



BOSCH

Daniel Betsch rollt langsam und nahezu lautlos aus dem Unternehmens-Parkhaus. Seinen Z3 hat der 35-Jährige nämlich auf ausschließlich elektrischen Antrieb umgerüstet



An einem BMW Z3 Roadster gibt es eigentlich nichts zu tüfteln. Es sei denn, er soll keinen Vier- oder Sechszylinder, sondern einen Elektromotor unter der Haube haben. Eine im wahrsten Sinne des Wortes spannende Geschichte

STÄNDIG UNTER STROM

TEXT: FRANK-ALBERT ILLG

FOTOS: BETSCH, ILLG

Spätestens nach zehn Minuten im Gespräch mit ihm wird deutlich: Der Mann ist geladen, und zwar im positiven Sinne. Schon als Teenager hat Daniel Betsch sich für Alternativen zu Verbrennungsmotoren in Fahrzeugen interessiert, hat sich einen Elektroroller gekauft und war fasziniert von leisen, durchzugstarken Antrieben.

Bei Bosch hatte er eine Ausbildung zum Mechatroniker absolviert. Nach dem Roller folgte ein „City-Stromer“, ein 1985er VW Golf II. Bei diesem ersetzte er wie beim Elektroroller die Blei-Akkus durch Lithium-Ionen-Akkus. 2014 wurde der Golf komplett neu aufgebaut, mit neuem Antrieb und nun 55 kWh Batteriekapazität, welche eine echte Reichweite von 300 Kilometern ermöglichte. Mit einem 22-kW-Ladegerät war er schon damals quer durch die Bundesrepublik und in der Schweiz unterwegs.

Anfang 2011 machte er eine Probefahrt in einem Tesla Roadster, dessen lautloses Dahingleiten ihn faszinierte. Doch preislich war für ihn ein solches Auto schlichtweg unerschwinglich, selbst heute werden für gut erhaltene Exemplare noch mindestens 50 000 Euro aufgerufen.

So elektrisierte der Gedanke, ein schönes Cabrio in lautlos wäre doch ideal, wenn man nur den Wind und die Reifengeräusche hört. Dann ergab

sich die Gelegenheit, einen 1998er BMW Z3 mit bereits rund 237 000 Kilometern auf dem Buckel günstig zu erwerben. Zunächst fuhr er damit eine Weile mit dessen 1,8-Liter-Vierzylinder vorn unter der Haube herum, während die Pläne reiften, diesen durch einen Elektromotor zu ersetzen. Da für die nächste Hauptuntersuchung 2014 sowieso einiges an Fahrwerk und Motor erneuert hätte werden müssen, war das der passende Augenblick, das Projekt zu starten. „Stunde null“, wie er sagt.

Um so ein Projekt zu realisieren, ist es wichtig, das Vorhaben im Vorfeld mit dem TÜV zu besprechen und ein entsprechendes Konzept vorzulegen, welches einschlägigen Normen, wie zum Beispiel ECE-R100 und VDE0100 entspricht. Zum Beispiel, dass alle Leitungen über 60 Volt Gleichspannung orange gekennzeichnet sein müssen. Da sich durch den anderen Antrieb und die Batteriekisten die Gewichtsverteilung auf den Achsen änderte, musste berechnet werden, wie die Gewichte zu verteilen sind, um die Achslasten nicht zu überschreiten.

Auch während dem Umbau wurden immer wieder Skizzen und Fotos von geplanten Änderungen für den Sachverständigen gemacht, bevor man weitere Schritte einleitete. Der Vierzylinder-Reihenmotor (BMW-

Code M43B18) war durch einen flüssigkeitsgekühlten Asynchron-Traktionsmotor von Siemens (Typ 1PV5135-4WS14) ausgetauscht worden. Mit 88 Kilogramm Gewicht war er kaum leichter, dafür passte er mit seinen Abmessungen (L x B x H 42,5 x 24,5 x 24,5 cm) fast in eine Schachtel für Basketballschuhe der Größe 48. Siemens gab 67 kW (umgerechnet rund 91 PS) an (bei Betrieb mit 300 Volt Gleichstrom) und eine Höchstdrehzahl von 10 000/min. Daniel Betsch aber fährt mit 555 Volt Nennspannung an einem 700-Volt-Inverter (Wechselrichter) von Unitek, um die „Eckdrehzahl“ des Motors, bei dem das Drehmoment abfällt, zu verschieben.

Da die maximale Leistung bei dieser Motor-Inverter-Kombination zwischen 6000 und 9000 Umdrehungen pro Minute liegt, wollte er nicht das serienmäßige Getriebe des 1,8-Liter-Z3, sondern das HMW-Getriebe vom 2,8l Z3 verwenden, um eine kürzere Übersetzung zu erzielen. Anders als beim VW Golf, in dessen Getriebe auch das Differential integriert ist, sind diese Gruppen bei BMW getrennt. Ein hubraumschwacher Motor, wie etwa der 1,8 Liter-Vierzylinder von BMW, hat ein Differential mit kurzer Übersetzung und passender



Für die maximal mögliche Größe des vorderen Batteriekastens wurde jeder halbe noch verfügbare Zentimeter im Motorraum genutzt. Vorn links der Behälter (mit Schraubdeckel) für rund anderthalb Liter Kraftstoff, mit der im Winter die Standheizung betrieben wird

langer Getriebeübersetzung. Bei hubraumstarken Motoren ist das umgekehrt, und so besorgte sich Daniel Betsch in München bei einem Gebrauchtteile-Händler ein ursprünglich an einen 2,8-Liter-Sechszylindermotor von BMW angeflanshtes Getriebe.

Der Händler hatte den dazugehörigen Motor ebenfalls noch und auf einer Palette gelagert. Betsch war mit Messvorrichtung samt Messschieber angereist und montierte dessen Kupplung ab, um heraus zu finden, wie weit das hintere Ende der Kurbelwelle mit seiner Verzahnung aus dem Motorblock herausragt. Denn dieses Maß war ja enorm wichtig für die Andockung an den Elektromotor und das anzufertigende und abschließend nitriergehärtete Zwischenstück. Im Dezember 2014 war die mechanische Adaptierung fertig, spricht die Verei-

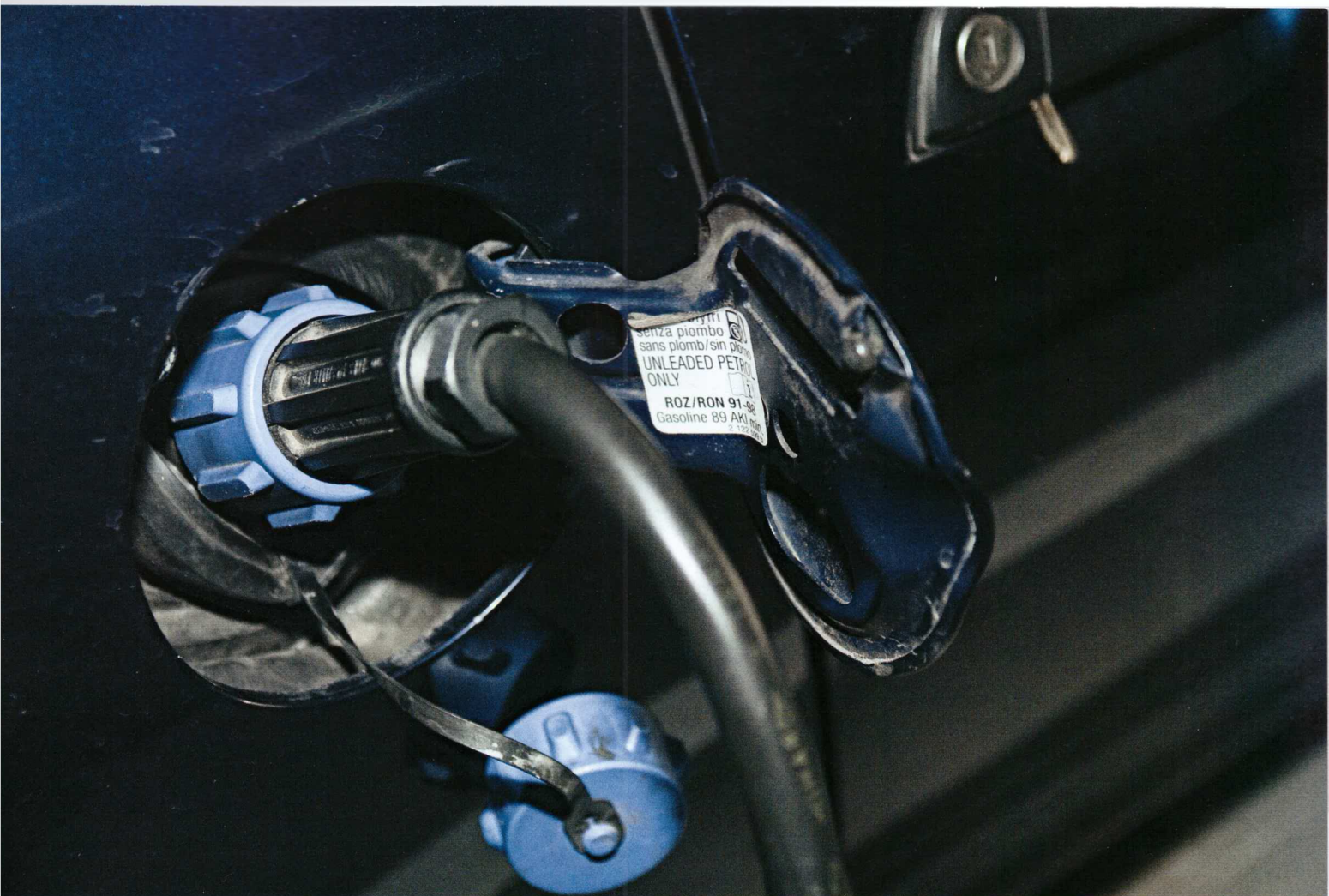
nigung von Elektromotor, Kupplung und Getriebe. Für die Verbindung zwischen Getriebe und Kardanwelle war eigens eine speziell angefertigte Hardy-Scheibe und Schaltstange notwendig, da ja in Serie das 2,8-Liter-Getriebe nicht in den 1,8-Liter-Antriebsstrang passen soll.

Vom Gewicht her glichen sich der Siemens-Elektromotor und der M43-Reihenvierzylinder in etwa aus. Aber da waren ja noch die Energie-Speicher, die das Fahrzeuggewicht in die Höhe treiben sollten. Betsch fand heraus, dass ein Z3 mit Dreiliter-Sechszylindermotor samt Automatik-Getriebe (und deshalb 180 Kilogramm schwerer) ab Werk ein entsprechendes (unter anderem mit stärkeren Federn) abgeändertes und dem Gewicht des Fahrzeugs angepasstes Fahrwerk hatte. Diese Modifikation würde der Sachverständige genehmigen, um dem Elektro-Z3 die Betriebserlaubnis zu erteilen – natür-

lich vorausgesetzt, der elektrisierte Z3 würde nicht schwerer werden als der Dreiliter-Kollege.

Betsch besorgte sich die notwendigen Teile, und wenn er schon 'mal Vorder- und Hinterachse (um den überflüssig gewordenen Kraftstoffbehälter abnehmen zu können) ausgebaut hatte, investierte er gleich in neue Querlenker und Tonnenlager, Stabilisatoren und rundum neue Bremschläuche. Neue Stoßdämpfer waren ohnehin fällig.

Nun kamen in dieser Geschichte allmählich die Fahrzeug Nebenaggregate, Fahrzeug-Elektrik und -Elektronik ins Spiel und machten es spannend, diese anzusteuern. Als Beispiel sei einmal das Thema Bremskraftverstärkung erwähnt, die nun elektrisch zu erfolgen hatte, wie auch der Antrieb der hydraulischen Lenkhilfe (Servolenkung). Die notwendige elektrohydraulische Pumpe stammt von einem Opel Astra G. Den für



Früher wurde an dieser Stelle der Rüssel der Zapfpistole rein gesteckt und der Tank mit unverbleitem Superkraftstoff aufgefüllt. Beim Z3 von Daniel Betsch kommt während seiner Arbeitszeit oder über Nacht zuhause einfach ein Stecker drauf

den Bremskraftverstärker notwendigen Unterdruck (ursprünglich von der Ansaugbrücke des 1,8-Liter-Vierzylinders erzeugt) liefert nun eine elektrische Unterdruckpumpe, wie sie auch im Tesla Roadster verwendet wird. Das benötigte Vakuum-Reservoir samt Anschlüssen fertigte Daniel Betsch selbst, ebenso die vordere Halterung für den Elektromotor. Da er zu diesem Zeitpunkt noch keine Fräsmaschine hatte, wurde die Stahlplatte der Halterung mit einer Stichsäge ausgesägt. Zum Heizen im Winter sorgt eine Standheizung mit 1,6-Liter-Tank für freie Scheiben und Wärme. Alternativ wäre eine Wärmepumpe sinnvoll, wie von anderen OEMs teils serienmäßig eingesetzt.

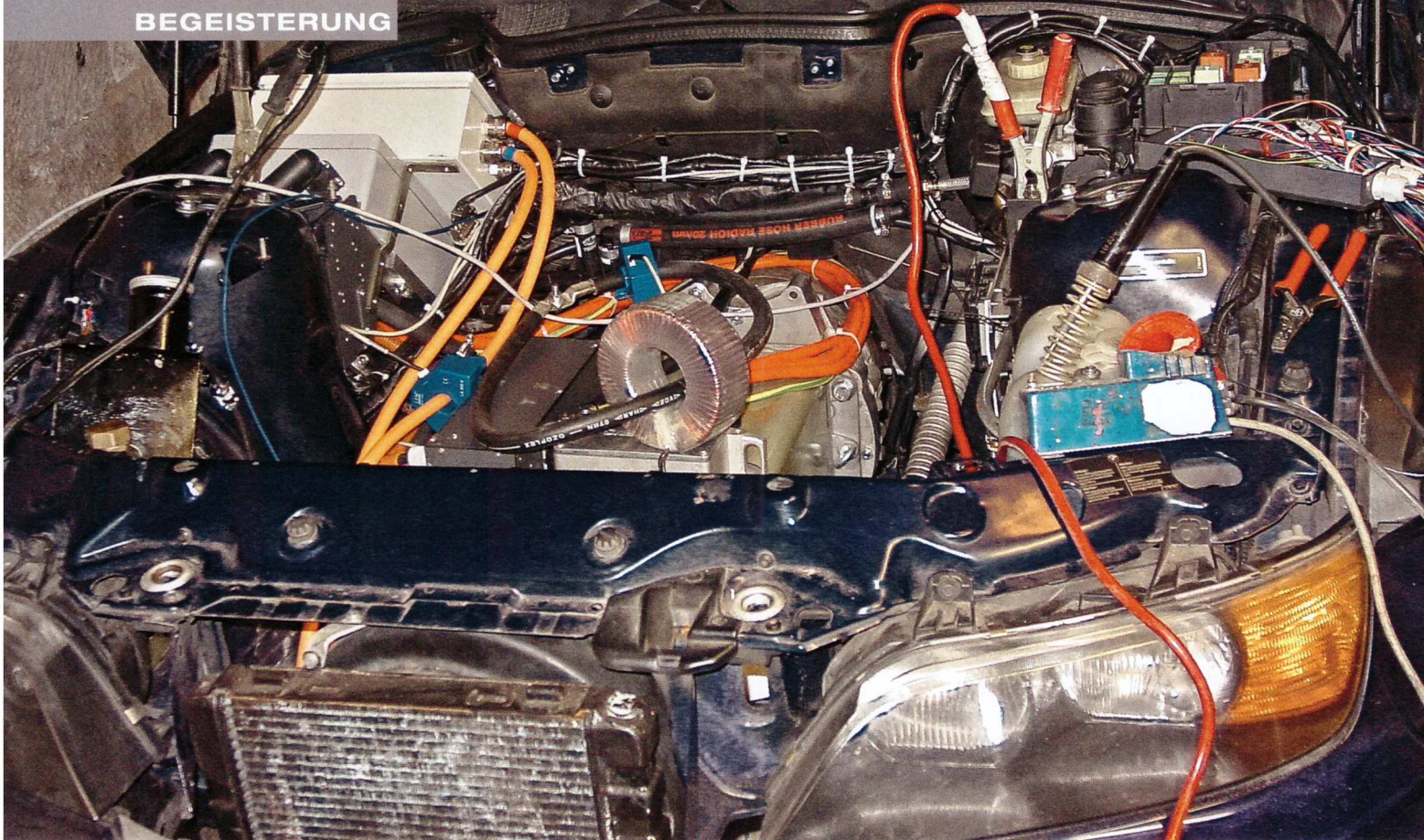
Die Instrumente im Cockpit mussten natürlich an die veränderten Bedingungen angepasst werden. „Das Fahrzeug kommuniziert unter anderem per Can-BUS zwischen Kombi-Instrument, dem Motor-

steuergerät und dem ABS“, erklärt Daniel Betsch. Es gab jedoch auch andere Wege in Form von „Schaltungen mit Operationsverstärkern, die er sich zur Anpassung lötete. Letztendlich sind es immer noch physikalische Messumformer in Form von veränderten Widerständen etwa für Kühlflüssigkeitstemperatur und Tankinhalt, die dem Kombiinstrument und dem Motorsteuergerät – und somit der Software – die realen Messwerte übermitteln.“ Betsch besorgte sich die Anschlussbelegung des Z3-Motorkabelbaums und machte sich an die Arbeit.

Nun folgten Messungen an den Original-Sensoren, -Steuergeräten und dem Cockpit, um deren Kenngrößen zu ermitteln. Nur ein Beispiel: Serienmäßig war jenes für die Anzeige der Betriebstemperatur der Kühlflüssigkeit ja auf weit höhere Werte ausgelegt als nun er-

forderlich. Betsch wollte maximal 60 Grad Celsius angezeigt haben, wobei die Anzeigenadel freilich nicht einmal die Skalenmitte erreicht hätte. Zunächst schloss er ein Potentiometer mit dem Widerstandswert des Kühlflüssigkeit-Temperatursensors an. Kalt lagen 2,5 und heiß 0,25 Volt an. Doch bis er die Messwerte erhalten sollte, musste er erst einmal herausfinden, dass im Falle des BMW Kombiinstrumentes dazu ein Signal vom Drehzahlmesser notwendig war. Um auch den Strom des Elektromotors anzuzeigen, verwendete er ein Cockpit aus dem E36 mit Momentanverbrauchsanzeige. Diese Anzeige wartet auf das Signal von Tacho und Drehzahl, bis sie sich rührt! Nun zeigt diese Null bis 300 Ampere, statt Null bis 30 Liter.

Nach tagelangem Messen galt es, Schaltungen zu entwickeln und zu löten, um die Anzeigen im Kombi-Instrument an die künftigen Signale



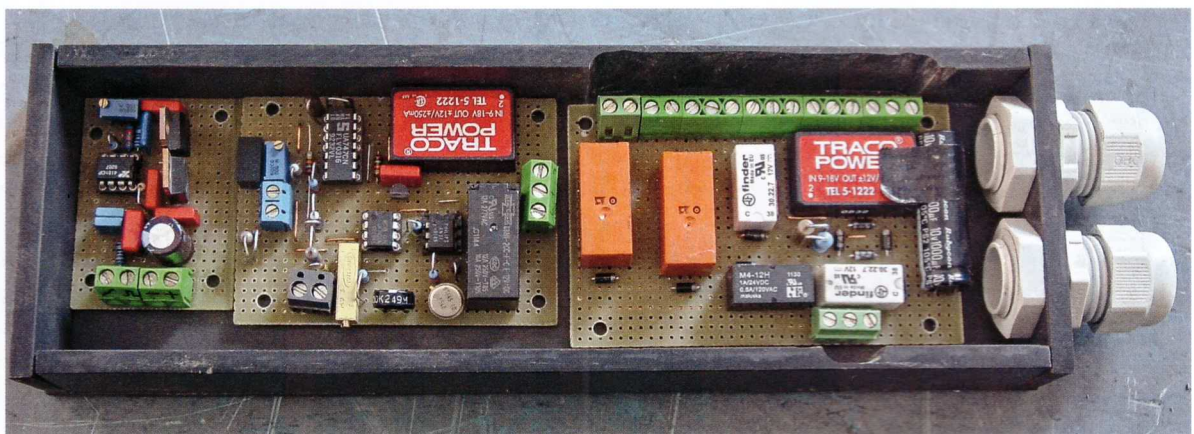
Ein Foto während der Umbauphase. Der wassergekühlte Elektromotor (deshalb der kleine Kühler vorn), Kupplung und Getriebe sind bereits installiert. Doch dann waren da noch schier unendlich viele Messungen fällig, „Tuning“ eben, aber in diesem Fall elektrisch

anzupassen. Im firmeninternen Bosch-Blog hat er den Z3-Umbau mit vielen Fotos und detaillierter Beschreibung dokumentiert. Zu einem Foto eines noch geöffneten Eigenbausteuergerätes liest sich das so: „Links der Drehzahl-Spannungs-Frequenzwandler. Aus meinen Inverter kommt ein Null bis 10 Volt Drehzahl-Istwert-Signal, das ein „4151“ in eine proportionale Frequenz umwandelt.

In der Mitte die Schaltung zur Temperaturmessung. An der misst ein PT100-Anlegefühler die Inverter-Temperatur, wandelt über einen Operationsverstärker ‚747‘ einmal an das gewünschte Signal im Cockpit und gibt es dann noch an einen ‚741‘ weiter, der bei einer einstellbaren Schwelle das Gebläse des Kühlflüssigkeits-Kreislaufs zuschaltet.“ Es gäbe weit mehr über solch span-

nende Herausforderungen von Daniel Betsch zu berichten, aber wir wollen Z3-Fahrer mit einem Vier- oder Sechszylindermotor unter der Haube ja nicht völlig überfordern.

Für das Bordnetz brauchte Betsch noch eine Zwölf-Volt-Batterie. Platz im Kofferraum war keiner mehr, aber (von vorn betrachtet) rechts unten im Motorraum könnte er eine unterbringen, falls diese „die Form einer



Blick ins Gehäuseinnere und der Schaltungen darin, die sich Betsch für die Anzeige der Instrumente im Armaturenbrett selbst bauen musste. „Schokoladentafel“ taufte er das fertige Bauteil, ein weiteres, etwas größeres Exemplar „Zigarrenkiste“



Daniel Betsch im Bosch-Parkhaus, wo sein Z3 während der Arbeit an der Steckdose (hinten rechts) hängt. Ehrenamtlich ist er als erster Vorstand des Vereins „Electrify BW“ aktiv, welcher sich vor allem auf Elektromobilität konzentriert

Stange Zigaretten habe“. Wieder etwas Fachchinesisch: Betsch wählte achtmal 14,4V/2,6Ah-Zellen und packte sie zusammen. „LiFePo4 wären von der Spannungslage her besser gewesen, die Lithium-Mangan in diesem Fall passen eher, bei sieben Zellen mit insgesamt 24 Volt, für 25,2 Volt Nennspannung, und werden nun zwischen Nennspannung und unterem Limit betrieben. Der DC/DC des Fahrzeugs lädt mit 14 Volt, das Zusatz-Netzladegerät (zwölf Volt) mit 14,4 Volt.“

Zwei Batteriekisten, (eine 80, eine 120 Kilogramm schwer), hat Daniel Betsch vorn im Fahrzeug angeordnet, die dritte Kiste mit 100 Kilogramm Gewicht im Heck unterhalb des Kofferraumbodens. Die Speicherkapazität reicht, je nach Fahrweise, bis zu rund 160 Kilometern. Mit anderen handelsüblichen Batteriezellen, mit doppelter Energiedichte (3,0 Amperestunden, statt 1,3) wären auch 300 Kilometer Reichweite möglich. „Wie bei einem Ben-

ziner ist dieser auch vom Tritt auf das Fahrpedal abhängig“, so Daniel Betsch. Die Kupplung braucht man nur zum Gangwechseln bei höheren Drehzahlen, jedoch nicht zum Anfahren, weshalb auch nicht mit der Kupplung gespielt werden muss.

„Da wundert sich gelegentlich einer, wenn er auf den ersten Metern an der Ampel mit meinem Z3 nicht mithalten kann“, grinst Betsch. Im innerstädtischen Verkehr fährt er fast immer im zweiten Gang, der bei maximal 9000/min des Elektromotors bis etwa Tempo 80 reicht. Auf der Autobahn genügen 160 km/h (im dritten Gang) „allein schon wegen der Windgeräusche bei geöffnetem Verdeck“, wie Betsch hinzufügt. Die Gänge vier und fünf kann er sich sparen, da die maximale Leistung ab 6000 Umdrehungen zur Verfügung steht.

Im September 2015 fuhr er die ersten Meter in seinem mit ausschließlich elektrischer Energie angetriebenem BMW Z3. Im November jenes Jahres bekam er für seinen Umbau

den Segen des amtlich anerkannten Sachverständigen beim TÜV. Obwohl sein BMW Z3 seit November 2015 „elektrisch“ als Antriebsart im Kfz-Schein stehen hat, hat er noch kein „E-Kennzeichen“. Grund dafür ist die Zahlenfolge „01“ hinter dem Großbuchstaben „J“ in der Fahrgestellnummer. Bei jüngeren Modellen steht an dieser Stelle stattdessen „M1“ und nur damit könnte, laut Zulassungsstelle Heilbronn, ein BMW als elektrisch angetriebenes Fahrzeug eingestuft werden.

Rund 10 000 Euro hat Daniel Betsch in seinen Elektro-Z3 gesteckt. Er wohnt in Güglingen, einer Stadt im westlichen Teil des Landkreises Heilbronn und vor allem für seinen Weinbau bekannt. Zu seinem Arbeitsplatz bei Bosch im Stuttgarter Stadtteil Feuerbach sind es täglich knapp 80 Kilometer hin und zurück. Gemessen an den Energiekosten, die das Aufladen seines Z3 kostet, fährt er etwa um die Hälfte billiger als im Benziner-Modell mit 1,8-Liter-Vierzylindermaschine. ●