

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 16

Artikel: Ein BMW mit Elektroantrieb

Autor: Reister, Dietrich

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903913>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 31.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ein BMW mit Elektroantrieb

D. Reister

Um den Elektroantrieb auf Basis von Hochenergiebatterien für den Fahrzeugbetrieb zu entwickeln, arbeitet BMW seit 1981 eng mit der Firma BBC zusammen. Aus dieser Zusammenarbeit ist ein Elektroauto auf Basis einer BMW 3er-Limousine entstanden, das anlässlich des zweiten Grand Prix für Elektrofahrzeuge in Interlaken erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt wurde.

Depuis 1981 les entreprises BMW et BBC développent un entraînement électrique pour véhicules routiers avec batteries à haute capacité énergétique. De cette collaboration est née une limousine BMW de série 3 qui fut présentée pour la première fois au public lors du Grand Prix formule 1 d'Interlaken 1987.

Neuer Antrieb in bewährtem Basisfahrzeug

Um die Grundlagen und Probleme des Elektroantriebs für Strassenfahrzeuge gesichert und praxisnah zu erforschen, haben BMW und BBC beschlossen, ein Fahrzeug der 3er-Reihe (BMW 325 iX) auf die Anforderungen des Elektroantriebs umzurüsten (Fig. 1).

Der wesentliche Vorteil an diesem Lösungsweg liegt darin, dass man sich bei den Entwicklungsarbeiten auf die wesentlichen Problemstellungen des neuen Antriebs konzentrieren kann und keine Arbeiten auf dem Gebiet der Basisfahrzeugentwicklung notwendig werden bzw. alle Erfahrungen der Modellreihenentwicklung nutzen kann. Ausserdem ist es nur mit einem Serienfahrzeug als Basis möglich, direkte Konzept- und Praxisvergleiche zwischen dem herkömmlichen Verbrennungsmotor und dem Elektroantrieb vorzunehmen.

Die teilweise vertretene Ansicht, dass mit der Entwicklung eines neuen Antriebskonzeptes gleichzeitig ein neues Fahrzeugkonzept entwickelt werden muss, teilt BMW aus diesen Gründen nicht. Dies schliesst nicht aus, dass nach Abschluss der Grundlagenforschung nicht auch andere Fahr-

zeugkonzepte verfolgt werden können.

Um alle technischen Anforderungen des Elektroantriebes zu erfüllen, waren jedoch umfangreiche Änderungen am Serienfahrzeug BMW 325 iX notwendig.

Zur Integration der Natriumschwefel-Hochenergiebatterie in das Fahrzeug war es erforderlich, das Auto mit Vorderradantrieb auszurüsten. Der sonst für die Kardanwelle und das Hinterachsgetriebe benötigte Raum konnte so zum Einbau für die Batterie genutzt werden. Aus diesem Grund bot sich der BMW 325 iX als Basisfahrzeug an.

Da die Vorderachse des 325 iX in ihren geometrischen Abmessungen und Eigenschaften bereits auf die Belange von angetriebenen Vorderrädern abgestimmt wurde, waren hier also keine gravierenden Änderungen notwendig.

Die Hinterachsgeometrie ist ebenfalls identisch mit der des Serienfahrzeuges. Lediglich die Schräglenker wurden an ihren Anlenkpunkten und in ihrer Breite etwas geändert, um einen problemlosen Batterieeinbau von unten in das Fahrzeug zu ermöglichen. Diese Batterie mit den Massen 1420 mm × 485 mm × 360 mm ist in Längsrichtung in das Fahrzeug eingebaut. Sie durchdringt die Rücksitz-



Figur 1
Der BMW 325 iX mit Elektroantrieb und NaS-Batterie

Adresse des Autors

Dr. Ing. *Dietrich Reister*, Manager Product Research and Systems Engineering, Petuelring 130, D-8000 München 40

bank und schliesst mit der Sitzvorderkante des Rücksitzes bündig ab. Der mittlere Sitz entfällt, daher lassen sich durch eine Verkleidung des Batterietunnels eine neue kleine Ablagemöglichkeit und integrierte Armlehnen für die beiden Aussenplätze schaffen. Gegebenenfalls lässt sich an dieser Stelle auch ein Kindersitz konstruktiv vorsehen. Das Kofferraumvolumen ist durch die nach hinten schräg abfallende Anordnung der Batterie nicht übermässig eingeschränkt. Die verbleibende Zuladung bei diesen für den öffentlichen Strassenverkehr zugelassenen Prototypen beträgt 335 kg.

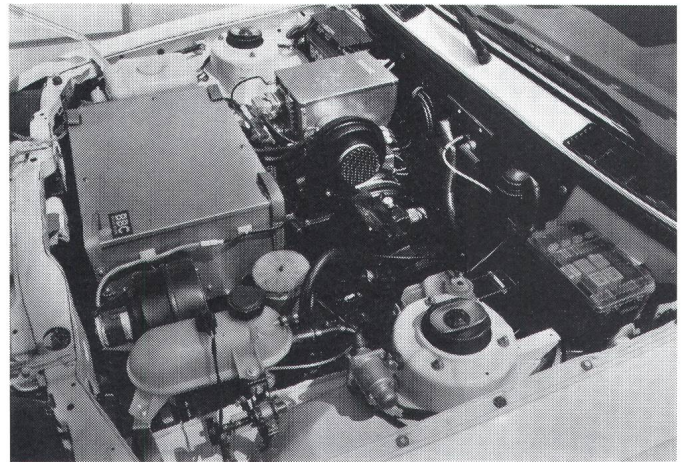
Als Antrieb für das BMW-Elektrofahrzeug wird ein BBC-Gleichstrommotor mit einer Dauerleistung von 17 kW verwendet. Als kurzzeitige Spitzenleistung können etwa 33 kW erreicht werden. Eine Besonderheit dieses Elektromotors ist das hohe nutzbare Drehmoment von 127 Nm, welches aus dem Stillstand bis zu einer Drehzahl von 2.100 1/min kontinuierlich zur Verfügung steht.

Gleichstromantriebe können derzeit in bezug auf Kosten, Gewicht und Bauvolumen als die beste Lösung angesehen werden. Diese Motoren entwickeln bereits aus dem Stillstand das volle Drehmoment, ihre volle Leistung steht im Bereich von 30% bis 100% der Maximaldrehzahl zur Verfügung. Die Leistungs- und Drehmomentcharakteristik des Elektromotors erlaubt es, das Fahrzeug nur mit einem 2-Gang-Automatik-Getriebe auszurüsten. Hierzu wurde – in Zusammenarbeit zwischen BMW und der Firma Renk – ein spezielles Automatik-Getriebe entwickelt. Die erste Schaltstufe ist so ausgelegt, dass das Fahrzeug eine Steigfähigkeit von über 30% erreicht und die volle Motorleistung schon bei niedrigen Geschwindigkeiten zur Verfügung steht. Die zweite Getriebestufe ist notwendig, um die gewünschte Endgeschwindigkeit von etwa 100 km/h zu erreichen.

Der Rückwärtsgang kann bei diesen Fahrzeugen entfallen, da die Drehrichtung des Motors durch eine elektrische Umpolung wählbar ist.

Zur Motorleistungsregelung ist ein Anker- und Feldstromstellglied vorgesehen. Mit diesen Stellgliedern kann der Motor stufenlos und verlustarm mit dem gewünschten Drehmoment vom Stillstand bis zur Maximaldrehzahl beschleunigt bzw. gebremst werden. Die Umkehr der Drehrichtung im Motor und die Möglichkeit des elektrischen Bremsens wird durch den Feld-

Figur 2
Ein Blick in den Motorraum des Elektro-BMW



stromsteller vorgenommen. In Zukunft ist vorgesehen, die so beim Bremsen entstehende Energie durch die Möglichkeit der Energierückgewinnung für den Antrieb zu nutzen. Der Übergang vom Fahrbetrieb in den Bremsbetrieb ist in weniger als 100 ms möglich.

Eine Steuerungs- und Überwachungselektronik koordiniert im Fahrbetrieb die Batterie und den Antrieb, im Ladebetrieb das Ladegerät und die Batterie. Im Fahrbetrieb wird der Motorstrom und damit die Leistung des Fahrzeuges gesteuert. Die dazu erforderliche Stromvorgabe erfolgt über das Fahrpedal – auch als Gaspedal in herkömmlichen Fahrzeugen bekannt. Über einen Bowdenzug wird vom Fahrpedal der Fahrsollwertgeber betätigt, der die mechanische Bewegung des Pedals in elektrische Sollwerte für den Motorstrom umsetzt.

Im Ladebetrieb wird dagegen der Netzstrom von der Steuerungs- und Überwachungselektronik geregelt. Die Natrium-Schwefel-Batterien können aufgrund ihrer Eigenschaften nach einem sehr einfachen Verfahren geladen werden. Die Wiederaufladung erfolgt mit einem konstanten Strom, und die Elektronik schaltet das Ladegerät ab, wenn die maximale Batteriespannung erreicht ist. Die jeweilige Höhe des Ladestromes wird durch die Regelung des Ladegerätes oder die Art des Netzanschlusses festgelegt. Bei den BMW-Fahrzeugen ist eine Aufladung der Batterie mit einem 220-V-Netzanschluss vorgesehen.

Die Überwachungselektronik umfasst alle Antriebskomponenten einschliesslich der Batterie. So können hohe Folgeschäden durch Störungen

im System frühzeitig vermieden und mögliche gefährliche Betriebszustände ausgeschlossen werden.

Bei auftretenden Störungen wird der Motorstrom nach Sicherheitskriterien neu geregelt und das Fahrzeug kann in einem Notprogramm weiterbetrieben werden. Ein Fehlerspeichersystem lässt Rückschlüsse auf Störungsursachen zu, auch wenn sie nur kurzfristig aufgetreten sind.

Alle Antriebskomponenten wie Motor, Getriebe, Motorregleinrichtung und die Steuerungs- und Überwachungselektronik sind im Motorraum des BMW untergebracht.

Die elektronischen Regel- und Steuerungseinrichtungen sind in einem gemeinsamen Komponententräger oberhalb des Elektromotors angeordnet (Fig. 2). Der Motor und der Komponententräger wird mit je einem Elektrolüfter gekühlt. Die gesamte Baugrösse dieser Antriebskomponenten ist mit der eines Verbrennungsmotors vergleichbar.

Zur Versorgung des Fahrzeugbordnetzes für die Scheibenwischer, Fahrzeugbeleuchtung, Innenraumgebläse usw. ist eine normale 12-V-Fahrzeugbatterie vorgesehen. Diese wird aus der grossen Antriebsbatterie aufgeladen.

Die vom Gesetzgeber vorgeschriebene Fahrzeugheizung ist bei dem BMW-Elektrofahrzeug als Dieselstandheizung ausgeführt. Hierzu ist im Fahrzeugheck ein 18-l-Kraftstofftank installiert, der über den herkömmlichen Tankeinfüllstutzen gefüllt werden kann.

Als Heizungsart ist eine Warmwasserheizung entwickelt worden, in die der normale Wärmetauscher integriert

ist. Somit sind keine aufwendigen Änderungen an der bewährten Heizungs- und Lüftungsanlage notwendig geworden.

Als Fahrzeuglenkung wird die aus der BMW-3er-Reihe bekannte mechanische Lenkung mit der variablen Lenkübersetzung verwendet.

Neben der Möglichkeit, das Fahrzeug elektrisch zu bremsen, ist selbstverständlich ein Betriebsbremsystem eingebaut. Diese Bremsanlage besteht analog der Serienbremsanlage des BMW 325iX aus hydraulisch betätigten Scheibenbremsen vorn und hinten. Da allerdings in einem Elektroauto kein Unterdruck zur Bremskraftverstärkung im Motorsaugrohr zur Verfügung steht, musste eine kleine Elektrounterdruckpumpe installiert werden. Zwischen dieser Unterdruckpumpe und dem Bremskraftverstärker, der aus konstruktiven Gründen etwas verkleinert wurde, ist ein Unterdruckspeicher angeordnet. Dieser Speicher verhindert, dass die Pumpe ständig mitläuft. Sinkt das Druckniveau auf einen Schwellwert, der noch einige Bremsungen mit Verstärkung zulässt, wird die Pumpe automatisch zugeschaltet.

Durch die Möglichkeit, das Fahrzeug elektrisch zu bremsen, sind allerdings sehr viel weniger Betätigungen der Betriebsbremse zu erwarten.

Der Energiespeicher – ein entscheidendes Kriterium für Elektrofahrzeuge

Die niedrige Energiedichte der Bleibatterien ist der wesentliche Nachteil von bisherigen Elektrofahrzeugen gegenüber herkömmlichen Antriebskonzepten. Mit diesen Batterien lassen sich nur sehr geringe Reichweiten bei mässigen Fahrleistungen realisieren. Durch die von BMW in Zusammenarbeit mit BBC entwickelte Hochenergiebatterie¹ ergibt sich die Möglichkeit, die Energiedichte gegenüber Bleibatterien um den Faktor vier zu erhö-

hen und die Nachteile wie hohes Batteriegewicht und Volumen zu verringern.

Erreichte Fahrleistungen und Ausblick in die Zukunft

Mit den hier beschriebenen Prototypenfahrzeugen kann derzeit eine Reichweite von etwa 115 km im Stadtverkehr realisiert werden. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt etwa 100 km/h und die Beschleunigung von 0-50 km/h etwa 12 s.

Hierbei muss berücksichtigt werden, dass diese Werte mit den derzeitigen Versuchsfahrzeugen, die leistungsmässig noch nicht optimiert worden sind, erreicht werden. Eine technische Weiterentwicklung des Gesamtsystems wird von seiten BMW und BBC vorangetrieben. Die technische Reife dieses hier beschriebenen Fahrzeugkonzeptes wird für 1990 erwartet. Dann sind folgende Fahrleistungen zu erwarten:

- Reichweite im Stadtverkehr 150-200 km
- Höchstgeschwindigkeit etwa 120 km/h
- Beschleunigung von 0-50 km/h in etwa 7 s

Dieser Ausblick der zu erwartenden Fahrleistungen gilt für die hier vorgestellten Versuchsfahrzeugtypen.

Mit diesen Versuchsfahrzeugen werden derzeit alle Komponenten für den Elektroantrieb erprobt und weiterentwickelt.

Um vergleichende Bewertungen zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren und den neuen Elektroantrieben vornehmen zu können, ist es unerlässlich,

diese Fahrzeugerprobung mit annähernd gleichen Basisfahrzeugen vorzunehmen.

Die teilweise geäusserte Behauptung, zur Erprobung von Elektrofahrzeugen müssten gleichzeitig «andere Autos» konstruiert werden, die sich in wesentlichen Punkten von bestehenden Fahrzeugen unterscheiden, scheint für die erforderliche vergleichende Untersuchung zweifelhaft. Mögliche Vorteile dieser angesprochenen «neuen Autos» wie z. B. Gewicht, Aerodynamik, Rollwiderstand usw. würden auch herkömmlichen Antriebskonzepten zugute kommen. Nach der derzeitigen Entwicklungsphase des Elektroantriebskonzeptes soll und darf natürlich nicht ausgeschlossen werden, dass für die spezifischen Einsatzzwecke von Elektroautos eigenständige Fahrzeugkonzepte sinnvoll werden, die nochmals Steigerungen der Fahrleistungen mit sich bringen könnten.

Alle Entwicklungstendenzen zeigen auf, dass das BMW-Elektroantriebskonzept keine generelle Alternative zu Verbrennungsmotoren darstellt. Mit herkömmlichen Fahrzeugkonzepten werden weiterhin grössere Reichweiten, höhere Fahrleistungen, höhere Nutzlasten und geringere Anschaffungskosten verwirklicht werden können.

Dagegen liegen die Vorteile der Elektroautos in der geringen Geräuschemission und dem Fehlen jeglicher am Fahrzeug auftretender Schadstoffemissionen. Weitere Vorteile gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren sind geringe Energiekosten und geringere Wartungskosten.

BMW sieht für Elektrofahrzeuge – die Verwirklichung der Serienreife vorausgesetzt – in Zukunft durchaus sinnvolle Einsatzgebiete. Diese Einsatzgebiete werden in erster Linie im Bereich des reinen Stadtwagens, als Taxi oder Behördenfahrzeug und als Transportfahrzeug mit beschränktem Einsatzradius liegen.

¹ Nähere Angaben zu dieser Batterie siehe Beitrag von H. Haase auf S. 981.

Auch Volkswagen experimentiert mit Hybridantrieb und Hochenergiebatterie

Elektrische Antriebe für Fahrzeuge haben den Vorteil, dass sie keine Schadstoffe im Strassenverkehr verursachen und dass ihre Antriebsenergie Strom auch aus Kohle, Kernkraft, Wasserkraft oder Solarenergie gewonnen werden kann. Wegen dieser Eigenschaften werden dem Elektroantrieb immer wieder grosse Chancen für den Fall vorausgesagt, dass Rohöl als Primärenergie nicht mehr in dem Masse wie heute zur Verfügung steht oder in den Ballungsgebieten nicht mehr uneingeschränkt mit Verbrennungsmotoren gefahren werden darf.

Der freizügige Betrieb eines Fahrzeuges setzt voraus, dass die Energie für eine ausreichende Wegstrecke an Bord mitgeführt wird. Da sich elektrische Energie bisher nur wesentlich weniger kompakt speichern und nur langsamer «tanken» lässt, als wir es von unseren herkömmlichen Kraftstoffen gewohnt sind, ist die Einführung von Elektrofahrzeugen auf breiter Basis nur möglich, wenn die Suche nach besseren Batterien erfolgreich ist. Darüber hinaus ist die Entwicklung von Fahrzeugen erforderlich, die speziell auf Aufgaben zugeschnitten sind, die in sinnvollem Einklang mit den reduzierten Fahrleistungen dieser Antriebe stehen.

Ein erster Schritt in diese Richtung war die Einführung des Golf CitySTROMer, von dem gemeinsam mit dem RWE 70 Fahrzeuge mit Bleibatterie gebaut und verkauft wurden. Daran ist abzulesen, wie weit der Entwicklungsstand dieser Technologie heute bereits fortgeschritten ist.

Grosser Fortschritt dank Hochenergiebatterie

Bei der Entwicklung leistungsfähigerer Batterien wurde jetzt ein grosser Fortschritt erreicht. Nach langjähriger Forschung ist von BBC-Heidelberg eine Hochenergiebatterie auf Basis der NaS-Zelle für erste Erprobungen im Fahrzeug fertiggestellt worden. Sie kann bei gleichem Gewicht etwa viermal soviel Energie wie die herkömmlichen Bleibatterien speichern.

Volkswagen hat als einer der ersten Anwender dieser Batterie Fahrzeuge des Typs Jetta damit ausgerüstet. Die Batterie in Form eines Längskastens wurde in einem Fahrzeugmitteltunnel, der vom Kofferraum bis hinter die Vordersitze reicht, untergebracht.

Obwohl die Natrium-Schwefel-Batterie mit 276 kg das Gewicht der im Golf CitySTROMer eingesetzten Bleibatterien von 400 kg erheblich unterschreitet, hat sich die Reichweite ge-

Ein CitySTROMer auf Basis des VW Jetta mit NaS-Batterie. Dieses Fahrzeug gewann auch den Grand Prix Formel E 1987 in Interlaken.



genüber dem Elektro-Golf schon jetzt von 40 km auf 120 km gesteigert. In Ballungsgebieten ist in diesem Jetta also bereits ein entsprechender Aktionsradius rein elektrisch befahrbar, so dass dieses Fahrzeug vorwiegend als Zweitwagen für den innerstädtischen Verkehr oder auch für die meisten Wege von und zur Arbeitsstätte geeignet wäre.

Dabei verspricht die Entwicklung dieser neuen Batterietechnologie weitere Fortschritte. Eine Reichweite von 200 km im Stadtzyklus (ECE) soll in absehbarer Zeit erreicht werden. Die Stromkosten für das Elektrofahrzeug sind trotz dem zurzeit niedrigen Benzinpreis geringer als die Kraftstoffkosten entsprechender Fahrzeuge mit Ottomotor. Und der Energieverbrauch zur Aufrechterhaltung der Batteriebetriebstemperatur ist kaum höher als der eines Haushaltkühlschranks, selbst wenn das Auto überhaupt nicht gefahren wird.

Hybridantrieb für universellen Einsatz

Ein rein elektrisches Fahrzeugkonzept kann aber den Verkehr über grosse überregionale Strecken nicht bewältigen, dafür sind die Reichweiten zu kurz und die 8 Stunden, die zum Aufladen der Batterien benötigt werden, zu lang. Ein Golf mit Diesel/Elektro-Hybridantrieb löst dieses Problem.

Im Stadtbetrieb fährt er vorwiegend elektrisch, überland mit Verbrennungsmotor. Wie kann man in einem Golf noch einen zusätzlichen Antrieb installieren, ohne dass Komfort und Zuladung wesentlich reduziert werden?

Ermöglicht wird dieses durch einen von Bosch entwickelten kompakten Elektromotor, der nur 58 mm breit ist und dort eingebaut wird, wo üblicherweise das Motorschwungrad sitzt. Das

Fahrzeug kann dadurch angetrieben werden, und beim Bremsen wird elektrische Energie in die Batterien zurückgespeist. Ausserdem ersetzt er den Anlasser und die Lichtmaschine. Der Verbrennungsmotor wird im wesentlichen für die Beschleunigungsvorgänge und für Geschwindigkeiten über 55 km/h herangezogen, der Elektromotor immer dann, wenn für die Fahrleistungen nicht mehr als 6 kW erforderlich sind, was besonders häufig im Stadtverkehr vorkommt. Mit einer 150 kg schweren Bleibatterie kann auf diese Weise eine Strecke von etwa 30 km im Berufsverkehr zurückgelegt werden. Natürlich lässt sich auch beim Hybridfahrzeug die Hochenergiebatterie mit Vorteil einsetzen.

Es ist auch möglich, rein elektrisch zu fahren, wenn z.B. Geräusch- oder Schadstoffemissionen unerwünscht sind, allerdings mit vermindertem Beschleunigungsvermögen und einer Höchstgeschwindigkeit von 55 km/h. Für längere Fahrten, z.B. in den Urlaub, können die Antriebsbatterien mit einem einfachen Hebewerkzeug leicht herausgenommen werden und es entsteht zusätzlicher Gepäckraum. Dann wird nur noch der Verbrennungsmotor zum Antrieb benutzt, der Elektromotor arbeitet weiterhin als Lichtmaschine und als Anlasser.

Dieser Golf mit dem Diesel/Elektrohybridantrieb ist sehr flexibel: Da jedem Motor die Aufgaben zugeteilt werden, die er mit besonders gutem Wirkungsgrad verrichtet, ist das Fahrzeug sehr sparsam und umweltfreundlich. Versuche im Strassenverkehr haben gezeigt, dass gegenüber dem konventionellen Golf Diesel bis 50% Kraftstoff gespart werden kann. Die Verminderung der Schadstoffemissionen liegt dabei zwischen 40 und 60%.

VW Pressedienst