklungskapazität von Muster Bremstechnik GmbH nicht erfüllbar (Engpass Elektronik/Software, dokumentiert). Empfehlung: Regulatorische Anforderungen für den Tier-2-Zuliefererweg (mechanische Komponenten) durch ein einseitiges Memo des Tier-1-Kunden klären lassen — Aufwand: ein Kundengespräch. Für den Aktuatorik-Weg: Regulatorische Anforderungen als eigenständiges Tor in die Entscheidungsmatrix aufnehmen, bevor Entwicklungsbudget freigegeben wird.

Markt- und Zeitfenster: Wann öffnet sich das Fenster für Tier-2-Zulieferer?

Das Zeitfenster für den Einstieg in die Zulieferung mechanischer BbW-Komponenten ist nicht unbegrenzt offen. Die Marktdynamik lässt sich aus den belegten Daten ableiten, auch wenn ein präzises Datum nicht herleitbar ist.

Treiber 1 — Serienanlauf hBbW: Bosch und Brembo haben hBbW-Systeme in der Serienproduktion oder kurz davor (vgl. Deep-Dive Produkte). Tier-1-Lieferanten qualifizieren Tier-2-Zulieferer typischerweise 18–36 Monate vor Serienanlauf (Schätzung, Evidenzgrad E, Branchenpraxis). Wenn der Serienanlauf 2025/2026 erfolgt, ist das Qualifizierungsfenster für neue Tier-2-Lieferanten bereits eng oder geschlossen — es sei denn, Kapazitätserweiterungen oder Dual-Sourcing-Anforderungen öffnen es erneut.

Treiber 2 — Nutzfahrzeugsegment: Der heutige Kernmarkt von Muster Bremstechnik GmbH (65 % Nutzfahrzeug-Serienteile) ist im BbW-Kontext weniger weit entwickelt als der Pkw-Markt. Personenkraftwagen machten 2025 ca. 74 % der globalen BbW-Marktgröße aus (Global Market Statistics) — das Nutzfahrzeugsegment (ca. 26 %, Schätzung als Restgröße) ist technologisch im Rückstand, aber regulatorisch getrieben (UN-ECE R13, autonomes Fahren im Nutzfahrzeugbereich). Hier könnte das Qualifizierungsfenster noch 3–5 Jahre offen sein (Schätzung, Evidenzgrad E).

Treiber 3 — CAGR und Mengenwachstum: Der Pkw-BbW-Markt wächst mit 11,44 % CAGR (2025–2032, Wise Guy Reports). Das globale Bremskomponentenvolumen wächst von 130,5 Mio. Sätzen (2025) auf 133,9 Mio. Sätze (2026, GM Insights) — ein moderates Mengenwachstum, das die Verschiebung hin zu BbW-Systemen nicht vollständig abbildet.

Skeptische Gegenfrage: Warum sollte ein Tier-1-Lieferant wie Bosch oder ZF mechanische BbW-Komponenten extern vergeben, wenn er sie intern fertigen kann? Bosch hat 413.000 Mitarbeitende und eine vollintegrierte Fertigungsstruktur. Die Antwort liegt in der Auslastungslogik: Bei Hochlauf neuer Plattformen vergeben Tier-1-Lieferanten Kapazitätsspitzen an qualifizierte Tier-2-Zulieferer — insbesondere wenn IATF 16949 und CNC-Präzision vorhanden sind. Dies ist eine Chance, aber keine Garantie.

Empfehlung: Das Zeitfenster für das Nutzfahrzeugsegment als primären Einstiegspunkt priorisieren — hier ist die Konkurrenz durch asiatische Niedrigpreisanbieter geringer, die Kundenbeziehungen sind vorhanden, und der Technologiereifegrad erlaubt einen geordneten Einstieg. Konkrete Maßnahme: Bis Ende Q3 2026 bei zwei bis drei Nutzfahrzeug-Tier-1-Lieferanten anfragen, ob BbW-Komponenten für Nutzfahrzeuge extern qualifiziert werden.

Lieferketten & Rohstoffe: Abhängigkeiten und Resilienz

Die Lieferkette für Brake-by-Wire-Systeme ist komplexer als für konventionelle Bremssysteme, weil sie mechanische, elektronische und softwarebasierte Komponenten integriert. Für Muster Bremstechnik GmbH sind die mechanischen Lieferketten-Aspekte direkt relevant.

Rohstoffe mechanische Komponenten: Grauguss, Aluminium und Edelstahl sind die heute eingesetzten Werkstoffe (Auftraggeber-Profil). Für BbW-Gehäuse und Aktuatorgehäuse ist Aluminium der dominante Werkstoff (Leichtbau, Wärmeableitung) — eine Kompetenz, die vorhanden ist. Grauguss bleibt für Bremssättel im Nutzfahrzeugsegment relevant. Rohstoffpreisschwankungen für Aluminium sind in der Faktenbasis nicht mit konkreten Zahlen belegt (Datenlücke — nicht abschließend geprüft); die Abhängigkeit von Aluminiumpreisschwankungen ist jedoch ein bekanntes Risiko in der Automobilzulieferung.

Elektronische Komponenten: Für den Fall eines Aktuatorik-Einstiegs kämen Elektromotoren, Leistungshalbleiter (MOSFET, IGBT), Resolver/Encoder und Mikrocontroller hinzu. Diese Komponenten unterliegen den bekannten Halbleiter-Lieferkettenrisiken (dokumentiert durch die Halbleiterkrise 2021–2023, in der Faktenbasis nicht mit aktuellen Zahlen belegt — Datenlücke). Muster Bremstechnik GmbH hat keine Einkaufskompetenz für elektronische Komponenten — eine Lücke, die beim Aktuatorik-Einstieg aufgebaut werden müsste (Aufwand: 1–2 Einkäufer mit Elektronik-Erfahrung, Anlaufzeit ca. 6–12 Monate, Schätzung Evidenzgrad E).

Zuliefererstruktur mechanische Komponenten: Die vorhandene Wärmebehandlungs-Kompetenz (Auftraggeber-Profil) ist für BbW-Komponenten relevant, da Gehäusebauteile aus Aluminium häufig wärmebehandelt werden (T6-Härtung). Dies ist ein Differenzierungsmerkmal gegenüber reinen Zerspanungsbetrieben.

Resilienz-Aspekt: ZF hat nach eigenen Angaben weltweit bereits über 3 Mrd. Bremskomponenten produziert (ZF.com) — ein Indiz für eine hochskalierte, globale Lieferkette. Ein KMU wie Muster Bremstechnik GmbH kann in dieser Lieferkette als regionaler Dual-Source-Lieferant positioniert werden, was Tier-1-Lieferanten Resilienz gegenüber Lieferkettenunterbrechungen bietet. Dieses Argument ist in Kundengesprächen explizit zu adressieren.

Empfehlung: Die Wärmebehandlungs-Kompetenz als Differenzierungsmerkmal in der Lieferantenanfrage explizit herausstellen. Rohstoffpreisschwankungen für Aluminium durch Rahmenverträge mit Lieferanten absichern, bevor neue BbW-Aufträge angenommen werden — dies ist eine Standardmaßnahme ohne Kapitalbindung.

Standardisierung & Normung: Welche Normen prägen das Feld?

Die Normungslandschaft für Brake-by-Wire ist im Aufbau und noch nicht konsolidiert — ein Risiko für frühe Investoren, aber auch eine Chance für Unternehmen, die Normungsprozesse aktiv mitgestalten.

Bestehende Normen mit direkter Relevanz: ISO 26262 (funktionale Sicherheit für Straßenfahrzeuge) ist die zentrale Norm für BbW-Systeme auf Systemebene. Sie definiert ASIL-Anforderungen (A bis D) und gilt für alle sicherheitsrelevanten elektrischen/elektronischen Systeme. Für mechanische Komponenten als Tier-2-Lieferant ist ISO 26262 indirekt relevant — der Tier-1-Lieferant muss die Norm erfüllen und gibt Anforderungen an Tier-2 weiter (z. B. Prozesssicherheit, Rückverfolgbarkeit). IATF 16949 (bereits zertifiziert bei Muster Bremstechnik GmbH) ist die Grundvoraussetzung für die Lieferantenqualifikation und deckt Prozessanforderungen ab.

Fahrzeugspezifische Normen: UN-ECE-Regelung Nr. 13 (Nutzfahrzeuge) und Nr. 13-H (Pkw) regeln Bremsanlagen-Typgenehmigungen. Die Crossref-Faktenbasis enthält eine Publikation zu „Road vehicles. Braking threshold pressures for heavy commercial vehicle combinations with fully pneumatic braking systems“ — ein Hinweis auf die Normungsaktivität im Nutzfahrzeugsegment, ohne konkrete Normennummer in der Faktenbasis.

Offene Normungsfragen: Für vollständig elektromechanische Bremssysteme (EMB, dry BbW) fehlen noch spezifische Prüfnormen auf internationaler Ebene (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Dies ist ein Grund, warum der Serienanlauf von EMB-Systemen langsamer voranschreitet als technisch möglich — Typgenehmigungsbehörden benötigen Prüfgrundlagen.

Für Muster Bremstechnik GmbH als Prüfstands-Anbieter (10 % Umsatz): Die Normungslücke bei EMB-Prüfverfahren ist eine potenzielle Chance — Prüfstände für BbW-Aktuatoren sind ein Nischenmarkt, der mit vorhandener Prüftechnik-Kompetenz adressierbar wäre. Dies ist eine Stufe-3-Produktänderung (neue Konfiguration bestehender Prüfstands-Plattform), nicht eine Neuentwicklung. Skeptische Gegenfrage: Warum ist dieser Markt noch nicht besetzt? Weil die Stückzahlen für BbW-Prüfstände heute noch sehr klein sind und die Normungsgrundlage fehlt — das Fenster öffnet sich erst mit der Normkonsolidierung.

Empfehlung: Die Prüfstands-Kompetenz als strategischen Hebel für den BbW-Einstieg prüfen — ein Prüfstand für BbW-Aktuatoren wäre ein konkretes Produkt, das ohne Elektronik-Eigenentwicklung realisierbar ist (Elektronik wird zugekauft, Mechanik und Prüflogik sind Eigenleistung). Aufwand: Marktabfrage bei zwei bis drei potenziellen Abnehmern (Tier-1-Entwicklungsabteilungen), Dauer ca. 4 Wochen, Kosten unter 3 Personentage.

Differenzierungs-Strategie: Wie kann Muster Bremstechnik GmbH im BbW-Umfeld bestehen?

Eine Differenzierungsstrategie für ein KMU mit 140 Mitarbeitenden im Wettbewerb mit Bosch (413.000 Mitarbeitende, 91.000 Mio. € Umsatz) und ZF kann nicht auf Systembreite oder Entwicklungstiefe setzen — sie muss auf Nischentiefe, Reaktionsgeschwindigkeit und Kundennähe im Nutzfahrzeugsegment aufbauen.

Differenzierungshebel 1 — Nutzfahrzeug-Spezialisierung: Der heutige Kernmarkt (65 % Nutzfahrzeug-Serienteile, 25 % Landmaschinen) ist im BbW-Kontext unterversorgt. Personenkraftwagen dominieren mit 74 % den globalen BbW-Markt (Global Market Statistics, 2025) — das Nutzfahrzeugsegment ist für die großen Tier-1-Lieferanten weniger attraktiv, weil die Stückzahlen kleiner und die Anforderungen spezifischer sind. Für ein KMU ist genau das eine Chance: Spezialisierung auf Nutzfahrzeug-BbW-Komponenten, wo Bosch und ZF weniger Fokus haben.

Differenzierungshebel 2 — Prüftechnik-Kompetenz: Die vorhandene Prüfstands-Kompetenz (10 % Umsatz) ist im BbW-Umfeld ein seltenes Asset. Tier-1-Entwicklungsabteilungen benötigen Prüfstände für BbW-Aktuatoren — ein Markt, der mit vorhandener Mechanik- und Prüflogik-Kompetenz adressierbar ist, ohne Elektronik-Eigenentwicklung (Elektronik wird zugekauft). Dies ist eine Stufe-2-Maßnahme (Konfiguration des Bestehenden) und erfordert keine Neuverschuldung.

Differenzierungshebel 3 — Dual-Source-Resilienz: ZF hat über 3 Mrd. Bremskomponenten produziert (ZF.com) und ist hochskaliert — aber auch abhängig von globalen Lieferketten. Ein regionaler Tier-2-Lieferant in Baden-Württemberg mit IATF 16949 und kurzen Lieferwegen ist für Tier-1-Lieferanten ein Resilienz-Asset, das in Kundengesprächen explizit adressiert werden sollte.

Kill-Kriterium für die Differenzierungsstrategie: Die Strategie steht auf der Annahme, dass Tier-1-Lieferanten mechanische BbW-Komponenten für Nutzfahrzeuge extern vergeben. Woran erkennt man, dass diese Annahme falsch ist? Wenn drei Kundengespräche mit Tier-1-Entwicklungsabteilungen ergeben, dass alle mechanischen Komponenten intern gefertigt oder bereits an asiatische Lieferanten vergeben werden. Der billigste Test: drei Gespräche mit Einkaufs- oder Entwicklungsverantwortlichen bei Bosch Bremssysteme, ZF und Continental, Dauer ca. 2–3 Wochen, Kosten unter 2 Personentage. Dieses Kill-Kriterium muss vor der Beiratsentscheidung Ende Q3 2026 erfüllt sein — eine Entscheidung ohne diesen Test ist eine Meinung, keine Entscheidungsvorlage (vgl. Berichtsregel R1).

Wer das Feld besetzt

Robert Bosch GmbH

BEDROHUNG HOCH

Bosch ist der technologisch dominante Akteur im Brake-by-Wire-Segment und verfolgt eine vollständige Systemintegrationsstrategie: Das Unternehmen entwickelt, testet und vermarktet hydraulische Brake-by-Wire-Systeme als Gesamtlösung für Elektro- und Hybridfahrzeuge. Laut dem Bosch-Webauftritt (bosch.com/de/stories/brake-by-wire-schweden) wurde das System unter Extrembedingungen bis -25°C im Wintertestzentrum Arjeplog, Schweden erprobt; ein YouTube-Video vom Mai 2025 (2.528 Aufrufe) dokumentiert diese Tests öffentlich. Bosch Motorsport setzt Brake-by-Wire bereits in LMDh-Prototypen ein und fungiert dort als Entwickler und Systemintegrator des Hybridsystems (Bosch-YouTube, Januar 2023, 5.265 Aufrufe). Mit 4.496 Patentanmeldungen allein in Deutschland im Jahr 2024 — ein Anstieg von 4,8 % gegenüber 2023, laut DPMA-Pressemitteilung 2025 — und einer Eigenaussage von täglich rund zwanzig Patentanmeldungen (YouTube-Dokumentation, Juni 2026) besetzt Bosch das Schutzrechtsfeld mit einer Intensität, die für ein KMU wie Muster Bremstechnik GmbH strukturell nicht replizierbar ist. Für Muster Bremstechnik GmbH bedeutet das: Bosch ist gleichzeitig potenzieller Systemlieferant, Technologiegeber und direkter Verdrängungswettbewerber im Aktuatorik-Segment.

Kennzahlen: Umsatz aktuell: 91.000,0 Mio. € (Wikidata Q234021); Umsatz 2017: 28.054,0 Mio. € (Handelsregister Stuttgart HRB 14000); Mitarbeitende: 413.000 (Wikidata Q234021, Stand 31.12.2025); Stammkapital: 1.192.000.000 € (Handelsregister Stuttgart HRB 14000).

Patentlage: 4.496 Patentanmeldungen in Deutschland im Jahr 2024 (DPMA-Pressemitteilung 2025); im Patentregister (EPO OPS) sind für den Berichtszeitraum u. a. die Veröffentlichungen WO2026158921A1 (Methode zur Blickrichtungserkennung bei Smart Glasses), WO2026159499A1 (Steuergerät/Fahrzeug/Steuerverfahren) und US20260216854A1 (Abbruchhammer) dokumentiert — diese belegen breite Anmeldeaktivität über Fahrzeugelektronik hinaus, spiegeln aber nicht zwingend den Brake-by-Wire-Kern wider. Der Patent-Lücken-Indikator (vgl. Abbildung 5) zeigt, dass Bosch in der IPC-Klasse B60T (Fahrzeugbremsen) mit einem Feldanteil von 4 % und einem Wettbewerber-Anteil von nur 1 % unterrepräsentiert ist — was angesichts der Gesamtanmeldezahl eher auf Portfoliobreite als auf eine strategische Lücke hindeutet. Trend: steigend, breit diversifiziert.

ZF Friedrichshafen AG

BEDROHUNG HOCH

ZF positioniert sich als Pionier im Brake-by-Wire-Segment mit einem explizit hydraulikfreien Ansatz: Das im November 2023 erstmals vorgestellte EMB-System (Electro-Mechanical Brake) kommt ohne Bremsflüssigkeit aus und basiert vollständig auf Elektromotoren (laut profi-werkstatt.net und [ZF.com](https://zf.com)). Auf der CES 2025 gewann ZF einen bedeutenden Großauftrag für Brake-by-Wire-Bremssysteme für fast fünf Millionen Fahrzeuge eines weltweit führenden Fahrzeugherstellers (ZF-Pressemitteilung, press.zf.com) — ein Volumen, das ZFs Serienfertigungskompetenz und OEM-Zugang belegt. Nach eigenen Angaben hat ZF weltweit bereits über drei Milliarden Bremskomponenten produziert (ZF.com). Für Muster Bremstechnik GmbH ist ZF der unmittelbarste Bedrohungsakteur im Nutzfahrzeug-Aktuatorik-Segment: ZF verfügt über Systemkompetenz, OEM-Direktzugang und Skalierungsvorteile, die ein Markteintritt eines KMU in denselben Produktkategorien strukturell erschweren.

Kennzahlen: Finanzdaten für ZF Friedrichshafen AG sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Patentlage: Patentportfolio-Details für ZF Friedrichshafen AG sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Der Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge (ZF-Pressemitteilung, press.zf.com) sowie die öffentliche Produktvorstellung des EMB-Systems (November 2023) deuten auf eine intensive Anmeldeaktivität im Bereich elektromechanischer Bremsaktuatorik hin — dies ist jedoch eine Ableitung (Schätzung), keine belegte Portfoliozahl.

Continental AG

BEDROHUNG MITTEL

Continental ist laut MarketsandMarkets (marketsandmarkets.com) einer der dominierenden Akteure im Markt für elektronische Parkbremssysteme und damit im breiteren Brake-by-Wire-Ökosystem präsent. Das Unternehmen verfolgt eine Systemintegrationsstrategie über Fahrdynamik, Bremse und Elektronik hinweg. Detaillierte Produktankündigungen speziell für Brake-by-Wire-Aktuatorik im Nutzfahrzeugsegment sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht dokumentiert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Für Muster Bremstechnik GmbH ist Continental als Tier-1-Systemlieferant relevant, da Continental potenziell dieselben OEM-Kunden im Nutzfahrzeugbereich adressiert und über eine deutlich breitere Elektronik- und Softwarekompetenz verfügt.

Kennzahlen: Umsatz 2024: 39.719,0 Mio. € (Handelsregister Hannover HRB 3527); Jahresüberschuss 2024: 1.168,0 Mio. €; Eigenkapital 2024: 14.351,0 Mio. €; Bilanzsumme 2024: 36.966,0 Mio. € (Handelsregister Hannover HRB 3527).

Patentlage: Patentportfolio-Details für Continental AG sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Die Nennung als Marktführer im elektronischen Parkbremssegment (MarketsandMarkets) legt eine substantielle Schutzrechtsposition nahe — dies ist jedoch eine Ableitung (Schätzung), keine belegte Portfoliozahl.

Brembo S.p.A. (vertreten in DE durch Brembo GmbH, HRB 721960 Stuttgart)

BEDROHUNG NIEDRIG

Brembo ist ein italienischer Bremspezialist, der laut automobil-industrie.vogel.de seine elektronisch gesteuerte Bremsplattform „Sensify“ in die Serienproduktion gebracht hat. Laut repairerdrivenews.com (Mai 2026) hat Brembo den Produktionsstart für ein Brake-by-Wire-System mit einem globalen Fahrzeughersteller bekannt gegeben; das Unternehmen arbeitet nach dieser Quelle mit Herstellern wie Tesla, BMW, Audi, General Motors und Mercedes-Benz zusammen. Die deutsche Gesellschaft (Brembo GmbH, HRB 721960 Stuttgart) ist mit 12 Mitarbeitenden und einem Eigenkapital von 2,7 Mio. € eine kleine Vertriebs Einheit; die operative und technologische Substanz liegt bei der italienischen Muttergesellschaft, deren Finanzdaten in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert sind (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Für Muster Bremstechnik GmbH ist Brembo im Pkw-Premium-Segment ein Referenzakteur, im Nutzfahrzeugsegment jedoch weniger direkt relevant — die Überschneidung ist gering, solange Muster Bremstechnik GmbH im Nutzfahrzeug- und Landmaschinenmarkt bleibt.

Kennzahlen: Brembo GmbH (DE-Einheit): Jahresüberschuss 2024: 2,2 Mio. €; Eigenkapital 2024: 2,7 Mio. €; Bilanzsumme 2024: 3,4 Mio. €; Mitarbeitende: 12; Stammkapital: 25.000 € (Handelsregister Stuttgart HRB 721960). Finanzdaten der italienischen Muttergesellschaft Brembo S.p.A.: in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Patentlage: Patentportfolio-Details für Brembo sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Der Serienstart der Sensify-Plattform (automobil-industrie.vogel.de) deutet auf eine aktive Schutzrechtsstrategie im Bereich elektronisch gesteuerter Bremssysteme hin — dies ist jedoch eine Ableitung (Schätzung), keine belegte Portfoliozahl.

BWI Group

BEDROHUNG MITTEL

Die BWI Group wird in der vorliegenden Faktenbasis (autonews.gasgoo.com, 2026; thebrakereport.com) als erstes chinesisches Unternehmen genannt, das Brake-by-Wire-Produkte in Europa und den USA in die Serienproduktion gebracht hat, und soll dabei einen Auftrag im Wert von 21 Mrd. CNY gesichert haben. Diese Angaben stammen ausschließlich aus Fachpresse-Quellen (Evidenzgrad D); eine Primärquelle (Pressemitteilung, Investor-Relations-Dokument) ist in der vorliegenden Faktenbasis nicht vorhanden (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Für Muster Bremstechnik GmbH ist BWI Group ein strategisch relevantes Signal: Chinesische Tier-1-Zulieferer dringen mit wettbewerbsfähigen Preisen in europäische OEM-Lieferketten vor, was den Margendruck auf mechanische Bremskomponenten mittelfristig erhöhen dürfte. Finanzdaten, Patentportfolio und genaue Produktspezifikationen der BWI Group sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Kennzahlen: Finanzdaten der BWI Group sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

Patentlage: Patentportfolio-Details für die BWI Group sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft). Der berichtete Markteintritt in Europa und die USA (Fachpresse, Evidenzgrad D) legt eine aktive Schutzrechtsstrategie nahe — dies ist jedoch eine Ableitung (Schätzung), keine belegte Portfoliozahl.

Entscheidungs-Matrix — mehrdimensional

Dimension	Kriterium	Lage	Signal
Schutzrecht / Freedom-to-Operate	Keine blockierenden Drittpatente im Zielfeld; eigene Schutzrechte oder FTO-Gutachten vorhanden	Bosch meldete 2024 allein in Deutschland 4.496 Patente an (DPMA-Pressemitteilung 2025); im IPC-Feld B60T (Fahrzeugsbremsen) besteht laut Patent-Lücken-Indikator eine Patendichte-Lücke (Feldanteil 4 %, Wettbewerber-Abdeckung 1 % der analysierten Treffer) — dieser Score belegt jedoch weder Patentierbarkeit noch Freedom-to-Operate. Schutzrechte von Muster Bremstechnik GmbH wurden unter den dokumentierten Suchparametern nicht gefunden (Datenlücke, kein Nachweis von Schutzrechtsfreiheit). FTO-Gutachten für Aktuatorik-Eigenentwicklung liegt nicht vor.	PRÜFEN
Marktdynamik	Adressierbares Segment wächst nachweislich; CAGR > 8 % über Planungshorizont	Der globale Markt für Pkw-Brake-by-Wire-Systeme wächst laut Wise Guy Reports mit einer CAGR von 11,44 % (2025–2032). Personenkraftwagen machen 2025 rund 74 % des Brake-by-Wire-Markts aus (Global Market Statistics). Das Kernsegment von Muster Bremstechnik GmbH — Nutzfahrzeuge, Landmaschinen, Sonderfahrzeuge — ist in diesen Zahlen nicht separat ausgewiesen (Datenlücke); die Übertragbarkeit der PKW-CAGR auf Nutzfahrzeuge ist eine ungeprüfte Annahme.	WATCH
Kanal-Zugang	Bestehende Kundenbeziehungen zu OEM/Tier-1 im Zielfeld; kein Neuaufbau des Vertriebswegs nötig	Muster Bremstechnik GmbH beliefert heute Nutzfahrzeug- und Landmaschinen-OEM mit Bremssätteln und Scheibenbremsen (65 % bzw. 25 % Umsatzanteil). Ob diese Kunden Brake-by-Wire-Aktuatorik nachfragen oder beschaffen, ist in den vorliegenden Daten nicht belegt (Datenlücke). ZF gewann einen Großauftrag für Brake-by-Wire für fast fünf Millionen Fahrzeuge eines weltweit führenden Herstellers (ZF-Pressemitteilung, CES 2025) — dieser Kanal ist für ein KMU ohne Systemkompetenz nicht direkt zugänglich.	PRÜFEN
Vertrauens-Signal / Referenzen	Mindestens eine belegte Serienreferenz im Brake-by-Wire-Umfeld oder angrenzenden Elektronik-Systemen	Muster Bremstechnik GmbH verfügt über IATF 16949-Zertifizierung und nachgewiesene Serienfertigung für Nutzfahrzeug-Bremssättel. Eine Referenz im Brake-by-Wire- oder Elektronik-Aktuatorik-Umfeld ist nicht dokumentiert. 2021 wurde eine eigene Sensorik-Entwicklung eingestellt (Auftraggeber-Angabe); dieser Abbruch kann bei OEM-Qualifizierungsgesprächen als Risikosignal wahrgenommen werden.	PRÜFEN

Regulatorik	Regulatorischer Pfad für Brake-by-Wire-Aktuatorik in Nutzfahrzeugen/Landmaschinen ist bekannt und begehbar	Brake-by-Wire-Systeme ersetzen vollständig die mechanische Verbindung zwischen Bremspedal und Bremssystem durch elektrische Signalleitungen (Bosch-Pressemitteilung, bosch-presse.de); dies begründet erhöhte funktionale Sicherheitsanforderungen (ISO 26262, SOTIF). Welche Konformitätswege für Nutzfahrzeug- und Landmaschinen-Aktuatorik konkret gelten, ist ohne Einsicht in die bestehenden Unterlagen des Auftraggebers und ohne Klassifizierungsmemo nicht entscheidbar — die Ableitung des Rechtsrahmens aus bestimmungsgemäßer Verwendung und technischer Architektur steht aus (Datenlücke, vgl. Berichtsregel R2).	PRÜFEN
Wettbewerber-Organisation	Primäre Wettbewerber sind im Zielsegment (Nutzfahrzeug-Aktuatorik) nicht vollständig integriert oder haben nachweisliche Versorgungslücken	Bosch (Umsatz 91 Mrd. EUR, 413.000 Mitarbeitende, Wikidata Q234021) und ZF (Großauftrag für fast fünf Millionen Fahrzeuge, ZF-Pressemitteilung CES 2025) sind als vollintegrierte Systemanbieter im Brake-by-Wire-Markt aktiv. Brembo startete 2026 die Serienproduktion des Brake-by-Wire-Systems „Sensify“ mit einem globalen Fahrzeughersteller (Automobil-Industrie/Repairer Driven News, Mai 2026). BWI Group ist als erstes chinesisches Unternehmen mit Brake-by-Wire in Europa und den USA in Serienproduktion (Gasgoo/AutoNews, 2026). Ein nachweislicher White Space im Nutzfahrzeug-Aktuatorik-Segment ist nicht belegt — die Abwesenheit von Daten ist kein Beleg für Marktfreiheit.	NO-GO
Ressourcen / Engpass Elektronik & Software	Ausreichend Elektronik-/Software-Entwicklungskapazität intern oder über gesicherte Partnerschaft verfügbar	Muster Bremstechnik GmbH benennt Engpass: Entwicklungskapazität Elektronik/Software als zentralen Engpass. 2021 wurde eine eigene Sensorik-Entwicklung eingestellt, weil Elektronik-Personal nicht zu bekommen war (Auftraggeber-Angabe). Dieser Engpass hat sich nach vorliegenden Informationen nicht verändert — eine erneute Empfehlung des Eigenaufbaus ohne nachgewiesene Änderung der Ausgangslage würde gegen Berichtsregel R1 verstoßen. Partnerschaftsmodelle (Koentwicklung, Lizenz) sind denkbar, aber nicht belegt verfügbar.	NO-GO

Investition in
Aktuatorik-Eigenentwicklung ohne
Neuverschuldung und ohne
Kannibalisierung der
Zerspanungsauslastung darstellbar

Feste Rahmenbedingungen des
Auftraggebers: keine Neuverschuldung,
vorhandene Zerspanung muss ausgelastet
bleiben, Entscheidung bis Ende Q3 2026.
Eine Aktuatorik-Eigenentwicklung (Stufe 4
gemäß Berichtsregel R4) erfordert
Elektronik-/Software-Personal,
Prüfinfrastruktur und
Zertifizierungsaufwand, deren
Größenordnung ohne Lastenheft nicht
bezahlbar ist — die Bezahlbarkeit beurteilt
der Auftraggeber mit seinen eigenen
Kostensätzen. Der eigenfinanzierte
Mindestweg (Machbarkeitsstudie +
FTO-Gutachten + drei Kundengespräche) ist
von einem Vollentwicklungsprogramm zu
trennen.

- › Von acht geprüften Dimensionen zeigen zwei ein klares Stopp-Signal (Wettbewerber-Organisation: vollintegrierte Systemanbieter ohne belegte Versorgungslücke im Nutzfahrzeugsegment; Ressourcen: Elektronik-/Software-Engpass unverändert seit 2021), drei erfordern vor jeder Investitionsentscheidung zwingend externe Klärung (FTO-Gutachten, Kanal-Validierung, Regulatorik-Klassifizierung) und eine ist marktdynamisch positiv, aber segmentspezifisch nicht belegt. Der einzige echte Stopp-Trigger ist die Kombination aus fehlendem Elektronik-Personal und vollbesetztem Wettbewerbsfeld: ein Go für Aktuatorik-Eigenentwicklung ist unter den heutigen belegten Bedingungen nicht vertretbar — die Entscheidungsvorlage empfiehlt ein befristetes Validierungsprogramm mit definierten Toren, bevor Kapital gebunden wird.

Organigramm — Robert Bosch GmbH — rekonstruiert & strategisch gelesen

divisional-funktional, technologiegetrieben mit starker Zentralfunktion Recht/IP

Dr. Stefan Hartung, Dr. Christian Fischer, Dr. Markus Forschner, Stefan Grosch

Strategische Gesamtverantwortung, Konzernsteuerung · Mehrköpfige Geschäftsführung laut Impressum bosch-ibusiness.com und bosch-ebike-Shop; Kollegialstruktur reduziert Key-Person-Abhängigkeit (Hypothese, nicht belegt)

Zentralabteilung Recht

Dr. Heiko Carrie
Head of Legal / Leiter Zentralabteilung Recht
Belegt via Linguee-Übersetzungsquelle (öffentliche Webquelle, Evidenzgrad D); Funktion umfasst nach Unternehmensangaben auch IP-nahe Rechtsfragen

Global Real Estate & Facility Management

Stefan Kögl
President Global Real Estate
Belegt via LinkedIn-Post (Evidenzgrad D); operative Infrastrukturfunktion, kein strategischer Bremstechnik-Bezug

Strategic Marketing & Innovation

Director Strategic Marketing & Innovation
Belegt via APF22-Teilnehmerliste (Evidenzgrad C); Person nicht namentlich identifiziert — Namensnennung wäre Erfindung

Motorsport / Brake-by-Wire Systemintegration

Entwicklung und Systemintegration elektrischer Bremssysteme (Brake-by-Wire, LMDh-Prototypen)
Abgeleitet aus YouTube-Video „Enduring brake power for LMDh prototypes“ (2023, Bosch Motorsport); konkrete Personennamen in den geprüften Quellen nicht identifiziert (Evidenzgrad D)

Brake-by-Wire Produktentwicklung / Wintertests

Entwicklung und Validierung hydraulisches Brake-by-Wire-System (Markteinführung Herbst 2025 angekündigt)
Abgeleitet aus Bosch-Pressemitteilung „Mit Brake-by-Wire von Bosch bis zum Polarkreis“ und [bosch.com/stories/brake-by-wire-schweden](https://www.bosch.com/stories/brake-by-wire-schweden) (Evidenzgrad B); Personennamen nicht öffentlich identifiziert

WAS DIE STRUKTUR VERRÄT

- Die mehrköpfige Geschäftsführung (vier belegte Mitglieder laut Impressum) deutet auf eine institutionalisierte Kollegialstruktur hin, die strategische Entscheidungen — einschließlich Brake-by-Wire-Investitionen — auf mehrere Schultern verteilt; dies ist eine Hypothese, da interne Entscheidungsprozesse nicht öffentlich dokumentiert sind.
- Die belegte Existenz einer eigenständigen Zentralabteilung Recht (Dr. Heiko Carrie) legt nahe, dass IP-Schutz und Vertragsrecht zentral koordiniert werden — konsistent mit 4.496 Patentanmeldungen allein in Deutschland im Jahr 2024 (DPMA-Pressemitteilung 2025); ob eine dedizierte Brake-by-Wire-IP-Einheit existiert, ist in den geprüften öffentlichen Quellen nicht identifiziert.
- Die parallele Aktivität in Motorsport-Brake-by-Wire (LMDh, 2023) und Serien-Brake-by-Wire (hydraulisch, Markteinführung Herbst 2025 laut Bosch-Pressemitteilung) deutet auf eine Investitionsrichtung hin, die beide Anwendungsfelder — Hochleistung und Volumen — gleichzeitig adressiert (abgeleitet, Evidenzgrad D/B).
- Die Funktion „Strategic Marketing & Innovation“ (APF22-Teilnehmerliste) signalisiert, dass Bosch Innovationsthemen nicht nur technisch, sondern auch marktstrategisch zentral steuert — für einen KMU-Zulieferer bedeutet das, dass Bosch als Systemintegrator und potenzieller Abnehmer zugleich als Wettbewerber in der Aktuatorik auftreten kann.

ABLEITUNG FÜR DEN AUFTRAGGEBER

- Bosch agiert im Brake-by-Wire-Segment nachweislich als vollintegrierter Systemanbieter (Entwicklung, Validierung, Serienproduktion, Motorsport) — Muster Bremstechnik GmbH kann in diesem Segment nicht als gleichrangiger

Systemwettbewerber auftreten, sondern allenfalls als Komponentenzulieferer für mechanische Präzisionsteile, sofern Bosch diese nicht selbst fertigt.

- Die zentrale Rechtsfunktion und die hohe Patentdichte (über 4.496 Anmeldungen/Jahr in Deutschland laut DPMA) machen Freedom-to-Operate-Prüfungen für jede Aktuatorik-Eigenentwicklung von Muster Bremstechnik GmbH zwingend erforderlich, bevor Entwicklungsressourcen gebunden werden.
- Offene Stellenausschreibungen von Bosch im Bereich Brake-by-Wire sind in den geprüften Quellen nicht identifiziert — eine Aussage über Personalengpässe bei Bosch in diesem Feld wäre Spekulation und wird nicht getroffen.

Was die Video-Strategie verrät

Bosch nutzt seine YouTube-Präsenz im Brake-by-Wire-Umfeld gezielt zur technischen Glaubwürdigkeitsbildung bei Fachpublikum und OEM-Entscheidern: Das Video „Enduring brake power for LMDh prototypes“ (Januar 2023, 5.265 Aufrufe laut Faktenbasis) positioniert Bosch Motorsport als Systemintegrator für elektrische Bremssysteme mit Brake-by-Wire-Technologie und verknüpft Hochleistungs-Motorsport mit Serientauglichkeit. Das Video „Reinventing braking: What sets brake-by-wire apart from conventional brake systems?“ (Mai 2025, 2.528 Aufrufe laut Faktenbasis) adressiert mit Wintertests in Arjeplog, Schweden, explizit Sicherheits- und Extrembedingungsargumente — ein klassisches Vertrauenssignal für sicherheitskritische OEM-Einkäufer. Die Kernbotschaft über alle Brake-by-Wire-Videos ist konsistent: vollständiger Ersatz der mechanischen Verbindung durch elektrische Signalleitungen als Enabler für automatisiertes Fahren und Energierückgewinnung (Bosch-Pressemitteilung [bosch-presse.de](https://www.bosch-presse.de)). Parallel dazu zeigen neuere Videos mit hoher Reichweite (u. a. „Das Ende einer deutschen Legende? Bosch verlässt Deutschland“, Juli 2026, 112.965 Aufrufe) eine öffentliche Debatte über Bosch-Stellenabbau und Produktionsverlagerungen — diese Videos stammen nicht von Bosch selbst und sind als externe Medienbeobachtung einzuordnen (Evidenzgrad D), liefern aber das Kontextsignal, dass Bosch-interne Restrukturierungen öffentlich wahrgenommen werden und potenziell Zuliefererbeziehungen beeinflussen könnten.

Video (YouTube)	Aufrufe · Datum
Robert Bosch — Der Industrielle, der Hitler widerstand Historische Dokumentation https://www.youtube.com/watch?v=39SouHcDwQ8	78.897 Aufrufe · 2026-05-15
Das Ende einer deutschen Legende? Bosch verlässt Deutschland https://www.youtube.com/watch?v=mvc4vn20r3M	112.965 Aufrufe · 2026-07-14
Robert Bosch: Mensch, Unternehmer, Visionär https://www.youtube.com/watch?v=zWs756xKhgA	2.816 Aufrufe · 2024-09-20
Bosch flieht aus Deutschland (und niemand redet darüber) https://www.youtube.com/watch?v=Mulabyi6WPg	100.013 Aufrufe · 2026-04-06
Robert Bosch Dokumentation: Vom Hinterhof zum Weltreich – Die Geschichte einer Legende https://www.youtube.com/watch?v=a_gotKVPmNU	4.070 Aufrufe · 2026-06-22
ROBERT BOSCH – Ein Leben für Technik & Verantwortung Doku & Biografie Deutsch https://www.youtube.com/watch?v=7iMaNnOoe7c	2.540 Aufrufe · 2025-05-20

Quelle: öffentliche Video-Metadaten; Aufrufzahlen zum Recherche-Zeitpunkt. Transkripte nicht ausgewertet.

Daten & Begriffe

Relevante Schutzrechte

Nummer	Inhaber	Relevanz
WO2026158921A1	Robert Bosch GmbH (DE)	Methode zur Erkennung von Blickrichtungen eines Trägers von Smart Glasses sowie Recheneinheit — belegt Boschs Aktivität im Bereich Fahrzeugsensorik/Mensch-Maschine-Interaktion; kein direkter Brake-by-Wire-Bezug aus dem Titel ableitbar. Quelle: EPO OPS Anmelddaten.
WO2026159499A1	Robert Bosch GmbH (DE)	Steuergerät, Fahrzeug und Steuerverfahren — thematisch relevant für fahrzeugelektronische Steuerarchitekturen, die auch Brake-by-Wire-Systeme umfassen können; Detailprüfung der Ansprüche erforderlich. Quelle: EPO OPS Anmelddaten.
US20260216854A1	Robert Bosch GmbH (DE)	Abbruchhammer mit zwei Seitengriffen — kein Brake-by-Wire-Bezug; belegt Boschs breite Anmeldeaktivität über Fahrzeugtechnik hinaus. Quelle: EPO OPS Anmelddaten.
US20060163941A1	Nicht eindeutig zugeordnet (Titel: Brake by-wire actuator, Bremse Systeme)	Brake-by-Wire-Aktuator für Kraftfahrzeuge, betätigbar über Bremspedal — historische US-Anmeldung, belegt frühe Schutzrechtsaktivität im Aktuatorik-Segment. Detailprüfung der Ansprüche und des aktuellen Rechtsstands erforderlich. Quelle: Google Patents / thebrakereport.com.

Glossar

Brake-by-Wire (BbW): Bremssystem, das die mechanische oder hydraulische Verbindung zwischen Bremspedal und Bremsaktuator vollständig durch elektrische Signalleitungen ersetzt. Der Fahrerwunsch wird als elektrisches Signal erfasst, verarbeitet und an elektromechanische oder elektrohydraulische Aktuatoren übertragen. Ermöglicht redundante Sicherheitsarchitekturen und ist Voraussetzung für hochautomatisiertes Fahren.

Electro-Mechanical Brake (EMB): Variante des Brake-by-Wire-Prinzips, bei der die Bremskraft ausschließlich durch Elektromotoren erzeugt wird — ohne Hydraulikflüssigkeit, Bremsflüssigkeit oder hydraulische Leitungen. ZF bezeichnet sein seit November 2023 vorgestelltes System als „dry Brake-by-Wire“ auf EMB-Basis.

Elektrohydraulische Bremse (EHB): Brake-by-Wire-Variante, bei der die Bremskraft weiterhin hydraulisch auf die Radbremsen übertragen wird, die Druckerzeugung jedoch elektrisch gesteuert erfolgt. Gilt als Übergangstechnologie zwischen konventioneller Hydraulikbremse und vollständig elektromechanischen Systemen.

Rekuperatives Bremsen (Regenerative Braking): Rückgewinnung kinetischer Energie beim Bremsvorgang durch Umwandlung in elektrische Energie mittels des Antriebsmotors als Generator. Brake-by-Wire-Systeme ermöglichen eine präzise Koordination zwischen Rekuperation und Reibungsbremse, da keine mechanische Kopplung die Regelung einschränkt.

Bremssattel (Brake Caliper): Mechanisches Bauteil der Scheibenbremse, das die Bremsbeläge trägt und bei Betätigung gegen die Bremsscheibe presst. Im konventionellen System hydraulisch betätigt; in EMB-Systemen durch einen integrierten Elektromotor und Spindeltrieb. Kernprodukt der Muster Bremstechnik GmbH im Nutzfahrzeugsegment.

IPC-Klasse B60T: Internationale Patentklassifikation für Fahrzeugbremsysteme (Vehicle Brake Control Systems or Parts Thereof). Relevante Unterklassen umfassen u. a. B60T8 (Antiblockiersysteme) und B60T13 (Bremskraftverstärker). Laut Patent-Lücken-Indikator beträgt der Feldanteil dieser Klasse 4 %, der Wettbewerber-Anteil nur 1 % — was auf eine relative Unterrepräsentation der analysierten Wettbewerber in dieser Kernklasse hindeutet (vgl. Abbildung 5).

IATF 16949: Internationale Qualitätsmanagementsystem-Norm speziell für die Automobilindustrie, herausgegeben von der International Automotive Task Force. Voraussetzung für die Lieferfähigkeit an OEMs und Tier-1-Zulieferer im Automobilbereich. Muster Bremstechnik GmbH ist nach IATF 16949 zertifiziert.

Tier-1-Zulieferer: Direktlieferant eines Fahrzeugherstellers (OEM), der vollständige Systeme oder Baugruppen liefert und die Verantwortung für Entwicklung, Qualität und Logistik gegenüber dem OEM trägt. Bosch, ZF und Continental sind typische Tier-1-Akteure im Bremssystemsegment. Muster Bremstechnik GmbH agiert heute überwiegend als Tier-2- oder Tier-3-Lieferant mechanischer Komponenten.

Freedom-to-Operate (FTO): Rechtliche Prüfung, ob ein geplantes Produkt oder Verfahren bestehende Schutzrechte Dritter verletzt. Im Brake-by-Wire-Segment mit hoher Patendichte (insbesondere Bosch, ZF, Continental) ist eine FTO-Analyse vor jeder Produktentwicklung zwingend erforderlich. Eine Patentlücke im Sinne des Patent-Lücken-Indikators belegt keine FTO.

Sensify (Brembo): Elektronisch gesteuerte Bremsplattform von Brembo, die laut automobil-industrie.vogel.de in die Serienproduktion überführt wurde. Integriert Brake-by-Wire-Funktionalität mit intelligenter Bremskraftverteilung. Detaillierte technische Spezifikationen sind in der vorliegenden Faktenbasis nicht verifiziert (Datenlücke — nicht abschließend geprüft).

CAGR (Compound Annual Growth Rate): Jährliche Wachstumsrate über einen definierten Zeitraum, berechnet als geometrisches Mittel. Für den globalen Markt für Pkw-Brake-by-Wire-Systeme wird laut Wise Guy Reports eine CAGR von 11,44 % für den Zeitraum 2025–2032 prognostiziert. CAGR-Angaben aus Marktstudien sind Prognosen unter Modellannahmen und keine gesicherten Werte.

Prüfstand (Test Bench): Technische Einrichtung zur reproduzierbaren Prüfung von Bremssystemen und -komponenten unter definierten Bedingungen. Muster Bremstechnik GmbH entwickelt und fertigt Prüfstände als eigenständiges Produktsegment (10 % der Umsatzbasis). Prüfstände können als Brückenprodukt in die Brake-by-Wire-Validierung dienen, da neue elektronische Bremssysteme umfangreiche Prüfinfrastruktur erfordern.

Wie die Kennzahlen dieses Reports entstehen

Datenbasis

Patentdaten stammen aus dem öffentlichen Register des Europäischen Patentamts (EPO OPS: Anmeldungen, IPC-Klassifikationen, Zitierungen) sowie ergänzend USPTO und DPMA. Der Rechtsstand einzelner Patente wird nicht geprüft; angegebene Termenden sind rechnerisch (Anmeldetag + 20 Jahre). Firmendaten kommen aus Handelsregister, GLEIF und Wikidata. Markt- und Branchenzahlen werden per strukturierter Websuche aus öffentlichen Studien und Pressemitteilungen recherchiert; wissenschaftliche Publikationsdaten aus OpenAlex. Jede Zahl im Report ist entweder einer dieser Quellen entnommen oder ausdrücklich als „(Schätzung)“ gekennzeichnet.

Lead-Lag Wissenschaft – Patente — berechnet

Pearson-Kreuzkorrelation der Jahres-Zeitreihen wissenschaftlicher Publikationen (OpenAlex) und Patentanmeldungen (EPO) über verschobene Zeitfenster (Lags). Ein positiver Best-Lag bedeutet: Publikationen laufen den Anmeldungen um N Jahre voraus — ein Reifesignal des Felds.

Qualitative Einschätzungen — bewertet, nicht gemessen

Die Achsenwerte des Wettbewerbsprofils (Abbildung 3), die Positionen der Portfolio-Matrix (Abbildung 4), die Fähigkeits-Profile (Abbildung 6) sowie die Segment-Aufteilungen in Marktstruktur (Abbildung 1) und Patentfluss (Abbildung 2) sind strukturierte analytische Einschätzungen auf Basis der oben genannten Faktenbasis — keine gemessenen Größen. Sie machen Positionen vergleichbar, ersetzen aber keine Primärerhebung. Wo eine Einschätzung von einer belegten Zahl abweicht, gilt die belegte Zahl.

Geografische Abdeckung & Datenlücken

Die Patentbasis ist EPO-zentriert (EP/WO/DE, ergänzend US). Anmeldungen in China, Japan und Korea sind nur sichtbar, soweit sie über internationale Patentfamilien mit EP/US-Mitgliedern verknüpft sind — rein nationale CN/JP/KR-Anmeldungen können fehlen. Solche Lücken sind im Text ausdrücklich als Datenlücke benannt und werden nicht durch Schätzwerte gefüllt.

Qualitätssicherung

Der Report durchläuft vor Auslieferung automatisierte Prüfungen: Faktenabgleich aller konkreten Aussagen gegen die recherchierte Faktenbasis, Konsistenzprüfung wiederkehrender Kennzahlen über alle Abschnitte, Redundanz-Bereinigung sowie eine Mindest-Tiefenprüfung (Umfang, Quellen, Vertiefungen). Verbleibende Unsicherheiten sind im Text markiert statt geglättet.

Worauf dieses Briefing beruht

Grundlage: öffentliche Patent- und Marktdaten (u. a. EPO, USPTO, Handelsregister, Marktforschung). Schätzungen sind als solche gekennzeichnet.

- 1 Marktgröße Und Prognose Für Kfz-Bremssysteme Bis 2032 Tier 2
<https://www.databridgemarketresearch.com/de/reports/global-automotive-braking-systems-market?srsltid=AfmBOopzQzpJS04Yopk8aYcZhqdxqgGQEADN>
- 2 Marktgröße und Marktanteil der Automobil-Bremssysteme Tier 2
<https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/automotive-brake-system-market>
- 3 Automobil-Bremskomponenten-Marktgröße & Analyse, 2035 Tier 2
<https://www.gminsights.com/de/industry-analysis/automotive-braking-component-market>
- 4 Marktgröße, Trends und Wachstum für Kfz-Bremsen und Tier 2
<https://www.businessresearchinsights.com/de/market-reports/automotive-brakes-and-clutches-market-102578>
- 5 Markt für Pkw-Brake-by-Wire-Systeme Tier 2
<https://www.wiseguyreports.com/de/reports/passenger-car-brake-by-wire-system-market>
- 6 Elektrische Bremssysteme: ZF erhält Großauftrag für By- ... Tier 2
<https://www.profi-werkstatt.net/de/news/elektrische-bremssysteme-zf-erhaelt-grossauftrag-fuer-wire-technologie-zur-softwaredefinierten-steuerung-218>
- 7 By-Wire-Technologie Tier 2
https://www.zf.com/mobile/de/technologies/by_wire/by_wire.html
- 8 Markt für Brake-by-Wire-Systeme für Kraftfahrzeuge Tier 2
<https://www.globalmarketstatistics.com/de/market-reports/automotive-brake-by-wire-systems-market-17521>
- 9 Stehen Brake-by-Wire-Systeme vor dem Durchbruch? Tier 2
<https://www.springerprofessional.de/fahrwerk/fahrzeugtechnik/stehen-brake-by-wire-systeme-vor-dem-durchbruch-/23935910>
- 10 Was der Bremsen-Großauftrag für ZF bedeutet Tier 2
<https://www.automobilwoche.de/automobilzulieferer/was-der-bremsen-grossauftrag-fur-zf-bedeutet/>
- 11 US20060163941A1 - Brake by-wire actuator Tier 2
<https://patents.google.com/patent/US20060163941A1/en>
- 12 GM Patents Electronic Brake-By-Wire System Tier 2
<https://thebrakereport.com/gm-patents-electronic-brake-by-wire-system/>
- 13 Automotive Brake-By-Wire Systems Market Size 2025-2029 Tier 2
<https://www.technavio.com/report/automotive-brake-by-wire-systems-market-industry-analysis>
- 14 EN | Enduring brake power for LMDh prototypes: Electric brake system ... Tier 2
<https://www.youtube.com/watch?v=H966goaPOJc>
- 15 Marktanteil von Automotive Electronic Brake Systems in ... Tier 2
<https://www.sphericalinsights.com/de/reports/asia-pacific-automotive-electronic-brake-systems-market>
- 16 Brake-by-Wire: ZF gewinnt bedeutenden Großauftrag für ... Tier 2
https://press.zf.com/press/de/releases/release_80320.html
- 17 Brembo startet Großserie für Brake-by-Wire-System Sensify Tier 2
<https://www.automobil-industrie.vogel.de/brake-by-wire-brembo-grossserie-fertigung-sensify-a-21f5904e9c5aa0f4ed4b73836d53d4b0/>
- 18 BWI Group's brake-by-wire systems enter Europe and U.S. ... Tier 2
<https://autonews.gasgoo.com/articles/news/bwi-groups-brake-by-wire-systems-enter-europe-and-us-securing-21-billion-yuan-order-2053365286764437/>

Tier 1 = Primärquelle (Patentamt, Geschäftsbericht, Marktforschung) · Tier 2 = Sekundär-/Webquelle · Tier 3 = indikativ.

Evidenzgrade tragender Aussagen: A = amtliches Register, Rechtsakt, Vertrag, Jahresabschluss, Konformitätserklärung · B = offizielle Produkt-/Programmseite, Datenblatt · C = unabhängige Studie, Fachpublikation, Ausschreibung · D = Stellenanzeige, Social Media, Pressebericht (Indiz für Absicht, kein Beleg) · E = Analystenschätzung, Analogie, eigene Ableitung (nie alleinige Entscheidungsbasis).

RECHTLICHER HINWEIS

Dieses Strategy Briefing wurde auf Basis öffentlich zugänglicher Quellen (Handelsregister, Patentregister, Marktforschungsberichte, Pressemitteilungen, YouTube-Inhalte, Förderdatenbanken) sowie der vom Auftraggeber bereitgestellten Unternehmensinformationen erstellt.

Es dient ausschließlich als Entscheidungsunterstützung für die Muster Bremstechnik GmbH und stellt keine Rechts-, Steuer- oder Anlageberatung dar. Marktprognosen und Schätzungen Dritter wurden unverändert übernommen und sind als solche gekennzeichnet; ihre Richtigkeit wird nicht garantiert. Datenlücken sind im Text ausdrücklich benannt. Abrufdatum der Quellen: August 2026. Dieser Bericht ersetzt nicht die Einholung von Fachgutachten (Recht, Technik, Finanzen) vor einer Investitionsentscheidung.

© 2026 patvat · Alle Angaben ohne Gewähr.