c't

E-AUTOS

Richtig konfigurieren · kaufen · laden

Fahrberichte und Tests

BMW i4: Der rasante Kurvenkönig
VW ID.5: Baustelle Software abgearbeitet?
Tesla Model Y: Hoffnungsträger mit Schwächen

Was beim Kauf wichtig ist

Leitfaden zum Kauf: Warten oder nicht?
Kostenvergleich: Strom vs. Sprit
E-Auto-Förderung: Kauf, Steuer, THG-Quote

Ratgeber: Optimales Laden

Wie die Batterie besonders lange hält
Das Elektroauto als Hausspeicher verwenden
Überschussladen – Strom aus Photovoltaik nutzen

Was aktuelle E-Autos leisten

Wettrennen Tesla gegen Kia · E-Auto zieht E-Wohnwagen
Dacia Spring – die Kunst des Weglassens

€ 14,90
CH CHF 27.90
AT € 16,40
LUX € 17,10

4 196982 314900 04

c't <webdev>

8. bis 9. November in Köln und im Live-Stream

Das Update für Frontend Devs

Endlich wieder in Präsenz!

Die Konferenz bietet eine gute Gelegenheit für die Frontend-Gemeinschaft, sich zu treffen, auszutauschen und vor allem wieder mit vielen großartigen Talks Einblicke zur Webentwicklung, Best Practices und Techniktrends zu erhalten. Freue dich auf zwei Tage voller Wissen, Einblicke, Spaß und vor allem auf eine großartige Community von Entwickler:innen.

Sponsoren:

structr UXMA

gi[s] VOLKSWAGEN GROUP IT SOLUTIONS

Sicher dir jetzt dein Ticket zum Frühbucher-Preis unter ctwebdev.de

Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser,

es ist gewissermaßen ein Klassiker der Moderne, und er ist nicht totzukriegen: Das Elektroauto sei derart teuer, dass es kaum einer bezahlen kann. Wenn Sie dieses Heft in den Händen halten, sind die realen Verhältnisse auf den Automarkt allerdings vollkommen aus den Fugen. Ein ähnlich kräftiger VW Golf kostet mehr als ein VW ID.3, wobei letzterer beim Kauf momentan noch mit reichlich Subventionen bedacht wird. Dazu, das zeigt der „Sprit vs. Strom“-Vergleich auf Seite 22, liegen die Gesamtkosten eines Elektroautos eigentlich immer unter jenen vergleichbarer Verbrenner. Das Angebot im E-Segment zielt zwar immer noch vorrangig auf die besonders solventen Kunden, aber nicht mehr nur. Im Testcenter dieses Hefts ab Seite 36 stellen wir Ihnen Modelle für jeden Geldbeutel vor und zeigen, was sie tatsächlich leisten.

Dabei wird klar, dass Elektroautos nicht nur mit finanziellen Vorteilen locken. Sie fahren sich im Alltag einfach angenehmer, weil sie leiser und spurtstärker sind. Mit der richtigen Modellauswahl verlieren inzwischen auch Langstrecken ihren Schrecken. Lassen Sie sich nichts von stundenlangen Ladezeiten erzählen: Das ist mit einem modernen E-Auto vorbei. Perspektivisch erst recht, denn auch die Infrastruktur ist inzwischen besser als ihr desaströser Ruf.

Der Blick auf die Technik hilft bei der Auswahl des richtigen Modells. Besonders im Fokus haben wir ab Seite 78 die heimische Infrastruktur, denn aktuell laden die meisten E-Auto-Fahrer zu Hause. Von denen, die umgestiegen sind, will kaum einer wieder zurück zum Verbrenner (siehe Seite 6). Wenig verwunderlich, denn im direkten Vergleich wird klar, warum der E-Antrieb den Verbrenner schneller in Rente schicken wird als manch einer meint.

Martin Franz

(Stellv. Chefredakteur heise Autos)

Inhalt

KAUFBERATUNG

Dass E-Autos viel Fahrspaß bieten, hat sich längst herumgesprochen. Viele liebäugeln damit, den Zapfhahn gegen den E-Stecker zu tauschen. Aber ist jetzt tatsächlich der Moment für den Wechsel gekommen? Und was ist dabei wichtig?

6 Warten oder starten?
10 Was beim E-Auto-Kauf wichtig ist
18 Was Sie vor dem Kauf noch wissen sollten
22 Strom vs. Sprit: Wer fährt günstiger?
32 Weniger CO_2 = Geld für jedes E-Auto

MARKTÜBERSICHT

Wie bei den Verbrennern auch ist E-Auto nicht gleich E-Auto. Angesichts der inzwischen großen Vielfalt lohnt es sich genau zu überlegen, was Sie eigentlich brauchen, damit Sie das Modell finden, das am besten zu Ihnen passt.

36 Das passende E-Auto finden
42 Wettrennen Kia Picanto gegen Tesla Model 3
48 Tesla Model Y zeigt nicht nur Stärken
54 BMW i4 eDrive40: Starke Basis
60 Dacia Spring – die Kunst des Weglassens
66 VW ID.5 GTX: Nur formal sportiv
72 Praxistest: Kia EV6 zieht Wohnwagen

TECHNIKWISSEN

Wer zum E-Auto wechselt, muss logischerweise auch laden statt tanken. Weniger offensichtlich ist, worauf man beim Umgang mit dem Akku achten muss. Wer einige Details der Technik verstanden hat, spart Geld und macht sich das Leben leichter.

78 Den Akku richtig nutzen und laden
84 Ratgeber fürs Laden zu Hause
90 Ratgeber unterwegs laden
98 E-Autos als privaten Pufferspeicher nutzen
102 Bauvorschlag: Mit Solarstrom laden
110 Mit Solarstrom laden: die Sparversion

ZUM HEFT

3 Editorial
89 Impressum

Bild: Andreas Martini / iStock.com / 3alexd

E-Auto statt Verbrenner 6
Was beim E-Auto-Kauf wichtig ist 10
FAQ Elektroautos 18
Strom vs. Sprit: Wer fährt günstiger? 22
CO_2-Handel bringt Geld für jedes E-Auto 32

Warten oder starten?

Sollten Sie ein Elektroauto kaufen? Ja, am besten noch heute! Für diese optimistische Sicht brauchen Sie gar nicht weit in die Zukunft zu blicken.

Von **Florian Pillau**

Entscheidungen wie den Wechsel vom Verbrenner zum Elektroauto gut zu überdenken ist natürlich richtig, gerade weil durch die aktuelle Energiekrise so viel in Bewegung gekommen ist und bleiben wird. Dass vieles nun überstürzt passieren muss, liegt an unserer jahrzehntelangen fahrlässigen Abhängigkeit von fossiler Energie aus politischer Bequemlichkeit. Probleme, über die wir heute lachen könnten, hätten wir beim Ausbau der Stromproduktion aus sich erneuernden Energien nicht so lange prokrastiniert. Weil wir es heute nachholen müssen, gerät vieles stärker ins Schwanken, als wir uns wünschten. Ein Argument, deshalb mit dem E-Auto zuwarten, ist das aber gerade nicht. Im Gegenteil.

Nur mit einer Elektrifizierung möglichst vieler Bereiche bekommen wir eine Chance, die Klimafolgen zu mildern und unseren Lebensstil künftig nicht allzu sehr einschränken zu müssen. Elektrische Antriebe sind nun mal um ganze Größenordnungen effizienter als jede direkte Energieumsetzung aus Kohlenwasserstoffen. Beim Auto sprechen wir von 90 Prozent Wirkungsgrad gegenüber 15 Prozent, bezogen auf die in der Batterie respektive dem Tank mitgeführte Energie.

Zudem bietet eine umfassende Elektrifizierung die Möglichkeit, immer mehr umweltschonende Energie einzusetzen: Ein Elektroauto fährt also mit der Zeit immer weniger umweltbelastend, wenn der Anteil an Erneuerbaren an der Stromproduktion steigt. Und das tut er: In den vergangenen Jahren erreichte der Ökostromanteil bereits knapp die Hälfte an der Gesamterzeugung.

Die Industrie hat sich entschieden

Die Entscheidung fürs Elektroauto ist längst gefallen. Auch bei den Autoherstellern. Sie machen einfach das bessere Geschäft, wenn sie auf den in den vergangenen 40 Jahren extrem kompliziert gewordenen Verbrennungsmotor verzichten. Dessen Weiterentwicklung und Produktion kostet Geld, das die Industrie längst in die Schaffung immer besserer Stromspeicher investiert, mit bereits sicht- und achtbarem Erfolg.

Die politische Entscheidung, erst ab 2035 keine Verbrennungsmotoren mehr anbieten zu dürfen, ist eher eine Belastung für die Autokonzerne als eine Erleichterung. Sie haben kein Interesse daran, die aus ihrer Sicht obsolet gewordene Verbrennerproduktion noch lange parallel weiterzuführen. Sobald sie Elektroautos in den erforder-

lichen Mengen produzieren können, werden sie ihre Kunden dazu bringen, lieber diese zu kaufen.

Diskussionen über E-Fuels sind Phantomdebatten: Selbstverständlich wird es noch geraume Zeit Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren geben und ganz klar werden diese dereinst auch mit E-Fuels fahren können. Dass dieser synthetische Sprit jemals zu bezahlbaren Preisen und in ausreichender Menge zur Verfügung stehen wird, ist jedoch keineswegs so sicher, wie es manche in der aktuellen Debatte argumentativ verkaufen wollen. Auf die generelle Entscheidung für einen privaten Elektrowagen statt eines Verbrenners hat dies keinen Einfluss.

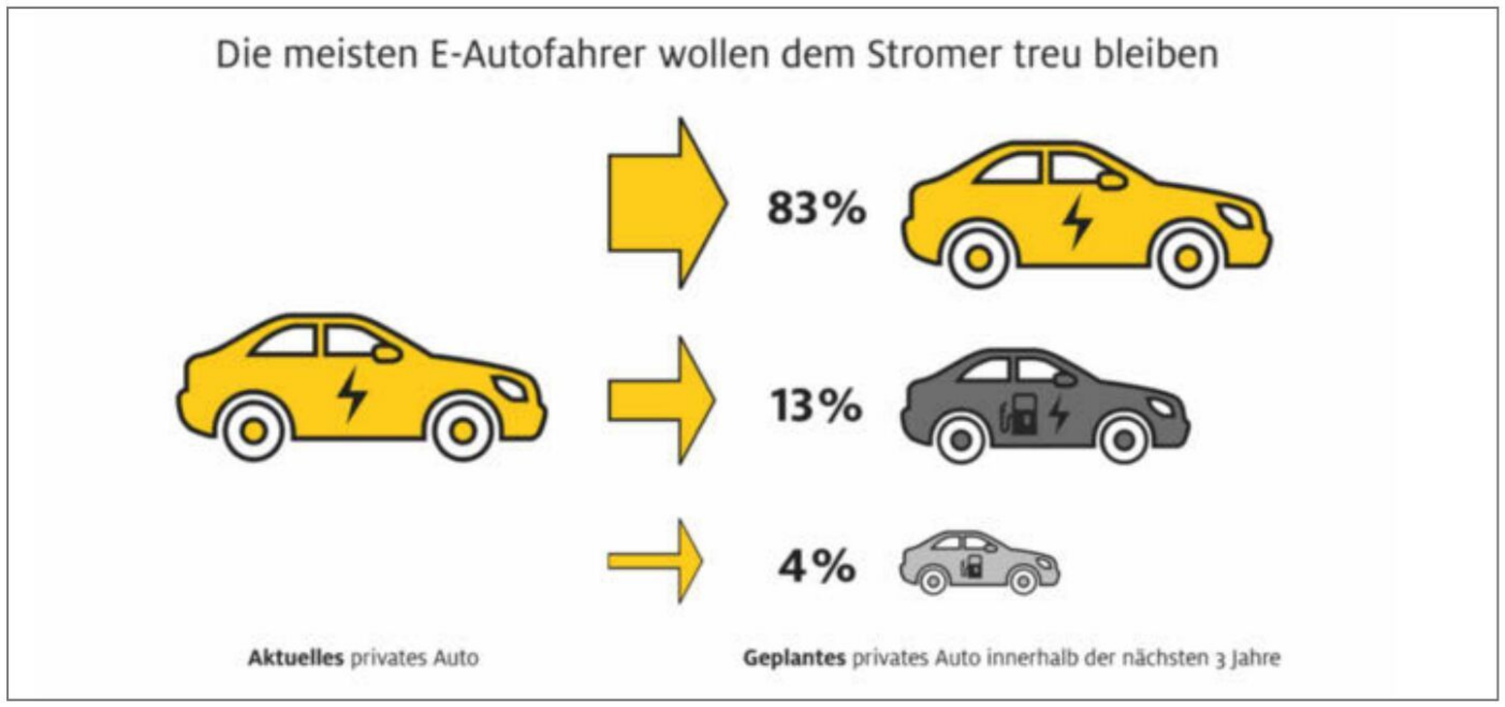


Bild: ADAC SE

Laut einer Umfrage des ADAC will kaum jemand, der ein E-Auto fährt, wieder zum Verbrenner zurück.

Alltagstaugliche Technik

Bei der Frage nach einer funktionierenden Ladeinfrastruktur dürfen Sie davon ausgehen, dass unsere Regierungen beim Ausbau mithelfen. Das fällt unter alternativlose Konjunkturförderung Deutschlands wichtigster Industrie (und einer der bedeutendsten Europas). Die Umstellung vom Tanken zum Laden wird einem laufend einfacher gemacht. Reichweitenangst ist aktuell schon kein Thema mehr. Angesichts immer höherer möglicher Leistungen nähert sich das Schnellladen dem Tanken, auch das Chaos mit den Ladekarten ist fast Geschichte (siehe Seite 90). Sie brauchen sich den Kopf also gar nicht allzu sehr zu zerbrechen. Sicher können die Strompreise die Spritpreise mal übersteigen, doch wie lange noch? Je höher der Anteil an Sonnen- und Windstrom ist, desto kleiner werden die Erzeugungskosten. Spätestens, wenn die Umweltbelastung immer stärker eingepreist wird, zieht der Spritpreis davon.

Bleiben noch Überlegungen wie: „Kann das Auto über Nacht an eine Steckdose oder eine Wallbox?“ Oder: „Was ist, wenn ich reisen möchte?“ Den Ausschlag kann die persönliche Situation geben, etwa durch besondere Bedingungen am Wohnort oder im Beruf. Doch sollten Sie sich nicht von Klischees leiten lassen.

So müssen Sie nicht zwingend ein Eigenheim haben, um E-Auto zu fahren. Zwar laden knapp 90 Prozent der E-Autofahrer daheim über eine Wallbox, aber keineswegs alle. Für die meisten Fahrprofile ist das Laden jede Nacht gar nicht nötig. Laut der Studie „Mobilität in Deutschland“ liegt die durchschnittliche Fahrleistung pro Tag bei knapp 40 Kilometer – bei Menschen, die auf dem Land wohnen. Städter fahren weniger. Mit einem modernen Elektroauto würde es also ausreichen, einmal in der Woche nachzuladen. Je nach Ihrem Fahrprofil können Sie hierfür auch als Mieter eine Lösung finden, die sich bequem in Ihren Alltag einbauen lässt (siehe Seite 84). Lediglich für Menschen, die häufig weite Strecken unter Zeitdruck zurücklegen müssen, zieht das einzige Argument für den Verbrenner, nämlich schnell viel Reichweite ins Auto zu bekommen.

Und wenn Sie mal in einem Land reisen wollen, dessen Ladeinfrastruktur noch etwas löcherig ist? Nehmen Sie sich einen Mietwagen. Teuer? Ja, aber nicht aufs Ganze gesehen: Das Geld für solchen Luxus sparen Sie über die Zeit herein, weil die Technik des Elektroautos unkomplizierter ist und damit die Wartungs- und Reparaturkosten deutlich sinken (siehe Seite 22). Das macht auch deutlich, dass Plug-in-Hybridautos eine überflüssige Scheinlösung sind mit den höchsten dauerhaften Kosten für ihre Halter.

Zufriedene Umsteiger

Die Erfahrung so gut wie aller Umsteiger zeigt, dass die meisten Bedenken, vielleicht sogar schlaflose Nächte vollkommen unnötig waren. Praktisch niemand von ihnen möchte mehr zurück zum Fahren mit Verbrennungsmotor, wie auch eine Umfrage des ADAC im Sommer ergab. Die meisten wären schon früher umgestiegen, wenn sie gewusst hätten, wie groß die Vorteile sind. Ihre Erfahrungsberichte legen nah, dass es sehr viele potenzielle Wechsler gibt, die weiter mit den Nachteilen ihres konventionell angetriebenen Autos leben, weil sie sich schlicht noch keine Gedanken gemacht haben. Die große Anzahl an zufriedenen Umsteigern in den vergangenen Jahren zeigt auch: Das Elektroauto ist bereits ein Massenphänomen – eins zu fahren ist jedenfalls längst keine Pionierleistung mehr.

Und nach all den sachlichen Überlegungen zu Kosten und Technik, auf die wir in diesem Heft ausführlicher eingehen, noch ein ganz anderes Argument, das bei unseren Modellvorstellungen ab Seite 36 auch immer wieder eine Rolle spielt: Das lautlose Fahren und das befreite Beschleunigen in einem Elektroauto macht einfach einen Heidenspaß! Sagen Sie es ruhig weiter! (mfz) c't

DIGITAL DESIGN DAY

UX.IxD.DD – gemeinsam.gut.gestalten

Online-Konferenz – 8. November 2022

Gemeinsam gut gestalten ist das Thema des ersten Digital Design Day.

Unser Event bietet:

- **Inspiration** durch herausragende Beispiele für gutes Design durch gute Zusammenarbeit
- Weiterbildung zu **methodischen und praktischen Aspekten** von ganzheitlicher Gestaltung
- **Fundierte Perspektiven** der Disziplinen User Experience, Interaction Design und Digital Design auf gute Zusammenarbeit

Für Produkt- und Servicemanager, Usability & User Experience Professionals/User Researcher, Interaction-, Service- und Digital Designer, Requirements Engineers, Produktverantwortliche und Product Owner.

www.digital-design-day.de

Jetzt Tickets sichern!

Workshop am 9.11.: »Empathie-Tools und ihr Effekt auf den Designprozess – Ein Designexperiment mit und ohne Nutzerempathie.«

Veranstalter

iX Magazin für professionelle Informationstechnik

dpunkt.verlag

Kooperationspartner

GERMAN UPA
Berufsverband der Deutschen Usability und User Experience Professionals

VDID
VERBAND DEUTSCHER INDUSTRIE DESIGNER

IREB International Requirements Engineering Board

Bild: Tom Radetzki on Unsplash

Was beim E-Auto-Kauf wichtig ist

Das passende E-Auto zu finden ist kaum komplizierter als einen Verbrenner zu konfigurieren. Man muss bloß auf andere Dinge achten – und zwar auf solche, die die Händler gerne verschweigen und die wir hier benennen und bewerten.

Von **Sven Hansen und Stefan Porteck**

Reinsetzen, losfahren, Unabhängigkeit und Freiheit genießen: Autofahren ist für viele mehr als der nüchterne Transfer von A nach B. Doch die Emotionen, die man mit Autos verbindet, haben sich nicht erst mit dem schwindelerregenden Preisanstieg an den Zapfsäulen gewandelt. Ob Rekordsommer, Jahrhunderthochwasser oder zunehmender Lärm, Feinstaub und Gestank in den Städten: Die vergangenen Jahre zeigen, dass Pkw mit Verbrennungsmotoren Auslaufmodelle sind.

Mit E-Autos gibt es schon seit Jahren eine umweltfreundlichere Alternative. Und wohl jeder, der mal in den Abendstunden mit einem E-Auto lautlos und ohne CO_2-Ausstoß durch eine spätsommerliche Landschaft gesegelt ist und dabei das Vogelgezwitscher hören konnte, will eigentlich keinen Verbrenner mehr fahren. Hinzu kommt, dass Autos mit elektrischem Antrieb auch in Sachen Fahrspaß die Nase vorn haben: Sie wandeln Energie deutlich effizienter und ohne Herumgerühre im Getriebe in Bewegung um als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren.

E-Auto-Angst

Doch die Angst vor dem Neuen hält sich bei der Mehrheit der Bevölkerung hartnäckig. Viele Gegenargumente trafen tatsächlich früher zu, die meisten sind heute aber überholt. Wer jetzt auf E-Mobilität umsteigen will, trifft oft auf andere Hürden, von denen in keinem Verkaufsraum oder Prospekt die Rede war – und wird zum Beispiel im nächsten Winter sprichwörtlich eiskalt erwischt. Wir zeigen deshalb, wie man damit umgeht und worauf man beim Kauf achten muss.

Viele Fahrer glauben, dass sie neben den Fahrkosten und dem Steuervorteil auch bei der Wartung eines E-Autos sparen – schließlich müsste der Verschleiß und das Defekt-Potenzial geringer sein, weil es unter anderem keinen Auspuff und insgesamt weniger bewegliche Teile gibt (siehe Seite 78). Leider führen laut ADAC-Studien aber vor allem simple Elektronikfehler zu Pannen oder zu verweigerten TÜV-Plaketten. Hier sitzen E-Autos und Verbrenner im selben Boot, denn viel der 12-Volt-Elektronik ist bei beiden baugleich.

Auch Inspektionen sind nicht immer günstiger, da die aufwendigen Kühlkreisläufe der Akkus bei der Kontrolle entsprechende Aufmerksamkeit benötigen. In der Praxis kann es schlimmstenfalls passieren, dass die E-Auto-Wartung in manchen (freien) Werkstätten sogar etwas mehr kostet als beim Verbrenner, weil die Wartungsarbeiter mangels Verbreitung und Routine für die neue Technik derzeit noch länger brauchen.

Bei E-Autos schwingt in vielen Köpfen immer noch das Thema Reichweitenangst mit – also die Sorge, wegen kurzer Reichweite irgendwo in der Pampa und fernab einer Ladesäule mit leerem Akku liegenzubleiben. Doch das ist in den meisten Fällen mittlerweile unbegründet: Beim Kauf neuer E-Autos stehen selbst im Kleinwagensegment Akkugrößen zur Auswahl, die einen Aktionsradius von 300 Kilometern und mehr erlauben. Da Händler und Hersteller mittlerweile Angaben zu Reichweite und Verbrauch nach dem neuen WLTP-Messverfahren veröffentlichen müssen, sind die Zahlen im Prospekt keine reinen Fabelwerte mehr, sondern spiegeln den realen Verbrauch realistischer wider.

Normalfahrer brauchen sich im Alltag spätestens dann keine Sorgen um die Reichweite zu machen, wenn das E-Auto daheim in der Garage oder unterm Carport auflädt: Man startet morgens mit geladenem Akku, fährt seine 100 bis 200 Kilometer Arbeits- und Einkaufswege und stellt das Fahrzeug abends mit halb geleerterer Batterie ab. Der nächste Morgen beginnt wieder mit einem geladenen Akku. Als heimische Ladestation muss es nicht unbedingt eine Wallbox sein, wie der Artikel auf Seite 84 zeigt. Schon mit dem Schuko-Kabel bekommt man über Nacht 100 Kilometer Reichweite und mehr in die Batterie.

Wer auf öffentliche Ladesäulen angewiesen ist, startet selten mit vollem Akku in den Tag. Neigt sich die Ladung dem Ende zu, muss man für die nächste Fahrt zusätzliche Zeit einplanen, um den Akku vorher oder unterwegs zu befüllen. Als Dauerlösung im Alltag ist das lästig, auch wenn man nicht mehr befürchten muss, dass man liegen bleibt. In den vergangenen Jahren wurden so viele Ladestationen aufgestellt, dass sich in mittleren und großen Städten und entlang von Autobahnen alle paar Kilometer eine freie Säule findet. Während das ausschließliche Laden an öffentlichen Säulen merklich einschränkt, ist das gelegentliche Laden unterwegs bei längeren Strecken kein Abenteuer mehr. Tipps dazu gibt der Artikel ab Seite 90.

Wintermüdigkeit

Viele frisch gebackene E-Fahrer erleben im ersten Winter eine böse Überraschung: Die Akkus mögen keine tiefen Temperaturen und quittieren sie mit geringerer Kapazität und langsamem Aufladen. Hier hilft zwar die Elektrik moderner E-Autos, die die empfindlichen Zellen bei Bedarf aufheizt, aber auch das kostet Energie und damit Reichweite. E-Motoren geben im Unterschied zu Verbrennungsmotoren außerdem nicht genug Wärme ab, um damit den Innenraum zu temperieren. Wer es warm haben will, schaltet die Heizung ein. Aber die braucht, Sie ahnen es schon, ebenfalls Strom und reduziert die Reichweite spürbar.

So mancher Kleinwagen, der im Sommer locker seine 200 Kilometer schafft, sorgt im Winter daher für Schrecken: Heizung an, Licht an, gerade vom Hof gerollt und schon zeigt die Restreichweitenanzeige nur noch läppische 150 Kilometer. Besonders Pendler sollten deshalb vor dem Kauf einplanen, dass die versprochene Reichweite im Winter um rund ein Drittel einbricht – bei manchen Modellen sogar mehr. Großer Akku, Heizelemente nah am Körper und eine Wärmepumpe sind die effektivsten Mittel gegen die Wintermüdigkeit. Sitz- und Lenkradheizung sorgen für ein direktes Wärmeempfinden und sind oft Teil eines Winterpakets. Die Wärmepumpe heizt den Innenraum besonders energiesparend und ist bei teureren Fahrzeugen ins Thermomanagement der Batterie eingebunden.

In puncto Komfort ist das E-Auto einem Verbrenner im Winterbetrieb überlegen: Da die Wärme elektrisch erzeugt wird, steht

Eisprobe für E-Autos: Im Winter machte uns die unzuverlässige Reichweitenanzeige des Corsa E schwer zu schaffen.

Bild: Clemens Gleich

Mit einer Auswurftaste an der Typ2-/CCS-Ladebuchse lässt sich der Ladevorgang beenden. Das ist praktischer, als Taster im Fahrzeug zu drücken oder das Smartphone zu zücken.

sie beim Losfahren bereit. Während Kurzstreckenpendler mit Verbrenner nach 20 Minuten immer noch durchgefroren wieder aussteigen, ziehen E-Auto-Besitzer schon beim Einsteigen den Wintermantel aus. Ein weiterer Pluspunkt: Die E-Heizung lässt sich wie eine Standheizung nutzen. Wer kein Eis kratzen will, stellt in der Smartphone-App des Autos ein, dass der Innenraum schon 15 Minuten vorm Losfahren aufgewärmt wird. Hängt das Auto an der heimischen Wallbox, ist ein Vorwärmen des Innenraums nicht nur aus Komfortgründen sinnvoll. Fahrzeuge mit Akkuheizung temperieren die Batterie gleich mit, was deren Lebenszeit und die Reichweite und sogar die Sicherheit erhöht, weil die Scheiben weniger beschlagen.

Richtig effizient legt man die Ultrakurzstrecke im Winter auch im E-Auto nicht zurück. Mancher Besitzer wundert sich, dass der mit 15 kWh/100 km beworbene Kleinwagen im Winter fast das Doppelte verbraucht. Erst auf weiten Strecken pendelt sich der Verbrauch wieder aufs Normalmaß ein, weil das Halten der Temperatur viel

weniger Energie benötigt als ständig neues Aufwärmen. Immerhin nimmt einem die E-Technik wiederholte Kaltstarts längst nicht so übel wie ein Verbrennungsmotor.

Drum prüfe …

Egal, in welcher Jahreszeit man den Wunschwagen beim Händler zu einer Testfahrt borgt, man sollte dabei immer die Restreichweitenanzeige ausprobieren. Im Idealfall plant man eine Route von rund 50 Kilometern inner- und außerorts mit einem kleinen Autobahnanteil und checkt vor, während und nach der Fahrt, ob die prognostizierte Reichweite sich annähernd mit der tatsächlich zurückgelegten Strecke deckt.

Manche Fahrzeuge wie der Nissan Leaf oder der Polestar 2 rechnen ziemlich exakt, während andere Modelle wie der E-Corsa von Opel und der Honda e in unseren Tests häufiger mal für einen gefahrenen Kilometer von der errechneten Reichweite zwei Kilometer abzogen. Besonders wenn man viel Mittel- und Langstrecke fährt, nerven die ungenauen Anzeigen und die daraus resultierenden zusätzlichen Ladestopps schnell.

Ein Pedal für alles

Beim Fahrverhalten gibt es deutliche Unterschiede zwischen Elektroautos und Modellen mit Verbrenner, wobei die E-Autos die Nase vorn haben. Das fängt mit dem Offensichtlichen an: Abgesehen vom gesetzlich vorgeschriebenen Summen oder Säuseln bei langsamen Geschwindigkeiten fahren E-Autos flüsterleise – außer dem Rollgeräusch der Reifen hört man meist nichts.

Zudem liefern E-Motoren aus dem Stand ihr volles Drehmoment und schieben nahezu über den gesamten Drehzahlbereich gleichmäßig kräftig an. Es braucht keinen Tesla oder E-Sportwagen von Porsche: E-Autos spurten so spritzig los, dass selbst ein elektrischer Smart auf den ersten Metern an der Ampel Oberklassefahrzeuge mit 250 PS stehen lässt. Das Anzugverhalten ist eine Frage der Software – manch ein E-Auto lässt selbst im Sportmodus eine halbe Gedenksekunde vergehen, bis der Motor zupackt. Wer gerne sportlich fährt, sollte bei der Probefahrt darauf achten.

Einmal in Bewegung, ziehen E-Autos mit gleicher Vehemenz bis zur Höchstgeschwindigkeit, wenn man das Pedal durchtritt. Das Gefühl des flotten Antritts wird davon verstärkt, dass das Schalten und die dabei auftretenden Zugkraftunterbrechungen fehlen. E-Motoren sind leistungsstark und drehzahlfest genug, um ein Getriebe überflüssig zu machen. Mit wenigen Ausnahmen wie dem Porsche Taycan und dem Audi e-tron GT haben sie eine feste Übersetzung. Verbrennungsmotoren müssen mittels Getriebe immer im Bereich zwischen rund 700 und 6000 U/min bleiben, E-Motoren machen Drehzahlen von 15 000 U/min nichts aus.

Die Höchstgeschwindigkeit erreichen die meisten E-Modelle aber früher als Verbrenner. Die Mehrheit der Klein- und Mittelklassewagen regelt zwischen 150 und 180 km/h elektronisch ab. Da der Luftwiderstand im Quadrat zur Geschwindigkeit steigt, bauen die Hersteller diese Sperre ein. Ansonsten fände das Autobahnvergnügen trotz versprochener Reichweite von 400 Kilometern schon nach 150 Kilometern ein jähes Ende.

Wegen des hohen Wirkungsgrads der Motoren hat der Luftwiderstand generell eine größere Auswirkung auf den Verbrauch. Deshalb erleben viele Neukunden in den ersten Wochen eine Überraschung: Im städtischen Stop-and-Go-Verkehr sind E-Autos sparsamer unterwegs als bei zügigen Über-land- oder Autobahnfahrten – die Verbrauchscharakteristik fällt also anders aus als bei Verbrennern, die bei jedem Anfahren 80 Prozent der Energie in Form von Wärme verpuffen lassen.

Abseits der physikalischen Faktoren bestimmen die Hersteller mittels Fahrprogrammen – also per Software – das Fahrgefühl eines E-Autos. Praktisch alle Modelle haben einen Eco-Modus, der die Motorleistung drosselt und die Kennlinie des Gaspedals anpasst. Sie bestimmt, wie weit man das Pedal durchtreten muss, um einen bestimmten Vortrieb zu erreichen.

Deutlicher machen sich die Fahrmodi bemerkbar, wenn man den Fuß vom Pedal nimmt: Beim Ausrollen setzt das sogenannte Rekuperieren ein. Die Motoren arbeiten dann als Dynamo. Sie bremsen das Fahrzeug ab und erzeugen dabei Strom, der zurück in den Akku geleitet wird.

Wie stark der E-Motor verzögert, lässt sich bei den meisten Modellen einstellen. Wünscht man ein ähnliches Verhalten wie beim Verbrenner, lässt die Steuersoftware das E-Auto möglichst segeln – in Wirklichkeit schiebt der Motor weiter leicht an – und gewinnt nur wenig Energie zurück, wenn man den Fuß vom Gas nimmt. Die Verzögerung entspricht in dieser Einstellung etwa der Motorbremse eines konventionellen Pkw.

In solchen Fahrmodi fällt der Umstieg zwar sehr leicht. Aber bergab und insbesondere im Stadtverkehr ist geringe Rekuperation ineffizient, da man häufiger auf die Bremse treten muss. Je nach benötigter Verzögerung müssen die mechanischen Bremsen zusätzlich zupacken. Statt zu möglichst großem Anteil wieder im Akku zu landen, verpufft dann ein Teil der Bewegungsenergie als Wärme an den Bremsscheiben.

Die meisten E-Fahrer stellen deshalb nach kurzer Umgewöhnung ihren Fahrstil um und setzen die Rekuperation auf eine höhere Stufe. Viele Modelle ab der Mittelklasse haben dafür sogar Knöpfe oder Wippen am Lenkrad. Mit etwas vorausschauendem Fahren passiert es dem E-Fahrer oft, dass die Restreichweite über längere Strecken kaum abnimmt oder bergab sogar mal um 20 Kilometer steigt.

Eine besondere Form der Rekuperationsanpassung ist der One-Pedal-Mode, den viele Hersteller anbieten. Nimmt man in diesem Modus den Fuß vom Pedal, bremst das Auto so stark bis zum Stillstand ab, als würde man mit mittlerer Kraft auf die Bremse treten. Wegen der deutlichen Verzögerung gehen dabei automatisch die Bremslichter an und es wird die maximal mögliche Energiemenge wieder in den Akku gespeist.

Im One-Pedal-Modus gelingt es nach wenigen Kilometern Übung, das Auto über Strecken von dutzenden, gar hunderten von Kilometern durch den Verkehr zu bewegen, ohne ein einziges Mal auf die Bremse

zu treten. Trotzdem mag nicht jeder One-Pedal-Drive: Neulinge hassen die Funktion meistens und finden das starke Abbremsen irritierend und unangenehm – fast, als hätte man einen Bremsschirm abgeworfen. Alte E-Hasen lieben das Auto-Scooter-Gefühl des One-Pedal-Drive hingegen, weil es besonders im innerstädtischen Berufsverkehr ein entspanntes Fahren ermöglicht.

Stecker statt Pistole

Aus Fahrersicht ist das Aufladen des Akkus nicht komplizierter als Tanken – es dauert nur länger. Mittlerweile nehmen alle neuen Fahrzeuge sowohl Gleichstrom (direct current, DC) als auch Wechselstrom (alternating current AC) entgegen. Da der Akku prinzipbedingt nur Gleichstrom speichert und abgibt, kommt beim Laden an Wechselstrom im Fahrzeug ein Gleichrichter zum Einsatz. Anders als beim Tanken flüssiger Kraftstoffe geht beim Aufladen des E-Autos immer ein wenig Energie am Wandler oder bei der elektrochemischen Speicherung im Akku in Form von Abwärme verloren (siehe Artikel auf S. 78). Im Alltag bezahlt man also ein paar Euro mehr, als man anhand des Verbrauchs und der Stromkosten berechnet hat.

Für langsames AC-Laden an einer Wallbox oder an kleineren Säulen, wie man sie oft am Straßenrand oder auf Supermarktparkplätzen findet, dient die Typ-2-Buchse, die einen Ladeleistung von maximal 43,5 kW unterstützt. Solche Ladepunkte haben meist nur eine Buchse, sodass man das passende Ladekabel mitführen muss.

43,5 kW AC klingt super. Doch selbst wenn der Stecker passt, bedeutet das nicht, dass das Fahrzeug – beziehungsweise dessen Gleichrichter – diese Ladeleistung in den Akku bringt. Hier sollte man die Datenblätter studieren oder den Händler explizit darauf ansprechen. Die Industrie hat sich auf 11 kW als Standard für die AC-Ladung festgelegt. Das ist die Ladeleistung, die man sich genehmigungsfrei, aber meldepflichtig auch mit einer Wallbox ans Haus stellen kann.

An vielen 22-kW-AC-Ladern, etwa Gratisladepunkten auf Supermarktparkplätzen oder am Urlaubsort im Ausland, kann man mit etlichen Fahrzeugmodellen nur 11 kW nutzen und verdoppelt die Standzeit. Einige Autos laden sogar nur mit 7,6 kW AC – an Wechselstromsäulen ist dann Geduld gefragt. Deshalb lohnt der genaue Blick in den Konfigurator in jedem Fall: Soll das E-Fahrzeug nicht ausschließlich als Langstreckenläufer an DC-Säulen zum Einsatz kommen, ist das Update auf die höchstmögliche AC-Ladeleistung empfehlenswert. Nichts ist ärgerlicher, als vor einer sprudelnden Quelle zu stehen und nicht das passende Gefäß dabei zu haben.

Nicht jedes Auto berechnet die Restreichweite so exakt wie der Opel Ampera-e, der es nach der Trennung von Opel und General Motors nur in homöopathischen Dosen auf den hiesigen Markt schaffte.

Beim DC-Laden kommen unterschiedliche Stecker zum Einsatz: Japanische Hersteller wie Nissan bauten bisher CHAdeMO-Buchsen in ihre Fahrzeuge ein. Darüber lässt sich Gleichstrom an Schnellladesäulen mit bis zu 200 kW laden und die Buchse ist bereits für das bidirektionale Laden vorbereitet – ein CHAdeMO-Fahrzeug kann als rollende Powerbank dienen. In Europa hat sich inzwischen jedoch das Combined Charging System (CCS) als Standard für DC-Ladung durchgesetzt. Auch Nissans jüngst vorgestellter Ariya kommt in Europa mit CCS-Buchse.

Als „Combined“ bezeichnet man sie, weil sie aus einer herkömmlichen Typ-2-Buchse für Wechselstrom besteht, die um Starkstrom-Pins erweitert wurde. Autos mit CCS-Buchse lassen sich also ohne Adapter an Kabeln und Säulen mit Typ-2-Stecker und mit CCS-Stecker mit bis zu 350 kW laden. Jedes Fahrzeug mit CCS und DC-Schnellladefunktion kann über CCS auch AC laden. Auch hier sollte man vor dem Kauf checken, welches Wechselstrom-Limit der Gleichrichter besitzt, und den Aufpreis für eine leistungsfähigere Ladeelektronik einplanen.

CSS hat in Sachen bidirektionalem Laden nachgelegt: Einige Neufahrzeuge können dank „Vehicle-to-Grid“ (V2G) DC-Strom

ins Netz einspeisen. Das Auto lässt sich damit als Batterie für die heimische Solaranlage nutzen – zumindest theoretisch. Was in Sachen V2G heute schon funktioniert, zeigt der Artikel auf Seite 98. Fahrzeuge mit „Vehicle-to-Load“-Funktion kann man schon heute als „Powerbank“ nutzen. Sie liefern über eine Schukosteckdose unter der Rücksitzbank oder im Kofferraum bis zu 3,6 kW AC. Genug, um beim spontanen Picknick am Straßenrand den Elektrogrill zu betreiben.

Bei der Ladegeschwindigkeit öffentlicher Säulen gab es in den vergangenen fünf Jahren genauso große Fortschritte wie aufseiten der Autos: Hat man sich unlängst noch über 50 kW gefreut, gibt es heute Säulen und Fahrzeuge, die 350 kW verkraften. Die Ladeleistung ist neben der Akkukapazität ein gerne genutztes Marketinginstrument, spiegelt aber leider nicht die volle Wahrheit wider. So fließt der maximale Strom üblicherweise nur im optimalen Temperaturbereich von etwa 15 bis 20 Grad Celsius in den Akku. Wer nach schneller Autobahnfahrt zwischenladen will, bekommt bei zu stark erwärmtem Akku beispielsweise statt der im Datenblatt genannten 150 kW oft nur die Hälfte. Langstreckenfahrer sollten vor dem Kauf checken, ob das Auto bei Bedarf den Akku aktiv kühlt, was bei neuen Modellen aber mittlerweile Standard ist.

Eine Akkuheizung ist Grundausstattung, weil die Lithium-Zellen bei Frost und beim Schnellladen unter tiefen Temperaturen Schaden nehmen oder deutlich schneller altern, also dauerhaft Kapazität einbüßen. Da die Heizung ihrerseits Strom verbraucht, läuft sie im Winter nur als Frostschutz. Wer nach einem Kaltstart direkt an eine Schnellladesäule fährt, muss sich meist aufs Laden mit mickrigen 30 bis 40 kW in der ersten Viertelstunde einstellen, bis der Akku auf Temperatur ist.

Manche Fahrzeuge temperieren deshalb den Akku gemäß der Routenplanung: Führt der Weg an Ladesäulen entlang oder eine Strecke soll mit einem Ladestopp beginnen, heizt oder kühlt das Fahrzeug den Akku so vor, dass er sich an der Säule schon im richtigen Temperaturbereich befindet.

Kampf der Ladeweile: Infotainment und Heizung sollten beim Laden voll funktionsfähig sein. So kann man sich wie beim Honda e auch mal im Auto die Zeit vertreiben.

Mittel- und Langstreckenfahrer sollten den Händler deshalb unbedingt nach diesem Feature fragen oder sich in einschlägigen Foren informieren. Die E-Community schaut ihren Fahrzeugen besonders genau auf die Finger und Infos zu komplexen Funktionen wie dem Konditionieren des Akkus vor der Ladung finden sich oft eher in Webforen als auf den Seiten der Hersteller.

Selbst unter optimalen Bedingungen wird der maximale Ladestrom nicht über den gesamten Ladevorgang gehalten. Wie es jeder aus leidiger Erfahrung vom Smartphone kennt, lassen Schnellladen und komplettes Aufladen den Akku schneller altern. Um ihn zu schonen, kommen mehrere Tricks zum Einsatz. Üblicherweise unterschlägt das Auto seinem Besitzer ein paar Prozentpunkte der Akkukapazität. Selbst wenn das Tacho-Display einen Ladestand von 100 Prozent (netto) anzeigt, ist das Fahrzeug meist nur zu etwa 90 Prozent (brutto) geladen.

Da das nur den gröbsten Verschleiß verhindert, drosseln praktisch alle Hersteller ab einem Netto-Ladestand von 70 bis 80 Prozent die Ladeleistung schrittweise auf bis zu 15 kW. So gilt für viele Fahrzeuge zwar das Versprechen, dass sie sich von 0 auf 80 Prozent in rund 20 Minuten laden lassen, die Hersteller verschweigen aber, dass für den Rest durchaus zwei Stunden zu veranschlagen sind. Bei Autos mit großen Akkus und Reichweiten von über 400 Kilometer stört das kaum, beim kleinen Stadtflitzer, der über Land schon mit vollem Akku kaum 250 Kilometer weit kommt, schon eher.

Bei manchen Modellen lässt sich der Beginn der Drosselung im Einstellungsmenü leicht verschieben, etwa ab 80 statt 70 Prozent. Doch abschalten ließ sich das bei keinem der Fahrzeuge, die wir in den vergangenen Jahren getestet haben. Bei manchen Modellen kann man einen Wert einstellen, bei dem das Auto den Lade-

vorgang stoppt – praktisch an der heimischen Wallbox.

Gutes Laden, schlechtes Laden

Nicht mehr auf Tankstellen mit ihren stark schwankenden Spritpreisen angewiesen zu sein, ist Segen und Fluch gleichermaßen. Am billigsten und bequemsten lädt man das Auto an einer Steckdose in der Garage oder schneller und mit moderaten Anschaffungskosten an einer heimischen Wallbox (siehe S. 84).

Doch nicht jeder hat den Luxus eines Einfamilienhauses oder in der Stadt einen Stellplatz mit Stromanschluss. Und spätestens auf längeren Strecken ist jeder auf die öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen. Dort wird es doch etwas komplizierter und manchmal auch lästiger als erwartet. So kommen einem – vorwiegend auf dem Gebrauchtmarkt – immer noch Fahrzeuge unter, deren Navi die Route nicht entlang von Ladestationen plant oder stumpf reguläre Tankstellen vorschlägt – meist bei E-Autos der ersten Generation.

Wer häufiger unterwegs lädt, wünscht sich ein Navigationssystem, das nicht nur Ladesäulen anzeigt, sondern Routen auch anhand des Ladezustands entlang verfügbarer Säulen plant. Maßstäbe bei der Routenberechnung nebst Reichweitenprognose setzen Tesla und seit Kurzem auch Google mit seinem Automotive OS. Das im Polestar, einigen Volvos und künftig bei Renault angebotene System berechnet eine erstaunlich verlässliche Restreichweite. Einen ähnlichen E-Routenplaner hat auch Mercedes für seine EQ-Serie im Angebot. Wer mit seinem künftigen E-Auto oft in unbekannten Gefilden unterwegs sein möchte, sollte auf ein entsprechendes On-Board-System achten. Da es in die Berechnung viele Fahrzeugdaten einbezieht, lässt es sich nicht ohne Weiteres durch ein Smartphone ersetzen.

Aber auch bei neueren Modellen sind die Infotainmentsysteme bei Weitem nicht immer perfekt an Ladepunkte angepasst. Zwar schlagen aktuelle Autos keine Diesel-Zapfsäulen mehr vor, aber bei der Anzeige der verfügbaren Ladesäulen fehlen den eingebauten Navis meist die einfachsten Filterfunktionen. So kann es passieren, dass das Navi für die Route einen Ladestopp an einer 22-kW-Wechselstromsäule einplant, obwohl zwei Kilometer weiter eine 150-kW-Schnellladesäule steht.

Auch nach Anbietern lässt sich nur selten filtern und da droht das nächste Ärgernis: Die Ladeinfrastruktur wird von unzähligen regionalen und überregionalen Anbietern bereitgestellt – jeder mitunter mit eigenem Bezahl- und Tarifsystem (siehe auch Seite 90). Das Problem: An der Säule authentifiziert man sich mit einer RFID-Karte des Anbieters und schaltet sie zum Laden frei. In den Anfangstagen der E-Mobilität kam es durchaus vor, dass man mit leerem Akku eine Säule erreichte, dort aber mangels Vertrag keinen Strom bekam.

Mittlerweile droht dieses Schreckensszenario nicht mehr, denn die Säulenbetreiber müssen allen potenziellen Kunden auch ohne Vertragsbindung eine Bezahloption anbieten, sei es mit Kreditkarte oder per Smartphone-App. Das ist aber meist teurer als bei der Nutzung einer RFID-Karte. Glücklicherweise muss man davon nicht Dutzende im Handschuhfach liegen haben. Praktisch jede Ladesäule ist mindestens einem Ladeverbund angeschlossen. Wer eine Karte des ADAC (mittlerweile EnBW) oder von New Motion (neuerdings Shell) oder von einem Stromanbieter wie EnBW besitzt, kommt damit durch die ganze Republik. Auch einige Fahrzeughersteller bieten Ladekarten zu günstigen Konditionen an.

Vorher gilt es aber, Preise zu vergleichen und zwar genauer als an der klassischen Tankstelle, denn die Kosten flattern zwar nicht im Halbstundentakt, unterscheiden sich aber grundsätzlich: Es finden sich Tarife mit einem geringen Preis je Kilowattstunde, dafür aber mit einer monatlichen Grundgebühr. Andere Karten sind kostenlos, der Strompreis ist aber höher und an manchen Säulen wird unabhängig vom Aufladen zusätzlich eine Freischaltgebühr von einigen Euros fällig. Welches Tarifmodell am besten passt, lässt sich kaum pauschal beantworten, weil es sehr von der jährlichen Fahrleistung und den Strecken abhängt. Grob gilt, wer nur selten unterwegs lädt, ist mit Tarifen ohne Grundpreis meist besser beraten. Wer keine Lust auf unkalkulierbare Kosten hat, findet sogar Flatrate-Modelle. So kann man hinter den Punkt „Tankkosten“ in seiner Kalkulation zumindest eine feste Zahl schreiben.

An der Säule geht das Verwirrspiel weiter. Da sich viele Säulen mit Karten verschiedener Ladeverbunde freischalten lassen, sollte man die davorhalten, mit der der Strom am günstigsten fließt. Dabei sind Preisspannen von 20 bis 80 Cent je Kilowattstunde möglich. Wer Klarheit will, muss googeln oder eine Ladesäulen-Finder-App wie Nextcharge oder EVMap nutzen, die auch Preisangaben liefert. Das Navi des Autos wartet mit solchen Infos nicht auf.

Ärgerlich ist das vorrangig bei Ausflügen oder Urlaubsfahrten. Sobald man in seiner Region ein paar „Stammsäulen“ des passenden Ladeverbunds ausgemacht hat, wird die Sache übersichtlicher und auch komfortabler.

Gebrauchte Stromer

Der Umstieg auf E-Mobilität lockt. Doch die hohe Nachfrage und die gestörten Lieferketten führen zu sehr langen Wartezeiten. Wer heute bestellt, hat meist wenig Chancen, das neue Auto noch in diesem Jahr zu bekommen. Schlimmer noch: Manche Hersteller nehmen derzeit gar keine Bestellungen mehr an.

Da liegt es nahe, sich bei Gebrauchten umzuschauen. Vor ein paar Jahren gab es auf dem Gebrauchtmarkt fast nur Fahrzeuge mit (zu) kleinem Akku. Zog man von einem 20-kWh-Akku noch den über die Jahre eintretenden Kapazitätsverlust ab, blieb von der ohnehin knappen Reichweite kaum etwas übrig. Mittlerweile sind jedoch Fahrzeuge wie der beliebte und erschwingliche Renault Zoe ZE 50 mit 52-kWh-Akku zu finden (siehe auch Seite 36). Er wurde seit Ende 2019 angeboten und stößt als Rückläufer nach drei Jahren Leasing vermehrt auf den Markt.

Die Batterie ist die Achillesferse gebrauchter E-Autos – Verschleißteil und teu-

erste Komponente in einem. Die Restkapazität ist beim Gebrauchtwagenkauf daher entscheidend. Mit dem „State of Health“ (SoH) misst das Batteriemanagement die Restkapazität in Prozent der ursprünglichen Akkukapazität. Leider zeigt das Infotainmentsystem diesen Wert nicht an.

Wer möglichst wenig Risiko eingehen will, holt sich beim Händler einen „neuen Gebrauchten“ und lässt den SoH-Wert im Kaufvertrag ausweisen. Dank gesetzlicher Vorschriften gibt es dort Gewährleistung. Das schafft Vertrauen, dass das Auto vorher ordentlich durchgecheckt wurde – was dann nicht nur für den Akku, sondern auch für die restliche Technik gilt.

Beim Privatkauf sollte man sich einen Verkäufer suchen, der die Akkukapazität hat prüfen lassen. Hierfür gibt es externe Dienstleister, die gegen Gebühr mit einem OBD-Dongle (On Board Diagnose) nicht nur den SoH, sondern auch Fahr- und Ladedaten einiger Tage auswerten. Aus den Lade- und Entladekurven errechnen sie mithilfe von Vergleichswerten neuer und anderer gebrauchter Fahrzeuge gleichen Typs eine Bewertung des individuellen Zustands des Akkus. Einen ähnlichen Service bietet auch der TÜV Rheinland an. Trotz der Kosten lohnt sich die Prüfung für Verkäufer, weil sie den Restwert des Fahrzeugs steigert. Theoretisch kann man auch als Käufer während einer Probefahrt einen eigenen OBD-Dongle anschließen, Laden und Entladen protokollieren und im Tacho die Restreichweite mit dem Wert vergleichen, den das Auto laut Werksangabe seinerzeit als Neuwagen erreichte.

Sobald man sich handelseinig wird, läuft der Privatkauf genauso ab wie bei jedem anderen Auto. Sinnvoll sind an E-Autos angepasste Kaufverträge, wie sie etwa der ADAC kostenlos als PDF zum Download anbietet. Sie decken auch Vertragsbereiche wie geleaste oder gemietete Batterien und die Akkugesundheit ab.

Manche Fahrzeuge werden neu zu einem günstigen Preis verkauft, wenn der Käufer den Akku gegen eine monatliche Gebühr mietet oder least. Diesen Batterie-Mietvertrag übernimmt der Gebrauchtwagenkäufer inklusive der monatlichen Kosten vom Vorbesitzer. Das klappt normalerweise reibungslos, bedeutet aber ein wenig mehr Papierkram. Im Gegenzug profitiert auch der Gebrauchtwagenkäufer davon, dass die gemietete Batterie beim Unterschreiten des vertraglich festgelegten Mindestwertes kostenlos ausgetauscht wird.

AC-Ladepunkte haben meist ebenfalls eine Buchse, sodass man das passende Ladekabel mitführen muss. Der vordere Kofferraum – „Frunk“ genannt – ist dafür der perfekte Platz.

Fazit

E-Autos sind besser als ihr Ruf, und auch die Auswahl der Fahrzeugtypen ist in den vergangenen Jahren sprunghaft angestiegen: Vom Kleinwagen über Cabrio und Lieferwagen bis zur Luxuslimousine – es ist alles zu haben, was das Herz begehrt und der Geldbeutel hergibt. Einen ersten Überblick und Fahrberichte hierzu finden Sie ab Seite 36.

Dennoch gerät E-Mobilität noch immer an ihre Grenzen, wenn Autos für extreme Anforderungen gesucht werden: Den Passat-Diesel, mit dem ein Außendienstler hunderte Kilometer am Tag abspult, oder den kräftigen Lastenesel, der den Doppelachser-Wohnwagen bis zum Nordkap zieht, können E-Autos zurzeit nicht ersetzen – was nicht heißt, dass Gespannfahren mit dem Elektroauto gar nicht geht (siehe Seite 72).

Nähert man sich der E-Mobilität in erster Linie, um den horrenden Spritpreisen zu entfliehen, gibt es eine gute Nachricht: Selbst wenn man nicht immer an der günstigsten Säule lädt und der Akku wohl auch keine 20 Jahre halten wird, spart man mit E-Autos trotzdem bares Geld und kann den Verbrauch weit besser beeinflussen als beim Verbrenner. Mit Rekuperation auf voller Stufe, vorausschauendem Fahren und behutsamem Beschleunigen lässt sich beim E-Motor der Verbrauch locker spielerisch motivierend senken.

Starke kurzfristige Schwankungen des Strompreises braucht man auch nicht zu befürchten und man kann mit seiner persönlichen Ladestrategie bares Geld sparen. Und wer auf dem Parkplatz des Shoppingcenters das Auto an die dortige Ladesäule steckt, bekommt mit jedem Großeinkauf etliche Kilometer gratis dazu. (spo) c't

Was Sie vor dem Kauf noch wissen sollten

Sie liebäugeln mit dem Kauf eines Elektroautos, haben aber noch offene Fragen zu Umweltfreundlichkeit, Förderung, Liefer- und Ladezeiten? Wir haben die Antworten.

Von **Martin Franz**

Förderung beim Kauf

? Was genau wird gefördert und wo stelle ich den Antrag?

! Beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BaFa) kann einmal für jedes neu zugelassene Auto und für junge Gebrauchtwagen ein Umweltbonus genannter Zuschuss beantragt werden. Das Geld stammt aus dem Klima- und Transformationsfonds (KTF), der aus Erlösen des Europäischen und Nationalen Emissionshandels gespeist wird (siehe S. 32). Bis zum 31.12.2022 gibt es bis zu einem Nettolistenpreis von 40 000 Euro für die Basisausstattung eines neuen E-Autos 6000 Euro Zuschuss; ist es teurer, sind es immerhin noch 5000 Euro. Voraussetzung ist, dass der Hersteller seinerseits 3000 beziehungsweise 2500 Euro als Nachlass dazugibt. Dieser Rabatt muss auf der Rechnung ausgewiesen sein.

Ab dem 1.1.2023 wird die Förderung für Plug-in-Hybride ganz abgeschafft und der Bundesanteil für Elektroautos sinkt bei einem Nettolistenpreis bis zu 40 000 Euro auf 4500 Euro und zwischen 40 000 und 65 000 Euro auf 3000 Euro. Über 65 000 Euro gibt es gar keine Förderung mehr. Der Herstellernachlass, der weiterhin 50 Prozent der Bundesförderung beträgt, sinkt damit ebenfalls auf 2250 beziehungsweise 1500 Euro. Auf den Herstellernachlass wird natürlich auch keine Mehrwertsteuer fällig, sodass sich der Kaufpreis maximal um 4500 Euro + 2250 Euro + 427,50 Euro = 7177,50 Euro reduziert.

Ab dem 1.9.2023 sind nur noch Privatpersonen antragsberechtigt. Eine eventuelle Ausweitung auch auf Kleingewerbetreibende und gemeinnützige Organisationen wird vom Bundeswirtschaftsministerium noch geprüft. Ab dem 1.1.2024 sinkt die Bundesförderung generell auf 3000 Euro und der Herstelleranteil auf 1500 Euro. Sie kann dann nur noch für Fahrzeuge mit einem Nettolistenpreis von bis zu 45 000 Euro beantragt werden.

Klimafreundlichere E-Autos

? Ab welcher Kilometerleistung sind E-Autos klimafreundlicher als Verbrenner?

! Das ist pauschal nicht zu beantworten, sondern hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Ein Elektroauto herzustellen, erzeugt einerseits mehr CO_2, als bei der Produktion eines Verbrenners anfällt. Andererseits sind die CO_2-Emissionen im Elektrobetrieb deutlich geringer, was die Klimabelastung durch E-Autos über die Lebenszeit geringer ausfallen lässt als beim Verbrenner.

Einen großen Einfluss auf die Bilanzierung hat unter anderem, mit welchem Strommix die Batterie hergestellt wurde. Stand heute fallen bei der Produktion etwa zwischen 60 und 110 Kilogramm CO_2 für jede Kilowattstunde Energiegehalt der Batterie an – eine gewaltige Bandbreite, die sich aus unterschiedlichen Stromerzeugungen beispielsweise in Norwegen und China ergibt. Die „Eindhoven University of Technology“ geht in einer viel beachteten Studie von etwa 75 Kilogramm CO_2-Äquivalent je

Bild: BMW

Wie schwer der CO_2-Eintrag der Herstellung einer Batterie einschlägt, ist unter anderem vom Strommix und der Batteriekapazität abhängig.

Kilowattstunde aus (siehe ct.de/whkc). Der Einfluss der Batterieherstellung steigt demzufolge mit dem Energiegehalt: Die Batterie eines Mazda MX-30 mit knapp 36 kWh hat einen kleineren CO_2-Eintrag bei der Herstellung als der Speicher eines BMW iX mit 111 kWh. Geht man von den genannten 75 Kilogramm CO_2-Äquivalent je Kilowattstunde aus, wären es für den Mazda 2,7 Tonnen, für den BMW 8,3 Tonnen.

Auch die Frage, ob für die Aufladung der Batterie im Alltag Ökostrom genutzt wird, wie das an den öffentlichen Ladestationen meist der Fall ist, spielt eine Rolle für die Beantwortung der Frage, wie viele Kilometer ein E-Auto fahren muss, um seinen CO_2-Rucksack aus der Herstellung im Vergleich zum Verbrenner zu kompensieren. Dazu kommt, dass bei der Bilanzierung von Benzin und Diesel meistens nur der lokale CO_2-Ausstoß herangezogen wird, also die Betrachtung vom Tank bis zum Auspuff. Doch Kraftstoff hat eine Vorgeschichte. Erdöl muss schließlich gefördert, transportiert und weiterverarbeitet werden, bevor es als Benzin oder Diesel getankt werden kann. Auch diese Kette erzeugt CO_2. Wer es genau nehmen wollte, müsste auch diverse Verschleißteile, Öle und Filter miteinbeziehen, die Autos mit Verbrennungsmotor im Laufe ihrer Nutzung brauchen – und Elektroautos nicht. Für das einzelne Auto mag das über die Nutzungszeit auf den ersten Blick nicht viel erscheinen, bezogen auf die Masse der gesamten Fahrzeuge kommt da aber ein gewaltiger Berg an Müll zusammen.

Reichweiten vergleichen

? Was sagt die WLTP-Reichweite von E-Autos aus?

! Der gesetzliche WLTP-Normwert für die Reichweite führt leicht zu Enttäuschungen, da er nur eine grobe Orientierung gibt, wie weit ein E-Auto unter idealen Bedingungen fahren kann. Er beruht auf dem „Worldwide harmonized Light vehicle vehicles Test Procedure“ genannten Messverfahren. Die offizielle Verbrauchsmessung von batterieelektrischen Autos besteht aus vier Abschnitten, die nacheinander durchlaufen werden. Sie versucht, auf dem Rollenprüfstand einen Mix aus unterschiedlichen Fahrszenarien nachzubilden.

Für eine Beurteilung der maximalen Reichweite auf der Langstrecke bei hoher Geschwindigkeit taugt sie daher prinzipiell nicht. Darüber hinaus hängt die reale Reichweite in der Praxis noch von weiteren Faktoren ab, beispielsweise Temperatur oder Windrichtung während der Fahrt.

Zu Hause laden

? Kann ich mein E-Auto zu Hause laden?

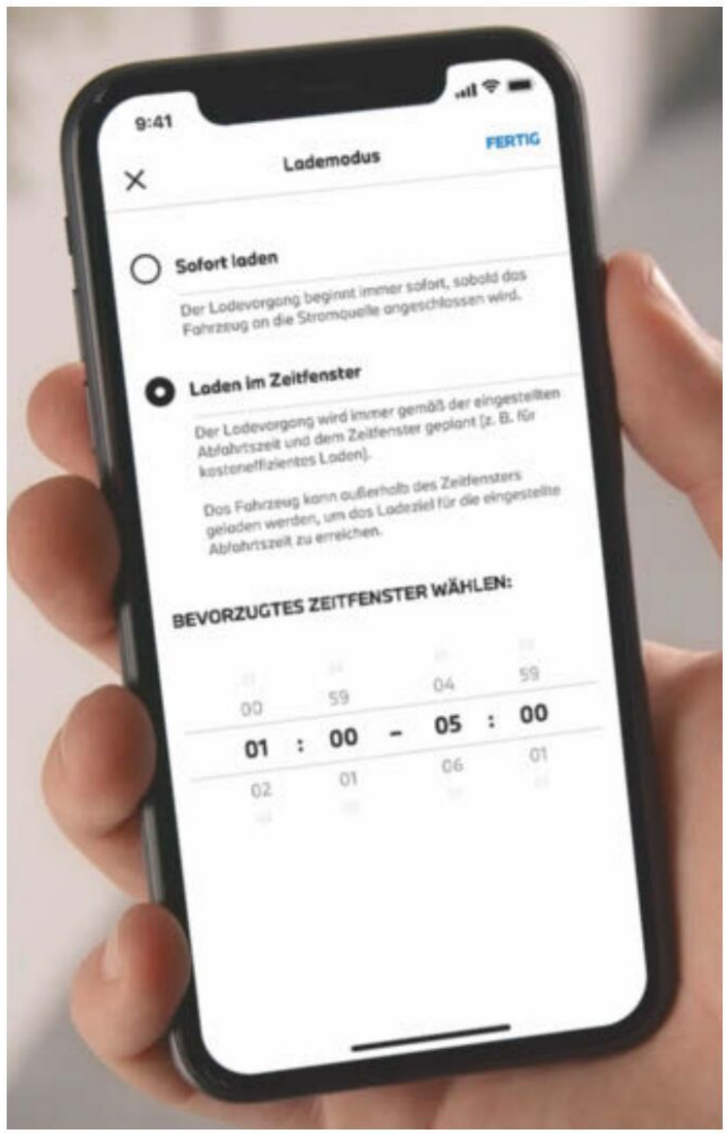
! Ja, denn theoretisch reicht dafür eine normale 230-Volt-Steckdose. Sofern Dose und Verkabelung in Ordnung sind, kann man sie dauerhaft mit 10 Ampere (A) belasten. Bei 230 Volt (V) sind das 2,3 kW (Formel: P = U × I also Watt = Volt × Ampere). Von dieser Ladeleistung müssen dann noch die Ladeverluste abgezogen werden, die je nach Fahrzeug und Vorladegerät unterschiedlich hoch sind. Auf diesem Weg dauert die Befüllung einer durchschnittlich großen Batterie natürlich ewig. Ein Beispiel: Um 40 kWh nachzuladen, wartet man mehr als 18 Stunden. Lädt man das E-Auto dagegen über eine Wallbox beispielsweise mit 11 kW Wechselstrom, sind die 40 kWh in weniger als vier Stunden erreicht. Nicht zu unterschätzen ist außerdem, dass die Wallbox auf eine hohe Dauerlast ausgelegt ist, die normale 230-Volt-Steckdose nicht unbedingt. Ausführlich erklärt das Laden zu Hause der Artikel ab Seite 84.

Höchste Ladeleistung

? Wie schnell kann ein E-Auto laden?

! Das ist von Modell zu Modell verschieden. Mit Wechselstrom ist bei den meisten E-Autos bei 11 kW die Spitze erreicht, Ausnahmen davon sind rar. Der populäre Renault Zoe ist eine davon, er kann mit bis zu 22 kW Wechselstrom laden, was sich in der Regel nur an öffentlicher Ladeinfrastruktur nutzen lässt. An der heimischen Ladestation sind dreiphasig fast überall nur 11 kW möglich.

Bild: BMW



Eine Standheizung muss bei Autos mit Verbrennungsmotor teuer bezahlt werden. Im Elektroauto ist sie praktisch stets inklusive.

Deutlich schneller geht es mit Gleichstrom. Hier liegen die Ladeleistungen fast immer oberhalb von 50 kW, viele aktuelle Elektroautos schaffen in der Spitze mehr als 100 kW. Die am schnellsten ladenden Modelle erreichen über 200 kW Ladeleistung – allerdings nur für eine kurze Zeit und ausschließlich unter idealen Bedingungen. Der anfängliche Ladestand der Batterie muss dafür je nach Modell zwischen 10 und 15 Prozent betragen, die Temperatur des Speichers in einem gewissen Fenster liegen. Ab einem Ladestand von etwa 40 Prozent wird die Ladeleistung Stück für Stück zurückgefahren. Die letzten 20 Prozent dauern dann so lange, dass sich die Angabe der Ladezeit von 10 auf 80 Prozent durchgesetzt hat.

Eine hohe Spitzenladeleistung allein sagt noch nichts darüber aus, wie schnell

Bild: Martin Franz

Bild: Martin Franz

Lassen Sie sich nicht allein von einer hohen Peak-Leistung blenden. Wie schnell Sie Ihre Reise fortsetzen können, wird durch die Ladekurve bestimmt.

der Speicher gefüllt ist. Vielmehr kommt es darauf an, welche Batteriezellen der Hersteller eingebaut hat und wie geschickt er den Speicher während des Ladevorgangs klimatisiert. Es kann also durchaus sein, dass ein E-Auto mit unspektakulärer Spitzenladeleistung schneller wieder fit für weitere Kilometer ist als eines, was nur sehr kurz eine hohe Ladeleistung zulässt, dessen Ladekurve dann aber rasant abfällt.

Dauerhaltbarkeit des Akkus

? Wie behandelt man den Akku am besten?

! Die Haltbarkeit des Akkus hängt auch davon ab, wie man ihn beim Fahren und Laden behandelt. Um wirklich vorhersagen zu können, wie lange die Traktionsbatterie eines Elektroautos hält, fehlt noch die umfangreiche Erfahrung, die mit Millionen von Verbrennungsmotoren über Jahrzehnte gewachsen ist. Um den Verschleiß

nicht unnötig zu fördern, sollte man Folgendes beachten:

- Bei der Fahrzeugwahl auf eine moderne Konstruktion mit aktivem Temperaturmanagement und einem Routenplaner mit automatischer Vorkonditionierung achten.
- Vermeiden Sie das (schnelle) Laden bei Kälte. Laternenparker sind im Nachteil gegenüber Garagenbesitzern, weil der Speicher unter größeren Temperaturschwankungen leiden kann.
- Aggressives Stromgeben und Bremsen fördert den Verschleiß, gerade bei kalter Batterie. Fahren sie lieber gleitend.
- Möglichst nie das Ladekabel nach dem Volllladen auf 100 Prozent angesteckt lassen.
- Der Ladehub sollte so weit wie möglich auf ein mittleres SOC-Fenster begrenzt sein.

Bild: Skoda

Auf gefragte Elektroautos wie den Skoda Enyaq (siehe S. 22) müssen Kunden lange warten. Lieferfristen von mehr als einem Jahr sind durchaus üblich geworden.

Bei der verfügbaren Kapazität, auch Nettokapazität genannt, geben die Autohersteller von vornherein nur einen Teil des Bruttoenergieinhalts frei. In jedem Fall ist der für den Nutzer sichtbare Ladehub von null auf 100 Prozent nicht alles, was möglich ist. Das Ladefenster ist quasi ab Werk reduziert. Wie stark, lässt sich in manchen Datenblättern ablesen. So nennt BMW einen Energiegehalt von brutto 83,9 kWh für den i4 und netto 80,7 kWh. Viele Marken veröffentlichen diese Differenz nicht. Es darf aber davon ausgegangen werden, dass ein teures Elektroauto weniger netto vom brutto freigibt als eins im kostensensiblen Segment.

Was ist teurer?

? Kostet ein E-Auto mehr als ein Verbrenner?

! Stand heute kostet ein Elektroauto auf den ersten Blick noch immer mehr als ein vergleichbarer Verbrenner. Der Unterschied wird allerdings immer kleiner. Abgemildert wird die Differenz außerdem durch die staatlichen Subventionen und eine meist etwas bessere Ausstattung bereits in der Standardversion. Ein Beispiel dafür ist die Möglichkeit, das E-Auto vor dem Start zu klimatisieren – ein Luxus, der in Autos mit Verbrennungsmotor in der Regel mehr als 1000 Euro Aufpreis kostet.

Zudem sollte in die Überlegung, wie teuer ein Auto ist, auch immer mit einfließen, wie hoch die Folgekosten sind. Für ein Elektroauto fallen erheblich geringere Wartungskosten an, langfristig auch weniger Kosten für Ersatzteile. Denn mit einem Elektroantrieb fallen nicht nur Ölwechsel und der Tausch von diversen Filtern rund um den Motor weg. Auch Dinge wie ein durchgerosteter Auspuff oder eine verschlissene Kupplung sind kein Thema mehr, denn so etwas gibt es in einem Elektroauto nicht. Wie man die Kosten zwischen konkreten Modellen vergleichen kann, erklärt beispielhaft der Artikel ab Seite 22.

Lange Wartezeiten

? Warum sind die Lieferfristen aktuell so lang?

! Das hat im wesentlichen zwei Gründe: Chipmangel und der Hochlauf der Batterieproduktion. Als Anfang 2020 die Coronapandemie ausbrach, stornierten viele Autohersteller die Liefermengen für Chips. Ihre Befürchtung war, dass die Absatzzahlen mittelfristig deutlich nach unten gehen würden. Das hat sich nicht bewahrheitet, die Nachfrage zog früher als erwartet wieder an. Doch die Chip-Hersteller hatten ihre Kontingente schon anderweitig vergeben. Erschwerend kam hinzu, dass ein US-Chipproduzent mit dem Ausfall eines wichtigen Werkes zu kämpfen hatte.

Auf der anderen Seite ist die Nachfrage nach Elektroautos derzeit einfach so hoch, dass die Hersteller kaum mit der Produktion hinterherkommen. Noch sind Batteriezellen ein knappes Gut, doch das wird sich ändern: Die Autohersteller planen in den kommenden Jahren riesige Produktionskapazitäten in Europa zu schaffen. Die werden sie auch brauchen, denn fast jeder große Autohersteller rechnet damit, dass noch in diesem Jahrzehnt der Elektroantrieb den Verbrennungsmotor weitgehend verdrängt. (mfz) c't

Studie zu CO2-Emissionen, WLTP

ct.de/whkc

Bild: iStock.com / 3alexd

Strom vs. Sprit: Wer fährt günstiger?

Ist ein Elektroauto langfristig eigentlich teurer oder günstiger als ein Verbrenner? Unser Rechenbeispiel zeigt, wie Sie herausbekommen, mit welchen Kosten Sie im Alltag rechnen müssen.

Von **Patrick Bellmer und Angela Meyer**

Die Entscheidung zwischen Verbrenner und Elektroauto hat viele Facetten. Eine davon ist die Frage, wie sich bei einem Umstieg auf das E-Auto die Kosten verändern. Was diese Entscheidung für die Alltagskosten bedeutet, spielen wir in diesem Artikel einmal exemplarisch durch. Hierzu haben wir uns Unterstützung von unserem Kollegen Patrick Bellmer von heise+ geholt, der dort unter dem Stichwort „Strom vs. Sprit“ schon lange mit spitzem Bleistift die Kosten für E-Autos berechnet und sie mit ähnlichen Verbrennermodellen vergleicht.

In unserem Rechenbeispiel stellen wir dem Elektromodell Skoda Enyaq iV 80 zwei vergleichbar ausgestattete Verbrennervarianten gegenüber: den Benziner Skoda Kodiaq 2.0 TSI Style und den Diesel Skoda Kodiaq 2.0 TDI Style. Mit dem Verbrennermodell Kodiaq bietet Skoda seit Anfang 2017 ein SUV, das technisch viele Parallelen zum VW Tiguan Allspace und Seat Tarraco besitzt. Eine der wenigen Ausnahmen: Seat bot den Tarraco auch als Plug-in-Hybrid an. Die Hybridmodelle mit dem Herstellungs- und Wartungsaufwand für gleich zwei Antriebssysteme sind aus unserer Sicht inzwischen allerdings nicht nur finanziell keine sinnvolle Wahl mehr (siehe S. 6). So störte es uns nicht weiter, dass bei unserem Vergleich diese Variante nicht mehr zur Wahl stand.

Bei seinem Elektromodell Enyaq wiederholt sich die Art und Weise, mit der Skoda den Kodiaq vom VW Tiguan Allspace – und Seat Tarraco – differenziert. Der Enyaq nutzt den „Modularen E-Antriebs-Baukasten“ (MEB), auf dem beispielsweise auch der VW ID.4 basiert, der das selbe Segment wie der Enyaq bedient. Damit ist der Enyaq nicht nur für diejenigen interessant, die eine elektrische Alternative zum Kodiaq suchen – sondern auch für diejenigen, denen der ID.4 zu teuer ist oder dessen Optik nicht zusagt. Die für den Vergleich gewählten Modelle und ihre Ausstattung stellen wir auf den beiden folgenden Seiten im Detail vor.

Kosten im Vergleich

Für die Kostenaufstellungen der Strom-vs.-Sprit-Vergleiche verwenden wir mehrere Quellen. Die meisten Daten, wie die Höhe der Kfz-Steuer oder Wartungskosten, sind über einen längeren Zeitraum aktuell. Beispielsweise für die Energie- oder Reifenkosten gilt dies besonders zur Zeit aber nur eingeschränkt. Damit Sie die Werte entsprechend einordnen können, haben wir in der Tabelle auf Seite 29 den Stand der Erhebung mit angegeben.

Ein Teil der Daten stammt aus dem ADAC Profi-Autokostenrechner. Dazu gehören der prognostizierte Wertverlust sowie die Kosten für Wartung und übliche Reparaturen. Auch die Versicherungskosten stammen vom ADAC. Dabei handelt es sich um den Durchschnitt mehrerer Standardtarife ohne zusätzliche Rabatte (eigener Stellplatz, berufsbedingte Nachlässe und ähnliches) bei einem Beitragssatz von 50 Prozent für Haftpflicht und Vollkasko. Die Selbstbeteiligung beträgt 500 Euro für Vollkaskoschäden und 150 Euro für Teilkaskoschäden. Die Regionalklasse entspricht der Region Hannover.

Für die Berechnung der Kfz-Steuern verwenden wir die vom jeweiligen Hersteller genannten WLTP-Daten (siehe S. 18) für die im Vergleich genannte Konfiguration sowie den Kfz-Steuer-Rechner des Bundesministeriums der Finanzen.

Ausschlaggebend für die Energiekosten (Super, Diesel, Strom und anderes) sind in diesem Beispiel unsere eigenen Testverbräuche. Die für diesen Artikel verwendeten Treibstoff- und Strompreise entsprechen dem bundesweiten Mittel in der ersten Septemberwoche 2022. Ähnliches gilt für Adblue-Kosten. Hier kalkulieren wir mit 1,5 Litern pro 1000 km.

Die Realverbräuche ziehen wir auch für den Schadstoffausstoß heran. Dabei handelt es sich um CO₂-Äquivalente (CO_2e) für die gesamte Kette von der Förderung bis zum Verbrauch (Well-to-Wheel) und die vom Umweltbundesamt für das Jahr 2022 genannten Faktoren. Für einen Liter Diesel sind dies 3,24 kg CO_2e, für einen Liter Super (E5) 2,8 kg CO_2e sowie 0,428 kg CO_2e für eine Kilowattstunde Strom.

Bei Reifen rechnen wir mit einer Laufleistung von 50.000 km sowie mit je sechs Monaten Sommer- und Winterreifennutzung. Für den Ersatz ziehen wir den Durchschnittspreis der für das jeweilige Fahrzeug verfügbaren Modelle heran. Hinzu kommen Montagekosten in Höhe von 25 Euro pro Reifen. Ein zweiter Satz Felgen sowie unter Umständen anfallende Zusatzkosten für das Anlernen aktiver Reifendrucksysteme bleiben unberücksichtigt.

Kaufprämie nur für den Enyaq

Kaufen, finanzieren oder leasen (mindestens 24 Monate) Sie den Enyaq iV 80, können Sie von der Kaufprämie für Elektrofahrzeuge profitieren. Die Spielregeln hierfür ändern sich zum 1.1.2023 (siehe S. 18). Eine Erstzulassung bis zum 31. Dezember 2022 ist sehr unwahrscheinlich, da die durchschnittliche Lieferzeit für den Enyaq iV 80 laut Carwow 15 bis 18 Monate beträgt. Die einzige Chance wäre ein Lagerwagen, doch die sind derzeit äußerst rar.

Für die Berechnung sind wir daher davon ausgegangen, dass die Erstzulassung im Jahr 2023 erfolgt. Der staatliche Anteil der Kaufprämie für Elektroautos mit einem Basispreis zwischen 40.000 und 65.000 Euro verringert sich dann auf 3000 Euro für den Enyaq. Damit sinkt auch der Herstelleranteil auf 1500 Euro, da er wie bisher 50 Prozent der staatlichen Prämie entspricht. Zuzüglich der durch den Herstellernachlass eingesparten Mehrwertsteuer sinkt die Gesamtförderung von 7975 auf 4785 Euro. Hinzu kommt, dass die Förderung bei einer Erstzulassung ab dem 1. September 2023 nur noch Privatpersonen gewährt wird.

Individuelle Rabatte vom Händler haben wir in diesem Vergleich nicht berücksichtigt. Für den Enyaq iV 80 dürften sie eine Ausnahme sein, beim Kodiaq bewegen sie sich zwischen 10 und 15 Prozent.

Kfz-Steuer, geldwerter Vorteil und THG-Quote

Für den Enyaq iV 80 entfällt aufgrund der staatlichen Förderung die Kfz-Steuer in den ersten zehn Jahren nach der Erstzulassung. Anders sieht es beim Kodiaq aus. Für den Benziner beträgt die jährliche Kfz-Steuer 242 Euro, für den Diesel 355 Euro.

Skoda Enyaq: Familienauto mit Elektroantrieb

Auf einer Länge von 4,65 m und einer Breite (ohne Seitenspiegel) von 1,88 m bietet der Skoda Enyaq Platz für insgesamt fünf Personen. Für Gepäck stehen 585 Liter Kofferraumvolumen zur Verfügung. Klappen Sie die Rücklehnen der zweiten Sitzreihe um, steigt das Volumen auf 1710 Liter. Die Zuladung beträgt je nach Variante 530 kg (Enyaq iV 60) bis 617 kg (Enyaq iV 80X) – einen 68 kg schweren Fahrer sowie 7 kg Gepäck können Sie noch hinzurechnen.

Für den Vergleich haben wir den Enyaq iV 80 gewählt. Diese Variante ist die günstigste, die Skoda mit der größten Batterie – 77 kWh netto – anbietet. Der im Heck verbaute Elektromotor bietet eine maximale Leistung von 150 kW, ein Spitzendrehmoment von 310 Nm und treibt die Hinterräder an. Die Höchstgeschwindigkeit begrenzt Skoda wie auch bei den Versionen mit kleinerer Batterie auf 160 km/h.

Die Batterie des Enyaq iV 80 laden Sie wahlweise mit bis zu 125 kW an Gleichstrom-Schnellladern oder mit 11 kW an Wechselstromladern wie der eigenen Wallbox zu Hause. Beim Enyaq iV 60 mit seiner 58 kWh großen Batterie betragen die Spitzenladeleistungen 100 kW (Gleichstrom-Schnelllader) respektive 11 kW (Wechselstrom). Höhere Ladeleistungen ermöglicht Skoda per Software-Update. Die Variante iV 60 lädt so mit bis zu 120 statt 100 kW, die Varianten iV 80 und iV 80X mit bis zu 135 statt 125 kW.

Zur Basisausstattung des Enyaq iV 80 gehören unter anderem LED-Scheinwerfer und -Rückleuchten, Parksensoren rundum, ein Infotainmentsystem mit Navigationsfunktion sowie eine Rückfahrkamera. Wir haben aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit mit dem Kodiaq zusätzlich das Ausstattungspaket Plus für 5350 Euro ausgewählt. Es umfasst einen adaptiven Tempomaten, beheizbare Vordersitze, eine elektrische Heckklappe und Dreizonen-Klimaautomatik, das Assistenzpaket Traveller, Matrix-LED-Scheinwerfer und weiteres. Hinzu kommt die empfehlenswerte Wärmepumpe für 1010 Euro. Insgesamt liegt der Brutto-Listenpreis somit bei 53.160 Euro.

Ab der Version 60 können Sie den Enyaq zusätzlich mit einer Anhängerkupplung ausstatten, die ab Werk 710 Euro kostet. Ungebremste Anhänger zieht der Enyaq mit bis zu 750 kg, gebremste Anhänger je nach Variante bis maximal 1200 kg.

Bild: Florian Pillau

Auf einer Länge von 4,65 Meter bietet der Skoda Enyaq iV 80 Platz für fünf Personen und ein Kofferraumvolumen von 585 bis 1710 Liter. Eine Batterieladung reicht laut Skoda für mehr als 500 Kilometer.

Skoda Kodiaq: Verbrenner mit viel Platz

Mit 4,7 m ist der Kodiaq etwas länger als der Enyaq, fällt mit 1,88 m aber genauso breit aus. Serienmäßig bietet das SUV fünf Plätze, gegen Aufpreis (je nach Ausstattungslinie 1250 oder 1410 Euro) auch sieben. Entscheiden Sie sich für letztere Option, schrumpft das Kofferraumvolumen von 835 auf 765 Liter – bei umgeklappter Rücksitzlehne von 2065 auf 2005 Liter. Die maximale Zuladung beträgt je nach Motorisierung zwischen 643 und 688 kg.

Eine dem Enyaq iV 80 ähnliche Leistung bietet der Kodiaq sowohl mit Benzin- als auch mit Dieselmotor. In ersterem Fall handelt es sich um die Variante Kodiaq 2.0 TSI, die 140 kW und 320 Nm zur Verfügung stellt. Von 0 auf 100 km/h beschleunigt das SUV in 7,5 Sekunden, die Höchstgeschwindigkeit beträgt 216 km/h.

Minimal stärker als der Benziner ist der Kodiaq 2.0 TDI in der höchsten Ausbaustufe. Dann liefert der Vierzylinder-Diesel 147 kW und 400 Nm Drehmoment. Tempo 100 erreicht der Kodiaq in diesem Fall in 7,6 Sekunden, die Höchstgeschwindigkeit liegt bei 218 km/h.

Beide Kodiaq-Varianten treiben alle vier Räder an und verfügen über ein Siebengang-Doppelkupplungsgetriebe.

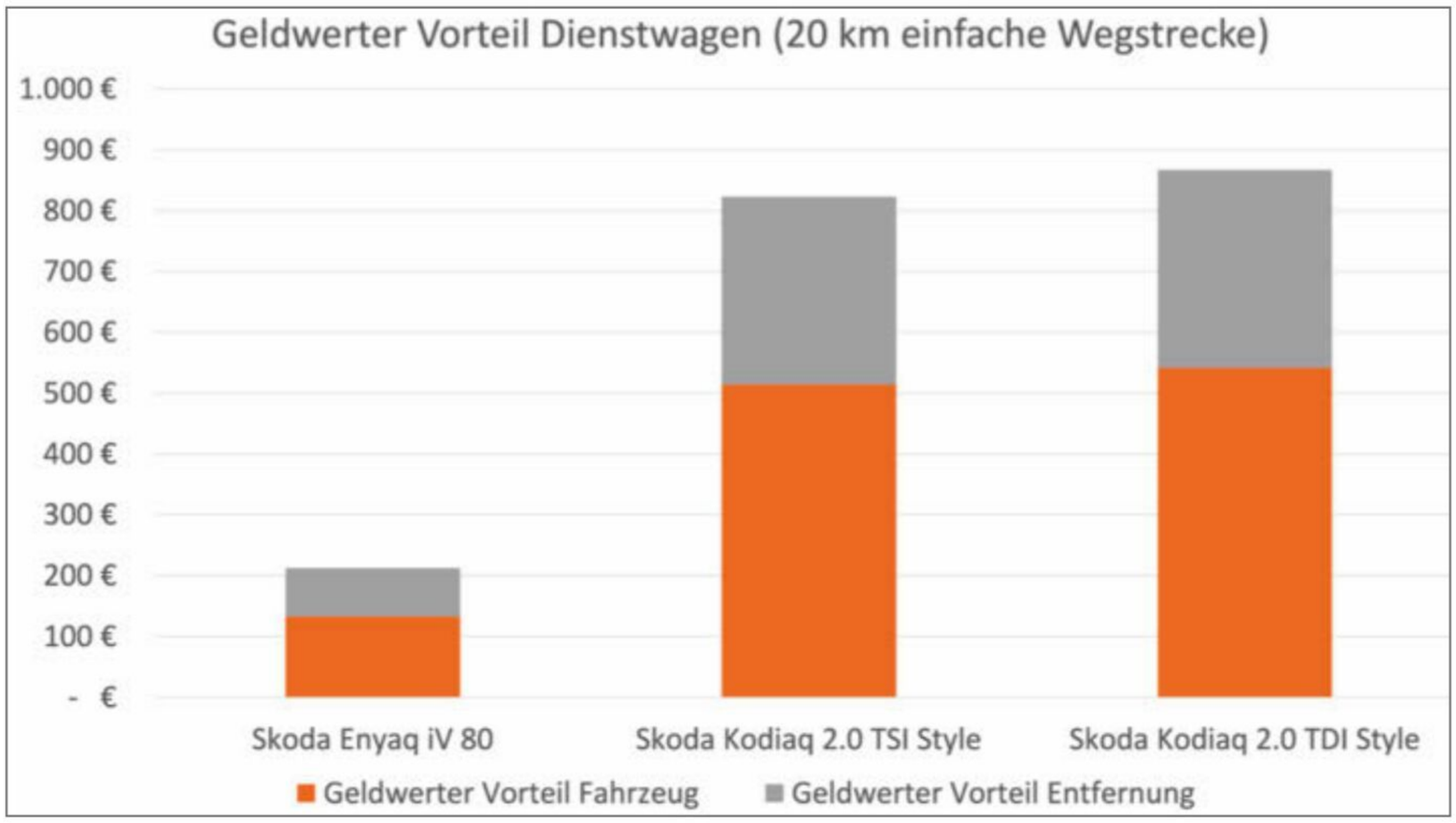
Da der 147 kW starke Diesel mindestens die Ausstattungslinie Style voraussetzt, haben wir diese für beide Kodiaq-Varianten gewählt. Der Basispreis des Benziners liegt dann bei 45.450 Euro, der des Diesels bei 48.210 Euro.

Um die Ausstattung jedoch auf ein gegenüber dem Enyaq vergleichbares Niveau zu heben, müssten Sie weitere 5980 Euro einplanen. Dafür erhalten Sie unter anderem das Paket Business Columbus mit großem Infotainmentsystem und elektrischer Heckklappenbedienung, das Assistenzpaket Traveller Plus, eine Rückfahrkamera und eine Dreizonen-Klimaautomatik. Derart ausgestattet kostet der Skoda Kodiaq 2.0 TSI Style laut Liste 51.430 Euro, der Skoda Kodiaq 2.0 TDI Style (Test) 54.190 Euro.

Beim Skodiaq kostet die Anhängerkupplung ab Werk 930 Euro. Ungebremste Anhänger dürfen bis zu 750 kg wiegen, gebremste Anhänger bis zu 2300 kg.

Bild: Skoda

Mit 4,7 Meter ist der Skoda Kodiaq etwas länger als der Enyaq, bietet dafür aber optional sieben statt fünf Sitze und verfügt mit bis zu 2065 Litern über das größere Kofferraumvolumen.



Alle drei Fahrzeuge kosten zwischen etwa 51.400 Euro und 54.190 Euro. Dank steuerlicher Vorteile ist der Skoda Enyaq iV 80 aber die mit Abstand günstigste Wahl als Firmenwagen.

Handelt es sich um ein gewerblich zugelassenes Fahrzeug, das Sie auch für private Zwecke nutzen dürfen, ist der Enyaq ebenfalls erheblich günstiger. Denn beim geldwerten Vorteil, der durch die Dienstwagennutzung entsteht, fällt bei Elektroautos ein verringerter Satz an. Für Verbrenner lautet die Formel „Bruttolistenpreis = Bemessungsgrundlage“, für Elektroautos gibt es einen Nachlass. Beträgt der Preis maximal 60.000 Euro brutto inklusive gewählter Ausstattung, verringert sich die Bemessungsgrundlage auf 25 Prozent des Bruttolistenpreises. Bei Preisen über 60.000 Euro sind es 50 Prozent.

Wie groß der Unterschied ausfallen kann, zeigt ein anschauliches Beispiel. Bei einem privat genutzten Dienstwagen mit Verbrennungsmotor für 50.000 Euro müssen Sie 500 Euro im Monat als zusätzliches Einkommen versteuern, bei einem Elektroauto wären es nur 125 Euro.

Die Bemessungsgrundlage benötigen Sie gleich zweimal, wenn es um die Höhe des konkreten geldwerten Vorteils geht. Zunächst einmal entspricht der Punkt Fahrzeug einem Prozent der Grundlage. Der Punkt Wegstrecke entspricht hingegen 0,03 Prozent der Grundlage pro Kilometer Entfernung zwischen Wohnort und erster Arbeitsstätte.

In unserem Rechenbeispiel, das auf 20 Kilometern Entfernung basiert, ergibt sich für den Enyaq iV 80 ein geldwerter Vorteil von insgesamt 213 Euro (133 Euro Fahrzeug, 80 Euro Wegstrecke). Beim Kodiaq 2.0 TSI sind es 823 Euro (514 Euro Fahrzeug, 309 Euro Wegstrecke), beim Kodiaq 2.0 TDI 867 Euro (542 Euro Fahrzeug, 325 Euro Wegstrecke. Wie viel Nettogehalt Sie am Ende verlieren, hängt aber von weiteren Faktoren ab. Dazu gehören unter anderem das steuerpflichtige Einkommen und die Steuerklasse.

Kaufen oder leasen Sie den Enyaq privat, können Sie die Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote) abtreten (siehe S. 32). Dies geschieht über Dienstleister, die die Quoten an Mineralölkonzerne verkaufen. Die Erlöse schütten die Dienstleister wiederum an die Fahrzeughalter aus. Die konkrete Höhe der Auszahlung hängt von mehreren Faktoren wie den erzielten Erlösen und der Gebühr des Dienstleisters ab. Für das Jahr 2022 beläuft sich die Höhe auf etwa 200 bis 350 Euro. Verkaufen können Sie die Quote in jedem Jahr, es handelt sich entsprechend nicht um eine einmalige Einnahme.

Wartung

Eine getrennte Betrachtung der Kosten für Wartung und die üblichen Verschleißreparaturen ist nicht möglich. Denn für den Enyaq iV 80 nennt der ADAC nur eine Gesamtsumme für Werkstattkosten, die beide Aspekte enthalten. Anders beim Kodiaq: Hier trennt der Automobilclub die Posten.

Für den Enyaq sieht Skoda ein zweijähriges Wartungsintervall vor, unabhängig von der Laufleistung. Beim Kodiaq müssen Sie hingegen anders planen. Die erste Wartung steht nach zwei Jahren oder spätestens 30.000 Kilometern an, anschließend empfiehlt der Hersteller eine jährliche Durchsicht – oder nach spätestens 30.000 Kilometern. Der Arbeitsumfang unterscheidet sich dabei je nach Jahr, der Ölwechsel ist für jedes gerade Jahr – zwei Jahre, vier Jahre und so weiter – vorgesehen. Allerdings kann das Fahrzeug aufgrund der gesammelten Sensordaten auch kürzere Wartungsintervalle vorschlagen. Bei einer Nutzungsdauer von drei Jahren rechnet der ADAC beim Enyaq iV 80 mit monatlichen Wartungs- und Verschleißkosten exklusive des Reifenersatzes in Höhe von 14 Euro. Für beide Kodiaq-Motorisierungen beläuft sich die Prognose auf 23 (10.000 Kilometer pro Jahr) und 24 Euro (15.000 Kilometer pro Jahr). Beim Kodiaq entfallen dabei jeweils 8 Euro auf Verschleißreparaturen.

Unklar ist, warum der Diesel-Kodiaq in den Beispielrechnungen mit fünf Jahren Nutzung bei den Wartungskosten minimal günstiger als die Benziner-Variante abschneidet. Einen Grund dafür konnte Skoda auf Nachfrage nicht liefern. Unsere Vermutung: Der alle 60.000 Kilometer fällige Wechsel des Getriebeöls könnte aufgrund der unterschiedlichen Ölmengen (DQ381 im Kodiaq 2.0 TSI, DQ500 im Kodiaq 2.0 TDI) beim Benziner zu höheren Kosten führen.

Planen Sie hingegen mit fünf Jahren, steigt die Prognose beim Enyaq iV 80 für

beide Jahreslaufleistungen auf monatlich 29 Euro. Für den Kodiaq 2.0 TSI sollten Sie mit 45 Euro (10.000 Kilometer) respektive 53 Euro (15.000 Kilometer) rechnen, für den Kodiaq 2.0 TDI mit 42 respektive 51 Euro. Der Anteil für Verschleiß: 24 Euro pro Monat bei 10.000 Kilometern jährlich, 28 Euro pro Monat bei 15.000 Kilometern.

Das bedeutet: Bei Wartung und Verschleiß können Sie mit dem Enyaq bei drei Jahren Nutzung zwischen 324 und 360 Euro sparen. Beträgt die Nutzungsdauer fünf Jahre, liegt die Ersparnis zwischen 780 und 1440 Euro.

Für beide Modelle bietet Skoda Wartungsverträge an. Diese decken sämtliche Arbeiten ab, die die jeweiligen Wartungspläne vorsehen – inklusive Material. Die Verträge haben aber zwei Haken: Die maximale Laufzeit beträgt vier Jahre und die monatlichen Kosten fallen höher aus als die vom ADAC genannten Prognosen. So kostet Sie der Wartungsvertrag für den Enyaq iV 80 im Monat 30 Euro, für den Kodiaq je nach Laufleistung zwischen 39 und 40 Euro. Die geringen Kostenunterschiede sind laut Skoda auf den höheren Zeitaufwand beim Enyaq zurückzuführen. So müssen für einige Sichtkontrollen Verkleidungsteile entfernt werden, beispielsweise beim Wechsel des Staub- und Pollenfilters sowie beim Wechsel der Bremsflüssigkeit.

Reifenverschleiß

Beim Reifenverschleiß ist der Enyaq iV 80 leicht im Nachteil. Denn die Serienbereifung (235/55 R19 vorn, 255/50 R19 hinten) führt zu höheren Reifenkosten als beim Kodiaq (235/55 R18). Bei jährlich 10.000 Kilometern sollten Sie entsprechend beim Elektro-SUV mit etwa 16 Euro pro Monat rechnen, bei den beiden Verbrennern mit etwa 13 Euro. Beträgt die Jahreslaufleistung 15.000 Kilometer, steigt die Prognose auf 23 Euro und 20 Euro.

Die Kalkulation basiert auf dem Durchschnittspreis der für das jeweilige Fahrzeug passenden Reifenmodelle plus Montagekosten in Höhe von 25 Euro pro Reifen. Möglicherweise anfallende Zusatzkosten für das Anlernen aktiver Reifendrucksysteme bleiben von uns jedoch ebenso unberücksichtigt wie ein zweiter Satz Felgen. Geben Sie das Fahrzeug nach nur 30.000 Kilometern wieder ab, fallen für den Reifenverschleiß in der Regel keine Kosten an.

Versicherung

Beschränken Sie sich beim Versicherungsschutz auf die gesetzlich vorgeschriebene Haftpflicht-Police, ist der Diesel-Kodiaq mit 283 Euro pro Jahr das günstigste der drei Fahrzeuge. Denn Enyaq iV 80 und Kodiaq 2.0 TSI liegen bei jeweils 337 Euro – eine Differenz von jährlich 54 Euro. Entscheiden Sie sich für den empfehlenswerten Vollkaskoschutz, sinkt diese kleine Differenz noch. Ausgehend von den ADAC-Daten für die Regionalklasse Hannover sowie 50 Prozent Schadensfreiheitsrabatt kostet die entsprechende Police für das Elektroauto jährlich 526 Euro, für die Verbrenner jeweils 479 Euro.

Wertverlust

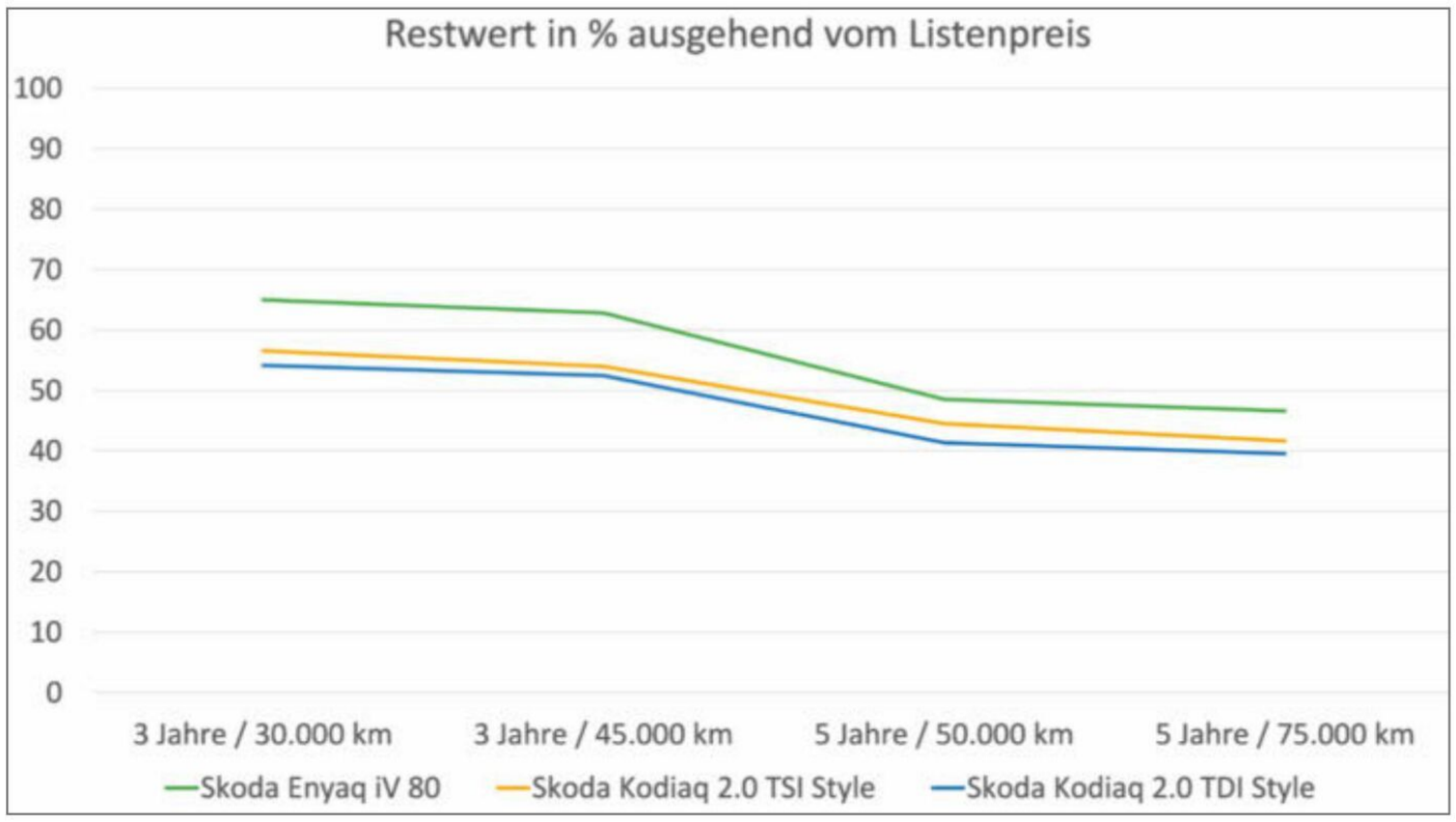
In allen vier Beispielrechnungen fällt der monatliche Wertverlust beim Enyaq iV 80 am geringsten aus. Bei einer Nutzungsdauer von drei Jahren und einer Gesamtlaufleistung von 30.000 Kilometern prognostiziert der ADAC 517 Euro. Beide Kodiaq-Varianten kosten Sie mehr: Beim Benziner sollten Sie mit 621 Euro rechnen, beim Diesel mit 690 Euro. Steigt die Laufleistung auf 45.000 Kilometer, steigen die Kosten auf 548, 657 und 716 Euro – bei gleicher Reihenfolge der Fahrzeuge.

Planen Sie mit fünf Jahren Nutzung und 50.000 Kilometern, rücken Enyaq und Kodiaq dichter zusammen. Beim Elektro-SUV beträgt der monatliche Wertverlust dann 456 Euro, beim Kodiaq mit Benziner 476 Euro. Der Diesel landet bei 530 Euro. Eine Steigerung der Laufleistung auf 75.000

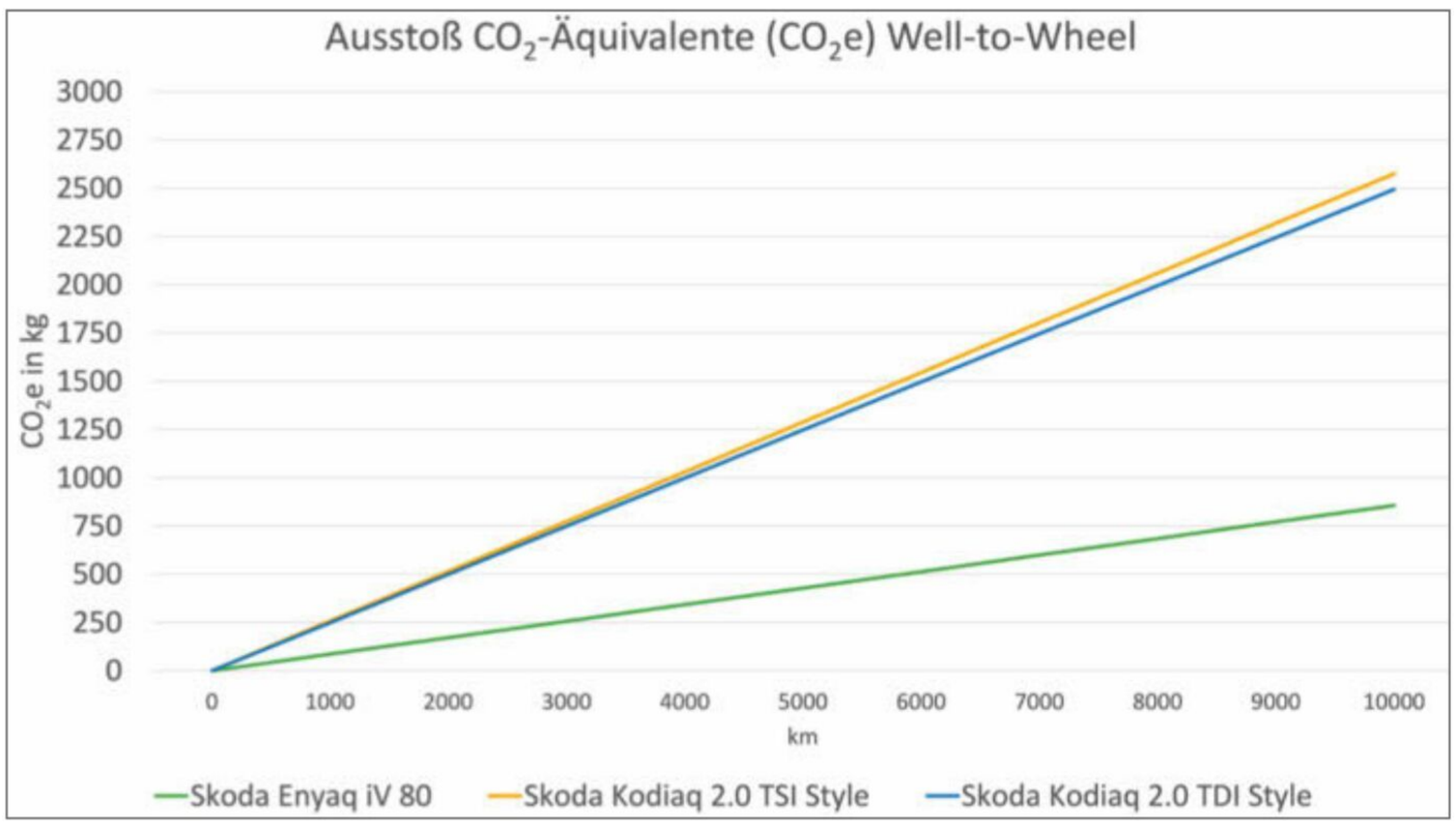
Technische Daten im Vergleich

Modell	Skoda Enyaq iV 50	Skoda Enyaq iV 60	Skoda Enyaq iV 80	Skoda Enyaq iV 80X	Skoda Kodiaq 1.5 TSI	Skoda Kodiaq 2.0 TDI	Skoda Kodiaq 2.0 TDI	Skoda Kodiaq 2.0 TSI
Motortyp	Elektro	Elektro	Elektro	Elektro	Benziner	Diesel	Diesel	Benziner
Max. Leistung	110 kW	132 kW	150 kW	195 kW	110 kW	110 kW	147 kW	140 kW
Max. Drehmoment	220 Nm	310 Nm	310 Nm	425 Nm	250 Nm	340 Nm	400 Nm	320 Nm
Antrieb	Heckantrieb	Heckantrieb	Heckantrieb	Allrad	Vorderrad[1]	Vorderrad[1]	Allrad	Allrad
Batteriekapazität (netto)	52 kWh	58 kWh	77 kWh	77 kWh	–	–	–	–
Maße (L × B × H)	4,65 m × 1,88 m × 1,62 m	4,65 m × 1,88 m × 1,62 m	4,65 m × 1,88 m × 1,62 m	4,65 m × 1,88 m × 1,62 m	4,70 m × 1,88 m × 1,68 m	4,70 m × 1,88 m × 1,68 m	4,70 m × 1,88 m × 1,68 m	4,70 m × 1,88 m × 1,68 m
Leergewicht	1940 kg	1931 kg	2107 kg	2133 kg	1602 kg	1710 kg	1767 kg	1722 kg
Zuladung	530 kg	569 kg	557 kg	617 kg	643 kg	649 kg	643 kg	688 kg
Anhängelast ungebremst / gebremst	– / –	750 kg / 1000 kg	750 kg / 1000 kg	750 kg / 1200 kg	750 kg / 1800 kg[2]	750 kg / 2000 kg[3]	750 kg / 2300 kg	750 kg / 2200 kg

Die getesteten Modelle sind farblich hinterlegt. [1] optional Allrad [2] 2000 kg mit Allrad-Option [3] 2300 kg mit Allrad-Option



In den ersten drei Jahren hat der Enyaq iV 80 beim relativen Restwert einen großen Vorsprung. Anschließend beträgt der Vorteil gegenüber dem Benziner-Kodiaq aber nur noch 5 Prozentpunkte.



Von der Quelle bis zum Rad gerechnet (Well-to-Wheel), ist der Enyaq iV 80 für einen weitaus geringeren Schadstoffausstoß verantwortlich.

Kilometer führt zu 473 Euro beim Enyaq sowie 500 Euro (Benziner) und 546 Euro (Diesel) beim Kodiaq. Warum der Abstand zwischen Elektroauto und Verbrenner bei fünf Jahren geringer wird, ist nicht bekannt.

Diese Entwicklung können Sie aber auch beim relativen Restwert ausgehend vom Listenpreis ablesen. Beim Enyaq liegt der bei drei Jahren Nutzungsdauer zwischen 65 Prozent (30.000 Kilometer) und 63 Prozent (45.000 Kilometer) – 8 respektive 9 Prozentpunkte mehr als beim Benziner. Nach fünf Jahren sollen es beim Enyaq 49 respektive 48 Prozent sein – nur noch 5 Prozentpunkte mehr als beim Benziner.

Der tatsächliche monatliche Wertverlust dürfte beim Enyaq iV 80 geringer als die Prognose vom ADAC ausfallen. Rechnen Sie „Tatsächlicher Kaufpreis - relativer Wertverlust“ ergibt das für drei Jahre und insgesamt 30.000 Kilometer einen monatlichen Wertverlust von 424 Euro. Bei fünf Jahren und 75.000 Kilometern kommen Sie so auf 388 Euro. Diese Rechnung setzt aber die aktuelle Subventionierung in Höhe von 9570 Euro voraus.

Verbrauch

Für den Verbrauch ziehen wir nicht die WLTP-Angaben der Hersteller heran, sondern nutzen Praxiswerte. Beim Enyaq iV 80 sollten Sie im Jahresmittel ausgehend von unserem Test des Elektro-SUVs mit 20 kWh pro 100 Kilometer inklusive der Ladeverluste rechnen. Für beide Kodiaq-Varianten nutzen wir die Daten von Spritmonitor (siehe ct.de/wd6t). Beim Benziner sind das 9,2 Liter pro 100 Kilometer, beim Diesel 7,7 Liter. Nur zum Vergleich: Skodas WLTP-Angabe für unsere Konfiguration des Enyaq iV 80 beträgt glatt 16 kWh. Für den Kodiaq 2.0 TSI Style nennt der Hersteller 7,9 Liter, für den Kodiaq 2.0 TDI Style 6,3 Liter. Die Preise für je einen Liter Super (E5) – 2,07 Euro – und Diesel – 2,16 Euro – entsprechen dem Bundesdurchschnitt zwischen dem 1. und 7. September 2022.

Der zweite entscheidende Faktor, die Kosten für Strom und Treibstoff, unterlag im ersten Halbjahr 2022 großen Schwankungen. Für eine Kilowattstunde Strom kalkulieren wir mit 0,32 Euro – hier ist die Streichung der EEG-Umlage bereits inbegriffen. Die meisten Ladevorgänge finden derzeit an der eigenen Ladeinfrastruktur statt. Günstiger wird es, wenn Sie den Enyaq iV 80 an der eigenen Wallbox laden und diese den Strom von einer Photovoltaikanlage bezieht (siehe S. 102). Berücksichtigen Sie in einem solchen Fall aber die anteiligen Anlagenkosten sowie die ent-

Skoda Enyaq vs. Kodiaq: Kostenvergleich für verschiedene Nutzungsszenarien

	Skoda Enyaq iV 80	Skoda Kodiaq 2.0 TSI Style	Skoda Kodiaq 2.0 TDI Style
Listenpreis inkl. Zusatzausstattung	53.160 €	51.430 €	54.190 €
Preis inklusive Förderung	43.590 €	51.430 €	54.190 €
Kostenvergleich 3 Jahre und 30.000 Kilometer			
Wertverlust pro Monat	517 €	621 €	690 €
Fixkosten pro Monat[1]	44 €	60 €	70 €
Treibstoffkosten/Stromkosten pro Monat[2]	53 €	159 €	140 €[3]
Kosten für Wartung und Verschleiß ohne Reifen pro Monat	14 €	23 €	23 €
Kosten für Reifenverschleiß	16 €	13 €	13 €
monatliche Kosten inklusive Wertverlust	643 €	876 €	935 €
Kosten pro Kilometer inklusive Wertverlust	0,77 €	1,05 €	1,12 €
monatliche Kosten exklusive Wertverlust	126 €	255 €	246 €
Kosten pro Kilometer exklusive Wertverlust	0,15 €	0,31 €	0,29 €
Kostenvergleich 3 Jahre und 45.000 Kilometer			
Wertverlust pro Monat	548 €	657 €	716 €
Fixkosten pro Monat[1]	44 €	60 €	70 €
Treibstoffkosten/Stromkosten pro Monat[2]	80 €	238 €	210 €[3]
Kosten für Wartung und Verschleiß ohne Reifen pro Monat	14 €	24 €	24 €
Kosten für Reifenverschleiß	23 €	20 €	20 €
monatliche Kosten inklusive Wertverlust	709 €	1000 €	1.039 €
Kosten pro Kilometer inklusive Wertverlust	0,57 €	0,80 €	0,83 €
monatliche Kosten exklusive Wertverlust	161 €	343 €	324 €
Kosten pro Kilometer exklusive Wertverlust	0,13 €	0,27 €	0,26 €
Kostenvergleich 5 Jahre und 50.000 Kilometer			
Wertverlust pro Monat	456 €	476 €	530 €
Fixkosten pro Monat[1]	44 €	60 €	70 €
Treibstoffkosten/Stromkosten pro Monat[2]	53 €	159 €	140 €[3]
Kosten für Wartung und Verschleiß ohne Reifen pro Monat	29 €	45 €	42 €
Kosten für Reifenverschleiß	16 €	13 €	13 €
monatliche Kosten inklusive Wertverlust	598 €	753 €	795 €
Kosten pro Kilometer inklusive Wertverlust	0,72 €	0,90 €	0,95 €
monatliche Kosten exklusive Wertverlust	142 €	277 €	265 €
Kosten pro Kilometer exklusive Wertverlust	0,17 €	0,33 €	0,32 €
Kostenvergleich 5 Jahre und 75.000 Kilometer			
Wertverlust pro Monat	473 €	500 €	546 €
Fixkosten pro Monat[1]	44 €	60 €	70 €
Treibstoffkosten/Stromkosten pro Monat[2]	80 €	238 €	210 €[3]
Kosten für Wartung und Verschleiß ohne Reifen pro Monat	29 €	53 €	51 €
Kosten für Reifenverschleiß	23 €	20 €	20 €
monatliche Kosten inklusive Wertverlust	649 €	872 €	897 €
Kosten pro Kilometer inklusive Wertverlust	0,52 €	0,70 €	0,72 €
monatliche Kosten exklusive Wertverlust	177 €	371 €	351 €
Kosten pro Kilometer exklusive Wertverlust	0,14 €	0,30 €	0,28 €

[1] Kfz-Steuer und Vollkaskoversicherung
[2] 0,32 Euro pro kWh Strom, 2,07 Euro pro Liter Super E5, 2,16 Euro pro Liter Diesel (Stand: September 2022)
[3] inkl. AdBlue

gangenen Einspeiseentgelte. Bei 0 Euro landen Sie also nicht. Ebenso sollten Sie mit erheblich höheren Kosten rechnen, wenn Sie häufiger kostenpflichtige Ladepunkte nutzen. Hier können es auch 79 Cent je Kilowattstunde an der DC-Säule sein (siehe Seite 90).

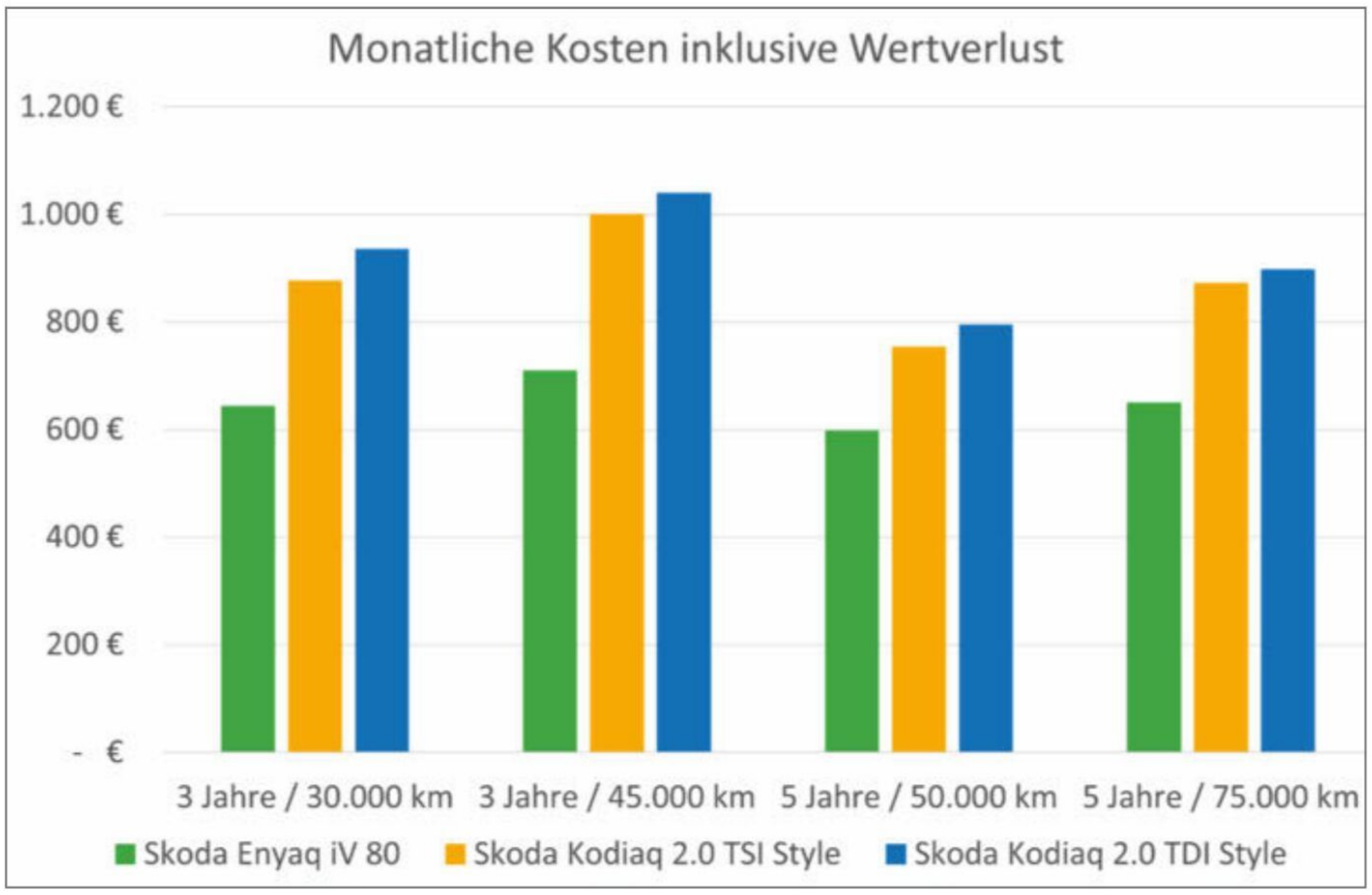
Daraus ergeben sich bei 10.000 Kilometern pro Jahr monatliche Energiekosten von 53 Euro beim Enyaq iV 80, 159 Euro beim Kodiaq 2.0 TSI und 140 Euro beim Kodiaq 2.0 TDI. Beträgt die jährliche Laufleistung 15.000 Kilometer, steigen die monatlichen Ausgaben auf 80 Euro beim Enyaq, 238 Euro beim Benzin-Kodiaq und 210 Euro beim Diesel-Kodiaq.

Umweltbilanz

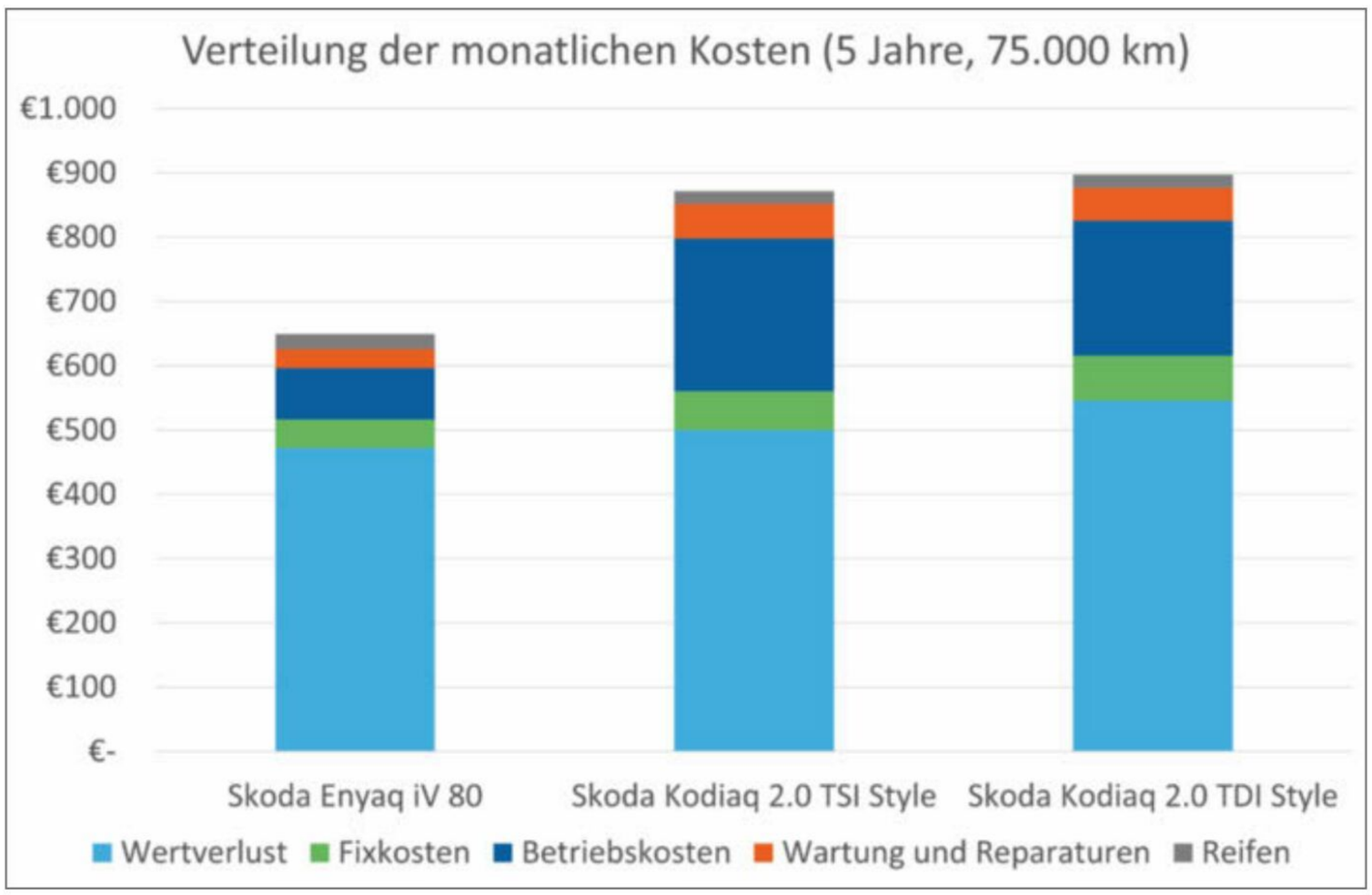
Die Umweltbilanz (siehe auch Seite 18) erstellen wir lediglich auf Basis des Energiebedarfs während der Fahrt. Denn Skoda nennt keine Zahlen, die im Zusammenhang mit der Produktion der Fahrzeuge stehen. Zwar werden Enyaq und Kodiaq an unterschiedlichen Standorten gefertigt, beide liegen jedoch in Tschechien – die Auswirkungen des Transports nach Deutschland dürften somit vergleichbar sein.

Für eine Kilowattstunde Strom setzen wir 0,428 kg CO_2-Äquivalente (CO_2e) an. Dieser Wert berücksichtigt die komplette Kette inklusive der Förderung fossiler Energieträger (Well-to-Wheel). Gleiches gilt für einen Liter Super (3,24 kg) und Diesel (2,8 kg). Pro 10.000 gefahrenen Kilometern ist der Enyaq iV 80 somit für 856 kg CO_2e verantwortlich. Die beiden Kodiaq-Varianten schneiden deutlich schlechter ab und landen mit 2576 kg (Benziner) und 2495 kg (Diesel) auf einem ähnlichen Niveau.

Laden Sie den Enyaq teilweise oder ausschließlich mit Strom aus regenerativen Quellen, verbessert dies die Umweltbilanz. An geförderten und vielen öffentlichen Ladestationen ist dies der Fall. Den Idealwert von 0 kg CO_2e erreichen Sie aber auch so nicht. Zu diesem Schluss kommt der im September 2019 vorgelegte Endbericht über die Klimabilanz, Kosten und Potenziale verschiedener Kraftstoffarten und Antriebssysteme für PKW und LKW des Fraunhofer-In-



Die Reihenfolge ist in allen vier Beispielen identisch: Mit dem Enyaq iV 80 sind sie günstiger unterwegs als mit dem Kodiaq 2.0 TSI, der Kodiaq 2.0 TDI ist immer die teuerste Wahl.



Vor allem bei den Betriebskosten (Fahrstrom bzw. Treibstoff) und den Kosten für Wartung und Verschleißreparaturen schneidet der Enyaq deutlich günstiger als der Kodiaq ab.

stituts für System- und Innovationsforschung. Der nennt für eine Kilowattstunde Strom aus vollständig erneuerbaren Quellen 0,03 kg CO_2e. Dieser Wert berücksichtigt unter anderem die Produktion der benötigten Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen. Jüngere Daten liegen nicht vor. Die Verfasser selbst gehen aber davon aus, dass der Wert im Laufe der Zeit weiter sinkt.

Fazit

Auf die Alltagskosten beschränkt ist der Enyaq iV 80 die gegenüber dem Kodiaq 2.0 TSI und Kodiaq 2.0 TDI klar günstigere Wahl. Gegenüber dem Benziner beträgt die Ersparnis in drei Jahre zwischen etwa 8400 und 10.500 Euro, gegenüber dem Diesel etwa 10.500 bis 11.900 Euro. Bei fünf Jahren Nutzung sparen Sie mit dem Elektro-SUV gegenüber dem Benzin-Kodiaq zwischen 9300 und 13.300 Euro, gegenüber dem Diesel-Kodiaq zwischen 11.800 und 14.900 Euro.

Für den Kodiaq sprechen somit nur wenige Punkte. Er bietet optional Platz für bis zu sieben Personen, kann schwerere Anhänger ziehen und verfügt über einen größeren Kofferraum. Entscheiden Sie sich deshalb für den Verbrenner, ist der Benziner in unseren Rechenbeispielen gegenüber dem Diesel die günstigere Wahl. Vor allem bei einer Haltedauer von fünf und mehr Jahren sowie Jahreslaufleistungen von mindestens 15.000 Kilometern verringert sich dessen Kostenvorteil jedoch spürbar.

Das Beispiel Enyaq vs. Kodiaq zeigt, dass Elektroautos im Alltag deutlich günstiger als Verbrenner sein können. Eine Gesetzmäßigkeit ist das aber nicht, wie die bisherigen Rechenbeispiele „Strom vs. Sprit“ bei heise+ gezeigt haben. Informieren Sie sich vorab vor allem bezüglich der Wartungs- und Versicherungskosten, die bei einigen Elektroautos auch höher ausfallen können als bei vergleichbaren Verbrennern. (pbe) c't

Kfz-Steuer-Rechner, Spritmonitor

ct.de/wd6t

Anzeige

E-Mobilität grün und kostengünstig – die intelligente Wallbox

Die E-Mobilität ist in Deutschland mittlerweile dabei, sich auch im Automobilbereich fest zu etablieren. Damit der Umstieg vom Verbrenner auf den Stromer aber auch wirklich Sinn macht, ist es unerlässlich, das Elektroauto mit grünem Strom zu laden. Die Firma Fronius hat mit dem Wattpilot genau die intelligente Wallbox auf den Markt gebracht, die das Laden auch aus ökonomischer Sicht optimiert.

Seine ganzen Vorzüge entfaltet der Wattpilot in Kombination mit einer eigenen Photovoltaik-Anlage. So produzieren Sie Ihren eigenen grünen Strom und machen sich von den Tarifen der Energiekonzerne unabhängig. Strom vom eigenen Hausdach ist der günstigste – und den nutzt der Wattpilot vollautomatisch, um das Elektroauto auf die effizienteste Art und Weise zu laden. Dabei kann er immer genau den Strom ins Auto laden, der, nach der Versorgung aller Haushaltsgeräte, gerade von der Photovoltaikanlage als Überschuss zur Verfügung steht. Folglich wird der volle Leistungsbereich der Anlage ausgenutzt sowie eine schnellere Amortisation garantiert. Nur mit einer Wallbox, die diese Fähigkeit zur dynamischen Photovoltaik-Überschussladung besitzt, sind Sie maximal kostengünstig mobil. Die so entstehenden Ladekosten für 100km Fahrleistung liegen bei nur 1,35 € oder sogar darunter. Das ist weniger als eine Kugel Stracciatella-Eis bei Ihrem Lieblings-Eissalon.

Die Vielzahl an Energieflüssen im Haushalt bedarf einer optimalen Steuerung und eines intelligenten Energiemangements. Die Wechselrichter des österreichischen Familienunternehmens mit Drittsystemen, wie einer Wallbox, zu verbinden. So erhalten Sie alles, was Sie für Ihre persönliche Energiewende brauchen, aus einer Hand.

Den Fronius Wattpilot gibt es in zwei unterschiedlichen Varianten. Der fix montierte Wattpilot Home macht aus einer einfachen Steckdose eine intelligente Ladestation in Ihrer Garage oder Ihrem Carport. Für maximale Unabhängigkeit steht Ihnen der Wattpilot Go bereit, der dank des optionalen Adaptersets unterwegs an jeder Steckdose Ihr E-Auto lädt. Beide Lösungen sind mit 11kW und 22kW Ladeleistung erhältlich.

Schließlich gibt Ihnen die Wallbox von Fronius durch seine unterschiedlichen Lademodi ein hohes Maß an Flexibilität, um Ihr Elektroauto günstig zu laden. So ist es im Eco-Mode möglich, das Laden rein auf den eigens produzierten Solarstrom zu begrenzen, mit dem Ergebnis maximal kostengünstig unterwegs zu sein. Darüber hinaus kann im Next Trip Mode sichergestellt werden, dass zu einem fixen Zeitpunkt genügend Ladung für eine definierte Strecke vorhanden ist. Steuern lässt sich das Ganze einfach über die dazugehörige Solar.wattpilot App, die neben der Auswahl des Lademodus auch noch einen Überblick über die Ladung sowie die einfache Inbetriebnahme des Wattpilot ermöglicht.

Mehr zum Wattpilot unter:
www.fronius.de/wattpilot

Fronius

Bild: He Junhui on Unsplash

CO_2-Handel bringt Geld für jedes E-Auto

Halter von E-Autos können über die Treibhausgasminderungs-Quote einfach Geld bekommen. Wie das funktioniert und wie viel CO_2 so weniger in die Atmosphäre kommt.

Von **Christoph M. Schwarzer**

Batterieelektrische Autos haben einen höheren Kaufpreis als vergleichbare Pkw mit Verbrennungsmotor. Diese Mehrkosten werden durch Subventionen ausgeglichen: Die noch bis zum Jahresende beantragbare Innovationsprämie, die aus Steuermitteln und von den Herstellern gemeinsam aufgebracht wird, kann bis zu 9570 Euro betragen. Für E-Autos gibt es auch im nächsten Jahr weiterhin Subventionen, allerdings werden ihr Umfang und der Kreis der Berechtigten schrittweise runtergefahren (siehe S. 18). Außerdem sind Elektroautos bis Ende 2030 von der Kfz-Steuer befreit. Mit dem Handel der Treibhausgasquote ist seit Anfang dieses Jahres ein niederschwelliges Instrument hinzugekommen, das den Haltern jährlich wiederkehrend Geld einbringt. Das funktioniert erstaunlich einfach.

Verkehr dekarbonisieren

Der rechtliche Rahmen für diese Zahlung ist kompliziert. Simpel zu verstehen ist jedoch das politische Ziel, das sich die Europäische Union mit allen 27 Nationalstaaten gesetzt hat: Der Verkehrssektor soll dekarbonisiert werden; es soll tatsächlich oder bilanziell kein Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangen. Um dieses Fernziel zu erreichen, betrachtet die EU zwei Abschnitte der Entstehung von CO_2 getrennt voneinander: Zum einen die Fahrzeugseite, also jene CO_2-Emissionen, die am Auspuff messbar sind. Um die zu regulieren, gibt es ein Limit der Flottenemissionen. Zum anderen soll die Kraftstoffseite verbessert werden durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU) 2018/2001, im Fachjargon häufig mit dem englischen Kürzel RED II (für Renewable Energies Directive II) abgekürzt. Deren Mechanismus spielt mit der Begrenzung der CO_2-Flottenemissionen zusammen.

Um die von der EU geforderten CO_2-Minderungsquoten zu erfüllen, nutzt die Mineralölindustrie auch den CO_2-Handel mit E-Auto-Besitzern.

Die durchschnittlichen CO_2-Emissionen der im Europäischen Wirtschaftsraum verkauften Pkw eines Konzerns dürfen seit 2020 maximal 95 Gramm pro Kilometer betragen. Die tatsächliche Grenze ist von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich, denn diese richtet sich nach dem Gewicht der Fahrzeugflotte. Ein Autokonzern mit überdurchschnittlich schweren Modellen darf etwas mehr ausstoßen, einer mit eher leichten dagegen entsprechend weniger. Für jedes Gramm mehr war eine Strafzahlung pro verkauftem Auto fällig, und zwar vollkommen unabhängig davon, ob das jeweilige Fahrzeug für sich genommen das Flottenziel erreicht oder nicht.

Das sind nicht etwa Peanuts. Bei großen Konzernen kann sich eine solche Strafzahlung auf mehrere hundert Millionen Euro summieren. Fast allen ist es gelungen, diese Sanktion zu vermeiden: Batterieelektrische Autos haben keine direkten Auspuffabgase und gehen darum mit Null Gramm CO_2 in die Bilanz ein; vorübergehend wird dieser Wert sogar mehrfach angerechnet („Supercredit“). Auch Plug-in-Hybride bieten mit CO_2-Emissionen von im Regelfall unter 50 g/km einen Vorteil für den Flottenmechanismus. Es ist keineswegs zugespitzt festzustellen, dass es über einen hohen Verkaufsanteil von BEV möglich ist, den CO_2-Ausstoß der verbliebenen Pkw mit Verbrennungsmotor nicht oder kaum mehr verringern zu müssen.

Nach aktuellem Stand muss der durchschnittliche Flottenwert von 95 Gramm pro Kilometer bis 2030 um 37,5 Prozent gesenkt werden. Angesichts des ansteigenden Marktanteils von BEV käme diese Vorgabe einem Freibrief gleich, daneben weiterhin viele verbrauchs- und damit CO_2-intensive Autos mit Verbrennungsmotor auf die Straße zu bringen. Zwischen Europäischer Kommission, Rat der Europäischen Union und Europäischem Parlament wird darum im Trilog-Verfahren über eine deutliche Verschärfung verhandelt. So viel zur Fahrzeugseite in Gestalt der Begrenzung der CO_2-Flottenemissionen.

Mineralölkonzerne sind in der Pflicht

Betrachten wir nun die Kraftstoffseite, die durch die RED II beziehungsweise die Treibhausgasminderungsquote – beide Begriffe sind üblich – reguliert werden. Die EU meint hier lediglich Superbenzin und Dieselkraftstoff, also nicht den Strom, bei dessen Produktion selbstverständlich auch CO_2 freiwerden kann. Der Vorgänger der RED II hieß Biokraftstoffquotengesetz. Am bekanntesten sind den meisten Autofahrern die Begriffe Super E5, Super E10 und Diesel B7, die für die prozentuale Beimischung von Ethanol (E) und Fettsäuremethylester (B) stehen.

Entscheidend ist, dass es die Mineralölindustrie ist, die die Vorgaben aus der RED II umsetzen muss. Für das Jahr 2020 war noch eine CO_2-Minderungsquote von sechs Prozent vorgegeben, die durch die genannten Biokraftstoffe erfüllt wurde. Bis zum Jahr 2030 fordert die RED II einen Anstieg auf 25 Prozent – in diesem Jahr sind es sieben Prozent –, die durch andere Maßnahmen erfüllt werden müssen. Strom trägt mit knapp 0,1 Prozent (Stand 2020) zurzeit sehr wenig bei.

Gelingt es der Mineralölindustrie nicht, die in der EU-Richtlinie formulierten Quoten einzuhalten, muss sie pro Tonne zusätzlichem CO_2-Ausstoß 600 Euro Strafe zahlen. Shell, BP und Total prüfen nun logischerweise, wie sie die Reduzierung für einen geringeren Kurs erreichen können. Eine besonders attraktive Möglichkeit, eine kostengünstige CO_2-Minderung hinzubekommen, ist die „Upstream Emission Reduction“. Damit ist gemeint, dass die Mineralölindustrie bei den eigenen Prozessen, also vor allem der Raffinierung, erneuerbare Energien einsetzt und so den Gesamtausstoß reduziert. Hierbei befindet sich die Mineralölindustrie zwar am Anfang, es liegt aber ein immenses und leicht beherrschbares Potenzial in dieser Maßnahme.

Halter profitieren vom CO_2-Handel

An dieser Stelle kommen die Halter von Elektroautos in Deutschland ins Spiel. Sie

können indirekt die durch das eigene E-Auto erzielte Treibhausgasminderungsquote an die Mineralölindustrie verkaufen. Basis hierfür ist die Umsetzung der RED II in nationales Recht über die „Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminderung bei Kraftstoffen – 38. BImSchV“.

Der Gesetzgeber sieht vor, dass die privaten oder gewerblichen Elektroauto-Halter die eigene Treibhausgasminderungsquote nicht selbst verkaufen, sondern einen Dritten brauchen, der die Ladestrommengen vieler Halter bündelt und den Handel mit der Mineralölindustrie durchführt. In dieses Geschäft sind inzwischen ganz unterschiedliche Akteure eingestiegen. Einen guten Überblick bietet zum Beispiel der Branchendienst electrive.net. Neben etlichen auf den THG-Quotenhandel spezialisierten Unternehmen und Vereinen finden sich in der Liste auch der ADAC, Energieversorger und Autoversicherer.

Die angebotenen Verträge laufen in der Regel über ein Jahr mit oder ohne automatische Verlängerung. Abhängig von den vereinbarten Modalitäten gibt es fixe oder variable Prämien sowie diverse Bonusangebote. Manche Anbieter zahlen bereits im Monat nach Vertragsabschluss, andere erst, wenn die behördlichen Formalitäten erledigt sind. Ähnlich wie bei Smartphone-Verträgen sollten Interessierte das Kleingedruckte lesen. Der Endverbraucher muss auf die Laufzeit achten und genau unterscheiden, welche Auszahlung garantiert wird und welche lediglich eine „bis zu“-Aussage enthält. Der Korridor bewegt sich aktuell meistens zwischen 250 und 350 Euro pro Jahr. Inzwischen hat der Gesetzgeber festgelegt, dass diese Einnahmen steuerfrei sind.

Damit E-Auto-Besitzer ihre THG-Quote an einen Händler abtreten können, muss das Umweltbundesamt (UBA) die Anrechnungsvoraussetzungen prüfen und eine Bescheinigung über die verbrauchten Strommengen sowie die daraus errechneten Treibhausgasemissionen ausstellen (siehe ct.de/wrrp). Üblicherweise beauftragt man die Händler mit der Antragstellung beim Vertragsabschluss.

Da das Laden zuhause nicht korrekt gemessen werden kann, hat das UBA zur Berechnung der Strommengen aus privatem Laden pauschale Schätzwerte festgelegt. Dabei geht es vereinfachend davon aus, dass imaginär 20 Prozent der Ladevorgänge eines Elektroautos an öffentlichen Stationen und 80 Prozent zu Hause an der Wallbox erledigt werden. Es ist nicht notwendig, wirklich einen eigenen Stellplatz zu haben; die Annahme des UBA gilt auch für Halter von E-Autos, die unter der Laterne parken und keine Wallbox besitzen. Für das Jahr 2022 hat das UBA einen Schätzwert von 2000 Kilowattstunden angesetzt, die den privat geladenen 80 Prozent des Stromverbrauchs entsprechen (siehe ct.de/wrrp). Im Vorjahr waren es noch pauschal 1943 kWh.

Bild: BMW

Die Treibhausgasminderungsquote kann jeder Besitzer eines Elektroautos verkaufen – unabhängig von der Größe seines Fahrzeugs und dem Strommix, mit dem es geladen wird.

Betreiber öffentlicher Ladeinfrastruktur

Für die verbleibenden 20 Prozent können die Betreiber der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur die Treibhausgasminderungsquote beanspruchen. Firmen, die nicht nur Elektroautos haben, sondern auch eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur auf großen Parkplätzen, sind einem auch Charge Point Operator (CPO) genannten Betreiber von öffentlicher Ladeinfrastruktur gleichgestellt und können so zusätzliche Erlöse aus dem Treibhausgashandel erzielen. Anders als bei den Elektroauto-Haltern wird bei CPOs keine Pauschale angenommen, sondern die eichrechtskonform gezählten Kilowattstunden abgerechnet. Es ist möglich, dass auch der Strom, der in Plug-in-Hybride fließt, angerechnet wird. Inzwischen bieten einige Händler auch für Privatbesitzer die Option an, den an der eigenen Wallbox gezapften Strom in den CO_2-Handel einzubringen, wenn diese als öffentlich deklariert wird (siehe ct.de/wrrp).

CO_2-Äquivalent hängt vom Strommix ab

Für den eigentlichen Handel wird aus der einem Elektroauto zugeordneten Strommenge das Äquivalent an eingespartem CO_2 bestimmt. Der Preis für das Recht, sich dieses CO_2-Äquivalent anrechnen zu lassen, wird dann frei verhandelt. Wie viel CO_2-Minderung ein Elektroauto wert ist, wird in

Bild: Volkswagen

Auch die Betreiber von öffentlichen Ladesäulen, häufig abgekürzt als CPOs (Charge Point Operator), erhalten Geld aus dem Emissionshandel.

einem komplizierten Verfahren jährlich vom UBA festgestellt und veröffentlicht. Hierbei ist unter anderem ausschlaggebend, wie viel Gramm Kohlendioxid pro Kilowattstunde im allgemeinen deutschen Strommix frei wird. Derzeit werden 119 Kilogramm CO_2-Äquivalent pro Gigajoule angesetzt, was umgerechnet 428 Gramm CO_2/kWh entspricht.

Ein Antriebsfaktor und eine umstrittene Dreifachanrechnung führen vereinfacht formuliert dazu, dass pro Elektroauto und Jahr derzeit 862 kg CO_2-Einsparung gehandelt werden können. Leider ist anzunehmen, dass wegen des zu langsamen Zubaus an erneuerbaren Energien im Zusammenspiel mit der Abschaltung der Kernkraftwerke sowie einem gleichzeitig steigenden Strombedarf durch Wärmepumpenheizungen und die Elektromobilität die CO_2-Emissionen pro kWh mittelfristig ansteigen werden. Mittelfristig mindert das den Wert der CO_2-Einsparung pro Fahrzeug ebenso wie der steigende Bestand. Andererseits wächst parallel dazu der Bedarf der Mineralölindustrie, die wegen der 2030 auf 25 Prozent steigenden Minderungsquote theoretisch immer mehr Ausgleichsemissionen einkaufen müsste.

Keine echte CO_2-Ersparnis

Der mit RED II und der 38. BImSchV geschaffene Handelsmechanismus ist auch der Kritik ausgesetzt. Es lässt sich verlässlich sagen, dass die Halter von Elektroautos und die CPOs der Ladeinfrastruktur die Profiteure des Systems sind. Leider muss genauso sicher festgestellt werden, dass durch diese Maßnahme kein einziges Gramm Kohlendioxid eingespart wird, denn was in den von den Mineralölkonzernen bedienten Autos mit Hubkolbenmotor verbrannt wird, ist in der Atmosphäre. Immerhin werden jene belohnt, die das finanzielle Risiko des Umstiegs eingehen; das ist der Nutzen des Handels.

Der zweite Kritikpunkt richtet sich gegen die Betreiber von öffentlicher Ladeinfrastruktur, an die CPOs. Sie sind zuletzt durch erhebliche Preiserhöhungen aufgefallen. Die CPOs bekommen je nach Schätzung ebenfalls sechs bis 15 Cent pro Kilowattstunde aus dem Verkauf der CO_2-Quote. Dass sie diesen Erlös nicht weitergeben, mag das eigene Geschäftsmodell begünstigen. Der Ruf dieser Betreiber ist jedoch lädiert. (mfz) c't

Weitere Infos zur THG-Quote

ct.de/wrrp

Bild: Andreas Martini

Kurzvorstellung für Einsteiger 36
Wettrennen Kia Picanto gegen Tesla Model 3 42
Tesla Model Y zeigt nicht nur Stärken 48
BMW i4 eDrive40: Starke Basis 54
Dacia Spring - die Kunst des Weglassens 60
VW ID.5 GTX: Nur formal sportiv 66
Praxistest: Kia EV6 zieht Wohnwagen 72

Das passende E-Auto finden

Worauf es bei der Auswahl eines Elektroautos ankommt und was bei der Finanzierung hilft, haben wir in den vorangegangenen Artikeln vorgestellt. Vor dem Kauf bleibt noch die Frage zu klären, was genau Sie eigentlich brauchen und welches Modell dazu am besten passt.

Von **Martin Franz**

Bevor man sich für ein konkretes Elektroauto entscheidet, lohnt es sich, das eigene Fahrprofil zu analysieren. Trifft das Szenario „Langstrecke unter Zeitdruck“ nicht zu, ist das eine gute Voraussetzung für den Kauf eines Elektroautos. Bei der Klärung der eigenen Bedürfnisse sollte man aber ruhig noch genauer hinschauen. Ein E-Auto, das den eigenen Anforderungen möglichst exakt entspricht, spart unter Umständen reichlich Geld. Andererseits sind die Einschränkungen mit dem falschen Modell gravierend. Wer häufig längere Strecken fährt, muss dem Thema „Wie schnell kann ich in der Praxis nachladen“ eine höhere Priorität zumessen als jemand, der vor allem auf kurzen Strecken unterwegs ist.

Inzwischen hat sich die Industrie auf unterschiedliche Ansprüche eingestellt. Innerhalb weniger Jahre hat sie das Angebot an Elektroautos massiv vergrößert, wenngleich es besonders bei den günstigen Autos noch gewaltige Lücken gibt. So beschränkt sich das Angebot bei Kleinwagen auf eine Handvoll E-Autos, die für sich betrachtet nicht gerade billig sind.

Modellauswahl

Der mittlerweile recht umfangreiche Markt lässt sich in diesem Magazin natürlich nicht vollständig darstellen. Ausgehend von unserer langjährigen Testerfahrung bei heise Autos haben wir Modelle herausgesucht, die das Spektrum des Angebots veranschaulichen. Dank der gewachsenen Vielfalt gibt es eine Reihe von Elektroautos, die sich für mindestens ein Szenario besonders gut eignen. Eine Auswahl mit Kurzvorstellungen finden Sie ab der folgenden Seite. Die nachfolgenden Tests und Fahrberichte geben einen ausführlicheren Eindruck, was Sie von Elektroautos im realen Einsatz erwarten können. (mfz) c't

Bild: Toyota

Toyota bZ4x

Spät ist Toyota in den Markt der Elektroautos eingestiegen, doch im Dezember 2021 stellte der größte Autohersteller Pläne vor, die verdeutlichen, mit welchem Nachdruck die Japaner nun aufholen wollen. Mitgebracht haben sie eine Garantie über 10 Jahre oder bis zu einer Million Kilometer für die Batterie – das bietet kein Konkurrent.

Zwei Dinge haben den Start des ersten Elektroautos der Marke begleitet: Ein Rückruf aufgrund von sich lockernden Rädern hat Toyota veranlasst, den ersten Kunden einen Rückkauf anzubieten. Seltsam war auch die Entscheidung, ein mindestens knapp 50 000 Euro teures Elektroauto mit einem einphasigen Ladegerät auf den Markt zu bringen. Damit ist die Ladeleistung daheim in der Regel auf 3,7 kW beschränkt. Einen Dreiphasenlader, der daheim 11 kW Ladeleistung ermöglicht, will Toyota ab Ende 2022 anbieten.

Punkten kann der Japaner mit den typischen Stärken der Marke: Das Preis-Leistungs-Verhältnis ist fair, die langen Garantien schaffen Vertrauen in dauerhafte Zuverlässigkeit.

- **lange Garantie**
- **Einstiegspreis bei 50 000 Euro**
- **anfangs ein Einphasen-Lader**

Bild: VW

VW ID.3

Er war als Hoffnungsträger gestartet und legte zunächst mal einen deftigen Fehlstart hin. Erst musste die Markteinführung verschoben werden, weil Teile fehlten. Dann kämpfte VW mit schwankender Verarbeitungsqualität und ärgerlichen Bugs in der Software. Die schweren Geburtswehen überdeckten, dass es VW keineswegs verlernt hat, wie man Autos baut, die sich angenehm fahren.

Das Auto ist sorgsam gedämmt und damit leise, das Fahrwerk gekonnt abgestimmt. Zumindest die gröbsten Schnitzer bei Verarbeitung und Software hat VW größtenteils beseitigt. Der ID.3 ist mit zwei Batteriegrößen und verschiedenen Motoren zu haben, die meisten Kunden belassen es bei 58 kWh. Deutlich teurer ist die Version mit 77 kWh.

Mit dem für 2023 geplanten Update sollen alle Ausführungen schneller laden können und der Innenraum endlich oberflächlich aufgewertet werden. Was für den ID.3 spricht? Ein angenehmes Fahrgefühl, viel Komfort und, gemessen an den äußeren Abmessungen, ein gutes Platzangebot. Hierzulande kommt noch ein dichtes Händlernetz hinzu.

- **viel Platz**
- **nur durchschnittliches Ladetempo**
- **Softwarebugs**

Bild: Tesla

Tesla Model 3

Verfolgt man die Diskussionen in Foren, scheint sich die Welt bei Tesla in zwei Lager aufzuteilen. Kritiker bemängeln eine schwankende Verarbeitungsqualität, harte Fahrwerke, lausige Dämmung und Assistenzsysteme, die nicht halten, was der eloquente Firmenlenker Elon Musk suggeriert. Erbitterter Protest kommt von den Tesla-Fans, die ihre Modelle bei Infotainment, Effizienz und Laden weit vorne sehen.

Recht haben zum Teil beide Seiten. Das Model 3 bereitet unterwegs sehr viel Fahrfreude. Updates kommen rasch und halten die Unterhaltungselektronik auf aktuellem Stand, was kaum ein Autohersteller in vergleichbarer Form bieten kann.

Zurückhaltend bewegt, lässt sich das Model 3 erstaunlich sparsam fahren. Auch bei der Ladeleistung hat das Model 3 kaum direkte Konkurrenz. Mit dem eigenen Ladenetz kommt ein weiteres Argument hinzu, was auf Langstrecken einen erheblichen Mehrwert bietet. Leider stiegen zuletzt die Preise kräftig an. Das Basismodell kostet aktuell knapp 50 000 Euro.

- **effizienter Antrieb, tolle Software**
- **deutlich teurer als zum Start**
- **schwankende Verarbeitungsqualität**

Bild: Hyundai

Hyundai Ioniq 5

Hyundai hat einige Konkurrenten eiskalt erwischt: Die Spannungsebene von 800 statt 400 Volt ermöglicht eine höhere Ladeleistung, ohne bei der Stromstärke nachlegen zu müssen. Resultat ist ein rasantes Ladetempo von mehr als 200 kW, sofern die Umgebungsvariablen stimmen. Bei kalter Batterie liegt die Ladeleistung deutlich darunter.

Inzwischen hat der Konzern das Thermomanagement nachgebessert, die Batterie wird nun vorkonditioniert. Auf Langstrecken lässt sich an entsprechender Infrastruktur in sehr kurzer Zeit Reichweite nachladen. Nach rund 20 Minuten ist, ausgehend von 10 Prozent Restladung, der Speicher wieder zu 80 Prozent befüllt.

Wer also ein Modell sucht, mit dem er sich bedenkenlos auf Langstrecken begeben kann, ohne längere Pausen einplanen zu müssen, findet im Ioniq 5 den passenden Kandidaten. Wem dessen eigenwillige Form nicht zusagt, kann auch zum Kia EV6 auf gleicher Basis greifen.

- **rasantes Ladetempo**
- **eigenwilliges Design**
- **kleiner Kofferraum**

Bild: Fiat

Fiat 500

Das knuffige Original des Fiat 500 wurde ab 1957 gebaut. Inzwischen hat selbst die Neuinterpretation aus dem Jahr 2007 einen gewissen Kultstatus erreicht. Seit 2020 bietet Fiat einen modernen Nachfolger mit Elektroantrieb an.

Der glänzt mit einem feinen Innenraum, modernem Infotainment und charmantem Design. Das alles gibt es nicht für kleines Geld. Ganz im Gegenteil, der elektrische Fiat 500 ist schockierend teuer, unter 30 000 Euro geht nichts. Das Basismodell ist mit einer knapp 24 kWh kleinen Batterie zudem nur für kurze Strecken gerüstet, mit dem großen Speicher (42 kWh) wird der Kleinstwagen geradezu obszön teuer. Fiat lässt sich den Kult rund um den 500 fürstlich bezahlen.

Ihnen reicht ein sehr kleines Elektroauto aus, was dafür reichlich Stil bietet und nicht günstig sein muss? Der Fiat 500 passt in dieses Raster.

- **charmantes Design, gute Verarbeitung**
- **geringe Reichweite**
- **sehr teuer für diese Klasse**

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 €. Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

Bild: Peugeot

Peugeot e-2008

Stellantis bietet seinen E-Antrieb in vielen Verpackungen an. Am leichtesten tut er sich in den Kleinwagen Peugeot e-208 und Opel Corsa-e, doch auch im deutlich größeren Peugeot e-2008 macht er eine gute Figur. Mit 100 kW ist er kräftig genug, um das SUV ausreichend flott anzutreiben. Im September stellte Stellantis ein Upgrade auf 115 kW vor.

Anfangs war ein dreiphasiges Ladegerät für das Laden mit 11 kW an Wechselstrom serienmäßig, inzwischen kostet es mehr als 1000 Euro extra. Die Ausgabe will gut überlegt sein, weil sie nur das Laden an der heimischen Wallbox nennenswert beschleunigt. Schneller geht es mit Gleichstrom, hier sind 100 kW möglich.

Die Batterie ist mit 50 kWh ordentlich dimensioniert, etwas mehr als 200 Kilometer sind auch im Winter auf der Autobahn möglich, sofern der Fahrer die Höchstgeschwindigkeit von 150 km/h nicht antastet. Herausragend sparsam ist der E-Antrieb in keiner der zahlreichen Stellantis-Modelle.

- **gutes Platzangebot**
- **nur durchschnittliche Effizienz**
- **DC-Ladeleistung bricht früh ein**

Bild: Renault

Renault Zoe

Renault war vergleichsweise früh dran mit serienmäßigen Elektroautos, und der Erfolg des Zoe gab den Franzosen recht. Seit 2013 ist er auf dem Markt, 2019 wurde er zuletzt umfangreich überarbeitet. Über die Jahre hat Renault den Energiegehalt der Batterie kräftig angehoben, in der Spitze sind es mit 50 kWh inzwischen mehr als doppelt so viel wie ursprünglich.

Was den Zoe aus der Masse heraushebt, ist aber seine ungewöhnlich hohe Ladeleistung an Wechselstrom. Er gehört zu den wenigen Elektroautos, die die Möglichkeiten der vergleichsweise weit verbreiteten 22-kW-AC-Ladesäulen komplett nutzen können. Die meisten Konkurrenten belassen es auf diesem Weg bei 11 kW, der Renault lädt doppelt so flink. DC-Laden kostet allerdings Aufpreis. Anfangs konnte der Käufer die Batterie mieten, was den Kaufpreis senkte. Diese Option gibt es inzwischen nicht mehr.

Sie fahren viel und wollen vor allem an den AC-Säulen laden? Der Renault Zoe ist dafür ideal.

- **schnell geladen an AC**
- **für einen Kleinwagen teuer**
- **DC-Ladung nur gegen Aufpreis**

Bild: BMW Group

Mini Cooper SE

Der elektrische Mini macht es seinen Kritikern auf den ersten Blick einfach: Er ist geradezu absurd teuer, innen eng und die Reichweite ist durch die kleine Batterie nicht gerade riesig. Wer sich dem Thema Auto rational nähert, kann den Mini umgehend von seiner Liste streichen.

Doch er punktet dort, wo seine Zielgruppe gehobene Erwartungen hat: beim Fahrspaß. Der Antrieb aus dem BMW i3S treibt den Kleinwagen mit seinen 135 kW machtvoll voran. Kombiniert ist das mit einem hervorragend abgestimmten Fahrwerk. Der elektrische Mini lässt sich noch beherzter um Kurven scheuchen als die Modelle mit Verbrenner, was vor allem mit seinem tieferen Schwerpunkt zusammenhängt.

Ein teurer, unpraktischer Kleinwagen, der enorm viel Fahrspaß bietet und deshalb herausragt. Trotz seiner konzeptionellen Nachteile ist er damit eine Empfehlung wert. Ein Nachfolger soll auch als Cabrio auf den Markt kommen.

- **bietet sehr viel Fahrspaß**
- **nur als Dreitürer zu haben**
- **absurd teuer**

Ihr Erste-Hilfe-Set:

Das Notfall-System für den Ernstfall

Komplett auf 32 GByte USB-Stick.
Desinfec't startet direkt vom Stick.

Auch als Heft + PDF mit 29 % Rabatt

Mit der neuen Version **c't Desinfec't 2022/23** sind Sie für den Ernstfall bestens gerüstet:

- ► Windows-PCs untersuchen und säubern sowie Trojaner und Viren beseitigen
- ► Daten retten und sofort wiederherstellen
- ► Für Profis: Open Threat Scanner (Yara), Thor Lite Scanner
- ► Viren-Scanner von ClamAV, Eset und WithSecure

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 € • Desinfec't-Stick 19,90 €

shop.heise.de/desinfect22

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

Bild: Clemens Gleich

Wettrennen Kia Picanto gegen Tesla Model 3

Der Kia Picanto mit dem 100-PS-Dreizylinder ist ein tolles kleines Auto. Aber kann er schneller am Starnberger See sein als ein Tesla Model 3? Ein Selbstversuch.

Von **Clemens Gleich**

Ich liebe kleine Autos. Diese Dinger müssen fröhlich sein, weil sich so ein Dinosaurierrollschuh schwer selbst ernst nehmen kann. Sie müssen jedoch auch schlau konstruiert sein, weil der Hersteller sonst in diesem schwierigen Segment kein Geld verdient. Kias Picanto erhielt mit dem Update einen Turbo-Reihendreizylinder mit 100 PS (1.0 T-GDI ab 16.850 Euro). Mit dieser Leistung kann man sehr kommod Langstrecken auf der Autobahn fahren. Um zu zeigen, wie wenig Auto im Extremfall reichen kann, wollte ich gern ein Wettrennen gegen ein Elektroauto fahren.

Das Problem dabei: Diesen Scherz würden sofort alle Leute ernst nehmen, die denken, dass das Elektroauto ein gefährlicher, dysfunktionaler Irrweg ist. Das glaubt hier in der Redaktion aber niemand. Im Gegenteil sind wir davon überzeugt, dass es derzeit trotz aller Probleme keine bessere Technik zur Decarbonisierung des PKW-Verkehrs gibt, ja: dass die Technik mittlerweile recht brauchbar wurde (siehe auch Seite 18).

Deshalb nahm ich mir vor, den Scherz im Artikel zu erklären. Alle lieben es, wenn man Witze erklärt, oder? Kann man gleich nochmal lachen. Anhand des kleinen Picanto wollte ich also zeigen, warum wir überhaupt so abhängig wurden von flüssigen Treibstoffen aus billigen, fossilen Quellen. Ich meine: Man stellt sich aufs Gas und wartet, bis man am Ziel ist. Manchmal hält man kurz an, Treibstoff auffüllen, Käffchen trinken und wegbringen, weiter gehts. Am Ende des Tages dann vergleichsweise lächerliche Kosten. Auf der Langstrecke mit hoher Geschwindigkeit wähnte ich den Picanto jedem E-Auto überlegen, denn er fährt laut Kia 180 km/h – den ganzen 50-Liter-Tank leer, wenn es sein muss. Ab einer Mindestlänge, egal welche Strecke, egal welches E-Auto, der Picanto wäre schneller am Ziel. Natürlich macht das süchtig.

Wie ich etwas dachte

Für die Fahrt verhaftete ich wieder einmal den Kollegen Philipp mit seinem Tesla Model 3. Dafür gab es verschiedene Gründe, einer der wichtigeren war: Philipp kennt sich mit diesem Auto aus und ist in der Lage, einen schnellen Schnitt zu fahren. Das trifft auf zu vorsichtige Noobs selten zu. Corona- und familienkonform legte ich als Ziel den Starnberger See fest für ein Picknick, dann zurück, daheim in den eigenen Betten schlafen. Startpunkt war der Stuttgarter Speckgürtel, die Strecke betrug einfach 240 Kilometer. Hin und zurück war also ein Tank-Lade-Stopp dabei, der mir einen so krassen Sieg gewährleisten würde, dass es kracht. Aber Philipp würde schon hinwärts nicht mein Dauertempo fahren können, dachte ich.

Als die Tachonadel bei der Anfahrt auf Stuttgart über die leere A81 über die 200 kroch, war ich mir noch sicherer als zuvor. Bei Nenngeschwindigkeit von 180 km/h des Wagens dreht der Motor knapp über 4000/min. Die Nennleistung liegt bei 4500, dort dann etwa 200 km/h. Goodbye, Volvos! Danach 2000 Umdrehungen Überdrehbereich. Wer diesen Begriff nicht kennt: Der Überdrehbereich ist der Teil der Leistungskurve rechts vom Leistungsmaximum am Scheitelpunkt. Die Kurve fällt dort wieder. Normal sind im Rennsport ein paar hundert

Umdrehungen, die Dir Schaltvorgänge ersparen. Im Picanto sind es viel mehr, aber man nutzt den Überdrehbereich kaum, weil sich der Motor dort nur plagt, ohne dass mehr Leistung herauskommt.

Wie die meisten aktuellen Koreaner ist auch der Picanto extrem lang untersetzt, damit Drehzahl und Verbrauch sinken. Man kann den Antrieb deshalb mit 4,5 Litern fahren. Auf der A81 standen jedoch manchmal über 11 Liter auf dem Verbrauchsschätzeisen. An der Tankstelle nach der A81 maß ich inklusive Landstraße 9,8 Liter/100 km. Man zeige mir ein Auto, das bei Bleifuß zwischen 180 und 200 km/h weniger verbraucht. 50 Liter höchste Energiedichte diesseits der Atomkraft im Tank. Keine Chance fürs Model 3. Dachte ich.

Realer Verkehr

Start bei Philipp: vollgetankt, vollgeladen, abgefahren. Von Stuttgart Richtung München gibt es zwar einige offene Autobahnkilometer, es gibt jedoch vor allem viel Verkehr, sogar an einem Samstag. Als wir uns da im dichten Verkehr also immer wieder sahen, regten sich erste Zweifel. Verdammte Realität immer. Ich hatte vergessen, dass es auf der A8 ziemlich viele andere Menschen und Baustellen gibt, und die A81 um sechs in der Früh am Samstag hatte mich nicht an diese Dinge erinnert. Irgendwann hinter der Alb wurde es besser. Ich stand auf dem Gas. Aber Philipp tippte seins an, zog mit seinen 234 kW locker vorbei, konnte bis zu 230 km/h fahren und obwohl er sich auf 200 beschränkte, ward er nicht mehr gesehen. DAS wird sich noch rächen, sagte ich mir. Doch ich sah ihn wirklich nicht mehr. Hoffnung: Problem? Ein Nachladen gar?

Verloren ist verloren

Nein. Kurz vor der Ausfahrt Starnberg rief Philipp an: „Ich bin gleich da." Ich sah aufs Navi. „Ich bin auch gleich da." Aber manche sind immer gleicher als andere. Philipp war tatsächlich mehrere Minuten vor mir am Parkplatz, mit komfortablen 17 Prozent Restkapazität. Wie geht das?

Bild: Clemens Gleich

Zugeparkt: Tesla und Kia stehen an der Ladestation, unserem Start.

„Ich bin auf den freien Stücken immer so zwischen 180 und 200 gefahren", sagte er. „Gegen Ende fuhr ich sicherheitshalber nur noch 160, damit ich am Ende einen Puffer behalte." Vor lauter Aufregung verpasste ich meine Ausfahrt, aber da stand Philip eh schon lang am Ziel. Verloren ist verloren, es kam auf die Schleife nicht mehr an. Trotzdem: Ich freue mich immer, wenn Unerwartetes passiert. Das war unerwartet, unerwartet gut. Wenn die Familie am Wochenende 240 Kilometer zum Starnberger See fahren will, darf sie also ruhig elektrisch fahren wie im Diesel immer, was im deutschen Normalschnitt ein gutes Stück langsamer wäre als Philipp heute. Wir aßen unser Picknick, beide Autos nicht an Stecker oder Stutzen angesteckt. Vor der Rückfahrt mussten wir also beide Energie nachladen. Wir fuhren dazu eine Tanke an, die Strom und Benzin (und Reifen und Autowäschen und Schokoriegel) verkaufte.

Supercharged

Ich fuhr jedoch vor Philipp los, der noch lud. Am Boxenstopp entscheidet sich das Rennen, das war in der Formel 1 schon so. Die A8 hatte sich in den Abendstunden beruhigt: viel weniger Verkehr. Folglich: viel mehr Vollgasetappen. Die Schmach des Vormittags würde getilgt werden! Nach hunderten von Kilometern im Picanto hatte ich ihn sehr liebgewonnen. Ich schaute mich auf der Autobahn um: Nein, ich würde in keinem anderen Auto lieber sitzen, wenn ich auch nur einen Euro dafür bezahlen müsste. Geschwindigkeit: super. Komfort: sehr gut. Radio: sehr gut. Platz für eine Person: pft, reicht für fünf Personen! A-Segment ist das, was du brauchst. Der Rest ist das, was du möchtest.

Gut gelaunt lief ich die Zapfsäule in Leonberg gegenüber des Superchargers an, Zielpunkt des Rennens. Motor aus, ich griff zum Telefon, da klingelte es schon: „Ich bin am Supercharger", sagte Philipp. „11 Prozent Akkustand." Nun hatte er diese Etappe zwar um zehn Sekunden verloren, aber verdammt nochmal: Wie geht das? Als ich losfuhr, schmierte sich der Mann gerade eine

Bild: Clemens Gleich

Im dichten Verkehr sahen wir uns ständig. Da ahnte ich, dass mein Sieg vielleicht doch nicht so sicher war.

Stulle! Raser! Ich meine: Ich stand über zwei Stunden eisern auf diesem Gaspedal, wann immer es die Schilder erlaubten!

Tja: Wie geht das?

Die kurze Antwort: Das Laden geht inzwischen so schnell, dass der Vorteil Benziner gar nicht mehr so groß ist beim Boxenstopp. Und die aktuell großen Batterien lassen Dir Spielraum, auf offenen Etappen eben doch schnell zu fahren. Teslas Model 3 hat hier zwei Vorteile: Erstens ist das Auto effizient auf der Autobahn und zweitens lädt es deshalb schnell nach, im Sinne von: viele Kilometer pro Ladestunde. Der Wagen lädt an real existierenden Ladestationen mit maximal 175 bis 200 kW, meistens ladesäulenseitig maximal 150 kW, das aber über einen weiten Bereich der Ladekurve. Er verbrauchte auf der Tour 28,3 kWh/100 km brutto an der Ladestation gemessen (für die Kontextlosen: ein sehr guter Wert für das Tempo).

Wer nach 200 bis 300 Kilometer einen Kaffee trinken geht, kann danach meistens schon weiterfahren – häufig null Zeitnachteil gegenüber Tanken mit Klo und Kaffee. Ich hätte den Tankvorgang auslassen können, denn ich tankte 24,6 Liter nach der Hinfahrt und 23,9 auf der etwas kürzeren Rücketappe. Mit 50 Litern Tankinhalt wäre das also extrem knapp gewesen, nach Tankuhr unwahrscheinlich. Der echte Racer hätte das getan. Gewonnen hatte ich die Rückfahrt jedoch auch so.

Bild: Clemens Gleich

Oh nein! Besiegt vom Elektroauto! Na gut, dann erstmal Picknick …

Kostenvorteile und Preisfragen

Der Picanto verbrauchte auf der Strecke 9,7 Liter/100 km. Der Benzinpreis lag an diesem Tag bei 141 bis 144 Cent/Liter. Insgesamt kostete der Ausflug zum Starnberger See im Kia 68,98 Euro Benzin, ums Ausfahrt verpassen korrigiert etwa 64 Euro. Im Tesla kostete er Philipp 48,29 Euro: 61 kWh von der EnBW zu je 39 Cent plus 68 kWh vom Tesla Supercharger zu je 36 Cent. Die Preise haben sich geändert, das Verhältnis nicht wirklich: Bei Redaktionsschluss dieses Heftes hätte die Fahrt im Picanto rund 92 Euro gekostet, im Model 3 wären es 78,64 Euro gewesen. Ich würde sagen: Die Technik der E-Autos ist ausgereift. Das Thema Langstrecke für Normalfahrer ist gelutscht. Kaufen Sie ein Modell mit gescheitem Ladeplaner, dann müssen Sie Autobahnfahrten nicht weiter planen.

Letztendlich war der trotz Testwagen-Vollausstattung des Kias mit UVO Connect, Spurhalter und allem über dreimal so teure Tesla kaum schneller bis minimal langsamer, um die Fakten einmal von der anderen Seite zu beleuchten. Hier liegen die Reste meines Witzes: Man kann mit einem kleinen Benziner auf lange Sicht günstiger fahren als elektrisch, weil große Traktionsbatterien so teuer sind. Alles eher theoretisch, weil der Deutsche keine A-Segment-Wagen lange Strecken auf der Autobahn fahren möchte. Er kauft für diesen Zweck folglich tendenziell viel größer.

Relativierungen

Ich fuhr an diesem Tag zum Startpunkt. Ich fuhr vom Ziel noch heim. Doch angesichts der erlebten Realität: Mit einem vergleichbaren E-Auto hätte ich kaum länger gebraucht – für über 750 Kilometer. Ich glaube weiterhin, dass der Kia auf Langstrecke schneller wäre als der Tesla, aber er bräuchte schon deutlich über 500 Kilometer mit wenig Verkehr. So etwas gibt es real selten. Dafür gibt es im Hyundai Ioniq 5 bereits noch bessere Ladesysteme (siehe S. 36), noch effizientere Autos. Im Porsche Taycan fuhren zwei Holländer schon Tagesschnitte von über 110 km/h inklusive Ladestopps.

Jeder, der sich mit Tagesschnitten auskennt, weiß: Für 110+ Tagesschnitt muss sich auch ein Verbrennerfahrer strecken. Nix mit gemütlich Mittagessen. Tanken, kurz pausieren, Pedal to ze Metal. Die Technik batterieelektrischer Antriebe taugt mittlerweile selbst für die größten Physik-Ignoranten. Sogar der Wintermehrverbrauch ist auf der Autobahn nur ein Randthema. Nur auf die Software würde ich achten und bei Langstreckenwünschen kein E-Auto ohne guten Ladeplaner kaufen.

Kaum noch Nachteile

Ich kenne Elektroautos, ich fahre seit zehn Jahren viele Modelle. Dieses Ergebnis hat mich trotz allem überrascht, weil ich meinen dann doch nicht passierten Sieg zu sehr theoretisch in der reinen Physik der Geschwindigkeit herbeiphantasierte, während in der Realität der Hauptverbrauchsfaktor immer der Verkehr ist. Der wird nicht dünner werden. Im Gegenteil steigen Fahrleistungen und Bestand seit vielen Jahren stetig an, während wenig neue Straßen gebaut werden. Es gibt für Elektroautos ab 60 bis 80 kWh Batteriegröße für Normalfahrer als echten Nachteil nur den hohen Preis. Die fünf Kurierfahrer wissen selber, was sie brauchen. Wenn sich irgendwann die 130 auf der Autobahn durchsetzt, wird sowieso jede Diskussion theoretisch. Bleibt eine nennenswerte Anzahl PKW-Fahrer zehn Stunden am Stück im Auto sitzen, bis die Diesel-Tankuhr Nachschub anmahnt? Nein.

Besser als erwartet war aber auch der Kia Picanto. Er kann alles, was man von einem Auto braucht, und mit dem neuen 100-PS-Motor kann er sogar die Langstrecke überzeugend gut. Jetzt stehe ich am Ende eines langen Textes und habe gar nichts zum Lästern. Auch mal ganz schön. (anm) c't

WIR MACHEN
KEINE WERBUNG.
WIR MACHEN EUCH
EIN ANGEBOT.

c't

ct.de/angebot

Jetzt gleich bestellen:
ct.de/angebot
+49 541/80 009 120
leserservice@heise.de

ICH KAUF MIR DIE c't NICHT. ICH ABONNIER SIE.

Ich möchte c't 3 Monate lang mit 35 % Neukunden-Rabatt testen.
Ich lese 6 Ausgaben als Heft oder digital in der App, als PDF oder direkt im Browser.

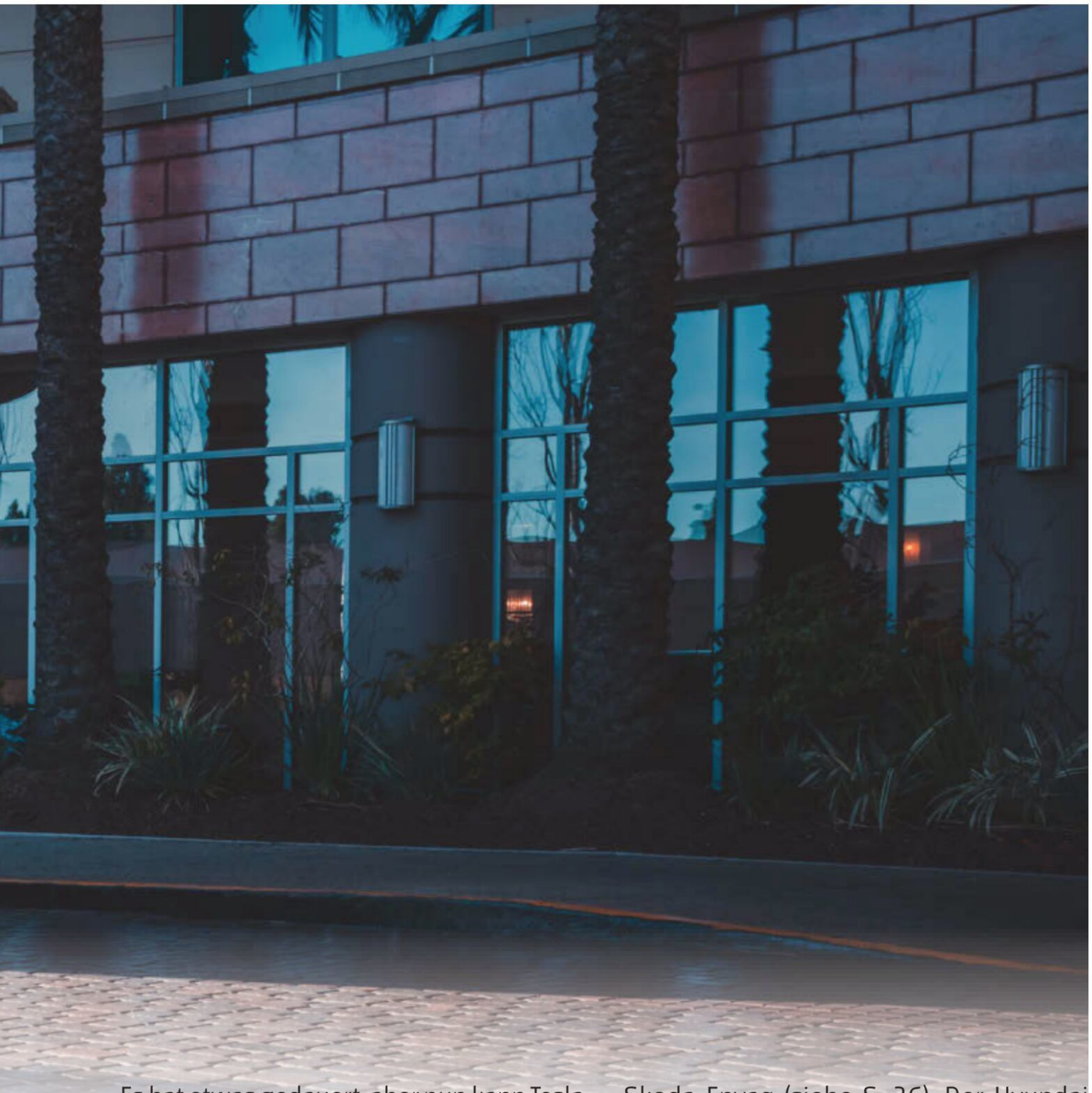
**Als Willkommensgeschenk erhalte ich eine Prämie nach Wahl,
z. B. einen RC-Quadrocopter.**

Bild: Tesla Motors

Tesla Model Y zeigt nicht nur Stärken

Das Tesla Model Y ist mit Spannung erwartet worden. In unserem Test zeigte das E-SUV die üblichen, bei Tesla erwarteten Vorzüge, allerdings auch Schwachpunkte.

Von **Christoph M. Schwarzer**



Technische Daten

Hersteller	Tesla
Modell	Model Y Maximale Reichweite
Motor und Antrieb	
Anzahl der Motoren	2
Leistung in kW E-Motoren	378
Antrieb	Allrad
Maße und Gewichte	
Reifengröße	255/45 R19
Länge in mm	4751
Breite in mm	1921 (mit Außenspiegeln: 2129)
Höhe in mm	1624
Radstand in mm	2890
Kofferraumvolumen in Litern	854 hinten, 117 vorn
Leergewicht in kg nach EU inklusive 68 kg Fahrer und 7 kg Gepäck	2056
Batterie in kWh	77
Fahrleistungen	
Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in Sekunden	5
Höchstgeschwindigkeit in km/h	217
Verbrauch	
Verbrauch WLTP in kWh/100 km	16,9
Ladeleistung an AC in kW	11
Ladeleistung an DC in kW	250
Reichweite in km (WLTP)	507
Daten Stand: September 2022	

Es hat etwas gedauert, aber nun kann Tesla ein E-SUV aus deutscher Produktion anbieten. Das Model Y ist auch deshalb mit Spannung erwartet worden, verspricht die Kombination aus batterieelektrischem Antrieb, dem Format SUV und nicht zuletzt dem Image von Tesla als Technologieführer einen besonderen Reiz. Ein Testwagen, noch importiert aus China, offenbarte zahlreiche Stärken und ein paar markante Schwächen. An denen sollte Tesla besser arbeiten, denn die Konkurrenz holt längst mit riesigen Schritten auf.

Die Zeiten, in den Tesla allein mit seinem Angebot auf dem Markt war, sind endgültig vorbei. Da ist zum Beispiel der VW ID.4 und dessen Derivate Audi Q4 e-tron sowie Skoda Enyaq (siehe S. 36). Der Hyundai Ioniq 5 (siehe S. 36) und der technisch baugleiche Kia EV6 (siehe S. 72) laden rasend schnell. BMW bietet den iX3 und Mercedes den EQC an. Toyota folgt mit dem bZ4X (siehe S. 36). Vielleicht lässt sich das Konkurrenzumfeld sogar um den Polestar 2 und den BMW i4 erweitern, die gleichfalls mit schrägem Heck und großer Kofferraumklappe antreten. An Konkurrenz mangelt es dem Tesla Model Y also ganz gewiss nicht.

Mehr als ausreichend schnell

Die Marke Tesla ist zum Synonym für Elektroautos geworden. Selbst Menschen, die sich nicht für E-Autos interessieren, kennen Tesla. Elon Musk hat den Antrieb gewissermaßen salonfähig gemacht. Das liegt auch an dem immensen Schub, den die Fahrzeuge bieten: Schon das vorläufige Basismodell des Model Y sprintet in fünf Sekunden auf 100 km/h, im Performance-Modell sollen 3,7 Sekunden reichen.

Seltsamerweise wird die Leistung vom Werk mit 514 PS angegeben. Das sind umgerechnet kurzfristige 378 kW. Oder, wie es im Fahrzeugschein steht, dauerhafte 153 kW Systemleistung. Während des gut einwöchigen Tests bei einstelligen Plusgraden war das so oder so viel mehr als genug. Ausgekostet haben wir das Leistungsangebot nur selten, und die Spitzengeschwin-

digkeit von 217 km/h haben wir gar nicht überprüft.

Sparmaßnahmen

Das Model Y basiert auf dem Model 3 (siehe Seite 42). Der erste Eindruck ist ähnlich: Das Lenkrad ist klein, die Übersetzung des Steuers direkt. Das wirkt sportlich und beißt sich mit der SUV-typischen Sitzposition und dem hohen Gewicht. Das Model Y könnte ein Cruiser sein, ist es aber nur mit Einschränkungen. Was beim Einstieg zuerst auffällt, ist die Reduktion. Der Innenraum ist clean. Während der Verzicht auf Schalter und Knöpfe noch als cool interpretiert werden kann, sind die fehlende Kofferraumabdeckung oder das Panoramaglasdach ohne Öffnungsfunktion fraglos Ausdruck eines gewissen Geizes. Selbst um einen Sonnenschutz muss sich der Besitzer selbst kümmern. Tesla bietet im Zubehör eine Blende an, die zwischen Glas und Dachhimmel geklemmt werden muss. Das lösen andere Hersteller erheblich geschickter.

Einfach gut geladen

Was die Elektroautos von Tesla ausmacht, ist die Einfachheit, mit der längere Strecken bewältigt werden können. Es gelingt bis heute nur wenigen anderen wie dem Porsche Taycan, dieses Level zu erreichen. Die Kombination der Elemente und die Verlässlichkeit sind überzeugend: Es genügt, per Spracheingabe das Ziel ins Navigationssystem einzugeben. Das System errechnet zügig eine Strecke, zeigt die notwendigen Stopps an, prognostiziert mit hoher Genauigkeit den Ladestand (abgekürzt SoC für State of Charge) an den Haltepunkten und bereitet die Batterie durch gezielte Heizung oder Kühlung auf optimale Ladeleistung vor. Die höchste Ladeleistung liegt laut Tesla bei bis zu 250 kW, allerdings nur an den neuesten Superchargern der Generation V3, die noch recht selten sind. Im Test konnten wir bestenfalls mit 150 kW laden.

Bei der Ankunft an einem Supercharger genügt ein Druck auf den Stecker, die Klappe über der CCS-Buchse öffnet sich, einstöpseln, fertig. Die Identifikation passiert automatisch (Plug & Charge), und im Display ist der Preis ablesbar. So gut, verlässlich und narrensicher macht das derzeit nur Tesla. Es ist in diesem Beitrag eben nicht notwendig, mehrere Absätze übers Laden zu schreiben, weil es kein Thema ist. Neuerdings können bei Tesla händisch auch fremde Anbieter gesucht werden.

Manche Hersteller bieten den Kunden aktuell einen ziemlichen Mist an, wenn es um die Start-Ziel-Führung geht. Andere wiederum sind Tesla dicht auf den Fersen: Ein Polestar 2 zum Beispiel kann einen ebenso guten Routenplaner mit Ladestopp-Anzeige, SoC-Prognose und Vorkonditionierung vorweisen. Plug & Charge dagegen fehlt noch, Porsche Taycan und Audi e-tron GT sind in Zusammenarbeit mit Ionity am nächsten dran.

Intuitive Bedienung

Es ist vielfach Kritik an der Bedienung über das Zentraldisplay geübt worden. Das konnten wir in einem Punkt nachvollziehen: dem Scheibenwischer. Der Regensensor ist bei Sprüh- und Schwachregen nicht immer sensibel genug, und der Fahrer muss eingreifen. Dafür wiederum muss er das Symbol für den Scheibenwischer auf dem Bildschirm bemühen und eine der drei Stufen wählen oder den Tippwischerknopf am Blinkerhebel betätigen. Alles andere funktioniert weitgehend intuitiv, und es ist praktisch, dass etwa die Lautstärke über einen der beiden Dreh-Drücksteller im Lenkrad reguliert werden kann – wie in anderen Autos eben auch.

Perfekt dagegen bleibt die Tesla-App. Sie ist Schlüssel, Fernbedienung für die Klimaanlage und Autofinder für Vergessliche. Der klare Aufbau macht sie leicht bedienbar. Elektroautos sollen eben nicht nur für Nerds konstruiert sein, sondern für alle. Diese Erkenntnis scheint noch nicht bei allen Herstellern angekommen zu sein. Anders ist es nicht erklärbar, dass Routenplaner und Apps vielfach defizitär und nicht wie bei Tesla vorbildlich sind.

Am Rande bemerkt: Leider gilt die mustergültige Übersichtlichkeit der Tesla-App

Bild: Tesla Motors

Schon das Basismodell beschleunigt enorm rasant.

Bild: Tesla Motors

Einer der großen Vorteile bei Tesla ist das unkomplizierte Laden. Hier hat die Konkurrenz eklatant das Nachsehen.

inzwischen nur noch für die Auto-Seite. Wer eine Batterie von Tesla als Speicher für die Fotovoltaikanlage nutzt, bekommt nach einem größeren App-Update seit dem Sommer 2021 nur noch eine kaputtdesignte Ansicht. Die Bewertungen im Play Store sind diesbezüglich eindeutig vernichtend. Dabei war das einmal absolut perfekt gelöst.

Klassenüblich viel Platz

Das Raumangebot im Tesla Model Y ist klassenüblich großzügig. Auch hochgewachsene Menschen haben vorne und hinten reichlich Platz. Zurzeit ist das Model Y nur als Fünfsitzer konfigurierbar, ein Siebensitzer soll folgen. Eine verschiebbare Rücksitzbank wie der Hyundai Ioniq 5 hat das Model Y nicht, aber die Lehnen sind in der Neigung verstellbar. Zwei praktische Details sind uns positiv aufgefallen: Links im Kofferraum befinden sich zwei Zugknöpfe, die mit einem kräftigen Flupp die Rückbank umlegen. Der Frunk (117 Liter

Bild: Tesla Motors

Die fehlende Öffnungsfunktion nimmt dem Glasdach einiges von seinem Reiz. Das Tesla aber nicht einmal ein Rollo zur Abschattung einbaut, ist einfach nur ärgerlich.

Bild: Tesla Motors

Der Innenraum ist frei von Tasten oder Drehreglern. Nahezu alles wird über den riesigen Bildschirm in der Mitte bedient.

Volumen) öffnet mit einem Tipp auf dem Bildschirm oder der App. Keine Hebel, kein Gefummel. Theoretisch steigt das Kofferraumvolumen auf über zwei Kubikmeter: Tesla gibt maximal 2158 Liter an.

Die Heckklappe würde sich wahrscheinlich auch der eine oder andere Käufer des Model 3 wünschen. Für die Limousine ist auch die Anhängerkupplung gestrichen worden, die beim Model Y erhältlich ist und 1,6 Tonnen Zuglast verträgt. Wer es geräumig und praktisch haben will, muss zum 1,62 Meter hohen SUV greifen – das sind knapp 19 Zentimeter mehr als im Model 3.

Stromverbrauch

Ein 1,62 Meter hohes und ohne Spiegel 1,92 Meter breites Fahrzeug hat eine große Stirnfläche. Die Effizienz, die eine Limousine wie das Model 3 naturgemäß hat, geht dem Model Y ab. Bei Tempo 130 (Tachoanzeige: 132 km/h) zeigte der Bordcomputer 25,2 kWh/100 km an. Eine offizielle Angabe zum Energiegehalt der Batterie gibt es nicht. Bedient man sich der im Fahrzeugschein notierten 77 kWh, ergeben sich daraus 306 Kilometer.

Gibt man noch etwas mehr Strom und setzt den Geschwindigkeitsregler auf 150 km/h (mehr lässt er nicht zu), steigt der Verbrauch über 30 kWh an. Günstigere Werte erreichte das Model Y auf Bundesstraßen (17 bis 18 kWh/100 km) oder in der Stadt, wo je nach Streckenprofil 15 bis 20 kWh/100 km aus der Batterie gezogen wurden.

Der Durchschnittsverbrauch im Mischbetrieb lag bei 21,6 kWh/100 km, woraus 356 Kilometer Reichweite resultieren. Zum Vergleich: Der bei der Effizienz wenig rühmliche Hyundai Ioniq 5 kam bei heise/Autos auf 22,3 kWh/100 km. Ein VW ID.4 lag bei 18,6 kWh/100 km. Allerdings lässt sich aus der reinen Zahl kein Effizienzvorsprung ableiten, weil der ID.4 bei besten Bedingungen unterwegs war und nicht mit Winterreifen im nasskalten Spätherbst. Trotzdem ist offensichtlich, dass auch Tesla die Physik nicht überlisten kann: Ein Model Y ist kein Model 3, der Verbrauch ist gerade auf der Autobahn höher.

Hartes Fahrwerk und …

Kommen wir zu den zentralen Schwachpunkten: Komfort und Fahrassistenz. Im Vergleich beispielsweise zum VW ID.4 sind die Innengeräusche laut. Die Dämmung ist weniger wirksam. Geräusche von Wind und Fahrwerk sind deutlicher hörbar als bei der Konkurrenz. Auch die Fahrwerksabstimmung ist in sich nicht harmonisch: Den 19-Zoll-Basisfelgen samt einer gewissen Flankenhöhe der Reifen (Testwagen: 255/45 R19) zum Trotz ist das Abrollverhalten nicht besonders sensibel, und das Model Y wirkt insgesamt hölzern. Bei hohen Geschwindigkeiten wiederum wird es schwammig und unruhig. Eigentlich könnte das Tesla-SUV ein guter Cruiser sein, aber offenbar gab es den Anspruch, irgendwie doch ein dynamisches Elektroauto zu bauen. Im Ergebnis

ist dieses 2,1 Tonnen schwere SUV weder sportlich noch komfortabel.

… schwache Assistenten

Bei der Fahrautomatisierung – also dem Autopiloten – ist das Tesla Model Y ebenfalls nicht auf dem neusten Stand. Die Abstriche sind besonders bei der Längsführung, also dem adaptiven Tempomaten, offensichtlich. Das Model Y regelt nervös, und leider gab es diverse Phantombremsungen von zart bis hart: Zu häufig erkennt das System Hindernisse, wo keine sind. Das fällt zum Beispiel auf, wenn die Fahrspur vermeintlich eng wird. Auch das funktioniert bei anderen Herstellern deutlich besser.

Ein weiteres Beispiel ist die Verkehrszeichenerkennung. Dem Anschein nach wird das aktuelle Geschwindigkeitslimit ausschließlich aus dem Kartenmaterial des Navigationssystems generiert. Die Pressestelle teilt auf Anfrage mit, dass dieses Material durch die Kamera korrigiert werden kann. In der Praxis passiert das aber nicht nachvollziehbar. Es ist folgerichtig, dass die Übernahme einer solchen Tempobegrenzung nur händisch erfolgt. Zugespitzt lässt sich sagen, dass ein Toyota Yaris in Basisausstattung mehr bietet. Auch dort muss eine Geschwindigkeitsbegrenzung vom Fahrer überprüft und bestätigt werden, aber sie wird im Toyota per Kamera tatsächlich erkannt. Wie es anders geht, zeigt der BMW iX3. Dort arbeitet das System automatisch und verlässlich, und es werden sogar rote Ampeln integriert.

Preise und Optionen

Wer den Konfigurator öffnet, sieht zunächst einen Listenpreis von 56.990 Euro. Diese Summe ist nicht etwa zufällig gewählt. Denn in diesem Betrag ist der in dieser Höhe nur noch bis Ende 2022 geltende Herstelleranteil der Innovationsprämie plus Mehrwertsteuer – insgesamt 2975 Euro – schon abgezogen (siehe S. 18). Damit ergeben sich bei einem Kauf noch dieses Jahr 59.965 Euro. Das ist wichtig, weil die Versteuerung des geldwerten Vorteils der Privatnutzung eines Firmenwagens ab 60.000 Euro von einem Viertelprozent auf ein halbes steigt. Hinzu kommt in jedem Fall noch eine Bearbeitungsgebühr in Höhe von 980 Euro. Nach Abzug aller Prämien und Hinzurechnen aller Gebühren bleibt ein zu zahlender Betrag von 52.970 Euro für das von uns gefahrene Modell übrig.

Die im Konfigurator anwählbaren Optionen sind momentan sehr übersichtlich. Das Modell Performance kostet 7000 Euro mehr, für Lack und Felgen kann man jeweils bis zu 2200 Euro zusätzlich anlegen. Ein Innenraum mit weißen Sitzen ist 1200 Euro teurer als mit schwarzen. Je nach gewünschtem Funktionsumfang verlangt Tesla für die Assistenzsysteme 3800 („Enhanced Autopilot“) oder 7500 Euro („Volles Potenzial für autonomes Fahren“). Das war es dann auch schon mit möglichen Extras.

Fazit

Was Tesla stark macht, zeichnet auch das Model Y aus: Die einfache Bedienung, der perfekte Routenplaner mit den Superchargern und die funktionelle App. Mit dem Model Y bedient Tesla das Marktsegment, das weltweit am wichtigsten ist und in dem die Margen gut sind. Die Schlichtheit der Gestaltung und das Raumangebot sind überzeugend. Nicht so gelungen sind die Fahrwerksabstimmung und die Assistenten. Das wird aber nur wenige Interessenten zur Konkurrenz treiben. Wer einen Tesla will, will einen Tesla. Trotzdem ist die Ära vorbei, in der die Marke das einzige akzeptable Angebot gemacht hat. (mfz) c't

Weitere Tests bei heise Autos

ct.de/w1m2

Smart gespart

Heft + PDF mit 29 % Rabatt

Dieses **heise online-Sonderheft** rund um den smarten Haushalt zeigt Ihnen viele spannende Produkte, die Zeit und Energie sparen, sich als Helfer im Alltag beweisen und obendrein noch Spaß machen.

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €

shop.heise.de/ho-wohnen22

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

BMW i4 eDrive40: Starke Basis

BMW liefert mit dem i4 im Prinzip ein Elektroauto ab, wie man es sich nur wünschen kann. Doch eine Frage bleibt unbeantwortet.

Von **Martin Franz**

BMW i4 eDrive40: Datenblatt

Hersteller	BMW
Modell	i4 eDrive40
Motor und Antrieb	
Frontmotor Art	–
Leistung in kW Frontmotor	–
Drehmoment in Nm Frontmotor	–
Heckmotor Art	Synchronmotor
Leistung in kW Heckmotor	250
Drehmoment in Nm Heckmotor	430
Fahrwerk	
Spurweite vorn in mm	1601
Spurweite hinten in mm	1630
Reifengröße	255/40 R19 (Testwagen)
Maße und Gewichte	
Länge in mm	4783
Breite in mm	1852 (2073 mit Außenspiegeln)
Höhe in mm	1448
Radstand in mm	2856
Kofferraumvolumen in Litern	470 bis 1290
Leergewicht in kg nach EU inklusive 68 kg Fahrer und 7 kg Gepäck	2125
Zuladung in kg	555
Batterie in kWh (netto)	80,9
Fahrleistungen	
Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in Sekunden	5,7
Höchstgeschwindigkeit in km/h	190
Verbrauch	
Verbrauch WLTP in kWh/100 km	16,1 bis 19,1
Ladeleistung an AC in kW	11
Ladeleistung an DC in kW	205
Reichweite in km (WLTP)	493 bis 590
Stand: Juni 2022	

Schon den Vorgänger des BMW 3er gab es mit batterieelektrischem Antrieb, allerdings nicht zu kaufen. Es brauchte rund 50 Jahre und vollkommen veränderte Rahmenbedingungen, bis es mit dem i4 ein E-Ableger von BMWs Bestseller ins Angebot der Marke geschafft hat. Die Höhe der Nachfrage haben die Strategen offenkundig unterschätzt, denn die Lieferzeiten sind enorm lang. Das i4-Topmodell leistet 400 kW, im Basismodell eDrive40 sind es schon 250 kW.

Dementsprechend hat der Begriff Basis hier nichts mit schalem Verzicht zu tun. Immerhin leistet das Grundmodell schon mehr als die meisten Ausführungen von 3er und 4er. Doch die Zahlen allein sagen nur wenig aus. Der BMW i4 eDrive40 ist nicht nur kräftig, sondern überzeugt vor allem als Gesamtpaket.

Fahrwerk

Unabhängig davon, was der Betrachter von der aktuellen Designlinie bei BMW halten mag – er wird rasch feststellen: Die Bayern bauen momentan ziemlich runde Autos, was ihre Eigenschaften anbelangt. Beim Fahrwerk gibt es auf dem Markt nur wenig Konkurrenz.

Ein i4 eDrive40 wiegt mindestens 2125 Kilogramm, also etwas mehr als die meisten BMW 7er vor zehn Jahren. Doch unterwegs ist davon nichts zu spüren: Der i4 liegt auch mit dem Standard-Fahrwerk des Testwagens hervorragend auf der Piste. Er lässt sich lustvoll um Kurven schmeißen, die Abstimmung von Dämpfern, Federn und Lenkung erscheint wie aus einem Guss. Dabei erkauft sich BMW ein präzises Handling keineswegs über eine übertrieben trockene Dämpfung. Vielmehr tastet das

Bild: Florian Pillau

Das Armaturenbrett entspricht dem des gerade vorgestellten 3er-Facelifts.

Bild: Florian Pillau

Schade, dass niemand auf die Idee gekommen ist, den reichlich vorhandenen Raum unter der vorderen Haube für ein Ablagefach zu nutzen.

schwere Auto die Fahrbahn feinfühlig ab und reicht nur grobe Stöße sorgfältig gefiltert an die Insassen weiter. Das bekommen in dieser Güte nicht viele Konkurrenten hin, Tesla beispielsweise bleibt in dieser Hinsicht deutlich zurück.

Infotainmentsystem

Auch beim Infotainment spielt BMW ganz vorne mit. Der i4 gehört zu den ersten BMW-Modellen, die das Infotainmentsystem OS8 ab Werk bekommen (siehe ct.de/wvp9). Gegenüber dem Vorgänger wurden weitere Funktionen in die Cloud verlegt. Die Bildschirme mit sehr hoher Auflösung sind gegenüber dem Vorgänger OS7 gewachsen, die Tasten am Armaturenbrett wurden noch weniger. Grundsätzlich ist das System weitgehend intuitiv aufge-

baut, fast alles ist da, wo man es auch vermuten würde. Die Sprachsteuerung erscheint mir besser als zuletzt im BMW 320e, an das Niveau von Mercedes reicht es nach meinem Empfinden jedoch nach wie vor nicht ganz heran. Das ist aber Klagen auf Spitzenniveau, denn im Vergleich wirken viele Systeme der Konkurrenz, als hätte ihre Entwicklung gerade erst begonnen.

Weggefallen sind unter anderem die direkt zugänglichen, weitgehend frei belegbaren Favoritentasten. BMW setzt als Ersatz auf die Sprachsteuerung und Shortcuts auf dem Bildschirm. Doch letztere sind erst dann ersichtlich, wenn man den iDrive-Dreh-Drück-Steller nach vorn kippt und dann die Funktion antippt. Oder mit dem Finger auf dem Bildschirm von oben runterwischt. Das funktioniert schon, ist aber umständlicher als die bisherige Lösung mit Tasten.

In der Kartendarstellung öffnet sich eine riesige Landschaft über den gesamten Monitor. Auch nach längerem Suchen gelang es mir nicht, den Bildschirm zu unterteilen in links die Karte, rechts Zusatzinformationen, wie es früher mit wenigen Handgriffen möglich war – und vielleicht noch immer ist. Ich bezweifle, dass BMW diese Funktionalität einfach gestrichen hat, aber weder Anleitung noch Sprachbefehl halfen mir weiter.

Vermisst habe ich auch die Möglichkeit, mir das Kombiinstrument einrichten zu können. Dafür, dass es mit einem Display beim Design praktisch kaum Grenzen gibt, beschränkt BMW die Anzeige ziemlich kräftig. Die merkwürdigen Pfeile für Tempo und Leistungsabgabe bleiben im Layout konstant, was unter anderem auch deshalb so bedauerlich ist, weil sie übel abzulesen sind. Dabei waren die Bayern einst so stolz auf ihr funktionales Cockpit-Design. Ein Kollege merkte zudem kritisch an: „So beeindruckend der Bildschirm vom Format einer Bahnhofs-Anzeigetafel auch sein mag: Bei Sonneneinstrahlung aus der falschen Richtung blendet er. Es ist nicht lange her, da versenkte auch BMW seine Instrumente sorgsam in tiefen Tuben. Das hatte Gründe.“

Hoher Langstreckenkomfort

Noch ein paar Anmerkungen zum Innenraum: Das Lenkrad ist rund. Was trivial erscheint, ist es längst nicht mehr, denn in vielen Autos ist es heute unten, zum Teil sogar oben abgeflacht. Eine Mode, die BMW zumindest im i4 dankenswerterweise nicht mitmacht. Die Rundumsicht ist weniger schlecht als in vielen anderen modernen Autos, die hervorragende Aussicht aus einem BMW 02 oder auch dem zweiten Dreier werden wir wohl nie wieder bekommen.

Der i4 ist ausgezeichnet verarbeitet, nichts klappert, knistert oder knarrt auf schlechten Straßen. Zudem wirkt auch nichts an der Oberfläche übertrieben kostenoptimiert. Naja, fast nichts: In einer Umgebung feiner Materialien und sorgsam ausgewählter Interieurleisten erscheint der schwarz glänzende Plastik-Wählhebel wie ein Fremdkörper. BMW könnte das mit einem Leder-Bezug locker beseitigen. Und Blindtasten in der Türverkleidung passen ebenfalls nicht in diese ansonsten so fein eingerichtete Umgebung.

Einen hohen Anteil am Langstreckenkomfort tragen die im i4 serienmäßigen Sportsitze und die ausgezeichnete Geräuschdämmung. BMW hat es hinbekommen, den i4 für die Insassen nahezu lautlos anrollen zu lassen. Die gesetzlich vorgeschriebene, akustische Warnung funktioniert natürlich trotzdem, nur bekommt man von ihr im Innenraum kaum etwas mit. Wer auf Maschinenklänge gar nicht verzichten kann, hat die Möglichkeit, sie sich über einen Soundgenerator einspielen zu lassen. Sicher wird es Fans dafür geben, ich schätze E-Autos allerdings gerade dafür, dass sie weniger Lärm machen.

Basismodell mit 250 kW

An anderer Stelle wird deutlich, dass es für BMW zunehmend schwerer wird, sich abzusetzen: Schon der Antrieb des Grundmodells leistet 250 kW und bietet 430 Nm, was Fahrleistungen ermöglicht, die weit oberhalb dessen liegen, was sich in der

Ausstattung und Preise Basismodell

Modell	BMW i4 eDrive40
Ausstattungslinie	Basis
Grundpreis für diese Ausstattungslinie	59.200
Infotainment	
USB-Anschluss	Serie
Soundsystem	ab 380
Navigationssystem	Serie
Verkehrsdaten in Echtzeit	Serie
Freisprecheinrichtung	Serie
Head-up-Display	1150
Android Auto/Apple CarPlay	Serie
kabelloses Laden von Handys	200
Assistenz	
Tempomat	Serie
Abstandstempomat	650
Einparksensoren vorn	Serie
Einparksensoren hinten	Serie
Einparkassistent	Serie
Rückfahrkamera	Serie
Müdigkeitserkennung	Serie
Spurhalteassistent	Serie
Matrix-Licht	1700
Nachtsicht-Assistent	–
Funktion	
LED-Scheinwerfer	Serie
elektrische Heckklappe	Serie
Alarmanlage	500
schlüsselloser Zugang	650
Fahrwerksoption	1200
Wärmepumpe	Serie
Komfort	
Sitzheizung	380
Sitzbelüftung	2100
Massage	–
Ledersitze	ab 1650
beheizbares Lenkrad	270
Schiebedach	1200
Akustikverglasung	Serie
Sonstiges	
Metalliclack	ab 920
Leichtmetallfelgen	Serie (17-Zoll)
Stand: September 2022	

Bild: Florian Pillau

Das Basismodell hat nur einen E-Motor an der Hinterachse. Mit 250 kW ist er derart kräftig, dass man sich hin und wieder schon fragt, ob es nicht auch weniger täte.

Regel nutzen lässt. Das kann man fraglos recht unterhaltsam finden, der i4 ist schließlich jederzeit zu einer spontanen, also augenblicklich einsetzenden, enormen Beschleunigung fähig.

Andererseits fragt man sich hin und wieder, warum es eigentlich keinen i4 eDrive30 gibt. Denn die Limousine wären vielen Fahrern vermutlich auch mit 50 oder 100 kW weniger mehr als nur ausreichend flink. Ich würde den anzunehmenden Minderpreis in die Ausstattung investieren. Doch allein diese Sicht kennzeichnet mich als jemanden, der nicht zur Zielgruppe des i4 gehört. Denn in dieser Preisklasse wird eine Mehrheit der Käufer die Frage: „Ausstattung oder Leistung“ vermutlich mehrheitlich mit einem: „Warum eigentlich nicht beides?“ beantworten.

Verbrauch und Laden

80,7 kWh fasst die Batterie, als Reichweite im WLTP verspricht BMW 493 bis 590 km. Der Verbrauch im Zyklus, der ja die Ladeverluste berücksichtigt, wird mit 16,1 bis 19,1 kWh/100 km angegeben. Das haben wir unter- und überboten: Minimal waren es, inklusive der Ladeverluste, 14 kWh, maximal etwas mehr als 24. Die Batterie setzt auf den Materialmix NMC811 – auf acht Anteile Nickel kommen also jeweils ein Anteil Mangan und Kobalt. Der Elektromotor kommt ohne seltene Erden aus.

Geladen werden kann an Wechselstrom mit maximal 11 kW, an Gleichstrom mit bis zu 205 kW. Letzteres funktioniert nur in einem Fenster bis etwa 40 Prozent SoC, danach sinkt die Ladeleistung in kleinen Schritten. Bei 50 Prozent waren es noch knapp 100 kW, bei 70 immerhin noch rund 72 kW. Selbst bei 80 Prozent wurde die Batterie noch mit 56 kW geladen. Übersetzt auf den Alltag heißt das: Selbst mit meinem Maximalverbrauch steht man nach rund 300 km nicht allzu lang, um den i4-Speicher für weitere 200 km zu ertüchtigen. Ein Kollege klagte kürzlich im Rahmen eines Tests zu Recht über die fragile Ladeinfrastruktur. Die Säulen, die wir im Osten von München mit dem i4 ansteuerten, funktionierten problemlos.

Lange Wartezeiten

Das bereits ordentlich ausgestattete Basismodell kostet derzeit 59 200 Euro. Wenn Sie jetzt einen i4 bestellen, wird das allerdings keinen Bestand haben, denn Preiserhöhungen zwischen Order und Auslieferung werden in der Regel an den Kunden durchgereicht. Dafür nimmt sich BMW derzeit reichlich Zeit. Carwow nennt für den i4 zwischen 15 und 18 Monaten.

Fazit

Der BMW i4 ragt bei Verarbeitung, Fahrwerk und Infotainment aus dem in diesem Segment üblichen heraus. Das trotz hohem Gewicht geradezu leichtfüßige Handling macht BMW so schnell keiner nach, zumal es nicht mit einer übertrieben harten Dämpfung erkauft wird. Das Infotainmentsystem bietet mehr Möglichkeiten, als der Durchschnittsfahrer nutzen wird, und lässt sich über Apps noch erweitern. Die Sprachsteuerung wurde weiter verbessert, allerdings war die Bedienung in der Vergangenheit schon mal einfacher zugänglich.

Der Wettbewerbsvorteil, den BMW einst bei den Motoren hatte, schwindet mit der Umstellung auf Elektromobilität. Sicher, schon das Basismodell des i4 tritt spontan vehement an, doch das lösen andere Hersteller nicht schlechter. Schade außerdem, dass BMW kein Modell mit etwas geringerer Leistung anbietet. Die ausgezeichnete Dämmung und das herausragende Fahrwerk ließen sich auch mit einem etwas weniger machtvoll anschiebenden Antrieb genießen.

Doch BMW hat derzeit keinen Grund, die Reihe nach unten zu erweitern. Trotz hoher Preise sind die Lieferzeiten beträchtlich. Der Teilemangel mag ein Grund dafür sein. Mindestens ein weiterer ist allerdings ebenso denkbar: BMW hat das Interesse an einem elektrifizierten 4er schlicht unterschätzt. Man darf gespannt sein, wie lange es wohl dauert, bis die Produktionskapazitäten an die Kundennachfrage angepasst werden. (mfz) c't

Kosten für Überführung und Fahrenergie übernahm die Redaktion.

Weitere Infos
ct.de/wvp9

Alles für Ihr Smart Home!

Ihr sicheres Zuhause

- Test, Praxis, Know-how: Wie Sie mit smarten Alarmanlagen und Überwachungskameras Einbrecher abschrecken
- Bevor Sie anfangen: Rechtliche Grundlagen für Alarmanlagen und Überwachungskameras
- Auch im Set mit WLAN-Sicherheitskamera zum Sonderpreis

Heft+PDF für 19,90 €
Auch als einzelnes Heft erhältlich!

shop.heise.de/ho-sicheres-zuhause22

Einstieg ins Smart Home

- Fritzbox einrichten, steuern, erweitern
- Smart Home von Ikea
- Praxis- und Tuningtipps für Ihr System
- Auch im Set mit Heizkörperthermostat zum Sonderpreis

Heft+PDF für 19,90 €
Auch als einzelnes Heft erhältlich!

shop.heise.de/ho-smarthome21

Smart Gardening

- Das brauchen Sie, bevor Sie starten
- Bewässerungssysteme: Sechs im Vergleich
- Intelligente Mähroboter: Fünf smarte Rasenmäher im Test
- Auch im Set mit Gartenbewässerung WLAN Ventil zum Sonderpreis

Heft+PDF für 19,90 €
Auch als einzelnes Heft erhältlich!

shop.heise.de/ho-smartgardening22

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

Bild: Florian Pillau

Dacia Spring – die Kunst des Weglassens

Der Spring beendet die Diskussion über grundsätzlich zu teure und fette E-Autos auf seine Art. Doch wie kompromissbereit muss der Fahrer sein? Ein Test.

Von **Martin Franz**

Dacia Spring: Datenblatt

Hersteller	Dacia
Modell	Spring
Motor und Antrieb	
Frontmotor Art	Permanenterregter Synchron-Elektromotor
Leistung in kW Frontmotor	33
Drehmoment in Nm Frontmotor	125
Heckmotor Art	–
Leistung in kW Heckmotor	–
Drehmoment in kW Heckmotor	–
Fahrwerk	
Spurweite vorn in mm	1385
Spurweite hinten in mm	1365
Reifengröße	165/70 R14
Maße und Gewichte	
Länge in mm	3734
Breite in mm	1579
Höhe in mm	1516
Radstand in mm	2423
Kofferraumvolumen in Litern	290
Leergewicht in kg nach EU inklusive 68 kg Fahrer und 7 kg Gepäck	1045
Zuladung in kg	330
Batterie in kWh	26,9
Fahrleistungen	
Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in Sekunden	19,1
Höchstgeschwindigkeit in km/h	125
Verbrauch	
Verbrauch WLTP in kWh/100 km	13,9
Ladeleistung an AC in kW	6,6
Ladeleistung an DC in kW	30
Reichweite in km (WLTP)	230
Stand: September 2022	

Der Dacia Spring ist in gewisser Hinsicht so etwas wie eine Reise zurück in eine Zeit, in der Basismodelle nicht einfach nur die am wenigsten teure Variante waren, sondern automobile Grundbedürfnisse erfüllten – und eben keinen Deut mehr. Dessen sollte man sich bewusst sein, andernfalls droht Enttäuschung. Was kann das billigste Großserien-Elektroauto auf dem deutschen Markt?

Soviel vorab: Wer seine Erwartungen in Einklang mit dem Preis bringt, kann durchaus zufrieden sein. Und erhält ein E-Auto, das mit seinem vergleichsweise geringen Verbrauch Geldbeutel und Umwelt gleichermaßen schont.

Den Verantwortlichen bei Dacia gebührt Respekt für die Konsequenz, mit der sie das Lastenheft des Spring formuliert und schließlich auch umgesetzt haben. Dem Interessenten muss das klar sein: Alles an diesem Auto wurde unter der Maßgabe entwickelt und freigegeben, dass es möglichst wenig kosten muss. Weggelassen wurde nahezu alles, was sich dem Vorhaben, das günstigste E-Auto auf den Markt zu bringen, irgendwie entgegenstellen könnte. Vor diesem Hintergrund mag es erstaunen, dass es von der Fixierung auf geringe Kosten überhaupt Abstriche gibt: Unter der Motorhaube findet sich eine Dämmmatte, die Türen lassen sich per Fernbedienung auf- und verschließen und es gibt eine Klimaanlage. Auch die hinteren Scheiben werden von Motoren gehoben und gesenkt, was sich allerdings nicht von vorn bewerkstelligen lässt. Konfiguriert ist der Spring rasch: Optional gibt es ein DC-Ladegerät und ein Navigationssystem.

Bild: Florian Pillau

Alles ist einfach, fast überall aber funktional eingerichtet. Ausnahme ist der Bordcomputer, der nur umständlich zu bedienen ist. Das veraltete Navigationssystem rechtfertigt den Aufpreis nicht.

Infotainment

Letzteres ist besonders erstaunlich, denn einerseits ist der 3,73 Meter kurze Spring recht übersichtlich, die Kamera also nicht unbedingt erforderlich. Andererseits ist das künstliche Fahrgeräusch beim Rückwärtsfahren derart laut und aufdringlich, dass der Fahrer frei von der Sorge sein kann, versehentlich jemanden zu überfahren – Passanten hören den rückwärtsfahrenden Spring in der Regel, bevor er ihnen gefährlich nahekommen könnte. Das Navigationssystem passt hinsichtlich seiner Funktionsvielfalt hervorragend ins Konzept. Es zeigt den Weg und die ungefähre Ankunftszeit, und das war es dann auch schon.

Aktuelle Verkehrsdaten oder ein Angebot, Ladestationen in die Routenführung automatisiert einbauen zu lassen, gibt es hier nicht. Dacia hätte vermutlich einigen Kunden einen Gefallen getan, wenn man die gefühlt etwa 15 Jahre alte Hardware im Museum gelassen und die Sache gleich Android Auto und/oder Apple CarPlay überlassen hätte. Immerhin lässt das System einem diese Wahl. Dennoch ein kleiner Vorgriff auf das Ende dieses Tests: Folgen Sie unserer Konfigurationsempfehlung, können Sie beim Thema Infotainment frei entscheiden.

Ausstattungsmerkmale

Mit einer Aufzählung, was es an Ausstattungsmerkmalen alles nicht gibt, ließen sich ganze Seiten füllen. Doch wer sich dem Spring mit dem eingangs beschriebenen Bewusstsein nähert, kann kaum enttäuscht sein. Vielleicht wundert er sich darüber, dass es nicht einmal eine Sitzhöhenverstellung gibt und die kurzen Sitz-

schienen den Verstellbereich nach hinten für große Menschen arg beschneiden. Wahrscheinlich hätte er sich gefreut, wenn Dacia aus dem Geschwindigkeitsbegrenzer einen Tempomaten gemacht hätte – die paar Zeilen Software wären auf Festplatten im Konzern sicher zu finden gewesen.

Falls er bei Dunkelheit in einem anderen Neuwagen einmal erlebt hat, wie gut Scheinwerfer inzwischen die Straße ausleuchten können, wird er im Schatten der funzligen H7-Glühlampen möglicherweise seufzen. Für kleines Geld gibt es bessere Leuchtmittel von Markenherstellern, eine zweistellige Investition, über die auch sparsame Besitzer nach der ersten Nachtfahrt mit dem Spring nachdenken werden. Nichts ändern kann er daran, dass den drei Drehreglern für die Lüftungsanlage in der Dämmerung kaum anzusehen ist, in welcher Stellung sie sich befinden.

Ohnehin muss der Spring-Pilot damit leben, im Fall der Fälle vergleichsweise schlecht geschützt zu sein. Beim Crashtest des Euro NCAP schnitt der Kleinwagen schlecht ab, und seine spärliche Sicherheitsausstattung trägt dafür nur zum Teil die Verantwortung. Knieairbag, aktive Motorhaube oder ein Spurhalteassistent hätten die Wertung verbessert können. Vor allem aber fiel im Crashtest auf, dass die Belastung für den Fahrer an Oberschenkeln, Becken und Oberkörper überdurchschnittlich hoch ist, das Verletzungsrisiko damit dramatisch höher als in vergleichbaren Autos dieser Klasse. Gleiches gilt unter anderem für die Halswirbelsäule der Fond-Insassen.

Ab 30 km/h verstummt das gesetzlich vorgeschriebene, künstliche Warngeräusch und der Spring nimmt die aktuelle Spitzenposition bei Dacia ein: Kein anderes Modell der Marke rollt derart leise durch den Stadtverkehr oder über Land. Intern ist der Spring damit konkurrenzlos, ansonsten natürlich nicht, denn Abrollgeräusche dringen schon in der Stadt recht vorlaut in die Kabine durch. Auf der Landstraße mischen spätestens ab etwa 80 km/h auch Windgeräusche kräftig mit. Es wird freilich nie dramatisch laut, obwohl es ein Budget zur Dämmung ganz offenkundig praktisch nicht gab. Zur Ehrenrettung sei allerdings angemerkt: Der Spring ist auch nicht zum Kilometerschrubben unter Zeitdruck auf Langstrecken gedacht, sondern für den kurzwegigen Alltag. Im Einklang dazu lädt die Bequemlichkeit der Sessel ebenfalls nicht zu einer längeren Verweildauer ein.

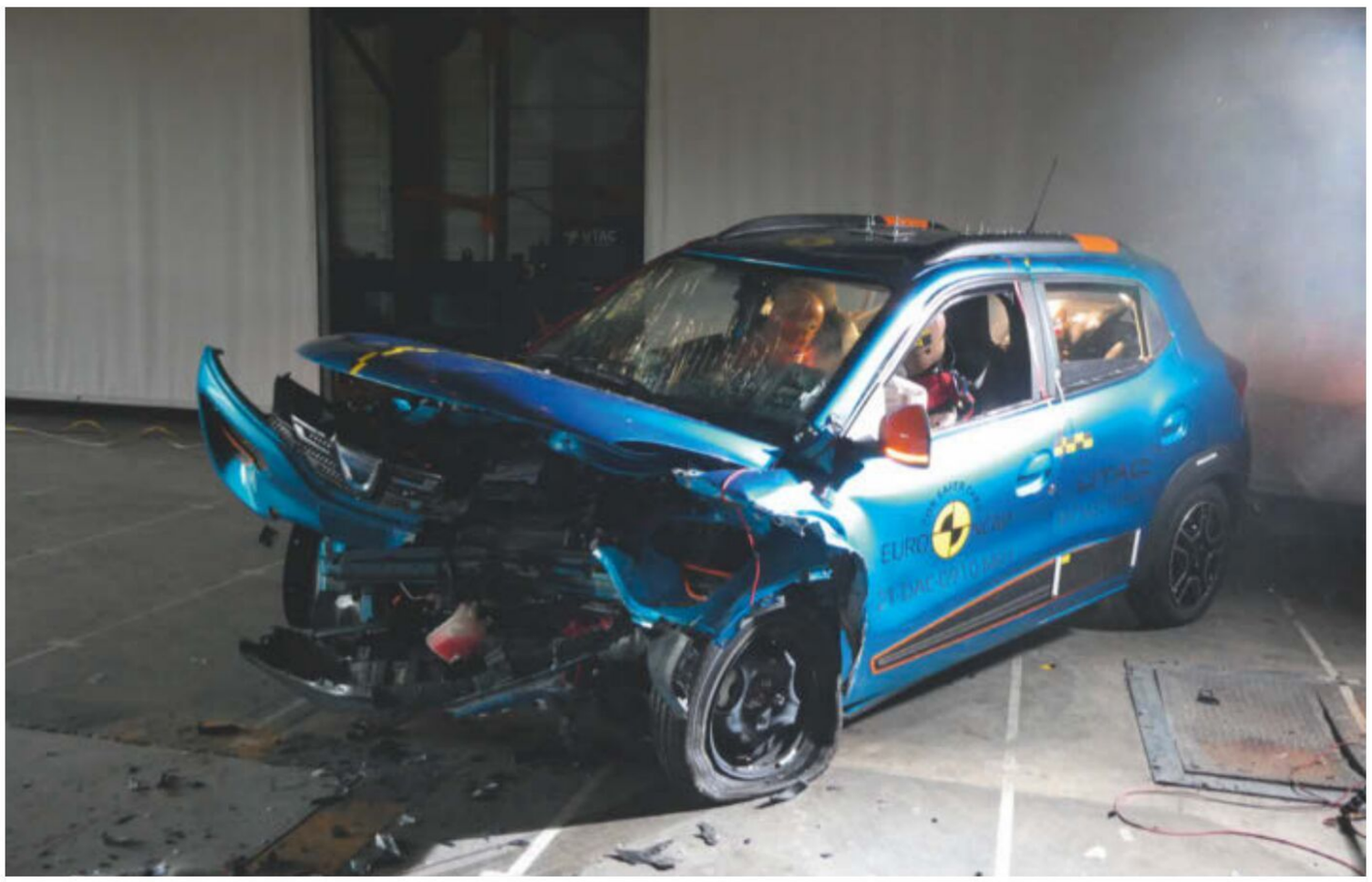
Antrieb und Speicher

Auf den Nahbereich zugeschnitten sind auch Antrieb und Speicher. Das Leergewicht gibt Dacia mit 1045 kg an, auch das ein Ergebnis der konsequenten Auslegung mit kaum vorhandener Dämmung, dünnem Blech und dem Fehlen einer opulenten Ausstattung. Ebenso gering sollten die Erwartungen auch an den E-Motor formuliert werden. In der Spitze verspricht Dacia 33 kW und 125 Nm. Die umständlich zu betätigende Anzeige im Kombiinstrument zeigte im Testwagen bis zu 39 kW an, als Dauerleistung werden im Fahrzeugschein 18,6 kW genannt. Die Fahrleistungen bewegen sich in einem ähnlichen Rahmen wie bei meinem ersten Auto, das in der Spitze 19 kW bot. Im Standardsprint ist der Spring mit 19,1 immerhin vier Sekunden schneller, mit 125 km/h bleibt er auf Landstraßen ein gewisses Maß unterhalb seines Maximums – anders als mein damaliger Trabant 601, der rund 400 kg leichter war.

Fraglos klingen die Fahrleistungen des Spring nicht berauschend, doch innerorts und über Land funktioniert das besser als gedacht. Kein Wunder, denn das Leistungsangebot steht nicht nur in einem schmalen Drehzahlbereich zur Verfügung, sondern praktisch immer. Es ist jederzeit sofort komplett abrufbar, und wer dies tut wird feststellen: 33 kW sind für die Kurbelei „rund um den Kirchturm“ durchaus genug, und genau aus solchen Strecken bestehen viele Fahrprofile. Der Spring verwöhnt nicht mit rabiatem Anzug, doch dafür ist er auch nicht angetreten. Doch selbst mein Kollege Christian, der innerhalb der Redaktion in diesem Bereich stets für Maximallösungen plädiert, urteilte milde: „Die Leistung ist wider Erwarten ausreichend. Ich war verwundert, wie wenig mir mehr Leistung abging.“

Andererseits gibt es auch nichts zu beschönigen: Allerspätestens ab 70 km/h wird es spürbar zäher, und oberhalb von

Bild: Euro NCAP



Beim Crashtest des Euro NCAP offenbarte der Dacia Spring ein hohes Verletzungsrisiko für Fahrer und Fondpassagiere.

Ausstattung und Preise

Modell	Dacia Spring
Ausstattungslinie	Essential
Preis für diese Ausstattungslinie	22.550
Infotainment	
USB-Anschluss	Serie
Soundsystem	–
Navigationssystem	1150 (im Paket)
Verkehrsdaten in Echtzeit	–
Freisprecheinrichtung	Serie
Head-up-Display	–
Android Auto / Apple CarPlay	Serie
kabelloses Laden von Handys	–
Assistenz	
Tempomat	–
Abstandstempomat	
Einparksensoren vorn	–
Einparksensoren hinten	1150 (im Paket)
Einparkassistent	–
Rückfahrkamera	1150 (im Paket)
Müdigkeitserkennung	–
Spurhalteassistent	–
Matrix-Licht	–
Nachtsicht-Assistent	–
Funktion	
LED-Scheinwerfer	–
elektrische Heckklappe	–
Alarmanlage	–
schlüsselloser Zugang	–
Fahrwerksoption	–
Wärmepumpe	–
CCS-Anschluss (30 kW)	800
Komfort	
Sitzheizung	–
Sitzbelüftung	–
Massage	–
Ledersitze	–
beheizbares Lenkrad	–
Lederlenkrad	–
Klimaanlage	Serie
Schiebedach	–
Akustikverglasung	–
Sonstiges	
Metalliclack	ab 550
Leichtmetallfelgen	–
Stand: September 2022	

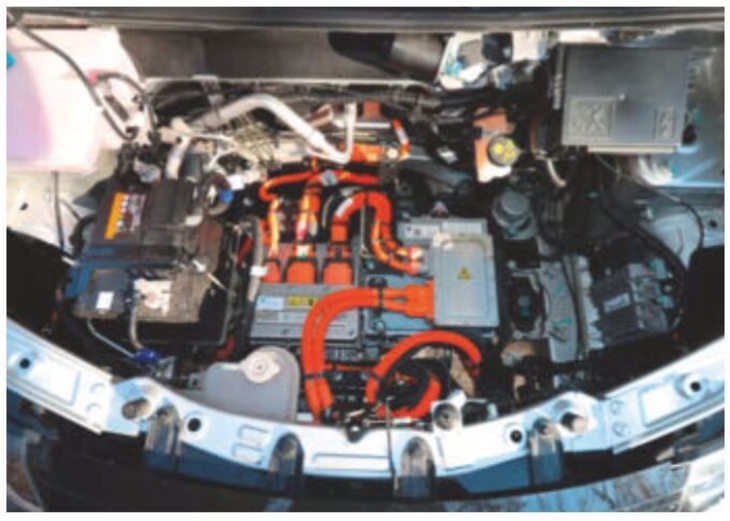


Bild: Florian Pillau

Eine Leistung von 33 kW klingt für ein modernes Auto sehr wenig. Doch sie steht jederzeit spontan zur Verfügung, und dies nicht nur in einem schmalen Drehzahlband wie beim Verbrennungsmotor.

115 km/h scheint zunächst vor allem die Topografie für eine weitere Beschleunigung entscheidend zu sein. Mit etwas Geduld sind 130 km/h laut Anzeige drin. Falls der Fahreindruck mit 33 kW trotzdem noch zu forsch erscheinen sollte, bleibt als Ausweg der Druck auf die Eco-Taste. Doch selbst mein Kollege Florian, dessen Fuhrpark als rasantestes Auto einen 43-kW-Corsa vorhält, befand das Ergebnis dann als „arg zäh" – wobei er aber auch immer „pedal to the metal" fährt. Der E-Motor des Spring wird im Sparmodus auf 23 kW zurückgeschnitten, die Reichweite soll laut Hersteller um bis zu 9 Prozent steigen.

Laden und Verbrauch

Für den Energiegehalt des Speichers kursieren zwei verschiedene Angaben. In der Preisliste vom 1. März 2022 werden in den technischen Daten als „Batterie-Nennwert" 26,8 kWh erwähnt. Auf den Webseiten von Dacia ist hin und wieder auch von 27,4 kWh die Rede. Geladen werden kann die Batterie einphasig mit maximal 6,6 kW. In der heimischen Garage dürfte durch die Begrenzung der Schieflast auf 20 Ampere bei 4,6 kW meist die Spitze erreicht sein. Mit einer der ehemals geförderten Wallboxen, die ihre 11 kW Maximalleistung auf drei Phasen verteilt, ist bei 3,7 kW Schluss. Die vollen 6,6 kW, die Dacia angibt, lassen sich also in der Regel nur an öffentlicher Ladeinfrastruktur nutzen.

Nur für die Topversion gibt es für 800 Euro Aufpreis die Option, auch mit Gleichstrom laden zu können. Unter idealen Bedingungen, also Batterie im Temperatur-Wohlfühlbereich und Ausgangs-Ladestand von rund 10 Prozent, sind dann bis zu 30 kW in der Spitze möglich. Von 15 auf 80 Prozent sollen so 40 Minuten nötig sein, verspricht Dacia. Wer mit dem Spring längere Touren plant, wird unterwegs dieses, verglichen mit anderen E-Autos, laue Ladetempo dem serienmäßigen AC-Laden sicher vorziehen.

Die Anzeige im Kombiinstrument versprach Verbrauchswerte ab 14,5 kWh/100 km aufwärts, in der Spitze waren es bis 19,8. Die Auswertung an der Wallbox, die auch die Ladeverluste enthält, signalisierte eher Werte ab 16 kWh aufwärts je 100 Kilometer. Zum Testzeitpunkt war es nachts mit rund minus 5 Grad Celsius knackig kalt, tagsüber mit etwas unter 10 Grad schon fast frühlingshaft. Das ist für die Einordnung der Verbrauchsangabe wichtig, denn der E-Motor produziert bekanntermaßen kaum Wärme als Abfallprodukt – im Gegensatz zu einem Verbrenner. Die Wärme muss für die Aufheizung des Innenraums im E-Auto zusätzlich erzeugt werden, und das schlägt auf den Stromverbrauch. Bei zurückhaltender Fahrweise lag die angezeigte Reichweite im Test bei maximal 185 Kilometer.

Fahrwerk

Das Fahrwerk erweckt den Eindruck, als sei warme Margarine in den Dämpfern, jegliche Ambitionen, Kurven flott zu durcheilen, werden so zuverlässig schon im Ansatz unterbunden. Mein Kollege Christian schrieb gar ins Fahrtenbuch: „Man muss es leider so klar benennen: Das ist das schlechteste Fahrwerk in meiner Karriere. Bei 60 bis 90 km/h eine Art Dauerschaukelstuhl." Passend dazu wurde die Lenkung nicht nur von jeglicher Rückmeldung oder gar Anflügen von Präzision befreit. Im Testwagen fiel auch noch eine viel zu geringe Rückstellkraft um die Mittellage auf. Wäre es mein Auto, ich würde den Händler bitten,

dem mit geringfügig mehr Vorspur entgegenzuwirken, auch wenn der Reifenverschleiß an den Antriebsrädern so minimal steigen wird. „Mehr Vorspur“ bedeutet, dass über die Spurstangen die Räder in Fahrtrichtung vorn innen näher zueinander gestellt werden. Bei einer Achsvermessung bewegt man hier mit Nuancen unter Umständen schon sehr viel.

Preise

Dacia bietet den Spring inzwischen nur noch in der Ausstattungslinie „Essential“ an. Sie kostet 22.550 Euro. Von dieser Summe kann bis Ende 2022 noch die volle Subvention von insgesamt 9570 Euro abgezogen werden. Ab dem 1.1.2023 reduziert sich die Förderung in mehreren Schritten deutlich (siehe Seite 18). Das angesprochene Navigationssystem kostet im Paket mit der Einparkhilfe hinten und einer Rückfahrkamera stolze 1150 Euro. Unsere Empfehlung: Sparen Sie sich dieses Geld. Wenn sie den Spring einsetzen, wofür er vor allem gedacht ist, nämlich im wortwörtlich gemeinten Nahverkehr, können Sie sich auch die DC-Lademöglichkeit schenken. Wenn Ihnen die serienmäßige Radioausstattung des Basismodells mit USB-Anschluss und Freisprecheinrichtung nicht ausreichen sollte, schauen Sie sich lieber auf dem freien Markt nach Unterhaltungselektronik um. Diese wird dann wesentlich leistungsfähiger sein als das, was Dacia ab Werk bietet.

Mit Endpreisen von rund 13.000 Euro hat Dacia sein Ziel erreicht: Kein Großserienhersteller bietet ein aktuelles Elektroauto zu diesem Preis. Das Angebot richtet sich an Interessenten, die elektrisch fahren und so wenig wie eben nur möglich für einen Neuwagen ausgeben wollen. Diesem Diktat ist letztlich alles untergeordnet. An die Kompromissbereitschaft werden hier hohe Ansprüche gestellt. Das betrifft nicht nur jene an Komfort, sondern auch an die Sicherheit und die Nachhaltigkeit. Der dünnhäutige Aufbau des Spring und die zum Teil grobe Verarbeitung wecken gewisse Zweifel daran, dass dieses Auto ohne sehr sorgsame Pflege überdurchschnittlich alt wird. Wer das plant, sollte den Spring rasch nach dem Erwerb gründlich konservieren lassen – wobei wir am Peugeot e-208 schon sehen konnten, dass dies durchaus auch bei deutlich teureren Autos eine Überlegung wert ist.

Bild: Florian Pillau

Der kleine Speicher lässt sich nur langsam befüllen. An Wechselstrom sind es maximal 6,6 kW. Die Option, auch mit Gleichstrom laden zu können, gibt es nur für das Topmodell.

Kaum Konkurrenz

Der Spring zeigt aber noch etwas ganz anderes, nämlich wie ausgedünnt das Angebot an Elektroautos in diesem Segment ist. Renault bietet den Twingo electric an, der eine noch kleinere Batterie hat, die sich allerdings dreiphasig mit bis zu 22 kW laden lässt. Der Twingo ist jedoch ein paar Tausender teurer – in dieser Klasse sehr viel Geld. Das trifft erst recht auch auf den VW e-Up zu, der ja vorübergehend mit umfangreicher Ausstattung wieder zu bestellen war. Er ist erheblich teurer, doch unter normalen Umständen wäre die Empfehlung glasklar: Einer der steinalten Volkswagen-Drillinge mit E-Motor wäre gegenüber dem Spring die bessere, modernere Wahl – wenn Volkswagen denn liefern könnte.

Doch Volkswagen kann oder will nicht: Der für kurze Zeit wieder lieferbare VW e-Up war nur noch mit Vollausstattung zu haben und kostete nach Abzug der Subventionen rund 17.000 Euro. Das ist fraglos erheblich mehr als Dacia für den Spring verlangt. Dafür bekam man bei Volkswagen allerdings das viel bessere Fahrwerk, mehr Komfort, eine höhere Motorleistung und eine größere Batterie, die sich etwas schneller laden lässt. Ein Nachfolger ist vor 2024 nicht zu erwarten. Vermutlich aber kalkuliert Dacia richtig, dass es der eigenen Zielgruppe vor allem um den Preis geht. Und der ist aktuell konkurrenzlos. (mfz) c't

Dacia hat die Überführungskosten übernommen, der Autor jene für Strom.

Bild: Florian Pillau

VW ID.5 GTX: Nur formal sportiv

Der VW ID.5 ist die optisch flottere Ausgabe des ID.4. Das SUV-Coupé überzeugte im Test allerdings mit anderen Qualitäten als einer ausgeprägten Sportlichkeit. Nachholbedarf gibt es beim Laden und der Unterhaltungselektronik.

Von **Martin Franz**

VW ID.5 GTX: Datenblatt

Hersteller	VW
Modell	ID.5 GTX
Motor und Antrieb	
Frontmotor Art	Asynchronmotor
Leistung in kW Frontmotor	80
Drehmoment in Nm Frontmotor	162
Heckmotor Art	Synchronmotor
Leistung in kW Heckmotor	150
Drehmoment in Nm Heckmotor	310
Systemleistung in kW	220
Systemdrehmoment in Nm	460
Fahrwerk	
Reifengröße vorn	235/45 R21
Reifengröße hinten	255/40 R21
Maße und Gewichte	
Länge in mm	4599
Breite in mm	1852
Höhe in mm	1615
Radstand in mm	2771
Kofferraumvolumen in Litern	549
Leergewicht in kg nach EU inklusive 68 kg Fahrer und 7 kg Gepäck	2243
Zuladung in kg	507
Batterie in kWh (netto)	77
Fahrleistungen	
Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in Sekunden	6,3
Höchstgeschwindigkeit in km/h	180
Verbrauch	
Verbrauch WLTP in kWh/100 km	20,2
Ladeleistung an AC in kW	11
Ladeleistung an DC in kW	135
Reichweite in km (WLTP)	512

Daten Stand: 1. September 2022

Geschmäcker sind auch beim Auto-Design verschieden, und das ist auch gut so. Ob die Gattung der SUV-Coupés nun eine Bereicherung ist, möge der geneigte Leser bitte allein beurteilen. Für mich bleiben diese Schein-Geländewagen eine seltsame Kreuzung, denen mit dem flachen Dach noch Ladevolumen genommen wird. Doch die Industrie hat hohe Erwartungen an diesen etwas abstrusen Mix: Der ID.5 wird mit einem satten Aufschlag gegenüber dem im Prinzip baugleichen ID.4 verkauft.

Seit Mai 2022 liefert VW den ID.5 auch als GTX mit 220 kW aus – eigentlich. Denn das Topmodell war im Handel gerade nicht zu haben, als im September unsere Ausfahrt mit einem Testwagen stattfand. Uns interessierten dabei besonders die Themen Laden, Verbrauch und Software. Aber natürlich haben wir uns auch die Fahreigenschaften näher angeschaut.

Die andere Karosserieform macht aus dem ID.5 GTX erwartungsgemäß keinen Sportler, er ist aber, wie der ID.4, ein komfortabel zu fahrendes Auto. VW schafft es mit einer durchaus beeindruckenden Routine, Fahrwerk und Lenkung so abzustimmen, dass sie im Alltag nicht mit einer dick aufgetragenen Härte nerven. Vielmehr versteckt die gekonnte Abstimmung geschickt kleine Unebenheiten und vermittelt trotzdem ein angenehmes Maß an Rückmeldung. Der Fahrer kann im Fahrprofil „Individual“ die Dämpfer in 15 Schritten verstellen, wobei er schon ein ausgesprochen sensibles Gespür braucht, um die Unterschiede zwischen den einzelnen Stufen wahrzunehmen. Auch bei der Lenkung hat

Bild: Florian Pillau

Die Hülle mag als flotter empfunden werden, doch der Inhalt bleibt identisch mit dem SUV ID.4. Das Resultat: Auch der ID.5 ist komfortabel statt sportiv.

VW einen guten Kompromiss zwischen Rückmeldung und Filterung gefunden.

Ordentlich bei Kräften

Dabei hilft natürlich, dass die Vorderräder im ID.5 GTX nur einen geringen Teil der Antriebskraft übertragen müssen. Der primäre Antrieb sitzt hinten, der vordere wird nur im Bedarfsfall hinzugeholt. Der Synchronmotor an der Hinterachse leistet 150 kW, der Asynchronmotor vorn 80 kW. Die Systemleistung, auch hier nicht die Addition beider Motorleistungen, liegt bei 220 kW. Um sie komplett abrufen zu können, müssen einige Bedingungen erfüllt sein, darunter ein Ladestand von mehr als 88 Prozent und bestimmte Temperaturen. Die 220 kW liegen maximal 30 Sekunden komplett an. Die Dauerleistung über eine halbe Stunde liegt bei 77 kW.

Im Alltag spielt all das bestenfalls eine untergeordnete Rolle, das SUV ist ordentlich bei Kräften. Der im GTX serienmäßige Allradantrieb ist ein Argument für das Topmodell, die Fahrleistungen sind es eher nicht, auch wenn zwei Sekunden im Standardsprint (unter idealen Bedingungen) und 20 km/h mehr Höchstgeschwindigkeit auf dem Papier erheblich mehr Temperament versprechen, als die Version mit 150 kW bietet. Doch Erfahrungen mit der 150-kW-Ausbaustufe zeigen, dass die Volkswagen-SUVs damit durchaus zufriedenstellend bestückt sind. Zumal der Aufbau ja nun wahrlich nicht dazu animiert, auszutesten, wie schnell man die 2,3-Tonnen-Fuhre um die Kurve werfen kann.

Laden und Verbrauch

Volkswagen hat kürzlich die maximale Ladeleistung des Modularen Elektrobaukastens auf 135 kW angehoben. Im Test haben wir das leicht übertroffen, maximal waren es 141 kW. Das klingt auf den ersten Blick nach keinem gewaltigen Unterschied zu Autos wie dem Genesis G80 electric, doch nicht die Peak-, sondern die Dauerleistung ist entscheidend dafür, wie schnell der Fahrer seine Reise fortsetzen kann. Ab einem Ladestand von 30 Prozent geht es im ID.5 abwärts mit der Ladeleistung. Bei 47 Prozent wurde die Marke von 100 kW unterschritten. Der beste Wert im Test: in 30 Minuten waren 51 kWh nachgeladen.

Zum Vergleich: Im Genesis waren es unter ähnlichen Bedingungen 56 kWh in 20 Minuten. Diverse Tesla-Modelle, Hyundai Ioniq 5 und Kia EV6 laden noch etwas schneller. Das ist aktuell der Standard, an dem sich auch VW messen lassen muss. Ich wollte dem Abholer einen Gefallen tun und ihm den ID.5 möglichst komplett geladen übergeben. Bei etwa 12 Grad Außentemperatur, 83 Prozent SoC und kalter Batterie lud der Wagen in 11 Minuten an einer 50-kW-DC-Station 4,6 kWh nach.

Geht es um einen minimalen Verbrauch, steht das Format des ID.5 dem aufrecht entgegen. Reifen der Dimension 235/45 vorn und 255/40 hinten, aufgezogen auf 21-Zoll-Felgen, sind dabei auch nicht hilfreich. Minimal waren es inklusive Ladeverlusten 17,2 kWh, maximal 24,8. VW nennt im WLTP 17,1 kWh/100 km. Auffällig war, dass ein Verbrauch von deutlich weniger als 20 kWh einiges an Disziplin vom Fahrer verlangt. Im Langzeitzähler des Bordcomputers standen 20,7 kWh/100 km, zu denen die Ladeverluste noch addiert werden müssen.

Nachgebesserte Software

Bliebe noch die Software-Frage aufzulösen. Installiert war im Testwagen der Stand 3.1, Updates wurden nicht angeboten. Positiv formuliert geht es in die richtige Richtung, die Fortschritte gegenüber dem, was wir zuletzt in Cupra Born und Skoda Octavia RS iV gesehen haben, sind unverkennbar. Volkswagen gibt sich zudem Mühe, das System halbwegs intuitiv bedienbar zu gestalten und ist dabei durchaus erfolgreich. Vorbildlich wäre eine zu euphemistische Einordnung, doch andere Hersteller setzen bei der Bedienung höhere Hürden.

Das Navi zeigt seit dem jüngsten Update detailliert Informationen zu Ladestopps an. In den Tiefen des Setups kann man festlegen, mit welcher Restreichweite man an

Bild: Martin Franz

In den Tiefen des Navigationssystems lässt sich die Ladeplanung auf der Langstrecke gut nachvollziehen.

Bild: VW

Das Infotainment ist mit dem jüngsten Update besser geworden, doch am Arbeitstempo muss VW noch arbeiten.

einer Ladesäule für einen Zwischenstopp und dem Ziel ankommen möchte. Das ist sehr gut gelöst. Rasch gewöhnt man sich auch an den Komfort der kabellosen Einbindung von Android Auto und Apple CarPlay in Verbindung mit einer induktiven Ladeschale.

Zähes Infotainment

Unbefriedigend bleibt jedoch das Tempo, mit dem Eingaben bearbeitet werden. Alles fühlt sich etwas zäh an, gerade auf Spracheingaben reagiert das System regelrecht betulich. Mit der Geschmeidigkeit der Besten kann das nicht ansatzweise mithalten. Zudem gibt es in der Verarbeitung von Sprachbefehlen einen erheblichen Unterschied zwischen off- und online. Richtig nervend waren akustische Artefakte beim Radio, die sich in Spratzlern oder kurzen Halleffekten zeigten – unabhängig davon, ob der Sender über DAB oder UKW ins Auto kam.

Ausstattung und Preise

Der Rest ist identisch mit dem, was man aus dem ID.4 kennt. Reichlich Platz, bequeme Sitze und eine gute Dämmung machen das Reisen angenehm. Die Verarbeitung ist insgesamt ordentlich, die Materialauswahl nicht so schäbig wie im ID.3, allerdings bei weitem nicht so fein wie im Volvo C40. VW war früher Spitze darin, oberflächlich hochwertig zu wirken. Das ist vorbei, und ein paar Fetzen blaues Kunstleder an Türverkleidungen und Armaturenbrett ändern daran nichts. Glänzender Kunststoff am Türgriff innen mag im Neuzustand schick sein, in ein paar Jahren mit einiger Sicherheit nicht mehr.

Dabei ist der ID.5 GTX beileibe kein billiges Auto. Die Spitzenversion kostete rund 54.000 Euro, aktuell ist sie nicht mehr zu bestellen. Das entsprach einem Aufpreis gegenüber der etwas weniger gut ausgestatteten Version mit 150 kW von fast 6000 Euro. Der ID.4 GTX kostet aktuell 53.255 Euro. Die anderen ID.5 kosten rund 2000 Euro mehr als vergleichbare ID.4. Wenn der ID.5 GTX also wieder ins Programm gehoben wird, darf

Bild: Florian Pillau

Der Innenraum ist geräumig und ordentlich verarbeitet. Besonders hochwertig ausgekleidet ist das Interieur allerdings nicht.

Bild: Florian Pillau

Das Glasdach ist riesig, lässt sich jedoch nicht öffnen. Schade eigentlich.

sich der Interessent auf einen Listenpreis von rund 55.000 Euro einstellen – ohne weitere Extras.

Angesichts dessen darf man sich schon wundern über etliche Sparmaßnahmen: Das Glasdach lässt sich nicht öffnen, die vier Fensterheber bedient man mit nur zwei Schaltern plus Umschalter zwischen vorn und hinten und ein Heckscheibenwischer fehlt ganz. Auch auf eine Taste, die in einem Zug die Heckklappe schließt und das Auto verriegelt, muss man verzichten. Kleinlich, meinen Sie? Möglich, aber wer diese Summen aufruft, muss damit leben, dass im Gegenzug auch gehobene Ansprüche an Details gestellt werden. (mfz) c't

Die Kosten für die Überführung wurden von VW übernommen, jene für Strom von der Redaktion.

» Continuous Lifecycle »

[Container Conf]

Die Konferenzen für Continuous Delivery, DevOps, Containerisierung und Developer Experience

15. – 17. November 2022 in Mannheim

Endlich wieder vor Ort

Continuous Delivery, DevOps und **Containertechniken** sind fest etabliert in der zeitgemäßen professionellen Softwareentwicklung – unterliegen aber ständigem Wandel. **Developer Experience** und eine optimal integrierte Developer-Plattform werden zu entscheidenden Faktoren für die erfolgreiche Umsetzung in der Praxis. Continuous Lifecycle und ContainerConf halten Sie mit regelmäßigen Updates erfahrener Expert:innen auf dem Laufenden.

Das Programm bietet Vorträge zu folgenden Themen:

- Continuous Integration & Continuous Delivery
- DevOps, Dev(Sec)Ops, GitOps, AIOps, FinOps
- Containerisierung, Kubernetes
- Infrastructure as Code
- Softwarearchitektur
- Teamwork & Weiterentwicklung

Jetzt Tickets sichern!

www.continuouslifecycle.de

Gold-Sponsoren

Contrast Security · InterSystems Creative data technology · paloalto Networks · plusserver · VEEAM

Silber-Sponsoren

Capgemini · codecentric · Giant Swarm · inovex · jambit · StormForge · SysEleven

Veranstalter

iX Magazin für professionelle Informationstechnik · heise Developer · dpunkt.verlag

Bild: Clemens Gleich

Praxistest: Kia EV6 zieht Wohnwagen

Wie ist das, wenn man mit einem Elektroauto einen Wohnwagen nach Holland und zurück zieht? Wir probierten es aus, im Knaus Sport 400 E.Power und einem Kia EV6.

Von **Clemens Gleich**

Als ich mich freiwillig meldete, einen echten Wohnwagen-Reise-Camping-Test mit Elektroauto zu machen, war mir in etwa klar, was mich technisch erwarten würde: Etappen, Verbräuche, Ladestationen ohne Durchfahrtslader. Gespannt war ich, was die andere Technik für den Camping-Alltag bringt und wie ich zurechtkommen würde.

Als Testgeschwindigkeit wählte ich 100 km/h laut Tacho, weil Gespanne in Deutschland 100 fahren dürfen. Das sind real etwa 97 km/h. Mir ist bewusst, dass viele Gespannfahrer langsamer fahren, um ständiges LKW-Überholen zu reduzieren oder auf physische Eigenschaften des Gespanns zu optimieren (Verbrauch, Schwingungsverhalten oder ähnliches). Sehen Sie es als Messung im oberen real gefahrenen Geschwindigkeitsbereich. In Belgien hätte ich 120 km/h fahren dürfen, unterließ dies aber, weil ich kein anderes Gespann dort sah, das 120 fuhr. Vergleichbar: Frankreich mit 130. Ansonsten dürfen Stand 2022 Gespanne im EU-Ausland eher langsamer fahren als bei uns (üblich sind beschauliche 80 km/h auf der Autobahn). In den Niederlanden dürfen Gespanne bis 3,5 Tonnen auf der Autobahn 90 fahren, über 3,5 Tonnen und auf Landstraßen sind es 80. Zur Messung wählte ich den Modus „Eco“, weil die dort vom Tempomat verwendeten gemächlichen Beschleunigungen recht gut zum Gespannbetrieb passen.

Das E-Gespann

Bei der Auswahl des Gespanns kamen zunächst alle entsprechend zugkräftigen E-Autos zum Ziehen in Frage (Tesla, Mercedes, Hyundai, Kia, Volvo) und jeder Wohnwagen. Beim Durchblättern der Kataloge des Campingherstellers Knaus fiel mir jedoch die „E.Power“-Reihe auf, die sich durch reinen Strombetrieb definiert. Es gibt keine Gasflaschen. Im Gasfach vorne kann man daher zusätzliches Gepäck unterbringen – aufgrund der verbliebenen Gas-Lüftungsschlitze allerdings eher Outdoor-Gepäck, das etwas Regengischt verkraftet. Geheizt wird über eine kleine Klimaanlage. Bedeutet: Es gibt einen Kühlbetrieb für heiße Sommertage. Gekocht habe ich auf zwei Induktionsplatten, was unterwegs schon sehr cool war.

Knaus verwendet das Einhell-Akkusystem zum Puffern des 12-Volt-Netzes. Das ist einerseits clever, weil Staubsauger, Kompressor und Caravan sich die Akkuplattform teilen. Staubsaugerakkus sind jedoch andererseits sehr klein dimensioniert für den Wohnwagenbetrieb. Eine Akkuladung versorgt den Kühlschrank und die Lampen für eine Übernachtung mit Strom. „One Night Stand“ nennt Knaus das (Campinghersteller und ihre PR halt). Das ist natürlich etwas wenig, sodass es im Konfigurator zusätzlich die Option auf eine fest verbaute, größere Batterie gibt. Auf Anfrage baut Knaus auch eine Solaranlage dazu aufs Dach.

Leider kann man auch dann nicht heizen oder kühlen oder kochen aus der Batterie, die müsste für eine solche Leistung so groß und schwer sein, dass Knaus sie nicht mehr für sinnvoll hielt. „Die E.Power-Reihe ist für Camper gedacht, die von Mai bis Oktober auf typischen Stellplätzen mit Landstrom stehen“, sagte Knaus am Telefon. Das sind je nach Markt 35 bis 50 Prozent der Kunden der Wohnwagen, in denen das angeboten wird. Der Rest kauft mit Gasinstallation, die Knaus parallel anbietet. Perspektivisch

Bild: Clemens Gleich

Ladeplanung von Hand: Diese EnBW-Station suchte ich mir aus, weil schon auf dem Foto erkennbar war, dass der Hänger wohl dranbleiben könnte.

wäre es trotzdem cool, mit Batterie kochen zu können.

Hier kommt der Kia EV6 ins Spiel. Hyundai-Kia bieten in Ioniq 5 und EV6 ein bidirektionales Ladegerät an. Das gibt auf 230 Volt über einen Adapter (Typ 2 auf Schuko) bis 16 Ampere aus – genau die Leistung, die der Landstromanschluss des Knaus maximal erwartet. Damit könnte ich also ohne Netzstromanschluss stehen, denn die 77-kWh-Traktionsbatterie ist für Camping-Zwecke riesig. Das Auto und der Wohnwagen passten perfekt zusammen. Als wir mit Knaus und Kia konferierten, wurde klar: Das ist den beiden Herstellern ebenfalls aufgefallen. Ein Knaus Sport 400 E.Power Selection stand bereits in Kias Fuhrpark, sodass ich mir zumindest eine separate Wohnwagenlogistik sparen konnte.

Nicht ohne eigene Ladeplanung

Mein Ziel war in Middelburg, Zeeland, Niederlande – eine beliebte Urlaubsregion für Deutsche vor allem aus den angrenzenden Gegenden der BRD. Auf der Hinfahrt plante ich für eine andere Geschichte einen Stopp bei Münster ein. Das brachte den Vorteil, dass ich mich auf einer kürzeren Distanz von 440 Kilometer eingrooven konnte auf die Eigenheiten des Gespanns, vor allem auf die Ladeetappen.

Der Verbrauch pegelte sich bei erstaunlichen 37 kWh/100 km netto ein – 10 Kilowattstunden weniger als aus vergleichbaren Tests erwartet. Dazu gehört: Richtung Meer geht es tendenziell bergab. Wer in Deutschland lange genug gen Norden fährt, kann immer tendenziell bessere Verbräuche vorweisen. Aufgrund der guten Werte zögerte ich die erste Ladung immer weiter hinaus, bis ich bei gut 190 Kilometer und 2 Prozent SoC an dem Lader stand, den mir das Kia-Navi empfohlen hatte: 50 kW und defekt. Die erste Lektion war also: Kias Navi kann nur sehr bedingt bei der Ladeplanung helfen. Das ist schade, weil „Navi mit dynamischer Ladeplanung“ ein technisch gelöstes Problem ist, das im Gespannbetrieb mehr als hilfreich wäre.

Angesichts dieses Problems gleich auf der ersten Etappe blieb ich entspannter, als komplette E-Neulinge es wären, weil ich weiß: Das Ladenetz ist viel dichter als das Tankstellennetz. Ich zog also an einen anderen Lader in zwei Kilometer Entfernung um, an dem ich allerdings zuerst den Caravan abhängen musste, weil es nur Parkbuchten gab. Weiterer Minuspunkt: Mit 100 kW Leistung lag die Station unter der Hälfte dessen, was der Kia kann. Lektion 2: Wenn du auf einen vernünftigen Tagesschnitt kommen willst, musst du vorher den nächsten Ladestopp planen – ohne große Hilfe vom Kia-Navi.

Ich suchte mir für den nächsten Stopp also einen EnBW-Lader, an dem ich ein Stück vorbeifahren konnte, damit ich nicht abhängen musste. Das geht, weil Google Maps zu jeder Ladestation Bilder bereithält, anhand derer Sie so etwas vorher sehen können. Ladestationenraster, Reserven und Reichweite pendelten sich auf Etappenweiten von 150 Kilometer ein. Das ist, was manche schon für den Gespannbetrieb schätzten und schlussendlich nicht wollten.

Nur noch Fastned

In Münster gab es ein sehr betuliches Destination Charging von gut 74 kWh brutto vom Solardach des Sportgeräteherstellers Schäper, während wir die geplante andere

Geschichte produzierten. Verbrauch erste Etappe: 40,9 kWh/100 km brutto bei 37,4 kWh netto laut Anzeige. Etwa die Hälfte der Strecke war regennass, was sich nicht erkennbar in zusätzlichem Verbrauch niederschlug – zu groß wohl der Einfluss des Wohnwagenwindwiderstands. Ich legte mich hin auf dem recht guten Bett des Knaus.

Die nächste Etappe zum Campingplatz in Middelburg, Zeeland, brachte einen großen Vorteil mit sich: holländische Ladestationen. Wenn Ionity (siehe auch S. 22) halb so gut wäre wie Fastned, wären sie doppelt so gut wie jetzt. Fastned hat an jeder Station mindestens einen Durchfahrtslader für Gespanne. Man kann also einen pauschalen Tipp geben: Wenn möglich, mit Gespann immer bei Fastned laden. Die Stationen sind baulich schön gemacht. Sie erfüllen die meisten grundsätzlichen Anforderungen von Fernreisenden mit E-Antrieb an Ladestationen. Da sollten sich die deutschen Mitbewerber eine dicke Scheibe davon abschneiden, wenn sie mit Fastned konkurrieren wollen, die ja auch in Deutschland ihr Netz ausbauen.

„Vehicle to Load“

Mit zwei Ladestopps landete ich bei 44 Prozent SoC am Campingplatz an. Ich dachte zunächst: Vielleicht komme ich auf den 345 Kilometern mit einem Stopp aus, aber starker Gegenwind erhöhte den Verbrauch signifikant. Schlussendlich passte das ganz gut, denn ich wollte ja Kias „Vehicle to Load“ (V2L) probieren, also das bidirektionale Ladegerät, und das schaltet Kia erst ab 20 Prozent SoC auf. Beim ersten kurzen Ausprobieren funktionierte es reibungslos.

Der Campingplatzbetreiber rechnete den Strom nicht ab. Ich bot ihm daher an, separat von meinem Messgerät gemessen etwas zu zahlen, weil ich ja immerhin knapp 50 kWh brutto allein in die Traktionsbatterie ziehen würde. Unverständnis. Hier wird sich noch einiges ändern, bis Betreiber verstehen, dass sie Unmengen an Strom verkaufen könnten, dass heute eben nicht mehr nur ein paar kWh pro Woche für Kühlschränke durch die Leitungen laufen. Dennoch wollte ich ihn nicht übervorteilen und lud den größten Teil an einer AC-Ladestation in der Stadt, während ich Besorgungen machte.

Reminiszenz ans Ribeye

Am Nachmittag schloss ich den Wohnwagen ans V2L an, dämpfte Kartoffeln (damit ich mehr Strom brauche) und briet mir ein schönes (wenn auch dünnes) Ribeye-Steak an. Der Induktionsherd ist viel besser als alles, was ich bisher vom Camping kenne. Diese kleinen Camping-Gasherde haben einfach keine Leistung – vielleicht aus Brandschutzgründen. Der Induktionsherd dagegen macht die Pfanne so heiß, dass das dünne Steak für Medium-Done mit schöner Röstung eine Minute pro Seite brauchte. Trotz Dämpfen verbrauchte das Kochen nur ein Prozent SoC. Das war erwartet, könnte aber manche Camper überraschen: Im Vergleich zu den bis zu 430 kW des Antriebs ist alles andere Pillepalle. Ich könnte die Klimaanlage noch 50 Stunden volle Pulle laufen lassen, aber die Temperatur war ohne Heizung oder Kühlung passend in Zeeland.

Insgesamt war meine Fahrt bisher einfach gewesen. Es gab keine unerwarteten Probleme (dass mal eine Ladestation nicht geht, erwarte ich). Mein Verbrauch lag in Deutschland weit unter den Verbräuchen, die Caravan-Kollegen bei der Motorpresse gemessen hatten. Erst in den Niederlanden bei Gegenwind kam ich auf vergleichbare Werte: 48 kWh/100 km netto laut Anzeige, gemessen 50,6 kWh brutto – etwa 10 kWh mehr als in Deutschland. Dafür gibt es zwei Gründe: Erstens der erwähnte starke Gegenwind und zweitens fährt ein Gespann in den Niederlanden einen höheren Schnitt, weil schlicht alle mit 100 fahren. Der Schnitt ist der Haupteinflussfaktor auf den Verbrauch, vor allem bei gleichmäßiger Tempomat-Fahrweise.

Bild: Clemens Gleich

Gechillt am Durchfahrtslader. Fehlfunktionen auf der Tour bei Fastned: null. Das ist auch heute noch erwähnenswert, da nicht selbstverständlich. Vieles hat sich in dieser Hinsicht erheblich verbessert, zur Perfektion bleibt noch etwas Luft.

Bild: Clemens Gleich

V2L in Aktion: Bei abgeknickten Schukosteckern lässt sich der Wetterschutz nicht zuklappen. Machte aber keine Schwierigkeiten, selbst als es am Campingplatz mal draufregnete. Größte Gefahr: Kontaktkorrosion, falls doch einmal Wasser in die Dose geblasen würde.

Ladegeschwindigkeit und Tagesschnitt

Die Rückfahrt war mit 641 Kilometer eine Etappe, wie sie selbst Alleinurlauber in einem Rutsch fahren. Das liegt auch daran, dass ein Fahrer mit Gespann nicht besonders viel mehr fahren sollte über den Tag – unabhängig vom Antrieb. Ich orientiere mich an Berufskraftfahrern, denn 10 Stunden Fahrzeit sind ein guter Richtwert selbst für private Fahrten. Will man deutlich mehr als 700 Kilometer am Tag mit Wohnwagen fahren, wechselt man sich besser mit einem zweiten Fahrer ab – unabhängig vom Antrieb.

Beim elektrischen Fahren ändert sich gegenüber dem Verbrenner die Anzahl der Pausen und jede Pause findet an einem Stecker statt. Ob Sie das Laden nervt, hängt also zu einem großen Teil an Ihrem Pausenverhalten. Schon auf der Anfahrt stellte ich fest, dass man bestimmte Gespanne mit gleichem Schnitt immer wieder trifft, selbst nach Ladestopps. Wer 1000 Kilometer mit drei Stopps zum Fahrer- und Flüssigkeitstausch durchreißt, wird seine gewohnte Fahrweise nicht aufs E-Gespann übertragen können.

Mich persönlich nervt am Gespann-Fahren jedoch nicht das Pausieren, sondern das Gezuckel mit 100 und das Seekrankheit induzierende Geschaukel vom Hänger. Ich hielt meine Pausen an der Fastned-Station im Großen und Ganzen für ein recht schönes Schicksal. Der EV6 lädt über weite Bereiche mit 230 kW – 800-V-Lader vorausgesetzt. Dabei fluten fast 60 kWh in einer Viertelstunde ins Auto. Deshalb lagen viele meiner Pausen im Bereich unter 15 Minuten.

Strich drunter: Fahrt

Nach neun Stunden und 44 Minuten war ich daheim, inklusive Mittagessen, inklusive vier Ladestopps, inklusive eines defekten Laders, bei dem ich an einen nächsten Rastplatz umziehen musste. Auf 641 km war ich also einen Tagesschnitt von gut 65 km/h gefahren (Tagesschnitte gebe ich immer inklusive aller Pausen von Tür zu Tür an). Der Schnitt in Fahrt lag bei knapp 82 km/h. Meine Standzeit betrug 1:54 h. Alles Kabelgefummel, einmal abhängen und wieder anhängen bei Ionity und die Standzeit am defekten Lader für Kia unfairerweise mit hineingerechnet, lud ich im Gesamtstandschnitt mit 150 kW. Damit bin ich vollauf zufrieden.

Die Ergebnisse bedeuten jedoch auch: Wenn das E-Auto längere Strecken ziehen soll, ist die Ladegeschwindigkeit von ent-

scheidender Bedeutung. 150+ kW über möglichst weite Bereiche der Ladekurve sind ebenso wichtig wie eine entsprechend große Batterie (zum Glück bedingt sich ja beides).

Mit einem Diesel-Zugfahrzeug hätte ich wahrscheinlich zwei Pausen weniger gemacht und wäre daher bei einem Diesel-üblicheren, höheren Schnitt angekommen. Gute Verkehrssituation vorausgesetzt schätze ich einen Diesel-Schnitt auf dieser Strecke auf über 70 km/h über den Tag inklusive aller Pausen, vielleicht sogar in der Gegend 75 km/h.

Aber ganz ehrlich: Mich hat überrascht, wie wenig Zeit mehr das häufige Laden mit Gespann braucht. Etwa alle 150 km plante ich einen Stopp und nach 150 km Schaukelgezuckel war ich dann froh über eine Pause. Das Zähe lag am Gespannfahren an sich, das mir persönlich immer eine Geduldsprobe ist. Die Pausen waren meistens ganz nett und durch die Bank kurz. Ich sehe kein grundsätzliches Problem darin, 1000 km und mehr mit Kia-Knaus zu fahren, sofern ein zweiter Fahrer unterstützen könnte. Eine zweite Person wäre schon allein zur Ladeplanung hilfreich, weil Kias Navi das ja nicht schafft. Wenn Dinge wie die Kia-Knaus-Kombo die Zukunft neu zuzulassender Gespanne nach 2035 sind: Es könnte schlimmer kommen.

Strich drunter: E-Antrieb im Gespannbetrieb

Was mich interessiert hat vor dem Test: Wenn mein E-Auto alternativlos ist, wie schmerzhaft wäre es dann, ein, zwei Mal im Jahr damit den Wohnwagen zu ziehen? Und die Antwort: kaum Schmerzen. Der EV6 hat so viel Leistung, dass ihn der Knaus nicht juckt. Das V2L ist super. Einziger Knackpunkt: Dynamische Ladeplanung im Onboard-Navi wäre nicht nur für Gespannbetrieb sehr wichtig. Kia hat angekündigt, dieses Feature im Laufe des Jahres per Software-Update nachzurüsten. Weiterer Knackpunkt seit Kias ersten E-Autos: Das Reichweitenschätzeisen stimmt nie, kann nicht vom User resettet werden und nervt für den Gespannbetrieb daher doppelt, weil es immer lügt.

Umgekehrt: Wenn Sie ein Auto suchen, das jeden Tag Gespanne ziehen soll, dann kaufen Sie sich einen Dieselantrieb mit großem Tank. Das erspart Ihnen die Ladeplanung, was frei macht für Pausen, wo es noch schöner ist als unter den solargemusterten Fastned-Dächern. Ich pausiere zum Beispiel gern auf den parkartig angelegten Autobahnrasten im Südwesten Frankreichs. Dort stehen keine Lader, keine Zapfsäulen, höchstens ein paar Azaleen. Aber wenn Sie sich fragen, ob ein EV6 (oder bauähnlich Hyundai Ioniq 5) einmal im Jahr den Wohnwagen in den Sommerurlaub ziehen kann, lautet die Antwort: „Ja. Einfacher, als Sie wahrscheinlich denken."

Epilog

Diesen von Ihnen eben rezipierten Text schrieb ich Mitte Juni, als ich von meiner Middelburg-Tour zurückkam. Kurz danach schickte der ADAC eine Pressemitteilung herum: Tester des Vereins waren mit einem E-Gespann nach Italien gefahren, ebenfalls mit einem Kia EV6 als Zugfahrzeug, allerdings mit einem anderen, größeren Wohnwagen. Der ADAC verbrauchte weniger, was mich vermuten lässt, dass er näher am Median der Gespanngeschwindigkeiten fuhr. Die Teststrecke betrug 1281 km in drei Tagen, war also recht entspannt von der Tageskilometerleistung.

Der Text beklagte sich über die Ladeinfrastruktur unterwegs in Österreich, Italien und Slowenien: zu oft defekt, zu viel mit Abkoppeln. Ich glaube auch, dass die Niederlande für Gespanne entspannter zu bereisen sind als Italien, deshalb fuhr ich ja da hin. Wie so oft enthalten Ergebnisse solcher Pressetests auch einen erheblichen Anteil Einstellung. Für mich klingt die ADAC-Reise mit den paar Tageskilometerchen entspannt und schön, mit Optimierungspotenzial bei „vorher mal schauen, wie man da laden kann". (mfz) c't

2× Make testen und über 9 € sparen!

Ihre Vorteile:

- ✓ **GRATIS dazu:** Make: Tasse
- ✓ **Zugriff auf Online-Artikel-Archiv***
- ✓ Jetzt auch im Browser lesen!
- ✓ Zusätzlich digital über iOS oder Android lesen

Für nur 16,10 € statt 25,80 €

* Für die Laufzeit des Angebotes.

Jetzt bestellen:

make-magazin.de/miniabo

Bild: Andreas Marcour

Wie E-Autos funktionieren 78
Ratgeber fürs Laden zuhause 84
Ratgeber unterwegs laden 90
E-Autos als privaten Pufferspeicher nutzen 98
Bauvorschlag: Mit Solarstrom laden 102
Mit Solarstrom laden: die Sparversion 110

Den Akku richtig nutzen und laden

Mittlerweile wissen viele, wie ein E-Auto grob funktioniert. Doch in den Details steckt so manch kleiner, unerwarteter Teufel. Wer den kennt, spart Geld, lädt schneller und schont den Akku.

Von **Clemens Gleich**

Viele Menschen stellen sich den Aufbau eines Elektroautos ähnlich simpel vor wie bei ferngesteuerten Spielzeugautos: Akkus im Bauch, E-Motor nahe der Antriebsachse(n), etwas Steuerung, restlicher Autokram, fertig. Doch da reale, große Elektro-Pkw erstens vergleichbar lange halten sollen wie Verbrennerfahrzeuge (durchschnittliches Verschrottungsalter in Deutschland: über 18 Jahre) und den gleichen Komfort bieten müssen, bestehen sie aus viel mehr Teilen als oft angenommen.

Grob vereinfacht sieht der Weg der Energie vom Stecker bis auf den Asphalt so aus: Bei über 80 Prozent der Ladevorgänge (nämlich denen am heimischen Stellplatz) fließt Wechselstrom (alternating current, AC) über den Stecker zum Onboard-Ladegerät des Autos. Das enthält einen Umrichter, der Gleichstrom (direct current, DC) in der passenden Spannung an die Batteriepole schickt.

Der Grobüberblick

Je nach Akkugröße und Autopreis nimmt das Ladegerät an ein bis drei spannungsführenden Phasen Wechselstrom an, entsprechend viel oder wenig Gleichrichter-Leistungselektronik muss verbaut und vom Kunden bezahlt werden. Das Ladegerät verliert aufgrund der Gesetze unseres Universums einen Teil der Energie bei der Umwandlung in Wärme. Üblich sind derzeit etwa zehn Prozent, die nächste Generation soll auf die Hälfte kommen. Diese Ladeverluste kann das Auto prinzipbedingt nicht auf dem Tacho anzeigen, sie sind jedoch Teil der Verbrauchsmessung im WLTP-Zyklus

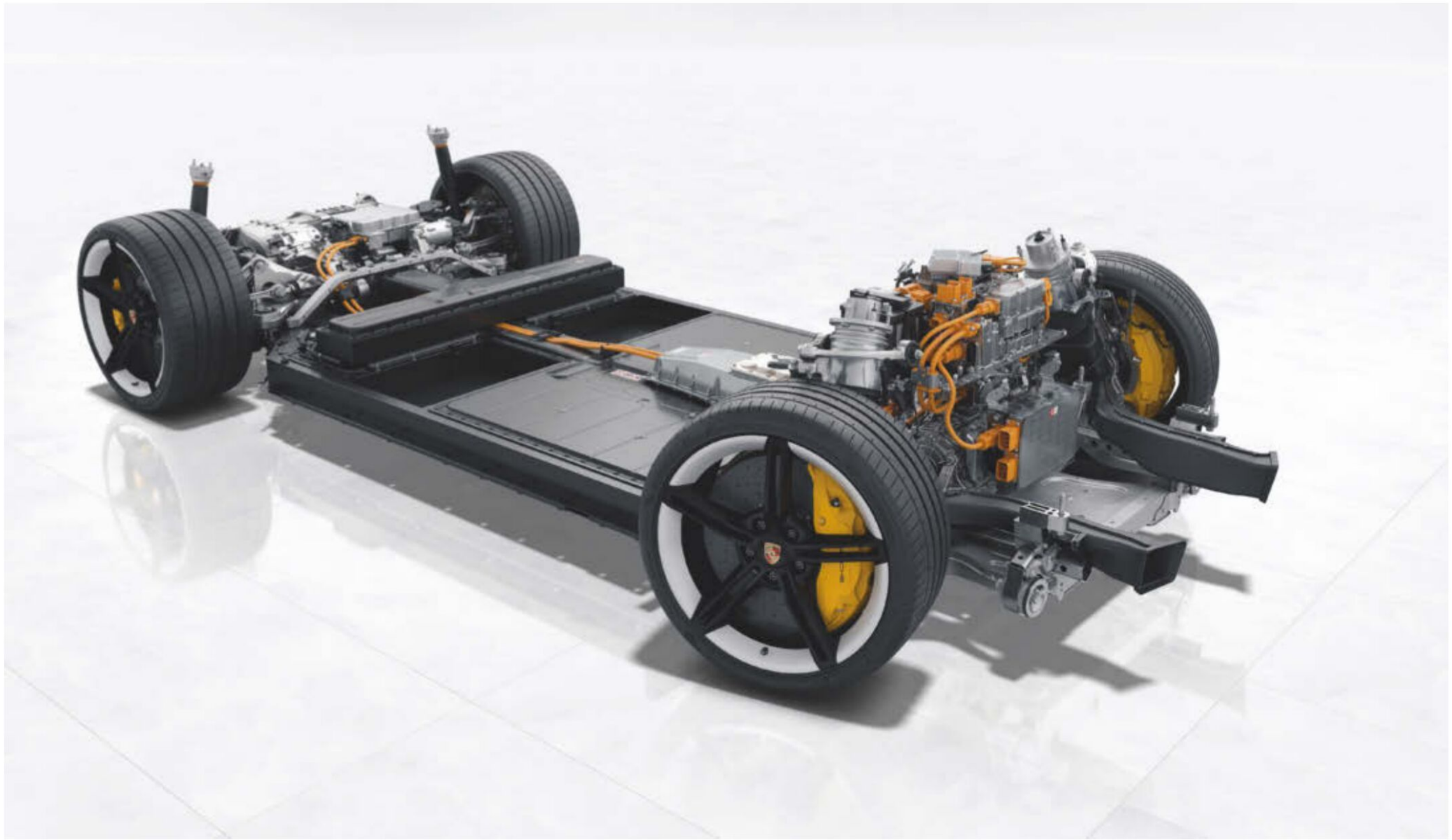


Bild: Porsche

Bei modernen E-Autos befindet sich der Akku im Fahrzeugboden, was einen niedrigen Schwerpunkt bewirkt. Der oder die Motoren sind an der jeweiligen Achse montiert.

(Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure, siehe Seite 18).

Beim Laden an einer DC-Schnellladesäule verhandelt diese mit dem Auto über die Eckdaten des Gleichstroms, den sie liefern soll. Den Strom leitet die Ladesteuerung direkt ohne Wandlung in die Batterie. Aufgrund von Wärmeentwicklung kommt es auch dort zu Ladeverlusten. Stecker ab, Fahrt: Jetzt fließt Gleichstrom vom Akku zu einem kräftig dimensionierten, weiteren Umrichter, der daraus den passenden Strom für den jeweils verwendeten Motor macht – also unter anderem die Spannung anhand der Eingaben des Fahrpedals dosiert.

Im Motor entsteht aus elektrischer Energie nun ein Drehmoment, das fast immer über ein Einganggetriebe an die Antriebsräder gelangt. Es gibt im Serienbau nur wenige Ausnahmen. Die Geschwister Porsche Taycan / Audi e-tron GT verwenden auf der Hinterachse zwei Gänge, um die Effizienz bei höheren Geschwindigkeiten zu erhöhen. Bei einfacheren E-Motorrädern gibt es häufig Nabenmotoren direkt in der Felge. Die wirken sich zwar nachteilig auf das Fahrverhalten aus (Stichwort: „ungefederte Massen“), sind dafür aber billiger zu bauen als besser fahrende Konstruktionen. Der Großteil der Fahrzeuge fährt jedoch mit Einganggetriebe. Die von Verbrennern bekannten Ganganzahlen brauchen Elektromotoren aufgrund ihrer hohen Drehmomente ab Stand und der hohen Nenndrehzahlen mit mehr als 15 000 U/min nicht.

Da ein Elektromotor prinzipiell ein umgekehrter Generator ist, kann er durch entsprechende Beschaltung die rotatorische Bewegungsenergie der Räder in elektrische Energie umwandeln, die der Umrichter dann als Gleichstromspannung in die Batterie zurückspeist (entsprechende Ladeleistung und Kapazitätsreserven vorausgesetzt). Dieses elektrische Bremsen mit Energierückgewinnung kennen fast alle Autofahrer mittlerweile: „Rekuperation“. An allen Übergängen entstehen Verluste.

Doch mit einer errechneten Effizienz vom Stecker bis zur Straße (Well to Wheel) von 60 bis 70 Prozent schlägt das E-Auto den Verbrenner um ein Vielfaches, was im Laufe der Lebenszeit die Mehremissionen der Akkuherstellung überkompensiert. Aktuelle Studien gehen von rund der Hälfte an CO_2-Lebenszeitemissionen gegenüber Benzinantriebsautos aus. Deshalb eignet

sich die Technik als Dekarbonisierungsmaßnahme, obwohl der private Pkw (ganz vorsichtig formuliert) nicht die nachhaltigste existierende Lösung im Verkehrssektor ist. Soweit das grobe Bild. Erhöhen wir nun die Auflösung und schauen auf kleinere Details!

Das teuerste Bauteil: der Akku

Alles am Elektroauto dreht sich um die Akkutechnik. Der Elektromotor war schon vor über 100 Jahren vorhanden und dem rappelnden Hubkolben-Ottomotor (und der Dampfmaschine) in jeder Hinsicht überlegen. Womit Bertha Benz bei ihrer 106-km-Fahrt im „Motorwagen“ ihres Mannes nach Mannheim warb, war die einfach erzielbare Reichweite, die den Akkuautos ihrer Zeit außerhalb der Städte fehlte.

Mit dieser durch Benzin angetriebenen Autonomie begann der Siegeszug der Verbrenner. Ermöglicht wurde er durch billige Energie, denn der Großteil der eingesetzten Energie verschwindet im Verbrenner als Abwärme: Ein Ottomotor im Realbetrieb ist mit 80 Prozent Wärme zu 20 Prozent Vortrieb eher eine Heizung als ein Antrieb. Solange Sprit billig war, war das egal.

Das Problem Kfz-Elektroreichweite interessierte kaum jemanden mehr, weil Verbrenner sich durchgesetzt hatten. Als E-Mobilität ihren zweiten Frühling erlebte, stammten die grundsätzlichen Zelltechniken daher aus mobilen Elektronikprodukten – etwa Notebooks und Tablets. Als die externalisierten Kosten von Rohöl stärker zu zwacken begannen, stand mit dem Lithium-Ionen-Akku bereits eine ausreichend gute Technologie zur Verfügung. Sie wird seitdem auch für den Autoeinsatz massiv weiterentwickelt.

Lithium-Ionen-Zellen altern durch die reine Zeit (kalendarische Alterung), durch Ladung und Entladung (zyklische Alterung) sowie durch Leistung und Temperatur. In all diesen Vektoren müssen Fahrzeughersteller Kompromisse finden. Ein maximal geschonter Akku bringt Sie nirgendwohin, weil das Auto dann weder gefahren noch geladen werden sollte.

Für Nordeuropa erhielt zum Beispiel der Nissan Leaf eine Batterieheizung, die zu tiefe Akkutemperaturen vermied. Es gab jedoch aus Kostengründen keine aktive Kühlung, sodass der Leaf Schlagzeilen damit machte, dass sein Akku in der Hitze Arizonas rapide alterte. Nissan baute als erster (und bisher einziger) Hersteller eine Batteriezustandsanzeige in den Tacho ein, die den Kunden die Degeneration täglich unter die Nase rieb.

Ein Jahr früher als die Großserienautos ging ein Start-up mit dem Kleinserienfahrzeug „Tesla Roadster“ an den Start. Tesla setzte schon damals zur Lebenszeitverlängerung auf Flüssigkeitstemperierung, und es stellte sich Schritt für Schritt heraus, dass ohne eine solche die Akku-Dauerhaltbarkeit stark abhängig von den Einsatztemperaturen ist. Es gibt rein passiv luftgekühlte Akkus heute daher nur noch in den immer seltener werdenden kleinen Stadtfahrzeugen (etwa e.Go) und den belüftungstechnisch günstigen Krafträdern.

Komplexität kehrt zurück

Mit der Erkenntnis, dass eine Temperierung meistens sehr sinnvoll ist, stieg die Komplexität der Autos. Typisch heute: Ein Niedertemperaturkreislauf mit einem Kühlmittel auf Wasserbasis temperiert den Akku. Umrichter und Motor erhalten entweder ihren eigenen, per Wärmetauscher angekoppelten Flüssigkeitskühlkreislauf (dann oft auf Ölbasis), oder man hängt sie mit an den Batteriekühlkreislauf. Da Abwärme am Elektroauto nur in so geringem Maß anfällt, ist sie wertvoller als beim in Abwärme schwelgenden Benziner. Schlaue Konstruktionen führen die Abwärme daher der Onboard-Wärmepumpe zu, die sie auf ein Niveau hebt, das die Kabine heizt. Die komplexen Temperierungskreisläufe mit Heizung und Kühlung sind der Hauptgrund für die real nicht-so-groß-wie-erwarteten Wartungskosteneinsparungen gegenüber Verbrennerantrieben. Sie erhöhen – neben dem Akku – zudem die Anschaffungskosten gegenüber Verbrennern.

Eine Steuereinheit (Thermomanagement) kümmert sich um die optimale Regelung. Eine andere Steuerung (Batteriemanagementsystem, BMS) steuert die mögliche Energieabgabe und -aufnahme in Abhängigkeit von Temperatur und Ladestand und kann im selben Rechnerkasten sitzen. Das BMS regelt außerdem, wie viel die Fahrer überhaupt jemals von der Batterie nutzen dürfen, denn ein Laden von nicht ganz leer bis nicht ganz voll ist schonender als das Ausnutzen der kompletten Kapazität. Der „Batteriehub“ ist neben Thermomanagement die wichtigste Stellschraube der Alterung. Von Herstellerseite aus sind das normalerweise 90 Prozent der vollen Batteriekapazität.

Mittlerweile kann der Nutzer in den meisten Autos selbst noch weiter heruntergehen, üblich sind im Alltag zum Beispiel 80 Prozent (von den User-zugänglichen 90 Prozent, also 72 Prozent vom Bruttowert). Das passt dazu, dass Kunden gern große Batterien kaufen. Da die maximale Ladegeschwindigkeit von der Zelle vorgegeben wird, laden nämlich große Batterien bei gleicher Chemie grundsätzlich mit höherer Leistung als kleinere. Und wer will unterwegs schon länger laden als nötig?

Was will jeder werden, aber keiner sein?

Akkualterung besteht aus viel „kommt darauf an“. Die Autohersteller geben in seltener Einigkeit acht Jahre und 160 000 Kilometer Garantie auf eine nutzbare Kapazität von mindestens 70 Prozent von netto 90 Prozent. Das sind 63 Prozent der Bruttokapazität der Batterie. Wird sie innerhalb der Garantie unterschritten, stellt der Hersteller die Mindestanforderung der Batterie wieder her, wahrscheinlich durch einen Tausch des schwächsten Moduls. Bei verklebten, nicht modularen Batterien wie im Tesla Model 3 bleibt nur der Tausch des kompletten Akkus.

Bei 63 Prozent Restkapazität liegt der Akku im Autobetrieb nach der Studienlage wohl meistens bereits tief im Bereich beschleunigter Alterung: Die Alterung von Li-Ion-Akkus verläuft bei der vorherrschenden Zellchemie (Nickel-Mangan-Cobalt, NMC) ab etwa 1000 Zyklen und 80 Prozent

Restkapazität beschleunigt ab, und dieser Knick in der Alterungskurve ist irreversibel. Auch hier ist es bei einer ökologisch sinnvollen langen Nutzungsdauer also richtig, eher großzügig Akkukapazität einzukaufen – wenn man es sich leisten kann und das Auto lange fahren will.

Unabhängig von der Batteriegarantie kann der Nutzer selbst für ein längeres Leben sorgen, indem er möglichst geringe Leistungen entnimmt (also schwächer beschleunigt) sowie mit möglichst geringer Leistung und bei einer Akkutemperatur zwischen 20 und 50 Grad Celsius lädt. Da auch der Ladestand die Alterung beeinflusst, hält man den Akku die meiste Zeit auf einer Ladung zwischen 40 und 60 Prozent und vermeidet Ladestände über 70 und unter 30 Prozent.

Überraschend wenig bekannter Fakt übrigens: Alle aktuellen Elektroautos haben eine 12-Volt-Batterie nebst 12-Volt-Netz. Dieses Niederspannungsnetz startet über das BMS das in Ruhe entkoppelte Hochvoltnetz. Wie beim Verbrenner ist die 12-Volt-Batterie die Hauptursache für Defekte. Versuche, E-Autos ohne eine 12-Volt-Batterie zu konstruieren (die allerersten Tesla Roadster), zeigten jedoch, dass das schlicht noch schlechter funktioniert. Tesla rüstete den Roadster ab 2010 mit 12-Volt-Batterie aus. Wenn das Auto also tot scheint: erst einmal per Überbrückungskabel mit 12 Volt versorgen. Das gilt selbst dann, wenn das Auto am Ladekabel hängt, weil nicht jedes BMS schlau genug ist, das 12-Volt-System zu versorgen (siehe entsprechende Probleme beim Tesla Model S).

Aktuell kommen mehr Autos mit Lithium-Eisenphospat-Zellen (LFP) auf den Markt. Ihre Nachteile: geringere Energiedichte, noch höhere Kälteempfindlichkeit. Die Zellen speichern je Masseeinheit weniger Energie, haben also eine geringere Kapazität. Ihre Vorteile: bessere Zyklenfestigkeit, günstigerer Preis, hohe Leistungsdichte, längeres Leben und eine inhärent höhere Sicherheit, weil das „thermische Durchgehen“ von NMC-Akkus hier nicht auftritt. Durch die höhere Leistungsdichte geben die Zellen mehr Leistung ab – etwa beim Beschleunigen des Autos – und altern dabei weniger.

Langfristig wahrscheinlich jedoch wichtiger wird die Natrium-Ionen-Batterie (Na-Ion). Der weltgrößte Batteriezellenhersteller CATL hat bei dieser Technik Durchbrüche erzielt und will bereits 2023 Serien-Elektroautos mit solchen Batterien ausliefern. Zwar sinkt hier die Energiedichte noch weiter, doch der Akku-Preisverfall kann wahrscheinlich nur bei diesen Zellen steil weitergehen, weil der Lithiumpreis noch Jahrzehnte auf hohem Niveau verharren dürfte. Die Hausbatterieszene geiert bereits auf Na-Ion.

Die einzelnen Zellen sind in den Fahrzeugakkus zu Clustern zusammengelegt.

Motor, pft, egal

Sie erkennen anhand der Passagenlänge schon: Was beim Verbrenner der Motor, ist beim E-Antrieb der Akku. Der Motor verschwindet aus der Wahrnehmung und wandert in kompakten Baumaßen direkt an die Antriebsachsen. Diese „E-Achse“ gibt es mittlerweile bei vielen Zulieferern. Sie enthält mindestens den Motor und die Radaufhängungen, oft überdies noch die Umrichtereinheit.

Ein Elektroauto mit Allradantrieb hat also immer mindestens zwei Motoren, nämlich einen pro Antriebsachse. Das ist schlicht einfacher, als eine Kardanwelle längs durchs Blech zu führen. Einige der kräftigsten Autos von Audi und Tesla verwenden drei Motoren an zwei Achsen. Die zwei Motoren an der Hinterachse unterstützen dabei die Lenkung durch ungleiche Drehmomentabgaben in Kurven („Torque Vectoring“), und zwar auch im Schiebebetrieb (also Torque Vectoring auf der elektrischen Bremse). Das herrlich einfache Packaging des E-Motors hat zudem zu einer Renaissance des Hinterradantriebs geführt, der in Sachen Sicherheit, Traktion, Handling und Fahrspaß dem Vorderradantrieb grundsätzlich überlegen ist. Der Frontantrieb war immer nur das freudlose Budget-Zugeständnis an Nutzwert-Lastesel: alle Technik vorn, viel Laderaum hinten.

Es ist schade, dass der E-Motor so versteckt sein Dasein fristet, denn es gibt ihn

in einer Vielzahl interessanter, unterschiedlicher Ausgestaltungen. Als Automotor und zum Erklärungseinstieg bietet sich die am weitesten verbreitete Variante an, der Drehstrom-Synchronmotor. „Drehstrom“ bedeutet: Wechselstrom liegt auf drei Leitern an (suchen Sie die drei dicken orangen Kabel an Ihrem Motor). Die Spannungsverläufe der drei Leiter sind zueinander um jeweils 120 Grad verschoben (siehe Grafik).

Im Stator (dem Teil, der sich nicht bewegt) verbauen die Hersteller Spulen, aufgrund des Drehstroms in Vielfachen von drei. Die angelegte Spannung baut in diesen Spulen ein Magnetfeld auf. Der Rotor, also der Teil, der sich dreht und die Räder antreibt, ist ein Magnet – in der einfachsten Form ein starker Permanentmagnet (im technischen Datenblatt steht dann „permanenterregt“). Er folgt dem sich drehenden Magnetfeld in genau dessen Geschwindigkeit (deshalb: „synchron“). Solch ein permanenterregter Motor kann sehr einfach zum Rekuperieren als Generator laufen.

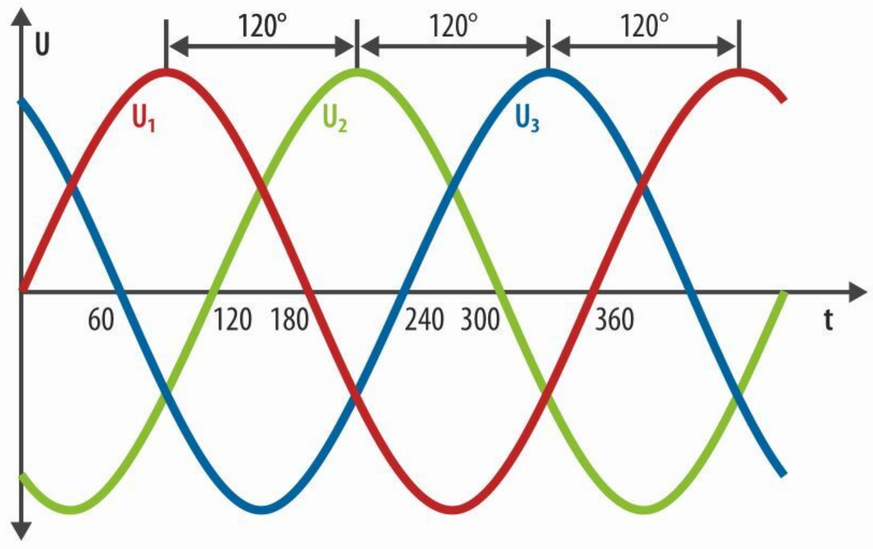
Die Seltenen Erden in kräftigen Permanentmagneten (etwa Neodym) fallen weg, wenn der Rotor induktiv oder durch Schleifer als Elektromagnet betrieben wird („fremderregt“). Das kostet die Besten ein bis zwei Prozentpunkte Effizienz, da der Strom für den Elektromagnet aus dem Akku des Autos kommt.

Im Asynchronmotor laufen Eingabemagnetfeld und Rotor, na ja: asynchron. Die Bewegung des Magnetfeldes gegenüber dem Rotor induziert in jenem einen Stromfluss, der zu einem eigenen Magnetfeld führt. Das Drehmoment entsteht also im Zusammenspiel dieser Magnetfelder. Laufen Rotor und Eingabemagnetfeld synchron gleich schnell, befindet sich der Motor im Leerlauf.

Asynchronmotoren sind einfach zu bauen und sehr robust, was sie grundsätzlich für den Autobau empfiehlt. Wie bei Drehstrom-Synchronmotoren ist es technisch trivial, sie im Generatorbetrieb laufen zu lassen. Im Vergleich zu Synchronmotoren sind sie jedoch in vielen Betriebsbereichen weniger effizient und haben generell eine geringe Leistungsdichte, weil im Läuferkäfig Abwärme aus dem Stromfluss anfällt.

Drehstrom

Beim Drehstrom liegen auf drei stromführenden Phasen gleich hohe Wechselspannungen an. Ihre Phasen sind gegeneinander um je 120° verschoben. Drehstrom entsteht in Generatoren, die prinzipiell umgekehrte Motoren sind. Daher die Häufigkeit von Drehstrommotoren.



Als Teslas Model S und X an einer Achse Synchronmotoren erhielten (vorher: Asynchronmotoren an beiden Achsen), stieg die Homologationsreichweite auf dem Prüfstand um 50 Kilometer. BMW verbaute im i3 einen interessanten Hybrid zwischen Synchron- und Asynchronmotor. Etwas Ähnliches bietet der Zulieferer Brusa.

Die Motorentechnik wird sich in der Zukunft weiter interessant entwickeln. Eine komplette Abhängigkeit von Seltenen Erden aus China können sich europäische und amerikanische Motorenhersteller nicht dauerhaft erlauben. Zulieferer ZF etwa begann deshalb schon früh, fremderregte Motoren in seine E-Achsen einzubauen. Um die Vorteile von Asynchron- und Synchronmotoren zu vereinen, arbeiten die Hersteller an Reluktanz-Synchronmaschinen, denn die könnten der Hoffnung nach so günstig herzustellen und robust sein wie ein Asynchronmotor, gleichzeitig aber ähnlich effizient arbeiten wie ein Synchronmotor.

Im Reluktanzmotor dreht sich ein weichmagnetischer Rotor innerhalb eines Stators voller Nuten, hinter denen Spulen ein magnetisches Feld erzeugen können. Der Rotor strebt stets die Position an, in der er parallel zu den magnetischen Feldlinien der jeweils nächsten magnetisierten Nuten steht. Diese werden zur Drehung entsprechend geschaltet. Die zu behebenden Probleme liegen in der welligen Drehmomentabgabe, dem daraus resultierenden Lärm und einer deutlich schwierigeren Steuerung – alle Probleme sind aber klein genug, um lösbar zu sein, sodass man von Serieneinsätzen in absehbarer Zukunft ausgehen kann.

Sie lasen richtig: „Lärm“. Elektromotoren erzeugen ein Betriebsgeräusch, dessen Frequenzen in für Menschen unangenehmen Bereichen liegen. Wie Verbrennermotoren werden sie daher akustisch von der Karosserie entkoppelt, denn sonst raubte ihr Körperschall den Insassen jeden Nerv. Die günstigste Methode sind einfache Gummilager, es gibt jedoch sehr aufwendige Entkopplungen, denn je besser entkoppelt der E-Motor, umso leiser wird es in der Kabine.

Mercedes-Benz etwa montiert den Motor auf einen in zwei Achsen schwingungsentkoppelten Schemel. Entsprechend leise fahren die Modelle von EQA bis EQS. Um die Funktion bestmöglich zu nutzen, montiert Mercedes gleich den lauten Klimakompressor mit auf dem Schemel. Und plötzlich fällt in der Stille auf, wie LAUT turbulente Luft sein kann, wenn sie an Lüftungsauslässen, den Außenspiegeln oder der eigenen Nase verwirbelt. (spo) c't

Bild: dcbel on Unsplash

Ratgeber fürs Laden zu Hause

Das neue Elektroauto soll her. Die Anschaffung wirft die Frage auf: Wie lade ich das jetzt am besten? Eine Einstiegsberatung fürs Laden daheim.

Von **Clemens Gleich**

Trotz des wie Kaugummi durchgekauten Ausbaus der öffentlichen Infrastruktur bleibt das Daheimladen die mit Abstand wichtigste Energiequelle für Elektroautos. Dazu müssen Sie Strom am Stellplatz haben. Das kann ein größeres Problem sein. Der ADAC hat ermittelt, dass nur in 4 Prozent der Wohneinheiten mit mehr als zehn Stellplätzen überhaupt Strom am Parkplatz liegt. 2020 war bereits die Hälfte davon mit Ladeeinrichtungen belegt. Der E-Ausbau hier wird noch länger dauern. Besser haben es Mieter in kleineren Objekten, am besten haben es Eigentümer in Einfamilienhäusern mit Strom in der Garage.

Zur Miete

Mieter haben seit September 2020 ein Recht darauf, eine Ladestation am Stellplatz zu installieren. Sie müssen dazu jedoch alle Kosten tragen. Das bedeutet selbst bei guten Bedingungen oft mehrere tausend Euro Investition. Zur Wallbox für 500 bis weit über 1000 Euro kommen Kabel, Zähler, Sicherheitstechnik, Bauarbeiten und Montage, die den größeren Teil der Investition ausmachen.

Bei einem Umzug mitnehmen können Sie meist nur den kleineren Teil, hauptsächlich die Wallbox. Wenn Sie obendrein nicht die Erste oder der Dritte sind, der so etwas im Haus will, kann Ihre Wallbox zudem diejenige sein, die den Hausanschluss überlastet. Das Gesetz sieht hier nichts weiter vor, sodass rein rechtlich betrachtet die Schwellenkosten des dann nötigen Lastmanagements an Ihnen hängen bleiben.

Verteilung von Schwellenkosten

„Rein rechtlich“ funktioniert im Leben natürlich wenig. Reden Sie mit den anderen Menschen im und um das Haus. Meistens findet sich eine Lösung. Es lohnt sich hierbei, frühzeitig mitzureden, am besten schon vor der ersten Installation – selbst, wenn Sie noch keine Wallbox brauchen. Wenn der Schwarze Peter der Schwellenkosten erst einmal bei Ihnen liegt, haben die vorherigen Wallbox-Installierten zunächst nur Nachteile von Ihrem Projekt zu erwarten. Dafür werden sie nicht obendrein mit bezahlen wollen.

Ein Beispiel: Wenn die vorhandenen Walloxen kein Lastmanagement können oder nicht miteinander kompatibel sind, müssten sie getauscht werden, gegen teurere: Modelle mit Lastmanagement-Funktionen kosten 800 bis 1700 Euro. Dazu kommt Kommunikation (Kabel oder WLAN) und einmalig der Last-Controller (300 bis 2000 Euro). Um Streit zu meiden, gilt auch für Vermieter: Planen Sie in entsprechend großen Objekten bei Umbauten von Anfang an damit, dass künftig mehrere Mieter Elektroautos laden werden wollen. So können Sie die Kosten fair verteilen. Weiterer Vorteil: Das Objekt wird attraktiver, wenn Mieter einen problemlosen Prozess beim Setup ihres E-Autos erwarten können. Gerade in Städten können Sie sich so von der Konkurrenz absetzen.

Im Eigentum

Für Wohnteileigentümer (zum Beispiel Eigner einer Eigentumswohnung in einem größeren Gebäude) gilt im Prinzip dasselbe wie für Mieter: Sie haben ein Recht auf den Anschluss, aber reden Sie frühzeitig mit, selbst wenn Sie noch kein E-Auto haben wollen. Das geschieht typischerweise auf der Eigentümerversammlung, zu der Sie später auch den konkreten Antrag einreichen. Sie sollten jedoch Ihre Wallbox-Pläne möglichst frühzeitig ansprechen und das Problem von Lastmanagement und Hausanschluss erläutern.

Eine gute Erläuterung motiviert Miteigentümer, sich an gemeinsamen Kosten wie jene des Lastmanagers zu beteiligen, um deren Funktion später ebenfalls nutzen zu können. Die Eigentümerversammlung muss nämlich dem Antrag zwar zustimmen, darf aber beim WIE? mitreden. Es entscheidet also die Gemeinschaft darüber,

Bild: Clemens Gleich

Tiefgaragenstellplatz in Stuttgart. Kein Strom am Stellplatz für den BMW C Evolution im Vordergrund …

Bild: Martin Franz

Eine Wallbox ist teuer, bietet dafür mehr Tempo, Sicherheit und Komfort.

welche Art Infrastruktur ins Haus kommt. Eine gute Erklärung der Sachverhalte wirkt hier. Tipp aus dem Texten: Kürzer ist beim selben Informationsgehalt immer besser. Versuchen Sie, die Hauptargumentation auf einen griffigen Satz zu reduzieren, den Sie schrittweise entpacken können bei Detail-Nachfragen.

In der eigenen Garage

Am einfachsten haben es Eigenheim-Besitzer mit Strom in der Garage. Sie müssen nur auf grundlegende Baugesetze und sich selbst Rücksicht nehmen. Für ältere Bestandshäuser bedeutet das meistens ein Update der gern gruselig selbstgebastelten Garagen-Elektrik. Der wichtigste Punkt hierbei noch einmal zusammengefasst: Das Elektroauto ist eine potenziell gefährliche Dauerlast, die mit nichts zu vergleichen ist, was sonst in Privathäusern Strom zieht. Andere Großverbraucher wie E-Herd oder Elektroheizung ziehen selten länger als 30 Minuten am Stück hohe Stromstärken. Ein großes Elektroauto kann jedoch 6 Stunden lang 11 kW ziehen. Wer einphasig lädt, kann 40 Stunden lang 16 Ampere auf einer Ader halten. So etwas gibt es sonst nur in der Industrie.

Wallbox oder Ladeziegel?

In Ihrem Haus kamen solche Lasten vor dem E-Auto mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nie vor, sodass Sie mit dem ersten E-Auto Premiere feiern bei allen kleinen Schwachstellen, an denen sich die Wärme über Stunden akkumuliert, bis etwas schmilzt oder brennt. Das Perfide dabei: Je heißer die Problemstelle wird, umso höher steigt der elektrische Widerstand, der wiederum die Hitzeentwicklung durch Verlustleistung beschleunigt.

Unsere Empfehlung: Lassen Sie Ihre Elektrik von einem Fachmann prüfen, der E-Autos kennt – und zwar auch oder gerade bei der Ladung am Schuko-Kabel statt an einer Wallbox. Im Eigenheim reichen meistens einfache Wallboxen für Preise ab ein paar hundert Euro. Auch hier geht ein Großteil der Kosten in die dazu nötigen baulichen Maßnahmen.

Interessant wird das E-Auto vor allem in Verbindung mit Photovoltaik (PV), ein weiterer Vorteil für Immobilieneigner. Privat-PV spielt sich meistens in vergleichsweise niedrigen Leistungsklassen ab. Bis kürzlich sollten Hausanlagen per Gesetz sogar unter 10 kW Peak (Gleichstrom-Erzeugungs- Spitzenleistung, kWp) bleiben.

Die „Liebhaberei“-Steuervereinfachung motiviert Dachbesitzer dazu, diese Grenze im Kopf zu behalten. Mit den vollen 11 kW einer KfW-geförderten Wallbox kann das Auto in diesem Fall grundsätzlich nicht laden. Meistens liegt die fürs Auto verfügbare Überschussleistung selbst bei voll belegtem Dach also im einstelligen kW-Bereich und nicht einmal das jederzeit.

Hier muss also die Leistung einer Wallbox stufenweise gesteuert oder der Schuko-Ladeadapter per fernschaltbarer Steckdose an- und ausgeschaltet werden. Früher machte noch Mancher das von Hand, heute sind automatisierte Lösungen üblich. Es gibt sehr viele Varianten, das anzustellen. In den Artikeln ab Seite 102 und 110 stellen wir zwei Eigenbau-Lösungen unserer Kollegen von der Make vor. Es gibt auch Wallboxen, die einen Energiemanager enthalten und Überschuss-Ladung als Feature anbieten (zum Beispiel Myenergy Zappi). Oder es gibt die Variante über einen separaten Energiemanager, der außer Autos auch die restlichen Verbraucher steuert (siehe beispielsweise ct.de/w9rm). Elektroautos mit bidirektionaler Ladetechnik können über die Wallbox nicht nur überschüssige Energie aus dem Netz oder einer PV-Anlage aufnehmen, sondern geben sie nach Sonnenuntergang auch wieder an den Haushalt ab. Die Erfahrungen aus einem Pilotprojekt schildern wir ab Seite 98.

Automobile Ladetechnik

Damit ein E-Auto den überall vorkommenden Wechselstrom (AC) nutzen kann, hat jedes Fahrzeug ein Onboard-Ladegerät, das Wechselstrom in Gleichstrom (DC) wandelt. Die Leistungselektronik der Umrichter kostet vergleichsweise viel Geld. Deshalb verlangen einige Autohersteller für Ladegeräte mit 11 kW einen deutlichen Aufpreis – Opel im Corsa-e beispielsweise aktuell 1190 Euro. Die betreiben drei Umrichter, für jedes Kabel mit AC-Spannung darauf („Phase“) eines. Ein einphasiges Ladegerät kostet daher weniger.

Zur Anfangszeit des Elektroautoverkaufs gab es viele Modelle, die einphasig mit bis zu 32 Ampere (A) luden. Das war damals ein guter Kompromiss zwischen Kosten und Ladegeschwindigkeit. In Deutschland darf im Haus zwischen den Phasen keine sogenannte „Schieflast“ von mehr als 20 A vorkommen, sodass solche Ladevarianten vom Versorger gesondert erlaubt werden mussten. Da die alten Trafos mit Schieflastproblemen kaum noch vorkommen, wurden solche Anträge üblicherweise bewilligt.

Mit dem neuen Regulatorium für die Massenetablierung von E-Autos sind solche Extrawürste seit 2019 nicht mehr drin. Bedeutet: Einphasig ist bei 20 A * 230 V = 4,6 kW Ladeleistung Schluss. Wallboxen, die von der KfW gefördert wurden (Förderung ausgelaufen), sind auf 16 A pro Phase beschränkt, das heißt für einphasige Lader:

3,7 kW. Dreiphasig sind es dann 11 kW. Ein großes Auto, das jeden Tag lange Strecken fährt, braucht eine solche Wallbox. Um jedoch täglich 30 Kilometer in einem VW e-Up zurückzulegen, geht es auch deutlich kleiner.

Adapter statt Wallbox

Viele Besitzer von Plug-in-Hybrid-Autos oder kleiner E-Flitzer wie Skoda Citigo iV wissen es aus dem Alltag: Eine kleine Batterie oder eine geringe elektrische Fahrleistung lässt sich recht gut über die 230-Volt-Steckdose bestücken. Für den Anschluss eines Autos kommt ein Adapter zum Einsatz, der häufig „Ladeziegel“ genannt wird. Er enthält Kommunikations- und Sicherheitsfunktionen, im Prinzip eine kleine Wallbox.

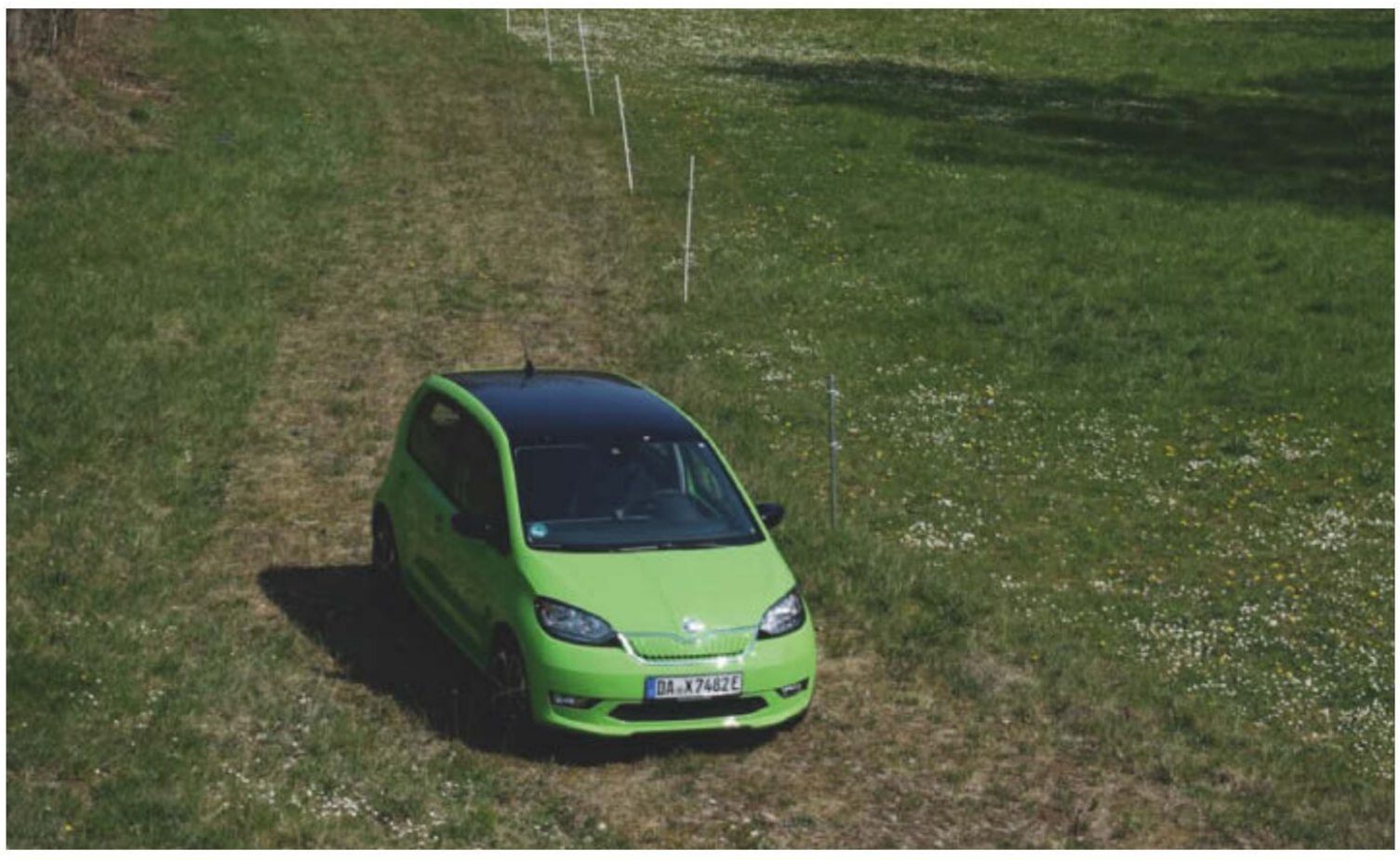
Oft misst ein Temperatursensor noch die Wärme im Anschlussstecker. Darauf sollten Sie sich jedoch nicht verlassen, weil die Wärme sich an allen möglichen Stellen stauen kann, im vergossenen Stecker, in der Steckdose, an den Löt- oder Crimp-Stellen, im Prinzip überall auf der Strecke Auto-Hausanschluss.

Sie können solche Schwachpunkte nicht von außen vorher sehen, nicht einmal am Preis. In meiner Garage ist mir ein Aufputz-Kabel an einer geraden, gut luftgekühlten Stelle ohne Anschlüsse verschmort. Wurde das Kabel irgendwann einmal geknickt/beschädigt? Schwer zu sagen. Deshalb gilt die Wallbox-Empfehlung genauso (oder stärker) für Schuko-Ladegeräte: Lassen Sie im Eigeninteresse einen E-Auto-affinen Elektriker die Installation prüfen.

Der Schuko-Stecker ist für 16 A Stromstärke ausgelegt. Das schafft er bei einer entsprechenden Auslegung auch dauerhaft (im Sinne von „E-Auto-Langsamladung-dauerhaft“). Mitsubishi legte dem i-MiEV zum Beispiel früher einen 16-A-Ladeziegel bei. Das sind 3,7 kW Ladeleistung, wie bei einer von der KfW-geförderten Wallbox einphasig. Üblicher sind jedoch Ladeziegel, die den Strom auf 10 A begrenzen. Das sind 2,3 kW. Diese Ladeleistung hat sich in der Praxis verbreitet, weil 10 A weniger Ansprüche an die Hausinstallation stellen als 16 A.

Das sollte Sie nicht dazu verleiten, auf den Elektro-Check zu verzichten, weil schon 10 A über die langen Ladezeiten reichen, um schlechte Elektroinstallationen zu verbrennen. Uns sind in der Redaktion schon Steckdosen bei 10 A geschmolzen, mein Kabel an der Wand schmurgelte ebenfalls bei 10 A. Manche Hersteller bieten auch 12 A an, während Ladeziegel mit 16 A selten wurden.

Bild: Clemens Gleich



Kleines Auto, kleiner Akku, kleiner Strombedarf: Wer kleine Flitzer oder gar ein PHEV bewegt, kommt meistens mit dem Ladeziegel aus. Trotzdem immer Elektrik prüfen!

Laden in Zahlen

Sie können es sich am besten so merken: 16 A ist das Optimum für den Schutzkontakt-Stecker. 10 A hat sich als automobiler Praxiswert für dauerhaften Ladestrom etabliert. Gehen Sie mit der Stromstärke immer so tief wie möglich, so hoch wie nötig, denn die Wärme ist nicht nur aufgrund der Sicherheit problematisch, sondern Sie müssen die unfreiwillige Heizung Ihrer Leitungswiderstände obendrein mit Verluststrom bezahlen.

Rechenbeispiel mit runden Zahlen: Ausgehend von einem Bruttoverbrauch von 20 kWh/100 km laden Sie mit einem 10-A-Ziegel bei 10 Stunden Standzeit über Nacht bis über 100 Kilometer nach (Verluste von guten 10 Prozent nicht vergessen). Selbst wenn wir im Winter von einem erhöhten Verbrauch von 25 kWh/100 km ausgehen, sehen wir: Der Ladeziegel reicht für den Großteil täglicher deutscher Mobilitätsbedürfnisse aus. Wer ihn bei Back-to-Back-Einsätzen kombiniert mit gelegentlichen Ladevorgängen am Schnelllader, für den wird sich eine Wallbox in hundert kalten Wintern nicht amortisieren. Ladeziegel mit Umschaltern zwischen 10 und 16 A kosten unter 200 Euro. Meistens liegt dem Auto sogar einer bei. Fragen Sie den Händler, ob er Ihnen beim Kauf einen kostenlos beilegt.

Effizienz

Sie sollten nur auf Eines achten: Effizienz. Es gab im ersten Renault Zoe und in Smart-Modellen ein Onboard-Ladegerät („Chameleon Charger“), das bei niedrigen Leistungen katastrophal ineffizient war. Wenn Sie den Franzosen gebraucht kaufen, kalkulieren Sie unabhängig von den Fahrleistungen eine Wallbox mit 11 kW ein. Sie müssen sich sonst am Ladeziegel über Ladeverluste bis über 50 Prozent grämen,

Bild: Clemens Gleich

Schickes Auto, der Peugeot e-208. Laden sollten Sie aber am besten mit mehr als dem PSA-Schukoadapter.

Bild: Martin Franz

Ein solcher Ladeziegel, meist abgesichert mit 10 A, liegt vielen Elektroautos und Plug-in-Hybriden ab Werk bei. Vorteil: Keine Extra-Kosten, eine gewöhnliche 230-V-Steckdose reicht. Nachteil: Die Ladeverluste sind höher als in Verbindung mit einer teuren Wallbox.

was bei deutschen Strompreisen zu einer entsprechend schnellen Amortisation einer Wallbox führt. Selbst der aktuelle ZOE verliert am Ladeziegel rund 24 Prozent des bezahlten Stroms.

Ein anderes Negativbeispiel ist Stellantis' Elektroplattform, bei uns bekannt durch die ansonsten gelungenen Opel-Modelle. Hier schläft der Bus beim Laden nicht ein, sodass die Steuergeräte relevant Strom im bis zu dreistelligen Watt-Bereich ziehen. Das fällt prozentual bei hohen Ladeleistungen kaum ins Gewicht, bei niedrigen Ladeleistungen fällt der (ja konstant bleibende) Anteil in Relation höher aus. Hier auf keinen Fall den von Stellantis angebotenen 8-A-Ladeziegel nutzen, sondern mit mindestens 10 A laden, besser: die Garage auf 16 A Dauerlast prüfen oder gleich Wallbox und Onboard-Charger mit 11 kW Leistung mitbestellen.

Alternative Ladeplätze

Im nachfolgenden Artikel beleuchten wir, wie Laternenparker in Städten oder Reiende auf der Langstrecke ihre Fahrenergie an der öffentlich zugänglichen Infrastruktur beziehen. Es geht ohne eigenen Stellplatz, wenn auch natürlich nicht so schön. Die Alternative zu beiden Möglichkeiten sollten Sie in so einem Fall jedoch auf jeden Fall prüfen: Können Sie in der Firma laden? Manche Firmen (vor allem in der Elektrobranche) haben seit der Juchhei-Zeit beginnender Elektroauto-Verkäufe Lademöglichkeiten geschaffen. Vielleicht gibt es dazu sogar Solarstrom vom Hallendach. Oder die Firma wäre durchaus bereit, so etwas zu installieren. Die Standzeiten auf dem Firmenparkplatz reichen oft aus, um selbst ohne Lademöglichkeit daheim über 99 Prozent des Alltags zu kommen. (anm) c't

IMPRESSUM

Redaktion

Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-300
Telefax: 05 11/53 52-417
Internet: www.heise.de

Leserbriefe und Fragen zum Heft:
sonderhefte@ct.de

Die E-Mail-Adressen der Redakteure haben die Form xx@ct.de oder xxx@ct.de. Setzen Sie statt „xx“ oder „xxx“ bitte das Redakteurs-Kürzel ein. Die Kürzel finden Sie am Ende der Artikel und hier im Impressum.

Chefredakteur: Jobst-H. Kehrhahn (keh)
(verantwortlich für den Textteil)

Konzeption: Martin Franz (mfz), Angela Meyer (anm)

Koordination: Pia Ehrhardt (piae), Angela Meyer (anm)

Redaktion: Patrick Bellmer (pbe), Martin Franz (mfz), Sven Hansen (sha), Angela Meyer (anm), Florian Pillau (fpi), Stefan Porteck (spo)

Mitarbeiter dieser Ausgabe: Clemens Gleich, Dirk Kunde, Uwe Rohne, Christoph M. Schwarzer

Assistenz: Susanne Cölle (suc), Tim Rittmeier (tir), Christopher Tränkmann (cht), Martin Triadan (mat)

DTP-Produktion: Lara Bögner, Beatrix Dedek, Madlen Grunert, Lisa Hemmerling, Cathrin Kapell, Martina Lübke, Steffi Martens, Marei Stade, Matthias Timm

Digitale Produktion: Christine Kreye (Ltg.), Melanie Becker, Kevin Harte, Thomas Kaltschmidt, Martin Kreft, Pascal Wissner

Fotografie: BMW, ADAC/Carolin Erbe, Euro NCAP, Fiat, Martin Franz, Clemens Gleich, Hyundai, Andreas Martini, Peugeot, Florian Pillau, Porsche, Renault, Uwe Rohne, Skoda, Tesla, Toyota, Volkswagen, Andreas Wodrich, www.stock.adobe.com, www.Unsplash.com, www.istockphoto.com

Illustration: www.freepik.com; Andreas Martini, Wettin

Titel: Steffi Martens, www.Unsplash.com

Verlag

Heise Medien GmbH & Co. KG
Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-0
Telefax: 05 11/53 52-129
Internet: www.heise.de

Herausgeber: Christian Heise, Ansgar Heise, Christian Persson

Geschäftsführer: Ansgar Heise, Beate Gerold

Mitglieder der Geschäftsleitung: Jörg Mühle, Falko Ossmann

Anzeigenleitung: Michael Hanke (-167)
(verantwortlich für den Anzeigenteil),
www.heise.de/mediadaten/ct

Anzeigenverkauf: Verlagsbüro ID GmbH & Co. KG,
Tel.: 05 11/61 65 95-0, www.verlagsbuero-id.de

Leiter Vertrieb und Marketing: Andre Lux (-299)

Service Sonderdrucke: Julia Conrades (-156)

Druck: Firmengruppe APPL Druck GmbH & Co. KG,
Senefelder Str. 3-11, 86650 Wemding

Vertrieb Einzelverkauf:
DMV DER MEDIENVERTRIEB GmbH & Co. KG
Meßberg 1
20086 Hamburg
Tel.: 040/3019 1800, Fax: 040/3019 145 1815
E-Mail: info@dermedienvertrieb.de
Internet: dermedienvertrieb.de

Einzelpreis: € 14,90; Schweiz CHF 27.90;
Österreich € 16,40; Luxemburg € 17,10

Erstverkaufstag: 18.10.2022

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Die Nutzung der Programme, Schaltpläne und gedruckten Schaltungen ist nur zum Zweck der Fortbildung und zum persönlichen Gebrauch des Lesers gestattet.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Haftung übernommen werden. Mit Übergabe der Manuskripte und Bilder an die Redaktion erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht zur Veröffentlichung. Honorierte Arbeiten gehen in das Verfügungsrecht des Verlages über. Sämtliche Veröffentlichungen erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes.

Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Hergestellt und produziert mit Xpublisher: www.xpublisher.com

Printed in Germany.

Alle Rechte vorbehalten.

© Copyright 2022 by
Heise Medien GmbH & Co. KG

Ratgeber unterwegs laden

Tarifchaos und Kostenfallen verschrecken potenzielle E-Auto-Fahrer mit Tourenambitionen. Ein nüchterner Blick aufs öffentliche Laden und was zu beachten ist.

Von **Clemens Gleich**

Bild: Alexander Schimmeck on Unsplash

Lassen Sie sich nicht kirre machen, wenn mal wieder jemand schreibt, er habe in einem fürchterlichen „Tarifdschungel“ zehn Euro zu viel bezahlt und das vorher nicht erkannt. Das ist im Großen und Ganzen der Finanzen des Autobesitzes irrelevant (siehe auch ct.de/wz6n). Erinnerung: Der Großteil der Ladevorgänge findet zuhause statt. Wenn Sie einmal im Jahr auf Tour gehen und (vielleicht!) aus Unwissen zu viel bezahlen: Das wird weniger schlimm werden als suggeriert, und sich nicht prinzipiell davon unterscheiden, dass wir bei flüssigem Treibstoff auf Tour ebenfalls meistens deutlich mehr bezahlen als bei der Tanke um die Ecke oder im nächsten Dorf.

Ich widerspreche sogar grundsätzlich dem Mem, dass Fahrstrom in den Kosten unterwegs weniger berechenbar sei als Benzin oder Diesel. Das Gegenteil ist der Fall: Da man fast immer über einen Ladeverbund mit dessen bekannten Tarifen lädt, sind die Kosten viel besser kalkulierbar als bei volatilen ad-hoc-Benzinpreisen. Aus dem Selbstexperiment weiß ich zudem: In Gebieten guter Ladeinfrastruktur ist es ohne Schmerzen möglich, ohne eigene Lademöglichkeit mit öffentlicher Ladung zu operieren.

Ladeverbünde

Also, wie lade ich denn jetzt öffentlich? Meistens über einen Ladeverbund. Stellen Sie sich einen Ladeverbund in etwa vor wie einen Handy-Tarif: Ein Ladeverbund-Betreiber bietet ein Tarifmodell an, das an allen eigenen Stationen so kostet wie besprochen, wichtiger jedoch: das im Roaming ebenfalls einen festen Tarif kostet (zumindest bei den empfehlenswerten Anbietern). Im Roaming laden Sie bei anderen Anbietern, die mit Ihrem Ladeverbund abrechnen. Welche Verträge diese Unternehmen untereinander ausmachen, kann Ihnen egal sein. Für Sie ist nur wichtig, welche Ladenetzabdeckung Ihr Verbund bietet.

Hier gibt es zwei große Anbieter, die sich für Einsteiger eignen: EWE Go kostet (Stand: 23.9.2022) 42 Cent/kWh am AC-Langsamlader und 52 Cent am DC-Schnelllader. Wenn Sie sich fragen, welchen Sie unterwegs auf Tour benutzen werden: den teureren, den DC-Lader. Immer – bis Sie im Hotel am AC-Lader anstecken können. EWE verlangt im Roaming jeweils 7 Cent mehr. Heißt: 59 Cent/kWh am DC-Schnelllader anderer Ladesäulenbetreiber im Roaming-Verbund. Es fällt keine Grundgebühr an, die Ladekarte kostet einmalig 9,90 Euro. Das Roaming Netz ist in Deutschland rund 60.000 Ladepunkte groß, in Europa 180.000.

Der zweite große Anbieter ist Mobility+ vom baden-württembergischen Energiekonzern EnBW. Dort kostet die Kilowattstunde am AC-Langsamlader 45 Cent und am DC-Schnelllader 55 Cent, wenn Sie nur gelegentlich unterwegs laden und keine Grundgebühr zahlen wollen. Im „Viellader-Tarif“ nimmt die EnBW 36 Cent für AC und 46 Cent für DC, schlägt jedoch im Roaming jeweils 3 Cent drauf. DC-Schnellladen bei einem Roaming-Partner kostet also 49 Cent. Ladekarte wie bei EWE: 9,90 Euro.

Der Vielladertarif kostet eine monatliche Grundgebühr von 5,99 Euro, lohnt sich also ab 70 kWh Fahrstromkauf im Monat (nur EnBW-eigene Säulen) bis 100 kWh im Monat (nur Roaming). Die Ladekarte ist hier inklusive. Der ADAC bietet für seine Mitglieder den Tarif an, den auch Privatstromkunden der EnBW buchen können: keine Grundgebühr, 38 Cent für AC, 48 Cent für DC, jeweils 4 Cent Aufschlag für Roaming. Die erste Ladekarte kommt bei Bestellung in der App kostenlos vom ADAC. Eine Anleitung zur Bestellung finden Sie auf der ADAC-Seite.

Brauche ich diese Karte?

Nein. Es geht ohne Ladekarte, denn Sie können recht bequem über die jeweiligen Apps der Ladeanbieter bezahlen. Es kann dennoch schlau sein, sich eine Ladekarte ins Auto zu legen, weil der Bezahlvorgang damit selbst dann funktioniert, wenn die Säule oder das Smartphone keine Netzverbindung aufbauen können. Die Säule schreibt die Transaktion dann in den Flash-Speicher, um sie bei zurückgekehrter Verbindung in die Zentrale zu schicken.

Manchmal kommt gar keine Rechnung, dann sind mehrere Dinge schiefgelaufen. Das ist das Problem des Betreibers, wichtig ist: Sie haben Strom erhalten, den es mit App beim Störfall nicht gegeben hätte. Störfälle sind in etwa so häufig wie bei Treibstoffautomaten auch. Ich persönlich empfehle daher, die zehn Euro in eine Ladekarte zu investieren. Sie macht sich schon am ersten damit entfallenden Urlaubsproblem in der Währung „Entspannung“ bezahlt. Kostenlose Ladekarten von ADAC,

Bild: ADAC/Carolin Erbe

ADAC-Mitglieder erhalten diese formschöne Ladekarte kostenlos.

Bild: Clemens Gleich

Idee bei Fastned: „Wir machen so was wie Plug & Charge, lassen aber die Sicherheit weg, die kostet nur Geld!“ Heraus kam Autocharge. Kann man machen, dann muss man aber die Verantwortung für Fehler übernehmen.

Interessante Ladetarife der Autohersteller

Hersteller	Tarifname	AC-Ladung[1]	DC-Ladung[1]	Ionity[1]	Grundgebühr pro Monat[2]	Mindestvertragslaufzeit in Monaten
Audi	Transit	45	69	36	17,95 €	12
BMW	Active	39	55	79	4,99 €	monatlich kündbar
BMW	Ionity Plus (Option)	wie Grundvertrag	wie Grundvertrag	35	13,00 €	12
Ford	FordPass	je nach Säule	je nach Säule	31	16,24 €	12
Hyundai	Charge myHyundai „Easy“	39	59	79	4,99 €	monatlich kündbar
Hyundai	Ionity Premium	wie Grundvertrag	wie Grundvertrag	29	13,00 €	12, verlängert nicht automatisch
Kia	KiaCharge Advanced	39	57	79	4,99 €	monatlich kündbar
Kia	Ionity Access	wie Grundvertrag	wie Grundvertrag	52	4,50 €	12, verlängert nicht automatisch
Kia	Ionity Power	wie Grundvertrag	wie Grundvertrag	29	13,00 €	12, verlängert nicht automatisch
Mercedes	me Charge M	39	49	49	4,90 €	monatlich kündbar
Mercedes	me Charge L	33	39	35	17,90 €	monatlich kündbar
Porsche	Charging Service	max. 39	max. 39	33	14,92 €	12
Tesla		–	71 (Fremdfabrikate: 80)	–	0,00 €	–
Volkswagen	We Charge Go	39	49	79	2,99 € / 5,99 €	12
Volkswagen	We Charge Plus	37	47	35	9,99 € / 12,99 €	12

[1] in ct / kWh [2] entfällt bei Herstellertarifen meist die ersten 1 bis 3 Jahre ab Fahrzeugkauf

Autohändler oder -hersteller sollten Sie daher immer annehmen.

Unsicherheiten

Die Sicherheit von Ladekarten liegt bei etwa Null. Es gibt keine Authentifizierung, die wurde zur Einführung weggelassen und nie nachgerüstet. Die Ladesäule liest die frei funkende Broadcast-ID der Karte von deren Transponder und verwendet das statt einer sicheren Authentifizierung. Kann man so machen, dann ist es halt unsicher. Das ist kein Problem an sich. Denken wir an Kreditkarten ab den Fünfzigerjahren: Dort gab es ebenfalls praktisch keine Sicherheit. Die Kreditkartenfirmen lösten das mit Kulanz; sie zahlten also im Betrugsfall den Schaden.

Ich erzähle das, damit Sie im Fall des Falles daran denken und die Betreiber in die Schuld nehmen. Wer keine technische Sicherheit anbietet, muss sie sozioökonomisch liefern. Wir sollten den Anbietern auf keinen Fall durchgehen lassen, sämtliche Verantwortung auf uns Kunden abzuwälzen.

Der nächste Schritt der E-Auto-Bezahlung heißt „Plug & Charge“: Sie stecken das Auto an, der Rest läuft automatisch – keine Karte, keine App. Dieser Standard enthält zeitgemäße Sicherheitsmechanismen. Weil das mit den sicherheitsfreien Karten bisher so gut klappte, hat das niederländische Ladesäulenunternehmen Fastned mit „Autocharge“ eine alternative Idee an den Start geschoben, die jener der Karten ähnelt: keine Sicherheit, weils halt einfacher ist ohne. Die Säule liest nur eine Nummer vom Auto aus (vergleichbar mit der MAC-Adresse eines Netzwerkgeräts) und bucht die Stromkosten auf das zugehörige Konto.

Die EnBW hat das System übernommen, weil es natürlich technisch viel einfacher (und damit billiger) ist, die Sicherheit wegzulassen. Argumentation: Wenn jemand Fremdes beim Laden diese Nummer spoofen würde, bekäme der Kunde ja eine Benachrichtigung über die App, dass auf sein Konto gerade geladen wird, sodass er den Vorgang von Ferne beenden kann. Das klingt für mich schon ein bisschen danach, als wolle die EnBW die Verantwortung für die fehlende Sicherheit auf ihre Kunden abwälzen.

Für Autocharge gilt also dasselbe wie für die sicherheitslosen Ladekarten: kann man so machen, wenn man für Fehler haftet. Vorteil der Lösung Autocharge: Da sie auf eine sichere Authentifizierung verzichtet, funktioniert sie aktuell reibungsloser. Schwer zu prognostizieren, was sich durchsetzen wird. Die sicherheitslose (aber daher reibungsärmere) RFID-Karten-Lösung wurde ja auch über ganz Europa ausgerollt und bisher hat sich noch kaum ein Kunde beschwert. Auf der anderen Seite beschweren wir uns sehr schnell sehr hart, wenn kein Strom fließt. Was interessiert mich Sicherheit, wenn ich weiterkommen muss? Die Tendenz geht also zur sicherheitslosen Lösung. Deshalb: immer die Rechnungen durchlesen.

Ionity und die Autohersteller

Es gibt einen großen Ladesäulennetz-Betreiber namens Ionity, der die Tarifstrukturen durcheinander bringt, weil er hohe Preise auch von den Ladeverbund-Betreibern verlangt. Die EnBW rechnet daher fürs Laden an Ionity-Säulen 79 Cent/kWh ab, das entspricht Ionitys Tarif fürs Ad-hoc-Laden ohne weiteren Vertrag. Einziger Vorteil also: Sie können mit der gewohnten App oder Karte zahlen. Bei EWE Go kostet Ionity wie an allen anderen Roaming-Säulen 59 Cent, der Preis ist wahrscheinlich quersubventioniert.

Es gibt jedoch für viele Elektroauto-Neulinge die Möglichkeit, Ionity-Strom sehr günstig zu beziehen, weil viele Autohersteller im Ionity-Konsortium sind und Neukunden daher einige Zeit grundgebührbefreit unschlagbare Tarife von um die 30 Cent/kWh anbieten. Bei dem Preis würde es sich bei der aktuell derart galoppierenden Inflation fast lohnen, den geladenen Strom ins Eigenheim zu shuttlen. Es lohnt sich für Neukäufer auf jeden Fall, diese Lockangebote anzunehmen, und wenn es nur für Ionity ist. Ich halte es sogar für am besten, die Angebote nur daraufhin abzuklopfen.

Beispiel Fords „FordPass“: Die Kosten sind an jeder Säule Benzin-like „kommt drauf an, schau halt nach“, aber Sie erhalten Ionity-Strom für 31 Cent/kWh. Das sollte beim Kauf eines Fords Ihre Ionity-Karte sein. Ähnlich sieht es bei Hyundai, Audi,

Blockierkosten	Blockiergebühr
nach 3 h (AC), oder 45 min (DC)	10 ct / Minute (AC) bzw. 20 ct / min (DC)
nach 3 h (AC tagsüber, zw. 21 u. 8 Uhr frei) oder 1,5 h (DC)	6 ct / Minute (AC) bzw. 20 ct / min (DC)
–	–
je nach Säule	je nach Säule
nach 3 h (AC tagsüber) oder 1,5 h (DC)	10 ct / Minute (AC) bzw. 20 ct / min (DC)
–	–
nach 3,5 h (AC) oder 90 min (DC)	10 ct / Minute (AC) bzw. 20 ct / min (DC)
–	–
–	–
nach 3 h (AC) oder 1 h (DC)	6 ct / Minute bzw. 20 ct / min (DC)
nach 3 h (AC tagsüber, zw. 21 u. 8 h frei) oder 1 Uhr (DC)	6 ct / Minute bzw. 20 ct / min (DC)
–	–
nach vollem Akku ab 5 Minuten	50 ct / Minute bzw. 100 ct / min bei voller Auslastung des Parks
nach 3 h (AC ausgesetzt zw. 21-9 Uhr) oder 1,5 h (DC)	5 ct / Minute (AC) bzw. 15 ct / min (DC)
nach 3 h (AC ausgesetzt zw. 21-9 Uhr) oder 1,5 h (DC)	5 ct / Minute (AC) bzw. 15 ct / min (DC)

Bild: Clemens Gleich

Porsche Taycan an Ionity, im Bild bei 268 kW Ladeleistung. Im Ionity-Netz funktioniert das außerdem per Plug & Charge.

BMW, VW, Porsche und Mercedes aus. Sie sollten darauf achten, nach der Schnupperzeit auszurechnen, ob sich die Sache mit Grundgebühr noch lohnt. Bei den Meisten dürfte die Antwort „Nein“ lauten, weil sie genügend Strom zuhause laden. Mitlesende Autohändler: Es gibt hier sehr viel Sympathien zu holen, wenn man Interessenten erklärt, wie sie durch Herstellersubvention günstig Strom ziehen können. Weil der Hersteller die Kosten trägt, kostet Sie das nur ein Lächeln und einen Eimer voller Wörter.

Blockiergebühren

Eine echte Kostenfalle gibt es tatsächlich, und die kommt in Form der „Blockiergebühren“. Die Ladesäulenbetreiber führten das ein, weil die Abrechnung nach Kilowattstunden Nutzer dazu veranlasste, die Fahrzeuge lange an der Station stehen zu lassen, was sie für andere Kunden blockiert. Langes Herumstehen ist vor allem ein Problem bei AC-Langsamladern, bei denen ein großes Auto selbst nach vielen Stunden noch nicht voll sein kann. Man ließ das Auto also gern mal über Nacht stehen, wenn es ohnehin 12 Stunden bis zum Ladeziel prognostizierte.

Bei DC-Ladern ist das Problem eher theoretisch (denn Sie wollen ja schnell weiterfahren), mit der Ausnahme Tesla, die Trödlern besonders schnell auf die Finger hauen: Wer in einem voll ausgelasteten Supercharger-Park bei 100 Prozent Akku die Säule nicht innerhalb von 5 Minuten räumt, der zahlt derzeit die empfindliche Strafe von 1 Euro pro Minute. Bei leererem Park (ab 50 Prozent Auslastung) sind es immerhin noch 50 Cent. Tendenz stetig steigend.

Es ist am schlauesten, sich die Blockiergebühren der ein, zwei Ladeanbieter durchzulesen, die Sie tatsächlich verwenden wollen. In der Praxis sind die Gebühren kein Problem für alle, die wirklich laden und nicht (nur) parken wollen. Für die, die Ladestationen als günstigen Parkplatz sehen: Ihr seid der Grund für diese Gebühren. Mit Blockiergebühren entfällt leider auch die Option, ein leeres Auto am AC-Lader über Nacht aufzuladen. Das kostet dann mehr. Auch hier: Dass das jeden Abend nötig wäre, kommt eher selten vor.

Die EnBW hat bei den Standkosten zumindest einen Kostendeckel bei 12 Euro eingezogen. Hoffen wir, dass da jetzt in Stuttgart nicht künftig EQV-Wohnmobile drei Wochen lang stehen, um die 12 Euro Strafe zeitlich dünner auszurollen. Ein Einsehen haben manche Hersteller, die in ihren Haustarifen nachts die Blockiergebühren aussetzen (s. Tabelle) oder keine berechnen. Behalten Sie dennoch am besten Ihre Gewohnheiten von der Tankstelle bei: Wenn genug Energie drin ist, trinken Sie maximal noch den Kaffee aus und fahren weiter.

Kostenlos-Angebote

Aus der Anfangszeit elektrischer Autos sind ein paar kostenlose Lockangebote übrig geblieben, beziehungsweise: Manchmal kommen sogar noch welche dazu. Einkaufsmärkte aller Art stell(t)en Ladesäulen auf, um Kunden in Elektroautos zum Einkauf zu motivieren. Kostenlose Lademöglichkeiten gibt es zum Beispiel bei manchen Filialen von Aldi, Lidl, Rewe, Kaufland und Ikea. Die Tendenz solcher Angebote: rückläufig. Der Grund dieser Rückläufigkeit: Anonymes Verschenken bringt eher die miefigen Seiten der menschlichen Natur zum Vorschein, wie jeder Poweruser von Ebay Kleinanzeigen weiß. Elektroautofahrer verabreden sich in Foren, um Kostenloslader durchgängig zu belegen. Wer dort lädt, fährt meistens erst weg, wenn der Akku ziemlich voll ist.

Unter der Laterne laden

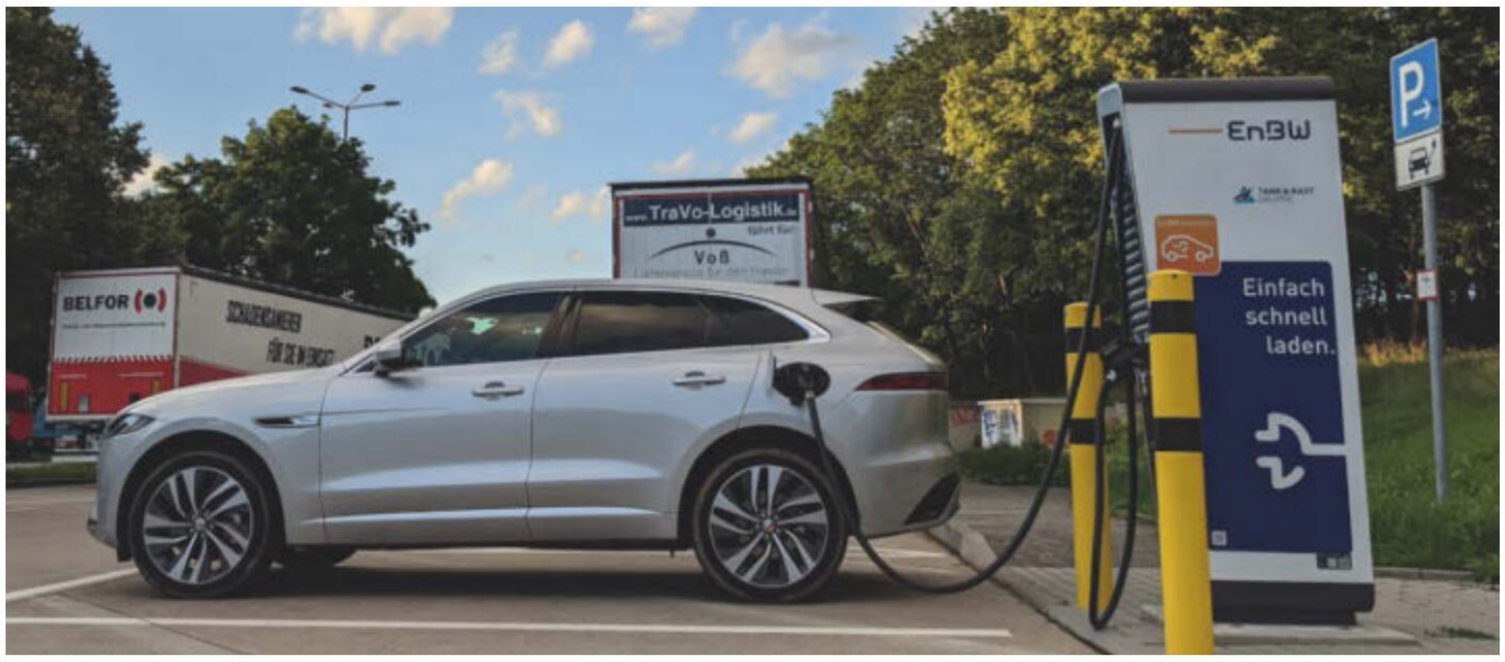
Aus allen diesen Gründen rate ich persönlich davon ab, mit kostenlosen Ladern zu planen. Wer sich ein Elektroauto leisten kann, ist nicht darauf angewiesen, auf Supermarktparkplätzen ein paar Euro zu schnorren. Eine gesunde Herangehensweise: Wenn Sie so einen kostenlosen Lader beim Einkaufen einmal frei sehen, nehmen Sie es als glücklichen Zufall für ein paar zusätzliche kWh während des Einkaufs und planen Sie ansonsten ohne geschenkten Strom. „Kostenlos“ ist der nämlich sonst in vielen Fällen nur, wenn Ihre Zeit nichts wert ist.

Dem Kauf eines Elektroautos ohne eigene Lademöglichkeit am heimischen Stellplatz sollte eine gründliche Untersuchung der lokalen öffentlichen Ladeinfrastruktur und der eigenen Mobilität vorausgehen. Sie können hier zum Beispiel die App „Mobility+“ benutzen, die einen Logger des Fahralltags enthält, mit dem Sie einen Teil der Datenanalyse automatisieren können. Ähnlich funktioniert die App „EQ Ready“ von Mercedes. Die Apps bewerten zudem die lokale Ladesituation. Bei unserem Test „Überleben im E-Auto ohne Strom am Stellplatz“ (siehe ct.de/wz6n) gab es in Stuttgart schon 2019 um die 1000 Ladepunkte. Mit dieser Ladepunktdichte war es bereits damals sehr einfach, selbst mit hauptsächlich AC-Laden genügend Strom für die alltägliche Mobilität nachzuladen.

Im Testfahrzeug Kia e-Soul (64 kWh) steckte ich den Wagen an eine AC-Säule an, wenn ich länger als eine Stunde irgendwo verbrachte. Diese Situationen waren bei mir Sport, gesellige Treffen oder Restaurantbesuche. Beim Einkaufen steckte ich das Auto nie per AC an, weil sich das Gefummel nicht lohnte: In typischen 30 Minuten Einkauf löffelte sich dieses Auto nur knapp über 3 kWh in den Akku – zu wenig für den Fummeltanz mit Kabel und App. Mit diesem Verhalten stand der Pegel des Akkus üblicherweise zwischen 40 und 80 Prozent, was zufälligerweise zusammen mit dem langsamen Laden noch sehr schonend für die Lithiumzellen war.

Im aktuellen dritten großen Rollout von Ladestationen über die Städte installieren die Betreiber mehr DC-Ladestationen, an denen sich die Metriken ändern. Schon an einem 50-kW-Lader lohnt es sich, für 30 Minuten Einkauf anzustecken – vor allem, weil am DC-Lader das Kabel obendrein fest angeschlagen ist, das Kofferraumgefummel also entfällt. Andere Metriken wie am Hyundai ergeben sich auch, wenn das Auto mit 11 kW lädt und sehr sparsam ist oder mit 22 kW lädt und so mittelsparsam ist.

Bild: Clemens Gleich



Grenzwertig: mit dem PHEV einen Schnelllader blockieren. Über die Grenze hinaus: mit voller Batterie einfach stehen bleiben, Antriebsart egal. Für solche Härtefälle wurden die Blockiergebühren eingeführt.

Trauen Sie sich

Wer zwischen den Zeilen lesen kann, hat bereits rezipiert, was ich hier noch einmal explizit sagen will: Einen Akku auf Spannung zu halten für einen Alltag ist kein Hexenwerk. Das schafft jeder, wie 15 Jahre Smartphones beweisen. Ich bin schon öfter auf Motorrädern mit winzigen Benzinreserven ohne Sprit liegengeblieben. Ich bin erst

Bild: Clemens Gleich

War mal ein beliebtes Mem: „Lass uns eine kostenlose Ladestation aufstellen, die Kunden anlockt!“ In der Praxis würde ich sagen: Netto machen diese Dinger mehr Ärger und Kosten, als sie je Umsatz gesteigert hätten.

Bild: Clemens Gleich

Die beliebte Aussage „Benzin kriege ich wenigstens immer irgendwo“, kann ich aus der Berufspraxis nicht bestätigen. Ich blieb öfter ohne Benzin als ohne Strom liegen.

Bild: Clemens Gleich

Drei Stunden Schwimmbad, 22 kW Ladeleistung, da kommt schon was zusammen …

einmal mit einem Elektrofahrzeug ohne Energie liegengeblieben, und das Ding war einfach insgesamt komplette Grütze.

Das Einzige, was Sie wirklich schmerzhaft falsch machen können: Ein E-Auto kaufen, wenn Sie eigentlich einen Diesel brauchen. Wer Reisegeschwindigkeit 160 km/h plus X fahren will und das den ganzen Tag, der findet aktuell antizyklisch gekauft gerade genügend günstige Dieselantriebsangebote. Für die Mehrheit reicht ein Elektroauto jedoch nicht nur, sondern verschönert schlicht den Alltag. Mir fehlt im E-Auto am wenigsten der Geruch kalten Diesels am Morgen, untermalt vom Treckertuckern des eisigen Motorblocks. Zwar steigt der Strompreis wie alle Energiekosten, aber wenigstens zuckt er nicht so wild herum wie auf Rohöl basierende Treibstoffe, deren Preis de facto nicht viel länger als eine Tankfüllung lang prognostiziert werden kann.

(anm) c't

Weitere Infos

ct.de/wz6n

heise Academy

Heise und if(is) präsentieren den

IT-Sicherheitstag

17. NOVEMBER 2022
GELSENKIRCHEN

Die **Konferenz** für Sicherheits-verantwortliche, Security-Experten, Hacker und IT-Projektleiter

Aktuelle Angriffe wie Ransomware, Supply Chain oder DDoS und ihre erfolgreiche Gegenmaßnahmen

VORTRÄGE

- **Advanced Attacks** – Übersicht und Handlungsmöglichkeiten
- Prävention von und Reaktion auf **Cyberangriffe**
- **Multifaktor-Authentifizierung** und Zero Trust Policies
- **Confidential Computing**
- **Vorgehensweise** der Angreifer
- **Cybersecurity-Mesh-Architekturen**
- **Bug Bounty** für Unternehmen

Jetzt Frühbucherrabatt sichern:
konferenzen.heise.de/it-sicherheitstag

Unsere Partner

FORTINET · INTIGRITI · radware · VARONIS · r-tec cyber security

Bild: Racle Fotodesign / stock.adobe.com

E-Autos als privaten Pufferspeicher nutzen

Elektroautos sind rollende Energiespeicher. Wenn sie stehen, können Modelle mit bidirektionaler Ladetechnik überschüssige Energie aus dem Netz oder aus einer PV-Anlage aufnehmen, um sie nach Sonnenuntergang an den Haushalt abzugeben. Die Technik funktioniert, doch regulatorische Hürden bleiben.

Von **Dirk Kunde**

Aus dem Ofen in der Küche strömt noch heiße Luft. Bis eben stand ein Nudelauflauf im Backofen, der nun auf dem Esstisch steht. Die vierköpfige Familie Genster hat zum Abendessen im hell erleuchteten Raum Platz genommen, aus der Stereoanlage ertönt Musik. Die Energie für das alles kommt aus dem Auto in der Garage.

„Sobald die Sonne untergegangen ist, versorgt uns das Elektroauto beziehungsweise der Heimspeicher“, sagt Familienvater Torsten Genster. Er lebt mit Frau und zwei Kindern in Windeck im nordrhein-westfälischen Rhein-Sieg-Kreis. Wenn der 51-Jährige nach Hause kommt, schließt er seinen Nissan Leaf über einen Chademo-Stecker an die Wallbox. Dann fließt Energie aus den zwei PV-Anlagen in die 63-kWh-Batterie im Fahrzeugboden.

Eine PV-Anlage mit sechs Kilowatt Peak liegt auf dem Flachdach des Anbaus, im Garten hat die Familie noch mal 30 Quadratmeter Solarmodule auf einem Ständer installiert. Diese Anlage schafft in der Spitze sieben Kilowatt. Insgesamt erzeugen beide PV-Anlagen rund 10.000 kWh pro Jahr. Das ist in Summe mehr als genug für den Haushalt (etwa 4000 kWh) und den Bedarf des E-Autos. Für die rund 15.000 Kilometer braucht es jährlich etwa 3000 kWh. Warmwasser erzeugt die Familie per Solarthermie auf dem für PV ungeeigneten Dach des Wohnhauses.

Leider verteilt sich die Energieausbeute nicht gleichmäßig über das Jahr. In den dunklen Monaten muss Genster Energie hinzukaufen. Das summiert sich im Jahr auf 1000 bis 1200 kWh. Doch ab März reicht das Sonnenlicht aus, um das Haus komplett mit Sonnenenergie zu versorgen. Im Keller steht dazu ein stationäres Batteriesystem, ein Heimspeicher mit 10 kWh Kapazität. Die Größe ist so gewählt, dass Familie Genster den Bedarf eines Tages abdecken kann – so weit PV-Standard.

Im Auto steckt allerdings eine sechsmal so große Batterie. Sie verspricht also noch viel mehr Autarkie für sonnenarme Phasen. Um sie zu nutzen, ist eine bidirektionale Wallbox erforderlich – alles andere als PV-Standard. Tatsächlich gehört der Finanzbeamte mit seiner Installation zu den technischen Vorreitern. Gewerbliche Projekte, die das Potenzial bidirektionalen Ladens ausloten, gibt es einige. Im Privatbereich existieren erst wenige, vorsichtige Tests.

Familie Genster hat genügend Solarpanels auf dem Grundstück und dem Anbau platziert, um den Jahresbedarf zu decken, auch fürs E-Auto.

Auto als Speicher

Einer davon ist das Projekt „I-Rezept“. Das Akronym steht für den etwas sperrigen Titel, der den Untersuchungsgegenstand mehr schlecht als recht wiedergibt: „Intelligente rückspeisefähige Elektrofahrzeuge zur Eigenstrommaximierung und Primärregelleistungsmarkt-Teilnahme“. I-Rezept soll untersuchen, welches Potenzial bidirektionales Laden für die Energiewende bietet. Genster war einer von 13 Haushalten bundesweit, die die bidirektionale Technik testen durften. Das Projekt ist bereits abgeschlossen. Die Auswertung der Ergebnisse steht noch aus.

Zu den Projektpartnern zählten Bosch Software Innovations und die Fraunhofer-Institute IAO und IFAM. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur unterstützte das Projekt finanziell, der japanische Automobilhersteller Nissan stellte den Leaf sowie die DC-Wallboxen mit Chademo-Anschluss. Für diesen japanischen Ladestandard ist bidirektionales Laden schon länger implementiert. Die Reaktorkatastrophe von Fukushima war Anlass, die Entwicklung der bidirektionalen Ladetechnik zu forcieren, um E-Autos als Notstromversorgung einzusetzen.

Chademo ist in Europa Geschichte, hierzulande wird nach CCS-Standard geladen. Dessen Norm für bidirektionales Laden (ISO 11518-20) haben die Gremien erst kürzlich verabschiedet. ID-Modelle von Volkswagen mit der 77-kWh-Batterie und Software ab Version 3.1 sind „BiDi ready“. Auch der Renault Megane E-Tech wird den bidirektionalen Standard unterstützen.

Regulatorische Hürden beseitigen

Stand heute gilt es vor allem, regulatorische Hürden im deutschen Strommarkt auszuräumen, damit Privatleute Energie aus ihrem Fahrzeug über den Hausanschluss

Die bidirektionale Chademo-Wallbox, die Gensters im Rahmen des i-Rezept-Projektes erhielten, unterscheidet sich äußerlich kaum von herkömmlichen Wallboxen.

ins Stromnetz speisen dürfen (V2G, Vehicle to Grid). „Die gesetzlichen Vorgaben kennen nur Erzeuger, Transporteure und Verbraucher im Energiemarkt. Das Konzept eines Speichers hat sich noch nicht etabliert“, sagt Marcus Fendt, Geschäftsführer von The Mobility House aus München im Gespräch mit c’t. Zusammen mit 16 weiteren Unternehmen aus der Automobil-, Energie- und Ladeinfrastrukturbranche gehört The Mobility House zur „Initiative Bidirektionales Laden“.

Stationäre Energiespeicher sind bereits von Abgaben und Umlagen befreit. Für mobile Speicher, also Elektroautos, gelten diese Befreiungen nicht. „Wären mobile und stationäre Speicher gleichgestellt, wäre die Frage der Abgaben- und Umlagenbefreiung zu 90 Prozent geklärt. Zum anderen würden sich Geschäftsmodelle rechnen, die mobile Speicher systemdienlich einsetzen“, sagt Fendt.

In Fendts Augen sollte der Gesetzgeber keine Unterscheidung bei Speichern vornehmen. Als weitere Hürde benennt die Initiative die Pflicht zum Einbau eines teilweise eichrechtskonformen Smart Meter inklusive Gateway: Die Geräte seien nicht in ausreichender Zahl verfügbar, ihr Einbau sei problematisch und mit hohen Kosten verbunden. Gemäß den aktuellen Vorschriften müssten Kunden bis zu drei separate Zähler für PV-Anlage, Heimspeicher und Auto installieren. Eigentlich würde ein einziger Zähler genügen: „Die Autohersteller könnten über die Elektronik im Fahrzeug die Energiemengen exakt ausweisen. Das muss nur vom Gesetzgeber akzeptiert werden“, sagt Fendt.

Wären diese Hürden genommen, ließen sich innovative Geschäftsmodelle umsetzen. Private Fahrzeuge stehen einen Großteil des Tages ungenutzt herum. Wenn sie daheim oder auf der Arbeit mit einem bidirektionalen Ladepunkt verbunden sind, können sie als Pufferspeicher dienen oder die Netzfrequenz stabilisieren. Diese systemdienlichen Leistungen kann der Anbieter gegen Geld zur Verfügung stellen, und den E-Autobesitzer beteiligen.

Mit Vehicle to Load (V2L) ausgestattete Fahrzeuge können Haushaltsgeräte direkt betreiben (siehe auch S. 72). Man schließt sie an einer Schuko-Dose im Fahrzeuginnenraum oder wie im Foto über einen externen Adapter an.

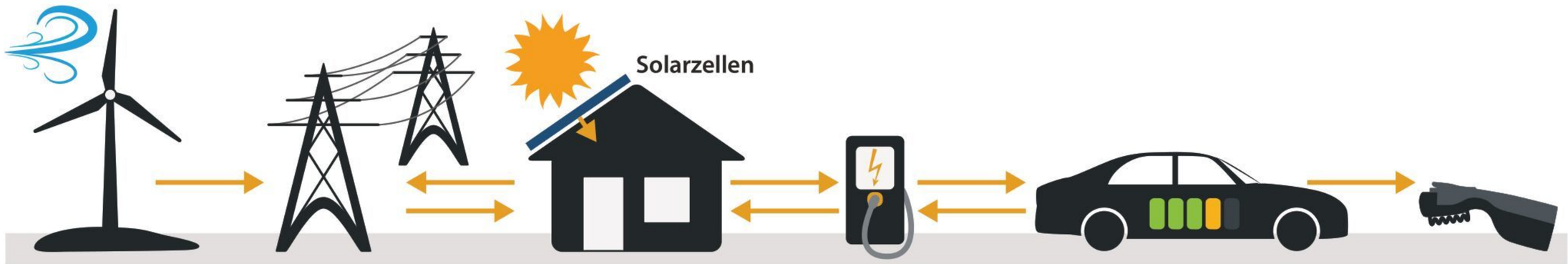
We Drive Solar

Der Car-Sharing-Anbieter We Drive Solar nutzt die bidirektionale CCS-Erweiterung im niederländischen Utrecht für einen groß angelegten V2G-Test. Seit Ende April sind 25 Hyundai Ioniq 5 in der Stadt unterwegs, die Energie in beide Richtungen leiten. „Im Laufe des Jahres werden wir die Zahl der Ioniq 5 auf 150 erhöhen“, sagt Robin Berg, Geschäftsführer von We Drive Solar. Das E-Auto des koreanischen Herstellers verwendet das leicht angepasste bidirektionale Protokoll der ISO-Norm für seine V2L-Funktion. Das L steht für „Load“, eine elektrische Last, die wie im Haushalt mit Wechselstrom betrieben wird. Über eine Steckdose unter der Rückbank und einen Adapter im Ladeanschluss können Nutzer elektrische Geräte mit einem Schukostecker betreiben (3,6 kW Leistung).

In Utrecht geben die E-Autos während der Standzeit auf einer Phase bis zu 5 Kilowatt über das Typ-2-Kabel an das öffentliche Stromnetz ab. Die Nutzung der E-Autos

Bidirektionales Laden

Ein E-Fahrzeug mit bidirektionaler Ladetechnik kann – eine spezielle Wallbox vorausgesetzt – Energie via Vehicle-to-Grid (V2G) ans Hausnetz oder ins öffentliche Netz einspeisen. Der Fahrzeugbesitzer entscheidet, ob der gesamte Akku oder nur ein Teil der Akkukapazität für solche netzdienlichen Leistungen bereit steht. E-Fahrzeuge mit Vehicle-to-Load-Funktion (V2L) können gespeicherte Energie lediglich an direkt verbundene Lasten abgeben.



Kraftwerke
Stärkere Schwankungen durch höheren Anteil von regenerativen Energieformen

Netz
Das Verteilnetz führt Energie von Kraftwerksstandorten zusammen und stellt sie bereit.

Hausnetz
Regelt Eigenverbrauch, Netzentnahme, -abgabe und Fahrzeugbatterie

V2G-Wallbox
Kann E-Fahrzeug laden oder mit Wechselrichter ins Hausnetz einspeisen

E-Fahrzeug
Kann Energie abgeben mit V2G-Funktion via CCS (DC) oder V2L-Funktion (AC)

V2L-Adapter oder AC-Steckdose
Direktes Anschließen von AC-Verbrauchern

als Energiespeicher soll den notwendigen Netzausbau in Grenzen halten. Wie der Name des Anbieters andeutet, erzeugt We Drive Solar auf insgesamt 25 Dächern öffentlicher Gebäude mit PV-Anlagen die Energie, die die derzeit 200 E-Autos in der Flotte antreibt.

Die 25 Ioniq 5 speichern die Energie der Mittagssonne und geben sie in den Abendstunden ans Netz ab, wenn der Energiebedarf steigt. „Das ist gut planbar, da wir im System genau sehen, wie gut die Fahrzeuge gebucht sind und wie viel Energie wir für die Fahrleistung benötigen“, sagt Berg.

Rechnerisch bräuchte man 8000 E-Autos, um den grünen Strom zu speichern, der im gesamten Stadtgebiet produziert wird. Von den heute 140.000 Pkw in Utrecht sollen in drei Jahren 25.000 rein elektrisch fahren. Ob die dann bidirektional laden können, ist fraglich. Hyundai sieht die Wechselstrom-Technik nicht als endgültige Entscheidung für V2G.

Volkswagen beispielsweise setzt auf Gleichstrom. Im Laufe des Jahres sollen ID-Modelle mit mindestens 77 kWh Batteriekapazität ein Update für bidirektionales Laden erhalten. Will man die Fahrzeuge als Batterie fürs Haus einsetzen, benötigt man eine bidirektionale DC-Wallbox.

Während die Hardware im E-Auto Gleichstrom bereits in beide Richtungen fließen lässt, wäre für die Nutzung von Wechselstrom eine Nachrüstung notwendig. „In etlichen Ländern Europas bestehen zudem unterschiedliche Netzanschlussrichtlinien bei Wechselstrom“, sagt Martin Roemheld, Vice President der Volkswagen Group Charging. Somit wäre der Energiefluss mit Wechselstrom im ausländischen Ferienhaus mitunter unmöglich. Gleichstrom-Wallboxen kosten rund 5000 Euro. Volkswagens Energietochter Elli nennt noch keinen Preis, doch das hauseigene Angebot soll deutlich darunter liegen.

Noch ist bidirektionales Laden eine Spielwiese für Versuche, aber V2G und V2H (Vehicle to Home) sind wichtige Bausteine der Energiewende. Weil die Menschen immer mehr Geräte im Haushalt mit Strom versorgen – E-Autos gegen den Ölpreis-Schock und E-Heizungen gegen den russischen Winter –, warnen Kritiker vor künftigen Netzausfällen. Doch gerade das E-Auto könnte als Energiespeicher der Puffer sein, den die Stromnetze zur Stabilisierung brauchen. Ist überschüssige Energie im Netz, nimmt der Akku Energie aus erneuerbaren Quellen auf. Wird sie gebraucht, gibt er einen Teil wieder ab.

Zurück in die Zukunft

Torsten Genster hat seine DC-Wallbox nach dem 15-monatigen Test wieder gegen eine klassische AC-Wallbox getauscht. In der Garage im Untergeschoss steht jetzt ein Tesla Model 3. Bidirektionales Laden ist damit nicht möglich. Dennoch ist Genster nach seiner Testerfahrung überzeugt: „Dem bidirektionalen Laden gehört die Zukunft.“ (sha) c't

Bauvorschlag: Mit Solarstrom laden

Wer auf seinem Haus eine Photovoltaik-Anlage installiert hat, könnte sein Elektroauto eigentlich kostenfrei mit Solarstrom laden. Voraussetzung ist allerdings eine intelligente Steuerung der Wallbox, die Bastler auch nachrüsten können.

Von **Uwe Rohne**

Eine Photovoltaik-Anlage oder kurz PVA auf dem eigenen Dach ist eine interessante Stromquelle für das Laden per Wallbox in der heimischen Garage. Leider reagieren viele (vor allem ältere) Wallboxen nicht sinnvoll auf die schwankende Leistung der PVA und laden das Auto bei bewölktem Himmel munter mit dem teuren Strom vom Energieversorger.

Dabei ist das Prinzip des Überschussladens eigentlich ganz einfach zu implementieren: Wenn die Sonne scheint und die PVA kräftig Strom produziert, der ansonsten an den Energieversorger zurückgeliefert würde, wird das Laden eingeschaltet. Der Ladestrom für das E-Auto wird reduziert, wenn andere Verbraucher im Haus Strom abzapfen oder das Wetter etwas trüber wird. Er wird auf Wunsch ganz abgeschaltet, wenn die Solarzellen nichts Nennenswertes mehr liefern.

Das kann man natürlich auch manuell erledigen – doch wer will schon bei jedem Sonnenstrahl zum Auto laufen, um die Ladung zu starten? Eine automatische Steuerung muss den Ladestrom so regeln, dass bei noch nicht vollständig geladenem Akku möglichst alle überschüssige Energie der PVA als Ladestrom genutzt wird. Einziges Kriterium dafür ist der Stromfluss am Einspeisepunkt des Hauses gleich hinter der Hauptsicherung: Fließt Strom zum Energieversorger zurück, steht Energie für das Laden des Autos zur Verfügung.

Umschalten muss man dabei nichts; es genügt, den Ladestrom so zu regeln, dass der Energiefluss zum Versorger möglichst klein wird. In diesem ursprünglich in der Make 5/2021 erschienenen Bauvorschlag ermittelt ein Energiezähler mit WLAN-Interface Strom, Spannung und Phasenlage am Übergabepunkt; ein schlichtes ESP8266-Modul liest den aktuellen Energiefluss aus und steuert anhand der Messwerte den Ladestrom der Wallbox, ebenfalls über WLAN.

Wallbox-Kriterien

Die aktuelle E-Autogeneration der Kompakt- und Mittelklasse, die bei den Händlern in den Showrooms steht, hat je nach Modell eine Akkuleistung von circa 30 bis 70 kWh. Dabei verbraucht ein E-Auto circa 12 bis 25 kWh auf 100 km Fahrstrecke. Wenn wir nun als typischen Vertreter der aktuellen Autogeneration den VW ID.3 mit Typ-2-Ladebuchse, mittelgroßer Batterie von 58 kWh und einem angenommenen Verbrauch von 20 kWh/100 km nehmen, ergeben sich die in der Tabelle „Wallbox-Ladezeiten“ aufgelisteten Werte.

Die Aufladungen nach Zeilen 1 und 2 der Tabelle können noch mit einem Schukosteckerladegerät durchgeführt werden. Eine richtige Wallbox deckt dagegen alle Anwendungsfälle der Tabelle ab. Aber was sind nun die Aufgaben der Wallbox?

- Elektrische Sicherheit: Zusätzlich zum bereits in der Hausinstallation vorhandenen Fehlerstromschutzschalter (FI) vom Typ A, der nur Wechselstromfehler erkennt, ist in der Wallbox ein FI-Schalter für Gleichstromfehler (Typ B) verbaut. Dieser schützt bei Versagen der Leistungselektronik im E-Auto vor der Spannung der Hochvoltbatterie.
- Aufladen, Schalten des Lastrelais: Das Auto signalisiert durch eine Reduzierung des Widerstandes auf der CP-Leitung (1) seine Ladebereitschaft. Die Wallbox schaltet daraufhin das Lastrelais ein. Bei Erreichen der gewünschten Batterieladung (SoC, State of Charge) erhöht das E-Auto den Widerstand auf der CP-Leitung wieder und das Lastrelais fällt ab. Wenn das Lastrelais angezogen hat, blockiert das E-Auto über eine Kerbe mechanisch den

Wallbox-Ladezeiten

Ladeleistung AC (Wechsel- / Drehstrom)	Ladezeit für 100 km	Ladezeit von 20 % auf 80 %
Kleinste Ladung mit 6 A bei 230 V (1,4 kW)	14,5 h	25 h
Ladung mit 10 A bei 230 V (2,3 kW)	8,7 h	15 h
Ladung mit 16 A bei 230 V (3,7 kW)	5,4 h	9,4 h
Kleinste Ladung Drehstrom 3 × 6 A (4,1 kW)	4,9 h	8,5 h
Größte Ladung Drehstrom 3 × 16 A (11,0 kW)	1,8 h	3,2 h

Kurzinfo

- **Aufgaben der Wallbox verstehen**
- **Solarüberschuss mit Stromsensor ermitteln**
- **Wallbox-Ladestrom per WLAN oder RS485 steuern**

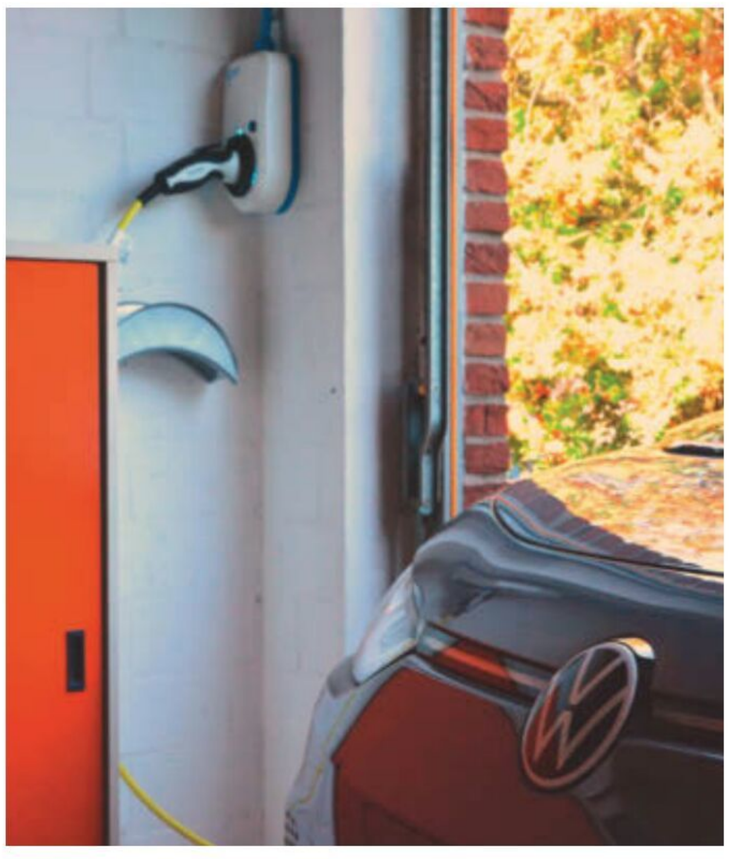
Material

- **Drehstrom-Energiezähler** Shelly 3EM (z. B. bei Reichelt)
- **WEMOS-D1-Modul** mit ESP8266
- **SD- oder Micro-SD-Adapter** Breakout-Board
- **Neopixel-LED** 5 mm bedrahtet
- **Kleine Lochrasterplatine**
- **USB-Steckernetzteil**

Checkliste

Zeitaufwand:
2 Wochenenden

Kosten:
130 Euro (zuzüglich Wallbox-Installation)



Bei Sonnenschein kostenlos laden: Wallbox in der heimischen Garage.

2 Ladestecker Typ 2

Ladestecker, sodass dieser nicht abgezogen werden kann.

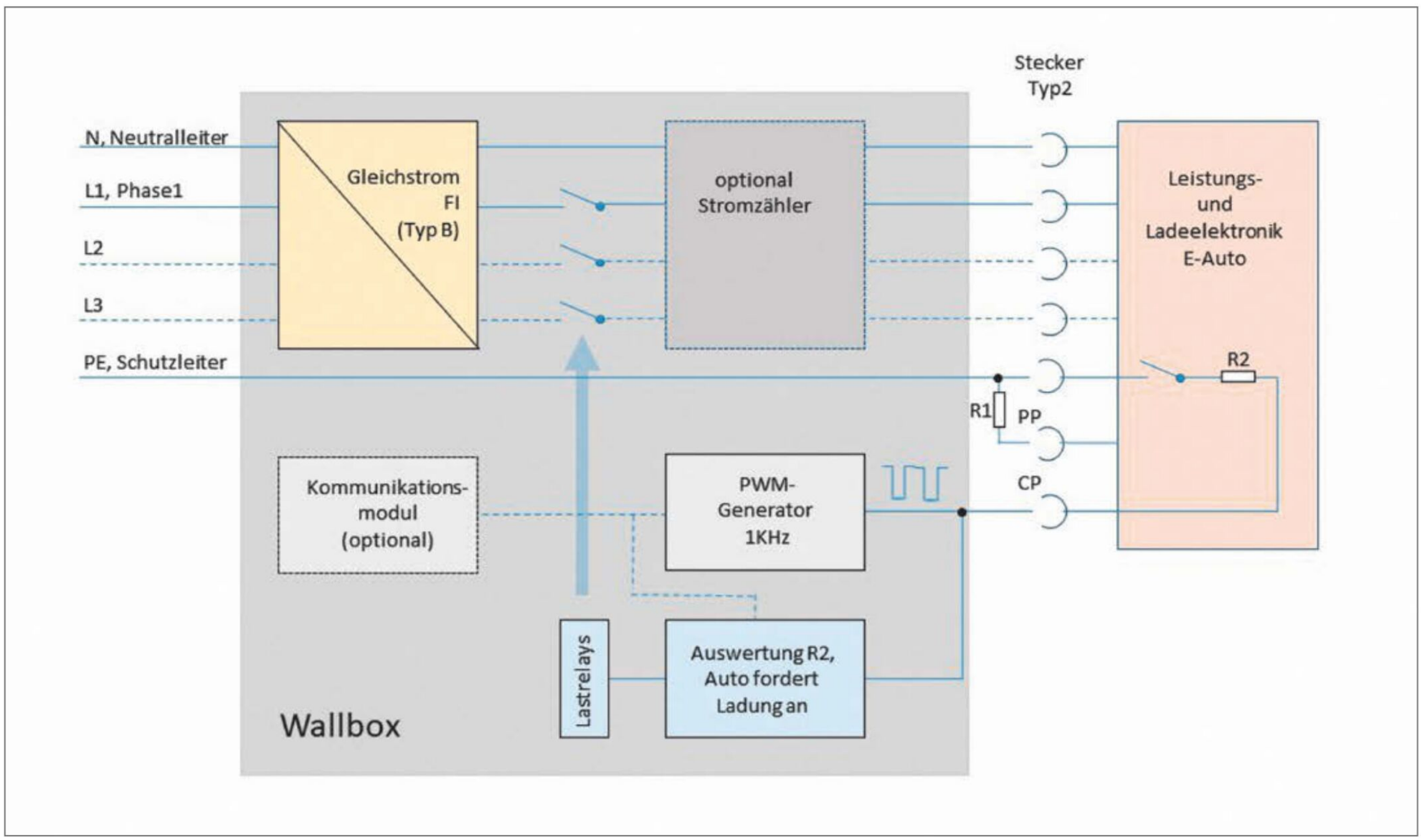
- Regulierung Ladestrom: Durch das Verhältnis des durch die Wallbox generierten PWM-Signals (Pulsweitenmodulation) signalisiert die Wallbox dem E-Auto, mit welcher Stromstärke maximal geladen werden kann. Die Regelung, mit wieviel Strom des maximal möglichen tatsächlich geladen wird, passiert im E-Auto.
- Praktischer Ablauf des Ladens: Im einfachsten Fall wird die Ladung durch das Anstecken des Ladekabels gestartet. Es muss kein Knopf oder ähnliches gedrückt werden. Das Kabel wird während des Ladens gegen das Abziehen im E-Auto mechanisch verriegelt.

Bei einfachen Wallboxen wird das Tastverhältnis der PWM und damit der maximale Ladestrom bei der Installation eingestellt und kann während des Betriebs nicht mehr verändert werden. Wallboxen mit einer Kommunikationsschnittstelle können das PWM-Signal während des Ladevorgangs verändern und so den Ladestrom regeln 1.

Außerdem können über die Kommunikationsschnittstelle die aufgeladenen kWh und vieles mehr angezeigt werden. Der mögliche Ladestrom hat als Minimalwert 6 Ampere. Das bedeutet, dass die minimale Ladeleistung 6 A × 230 V = 1380 W beträgt. Die Größe des Widerstandes auf dem Kontakt „PP“ signalisiert dem E-Auto, bis zu welchem Ladestrom das Ladekabel verwendet werden darf 2. So gibt es 16A- und 32A-Ladekabel zu kaufen.

Überschussladen

Um nun der Kombination aus Wallbox und Photovoltaik-Anlage (PVA) das Überschussladen beizubringen, kann man zwar auch fertige Lösungen kaufen (siehe auch S. 84).



1 Prinzipschaltung einer Wallbox

Diese sind unseres Wissens aber nicht unter 1500 Euro zu haben und setzen meist auch noch bestimmte Wechselrichter-Modelle der PVA voraus.

Unsere konkrete Lösung in diesem und dem nachfolgenden Artikel ab Seite 110 ist hier unabhängig: Wir setzen für die Steuerung den WLAN-fähigen Prozessor ESP8266 ein. Die jeweils aktuelle Einspeisung der PVA liefert in diesem Bauvorschlag das Energie-Messgerät Shelly 3EM. Dieses ebenfalls WLAN-fähige Gerät arbeitet mit drei Stromzangen, über die es den Stromfluss der aktuellen Netzeinspeisung im Verteilerkasten erfasst.

Mit Netzeinspeisung ist hier die Leistung der PV abzüglich der aktuell laufenden Verbraucher im Haushalt gemeint. Wenn also zum Beispiel die PVA 4 kW liefert und im Haushalt 1 kW verbraucht wird, werden 3 kW Netzeinspeisung gemessen (3). Dieser Wert wird alle fünf Sekunden abgefragt und aus den jeweils letzten 60 Werten ein Mittelwert gebildet. Die Steuerung kennt drei verschiedene Betriebsmodi, die mit einem Taster eingestellt und über eine LED angezeigt werden. Die Steuerung arbeitet gemäß der Tabelle „Betriebsmodi Wallbox-Steuerung“.

Derzeit unterstützt unsere Steuerung zwei namhafte Hersteller von Wallboxen: Den go-eCharger in der 11- und 22 kW-Version sowie die Heidelberg energy control. Obwohl die Heidelberg-Box mit ihrem Edelstahlgehäuse robuster und besser verarbeitet ist, würden wir für dieses Projekt doch eher den go-eCharger empfehlen, weil er bereits mit einem WLAN-Modul und einer App ausgestattet ist. Die Heidelberg-Wallbox ist nur leitungsgebunden über eine RS485-Modbus-Schnittstelle steuerbar, eine externe Steuerung muss über innenliegende DIP-Schalter konfiguriert werden. Das hat zudem den Nachteil, das bei Ausfall unserer Steuerung das Gerät geöffnet werden muss, um es wieder auf Standalone-Betrieb umzustellen.

Steuerungsautomatik

Bei Verwendung des go-eCharger sind dank vorgefertigter Module nur sehr wenige Bauteile notwendig (4), die auf einer Lochrasterplatine Platz finden und von jedem begabten Löter verdrahtet werden können (5). Für die Micro-SD-Karte kann, falls kein fertiges Breakout-Board zur Verfügung steht, auch gemäß Bild (6) ein Micro-SD-Adapter verwendet werden.

Die SD-Karte enthält eine Konfigurationsdatei namens config.txt mit den Daten des WLANs und den IP-Adressen der Geräte (Energiezähler, eCharger) sowie einige „Schalter“ (Wallbox-Typ, einphasige/mehrphasige Umschaltung). Außerdem speichert sie Statistiken der Energiebilanz für jeden Tag.

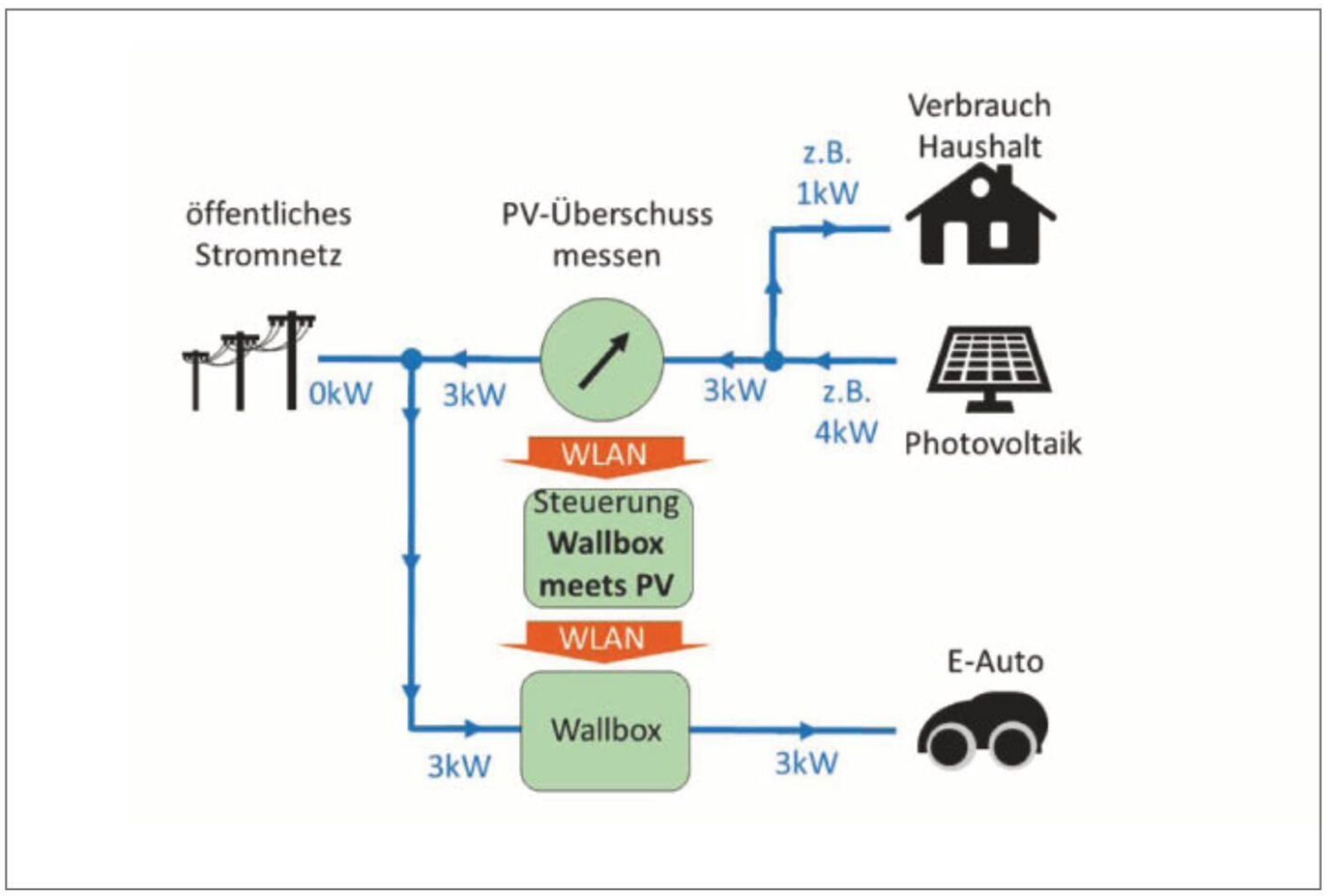
Neben den kompletten Projekt-Sourcen finden Sie eine vorbereitete config.txt-Datei wie üblich auf unserer Projektseite (siehe ct.de/w2aa). Bei entsprechenden Programmierkenntnissen lässt sich das Projekt den eigenen Bedürfnissen noch weiter anpassen. Wer dieses nicht kann oder will, kann auch ein fertig übersetztes Image herunterladen (bin-Datei).

Betriebsmodi Wallbox-Steuerung

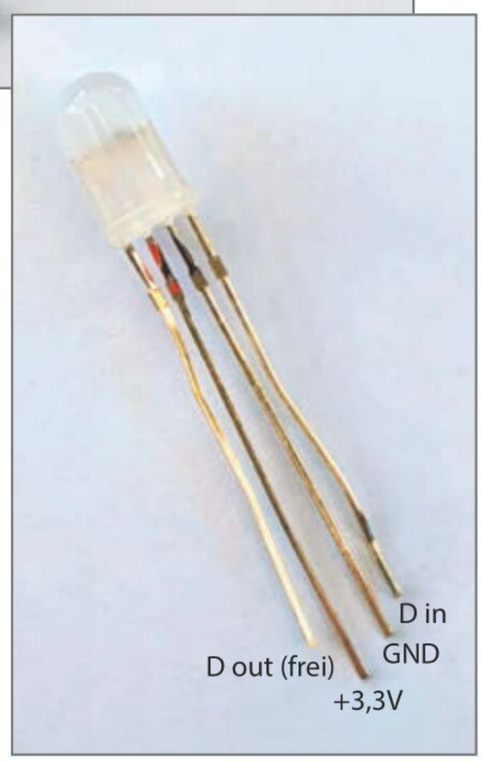
Modus-LED	Ladung >10 min. aus	Mittelwert 300 s	Auto startet Ladung mit
Rot	egal	egal	16 A
Gelb	nein	egal	0 A
Gelb	ja	<3 A	0 A
Gelb	ja	>3 A	PV-Überschuss 6 bis 16 A
Grün	nein	egal	0 A
Grün	ja	<6 A	0 A
Grün	ja	>6 A	PV-Überschuss 6 bis 16 A

Firmware flashen

Um die (fertig kompiliert vorliegende) Firmware-Datei auf den Wemos zu flashen, sind ein Windows-PC, ein USB-Kabel und eine Flash-Software notwendig. Sollte der PC noch keinen Treiber für den USB-Seriell-Wandler CH340G (dieser ist auf der Wemos

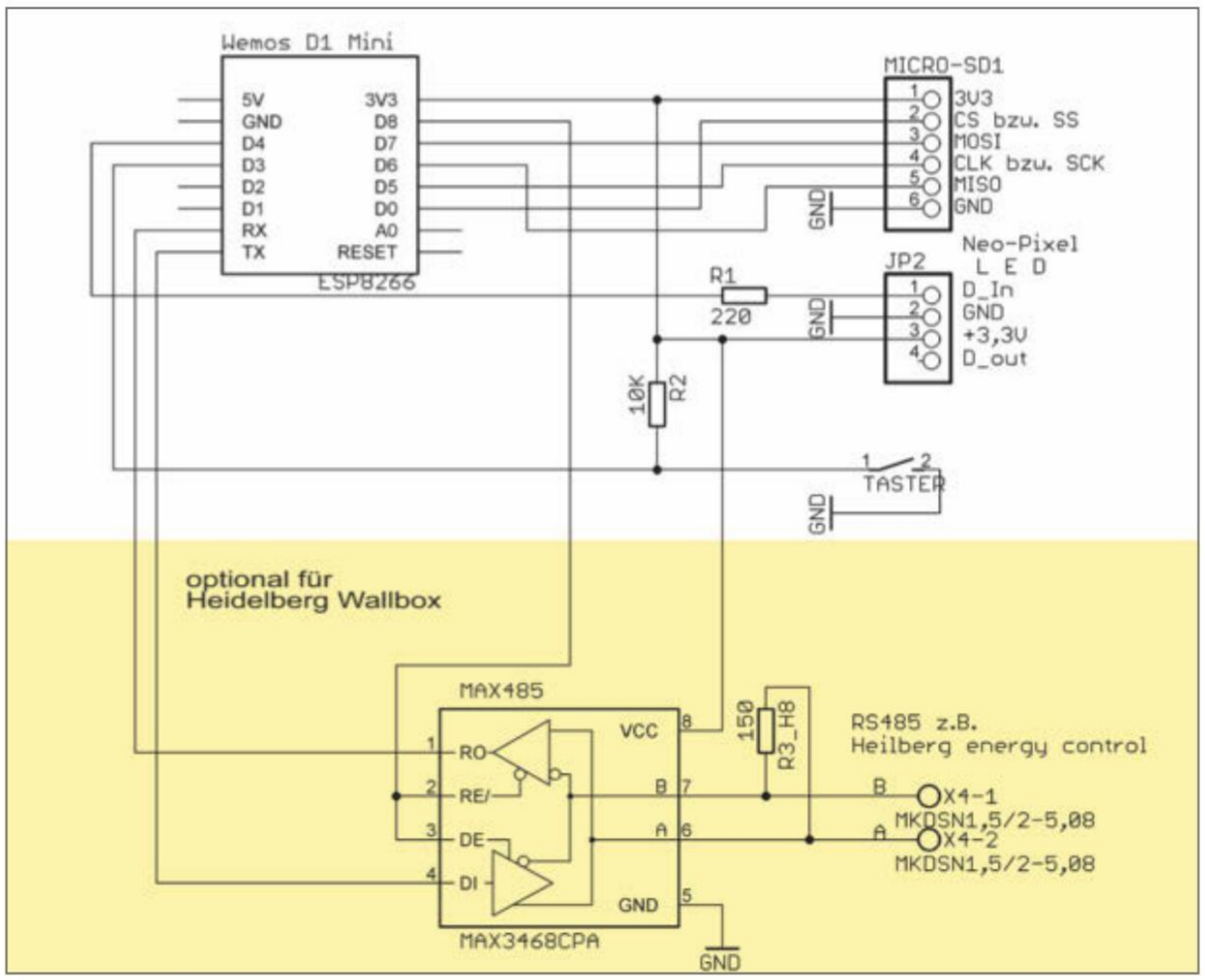


(3) Übersicht zum Zusammenspiel von Wallbox, Photovoltaik und der Steuerung: Stellt diese am Einspeisepunkt einen Energieüberschuss fest, wird das Laden mit dem verfügbaren Überschuss eingeschaltet. Leider ist der Ladestrom nur grob gestuft einstellbar; die Steuerung versucht aber, eine möglichst günstige Stufe zu wählen.



4 Das sind die Zutaten für unseren Bauvorschlag: WEMOS-1-Modul, Micro-SD-Kartenadapter, Neopixel-LED und ein USB-Netzteil.

Belegung der Anschlüsse bei der NEO-Pixel LED WS2812



5 Schaltplan auf Basis des Wemos D1 Mini. Die Schaltung kann problemlos auf einer Lochrasterplatine aufgebaut werden. Der farbig hinterlegte Teil wird nur bei der Heidelberg-Wallbox benötigt.

D1 Mini Platine verbaut) haben, ist dieser zuerst zu installieren. Den Treiber findet man unter anderem auf der Seite des Chipherstellers (siehe ct.de/w2aa). Als Software zum Flashen empfehlen wir den ESPEasyflasher 7, ebenfalls bei den Links zu finden.

Die bin-Datei von unserer Projektseite ebenfalls downloaden und im Verzeichnis des ESPEasyflashers speichern. Dann das Programm FlashESP8266.exe starten, den COM-Port des Wemos D1 mini auswählen (lässt sich im Zweifel über den Windows-Gerätemanager herausfinden) und die zu flashende bin-Datei ebenfalls auswählen (sie muss im selben Verzeichnis sein) und die Programmierung mit Flash starten. Es öffnet sich ein Fenster, in dem die Aktivitäten des Flashers gezeigt werden. Nach der Meldung flash complete ist die Steuerung für die Inbetriebnahme fertig.

Unsere Steuerung muss jetzt noch wissen, wie das WLAN heißt und mit welchem Passwort es gesichert ist. Außerdem muss die IP-Adresse des Energiemeters Shelly 3EM und die des go-eChargers eingetragen werden; dies geschieht über die bereits erwähnte config.txt-Datei auf der SD-Karte. Bei Verwendung der Heidelberg-Box darf die Zeile mit der (hier ignorierten) eCharger-Adresse nicht gelöscht werden. Die Software des ESP8266 liest nur die Werte, die zwischen den spitzen Klammern stehen, alles außerhalb der Klammern wird als Kommentar interpretiert.

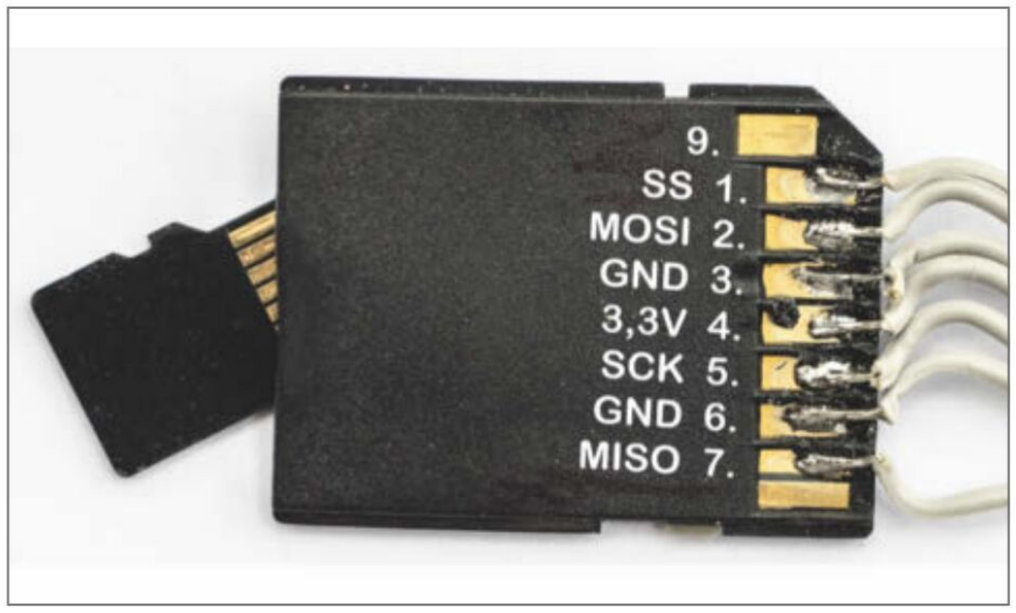
Elektrik-Trick

Jetzt kommt der Elektriker zum Zug: Im Zählerschrank haben Laien keine Änderungen vorzunehmen. Falls der Elektroinstallateur ohnehin kommen muss, um die Wallbox anzuschließen, kann er den Energiemesser Shelly 3EM gleich mitinstallieren 8. Das Ganze sollte dann so wie auf Bild 9 aussehen.

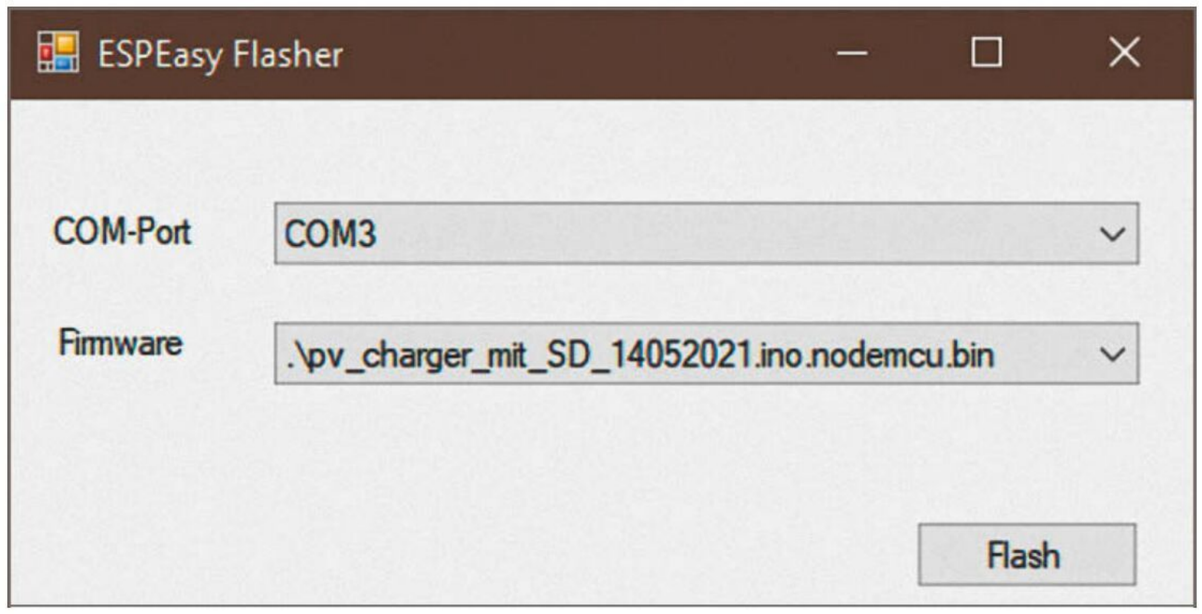
Beim Einschalten leuchten bei der LED nacheinander mehrere Farben auf. Wenn alles durchläuft, zeigt die LED nach einigen Sekunden den Lademodus „rot“ an. Dieser kann nun bei Bedarf mit dem Taster weitergeschaltet werden (1 × drücken: gelb, 2 × drücken: grün, 3 × drücken: rot usw.)

Die Farbe violett signalisiert einen Fehler: Entweder kann die SD-Karte nicht gelesen werden oder das Shelly-System und die Wallbox sind nicht erreichbar. In diesem Fall empfehlen wir folgende Vorgehensweise:

- Den go-eCharger-Status im Browser über seine IP-Adresse aufrufen (z. B. http://192.168.178.123/status).
- Den Status des Smartmeters Shelly 3EM (z. B. http://192.168.178.124/status) aufrufen.
- Die Steuerung Wallbox_meets_PV mit der IP-Adresse des ESP8266 aufrufen 12.
- Die WLAN-Signalstärken an den Einbau-Örtlichkeiten kontrollieren.
- Auch das Debuggen via Telnet auf Port 23 der ESP8266-Steuerung, etwa mit dem Tool PuTTY 10, kann aufschlussreich sein.



6 Micro-SD-Adapter als Breakout-Alternative: Bitte beim Anlöten der flexiblen Drähte aufpassen, dass es nicht zu heiß wird, sonst schmilzt das Plastik.



7 ESPEasy Flasher in Aktion: Zur Auswahl stehen nur Dateien, die das Tool im eigenen Verzeichnis findet.

Die Statistikdaten der Steuerung werden alle fünf Sekunden aktualisiert 11. Sollten die IP-Adressen nicht bekannt sein (weil automatisch vom Router vergeben), muss man sie auf der Router-Konfigurationsseite nachschlagen.

Web-Interface

Durch die Eingabe der vom Router vergebenen IP-Adresse unserer Steuerung in einem Browser wird ihre Web-Oberfläche 12 angezeigt. Der OK-Button dient zum Umschalten der Betriebsmodi, der Refresh-Button zeigt den aktuellen PV-Überschuss und die Ladeleistung der Wallbox an. Die Funktion „Garagentor“ haben wir bisher noch nicht erwähnt: Durch Verwendung eines Optokopplers oder eines kleinen Relais parallel zum Garagentor-Taster kann das Tor ebenfalls über die Browseroberfläche gesteuert werden; dafür ist eine I/O-Leitung des ESP8266 reserviert. Nähere Hinweise dazu finden Sie auf unserer Projektseite (siehe ct.de/w2aa).

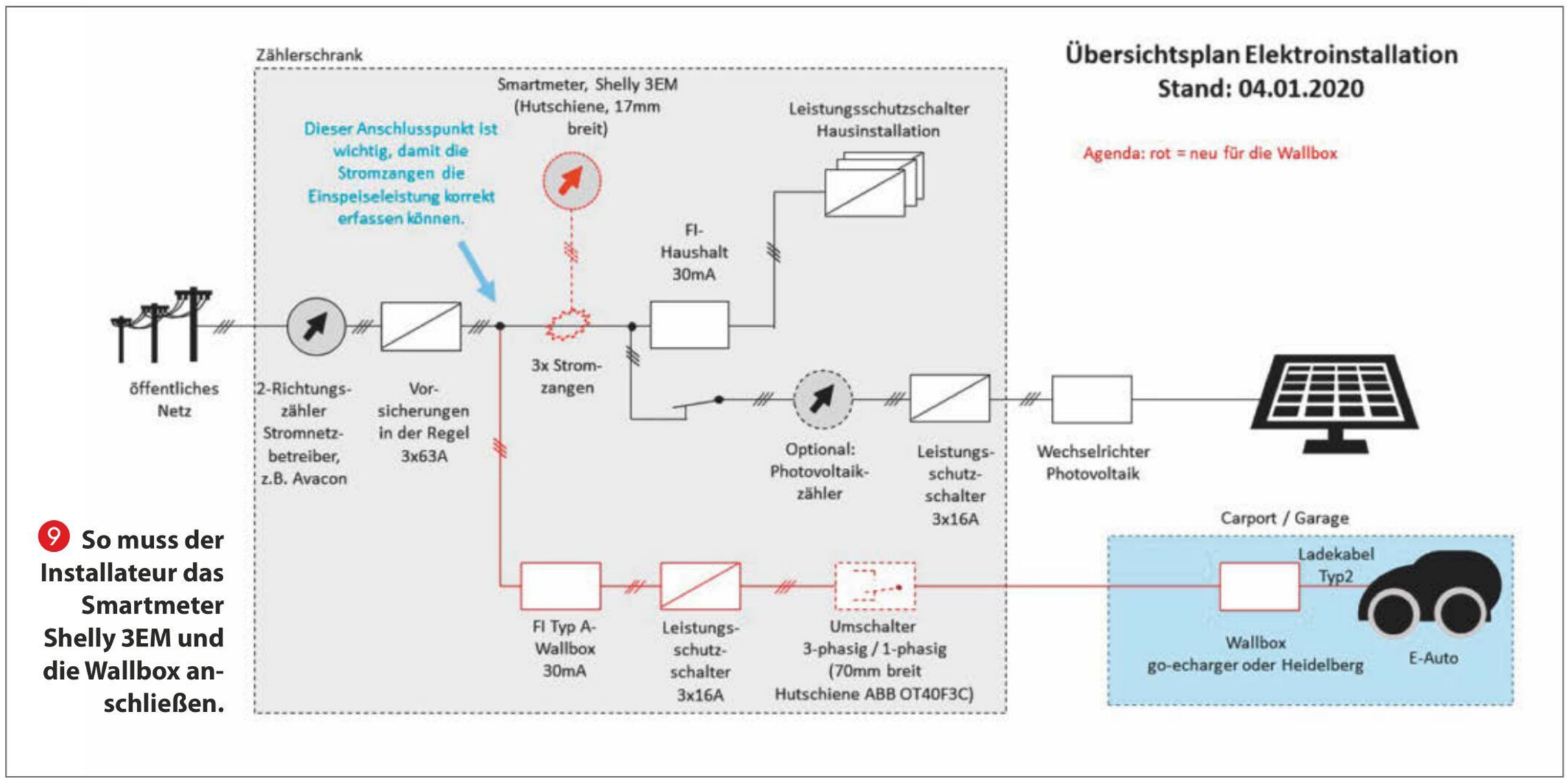
Wie schon der config.txt-Beschreibung zu entnehmen war, kann die Steuerung Statistikdaten generieren und, falls aktiviert, auf der SD-Karte ablegen. Es wird für jeden Tag eine eigene CSV-Datei erzeugt, die dann zum Beispiel mit Excel beliebig aufbereitet werden kann. Nach insgesamt sieben Tagen wird eine Datei wieder gelöscht, sodass die SD-Karte nicht „überläuft“.

Ein- oder dreiphasig?

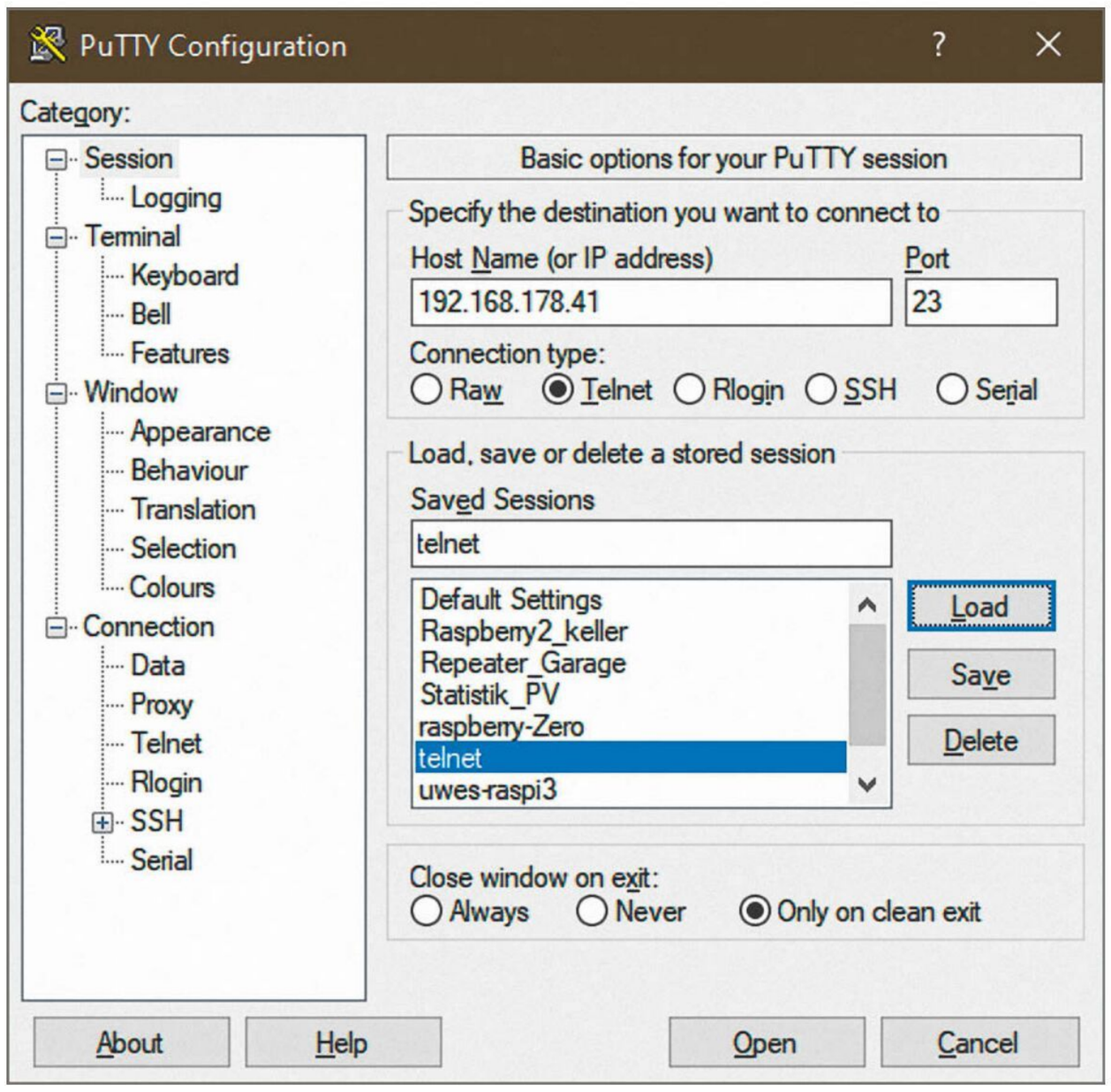
Aus gutem Grund haben wir diese Thematik bisher ausgespart: Wie wir anfangs gesehen haben, hat der Ladestrom einer Wallbox mindestens 6 A. Diese können nun über eine Phase fließen, was dann circa 1,4 kW entspricht, oder aber auch über drei Phasen, also 3 × 1,4 kW (4,2 kW). Die vorhandene eCharger-Box kann mit sehr kleiner Leistung aber nur im einphasigen Betrieb laden, dreiphasig versorgt liefert sie immer mindestens 4,2 kW.

Nun ist es leider so, dass sich eine Photovoltaikanlage darum nicht schert und die abgegebene Leistung je nach Wetter und Haushaltsverbrauch zwischen Null und Peak (z. B. 8 kW) liegt. Mit dem Peak-Wert wird die Maximalleistung der PVA bei optimaler

8 Anschluss im Verteilerkasten: rechts der Smartmeter-Baustein Shelly 3EM, links oben am herausgezogenen Kabel einer der drei Stromsensoren des Smartmeters, ein Klappferrit mit Übertragerspule.



9 So muss der Installateur das Smartmeter Shelly 3EM und die Wallbox anschließen.



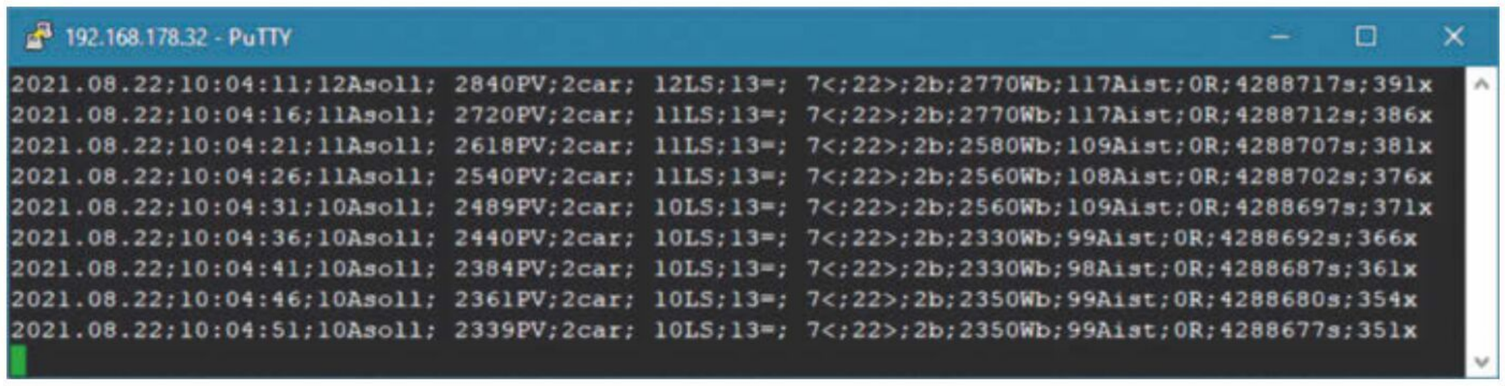
Sonneneinstrahlung bezeichnet. Soll jetzt das Optimum an Leistung für die Wallbox erreicht werden, kommt man um eine Umschaltung zwischen ein- und dreiphasigem Betrieb nicht herum, damit auch geringe Leistungen der PVA optimal genutzt werden können.

Unsere Steuerung sieht eine Option mit entsprechend gesteuerten Schützen (Leistungsrelais) in einer Platinen-Version vor, die wir online bereithalten (siehe ct.de/w2aa). Steht eine Umschaltung an und sind mindestens 30 Minuten seit der letzten Umschaltung vergangen, wird die Wallbox komplett mit Hilfe eines Lastrelais mit Ruhekontakten stromlos geschaltet, dann werden über ein weiteres Lastrelais mit zwei Arbeitskontakten zu der einen ständig vorhandenen Phase zwei Phasen dazu- oder abgeschaltet. Dieses Steuerungsverhalten kann ebenfalls in `config.txt` konfiguriert werden.

Hinweise

Seit dem Redesign im Sommer 2021 kann der go-eCharger die Umschaltung ein-/dreiphasig direkt über die

10 Starten von Telnet (hier mit der beispielhaften IP-Adresse 192.168.178.41) mit dem Tool PuTTY.



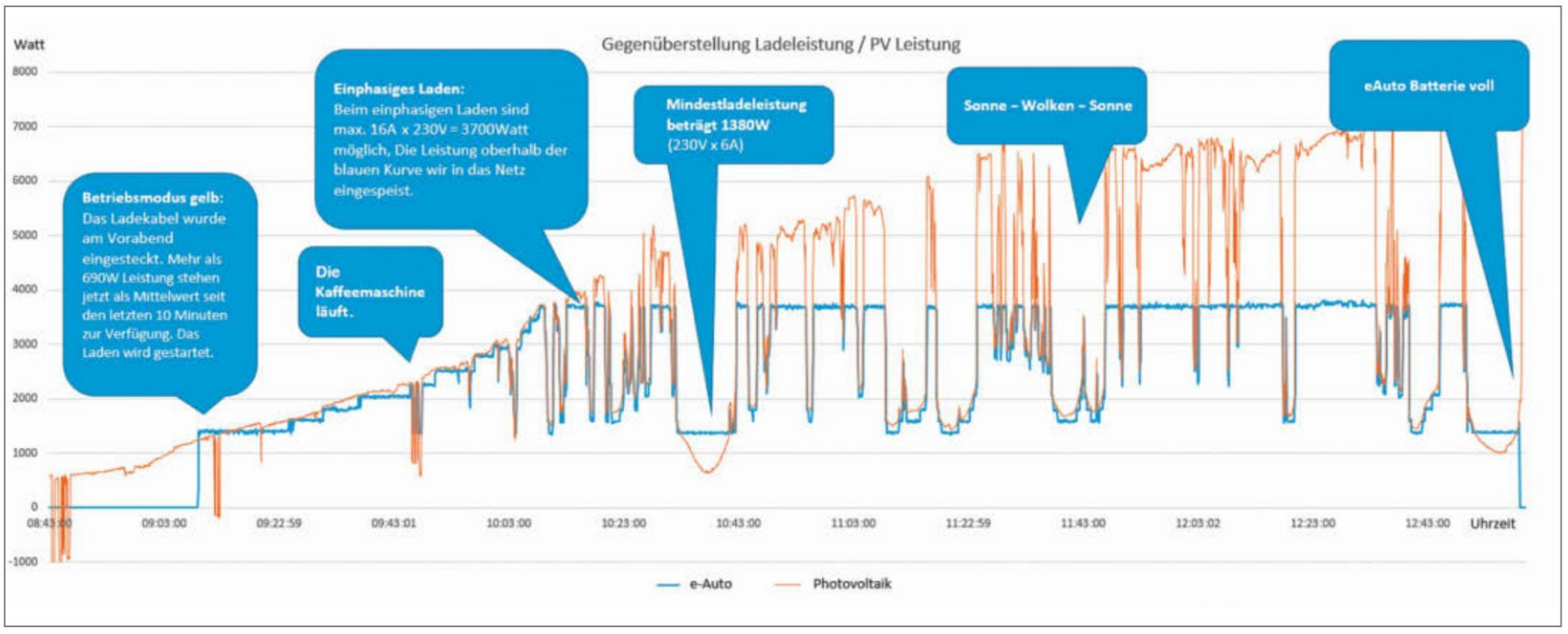
⓫ PuTTY-Telnet-Ausgabe von Zeit, Sollstrom, Leistung PV, Miw = Mittelwert, b = Betriebsmodus (0 = rot, 1 = gelb, 2 = grün), Ladestrom = Aist in 1/10 A, x = 10-Minutentimer in Sekunden.

API-Schnittstelle oder die APP. Eine externe Relaissteuerung für neu beschaffte go-eCharger ist somit nicht mehr nötig. Die ESP8266-Firmware beherrscht diese Funktion in der Installation des Autors bereits.

Bei anderen als den genannten Wallboxen dürfte man allerdings um eine Anpassung der Firmware auf das dort verwendete Protokoll (API, MQTT/REST, JSON-Objekte) nicht herumkommen. Dafür wären dann schon fortgeschrittene Programmierkenntnisse erforderlich, vor allem, wenn das Protokoll nicht offenliegt und aus dem Web-Interface der jeweiligen Box „re-engineered“ werden muss. Die API des go-eChargers dagegen liegt offen und ist gut dokumentiert. Und noch ein Hinweis: Möglicherweise widerspricht die hier skizzierte Lösung Vorgaben des Herstellers Ihres E-Autos. Ziehen Sie also unbedingt auch dessen Bedienungsanleitung zu Rate. (anm) c't

Alle Infos zum Artikel
ct.de/w2aa

⓬ Der ESP8266 auf dem WEMOS-Board erzeugt ein einfaches Web-Interface mit Einstellung des Betriebsmodus und einer optionalen Garagentoröffner-Funktion.



Eine optimale Leistungsbilanz erreicht man mit einer Umschaltung von drei- auf einphasigen Betrieb, sodass auch geringere Leistungen gut ausgenutzt werden. Erst wenn die Leistung der PVA auf unter 1,4 kW fällt, wird Strom vom Energieversorger bezogen.

Mit Solarstrom laden: die Sparversion

Diese Variante des vorhergehenden Bauvorschlags nutzt einen Trick, mit dem Bastler auch ohne Eingriff in die Elektro-Installation ans Ziel kommen.

Von **Uwe Rohne**

Damit das E-Auto immer genau mit der Leistung lädt, die die Photovoltaik-Anlage (PV) zur Verfügung stellt, muss man die jeweils aktuelle Leistung kontinuierlich messen. Im vorhergehenden Artikel haben wir eine Möglichkeit beschrieben, wie man einer Wallbox das Überschussladen mit dem Energie-Messmodul Shelly 3EM beibringen kann. Die Vorteile des Shelly-Systems sind die Genauigkeit, die Datenübertragung via WLAN und die freie Bestimmung des Messpunktes, in unserem Fall also hinter der PV und dem Haushalt, aber vor dem Anschlusspunkt der Wallbox.

Nachteile sind der Preis von rund 100 Euro für den Shelly-Sensor und die notwendige Installation über einen Fachbetrieb; da können schon mal zwei Stunden Arbeit zusammenkommen. Um das Geld dafür zu sparen, wäre also eine Lösung perfekt, die ohne ein spezielles Messsystem auskommt. Genau diesen Lösungsansatz möchten wir mit diesem ursprünglich in Make 2/2022 erschienenen Artikel vorstellen.

Dabei ist die Lösung so simpel, dass man erst einmal darauf kommen muss: In jedem Zählerschrank ist ein Energiemesser (umgangssprachlich Zähler) vom Netzversorger verbaut. Bei Einsatz von PV-Anlagen sind es digitale Zweirichtungszähler. Diese Zähler zeigen nicht nur die Energieeinspeisung und den Verbrauch an, sondern bei aktuellen Systemen auch die momentane Leistung.

Die Verbrauchswerte können nun auch über die drahtgebundene S0-Schnittstelle (nicht zu verwechseln mit ISDN) und alternativ über eine Infrarot-Sende-/Empfangseinheit namens D0 ausgelesen werden. Ist der Zähler bereits verbaut, kommt man an die S0-Schnittstelle ohne Zerstörung einer Plombe nicht mehr heran. Es bleibt also die IR-Schnittstelle. Einfache elektronische Zähler „funken“ ihre Daten auch über blinkende LEDs; unter den Zweirichtungs-Zählern sind sie allerdings nicht zu finden.

Bei der IR-Übertragung gibt es leider unterschiedliche Protokolle und Übertragungsgeschwindigkeiten. Verwendet werden die textbasierte Protokolle nach IEC 62056-21 und SML (Small Message Language), wobei die SML-Daten meist zyklisch gesendet werden. Bei einigen Modellen muss die Ausgabe der Werte explizit angefordert werden, dabei werden Halbduplex-Asynchron-Verfahren mit Geschwindigkeiten von 300 bis 9600 Baud und 7 oder 8 Bits pro Byte benutzt.

Gängig ist ebenso, die Verbrauchswerte ganz simpel durch eine Impulsanzahl zu kodieren; dann ändert sich das Blinken der IR-LED deutlich mit dem aktuellen Verbrauch. Ältere Digitalzähler geben 500 oder 1000 kurze IR-Lichtimpulse je kWh ab, vergleichbar mit der roten Markierung auf der silbernen Scheibe bei den alten elektromechanischen Ferraris-Zählern.

IR-Test

Das menschliche Auge kann infrarotes Licht nicht sehen. Es gibt aber einen einfachen Trick, infrarote Strahlung zu erkennen: Wenn man eine Smartphone-Kamera auf eine Infrarotlichtquelle hält, ist diese auf dem Display zu sehen. Probieren Sie es einmal mit einer IR-Fernbedienung aus, bevor sie zum Zählerschrank gehen.

Ob es sich um die Lichtimpuls-Kodierung handelt oder um ein zyklisch versandtes Datenpaket, lässt sich testen, indem man entweder alle Verbraucher ausschaltet – zum Beispiel über den FI-Schalter – oder indem man einen leistungsstarken Verbraucher (z. B. Fön, Staubsauger, Heizlüfter) einschaltet. Ändert sich die Dauer des IR-Lichtimpulses merklich, zeigt der Zähler analog zur roten Markierung der Ferraris-Zähler an. Bei dieser Art von Zählern muss der aktuelle Stand explizit mit einem kurzen Datentelegramm angefordert werden.

Bleibt hingegen der Rhythmus identisch, spricht sehr viel dafür, dass der Zähler zyklisch SML-Klartext-Daten sendet. Sollte gar nichts zu sehen sein, kann es daran liegen, dass der Zähler noch mit einer PIN geschützt ist. Dieses wird aus Datenschutzgründen gemacht, da die Zähler oft frei zugänglich verbaut werden. Seine PIN erhält man mit einer kurzen Anleitung vom Netzbetreiber.

Ein typischer Vertreter moderner E-Zähler ist das weit verbreitete Modell der tschechischen Firma Logarex [1] (siehe S. 112). Der Zähler sendet jede Sekunde seine zwei Zählerstände (Einspeisung und Verbrauch) mit einer Genauigkeit von vier Stellen hinter dem Komma [2]. Wenn man diese Zähler im Sekundenabstand auswertet, passiert gerade bei kleinen Leistungen nicht viel. Erhöht man jedoch den Abstand auf 10 Sekunden, kann man die gemittelte Leistung mit einer Abweichung von maximal 35 Watt errechnen. Das ist das, was wir brauchen.

Kurzinfo

- **Energie-Überschuss einer Photovoltaik-Anlage**
- **über den Zählerstand bestimmen**
- **Auslesen moderner Energiezähler mit Infrarot-Schnittstelle**
- **Wallbox-Ladestrom mit ESP8266 drahtlos einstellen**

Material

- **ESP8266-Modul** WEMOS D1 Mini
- **Elektronische Bauteile** laut Stückliste (siehe Link)
- **Platine** gemäß Layout (siehe Link)
- **Micro-SD-Karte** mit Adapter
- **PET-Flaschenverschluss**
- **Neodym-Ringmagnet** R-27-16-05-N
- **Aufputz-Verteilerdose** als Gehäuse

Checkliste

Zeitaufwand:
4 Stunden

Kosten:
50 Euro

Löten:
Bestückung einer einseitigen Platine

Maschinen:
Akkuschrauber, Heißklebepistole

Bild: Uwe Rohne

1 Digitaler Logarex-Zähler mit aufgesetztem selbstgebautem IR-Schreiblesekopf.

Zähler-Telegramm

```
/LOG5LK1XXXXXXXXX<\r><\n>
<\r><\n>
1-0:96.1.0*255(001LOGOXXXXXXXX)
<\r><\n>
1-0:1.8.0*255(000471.6452*kWh)
<\r><\n>
1-0:2.8.0*255(000528.9178*kWh)
<\r><\n>
1-0:0.2.0*255(ver.03,432F,20170504)
<\r><\n>
1-0:96.90.2*255(0F66)<\r><\n>
1-0:97.97.0*255(00000000)<\r><\n>
!<\r><\n>
```

2 Typisches Datentelegramm eines Logarex-Zählers, 1.8.0 = Verbrauch, 2.8.0 = Einspeisung. Diese so genannten OBIS-Kennzahlen sind internationaler Standard und in der Norm IEC 62056-61 festgeschrieben.

Um nun eine Wallbox zu steuern, müssen wir mehr tun – denn in dem Moment, in dem wir die Wallbox aktivieren und das Aufladen des E-Autos beginnt, läuft dieser Verbrauch ja auch über den Zähler. Wir können nicht unterscheiden, ob der Durchlauferhitzer, der Herd oder eben die Wallbox die aus den Datentelegrammen errechnete Leistung zieht. Jetzt greifen wir zum zweiten Trick: Unsere Wallbox kann ja die jeweils aktuelle Leistung auf Anforderung unserer Steuerung mitteilen. Ziehen wir von der über den Zählerstand ermittelten Leistung jene ab, die uns die Wallbox mitteilt, ist unsere Steuerung fertig – zumindest in der Theorie 3.

Unser Bauvorschlag verwendet als Zähler des Netzbetreibers das weit verbreitete Modell Logarex LG13BE und die Wallbox go-eCharger oder Heidelberg energy control; andere Zähler sind wahrscheinlich ebenso gut geeignet, erfordern aber unter Umständen kleine Anpassungen der ESP8266-Firmware. Zu tun bleibt der Bau eines Schreib-/Lesekopfes und das Programmieren einer Steuerung mit dem ESP8266.

Rund um die IR-Empfangs- und Sende-LED am Zähler befindet sich ein Metallring 4, an den normalerweise kommerzielle Lesegeräte magnetisch angeheftet werden. Um unsere selbstgebaute IR-Einheit zu fixieren, verwenden wir einen runden Neodym-Magneten R-27-16-05-N, wobei 27 den Außendurchmesser kennzeichnet und 16 den Innendurchmesser. Als improvisiertes Gehäuse haben wir den Drehverschluss einer Getränkeflasche verwendet 5. In den Deckel haben wir neben vier 1-mm-Löchern für die Dioden- und Fototransistoranschlüsse in der Mitte ein weiteres 3-mm-Loch gebohrt, um hier eine lange M3-Schraube als Zugentlastung zu montieren 6. Nachdem die Dioden eingesetzt sind, werden diese (wie auch die Schraube und der Neodym-Magnet) mit einer Heißklebepistole oder auch Silikon-Dichtmasse im Deckel fixiert. Achten Sie darauf, dass die Diode und der Fototransistor noch „sehen“ können.

Die Schaltung

Es erreichten uns einige Zuschriften mit Fragen zur Stromversorgung der Schaltung. Wir nutzen für die benötigten 3,3 Volt den Wemos D1 Mini, der ja über eine Micro-USB-Schnittstelle mit 5 Volt versorgt wird und einen Wandler auf 3,3 Volt auf der Platine hat. Dies gilt auch für die hier vorgestellte zweite Schaltung; wir haben der Platine zusätzlich einen 3,3-Volt-Eingang (X5) spendiert, der alternativ mit einem 3,3-V-Schaltnetzteilmodul (2 bis 3 Watt Leistung sind ausreichend) verwendet werden kann.

Werfen wir einen Blick auf das Schaltbild 7: Der Transistor T1 verstärkt das IR-Signal. Ein nachgeschalteter Schmitt-Trigger (4093) sorgt für ein sauberes Ausgangssignal. Der Zustand „kein Licht“ entspricht hierbei dem Stopp-Pegel und vorhandenes IR-Licht somit dem Start-Pegel. Um den Seriell-Eingang auch für andere Quellen nutzen zu können, ist eine Logik zum Abschalten vorgesehen. Diese Logik ist bei der Verwendung der Heidelberg-Wallbox nötig, da die Soft-Serial-Schnittstelle des ESP8266 nur mit einem Pin funktioniert, der hier schon durch die SD-Karte belegt ist. Leider schafft es der Ausgang des Bausteins 4093 nicht, den Rx-Pin zuverlässig auf Low-Pegel zu ziehen, da er gegen einen 470-Ohm-Widerstand am USB-Empfangsbaustein des Wemos-Moduls arbeiten muss. Daher haben wir die zwei Transistoren T2 und T3 als zusätzliche Treiberstufe spendieren müssen.

Zusammenbau der Platine

Die einseitig bestückte Platine kommt sogar ohne Drahtbrücken aus 8. Die benötigten Teile haben wir in der Stückliste aufgeführt, die Sie (wie die Firmware-Sourcen auch) über ct.de/wvqj finden. Betreiben Sie die Steuerung mit einem go-eCharger, brauchen Sie den Transceiver-Baustein MAX485 nicht zu bestücken. In diesem Fall ist JP1 zu stecken (oder durch eine eingelötete Drahtbrücke zu ersetzen). Die Infrarot-Sendediode D1 und der davor geschaltete Transistor T4 wiederum wird bei einem Logarex-Zähler nicht benötigt, da dieser die Datentelegramme ohne Anforderung zyklisch ausgibt. Darüber hinaus gelten die Aufbauhinweise aus dem vorhergehenden Artikel.

Leistungsberechnung über Zählerstand

3 Die momentan dem Lichtnetz entnommene (oder zugeführte) Leistung lässt sich durch Differentiation der Zählerstände über die Zeit berechnen. Klingt kompliziert, ist aber ganz einfach: Der Zählerstand wird in regelmäßigen Abständen ausgelesen, die Differenz aus den Ablesungen (in kWh) wird dann durch das Zeitintervall (in h) geteilt – man erhält somit den Verbrauch in kW.

$$\frac{(\text{Zählerstand}_{\text{neu}} - \text{Zählerstand}_{\text{alt}})\ \text{kWh}}{\text{Zeit in h}} = \text{Leistung in kW}$$

Da 1 h = 3600 Sekunden = 3600 × 1000 Millisekunden sind, ergibt sich

$$\frac{(\text{Zählerstand}_{\text{neu}} - \text{Zählerstand}_{\text{alt}}) \times 1000\text{W} \times 3600 \times 1000\ \text{Millisekunden}}{\text{Zeit in Millisekunden}} = \text{Leistung in W}$$

Weil die Wallbox ohnehin nur in Schritten von 1 Ampere oder 230 W eingestellt werden kann, ist die Genauigkeit des Verfahrens ausreichend. Bei Zählern mit nur drei Nachkommastellen sollte der Messzyklus allerdings mindestens 50 Sekunden betragen.

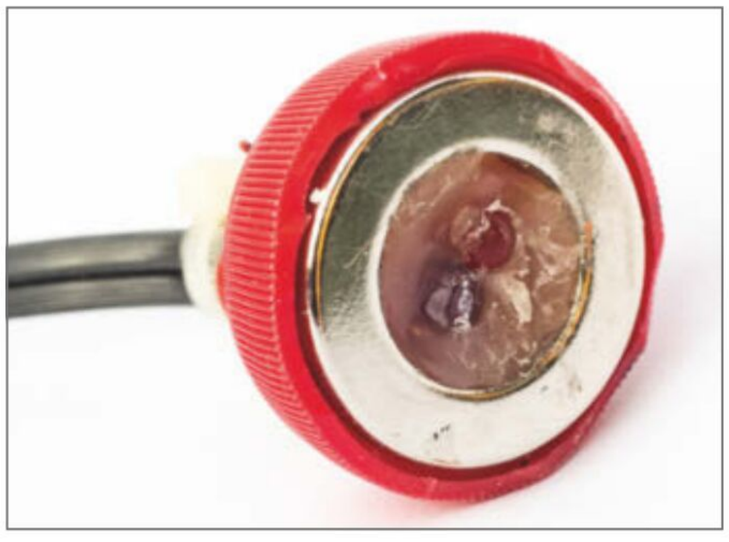
Ob die IR-Empfangsdiode Lichtsignale empfängt, ist am rhythmischen Flackern der Kontroll-LED auf unserer Platine zu sehen. Für einen ersten Test sollte es relativ dunkel sein oder die IR-Empfangs-LED mit einem Tuch abgedeckt werden. Jetzt die LED vor eine Schreibtischlampe halten: Die Kontroll-LED sollte jetzt leuchten und damit den Lichtempfang bestätigen. Jetzt den Test mit einer IR-Fernbedienung bei gedämpften Licht wiederholen. Klappt auch das, ist es Zeit, das Testprogramm Infrarotkopf_pruefprogramm.ino auf den ESP8266 zu laden. Den Flashvorgang des Prozessors haben wir bereits beim vorangegangenen Artikel beschrieben. Jetzt müssen wir unseren IR-Adapter am Zähler mittels Magneten befestigen. Mit dem Smartphone haben wir ja zuvor gesehen, wo genau die Sende-LED innerhalb des Metallringes im Zähler sitzt.

Mit einem seriellem Terminalprogramm, zum Beispiel dem Monitor der Arduino-IDE, sehen wir nach der Auswahl der verwendeten COM/USB-Schnittstelle und dem Einstellen der Geschwindigkeit von 9600 Baud jetzt die Datentelegramme im Klartext. Die Daten der Anzeigezeile 1.8.0 entsprechen dem Verbrauch, die Daten der Zeile 2.8.0 der Einspeisung. Alternativ zur Arduino-IDE können ebenso die kostenlosen Terminalprogramme HTerm oder Teraterm zum Einsatz kommen. Auch hier sind natürlich die COM-Schnittstelle und die Geschwindigkeit einzustellen, außerdem 8 Datenbits, keine Parität und ein Stoppbit (9600 8N1). Sollte alles soweit funktionieren, hat unser Prüfprogramm ausgedient und wir können die eigentliche Software pv_charger_ohne_shelly.ino flashen.

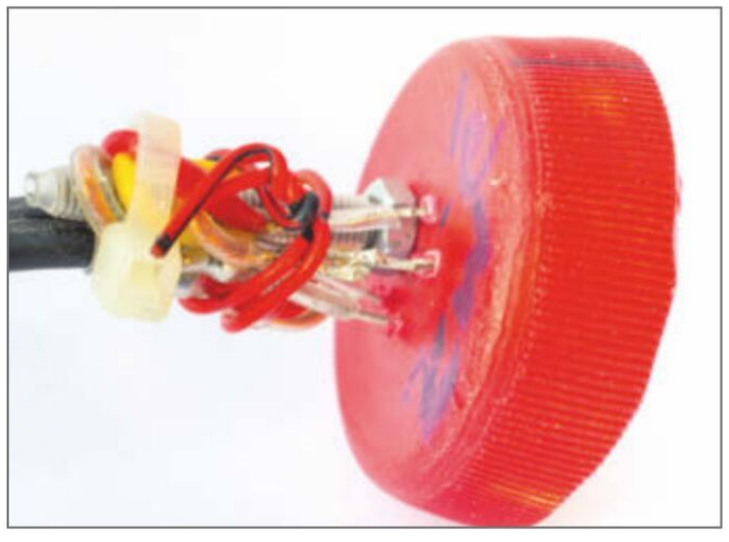
Zu guter Letzt

Die Bedienung, die Beschreibung des SD-Kartenhalters, den Inhalt der auf der Karte abgelegten config.txt sowie Hinweise zur

4 Der Metallring am Zähler zum Aufsetzen des Sensors. Deutlich sind die Empfangs- und Sendediode zu erkennen.

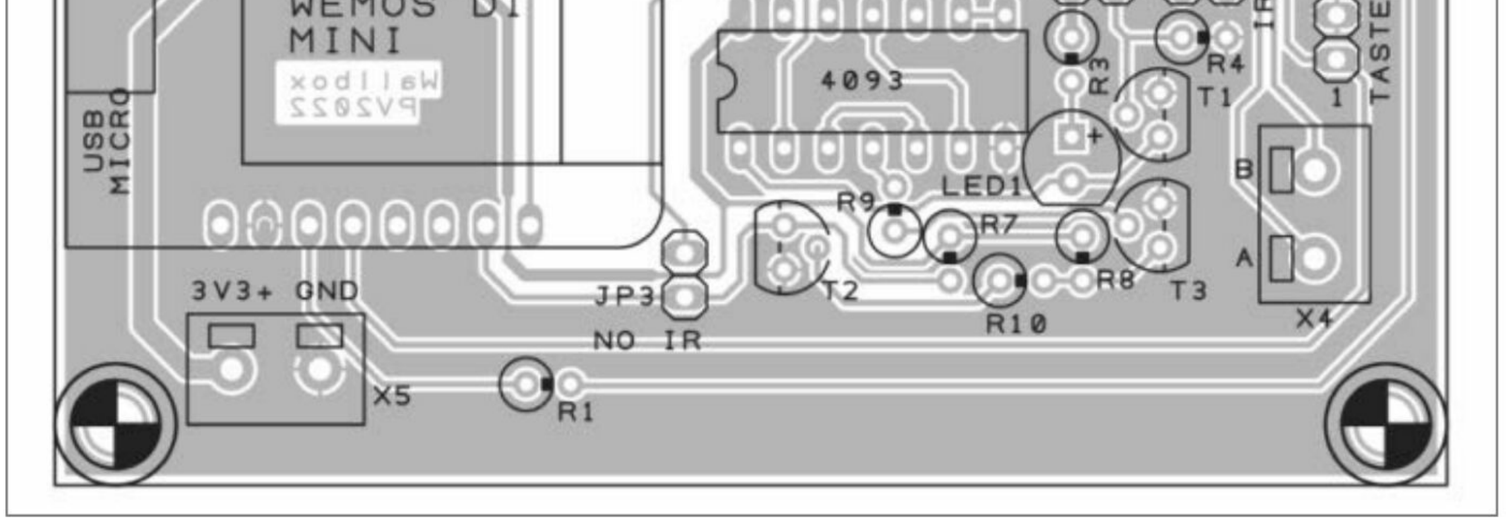


5 Unser Sensor besteht aus IR-Fototransistor, IR-LED und einem Ringmagneten in einem Getränkeverschluss, vergossen mit Heißkleber. Die Bauteile ragen noch minimal aus der Klebemasse heraus.



6 Die Beinchen der Bauteile werden durch kleine Löcher im Deckel gesteckt und auf der Rückseite mit dem Anschlusskabel verlötet. Eine Isolierung mit Schrumpfschlauch ist ratsam.

7 Die Schaltung wird über den USB-Anschluss des Wemos-Moduls aus einem Steckernetzteil versorgt.



8 Bestückungsplan: Um kompakte Abmessungen zu erreichen, werden die Widerstände stehend montiert. Der MAX485 muss nur für die Heidelberg-Wallbox bestückt werden (siehe Text).

Fehlersuche entnehmen Sie bitte auch dem ersten Teil unseres Wallbox-Hacks. Leider stand uns für diesen zweiten Teil keine Heidelberg-Box zur Verfügung, wir sind uns aber ziemlich sicher, dass auch die Heidelberg-Box mit der Schaltung funktioniert und sind auf die Erfahrungen unserer Leser gespannt.

Und auch für diesen Bauvorschlag gilt nachfolgender Hinweis: Die Zahl und die Varianten der am Markt erhältlichen E-Autos nimmt ständig zu. Ob die von uns skizzierte Lösung möglicherweise den Vorgaben des Herstellers widerspricht, können wir in diesem Artikel nicht bewerten. Ziehen Sie also im Zweifelsfall die Bedienungsanleitung Ihres Autos und natürlich der Wallbox zu Rate. Für den Fall, dass das Protokoll Ihres Zählers anders aufgebaut ist, finden Sie in den Sourcen entsprechende Hinweise; unser Prüfprogramm hilft dann bei der Analyse der Zähler-Daten. (anm) *ct*

Alles zum Artikel im Web
ct.de/wvqj

Schonen Sie Geldbeutel und Klima!

Heft + PDF mit 29 % Rabatt

Die gute Nachricht lautet, es gibt viele Möglichkeiten, Energie zu sparen! Dabei geht es nicht nur darum Kosten zu minimieren, sondern jede gesparte Kilowattstunde hilft der Umwelt und verringert die Abhängigkeit von Gas aus Russland. Lesen Sie im neuen c't Sonderheft was Sie selbst dafür tun können:

- ► Energiespartipps im digitalen Umfeld
- ► Stromfresser identifizieren und Verbrauch reduzieren
- ► Strom selbst erzeugen mit Solaranlagen
- ► Wo die Energie der Zukunft herkommt

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €

shop.heise.de/ct-energietipps22

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

go-e

EINFACH SMART LADEN

go-e Charger Gemini und Gemini flex -
das neuste Ladeerlebnis **vom Hersteller des Testsiegers im Wallboxtest 2022**
von ÖAMTC, ADAC und Stiftung Warentest.

Intelligentes Laden - Zuhause, am Arbeitsplatz oder mobil unterwegs – mit und ohne App.
Die kompakten go-e Ladestationen laden sämtliche in Europa zugelassenen
reinen Elektroautos und Plug-in-Hybride. **Let's go-e: www.go-e.com**