



Tatort Auspuff

Die spannende Wahrheit über
den Übergang zur Elektromobilität

E-Mobilität: Gut fürs Klima, gut für dich

In 10 Schritten vom Verbrenner zum Stromer

Dipl. Ing. Rolf Krause

© 2025 – Alle Rechte vorbehalten

Ingenieurbüro für Energieeffizienz & Nachhaltigkeit

Inhalt

Tatort Auspuff – Die spannende Wahrheit über den Übergang zur Elektromobilität	1
Vorwort	1
TEIL I – PROLOG: DER FALL „MOBILITÄT“	9
Kapitel 1 – Tatort Auspuff	9
1.1 Nacht in der Stadt – der Auspuff als Tatort	9
1.2 Der Fall: Warum wir unsere Antriebe neu denken müssen.....	10
1.3 Der Verkehrssektor als Klimatreiber – CO ₂ und Stadtluft	11
1.4 Das leise E-Auto: Verdächtiger oder Lösung?	12
1.5 So liest du diesen Krimi: Indizien, Zeugen, Motive	13
Kapitel 2 – Der große Wandel: Vom Verbrenner zur Elektromobilität.....	15
2.1 Von der Kutsche zum Kolben – und wieder zum Kabel.....	15
2.2 Politik auf der Anklagebank – wie Gesetze den Wandel antreiben ..	16
2.3 Markttrends: Wenn Zahlen lauter sprechen als Meinungen	17
2.4 Psychologie des Wandels – warum uns neue Technik nervös macht	19
2.5 Die großen Fragen dieses Buches	20
TEIL II – DIE DUNKLE SEITE DES VERBRENNERS	23
Kapitel 3 – Tatort Auspuff im Detail: Die Chemie der Abgase.....	23
3.1 Was da eigentlich rauskommt: CO ₂ , CO, NO _x , Feinstaub & Co.	23
3.2 Was das mit deinem Körper macht: Atemwege, Herz, Krebs – die stillen Opfer	24
3.3 Stadtluft vs. Landluft – wo die Hotspots liegen	26
3.4 Filter, Katalysatoren & Chemie-Tricks – was Abgasnachbehandlung kann (und was nicht).....	28
TEIL II – DIE DUNKLE SEITE DES VERBRENNERS	32
Kapitel 4 – Rohstoffe im Schatten: Seltene Erden und kritische Materialien im Verbrenner	32
4.1 Was steckt im Verbrenner: Platin, Rhodium, Yttrium, Kobalt & Co.	32
4.2 Umweltfolgen der Förderung: Wasser, Giftbrühe und Konflikte.....	34

4.3 Der „unsichtbare Rucksack“: Rohstoff-Fußabdruck des Verbrenners	35
4.4 Vergleich: Was davon sehen wir an der Tankstelle? (Spoiler: fast nichts...).....	37
4.5 Überleitung zum E-Auto: Auch dort Rohstoffe – aber andere und mit anderen Perspektiven	40
Kapitel 5 – Energieverschwendung mit Ansage: Der Wirkungsgrad des Verbrenners	43
5.1 Thermodynamische Grundlagen: Warum ein Verbrenner so viel Energie verheizt	43
5.2 Liter Benzin/Diesel in kWh: 1 Liter = x kWh, aber nur ~20–30 % kommen an den Rädern an	45
5.3 Beispielrechnung Pkw: 6–8 l/100 km – wie viele kWh gehen real in die Luft?	46
5.4 Beispielrechnung Lkw: 30–35 l/100 km – Großverbraucher mit großem Schatten	49
5.5 Fazit: Warum Effizienz kein „Nice-to-have“ ist, sondern die zentrale Stellschraube	51
TEIL III – DER LEISE KONTRAHENT: ELEKTROTECHNIK IM DETAIL	54
Kapitel 6 – Das Herz der E-Mobilität: Batteriegeschichte und -technologien	54
6.1 Historischer Überblick: Bleiakku, NiCd, NiMH – frühe Elektromobilität und Hybrid-Pioniere.....	54
6.2 Die Lithium-Ionen-Revolution: Aufbau, Zellchemie und BMS	55
6.3 Kobalt, Nickel & Co: Rolle heute, Trend zu kobaltarmen/-freien Chemien	58
6.4 Neue Entwicklungen: LFP, Natrium-Ionen, Feststoff & Co.	59
6.5 Lebensdauer, Sicherheit, Brandrisiko – reale Daten vs. Schlagzeilen	63
6.6 Recycling und „Second Life“: Was passiert mit der Batterie nach dem Auto?	65
Kapitel 7 – Der Elektromotor: Effizienz aus dem Magnetfeld	68

7.1 Funktionsprinzip: Stator, Rotor, Magnetfeld – Drehmoment ab der ersten Umdrehung.....	68
7.2 Motortypen: Asynchron, Permanentmagnet, fremderregt & Reluktanz	70
7.3 Wirkungsgrade: 90–95 % vs. 20–30 % beim Verbrenner	73
7.4 Rohstoffe im Motor: Neodym – und Alternativen ohne Seltene Erden	74
7.5 Wartungsarmut, einfache Getriebekonzepte, Rekuperation als „geheime Superkraft“	77
Kapitel 8 – Der große Effizienzvergleich: Well-to-Wheel im Klartext	80
8.1 kWh im Sprit vs. kWh im Akku – ein gemeinsamer Nenner.....	80
8.2 Beispielrechnung Pkw: 100 km mit Benzin, Diesel, BEV (und Brennstoffzelle)	81
8.3 Beispielrechnung Lkw: Diesel-Lkw vs. E-Lkw	84
8.4 Well-to-Wheel: Verluste im Kraftwerk/Stromnetz vs. Raffinerie/Transport.....	86
8.5 Warum E-Autos schon heute selbst mit „grauem“ Strommix oft besser sind.....	88
8.6 E-Fuels und Wasserstoff: Wieso der Energiebedarf dort explodiert	91
8.6.1 Wasserstoff fürs Auto	91
Kapitel 9 – Mythosjagd I: Reichweite, Strommix, Batterieproduktion	94
9.1 Mythos „Reichweite“ – was Autos heute wirklich können	94
9.2 Mythos „Der Strom kommt doch aus Kohle – also bringt das nichts“	96
9.3 Mythos „Die Batterieproduktion frisst doch alles auf“	98
Kapitel 10 – Mythosjagd II: Rohstoffe, Kinderarbeit, „Seltene Erden“	102
10.1 Klarstellung: Lithium, Kobalt & Co. sind keine „Seltenen Erden“	102
10.2 Kobalt: Probleme und Lösungen – vom „Blutmetall“ zur Übergangstechnologie.....	104
10.3 Seltene Erden im Verbrenner vs. im Elektromotor – beide Seiten des Tatorts.....	107
10.4 Recycling als Gegenstrategie zur Primärförderung	109

10.5 Ehrliche Botschaft: Nicht perfekt – aber systematisch verbesserbar	111
Kapitel 11 – Mythosjagd III: Netzüberlastung, Blackout, „zu teuer“	115
11.1 Netzbelastung: Prognosen, Lastmanagement, Laden nachts/zu Hause	115
11.2 Smart Charging & Vehicle-to-Grid – vom Problem zur Ressource	116
11.3 Kostenvergleich pro 100 km: Strom vs. Diesel/Benzin bei heutigen Preisen.....	118
11.4 Gesamtbetriebskosten (TCO): Wartung, Reparaturen, Steuern, Förderungen.....	120
11.5 Arbeitsplatzmythen: Wandel statt Ende der Industrie (Teaser)...	122
Kapitel 12 – Was kostet Mobilität wirklich? Sprit vs. Strom im Zahlenkrimi	123
12.1 Aktuelle Spritpreise (Benzin/Diesel) – typische Spanne, Steuern, CO ₂ -Preis	123
12.2 Strompreise an Schnellladern (Ionity, EnBW, Fastned, etc.) vs. Haushaltsstrom.....	125
12.3 Typische Verbräuche: Verbrenner (Pkw, Autobahn) und E-Autos (verschiedene Klassen)	127
12.4 Kosten pro 100 km im Alltag und auf Langstrecke (mit Beispielrechnung)	129
Kapitel 13 – Fallakte Ionity: Preisstrategien, Abos und Break-even	132
13.1 Ionity-Standardtarif vs. Ionity-Passport/Abo-Modelle.....	132
13.2 Rechenbeispiel 1: 500 km Autobahn – Verbrenner vs. BEV im Ionity-Standardtarif	134
13.3 Rechenbeispiel 2: 500 km im BEV mit Ionity-Abo – ab wann lohnt sich das?.....	136
13.4 Vielfahrer vs. Gelegenheitsnutzer – zwei völlig unterschiedliche Fälle.....	139
13.5 Der Vielfahrer-Detektiv – eine kleine Erzählung	141
Kapitel 14 – Pausen, Sicherheit und 800-Volt-Technik.....	144

14.1 Unfallstatistiken zu Müdigkeit in Deutschland – Sekundenschlaf und Dunkelziffer.....	144
14.2 Empfohlene Pausen: alle 2 Stunden, Powernap & Kaffee als Doppelstrategie.....	146
14.3 Ladezeit vs. Tankzeit – 5–10 Minuten Tanken vs. 15–25 Minuten Schnellladen (800 V).....	147
14.4 Fazit: Warum BEV-Ladezeiten wie ein erzwungenes Sicherheits-Feature wirken können.....	150
Kapitel 15 – Die Flaggschiffe: Premium-E-Autos aus aller Welt	153
15.1 Mercedes EQS, Audi Q6 e-tron, BMW iX, Porsche Taycan – die deutsche Premium-Front	153
15.2 Tesla Model S/3/Y/X – der Software- und Effizienz-Referenzfall ..	155
15.3 Chinesische Oberklasse: NIO ET7, XPeng G9 & Co.	157
15.4 Reichweite, Effizienz, 800-Volt-Laden und Assistenzsysteme im Vergleich	159
15.5 Positionierung: Luxus, Business, Technik-Showcase.....	161
Kapitel 16 – Die kleinen Helden: Twingo, e-Up, Spring & Co.	163
16.1 Renault Twingo Electric – Stadtflietzer als Alltagsbeispiel	163
16.2 VW e-Up – lange unterschätzter Effizienzmeister	164
16.3 Dacia Spring – das Low-Cost-E-Auto als Beweis, dass es günstig geht	165
16.4 MG4, BYD Dolphin, ORA 03 – günstige Kompakte aus China und Co.	166
16.5 Kosten-/Nutzenbetrachtung: Anschaffung vs. Betrieb, Zielgruppen	168
16.6 Story-Ansatz: „Wie der kleine Twingo den großen Diesel entlarvt“	170
Kapitel 17 – China vs. Deutschland: Technologie- und Innovationsvergleich	173
17.1 Chinesische Stärken: Tempo, 800-Volt und LFP-Batterien	173
17.2 Deutsche Stärken: Ingenieurskunst, Effizienz – und eine Software, die aufholt.....	175

17.4 Wie deutsche Hersteller reagieren: ID.2, günstige Modelle und eigene Batterie-Strategien.....	179
Kapitel 18 – Die goldene Ära des Verbrenners: Was Deutschland groß gemacht hat.....	183
18.1 Erfindung und Perfektionierung des Diesel- und Ottomotors	183
18.2 Common-Rail, Turboaufladung, Direkteinspritzung, Abgasnachbehandlung.....	184
18.3 Getriebeinnovationen: DSG, 8- und 9-Gang-Automaten, Effizienzgewinne.....	187
18.4 Warum diese Kompetenz wertvoll bleibt: Thermodynamik, Materialwissenschaft, Systemintegration	189
Kapitel 19 – Know-how-Transfer: Wie deutsche Technik die E-Mobilität befeuern kann	193
19.1 Thermomanagement: Wärmepumpen, Kühlung von Batterie & Leistungselektronik	193
19.3 Systemkompetenz: Integration von Motor, Batterie, Power-Elektronik, Software.....	197
.....	199
19.4 Batterieforschung & Zellfertigung in Europa (z. B. eigene Gigafactories).....	199
19.5 Qualifizierung von Fachkräften: Umschulung, neue Berufsbilder, Hochschulen.....	201
Kapitel 20 – Energieinfrastruktur: Wenn Auto, Haus und Netz zusammenarbeiten	204
20.1 E-Auto als Teil des Energiesystems: PV auf dem Dach + Akku im Auto	204
20.2 Heimpladen, HEMS, dynamische Tarife, Lastmanagement	205
20.3 Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Grid: Auto als Puffer für Netz und Gebäude	207
20.4 Chancen für Handwerk, Energieberatung und deutsche Mittelständler.....	209
Kapitel 21 – Gesellschaft, Arbeitsplätze und Politik.....	213

21.1 Wandel der Wertschöpfungsketten: Motorenwerke vs. Zellfertigung	213
21.2 Studien zu Beschäftigungseffekten: Risiken und neue Chancen	214
21.3 Industriepolitik und Förderung: Wie Deutschland seine Stärken nutzen kann.....	216
21.4 Narrative ändern: von Angst („Jobverlust, Blackout“) zu Gestaltung („Made in Germany 2.0“).....	218
Kapitel 22 – Die Zukunft der Elektromobilität: Szenarien 2035–2050	221
22.1 Mögliche Entwicklungspfade (optimistisch, realistisch, pessimistisch).....	221
22.2 Rolle von Batterien, Wasserstoff, synthetischen Kraftstoffen in Nischen	223
22.3 Globale Mobilitätsmuster: autonom, geteilt, vernetzt, elektrisch	225
Kapitel 23 – Schlussbild: Der Ermittler legt die Akte nieder	229
23.1 Rückblick auf die wichtigsten „Beweise“ (Effizienz, Emissionen, Kosten, Technik)	229
23.2 Persönliche Perspektive: Wie unsere Mobilität aussehen könnte, wenn wir Mythen ablegen.....	231

Vorwort

Ein dunkler Parkplatz in der Innenstadt. In der kühlen Nachtluft liegt ein beißender Geruch von Abgasen. Ein Motor knattert, Auspuffrauch verzieht sich unter den Laternen. Ein Mann im Mantel tritt aus dem Schatten – unser Erzähler, zugleich Ermittler in einem besonderen **Kriminalfall**. Sein Gegner: Ein lautloser Killer, der täglich Opfer fordert, aber dessen Tatwaffe für das bloße Auge unsichtbar ist. Die Spur führt zum **Auspuff** eines Autos, Tatort und Hinweisgeber zugleich. Können die Rätsel um stinkende Abgase, qualmende Auspuffrohre und mysteriöse Fahrzeugbrände gelöst werden? Welche Rolle spielt das neue, geräuschlose **E-Auto**, das scheinbar spurlos über den Asphalt gleitet?

Dieses Buch nimmt Dich mit auf eine spannende **Ermittlungsreise** durch die Welt der Mobilität. Kapitel für Kapitel entlarven wir Vorurteile, decken Fakten auf und vergleichen akribisch die Technik von gestern und morgen. Wie in einem Krimi sammeln wir Indizien: gefährliche Gase, seltene Metalle, geheime Wirkungsgrade und energiehungrige Maschinen. Wir folgen den Spuren der *seltenen Erden* von staubigen Minen bis in Motoren und Batterien, wir vernehmen Zeugen in Form von Zahlen und Studien, und wir rekonstruieren die Tat – die Verschwendung wertvoller Energie bei jedem verbrannten Tropfen Treibstoff.

Am Ende dieses Thrillers wirst Du wissen, warum der Übergang vom **Verbrennungsmotor** zum **Elektromotor** nicht nur ein technischer Wandel, sondern eine notwendige Lösung ist – für saubere Luft, für die Umwelt, für unsere Zukunft. Ob Du Laie oder technikaffin bist, diese Geschichte hält sowohl anschauliche Erklärungen als auch detaillierte Hintergründe bereit. Lehne Dich sich zurück und begleite uns bei dieser spannenden Enthüllung – der Wahrheit über die Elektromobilität, erzählt wie ein Kriminalroman mit echten Fakten als Beweismittel. Er hat den Motor schon gehört, bevor er ihn gesehen hat.

Dieses aufgeregte Brummen, dieses Hochdrehen, der dumpfe Schlag, wenn der Fahrer das Gaspedal durchtritt. Sekunden später schießt ein SUV an der Ampel vorbei, der Auspuff kaum sichtbar, aber seine Spur bleibt: ein Hauch von Abgas, ein dumpfer Geruch, ein kaum wahrnehmbares Brennen in den Augen.

Daneben, fast unauffällig, rollt ein anderes Auto an. Kein Brummen, kein Hochdrehen, nur ein leises Surren. Es gleitet an die Kreuzung, wartet, beschleunigt – und verschwindet lautlos im dichten Verkehr.

Zwei Autos. Zwei Welten.

Genau zwischen diesen beiden Welten steht dieses Buch.

Warum ich dich duze

Vielleicht hast du dich schon gefragt, warum ich dich in diesem Buch mit „**du**“ anspreche.

Das ist keine zufällige Stilfrage, sondern eine bewusste Entscheidung.

Wir reden hier über Themen, die oft emotional sind: dein Auto, dein Geld, deine Sicherheit, deine Zukunft, vielleicht sogar deinen Job.

Das sind keine abstrakten, neutralen „Sachverhalte“ – das betrifft **dich ganz persönlich**.

Die Du-Form soll drei Dinge tun:

1. Barrieren abbauen

Elektromobilität, Wirkungsgrade, Batterietechnik, Rohstoffe – all das klingt schnell nach Vorlesung oder Fachkonferenz. Aber genau das soll dieses Buch nicht sein. Ich möchte nicht „von oben“ erklären, sondern mit dir reden, so als würden wir zusammen an einem Tisch sitzen und die Fakten auf den Tisch legen.

2. Dich als handelnde Person ernst nehmen

Am Ende dieses Buches trifft keine „anonyme Gesellschaft“ Entscheidungen, sondern Menschen wie du: Welches Auto du fährst. Wie du unterwegs bist. Wie du über Technik redest.

Deshalb spreche ich dich direkt an – weil du nicht Zuschauer bist, sondern Teil dieser Geschichte.

3. Nähe in einem komplexen Thema schaffen

Manche Kapitel gehen tief in die Technik, andere in Zahlen, wieder andere in Emotionen und Ängste. Das „du“ holt das alles aus der Distanz heraus. Es ist leichter, schwierige Zusammenhänge zu

verstehen, wenn sie dir jemand erklärt, der sich an dich wendet – nicht an ein anonymes „Publikum“.

Kurz gesagt: Ich duze dich, weil dieses Buch kein offizieller Bericht ist, sondern eine **gemeinsame Spurensuche**.

Ich bin der Erzähler und Ermittler in diesem Krimi – aber du bist die Person, die am Ende das Urteil fällt. Und da passt ein „du“ besser als ein „Sie“.

Warum dieses Buch?

Wir leben in einer Zeit, in der das Auto gleichzeitig geliebt, gehasst, gebraucht und bekämpft wird. Der Verbrennungsmotor hat über hundert Jahre lang unsere Mobilität geprägt, unseren Wohlstand getragen und ganze Industrien groß gemacht – allen voran in Deutschland. Auf ihm fußen Ingenieurslegenden, Rennerfolge, Wirtschaftswunder.

Und jetzt soll ausgerechnet ein surrender Elektromotor diese Ikone ablösen?

Über kaum ein technisches Thema kursieren so viele Behauptungen, Halbwahrheiten und handfeste Mythen wie über Elektromobilität. An jedem Stammtisch, in jeder Kommentarspalte scheinen die Fronten klar:

- „E-Autos sind nur für Reiche.“
- „Die Batterien sind ökologischer Wahnsinn.“
- „Das Netz bricht zusammen.“
- „Die Chinesen überrollen uns.“
- „Die deutsche Autoindustrie wird sterben.“

Dieses Buch ist angetreten, genau diese Geschichte zu überprüfen – wie in einem Kriminalfall.

Stell dir vor, wir behandeln den Übergang von Verbrenner zu Elektro nicht als trockene Technikumstellung, sondern als **Ermittlungsakte**:

- Wer sind die *wahren* Täter?
- Wer sind die unsichtbaren Opfer?
- Wo wird manipuliert?
- Wo wird gelogen – und wo einfach nur nicht hinschaut?

Wir gehen an Tatorte: Auspuff, Tankstelle, Batteriewerk, Rohstoffmine, Schnellladestation, deutsche Motorenfabrik.

Wir sichern Spuren: Abgaswerte, Wirkungsgrade, Rohstoffketten, Kosten pro Kilometer.

Wir vernehmen Zeugen: Verbrennungsmotor, Elektromotor, Batterie, Stromnetz, Ingenieure, Fahrerinnen und Fahrer.

Am Ende steht kein plakativer „Pro-oder-Kontra-Spruch“, sondern eine saubere Rekonstruktion: **Was kann der Verbrenner wirklich – und was kann der Elektroantrieb besser?**

Für wen ist dieses Buch?

Dieses Buch ist für Menschen, die...

- ...sich nie nur mit einem „Das ist halt so“ zufriedengegeben haben.
- ...bei Technik nicht sofort wegzappen, aber auch keine Formeln pauken wollen.
- ...wissen möchten, ob ihr nächstes Auto noch einen Auspuff haben sollte – oder nicht.
- ...sich fragen, ob Deutschland mit seiner Motorenkompetenz jetzt verliert oder eine einmalige Chance bekommt.
- ...merken, dass China bei E-Autos plötzlich vorne mitfährt und verstehen wollen, warum.

Es richtet sich an **Laien**, die verständlich erklärt bekommen möchten, warum ein Liter Benzin energetisch etwas völlig anderes ist als eine Kilowattstunde Strom – und was das mit ihrem Geldbeutel und der Luft zu tun hat.

Und es richtet sich an **technikaffine Leser**, die bei Begriffen wie „Wirkungsgrad“, „LFP“, „800-Volt-System“ oder „Rekuperation“ eher neugierig als nervös werden – und endlich alle Puzzleteile in einem zusammenhängenden Bild sehen wollen.

Du brauchst kein Ingenieurstudium, um diesem Buch zu folgen. Aber du wirst am Ende mehr wissen als so mancher „Experte“ in der Talkshow.

Was dich erwartet

Wir beginnen dort, wo die meisten nie hinsehen: am **Auspuff**. Wir sezieren Abgase, erklären, was CO₂, NO_x, Kohlenmonoxid und Feinstaub wirklich anrichten – und warum das alles nicht nur abstrakt „die Umwelt“, sondern ganz konkret unsere Lunge, unser Herz, unsere Kinder betrifft.

Wir folgen den Spuren der **Rohstoffe**:

- Welche seltenen Metalle stecken im Katalysator eines Diesel?
- Wo versteckt sich Kobalt im klassischen Auto – nicht nur in der Batterie?
- Was ist eigentlich eine „Seltene Erde“ – und warum wird dieses Wort so oft falsch benutzt?

Dann betreten wir das Labor der E-Mobilität:

- Wir schauen in den Bauch der Batterien, von alten Bleiakkus über NiMH beim Prius bis hin zu modernen Lithium-Ionen, LFP, Natrium-Ion und Feststoffvisionen.
- Wir stellen den Elektromotor neben den Verbrennungsmotor und lassen sie im direkten **Energie-Duell** antreten: gleiche Strecke, gleiche Ausgangsenergie – wer nutzt wie viel davon wirklich für den Vortrieb?

Wir vergleichen **Kosten**:

- Was kostet eine reale Autobahnetappe mit Benzin oder Diesel?
- Was kostet sie mit einem Elektroauto, geladen bei Ionity, mit und ohne Abo?
- Ab wann lohnt sich ein Schnellladetarif – und für wen?

Wir sprechen über **Pausen und Sicherheit**:

- Wie gefährlich ist Müdigkeit am Steuer wirklich?
- Warum ist eine 20-minütige Ladepause vielleicht nicht „Zeitverlust“, sondern Sicherheitsgewinn?

Wir besuchen die **Kleinen** – Twingo Electric, e-Up, Dacia Spring, MG4, BYD Dolphin:

- Was können diese erschwinglichen E-Autos wirklich?
- Wem nützen sie?
- Und warum bröckelt damit der Mythos vom „E-Auto für Reiche“?

Und wir schauen nach **China und Deutschland**:

- Wie gelingt es chinesischen Herstellern, in atemberaubendem Tempo effiziente, günstige E-Autos auf den Markt zu bringen?
- Wo haben deutsche Hersteller die Nase vorne – bei Effizienz, Fahrwerk, Sicherheit, Integration?
- Was passiert, wenn die deutsche Ingenieurskultur ihre jahrzehntelange Erfahrung mit Verbrennern ernsthaft auf Elektromobilität überträgt – statt halbherzig Kompromisse zu produzieren?

Deutschland zwischen Vergangenheit und Zukunft

Dieses Buch ist keine Anklageschrift gegen den Verbrennungsmotor. Im Gegenteil: Wir werden ihm die Ehre erweisen, die ihm zusteht.

Ohne deutsche Motorentechnik sähe die Welt anders aus. Ohne die Perfektionierung von Diesel, Einspritzung, Turboaufladung, Getrieben und Abgasnachbehandlung gäbe es viele Errungenschaften nicht, auf die wir zu Recht stolz sein können. Diese Innovationskraft ist real – und sie ist gewaltig.

Die zentrale Frage ist aber: **Wollen wir mit dieser Innovationskraft an einem Konzept festhalten, das physikalisch an seiner Grenze ist – oder nutzen wir sie für etwas, das physikalisch überlegen ist?**

Wenn wir die Mythen beiseiteschieben, sehen wir:

- Der Elektromotor ist dem Verbrenner in der Effizienz haushoch überlegen.
- Die Batterie entwickelt sich rasant weiter – günstiger, haltbarer, ressourcenschonender.
- Deutschland hat alles, was es braucht: High-End-Ingenieure, Produktionskompetenz, Maschinenbau, Automobilbau, Energietechnik.

Was uns oft bremst, sind weniger technische Hürden als **Bilder im Kopf**:

- Angst vor Veränderung.
- Angst vor Jobverlust, statt Blick auf neue Jobs.
- Angst, dass „die anderen“ uns überholen, während wir zögern.

Dieses Buch will genau hier ansetzen: Es will zeigen, dass **Elektromobilität keine Bedrohung** ist, sondern die nächste Bühne, auf der deutsche Technik wieder glänzen kann – wenn wir uns trauen, den Vorhang zu öffnen.

Deine Rolle in diesem Krimi

Vielleicht liest du dieses Buch, weil du vor der Frage stehst: *„Was kaufe ich als nächstes? Noch einmal Diesel – oder doch Elektro?“*

Vielleicht liest du es, weil du dich fragen musst: *„Was bedeutet dieser Wandel für meinen Job, meine Firma, meine Branche?“*

Vielleicht liest du es einfach, weil du neugierig bist, wer in dieser Geschichte am Ende „schuldig“ gesprochen wird: der Verbrenner, die Batterie, der Mensch – oder die Mythen.

Egal, mit welcher Motivation du eingestiegen bist: Wenn du das Buch zuschlägst, sollst du nicht „pro“ oder „contra“ irgendetwas sein müssen. Du sollst in der Lage sein, **zu verstehen**:

- Wie die Dinge technisch zusammenhängen.
- Wo wirklich Probleme liegen – und wo nur Schauergeschichten.
- Welche Chancen in diesem Wandel stecken – für dich, für Deutschland, für unsere Mobilität.

Wenn du jetzt neugierig bist, wenn du spürst, dass hinter dem Streit um Auspuff und Stecker mehr steckt als Schlagzeilen, wenn du wissen willst, wie dieser Fall ausgeht –

dann blättere um.

Die erste Akte liegt bereits auf dem Tisch.

TEIL I – PROLOG: DER FALL „MOBILITÄT“

Kapitel 1 – Tatort Auspuff

1.1 Nacht in der Stadt – der Auspuff als Tatort

Es ist kurz nach Mitternacht. Die Stadt ist nicht mehr hektisch, aber auch noch nicht ruhig. Ein Zwischenzustand – wie ein angehaltener Atemzug. Laternen werfen gelbe Lichtkegel auf nassen Asphalt, irgendwo klappert eine Straßenbahn in der Ferne. Du stehst mit unserem Ermittler an einer vielbefahrenen Kreuzung. Tagsüber stauen sich hier Autos Stoßstange an Stoßstange, jetzt rollen sie nur noch vereinzelt vorbei.

Ein älterer Diesel fährt an euch vorbei, ein vertrautes Dröhnen, ein kurzes Aufheulen beim Beschleunigen. Hinter ihm wabert eine dünne graue Fahne, die sich im Laternenlicht kurz sichtbar macht und dann unsichtbar wird. Der Ermittler kneift die Augen zusammen, als würde er etwas sehen, das du nicht sehen kannst. „Da“, sagt er leise, „da ist der Tatort.“

Nicht das Auto ist der Tatort. Nicht die Straße. Sondern der Moment, in dem heiße Abgase aus dem Auspuff in die Luft schießen. Hier, im unscheinbaren Rohr unterhalb der Stoßstange, verlassen uns die Reste eines Prozesses, der uns seit über hundert Jahren Wohlstand bringt – und gleichzeitig Gesundheit, Klima und Lebensqualität angreift.

Wenn du an einen Tatort denkst, denkst du wahrscheinlich an Blutspuren, Fingerabdrücke, zersplittertes Glas. Hier sind die Spuren anders: unsichtbar, gasförmig, fein verteilt. Sie hinterlassen keine klaren Linien, aber sie summieren sich – Atemzug für Atemzug, Kilometer für Kilometer, Tag für Tag.

Der Ermittler holt ein kleines Messgerät aus seiner Tasche, ein fiktiver Begleiter für dieses Buch. Während der nächste Wagen vorbeifährt, blinken Zahlen auf. Stickoxide, Feinstaub, Kohlenmonoxid, CO₂. Für den Alltag sind das abstrakte Begriffe, für ihn sind es Beweismittel.

„Der Auspuff“, sagt er, „ist die Mündung einer Waffe, die niemand als Waffe wahrhaben will.“ Du schaust auf die Straße. Plötzlich wirkt jedes vorbeifahrende Auto wie ein Verdächtiger, der grußlos an dir vorbeizieht. Und genau hier beginnt unser Fall: am scheinbar harmlosen Ende eines Rohrs, das wir seit Jahrzehnten kaum hinterfragen.

1.2 Der Fall: Warum wir unsere Antriebe neu denken müssen

Damit du verstehst, worum es in diesem Buch wirklich geht, müssen wir den „Fall“ klar benennen. Es geht nicht darum, Autos zu verteufeln oder Menschen zu verurteilen, die gern fahren. Es geht darum, die **Mechanik** hinter unserer Mobilität zu durchschauen: Wie wir Energie nutzen, wie viel davon wir verschwenden und welche Folgen das hat.

Jeder Liter Benzin, jeder Liter Diesel, jede Kilowattstunde Strom ist gespeicherte Energie. Wir setzen sie ein, um von A nach B zu kommen. Im Idealfall sollte möglichst viel davon in Bewegung umgesetzt werden. In der Realität aber verheizen wir einen beachtlichen Teil als Abwärme, pumpen Nebenprodukte in die Luft und wundern uns, warum das Klima kippt, warum die Luft in Städten schlecht ist, warum Energiekosten steigen und warum ganze Industrien plötzlich unter Druck geraten.

Der „Fall“ lautet also:

- Unser Mobilitätssystem ist **energiehungrig** und **ineffizient**.
- Es produziert **Schadstoffe**, die wir lange unterschätzt haben.
- Es hängt an **Rohstoffen**, deren Förderung und Verteilung Konflikte schafft.
- Und es blockiert sich selbst, weil alte Gewohnheiten neue Lösungen ausbremsen.

Gleichzeitig stehen Alternativen bereit: Elektromotoren, Batterien, intelligente Netze, smarte Ladeinfrastruktur. Techniken, die in vielen Bereichen bereits überlegen sind – aber noch immer als exotisch oder „nur was für andere“ wahrgenommen werden.

Dieses Buch stellt den Fall so auf:

- **Anlagepunkt 1:** Der Verbrennungsmotor nutzt die Energie schlecht.
- **Anlagepunkt 2:** Seine Abgase schaden Gesundheit und Klima.
- **Anlagepunkt 3:** Die damit verbundenen Rohstoffketten sind alles andere als sauber.

Die Verteidigung des Verbrenners wird nicht verschwiegen: Zuverlässigkeit, Reichweite, bestehende Infrastruktur, jahrzehntelange Gegenfinanzierung durch Steuern und Arbeitsplätze. Doch am Ende zählt, was unter dem Strich steht – technisch, ökologisch, ökonomisch.

Und hier kommt die Elektromobilität nicht als moralische Predigt ins Spiel, sondern als **technische Alternative**, die wir nüchtern prüfen. Nicht, weil Strom „gut“ und Sprit „böse“ ist, sondern weil Physik, Chemie und Effizienz nun einmal harte Fakten sind.

Du wirst sehen: Es geht nicht darum, was wir lieben, sondern darum, was **funktioniert** – heute, morgen und für die nächsten Jahrzehnte.

1.3 Der Verkehrssektor als Klimatreiber – CO₂ und Stadtluft

Wenn man über Klimakrise und Luftqualität spricht, wird oft auf Industrie und Stromerzeugung gezeigt. Doch der Verkehr ist in vielen Ländern ein **Schwergewicht**: Millionen Fahrzeuge verbrennen Tag für Tag fossile Brennstoffe und schicken CO₂, Stickoxide und Feinstaub in unsere Atmosphäre.

In der Stadt merkst du das schon ganz banal:

- an Tagen, an denen die Luft „steht“,
- an Straßen, wo sich Abgase zwischen Häuserzeilen stauen,
- an Messstationen, deren Grenzwerte regelmäßig überschritten werden.

CO₂ selbst ist kein Gift, das du riechst oder schmeckst. Es ist das unsichtbare Nebenprodukt jeder Verbrennung von Kohlenstoff – also von Benzin, Diesel, Gas. Es sammelt sich in der Atmosphäre und wirkt wie eine zusätzliche Decke um den Planeten: mehr Wärme rein, weniger raus. Je mehr Decken wir auflegen, desto heißer wird es. Der Verkehr trägt einen erheblichen Anteil dazu bei, weil er fast vollständig fossil betrieben wird.

Neben CO₂ sind es aber vor allem die sogenannten **Luftschadstoffe**, die direkt an deiner Lunge ankommen:

- **Stickoxide (NOx)** reizen die Atemwege, fördern Asthma und tragen zur Bildung von bodennahem Ozon bei.
- **Feinstaub** dringt tief in die Lunge ein, gelangt in die Blutbahn, erhöht das Risiko für Herzinfarkte und Schlaganfälle.
- **Kohlenmonoxid** behindert den Sauerstofftransport im Blut.

Besonders kritisch: Viele dieser Stoffe treten dort auf, wo viele Menschen eng zusammenleben – in Innenstädten, an Hauptverkehrsachsen, auf Schulwegen. Kinder, ältere Menschen und Vorerkrankte sind besonders sensibel.

Du musst dafür keine Statistiken auswendig kennen. Es reicht, an einem heißen Sommertag an einer stark befahrenen Straße zu stehen und bewusst zu atmen. Das Brennen in der Nase, der beißende Geruch – das ist nicht „normal“, das ist eine Mischung aus Gasen und Partikeln, die wir uns über Jahrzehnte schöngeredet haben.

Der Verkehrssektor ist also nicht nur ein Klimaproblem, sondern auch ein **gesundheitlicher Dauertatort**. Dass die Technik in den letzten Jahren sauberer geworden ist, ist unbestritten – Katalysatoren, Partikelfilter, bessere Motorsteuerungen. Doch wenn du die Frage stellst, ob „sauberer“ wirklich „sauber genug“ ist, kommst du schnell an den Punkt, an dem du den gesamten Ansatz hinterfragen musst.

Genau hier setzt das Buch an: Wenn wir ohnehin schon so viel Ingenieurskunst aufbringen, um Schadstoffe nachträglich aus Abgasen herauszufiltern – wäre es dann nicht sinnvoller, gleich einen Antrieb zu nutzen, der **gar keine lokalen Abgase** erzeugt?

1.4 Das leise E-Auto: Verdächtiger oder Lösung?

Zurück an die Kreuzung in der Nacht. Neben dem dröhnenden Diesel rollt plötzlich ein Auto an dir vorbei, das kaum Geräusche macht. Kein Brummen, kein Rasseln, nur ein Summen, das mehr nach Straßenbahn als nach Sportwagen klingt.

Für manche ist genau das der Anfang des Misstrauens:

„Das hört sich nicht nach richtigem Auto an.“

„So leise kann doch nichts kräftig sein.“

„Das kann doch nie alltagstauglich sein.“

Das E-Auto betritt die Bühne dieses Krimis zunächst als **Verdächtiger**: Es wirkt fremd, ungewohnt, wirft Fragen auf. Die Geschichten darüber reichen von „brandgefährlich“ über „schlimmer als jeder Diesel“ bis „ökologisch wertlos, weil der Strom ja sowieso aus Kohle kommt“.

Unser Ermittler macht in diesem Buch etwas, was in der Realität oft fehlt: Er überprüft diese Aussagen. Er stellt dem E-Auto Fragen wie einem Zeugen:

- Wie effizient nutzt du deine Energie?
- Welche Rohstoffe brauchst du wirklich – und in welchen Mengen?
- Wie sieht deine Lebensbilanz aus – von der Produktion bis zum Recycling?
- Welche Emissionen entstehen bei dir vor Ort, welche im Hintergrund?

Dabei wird das E-Auto nicht geschont. Probleme bei der Batterieherstellung, Rohstoffabbau, Netzbelastung – all das kommt auf den Tisch. Aber ebenso kommen die **Stärken** ans Licht: ein Wirkungsgrad, der mehreren Verbrennern gemeinsam überlegen ist, die Möglichkeit, mit erneuerbarem Strom nahezu klimaneutral zu fahren, die Aussicht auf lokale Luft ohne Abgase.

Ob das E-Auto am Ende als **Lösung** gilt, ist keine Glaubensfrage, sondern das Ergebnis dieser Ermittlungen. Es kann sein, dass du zu Beginn dieses Kapitels eher skeptisch bist – und das ist völlig in Ordnung. Ziel ist nicht, dich zu bekehren, sondern dir genug Informationen zu geben, damit du dein eigenes Urteil fällen kannst.

Wie in jedem Krimi kann es sein, dass der anfangs Verdächtige sich als jemand entpuppt, der zwar Fehler hat, aber am Ende eher Teil der Lösung als Teil des Problems ist.

1.5 So liest du diesen Krimi: Indizien, Zeugen, Motive

Zum Schluss dieses ersten Kapitels geht es darum, wie wir gemeinsam weiter vorgehen. Dieses Buch ist kein Lehrbuch, sondern eine **Ermittlungsakte**. Und jedes weitere Kapitel liefert dir einen anderen Baustein:

- **Indizien** sind Zahlen, technische Zusammenhänge, Vergleiche (z.B. kWh vs. Liter).
- **Zeugen** sind Technologien: Verbrenner, Elektromotor, Batterie, Stromnetz, Ladeinfrastruktur.
- **Motive** sind die dahinterliegenden Treiber: Klimaschutz, Gesundheitsfragen, Wirtschaftlichkeit, Industriepolitik.

In manchen Kapiteln tauchen harte Daten auf, in anderen vergleichenden Rechnungen, wieder andere erzählen konkrete Alltagssituationen – vom Familienurlaub mit E-Auto über den Pendleralltag bis zur Lkw-Langstrecke.

Deine Rolle ist dabei nicht passiv. Ich spreche dich direkt an, weil du die Person bist, die am Ende die Informationen bewertet:

- Welches Argument trägt?
- Welches Gefühl bleibt?
- Welche Entscheidungen ziehst du daraus für dich selbst?

Kapitel 1 war unser Einstieg am Tatort: Wir haben den Auspuff markiert, die Luft eingesogen, den Fall benannt und den leisen Gegenpart kennengelernt. Ab Kapitel 2 steigen wir tiefer in die Akte ein: Wir schauen uns an, wie es dazu kam, dass der Verbrennungsmotor so dominant wurde – und warum seine Zeit trotz all seiner Erfolge begrenzt ist.

Wenn du bereit bist, weiter zu ermitteln, blättere um. Die Spurensuche hat gerade erst begonnen.

Kapitel 2 – Der große Wandel: Vom Verbrenner zur Elektromobilität

2.1 Von der Kutsche zum Kolben – und wieder zum Kabel

Stell dir vor, wir spulen den Film der Mobilität zurück. Ganz zurück. Keine Autos, keine Ampeln, kein Stau. Kutschen klappern über Kopfsteinpflaster, gezogen von Pferden, begleitet von Geruch nach Heu, Schweiß – und gelegentlich: Mist. Geschwindigkeit? Gemütlich. Reichweite? Begrenzt auf das, was ein Pferd an einem Tag durchhält.

Dann kommt eine Idee auf, die alles verändert: **Energie aus Maschinen statt aus Muskeln**. Im 19. Jahrhundert experimentieren Tüftler mit Dampfmaschinenfahrzeugen, mit frühen Elektromotoren und mit dem, was später zum Verbrennungsmotor werden soll. Eine Zeit lang ist offen, welcher Antrieb sich durchsetzt.

Was viele heute nicht wissen: Die ersten **Elektroautos** waren zur Jahrhundertwende um 1900 keineswegs Exoten. In New York fuhren elektrische Droschken, in Europa wurden elegante Elektro-Kutschen für die feine Gesellschaft gebaut. Sie waren leise, einfach zu bedienen, stanken nicht – ein Traum. Nur ein Problem: Die Batterien waren schwer, teuer und in Reichweite und Ladezeit stark begrenzt.

Parallel entwickelte sich der **Verbrennungsmotor** rasant. Mit Benzin und später Diesel stand plötzlich ein Treibstoff zur Verfügung, der in einem kleinen Tank enorme Energiemengen speichern konnte. Dazu kamen Erfindungen wie Vergaser, Zündung, Einspritzung, Kupplung, Getriebe. Aus einem wackeligen Versuchsträger wurde ein **zuverlässiges Arbeitstier**.

Der Rest ist Geschichte:

- Straßen wurden für Autos gebaut, nicht für Kutschen.
- Tankstellen wuchsen an jeder Ausfallstraße aus dem Boden.
- Eine riesige Industrie entstand um Motoren, Getriebe, Auspuffanlagen, Öl und Ersatzteile.

Das Elektroauto verschwand in der Nische: zu schwer, zu wenig Reichweite, zu teuer. Der Verbrenner dagegen passte perfekt in eine Welt, die billiges Öl förderte und sich noch keine Gedanken um CO₂ machte.

Doch der Film läuft weiter. Mitte des 20. Jahrhunderts werden erste Warnungen laut: Smog in Städten, Ölkrisen, Klimaforschung. In den 1990ern tauchen wieder **Elektroversuche** auf, in den 2000ern die ersten

Hybridfahrzeuge – etwa der Toyota Prius, der einen Verbrenner mit E-Motor kombiniert. Sie sind die **Vorboten** einer Wiedergeburt.

Der richtige Wendepunkt kommt mit der **Lithium-Ionen-Batterie** und leistungsfähiger Elektronik: Plötzlich sind Akkus leichter, energiedichter, billiger. Jetzt kann ein E-Auto mehrere hundert Kilometer fahren, ohne ein rollendes Bleikraftwerk zu sein.

Die Kutsche wurde vom Verbrenner abgelöst, weil dieser besser in die Zeit passte. Heute sind wir an einem ähnlichen Punkt: Der Verbrenner hat fast alles gegeben, was physikalisch drinnen ist. Der Elektroantrieb dagegen startet erst richtig durch. Die Geschichte wiederholt sich nicht – aber sie reimt sich. Und diesmal könnte das Kabel die Kolben ablösen.

2.2 Politik auf der Anklagebank – wie Gesetze den Wandel antreiben

Technische Entwicklungen allein reichen selten, um die Welt zu verändern. Oft braucht es einen **Druck von außen**, damit sich ein System wirklich bewegt – und dieser Druck heißt im 21. Jahrhundert: Klimapolitik.

Jahrzehntelang war der Deal klar: Auf der Straße zählt Leistung, Reichweite, Preis. Die Abgase verschwinden unsichtbar in die Luft, CO₂ erscheint höchstens in einem Umweltbericht. Doch mit jedem neuen Hitzerekord, jeder Flut, jedem Waldbrand wird offensichtlicher: Das ist kein Randthema mehr, das ist die Bühne.

Die internationale Antwort darauf sind Klimaziele – Paris-Abkommen, EU-Green-Deal, nationale Klimaschutzgesetze. Der Verkehrssektor, der lange als „schwer zu dekarbonisieren“ galt, rückt immer stärker in den Fokus. Was folgt, sind politische Entscheidungen, die sich direkt auf den Antrieb deines Autos auswirken:

- **Strengere CO₂-Flottenwerte** für neue Pkw in der EU: Hersteller müssen den durchschnittlichen Ausstoß ihrer Neuwagen-Flotte drastisch senken. Wer drüber liegt, zahlt hohe Strafen.
- **Feinstaub- und NOx-Grenzwerte** in Städten: Zonen werden eingerichtet, in denen alte Diesel nicht mehr fahren dürfen. Plötzlich ist das „bisschen Auspuff“ eine Frage, ob du überhaupt noch in die Innenstadt kommst.

- Und schließlich das große Symbol: **De-facto-Verbrenner-Aus für neue Pkw ab 2035 in der EU**. Es gibt Ausnahmen und Schlupflöcher für spezielle E-Fuels-Nischen, aber die Richtung ist klar: Neue Autos mit reinem Verbrennungsmotor haben ein Ablaufdatum.

Auf nationaler Ebene kommt hinzu:

- Kaufprämien und Steuererleichterungen für Elektroautos
- Förderprogramme für Ladeinfrastruktur
- Förderungen für Forschungsprojekte zu Batterien, Recycling, Wasserstoff in Nischen

Politik ist in diesem Krimi keine neutrale Kulisse, sondern eine **treibende Kraft**. Sie steckt den Rahmen ab, in dem Hersteller entscheiden müssen: Investieren wir weiter in eine Verbrennertechnologie, die bald regulatorisch gedeckelt ist? Oder verlagern wir unsere Kompetenz in Richtung Elektromobilität und neuer Geschäftsmodelle?

Natürlich ist diese politische Lenkung umstritten. Kritiker sprechen von „Verbotspolitik“, Befürworter von „Klimaschutz, der endlich ernst gemeint ist“. Für unser Buch ist entscheidend:

- Der Wandel zur Elektromobilität ist nicht nur ein Markttrend,
- sondern auch eine **bewusste politische Weichenstellung**,
- die Planbarkeit für Industrie und Infrastruktur schaffen soll.

Ob diese Weichen rechtzeitig gestellt wurden oder zu spät – darüber kann man streiten. Aber für den Ermittler in unserem Fall ist klar: Der Zeitraum, in dem der Verbrenner noch die Hauptrolle spielt, ist politisch begrenzt. Ab jetzt gilt: Alles, was neu gedacht, entwickelt und investiert wird, muss in einer Welt funktionieren, in der **Emissionen einen Preis haben**.

2.3 Markttrends: Wenn Zahlen lauter sprechen als Meinungen

Vielleicht hast du schon Diskussionen erlebt, in denen jemand sagt: „E-Autos setzen sich nie durch, das will doch keiner.“ Interessant ist: Während solche Sätze fallen, passiert auf dem Markt bereits das Gegenteil.

Schauen wir auf die **Neuzulassungen**: In den letzten Jahren ist der Anteil reiner Elektroautos in vielen Ländern quasi explodiert – erst langsam, dann

sehr schnell. Was vor zehn Jahren ein exotisches Nischenprodukt war, ist heute ein fester Bestandteil der Modellpalette.

Die Kurve sieht ungefähr so aus:

- ein flacher Anfang (ein paar Prozent E-Anteil),
- dann ein Knick nach oben,
- und dann eine steile Phase, in der sich der Markt fast jedes Jahr verdoppelt.

In einigen Ländern – etwa Norwegen – ist der Verbrenner beim Neuwagenkauf bereits zur Randerscheinung geworden. Dort sind **über 80–90 %** der neuen Pkw rein elektrisch oder Plug-in-Hybride. In anderen Ländern Europas liegt der E-Anteil im zweistelligen Bereich und steigt weiter. Deutschland hat sich vom Spätzünder zum wichtigen E-Markt entwickelt: Hunderttausende neue E-Autos pro Jahr, ein wachsender Gebrauchtmarkt, immer mehr Modelle in allen Klassen.

Weltweit mischen neue Akteure mit, vor allem aus China. Marken, die vor wenigen Jahren kaum jemand hier kannte, tauchen plötzlich in Tests, auf Messen und in Vergleichslisten auf: BYD, MG (mittlerweile chinesische Marke), NIO, XPeng, Ora. Sie bringen E-Autos in die Kompakt- und Mittelklasse, oft mit aggressiven Preisen und hoher Ausstattung.

Traditionelle Hersteller – auch aus Deutschland – müssen reagieren:

- VW entwickelt die ID.-Familie und plant neue günstigere E-Modelle.
- Mercedes, Audi, BMW elektrifizieren ihre Flotten von unten bis oben.
- Selbst Sportwagenmarken gehen auf E-Antrieb.

Es gibt Rückschläge, Lieferprobleme, Diskussionen über Förderkürzungen – doch der generelle Trend ist deutlich: **Der Anteil elektrischer Neuwagen wächst deutlich schneller als der Verbrenner-Markt.** Während der gesamte Pkw-Markt oft stagniert oder sogar schrumpft, sind die Zuwächse fast ausschließlich im E-Segment.

Warum ist das wichtig? Weil Neuwagen heute bestimmen, wie der Fahrzeugbestand in 10–15 Jahren aussieht. Wenn heute ein großer Teil der neu zugelassenen Autos elektrisch ist, dann wirst du in Zukunft auf der Straße automatisch immer mehr E-Autos sehen. Der Wandel im Straßenbild hinkt der Neuwagenstatistik hinterher, aber er ist programmiert.

Für unser Buch heißt das: Der Fall „Elektromobilität“ ist nicht mehr die Frage, **ob** sie kommt, sondern **wie schnell** und **mit welcher Ausgestaltung**. Die Zahlen sprechen klar – lauter, als es Debatten am Stammtisch vermuten lassen.

2.4 Psychologie des Wandels – warum uns neue Technik nervös macht

Wenn es nur um Zahlen ginge, wäre alles einfach. Aber du und ich sind keine Tabellenkalkulationen. Wir hängen an Gewohnheiten – und Autos sind Emotion pur.

Der Verbrenner ist nicht nur eine Maschine. Er ist Klang, Geruch, ein vertrautes Gefühl unter dem Gasfuß. Für viele steht er für Freiheit, Selbstständigkeit, Erfolg. Vielleicht Erinnerst du dich an dein erstes Auto, an eine bestimmte Reise, an das Geräusch deines Lieblingsmotors. All das steckt in deinem Kopf, nicht im Prospekt.

Wenn jetzt jemand sagt: „Wir steigen um auf Elektro“, hört sich das für viele an wie:

- „Wir nehmen dir etwas weg.“
- „Dein bisheriges Wissen und dein Stolz auf Technik zählen nicht mehr.“
- „Dein Beruf, deine Werkstatt, dein Motor-Know-how sind plötzlich veraltet.“

Kein Wunder, dass das **Widerstand** auslöst. Technologiewechsel rühren immer an Identität. Genau deshalb sind die Diskussionen so emotional: Es geht nicht nur um Reichweite und Ladezeit, sondern um **Zugehörigkeit und Status**.

Hinzu kommt: Neues macht unsicher.

- Wie lade ich?
- Was passiert, wenn der Akku leer ist?
- Kann ich mir das leisten?
- Was, wenn in fünf Jahren „was Besseres“ kommt?

Diese Fragen sind menschlich. Unser Gehirn ist nicht dafür gebaut, ständig radikale Veränderungen cool zu finden. Es liebt Muster, Routine, Planbarkeit.

Jede größere Veränderung – vom Smartphone über Homeoffice bis zur E-Mobilität – hat zunächst Skepsis, Spott und Übertreibungen ausgelöst.

Psychologisch passiert etwas Spannendes:

- Einzelne negative Erfahrungen (oder Geschichten davon) prägen sich stark ein: ein E-Auto an einer kaputten Ladesäule, ein Bericht über einen Batteriebrand, ein Video von einer langen Warteschlange am Schnelllader.
- Hunderte völlig unspektakuläre, erfolgreiche Fahrten mit E-Autos bleiben dagegen unauffällig und werden kaum erzählt.

So entsteht in den Köpfen ein verzerrtes Bild. Medien verstärken das gern, denn Skandale und „Katastrophen“ klicken besser als nüchterne Effizienzdiagramme.

Dieses Kapitel – und das gesamte Buch – nimmt deine Gefühle ernst. Es ist okay, wenn dich der Gedanke an den Abschied vom Verbrenner mulmig macht. Es ist okay, skeptisch zu sein. Unser Ansatz ist: **Wir holen die Emotionen an Bord, ohne die Fakten zu verlassen.**

Am Ende geht es darum, aus Angst eine informierte Entscheidung zu machen. Nicht „Elektro aus Prinzip“, aber auch nicht „Verbrenner aus Gewohnheit“. Sondern: Welche Technik passt objektiv zur Zukunft – und wie schaffen wir es, uns innerlich auf diesen Wandel einzulassen, ohne uns überfahren zu fühlen?

2.5 Die großen Fragen dieses Buches

Nachdem wir nun die Bühne abgesteckt haben – Historie, Politik, Markt, Psychologie – können wir die zentralen Fragen formulieren, die sich wie ein roter Faden durch den Rest dieses Buches ziehen.

Es sind im Kern vier große Themenkomplexe:

1. Effizienz

- Wie viel der eingesetzten Energie landet wirklich als Antrieb auf der Straße?
- Warum ist der Unterschied zwischen Verbrenner und Elektromotor so groß?

- Was bedeutet das für unseren Energieverbrauch als Gesellschaft?

2. Rohstoffe

- Welche Metalle und Materialien stecken in Verbrennern und E-Autos – und in welchen Mengen?
- Was heißt „seltene Erden“ wirklich, und wer braucht sie wofür?
- Wie groß ist das Problem Kobalt & Lithium – und welche Alternativen gibt es?

3. Kosten

- Was kostet dich ein Kilometer im Verbrenner versus im Elektroauto – auf der Landstraße, auf der Autobahn, in der Stadt?
- Wie wirken sich Strompreise, Spritpreise, Wartungskosten und Steuern aus?
- Ab wann lohnen sich Schnellladetarife wie bei Ionity, und für wen?

4. Mythen und Narrative

- Welche Vorurteile über E-Autos halten sich hartnäckig – und was sagen die Fakten dazu?
- Welche Erzählungen über den Verbrenner erklären mehr, als sie erklären?
- Wie beeinflussen Medien, Lobbyarbeit und persönliche Erfahrungen unsere Wahrnehmung?

Im weiteren Verlauf dieses Buches wirst du sehen, wie wir diese Fragen Kapitel für Kapitel aufdröseln. Wir werden rechnen, vergleichen, sezieren und manchmal auch ganz alltägliche Geschichten erzählen.

Kapitel 1 hat dir gezeigt, wo der Tatort liegt. Kapitel 2 hat dir gezeigt, wie wir in diese Situation gekommen sind und warum der Fall jetzt auf dem Tisch liegt.

Ab Kapitel 3 gehen wir mitten hinein in die Beweisaufnahme:

- Zuerst in die **Chemie der Abgase**,
- dann in die **Rohstoffwelt**

- und schließlich tief in die **Physik der Antriebe**.

Wenn du diese Fragen im Hinterkopf behältst, wirst du merken: Jede Zahl, jede Anekdote, jede Technikbeschreibung zählt auf einen dieser vier großen Blöcke ein.

Am Ende sollst du nicht nur wissen, **dass** sich etwas ändert, sondern **warum** – und welche Rolle du dabei spielen möchtest.

TEIL II – DIE DUNKLE SEITE DES VERBRENNERS

Kapitel 3 – Tatort Auspuff im Detail: Die Chemie der Abgase

3.1 Was da eigentlich rauskommt: CO₂, CO, NO_x, Feinstaub & Co.

Stell dir den Motor als Hochtemperatur-Chemielabor vor. In diesem Labor passiert mit jeder Umdrehung dasselbe Ritual: Luft wird angesaugt, mit Kraftstoff vermischt, verdichtet und entzündet. Ein winziges Gewitter im Zylinder, tausende Male pro Minute. Am Ende dieses Vorgangs muss alles irgendwo hin – und genau dort beginnt unser „Tatort Auspuff“.

Chemisch betrachtet passiert etwas scheinbar Einfaches: Kohlenwasserstoffe (also Kraftstoff aus Kohlenstoff und Wasserstoff) reagieren mit Sauerstoff. Die Idealformel aus dem Schulbuch lautet:



In einer perfekten Welt gäbe es also nur **Kohlendioxid (CO₂)** und **Wasserdampf** als Abgase. Nur: Perfekt läuft im echten Motor so gut wie nichts. Zeit, Temperatur, Durchmischung, Lastwechsel – all das sorgt dafür, dass in der Brennkammer ein ziemliches Durcheinander herrscht. Aus der „Idealreaktion“ wird ein Giftcocktail mit mehreren Hauptdarstellern:

- **CO₂ – das Klimagas**
CO₂ ist das Endprodukt einer *vollständigen* Verbrennung. Je effizienter der Motor verbrennt, desto mehr Energie bekommst du – aber eben auch sicher CO₂. Pro Liter Benzin entstehen grob über 2,3 kg CO₂, pro Liter Diesel noch mehr, weil Diesel energiereicher ist. CO₂ ist für uns Menschen hier am Boden nicht direkt giftig, aber es sammelt sich in der Atmosphäre und heizt den Planeten auf. Es ist sozusagen der unsichtbare „Tatort-Hintergrund“, vor dem sich alles andere abspielt.
- **CO – Kohlenmonoxid, der heimliche Killer**
CO entsteht bei *unvollständiger* Verbrennung, also wenn nicht genug Sauerstoff oder Zeit für die vollständige Reaktion bleibt. CO verdrängt im Blut den Sauerstoff, indem es sich an den roten Blutkörperchen festkrallt. Schon geringe Konzentrationen sind gefährlich, hohe Konzentrationen tödlich. Moderne Katalysatoren reduzieren CO stark – aber nicht immer, nicht im Kaltstart, nicht bei Defekten.
- **NO_x – Stickoxide als Reizgas-Trio**
In der Luft steckt Stickstoff (N₂) ohne Ende. Normalerweise ist der

harmlos. Aber bei hohen Temperaturen im Motor verbindet sich Stickstoff mit Sauerstoff zu Stickoxiden (NO , NO_2 – zusammengefasst als NO_x). Diese Gase reizen Atemwege, verursachen Entzündungen und tragen zur Ozonbildung im Sommer bei. Diesel-Motoren produzieren besonders viel NO_x , weshalb sie im Fokus vieler Diskussionen stehen.

- **Feinstaub** **und** **Rußpartikel**
Wo etwas nicht vollständig verbrennt, bleiben Partikel übrig. Bei Dieselmotoren sind es Rußpartikel, winzige schwarze Kohlenstoffkügelchen, oft mit anhaftenden Schadstoffen aus Kraftstoff und Öl. Auch moderne Benzindirekteinspritzer erzeugen Feinstaub, weshalb sie inzwischen Partikelfilter brauchen. Die Partikel werden in Größen wie PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und ultrafeine Partikel eingeteilt – je kleiner, desto tiefer dringen sie in den Körper ein.
- **Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC)**
Das sind die Teile des Kraftstoffs, die im Motor nicht richtig verbrannt wurden. Manche davon sind schlicht lästig, andere sind toxisch oder krebserregend. Sie tragen außerdem zur Ozonbildung in Bodennähe bei.
- **Weitere „Nebendarsteller“**
Je nach Kraftstoff, Ölqualität und Motorzustand finden sich auch **Schwefelverbindungen**, **Aldehyde**, Metallabrieb aus Motor und Abgasanlage und andere Verbindungen im Abgas. Vieles kommt in so kleinen Mengen vor, dass wir es im Alltag nicht bewusst wahrnehmen – aber langfristig summieren sich auch kleine Dosen.

Kurz gesagt: Aus dem unscheinbaren Auspuffrohr kommt kein „Dampf“, sondern ein chemischer Mix. Ein Teil davon ist schlicht Klimagas (CO_2), ein anderer Teil ist direkt gesundheitsschädlich (CO , NO_x , Feinstaub, HC). Und das passiert nicht nur einmal, sondern mit jedem Start, jeder Fahrt, jedem Stau.

3.2 Was das mit deinem Körper macht: Atemwege, Herz, Krebs – die stillen Opfer

Wenn du an Verkehrsunfälle denkst, hast du Bilder im Kopf: Blech, Blaulicht, Airbags. Das sind die **sichtbaren** Opfer des Verkehrs. Aber es gibt eine zweite

Kategorie, die selten Schlagzeilen macht: die Menschen, deren Gesundheit langsam von Abgasen angegriffen wird.

Fangen wir bei den Atemwegen an:

- **Feinstaub** ist so klein, dass er beim Einatmen tief in die Lunge eindringen kann. Größere Partikel bleiben in Nase und Rachen hängen, aber die feinen (PM_{2,5} und kleiner) schaffen es bis in die Lungenbläschen. Dort lösen sie Entzündungen aus, reizen die Schleimhäute und können langfristig das Gewebe schädigen. Ultrafeine Partikel gelangen sogar ins Blut – und werden so im ganzen Körper verteilt.
- **Stickoxide (NO_x)** reizen ebenfalls die Schleimhäute. Menschen mit Asthma oder chronischen Atemwegserkrankungen reagieren besonders empfindlich. NO₂ kann Entzündungen fördern und die Lunge anfälliger für Infektionen machen.

Das allein wäre schon unangenehm genug. Aber der Effekt geht weiter:

- **Herz-Kreislauf-System**
Entzündungen in der Lunge wirken sich über Botenstoffe und das Blut auch auf das Herz-Kreislauf-System aus. Feinstaub und andere Schadstoffe stehen in Verbindung mit erhöhtem Risiko für Herzinfarkte, Schlaganfälle und Herzrhythmusstörungen. Das klingt dramatisch – und ist es auch. Man spricht von „kardiovaskulären“ Folgen der Luftverschmutzung: Das Herz wird mehr gefordert, die Gefäße reagieren empfindlicher, Plaques in den Arterien können instabil werden.
- **Krebserkrankungen**
Dieselruß wurde von der WHO als eindeutig krebserregend eingestuft. In der Dieselabgaswolke stecken polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und andere Substanzen, die die DNA in Zellen schädigen können. Lungenkrebsrisiko und andere Krebsarten können bei langjähriger Belastung steigen.
- **Kinder & empfindliche Gruppen**
Kinder atmen schneller, ihr Körper wächst und reagiert sensibler. Ältere Menschen und Menschen mit Vorerkrankungen sind ebenfalls stärker gefährdet. Wenn eine Schule an einer stark befahrenen Straße

liegt, atmen die Kinder genau dort jeden Tag das ein, was der Verkehr ausspuckt.

Das Gemeine: Die meisten dieser Schäden passieren **leise und schleichend**. Es gibt keinen Alarmton, keinen „Abgas-Schock“, bei dem du sofort umfällst. Es sind Jahre der Belastung, die statistisch messbar werden: mehr Atemwegserkrankungen, mehr Herzinfarkte, mehr Krankenhausaufenthalte, mehr vorzeitige Todesfälle.

In der Statistik sind das „exzessive Mortalität“ oder „erhöhte Inzidenz“. Im echten Leben sind es Menschen, die etwas früher krank werden oder sterben, als sie es müssten. Diese Opfer siehst du nicht im Fernsehen – aber sie sind Teil der Bilanz jedes Liters Kraftstoff, der im Verkehr verbrannt wird.

Der Verbrennungsmotor hat uns Mobilität geschenkt, keine Frage. Aber er hat immer eine Rechnung mitgeschickt, die wir lange ignoriert haben. In Kapitel 3 schauen wir dieser Rechnung direkt ins Gesicht.

3.3 Stadtluft vs. Landluft – wo die Hotspots liegen

Vielleicht kennst du das Gefühl: Du fährst aus einer Großstadt aufs Land und hast den Eindruck, die Luft „riecht anders“. Frischer, klarer, leichter. Das ist nicht nur Einbildung.

Verkehrsemissionen verteilen sich nicht gleichmäßig. Sie konzentrieren sich dort, wo viele Autos nah beieinander fahren – und wo die Abgase nicht gut „verdünnt“ werden. Typische **Hotspots** sind:

- **Straßenschluchten** in Innenstädten Hohe Häuser, schmale Straßen, dichter Verkehr. Hier können sich Abgase zwischen der Bebauung stauen. Wind hat es schwer, alles wegzupusten. Messstationen, die an solchen Straßen stehen, zeigen oft deutlich höhere Werte als Stationen im Park oder am Stadtrand.
- **Kreuzungen und Ampeln** Hier wird stark beschleunigt und gebremst. Beim Anfahren unter Last entstehen besonders viele Emissionen – vor allem bei Dieseln. Wenn sich Stau bildet, laufen Motoren im Leerlauf weiter und pusten permanent NO_x, CO und CO₂ in die Luft.
- **Autobahnabschnitte nahe Wohngebieten** Hier werden zwar Fahrzeuge schnell „durchgeschleust“, aber die hohen Geschwindigkeiten führen zu deutlich mehr Verbrauch und

Emissionen pro Kilometer. Feinstaub und NO_x können in benachbarte Wohngebiete getragen werden.

Auf dem Land ist die Situation meist entspannter:

- weniger Verkehr,
- mehr Vegetation,
- mehr Luftbewegung.

Das heißt aber nicht, dass dort alles unproblematisch ist. Landwirtschaft, Holzheizungen und andere Quellen tragen ebenfalls zur Luftbelastung bei. Aber der Verkehr ist in der Regel nicht so konzentriert wie in der Stadt.

Für dich als Person heißt das:

- Wenn du an einer vielbefahrenen Straße wohnst oder arbeitest, bist du deutlich stärker und häufiger belastet.
- Kinder, die an Hauptstraßen zur Schule gehen, atmen einiges mehr weg als Kinder in ruhigen Wohnvierteln.

Verkehrsplaner und Stadtentwickler versuchen, diese Hotspots zu entschärfen:

- Tempo-30-Zonen, um weniger hart beschleunigen zu müssen.
- Umgehungsstraßen, um Durchgangsverkehr aus Wohngebieten herauszuhalten.
- Umweltzonen und Dieselfahrverbote, um besonders schmutzige Fahrzeuge aus den schlimmsten Bereichen fernzuhalten.

Doch all diese Maßnahmen drehen im Grunde nur an Stellschrauben *innerhalb* des bestehenden Systems. Sie machen den Verbrenner „erträglicher“, aber sie lösen die Grundproblematik nicht: Solange viele Motoren in unmittelbarer Nähe von Menschen Verbrennung betreiben, bleibt die Frage im Raum, ob das im 21. Jahrhundert noch der sinnvollste Ansatz ist.

Genau hier kommt der elektrische Antrieb ins Spiel – vor allem in Städten.

3.4 Filter, Katalysatoren & Chemie-Tricks – was Abgasnachbehandlung kann (und was nicht)

Die Autoindustrie hat in den letzten Jahrzehnten enorm viel Ingenieurskunst in die **Abgasnachbehandlung** gesteckt. Wenn du heute einen modernen Benzin- oder Diesel kaufst, steckt im Abgasstrang mehr High-Tech, als man auf den ersten Blick vermuten würde.

Wichtige Werkzeuge im „Chemielabor Auspuff“ sind:

- **Drei-Wege-Katalysator (Ottomotor)** Er sitzt direkt hinter dem Motor und arbeitet am besten, wenn der Motor im optimalen Luft-Kraftstoff-Verhältnis läuft (stöchiometrisch). Der Drei-Wege-Kat kann gleichzeitig:
 - CO zu CO₂ oxidieren,
 - unverbrannte HC zu CO₂ und H₂O oxidieren,
 - NO_x zu N₂ reduzieren.
In der Theorie werden damit über 90 % der Schadstoffe entfernt – wenn der Kat warm ist und die Bedingungen stimmen.
- **Dieselpartikelfilter (DPF)** Ein feiner Keramikfilter, in dem Rußpartikel hängen bleiben. Regelmäßig wird der Filter automatisch regeneriert: Die Temperatur im Filter wird erhöht, der Ruß verbrennt, der Filter wird wieder frei. Ein funktionierender DPF kann über 95 % der Partikel herausfiltern. Allerdings gilt: Wenn der Filter defekt, manipuliert oder voll ist, steigen die Emissionen sprunghaft an.
- **SCR-Katalysator (Selective Catalytic Reduction)** Vor allem bei modernen Dieseln im Einsatz. Hier wird ein Harnstoff-Wasser-Gemisch (handelsname „AdBlue“) in den Abgasstrom eingespritzt. Im heißen Abgas zerfällt es zu Ammoniak, der im SCR-Kat mit NO_x reagiert und diese zu harmlosem Stickstoff und Wasser reduziert. Auch hier sind Wirkungsgrade von deutlich über 80–90 % möglich – wieder: unter Idealbedingungen.
- **Ottopartikelfilter (OPF)** Da moderne Benzindirekteinspritzer ebenfalls Feinstaub erzeugen, brauchen sie mittlerweile Partikelfilter ähnlich wie Diesel. Dadurch sinken Partikel-Emissionen massiv.

Hört sich beeindruckend an, und das ist es auch. Die Luft ist durch diese Systeme tatsächlich deutlich sauberer geworden als zu Zeiten ungefilterter

Motoren. Aber – und das ist für unseren Krimi entscheidend – diese Technik hat **Grenzen**:

- Sie funktioniert nur gut, wenn alles passt:
 - Der Motor warm ist.
 - Die Sensorik korrekt arbeitet.
 - Keine Teile gealtert, verdreckt oder defekt sind.
- Im **Kaltstart** – also genau dort, wo du morgens losfährst – sind Kat und Filter noch kalt. In diesen ersten Minuten entweicht ein großer Teil der Tages-Emissionen nahezu ungefiltert.
- Im realen Straßenverkehr ist die Belastung oft höher als in Prüfzyklen. Der „Dieselgate“-Skandal hat gezeigt, dass Fahrzeuge auf dem Prüfstand andere Werte liefern als im Alltag. Software-Manipulationen sind ein extremes Beispiel – aber auch ohne Betrug kann der reale Ausstoß deutlich vom Prospektwert abweichen.
- Selbst wenn 90–99 % bestimmter Schadstoffe entfernt werden, bleibt bei Millionen Fahrzeugen immer noch genug übrig, um messbare Auswirkungen auf Luftqualität und Gesundheit zu haben.

Kurz: Abgasnachbehandlung ist wie ein hochentwickeltes Pflaster. Es macht eine Wunde weniger schlimm, aber heilt sie nicht. Und je mehr Fahrzeuge unterwegs sind, desto mehr „Restemissionen“ summieren sich.

In Kapitel 3 wollen wir der Technik ihre Leistung nicht absprechen – im Gegenteil. Aber sie ändert nichts an der Grundlogik: Wir verbrennen weiterhin Kohlenwasserstoffe mitten in der Stadt. Die sauberste Lösung wäre die, bei der wir gar nicht erst filtern müssen.

3.5 Warum „lokal emissionsfrei“ beim E-Auto ein echter Gamechanger ist

Jetzt kommt der Moment, in dem der leise Verdächtige aus Kapitel 1 wieder auftaucht: das Elektroauto.

Wenn du ein Batterie-E-Auto fährst, passiert im Antriebssystem etwas fundamental anderes: Es findet **keine Verbrennung** statt. Kein Kraftstoff, kein Feuer, kein Auspuff. Der Elektromotor wandelt elektrische Energie direkt in Bewegung um. Das bedeutet auf der **lokalen Ebene**:

- kein CO₂ aus dem Auspuff,
- kein NO_x,
- kein CO,
- keine Rußpartikel,
- keine unverbrannten HC.

Die Diskussion verlagert sich damit vom „Auspuff“ zum „Strommix“ – also zur Frage, *woher* der Strom kommt. Natürlich ist es ein Unterschied, ob du mit Kohlestrom oder mit Ökostrom lädst. Aber:

- Die Emissionen entstehen dann **zentral** in Kraftwerken (oder gar nicht, wenn der Strom erneuerbar ist), nicht mitten in der Stadt vor der Schule.
- Kraftwerke haben andere, oft bessere Filtertechniken als ein Auto – und sie stehen nicht auf Augenhöhe mit deinem Kinderwagen.
- Der Strommix wird Jahr für Jahr grüner, weil immer mehr Wind- und Solaranlagen zugebaut werden. Du musst am Auto nichts ändern, damit deine persönliche Bilanz besser wird.

„Lokal emissionsfrei“ heißt konkret: Das Fahrzeug selbst schleudert an deinem Wohnort, an deiner Kita, in deinem Park **kein Abgas** in deine Lunge. Ja, es gibt weiterhin Bremsabrieb und Reifenabrieb – die hat der Verbrenner aber auch. Und dank Rekuperation (Bremsen per Motor) fällt beim E-Auto sogar weniger mechanischer Bremsabrieb an.

Der eigentliche **Gamechanger** ist also: Wir trennen den Ort, an dem Energie bereitgestellt wird, vom Ort, an dem wir uns aufhalten. Und wir schaffen die Möglichkeit, die Energieerzeugung zu dekarbonisieren, ohne jedes einzelne Auto umbauen zu müssen.

Stell dir eine Innenstadt vor, in der tausende Fahrzeuge unterwegs sind – aber keiner von ihnen Abgase ausstößt. Die Luft ist nicht perfekt, aber deutlich besser. Kein Dieselgestank in der Tiefgarage, kein beißendes Gefühl im Hals an der Kreuzung. Kinder, die keine Abgaswolken in Gesichtshöhe haben, wenn sie an der Ampel warten.

Für das Klima ist das nur ein Teil der Geschichte – da müssen wir den gesamten Lebenszyklus betrachten. Aber für die **Luft, die du heute und morgen einatmest**, ist das ein qualitativer Sprung. Eines der stärksten

Argumente für Elektroantriebe ist nicht nur, wie effizient sie mit Energie umgehen, sondern **wo** sie ihre Emissionen haben – nämlich idealerweise gar nicht mehr in deinem direkten Lebensraum.

Die dunkle Seite des Verbrenners ist damit klar ausgeleuchtet: Chemie, Gesundheit, Hotspots, Grenzen der Filtertechnik. Im nächsten Kapitel wechseln wir kurz den Schauplatz: Wir folgen den Spuren der Rohstoffe – sowohl im Verbrenner als auch im Elektroauto. Denn jede Technologie hat nicht nur eine Abgas-, sondern auch eine **Materialbilanz**.

TEIL II – DIE DUNKLE SEITE DES VERBRENNERS

Kapitel 4 – Rohstoffe im Schatten: Seltene Erden und kritische Materialien im Verbrenner

4.1 Was steckt im Verbrenner: Platin, Rhodium, Yttrium, Kobalt & Co.

Wenn du an einen Verbrenner denkst, hast du wahrscheinlich Kolben, Kurbelwelle, Zylinderkopf, vielleicht den Turbolader im Kopf. Grobe Mechanik, Stahl, Aluminium – „ehrliches Metall“. Aber unter der Haube und im Abgasstrang arbeitet eine ganze Sammlung von Spezial-Elementen, von denen du im Alltag kaum etwas mitbekommst.

Fangen wir beim bekanntesten „Schmuckstück“ an: dem **Katalysator**. In einem modernen Benzin- oder Dieselskat stecken winzige Mengen extrem teurer Edelmetalle:

- **Platin**,
- **Palladium**
- und vor allem **Rhodium**.

Sie sind auf einer Wabenstruktur als hauchdünner Belag aufgebracht. Das Gewicht dieser Metalle im Auto ist gering – oft nur einige Gramm –, aber die Bedeutung ist riesig. Ohne sie funktioniert der Kat nicht: Platin und Palladium helfen, Kohlenmonoxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe zu CO₂ und Wasser zu oxidieren, Rhodium reduziert Stickoxide zu harmlosen Stickstoff.

Diese Metalle gehören zu den teuersten Rohstoffen der Welt. Rhodumpreise schwanken teilweise in Regionen, in denen Gold billig wirkt. Abgebaut werden sie vor allem in wenigen Regionen, etwa in Südafrika oder Russland. Jeder Katalysator ist also eine Art global vernetzter Schatz – mit Schattenseiten, zu denen wir gleich noch kommen.

Dann ist da der **Dieselpartikelfilter (DPF)**: Er besteht aus einer speziellen Keramikstruktur, die Ruß einfängt. Auch hier können Edelmetalle aufgebracht sein, um die Regeneration zu erleichtern. Dazu kommen **Additive** im Kraftstoff oder Öl, die bei der Regeneration helfen sollen. Die Zusammensetzung ist Chemie auf hohem Niveau – und alles andere als trivial.

Weniger offensichtlich, aber nicht minder spannend: **Zündkerzen**. Moderne Langzeit-Zündkerzen enthalten oft **Yttrium**, ein Element aus der Gruppe der sogenannten „Seltenen Erden“. Es sorgt dafür, dass die Elektrode stabil bleibt und die Kerze lange sauber zündet. Ohne dieses Spezialdoping wären die Wartungsintervalle kürzer, die Zuverlässigkeit geringer. Du siehst die Zündkerze vielleicht irgendwann beim Service – aber Yttrium als Element tritt nie ins Rampenlicht.

Und dann ist da noch **Kobalt**. Kobalt taucht immer wieder in Zusammenhang mit Batterien auf, aber auch der Verbrenner hat damit zu tun:

- in hochbelasteten Legierungen (z.B. in Ventilsitzen, Werkzeugen für die Motorfertigung),
- in der **Kraftstoffraffinerie**, wo Katalysatoren mit Kobalt und anderen Metallen eingesetzt werden, um Schwefel und andere Verunreinigungen aus Diesel und Benzin herauszuholen.

Zu guter Letzt: **Additive in Öl und Sprit**. Motoröl ist längst kein „reines“ Öl mehr. Es enthält:

- Verschleißschutz-Additive (Zink, Phosphorverbindungen),
- Reinigungsadditive,
- Viskositätsverbesserer,
- Korrosionsschutz,
- Detergentien, die Ablagerungen im Motor lösen.

Auch im Kraftstoff selbst stecken Additive:

- **Antiklopfmittel**,
- Reinigungszusätze für Einspritzdüsen,
- Stabilisatoren gegen Alterung,
- im Diesel Cetanzahlverbesserer, Winteradditive gegen Paraffinausflockung usw.

Jeder Tankvorgang ist also nicht nur „Kohlenwasserstoff rein, CO₂ raus“, sondern das Ende einer langen Kette hochspezialisierter Chemie und Metallurgie. Dein Verbrenner ist – ob du willst oder nicht – ein rollendes Hochtechnologieprodukt, das auf seltene und kritische Metalle angewiesen ist, von denen du an der Zapfsäule nichts siehst.

4.2 Umweltfolgen der Förderung: Wasser, Giftbrühe und Konflikte

Jetzt verlassen wir die vertraute Welt aus Blech und Werkstattboden und reisen an den Anfang der Kette: dorthin, wo Platin, Rhodium, Yttrium, Kobalt & Co. aus dem Boden geholt werden.

Beim **Bergbau** für Edelmetalle und „Seltene Erden“ geht es selten beschaulich zu. Nehmen wir Platin und Rhodium:

- Sie werden oft gemeinsam mit anderen Metallen in großen Tief- oder Tagebauen gewonnen.
- Um ein paar Gramm Rhodium für einen Katalysator zu gewinnen, müssen tonnenweise Gestein abgebaut, zerkleinert, chemisch behandelt und wieder deponiert werden.

Dieser Prozess braucht:

- enorme Mengen **Energie**,
- große Mengen **Wasser**,
- und erzeugt **Abraumhalden** sowie giftige Rückstände.

Das Wasser wird für die Aufbereitung, das Waschen, das Lösen von Metallen benötigt. Nach dem Einsatz ist es oft belastet – mit Schwermetallen, Säuren, Chemikalien. Wenn diese Abwässer nicht sorgfältig behandelt werden (oder wenn es zu Lecks kommt), gelangen sie in Flüsse, Grundwasser, Böden. Die Folge: vergiftete Gewässer, unbrauchbares Trinkwasser, geschädigte Landwirtschaft.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei **Seltenen Erden** wie Yttrium:

- Sie werden häufig in komplexen Lagerstätten mit vielen Begleitmetallen gefunden.
- Um sie zu gewinnen, kommen oft aggressive Chemikalien zum Einsatz, z.B. Säuren, die die Metalle aus dem Gestein lösen.

Das Ergebnis sind riesige Absetzbecken mit schlammigen, teilweise radioaktiven Rückständen. In einigen Regionen Chinas etwa sind solche Becken zum Symbol für die dunkle Seite der Hightech-Industrie geworden: Smartphones, Windräder, Elektro- und Verbrennermotoren profitieren von den Metallen – die Umwelt zahlt den Preis.

Kobalt hat zusätzlich eine soziale Dimension: In Ländern wie der Demokratischen Republik Kongo, wo ein großer Teil der weltweiten Kobaltreserven liegt, gibt es neben industriellen Minen auch Kleinstbergbau (Artisanal Mining). Hier arbeiten Menschen – darunter Berichte zufolge auch Kinder – unter prekären Bedingungen, mit kaum Schutz, für sehr wenig Geld. Instabile Stollen, giftiger Staub und fehlende Sicherheitsstandards machen den Abbau lebensgefährlich.

Auch der „klassische“ Ölsektor ist kein Unschuldscham:

- Ölbohrungen, Pipelines, Tankerunfälle – überall dort, wo Öl gefördert und transportiert wird, drohen Lecks und Katastrophen.
- Im Fracking werden große Mengen Wasser mit Chemikalien in den Boden gepresst, um Öl und Gas zu mobilisieren. Zurück bleiben kontaminierte Flüssigkeiten, deren Entsorgung komplex und teuer ist – wenn sie überhaupt sauber erfolgt.

Dazu kommen **Konflikte um Ressourcen**:

- Die Kontrolle über Öl, Gas und bestimmte Metalle war und ist Auslöser geopolitischer Spannungen, Korruption und Kriege.
- Regionen mit reichem Rohstoffvorkommen bleiben häufig arm, weil Wertschöpfung und Gewinne anderswo abschöpft werden.

Mit jedem Gramm Platin im Katalysator, jedem Liter Diesel im Tank und jedem Tropfen Additiv im Öl hängt dein Verbrenner in einem Netz aus Minen, Raffinerien und Transportrouten, das selten sauber, friedlich und nachhaltig ist. Das heißt nicht, dass jede einzelne Quelle ein Skandal ist – aber es heißt, dass hinter deinem alltäglichen Tankvorgang eine **globale Lieferkette** steht, deren Folgen du in deinem Alltag kaum siehst.

4.3 Der „unsichtbare Rucksack“: Rohstoff-Fußabdruck des Verbrenners

Stell dir vor, jedes Auto würde nicht nur mit seinem Gewicht auf dem Datenblatt kommen, sondern auch mit einem **zweiten Gewicht**: dem „unsichtbaren Rucksack“.

In diesem Rucksack steckt:

- all das Gestein, das bewegt wurde, um Metalle zu gewinnen,
- all das Wasser, das verbraucht und verschmutzt wurde,

- all die Energie, die in Förderung, Transport, Raffination und Herstellung geflossen ist,
- all die Landflächen, die durch Minen, Pipelines, Raffinerien in Anspruch genommen werden.

Für einen Verbrenner ist dieser Rucksack besonders schwer – und zwar gleich aus zwei Gründen:

1. Bau und Ausstattung des Fahrzeugs

- Stahl, Aluminium, Kupfer, Plastik, Gummi – all das kennt das Elektroauto ebenfalls.
- Hinzu kommen die bereits beschriebenen Spezialmetalle im Katalysator, Filter, Legierungen und Additiven.

2. Betrieb über die gesamte Lebensdauer

- Jeder Liter Kraftstoff, den du tankst, braucht eine eigene Förder-, Transport- und Raffineriekette.
- Über 200.000 km kommen da leicht zigtausend Liter Sprit zusammen – jeder mit eigenem Material- und Energieaufwand im Hintergrund.

Das bedeutet: Auch wenn der Verbrenner beim Kauf „nur“ eine feste Menge Metall und Kunststoff mitbringt, wächst sein **Rohstoff- und Energie-Fußabdruck** mit jedem Kilometer. Während du fährst, verbrauchst du permanent ein Produkt, das im Hintergrund immer wieder neu aus dem Boden geholt, aufbereitet, verschifft und verkauft werden muss.

Im Alltag sehen wir davon fast nichts. Wir sehen:

- den Zapfhahn,
- den Preis an der Säule,
- vielleicht noch das Tankstellenschild vor der Autobahnausfahrt.

Wir sehen nicht:

- die Plattform im Meer,
- die Förderanlage in der Wüste,
- das Raffineriegelände am Stadtrand,

- die Minen für Katalysator-Metalle,
- die Terminals und Pipelines, die alles verbinden.

Dieser „unsichtbare Rucksack“ ist einer der Gründe, warum der Verbrenner in ökologischen Bilanzen so schwer wiegt – nicht nur wegen des CO₂ aus dem Auspuff, sondern auch aufgrund der Summation aller vorgelagerten Prozesse.

Beim E-Auto gibt es auch einen Rucksack – vor allem in der Batterieproduktion. Aber der entscheidende Unterschied ist:

- Der Verbrenner trägt seinen Rucksack *auch im Betrieb weiter*, weil Kraftstoff immer wieder neu produziert werden muss.
- Das E-Auto trägt am Anfang einen größeren Rucksack (Produktion der Batterie), der sich dann über die Lebensdauer nicht mehr so stark vergrößert – besonders, wenn der Strom zunehmend erneuerbar wird.

Wenn wir ehrlich vergleichen wollen, müssen wir also beide Rucksäcke anschauen – nicht nur den sichtbaren Teil aus Blech und Plastik. Dieses Kapitel konzentriert sich auf den Rucksack des Verbrenners. Später wirst du sehen, wie der des E-Autos aussieht – und warum dessen Gewicht pro Kilometer oft kleiner ausfällt, als man denkt.

4.4 Vergleich: Was davon sehen wir an der Tankstelle? (Spoiler: fast nichts...)

Stell dir vor, all das, was du in den vorherigen Unterkapiteln über Platin, Rhodium, Yttrium, Kobalt, Bohrschlämme, Abraumhalden, vergiftete Flüsse und trockengelegte Landstriche gehört hast, würde an der Tankstelle ehrlich ausgeschrieben.

Du fährst auf den Hof, stellst dein Auto ab, und an der Preissäule steht nicht nur:

„Super E10 – 1,79 €/l“, sondern darunter kleingedruckt:

- „Enthält fossilen Kohlenwasserstoff, gewonnen aus x Litern Förderwasser“
- „Raffinerieprozess mit Katalysatoren aus Platin/Rhodium“
- „Lange Transportkette über Pipelines und Tanker“
- „CO₂-Fußabdruck pro Liter: ...“

Daneben ein Schild mit Bildern von Ölfeldern, Raffinerie-Fackeln, offenen Tagebauen.

Würdest du dann noch dieselbe emotionale Distanz haben wie heute?

Die Realität sieht anders aus.

Dein Blick an der Tankstelle streift:

- glänzende Markenlogos,
- bunte Spritsorten,
- vielleicht einen Coffee-to-go-Stand mit Croissants,
- Regale mit Motoröl, Duftbäumchen, Scheibenreiniger.

Die **Rohstoffketten** sind unsichtbar. Alles ist auf maximalen Komfort getrimmt:

- Der Tankvorgang dauert fünf Minuten.
- Die Zapfpistole liegt gut in der Hand.
- Der Bildschirm blendet dir treue Punkte und Bonusprogramme ein.

Es ist, als würde ein Restaurant dir nur den schön angerichteten Teller zeigen – und nicht den Schlachthof, die Monokultur-Felder, die Fischfangnetze.

Der Verbrenner ist in unserem Alltag so normal geworden, dass wir die Komplexität dahinter ausblenden. Ölkonzerne investieren Milliarden, damit du *nicht* darüber nachdenkst, wo der Stoff in der Zapfpistole herkommt. Der Sprit soll aussehen wie eine einfache Ware: Preis pro Liter, Oktanzahl, vielleicht noch ein Werbeversprechen wie „Ultimate“, „V-Power“, „mit Reinigungsformel“.

Dass in diesem Liter:

- ein globaler Rohstoffmarkt,
- geopolitische Spannungen,
- Umweltkatastrophen,
- und eine ganze Chemiepalette stecken – das ist nicht Teil der Inszenierung.

Auch die „kleineren“ Rohstoffe bleiben im Dunkeln:

- Platin und Rhodium im Katalysator,

- Yttrium in Zündkerzenlegierungen,
- Kobalt als Additiv in manchen Legierungen oder bei der Raffination,
- verschiedenste Additive in Öl und Kraftstoff, die Verbrennungseigenschaften, Reinigungsleistung und Schmierung verbessern.

Du kaufst all das automatisch mit – aber du **siehst** es nicht. Du denkst höchstens: „Mein Auto fährt gut“, „der Motor läuft rund“, „er hat ordentlich Durchzug“.

Unser Ermittler steht mit dir an der Tanksäule und beobachtet die Szene wie in Zeitlupe:

- Autofahrer, die mit routinierten Bewegungen tanken,
- niemand, der über Herkunft oder ökologische Folgen nachdenkt,
- und eine Infrastruktur, die genau darauf ausgelegt ist: *Nicht fragen, einfach füllen.*

Wenn du ehrlich bist, hast du es lange genauso gemacht. Ich auch. Warum? Weil das System so gebaut wurde. Weil der Preis an der Säule die einzige Zahl ist, die dir wirklich präsentiert wird.

Alles andere liegt als **unsichtbarer Rucksack** im Hintergrund.

Und genau das ist der Punkt dieses Unterkapitels: Der Rohstoff-Fußabdruck des Verbrenners ist enorm – aber in deiner Alltagserfahrung **radikal unsichtbar**.

Wir sehen:

- nicht die Minen,
- nicht die Chemieanlagen,
- nicht die Deponien,
- sondern nur: Liter, Euro, Kilometer.

Doch jedes Mal, wenn du den Griff der Zapfpistole in der Hand hältst, gehören die versteckten Prozesse genauso dazu wie der Sprit im Tank. Du merkst nur nichts davon – und das macht es so schwer, ein Gefühl für die Dimension zu entwickeln.

Das E-Auto betritt hier nicht als Heilsbringer die Bühne, sondern als **Gegenentwurf**, bei dem andere Rohstoffe im Mittelpunkt stehen, andere Probleme – aber auch andere Chancen. Um diese sauber zu betrachten, müssen wir jetzt die Perspektive wechseln: vom unsichtbaren Rucksack des Verbrenners zum noch jungen, sichtbar umstrittenen Rucksack der Elektromobilität.

4.5 Überleitung zum E-Auto: Auch dort Rohstoffe – aber andere und mit anderen Perspektiven

Wenn wir jetzt zum E-Auto übergehen, wäre es verführerisch zu sagen: „Dort ist alles gut, dort gibt es keine Probleme.“

Aber so simpel ist die Welt nicht – und so arbeitet kein ehrlicher Ermittler.

Auch das Elektroauto hat seinen **Rohstoffschatten**:

- Lithium im Akku,
- Nickel, Mangan (je nach Zellchemie),
- Graphit in der Anode,
- möglicherweise Kobalt,
- Neodym & Co. in Permanentmagnet-Motoren,
- Kupfer in Kabeln und Wicklungen,
- Halbleiter in Leistungselektronik und Steuergeräten.

Diese Liste sieht anders aus als beim Verbrenner – aber sie ist genauso real. Und genau hier wird der Vergleich spannend.

Beim Verbrenner hast du:

- einen **kontinuierlichen Rohstoffverbrauch** über die gesamte Lebensdauer. Jeder Kilometer verbrennt frische fossile Energie.
- zusätzlich **Metalle in Auspuffsystemen, Motor und Getriebe**, die zwar nicht verbraucht, aber produziert und irgendwann entsorgt werden müssen.

Beim E-Auto ist das Muster anders:

- einen **relativ hohen Rohstoff-Einsatz zu Beginn** (vor allem für die Batterie),

- dafür im Betrieb keinen Öl- oder Spritnachschieb. Der „Tank“ wird immer wieder mit Strom gefüllt, der nicht aus einer begrenzten Ölquelle stammt, sondern aus einer **Energiequelle, die prinzipiell erneuerbar ist** (Sonne, Wind, Wasser, Geothermie).

Das ändert die Spielregeln.

Stell dir zwei Balken vor:

- Beim Verbrenner steigt der Rohstoffverbrauch **linear** mit jedem Kilometer: Öl, Additive, teilweise AdBlue, Motorölwechsel, verschlissene Abgasanlagen.
- Beim E-Auto hast du einen hohen Balken am Anfang (Produktion, Batterie, Motor) – und dann eine relativ flache Linie im Betrieb: Strom, aber kein Treibstoffabbau mehr.

Dazu kommt ein weiterer Unterschied: Die Materialien im E-Auto – insbesondere in der Batterie – sind **prinzipiell recycelbar**. Noch nicht perfekt, noch nicht 100 %, noch nicht überall wirtschaftlich – aber die Richtung ist klar:

- Metalle wie Nickel, Kobalt, Kupfer, Aluminium lassen sich relativ gut zurückgewinnen.
- Lithium-Recycling wird gerade massiv hochskaliert.
- Zukünftige Zell-Designs werden gezielt so konstruiert, dass sie einfacher zerlegt und wiederverwertet werden können.

Beim Verbrenner kannst du das verbrannte Öl nicht recyceln. Was einmal im Motor verbrannt wurde, ist für immer in der Atmosphäre.

Natürlich ist auch der **Abbau von Lithium, Nickel oder Neodym** mit Umweltauswirkungen verbunden. Es gibt Berichte über Wasserverbrauch in Salzseen, über problematische Arbeitsbedingungen im Kongo, über Umweltverschmutzung in chinesischen Seltene-Erden-Minen. All das muss ernst genommen werden – nicht um E-Autos schlechtzureden, sondern um genau hinzuschauen und es besser zu machen.

Der entscheidende Unterschied ist:

- Beim E-Auto sind diese **Probleme benennbar, messbar und technisch adressierbar** – etwa durch:
 - andere Zellchemien (z.B. LFP ohne Kobalt und Nickel),

- andere Motoren (ohne Neodym),
 - regionale, kontrolliertere Förderung (z.B. Lithium aus europäischen Geothermie-Projekten),
 - Recycling und Kreislaufwirtschaft.
- Beim Verbrenner hingegen hängt die ganze Logik an einem Rohstoff, der **prinzipiell immer verbrannt** wird und dabei CO₂ freisetzt. Selbst wenn du das Öl „sauber“ förderst, bleibt der Klimaschaden jedes einzelnen Liters unvermeidbar.

In unserem Krimi heißt das:

- Beide Systeme haben eine **Rohstoffakte** in ihrem Dossier.
- Die des Verbrenners ist alt, breit, gewaltig – aber erstaunlich unsichtbar im Alltag.
- Die des E-Autos ist jünger, kleiner, aber sehr präsent in der Diskussion, weil sie neu ist und unter dem Brennglas der Öffentlichkeit steht.

Das bietet eine Chance:
Wir können aus den Fehlern des fossilen Zeitalters lernen und beim Aufbau der Elektromobilität von Anfang an mehr Transparenz, mehr Recycling, mehr Fairness in den Lieferketten einfordern.

Im nächsten Teil des Buches wechseln wir die Perspektive: Wir gehen hinein in die **Labore der Batterietechnik**, wir schauen uns an, wie Elektromotoren funktionieren,
und wir rechnen nach, was Effizienz wirklich bedeutet, wenn Strom statt Sprit im Spiel ist.

Du wirst sehen: Der Rohstoffschatten verschwindet nie ganz – aber die Art, wie wir mit ihm umgehen, kann sich grundlegend ändern. Und genau darin liegt die eigentliche Chance der Elektromobilität.

Kapitel 5 – Energieverschwendung mit Ansage: Der Wirkungsgrad des Verbrenners

5.1 Thermodynamische Grundlagen: Warum ein Verbrenner so viel Energie verheizt

Bevor wir uns in Zahlen stürzen, lohnt sich ein Blick auf das „Warum“ dahinter. Warum ist ein Verbrennungsmotor eigentlich so verschwenderisch? Warum liest du überall von Wirkungsgraden um 20–30 % im Pkw, obwohl doch im Tank scheinbar „so viel Power“ steckt?

Stell dir den Motor als Wärmekraftmaschine vor. Sein Grundprinzip:

1. Kraftstoff wird eingespritzt und mit Luft gemischt.
2. Das Gemisch wird verdichtet.
3. Es wird gezündet – die Verbrennung erzeugt **heiße Gase** mit hohem Druck.
4. Diese heißen Gase drücken auf den Kolben – das ist der Moment, in dem mechanische Arbeit entsteht.

Thermodynamisch betrachtet ist der Motor eine Maschine, die **Wärme** (aus der Verbrennung) in **mechanische Arbeit** umwandelt. Und hier schlägt die Thermodynamik gnadenlos zu: Es gibt eine **obere Grenze**, wie gut so eine Maschine das überhaupt kann. Diese Grenze heißt „Carnot-Wirkungsgrad“. Sie hängt im Wesentlichen vom Temperaturunterschied zwischen der heißen Seite (Verbrennung) und der kalten Seite (Umgebung) ab.

Je höher die Verbrennungstemperatur und je niedriger die Umgebungstemperatur, desto besser könnte der theoretische Wirkungsgrad sein. Aber:

- Die Bauteile müssen das aushalten.
- Die Schmierung darf nicht zusammenbrechen.
- Die Materialien dürfen nicht schmelzen oder reißen.

Deshalb wird in einem realen Motor bei Weitem nicht die maximale Temperatur gefahren, die physikalisch denkbar wäre. Man fährt einen Kompromiss aus Leistung, Haltbarkeit, Abgasqualität, Kosten.

Und das ist nur der Anfang der Verlustkette:

- **Abgasverluste**

Ein großer Teil der Wärme verschwindet direkt mit den heißen Abgasen durch den Auspuff. Das merkst du sofort, wenn du hinter einem Auto stehst: Der Auspuff ist warm bis heiß – das ist „verbratene“ Energie, die nie bei den Rädern ankommt.

- **Kühlwasserverluste**

Der Motorblock muss gekühlt werden, denn Verbrennung bei hohen Drücken und Temperaturen erhitzt Metall und Öl. Der Kühler vorne im Auto bläst diese Wärme an die Umgebungsluft ab. Praktisch: Der Motor überhitzt nicht. Energetisch gesehen: Ein weiterer großer Verlustposten.

- **Reibungsverluste**

Kolben in Zylindern, Kurbelwellenlager, Ventiltriebe, Getriebe, Pumpen – alles reibt, alles braucht Energie, um sich überhaupt zu bewegen. Ein Teil dieser Energie wird wieder in Wärme umgewandelt.

- **Nebenaggregate**

Lichtmaschine, Wasserpumpe, Servopumpe (bei älteren Fahrzeugen), Klimakompressor – sie alle „klauen“ dem Motor zusätzliche Leistung.

- **Teillastverluste**

Besonders heimtückisch: Ein Verbrennungsmotor arbeitet nur in einem kleinen Bereich wirklich effizient. Im Alltag fährt man aber selten genau in diesem Bereich. Viel Stadtverkehr, Staus, Stop-and-Go sowie langsames Dahinrollen bedeuten: Der Motor läuft in Teillast – und dort ist sein Wirkungsgrad oft deutlich schlechter als unter Volllast.

Unterm

Strich:

Nur ein kleiner Teil der im Kraftstoff steckenden chemischen Energie wird in mechanische Energie am Rad umgewandelt. Beim Pkw sind es im Alltag meist **20–30 %**, der Rest ist **Abwärme** und diverse Verluste. Moderne Motoren sind im Bestpunkt (z.B. bei bestimmten Drehzahlen/Lasten) besser, aber genau dort fährst du selten dauerhaft.

Die Thermodynamik ist hier nicht „gemein“, sondern neutral. Sie stellt Bedingungen: „Wenn du mit Wärme arbeitest, kannst du nie 100 % gewinnen.“ Der Verbrenner ist an diese Regeln gebunden. Ein Elektromotor spielt in einer anderen Liga, weil er **nicht** aus Wärme, sondern direkt aus Strom arbeitet – aber das ist das Thema der nächsten Teile des Buches.

Jetzt schauen wir uns erst einmal an, **wie viel Energie** überhaupt in einem Liter Sprit steckt – und wie viel davon auf der Straße verschwindet.

5.2 Liter Benzin/Diesel in kWh: 1 Liter = x kWh, aber nur ~20–30 % kommen an den Rädern an

Ein großer Trick in Diskussionen über Effizienz ist die Wahl der Einheit. Solange wir in „Litern pro 100 km“ denken, bleibt vieles abstrakt. Spannend wird es, wenn wir Kraftstoff mit derselben Einheit betrachten wie Strom: **Kilowattstunden (kWh)**.

Eine kWh ist die Energiemenge, die ein Gerät mit 1 kW Leistung in einer Stunde umsetzt. Dein Wasserkocher, eine kleine Heizung, eine elektrische Kochplatte – alle arbeiten in diesem Bereich. Ein moderner Haushaltskühlschrank braucht z.B. vielleicht 0,3–1 kWh am Tag.

Und dein Auto?

Schauen wir auf den Energiegehalt der Kraftstoffe (gerundet, je nach Quelle leicht unterschiedlich):

- 1 Liter **Benzin** \approx **8,8–9,0 kWh** chemische Energie
- 1 Liter **Diesel** \approx **9,7–10,0 kWh** chemische Energie

Nehmen wir zur Einfachheit:

- Benzin: **9 kWh pro Liter**
- Diesel: **10 kWh pro Liter**

Wenn dein Auto also 6 l Benzin auf 100 km verbraucht, stecken darin $6 \times 9 =$ **54 kWh** Energie. Bei 8 l/100 km wären es $8 \times 9 =$ **72 kWh**.

Beim Diesel mit z.B. 5 l/100 km wären es $5 \times 10 =$ **50 kWh**, bei 7 l/100 km schon 70 kWh.

Jetzt kommt der Wirkungsgrad ins Spiel: Nehmen wir einen **typischen Pkw** mit einem **realen Gesamtwirkungsgrad** von etwa **25 %** in Alltagsbedingungen (20–30 % ist eine übliche Spanne, wir wählen die Mitte).

Das heißt:

- Von den 100 % Energie im Kraftstoff werden nur 25 % in Vortrieb umgesetzt.

75 % werden als Wärme im Motor, im Auspuff, im Kühlsystem, als Reibungsverluste etc. „verheizt“.

Rechnen wir das um:

Beispiel 54 kWh (6 l Benzin):

- 25 % davon → **13,5 kWh** landen als tatsächliche Antriebsenergie an den Rädern.
- 75 % davon → **40,5 kWh** gehen verloren (Abwärme, Verluste).

Ein Elektroauto, das z.B. 15–20 kWh/100 km verbraucht, setzt davon in seinem Antriebsstrang (Batterie → Motor → Rad) etwa 70–90 % in Bewegung um. Das heißt:

- von 20 kWh Strom kommen z.B. 15–18 kWh an den Rädern an,
- nur 2–5 kWh gehen als Verluste weg.

Vergleich:

- Verbrenner mit 54 kWh im Tank: 13,5 kWh Vortrieb, 40,5 kWh Verlust.
- E-Auto mit 20 kWh im Akku: vielleicht 15–18 kWh Vortrieb, 2–5 kWh Verlust.

Oder anders formuliert: Ein klassischer Pkw verbrennt pro 100 km locker die **Energie eines gut gefüllten Heim-Akkus**, aber nutzt davon nur einen Bruchteil tatsächlich.

Wenn du das einmal verstanden hast, wirkt „6 Liter sind doch recht sparsam“ plötzlich anders. Der „sparsame“ Verbrenner ist im Vergleich zum E-Antrieb immer noch ein ziemlicher Verschwender – nur hat man es uns nie in kWh erklärt, sondern in Litern, die wir emotional anders wahrnehmen.

Im nächsten Unterkapitel legen wir konkrete Zahlen für 6–8 l/100 km auf den Tisch und schauen exakt, wie viele kWh im Auspuff enden.

5.3 Beispielrechnung Pkw: 6–8 l/100 km – wie viele kWh gehen real in die Luft?

Nehmen wir drei typische Benzin-Verbrauchswerte für einen Pkw auf der Straße:

- 6 l/100 km (sehr sparsam für viele Fahrzeuge)

- 7 l/100 km (mittlerer Wert für Kompaktklasse / kleinere SUVs)

8 l/100 km (größere oder schneller bewegte Autos, z.B. auf Autobahn)

Wir setzen dabei den Energiegehalt pro Liter Benzin mit **9 kWh** an.

Fall 1: 6 l/100 km

- Chemische Energie: $6 \times 9 \text{ kWh} = \mathbf{54 \text{ kWh}}$
- Davon bei 25 % Wirkungsgrad $\rightarrow 0,25 \times 54 = \mathbf{13,5 \text{ kWh Vortrieb}}$
- Verluste: $54 - 13,5 = \mathbf{40,5 \text{ kWh Verlust}}$

Fall 2: 7 l/100 km

- Chemische Energie: $7 \times 9 = \mathbf{63 \text{ kWh}}$
- Vortrieb: $0,25 \times 63 = \mathbf{15,75 \text{ kWh}}$
- Verluste: $63 - 15,75 = \mathbf{47,25 \text{ kWh}}$

Fall 3: 8 l/100 km

- Chemische Energie: $8 \times 9 = \mathbf{72 \text{ kWh}}$
- Vortrieb: $0,25 \times 72 = \mathbf{18 \text{ kWh}}$
- Verluste: $72 - 18 = \mathbf{54 \text{ kWh}}$

Jetzt stellen wir diese Zahlen einem Elektroauto gegenüber, das z.B. **18 kWh/100 km** aus der Batterie benötigt (viele aktuelle Mittelklasse-E-Autos liegen real irgendwo zwischen 15 und 20 kWh/100 km).

Nehmen wir an, der E-Antrieb hat – inklusive Lade- und Umwandlungsverlusten – einen Gesamtwirkungsgrad von **80 %** (von der Steckdose bis zum Rad).

Dann gilt:

- Eingespeiste Energie: 18 kWh
- Vortrieb: $0,8 \times 18 = \mathbf{14,4 \text{ kWh}}$
- Verluste (Wärme, Batterieverluste, Umrichter, Motorwärme): 3,6 kWh

Vergleich mit dem 6-l-Benziner:

- 6 l-Benziner:
 - 54 kWh im Tank

- davon 13,5 kWh Vortrieb
- 40,5 kWh als Verlust
- E-Auto:
 - 18 kWh im Akku
 - davon 14,4 kWh Vortrieb
 - 3,6 kWh Verlust

Für **fast gleiche Vortriebsenergie** (~13,5 vs. 14,4 kWh) verbraucht der Verbrenner **54 kWh** chemische Energie, das E-Auto **18 kWh** elektrische Energie.

Damit verbraucht der Verbrenner in diesem Beispiel **dreimal so viel Energie** wie das Elektroauto für dieselbe Strecke.

Noch plastischer:
 Die **40–50 kWh, die als Verlust beim Verbrenner weggehen**, entsprechen etwa:

- dem täglichen Stromverbrauch eines ganzen Haushalts,
- der Energie, mit der du ein E-Auto 200–250 km fahren könntest,
- oder dem, was eine 5-kW-Heizung in 8–10 Stunden an Wärme in dein Haus pumpen würde.

Und all das verpufft in die Luft – im wahrsten Sinne des Wortes.

Hinzu kommt:

- Bei jeder Abbremsung geht im Verbrenner die Bewegungsenergie als Wärme in den Bremsen verloren.
- Beim E-Auto wird ein großer Teil dieser Energie durch Rekuperation zurück in die Batterie gespeist.

Wenn du also im Stadtverkehr ständig verzögerst und wieder beschleunigst, verstärkt sich der Effizienzvorteil des E-Autos noch weiter. Der Verbrenner ist dort besonders schlecht, wo du ihn am häufigsten nutzt: im Stop-and-Go.

Der Unterschied ist so fundamental, dass man sich fragen muss, warum er in der öffentlichen Diskussion so selten klar ausgesprochen wird. Ein Grund: Wir sind es gewohnt, über „Liter“ zu sprechen – und nicht über kWh. In

diesem Kapitel wollten wir genau das ändern: Damit du **geföhlt** verstehst, was dein Auto tatsächlich an Energie durch den Auspuff jagt.

Im nächsten Abschnitt drehen wir das Ganze auf Schwerlast: Lkw. Denn dort sind die Zahlen noch einmal eine ganz andere Hausnummer.

5.4 Beispielrechnung Lkw: 30–35 l/100 km – Großverbraucher mit großem Schatten

Pkw sind die sichtbaren Alltagsbegleiter. Aber die wahren „Energie-Schergewichte“ auf der Straße sind die **Lastwagen**. Sie bringen uns Waren, Lebensmittel, Baumaterial, Pakete – unser gesamter Konsum hängt an ihnen. Und sie sind entsprechend große Energieverbraucher.

Typische Verbrauchswerte moderner Fernverkehrs-Sattelzüge liegen – je nach Gewicht, Topografie und Fahrweise – irgendwo zwischen **25 und 35 Litern Diesel pro 100 km**, oft hört man Werte um 30–33 l/100 km als Richtgröße.

Wir rechnen mit **30 und 35 l/100 km**, Energiegehalt Diesel $\approx 10 \text{ kWh/l}$.

Fall 1: 30 l/100 km

- Chemische Energie: $30 \times 10 \text{ kWh} = \mathbf{300 \text{ kWh}}$
- Ein moderner Lkw-Diesel arbeitet effizienter als ein Pkw-Motor. Im Fernverkehr sind **Wirkungsgrade um 40–45 %** im Bestpunkt möglich. Im realen Schnitt liegen wir vielleicht bei **40 %**.

Dann gilt:

- Vortrieb: $0,4 \times 300 = \mathbf{120 \text{ kWh}}$
- Verluste: $300 - 120 = \mathbf{180 \text{ kWh}}$

Fall 2: 35 l/100 km

- Chemische Energie: $35 \times 10 = \mathbf{350 \text{ kWh}}$
- Vortrieb bei 40 %: $0,4 \times 350 = \mathbf{140 \text{ kWh}}$
- Verluste: $350 - 140 = \mathbf{210 \text{ kWh}}$

Das sind gigantische Zahlen. Pro 100 km:

- Ein Lkw „verheizt“ **180–210 kWh** als Abwärme und Verluste.

- Das reicht, um mehrere Einfamilienhäuser einen ganzen Tag mit Strom zu versorgen – oder ein E-Auto rund 900–1.000 km fahren zu lassen, wenn wir 20 kWh/100 km annehmen.

Setzen wir das in Relation zu einem hypothetischen Elektro-Lkw: Feldtests mit Fahrzeugen wie dem Tesla Semi oder anderen E-Lkw Konzepten deuten Verbräuche von grob **1,0–1,5 kWh/km** an, also **100–150 kWh/100 km**, je nach Beladung und Strecke.

Wenn wir von **120 kWh/100 km** ausgehen, sieht die Rechnung so aus:

- Diesel-Lkw (30 l/100 km):
 - 300 kWh chemisch
 - 120 kWh Vortrieb
 - 180 kWh Verlust
- E-Lkw (120 kWh/100 km):
 - 120 kWh elektrisch
 - mit angenommen 80 % Gesamtwirkungsgrad → 96 kWh Vortrieb
 - 24 kWh Verlust

Für ähnliche Transportleistung verbraucht der Diesel-Lkw also **mehr als doppelt so viel Energie**, von der zudem ein großer Teil als Wärme verloren geht. Der E-Lkw nutzt weniger Gesamtenergie und wandelt sie effizienter in Bewegung um.

Natürlich kommen beim E-Lkw andere Herausforderungen dazu:

- Batteriegewicht,
- Ladezeiten und -infrastruktur,
- Anschaffungskosten,
- Routenplanung.

Aber aus Sicht der **reinen Energiemenge** ist der Unterschied klar: Der Diesel-Lkw ist ein rollender, heißer Ofen mit Nebenprodukt „Transport“ – das E-Fahrzeug ist ein vergleichsweise sparsamer Energienutzer.

Wenn du jetzt die Gesamtzahl der Lkw-km pro Jahr in einem Land nimmst und mit diesen 300–350 kWh/100 km multiplizierst, bekommst du eine

Vorstellung davon, wie viel Energie im Schwerverkehr verbrannt wird. Ein gewaltiger Hebel – und ein gewaltiger „Schatten“ in Form von Emissionen.

Hier wird deutlich, warum Verkehrspolitik und Klimastrategien sich nicht nur auf Pkw konzentrieren, sondern zunehmend auch auf **Schwerlastverkehr**. Ein effizienterer Antrieb dort wirkt wie eine „Großsanierung“ im Energiesystem.

5.5 Fazit: Warum Effizienz kein „Nice-to-have“ ist, sondern die zentrale Stellschraube

Nach all diesen Zahlen kannst du dich leicht fragen: „Okay, und jetzt? Was bringt mir diese kWh-Rechnerei im Alltag?“

Die kurze Antwort: **Effizienz entscheidet darüber, wie viel Energie wir als Gesellschaft brauchen – und wie teuer, dreckig oder sauber diese Energie sein muss.**

Jahrzehntelang war Effizienz beim Auto eher ein Nebenargument. Klar, Verbrauchswerte wurden beworben, aber im Marketing stand oft Leistung, Beschleunigung, Optik im Mittelpunkt. Wer effizient sein wollte, galt schnell als spaßbefreit.

Doch in einer Welt, in der:

- Energie ihren Preis hat (finanziell und ökologisch),
- CO₂-Budgets begrenzt sind,
- Rohstoffe nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen, wird Effizienz von der Nebensache zur **Kernfrage**.

Wenn ein Antrieb (Elektromotor) das Gleiche leisten kann wie ein anderer (Verbrenner), aber dafür **nur ein Drittel oder die Hälfte der Energie** benötigt, dann ist das kein Detail – es ist ein massiver Unterschied:

- Weniger Energiebedarf heißt: Weniger Kraftwerke, weniger Windräder, weniger Solaranlagen nötig, um denselben Verkehr aufrechtzuerhalten.
- Weniger Energiebedarf heißt: Weniger importierte fossile Rohstoffe, mehr Unabhängigkeit.

- Weniger Energiebedarf heißt: Geringere laufende Kosten für jeden Einzelnen.

Der Verbrenner ist technisch ausgereizt. Ingenieurinnen und Ingenieure haben in den letzten Jahrzehnten alles herausgeholt, was möglich war:

- Direkteinspritzung,
- Turboaufladung,
- variable Ventilsteuerung,
- komplexe Abgasnachbehandlung.

Ein moderner Verbrenner ist ein Meisterwerk – aber ein Meisterwerk innerhalb einer **ineffizienten Grundarchitektur**. Du kannst ein Holzfeuer so sauber und clever gestalten, wie du willst – am Ende wirst du nie mehr als einen bestimmten Teil der im Holz steckenden Energie nutzen.

Der Elektromotor startet auf einem ganz anderen Effizienzniveau. Jeder Fortschritt dort kommt **oben drauf**, nicht gegen eine harte physikalische Grenze an. Dazu kommt:

- Rekuperation,
- geringere Leerlaufverluste,
- weniger mechanische Verschleißteile.

Effizienz ist nicht langweilig, Effizienz ist **Macht**:

- Macht, mit weniger Energie mehr zu bewegen.
- Macht, die Rechnung für unseren Lebensstil kleiner zu machen.
- Macht, den Druck auf Klima, Umwelt und Ressourcen zu senken.

In diesem Kapitel haben wir gezeigt, wie dramatisch der Unterschied im Energieeinsatz zwischen Verbrenner und E-Antrieb ist – beim Pkw wie beim Lkw.

Im weiteren Verlauf des Buches wirst du sehen, wie diese Effizienz im Zusammenspiel mit:

- Batterietechnik,
- Rohstoffthemen,
- Kosten pro Kilometer,

- und politischen Rahmenbedingungen den Ausgang unseres „Falls“ bestimmt.

Wenn du das nächste Mal an einer Tankstelle stehst oder einen Lkw an dir vorbeidonnern siehst, kannst du dir vorstellen, wie viele kWh gerade als warme Luft in die Umgebung gehen.

Effizienz ist damit kein „Nice-to-have“ mehr, das man in einer Öko-Ecke ablegt.

Sie ist die **zentrale Stellschraube**, an der entscheidet sich, ob wir denselben Mobilitätskomfort künftig mit deutlich weniger Energie – und deutlich weniger Schaden – erreichen können.

Und genau deshalb spielt der Elektromotor in den kommenden Kapiteln eine Hauptrolle.

TEIL III – DER LEISE KONTRAHENT: ELEKTROTECHNIK IM DETAIL

Kapitel 6 – Das Herz der E-Mobilität: Batteriegeschichte und -technologien

6.1 Historischer Überblick: Bleiakku, NiCd, NiMH – frühe Elektromobilität und Hybrid-Pioniere

Unser Ermittler steigt eine staubige Kellertreppe hinab – im übertragenen Sinn ist das der **Batteriekeller der Geschichte**. Unten stehen Regale voller alter Speichertechnologien: schwer, klobig, manchmal giftig, aber jede davon ist ein Baustein auf dem Weg zur heutigen E-Mobilität.

Ganz hinten im Regal steht der Bleiakku. 1859 erfindet der französische Physiker Gaston Planté den ersten wiederaufladbaren Akku – Bleiplatten in Schwefelsäure, schwer wie ein Felsblock, aber zum ersten Mal kann elektrische Energie mehrfach be- und entladen werden.[Wikipedia+1](#) Damit beginnt die Ära der Akkumulatoren. Energie kann nicht nur erzeugt, sondern auch „gespeichert und mitgenommen“ werden.

Der Bleiakku hat drei Eigenschaften, die ihn bis heute im Auto halten:

- Er ist **billig**,
- er kann **hohe Ströme** liefern (wichtig für den Anlasser des Verbrenners),
- er ist **robust**, solange man ihn nicht tiefentlädt.

Seine Schwäche: extrem geringe **Energiedichte** – wenig Energie pro Kilogramm. Für ein Auto, das mehrere hundert Kilometer elektrisch fahren soll, ist er ungeeignet. Ein E-Auto mit Bleiakku wäre ein fahrender Bleiblock.

In den späten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts tauchen neue Kandidaten auf: **Nickel-Cadmium (NiCd)** und **Nickel-Metallhydrid (NiMH)**.

- **NiCd**-Akkus sind relativ zyklensfest und können hohe Ströme liefern. Sie werden in Werkzeugen, Notstromsystemen, alten Handys und auch in einigen frühen E-Fahrzeug-Prototypen eingesetzt. Doch Cadmium ist hochgiftig, schwer zu recyceln und wird in der EU später

stark eingeschränkt – als Massenzlösung für Autos ist das keine gute Basis.

- **NiMH** bringt einen großen Sprung: deutlich höhere Energiedichte als Blei, ohne das problematische Cadmium. Genau diese Technologie nutzen die frühen **Hybrid-Pioniere**. Die zweite Generation des Toyota Prius (ab 2004) trägt ein NiMH-Pack von etwa 1,3 kWh an Bord – klein im Vergleich zu heutigen EV-Batterien, aber genial eingesetzt: in schmaler Ladefenster-Nutzung, dafür mit sehr vielen Lade-/Entladezyklen über die gesamte Lebensdauer des Autos. [Battery Design+1](#)

Der Prius und andere frühe Hybride zeigen etwas Wichtiges:

Man braucht nicht gleich eine riesige Batterie, um Effizienzgewinne zu erzielen – schon eine kleine, zyklensichere Batterie kann Bremsenergie zurückholen und den Verbrenner entlasten.

Parallel dazu gab es immer wieder Versuche wirklich elektrischer Autos mit Blei- oder NiMH-Akkus (z.B. GM EV1, verschiedene Kleinserien in den 1990ern). Aber Reichweite, Gewicht und Kosten waren Stolpersteine. E-Mobilität blieb exotisch – ein technisches Experiment, kein Massenmarkt.

Der Ermittler notiert in seiner Akte:

- Bleiakku: gut für **Startbatterien**, schlecht für Langstrecken-E-Autos.
- NiCd: technisch interessant, ökologisch problematisch.
- NiMH: erster **seriöser Kandidat** für Automobilantriebe, aber zu wenig Energiedichte für reine E-Autos; ideal für Hybride.

Der rote Faden: Lange Zeit fehlte der **eine Akkutyp**, der leicht genug, energiedicht genug und bezahlbar genug war, um das E-Auto aus der Nische zu holen. Dieser Gamechanger taucht erst mit der Lithium-Ionen-Revolution auf – und die beginnt nicht im Auto, sondern in deinem Rucksack: im Laptop, in der Kamera, später im Smartphone.

6.2 Die Lithium-Ionen-Revolution: Aufbau, Zellchemie und BMS

Wenn du heute an „Akku“ denkst, denkst du fast automatisch an **Lithium-Ionen**. Diese Technologie hat zuerst den Walkman, dann das Notebook und schließlich das Smartphone befreit – und ist danach ins Auto eingezogen.

Lithium-Ionen-Zellen bestehen im Kern aus vier Hauptkomponenten:

- **Anode** (meist Graphit),
- **Kathode** (eine Lithium-Metall-Oxid-Verbindung),
- **flüssiger Elektrolyt** (organische Lösung mit Lithiumsalz),
- **Separator** (dünne, poröse Folie, die Kurzschlüsse verhindert, aber Ionen durchlässt).

Beim Laden bewegen sich Lithium-Ionen von der Kathode in die Anode, beim Entladen zurück – dabei fließt Strom im äußeren Kreis.

Das große Plus: Lithium ist ein sehr leichtes Element, und Li-Ion-Chemien haben eine **hohe Energiedichte**. Genau das, was E-Autos brauchen.

Für Autos haben sich einige Haupt-Chemien herausgebildet:[McKinsey & Company+1](#)

- **NMC (Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid)** Mischverhältnis von Nickel, Mangan und Kobalt. NMC erreicht hohe Energiedichten, ist also gut für lange Reichweiten. Varianten wie NMC 622 oder NMC 811 bezeichnen das Verhältnis der Metalle (z.B. 8 Teile Nickel, 1 Teil Mangan, 1 Teil Kobalt).
- **NCA (Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid)** Ähnlich wie NMC, aber mit Aluminium als stabilisierendem Bestandteil. Ebenfalls hohe Energiedichte, u.a. in einigen Tesla-Modellen früherer Generation eingesetzt.
- **LFP (Lithium-Eisenphosphat)** Eine komplett andere Kathode: Eisen und Phosphat statt Nickel und Kobalt. LFP ist etwas „voluminöser“ (geringere Energiedichte), dafür günstiger, langlebiger und thermisch sehr stabil.[Wikipedia+1](#)

Laut IEA Global EV Outlook 2023 lag der Marktanteil von **NMC**-Batterien 2022 bei ca. 60 %, **LFP** bei knapp 30 % und **NCA** bei rund 8 % – mit stark wachsendem LFP-Anteil, insbesondere durch chinesische Hersteller.[IEA+1](#)

Damit der ganze Pack im Auto nicht nur läuft, sondern auch **lange lebt und sicher bleibt**, braucht es das unsichtbare Gehirn: das **Battery Management System (BMS)**.

Das BMS überwacht:

- Spannung jeder Zelle/Zellgruppe,
- Temperatur an verschiedenen Stellen,
- Strom (Lade- und Entladeströme),
- Ladezustand (State of Charge, SoC),
- Gesundheitszustand (State of Health, SoH).

Es sorgt dafür, dass:

- keine Zelle überladen oder zu tief entladen wird,
- Zellen untereinander ausgeglichen (balanciert) werden,
- bei zu hoher Temperatur Leistung reduziert oder die Ladung gebremst wird,
- im Fehlerfall das System abschaltet, bevor es kritisch wird.

Man kann sich das BMS als **Ermittler im Inneren der Batterie** vorstellen, der jede Zelle im Blick hat und bei Auffälligkeiten sofort eingreift. Während der Verbrennungsmotor im Betrieb kaum überwachte Einzel-Zylinderparameter im Alltag zeigte, ist ein Batteriepack ein fein vernetztes System aus Hunderten bis Tausenden Zellen, das permanent überwacht wird.

Die Lithium-Ionen-Revolution im Auto besteht also aus drei Elementen:

1. **Neue Zellchemien** mit hoher Energiedichte.
2. **Fortschrittliche Zell- und Packkonstruktion** (z.B. Pouch-, Prismatische- oder Rundzellen, Cell-to-Pack, Cell-to-Chassis).[McKinsey & Company+1](#)
3. **BMS und Thermomanagement**, die dafür sorgen, dass diese Energiedichte sicher nutzbar und langlebig wird.

Damit ist zum ersten Mal der Punkt erreicht, an dem ein E-Auto **alltagstaugliche 300–600 km Reichweite** mit vernünftigem Gewicht und vertretbaren Kosten kombinieren kann. Alles, was wir in den kommenden Jahren sehen werden – von neuen Chemien bis zu Festkörperbatterien – ist eine Weiterentwicklung dieser Revolution, nicht ein kompletter Bruch.

6.3 Kobalt, Nickel & Co: Rolle heute, Trend zu kobaltarmen/-freien Chemien

In der Batterie-Akte tauchen ein paar Namen immer wieder auf: **Kobalt, Nickel, Mangan, Lithium**. Sie sind nicht nur chemische Bausteine, sondern auch wirtschaftliche und ethische Brennpunkte.

Kobalt stabilisiert viele Kathoden (insbesondere ältere NMC/NCA-Varianten) und verhindert, dass sie bei hoher Belastung zu instabil werden. Es verbessert Lebensdauer und Sicherheit – ist aber teuer, inhomogen verteilt und teilweise unter fragwürdigen Bedingungen gewonnen. Besonders kritisch ist die Situation im Kongo, wo ein Großteil des weltweiten Kobalts gefördert wird.

Nickel erhöht vor allem die **Energiedichte**. Je mehr Nickel in NMC/NCA-Chemien steckt, desto mehr Energie lässt sich pro kg speichern – ideal für Reichweite. Aber: Mehr Nickel und weniger Kobalt machen die Kathode meist „nervöser“ und thermisch kritischer. Ingenieure müssen diesen Trade-off managen.[IRENA+1](#)

In den letzten Jahren haben Hersteller massiv daran gearbeitet, den **Kobaltanteil zu senken**. Beispiele:

- Entwicklung von NMC 811 (8 Teile Ni, 1 Mn, 1 Co) statt früher NMC 111 oder 523 mit höherem Co-Anteil.
- Umstieg vieler Hersteller auf **LFP**, das völlig kobaltfrei ist und auch kein Nickel braucht.[Wikipedia+2aichelin.at+2](#)

Laut IRENA und IEA verschiebt sich der Mix der eingesetzten Kathoden deutlich: NMC und NCA dominieren zwar noch, aber LFP holt stark auf – vor allem in günstigeren und mittleren Fahrzeugsegmenten sowie in China und zunehmend auch in Europa und den USA.[IEA+1](#)

Warum ist das wichtig? Weil sich damit die **Abhängigkeit von kritischen Materialien** ändert:

- NMC/NCA:
 - Hoher Nickel- und (immer noch) signifikanter Kobaltbedarf.
 - Höhere Energiedichte → lange Reichweiten, aber komplexeres Rohstoff- und Sicherheitsprofil.
- LFP / LMFP (Lithium-Mangan-Eisenphosphat):

- Kein Kobalt, kein Nickel – stattdessen Eisen, Phosphat und ggf. Mangan, also deutlich verbreitetere Elemente.
- Etwas weniger Energiedichte, dafür bessere Kostenstruktur, höhere Sicherheit und längere Lebensdauer.[Wikipedia+2ScienceDirect+2](#)

Parallel dazu entstehen neue Begriffe wie **NMX** (manganreiche, kobaltfreie Werkstoffe) oder Varianten von High-Mangan-Kathoden. Ziel:

Möglichst *wenig* kritische Metalle, möglichst *viel* Energiedichte – ohne Sicherheits- und Lebensdauerprobleme.

Es ist wichtig zu verstehen:

- Kobalt und Nickel sind kein „**Fehler der E-Mobilität**“, sondern ein Erbe der früheren Li-Ion-Entwicklung, die primär für Elektronik gedacht war.
- Die Autoindustrie ist dabei, sich davon Stück für Stück zu lösen – über LFP, LMFP, Natrium-Ionen und neue Kathoden.

Unser Ermittler notiert:

- Der Rohstoffschatten der E-Batterie ist real, aber **beweglich**.
- Durch chemische Innovation lässt sich der Einsatz kritischer Materialien **systematisch reduzieren** – etwas, das beim Verbrenner (Öl → CO₂) grundsätzlich nicht möglich ist.

6.4 Neue Entwicklungen: LFP, Natrium-Ionen, Feststoff & Co.

In diesem Unterkapitel betreten wir das Zukunftslabor der E-Mobilität. Auf dem Labortisch liegen verschiedene „Dossiers“ mit Aufschrift: **LFP 2.0, Natrium-Ion, Feststoff, Lithium-Schwefel**. Alles potenzielle Kronzeugen der nächsten Batterie-Generation.

6.4.1 LFP – der unterschätzte Dauerläufer

LFP (Lithium-Eisenphosphat) galt lange als „Billigchemie“: zu wenig Energiedichte, zu viel Gewicht, angeblich nur für Busse oder günstige Kleinwagen geeignet. Inzwischen kippt dieses Bild komplett.

Technisch bietet LFP:

- Keine Verwendung von Kobalt oder Nickel → Rohstoffvorteil.

- Sehr hohe **Zyklusfestigkeit** – mehrere tausend Zyklen sind üblich; Studien sprechen teils von 2.000–3.000 Zyklen, unter optimalen Bedingungen sogar deutlich mehr.
- Hervorragende **thermische Stabilität**: LFP-Zellen erhitzen sich langsamer, sind schwerer in einen gefährlichen Zustand zu bringen und gelten als besonders sicher.
- Gute **Kostenstruktur**, weil Eisen und Phosphat weltweit reichlich verfügbar sind.

Was die geringere Energiedichte angeht, haben Ingenieur:innen inzwischen nachgelegt:

- **Cell-to-Pack-Designs** (und zukünftig Cell-to-Chassis) reduzieren totes Gehäusevolumen,
- bessere Verpackung und Integration gleichen einen Teil des chemischen Nachteils aus.

Ergebnis: Moderne LFP-Packs erreichen Reichweiten, die vor wenigen Jahren für diese Chemie undenkbar schienen – teilweise über 400–600 km in chinesischen Modellen.[I](#)

In vielen Volumen-E-Autos (insbesondere Basisversionen) sehen wir daher gerade einen **Shift zu LFP**:

- günstiger,
- langlebiger,
- sicherer,
- ökologisch weniger heikel.

Für unser Buch ist LFP der „**Batterie-Diesel**“ der Zukunft: nicht glamourös, aber robust, effizient und für den Massenmarkt gemacht – nur ohne Ruß und NOx.

6.4.2 Natrium-Ionen und NMX – Speicher ohne Lithium und Kobalt

Stell dir vor, du baust eine Batterie, die kein Lithium und kein Kobalt braucht – zwei Rohstoffe, die derzeit sehr im Fokus stehen. Genau da setzt **Natrium-Ion-Technologie** an.

Statt Lithium-Ionen wandern **Natrium-Ionen (Na^+)** zwischen Anode und Kathode. Natrium ist ein Massenrohstoff (Kochsalz lässt grüßen), global breit verfügbar und deutlich günstiger. Lange Zeit war das Problem:

- geringere Energiedichte,
- weniger ausgereifte Chemie,
- Herausforderungen bei Zyklusfestigkeit.

In den letzten Jahren hat sich viel getan. Marktführer wie CATL haben Natrium-Ion-Zellen vorgestellt, die **Energiedichten um 160–175 Wh/kg** erreichen – also in der Größenordnung moderner LFP-Zellen. CATL spricht von:

- bis zu **10.000 Zyklen**,
- guten Leistungen bei Kälte (-40 °C),
- potenziell sehr niedrigen Kosten.

Solche Zellen eignen sich besonders für:

- preisgünstige E-Autos mit mittlerer Reichweite,
- Stadtfahrzeuge,
- stationäre Speicher,
- Ersatz von Bleiakkus (z.B. Starterbatterien, USV, kleine Speicher).

Parallel dazu arbeiten Entwickler an **manganreichen, kobaltfreien Kathoden** (unter Schlagworten wie NMX, LMFP, LNMO etc.). Ziel:

- Lithium noch effizienter nutzen,
- Kobalt ganz vermeiden,
- Nickel reduzieren,
- die Abhängigkeit von wenigen Rohstoffregionen mindern.[IRENA+1](#)

Für dich heißt das: In Zukunft könnten viele Alltags-E-Autos Batterien nutzen, die **weder Kobalt noch Nickel noch Lithium** in großen Mengen benötigen – oder gänzlich auf Lithium verzichten. Die „kritische Rohstofflast“ verschiebt sich damit deutlich.

6.4.3 Feststoffbatterien und Lithium-Schwefel – die Vision 2030+

Ganz am Ende des Labors liegt ein Tresor mit der Aufschrift: „**Feststoff**“. Hier lagern die Träume von Reichweiten jenseits der 700–1.000 km und extrem schnellen Ladezeiten.

Feststoffbatterien ersetzen den flüssigen Elektrolyten durch einen festen (keramisch, polymer oder kombiniert). Vorteile in der Theorie:

- höhere Sicherheit (kein brennbarer Flüssigelektrolyt),
- höhere Energiedichte (dünnere Separatoren, andere Elektroden-Kombis),
- potenziell längere Lebensdauer.

Hersteller wie Toyota, QuantumScape und andere kündigen seit Jahren Prototypen an, aber die industrielle Hürde ist enorm:

- Kontaktprobleme zwischen festen Elektroden und Elektrolyt,
- Rissbildung bei Lade-/Entladezyklen,
- Dendritenbildung (Lithium „Nadeln“) durch den Festelektrolyten hindurch,
- Kosten und Skalierung im Gigafactory-Maßstab.

Realistisch ist:

- erste Anwendungen um **2030 herum** in Spezialsegmenten (Premium, Performance, Luftfahrt, Hochpreisfahrzeuge),
- später eventuell breiterer Einsatz, wenn Kosten und Fertigung beherrscht werden.

Lithium-Schwefel (Li-S) spielt im gleichen Zukunfts-Orchester:

- extrem hohe theoretische Energiedichte,
- Schwefel ist billig und verfügbar,
- aber: starke Degradation, Polysulfid-Shuttle, mechanische Probleme.

Aktuell ist Li-S eher Forschungs- als Serienkandidat, könnte aber in 10–20 Jahren für spezielle Anwendungen (z.B. Luftfahrt, Langstrecken-Drohnen) spannend werden.

Unser Ermittler fasst zusammen:

- LFP und Natrium-Ion sind **kurz- bis mittelfristige Revolutionen**, die bereits in ersten Serienprodukten sichtbar sind.
- Feststoff und Li-S sind **Visionen**, die kommen können, aber nicht müssen – wir bauen die E-Mobilität schon heute mit bewährten Li-Ion-Chemien auf.

6.5 Lebensdauer, Sicherheit, Brandrisiko – reale Daten vs. Schlagzeilen

Wenn irgendwo ein E-Auto brennt, ist es in den Nachrichten. Wenn irgendwo ein Verbrenner brennt, ist es meist nur eine Randnotiz – obwohl es viel häufiger passiert. Unser Gehirn merkt sich spektakuläre Einzelfälle besser als trockene Statistik.

Schauen wir nüchtern hin:

Lebensdauer

- Viele EV-Hersteller geben heute **Batteriegarantien von 8 Jahren oder 100.000–160.000 km** mit einer zugesicherten Restkapazität von rund 70 %.
- Aus großen Datensätzen von Flotten (z.B. Geotab, Recurrent) ergibt sich ein durchschnittlicher **Kapazitätsverlust um ~1,5–2 % pro Jahr** – stark abhängig von Klima, Nutzung und Ladeverhalten.
- Studien aus Großbritannien kommen zu dem Schluss, dass moderne E-Autos eine **Lebensdauer von ca. 18 Jahren** erreichen können – ähnlich wie oder sogar länger als viele Verbrenner.

Kurz: Die allermeisten Batterien halten voraussichtlich **länger als das Auto** wirtschaftlich genutzt wird.

Wichtige Einflussfaktoren sind:

- extreme Temperaturen (Hitze/Kälte),
- sehr häufiges Schnellladen,
- dauerhaft 100 % SoC (permanent „voll“) oder dauerhaft sehr leer,
- schlechte Kühlung.

Moderne Fahrzeuge nutzen:

- **aktive Temperaturregelung** (Flüssigkühlung, Heizung),

- konservative Software-Limits (z.B. 90–95 % „voll“ sind in Wahrheit etwas unter 100 %),
- intelligente Lade- und Balancingstrategien.

Sicherheit

&

Brandrisiko

Ja, Lithium-Ionen-Zellen können bei mechanischer Beschädigung, internen Kurzschlüssen oder massiver Überhitzung in einen Zustand geraten, den man „Thermal Runaway“ nennt – eine unkontrollierte Kettenreaktion, bei der Zellen schlagartig heiß werden und brennen können.

Aber:

- Automobilzellen sind deutlich besser geschützt als einfache Elektronikakkus: stabile Gehäuse, Crashzonen, Sensoren, Sicherungen.
- Statistiken aus Staaten mit hohem EV-Anteil zeigen, dass **Brände pro gefahrenem Kilometer bei E-Autos nicht höher, teils sogar niedriger sind** als bei Verbrennern. (Zahlen variieren, aber es gibt kein Muster, das EVs pauschal gefährlicher erscheinen lässt.)
- Chemien wie LFP oder Natrium-Ion haben zusätzlich Vorteile in der **Thermalstabilität**: Sie sind deutlich schwerer zu entzünden und entwickeln weniger Wärme im Fehlerfall.

Die Medienlogik ist eine andere:

- „E-Auto brennt in Tiefgarage“ ist neu, spektakulär, klickstark.
- „Alter Verbrenner mit Öl-Leck brennt auf der Autobahn“ ist Alltag.

Unser Ermittler macht sich eine Notiz:

Objektiv betrachtet ist das Brandrisiko von E-Autos *anders*, aber bislang nicht höher als bei Verbrennern – und mit stabileren Chemien eher sinkend.

Damit wir das Thema nicht romantisieren:

- Ja, das Löschen eines brennenden Batteriepacks ist aufwendig.
- Ja, Feuerwehren müssen neue Taktiken lernen.
- Ja, Unfälle mit zerstörten Packs sind ernst zu nehmen.

Aber genau das passiert: Normen, Crashtests, Sicherheitsprotokolle entwickeln sich stetig weiter. Die Lernkurve ist steil, weil alle hinschauen – ein Luxus, den der Verbrenner in seinen frühen Jahrzehnten nie hatte.

6.6 Recycling und „Second Life“: Was passiert mit der Batterie nach dem Auto?

Am Ende jeder Ermittlungsakte steht die Frage: **Was passiert mit der Tatwaffe?**

Im Fall der Batterie heißt das:

- Was passiert, wenn sie im Auto nicht mehr genug Kapazität hat?
- Wird sie zum Problem – oder zur Ressource?

Typischerweise gilt:

- Wenn eine EV-Batterie nur noch etwa **70–80 % ihrer ursprünglichen Kapazität** hat, ist sie für anspruchsvolle Automotive-Anwendungen (Reichweite, Leistung) weniger attraktiv – aber **noch lange nicht „leer“**.

Hier kommt das Konzept **„Second Life“** ins Spiel:

- Die Batterie wird aus dem Auto ausgebaut,
- geprüft, modifiziert, in Module/Strings sortiert,
- und dann in **stationären Anwendungen** weitergenutzt:
 - Hausspeicher für Photovoltaik,
 - Gewerbespeicher für Lastspitzenkappung,
 - Netzspeicher für Frequenzstabilisierung,
 - Lade-Hubs als Puffer für Schnellladestationen.

Das hat mehrere Vorteile:

- Die Batterie holt noch **zusätzliche Jahre** Nutzung heraus (z.B. weitere 5–10 Jahre).
- Der Ressourcenaufwand der Erstproduktion verteilt sich auf mehr Nutzungsstunden.

- Der Übergang zur endgültigen Verwertung (Recycling) wird zeitlich entzerrt.

Irgendwann kommt aber der Punkt, an dem auch ein Second-Life-Speicher wirtschaftlich oder technisch am Ende ist. Dann wird recycelt.

Recycling

Moderne Recyclingverfahren nutzen eine Kombination aus:

- mechanischem Zerkleinern („Shredding“),
- Sortieren,
- und chemischen Prozessen (hydro- oder pyrometallurgisch), um wertvolle Metalle wie Lithium, Nickel, Kobalt, Kupfer und Aluminium zurückzugewinnen.

Die neue **EU-Batterieverordnung** (2023) legt unter anderem fest:

- Mindest-Recyclingeffizienzen,
- Mindestanteile an **recycltem Material** (z.B. für Kobalt, Nickel, Lithium) in neuen Batterien,
- Anforderungen an Haltbarkeit, Austauschbarkeit, Informationspflicht (z.B. „Battery Passport“).

Das bedeutet:

Batterien werden nicht mehr als Wegwerfprodukt betrachtet, sondern als Teil eines **Kreislaufsystems**.

Spannend ist die Frage: **Was ist besser – Second Life oder direktes Recycling?**

- Second Life verlängert die Nutzungsphase, kann aber Recycling verzögern.
- Recycling liefert schneller Sekundärrohstoffe, die wir dringend für neue Batterien brauchen.

Wissenschaftliche Modelle versuchen abzuschätzen, wie die optimale Balance aussieht – die EU-Regulierung setzt eher starke Anreize für Recycling, aber Second-Life-Projekte sind ebenfalls gewünscht und werden bereits umgesetzt.

Für dich als Leser wichtig:

- Im Gegensatz zu vielen kleinen Konsumelektronik-Akkus sind EV-Batterien **groß, wertvoll und gut rückverfolgbar**. Niemand wirft 300 kg Akku „einfach so“ weg.
- Die wirtschaftliche Motivation, diese Rohstoffe zurückzugewinnen, ist hoch – und wird durch Regulierung noch verstärkt.

Damit schließt sich ein Kreis:

- Die Batterie hat ein **aktives Leben im Auto**,
- ein **zweites Leben im Speicher**,
- und endet in einer **Rohstoffquelle**, die neue Batterien speist.

Im Vergleich zum Verbrenner, bei dem jeder verbrannte Liter Kraftstoff für immer als CO₂ und Schadstoff in der Atmosphäre verschwindet, ist das ein völlig anderes Narrativ: Nicht „Verbrauch“, sondern **temporäre Bindung und anschließender Kreislauf**.

Unser Ermittler legt die Akte „Batterietechnik“ vorerst zur Seite. In den nächsten Kapiteln werden wir sehen, wie diese technischen Fakten mit **Elektromotoren, Effizienzrechnungen und Kosten pro Kilometer** zusammenfließen – und warum der leise Kontrahent damit im Gesamtbild erstaunlich gut dasteht.

Kapitel 7 – Der Elektromotor: Effizienz aus dem Magnetfeld

7.1 Funktionsprinzip: Stator, Rotor, Magnetfeld – Drehmoment ab der ersten Umdrehung

Unser Ermittler steht diesmal nicht an einer Kreuzung, sondern in einer Werkstatt. Vor ihm liegt ein geöffneter Elektromotor auf der Werkbank – kein Kolben, kein Ventil, keine Nocke, kein Auspuff. Nur Kupfer, Blechpakete und ein sauber geordnetes Innenleben.

Auf den ersten Blick wirkt er fast unspektakulär. Aber was hier passiert, wenn Strom fließt, ist physikalisch gesehen ein kleines Wunder – und der Kern dessen, warum der Elektroantrieb so effizient ist.

Ein Elektromotor besteht grob aus zwei Hauptteilen:

- **Stator** – das „stehende“ Teil außen. Hier sitzen in der Regel Spulen aus Kupfer oder fest eingebaute Magnete. Beim Auto ist der Stator fest mit dem Fahrzeug verschraubt.
- **Rotor** – das „drehende“ Teil innen. Er sitzt auf einer Welle und dreht sich, wenn der Motor arbeitet. Diese Welle ist direkt oder über ein Untersetzungsgetriebe mit den Rädern verbunden.

Dazwischen: ein Luftspalt von wenigen Millimetern. Kein Kolben, der hin und her schlägt. Keine Explosion. Nur ein **Magnetfeld**.

Das Prinzip ist eigentlich einfach – und genial:

1. **Strom erzeugt Magnetfelder**
Wenn du Strom durch eine Spule leitest, entsteht um diese Spule ein Magnetfeld. Das hast du vielleicht in der Schule mit einem Nagel und Kupferdraht nachgebaut. Im Motor sind es viele solcher Spulen, gezielt angeordnet und einzeln ansteuerbar.
2. **Magnetfelder ziehen sich an oder stoßen sich ab**
Magnete kennen Nord- und Südpol. Gleiche Pole stoßen sich ab, unterschiedliche ziehen sich an. Wenn du nun einen Rotor mit magnetischen Eigenschaften hast (Dauermagnete oder ein elektrisch erregter „Magnet“), kannst du gezielt dafür sorgen, dass sich der Rotor mitdrehen will, wenn sich das Magnetfeld im Stator verändert.

3. **Gezielte Ansteuerung = Drehbewegung**

Die Leistungselektronik im Auto (der Wechselrichter / Inverter) „füttert“ die Spulen im Stator mit Wechselströmen, die exakt auf die Position des Rotors abgestimmt sind. Dadurch entsteht ein **rotierendes Magnetfeld**, das den Rotor immer ein Stück „vor sich herzieht“ oder „hinter sich herzieht“. Ergebnis: ein gleichmäßiges Drehmoment – schon ab **der ersten Umdrehung**.

Der große Unterschied zum Verbrenner:

- Ein Verbrennungsmotor braucht Drehzahl, um sein volles Drehmoment zu erreichen. Untenrum ist er „lahm“, obenrum wird er lebendig – deswegen braucht er ein Getriebe mit vielen Gängen, um halbwegs im optimalen Bereich zu bleiben.
- Ein Elektromotor liefert **fast sein volles Drehmoment ab der ersten Umdrehung**, also praktisch bei 0 km/h. Das ist der Grund, warum dich ein E-Auto beim Anfahren so selbstverständlich in den Sitz drückt, selbst wenn es auf dem Papier gar nicht so viele PS hat.

Es gibt noch ein zweites Detail, das in unserem Krimi wichtig ist:

Der Elektromotor kann **in beide Richtungen arbeiten**.

- Als Motor: Strom → Magnetfeld → Drehmoment → Bewegung.
- Als Generator: Bewegung → Magnetfeld → Strom → Zurück in die Batterie.

Diese Doppelfunktion ist die Grundlage der Rekuperation, zu der wir später noch kommen.

Unser Ermittler notiert:

Während der Verbrenner chemische Energie über eine Kette aus Verbrennung, Wärme und Mechanik in Bewegung umwandelt, nutzt der Elektromotor direkt elektrische Energie und Magnetfelder. Weniger Zwischenschritte, weniger Verluste – und Drehmoment von Null an.

Damit ist klar: Im physikalischen Aufbau hat der Elektromotor einen enormen Vorteil – er ist **konzeptuell einfach**, aber äußerst wirkungsvoll. Wie er im Detail aufgebaut ist, hängt vom Motortyp ab. Und davon gibt es im E-Auto mehrere Varianten.

7.2 Motortypen: Asynchron, Permanentmagnet, fremderregt & Reluktanz

Nicht jeder Elektromotor ist gleich. In modernen E-Autos kommen hauptsächlich drei Motorkonzepte (mit Varianten) vor, die jeweils ihre Stärken und Schwächen haben. Unser Ermittler blättert die „Motor-Akte“ durch:

7.2.1 Asynchronmotor (Induktionsmotor)

Der **Asynchronmotor** – auch Induktionsmotor – war lange der Star in vielen industriellen Anwendungen. Robust, günstig, bewährt. Berühmtheit erlangte er auch, weil einige frühe E-Autos (u.a. Tesla Model S/Model X der ersten Generation) auf diese Technologie setzten.

Funktionsprinzip:

- Im Stator erzeugen die Spulen ein rotierendes Magnetfeld.
- Im Rotor befinden sich in der Regel Aluminium- oder Kupferstäbe in einem „Käfig“ (Käfigläufer).
- Durch das rotierende Feld wird im Rotor eine Spannung induziert, es fließt Strom, und dadurch entsteht im Rotor selbst ein Magnetfeld.
- Dieses Rotorfeld läuft dem Statorfeld **leicht hinterher** – daher „asynchron“.

Vorteile:

- Keine Dauermagnete → keine Seltene-Erden-Magnete nötig.
- Sehr robust, relativ kostengünstig.
- Gut für hohe Drehzahlen geeignet.

Nachteile:

- Etwas geringerer Wirkungsgrad im Teillastbereich als optimierte Permanentmagnetmotoren.
- Mehr Wärmeentwicklung durch Rotorverluste (Strom im Rotor = Verluste).

7.2.2 Permanentmagneterregter Synchronmotor (PMSM)

Der heute wohl verbreitetste Motortyp im E-Auto ist der **permanentmagneterregte Synchronmotor**. Hier sitzen im Rotor **Dauermagnete**, häufig auf Basis von Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) mit Zusätzen wie Dysprosium für Temperaturstabilität.

Funktionsprinzip:

- Im Stator entsteht das rotierende Magnetfeld durch die ansteuerbaren Spulen.
- Der Rotor trägt „feste“ Magnetpole.
- Die Elektronik steuert das Statorfeld so, dass es im **Gleichtakt (synchron)** mit der Rotorposition rotiert – daher „Synchronmotor“.

Vorteile:

- Sehr hoher Wirkungsgrad, insbesondere über einen breiten Drehzahlbereich.
- Hohe Leistungsdichte (viel Leistung bei vergleichsweise kompaktem Motor).
- Gutes Drehmoment schon ab niedrigen Drehzahlen.

Nachteile:

- Bedarf an **Seltene-Erden-Magneten** (Neodym, Dysprosium), was rohstoffseitig diskutiert wird.
- Etwas teurer in der Herstellung als einfache Asynchronmaschinen.

Viele aktuelle E-Autos – besonders im Effizienz- oder Premiumsegment – setzen auf PMSM, weil sie bei Effizienz und Fahrleistung die beste Kombination bieten.

7.2.3 Fremderregter Synchronmotor & Reluktanzmotoren

Um die Abhängigkeit von Seltenen Erden zu reduzieren, wurden alternative Konzepte weiterentwickelt:

Fremderregter Synchronmotor (FSM)

- Der Rotor enthält keine Dauermagnete, sondern eine Erregerwicklung.
- Über Schleifringe oder berührungslose Übertragung wird ein Erregerstrom in den Rotor gebracht.
- Dadurch entsteht ein Magnetfeld im Rotor, das sich mit dem Statorfeld synchron bewegt.

Vorteile:

- Keine Seltene-Erden-Magnete im Rotor nötig.

- Möglichkeit, das Rotorfeld aktiv zu regeln (z.B. für Effizienzoptimierung).

Nachteile:

- Komplexerer Aufbau (z.B. Schleifringe, zusätzliche Wicklungen).
- Etwas geringere Leistungsdichte als PMSM.

Reluktanzmotor (SynRM, PMSynRM) Hier nutzt man die Tendenz von magnetischem Fluss, den „magnetisch leichtesten“ Weg zu nehmen, also die geringste magnetische Reluktanz (Widerstand). Der Rotor besteht aus speziellen Blechkonturen, die ohne Magnete auskommen (Reluktanzmotor) oder nur wenig Magnetmaterial benötigen.

Vorteile:

- Potenziell ohne oder mit deutlich weniger Seltenen Erden.
- Gute Effizienz in bestimmten Drehzahlbereichen.

Nachteile:

- Aufwendige Konstruktion und Regelung.
- Akustisch anspruchsvoll (Drehmomentpulsationen → Geräusche, wenn nicht gut gemanagt).

In der Praxis setzen viele Hersteller auf **Kombinationen**:

- vorn z.B. ein PMSM für Effizienz,
- hinten ein Asynchronmotor, der nur bei Bedarf zugeschaltet wird, oder PMSM mit speziellen Rotor-Designs, die Reluktanzeffekte nutzen, um Effizienz und Kosten zu optimieren.

Unser Ermittler fasst zusammen:

Es gibt nicht „den“ Elektroantrieb, sondern einen Werkzeugkasten. Hersteller wählen je nach Ziel – Effizienz, Kosten, Rohstoffe, Fahrdynamik – unterschiedliche Motortypen oder Kombinationen.

Allen gemeinsam ist: Sie basieren auf Magnetfeldern, nicht auf Verbrennung. Und das spiegelt sich in ihren Wirkungsgraden wider.

7.3 Wirkungsgrade: 90–95 % vs. 20–30 % beim Verbrenner

In Kapitel 5 hast du bereits gesehen, wie brutal die Thermodynamik den Verbrenner ausbremst. Jetzt schauen wir auf das Pendant beim Elektromotor – und der Unterschied ist fast schon unverschämt.

Ein **moderner Elektromotor** erreicht:

- im besten Betriebspunkt: **Wirkungsgrade von 94–97 %**,
- über einen breiten Bereich: typischerweise **über 90 %**.

Das bedeutet:
Von 100 Einheiten elektrischer Energie, die im Motor ankommen, werden rund 90–95 Einheiten in mechanische Drehenergie umgewandelt. Nur 5–10 Einheiten gehen als Wärme, Magnetisierungsverluste, Reibung usw. verloren.

Natürlich muss man ehrlich sein: Der gesamte Antriebsstrang beim E-Auto umfasst mehr als nur den Motor:

- Batterie (chemisch ↔ elektrisch)
- Leitungen
- Inverter (DC/AC-Wandlung)
- Motor
- Getriebe/Differenzial

Nimmt man alles zusammen, liegt der **Systemwirkungsgrad** realistischerweise bei etwa **70–90 %**, je nach Last, Temperatur und Betriebszustand. Verglichen mit dem Verbrenner-Antriebsstrang (20–30 %) ist das immer noch eine massiv bessere Bilanz.

Beim Verbrenner haben wir gesehen:

- 100 % Energie im Kraftstoff,
- 20–30 % mechanische Energie am Rad,
- 70–80 % Verluste (Wärme, Reibung, Nebenaggregate).

Beim E-Auto sieht ein typisches Bild etwa so aus:

- 100 % elektrische Energie aus dem Akku,
- 5–10 % Verluste in Batterieinnenwiderstand und Leitungen,

- 3–6 % im Inverter,
- 3–5 % im Motor,
- 1–3 % im Getriebe.

Am Ende bleiben oft **75–85 %** als reale Antriebsleistung übrig.

Was bedeutet das für dich konkret?

- **Weniger Energieverbrauch pro Kilometer**
Ein E-Auto braucht bei gleicher Fahrzeugklasse typischerweise **ein Drittel bis die Hälfte der Energiemenge** im Vergleich zu einem Verbrenner. Das haben wir in Kapitel 5 in kWh vorgerechnet.
- **Weniger Abwärme** Du kennst das: Ein Verbrenner muss im Winter selten „zuheizen“, im Sommer dagegen mit großem Kühler arbeiten, um nicht zu heiß zu werden. Das E-Auto hat den umgekehrten Effekt:
 - Im Winter braucht es aktiv Wärme (z.B. Wärmepumpe),
 - im Sommer muss deutlich weniger Wärme abgeführt werden.
- **Besser steuerbar** Durch die Leistungselektronik kann der Motor sehr fein geregelt werden. Das bedeutet, dass er viel öfter in Effizienzbereichen betrieben wird, die nahe am Optimum liegen. Beim Verbrenner bist du mit der Gaspedalstellung, der Drehzahl und den festen Gängen viel gröber unterwegs.

Aus Krimi-Sicht heißt das:

Wenn Effizienz der Tatbeweis ist, dann ist der Elektromotor fast erdrückend überführt als überlegter Antrieb.

Der Verbrenner kann mit aufwändiger Technik und genialer Ingenieurskunst seine 20–30 % auf vielleicht 35–40 % in Spezialfällen hochschieben – aber an einen Antriebsstrang mit 75–85 % kommt er konzeptbedingt nicht heran.

7.4 Rohstoffe im Motor: Neodym – und Alternativen ohne Seltene Erden

In Kapitel 4 haben wir den Rohstoffschatten des Verbrenners betrachtet. Beim Elektromotor müssen wir genauer hinschauen, wo **Seltene Erden** ins Spiel kommen – und wo nicht.

Dreh- und Angelpunkt ist der **Permanentmagneterregte Synchronmotor** (PMSM). Hier werden im Rotor Dauermagnete verwendet, die heute

überwiegend aus **Neodym-Eisen-Bor (NdFeB)** bestehen. Oft kommen noch Zusätze wie Dysprosium oder Terbium hinzu, um die Temperaturstabilität zu erhöhen.

Neodym und seine Kollegen sind keine „seltenen“ Elemente im Sinne von extrem rar – die Bezeichnung „Seltene Erden“ ist historisch bedingt. Aber:

- Sie kommen selten in **hohen Konzentrationen** vor,
- ihre Förderung ist oft mit Umweltproblemen verbunden (Säuren, Abraum, radioaktive Begleitminerale),
- ein Großteil der weltweiten Produktion wird in wenigen Ländern kontrolliert (u.a. China).

Das macht sie politisch und wirtschaftlich „kritisch“.

Gleichzeitig sind diese Magnete ein Segen für den Motorenbau:

- Sie ermöglichen sehr hohe **Magnetflussdichten**,
- damit lassen sich **kompakte Motoren mit viel Leistung** bauen,
- sie verlieren weniger Energie, weil man das Rotorfeld nicht aktiv erregen muss (kein Erregerstrom wie beim fremderregten Motor).

Wie groß ist das Problem?

- Die Menge an Neodym & Co im Motor eines E-Autos liegt typischerweise in der Größenordnung weniger Kilo oder sogar darunter.
- Im Verhältnis zur Lebensdauer und zur anfallenden Fahrleistung ist der „Neodym pro Kilometer“ deutlich kleiner, als viele Debatten suggerieren.

Dennoch: Wenn Millionen oder gar hunderte Millionen Autos auf PMSM setzen, summiert sich das.

Deshalb arbeiten Hersteller parallel an Alternativen:

- **Asynchronmotoren** (Induktionsmotoren) – komplett ohne Permanentmagnete. Sie nutzen anstelle von Dauermagneten einen Kurzschlussläufer und Induktionsfelder.
- **Fremderregte Synchronmotoren** – Rotorfeld wird elektromechanisch erzeugt, keine Seltene Erden nötig, dafür etwas komplexer.

- **Reluktanzmotoren** – die „magnetischen Formkünstler“, die mit Blechpaketen und Reluktanzeffekten arbeiten, teils ohne Dauermagneten oder mit sehr wenig Magnetmaterial.

Einige Hersteller kombinieren auch:

- z.B. an einer Achse ein PMSM (für hohe Effizienz im Alltagsbereich),
- an der anderen Achse ein Asynchronmotor, der nur bei Bedarf zuschaltet (Allrad, Boost), um Magnetmaterial zu sparen.

Parallel wird an **magnetarmen oder magnetfreien Rotorkonzepten** gearbeitet, die zwar noch nicht ganz die Leistungsdichte eines reinen PMSM erreichen, aber für viele Anwendungen ausreichend sind – mit deutlich weniger Abhängigkeit von Seltenen Erden.

Wichtig ist hier die Perspektive:

- Beim Verbrenner ist der **Hauptrohstoff Öl**, das im Betrieb kontinuierlich verbraucht wird.
- Beim Elektromotor werden **feste Materialien** wie Kupfer, Elektroblech, Magnete eingesetzt, die sich prinzipiell recyceln lassen.

Es gibt bereits Recyclingverfahren, die Neodym-Magnete aus Elektromotoren und Windkraftanlagen zurückgewinnen und wieder als Magnetmaterial nutzen können. Das ist technisch anspruchsvoll, aber im Aufbau.

Unser Ermittler notiert:

Der Rohstoff-Fußabdruck des Elektromotors ist real, aber:– er ist *nicht* unlösbar, – er ist *nicht* auf dieselbe Art „verbrannt“ wie Öl, – und er kann durch Designentscheidungen (Asynchron, Reluktanz, FSM) deutlich reduziert werden.

Seltene Erden sind im E-Motor also kein unvermeidliches Dogma, sondern eine **Option**, die je nach Marktsegment und Entwicklungsstand genutzt oder vermieden werden kann.

7.5 Wartungsarmut, einfache Getriebekonzepte, Rekuperation als „geheime Superkraft“

Zum Schluss dieses Kapitels schauen wir auf etwas, das im Datenblatt oft klein gedruckt wird, im Alltag aber riesig ist: **Wie wenig ein Elektromotor von dir will** – und wie viel er dir zurückgibt.

7.5.1 Wartungsarmut

Ein Verbrennungsmotor ist ein mechanischer Dschungel:

- Kolben, die pro Minute tausende Male hoch- und runterschießen,
- Ventile, die öffnen und schließen,
- Nockenwellen, die alles takten,
- eine Ölversorgung, die das Ganze schmiert,
- Zahnriemen, Steuerketten, Einspritzpumpen, Turbolader...

All diese Teile **verschleiß**en. Sie brauchen Wartung, Schmierstoffe, Filter, Inspektionen. Ölwechsel, Zündkerzenwechsel, Zahnriemenwechsel sind vertraute Begriffe.

Der Elektromotor dagegen hat:

- einen Rotor, der sich dreht,
- Lager,
- Wicklungen,
- vielleicht Magnete.

Keine Verbrennung, kein Ölkreislauf, kein Abgastrakt. Der Verschleiß ist dadurch drastisch geringer. Ja, auch ein E-Motor kann überhitzen, Lager können verschleiß, Isolierungen altern – aber im Alltag sind die Wartungsintervalle deutlich entspannter.

Viele EV-Hersteller geben sehr lange Garantien auf Antriebsstränge, und reale Erfahrungen zeigen, dass Elektromotoren mit minimaler Wartung locker mehrere hunderttausend Kilometer laufen können.

7.5.2 Einfache Getriebekonzepte

Weil der Elektromotor über einen weiten Drehzahlbereich ein hohes Drehmoment liefert, braucht er kein komplexes Mehrgang-Getriebe.

Statt:

- Schaltgetriebe mit 5–8 Gängen oder
- Automatikgetriebe mit Wandler, Kupplungen, Planetenrädern

reicht beim E-Auto meist:

- ein **einfaches Untersetzungsgetriebe** (eine feste Übersetzung) plus Differenzial.

Einige sportliche E-Autos nutzen 2-Gang-Getriebe, um bei sehr hohen Geschwindigkeiten noch effizient zu bleiben – aber die Norm ist der **Ein-Gang-Antrieb**.

Das bedeutet:

- weniger bewegte Teile,
- weniger Wartung,
- weniger mechanische Verluste,
- weniger Fehlerquellen.

Du merkst das beim Fahren: Es gibt kein Schalten, kein Ruckeln, kein Drehmomenteinbruch, kein Turboloch. Nur eine lineare, gleichmäßige Beschleunigung.

7.5.3 Rekuperation – die geheime Superkraft

Der vielleicht größte Joker des Elektromotors ist seine Fähigkeit, **Energie zurückzugewinnen**, statt sie zu verschwenden.

Beim Verbrenner:

- Du beschleunigst – chemische Energie wird in Bewegungsenergie umgewandelt.
- Du bremsst – die Bewegungsenergie wird in Wärme in den Bremsbelägen verwandelt. Ende der Geschichte.

Beim E-Auto:

- Du beschleunigst – elektrische Energie → Bewegung.
- Du nimmst den Fuß vom Fahrpedal oder bremsst – der Motor wird zum **Generator**.
- Die Bewegungsenergie wird zurück in elektrische Energie umgewandelt und in der Batterie gespeichert.

Natürlich ist das nicht 100 % verlustfrei, aber ein großer Teil der sonst verlorenen Energie kann so wieder genutzt werden. Besonders im Stadtverkehr, mit häufigem Bremsen und Beschleunigen, ist das ein enormer Vorteil.

Praktisch bedeutet das:

- weniger Verschleiß der mechanischen Bremsen (viele E-Autos fahren im Alltag quasi „bremsbelag-schonend“),
- ein deutlich geringerer Energieverbrauch im Stop-and-Go-Betrieb,
- ein spezielles Fahrgefühl: „One-Pedal-Driving“, bei dem du mit dem Fahrpedal beschleunigst und durch Lupfen automatisch abgebremst und rekuperiert wird.

Rekuperation ist damit die **geheime Superkraft**, die den Effizienzvorteil des Elektromotors in der Praxis noch verstärkt. In Kombination mit seinem hohen Wirkungsgrad beim Vortrieb entsteht ein Antriebssystem, das aus der Perspektive der Physik schlicht sinnvoller mit Energie umgeht als der Verbrenner.

Kapitel 8 – Der große Effizienzvergleich: Well-to-Wheel im Klartext

8.1 kWh im Sprit vs. kWh im Akku – ein gemeinsamer Nenner

Unser Ermittler steht diesmal vor zwei völlig unterschiedlichen Behältern: links ein Metalltank für Benzin oder Diesel, rechts ein Batteriepack.

Auf der Tankseite steht: „**50 Liter**“. Auf der Batterieseite: „**60 kWh**“.

Was davon „mehr“ ist, ist mit bloßem Auge nicht zu erkennen – die Einheiten passen nicht zusammen. Genau hier beginnt das Durcheinander in vielen Diskussionen.

Damit wir Verbrenner, E-Auto, Wasserstoff und E-Fuels überhaupt fair vergleichen können, brauchen wir **eine gemeinsame Sprache**. Diese Sprache heißt: **Energie in Kilowattstunden (kWh)**.

- Eine **kWh** ist die Energie, die ein Gerät mit 1 kW Leistung in einer Stunde verbraucht.
 - Ein Wasserkocher mit 2.000 W braucht etwa 0,5 kWh, um 1 Liter Wasser zu kochen.
 - Ein moderner Kühlschrank verbraucht vielleicht 0,5–1 kWh *am Tag*.

Beim Kraftstoff sieht es so aus (gerundet):

- 1 Liter **Benzin** enthält ungefähr **9 kWh** chemische Energie.
- 1 Liter **Diesel** enthält ungefähr **10 kWh** chemische Energie.

Damit kannst du jeden Verbrauch in **l/100 km** in **kWh/100 km** umrechnen:

- 6 l Benzin/100 km $\rightarrow 6 \times 9 = \mathbf{54\ kWh/100\ km}$
- 7 l Benzin/100 km $\rightarrow 7 \times 9 = \mathbf{63\ kWh/100\ km}$
- 6 l Diesel/100 km $\rightarrow 6 \times 10 = \mathbf{60\ kWh/100\ km}$

Ein typisches E-Auto verbraucht real – je nach Größe und Fahrstil – vielleicht **15–20 kWh/100 km** aus der Batterie.

Schon hier siehst du:

- Ein vermeintlich „sparsam“ fahrender Benziner mit 6–7 l/100 km schiebt **50–60 kWh** durch den Motor,

- während ein E-Auto sich mit **15–20 kWh** begnügt, um die gleiche Strecke zu fahren.

Aber Vorsicht: Diese Zahlen sind nur der **Input**. Die Frage ist:

Wie viel davon kommt tatsächlich als Bewegung auf der Straße an – und wie viel verschwindet als Abwärme, Geräusch, Reibung?

Beim Verbrenner sind es, wie wir in Kapitel 5 gesehen haben, im Alltag oft nur **20–30 %**, beim E-Antrieb (inklusive Batterie und Elektronik) häufig **70–85 %**.

Deshalb ist der erste große Schritt im Effizienzvergleich:

1. Wir bringen alles auf **kWh**.
2. Dann schauen wir, wie viele dieser kWh tatsächlich am Rad landen.

Unser Ermittler schreibt sich ganz oben auf die Tafel:

„Energie ist Energie – egal ob aus Sprit, Akku oder Wasserstoff, entscheidend ist, wie viel davon als **kilowattstunden Vortrieb** ankommt.“

Mit diesem gemeinsamen Nenner können wir jetzt konkrete Beispiele durchrechnen – erst beim Pkw, dann beim Lkw.

8.2 Beispielrechnung Pkw: 100 km mit Benzin, Diesel, BEV (und Brennstoffzelle)

Stellen wir uns vier Autos vor, die jeweils **100 km** auf der gleichen Strecke fahren:

1. Ein Benzin-Kompaktwagen
2. Ein sparsamer Diesel
3. Ein batterieelektrisches Auto (BEV)
4. Ein Pkw mit Brennstoffzelle (FCEV)

Wir nehmen typische, runde Werte. Natürlich schwanken die in der Realität – aber uns geht es um Größenordnungen.

8.2.1 Benzin

Angenommen, der Benzin verbraucht **7 l/100 km**.

- Energie im Sprit: $7 \text{ l} \times 9 \text{ kWh/l} = \mathbf{63 \text{ kWh}}$
- Realer Gesamtwirkungsgrad Tank → Rad: ca. **25 %**

Damit gilt:

- **Vortrieb** am Rad: $0,25 \times 63 = 15,75 \text{ kWh}$
- **Verluste** (Abwärme, Abgase, Reibung): $63 - 15,75 = 47,25 \text{ kWh}$

Du jagst also knapp **47 kWh** pro 100 km als warme Luft in die Umgebung.

8.2.2 Diesel

Nehmen wir einen sparsamen Diesel mit **5,5 l/100 km**.

- Energie im Sprit: $5,5 \text{ l} \times 10 \text{ kWh/l} = 55 \text{ kWh}$
- Diesel-Motoren sind effizienter, also nehmen wir im Schnitt **30 %** Wirkungsgrad.

Dann:

- Vortrieb: $0,30 \times 55 = 16,5 \text{ kWh}$
- Verluste: $55 - 16,5 = 38,5 \text{ kWh}$

Effizienter als der Benziner, aber immer noch ein großer Energieberg, der nicht auf der Straße ankommt.

8.2.3 Batterie-E-Auto (BEV)

Ein mittelgroßes BEV braucht vielleicht **18 kWh/100 km** aus der Batterie.

Vom Akku bis zum Rad – also Batterie → Inverter → Motor → Getriebe – liegt der Wirkungsgrad oft bei **75–85 %**. Nehmen wir **80 %** als Mittel.

- Eingespeiste Energie aus der Batterie: 18 kWh
- Vortrieb: $0,8 \times 18 = 14,4 \text{ kWh}$
- Verluste im Antriebsstrang: 3,6 kWh

Vergleich mit Benziner und Diesel:

- Benziner hatte 15,75 kWh Vortrieb bei 63 kWh Input.
- Diesel hatte 16,5 kWh Vortrieb bei 55 kWh Input.
- BEV erreicht 14,4 kWh Vortrieb bei 18 kWh Input.

Die absolute Vortriebsenergie ist in der gleichen Größenordnung – klar, es geht ja um dieselbe Strecke und ähnliche Fahrwiderstände. Entscheidend ist der **Input**:

- Benziner: 63 kWh

- Diesel: 55 kWh
- BEV: 18 kWh

Das BEV braucht also grob **ein Drittel** der Energie des Benziners und etwas weniger als **ein Drittel** des Diesels.

8.2.4 Brennstoffzellen-Pkw (FCEV)

Für ein Brennstoffzellenauto nehmen wir **1 kg Wasserstoff/100 km** an – ein typischer Wert in Tests.

Der Heizwert von Wasserstoff liegt bei etwa **33 kWh/kg**.

- Energie im Wasserstoff: 33 kWh
- Wirkungsgrad Brennstoffzelle + Motor + Antrieb: grob **50–60 %**, wir nehmen **55 %**.

Dann:

- Vortrieb: $0,55 \times 33 = \mathbf{18,15 \text{ kWh}}$
- Verluste: rund 15 kWh

Interessant:

- Tank-to-Wheel ist das FCEV effizienter als Benzinern und Diesel, aber **deutlich weniger effizient** als der Batterieantrieb (weil dieser 18 kWh Input hat, das FCEV 33 kWh).
- Die eigentliche Frage beim FCEV ist jedoch: Wie wurde der Wasserstoff erzeugt? (Dazu mehr in 8.6)

Unser Ermittler zieht eine erste Bilanz:

Für denselben Vortrieb brauchst du im Benzinern und Diesel **viel mehr Energie im Tank** als im Akku eines BEV. Das FCEV liegt irgendwo dazwischen – besser als der Verbrenner, aber meist deutlich schlechter als das BEV, wenn man den Weg von der Stromquelle mit einrechnet.

Im nächsten Abschnitt übertragen wir dieses Spiel auf die echten Energiefresser der Straße: die Lkw.

8.3 Beispielrechnung Lkw: Diesel-Lkw vs. E-Lkw

Bei Pkw geht es um den täglichen Weg zur Arbeit, den Einkauf, die Urlaubsfahrt. Bei Lkw geht es um **alles andere**: Lebensmittel, Baumaterial, Pakete, Industrieprodukte. Unser Lebensstil hängt buchstäblich am Laster.

Deshalb schauen wir jetzt auf eine 100-km-Etappe eines typischen Fernverkehrs-Lkw.

8.3.1 Diesel-Lkw

Ein schwerer Sattelzug mit 40 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht verbraucht in der Praxis etwa **28–35 l Diesel/100 km**, je nach Route, Gewicht, Fahrweise. Wir rechnen mit **30 l/100 km** als runden Mittelwert.

- Energie im Sprit: $30 \text{ l} \times 10 \text{ kWh/l} = \mathbf{300 \text{ kWh}}$

Lkw-Dieselmotoren sind effizienter als Pkw-Motoren. Im Bestpunkt schaffen sie über 40 %, im Alltag auf der Autobahn kann man mit **ca. 40 %** Systemwirkungsgrad Tank → Rad rechnen.

- Vortrieb: $0,4 \times 300 = \mathbf{120 \text{ kWh}}$
- Verluste: $300 - 120 = \mathbf{180 \text{ kWh}}$

Das heißt:

- **120 kWh** gehen in die Bewegung des 40-Tonners.
- **180 kWh** werden als Abwärme im Motor, im Kühlsystem, im Auspuff und als Reibung verloren.

8.3.2 Elektro-Lkw

Ein vollelektrischer Fernverkehrs-Lkw, wie er von verschiedenen Herstellern (z.B. Volvo, Mercedes, Tesla, BYD) entwickelt wird, bewegt sich mit Verbräuchen in der Größenordnung von etwa **1,1–1,5 kWh/km** – je nach Gewicht, Aerodynamik, Tempo und Topographie.

Nehmen wir **1,3 kWh/km** als typischen Wert:

- $1,3 \text{ kWh/km} \times 100 \text{ km} = \mathbf{130 \text{ kWh/100 km}}$ aus der Batterie.

Wie beim Pkw liegt der Wirkungsgrad Akku → Rad in der Größenordnung **75–85 %**. Nehmen wir wieder 80 %:

- Vortrieb: $0,8 \times 130 = \mathbf{104 \text{ kWh}}$
- Verluste im Antriebsstrang: 26 kWh

Vergleich zum Diesel-Lkw:

- Diesel:
 - 300 kWh Input
 - 120 kWh Vortrieb
 - 180 kWh Verluste
- Elektro:
 - 130 kWh Input
 - 104 kWh Vortrieb
 - 26 kWh Verluste

Beide bewegen eine 40-Tonnen-Kombination 100 km weit. Die **Vortriebsenergie** ist ähnlich (120 vs. 104 kWh), weil die Fahrwiderstände gleich sind – Luft, Rollwiderstand, Anstiege.

Der große Unterschied:

- Der Diesel braucht dafür **300 kWh** Primärenergie im Tank.
- Der E-Lkw kommt mit **130 kWh** elektrischer Energie aus der Batterie aus.

Der Elektro-Lkw hat damit einen um den Faktor **rund 2–2,5** geringeren Energiebedarf als der Diesel-Lkw – für dieselbe Transportleistung.

Wenn du dir vorstellst, dass viele Autobahnen täglich tausende Lkw sehen, kannst du ahnen, wie groß der Hebel ist. Jeder Lkw ist ein „Großverbraucher“ – und jeder Wechsel von Diesel auf elektrisch spart pro 100 km **170 kWh** Energie ein.

Unser Ermittler notiert:

Im Schwerlastverkehr entscheidet sich besonders deutlich, wohin unsere Energiezukunft geht.

Ein effizienter Elektro-Lkw ist wie eine energetische Kernsanierung für den Güterverkehr.

Damit haben wir Tank-to-Wheel verglichen. Jetzt müssen wir den Horizont erweitern: Woher kommt der Strom, woher kommt der Diesel – und was passiert auf dem Weg von der Quelle zum Rad?

8.4 Well-to-Wheel: Verluste im Kraftwerk/Stromnetz vs. Raffinerie/Transport

Bis jetzt haben wir nur geschaut:

- Was passiert **vom Tank/ Akku** bis zum Rad?

Der volle Blick heißt aber: **Well-to-Wheel** – von der Quelle („Bohrloch/ Windrad/ Kraftwerk“) bis zum Rad.

8.4.1 Verbrenner: *Well-to-Tank* + *Tank-to-Wheel*

Beim Verbrenner beginnt die Kette mit Rohöl:

1. Förderung & Transport:

- Öl wird gefördert, oft mit hohem Energieeinsatz (Pumpen, Plattformen, Tiefbohrungen).
- Es wird über Pipelines, Schiffe, Lkw oder Züge zur Raffinerie gebracht.
- Dieser Schritt kostet bereits einen Teil der Energie – typischerweise einige Prozent des Energieinhalts.

2. Raffinerie:

- Rohöl wird destilliert, in Fraktionen getrennt, chemisch umgewandelt, entschwefelt, mit Additiven versetzt.
- Raffinerien verbrauchen viel Energie, meist aus fossilen Quellen – oft 5–10 % der im Rohöl enthaltenen Energie; je nach Quelle auch mehr.

3. Verteilung:

- Fertige Kraftstoffe werden per Pipeline, Schiff, Bahn, Lkw an Tanklager und Tankstellen verteilt.
- Auch das kostet wieder Energie.

4. Tank-to-Wheel:

- Verbrennung im Motor (20–30 % Wirkungsgrad Pkw, 30–40 % Lkw).

In Summe bedeutet das:
Schon bevor der Sprit im Tank ist, ist ein **zweistelliger Prozentanteil** der

ursprünglich im Rohöl steckenden Energie verbraucht – als Prozesswärme, Strom, Transport.

Dann kommen noch die **70–80 % Verluste im Motor** dazu.

Wenn du alles zusammenziehst, landet beim Pkw am Rad oft **nur rund 15–20 %** der ursprünglichen im Öl steckenden Energie, beim Lkw etwas mehr, aber weit unter 30 %.

8.4.2 Elektroauto: Power-Plant-to-Wheel

Beim Elektroauto sieht die Kette anders aus – und hängt stark davon ab, **woher der Strom kommt**.

Einfaches Schema (für fossil erzeugten Strom z.B. aus einem Gaskraftwerk):

1. Primärenergie im Kraftwerk:

- Gas, Kohle oder Uran werden genutzt, um Strom zu erzeugen.
- Moderne Gaskraftwerke erreichen elektrische Wirkungsgrade bis zu **60 %**, Kohlekraftwerke meist eher **35–45 %**, Kernkraftwerke wandeln Wärme in Strom mit ca. **30–35 %** Wirkungsgrad.

2. Stromnetz:

- Übertragung vom Kraftwerk zur Steckdose: Verluste von grob **5–10 %**.

3. Ladegerät + Batterie + Motor:

- Laden des Akkus, Umrichter, Motor, Getriebe: zusammen **70–90 %** Wirkungsgrad vom Netz bis zum Rad (wir hatten ca. 75–85 % angesetzt).

Nehmen wir ein grobes Beispiel für einen fossilen Strommix:

- Kraftwerk: 40 %
- Netz: 90 %
- Fahrzeug (Netz → Rad): 80 %

Gesamt: $0,4 \times 0,9 \times 0,8 \approx \mathbf{0,29} \rightarrow \mathbf{29 \%}$ der Primärenergie landen am Rad.

Das ist in der Größenordnung dessen, was ein **Diesel-Motor** im Tank-to-Wheel erreicht – mit dem Unterschied, dass beim Strommix viele Länder schon deutlich mehr **Erneuerbare** einsetzen.

Und genau da liegt der Schlüssel:

- Während der Wirkungsgrad eines Dieselmotors **physikalisch gedeckelt** ist,
- kann der Strommix nach und nach auf erneuerbare Quellen umgestellt werden, bei denen der „Well“-Teil (Sonne, Wind, Wasser) nicht aus fossiler Verbrennung besteht.

Beim Strom aus Wind und Sonne ist die Frage „Wirkungsgrad“ anders gelagert: Die Primärenergie (Wind, Licht) steht kostenlos zur Verfügung, die Verluste in Umwandlung & Netz beeinflussen zwar die nötige Anlagengröße – erzeugen aber **kein CO₂ aus fossiler Verbrennung**.

Unser Ermittler notiert:

Beim Verbrenner bedeutet mehr Verkehr immer mehr fossile Verbrennung. Beim E-Auto hängt der Well-to-Wheel-Fußabdruck zunehmend davon ab, wie unser Strommix aussieht – und der kann besser werden, ohne ein einziges Auto umzubauen.

8.5 Warum E-Autos schon heute selbst mit „grauem“ Strommix oft besser sind

Ein häufiger Einwand lautet: „Solange der Strommix noch nicht 100 % erneuerbar ist, bringen E-Autos doch kaum etwas. Dann fahren sie doch nur mit Kohlestrom!“

Das klingt auf den ersten Blick logisch, ignoriert aber zwei wichtige Punkte:

1. den **hohen Wirkungsgrad** des E-Antriebs, und
2. die **tatsächliche Zusammensetzung** moderner Stromnetze.

8.5.1 Effizienz schlägt „Graustrom“

Betrachten wir ein Beispiel:

- Ein kompakter Benziner: 7 l/100 km
 - $7 \text{ l} \times 9 \text{ kWh} = 63 \text{ kWh}$ primäre Energie im Sprit
 - 25 % Wirkungsgrad $\rightarrow \sim 16 \text{ kWh}$ Vortrieb, Rest als Verlust
- Ein BEV: 18 kWh/100 km aus dem Netz

- Netto: 18 kWh Strom werden im gesamten System bereitgestellt – egal, ob aus Kohle, Gas, Wind, Sonne, Wasser, Atom.

Nun nehmen wir einen Strommix, der zwar noch „grau“ ist (also mit einem großen Anteil fossiler Erzeugung), aber nicht zu 100 % Kohle. In vielen europäischen Ländern liegt der Anteil erneuerbarer Energien im Strommix bereits deutlich über 40–50 %, Tendenz steigend.

Wenn also:

- 50 % des BEV-Stroms aus Erneuerbaren kommen,
- 50 % aus fossilen Kraftwerken,

dann ist der **fossile Anteil der 18 kWh** kleiner als die 63 kWh reine fossile Energie im Benzintank.

Mit anderen Worten:

Selbst wenn der Strommix noch halb „dreckig“ ist, ist die Menge an fossiler Energie pro 100 km beim BEV meist geringer als beim Verbrenner – dank der besseren Effizienz.

Dazu kommt:

- Raffinerien, Tankstellenlogistik und Motorverluste beim Verbrenner erzeugen zusätzlich CO₂.
- Der Strommix für E-Autos wird automatisch sauberer, wenn mehr Wind- und Solaranlagen ans Netz gehen – sogar für **Bestandsfahrzeuge**.

8.5.2 Zeitfaktor und Lebensdauer

Ein Auto lebt typischerweise 12–18 Jahre. Ein E-Auto, das heute zugelassen wird, fährt also in einer Zukunft, in der der Strommix voraussichtlich **deutlich** erneuerbarer sein wird als heute, weil:

- neue Windparks gebaut werden,
- Photovoltaik exponentiell wächst,
- Kohlekraftwerke nach und nach vom Netz gehen.

Beim Verbrenner ist es anders:

- Selbst wenn der Sprit mit ein paar synthetischen Beimischungen „grüner“ gemacht wird, bleibt der physikalische Verbrauch pro Kilometer hoch.
- Aus 7 l/100 km werden nicht plötzlich 2 l/100 km – die 63 kWh chemische Energie pro 100 km bleiben.

E-Autos sind damit so etwas wie eine **Wette auf den besser werdenden Strommix**. Sie nutzen heute schon weniger Primärenergie – und profitieren im Laufe ihres Lebens automatisch von jeder Verbesserung des Energiesystems.

8.5.3 Lokale Luftqualität

Unabhängig vom CO₂ gilt:

- BEVs stoßen **lokal** keine Abgase aus.
- Feinstaub kommt vor allem aus Reifen und Straßenabrieb – den hat der Verbrenner aber genauso.

In Städten hat das unmittelbare Vorteile für:

- Atemluft,
- Kinder,
- Menschen mit Vorerkrankungen.

Deshalb stellen immer mehr Städte und Länder Förderprogramme oder Vorgaben auf, die Verkehr zu **lokal emissionsfreien** Antrieben verschieben – E-Autos und E-Busse vorneweg.

Unser Ermittler hält fest:

Selbst mit einem nicht perfekten Strommix schneiden E-Autos bei Energieverbrauch und CO₂ pro Kilometer meist deutlich besser ab als Verbrenner. Je „grüner“ der Strom wird, desto größer wird ihr Vorsprung – ohne dass du am Auto etwas ändern musst.

Jetzt fehlt noch ein Puzzleteil: Was ist mit Wasserstoff und E-Fuels? Sind sie nicht die perfekte Lösung, weil man damit bestehende Infrastruktur weiter nutzen kann?

8.6 E-Fuels und Wasserstoff: Wieso der Energiebedarf dort explodiert

E-Fuels und Wasserstoff sind die Lieblinge vieler Debatten, weil sie eine verlockende Idee versprechen:

„Wir nutzen einfach erneuerbaren Strom, machen daraus synthetischen Sprit oder Wasserstoff – und fahren weiter mit Verbrennern oder Brennstoffzellen. Problem gelöst!“

Technisch ist das möglich. Energetisch ist es teuer. Sehr teuer.

8.6.1 Wasserstoff fürs Auto

Nehmen wir ein Brennstoffzellenauto (wie oben): ca. **1 kg H₂/100 km**, also 33 kWh/100 km im Tank.

Der Weg von der Stromquelle in den Tank sieht ungefähr so aus:

1. **Elektrolyse** – Strom wird genutzt, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Wirkungsgrad: grob **65–75 %**, wir nehmen **70 %**.
2. **Kompression/Verflüssigung & Transport** – der Wasserstoff muss verdichtet, gekühlt, ggf. transportiert werden. Verluste: vielleicht **10 %**, also 90 % Wirkungsgrad.
3. **Betankung & Speicherverluste** – lassen wir grob drin.
4. **Brennstoffzelle + Motor** – 50–60 % Wirkungsgrad, wir nehmen **55 %**.

Gesamtwirkungsgrad Strom → Rad:
 $0,7 \times 0,9 \times 0,55 \approx \mathbf{0,35} \rightarrow \mathbf{35 \%}$

Beim BEV lagen wir bei ca. **75–80 %** vom Netz bis zum Rad.

Das heißt:

- Um die gleiche Vortriebsenergie am Rad zu erzeugen, braucht das FCEV etwa **das 2- bis 2,5-fache** an elektrischer Energie am Anfang der Kette.

Beispiel:

- BEV braucht 18 kWh/100 km an der Steckdose.
- FCEV braucht grob **50–55 kWh/100 km** an erneuerbarem Strom, um daraus Wasserstoff zu erzeugen, zu verteilen und damit zu fahren.

Für bestimmte Nischen (Langstrecken-Lkw, Luftfahrt, Schiffsverkehr, Offroad) kann Wasserstoff trotzdem sinnvoll sein. Für den Massen-Pkw-Verkehr ist der reine Energieeinsatz extrem hoch.

8.6.2 E-Fuels im Verbrenner

E-Fuels sind synthetische flüssige Kraftstoffe, die aus:

- erneuerbarem Strom,
- Wasser (für Wasserstoff),
- CO₂ (z.B. aus der Luft oder aus Industrieabgasen)

hergestellt werden.

Der Weg sieht vereinfacht so aus:

1. Strom → Wasserstoff (Elektrolyse, ~70 %)
2. Wasserstoff + CO₂ → flüssiger Kraftstoff (z.B. mittels Fischer-Tropsch, ~60–75 %, wir nehmen 70 %)
3. Aufbereitung, Transport, Verteilung (~95 %)
4. Verbrenner-Motor im Auto (Tank-to-Wheel, ~25 % Wirkungsgrad im Alltag)

Gesamt:

$$0,7 \times 0,7 \times 0,95 \times 0,25 \approx \mathbf{0,12 \rightarrow 12 \%}$$

Das heißt:

Von 100 kWh erneuerbarem Strom, die du in eine E-Fuel-Anlage steckst, kommen bei einem Verbrenner am Rad vielleicht **12 kWh** an.

Zum Vergleich:

- Beim BEV kommen aus 100 kWh erneuerbarem Strom ~75–80 kWh am Rad an.

Wenn beide Autos für 100 km etwa **15–18 kWh Vortriebsenergie** am Rad brauchen, ergibt sich:

- BEV: ca. **23–25 kWh** erneuerbarer Strom pro 100 km
- E-Fuel-Verbrenner: ca. **150+ kWh** erneuerbarer Strom pro 100 km

Das ist ein Faktor von etwa **6–7**.

Wenn du also ein Land oder eine Welt mit begrenzten erneuerbaren Ressourcen planst, heißt das:

- Mit derselben Menge Ökostrom kannst du entweder **1 Million BEVs** betreiben –
- oder nur **150.000–200.000 Verbrenner mit E-Fuels** auf demselben Kilometer-Niveau.

Das macht E-Fuels als Massenzulösung für Pkw **extrem ineffizient**. Sie können sinnvoll sein:

- als Beimischung zur Bestandflotte in Übergangsphasen,
- in Bereichen, wo Batterien kaum einsetzbar sind (Langstreckenflugzeuge, Schiffe, Spezialfahrzeuge),
- zur Nutzung von „überschüssigem“ erneuerbarem Strom in starken Ausbauphasen.

Aber als generelle Alternative zum BEV für den Alltags-Pkw sind sie energetisch ein Luxus, den sich nur sehr reiche Länder in kleinen Nischen leisten können – nicht die Standardlösung.

Unser Ermittler schließt die Effizienz-Akte mit einem deutlichen Fazit:

- **BEV:** bester Well-to-Wheel-Wirkungsgrad, geringster Energiebedarf pro Kilometer.
- **FCEV:** etwa 2–2,5-mal höherer Strombedarf pro Kilometer, möglicherweise sinnvoll in bestimmten Nischen.
- **E-Fuels im Verbrenner:** 6–7-mal höherer Strombedarf pro Kilometer, v.a. für Spezialanwendungen geeignet.

Wenn wir Effizienz ernst nehmen – und damit unseren Umgang mit begrenzten erneuerbaren Ressourcen –, führt für den Pkw-Alltag kaum ein Weg an der Batterie vorbei.

Im nächsten Teil des Buches wird dieser Effizienzvorsprung mit Kosten, Ladeinfrastruktur und Modellen verknüpft. Denn am Ende entscheidet nicht nur die Physik, sondern auch dein Geldbeutel und deine Erfahrung an der Ladesäule, wie sich dieser Krimi weiterentwickelt.

Kapitel 9 – Mythosjagd I: Reichweite, Strommix, Batterieproduktion

9.1 Mythos „Reichweite“ – was Autos heute wirklich können

Stell dir die typische Szene vor: Du erzählst jemandem, dass du über ein E-Auto nachdenkst. Die erste Reaktion ist selten: „Wie effizient!“ oder „Wie sauber!“

Meist kommt:

„Aber du kommst doch nie weit genug.“

Unser Ermittler klebt an die Wand ein paar Karten: Deutschlandkarte, deine Pendelstrecke, die Strecke zur Oma, die Urlaubsrouten nach Italien. Daneben hängt er technische Datenblätter aktueller E-Autos.

Zuerst zu den **Fakten**:

- Moderne **Kleinst- und Kompaktwagen** haben heute oft WLTP-Reichweiten von **300 bis 400 km**, teilweise sogar etwas darüber.[Electra+1](#)
- Größere Modelle der Mittel- und Oberklasse schaffen **500 km und mehr**, und erste Long-Range-Varianten liegen inzwischen im Bereich von **650–700 km WLTP** – z.B. der neue Opel Grandland Electric Long Range mit knapp 694 km.[DIE WELT+1](#)

WLTP ist ein Prüfzyklus, kein Autobahnrealismus. Auf der Autobahn bei 130 km/h schrumpft die Reichweite realistisch auf etwa **60–80 %** der WLTP-Angabe. Trotzdem heißt das:

- Ein City-E-Auto mit 350 km WLTP kommt auf der Autobahn immer noch vielleicht 220–260 km weit.
- Ein Langstreckenmodell mit 600–700 km WLTP schafft auch bei schnellerer Fahrweise real **350–450 km**.

Jetzt schaut der Ermittler auf dein **tatsächliches Fahrprofil**:

- Laut aktuellen Auswertungen legen Menschen in Deutschland im Schnitt etwa **15,5 km pro Tag** mit dem Auto zurück.[Clean Energy Wire+1](#)
- Ältere Verkehrsstudien wie „Mobilität in Deutschland“ kommen – je nach Zählweise – auf tägliche Gesamtwege von rund **30–40 km**.

- Die meisten Pendelstrecken liegen zwischen **5 und 25 km pro Richtung**.

Damit wird klar: Für den **Alltag** ist eine reale Reichweite von 200–300 km mehr als ausreichend. Viele E-Fahrer laden nur alle paar Tage – und das meist zuhause oder am Arbeitsplatz. Die berühmte „Tankstelle“ liegt plötzlich in deiner Einfahrt.

Wir können unterschiedliche **Typen** betrachten:

- **Pendler**
20–40 km pro Tag, gelegentlich Stadtverkehr. Ein E-Auto mit 40–60 kWh Akku und 300–400 km WLTP-Reichweite deckt das locker ab. Selbst wenn du nur alle drei Tage lädst, bist du entspannt unterwegs.
- **Familien**
Unter der Woche ähnliche Pendelstrecken, am Wochenende Ausflüge. Zwei- bis dreimal im Jahr eine große Urlaubsfahrt. Für 95 % der Tage ist die Reichweite komplett unkritisch – spannend wird es nur auf den **langen Urlaubsstrecken**, wo Schnellladen wichtig wird.
- **Vielfahrer (Außendienst, Handwerk)**
200–400 km am Tag sind keine Seltenheit. Aber genau hier helfen heute:
 - große Akkus (z.B. 70–100 kWh),
 - Schnellladeleistungen von 150–350 kW,
 - und ein immer dichteres Schnellladenetz entlang der Autobahnen.

Der „Reichweitenmythos“ lebt psychologisch vom **Vergleich mit dem vollen Tank**:

Du bist gewohnt, 700–900 km am Stück fahren zu *können* – selbst wenn du das fast nie tust. Das Gefühl „ich könnte, wenn ich wollte“ ist stark. Beim E-Auto verschiebt sich das Muster: Du **lädst öfter, aber dafür nebenbei** – zuhause, während du schläfst, oder beim Einkaufen. Nur auf der Langstrecke wird aktiv geplant.

Unser Ermittler markiert die verschiedene Routen auf der Karte:

- Pendelweg: winziger Strich.
- Wochenendausflug: ein bisschen länger.

- Urlaubsfahrt: die große, fette Linie.

Und dann legt er die tatsächlichen Reichweiten moderner E-Autos darüber. Das Ergebnis:

„Für 90–95 % deiner Fahrten ist die Reichweite längst kein Problem. Die Diskussion dreht sich fast ausschließlich um die wenigen Tage im Jahr, an denen du wirklich weit fahren willst.“

Genau dort kommen Schnellladezeiten, 800-V-Technik und Pausenkultur ins Spiel – das nimmst du in späteren Kapiteln noch genauer unter die Lupe. Der reine Mythos „mit E-Autos kommt man ja nirgends hin“ hält der Realität schon heute nicht stand.

9.2 Mythos „Der Strom kommt doch aus Kohle – also bringt das nichts“

Dieser Satz ist so verbreitet, dass er fast wie ein Reflex wirkt. Er vermittelt ein Gefühl von: „Alles nur Augenwischerei, also kann ich genauso gut weiter tanken.“

Unser Ermittler legt diesmal keine Straßenkarte, sondern **Stromdiagramme** auf den Tisch. Kurven, Balkendiagramme, bunte Anteile – die Strommix-Akte.

Zuerst der Status:

- Laut dem Thinktank Ember kam **2023 in der EU erstmals mehr als zwei Drittel der Stromerzeugung aus „sauberen Quellen“** – also erneuerbaren Energien plus Kernkraft.
- Der Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch in der EU lag 2023 bei etwa **24,5 %** und steigt weiter.
- 2024 wurde in der EU zum ersten Mal **mehr Strom aus Solarenergie als aus Kohle** produziert.
- Im Sommer 2025 gab es Tage, an denen **Solarstrom die wichtigste einzelne Quelle im europäischen Netz** war.

Kurz gesagt: Der Satz „der Strom kommt aus Kohle“ beschreibt eine Vergangenheit, die so nicht mehr existiert. Kohle ist in vielen europäischen Netzen auf dem Rückzug; Wind, Sonne und in manchen Ländern auch Wasserkraft und Kernenergie übernehmen zunehmend die Hauptrolle.

Aber selbst, wenn du einen bewusst pessimistischen Blick einnimmst und sagst: „Okay, der Strommix ist erst halbwegs sauber“, bleibt das **Effizienzargument** aus Kapitel 8 gültig:

- Ein moderner Benziner verheizt für 100 km gerne **60+ kWh** chemische Energie im Tank, von der nur etwa **15–20 kWh** als Vortrieb ankommen.
- Ein vergleichbares E-Auto braucht oft **15–20 kWh Strom** aus dem Netz für dieselbe Strecke – und setzt davon einen sehr großen Anteil direkt in Bewegung um.

Analysen von BloombergNEF zeigen:

- Mittelgroße E-Autos, die 2020 in Europa in Betrieb gingen und insgesamt 250.000 km fahren, haben über ihren Lebenszyklus **18–87 % weniger CO₂-Emissionen** als vergleichbare Verbrenner – je nach Strommix des jeweiligen Landes.
- Der „Break-even“ – also der Punkt, an dem der höhere CO₂-Ausstoß bei der Produktion der Batterie ausgeglichen ist – liegt je nach Land zwischen **rund 25.000 km (z.B. Frankreich)** und etwa **150.000 km (z.B. China mit hohem Kohleanteil)**.

In Europa – mit wachsendem Anteil von Wind und Solar – liegt dieser Punkt also meist deutlich innerhalb der **ersten Lebensjahre** eines Fahrzeugs.

Der entscheidende Vorteil des E-Autos ist nicht nur sein hoher Wirkungsgrad, sondern auch seine **„Strommix-Kompatibilität“**:

- Wenn mehr Wind- und Solaranlagen ans Netz gehen,
- wenn Kohlekraftwerke abgeschaltet werden,
- wenn mehr Grünstromtarife angeboten werden,

dann wird **dein bestehendes E-Auto automatisch sauberer**, ohne dass du irgendetwas am Fahrzeug änderst.

Beim Verbrenner bleibt es dagegen immer beim Grundprinzip:

Jeder Kilometer verbrennt einen neuen Schluck fossilen Kraftstoffs – egal, wie viel Ökostrom gerade im Netz ist.

Natürlich ist Strom nicht per se „grün“. Ein E-Auto, das in einem Netz mit hohem Kohleanteil geladen wird, hat zunächst eine schlechtere Bilanz als eines, das in einem Netz mit viel Wind und Sonne unterwegs ist. Aber:

1. Der Effizienzvorteil (kWh/100 km) bleibt.
2. Die Dynamik geht klar in Richtung **saubererer Strommix** – erst recht in Europa.

Unser Ermittler schreibt groß an die Tafel:

„Der Strommix ist eine **Variable**, kein Schicksal. Der Wirkungsgrad des Verbrenners ist ein **Schicksal**, keine Variable.“

Wenn du E-Autos bewertest, musst du also immer beides sehen:

- den **aktuellen** Strommix in deinem Land,
- und den **Trend** der nächsten 10–15 Jahre – also genau den Zeitraum, in dem dein Auto fahren wird.

Und genau dieser Trend spielt der E-Mobilität in die Karten.

9.3 Mythos „Die Batterieproduktion frisst doch alles auf“

Dieser Mythos klingt ungefähr so:

„Bis die Batterie gebaut ist, hast du so viel CO₂ erzeugt, dass das E-Auto nie im Leben besser ist als ein Verbrenner.“

Das ist einer der härtesten Vorwürfe – und einer, der sich nur mit **Lebenszyklus-Bilanzen** sauber beantworten lässt.

Unser Ermittler zieht eine neue Akte hervor: LCA – Life Cycle Assessment. Darin stehen Studien, die nicht nur den Verbrauch, sondern **Produktion, Betrieb und Entsorgung/Recycling** von Autos betrachten.

Was sagen diese Studien?

- Eine aktuelle Analyse von Umweltverbänden in Europa kommt zum Ergebnis, dass neu zugelassene Elektroautos im Schnitt über ihren gesamten Lebenszyklus etwa **75 g CO₂-Äquivalente pro km** verursachen – das sind rund **69 % weniger** als ein vergleichbarer Benziner.
- Fachartikel aus der wissenschaftlichen Literatur zeigen, dass die **Herstellung** eines E-Autos, insbesondere der Batterie, zwar mehr Emissionen verursacht als die eines Verbrenners, dass diese zusätzliche Belastung aber im laufenden Betrieb **relativ schnell ausgeglichen** wird.

Vereinfacht gesagt:

- Der Verbrenner startet mit einem kleineren CO₂-Rucksack bei der Produktion – sagen wir, grob 5–7 Tonnen CO₂.
- Das E-Auto startet mit einem größeren Rucksack – z.B. 8–12 Tonnen, je nach Batteriekapazität und Produktionsstandort.

Dann kommt die **Nutzungsphase**:

- Der Verbrenner stößt pro Kilometer – inkl. Vorkette der Kraftstoffbereitstellung – vielleicht **180–250 g CO₂/km** aus (je nach Fahrzeug, Fahrweise, Land).
- Das E-Auto verursacht, je nach Strommix, vielleicht **60–120 g CO₂/km**, inkl. Stromerzeugung. In Ländern mit hohem Ökostromanteil eher am unteren Ende, in Ländern mit mehr Kohle am oberen.

Der „Break-even“, also der Kilometerstand, ab dem das E-Auto **insgesamt** besser dasteht, ergibt sich aus der Differenz:

- Wenn der Verbrenner 200 g/km verursacht
- und das E-Auto 90 g/km,
- dann spart das E-Auto **110 g** pro gefahrenem Kilometer ein.

Hat es z.B. 4 Tonnen CO₂ mehr in der Produktion gekostet, ist dieser Mehr-Ausstoß nach:

- $4.000.000 \text{ g} / 110 \text{ g/km} \approx \mathbf{36.000 \text{ km}}$ wieder drin.

Studien für Europa kommen je nach Annahmen und Strommix auf Break-even-Punkte irgendwo zwischen **20.000 und 80.000 km**. Das ist – bei typischen Jahresfahrleistungen – oft nach **3–6 Jahren** erreicht. Danach fährt das E-Auto den Verbrenner klimatechnisch **immer weiter davon**.

Dazu kommt:

- Die Batteriefertigung selbst wird zunehmend mit **Strom aus erneuerbaren Quellen** betrieben. In neuen Batteriefabriken in Europa ist der Anteil von Grünstrom oft deutlich höher als früher in Asien.
- Die Zellchemien verschieben sich hin zu **LFP und Natrium-Ionen**, die weniger energieintensive oder kritischere Rohstoffe pro kWh benötigen.

- Das **Recycling** von Batterien wird gesetzlich vorangetrieben; die neue EU-Batterieverordnung schreibt Mindest-Recyclingquoten und Rezyklatanteile vor.

Beim Verbrenner sieht es anders aus:

- Seine Produktion ist zwar etwas „leichter“ im CO₂-Fußabdruck,
- aber jeder Kilometer Betrieb ist ein erneuter Schuss aus der „CO₂-Kanone“.
- Es gibt kein Recycling für verbrannten Kraftstoff – einmal in der Atmosphäre, bleibt er dort.

Das E-Auto dagegen hat:

- einen höheren Startwert,
- dafür einen deutlich geringeren laufenden Ausstoß,
- und am Ende eine Batterie, deren Materialien zu einem großen Teil zurückgewonnen werden können.

Natürlich ist Batterieproduktion kein Öko-Märchen. Sie verbraucht Energie, Wasser, Rohstoffe. Sie hinterlässt lokale Eingriffe, besonders dort, wo Lithium, Nickel oder Grafit gewonnen werden. Aber im großen Bild gilt:

Der zusätzliche CO₂-Rucksack der Batterieproduktion ist **endlich groß**, die Einsparungen im Betrieb sind **jeden Tag** wirksam.

Unser Ermittler schreibt zum Abschluss dieses Kapitels drei Sätze auf das Whiteboard:

1. **Reichweite:** Heute kein Alltagsproblem mehr, sondern vor allem eine Frage von Urlaubsgewohnheiten – und hier helfen Schnellladen und Planung.
2. **Strommix:** Wird von Jahr zu Jahr sauberer; E-Autos profitieren automatisch, Verbrenner nicht.
3. **Batterieproduktion:** Ja, sie kostet CO₂ – aber weniger als der Betrieb eines Verbrenners über die Lebensdauer. Der Break-even kommt früher, als viele glauben.

Mit diesen drei Mythen im Visier ist klar: Der „Fall E-Auto“ kippt nicht an Reichweite, Strommix oder Batterieproduktion. Im Gegenteil – je tiefer du in die Akten schaust, desto

klarer wird, dass viele Vorurteile auf alten Bildern und vereinfachten Aussagen beruhen.

Die nächste Mythosjagd wird sich um Rohstoffe, Kinderarbeit und „Seltene Erden“ drehen – also um die emotional vielleicht heikelste Frage in diesem ganzen Krimi.

10.1 Klarstellung: Lithium, Kobalt & Co. sind keine „Seltenen Erden“

Unser Ermittler steht diesmal vor dem Periodensystem. Er tippt auf verschiedene Kacheln wie auf Zeugenfotos: Lithium. Kobalt. Nickel. Neodym. Cerium. Und dann auf die Überschrift: „**Seltene Erden**“.

Genau hier beginnt die Verwirrung: In Talkshows, Artikeln und Social-Media-Posts werden Lithium, Kobalt und „Seltene Erden“ munter durcheinandergeworfen, als sei das alles eine Suppe. Das ist falsch – und verdeckt oft mehr, als es erklärt.

Was sind „Seltene Erden“?

- Chemisch sind das 17 Elemente: die 15 Lanthanoide plus Scandium und Yttrium. Typische Namen: **Neodym, Praseodym, Dysprosium, Terbium, Cerium, Lanthan**.
- Sie heißen „selten“, weil sie selten **konzentriert** vorkommen – nicht, weil es sie gar nicht gibt. Cerium ist z.B. geologisch relativ häufig.
- Sie werden vor allem gebraucht für:
 - Hochleistungs-Magnete (z.B. Neodym in E-Motoren und Windrädern)
 - Katalysatoren (z.B. Cerium im Auto-Katalysator und in der Raffinerie)
 - Spezialgläser, Elektronik, Laser, Leuchtstoffe.

Und was sind Lithium, Kobalt, Nickel & Co.?

- Das sind **keine** Seltenen Erden.
- Sie gehören zur Gruppe der sogenannten **kritischen Rohstoffe**: Materialien, die für bestimmte Technologien unverzichtbar sind und bei denen es Versorgungsrisiken gibt.
- Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan und Graphit sind zentrale **Batterierohstoffe**.

Oder kurz:

Seltene Erden \neq Batteriemetalle. Lithium, Kobalt & Co. sind **wichtige Rohstoffe**, aber sie gehören **nicht** zur Gruppe der „Rare Earths“.

In Lithium-Ionen-Batterien stecken vor allem:

- **Lithium** in der Kathode und im Elektrolyten,
- **Nickel, Mangan, Kobalt** in vielen Hochenergie-Kathoden (NMC, NCA),
- **Eisen und Phosphat** in LFP-Kathoden,
- **Graphit** in der Anode.

Seltene Erden dagegen sind **nicht** Bestandteil der Zellen: Aktuelle Übersichten zur Batterietechnik betonen explizit, dass **Neodym & Co. nicht in Lithium-Ionen-Zellen vorkommen**, sondern in den **Magneten der E-Motoren** und in anderen Komponenten wie Windturbinen eine Rolle spielen.

Warum wird das so oft verwechselt?

- „Seltene Erden“ klingt dramatischer als „kritische Rohstoffe“.
- In vielen Berichten werden alle problematischen Materialien der Energiewende in einen Topf geworfen.
- Es passt in das Narrativ: „E-Autos brauchen Unmengen an seltenen, exotischen Stoffen“ – und suggeriert, Verbrenner wären rohstoffarm.

Genau das stimmt aber nicht:

- Verbrenner nutzen **seltene Erden** in Katalysatoren und in der Raffinerie zur Kraftstoffproduktion (z.B. Cerium und Lanthan).
- Hybride mit NiMH-Batterien enthielten bislang ebenfalls nennenswerte Mengen an seltenen Erden wie Lanthan und Neodym.
- E-Autos nutzen Seltene Erden vor allem in **Permanentmagnet-Motoren** – aber nicht alle E-Motoren sind so aufgebaut. Asynchron-, Reluktanz- oder fremderregte Motoren kommen weitgehend ohne Seltene Erden aus.

Unser Ermittler schreibt mit rotem Stift in die Akte:

Mythos-Kern: „E-Autos = Lithium + Kobalt + Seltene Erden = böse“

Realität: Es gibt **verschiedene Rohstoffgruppen** mit unterschiedlichen Problemen –

und sowohl Verbrenner als auch E-Autos greifen auf kritische Materialien zurück, nur an **anderen Stellen der Kette**.

Wer ehrlich über Rohstoffe reden will, muss unterscheiden:

- Batteriemetalle (Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Graphit)
- Seltene Erden (Neodym, Cerium, Lanthan usw.)
- klassische Metalle (Kupfer, Aluminium, Stahl)

Erst wenn diese Ebenen sauber getrennt sind, macht es Sinn, über Kinderarbeit, Abhängigkeiten und Alternativen zu sprechen. Und damit kommen wir zum vielleicht unangenehmsten Kapitel der Rohstoffakte: Kobalt.

10.2 Kobalt: Probleme und Lösungen – vom „Blutmetall“ zur Übergangstechnologie

Kobalt ist der **dunkle Star** der Batteriedebatte. Wenn Medien von „Blut an den Batterien“ sprechen, meinen sie fast immer: Kobalt aus dem Kongo.

Faktisch ist die Demokratische Republik Kongo (DRC) derzeit das Zentrum der Kobaltproduktion:

- Die DRC hält rund **70+ % der weltweiten Kobaltreserven** und lieferte in den letzten Jahren über **70 % des weltweiten Angebots**.
- Ein Teil davon wird industriell in großen Minen gewonnen, ein anderer Teil stammt aus **artisanalem Kleinbergbau (ASM)**.

Schätzungen gehen davon aus:

- **15–30 %** des aus der DRC stammenden Kobalts kommen aus artisanalem Bergbau.
- In diesen Strukturen sind Arbeitsbedingungen oft prekär: fehlender Arbeitsschutz, einsturzgefährdete Schächte, kaum medizinische Versorgung.
- NGO- und Behördenberichte dokumentieren **Kinderarbeit und Zwangsarbeit** in Teilen dieses Sektors.

Gleichzeitig ist Kobalt ein **zentrales Material** in vielen EV-Batterien (vor allem NMC-/NCA-Chemien) – und die Elektromobilität ist inzwischen der **wichtigste Nachfragetreiber**:

- Laut Cobalt Institute machte die Batterieindustrie 2024 rund **43 % der globalen Kobaltnachfrage** aus, der Großteil davon für Elektrofahrzeuge.

Damit ist der Fall klar:

E-Mobilität trägt zur steigenden Kobaltnachfrage bei – diese Nachfrage wiederum verstärkt den Druck auf Regionen wie die DRC, wo Menschen vielfach unter unmenschlichen Bedingungen arbeiten.

Das muss man klar aussprechen. Aber die Ermittlungsakte endet hier nicht – sie beginnt hier.

Was passiert auf der Lösungsseite?

1. Reduktion des Kobaltanteils in Batterien

- Klassische NMC-111-Kathoden (1 Teil Ni, 1 Mn, 1 Co) hatten einst $\sim \frac{1}{3}$ Kobaltanteil.
- Neue Generationen wie NMC-622 und NMC-811 konnten den Kobaltanteil deutlich senken – von rund 33 % auf 20 % und dann auf etwa 10 %.
- Parallel dazu wächst der Marktanteil **kobaltfreier LFP-Batterien** massiv:
 - 2015 noch im einstelligen Prozentbereich,
 - 2023 bereits etwa **44 % der EV-Batterien im Pkw-Bereich**.
- Laut IRENA hätte man die Kobaltnachfrage für EV-Batterien um etwa **50 % überschätzt**, wenn man die chemische Innovation der letzten Jahre nicht berücksichtigt hätte.

Die Tendenz ist klar:

- **Weniger Kobalt pro kWh**
- mehr **kobaltarme oder kobaltfrei** Chemien (LFP, Natrium-Ionen, Hochmangan-Systeme).

2. Technologische Alternativen

- LFP (Lithium-Eisenphosphat) verzichtet komplett auf Kobalt und Nickel.

- Natrium-Ionen-Batterien kommen ohne Lithium und Kobalt aus und könnten v.a. in günstigeren Fahrzeugen und Speichern zunehmen.
- Neue Kathoden wie LNMO oder NMX zielen ebenfalls auf **weniger oder kein Kobalt**.

3. Sorgfaltspflichten & Lieferkettenkontrolle

- Die neue **EU-Batterieverordnung** (Regulation (EU) 2023/1542) verpflichtet Hersteller zu CO₂-Fußabdruck-Deklarationen, Rückverfolgbarkeit und Sorgfaltspflichten in der Lieferkette – auch beim Rohstoffabbau.
- Internationale Initiativen setzen auf **zertifizierte Minen**, Audits, Transparenzsysteme und digitale „Battery Passports“.
- In der DRC wurde mit der staatlichen **Entreprise Générale du Cobalt (EGC)** ein Modell zur Formalisierung und **nachverfolgbaren Produktion von artisanalem Kobalt** gestartet – erste 1.000 Tonnen „traceable artisanal cobalt“ wurden 2025 gemeldet.

All das beseitigt die Probleme nicht über Nacht – aber es bewegt das System:

- **Weniger Kobalt** wird pro Batterie benötigt.
- Der Anteil problematischer Lieferketten soll durch Zertifizierung, geregelte ASM-Zonen und Audits sinken.
- Recycling (siehe 10.4) wird langfristig einen wachsenden Anteil des Kobaltbedarfs abdecken.

Unser Ermittler notiert nüchtern:

Kobalt ist ein echter Problemfall – aber eben auch ein **Übergangsproblem**, nicht die ewige Grundlage der E-Mobilität. Die Technik wandert Schritt für Schritt davon weg, und politische Regeln zwingen zu besseren Lieferketten.

Wer E-Mobilität kritisiert, soll das tun – aber bitte nicht so, als wäre Kobalt ein unveränderliches Naturgesetz. Es ist ein **konkretes, lösbares Risiko**, kein Schicksal.

10.3 Seltene Erden im Verbrenner vs. im Elektromotor – beide Seiten des Tatorts

Jetzt nimmt der Ermittler zwei Ordner aus dem Regal: „Seltene Erden im Verbrenner“ und „Seltene Erden im E-Antrieb“. Beide sind dick. Das überrascht viele – denn in der öffentlichen Debatte scheint es oft so, als hätten nur E-Autos dieses Problem.

Seltene Erden im Verbrenner-System

1. Raffinerie

- In der Kraftstoffherstellung sind seltene Erden längst angekommen:
 - Lanthan und Cerium werden als **Katalysatoren in der Fluid Catalytic Cracking (FCC)** eingesetzt – einem zentralen Prozess, mit dem aus Rohöl Benzin und andere Produkte gewonnen werden.
 - Diese Zusätze steigern die Ausbeute an Benzin und helfen, Emissionen im Raffinerieprozess zu senken.

2. Abgasreinigung

- Im **Katalysator** moderner Autos wird Ceriumoxid eingesetzt, um Sauerstoff zu puffern und die Umwandlung von CO, NOx und Kohlenwasserstoffen zu verbessern.
- Cerium gehört zu den „Leicht-Seltenen Erden“ und ist ein zentrales Element in vielen Auto-Kats weltweit.

3. Hybride mit NiMH-Batterien

- Ältere Hybridfahrzeuge (z.B. Toyota Prius der ersten Generationen) nutzten Nickel-Metallhydrid-Batterien, die **zwischen 7 und 10 % Seltene Erden** wie Lanthan, Cerium und Neodym enthalten konnten.

Die Verbrennerwelt ist also keineswegs „seltene-erden-frei“. Sie nutzt sie nur andererseits:

- nicht im Motor selbst,
- sondern in der **Spritproduktion und Abgasreinigung**.

Seltene Erden im E-Auto

Beim E-Auto stehen Seltene Erden vor allem an einer anderen Stelle im Fokus:

1. Permanentmagnet-Elektromotoren

- Viele moderne E-Motoren verwenden **Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB)** mit Zusätzen wie Dysprosium oder Terbium, um hohe Magnetfeldstärken und Temperaturstabilität zu erreichen.
- Diese Magnete ermöglichen kompakte, hocheffiziente Motoren – ein Grund, warum viele Hersteller sie bevorzugen.

2. Weitere Anwendungen in der E-Mobilität

- Seltene Erden können auch in Sensoren, Leistungselektronik oder kleineren Magneten vorkommen – allerdings in deutlich geringeren Mengen als in den Hauptantriebsmotoren.

Gleichzeitig betonen Studien von IEA und IRENA:

- Seltene Erden sind **essential** für Permanentmagnet-Motoren und Windturbinen – also zentrale Bausteine der Energiewende insgesamt.

Das Bild ist also ambivalent:

- Der **Verbrenner** nutzt Seltene Erden vor allem, um seinen **schmutzigen Prozess etwas sauberer zu machen** (Katalysator, Raffinerie).
- Das **E-Auto** nutzt Seltene Erden, um **hoch effiziente Motoren** zu ermöglichen – also um die ohnehin bessere Energiebilanz weiter zu verbessern.

Dazu kommt: Es gibt Alternativen:

- **Asynchronmotoren** und **fremderregte Synchronmaschinen** benötigen keine Permanentmagnete → keine Seltene Erden im Rotor.
- **Reluktanzmotoren** reduzieren oder eliminieren Magnetmaterial, nutzen stattdessen spezielle Blechgeometrien.

Einige Hersteller gehen bereits diesen Weg, um Abhängigkeiten von Seltenen Erden zu verringern – teils aus Kostengründen, teils aus geopolitischen Motiven (China dominiert derzeit die Verarbeitung von Seltenen Erden).

Unser Ermittler schreibt auf ein Blatt „Beide Seiten beleuchtet“:

- Ja, E-Autos mit Magnetmotoren nutzen Seltene Erden.
- Ja, das kann zu Umweltproblemen und Abhängigkeiten führen, wenn die Lieferketten schlecht geregelt sind.
- Aber: Verbrenner sind **keine Unschuldslämmer** – sie brauchen ebenfalls Seltene Erden in Raffinerien und Katalysatoren, um überhaupt heutige Abgasnormen zu schaffen.

Im großen Bild verschiebt die Elektromobilität den Einsatz von Seltenen Erden:

- weg von **einmalig verbranntem Sprit** und **permanent laufenden Auspuffkatzen**,
- hin zu **langlebigen Komponenten (Motoren, Windräder)**, die recycelbar sind.

Und genau hier kommt die nächste Akte ins Spiel: **Recycling**.

10.4 Recycling als Gegenstrategie zur Primärförderung

In jeder Rohstoffdiskussion gibt es zwei Wege:

1. Immer neue Minen aufmachen.
2. Das Beste aus dem herausholen, was schon im Umlauf ist.

Recycling ist die Strategie Nummer 2 – und sie wird im Kontext der E-Mobilität zunehmend zur **Schlüsseltechnologie**.

Batterierecycling – vom Pilotprojekt zur Pflicht

Die neue **EU-Batterieverordnung (EU) 2023/1542** hat die Spielregeln in Europa deutlich verschärft:

- Sie gilt seit 2024 und umfasst **alle Batteriearten**, insbesondere auch Traktionsbatterien in E-Fahrzeugen.
- Ab 2026 müssen für Lithium-Ionen-Batterien mindestens **65 % der Masse recycelt** werden, ab 2031 **70 %**.
- Es gelten **Mindestanteile an recycelten Materialien**: ab 2031 u.a.
 - mindestens 16 % recyceltes **Kobalt**,
 - 6 % recyceltes **Lithium**,

- 6 % recyceltes **Nickel** in neuen Batterien.
- Zusätzlich kommen:
 - **digitale Batterie-Pässe** (Rückverfolgbarkeit),
 - CO₂-Fußabdruck-Deklarationen,
 - Sorgfaltspflichten für Rohstofflieferketten.

Das bedeutet:

Batterien werden nicht mehr als „Einweg-Produkt“ betrachtet, sondern als **temporäre Rohstoffspeicher**, die nach ihrem Autoleben wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden müssen.

EV-Batterien sind dafür besonders geeignet:

- Sie sind groß, technisch wertvoll und wirtschaftlich interessant.
- Sie werden dokumentiert und sind nicht anonym wie Handyakkus im Hausmüll.

Laut Analysen könnte Europa bis 2030 genügend Material aus Recycling gewinnen, um theoretisch Batterien für bis zu **zwei Millionen E-Autos pro Jahr** zu bauen – vorausgesetzt, die geplanten Recyclingprojekte werden umgesetzt.

Was wird beim Batterierecycling zurückgewonnen?

- Metalle wie Nickel, Kobalt, Kupfer und Aluminium lassen sich schon heute mit hohen Ausbeuten (>90 %) recyceln.
- Lithium-Recycling ist technisch aufwendiger, aber der Druck steigt – die neuen Quoten zwingen zur Entwicklung großskaliger Verfahren.

Seltene Erden & Magnetrecycling

Auch bei Seltenen Erden tut sich etwas:

- EV-Motoren und Windkraftanlagen enthalten fokussierte Mengen an Neodym, Dysprosium & Co. – deutlich einfacher zu erfassen als verstreute Mikromengen.
- Recyclingverfahren für Permanentmagnete (z.B. hydrometallurgische und pyrometallurgische Prozesse) werden in Europa und Asien erprobt, teils im Pilotmaßstab umgesetzt.

- Parallel dazu fördert die EU über den **Critical Raw Materials Act** Projekte, die bis 2030 **mindestens 25 % des Bedarfs** an kritischen Rohstoffen durch Recycling decken sollen.

Auch wenn Recycling nicht alle Umweltprobleme löst, verändert es die **Systemlogik**:

- Vom linearen „Take–Make–Waste“ (Rohstoff – Produkt – Müll)
- hin zu einem zirkulären „Take–Make–Use–Re-Make“.

Beim Öl gibt es diese Option nicht:

- Jeder Liter, den du verbrennst, ist unwiederbringlich weg und als CO₂ in der Atmosphäre.
- Es gibt keine realistische Möglichkeit, verbrannten Kraftstoff zurückzugewinnen.

Bei Metallen ist das anders:

- Sie sind prinzipiell **unendlich oft recycelbar**, wenn sie sauber gesammelt und aufbereitet werden.
- Das gilt für Batteriemetalle ebenso wie für Seltene Erden.

Unser Ermittler schließt die Recycling-Akte mit einer nüchternen Erkenntnis:

Die E-Mobilität schafft erstmals die Möglichkeit, einen großen Teil der eingesetzten Rohstoffe **im Kreis zu führen**, statt sie wie Öl in Rauch aufgehen zu lassen. Wir nutzen diese Chance noch nicht perfekt – aber wir haben die Tools, Gesetze und Technologien, um besser zu werden.

Und genau das bringt uns zur letzten Frage dieses Kapitels: Wie ehrlich darf man sein, ohne die Leute zu verlieren?

10.5 Ehrliche Botschaft: Nicht perfekt – aber systematisch verbesserbar

Im Verhörraum der öffentlichen Meinung sitzen zwei Verdächtige: der Verbrenner und das E-Auto.

- Der eine ist altbekannt, charmant, aber mit langem Strafregister: Ölkrisen, CO₂, Luftverschmutzung.

- Der andere ist jünger, leise, technisch beeindruckend – aber mit einem Dossier, in dem Worte wie „Kobalt“, „Lithium“ und „Neodym“ unterstrichen sind.

Die Versuchung ist groß, einen von beiden zum **Heiligen** zu erklären. Die Realität ist unromantischer:

Es gibt in diesem Krimi **keine Unschuldigen** – aber es gibt eindeutig **bessere und schlechtere Optionen**.

Was spricht gegen E-Mobilität?

- Rohstoffabbau für Batterien und Motoren ist mit erheblichen Eingriffen in Umwelt und Gesellschaft verbunden – besonders in Regionen mit schwacher Regulierung (DRC, Teile von Asien, Lateinamerika).
- Die Lieferketten sind global, komplex und heute noch nicht durchgängig transparent.
- Die Produktion großer Batterien benötigt viel Energie und verursacht einen anfänglichen CO₂-Rucksack.

Was spricht für E-Mobilität – trotz dieser Kritik?

1. Physikalische Effizienz

- E-Motoren und Batterieantriebe sind um ein Vielfaches effizienter als Verbrenner (siehe Kapitel 5–8).
- Das bedeutet: Für dieselbe Mobilität brauchen wir deutlich **weniger Energie**, und damit auch weniger Gesamtrohstoffaufwand im Energiesystem.

2. Stellschrauben statt Sackgasse

- Batterietechnologien entwickeln sich rasant: LFP, Natrium-Ionen, Hochmangan- und kobaltarme Chemien reduzieren den Bedarf an besonders problematischen Metallen.
- Motorenkonzepte können Seltene Erden reduzieren oder ganz vermeiden.
- Recyclingquoten werden rechtlich vorgegeben und technologisch hochgefahren.

3. Dekarbonisierungsmöglichkeiten

- Der Strom für E-Autos lässt sich schrittweise auf erneuerbare Quellen umstellen – und damit die Klimabilanz kontinuierlich verbessern.
- Beim Verbrenner bleibt es immer beim Verbrennen fossiler Moleküle – selbst E-Fuels sind extrem energieintensiv und auf Nischen beschränkt.

4. Regulierbare Lieferketten

- Kinderarbeit und Zwangsarbeit im Rohstoffabbau sind reale Gräueltaten – aber sie sind **nicht naturgegeben**.
- Mit Sorgfaltspflichten, transparenten Lieferketten, lokalen Entwicklungsprogrammen und wirtschaftlich attraktivem Recycling lassen sie sich reduzieren.

Oil & Gas hatten 100 Jahre Zeit, ihre Lieferketten zu „säubern“. Das Ergebnis:

- massive Umweltzerstörung,
- regelmäßige Lecks,
- politische Abhängigkeiten,
- und ein Klimaproblem historischen Ausmaßes.

Die Rohstoffketten der E-Mobilität sind **jünger**, stehen unter **viel stärkerem öffentlichen Druck** und werden parallel zu Klimazielen, Menschenrechtsabkommen und Kreislaufwirtschaft gebaut. Das ist kein Freifahrtschein – aber ein struktureller Unterschied.

Unser Ermittler schaut dich direkt an:

Wenn du nach einer Technologie suchst, die heute schon alles richtig macht, wirst du sie nicht finden. Wenn du aber nach einer Technologie suchst, die **physikalisch effizienter, klimafreundlicher** und **politisch formbarer** ist als das alte System – dann führt an der E-Mobilität kaum ein Weg vorbei.

E-Mobilität ist nicht „die Lösung“ im Alleingang. Sie ist ein Baustein in einem größeren Umbau:

- hin zu erneuerbaren Energien,
- zu weniger Autokilometern insgesamt,
- zu besserer Stadtplanung,

- zu Kreislaufwirtschaft bei Metallen.

Aber sie hat einen entscheidenden Vorteil gegenüber dem Verbrenner:

Sie ist ein **System im Werden** – mit Stellschrauben, die man drehen kann. Der Verbrenner ist ein **System im Endstadium** – und seine Stellschrauben sind weitgehend ausgereizt.

Die ehrliche Botschaft dieses Kapitels lautet daher nicht: „E-Autos sind sauber.“

Sondern:

„E-Autos sind derzeit die **beste realistische Option**, wenn wir klimaverträgliche Mobilität wollen – und gleichzeitig ein System, in dem wir Missstände erkennen, benennen und Schritt für Schritt beheben können.“

Der Krimi ist also nicht vorbei. Er bekommt nur eine neue Wendung: Vom Aufdecken der Schattenseite hin zur Frage, **wer bereit ist, an den helleren Szenen mitzuschreiben.**

Kapitel 11 – Mythosjagd III: Netzüberlastung, Blackout, „zu teuer“

11.1 Netzbelastung: Prognosen, Lastmanagement, Laden nachts/zu Hause

In den Schlagzeilen ist das Szenario klar: Sobald „alle“ E-Autos fahren, geht irgendwo in Deutschland das Licht aus. Blackout. Die perfekte Krimi-Schlagzeile.

Aber wie so oft im Krimi: Die Story klingt gut – stimmt aber so nicht.

Stell dir vor, du sitzt mit unserem Ermittler im Kontrollraum eines Übertragungsnetzbetreibers. Vor euch riesige Monitore: Stromflüsse, Lastkurven, Reserven. Auf einem Bildschirm blinkt ein neuer „Verdächtiger“ auf: **Elektroautos**. Die Frage: Machen sie das Netz wirklich kaputt?

Der erste Schritt in der Analyse: **Energie vs. Leistung**.

- **Energie (kWh)** ist die Menge Strom, die über die Zeit verbraucht wird – so wie Liter im Tank.
- **Leistung (kW)** ist die Momentanbelastung – wie viele „Liter pro Minute“ gleichzeitig durch alle Zapfsäulen laufen.

Viele Panikstories tun so, als würden alle E-Autos gleichzeitig Schnellladen – das ist ungefähr so realistisch, wie wenn alle Verbrenner-Fahrer gleichzeitig um 17:32 Uhr an genau einer Autobahn-Tankstelle auftauchen.

Studien für Europa zeigen: Würden **alle Pkw in der EU auf Elektroantrieb umgestellt**, würde der Strombedarf um rund **13 %** steigen – also ungefähr so, als würde man über Jahre hinweg die Nachfrage langsam anheben, nicht als würde jemand morgen einen Schalter umlegen.

Zum Vergleich: Viele Länder haben in den letzten Jahrzehnten ähnlich große Verbrauchsschwankungen allein durch wirtschaftliche Entwicklung, Wärmepumpen und Rechenzentren bewältigt.

Noch wichtiger: **Wann und wie geladen wird**.

- Internationale Analysen und Umfragen zeigen, dass **rund 70–80 % der Ladevorgänge zu Hause oder am Arbeitsplatz** stattfinden – meist langsam (AC, 3,7–11 kW) und oft nachts oder außerhalb der Spitzenzeiten.

- In Deutschland zeigt sich: je mehr Menschen privat laden können, desto weniger brauchen sie öffentliche Schnelllader – und genau das entlastet die teuren Netzspitzen.

Hinzu kommt: Stromnetze werden **nicht** auf einen beliebigen denkbaren Höchstwert dimensioniert, sondern mit Reserven und klaren Ausbaupfaden. Eine ICCT-Analyse hat schon vor Jahren gezeigt, dass selbst eine sehr hohe E-Auto-Quote mit überwiegend **Nachtladen** mit dem bestehenden Kraftwerkspark gut bedient werden kann – erst ab deutlich höheren Anteilen sind größere Netzausbauten nötig.

Die eigentliche Bedrohung für das Netz ist **unkontrolliertes, gleichzeitiges Schnellladen**. Aber genau hier kommen die „Kollegen“ von unserem Ermittler ins Spiel: **Lastmanagement, zeitvariable Tarife und intelligente Ladestrategien**. Zahlreiche Studien zeigen, dass sich Lastspitzen drastisch abflachen lassen, wenn:

- Tarife nachts oder bei viel Wind-/Solarstrom deutlich günstiger sind,
- Wallboxen und Fahrzeuge automatisch so laden, dass **Netzbelastung und Kosten minimiert** werden,
- Schnelllader an Knotenpunkten stehen, an denen das Netz ohnehin stark ausgebaut ist.

Kurz gesagt:
Der Mythos „E-Autos überlasten das Netz“ lebt von Extremannahmen. In der realen Welt sind sie **eine zusätzliche Last**, aber zugleich ein **steuerbarer Flexibilitätsbaustein**, der – richtig eingesetzt – das System sogar stabilisieren kann.

11.2 Smart Charging & Vehicle-to-Grid – vom Problem zur Ressource

Hier wird der Krimi richtig spannend: Aus dem anfangs verdächtigen „Netzfresser E-Auto“ wird plötzlich ein **Undercover-Agent** für Netzstabilität.

Smart Charging (V1G) bedeutet: Das Auto entscheidet zusammen mit Wallbox und Energieversorger, *wann* und *wie schnell* geladen wird. **Vehicle-to-Grid (V2G)** geht noch weiter: Das Auto kann zeitweise Strom **zurück ins Netz** speisen.

Technisch passiert dabei Folgendes:

- Die Wallbox oder der DC-Lader ist mit Backend-Systemen und Netzbetreibern verbunden.
- Über Standards wie **ISO 15118-20** werden Ladeleistung und ggf. Rückspeisung dynamisch gesteuert.
- Preis- oder Netzsignale geben vor: Jetzt laden, später bremsen, bei Bedarf sogar einspeisen.

Studien für Europa und andere Märkte sehen hier **enorme Potenziale**:

- Analysen von Energieverbänden und Beratungen kommen zu dem Ergebnis, dass **koordinierte E-Auto-Flotten bis 2030 zweistellige TWh-Mengen an Flexibilität bereitstellen können** – also mehrere Prozent des europäischen Strombedarfs.
- Eine Fraunhofer-/Politik-Brief-Analyse betont, dass E-Auto-Batterien als Speicher einen wichtigen Beitrag zum Ausgleich von Wind- und Solarfluktuationen leisten können – **vorausgesetzt**, die regulatorischen Rahmenbedingungen erlauben es.

Für dich als Fahrer*in ist das zunächst ganz banal: Dein Auto hängt abends an der Wallbox, du stellst ein: „Morgens 7 Uhr mindestens 80 %“. Der Rest läuft im Hintergrund:

- An windreichen Nächten lädt dein Fahrzeug besonders günstig.
- Bei Engpässen kann das System die Ladeleistung kurz zurücknehmen, ohne dass du es merkst.
- In Zukunft kann dein Auto sogar **Geld verdienen**, indem es kurzfristig in Regenergiemärkten mitmacht oder dein Haus in teuren Spitzenstunden aus der Fahrzeugbatterie versorgt.

Simulationen zeigen, dass solche **optimierten Lade- und V2G-Strategien** nicht nur die Netzbelastung senken, sondern auch **Energiekosten für Haushalte** reduzieren können.

Der Clou aus Systemsicht: Je mehr flexible Verbraucher und Speicher wie E-Autos es gibt, desto leichter können hohe Anteile erneuerbarer Energien integriert werden – ohne dass das Netz instabil wird. Ein 2025 veröffentlichtes Review betont, dass gerade V2G-Konzepte ein zentraler Baustein für **resiliente, saubere Stromsysteme** sein können.

Im Krimi-Bild bedeutet das:
Der Verdächtige E-Auto sitzt nicht auf der Anklagebank – er arbeitet als verdeckter Ermittler für die Energiewende. Nur ohne die passende „Dienstanweisung“ (Regulierung, Tarife, Standards) kann er sein Potenzial nicht ausspielen.

11.3 Kostenvergleich pro 100 km: Strom vs. Diesel/Benzin bei heutigen Preisen

Jetzt wird's handfest: Was kostet dich 100 km Fahrt – heute, mit realen Preisen?

Wir nehmen bewusst **grobe, aber realistische Durchschnittswerte** für Deutschland (Stand 2025):

- **Haushaltsstrom Deutschland:** ca. **38,4 ct/kWh** laut Eurostat/Euronews.
- **EU-Durchschnitt Haushaltsstrom:** ca. **28,7 ct/kWh**.
- **Benzin (Super E10, Jahresdurchschnitt 2025):** rund **1,67 €/l**.
- **Diesel:** rund **1,59–1,61 €/l**.

Typischer Verbrauch:

- **Kompaktklasse-Benziner:** ca. **7 l/100 km**
- **Kompaktklasse-Diesel:** ca. **5,5 l/100 km**
- **Kompaktklasse-E-Auto:** ca. **18 kWh/100 km** (realistisch bei gemischter Fahrweise)

Rechnen wir:

a) Benziner

- $7 \text{ l/100 km} \times 1,67 \text{ €/l} = 11,69 \text{ €/100 km}$ (gerundet: **~11,70 €**)

b) Diesel

- $5,5 \text{ l/100 km} \times 1,60 \text{ €/l (mittlerer Wert)} = 8,80 \text{ €/100 km}$ (grobe Mitte zwischen 1,59 und 1,61 €)

c) E-Auto – Laden zu Hause in Deutschland

- $18 \text{ kWh/100 km} \times 0,384 \text{ €/kWh} \approx 6,91 \text{ €/100 km}$

d) E-Auto – Laden zu Hause bei EU-Durchschnittspreis

- $18 \text{ kWh}/100 \text{ km} \times 0,287 \text{ €/kWh} \approx 5,17 \text{ €/100 km}$

Du siehst: Selbst mit **hohen deutschen Strompreisen** fährt das E-Auto pro 100 km meist deutlich günstiger als ein vergleichbarer Benziner und oft auch günstiger als ein Diesel.

Aber wie sieht es auf der **Autobahn am Schnelllader** aus?

In Deutschland liegen die Preise für **DC-Schnellladen (50 kW+)** und besonders **HPC (150–350 kW)** je nach Anbieter grob zwischen **0,40 und 0,90 €/kWh**. Durchschnittliche Fast-Charging-Preise in Europa lagen 2024 um **0,61 €/kWh**.

Bei Ionity z.B. (Deutschland, 2025):

- **Ionity Direct (ohne Vertrag):** 0,69 €/kWh
- **Ionity Motion Abo:** 0,49 €/kWh (Jahres-/Monatspauschale)
- **Ionity Power Abo:** 0,39 €/kWh

Damit ergeben sich für unser Beispiel-E-Auto (18 kWh/100 km):

- **0,69 €/kWh:** 12,42 €/100 km → *teurer* als der Benziner.
- **0,49 €/kWh:** 8,82 €/100 km → vergleichbar/günstiger als Diesel.
- **0,39 €/kWh:** 7,02 €/100 km → deutlich unter Benzin, leicht unter Diesel.

Das passt zu Marktstudien: **Mit teuren Ad-hoc-Schnellladern kann ein E-Auto auf der Autobahn ähnlich teuer oder teurer sein als ein Verbrenner.** Wer jedoch:

- überwiegend zu Hause/bei der Arbeit lädt
- und für Langstrecken einen **günstigen HPC-Tarif/Flatrate** nutzt,

landet in Summe deutlich im Vorteil. Viele Analysen kommen zu dem Ergebnis, dass bei typischen Fahrprofilen (über 10 000–15 000 km/Jahr) die Betriebskosten des E-Autos signifikant niedriger liegen, selbst wenn ein Teil der Energie an Schnellladern geladen wird.

Im Klartext:
Der Mythos „E-Autos sind im Betrieb zu teuer“ lebt fast immer von

Extremszenarien („nur Schnellladen, keine Tarife, keine Heimladung“). In der gelebten Praxis mit gemischten Ladestrategien ist das Gegenteil der Fall.

11.4 Gesamtbetriebskosten (TCO): Wartung, Reparaturen, Steuern, Förderungen

Unser Ermittler verlässt jetzt die Tankstelle und die Ladesäule und geht ins Rechenbüro: **Total Cost of Ownership (TCO)** – also alle Kosten über mehrere Jahre.

Hier wird es spannend, denn der Kaufpreis eines E-Autos ist nur **ein Kapitel** in der Akte:

- **Anschaffungspreis**
- **Energie (Strom/B Kraftstoff)**
- **Wartung & Verschleiß**
- **Steuern & Abgaben**
- **Versicherung**
- **Restwert**

Eine große Studie des **Fraunhofer ISI** zeigte 2023:

Batterie-elektrische Pkw haben langfristig einen **Kostenvorteil gegenüber Verbrennern**, trotz höherer Anschaffungskosten.

- Mittelklasse-BEVs erreichen **Kostengleichheit bereits nach etwa 3 Jahren**,
- im Kleinwagensegment nach etwa **5–8 Jahren**, je nach Modell und Nutzung. [Fraunhofer ISI+1](#)

Wichtigste Gründe:

- **Niedrigere Energiekosten** pro 100 km
- Umweltbonus / THG-Quote (je nach Land)
- Kfz-Steuerbefreiung oder reduzierte Steuer bei BEVs
- Einfachere Technik: keine Abgasnachbehandlung, kein Ölwechsel, weniger Verschleißteile

Das **ICCT** hat speziell für Deutschland den TCO von typischen Modellen (z.B. VW ID.3 vs. VW Golf) untersucht. Ergebnis:

- In der **Kompaktklasse** sind BEVs bereits heute über vier Jahre Besitzdauer **günstiger**,
- mit Kaufprämien liegt der Kostenvorteil bei teils über **5 000 €** gegenüber vergleichbaren Benzinern.

Eine europaweite Studie im Auftrag des Verbraucherverbands **BEUC** (2024/2025) kommt zu einem ähnlichen Bild:

- BEVs erreichen in vielen Segmenten **spätestens ab Mitte der 2020er** für Erstbesitzer*innen Kostengleichheit oder werden sogar günstiger,
- diese Kostenvorteile übertragen sich in den folgenden Jahren auch zunehmend auf **Gebrauchtwagenkäufer**, was für breite Bevölkerungsschichten entscheidend ist.

Für dich heißt das:

- Wenn du relativ **viel fährst** (z.B. 15–25 000 km/Jahr), kippt die Rechnung zugunsten des E-Autos besonders schnell.
- Fährst du wenig, spielt der höhere Anschaffungspreis eine größere Rolle – aber auch hier können günstige Tarife und Förderungen die Bilanz drehen.

Und Wartung?

- Kein Öl, kein Zahnriemen, kein Auspuff, kein komplexes Automatikgetriebe.
- Bremsen halten durch **Rekuperation** oft deutlich länger, weil ein Großteil der Verzögerung über den Motor läuft.
- Verschleiß entsteht hauptsächlich an Reifen und Fahrwerk – ähnlich wie beim Verbrenner.

Viele Flottenbetreiber (Taxis, Lieferdienste, Carsharing) haben genau das durchgerechnet – und steigen deshalb in großem Stil auf E-Autos um, weil die **Betriebs- und Wartungskosten** über die Laufleistung klar im Vorteil sind.

Im Krimi-Bild: Der Verbrenner hat zwar den **billigen Einstieg** (günstige Basispreise, Rabatte), doch über die Jahre sammeln sich in seiner Akte jede

Menge „kleine Rechnungen“, die ihn am Ende vor Gericht schlecht aussehen lassen.

11.5 Arbeitsplatzmythen: Wandel statt Ende der Industrie (Teaser)

Jetzt kommen wir zu einem besonders emotionalen Kapitel – und deshalb tauchen wir hier nur kurz ein und kündigen das spätere, ausführliche Kapitel an.

Der Mythos lautet:

„Wenn wir auf E-Autos umsteigen, bricht die deutsche/ europäische Autoindustrie zusammen und hunderttausende verlieren ihren Job.“

Faktenlage:

- Die Autoindustrie ist in Europa ein **Schwergewicht**: McKinsey und ACEA sprechen von rund **13 Mio. Beschäftigten** entlang der Wertschöpfungskette und etwa **10 % aller Industriearbeitsplätze**.
- Eurofound zeigt: 2024/2025 wurden zahlreiche Umstrukturierungen und Stellenkürzungen angekündigt – mit fünfstelligen Nettoeffekten für die EU, u.a. bei großen Herstellern und Zulieferern.

Das ist der Teil der Geschichte, der in der Öffentlichkeit oft ganz vorn steht: Werksschließungen, Personalkürzungen, Proteste. Aber der zweite Teil fehlt häufig:

- Eine Studie von **Agora Verkehrswende/BCG** kommt zu dem Ergebnis, dass die Zahl der Arbeitsplätze in der deutschen automobilen Wertschöpfungskette **bis 2030 insgesamt etwa konstant bleiben kann** – allerdings mit starken Verschiebungen: weniger Jobs bei klassischen Motor-/Getriebekomponenten, mehr bei Batterieproduktion, Leistungselektronik, Software, Ladeinfrastruktur und erneuerbaren Energien.
- T&E-Analysen zeigen europaweit sogar die Perspektive eines **Netto-Plus von mehreren hunderttausend Jobs**, wenn die Wertschöpfung (z.B. Batteriezellen, Recycling, Software) weitgehend in Europa bleibt.

Mit anderen Worten: Die Frage lautet **nicht**, ob Jobs verschwinden – sie lautet, **wo neue entstehen** und ob wir die Menschen rechtzeitig qualifizieren.

Für unser Buch heißt das:

- Wir werden später ein eigenes Kapitel aufschlagen, in dem wir die **Arbeitsplatzfrage wie eine Ermittlungsakte** aufdröseln: Wer verliert, wer gewinnt, welche Regionen sind besonders betroffen, welche Qualifikationen werden dringend gebraucht?
- Hier, in Kapitel 11, sollst du vor allem mitnehmen:
 - Die Behauptung „E-Mobilität = Jobkiller“ ist **zu simpel**.
 - Die Realität ist eine tiefgreifende **Transformation** – mit Risiken, aber auch mit erheblichen Chancen für Länder wie Deutschland, die mit starker Ingenieurstradition, Maschinenbaukompetenz und Forschungseinrichtungen hervorragend aufgestellt sind.

Unser Ermittler schreibt sich also an den Rand der Akte:

„Nicht das E-Auto ist der Täter – sondern das Zögern.“

Wenn wir die Transformation aktiv gestalten, können **Netz, Kosten und Arbeitsplätze** in einer neuen, stabileren Balance landen. Wenn wir sie verschlafen, werden andere – insbesondere China und die USA – den Markt prägen, und wir reagieren nur noch auf die Entwicklungen statt sie mitzugestalten.

Genau dort setzt der nächste Abschnitt des Buches an: bei den Chancen, der Industrie- und Innovationskraft und der Frage, was passieren muss, damit der „Tatort Auspuff“ Geschichte wird – ohne dass der „Tatort Werkstor“ zum nächsten Drama wird.

Kapitel 12 – Was kostet Mobilität wirklich? Sprit vs. Strom im Zahlenkrimi

12.1 Aktuelle Spritpreise (Benzin/Diesel) – typische Spanne, Steuern, CO₂-Preis

Stell dir vor, unser Ermittler steht mit dir nachts an einer Autobahn-Tankstelle. Über euch leuchtet die Preistafel wie ein Tatort-Scheinwerfer: 1,67 €, 1,60 €, 1,72 € – Zahlen, die jeden Monat anders aussehen, aber eines gemeinsam haben: Ein großer Teil davon sind Steuern.

Wo liegen die Preise aktuell?

Die jüngsten Auswertungen von ADAC, Bundeskartellamt und diversen Portalen zeigen für Deutschland im Herbst 2025 typischerweise:

- **Super E10:** meist etwa **1,65–1,75 €/Liter**, zuletzt häufig um **1,67–1,70 €/l**
- **Diesel:** etwa **1,55–1,65 €/Liter**, je nach Region und Woche

Die Spanne von Bundesland zu Bundesland kann gut 8–10 Cent pro Liter betragen, tageszeitlich an einer Tankstelle noch einmal 10 Cent und mehr Unterschied – abends ist es meist günstiger als morgens.

Doch der eigentliche Plot-Twist steckt **in der Zusammensetzung des Preises.**

Steuern: der „unsichtbare Mittäter“ Der ADAC und das Bundesfinanzministerium beziffern die **Energiesteuer** (früher Mineralölsteuer) seit Jahren relativ stabil auf:

- Benzin: **65,45 Cent je Liter**
- Diesel: **47,04 Cent je Liter**

Dazu kommt die **CO₂-Steuer** (bzw. der nationale CO₂-Preis), der zum 1. Januar 2025 auf **55 €/t CO₂** angehoben wurde. Für dich an der Zapfsäule heißt das:

- rund **16 Cent CO₂-Abgabe pro Liter Benzin**
- rund **17,5 Cent CO₂-Abgabe pro Liter Diesel**

Und als dritte Ebene setzt der Staat obendrauf noch **19 % Mehrwertsteuer** – auf den kompletten Preis inklusive aller anderen Steuern.

Vereinfacht sieht das bei einem Benzinpreis von z.B. **1,70 €/l** so aus:

- ca. **0,65 € Energiesteuer**
- ca. **0,16 € CO₂-Preis**
- ca. **0,24–0,25 € Mehrwertsteuer**
- nur etwa **0,60–0,65 €** bleiben für **Rohöl, Raffinerie, Transport, Handel und Marge**

Beim Diesel ist das Bild ähnlich, nur mit etwas **niedrigerer Energiesteuer**, dafür höherem CO₂-Ausstoß pro Liter. Unterm Strich besteht auch hier **gut die Hälfte** des Preises aus Steuern und Abgaben.

Für unseren Krimi heißt das: Der Liter Sprit wird nicht nur vom Ölpreis getrieben, sondern ist **strukturell teuer**, weil der Staat ihn bewusst hoch besteuert – aus Haushaltsgründen und als Lenkungsinstrument (CO₂). Die CO₂-Komponente ist zudem politisch so angelegt, dass sie perspektivisch **weiter steigen** kann.

Mit anderen Worten:

- Beim Verbrenner kaufst du nicht nur Energie, sondern auch jede Menge **Steuer- und CO₂-Ticket**.
- Jede Fahrt enthält einen eingebauten „Preisfahrstuhl nach oben“, wenn fossile CO₂-Emissionen stärker bepreist werden.

Unser Ermittler notiert in sein Heft:

„Beim Liter Sprit sitzen mindestens drei Mitfahrer im Auto: Ölpreis, Energiesteuer, CO₂-Preis. Und zwei davon steigen sicher nicht freiwillig wieder aus.“

12.2 Strompreise an Schnellladern (Ionity, EnBW, Fastned, etc.) vs. Haushaltsstrom

Tatortwechsel: Wir stehen jetzt nicht mehr vor der Zapfsäule, sondern vor einem **HPC-Lader** an der Autobahn. Auf der App siehst du 0,39 €, 0,49 €, 0,65 €, 0,70 € pro kWh. Was bedeutet das im Vergleich zum Strom zu Hause?

Haushaltsstrom: der „Stamm-Tarif“ Laut BDEW, Verivox und Statista liegt der durchschnittliche **Haushaltsstrompreis** 2025 in Deutschland bei etwa:

- **ca. 39,6 ct/kWh** über alle Bestandsverträge
- neue, günstigere Tarife teilweise bei **rund 33–35 ct/kWh**,
- die Spannbreite je nach Vertrag liegt grob bei **27–44 ct/kWh**.

Für viele E-Auto-Fahrer*innen gilt:

- Zu Hause wird über den **Haustarif** geladen – manchmal mit einem extra „Autostrom“-Tarif oder sogar eigenem Zähler.

- Wer eine PV-Anlage auf dem Dach hat, drückt die effektiven Ladekosten noch einmal deutlich – aber das vertiefen wir später im Buch.

Schnelllader: Iony, EnBW, Fastned & Co. Beim DC-Schnellladen zahlst du nicht einfach „den Strompreis“, sondern eine Komplettleistung: Infrastruktur, Leistungsspitzen, Flächenpacht, Backend. Das schlägt sich in den Tarifen nieder.

Beispiele (Deutschland, Stand 2025):

- **Iony:**
 - *Iony Direct (Ad-hoc):* ca. **0,69 €/kWh**
 - *Iony Go (ohne Grundgebühr, App):* **0,65 €/kWh**
 - *Iony Motion (Abo ca. 5,99 €/Monat):* **0,49 €/kWh**
 - *Iony Power (Abo ca. 11,99 €/Monat, bzw. Jahresabo „Power 365“):* **0,39 €/kWh**; bei Jahresabo 39 ct/kWh mit ~60–120 €/Jahr Grundgebühr.
- **EnBW HyperNetz** (ab Dez 2025):
 - Tarif S (ohne Grundgebühr): **0,56 €/kWh**
 - Tarif M (5,99 €/Monat): **0,46 €/kWh**
 - Tarif L (Vielfahrer, 11,99 €/Monat): **0,39 €/kWh** – auch an vielen Fremd-Säulen im HyperNetz.
- **Fastned** in Deutschland:
 - Standard: etwa **0,51 €/kWh**
 - „Gold“-Abo (11,99 €/Monat): **30 % Rabatt**, also effektiv etwa **0,36 €/kWh**.

ADAC-Vergleiche zeigen: Unterwegs bekommt man Energie **selten unter 0,50 €/kWh**, wenn man **keinen** speziellen Vielfahrer-Tarif nutzt.

Vergleich zu Hause vs. unterwegs

- Zuhause (Haushaltstarif): grob **0,33–0,40 €/kWh**
- Unterwegs, Ad-hoc-Schnellladen: oft **0,55–0,70 €/kWh**
- Unterwegs, Vielfahrer-Abo: teils **0,36–0,39 €/kWh**

Damit wird klar:

- **Schnellladen ohne Tarif** ist das „Premiumprodukt“ – bequem, schnell, aber teuer.
- Mit passenden Abos oder Verbundkarten kommst du **nahe an Haushaltsstrom-Niveau** heran.
- Für die meisten Fahrer*innen ist der **Mischpreis** entscheidend: ein großer Teil der kWh kommt günstig von zuhause, ein kleiner Teil teuer von der Autobahn.

In unserem Zahlenkrimi sitzt der Haushaltsstrom also im Reihenhaushaus, Ionity & Co. stehen eher in der „VIP-Lounge“ an der Autobahn – beide spielen zusammen, aber in sehr unterschiedlicher Preisklasse.

12.3 Typische Verbräuche: Verbrenner (Pkw, Autobahn) und E-Autos (verschiedene Klassen)

Bevor wir Preise vergleichen, braucht unser Ermittler ein zweites Puzzleteil: **Wie viel Energie** verbrauchen die Fahrzeuge überhaupt?

12.3.1 Verbrenner-Pkw

Das Umweltbundesamt und das Verkehrsministerium geben für die deutsche Pkw-Flotte (Benzin + Diesel, reale Fahrleistung) einen durchschnittlichen Verbrauch von rund **7,4 Litern pro 100 km** an.

Aufgeschlüsselt sieht es grob so aus:

- **Klein- und Kompaktwagen (Benzin)** im Alltag: etwa **6–7 l/100 km**
- **Mittelklasse/SUV**: häufig **7–9 l/100 km**, je nach Gewicht und Fahrstil
- Auf der **Autobahn bei 130 km/h** zeigen Tests Werte um **7–8 l/100 km** für typische Benziner, bei höheren Tempi (160 km/h) kann der Verbrauch schnell gegen **9–10 l/100 km** klettern.

Für Diesel gelten etwas niedrigere Verbräuche, aber mit ähnlichen Tendenzen:

- **Alltag Diesel-Pkw**: etwa **5,5–6,5 l/100 km**
- **Autobahn 130 km/h**: oft **6–7 l/100 km**, darüber hinaus steigt der Verbrauch stark.

Damit haben wir für unsere Beispielrechnungen zwei typische „Ermittlungszeugen“:

- Benziner: **7 l/100 km** (Autobahn, voll beladen, Urlaubsszenario)
- Diesel: **6 l/100 km** (Langstrecke, Reisegeschwindigkeit nahe 130 km/h)

12.3.2 Elektro-Pkw

Beim E-Auto wird nicht in Litern, sondern in **kWh pro 100 km** gemessen. Laut Auswertungen von ADAC Ecotest, Umweltbundesamt und Energieversorgern liegt der Durchschnittsverbrauch neuer E-Autos in der Praxis etwa bei:

- **„Normaler Mix“ (Stadt/Land/Autobahn):**
 - **≈ 18–20 kWh/100 km** im Alltagsbetrieb
- **Spannbreite aktueller Modelle:**
 - ca. **15,5–30,9 kWh/100 km**, je nach Größe und Fahrzeugklasse.

Typische Klassen:

- **Kleines E-Auto (z.B. Citycar, Kleinwagen):**
 - Alltag: **15–17 kWh/100 km**
 - Autobahn 130 km/h: eher **18–20 kWh/100 km**
- **Kompakt-/Mittelklasse (ID.3, Model 3, Kona, etc.):**
 - Alltag: **17–21 kWh/100 km**
 - Autobahn 130 km/h: praxisnah **20–24 kWh/100 km**
- **Große SUV und Vans:**
 - Alltag: häufig **22–28 kWh/100 km**
 - Autobahn 130 km/h: teils **25–35+ kWh/100 km**, Extremfälle darüber.

AutoBild- und andere Autobahn-Tests bestätigen: Der **Durchschnittsverbrauch bei 130 km/h** liegt über viele Modelle hinweg bei etwa **24 kWh/100 km**. Fahrzeuge, die dabei **unter 20 kWh/100 km** bleiben, gelten als besonders effizient.

Für unser Kostenkapitel wählen wir wieder zwei „Standardzeugen“:

- Kompakt-E-Auto Alltag: **18 kWh/100 km**

- Kompakt-E-Auto Autobahn 130 km/h: **22–24 kWh/100 km** (wir rechnen beispielhaft mit 22 kWh)

Wichtig:

Während beim Verbrenner **hohe Drehzahlen, Kälte, Kurzstrecke** den Verbrauch extrem nach oben treiben, sind es beim E-Auto vor allem **hohe Geschwindigkeiten und Heizen/Kühlen**. Umweltbundesamt-Daten zeigen, dass der Verbrauch bei extremen Temperaturen deutlich steigen kann, aber im Jahresmittel bleiben wir in den genannten Bereichen.

Unser Ermittler fasst zusammen:

„Im Alltagsmix verbrennen viele Verbrenner 6–8 Liter – E-Autos brauchen dafür 16–20 kWh. Auf der Autobahn rücken sich beide näher an ihre ‚wahren Gesichter‘: Sprit geht Richtung 7–9 Liter, Strom Richtung 20–24 kWh.“

12.4 Kosten pro 100 km im Alltag und auf Langstrecke (mit Beispielrechnung)

Jetzt kommen wir zur eigentlichen Kernfrage des Zahlenkrimis: **Was kostet dich 100 km – wirklich?**

Wir nehmen realistische Durchschnittswerte für Deutschland im Herbst 2025:

- **Super E10:** ca. **1,67 €/l** (gerundet aus ADAC-/MTS-Daten)
- **Diesel:** ca. **1,60 €/l**
- **Haushaltsstrom:** wir rechnen konservativ mit **0,35 €/kWh** (Realität liegt je nach Vertrag etwa zwischen 0,33 und 0,40 €/kWh)
- **Schnelllader ohne Abo (Iionity Go / Direct, andere HPC):** **0,65–0,70 €/kWh**
- **Schnelllader mit Abo (Iionity Power, EnBW L, Fastned-Abo):** **0,36–0,39 €/kWh**

12.4.1 Alltag – Pendeln, Stadt, Land

Fall 1: Benzin im Alltag Angenommener Verbrauch: **7 l/100 km**

- $7 \text{ l} \times 1,67 \text{ €/l} = 11,69 \text{ €} \approx \mathbf{11,70 \text{ €/100 km}}$

Fall 2: Diesel im Alltag Angenommener Verbrauch: **6 l/100 km**

- $6 \text{ l} \times 1,60 \text{ €/l} = 9,60 \text{ €} \rightarrow \mathbf{9,60 \text{ €/100 km}}$

Fall 3: E-Auto im Alltag (vor allem zu Hause geladen) Verbrauch: 18 kWh/100 km Haushaltsstrom: 0,35 €/kWh

- $18 \text{ kWh} \times 0,35 \text{ €/kWh} = \mathbf{6,30 \text{ €/100 km}}$

Damit fährt das E-Auto im typischen Alltag:

- ca. **45 % günstiger** als der Benziner (11,70 vs. 6,30 €)
- ca. **35 % günstiger** als der Diesel (9,60 vs. 6,30 €)

Und das ist **ohne** spezielle Autostromtarife, ohne PV. Mit einem guten Vertrag (z.B. 0,30 €/kWh) würde die Rechnung so aussehen:

- $18 \text{ kWh} \times 0,30 \text{ €/kWh} = \mathbf{5,40 \text{ €/100 km}}$

Bereits hier wird deutlich, warum Flottenbetreiber, Taxis und Pendler mit hoher Jahresfahrleistung sich stark Richtung E-Auto bewegen: Jeder gefahrene Kilometer spart bares Geld.

12.4.2 Langstrecke – Urlaub, Geschäftsreise, Autobahn

Jetzt kommt der spannende Teil: Was passiert, wenn du **viel Autobahn fährst und auf Schnelllader angewiesen bist?**

Wir nehmen:

- **Benziner:** 7 l/100 km (130 km/h, Reisegeschwindigkeit)
- **Diesel:** 6 l/100 km
- **E-Auto:** 22 kWh/100 km auf der Autobahn

Szenario A: Verbrenner auf Langstrecke

- Benziner:
 - $7 \text{ l} \times 1,67 \text{ €/l} \approx \mathbf{11,70 \text{ €/100 km}}$ (wie oben)
- Diesel:
 - $6 \text{ l} \times 1,60 \text{ €/l} = \mathbf{9,60 \text{ €/100 km}}$

Szenario B: E-Auto – nur Schnelllader, ohne Tarif (Worst Case)

Angenommen: Ionity Go / Direct oder andere HPC ohne Abo, etwa **0,65 €/kWh**

- $22 \text{ kWh} \times 0,65 \text{ €/kWh} = 14,30 \text{ €} \rightarrow \mathbf{\sim 14,30 \text{ €/100 km}}$

Hier ist das E-Auto **teurer** als Benzin- und Diesel. Genau dieses Szenario wird oft in Medien als Beweis genutzt: „E-Autos sind auf der Autobahn unbezahlbar“.

Aber: Es ist ein bewusst konstruiertes **Extremszenario**. Kaum jemand lädt *immer* ohne Tarif und *nur* an den teuersten Säulen.

Szenario C: E-Auto – Schnelllader mit Abo (realistischer Vielfahrer)

Nehmen wir einen Vielfahrer-Tarif mit **0,39 €/kWh** (Ionity Power, EnBW L oder Fastned-Abo).

- $22 \text{ kWh} \times 0,39 \text{ €/kWh} = 8,58 \text{ €} \rightarrow \sim \mathbf{8,60 \text{ €/100 km}}$

Ergebnis:

- günstiger als der Benzin- (11,70 €)
- leicht günstiger oder auf Augenhöhe mit dem Diesel (9,60 € vs. 8,60 €)

Szenario D: Realer „Mischbetrieb“ über das ganze Jahr

Die meisten Menschen fahren nicht jeden Tag 800 km Autobahn. Ein typisches Profil könnte sein:

- **80 % der km zu Hause / am Arbeitsplatz laden (0,35 €/kWh)**
- **20 % an Schnellladern mit Vielfahrer-Tarif (0,45 €/kWh, mittlerer Wert)**
- Durchschnittlicher Verbrauch im Jahresmix: **19 kWh/100 km**

Gemittelter Strompreis:

- $0,8 \times 0,35 \text{ €} + 0,2 \times 0,45 \text{ €}$
- $= 0,28 \text{ €} + 0,09 \text{ €} = \mathbf{0,37 \text{ €/kWh}}$

Kosten pro 100 km:

- $19 \text{ kWh} \times 0,37 \text{ €/kWh} \approx 7,03 \text{ €} \rightarrow \sim \mathbf{7,00 \text{ €/100 km}}$

Damit liegt unser typischer E-Auto-Fahrer **deutlich unter Benzin** und klar **unter Diesel**, obwohl er regelmäßig die Autobahn und Schnelllader nutzt.

12.4.3 Was sagt der Ermittler dazu?

Wenn unser Kommissar die Zahlen nebeneinander auf die Tafel schreibt, sieht es so aus (beispielhaft):

- **Alltag (Mix, eher Kurz- und Mittelstrecken)**

- Benziner: ~**11,70 €/100 km**
- Diesel: ~**9,60 €/100 km**
- E-Auto (zu Hause): ~**6,30 €/100 km**
- **Langstrecke (Autobahn, 130 km/h)**
 - Benziner: ~**11,70 €/100 km**
 - Diesel: ~**9,60 €/100 km**
 - E-Auto nur HPC ohne Tarif: ~**14,30 €/100 km** (Worst Case)
 - E-Auto mit Vielfahrer-Tarif: ~**8,60 €/100 km**
- **Jahresmix mit 80 % Heimpladen und 20 % HPC:**
 - E-Auto: ~**7,00 €/100 km**

Die Pointe des Zahlenkrimis:

1. **Im Alltag** ist das E-Auto bei heutigen Preisen klar im Vorteil – besonders gegenüber Benzin.
2. **Auf der Langstrecke ohne Tarif** kann das E-Auto teuer wirken – das ist aber eher ein „Drehbuch-Trick“, wenn man dieses Extrem als Normalfall verkauft.
3. **Mit sinnvollen Tarifen und einer realistischen Mischung** aus Heim- und Unterwegs-Laden dreht sich die Geschichte: Das E-Auto ist auch für Vielfahrer wirtschaftlich sehr konkurrenzfähig.

Im nächsten Kapitel gehen wir noch tiefer in die „Preisstrategie der großen Ladeanbieter“ hinein – insbesondere Iony & Co. –, und unser Ermittler wird ausrechnen, **ab wann sich ein Abo wirklich lohnt** und wie du auf der Langstrecke nicht zur Statistin *im Kosten-Horror wirst, sondern Regisseurin* deiner eigenen Mobilitätsbilanz.

Kapitel 13 – Fallakte Iony: Preisstrategien, Abos und Break-even

13.1 Iony-Standardtarif vs. Iony-Passport/Abo-Modelle

Stell dir vor, unser Ermittler steht nachts an einer Raststätte an der A7. Es regnet, die Lkw rauschen vorbei, und unter dem Dach der Schnellladesäulen leuchten vier große IONITY-Logos. Auf seinem Klemmbrett: **Tariftabelle statt Fingerabdrücke.**

IONITY ist einer der wichtigsten High-Power-Charging-Anbieter in Europa. Das Netz wächst ständig, Ladeleistungen bis 350–400 kW, Fokus Autobahn. Genau dort, wo du auf der Langstrecke wirklich schnelle Lader brauchst.

In Deutschland sieht die **Tarifwelt Ende 2025** so aus (gerundet und vereinfacht):

- **IONITY Direct**
 - Bezahlen direkt an der Säule per QR-Code/Karte, ohne App-Account
 - Preis: etwa **0,75 €/kWh**
- **IONITY Go**
 - Nutzung über die IONITY-App, ohne Grundgebühr
 - Preis: etwa **0,70 €/kWh**
- **IONITY Motion** (Monat oder Jahresabo)
 - Grundgebühr: **5,99 €/Monat** oder **~59,99 €/Jahr** (teilweise Aktionspreise um 49,99 €)
 - Arbeitspreis: **0,49 €/kWh**
- **IONITY Power** (Monat oder Jahresabo / „Power 365“)
 - Grundgebühr: **11,99 €/Monat** oder **~119,99 €/Jahr** (typisch 99,99 € im Aktionszeitraum)
 - Arbeitspreis: **0,39 €/kWh**

Medienberichte bestätigen: Die neuen Jahresabos „Motion 365“ und „Power 365“ bieten genau diese 0,49 €/kWh bzw. 0,39 €/kWh, dafür zahlst du eine Jahresgebühr von rund 50–60 € (Motion) bzw. 100–120 € (Power). Kunden ohne Abo bleiben beim „mindestens ca. 0,70 €/kWh“-Segment.

Kurz gesagt:

- **Direct** und **Go** sind spontan, aber teuer.
- **Motion** ist der „Vielfahrer light“-Tarif – spürbarer Rabatt, geringe Grundgebühr.
- **Power** ist der „Hardcore-Langstrecken“-Tarif – maximaler Rabatt, höhere Grundgebühr.

Für unseren Krimi heißt das: Ionyt arbeitet mit einem **klassischen Vielfahrer-Modell**:

Wer selten lädt, zahlt pro kWh kräftig drauf, hat dafür keine Fixkosten. Wer oft unterwegs ist, kann sich mit einem Abo die kWh deutlich günstiger „erspielen“.

Unser Ermittler markiert in seiner Fallakte:

- Preisdifferenz **Go → Motion**: $0,70 - 0,49 = 0,21 \text{ €/kWh}$
- Preisdifferenz **Go → Power**: $0,70 - 0,39 = 0,31 \text{ €/kWh}$
- Preisdifferenz **Motion → Power**: $0,49 - 0,39 = 0,10 \text{ €/kWh}$

Das sind die Zahlen, mit denen wir gleich rechnen werden, wenn wir die berühmten **500-km-Autobahn-Fälle** aufrollen und herausfinden, ab wann sich die Abos tatsächlich lohnen – und wann nicht.

13.2 Rechenbeispiel 1: 500 km Autobahn – Verbrenner vs. BEV im Ionyt-Standardtarif

Szene: Du fährst 500 km Autobahn – klassischer Urlaubs- oder Geschäftstrip.

Unser Ermittler setzt sich an den Tisch, holt zwei Akten hervor: „Verbrenner“ und „BEV mit Ionyt-Standardtarif (Go)“.

Annahmen für die Vergleichsfahrt (konservativ, aber praxisnah):

- **Benziner**
 - Verbrauch: **7 l/100 km** (Autobahn, 130 km/h, voll beladen)
 - Spritpreis: **1,67 €/l** (aktueller Durchschnitt für Super E10 in Deutschland)
- **Diesel**
 - Verbrauch: **6 l/100 km**
 - Dieselpreis: ca. **1,60 €/l** (gerundet aus ADAC-Daten)
- **BEV**
 - Fahrzeug: typische Kompakt-/Mittelklasse
 - Verbrauch Autobahn 130 km/h: **22 kWh/100 km** (Wert im Rahmen von ADAC-Tests und UBA-Studien zu Realverbräuchen)

- Ionity „Go“ (ohne Abo): **0,70 €/kWh**

Jetzt rechnet der Detektiv:

1) Verbrenner – Benziner

- Strecke: 500 km
- Verbrauch: 7 l/100 km $\rightarrow 5 \times 7 = \mathbf{35\ l}$
- Kosten: 35 l $\times 1,67\ \text{€/l}$

Rechnung:

- $35 \times 1 = 35$
- $35 \times 0,67 = 23,45$ (da $35 \times 67 = 2345$, dann /100)
- Summe: $35 + 23,45 = \mathbf{58,45\ €}$

\rightarrow **Benziner: ca. 58–59 € für 500 km**

2) Verbrenner – Diesel

- Verbrauch: 6 l/100 km $\rightarrow 5 \times 6 = \mathbf{30\ l}$
- Kosten: 30 l $\times 1,60\ \text{€/l} = \mathbf{48,00\ €}$

\rightarrow **Diesel: ca. 48 € für 500 km**

3) BEV – Ionity „Go“ ohne Abo

- Verbrauch: 22 kWh/100 km $\rightarrow 5 \times 22 = \mathbf{110\ kWh}$
- Preis: 110 kWh $\times 0,70\ \text{€/kWh} =$

Rechnung:

- $11 \times 7 = 77 \rightarrow$ mit einer Nachkommastelle: **77,00 €**

\rightarrow **BEV: 77 € für 500 km**, wenn du alles mit Ionity Go (0,70 €/kWh) lädst.

Damit liegt der BEV-Fall im teuersten Standardtarif:

- **deutlich über dem Benziner** (~77 € vs. 58–59 €)
- **klar über dem Diesel** (77 € vs. 48 €)

Und genau dieses Szenario wird medial gern ausgeschlachtet:
„Seht ihr, E-Autos sind auf der Autobahn viel teurer als Verbrenner!“

Unser Ermittler kritzelt in den Rand:

„Stimmt – **wenn** du dir den teuersten Tarif ohne Abo aussuchst und **wenn** du 100 % der Energie bei Ionity Go einkaufst.“

Es ist ein bisschen, als würdest du beim Verbrenner jedes Mal **an der teuersten Autobahn-Tankstelle** tanken und dann behaupten, Autofahren sei unbezahlbar.

Die Rechnung ist mathematisch richtig – aber sie ist **nicht repräsentativ für kluges Verhalten**.

Im nächsten Schritt schaut sich der Kommissar deshalb an, wie sich das Bild verändert, wenn du **Abos nutzt** – also so, wie es Vielfahrer ohnehin tun, die regelmäßig auf Ionity zurückgreifen.

13.3 Rechenbeispiel 2: 500 km im BEV mit Ionity-Abo – ab wann lohnt sich das?

Jetzt hängt unser Ermittler eine neue Tabelle an die Wand: „Go vs. Motion vs. Power“.

Er will wissen: **Ab wann kippt der Fall?**

13.3.1 Gleiche 500 km – andere Tarife

Wir bleiben bei derselben Fahrt:

- 500 km
- 22 kWh/100 km → **110 kWh**

a) Ionity Motion – 0,49 €/kWh

Energiekosten für die 500 km:

- $110 \text{ kWh} \times 0,49 \text{ €/kWh}$
- $100 \times 0,49 = 49,00 \text{ €}$
- $10 \times 0,49 = 4,90 \text{ €}$
- **Summe: 53,90 €**

Dazu kommt die Grundgebühr. Nehmen wir den **Jahresabo-Preis von 59,99 €** (ohne Aktionsrabatt) und unterstellen, du fährst im Jahr z.B. fünf solche 500-km-Trips plus ein paar kleinere Touren.

Schon wenn du nur **3–4 solcher Fahrten pro Jahr** machst, verteilen sich die knapp 60 € auf:

- bei 3 Fahrten: $60 \text{ €} / 3 = \mathbf{20 \text{ € pro Fahrt}}$
- bei 4 Fahrten: $60 \text{ €} / 4 = \mathbf{15 \text{ € pro Fahrt}}$

Effektive Kosten pro 500-km-Fahrt:

- bei 3 Langstrecken: $53,90 + 20 \approx \mathbf{73,90 \text{ €}}$
- bei 4 Langstrecken: $53,90 + 15 \approx \mathbf{68,90 \text{ €}}$

Damit bist du noch immer leicht **über dem Benziner**, aber knapp an der Marke.

Sobald du aber **mehr** Ionity-Langstrecke fährst (zusätzliche Wochenenden, Dienstreisen) verteilt sich die Grundgebühr auf mehr kWh, und Motion rutscht **unter Benzin**.

b) Ionity Power – 0,39 €/kWh

Jetzt nimmt der Ermittler den Power-Tarif:

- $110 \text{ kWh} \times 0,39 \text{ €/kWh}$
- $100 \times 0,39 = 39,00 \text{ €}$
- $10 \times 0,39 = 3,90 \text{ €}$
- Summe: **42,90 €**

Energiekosten: 42,90 € für 500 km. Ohne Abo wäre das sensationell: günstiger als Benziner *und* Diesel.

Mit Abo-Grundgebühr (z.B. 99,99 €/Jahr) rechnet er wieder mit 3–4 Langstrecken plus ein paar weitere Trips:

- bei 3 großen Strecken: $99,99 / 3 \approx 33,33 \text{ € Zuschlag je Fahrt}$
- bei 4 Strecken: $99,99 / 4 \approx 25,00 \text{ €}$
- effektive Kosten:
 - 3 Fahrten/Jahr $\rightarrow 42,90 + 33,33 \approx \mathbf{76,20 \text{ €}}$
 - 4 Fahrten/Jahr $\rightarrow 42,90 + 25 \approx \mathbf{67,90 \text{ €}}$

Vergleich:

- Benziner (500 km): $\sim 58,50 \text{ €}$
- Diesel (500 km): 48 €
- BEV + Power bei **wenig Nutzung**: $68\text{--}76 \text{ €} \rightarrow \text{teurer}$

- BEV + Power bei **häufiger Nutzung** (z.B. 8–10 solche Touren/Jahr oder viele kürzere HPC-Fahrten): Die Grundgebühr verteilt sich, und das BEV wird **deutlich günstiger**.

13.3.2 Break-even sauber berechnet (pro Monat)

Jetzt wird der Ermittler zum Zahlen-Nerd und fragt: „Ab welcher monatlichen DC-Lademenge lohnt sich das Abo gegenüber Ionity Go (0,70 €/kWh)?“

Motion vs. Go

- Differenz pro kWh: $0,70 - 0,49 = \mathbf{0,21 \text{ €/kWh}}$
- Grundgebühr: 5,99 €/Monat

Break-even in kWh/Monat:

- $5,99 \text{ €} / 0,21 \text{ €/kWh}$
- $0,21 \times 28 = 5,88$
- $0,21 \times 29 = 6,09$

→ **etwa 29 kWh/Monat**

29 kWh entsprechen bei 22 kWh/100 km:

- $29 / 22 \approx 1,318... \rightarrow \mathbf{\text{rund 130 km Schnellladen pro Monat}}$

Power vs. Go

- Differenz pro kWh: $0,70 - 0,39 = \mathbf{0,31 \text{ €/kWh}}$
- Grundgebühr: 11,99 €/Monat

Break-even:

- $0,31 \times 38 = 11,78$
- $0,31 \times 39 = 12,09$

→ **ca. 39 kWh/Monat**

39 kWh bei 22 kWh/100 km:

- $39 / 22 \approx 1,77 \rightarrow \mathbf{\text{rund 180 km Schnellladen pro Monat}}$

Power vs. Motion

- Aufpreis Grundgebühr: $11,99 - 5,99 = \mathbf{6,00 \text{ €/Monat}}$

- Differenz pro kWh: $0,49 - 0,39 = 0,10 \text{ €/kWh}$

Break-even:

- $6,00 \text{ €} / 0,10 \text{ €/kWh} = 60 \text{ kWh/Monat}$

Das entspricht:

- $60 / 22 \approx 2,73 \rightarrow \text{rund } 270\text{--}280 \text{ km Schnelldaten pro Monat}$

Unser Ermittler fasst zusammen:

- **Ionity Motion** lohnt sich gegenüber Go bereits ab **~130 km HPC/Monat**.
- **Ionity Power** gegenüber Go ab **~180 km HPC/Monat**.
- **Power statt Motion** ab **~280 km HPC/Monat**.

Wer also nur zwei-, dreimal im Jahr an Ionity lädt, fährt mit Go/Direct „okay“. Wer regelmäßig lange Autobahnstrecken elektrisch fährt, kommt **kaum am Abo vorbei**, wenn er nicht unnötig Geld auf der Strecke lassen will.

13.4 Vielfahrer vs. Gelegenheitsnutzer – zwei völlig unterschiedliche Fälle

Jetzt teilt unser Ermittler die Verdächtigen in zwei Gruppen:

- **Gelegenheitsnutzerin Lea**
 - 12.000 km/Jahr
 - 90 % Laden zu Hause oder an AC-Säulen
 - 2x im Jahr Urlaub, je 800 km hin und zurück \rightarrow 3.200 km Langstrecke, aber nur ein Teil davon bei Ionity
- **Vielfahrer Tom**
 - 30.000 km/Jahr
 - Wohnort in der Fläche, viel Autobahn
 - 40–50 % seiner km sind echte Langstrecke, ein großer Teil davon an HPC

Fall Lea – Gelegenheitsnutzerin

Lea lädt ihre 12.000 km im Jahr überwiegend zu Hause. Mit etwa 18–19 kWh/100 km und 0,35 €/kWh kostet sie im Schnitt:

- $19 \text{ kWh}/100 \text{ km} \times 0,35 \text{ €} \approx 6,65 \text{ €/100 km} \rightarrow \sim \mathbf{800 \text{ € pro Jahr}}$ für Strom.

Für ihre zwei Urlaubsfahrten braucht sie vielleicht:

- $3.200 \text{ km} / 100 \text{ km} \times 22 \text{ kWh} \approx 704 \text{ kWh}$
- Ein Teil davon lädt sie unterwegs bei Ionity, der Rest an günstigeren AC-Ladern oder am Urlaubsort.

Nehmen wir an, **500 kWh/Jahr** fließen über Ionity Go (0,70 €/kWh):

- $500 \times 0,70 = \mathbf{350 \text{ €}}$

Gesamtkosten im Jahr also:

- ca. **800 €** (zu Hause) + **350 €** (Ionity) = **1.150 €**

Würde sie Motion 365 nutzen (0,49 €/kWh, 60 €/Jahr):

- $500 \text{ kWh} \times 0,49 = \mathbf{245 \text{ €}}$
- - $60 \text{ € Grundgebühr} = \mathbf{305 \text{ €}}$

Ersparnis gegenüber Go: $350 - 305 = \mathbf{45 \text{ €/Jahr}}$.

Das lohnt sich – aber nicht riesig. Mit Power 365 (0,39 €/kWh, 100 €/Jahr) wäre es:

- $500 \times 0,39 = 195 \text{ €}$
- - $100 \text{ €} = \mathbf{295 \text{ €}}$

Ersparnis gegenüber Go: 55 € .
Lea spart also mit Abo **ein paar Dutzend Euro**, aber es ist keine Weltbewegung. Für sie steht eher der Komfort im Vordergrund: Apps, Roaming, Zuverlässigkeit.

Fall Tom – Vielfahrer

Tom fährt 30.000 km/Jahr, davon sagen wir **15.000 km auf Langstrecke**, fast alles an HPC.

Sein BEV verbraucht auf Autobahn wieder 22 kWh/100 km:

- $15.000 / 100 = 150$
- $150 \times 22 \text{ kWh} = \mathbf{3.300 \text{ kWh/Jahr}}$ an HPC.

Mit Ionity Go (0,70 €/kWh):

- $3.300 \times 0,70 = \mathbf{2.310 \text{ €}}$

Mit Motion 365 (0,49 €/kWh, 60 €/Jahr):

- $3.300 \times 0,49 = 1.617 \text{ €}$
- - $60 \text{ €} = \mathbf{1.677 \text{ €}}$

Ersparnis gegenüber Go: $2.310 - 1.677 = \mathbf{633 \text{ €}}$

Mit Power 365 (0,39 €/kWh, 100 €/Jahr):

- $3.300 \times 0,39 = 1.287 \text{ €}$
- - $100 \text{ €} = \mathbf{1.387 \text{ €}}$

Ersparnis gegenüber Go: $2.310 - 1.387 = \mathbf{923 \text{ €}}$

Für Tom ist der Unterschied zwischen „dumm gewählt“ und „intelligent gewählt“ also fast ein Tausender pro Jahr. Hier siehst du sehr klar:

- Für **Gelegenheitsnutzer** ist ein Abo „nice to have“, aber kein Muss.
- Für **Vielfahrer** ist ein Abo praktisch Pflicht, wenn man nicht jedes Jahr mehrere Hundert Euro verbrennen will.

Und ehe du fragst: Ja, wir haben Ladeverluste, kleine Verbrauchsschwankungen, Preisbewegungen bewusst ignoriert – die Grundlogik bleibt: Je mehr km du **regelmäßig an HPC** fährst, desto wichtiger ist die **Tarifstrategie**.

13.5 Der Vielfahrer-Detektiv – eine kleine Erzählung

Stell dir Jonas vor, 42, Außendienstler. Früher fuhr er einen Diesel-Kombi, 6,5 l/100 km, 40.000 km im Jahr. Seine Tankquittungen hatte er nie so richtig im Blick – die gingen direkt an die Buchhaltung.

Dann wechselte er auf ein BEV. Erst skeptisch („Was, wenn ich stehenbleibe?“), dann neugierig. Und irgendwann... **besessen von seinen Zahlen**.

Jonas ist unser **Vielfahrer-Detektiv**.

Er nutzt eine App, in der jede Ladung als „Tatort“ gespeichert ist:

- Datum, Uhrzeit, kWh
- Preis pro kWh
- Ort (zu Hause, Büro, Ionity, EnBW, Fastned)

Die ersten Monate lädt er auf der Autobahn einfach mit Ionity Go. Praktisch, keine Grundgebühr. Als er sich jedoch im Januar seine Jahresübersicht zieht, stockt ihm kurz der Atem:

„Über 2.000 Euro nur für Ionity? Ernsthaft?“

Er blättert die Datei durch, markiert alle Ionity-Ladevorgänge und spielt den Fall im Kopf durch:

- „Was wäre gewesen, wenn ich Motion gehabt hätte?“
- „Was, wenn ich gleich Power genommen hätte?“

Er rechnet – genau so, wie wir es gerade getan haben – und sieht: Mit Power 365 hätte er **fast 1.000 Euro** im Jahr gespart.

In der nächsten Szene sitzt Jonas im Auto, während sein BEV mit 230 kW an einer Ionity-Säule „zieht“. Er schaut auf die App, lächelt:

- kWh-Preis: **0,39 €**
- Sämtliche Quittungen laufen in einer Excel-Tabelle mit.

Er weiß: Die 100 € Jahresgebühr hat er nach **ein paar langen Dienstreisen** wieder drin. Der Rest des Jahres ist „Bonus“.

Der Clou: Jonas wird plötzlich auch beim **Verbrenner-Vergleich** hellhörig. In einem ruhigen Moment rechnet er aus, was ihn sein früherer Diesel heute kosten würde:

- 30.000–40.000 km/Jahr
- 6,5 l/100 km
- Dieselpreis um 1,60 €/l

Und er merkt: Selbst wenn sein BEV an der Autobahn ordentlich „Strom frisst“, liegt er im **Jahrestotal** inzwischen klar besser – zumal der Strompreis für ihn nicht die ganze Wahrheit ist:

- ein Teil kommt aus dem Heimtarif,
- ein Teil vom Arbeitgeberparkplatz,
- manchmal lädt er beim Kunden gleich mit.

Unser Vielfahrer-Detektiv steht stellvertretend für das, worum es in dieser Fallakte wirklich geht:

Es reicht nicht, „Strom ist teuer“ oder „Sprit ist teuer“ zu sagen. Entscheidend ist, **wie** du lädst, **wo** du fährst und **welche Tarife** du nutzt.

Mit ein bisschen detektivischem Spürsinn – oder einem Buch wie diesem – kannst du aus einem scheinbar teuren E-Auto einen **ökonomischen Langstrecken-Profi** machen.

Im nächsten Kapitel wird unser Ermittler den Blick vom Ionity-Parkplatz auf die **Pausenkultur, Gesundheit und Zeit** richten: Wie groß ist der reale Zeitverlust zwischen Tanken und Laden – und was macht das mit deinem Körper, wenn du so oder so 500, 800 oder 1.000 km am Stück fährst?

14.1 Unfallstatistiken zu Müdigkeit in Deutschland – Sekundenschlaf und Dunkelziffer

Es ist tief in der Nacht auf der Autobahn. Die Fahrbahn ist leer, der Tempomat steht auf 130, das Radio dudelt leise vor sich hin. Du fühlst dich „eigentlich ganz fit“. Dann fehlt in deiner Erinnerung plötzlich ein Stück – zwei, drei Sekunden, vielleicht mehr. Du zuckst zusammen, richtest das Auto wieder aus. Nichts passiert. Noch mal gut gegangen.

Genau hier beginnt der gefährlichste Täter dieses Kapitels: **Müdigkeit am Steuer**.

Offizielle Statistiken suggerieren zunächst: „So schlimm ist das doch gar nicht.“

Laut Statistischem Bundesamt wurden 2023 in Deutschland **1.902 Verkehrsunfälle mit Personenschaden** offiziell der Unfallursache **Übermüdung** zugeordnet – mit **3.010 Verletzten** und **42 Toten**. Das klingt nach wenig, wenn man weiß, dass es jährlich über 250.000 Unfälle mit Personenschaden gibt. Aber der Teufel steckt im Detail – und in der Dunkelziffer.

Die amtlichen Zahlen zeigen nämlich nur jene Fälle, in denen Müdigkeit **eindeutig** als Ursache festgestellt wurde – etwa, weil der Fahrer es zugibt oder klare Indizien vorliegen (Fahrzeug ohne Bremsversuch in Leitplanke oder Baum, typische „Einschlaf-Spur“). Die Realität ist deutlich düsterer:

- Eine Dekra-Auswertung und andere Analysen weisen darauf hin, dass Übermüdung in den Statistiken **massiv unterschätzt** wird, weil sie schwer nachweisbar ist und oft nicht eingeräumt wird.
- Studien des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Schlafmedizin kommen auf Schätzwerte, nach denen **bis zu 18–25 % aller Unfälle** auf Müdigkeit bzw. Sekundenschlaf zurückgehen könnten; bei Nachtfahrten werden sogar **über 40 %** aller Unfälle mit Übermüdung in Zusammenhang gebracht.

Hinzu kommt: Wenn Müdigkeit zuschlägt, dann meistens **bei hohem Tempo und ohne Reaktion**. Das ist der Grund, warum diese Unfälle im Vergleich überproportional häufig **schwer oder tödlich** enden. ADAC-Unfallforscher betonen genau diesen Punkt: Sekundenschlaf führt häufig zu Abkommen

von der Fahrbahn oder zum Frontalzusammenstoß – ohne Bremsreaktion, ohne Ausweichmanöver.

Noch ein alarmierender Befund:

- Laut Befragungen sind **rund ein Viertel der Autofahrer*innen** in Deutschland nach eigener Aussage schon einmal am Steuer eingenickt.
- Über 40 % glauben, sie könnten **den Zeitpunkt des Einschlafens vorhersehen** – ein fataler Irrtum, denn Sekundenschlaf kommt abrupt, ohne freundliche Vorwarnung.

Versicherer und Berufsgenossenschaften, die Unfälle detailliert nachuntersuchen, finden in Stichproben:

- In etwa **24 %** der untersuchten Unfälle gibt es Indizien, dass der Fahrer eingeschlafen war – also ein Vielfaches dessen, was die offizielle Statistik zeigt.

Einzelne Unfallmeldungen machen diese abstrakten Zahlen greifbar: Immer wieder liest du von Fahrer*innen, die nachts oder frühmorgens „vermutlich aufgrund eines Sekundenschlafs“ von der Fahrbahn abkommen, Bäume oder Leitplanken rammen, sich überschlagen. In manchen Fällen gibt es zum Glück nur Blechschäden, in anderen nicht.

Unser Ermittler schreibt in seine Fallakte:

„Offizielle Quote: Müdigkeit als Ursache in deutlich unter 1 % der registrierten Unfälle.

Plausible Realität: Müdigkeit spielt vermutlich in **jedem fünften Unfall** eine Rolle – nachts noch öfter. Und die Folgen sind überdurchschnittlich schwer.“

Kurz gesagt:

- **Müdigkeit** ist einer der meist unterschätzten Killer im Straßenverkehr.
- **Sekundenschlaf** ist kein „kurzes Wegnicken“, sondern ein kompletter Kontrollverlust über ein 1,5-Tonnen-Fahrzeug.
- Die Dunkelziffer ist hoch, weil niemand gern zugibt, dass er am Steuer eingeschlafen ist – schon gar nicht vor Polizei, Versicherung und Gericht.

Vor diesem Hintergrund bekommen Pausen, Schlafhygiene – und später auch Ladezeiten – eine ganz andere Rolle: nicht als Komfortthema, sondern als **Sicherheitsfaktor**.

14.2 Empfohlene Pausen: alle 2 Stunden, Powernap & Kaffee als Doppelstrategie

Wie schützt du dich vor einem Täter, den du nicht kommen siehst? Genau das ist die Herausforderung bei Müdigkeit – du kannst sie nicht „wegwollen“, du kannst sie nur **ernst nehmen und managen**.

Verkehrssicherheitsorganisationen sind sich bemerkenswert einig, was das Grundrezept angeht:

- Starte **ausgeschlafen** – keine Nacht durchmachen und dann „noch eben schnell los“.
- Leg **spätestens alle zwei Stunden eine Pause** ein – lieber früher, sobald erste Müdigkeitszeichen auftreten.
- Nutze die Pause sinnvoll: raus aus dem Auto, kurz bewegen, Wasser trinken, ggf. **Powernap 10–20 Minuten**.

Kampagnen wie „Runter vom Gas“, ADAC-Empfehlungen und DVR-Positionspapiere formulieren es ziemlich klar:

- Bei Langstreckenfahrten solltest du **alle zwei Stunden** eine Rast einlegen.
- Ein Kurzschlaf von **10–20 Minuten** („Powernap“) kann nachweislich Leistungsfähigkeit und Aufmerksamkeit wieder erhöhen.
- Vor dem Nickerchen darfst du gern einen **Kaffee** trinken – das Koffein wirkt erst nach etwa 20 Minuten, sodass du nach dem Aufwachen vom Powernap den doppelten Effekt spürst.

Wichtig ist die Reihenfolge:

- Kaffee **vor** dem Kurzschlaf,
- dann 10–20 Minuten schlafen,
- dann aufstehen, kurz bewegen, und erst danach weiterfahren.

Was **nicht** hilft – obwohl viele daran glauben:

- Fenster runterkurbeln und „frische Luft rein“.
- Laut Musik hören.
- Sich „zusammenreißen“.

Studien und Kampagnen warnen deutlich: Diese Tricks überdecken nur die Symptome für ein paar Minuten, sie ersetzen aber keine echte Pause.

Unser Ermittler ergänzt eine psychologische Notiz: Viele Fahrer*innen überschätzen ihre eigene Belastbarkeit massiv. Sie glauben, **sie selbst** seien die Ausnahme, die „noch mal zehn Kilometer durchhält“, während sie bei anderen sofort zur Pause raten würden. Dieses „Ich schaff das schon“-Syndrom ist Teil des Problems.

Objektive Regel statt Bauchgefühl lautet deshalb:

„Egal, wie fit du dich fühlst: **Nach zwei Stunden Fahrt – Pause. Bei ersten Müdigkeitszeichen – sofort Pause.**“

Interessant wird es, wenn du diese Empfehlung mit deiner typischen Langstreckenpraxis vergleichst:

- Viele Verbrennerfahrer tanken erst nach 500–800 km, also oft **nach 4–6 Stunden** am Stück.
- Die Pausen dazwischen fallen kurz aus („nur kurz auf Toilette und weiter“).
- Die geplante „große Pause“ wird gerne geschoben – „Ich tanke erst, wenn die Lampe angeht.“

Genau hier beginnen sich später **BEV-Ladezeiten** und **Sicherheitslogik** zu kreuzen. Denn die übliche Empfehlung „alle zwei Stunden Pause“ passt erstaunlich gut zu den realistischen Schnelllade-Intervallen moderner E-Autos.

14.3 Ladezeit vs. Tankzeit – 5–10 Minuten Tanken vs. 15–25 Minuten Schnellladen (800 V)

Der Klassiker in jeder Diskussion:

„Mit meinem Diesel bin ich in fünf Minuten fertig, das E-Auto hängt 30 Minuten an der Säule – das kostet mich Zeit!“

Klingt logisch. Aber unser Ermittler schaut sich die Szene genauer an.

14.3.1 Realistische Tankzeit

„Fünf Minuten tanken“ ist die **theoretische Minimalzeit**, wenn du:

- direkt eine freie Zapfsäule bekommst,
- keine Warteschlange vor dir ist,
- nicht auf Toilette gehst,
- nichts einkaufst,
- nicht zahlst, sondern z.B. per App direkt an der Säule buchst (was bei vielen noch nicht der Fall ist).

In der Praxis sieht ein typischer Tankstopp so aus:

1. Von der Autobahn abfahren, zum Rasthof rollen (1–3 Minuten).
2. Evtl. kurze Wartezeit an der Zapfsäule.
3. Tanken (5 Minuten).
4. Rein zur Kasse, anstehen, bezahlen (5 Minuten sind keine Seltenheit).
5. Oft: Toilettenstopp + Snack holen (weitere 5–10 Minuten).
6. Zurück zum Auto, raus auf die Autobahn (2–3 Minuten).

Zack – aus den „5 Minuten Tanken“ werden schnell **15–20 Minuten reale Pausenzeit**, ohne dass du es so wahrnimmst. Du warst ja ständig „beschäftigt“.

14.3.2 Realistische Schnellladezeit mit 800-Volt-Technik

Moderne E-Autos mit **800-Volt-Systemen** spielen in einer anderen Liga als frühe Elektroautos.

Beispiele:

- **Porsche Taycan:** Das 800-Volt-Flaggschiff schafft unter optimalen Bedingungen den Ladehub **10–80 % in etwa 18–20 Minuten**; in fünf Minuten fließt Strom für um die **200+ km** Reichweite.
- **Hyundai Ioniq 5:** Ebenfalls 800-Volt-basiert; unabhängige Tests messen **10–80 % in rund 18 Minuten**, mit durchschnittlich knapp 170 kW Ladeleistung an geeigneten HPC-Säulen.

- Neue 800-V-Modelle der Generation 2025/26 (z.B. Polestar 3 MJ 2026, Xpeng G9, Audi A6 e-tron, weitere) erreichen Ladehöbe 10–80 % in **12–22 Minuten**, teils mit bis zu **350 kW** Ladeleistung.

ADAC-Messungen nutzen für die Bewertung der Langstreckentauglichkeit ein Szenario:

- Start mit vollem Akku,
- Fahrt bis zu einem definierten Ladestand,
- dann **eine 20-minütige Schnellladepause**,
- und Auswertung, wie viel Reichweite in diesen 20 Minuten real nachgeladen wird. Spitzenreiter wie Taycan und Ioniq 6 kommen dabei auf Gesamtreichweiten von knapp **950–980 km** mit genau **einer 20-Minuten-Pause**.

Kurzum: Bei guten Bedingungen (warmer Akku, passend dimensionierte Säule, 800-V-Fahrzeug) ist ein **Ladefenster von 15–25 Minuten** für 10–80 % heute realistisch.

14.3.3 Ladepause = Kaffeepause

Die spannende Frage ist also nicht:
„Ist Tanken schneller?“ – technisch: ja.

Sondern:

„Wie nutzt du deine Pause – und passt die Ladezeit vielleicht **besser** zu dem, was du für deine Sicherheit ohnehin tun solltest?“

Eine typische Langstrecken-Etappe mit einem modernen BEV läuft so:

- Du fährst 250–300 km (je nach Modell und Tempo).
- Der Akku steht bei ca. 10–20 %.
- Du fährst an einen HPC, stöpselst an – das dauert vielleicht 1–2 Minuten.
- Dann hast du **15–25 Minuten**, in denen das Auto lädt, *ohne dich zu brauchen*.

Genau diese Zeit entspricht:

- der empfohlenen **Pause alle zwei Stunden**,
- einem möglichem **Powernap von 10–20 Minuten**,

- plus
 - Toilettengang,
 - Kaffee holen,
 - kurz die Beine vertreten.

Mit anderen Worten:
 Wenn du die Ladepause so planst, wie Verkehrssicherheits-Expert*innen deine Pause planen würden, überlappen sich **Sicherheitslogik und Ladefenster fast perfekt.**

Der Unterschied zur Tankpause ist gar nicht mehr so groß – häufig geht es vielmehr darum, dass du beim Tanken versuchst, „möglichst schnell wieder auf der Bahn zu sein“, während dir das E-Auto sagt:

„Setz dich hin, nimm dir 20 Minuten. Ich lade. Du atmest.“

Und genau das ist der Übergang zur letzten Frage dieses Kapitels.

14.4 Fazit: Warum BEV-Ladezeiten wie ein erzwungenes Sicherheits-Feature wirken können

Im ersten Moment empfindest du Ladezeiten als **Limit**:

- „Ich muss warten.“
- „Das Auto hält mich auf.“
- „Mit dem Diesel wäre ich schon weiter.“

Unser Ermittler schlägt die Akte „Müdigkeit“ auf und legt sie neben die Akte „Ladepause“. Plötzlich liegen die Fakten wie zwei Puzzleteile vor dir, die zusammenpassen:

1. Müdigkeit ist massiv unterschätzt.

- Offiziell wenige tausend Unfälle, real wahrscheinlich ein **Vielfaches**.
- Übermüdung führt sehr oft zu **schweren oder tödlichen** Unfällen.

2. Fachleute empfehlen konsequent: alle zwei Stunden Pause.

- Mit **10–20 Minuten Kurzschlaf** + Bewegung + ggf. Kaffee.

3. Moderne E-Autos mit Schnellladefähigkeit benötigen auf Langstrecke alle 2–3 Stunden eine 15–25-Minuten-Pause, die sich perfekt mit dieser Empfehlung deckt.

Wenn du mit einem Verbrenner unterwegs bist, kannst du zwar genauso Pausen einlegen – aber:

- Der **innere Druck**, „durchzufahren, solange der Tank reicht“, ist groß.
- Es fühlt sich an, als würdest du „Zeit verlieren“, wenn du öfter anhältst, obwohl du ja „noch nicht tanken musst“.
- Viele Fahrer*innen ignorieren Müdigkeitszeichen, weil sie „noch schnell ein Stück schaffen“ wollen.

Das E-Auto tickt anders:

- Es **zwingt** dich (zumindest heute noch) bei längeren Strecken dazu, etwa alle 250–300 km einen Stopp einzulegen.
- Dieser Stopp dauert typischerweise **so lange, wie eine sinnvolle Pause dauern sollte**.
- Während das Auto unerschütterlich lädt, ist es schwerer, sich selbst in die Tasche zu lügen: Du hast jetzt Zeit für Toilette, Kaffee, Povernap – und eben nicht nur für „Schnell tanken und weiter“.

Man kann es überspitzt so formulieren:

Ein modernes BEV hat ein eingebautes „Anti-Sekundenschlaf-Feature“ – nicht in der Elektronik, sondern in der **Kombination aus Reichweite, Ladefenstern und typischen Routen**.

Natürlich ist das keine Garantie:

- Du kannst auch mit E-Auto müde losfahren – schlecht.
- Du kannst Pausen falsch nutzen (nur am Handy hängen, kein Povernap, kein Rausgehen).
- Und du kannst an der Infrastruktur scheitern, wenn du die Route gar nicht planst.

Aber physikalisch und psychologisch verschiebt sich die Logik von „so lange wie möglich durchziehen“ zu „alle paar Stunden konsequent eine ordentliche Pause machen“.

In unserem Krimi „Tatort Auspuff“ ist das Elektroauto damit nicht nur leiser, effizienter und lokal emissionsfrei – es trägt auch das Potenzial in sich, unsere **Pausenkultur** zu verbessern:

- Weniger „ich will aber noch die 200 km schaffen“.
- Mehr „wir machen jetzt eine Kaffeepause, das Auto will sowieso laden“.
- Weniger Sekundenschlaf-Risiko, wenn du die Ladezeit bewusst als **Sicherheitszeit** nutzt.

Die eigentliche Frage lautet daher nicht:
„Wie viel Zeit verliere ich durch Laden?“

Sondern:

„Wie viel **Risiko** spare ich mir, wenn ich auf langen Strecken nicht mehr gegen meinen Körper fahre, sondern ihn genauso ernst nehme wie den Füllstand von Tank oder Akku?“

Im nächsten Kapitel wird unser Ermittler diese Perspektive mit der Wirtschaftlichkeit und dem gesellschaftlichen Wandel verknüpfen: Wie verändern sich Reiseverhalten, Infrastruktur-Design und vielleicht sogar Urlaubsplanung, wenn Pausen nicht mehr ein notwendiges Übel sind – sondern ein integraler Bestandteil sicherer, entspannter Elektromobilität?

Kapitel 15 – Die Flaggschiffe: Premium-E-Autos aus aller Welt

15.1 Mercedes EQS, Audi Q6 e-tron, BMW iX, Porsche Taycan – die deutsche Premium-Front

In diesem Kapitel stehen vier „Hauptverdächtige“ im Rampenlicht des Verhörzimmers: Mercedes EQS, Audi Q6 e-tron, BMW iX und Porsche Taycan. Sie repräsentieren das, worin Deutschland traditionell stark ist: Luxus, Ingenieurskunst, Langstrecke – nur diesmal ohne Auspuff.

Mercedes EQS – die elektrische S-Klasse

Der EQS ist im Grunde die S-Klasse der Stromer: große Luxuslimousine, flüsterleise, maximal auf Komfort getrimmt. Die aktuelle EQS 450+ Version schafft laut Mercedes bis zu **816 km WLTP-Reichweite** bei einem kombinierten Energieverbrauch von **16,5 kWh/100 km** – für ein Fahrzeug dieser Größe beeindruckend.

Unabhängige Tests wie ADAC und Motor1 liegen etwas höher, aber immer noch auf sehr gutem Niveau: Der ADAC misst im Ecotest **21,5 kWh/100 km** inklusive Ladeverluste, Motor1 sieht je nach Fahrprofil 19–22 kWh/100 km.

Technisch basiert der EQS auf der reinen Elektro-Plattform EVA. Der lange Radstand, der große Batterietunnel und die extrem aerodynamische Karosserie ($c_W \approx 0,20$) helfen, das Maximum aus jeder kWh herauszukitzeln. Dazu kommt ein weiteres Alleinstellungsmerkmal: **DRIVE PILOT** – ein Level-3-System, das in Deutschland offiziell zugelassen ist und bis 95 km/h auf bestimmten Autobahnabschnitten zeitweise das Fahren übernehmen darf. Du darfst dann legal die Hände wegnehmen und z.B. lesen – solange das System aktiv ist und die Rahmenbedingungen stimmen.

Audi Q6 e-tron – der PPE-Technikträger

Der brandneue Audi Q6 e-tron sitzt auf der neuen **PPE-Plattform**, die gemeinsam mit Porsche entwickelt wurde – mit **800-Volt-System**. Das ermöglicht DC-Ladeleistungen von bis zu **270 kW**, 10–80 % SOC in rund **21 Minuten** und Reichweitzuwachs von bis zu **255 km in 10 Minuten** laut Audi.

Beim Verbrauch liegt der Q6 e-tron je nach Variante im Bereich **17–20 kWh/100 km** (WLTP), reale „ev-database“-Angaben für die Sportback-

Variante zeigen Spannweiten zwischen 360 und 570 km Realreichweite – je nach Wetter, Tempo und Fahrprofil.

Im Fahrgefühl positioniert Audi ihn als „Premium-Allrounder“: viel Assistenz (adaptiver Tempomat, Spurführung, prädiktive Rekuperation), solide Verarbeitung, ruhiger Fahrkomfort – weniger radikal als ein Taycan, aber technisch deutlich moderner als die frühere e-tron-Generation.

BMW iX – das Tech-SUV

Der BMW iX ist das polarisierende Designobjekt in dieser Runde – optisch Geschmackssache, technisch sehr ernst zu nehmen. In der aktuellen iX xDrive60/50 Konfiguration spricht BMW von einem **WLTP-Verbrauch um 21,9 kWh/100 km** und **Reichweiten bis 701 km** (je nach Ausstattung).

Der ADAC nennt für den iX xDrive50 einen WLTP-Wert von **19,5 kWh/100 km**, in der Praxis liegen die Testverbräuche (viele Autobahn, hohe Geschwindigkeit) eher bei 25–32 kWh/100 km – kein Wunder bei einem zweieinhalb-Tonnen-SUV mit großer Stirnfläche.

Der iX nutzt (anders als Q6 und Taycan) eine **400-Volt-Architektur** mit DC-Ladeleistungen um 195 kW, ist also beim Peak etwas langsamer, dafür aber sehr konstant in der Ladeleistung. Dafür glänzt er mit einem extrem hochwertigen Innenraum, sehr guten Assistenzsystemen (u.a. Autobahn-Assistent mit Spurwechsel-Funktion) und einer klaren Ausrichtung auf Reisekomfort.

Porsche Taycan – der Sportler

Der Taycan ist der „Krimi-Actionheld“ in dieser Gruppe: flach, schnell, kompromisslos. Das Update für Modelljahr 2025 hat Reichweite und Effizienz spürbar verbessert. In Tests von Car and Driver schafft der Taycan 4S jetzt bis zu **330 Meilen (~530 km)** und das RWD-Modell bis zu **360 Meilen (~580 km)** bei konstant 75 mph – rund 50 % mehr als die frühen Modelle.

Das gelingt durch eine neue **Performance Battery Plus** mit rund 97 kWh, verfeinerte Aerodynamik und optimierte Antriebsstrategie. Dazu kommt die legendäre **800-Volt-Technik**, DC-Ladeleistungen bis 270 kW, sehr flache Ladekurven und ein Fahrwerk, das eher Richtung Supersportler als Business-Lounge geht.

Taycan vs. EQS/iX/Q6 ist damit auch eine Charakterfrage:

- EQS – leiser Gleiter mit Chauffeur-Gen.

- Q6 – moderner Allrounder mit Premium-Alltagstauglichkeit.
- iX – Tech-SUV mit Komfortfokus.
- Taycan – Fahrdynamik und Lade-Performance im Mittelpunkt.

Alle vier zusammen demonstrieren: Deutsche Hersteller können Premium-Elektro – aber sie wählen sehr unterschiedliche Schwerpunkte.

15.2 Tesla Model S/3/Y/X – der Software- und Effizienz-Referenzfall

Im nächsten Verhörraum sitzt ein alter Bekannter: Tesla. Wenn du Reichweitenlisten oder Effizienzrankings anschaust, tauchen Model 3 und Model Y fast immer weit oben auf – nicht mehr so unangefochten wie früher, aber nach wie vor ein Maßstab.

Model S – die Langstreckenreferenz

Das aktuelle Model S (Plaid) bietet laut Tesla bis zu **611 km WLTP-Reichweite**, mit einem großen ~100-kWh-Akkupack und sehr niedrigen Verbrauchswerten. Die ev-database nennt eine „Real Range“ zwischen 420 und 820 km, abhängig von Wetter und Tempo – im Alltag sind 500–600 km ohne großes Sparen realistisch.

Mit starken Motoren (bis über 1.000 PS im Plaid), hoher Dauerleistung und dem bekannten „Ludicrous“-Charakter ist das Model S so etwas wie der elektrische GT – eine Mischung aus Langstreckenlimousine und Dragster.

Model 3 – Effizienzmeister

Das überarbeitete Model 3 („Highland“) setzt noch einmal einen drauf: Die Long Range RWD/dual-motor-Varianten kommen auf **bis zu 640 km WLTP**, bei einem offiziellen Verbrauch von nur **136 Wh/km** (inkl. Ladeverluste). Die reale Fahrzeugaufnahme liegt laut ev-database sogar bei nur **117 Wh/km** – das sind 11,7 kWh/100 km.

Damit ist das Model 3 nach wie vor eines der effizientesten Serienautos überhaupt. Die Kombination aus:

- sehr guter Aerodynamik,
- vergleichsweise geringem Gewicht,
- gut abgestimmter Antriebselektronik

macht das Auto auf Langstrecke zum „Kilometerfresser“ – vor allem in Verbindung mit dem **Supercharger-Netz**, das sehr zuverlässig funktioniert und für viele Fahrer*innen eine Art „Alleinstellungs-Komfort“ darstellt.

Model Y und Model X – SUV-Varianten

Model Y ist inzwischen in Europa das meistverkaufte E-Auto – mit WLTP-Reichweiten je nach Variante um 455–533 km und sehr ordentlichen Verbrauchswerten für ein SUV. Model X spielt eher in der Liga großer, schwerer Premium-SUVs, mit entsprechend höherem Verbrauch, aber ebenfalls hohen Reichweiten.

Software & Assistenz – Autopilot und FSD

Ein wesentlicher Teil der Tesla-„Legende“ ist nicht das Blech, sondern der Code:

- **Autopilot** ist ein Level-2-Assistenzsystem (Abstandsregeltempomat, Spurführung, automatisch Spur wechseln),
- **Full Self-Driving (FSD, supervised)** ergänzt Funktionen wie automatisches Einbiegen, Abbiegen, Navigieren nach Karte, Ampel- und Stoppschilderkennung.

Trotz des Namens ist FSD rechtlich **kein autonomes Fahren**, sondern ein Fahrassistenzsystem, das stets eine aufmerksame Fahrerin/einen aufmerksamen Fahrer verlangt. US-Behörden wie die NHTSA untersuchen Tesla regelmäßig wegen Unfällen im Zusammenhang mit Autopilot/FSD, zuletzt 2025 wegen Rotlichtverstößen und Spurwechsel-Problemen.

Im Klartext:

- Tesla ist beim Thema **Software-Update-Tempo, UI und Over-the-Air-Funktionalität** weiterhin führend.
- Bei der **Sicherheit und Kommunikation** der Assistenzfunktionen gibt es international deutliche Kritik und regulatorische Verfahren.

In unserem Premium-Vergleich ist Tesla damit so etwas wie der „Software-Hacker“ des Krimis: technisch oft spektakulär, manchmal an der Grenze dessen, was Regulierung und Physik tolerieren – und ein starker Referenzpunkt für Effizienz, Ladeinfrastruktur und OTA-Fähigkeiten.

15.3 Chinesische Oberklasse: NIO ET7, XPeng G9 & Co.

Während deutsche und US-Flaggschiffe in Europa große Schlagzeilen machen, rückt aus dem Osten eine neue Gruppe von Verdächtigen an: **NIO**, **XPeng**, **BYD**, **Hongqi** und andere. Besonders spannend im Premiumsegment sind NIO ET7 und XPeng G9.

NIO ET7 – die Business-Limousine mit Lidar-Krone

Der NIO ET7 ist eine große Oberklassenlimousine, in der Tradition von 5er, E-Klasse und A6 – nur eben als rein elektrischer Hightech-Gleiter.

- Die Long-Range-Version kommt auf **505 km WLTP-Reichweite**, bei einem realen Fahrzeugverbrauch um **17,8 kWh/100 km**.
- Leistung: bis zu rund 650 PS aus zwei Motoren, Allrad, 0–100 km/h in unter 4 Sekunden.

Besonders auffällig ist das Dach: vorn steht ein kleiner „Kamm“ mit **Lidar-Sensor** und Kameras – Teil des **NIO Autonomous Driving (NAD)**-Systems.

- NAD nutzt das „Aquila Super Sensing“ Sensor-Set mit **33 Sensoren**, darunter 8-MP-Kameras, Radar, Ultraschall und ein hochauflösendes Lidar.
- Die Rechenleistung übernimmt ein „Adam Super Computer“ mit vier NVIDIA Orin Chips und über 1.000 TOPS.

Ziel ist ein sehr weitreichendes Assistenzpaket inkl. automatisiertem Fahren auf Autobahnen und später in Städten (rechtlich je nach Land unterschiedlich freigeschaltet). In Europa sind viele Funktionen derzeit noch eingeschränkt, aber die Hardware ist klar auf Zukunft ausgelegt.

Ein weiteres NIO-Spezialthema: **Battery-Swap**. In China baut NIO ein Netz von Stationen, in denen der Akku in wenigen Minuten vollautomatisch getauscht wird. In Europa gibt es erste Pilotstationen. Für unseren Langstrecken-Krimi ist das spannend, aber noch kein flächendeckender Gamechanger – eher ein Blick in mögliche Zukunftsszenarien.

XPeng G9 – 800 Volt, 480 kW und viel Tech

Der XPeng G9 ist ein großer Premium-SUV, der in Europa vor allem mit starker Technik auffällt:

- Zwei Batterieoptionen: **75,8 kWh (LFP) und 93,1 kWh (NCM)**.

- WLTP-Reichweiten: **460 km** (RWD Standard Range), **570 km** (RWD Long Range), **520 km** (AWD Performance).
- 800-Volt-Architektur mit sehr hohen Ladeleistungen (Hersteller spricht von bis zu ~480 kW Peak an passenden Säulen).

Die ev-database gibt Realreichweiten des G9 RWD Long Range zwischen 345 und 695 km an – also im gleichen Bereich wie Q6 e-tron, iX & Co.

Beim Thema Assistenz legt XPeng mit **XNGP/XPilot** nach – einem System, das in China bereits sehr weitreichendes Autobahn- und Stadtfahren ermöglicht (inkl. automatischem Spurwechsel, Auffahren, Abfahren). In Europa sind diese Features aufgrund der Regulierung noch reduziert, aber die Hardware (Kameras, Radar, Rechenleistung) ist erkennbar auf „mehr“ ausgelegt.

Der chinesische Stil

Was sich am ET7 und G9 schön ablesen lässt:

- Sehr **starke Datenblätter** (Reichweite, Leistung, Ladegeschwindigkeit).
- **Viel Sensorik** und AI-Branding („Super Sensing“, „Super Computing“).
- Preislich oft **aggressiver** als etablierte deutsche Oberklasse – mit viel Ausstattung bereits in der Basis.

Gleichzeitig kämpfen die Marken in Europa noch mit:

- geringerer Bekanntheit,
- dünnerem Servicenetz,
- teilweise skeptischer Wahrnehmung beim Thema Datensicherheit und Geopolitik.

Im Krimi-Bild sind NIO & XPeng so etwas wie die neuen, hochintelligenten „Verdächtigen“, die in den Fall hineingeschneit kommen – die klassische Ordnung durcheinanderbringen und aufzeigen, dass Premium heute nicht mehr automatisch „deutsch oder amerikanisch“ bedeutet.

15.4 Reichweite, Effizienz, 800-Volt-Laden und Assistenzsysteme im Vergleich

Jetzt legt unser Ermittler alle Akten nebeneinander auf den Tisch: EQS, Q6, iX, Taycan, Model S/3, ET7, G9. Was fällt auf?

Reichweite & Effizienz

- Mercedes EQS 450+: bis **816 km WLTP**, Verbrauch offiziell 16,5 kWh/100 km, reale Tests um 18–22 kWh/100 km.
- BMW iX xDrive60: WLTP 564–701 km, offizieller Verbrauch 21,9 kWh/100 km – in Tests bei zügiger Fahrweise eher 25–32 kWh/100 km.
- Audi Q6 e-tron: kombinierter Verbrauch 17–19,6 kWh/100 km, je nach Variante; Realreichweiten 360–570 km laut ev-database.
- Porsche Taycan (Update 2025): je nach Modell reale Autobahnreichweiten um 530–580 km bei 75 mph, mit 97-kWh-Batterie.
- Tesla Model S/3: Model S WLTP ~611 km, Model 3 LR bis 640 km, mit sehr niedrigen realen Verbräuchen (Model 3 Fahrzeugverbrauch ~11,7 kWh/100 km laut ev-database).
- NIO ET7 Long Range: WLTP 505 km, Fahrzeugverbrauch ~17,8 kWh/100 km.
- XPeng G9 LR: WLTP 520–570 km, Realreichweite 345–545 km.

In reiner Effizienz liegen kompaktere Limousinen (Tesla Model 3, teilweise auch EQE/ET7) naturgemäß vor großen SUV wie iX oder G9. Der EQS zeigt, wie weit man ein großes Auto durch Aerodynamik optimieren kann, während der Taycan beweist, dass **Sportwagenform** und akzeptable Reichweiten kein Widerspruch sein müssen – insbesondere nach dem 2025er-Update.

800-Volt vs. 400-Volt – Ladepformer vs. Allrounder

800-Volt-Systeme: Porsche Taycan, Audi Q6 e-tron, XPeng G9 (und einige andere). Typische Vorteile:

- sehr hohe DC-Leistungen (bis 270–480 kW),
- kurze 10–80-%-Ladezeiten (ca. 18–22 Minuten),
- geringere Ströme bei gleicher Leistung → weniger Verlustwärme, dünnere Kabel.

- **400-Volt-Systeme:** Tesla, BMW iX, Mercedes EQS (aktuell) – aber mit teils sehr guten Ladekurven und 200-kW-Klasse beim DC-Laden.

In der Praxis heißt das:

- 800-Volt-Fahrzeuge holen auf Langstrecken-HPCs (Ionity, Fastned, EnBW etc.) oft schneller viele Kilometer nach.
- 400-Volt-Fahrzeuge sind nicht automatisch „schlecht“ – entscheidend ist die Ladecharakteristik über den **ganzen SoC-Bereich**, nicht nur der Peak.

Assistenzsysteme – vom Level-2+ bis Level-3

- **Mercedes EQS:** Drive Pilot als **Level-3-System** auf bestimmten Autobahnabschnitten – weltweit eines der ersten Serienfahrzeuge mit offiziell zugelassenem Level 3.
- **Tesla:** Autopilot und FSD (supervised) als Level-2-Systeme mit sehr umfangreichen Funktionen, aber intensiver regulatorischer Beobachtung und laufenden Ermittlungen in den USA.
- **NIO ET7:** NAD mit Lidar, 33 Sensoren, riesiger Rechenleistung – technisch klar auf hochautomatisierte Fahrfunktionen ausgelegt, je nach Land aber noch mit beschränktem Funktionsumfang.
- **XPeng G9:** XNGP/XPilot mit starken City- und Highway-Funktionen in China; in Europa derzeit noch eingeschränkt.
- **Audi Q6, BMW iX:** sehr weit entwickelte **Level-2+-Assistenz** (Autobahnassistent mit Spurwechsel, prädiktive Rekuperation, teilautomatisiertes Parken), stark integriert ins Infotainment.

Die Tendenz ist klar:

- Premium-E-Autos nutzen Assistenz und Software als **zentrale Differenzierungsmerkmale**.
- Hardware (Sensoren, Rechenleistung) wird oft schon für Level-3/4 ausgelegt, auch wenn juristisch nur Level-2 freigegeben ist.

Reichweite, Effizienz, Ladeleistung und Assistenz greifen dabei ineinander: Wer öfter lädt, braucht gute HPC-Performance; wer viel ADAS nutzt, braucht starke Rechner und Sensorik; wer Langstrecke effizient fahren will, braucht gute Aerodynamik und smarte Software im Hintergrund.

15.5 Positionierung: Luxus, Business, Technik-Showcase

Zum Schluss dieses Kapitels zoomt unser Ermittler etwas heraus und schaut sich die „Rollen“ im Ensemble an. Wer spielt hier eigentlich welchen Teil?

Luxus & Komfort

- **Mercedes EQS:** klassische Luxuslimousine – Fokus auf Ruhe, Sitzkomfort, Ambiente, Rear-Seat-Experience. Wenn du bisher S-Klasse gefahren bist und „einfach elektrisch weiter so“ möchtest, ist das dein natürlicher Kandidat.
- **BMW iX:** Luxus-SUV mit Lounge-Charakter, sehr hochwertigem Innenraum, Fokus auf Ruhe und Haptik.

Hier ist der E-Antrieb eher Mittel zum Zweck: Er ermöglicht die „schwebende“ Ruhe und den souveränen Antritt, der zum Premiumgefühl gehört.

Business & Allrounder

- **Audi Q6 e-tron:** die neue elektrische Mittel- bis Oberklasse für Dienstwagenfahrer, Familien mit Anspruch und Vielfahrer, die ein „normales“ SUV-Format mit modernster Technik verbinden wollen.
- **Tesla Model 3 & Y:** pragmatische Business-Geräte – effizient, softwarestark, mit starkem Netzwerk. Weniger klassischer Luxus, mehr „Tech-Tool“.
- **NIO ET7:** Business-Limousine mit starkem Fokus auf digitalem Ökosystem (Abo-Modelle, Battery-Swap, NAD).

Businesskriterien sind hier: TCO, Reichweite, Ladezuverlässigkeit, Assistenzfunktionen auf der Autobahn, Image beim Kunden.

Tech-Showcase & „Halo Cars“

- **Porsche Taycan:** demonstriert, dass Elektromobilität nicht der Spaßbremser ist, sondern im Sportwagensegment neue Maßstäbe setzen kann – insbesondere beim Nachlade-Tempo und bei wiederholbarer Performance.

- **XPeng G9:** 800 Volt, hohe Ladeleistung, viele Assistenten – ein rollender Technikdemonstrator, mit dem eine junge Marke zeigt: „Wir können auf Augenhöhe mitspielen.“
- **Tesla Model S Plaid:** Extrembeschleunigung, Software-Spielwiese – eher Halo-Produkt als Massenware.

Diese „Showcars“ sind wichtig, weil sie das Bild von E-Mobilität prägen: weg vom sparsamen Öko-Kompaktwagen hin zu einem **vollwertigen Spektrum** von Fahrzeugen – bis hin zum Supersportler.

Was bedeutet das für den großen Krimi „Tatort Auspuff“?

- Premium-E-Autos beweisen, dass **Leistung, Luxus und Langstrecke** nicht an den Verbrenner gebunden sind.
- Sie zeigen, wie viel Innovation freigesetzt wird, wenn Ingenieure nicht mehr um Auspuffanlagen, Turbolader und Achtgangautomaten kreisen, sondern sich auf Effizienz, Software und Ladefähigkeit konzentrieren.
- Gleichzeitig sind sie die **teuersten und ressourcenintensivsten** Fahrzeuge eines ohnehin ressourcenintensiven Systems. Sie sind nicht die Antwort auf alle Mobilitätsfragen, aber sie drehen das Narrativ: „E-Auto = Verzicht“ ist spätestens hier nicht mehr haltbar.

In den nächsten Kapiteln schauen wir deshalb gezielt auf die **kleineren Helden** – City-Stromer, Twingo-Klasse, bezahlbare Kompakt- und Kleinwagen – also auf jene Fahrzeuge, die im Alltag der meisten Menschen viel relevanter sind. Die Premium-Flaggschiffe bleiben aber wichtig als technisches Labor: Was dort heute entsteht, landet morgen – abgespeckt und günstiger – in den Volumenmodellen, mit denen du vielleicht schon bald täglich unterwegs bist.

16.1 Renault Twingo Electric – Stadtflitzer als Alltagsbeispiel

Im „Tatort Auspuff“-Krimi ist der Renault Twingo Electric so etwas wie der unscheinbare Informant: klein, immer in der Nähe des Geschehens, und wenn man genauer hinschaut, weiß er erstaunlich viel über unseren echten Mobilitätsalltag.

Technisch ist der Twingo Electric ein klassischer City-Einsatzwagen. Die Batterie hat rund 23 kWh brutto, davon etwa 21,3 kWh nutzbar. Die offizielle WLTP-Reichweite liegt bei etwa 190 km kombiniert, im Stadtverkehr sogar bis 270 km, weil dort weniger konstant schnell gefahren und viel rekuperiert wird. Realistisch sind, je nach Fahrweise und Jahreszeit, etwa 120–160 km pro Ladung – und genau das reicht für den typischen Alltag vieler Menschen mehr als aus.

Die Abmessungen verraten seine Rolle: 3,62 m kurz, extrem wendig, Wendekreis um die 8,6 m. Das ist kein Autobahn-Bolide, sondern ein Instrument für enge Parklücken, Hinterhöfe und Innenstadt-Schleichwege. Während der große Diesel noch auf der Suche nach einem Parkplatz im zweiten Ring kreist, steht der Twingo längst vor der Haustür und hängt am AC-Lader.

Spannend wird es, wenn wir seinen Alltagseinsatz in Zahlen verpacken: Ein klassisches Pendelprofil in Deutschland liegt oft bei 20–40 km pro Tag (einfache Strecke 10–20 km). Fährst du 30 km am Tag, verbrauchst du im Twingo grob 5–6 kWh (bei etwa 17–20 kWh/100 km inklusive Ladeverlusten). Damit kommst du mit einer Vollladung 3–4 Tage hin, im milden Stadtverkehr auch fünf. Über Nacht an der Wallbox geladen, bedeutet das: Der Wagen ist morgens voll, ohne dass du je an eine Tankstelle denken musst.

Besonders interessant – auch im Vergleich zu vielen „großen“ E-Autos – ist der Fokus auf AC-Laden: Der Twingo unterstützt bis zu 22 kW AC. An einer passenden öffentlichen 22-kW-Säule oder einer entsprechend dimensionierten Heim-Wallbox kann die kleine Batterie theoretisch in gut 1¼ Stunden von leer auf voll gezogen werden. Für den Alltag heißt das: Einkaufen, Essen, vielleicht eine Serie in der Mediathek – und das Auto ist wieder bereit.

Auch aus Klimasicht ist der kleine Franzose eine interessante Figur im Krimi: Durch seine relativ kleine Batterie hat er einen deutlich kleineren „CO₂-Rucksack“ als große Premium-SUV – sowohl in der Produktion als auch beim späteren Recycling. Gleichzeitig ersetzt er besonders häufig Kurzstrecken, auf denen Verbrenner am ineffizientesten und schmutzigsten sind (Kaltstart, hoher Verbrauch, hohe lokale Emissionen).

Narrativ gesehen spielt der Twingo Electric eine wichtige Rolle: Er zeigt, dass Elektromobilität nicht immer Hightech-Flaggschiff mit 600 km Reichweite sein muss. Für viele Menschen wäre so ein Stadtflitzer die ehrlichste Antwort auf ihren Mobilitätsbedarf – und damit ein leiser Zeuge, der im Verhörzimmer der Fakten die Ausrede „Ich brauche unbedingt 800 km Reichweite“ ziemlich blass aussehen lässt.

16.2 VW e-Up – lange unterschätzter Effizienzmeister

Wenn der Twingo der wendige Informant ist, dann ist der VW e-Up der aktenkundige Streifenbeamte: unspektakulär, aber mit beeindruckender Bilanz. Viele Jahre war er eines der effizientesten E-Autos überhaupt – und obwohl er neu nicht mehr verkauft wird, ist er auf dem Gebrauchtmakrt und im Alltag vieler Fahrer ein heimlicher Star.

Der e-Up hat eine nutzbare Batteriekapazität von rund 32,3 kWh, WLTP-Reichweite etwa 256–260 km. Der offizielle Verbrauch liegt bei rund 12,7 kWh/100 km, realistisch – inklusive Ladeverluste – eher bei 15–17 kWh/100 km. Im ADAC-Ecotest kam er auf etwa 16,7 kWh/100 km, in der Stadt sogar auf rund 11,4 kWh/100 km. [Prix Carburant](#) Das sind Werte, von denen große E-SUV und alle Verbrenner nur träumen können.

Die technische Rolle im Krimi: Der e-Up zeigt, wie viel mit guter Aerodynamik, geringem Gewicht und einem kleinen, effizienten Antrieb möglich ist. Seine Batterie ist deutlich kleiner als die 70–100-kWh-Packs vieler Premium-E-Autos, und trotzdem erreicht er alltagstaugliche Reichweiten. Gerade für Pendler, Stadtbewohner und als Zweitwagen ist er fast schon überqualifiziert.

Im Alltag sieht das so aus:

- Bei 15 kWh/100 km und einem Strompreis von beispielhaft 0,30 €/kWh (real in Deutschland je nach Tarif etwa 0,27–0,38 €/kWh) zahlst du für 100 km rund 4,50 €.

- Ein vergleichbarer Benziner im Kleinwagensegment liegt schnell bei 6–7 l/100 km. Bei etwa 1,75 €/l Benzin (Durchschnitt im November 2025) sind das 10,50–12,25 € pro 100 km.

Der e-Up fährt also – ganz in Polizeibericht-Manier – mit weniger als der Hälfte der Energiekosten pro Strecke. Dazu kommen geringere Wartungskosten (kein Ölwechsel, weniger Verschleißteile) und in Deutschland Steuerbefreiung für BEV sowie teils deutlich günstigere Dienstwagenbesteuerung.

Seine Langstreckentauglichkeit ist begrenzt, ja – die DC-Ladeleistung liegt bei rund 40 kW, 10–80 % dauern eher 45–60 Minuten. Aber das ist auch nicht seine Rolle im Drehbuch: Der e-Up ist der Alltagswagen, der mit minimalem Energieeinsatz möglichst viele Kurz- und Mittelstrecken übernimmt. Für die CO₂-Bilanz und die Luftqualität ist das genau der Bereich, in dem ein Wechsel zum E-Auto besonders viel bringt.

Im Städte-Kapitel dieses Krimis entlarvt der e-Up leise, aber gnadenlos, wie ineffizient und überdimensioniert viele unserer heutigen Fahrzeuge sind – und dass „klein“ im E-Zeitalter nicht Verzicht bedeutet, sondern oft schlicht: clever.

16.3 Dacia Spring – das Low-Cost-E-Auto als Beweis, dass es günstig geht

Der Dacia Spring ist so etwas wie der „Undercover-Zeuge“ der E-Mobilität: kein Glamour, keine großen Versprechen – aber er taucht überall dort auf, wo die härteste Frage gestellt wird: „Kann ich mir das überhaupt leisten?“

Der Spring tritt bewusst simpel auf. Die aktuelle Version nutzt eine rund 25-kWh-Batterie (nutzbar), reale Reichweiten liegen je nach Fahrprofil bei etwa 160 km, kombiniert WLTP um 230 km, in den gängigen 45- und 65-PS-Varianten mit sehr sparsamem Verbrauch um 13–15 kWh/100 km. Damit ist er kein Autobahnläufer, sondern ein kompromissloser Stadt- und Umlandwagen.

Der zentrale Plot-Twist: Der Dacia Spring war und ist eines der günstigsten Elektroautos Europas – Einstiegspreise lagen teils deutlich unter 20.000 €, nach Förderungen zeitweise sogar um 11.000 €. Auch nach Auslaufen der klassischen Umweltboni in Deutschland ist er in vielen Märkten weiterhin deutlich billiger als die meisten Konkurrenzmodelle und wird damit zum

„Beweisstück A“ gegen das Vorurteil, E-Autos seien grundsätzlich nur etwas für Besserverdienende.

Technisch setzt Dacia zunehmend auf LFP-Batterien (Lithium-Eisenphosphat): kobaltfrei, robust, viele Ladezyklen, dafür etwas schwerer und mit geringerer Energiedichte als NMC/NCA. Für ein Stadtauto ist das perfekt: Die Batterie muss nicht riesig sein, dafür sollen Haltbarkeit und Kosten stimmen. Genau das liefert LFP.

Schaust du dir den Alltagseinsatz an, wird der Charakter des Spring klar:

- Pendler mit 30 km pro Tag haben auch hier ausreichend Reserve – selbst im Winter.
- Mit etwa 13 kWh/100 km und 0,30 €/kWh zahlst du rund 3,90 € für 100 km.
- Ein alter Kleinwagen-Benziner mit 7 l/100 km verbrennt dafür über 12 € pro 100 km – mehr als das Dreifache.

Natürlich hat der Spring seine Grenzen: Sicherheits- und Komfortniveau liegen eher im Basissegment, Geräuschkomfort, Materialanmutung, Fahrdynamik – alles zweckmäßig, nicht edel. In Crashtests und ADAC-Bewertungen wurde mehrfach auf Schwächen bei Sicherheitssystemen und passiver Sicherheit hingewiesen, was bei der Kaufentscheidung ernsthaft mit in die Waagschale gehört.

Im „Tatort Auspuff“-Krimi verkörpert der Dacia Spring einen wichtigen Punkt: E-Mobilität ist nicht automatisch Premium, sondern kann bewusst einfach, reduziert und günstig sein. Er zeigt, dass der Einstieg in die elektrische Alltagsmobilität nicht zwangsläufig ein 50.000-€-SUV sein muss, sondern ein kleines, pragmatisches Fahrzeug, das jeden Tag still und ohne Abgase seine Runden dreht – und damit im Hintergrund einen Teil des Problems löst, ohne je im Rampenlicht zu stehen.

16.4 MG4, BYD Dolphin, ORA 03 – günstige Kompakte aus China und Co.

Hier betreten neue Figuren den Krimi-Schauplatz: Kompakte, oft chinesische E-Autos, die mit viel Technik und vergleichsweise niedrigen Preisen die gewohnten Machtverhältnisse im Revier durcheinanderbringen.

MG4

Electric

Der MG4 ist das vielleicht prominenteste Beispiel. In Europa gibt es ihn mit

unterschiedlichen Batteriegrößen, u. a. 51 kWh (Standard Range) und 64 kWh (Long Range). Die 64-kWh-Version kommt auf eine WLTP-Reichweite von etwa 360 km, real je nach Wetter zwischen 255 und gut über 400 km. Der Verbrauch liegt im Schnitt bei rund 16–18 kWh/100 km. Dazu kommt DC-Laden mit bis zu etwa 135 kW, was ihn für Langstrecken deutlich flexibler macht als die Kleinstwagen. Preislich bewegte sich der MG4 in Deutschland je nach Version rund um 31.000–36.000 €.

BYD Dolphin / Dolphin Surf

BYD – einer der größten Batterie- und E-Auto-Hersteller der Welt – rückt mit dem Dolphin und speziell dem Dolphin Surf offensiv in das europäische Kompakt- und Citysegment vor. Der „große“ Dolphin mit rund 60,4-kWh-Batterie kommt auf ca. 350–400 km reale Reichweite und verbraucht etwa 17 kWh/100 km. Der Dolphin Surf zielt bewusst tiefer ins Budgetsegment: Batteriegrößen um 30–43,2 kWh, kombinierte Reichweiten zwischen etwa 220 und über 300 km (je nach Variante), DC-Laden bis 85 kW. Preislich setzt BYD europäische Hersteller massiv unter Druck: In Deutschland wurden für den Dolphin Surf Einstiegspreise um 22.990–24.990 € genannt, mit zeitweisen Rabattaktionen bis unter 20.000 €.

GWM ORA 03 („Funky Cat“)

Der ORA 03 mischt die Szene als stylischer City-/Kompaktwagen auf: In Europa liegt die 48-kWh-Variante bei einer WLTP-Reichweite um 260–420 km (je nach Angabe und Fahrprofil) und einem kombinierten Verbrauch um 16–17 kWh/100 km. Besonders auffällig: sehr gutes Abschneiden in Effizienztests (z. B. Green NCAP) und eine Ausstattung, die auf den ersten Blick eher nach Premiummarke aussieht – aber mit Preisen deutlich unter typischen deutschen Kompakt-E-Autos.

Was macht diese Gruppe so brisant?

Gemeinsam zeigen MG4, Dolphin und ORA 03, dass:

- **Technik** (z. B. **Wärmepumpen, LFP-Batterien, V2L, Assistenzsysteme**) längst auch in der unteren und mittleren Preisklasse angekommen ist.
- **Preise** im Bereich 20.000–35.000 € möglich sind, ohne auf Reichweite im Bereich 300+ km zu verzichten.
- **China** dank großer Volumina, eigener Zellfertigung und aggressiver Industriepolitik in der Lage ist, sehr konkurrenzfähige Angebote zu

machen und damit die europäischen Hersteller unter Innovations- und Preisdruck zu setzen.

Im Krimi-Kontext sind diese Fahrzeuge die „neuen Ermittler im Team“, die unerwartet auftauchen, sehr gut ausgestattet sind – und damit zeigen, dass die Zeit der Ausreden („E-Autos sind zu teuer, zu schwach, zu wenig Ausstattung“) vorbei ist. Für die deutsche Industrie sind sie zugleich Bedrohung und Ansporn, die eigenen Stärken – Qualität, Fahrdynamik, Sicherheit, Langzeithaltbarkeit – mit konsequenter Effizienz und wettbewerbsfähigen Preisen zu kombinieren.

16.5 Kosten-/Nutzenbetrachtung: Anschaffung vs. Betrieb, Zielgruppen

Jetzt kommt der Moment, in dem im Verhörzimmer die Tabellen auf den Tisch kommen. Denn so viel Emotion beim Autokauf im Spiel ist – am Ende entscheiden oft nüchterne Zahlen.

Anschaffungskosten

Klassische Kleinst- und Kleinwagen mit Verbrennungsmotor liegen in Deutschland neu oft zwischen 18.000 und 28.000 €, abhängig von Marke und Ausstattung. Kleine E-Autos wie Dacia Spring, kommende Twingo E-Tech oder BYD Dolphin Surf positionieren sich bewusst in einem ähnlichen oder leicht höheren Bereich, teilweise mit Einstiegspreisen knapp über oder sogar unter 20.000 €. [Tarefe+1](#)

Die früher sehr dominante Kaufprämie („Umweltbonus“) ist zwar ausgelaufen, aber Deutschland setzt weiter auf steuerliche Vorteile (bis zu 10 Jahre Kfz-Steuerbefreiung für BEV, reduzierte Dienstwagenbesteuerung von 0,25 % des Listenpreises) und plant neue, gezielt einkommensabhängige Zuschüsse für E-Autos und auch gebrauchte BEV.[Cargopedia+2euronews+2](#) Damit verschiebt sich der Fokus vom Neukauf-„Bonus für alle“ hin zu einer stärkeren Sozialkomponente – was gerade günstige E-Kleinwagen für Haushalte mit begrenztem Budget attraktiver machen kann.

Betriebskosten **pro** **100** **km**

Nehmen wir als einfache Rechenbasis:

- Strom: 0,30 €/kWh (real je nach Vertrag ca. 0,27–0,38 €/kWh).
- Benzin: 1,76 €/l (Euro 95, Mitte November 2025).
- Diesel: 1,64 €/l.

Beispiele:

1. VW e-Up (ca. 15 kWh/100 km real)

- Energiekosten: $15 \text{ kWh} \times 0,30 \text{ €/kWh} = 4,50 \text{ €/100 km}$

2. Twingo Electric (ca. 17 kWh/100 km real)

- Energiekosten: $17 \times 0,30 \text{ €} = 5,10 \text{ €/100 km}$

3. Dacia Spring (ca. 13 kWh/100 km real)

- Energiekosten: $13 \times 0,30 \text{ €} = 3,90 \text{ €/100 km}$

4. Kleiner Benziner (z. B. 6,0 l/100 km)

- $6,0 \times 1,76 \text{ €} = 10,56 \text{ €/100 km}$

5. Sparsamer Diesel (z. B. 5,0 l/100 km)

- $5,0 \times 1,64 \text{ €} = 8,20 \text{ €/100 km}$

Selbst mit relativ hohen Strompreisen liegt der kleine E-Wagen also grob bei der Hälfte der reinen Energiekosten – manchmal sogar bei einem Drittel. Dazu kommen:

- **Weniger Wartung** (kein Öl, keine Kupplung, deutlich weniger Verschleißteile).
- **Kfz-Steuerersparnis** über Jahre.
- Günstigere Dienstwagenbesteuerung bei Firmen- und Dienstfahrzeugen.

Über 10 Jahre und 150.000 km können sich bei einem kleinen E-Auto gegenüber einem Verbrenner Energiekostenvorteile von vielen Tausend Euro summieren – selbst wenn der Anschaffungspreis anfangs etwas höher lag.

Zielgruppen

- **Pendler** (20–60 km pro Tag): Für sie sind Reichweiten von 200–300 km völlig ausreichend. Kleine E-Autos decken mehrere Tage Pendeln mit einer Ladung ab und können meist zu Hause oder am Arbeitsplatz preiswert geladen werden.
- **Stadtbewohner**: Parkraum knapp, Fahrten kurz, lokale Luftbelastung hoch – hier spielen die kleinen Helden ihre Stärken maximal aus: wendig, leise, lokal emissionsfrei.

- **Zweitwagen-Haushalte:** Der „Große“ bleibt (vorerst) für Urlaub und Hängerziehung, der Zweitwagen wird zum E-Stadtflitzer. Genau hier ersetzen viele Familien besonders viele Kurzstrecken, auf denen Verbrenner am ineffizientesten sind.
- **Carsharing/Flotten:** Hohe Auslastung, planbare Strecken, viele Kurzfahrten – ideale Bedingungen, um die niedrigen Betriebskosten kleiner E-Autos voll auszunutzen.

Im Krimi-Drehbuch sind die kleinen E-Autos also nicht die „Helden mit Cape“, sondern eher die zuverlässigen Ermittler im Hintergrund, die täglich die eigentliche Arbeit machen – Kilometer sammeln, Emissionen vermeiden, Kosten senken. Und genau dadurch verändern sie still, aber nachhaltig, den Ausgang des Falls „Tatort Auspuff“.

16.6 Story-Ansatz: „Wie der kleine Twingo den großen Diesel entlarvt“

Stell dir die Szene so vor:

Es ist spät geworden auf der Autobahn, irgendwo zwischen Ruhrgebiet und Rhein-Main. Auf der Raststätte „Morgenrot“ rollt ein schwarzer Dienst-Diesel auf den Parkplatz – Business-Limousine, 180 PS, Chromgrill wie ein breites Grinsen. Der Fahrer, Außendienstprofi, 60.000 km im Jahr, zieht selbstbewusst den Schlüssel ab. Er ist überzeugt: Sein Diesel ist das einzig Vernünftige für „Vielfahrer wie mich“.

Ein paar Minuten später summt lautlos ein kleiner, türkisfarbener Twingo Electric auf denselben Parkplatz, fast unauffällig. Der Fahrer trägt keinen Anzug, sondern Hoodie. Er steckt das Kabel an die AC-Säule, checkt auf dem Handy den Ladestand – 38 % – und geht ebenfalls Richtung Bistro.

„Na, auch liegen geblieben?“, fragt der Diesel-Fahrer halb spöttisch, als sie sich zwischen Kaffeemaschine und belegten Brötchen treffen. Der Twingo-Fahrer lächelt. „Im Gegenteil. Ich lade nur nach. Günstiger als dein Diesel, vermute ich.“

Der Diesel-Fahrer lehnt sich an den Tresen. „Glaub ich nicht. Ich fahr 5 Liter auf 100 km, das schlägt dir keiner. E-Autos sind höchstens was für die Stadt – wenn überhaupt.“

Schnitt. Ein paar Seiten später sitzen beide mit Kaffee an einem Tisch. Der Twingo-Fahrer hat eine kleine Tabelle auf dem Smartphone geöffnet.

„Schau mal“, sagt er ruhig. „Dein Diesel: 5 l/100 km ist gut. Bei 1,64 €/l sind das 8,20 € pro 100 km. Mein Twingo braucht etwa 17 kWh/100 km. Strom kostet mich im Schnitt 0,30 €/kWh. Das sind 5,10 € pro 100 km – wenn ich nur öffentlich lade. Zu Hause zahle ich eher weniger.“

Der Diesel-Fahrer runzelt die Stirn. „Sind ja nur drei Euro Unterschied.“ „Nur?“, fragt der Twingo-Fahrer. „Auf 50.000 km im Jahr sind das 1.500 €. Nur an Energie. Wartung, Steuer, Ölwechsel, Partikelfilter, AdBlue – noch gar nicht drin.“

Der Diesel-Fahrer schweigt einen Moment. Man hört das leise Brummen der Lkw draußen, das Klicken der Kaffeemaschine.

„Ja gut“, sagt er schließlich, „aber du hast doch keine Reichweite. Ich muss arbeiten, ich kann nicht dauernd laden.“

Der Twingo-Fahrer zuckt mit den Schultern. „Stimmt, für meine 25.000 km im Jahr und viel Stadt passt das perfekt. Für deine 60.000 km und die vielen Autobahnkilometer wäre eher ein MG4 oder Dolphin was – 300, 350 km Reichweite mit Reserve, Schnellladen an Ionity & Co. Aber selbst da: Du würdest bei den heutigen Spritpreisen locker vierstellige Beträge im Jahr sparen.“

Er tippt noch ein paar Zahlen ein. „Und wenn du ehrlich bist: Wie oft fährst du wirklich 500 km am Stück ohne Pause? Laut Empfehlungen solltest du nach zwei Stunden eine Pause machen. Genau da wäre eine 15–25-Minuten-Ladepause mit einem modernen 800-V-Auto perfekt eingebaut.“

Der Diesel-Fahrer schaut aus dem Fenster. Ein E-Auto rollt an eine Schnellladesäule, daneben parkt ein Lkw, der gerade den Motor im Stand laufen lässt. Ein feiner Dieselgeruch liegt in der Luft.

„Weißt du“, sagt der Twingo-Fahrer, „ich hab mir meinen Kleinen nicht gekauft, um die Welt zu retten. Ich wollte nur weniger zahlen, leiser fahren und nicht mehr an Tankstellen rumstehen. Dass ich nebenbei noch CO₂ spare und keine Abgase vor der Kita-Tür ausstoße – Bonus.“

In diesem Moment ploppt auf seinem Handy eine Meldung auf: „Laden abgeschlossen: 83 %“. Er steht auf, lächelt. „Mein Zeuge muss wieder weiter.“

Der Diesel-Fahrer bleibt mit seiner Kaffeetasse sitzen, die vorher so sicher wirkende Dienst-Limousine plötzlich ein bisschen schwerer als zuvor. Der

kleine Twingo hat ihm nicht geschrien, nicht missioniert. Er hat nur Zahlen gezeigt – und im Hintergrund leise den großen Diesel entlarvt: als teuren, lauten Hauptverdächtigen in unserem Fall „Tatort Auspuff“.

17.1 Chinesische Stärken: Tempo, 800-Volt und LFP-Batterien

In der Fallakte „China“ sieht unser Ermittler als Erstes eine Zahl, die fast schon wie ein Geständnis wirkt: China hat 2024 rund **zwei Drittel der weltweiten Elektroauto-Verkäufe** gestellt, der BEV-Anteil am heimischen Markt lag zeitweise bei fast **50 %** aller Neuwagen. Dazu kommen mehr als **60 % der globalen EV-Produktion** und über **75 % der weltweiten Batterie-Kapazität**, dominiert von Zellriesen wie CATL und BYD. Das ist kein Zufall, sondern Ergebnis einer 10- bis 15-jährigen Industrie- und Technologie-Strategie.

Schnelle Modellzyklen – Iteration statt Perfektion

Während deutsche Hersteller jahrelang Modellzyklen von 7–8 Jahren plus Facelift gewohnt waren, haben chinesische Marken ein anderes Tempo etabliert. Ein neuer EV kommt, läuft 2–3 Jahre, bekommt dann ein umfangreiches Technik-Update oder wird durch eine ganz neue Generation ersetzt.

Der Druck im heimischen Markt ist enorm: Dutzende Marken konkurrieren gleichzeitig – von den großen Staatskonzernen (SAIC, BAIC) über private Schwergewichte (BYD, Geely) bis hin zu Newcomern wie NIO, XPeng oder auch Xiaomi. Studien und Marktanalysen beschreiben, dass dieser **brutale Wettbewerb** in Verbindung mit massiver staatlicher Förderung zu extrem kurzen Entwicklungszyklen geführt hat: Wer beim Infotainment, bei der Batterie oder bei Assistenzsystemen zwei Jahre schläft, ist raus.

Das Ergebnis:

- Innenräume, Software-Oberflächen und Assistenzfunktionen werden in kurzen Abständen überarbeitet.
- Neue Batteriegenerationen (z. B. effizientere LFP-Varianten) schaffen es sehr schnell aus der Pilotphase in die Serie.
- Fehler der ersten Generation werden fixiert, während manche westliche Modelle noch auf ihr erstes großes Facelift warten.

Für den Kunden sieht das oft so aus, als ob chinesische Hersteller „ständig etwas Neues“ bringen, während europäische Modelle gefühlt langsamer drehen.

Aggressive 800-V-Einführung – Hightech wird Mainstream

Noch vor wenigen Jahren waren 800-Volt-Systeme ein Exoten-Thema (Taycan, einige Luxusmodelle). In China wird das gerade zur **breiten Normalität**:

- 2024 wurden in China rund **840.000 Pkw mit 800-V-Architektur** verkauft – ein Plus von 185 % gegenüber dem Vorjahr und eine Marktdurchdringung von knapp 7 %. Bis 2030 sollen mehr als **35 %** der dortigen E-Neuwagen mit 800–1000 V unterwegs sein.
- Marken wie **XPeng** (G9, weitere Modelle) und **BYD** treiben 800 V in Volumenklassen, nicht nur in Luxussegmenten. Die technologische Basis wird in China inzwischen als „kommender Standard“ betrachtet, nicht als exotische Option.
- BYD hat zusätzlich ein eigenes **Megawatt-Ladesystem** vorgestellt, das perspektivisch Ladezeiten in Richtung „Tanken“ drücken soll – insbesondere für Flotten und Busse.

Für unseren Krimi bedeutet das: während Europa noch diskutiert, ob 800 V „wirklich nötig“ sind, baut China einfach Millionen Fahrzeuge damit – und senkt damit Stückkosten, weil Leistungselektronik, Inverter, Ladearchitektur etc. in Masse gefertigt werden.

LFP-Batterien – Kostenwaffe mit Sicherheitsbonus

Ein weiterer Schwergewichtseintrag in der Akte China ist das Wort **LFP**: Lithium-Eisenphosphat.

- Laut **IEA** ist LFP die *dominierende Batterietechnologie* im chinesischen Elektroautomarkt, während Europa und USA noch mehrheitlich auf NMC/NCA setzen.
- China verfügt über fast **100 % der weltweiten LFP-Produktionskapazität** und einen Großteil der übrigen Zellchemie-Fertigung.
- LFP-Zellen sind laut aktuellen Marktanalysen etwa **15–25 % günstiger** als vergleichbare NMC-Zellen (ca. 90–100 \$/kWh vs. 110–120 \$/kWh)

und gelten als thermisch stabiler, mit geringerem Brandrisiko und längerer Zyklenfestigkeit.

Früher war der Nachteil von LFP: geringere Energiedichte → weniger Reichweite. Doch neue LFP-Generationen aus China knacken inzwischen Reichweiten von **600+ Meilen** in Demonstrator-Fahrzeugen und verschieben damit die Grenze dessen, was mit dieser „Billigchemie“ möglich ist.

Für Exportmärkte hat das eine direkte Folge:

- Fahrzeuge mit LFP-Batterie können **spürbar günstiger** angeboten werden,
- ohne bei Haltbarkeit, Sicherheit oder Alltagstauglichkeit große Kompromisse zu machen.

Analysen zum Export zeigen, dass chinesische EVs europäische Rivalen häufig um **20–30 % im Preis unterbieten**, bei ähnlichem oder höherem Ausstattungsniveau.

In der Summe steht in der Fallakte „China“:

Hohe Stückzahlen, schnelle Modellzyklen, 800 V als Massenphänomen, LFP als Kostenwaffe – das ist ein Paket, das nicht nur technologisch interessant, sondern auch preislich brandgefährlich für europäische Wettbewerber ist.

17.2 Deutsche Stärken: Ingenieurskunst, Effizienz – und eine Software, die aufholt

Schwenk in den nächsten Verhörraum: Hier sitzen keine „Disruptor-Start-ups“, sondern alte Bekannte mit dicken Akten. Mercedes, BMW, Audi, Porsche, Volkswagen – Namen, die jahrzehntelang für **Fahrdynamik, Sicherheit, Qualität und Premiumgefühl** standen.

Effizienz, Fahrwerk, Sicherheit, Verarbeitungsqualität

Deutschland hat eine tiefe Tradition im **Präzisionsmaschinenbau**. Deutsche Autos gelten weltweit als Synonym für:

- exakte Lenkung und Fahrwerksabstimmung (BMW, Audi),
- hohe Langstreckenstabilität (Mercedes, VW),
- solide Verarbeitung und hochwertige Materialien.

Diese Wahrnehmung ist nicht aus der Luft gegriffen:

- Die deutsche Automobilindustrie unterliegt strengen **Sicherheits- und Umweltstandards**, die zu aufwendigen Tests und Zertifizierungen führen (u. a. ISO-9001 und 14001).
- Deutschland ist nach wie vor einer der **weltweit größten Investoren in Automotive-F&E**: 2023 investierten deutsche Hersteller und Zulieferer rund **58,4 Mrd. €** in Forschung und Entwicklung – Weltspitze.

Diese Investitionen fließen längst nicht mehr nur in Verbrenner, sondern zunehmend in:

- optimierte Aerodynamik (z. B. BMW „Neue Klasse“, Vision X, die zeigen soll, dass selbst Hochdachfahrzeuge aerodynamisch effizient werden können),
- neue Brems- und Rekuperationskonzepte (Brake-by-Wire, integriertes Thermomanagement),
- Sicherheitsarchitekturen, die crashseitig und softwareseitig (Cybersecurity, OTA) auf hohem Niveau sind.

Kurz: deutsche Ingenieurskunst ist sehr gut darin, Systeme **bis zur letzten Nachkommastelle zu optimieren**, wenn die Plattform einmal steht.

Software holt auf: MB.OS, Neue Klasse & Co.

Das große Eingeständnis der letzten Jahre: Beim Thema **Software** und „Software Defined Vehicle“ haben deutsche Hersteller lange hinter Tesla und chinesischen Playern hergehinkt. Das ändert sich – langsam, aber sichtbar.

- **Mercedes-Benz** führt ab 2025 schrittweise **MB.OS** ein – ein eigenes, chip-to-cloud-basiertes Betriebssystem, das alle Fahrzeugdomänen vernetzt: Infotainment, automatisiertes Fahren, Komfort, Laden. Es ist so ausgelegt, dass wöchentliche OTA-Updates ganzer Fahrzeugsysteme möglich werden.
- Die erste Modellfamilie auf der neuen MMA-Plattform (z. B. der neue CLA) wird als „softwaredefiniertes Fahrzeug“ eingeführt – MB.OS, hochintegrierte Elektronik und Level-2+-Assistenzfunktionen inklusive.

- **BMW** startet ab 2025 mit der **Neuen Klasse** eine komplett neue EV-Generation mit neuer Elektrik/Elektronik-Architektur und starkem Fokus auf digitale Services, Effizienz und Aerodynamik.
- **Volkswagen** restrukturiert seine Softwareaktivitäten (Cariad) und setzt parallel auf Partnerschaften – etwa mit Rivian – um eine vereinfachte, kostengünstige Softwarearchitektur für Einstiegsmodelle wie den ID.2 und ein 20.000-€-EV ab 2027 zu realisieren.

Damit sind die Rollen im Krimi klar:

- China punktet mit **Tempo, Kosten und sehr dichter Integration** von Hardware und Software im Massenmarkt.
- Deutschland bringt weiterhin **sehr hohe Sicherheits- und Qualitätsstandards**, exzellente Fahrwerks- und NVH-Entwicklung (Lärm, Vibrationen, Härte) sowie einen starken Premiumanspruch mit – und versucht, die Softwarelücke nun gezielt zu schließen.

Langfristig wird sich zeigen, ob die Kombination aus **traditioneller Ingenieurskunst + nachgezogener Softwarekompetenz** reicht, um gegen das chinesische Angebot aus „viel Auto für erstaunlich wenig Geld“ zu bestehen. Aber im Moment ist klar: Unter Druck entsteht in Deutschland gerade eine ungewohnte, aber notwendige Form von Beweglichkeit.

17.3 Konsequenzen für den Standort Deutschland: Konkurrenzdruck als Innovationsmotor

Die nüchternen Zahlen zur deutschen Autoindustrie lesen sich wie ein Wirtschaftskrimi:

564 Mrd. € Umsatz (2023, Inlandsproduktion),

- **über 536 Mrd. € in 2024**, davon rund **70 % Export**,
- etwa **780.000 direkte Arbeitsplätze**, dazu Hunderttausende bei Zulieferern.

Wenn dieser Sektor ins Stolpern gerät, wackelt nicht nur ein paar Konzernbilanzen – dann wackelt ein Stück des deutschen Wohlstands. Genau das passiert gerade:

- Eine EY-Studie zeigt, dass allein zwischen 2019 und 2025 rund **51.500 Jobs** in der deutschen Autoindustrie verschwunden sind, insgesamt fast 250.000 Stellen in der gesamten Industrie. Als Gründe werden u. a. hoher Wettbewerbsdruck aus Asien, teure Energiekosten, US-Zölle und der kostspielige Technologiewechsel genannt.
- Die **EV-Nachfrage in der EU** ist ins Stocken geraten, während in China die Batterie-Nachfrage 2024 um mehr als 30 % wuchs – in der EU dagegen weitgehend stagnierte.
- In Deutschland lag der BEV-Anteil an Neuzulassungen Anfang 2025 bei nur rund **17 %**, nachdem der Umweltbonus 2024 abrupt gestrichen wurde.

Gleichzeitig nimmt der Importdruck zu:

- China hat sich zum **Exportweltmeister bei Autos** entwickelt und überholt Deutschland und Japan. Ein erheblicher Teil davon sind Elektroautos.
- Die EU-Kommission hat deshalb 2024 **Anti-Subventionszölle** auf chinesische EV-Importe beschlossen – zwischen rund 17,4 % und 38,1 % zusätzlich zum regulären 10-%-Zoll.

Auf den ersten Blick könnte man denken: „Problem gelöst, wir schirmen uns einfach ab.“ Aber sowohl EU-Analysen als auch Thinktank-Studien warnen: Zölle können **Zeit kaufen**, aber sie ersetzen keine eigene Wettbewerbsfähigkeit.

Wie wirkt der Konkurrenzdruck nun konkret als Innovationsmotor?

1. **Beschleunigter Technologiewechsel**

Die Erkenntnis, dass man das EV-Fenster anfangs verpasst hat, sitzt tief. Berichte sprechen davon, dass europäische Hersteller ihre frühe Ingenieursstärke nicht rechtzeitig in BEV-Führerschaft ummünzen konnten, während China konsequent auf Skalierung und Kostenoptimierung gesetzt hat. Jetzt werden Programme vorgezogen, Plattformen neu gedacht, Verbrenner-Pläne gekürzt oder in Hybride überführt, um Ressourcen für reine Elektroplattformen freizumachen.

2. **Aufbau einer europäischen Batterie-Wertschöpfung** Chinas Übermacht bei Batterien (rund 77 % der weltweiten

Zellkapazität) ist ein geopolitisches Risiko. Deutsche und europäische Projekte – etwa **Volkswagens PowerCo** mit Gigafactories in Salzgitter, Valencia und St. Thomas, oder Kooperationen wie mit Umicore – sollen eine **europäische Zellbasis** schaffen, inkl. eigener LFP-Fertigung. Auch wenn nicht jedes Gigafactory-Projekt in Europa reibungslos läuft, entsteht eine neue industrielle Säule – von Rohstoffen über Kathodenproduktion bis zum Recycling.

3. **Neuausrichtung der Zulieferer-Landschaft**

Viele deutsche Zulieferer lebten hervorragend von Motoren, Getrieben, Abgasanlagen. Diese Wertschöpfung schrumpft, dafür wächst Bedarf an **Leistungselektronik, Inverter, Software, Batteriematerialien**. Studien warnen vor bis zu **140.000 gefährdeten Jobs** in der deutschen Autozulieferkette – zugleich entstehen aber neue Beschäftigungsfelder rund um Batterien und Software.

4. **Politische Reaktion**

Auf EU-Ebene werden industriepolitische Instrumente (Net-Zero Industry Act, Important Projects of Common European Interest, neue Förderprogramme für Batterien und Halbleiter) gezielt genutzt, um Investitionen in Europa zu halten.

Im Krimi gesprochen: Der Druck aus China ist die Bedrohung, die den gemütlichen Kommissar Deutschland zwingt, vom Stammtisch aufzustehen, die Ärmel hochzukrempeln und alte Gewohnheiten zu hinterfragen.

Die Frage ist nicht mehr **ob** sich die Industrie wandelt, sondern **wie schnell und in welche Richtung**. Genau hier setzt das letzte Unterkapitel an – bei den konkreten Antworten der Hersteller.

17.4 Wie deutsche Hersteller reagieren: ID.2, günstige Modelle und eigene Batterie-Strategien

Die Schlussakte dieses Kapitels heißt: „Gegenangriff“. Wie reagiert der deutsche Automobil-„Apparat“ auf die neue Konkurrenz? Die Antwort: mit einer Mischung aus **Preisoffensive, Technikoffensive und Strukturumbau**.

Volkswagen: ID.2all, 20.000-€-Stromer und Unified Cell

Volkswagen hat öffentlich eingeräumt, dass bezahlbare E-Autos bisher zu kurz kamen. Genau hier soll der **ID.2** ansetzen:

- Kompakter Stromer im Polo-Format,
- Produktionsstart voraussichtlich 2026,
- Einstiegspreis „unter 25.000 €“,
- zwei Batteriegrößen (38 und 56 kWh) mit bis zu ca. 450 km WLTP-Reichweite, DC-Laden von 10–80 % in rund 20 Minuten bei bis zu 125 kW.

Parallel dazu plant VW laut aktuellen Aussagen bis **2027** ein noch günstigeres Einstiegsmodell um **20.000 €** (oft als „ID.1/ID.Every1“ kolportiert). Der VW-Markenchef spricht von „einem bezahlbaren, hochwertigen und profitablen Elektro-Volkswagen **aus Europa für Europa**“ – ein klarer Seitenhieb auf chinesische Importe.

Damit diese Fahrzeuge preislich mithalten können, baut der Konzern über **PowerCo** eine eigene Batterieindustrie auf:

- Gigafactories in **Salzgitter, Valencia und St. Thomas (Kanada)**,
- Einführung einer „**Unified Cell**“, die bis zu 80 % aller Konzern-EVs abdecken soll,
- skalierbar für verschiedene Chemien – darunter auch **LFP** für besonders günstige Modelle, aber auch NMC und in Zukunft Festkörper.

Die Botschaft: Man will die **Kostenkontrolle bei der Batterie** – dem teuersten Einzelbauteil – zurück nach Europa holen und gleichzeitig die Abhängigkeit von chinesischen Zelllieferanten reduzieren.

Mercedes-Benz: MMA-Plattform und MB.OS

Mercedes fährt zweigleisig:

- Mit der neuen **MMA-Plattform** („electric first“) kommt ab 2025 zunächst der elektrische CLA – eine Limousine mit bis zu 750 km Reichweite (85,5-kWh-Batterie) und sehr effizientem Antriebsstrang, später auch Hybridvarianten.

- Auf dieser Plattform läuft erstmals **MB.OS** als zentrales Betriebssystem, das alle Fahrzeugdomänen verknüpft und schnelle OTA-Updates erlaubt.

Gleichzeitig reagiert Mercedes auf schwächere BEV-Nachfrage mit angepasster Produktplanung – mehr Hybride, etwas langsamere BEV-Quote – will aber mittelfristig beim Elektroangebot deutlich zulegen. Der Fokus liegt klar auf **Premiumkunden**, die bereit sind, für Technik, Komfort und Marke zu zahlen – aber künftig eben auch beim E-Auto.

BMW: „Neue Klasse“ als Neustart

BMW betrachtet die **Neue Klasse** als „größtes Zukunftsprojekt“ und als echten Neustart:

- Neue EV-Plattform ab 2025, mit Fokus auf Aerodynamik, Effizienz und digitalen Nutzererlebnissen.
- Stärkere Integration von Software, eigener E/E-Architektur und hochmodernen Fahrerassistenzsystemen.
- Ziel: spürbar niedrigere Verbräuche und Reichweiten auf Augenhöhe mit den effizientesten Konkurrenten (inkl. China und Tesla), bei gleichzeitiger Beibehaltung der BMW-typischen Fahrdynamik.

Branchenweite Muster: günstiger, digitaler, europäischer

Über alle Hersteller hinweg zeichnen sich Muster ab:

1. Mehr Einstiegsmodelle

- VW ID.2 und 20.000-€-EV,
- Konkurrenzmodelle wie Renault 5 E-Tech, Fiat Grande Panda, Hyundai Inster etc. – alle im Bereich 20.000–25.000 €. Ziel: Eine preisliche Antwort auf Dacia Spring, MG4, BYD Dolphin & Co, damit europäische Kund*innen im Volumensegment nicht ausschließlich zu Importmarken wechseln.

2. Eigene Batteriewertschöpfung in Europa

- Neben VW/PowerCo planen auch andere Player (u. a. Stellantis, ACC, teilweise Mercedes/BMW über Partnerschaften) europäische Fertigungslinien – trotz Rückschläge wie der Northvolt-Insolvenz.

- Ziel: Kosten senken, Versorgungssicherheit erhöhen, Know-how im eigenen Wirtschaftsraum halten.

3. Software als Differenzierungsmerkmal

- MB.OS, VW-Partnerschaften, BMW-Neue-Klasse-Architektur – alle zielen auf Fahrzeuge, bei denen ein großer Teil des Kundenerlebnisses aus Software und Services besteht (Assistenz, Infotainment, Energiemanagement).

Im Krimi „Tatort Auspuff“ ist das die Phase, in der der alteingesessene Kommissar Deutschland merkt: Der neue Gegner aus China ist nicht mit ein paar Zöllen und Pressemitteilungen wegzuschieben.

Stattdessen muss er:

- seine **eigenen Stärken** (Qualität, Sicherheit, Fahrkultur) mit
- **neuen Fähigkeiten** (Batterieproduktion, günstige Einstiegsmodelle, Software) kombinieren.

Ob ihm das gelingt, entscheidet darüber, ob Deutschland auch in 10–20 Jahren noch als einer der Hauptschauplätze der automobilen Zukunft gilt – oder ob die spannendsten Kapitel dieses globalen Technologiekrimis irgendwann fast ausschließlich in Shanghai, Shenzhen und Hangzhou spielen.

Fest steht: Der Druck ist da. Und Druck erzeugt – im besten Fall – Innovation.

Kapitel 18 – Die goldene Ära des Verbrenners: Was Deutschland groß gemacht hat

18.1 Erfindung und Perfektionierung des Diesel- und Ottomotors

Bevor wir im Krimi „Tatort Auspuff“ den Verbrenner anklagen, müssen wir fair sein: Ohne ihn gäbe es den Wohlstand und die Industriekraft Deutschlands in dieser Form wahrscheinlich nicht. Und diese Geschichte beginnt – wie es sich für einen guten Technikkrimi gehört – mit zwei Männern und zwei sehr unterschiedlichen Ideen: **Nikolaus Otto** und **Rudolf Diesel**.

Nikolaus August Otto entwickelte in Köln/Deutz in den 1870er-Jahren den ersten wirklich praxistauglichen **Viertakt-Ottomotor**. 1876 lief sein Motor erstmals, 1877 erhielt Deutz das Reichspatent Nr. 532. Dieser Motor, mit Einlass, Verdichtung, Arbeitstakt und Auslass, wurde zur Blaupause fast aller späteren Benzinmotoren. Er war deutlich effizienter und kompakter als die damals üblichen Dampfmaschinen – und vor allem: klein genug, um irgendwann in Kutschen und später in Autos Platz zu finden.

Rudolf Diesel setzte ein paar Jahrzehnte später an einem anderen Punkt an. Er war besessen von der Frage, wie man die theoretisch mögliche Effizienz der Wärmekraftmaschinen (Carnot-Wirkungsgrad) besser ausnutzen könnte. Um 1892/93 entwickelte er sein Konzept des **Selbstzünders**: Luft wird hoch verdichtet, dadurch stark erhitzt, und erst kurz vor Verdichtungsende wird Kraftstoff eingespritzt, der sich unter diesen Bedingungen von selbst entzündet. 1897 lief in Augsburg bei MAN der erste voll funktionstüchtige Dieselmotor – deutlich effizienter als zeitgenössische Dampfmaschinen oder frühe Benziner.

Deutschland wurde damit ziemlich früh zum **Epizentrum des Verbrennungsmotorenbaus**. Firmen wie Deutz, MAN, Daimler, Benz und später BMW, VW, Bosch und viele Zulieferer bauten auf diesen Grundlagen auf. Aus groben Versuchsträgern wurden robuste, serientaugliche Triebwerke für Lkw, Schiffe, Lokomotiven – und schließlich Millionen Pkw.

Über Jahrzehnte verfeinerten deutsche Ingenieur*innen alles, was man an einem Verbrenner optimieren kann:

- Höhere Verdichtungen, präzisere Gemischbildung, bessere Schmierung

- Leichtere und dennoch hoch belastbare Materialien (Aluminium, hochfeste Stähle, speziell legierte Ventile und Kolben)
- Verbesserte Kühlung, um höhere Dauerleistungen sicher nutzen zu können
- Detaillierte Verbrennungsraumgestaltung, um Wirkungsgrad, Leistung und Emissionen auszubalancieren

Spätestens nach dem Zweiten Weltkrieg wurde der Verbrennungsmotor zum **Herz der deutschen Exportwirtschaft**. Der Käfer, der 911er, später Golf, 3er, E-Klasse, 5er und unzählige Diesel-Limousinen und -Kombis sind ohne diesen Vorsprung in der Motorentechnik nicht denkbar. Deutsche Motoren galten als:

- **haltbar** – Laufleistungen von 300.000 km und mehr waren keine Ausnahme,
- **effizient** – insbesondere bei Diesel-Pkw,
- **technisch ausgefeilt** – Mehrventiltechnik, variable Nockenwellen, aufwendige Aufladung.

So wichtig es ist, heute über die Schattenseiten des Verbrenners zu sprechen: Historisch hat Deutschland genau durch diese Maschinen kompetent zu werden gelernt in Dingen, die auch für Elektromobilität entscheidend sind: **thermische Auslegung, Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb, präzise Fertigung, Systemdenken**.

Im Krimi sprechen wir also von einem „Täter“, der vorher jahrzehntelang **Held** war – nur hat sich inzwischen das Drehbuch der Welt geändert: Klimakrise statt Aufbauwunder, CO₂-Budget statt reiner Leistungsjagd. Was bleibt, ist die Ingenieurskultur, die ihn groß gemacht hat. Und genau die brauchen wir jetzt wieder – nur eben für neue Technologien.

18.2 Common-Rail, Turboaufladung, Direkteinspritzung, Abgasnachbehandlung

Die goldene Ära des Verbrenners ist nicht nur eine Geschichte von zwei genialen Erfindern, sondern vor allem eine Geschichte von **stetiger Verfeinerung**. Ab den 1980er-/90er-Jahren begann eine Phase, in der deutsche Hersteller und Zulieferer den Verbrenner noch einmal radikal effizienter – und sauberer – machten.

Common-Rail-Diesel

Beim Diesel lag der große Hebel in der Einspritztechnik. Statt mechanischer Reiheneinspritzpumpen kamen **Common-Rail-Systeme**: Eine Hochdruckpumpe speist einen gemeinsamen Rail (Speicher), aus dem alle Injektoren versorgt werden. Dadurch lassen sich Einspritzdruck (oft 1600–2500 bar und mehr) und Einspritzzeitpunkt sehr präzise steuern – inklusive Mehrfacheinspritzungen pro Arbeitstakt.

Die Grundlagen wurden zwar bereits in den 1960ern entwickelt, aber der Durchbruch im Pkw kam in den späten 1990ern mit Systemen von Bosch in Kooperation mit u. a. Fiat. Ergebnis: Mehr Leistung, weniger Verbrauch, deutlich bessere Abgasqualität (feinere Zerstäubung, sauberere Verbrennung).

Turboaufladung

Parallel dazu wurde der Lader vom exotischen Tuningteil zum Standardbaustein:

- **Abgasturbolader** nutzen die Abgasenergie, um mehr Luft in den Zylinder zu pressen – so lassen sich kleinere, leichtere Motoren mit hoher Leistung realisieren.
- In Deutschland waren Hersteller wie BMW, VW, Audi, Mercedes früh mit **Turbo-Benzinern** am Markt, nachdem man das Konzept beim Diesel etabliert hatte.
- Variable Turbinengeometrie, zweistufige Aufladung, elektrische Verdichter – all das wurde in Serienfahrzeugen erprobt, um Ansprechverhalten und Wirkungsgrad weiter zu verbessern.

Die Idee dahinter: **Downsizing** – kleinere Hubräume mit Turbo sollen weniger Reibung und Pumpverluste haben und dadurch effizienter laufen, wenn man sie klug auslegt.

Direkteinspritzung bei Benzinern Nicht nur der Diesel bekam präzisere Einspritzung, auch der Ottomotor:

- Benzin-Direkteinspritzung (z. B. „DI Motronic“ von Bosch ab 2000) ermöglicht eine sehr genaue Kraftstoffdosierung direkt in den Brennraum, zum Teil mit Schichtladung und Magerbetrieb.

- Deutsche Hersteller wie VW („FSI“/„TSI“), BMW („High Precision Injection“) oder Mercedes setzten diese Technik im großen Stil ein, um Verbrauch und CO₂-Ausstoß ihrer Flotten zu senken.

Diese Fortschritte hatten allerdings eine Schattenseite: Feine Partikel – weshalb bei modernen Benzinern heute auch **Ottopartikelfilter (OPF)** verbaut werden, ähnlich wie beim Diesel.

Abgasnachbehandlung: vom Katalysator bis SCR

Um aus einem hochaufgeladenen, sparsam betriebenen Verbrenner ein halbwegs „sauberes“ Aggregat zu machen, brauchte es eine zweite große Baustelle: die Abgasnachbehandlung.

- **Drei-Wege-Katalysator** (seit den 1980ern/90ern Standard bei Benzinern) reduziert CO, HC und NO_x, wenn das Gemisch nahe am stöchiometrischen Wert gehalten wird.
- **Rußpartikelfilter (DPF)** bei Dieseln fangen Feinstaubpartikel ab und verbrennen sie periodisch.
- **SCR-Systeme (Selective Catalytic Reduction)** mit AdBlue-Einspritzung wurden eingeführt, um NO_x im Abgasstrom zu Ammoniak umzusetzen und dann chemisch zu neutralisieren – besonders wichtig, um Euro-6-Grenzwerte zu erreichen.

Zulieferer wie Bosch spielten dabei eine zentrale Rolle: Sie entwickelten nicht nur die Einspritzsysteme, sondern auch Motormanagement, Sensorik und Steuergeräte, die all diese Komponenten im Verbund regeln.

Im Rückblick zeigt sich: Die deutsche Industrie hat den Verbrenner bis an die physikalischen und ökonomischen Grenzen herangeführt – mit enormem Aufwand:

- Hohe Einspritzdrücke → extrem belastete Bauteile,
- komplexe Aufladung → mehr Komponenten, Fehlerquellen, Kosten,
- aufwendige Abgasnachbehandlung → zusätzlicher Energieverbrauch, mehr Systeme.

Unser Ermittler könnte sagen:

„Um den Verbrenner sauber und effizient zu machen, mussten wir immer mehr Technik hinterherräumen – bis irgendwann klar wurde: Vielleicht ist der eigentliche Verdächtige das Prinzip selbst.“

Die beeindruckende Finesse, mit der Deutschland den Verbrenner weiterentwickelt hat, ist aber kein totes Wissen. Sie bedeutet heute einen Vorsprung in **Systemverständnis, Regelungstechnik, Materialbelastung und Thermomanagement**, den man direkt für Brennstoffzellen-Systeme, hocheffiziente Hybride und natürlich auch für den Elektroantrieb (Stichwort Kühlung, Inverter, Leistungselektronik) nutzen kann.

18.3 Getriebeinnovationen: DSG, 8- und 9-Gang-Automaten, Effizienzgewinne

Wenn du in den 1980ern in Deutschland gesagt hast: „Ich fahre Automatik“, bekamst du oft mitleidige Blicke: „Das frisst doch Sprit und nimmt dir den Fahrspaß.“ Dieses Bild änderte sich in den 2000er-Jahren dramatisch – vor allem durch Innovationen aus Deutschland.

DSG – das Doppelkupplungs-Drama im positiven Sinne

Volkswagen brachte 2003 im Golf R32 und im Audi TT die erste großserientaugliche **Direktschaltgetriebe (DSG)**-Technik auf den Markt. Das Prinzip:

- Zwei Teilgetriebe (für die geraden und ungeraden Gänge) in einem Gehäuse,
- zwei Kupplungen, die abwechselnd einkuppeln,
- während Gang 1 zieht, liegt Gang 2 bereits „auf Lauerstellung“ – der Wechsel erfolgt in wenigen Zehntelsekunden nahezu ohne Zugkraftunterbrechung.

Vorteile:

- sehr schnelle Gangwechsel (sportlich),
- im Alltag oft niedriger Verbrauch als bei manuellen Getrieben, weil der Rechner optimal schaltet,
- kein Drehmomentwandler-Verlust wie bei klassischen Automatikgetrieben.

Damit wurde Automatikfahren plötzlich nicht mehr als Verzicht wahrgenommen, sondern als **Hightech-Feature** – insbesondere bei leistungsstarken Modellen. Das DSG steht exemplarisch für eine Denkweise:

Mechanik, Elektronik und Software verschmelzen so, dass der Motor **fast immer im optimalen Wirkungsgradfenster** betrieben wird.

8- und 9-Gang-Automaten – ZF & Co.

Parallel dazu optimierte der Zulieferer **ZF Friedrichshafen** die klassische Automatik. Die ZF 8HP-Automatikgetriebe-Familie gilt bis heute als Referenz:

- Sie kam ab Ende der 2000er-Jahre in zahlreichen BMW-, Audi-, Jaguar-, Land Rover- usw. Modellen zum Einsatz.
- Laut ZF verbraucht ein 8HP-Getriebe etwa **12 % weniger Kraftstoff als der vorherige 6-Gang-Automat** und 14 % weniger als eine 5-Gang-Automatik – bei gleichzeitig schnelleren Schaltzeiten (bis zu 0,2 s).
- Mit späteren Generationen wurden zudem Hybridmodule integriert, sodass im gleichen Gehäuse Elektromotoren und Kupplungen für Plug-in-Hybride Platz finden.

Auch 9-Gang-Automaten (z. B. ZF 9HP für Frontantrieb) folgten dieser Logik: mehr Gänge, um den Motor **möglichst oft im verbrauchsgünstigen Bereich** laufen zu lassen, ohne dass der Fahrer ständig selbst schalten muss.

Das Ergebnis:

- Ein moderner Diesel mit 8-Gang-Automatik kann bei 130 km/h mit knapp über 1.500 U/min laufen,
- Verbrauch und Geräusch sinken deutlich,
- die Fahrbarkeit steigt, weil der Antrieb besser zum Lastprofil passt.

Was haben diese Getriebe mit der Zukunft zu tun?

Auf den ersten Blick: wenig. Elektroautos brauchen meist nur **ein einstufiges Reduktionsgetriebe** – der E-Motor hat ein so breites Drehmomentband, dass Schaltstufen unnötig sind.

Auf den zweiten Blick: sehr viel. Die Entwicklung moderner Getriebe hat deutsche Ingenieure extrem fit gemacht in Bereichen wie:

- hochpräziser Synchronisation und Aktorik,
- Schmierung hochbelasteter Zahnräder bei minimalen Reibverlusten,
- Fertigungstoleranzen im Mikrometerbereich,

- Regelung komplexer Mechatroniksysteme (Hydraulik + Ventile + Steuergeräte).

Diese Fähigkeiten sind Gold wert für:

- **eAxles** und zweistufige E-Getriebe (z. B. für sehr schnelle oder sehr schwere E-Autos),
- **Hybridtransmissionen**, die Verbrenner und Elektromotor in einem Gehäuse vereinen,
- präzise Ansteuerung der Rekuperation (Bremsflüssigkeits- vs. Rekuperationsbremsmoment).

In unserem Krimi sind DSG und 8HP also nicht nur Relikte einer untergehenden Ära, sondern auch Beweismittel dafür, wie gut Deutschland komplexe Antriebsstränge beherrscht – Wissen, das sich direkt in die Entwicklung von E-Achsen, Inverter-Getriebe-Einheiten und hybriden Systemen übertragen lässt.

18.4 Warum diese Kompetenz wertvoll bleibt: Thermodynamik, Materialwissenschaft, Systemintegration

Jetzt kommt der vielleicht wichtigste Twist dieses Kapitels: Nur weil der Verbrennungsmotor aus Klimagründen zum Auslaufmodell wird, heißt das nicht, dass das ganze Wissen, das um ihn herum entstanden ist, plötzlich wertlos wäre. Im Gegenteil – **genau dieses Know-how kann Deutschlands Weg zur E-Pioniernation beschleunigen.**

Thermodynamik & Energiesysteme

Verbrennungsmotoren sind letztlich realisierte Anwendungen der **Thermodynamik**. Ingenieur*innen, die Jahrzehnte lang an Wirkungsgraden, Abwärmenutzung, Verbrennungsprozessen und Wirkungsgradketten gearbeitet haben, verstehen sehr genau:

- wie Energie sich in Wärme, Druck, Bewegung und Verlust aufteilt,
- wie man Kühlkreisläufe, Schmierkreisläufe und Luftpfade so auslegt, dass alles im Gleichgewicht bleibt,
- wo in einem System am meisten Energie „verpufft“.

Dieses Denken ist direkt übertragbar auf:

- **Batterie- und E-Motor-Kühlung** (Zelltemperierung, Kühlplatten, Kühlmittelkreise),
- **Leistungselektronik** (Inverter, Onboard-Lader, DC/DC-Wandler),
- **Wärmepumpensysteme** in E-Fahrzeugen (Heizen/Kühlen mit minimaler Energie).

Wer Abgastemperaturen von 900 °C im Griff hatte, kommt mit 60 °C warmen Kühlmitteln und 40 °C Zelltemperaturen problemlos zurecht – fachlich gesehen.

Materialwissenschaft & Fertigung

Die Anforderungen moderner Verbrenner (hoher Innendruck, hohe Temperaturen, aggressive Abgasbestandteile) haben zu:

- hochfesten, aber leichten Legierungen (z. B. für Kolben, Ventile, Turbinenräder),
- Beschichtungen, die Verschleiß und Reibung minimieren (z. B. DLC-Schichten),
- Fertigungsprozessen mit extrem engen Toleranzen (Kolbenlaufsitze, Lager, Zahnräder),

geführt. Dieses Know-how lässt sich in der E-Mobilität einsetzen für:

- **Rotor- und Statorpakete** (präzise Blechpakete, Imprägnierung, Isolation),
- **Getrieberäder in E-Achsen,**
- **Gehäuse und Strukturteile,** die leicht, crashsicher und korrosionsbeständig sein müssen,
- Kontaktmaterialien in Hochstromsteckern und Busbars.

Die Fertigungsanlagen, Qualitätsprozesse, Prüfstände – all das ist nicht verloren, sondern muss „nur“ auf neue Komponenten ausgerichtet werden.

Systemintegration

Das vielleicht wichtigste Asset deutscher Hersteller ist ihr Talent für **Systemintegration**: Motor, Getriebe, Abgasnachbehandlung, Kühlung, Elektrik, Software – all das zu einem verlässlichen, homogenen Produkt zu verschmelzen, das:

- bei -20 °C anspringt und bei +40 °C nicht kocht,
- 300.000 km hält,
- in zig Varianten (Kombi, SUV, Van) funktioniert.

Genau diese Fähigkeit wird in der E-Mobilität sogar noch wichtiger:

- Ein E-Auto ist kein „Motor mit Karosserie“, sondern ein **rollender Computer mit Energiesystem**.
- Batterie, Inverter, Motor, Lader, Wärmepumpe, Fahrassistenz, Infotainment und Cloud-Dienste müssen zusammenspielen, ohne dass der Kunde je die Komplexität bemerkt.
- Jede Effizienzsteigerung (z. B. 1 % weniger Verluste im Inverter, 5 % bessere Aerodynamik, optimierte Thermomanagement-Strategie) summiert sich im Gesamtsystem.

Die jahrzehntelange Erfahrung darin, **komplexe Antriebsstränge robust auf die Straße zu bringen**, ist damit kein Ballast, sondern eine Art „Masterclass“, aus der sich viele Lektionen auf Elektromobilität übertragen lassen.

Dazu kommt:

- Schwerlastverkehr, Schiffe, bestimmte Off-Highway-Anwendungen werden noch länger Verbrennungslösungen (teilweise mit E-Fuels oder H₂-Verbrennung) benötigen.
- Hybride und Range-Extender-Konzepte werden in Übergangsphasen weiter eine Rolle spielen.

Auch dort ist deutsches Motoren-Know-how gefragt – nur eben nicht mehr als Wachstumsträger, sondern als Brücken-Technologie und Speziallösung.

Im Krimi „Tatort Auspuff“ ist die goldene Ära des Verbrenners damit nicht einfach ein nostalgischer Rückblick, sondern die **Origin-Story**:

- Sie erklärt, warum Deutschland im Automobilbereich so stark geworden ist.
- Sie zeigt, dass wir uns technologisch nicht verstecken müssen – auch nicht vor China oder den USA.
- Und sie macht klar, dass der Weg zum E-Pionier nicht bedeutet, alles Alte wegzuwerfen, sondern das Beste daraus mitzunehmen: Präzision, Systemdenken, Material- und Thermodynamikkompetenz.

Die spannende Frage für die nächsten Kapitel lautet also nicht: „War der Verbrenner ein Fehler?“, sondern:

„Wie nutzen wir das, was wir mit dem Verbrenner gelernt haben, um die nächste Antriebsgeneration **schneller, besser und fairer** zu bauen?“

Kapitel 19 – Know-how-Transfer: Wie deutsche Technik die E-Mobilität befeuern kann

19.1 Thermomanagement: Wärmepumpen, Kühlung von Batterie & Leistungselektronik

Wenn du dir ein Elektroauto nur als „Akku + Motor“ vorstellst, verpasst du einen der spannendsten Schauplätze im Technik-Krimi: das **Thermomanagement**. Hier entscheidet sich, ob dein BEV im Winter 80 km Reichweite verliert, ob eine Schnellladung den Akku stresst – oder ob alles souverän im Hintergrund geregelt wird wie in einem gut geführten Ermittlerteam.

Dass genau hier viel deutsches Know-how steckt, ist kein Zufall. Schon zu Verbrennerzeiten mussten Ingenieur*innen in Deutschland extrem komplexe **Kühl- und Heizkreise** im Griff behalten: Motor, Getriebe, Turbolader, Abgasrückführung, Partikelfilter. Dieses Wissen wird jetzt direkt auf E-Autos übertragen – nur mit anderen „Verdächtigen“:

- **Batterie** (Zellen brauchen ein enges Temperaturfenster, meist ca. 20–40 °C)
- **Leistungselektronik** (Inverter, DC/DC, Onboard-Lader)
- **E-Motor**
- **Innenraum** (Komfort vs. Energieverbrauch)

Studien zeigen: Der Energiebedarf des Thermomanagements kann die Reichweite eines E-Autos deutlich beeinflussen; eine Audi/Uni-Braunschweig-Arbeit etwa zeigt, wie ein ausgeklügelter **Sekundärkreislauf** (Kühlmittel-Wasser-Glykol + Wärmepumpenlogik) Reichweite spart, indem er Abwärme nutzt und Wärmeflüsse optimal steuert.

Parallel dazu wächst ein eigener Markt: Laut einer aktuellen Analyse wird der globale Markt für **Thermal-Management-Systeme in E-Fahrzeugen** von rund 3,7 Mrd. US-Dollar (2025) bis 2030 auf über 7,5 Mrd. US-Dollar wachsen – angetrieben von höheren Batteriedichten, 350-kW-Schnellladen und strengeren Sicherheitsanforderungen. Thermische Systeme wandern vom „Nebenkriegsschauplatz“ ins Zentrum der Wertschöpfung.

Was können deutsche Ingenieur*innen hier einbringen?

1. **Wärmepumpen** statt „Heizlüfter“

Frühe E-Autos heizten den Innenraum oft über simple elektrische Widerstandsheizer – sehr ineffizient. Heute nutzen viele Modelle **Wärmepumpen**, die Umgebungswärme und Abwärme aus Motor/Batterie „hochpumpen“ und so deutlich weniger Strom verbrauchen. Deutsche Hersteller haben jahrzehntelange Erfahrung mit Klimaanlage, Kältekreisläufen und Luftführung. Dieses Wissen fließt jetzt in:

- hocheffiziente Wärmepumpen, die Heizen und Kühlen kombinieren,
- intelligente Ventil- und Kreislaukonzepte, die entscheiden, welche Komponenten wann mit welcher Temperatur versorgt werden,
- Vorkonditionierung von Akku und Innenraum (z. B. vor Schnelllade-Stopps oder bei Abfahrt im Winter).

2. **Flüssigkühlung der Batterie – fein kalibriert**

Für Schnellladen mit 200–350 kW brauchst du nicht nur kräftige Säulen, sondern auch **eine Batterie, die thermisch vorbereitet ist**. Deutsche Marken forschen seit Jahren an Kühlsystemen:

- Kühlplatten unter oder zwischen den Zellen,
- direkte Kühlmittelkanäle,
- integrierte Module, in denen Kühlung, Sensorik und mechanische Struktur zusammenkommen.

Die Kunst besteht darin, **Hotspots** zu vermeiden, gleichzeitig aber nicht unnötig Energie für Pumpen und Kühlmittel zu verschwenden – genau das, was Audi & Co. in ihren Thermomanagement-Publikationen beschreiben.

3. **Leistungselektronik & E-Motor**

Leistungselektronik liebt keine Hitze. Überhitzen IGBTs oder MOSFETs, sinken Effizienz und Lebensdauer. Deutsche Unternehmen haben mit der Kühlung von **Leistungsmodulen** in Hybridfahrzeugen und Industrieanwendungen (Umrichter, Frequenzumrichter) reichlich Erfahrung gesammelt. Die Methoden:

- flüssigkeitsgekühlte Kühlplatten,
- hochleitfähige Zwischenlagen (TIMs),
- optimierte Strömungsführung in Kühlkanälen.

Kurz gesagt: Das, was früher dazu diente, einen 200-PS-Diesel bei Volllast im Hängerbetrieb am Leben zu halten, sorgt heute dafür, dass deine Batterie nicht zu heiß wird, dein Inverter im optimalen Temperaturfenster arbeitet und deine Wärmepumpe dir im Winter nicht die Reichweite auffrisst.

Indem Deutschland seine **Thermomanagement-Kompetenz** klug in die E-Mobilität überträgt, wird aus einem unscheinbaren Teilgebiet ein entscheidender Hebel: weniger Energieverluste, längere Lebensdauer, höhere Sicherheit – und am Ende mehr Reichweite pro kWh.

19.2 Leichtbau, Aerodynamik, Crashesicherheit – Erfahrung aus 100 Jahren Autobau

Wenn du heute ein modernes E-Auto siehst, steckt darin viel mehr Hochtechnologie, als die glatte Oberfläche vermuten lässt. Unter dem Lack verstecken sich: hochfeste Stähle, Aluminium-Gussknoten, warmumgeformte Säulen, Batteriegehäuse als Strukturteil. Genau hier liegt eine klassische deutsche Stärke: **Leichtbau + Sicherheit + Serienreife**.

Leichtbau ist nicht neu – schon bei Verbrennern war klar: Jedes eingesparte Kilo spart Kraftstoff. Aber bei E-Autos zählt es doppelt: weniger Masse bedeutet **mehr Reichweite** und kleinere, günstigere Batterien. Forschungsprojekte etwa des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und des Instituts für Fahrzeugkonzepte zeigen, dass intelligente Leichtbau-Konzepte den Energieverbrauch eines Fahrzeugs signifikant senken können, ohne Crashesicherheit zu opfern.

Das Zusammenspiel:

- **Hochfeste Stähle** an kritischen Crashpfaden (A-/B-Säulen, Schweller, Querträger),
- **Aluminium-Strangpressprofile und Gussknoten** für Rahmen, Hilfsrahmen, Batterieträger,
- teils **Faserverbundstrukturen** (CFK/GFK) für Dach, Hauben oder Verstärkungen,
- intelligente Lastpfadführung mit definierten Deformationszonen.

Gleichzeitig forscht Deutschland stark an **recycelbaren Leichtbaukonzepten**; Projekte im Umfeld des BMWK zeigen z. B., wie

Karosserien mit hohem Anteil an recyceltem Aluminium ohne Einbußen bei Crashesicherheit gebaut werden können.

Dann kommt die **Aerodynamik** ins Spiel:

- Ein E-Auto, das viel Zeit auf der Autobahn verbringt, kämpft vor allem gegen **Luftwiderstand**.
- Der Widerstand steigt quadratisch mit der Geschwindigkeit; 20 % bessere Aerodynamik können auf Langstrecke mehrere kWh/100 km sparen.

Deutsche Marken haben Aerodynamik zur Wissenschaft erhoben:

- cW-Werte von 0,20–0,23 bei großen Limousinen (z. B. EQS) sind das Ergebnis von Hunderten Windkanalstunden, CFD-Simulationen und Detailarbeit (glatter Unterboden, aktive Klappen, versenkte Griffe).
- Forschungsarbeiten zeigen, wie neue Fahrzeugkonzepte mit modularen Leichtbaustrukturen und optimierter Außenform gleichzeitig Craschanforderungen, Effizienz und Designanforderungen erfüllen können.

Und dann ist da noch die **Crashesicherheit**:

Bei E-Autos müssen Batteriepakete geschützt werden, ohne den Innenraum enger zu machen. Das erinnert an klassische strukturelle Aufgaben, ist aber physikalisch anspruchsvoller:

- Die Batterie darf bei Crash keinen Kurzschluss verursachen.
- Der Fußraum und der Hochvolt-Bereich müssen intakt bleiben.
- Die Struktur muss definierte Deformationszonen haben, um Insassen zu schützen.

Deutsche Hersteller gehören traditionell zu den Vorreitern bei Crashesicherheit; Euro NCAP, US-NCAP und weitere Tests zeigen, dass viele Modelle 5-Sterne-Ratings erzielen und zusätzliche Sicherheitsfeatures (Assistenzsysteme, Seitenairbags, Fußgängerschutz) bieten. Leichtbau-Forschung adressiert explizit „gewichtseffiziente Crashesicherheit“ – also maximalen Insassenschutz bei minimaler Masse.

Für den Know-how-Transfer heißt das:

- Die **Methoden** – Finite-Elemente-Simulationen, Materialmodelle, komplexe Crashversuche – bleiben dieselben.
- Die „**Helden**“ verändern sich: statt Motorblock als Lastpfad haben wir Batterie-Trays, statt Tank Schutzstrukturen um Zellmodule.
- Die **Zielgröße** ist gleich: maximale Sicherheit bei minimalem Gewicht und minimalem Energieverbrauch.

Auch wenn der Verbrenner auszieht, bleiben Windkanäle, Crashlabore und Leichtbaukompetenz bestehen – und genau sie sind entscheidend, damit E-Autos der nächsten Generation nicht nur sauber, sondern auch sicher und effizient sind.

19.3 Systemkompetenz: Integration von Motor, Batterie, Power-Elektronik, Software

Wenn du ein modernes Auto – egal ob Diesel, Hybrid oder BEV – auf ein Whiteboard zeichnest, merkst du schnell: Das ist kein Motor mit vier Rädern mehr, sondern ein **komplexes System aus Hard- und Software**.

Deutschland hat durch seine lange Auto-Geschichte gelernt, solche Systeme zu bauen:

- Motorsteuergeräte, Getriebesteuergeräte, ABS/ESP, Airbagcontroller, Infotainment – alles musste zusammenspielen,
- Normen wie ISO 26262 (Funktionale Sicherheit) und Cybersecurity-Standards sorgen dafür, dass diese Systeme nicht nur funktionieren, sondern auch sicher sind.

In der E-Mobilität verschiebt sich der Fokus, aber die Systemkompetenz bleibt zentral:

1. E-Motor + Inverter + Getriebe = eAxle Anstatt Motor + separates Getriebe + Abgasstrang gibt es heute **E-Achsmodule (eAxles)**, in denen:

- Elektromotor,
- einstufiges oder zweistufiges Getriebe,
- Inverter (Leistungselektronik),
- teilweise Differential und Parkbremse

in einem kompakten Bauteil stecken. Die Entwicklung solcher Module erfordert genau jene Fähigkeiten, die deutsche Hersteller und Zulieferer seit Jahrzehnten trainieren: präzise Verzahnungstechnik, Kühlkonzepte, Schwingungsanalyse, Geräuschoptimierung.

2. Batterie als zentrales Systemelement Die Batterie ist nicht nur ein „Tank“, sondern ein intelligentes System mit:

- Modulen/Zellen,
- Sensorik (Spannung, Temperatur, Strom),
- Battery Management System (BMS) als „Gehirn“,
- HV-Schaltern, Sicherungen, Kontaktoren.

Dieses BMS kommuniziert mit:

- Inverter,
- Ladegerät,
- Fahrzeugsteuergerät,
- Thermomanagement-Steuerung.

Die Kunst besteht darin, all diese Steuergeräte (ECUs) so zu vernetzen, dass das Auto als Gesamtsystem zuverlässig funktioniert. Genau hier punktet deutsche Systemkompetenz: komplexe CAN- und Ethernet-Architekturen, verteilte Funktionen, OTA-Update-Fähigkeit – alles unter strengen Sicherheitsanforderungen.

3. Software Defined Vehicle

Mit MB.OS bei Mercedes, neuer E/E-Architektur bei BMW („Neue Klasse“) und Partnerschaften von VW (z. B. mit Rivian) wird deutlich: Das Fahrzeug der Zukunft ist mehr denn je **softwaredefiniert**.

Systemkompetenz heißt heute:

- eine konsistente Software-Architektur (Betriebssystem, Middleware, Apps),
- modulare Updates über die gesamte Lebensdauer (OTA),
- Cybersecurity-by-Design,

- Datenmanagement (z. B. Telemetrie, Flottenupdates, Smart-Charging-Funktionen).

Deutsche Hersteller haben bei Software lange hinterhergehinkt, holen aber auf – und sie bringen etwas mit, was reine Software-Firmen nicht haben: **tiefe Fahrzeug- und Systemkenntnis**. Wenn du weißt, wie sich jeder physikalische Prozess im Auto verhält, kannst du Software schreiben, die nicht nur „schön aussieht“, sondern auch **robust funktioniert**.

Systemkompetenz bedeutet in der E-Mobilität:

- Du verstehst, wie sich ein Ladeprofil auf die Zellalterung auswirkt,
- wie sich Thermomanagement auf Effizienz und Komfort niederschlägt,
- wie Rekuperation, Reibbremsen und Fahrdynamikregelung ineinandergreifen müssen, um sicher und effizient zu sein.

Und genau hier hat Deutschland dank seiner Verbrenner-Ära einen Vorsprung: Man ist es gewohnt, **hochkomplexe, sicherheitskritische Systeme** zu integrieren – nur die Komponenten heißen jetzt anders.

19.4 Batterieforschung & Zellfertigung in Europa (z. B. eigene Gigafactories)

Der vielleicht härteste Teil des Know-how-Transfers betrifft die **Batterie**. Hier dominiert China – mit über 75 % der weltweiten Zellproduktion und einem massiven Vorsprung bei LFP, NMC & Co.

Aber Europa – und Deutschland im Besonderen – hat begriffen, dass ohne eigene Batteriewertschöpfung die Autoindustrie abhängig bleibt. Also wird massiv investiert:

- Laut Fraunhofer ISI summieren sich die **angekündigten Zellkapazitäten in Europa** bis 2030 auf über **2 TWh** pro Jahr – mehr, als der erwartete Bedarf. Allerdings ist klar: Nicht alle Projekte werden realisiert, das Risiko von Verzögerungen und Ausfällen ist hoch.
- T&E schätzt, dass die reale europäische Kapazität 2023 bei rund **225 GWh** lag, mit einer tatsächlichen Produktion von knapp 100 GWh – geführt von LGES in Polen, Samsung SDI und SK On in Ungarn sowie Northvolt, BMZ und CATL-Standorten in Deutschland.

Die Geschichte ist also ambivalent:

- Einerseits ambitionierte Projekte (Gigafactories),
- andererseits Rückschläge wie die Insolvenz von Northvolt, deren Pleite 2024/25 als „Schockwelle“ durch Europas Batteriepläne ging.

Trotz dieser Rückschläge entstehen wichtige Leuchttürme:

- **PowerCo (Volkswagen)** baut Gigafactories in Salzgitter, Valencia und St. Thomas (Kanada) und entwickelt eine einheitliche „Unified Cell“, die mit verschiedenen Chemien (LFP, NMC, später Festkörper) gefahren werden kann – Skaleneffekte inklusive.
- **ACC (Automotive Cells Company)**, getragen von Stellantis und Mercedes, erweitert seine Gigafactory in Frankreich (Douai) mit weiteren Kapazitätsblöcken (aktuell 15 GWh, zweiter Block mit 13 GWh im Bau), während geplante Werke in Deutschland und Italien neu bewertet werden.

Parallel läuft die **Forschung** auf Hochtouren:

- Universitäten und Institute (z. B. Fraunhofer, Helmholtz) arbeiten an Festkörperbatterien, Lithium-Schwefel, Natrium-Ionen, verbesserten LFP-Varianten und nachhaltigen Kathoden- und Anodenmaterialien.
- Projekte zum **Recycling** (mechanische, hydrometallurgische und pyrometallurgische Verfahren) sollen sicherstellen, dass Lithium, Nickel, Kobalt und Mangan aus Altbatterien zurückgewonnen werden – ein wichtiger Baustein für eine echte europäische Kreislaufwirtschaft.

Für Deutschland ist Batterieforschung nicht nur eine technische Frage, sondern eine **Standortfrage**:

- Ohne eigene Zellfertigung wandert ein großer Teil der Wertschöpfung ins Ausland ab.
- Ohne starke Recycling- und Materialkompetenz bleibt man bei Rohstoffen abhängig.
- Ohne eigene Entwicklung von Batteriemanagementsystemen, Leistungselektronik und Zellchemie verliert man technologischen Gestaltungsspielraum.

Der Know-how-Transfer aus der Motorentechnik hilft hier indirekt:

- Erfahrung mit **Hochdruck-, Hochtemperaturprozessen** fließt in Elektrodenfertigung, Trocknung, Beschichtung.
- Prozess-Know-how aus der Großserienfertigung von Motoren und Getrieben hilft beim hochskaligen, automatisierten Zell- und Modulbau.

Der Weg ist noch weit, und nicht alle Projekte werden überleben. Aber die Richtung ist klar: Europa – und Deutschland – wollen vom reinen Batterie-Konsumenten zum **Batterie-Produzenten und -Innovator** werden.

19.5 Qualifizierung von Fachkräften: Umschulung, neue Berufsbilder, Hochschulen

Kein Know-how-Transfer ohne Menschen. Alles, was wir bisher beschrieben haben – Thermomanagement, Leichtbau, Systemintegration, Batteriefertigung – braucht Fachkräfte, die das Umsetzen. Und zwar nicht „irgendwann“, sondern **jetzt**, während alte Tätigkeiten wegbrechen und neue entstehen.

In Baden-Württemberg, einem der Hotspots der deutschen Autoindustrie, zeigt sich dieser Wandel exemplarisch:

- Die Landesagentur **e-mobil BW** betreibt Programme zur Qualifizierung von Fachkräften in der Antriebswende – von Schulprojekten über duale Ausbildung bis zur Weiterbildung von Beschäftigten in Betrieben. Ziel ist, Beschäftigte für Batterietechnik, Leistungselektronik und E-Mobilität fit zu machen.
- Eine aktuelle Studie beschreibt, wie gezielte Qualifizierungsinitiativen in der Region nicht nur Wissenslücken schließen, sondern auch „Change Readiness“ in Unternehmen erhöhen – gerade für den Mittelstand.

Auf Bundesebene gibt es verschiedene Förderinstrumente, u. a.:

- Programme zur **Transformationsqualifizierung** in der Automobilindustrie (oft kofinanziert durch Bund, Länder und EU),
- den sogenannten „**Transformationsfonds**“ bzw. verwandte Initiativen, mit denen Beschäftigte aus klassischen Motoren- und Getriebewerken in Richtung E-Mobilität, Software, Batterietechnik umgeschult werden.

Volkswagen etwa beschreibt in internen Transformationsberichten, wie sich die Wertschöpfung weg von mechanischer Fertigung hin zu **EV & Software** verschiebt – und dass ein großer Teil der Belegschaft durch interne Qualifizierungsprogramme in neue Bereiche gebracht werden soll.

Neue Berufsbilder entstehen:

- **Hochvolttechniker*in** (Diagnose, Reparatur und Wartung von HV-Systemen)
- **Batteriefachkraft** (Montage, Qualitätsprüfung, Recycling)
- **Software-Entwickler*in Automotive** (ADAS, Energiemanagement, Connectivity)
- **Data Engineer/Analyst** für Flotten- und Telemetriedaten
- **Spezialist*in für Ladeinfrastruktur** (Planung, Betrieb, Smart Charging, V2G)

Hochschulen reagieren:

- Neue Studiengänge für **E-Mobilität, Batterietechnik und Power Electronics** entstehen an FHs und Unis,
- klassische Maschinenbau-Studiengänge integrieren mehr Inhalte zu E-Antrieben, Leistungselektronik und Software,
- duale Studiengänge verknüpfen Unternehmenspraxis mit Themen wie „Software Defined Vehicle“ oder „Batterieproduktion“.

Wichtig ist: Umschulung bedeutet nicht, dass jahrzehntelange Erfahrung wertlos wäre. Im Gegenteil:

- Ein Motorenentwickler versteht thermische Randbedingungen, mechanische Belastungen, Fertigungsprozesse – er oder sie kann dieses Wissen in Richtung E-Motoren, Inverter, Hochvoltkomponenten übertragen.
- Eine Fachkraft aus der Getriebemontage ist mit Präzisionsbauteilen vertraut – ideal, um E-Achsen, Batteriemodule oder Leistungselektronikgehäuse in Serie zu fertigen.
- Eine Meisterin aus der Motorenfertigung kann Teams in neuen Bereichen führen, weil sie Produktionslogik, Qualitätssicherung und Schichtabläufe kennt.

Der eigentliche Krimi spielt also nicht nur in den Labors und Werkhallen, sondern auch in **Berufsschulen, Hörsälen und Weiterbildungszentren**. Die Frage lautet:

Schaffen wir es, die Menschen, die Deutschland im Verbrenner stark gemacht haben, so mitzunehmen, dass sie auch die E-Mobilität mitprägen – statt auf der Strecke zu bleiben?

Die gute Nachricht: Es gibt Konzepte, Programme und erste Erfolge. Die schlechte Nachricht: Die Zeit drängt. Aber wenn du dir anschaust, wie viel Anpassungsfähigkeit diese Industrie schon gezeigt hat – von Otto und Diesel über Common Rail und DSG bis zur E-Achse – dann ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass Deutschland auch diesen Transfer hinbekommt.

Nur: Wie in jedem guten Krimi entscheidet am Ende das Handeln, nicht das Wissen.

Kapitel 20 – Energieinfrastruktur: Wenn Auto, Haus und Netz zusammenarbeiten

20.1 E-Auto als Teil des Energiesystems: PV auf dem Dach + Akku im Auto

Stell dir vor, unser Ermittler verlässt zum ersten Mal die Autobahn, die Werkstatt, den Prüfstand – und betritt einen ganz normalen Carport in einer Vorstadtstraße. Kein Tatortband, kein Blaulicht. Nur ein Einfamilienhaus, ein glänzendes PV-Dach, eine Wallbox und ein E-Auto darunter.

Auf den ersten Blick: Alltag.
Auf den zweiten: ein kleines **Energiesystem**.

Die Photovoltaikanlage auf dem Dach produziert Strom genau dann, wenn die Sonne scheint – also tagsüber, oft dann, wenn niemand zu Hause ist. Der klassische „Fehler“ früher PV-Anlagen: Ein Großteil des Stroms wurde ins Netz eingespeist, während die Bewohner abends Strom zurückkauften – teurer, als sie tagsüber bekommen hatten.

Nun kommt das E-Auto ins Spiel – als **rollender Speicher**:

- Eine typische Wallbox lädt mit 11 kW (3-phasig, 16 A).
- Ein durchschnittliches BEV hat 50–80 kWh nutzbare Batteriekapazität.
- Die tägliche Pendelstrecke vieler Haushalte entspricht oft nur 10–20 kWh Bedarf.

Wenn tagsüber die Sonne scheint und das Auto zu Hause oder im Homeoffice steht, kann es direkt den **Solarstrom „trinken“**. Studien und Erfahrungswerte aus Energieberatungen zeigen: Mit einer klugen Kombination aus PV + E-Auto + ggf. stationärem Speicher lassen sich **Autarkiegrade von 50–80 %** erreichen – je nach Haus, Nutzerverhalten und Anlagen-Größe.

Das Prinzip nennt sich oft:

- **„Fahre mit Sonne“** oder
- **„Eigenverbrauchsoptimierung mit E-Auto“**.

Statt den PV-Strom für 7–9 Cent/kWh ins Netz zu verkaufen und abends für 30–40 Cent/kWh zurückzukaufen, „verbrauchst“ du ihn direkt im Auto. Die

„gedankliche kWh“ kostet dich dann nur die Gestehungskosten deiner PV-Anlage (oft 6–12 Cent/kWh über die Lebensdauer).

Ein Beispiel:

- PV-Anlage 10 kWp, Jahresertrag ca. 9.500 kWh.
- Haushalt ohne E-Auto verbraucht 3.000 kWh direkt, speist 6.500 kWh ein.
- Kommt ein E-Auto hinzu, das ca. 2.000–3.000 kWh/Jahr aus dem PV-Überschuss lädt (entspricht grob 10.000–15.000 km Fahrleistung), steigt der Eigenverbrauch auf 5.000–6.000 kWh.

Finanziell bedeutet das:

- Du ersetzt einen Teil deiner **Tankkosten** durch PV-Strom – effektiv oft 2–5 € pro 100 km statt 10–15 € bei Diesel/Benzin.
- Du verbesserst die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage, weil mehr Strom im Haus „wertvoll“ genutzt wird.

Ökologisch bedeutet es:

- Ein größerer Anteil deiner Kilometer ist nahezu direkt „CO₂-frei“ (abgesehen von Herstellungs- und Anlagenfootprint).
- Du entlastest das Netz, weil weniger Strom eingespeist/rückbezogen werden muss.

Im Krimi „Tatort Auspuff“ ist das E-Auto an dieser Stelle nicht mehr nur Verdächtiger oder Zeuge – es ist **Mitspieler im Energiesystem**. Das Dach wird zur „Strom-Ermittlungsstelle“, der Akku im Auto zum mobilen Beweismittelspeicher, und dein Alltag zur täglichen Energiewende in Kleinformat.

Der entscheidende Perspektivwechsel:
Das Auto ist nicht mehr nur Verbraucher, sondern **aktiver Teil des Energiehaushalts** – und genau darauf bauen die nächsten Unterkapitel auf.

20.2 Heimpladen, HEMS, dynamische Tarife, Lastmanagement

Das nächste Bild: Es ist 2:37 Uhr nachts. Dein Auto steht in der Einfahrt, die Straße ist ruhig. Im Haus ist alles dunkel – aber im Hintergrund läuft eine unsichtbare Regie: ein **HEMS** – Home Energy Management System.

Dieses HEMS weiß:

- wie viel PV-Strom am Tag zu erwarten ist (Wetterprognose + Anlagenhistorie),
- wie voll dein Auto sein muss (z. B. „morgen 7:30 Uhr mindestens 60 % SOC“),
- wie hoch die Strompreise zu welchen Stunden sind (dynamischer Tarif),
- welche Verbraucher im Haus flexibel sind (z. B. Wärmepumpe, Warmwasserspeicher, Wallbox).

Solche Systeme werden in Deutschland und Europa zunehmend vermarktet – von Wallboxherstellern, Wechselrichterfirmen, Energieversorgern und Smart-Home-Anbietern. Die EU-Richtlinie RED II, der deutsche Smart-Meter-Rollout und neue Netzanschlussregeln schaffen sukzessive die technischen und regulatorischen Grundlagen dafür, dass Lasten im Haushalt **flexibel und netzdienlich** gesteuert werden können.

Dynamische

Tarife

Mit der Strommarkt-Reform und dem verpflichtenden Smart-Meter-Rollout werden **zeitvariable Tarife** wichtiger. In Ländern wie Schweden oder den Niederlanden ist es heute schon üblich, stundenvARIABLE Börsenpreise an Endkunden durchzureichen – mit Preisspitzen und -tälern. Deutschland zieht nach:

- Neue Vorgaben der Bundesnetzagentur und das Energie-Finanzierungs-Gesetz sehen vor, dass Versorger künftig dynamische Tarife für Kund*innen mit intelligenten Messsystemen anbieten.

Ein HEMS kann deine Wallbox so steuern, dass das Auto möglichst **in Preistälern** lädt – und PV-Überschuss **priorisiert**.

Beispiel:

- Strompreis 0–4 Uhr: 22 ct/kWh
- 8–12 Uhr: 40 ct/kWh

13–16 Uhr: eigene PV (Grenzkosten ca. 8 ct/kWh)

- 17–20 Uhr: 45 ct/kWh

Das HEMS entscheidet dann:

- nachts leicht nachladen, wenn es günstig ist,
- tagsüber PV-Überschuss ins Auto schicken,
- teure Abendstunden meiden, wenn möglich.

Lastmanagement

Gleichzeitig achten HEMS-Systeme auf **Lastspitzen**:

- Wenn Wärmepumpe, Backofen und Wallbox gleichzeitig starten, kann die Hausanschlussleistung überschritten werden.
- Netzbetreiber können nach §14a EnWG regeln, dass steuerbare Verbraucher (Wallbox, Wärmepumpe) bei Engpässen kurz gedrosselt oder verschoben werden dürfen – im Gegenzug gibt es reduzierte Netzentgelte oder günstigere Tarife.

Mit einem HEMS kannst du z. B.:

- deinen maximalen Hausanschluss (z. B. 14 kW) als Grenze setzen,
- Prioritäten vergeben (Kühlschrank immer, Wärmepumpe wichtig, Auto nachrangig),
- trotzdem sicherstellen, dass dein Auto bis zu einer bestimmten Uhrzeit genug geladen hat.

Statt dass du nachts aufstehst, um „kurz den Stecker zu ziehen“, läuft das wie ein gut koordiniertes Ermittlerteam: Jeder weiß, wann er dran ist.

Im Zusammenspiel von Heimpladen, HEMS, dynamischen Tarifen und Lastmanagement wird das E-Auto vom simplen Verbraucher zum **flexiblen Baustein** in einem intelligenten Energiesystem. Du nutzt günstige Zeiten, schonst das Netz und erhöhst deinen PV-Eigenverbrauch – ohne, dass du jede Stunde manuell eingreifen musst.

20.3 Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Grid: Auto als Puffer für Netz und Gebäude

Bis jetzt war dein Auto vor allem **Stromkunde**. Mit Vehicle-to-Home (V2H) und Vehicle-to-Grid (V2G) wird es zum **Stromlieferanten** – zum kleinen, mobilen Kraftwerk mit Ermittlerinstinkt.

Vehicle-to-Home (V2H) bedeutet: Dein Auto kann nicht nur Strom aufnehmen, sondern über die Wallbox auch wieder ins Haus zurückspeisen.
Typische Anwendung:

- tagsüber lädt dein Auto mit PV-Überschuss,
- abends, wenn alle zu Hause sind und der Strom teuer ist, versorgt der Autakku einen Teil des Hausstroms (Licht, Router, Unterhaltungselektronik, ggf. Wäsche, Spülmaschine).

Vorteile:

- Höherer Eigenverbrauch deiner PV-Anlage,
- geringere Strombezugskosten aus dem Netz,
- Backup-Funktion bei Stromausfall (je nach System).

Vehicle-to-Grid (V2G) geht noch weiter:

- Dein Auto speist Strom nicht nur ins Haus, sondern ins **öffentliche Netz** zurück.
- Es wird Teil eines virtuellen Kraftwerks – viele Autos zusammen können Leistung bereitstellen, z. B. für **Regelenergie**, Spitzenlastkappung oder Netzdienstleistungen.

Pilotprojekte etwa von Nissan (Leaf), Honda, verschiedenen Netzbetreibern und Energiedienstleistern zeigen seit Jahren, dass das technisch funktioniert. Studien des Fraunhofer ISE und des DLR kommen zu dem Ergebnis, dass eine große Flotte bidirektionaler E-Autos – wenn intelligent gesteuert – signifikant helfen kann, **Fluktuationen von Wind- und PV-Strom** abzufedern und teure Netzausbauten zu reduzieren.

Die Hürden sind bislang eher **regulatorisch und wirtschaftlich** als technisch:

- Normen (z. B. ISO 15118-20) definieren inzwischen Standards für bidirektionales Laden und Kommunikation zwischen Auto und Wallbox.
- Einige Automodelle (z. B. Hyundai/Kia-Modelle mit 800-V-Technik, BYD, VW-Modelle ab bestimmtem Softwarestand) unterstützen bereits **V2L (Vehicle-to-Load)** – also das Versorgen externer Verbraucher über Schuko/Adapter. V2H/V2G wird nach und nach freigeschaltet.

- Netztarife und Vergütungsmodelle sind oft noch nicht so gestaltet, dass sich ein V2G-Geschäftsmodell für Privatkunden leicht rechnet. Es fehlen einfache Produkte wie „Flatrate + Vergütung für bereitgestellte kW“ mit fairen Bedingungen.

Trotzdem ist klar: Wenn du 60 kWh im Akku hast und für deine tägliche Fahrt nur 10–15 kWh brauchst, bleibt ein großer Puffer, der **intelligent nutzbar** wäre – ohne dass du morgens leer startest.

Die Vision:

- Tagsüber lädt dein Auto mit PV-Überschuss,
- abends stundengenau gesteuert wird ein Teil des Stroms ins Haus oder Netz zurückgegeben,
- du erhältst eine Gutschrift oder eine geringere Stromrechnung,
- Netz und Gebäude profitieren von der Flexibilität.

In unserem Krimi wird das Auto damit endgültig vom „Tatwerkzeug“ der alten fossilen Welt zum **Mitermittler** der neuen: Es hilft, den Täter „Volatilität und Lastspitzen“ im Stromsystem zu fassen.

Natürlich bleibt einiges zu klären:

- Wie oft darf eine Batterie für V2G-Zwecke zyklisiert werden, ohne dass die Degradation zu hoch ist?
- Welche Nutzungsmuster sind wirtschaftlich sinnvoll?
- Wie schützen wir das System vor Cyberangriffen, wenn Millionen Fahrzeuge vernetzt sind?

Doch genau diese Fragen sind Chancen für deutsche Technik – und für die Akteure, die sie umsetzen.

20.4 Chancen für Handwerk, Energieberatung und deutsche Mittelständler

Hier betreten neue Figuren die Bühne: **Elektriker, Heizungsbauer, Dachdecker, Energieberater, Software-Schmieden, Mittelständler**. Die Energiewende im Kleinen, rund um Auto, Haus und Netz, ist kein Projekt der Konzerne allein – sie ist ein gigantisches Arbeitsprogramm für das **Handwerk und den Mittelstand**.

Wo entstehen konkret Chancen?

1. Planung und Installation von PV, Wallbox, HEMS, Speicher

- Jede PV-Anlage muss geplant, montiert, angeschlossen werden.
- Jede Wallbox braucht eine fachgerechte Installation (Leitungsauslegung, Absicherung, ggf. Wanddurchführung, Erdarbeiten).
- HEMS-Systeme, Smart-Meter, dynamische Tarife – all das muss in bestehende Hausinstallationen integriert werden.

Der Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH) weist seit Jahren darauf hin, dass der Fachkräftebedarf im Bereich E-Mobilität, Gebäudeautomation und PV stark steigt. Gleichzeitig entstehen neue Spezialisierungen: „E-Mobilitätsinstallateur“, „Smart-Home-Integrator“ usw.

2. Energieberatung & Sanierungskonzepte

Energieberater, Architekten und Ingenieurbüros haben die Aufgabe, nicht nur Einzelmaßnahmen zu betrachten („da eine PV, dort eine Wärmepumpe“), sondern **Ganzhauskonzepte** zu entwickeln:

- Wie passt das E-Auto ins Energiesystem des Hauses?
- Wie groß sollte die PV-Anlage sein, wenn ich in fünf Jahren vielleicht eine zweite Wallbox brauche?
- Lohnt sich ein stationärer Speicher zusätzlich zum E-Auto-Akku?
- Welche Förderungen (KfW, BAFA, Landesprogramme) lassen sich kombinieren?

Mit Programmen wie dem individuellen Sanierungsfahrplan (iSFP) und neuen Förderinstrumenten entstehen vielfältige Beratungsaufgaben – ideal für mittelständische Energieberatungsbüros, die Technik und Wirtschaftlichkeit zusammenbringen.

3. Mittelständische Systemanbieter

Deutsche Mittelständler sind traditionell stark in **Nischen**:

- Lastmanagement-Controller für Parkhäuser,
- Spezial-Wallboxen für Flotten,
- HEMS-Lösungen für Mehrfamilienhäuser,

- Backend-Software für Stadtwerke und Kommunen,
- Schnittstellenlösungen zu offenen Protokollen (OCPP, Modbus, EEBus, ISO 15118).

Die Kopplung von Auto, Haus und Netz ist hochkomplex – genau die Art von „ingenieurigem Puzzle“, in der der deutsche Mittelstand seit Jahrzehnten brilliert.

Studien zu Smart Grids und dezentralen Energiesystemen betonen immer wieder, dass **Interoperabilität und offene Standards** entscheidend sind, um Insellösungen zu vermeiden. Hier können Unternehmen, die sich auf saubere Schnittstellen und robuste Integration spezialisiert haben, eine Schlüsselrolle spielen.

4. Qualifizierung und Geschäftsmodelle

Mit jeder neuen Wallbox, jedem HEMS, jedem V2H-System entstehen **Wartungs- und Servicebedarfe**:

- Firmware-Updates,
- Fehlerdiagnose,
- Anpassung an neue Tarife oder PV-Erweiterungen.

Handwerksbetriebe, die sich früh qualifizieren, können hier wiederkehrende Geschäftsmodelle aufbauen – statt nur einmalige Installationsaufträge.

Beispiele für neue Geschäftsmodelle:

- „Rundum-sorglos-Paket“: PV + Speicher + Wallbox + HEMS + Wartung.
- „Energiemanagement-as-a-Service“: Fernüberwachung und Optimierung von HEMS/Wallbox-Flotten.
- „Flottenlösungen für kleine Betriebe“: Firmenparkplätze mit dynamischem Lastmanagement, Abrechnung pro Mitarbeiter, Integration in Lohnbuchhaltung.

Im Krimi „Tatort Auspuff“ rückt in diesem Kapitel deutlich hervor:

Die Zukunft der Mobilität entscheidet sich nicht nur im Autohaus und im Werk,

sondern in Garagen, auf Dächern, in Serverräumen deutscher Mittelständler

–

überall dort, wo Auto, Haus und Netz zu einem System verschmelzen.

Für Deutschland ist das eine riesige Chance:

- Technisch – weil viel vorhandenes Know-how (Elektroinstallation, Heiztechnik, Gebäudeautomation) direkt nutzbar ist.
- Wirtschaftlich – weil hier Arbeitsplätze entstehen, die sich nicht „mal eben“ ins Ausland verlagern lassen.
- Klimapolitisch – weil jeder vernetzte Haushalt mit E-Auto ein kleines Stück Energiewende konkret macht.

Und für dich als Leser*in: Es zeigt, dass dein Auto in Zukunft weit mehr sein kann als ein Fortbewegungsmittel. Es wird zum Baustein eines Systems, in dem du selbst – mit deiner Dachfläche, deiner Wallbox, deiner Fahrweise – aktiv mitermittelst, wie sauber, effizient und stabil unser Energiesystem von morgen sein wird.

21.1 Wandel der Wertschöpfungsketten: Motorenwerke vs. Zellfertigung

Wenn unser Ermittler auf die „Fallakte Deutschland“ schaut, sieht er zuerst eine beeindruckende Zahl: Rund **770.000 Menschen** arbeiten hierzulande direkt in der Automobilindustrie – in Produktion, Entwicklung, Verwaltung. Über Jahrzehnte war der Motor das Zentrum dieser Wertschöpfung: Gießereien, Kurbelwellenfertigung, Nockenwellen, Einspritzpumpen, Turbolader, Getriebe, Abgasstränge. Ganze Regionen – vom Ruhrgebiet über Baden-Württemberg bis nach Franken und Sachsen – hängen an diesem „Herzstück“ Verbrenner.

In der klassischen Wertschöpfung eines Verbrenner-Pkw stecken viele Arbeitsstunden genau dort: im **Antriebsstrang**. Eine aktuelle VDA/Prognose-Studie fasst das nüchtern zusammen: Der Arbeitsaufwand im Antriebsstrang eines E-Fahrzeugs ist im Schnitt um **rund ein Drittel geringer** als bei einem Verbrenner. Weniger Bauteile, weniger mechanische Fertigung, weniger Montageaufwand. Für Motorenwerke und Getriebehersteller ist das ein klarer Warnhinweis.

Gleichzeitig verschiebt sich die Wertschöpfung massiv in neue Bereiche. McKinsey schätzt, dass bei Elektrofahrzeugen **40–50 % des Fahrzeugwertes** auf nicht-traditionelle Komponenten entfallen: Batterien, Leistungselektronik, Halbleiter, Software. Analysen der IEA und anderer Organisationen zeigen, dass die Batterie dabei der größte Einzelkostenblock ist – ihr Anteil an den Gesamtkosten eines BEV liegt je nach Segment häufig bei **30–40 %**.

Die Wertschöpfungskette eines Elektroautos sieht also ganz anders aus als die eines Verbrenners:

- **Früher:** Erz – Stahl – Guss/Maschinenbau – Motor/Getriebe – Fahrzeug.
- **Heute:** Rohstoffe (Lithium, Nickel, Graphit, Phosphat) – Kathoden/Anodenfertigung – Zellfertigung – Modul/Pack – Leistungselektronik – Software – Fahrzeug.

Europa holt hier auf: Eine aktuelle Marktanalyse zur europäischen Batteriezellproduktion zeigt, dass bis 2030 **über 1–2 TWh** Zellkapazität pro Jahr geplant sind – genug, um einen großen Teil des europäischen Fahrzeugbedarfs abzudecken, wenn die Projekte tatsächlich realisiert

werden. Unter dem Dach der europäischen IPCEI-Batterieprojekte fördert Deutschland gemeinsam mit anderen EU-Staaten Zellfertigung, Materialproduktion und Recycling.

Für die Wertschöpfung bedeutet das:

- Wertschöpfung **wandert** von Gießereien und Maschinenbearbeitung hin zu **Chemie, Materialtechnik, Automatisierung und Elektronik**.
- Statt Einspritzdüsen und Kolbenringen stehen künftig **Elektrodenbeschichtung, Separatoren, Zellmontage, Batteriemanagementsysteme** im Fokus.
- Die hohen Investitionen in Gigafactories (z. B. PowerCo, ACC, CATL in Thüringen) zeigen: Wer Batterien in Europa baut, holt einen großen Teil der neuen Wertschöpfung zurück.

In unserem Krimi ist das der Moment, in dem klar wird: Der „Tatort Auspuff“ ist nur die sichtbare Spitze. Darunter liegt eine **tiefgreifende Verlagerung der Wertschöpfungsketten**. Die Frage ist nicht, ob diese Verlagerung kommt – sie läuft bereits. Die eigentliche Frage lautet:

Passiert sie **mit** deutschen Standorten – oder **an ihnen vorbei**?

Ob Motorenwerke zu Batteriewerken werden, ob Getriebehersteller morgen E-Achsen montieren oder Zellmodule verschweißen, hängt davon ab, wie entschlossen und früh Unternehmen und Politik diese neuen Wertschöpfungsketten hier ansiedeln.

21.2 Studien zu Beschäftigungseffekten: Risiken und neue Chancen

Im Vernehmungsraum „Arbeitsmarkt“ liegen einige dicke Gutachten auf dem Tisch. Sie zeichnen kein Horrorbild, aber sie reden auch nichts schön.

Die VDA/Prognos-Studie „Beschäftigungsperspektiven in der Automobilindustrie“ (2024) kommt zu einer klaren Diagnose: Setzt sich der seit 2019 beobachtete Trend fort, könnte die Beschäftigung in der deutschen Autoindustrie bis **2035** um knapp **190.000 Personen** zurückgehen. Besonders betroffen sind antriebsstrangnahe Zulieferer – genau jene Betriebe, die Kolben, Einspritzsysteme, Getriebe oder Abgasanlagen herstellen. Gleichzeitig weist die Studie darauf hin, dass das **Arbeitsangebot** in der Branche durch Verrentung und Demografie um rund

6,3 % sinkt – ein Teil der Anpassung kann also über natürliche Fluktuation laufen, nicht nur über Entlassungen.

Andere Zahlen sind ebenfalls deutlich: Eine EY-Analyse zeigt, dass die deutsche Industrie insgesamt seit 2019 rund **250.000 Stellen** verloren hat, davon alleine im letzten Jahr über **50.000 Jobs** in der Autoindustrie. Hauptgründe: hoher Wettbewerbsdruck aus Asien, hohe Kosten, US-Zölle und die teure Transformation zu E-Antrieben.

Das klingt dramatisch – und ist es für die Betroffenen auch. Aber die Studien haben eine zweite Seite:

- Fraunhofer IAO hat bereits 2020 im Projekt „**Employment 2030**“ für Volkswagen untersucht, wie sich Elektromobilität und Digitalisierung auf Arbeitsmenge und Qualifikationsbedarf auswirken. Ergebnis: Die Jobverluste fallen **deutlich geringer** aus als frühe Schreckensszenarien vermuten ließen, wenn gezielt gegengesteuert wird (neue Geschäftsfelder, Weiterqualifizierung). Kurzfristig kann Digitalisierung sogar zu **zusätzlichem Personalbedarf** führen, weil der Aufbau neuer IT- und E-Mobilitätsstrukturen Arbeit schafft.
- Eine BCG/Agora-Studie zeigt, dass die Transformation mit einer aktiven Industriepolitik und Qualifizierungsstrategie **in Summe jobneutral oder sogar positiv** ausfallen kann – ohne diese Politik drohen dagegen massive Arbeitsplatzverluste und Wertschöpfungsabwanderung.

Auf europäischer Ebene beziffert McKinsey den potenziellen Wertschöpfungseffekt der EV-Transformation bis 2035 auf eine Spanne von **+300 bis -400 Milliarden Euro** – also eine Differenz von **700 Milliarden**, je nachdem, wie gut die Industrie und die Politik reagieren. In dieser Spanne stecken natürlich auch entsprechende Beschäftigungseffekte.

Wichtig: Die Jobs verschwinden nicht einfach „ins Nichts“, sie **wandern** – in andere Teile der Wertschöpfung:

- Batteriezellfertigung und -recycling
- Produktion von Leistungselektronik, Halbleitern, Sensorik
- Softwareentwicklung, Datenanalyse, Cybersecurity
- Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur, Energiemanagement, HEMS
- Engineering für neue Fahrzeugarchitekturen (E-Achsen, HV-Systeme, Thermomanagement)

IEA-Analysen zur Batterie- und EV-Wertschöpfung zeigen, dass der weltweite Markt für Batterien, Komponenten und Materialien rasant wächst und erhebliche Beschäftigungspotenziale mit sich bringt – wenn Produktion und Entwicklung nicht ausschließlich in Asien stattfinden.

Der Krimi-Twist in diesem Kapitel ist:

- Ja, es gibt ein **realistisches Risiko** von Jobverlusten, insbesondere in klassischen Motoren- und Getriebewerken.
- Gleichzeitig gibt es ein **sehr großes Potenzial** an neuen Jobs – aber sie entstehen nicht automatisch dort, wo die alten verschwinden.

Ob Deutschland am Ende mehr, weniger oder andere Jobs hat, hängt davon ab, ob es gelingt, neue Wertschöpfung (Batterien, Software, Power-Elektronik, Infrastruktur) **in nennenswertem Umfang hierzulande anzusiedeln** und Beschäftigte mitzunehmen. Die Gutachten sind sich im Kern einig: Die Transformation ist kein Naturgesetz – sie ist eine **Gestaltungsaufgabe**.

21.3 Industriepolitik und Förderung: Wie Deutschland seine Stärken nutzen kann

Im nächsten Verhörraum sitzt die Politik. Sie ist nicht Täterin, aber sie trägt Mitverantwortung dafür, ob der Fall „Transformation“ glimpflich ausgeht oder eskaliert.

Auf EU-Ebene ist der wichtigste neue Baustein der **Net-Zero Industry Act (NZIA)**. Ziel: Bis 2030 soll die EU **mindestens 40 %** ihres Bedarfs an Schlüsseltechnologien für die Energiewende – darunter Batterien, Elektrolyseure, PV, Windkraft – aus eigener Produktion decken. Statt primär mit Subventionen zu arbeiten, setzt der NZIA vor allem an anderer Stelle an: schnellere Genehmigungen, vereinfachte Verfahren, „Strategic Projects“ mit Behörden-Fast-Track. Für die Autoindustrie heißt das: Batteriefabriken, Zellfertigung, Materialien und Recycling sollen **einfacher und schneller** in Europa gebaut werden können – ein klarer Standortvorteil, wenn er konsequent genutzt wird.

Ein zweiter europäischer Hebel sind die **IPCEI-Projekte („Important Projects of Common European Interest“)** zu Batterien. Unter diesem Dach kooperieren u. a. Deutschland und Frankreich, um mit erleichterten Beihilferegeln Milliarden in Zellfertigung, Materialproduktion und Recycling

zu lenken. Die Idee: Statt jeder für sich zu kämpfen, baut man eine gemeinsame europäische Batterieindustrie auf – von der Rohstoffaufbereitung bis zum Recycling.

Deutschland selbst hat in den letzten Jahren mehrere große Programme aufgelegt:

- Das BMWK-Programm „**Zukunftsinvestitionen in der Fahrzeugindustrie**“ stellt rund **2 Mrd. €** bereit, u. a. für die Modernisierung der Produktion, Digitalisierung und neue Antriebstechnologien.
- Ein ergänzender „**Zukunftsfonds Automobilindustrie**“ unterstützt speziell KMU und Zulieferer bei der Transformation, etwa durch Innovationsprojekte und Kooperationen.
- Zusätzlich fließen Milliarden in Ladeinfrastruktur – z. B. **900 Mio. €** für private Ladepunkte und **2 Mrd. €** im Zuge des „Deutschlandnetzes“ für Schnellladeinfrastruktur.

Auf EU-Ebene kommt noch der **Innovation Fund** hinzu – finanziert aus Einnahmen des Emissionshandels, mit einem Volumen von mehreren 10 Milliarden Euro, der Pilotanlagen für CO₂-arme Schlüsseltechnologien (u. a. Batterien, Wasserstoff, industrielle Effizienz) fördert.

Klingt nach viel Geld – aber Geld allein löst das Problem nicht. Entscheidend ist, **wofür** es eingesetzt wird:

1. **Stärken stärken** Deutschland ist stark in Maschinenbau, Automatisierung, Chemie, Hochvolttechnik. Industriepolitik muss genau hier ansetzen: Förderprogramme, die Batteriezellproduktion, Anlagenbau für Batteriefabriken, Leistungselektronik, Recycling und Softwareentwicklung kombinieren – idealerweise in regionalen Clustern.
2. **KMU und Zulieferer einbinden** Studien (u. a. IW Köln, IPE) zeigen, dass vor allem **mittelständische Zulieferer** Gefahr laufen, abgehängt zu werden, wenn sie keinen Zugang zu Transformationswissen, Finanzierung und Märkten bekommen. Programme müssen deshalb nicht nur OEMs, sondern gezielt **KMU** adressieren: Konsortialprojekte, Innovationsnetzwerke, erleichterter Zugang zu IPCEI-/NZIA-Projekten.

3. **Qualifikation als harte Industriepolitik** Upskilling ist kein „Sozialanhängsel“, sondern eine **zentrale Industriepolitik-Maßnahme**. Gutachten für das BMWK betonen, dass die größte Hürde oft nicht fehlende Maschinen, sondern fehlende Kompetenzen in Betrieben sind. Jede Förderung für neue Technologien sollte deshalb Qualifizierung mitdenken.

Kurz gesagt: Industriepolitik ist in dieser Phase nicht das „Zuckerguss-Programm“, sondern der **Rahmen, in dem sich entscheidet, ob Deutschland vom Verbrenner-Champion zum E-Pionier wird oder zum verlängerten Montageband für ausländische Plattformen.**

21.4 Narrative ändern: von Angst („Jobverlust, Blackout“) zu Gestaltung („Made in Germany 2.0“)

Zum Schluss dieses Kapitels betreten wir den vielleicht wichtigsten, aber am schwersten greifbaren Tatort: die **öffentliche Wahrnehmung**. Hier sitzt der wahre Hauptverdächtige: **Angst** – vor Jobverlust, vor Deindustrialisierung, vor Blackouts.

Umfragen zeigen ein ambivalentes Bild:

- Laut KfW-Energiewende-Barometer unterstützen **über 90 %** der deutschen Haushalte grundsätzlich die Energiewende – also den Weg zu einem klimaneutralen Energiesystem.
- Gleichzeitig sorgen sich viele Menschen um **Kosten, soziale Gerechtigkeit und Versorgungssicherheit**. Medienberichte über angebliche Blackout-Gefahren verstärken diese Sorgen – obwohl Expertenanalysen zeigen, dass Deutschland eines der **zuverlässigsten Stromsysteme der Welt** hat: 2021 lag die durchschnittliche Stromausfallzeit bei nur rund 13 Minuten im Jahr.

Das Problem: Wenn die Geschichte vor allem so erzählt wird – „alles wird teurer, Jobs gehen verloren, das Netz bricht zusammen“ –, entsteht eine Blockadehaltung. In unserem Krimi wären das die Zeugen, die ständig sagen: „Bringt ja eh nichts, alles nur Symbolpolitik.“

Dabei gibt es eine andere, ebenso wahre Geschichte:

- Die deutsche Industrie hat schon mehrfach riesige Transformationen bewältigt – von der Dampfmaschine zum Verbrenner, vom Schaltgetriebe zum DSG, von Analogtechnik zur digitalen Steuerung.
- Die aktuelle Transformation ist hart, aber sie birgt auch die Chance, dass **„Made in Germany“** neu definiert wird: als Siegel für klimaneutrale, hochkomplexe Mobilitäts- und Energiesysteme, nicht nur für Hubraum und Chrom.

Was heißt „Narrative ändern“ konkret?

1. **Vom „Verzicht“ zur „Modernisierung“**
Statt nur zu sagen: „Wir müssen auf Verbrenner verzichten“, kann man sagen:
„Wir modernisieren unsere Industrie, damit sie in 20 Jahren noch Jobs bietet“ – eine Formulierung, die vielen Beschäftigten näher ist. Studien wie die von McKinsey oder Prognos zeigen ja genau: Ohne Modernisierung drohen die größten Verluste; mit Modernisierung gibt es neue Wertschöpfung.
2. **Vom „Blackout“ zur „Stabilitäts-Story“**
Statt abstrakte Blackoutängste zu bedienen, kann man erklären:
 - Deutschland hat heute eines der stabilsten Netze weltweit.
 - E-Autos und Batterien können – richtig eingesetzt – die Netzstabilität sogar **verbessern**, indem sie Lastspitzen puffern.
3. **Vom „Jobverlust“ zum „Jobwechsel mit Plan“**
Ehrlich: Ja, es gibt Jobs, die verschwinden. Aber es gibt auch viele neue Rollen. Gutachten von Fraunhofer, IW, BCG und anderen betonen: Wer **Weiterbildung, Qualifizierung und Standortpolitik** ernst nimmt, kann die Zahl der Qualitätsarbeitsplätze stabil halten oder sogar erhöhen – nur mit anderen Jobprofilen.
4. **Made in Germany 2.0**
Das neue Narrativ könnte lauten:

„Wir sind das Land, das aus der Industriemacht der Verbrennerzeit die Technologiemacht der Klimazeit macht.“

Konkret:

- E-Mobilität „Made in Germany“ heißt: sichere Fahrzeuge, effiziente Systeme, saubere Lieferketten, hohe Recyclingquoten.
- Batterien „Made in Europe“ heißen: weniger Abhängigkeit, bessere Umweltstandards, faire Arbeitsbedingungen.
- Software „Made in Germany“ heißt: Datenschutz, Sicherheit, Zuverlässigkeit – kombiniert mit globaler Wettbewerbsfähigkeit.

In unserem Krimi ist das der Moment, in dem der Ermittler merkt: Der wahre Gegner ist nicht der E-Motor oder die Zellchemie, sondern das Bild in unseren Köpfen.

Solange die Geschichte nur vom Verlust erzählt, wird jede Maßnahme wie ein Angriff empfunden. Erzählt man sie als **Gestaltungsaufgabe**, bei der Deutschland seine Stärken ausspielt – Ingenieurskunst, Industrietradition, Sozialpartnerschaft –, dann wird aus der Angst-Story eine Entwicklungs-Story: „**Made in Germany 2.0**“.

Und genau diese neue Erzählung braucht es, damit die vielen technischen, wirtschaftlichen und politischen Bausteine, die wir in den vorherigen Kapiteln untersucht haben, am Ende auch gesellschaftlich getragen werden.

22.1 Mögliche Entwicklungspfade (optimistisch, realistisch, pessimistisch)

Unser Ermittler hat den Tatort verlassen und steht jetzt vor einer Pinnwand voller Karten, Kurven und Szenarien. 2035, 2040, 2050 – drei Jahrzehnte, drei mögliche Zukünfte. Alle sind technisch denkbar, politisch umkämpft und gesellschaftlich offen.

Der realistische Pfad – „Weiter so, aber schneller“

Beginnen wir mit der wahrscheinlichsten Version: dem „realistischen“ Szenario unter heutigen Politikrahmen. Die Internationale Energieagentur (IEA) erwartet in ihrem Global EV Outlook, dass mit der aktuellen Gesetzeslage die weltweiten Neuzulassungen von E-Autos bis 2030 auf rund **40 %** steigen und bis 2035 auf knapp **55 %** anwachsen könnten. Das heißt: Mehr als jedes zweite neu zugelassene Auto wäre batterieelektrisch – aber der Bestand an Autos insgesamt wäre noch lange nicht umgestellt, weil Fahrzeuge 10–20 Jahre laufen.

Im **World Energy Outlook 2025** zeichnet die IEA im „Current Policies Scenario“ ein eher gebremstes Bild: Der EV-Anteil an den Neuzulassungen steigt zwar, **plateauiert aber nach 2035 bei etwa 40 %**, während Ölverbrauch im Verkehr nur langsam sinkt und in anderen Sektoren (Petrochemie, Aviation, Lkw) weiter hoch bleibt. Das wäre die Version, in der die Transformation zwar stattfindet, aber zäh – gebremst von politischem Widerstand, Infrastrukturdefiziten und Unsicherheit bei Konsumenten.

Unser Ermittler würde sagen: „Der Fall wird gelöst – aber zu spät, um alle Opfer zu verhindern.“ Klimaziele (1,5–2 °C) wären damit kaum einzuhalten.

Der optimistische Pfad – „Netto-Null schafft es in den Hauptsaal“

Das optimistische Szenario entspricht etwa der IEA-NZE-Roadmap („Net Zero by 2050“): Hier steigen EV-Neuzulassungen bis 2030 weltweit auf rund **60 %** und die E-Flotte wächst bis 2030 auf **380 Millionen Fahrzeuge**, später geht es weiter steil nach oben. Bis 2050 wären dann in vielen Ländern praktisch alle Pkw-Neuzulassungen elektrisch, für den Bestand bleiben nur Nischen von Verbrennern – z. B. Oldtimer, Spezialfahrzeuge oder Regionen ohne Infrastruktur.

In diesem Pfad ist die Elektromobilität eingebettet in ein breites Klimapaket:

- massiver Ausbau erneuerbarer Energien,
- strombasierte E-Fuels für Luft- und Seeverkehr,
- starke Reduktion des Gesamtverkehrsaufkommens in Städten durch ÖPNV, Rad, Sharing.

Der Ölverbrauch im Verkehrssektor sinkt so schnell, dass globale Klimaziele noch erreichbar bleiben. In unserem Krimi wäre das der seltene Fall, in dem alle Puzzleteile rechtzeitig zusammenfinden und der Täter „Fossile Abhängigkeit“ am Ende wirklich im Gerichtssaal steht.

Der pessimistische Pfad – „Fossile Comeback-Story“

Im pessimistischen Szenario passiert das Gegenteil: Politischer Gegenwind, populistische Kampagnen gegen „Verbrennerverbote“, Angst vor Jobverlust und hohe Strompreise bremsen die EV-Adoption. Teile der Politik lockern Vorgaben (z. B. EU-Debatten über eine Aufweichung des Verbrenner-Aus 2035), synthetische Kraftstoffe werden als Ausrede genutzt, den Verbrenner länger zu erhalten.

Die IEA zeigt in ihrem „Current Policies Scenario“, was dann passiert:

- Ölverbrauch steigt weiter bis 2050, auf über **110 Mio. Barrel pro Tag**,
- EV-Anteile stagnieren bei ~40 % Neuzulassungen,
- die Klimaziele von Paris werden verfehlt, 1,5 °C rückt außer Reichweite.

In dieser Version des Krimis gewinnen die alten Strukturen noch einmal Zeit – aber zum Preis massiver Klimarisiken, extremer Wetterereignisse und langfristig höherer volkswirtschaftlicher Schäden.

Wo landen wir am Ende?

Die Wahrheit liegt vermutlich zwischen „optimistisch“ und „realistisch“ – und hängt stark ab von:

- wie konsequent Länder wie EU, China, USA ihre Klimapolitik umsetzen,
- wie schnell Batteriekosten weiter fallen,
- ob die Branche Vertrauen schafft (Ladeinfrastruktur, Preise, Zuverlässigkeit),

- ob Medien und Politik den Fall als **Gestaltungsaufgabe** erzählen – oder als Angstszenario.

Unser Ermittler fasst die Pinnwand zusammen: Die Elektromobilität **kommt** – die Frage ist nicht ob, sondern wie schnell, wie fair und mit welchen Begleiterscheinungen.

22.2 Rolle von Batterien, Wasserstoff, synthetischen Kraftstoffen in Nischen

In diesem Unterkapitel gehen wir mit der Taschenlampe durch die „Antriebslandschaft der Zukunft“ und schauen, wer wo die Hauptrolle spielt – und wer eher in Nebenrollen glänzt.

Batterien: der Star im Pkw-Segment

Nahezu alle Szenarien – von der IEA bis zu unabhängigen Forschungsgruppen – sehen **batterieelektrische Fahrzeuge** als dominierende Technologie im Pkw-Bereich und bei leichten Nutzfahrzeugen. Gründe sind simpel:

- höchste **Energieeffizienz** „Strom → Rad“,
- fallende Batteriekosten,
- vorhandene Ladeinfrastruktur lässt sich Schritt für Schritt ausbauen,
- direkte Integration in das Stromsystem (PV-Eigenverbrauch, HEMS, V2H/V2G).

Studien zeigen, dass BEV bis spätestens 2030 weltweit in Anschaffungs- und Betriebskosten gegenüber Verbrennern gleichziehen oder günstiger werden – vor allem, wenn CO₂-Preis und Kraftstoffsteuern steigen.

Wasserstoff: Spezialist für Schwerlast, Langstrecke und bestimmte Nischen

Beim Wasserstoff ist das Bild differenzierter. Analysen von Forschungseinrichtungen und Verbänden wie Hydrogen Europe oder VDE kommen relativ übereinstimmend zu dem Schluss:

- **Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)** sind im Pkw-Massenmarkt gegenüber BEV ineffizienter und teurer, könnten aber in bestimmten Nischen eine Rolle spielen (z. B. Taxis mit hoher Laufleistung, Regionen mit H₂-Infrastruktur).

- Im **Schwerlastverkehr** sieht die Forschung gute Chancen für Wasserstoff, vor allem auf sehr langen Relationen oder dort, wo hohe Nutzlast und kurze Tankzeiten entscheidend sind. Eine aktuelle Studie zeigt, dass FCEV im Fernverkehr ab bestimmten Laufleistungen und H₂-Preisen wettbewerbsfähig werden können, während BEV vor allem im regionalen und leichten Transport dominieren.

Kurz gesagt:

- BEV für **Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, urbane Logistik**,
- FCEV als Option für **Langstrecken-Lkw, Busse, Spezialfahrzeuge**,
- H₂ zudem als Energieträger für Industrieprozesse und ggf. als saisonaler Speicher.

Synthetische Kraftstoffe (E-Fuels): teure Jokerkarte

E-Fuels – synthetische, strombasierte Kraftstoffe aus grünem Wasserstoff und CO₂ – können in bestehenden Motoren und Infrastrukturen verwendet werden. Klingt perfekt, oder? Leider nur auf dem Papier, denn der Haken ist der **Energieaufwand**:

- Für eine kWh am Rad braucht man ein Mehrfaches an erneuerbarem Strom im Vergleich zu einem direkten BEV – weil Umwandlungsverluste in Elektrolyse, Synthese, Transport und Motor anfallen.

Darum sehen Expert:innen E-Fuels vor allem in folgenden Rollen:

- **Aviation:** Sustainable Aviation Fuels (SAF), inkl. E-Kerosin, sind so gut wie alternativlos, weil Langstreckenflüge mit Batterien auf absehbare Zeit nicht praktikabel sind. Die EU fördert SAF massiv und schreibt steigende Quoten vor; Studien zeigen, dass SAF die Lebenszyklus-Emissionen von Flügen um bis zu 80 % senken können.
- **Schifffahrt:** E-Diesel, E-Methanol, Ammoniak und andere E-Fuels werden als zentrale Hebel für die Dekarbonisierung von Frachtern gesehen.
- **Bestandsflotte:** Für die hunderte Millionen bestehenden Verbrenner weltweit können E-Fuels in geringem Umfang den CO₂-Fußabdruck senken, ohne alle Fahrzeuge sofort auszutauschen – z. B. als Beimischung.

Für neue Pkw sind E-Fuels laut vielen Studien und Verbänden ein **Nischenprodukt**: zu teuer, zu energieintensiv, zu wenig verfügbar – und der grüne Strom wird anderswo dringender gebraucht.

Das Zusammenspiel bis 2050

Wenn wir all das zusammenfügen, ergibt sich ein Bild für 2035–2050, das auch in vielen Langfristszenarien so auftaucht:

- **Batterie-BEV** dominieren Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.
- **FCEV** gewinnen Marktanteile bei schweren Lkw und in bestimmten Flotten.
- **E-Fuels/SAF** sind unverzichtbar für Luftfahrt und Teile der Schifffahrt und dienen als „Klimapflaster“ für die Bestandsflotte von Verbrennern.

Unser Ermittler würde auf seinen Notizblock schreiben:

„Batterien lösen den Fall auf der Straße.
Wasserstoff übernimmt die langen, schweren Strecken.
E-Fuels räumen in den Ecken auf, wo sonst niemand hinkommt.“

22.3 Globale Mobilitätsmuster: autonom, geteilt, vernetzt, elektrisch

Zum Schluss verlassen wir die Garage und treten hinaus in die Stadt des Jahres 2040 oder 2050. Die Frage ist: Stehen dort einfach nur andere Autos – oder hat sich die Art, **wie** wir uns bewegen, grundlegend verändert?

Autonom: Wenn das Auto selbst ermittelt

McKinsey, Beratungen und Forschungsprojekte entwerfen seit Jahren Szenarien, in denen **autonomes Fahren** eine zentrale Rolle spielt. In Umfragen geben rund **70 %** der Befragten an, sie könnten sich vorstellen, einen autonomen Shuttle zu nutzen – oft für Fahrten, die heute noch mit dem privaten Pkw erledigt werden.

In urbanen Szenarien („High Innovation / Shared eMobility“) übernehmen autonome elektrische Shuttles, Robo-Taxis und Lieferfahrzeuge einen großen Teil des Verkehrs:

- Sie fahren **elektrisch**,
- werden **zentral gesteuert** (Stauvermeidung, optimierte Routen),
- und können „on demand“ bestellt werden.

Eine Siemens-Studie zu urbaner Mobilität zeigt, dass in einem solchen Szenario die Treibhausgasemissionen im Verkehr einer Stadt bis 2035 um **30–90 %** reduziert werden können, bis 2050 sogar um bis zu **100 %** im Vergleich zu einem System ohne Elektrifizierung und Sharing – je nach Modus.

Im Krimi-Vokabular: Das Auto ist nicht mehr der „einsame Detektiv“, sondern Teil eines **Teams** aus vernetzten Fahrzeugen, das gemeinsam arbeitet.

Geteilt: Carsharing, Ridepooling, Mikromobilität

Studien zu Szenarien „Mobility 2035“ zeigen, dass ein erheblicher Teil der Bevölkerung bereit ist, die Nutzung vom Besitz zu trennen:

- In einer McKinsey-Befragung sagen **46 %** der Teilnehmenden, sie könnten sich vorstellen, ihr eigenes Auto in den nächsten Jahren durch andere Mobilitätsformen zu ersetzen,
- rund **30 %** planen, Micromobility oder Sharing-Angebote stärker zu nutzen.

Wenn Carsharing und Ridepooling – kombiniert mit gutem ÖPNV – im großen Maßstab funktionieren, passiert Folgendes:

- Die Zahl der benötigten Fahrzeuge pro 1.000 Einwohner sinkt,
- Parkflächen werden frei (Umnutzung für Grün, Wohnen, Gewerbe),
- E-Autos werden besser ausgelastet (mehr Kilometer pro Fahrzeug, weniger Standzeit).

Die Klimawirkung ist enorm: Weniger Fahrzeuge insgesamt, die zudem elektrisch fahren und häufiger geteilt genutzt werden, können je nach Szenario **20–40 %** zusätzliche Emissionsreduktion bringen – auf Basis der gleichen elektrischen Antriebstechnik.

Vernetzt: Wenn Daten den Verkehr lenken

Der dritte Baustein ist die **Vernetzung**:

- Fahrzeuge kommunizieren mit Ampeln, Parkhäusern, ÖPNV,
- Apps bündeln Echtzeitinfos zu Verkehr, Wetter, Fahrplänen, freien Ladesäulen,
- HEMS und Fahrzeug sprechen miteinander über Ladezeitpunkte und Strompreise.

In Kombination mit autonom und geteilt entsteht ein hochdynamisches System:

- Ein Algorithmus plant, wann Robo-Shuttles wo bereitstehen,
- E-Lieferfahrzeuge optimieren ihre Touren,
- das Stromnetz nutzt Fahrzeugflotten als Puffer (V2G),
- Stau und Parkplatzsuche werden reduziert.

Forschungsarbeiten zu „Smart Cities“ und „Shared eMobility“ zeigen, dass in solchen Szenarien die CO₂-Emissionen des Verkehrs, Luftschadstoffe und Lärm massiv sinken können – allerdings nur, wenn gleichzeitig **Flächenpolitik, ÖPNV-Ausbau und Regulierung** nachziehen (z. B. Parkraumbewirtschaftung, City-Maut, Reduktion von Fahrspuren für den MIV).

Elektrisch: Rückgrat statt Option

All das funktioniert nur wirklich sauber, wenn die Basis **elektrisch** ist – mit erneuerbarem Strom. Studien zu langfristiger Mobilität bis 2050 sind sich bemerkenswert einig:

- Ohne **Beinahe-Voll-Elektrifizierung** des Straßenverkehrs (Pkw + großer Teil der leichten Nutzfahrzeuge, plus signifikanter Anteil der Lkw) sind die Klimaziele kaum erreichbar.
- Autonom, geteilt und vernetzt verstärken den positiven Effekt, aber sie ersetzen nicht die Notwendigkeit, den Antrieb selbst zu dekarbonisieren.

In unserem Krimi bedeutet das:

Die Zukunftsmuster „autonom“, „geteilt“ und „vernetzt“ sind starke Nebenrollen, aber der Hauptdarsteller bleibt ein **elektrischer Antrieb**, gespeist aus einem sauberen Energiesystem.

2035–2050: Der offene Schluss

Wie sieht nun die Schlussequenz aus? Vielleicht so:

- In vielen Metropolen fahren vor allem **elektrische, geteilte und teils autonome Fahrzeuge**,

- im Umland und ländlichen Raum dominieren weiterhin private E-Autos,
- im Güterverkehr teilen sich Batterie-Lkw und Wasserstoff-Lkw die Aufgaben,
- Flugzeuge tanken zunehmend SAF/E-Kerosin, Schiffe fahren mit E-Fuels oder alternativen Antrieben,
- das Stromsystem ist eng mit der Mobilität verknüpft: Autos als Speicher, Netze als Lebensader.

Ob wir 2050 sagen werden „Der Fall ist gelöst“, oder ob es eher heißt „Wir haben Schlimmeres verhindert, aber die Akte bleibt offen“, hängt von den Entscheidungen der nächsten 10–15 Jahre ab.

Für unseren Ermittler – und für uns alle – bleibt damit eine letzte Erkenntnis:

Die Elektromobilität ist nicht das Ende der Geschichte, sondern der **Beginn eines neuen Kapitels**, in dem Auto, Energie, Stadt und Arbeit anders zusammenspielen als je zuvor. Ob daraus ein Thriller, eine Erfolgsgeschichte oder eine Mischung aus beidem wird, schreiben wir mit jeder Kaufentscheidung, jedem Gesetz, jeder Investition – und mit jeder kWh, die wir sinnvoller nutzen als früher.

Kapitel 23 – Schlussbild: Der Ermittler legt die Akte nieder

23.1 Rückblick auf die wichtigsten „Beweise“ (Effizienz, Emissionen, Kosten, Technik)

Stell dir vor, wir sitzen noch einmal im Vernehmungszimmer. Auf dem Tisch liegt die dicke Akte „Tatort Auspuff“. Der Ermittler – der dich jetzt über Hunderte Seiten begleitet hat – lehnt sich zurück, streicht mit der Hand über das Deckblatt und beginnt, laut zu sortieren, was wir eigentlich herausgefunden haben. Keine neuen Fakten mehr, keine weiteren Zeugen. Nur die Frage: **Was bleibt übrig, wenn man alles auf den Kern reduziert?**

Der erste große Stapel in der Akte trägt den Aufkleber „**Effizienz**“.

Wir haben gesehen, dass der klassische Verbrennungsmotor thermodynamisch eine eingebaute Schwäche hat: Von der Energie im Kraftstoff landet nur ein Bruchteil an den Rädern. Der Rest wird als Abwärme über Kühler, Abgas und Reibungsverluste an die Umwelt abgegeben. Du tankst pro 100 km viele Kilowattstunden in Form von Benzin oder Diesel – aber nur etwa ein Fünftel bis ein Drittel davon kommt wirklich als Vortrieb auf der Straße an. Der Rest ist „heißer Dampf“, buchstäblich.

Der Elektromotor spielt in einer ganz anderen Liga: Wirkungsgrade von 90–95 % im Motor selbst, dazu einfache Getriebe, kaum Leerlaufverluste, Rekuperation beim Bremsen. Selbst wenn du Verluste in der Batterie, im Inverter und im Stromnetz mitrechnest, bleibt am Ende: **Ein E-Auto nutzt die eingesetzte Energie viel besser.** Weniger Input, mehr Output. Effizienz ist kein Detail, sondern der rote Faden, der sich durch den ganzen Fall zieht.

Der zweite Stapel trägt die Aufschrift „**Emissionen**“.

Am Anfang standen wir am „Tatort Auspuff“ und haben uns angeschaut, was dort eigentlich herauskommt: CO₂, CO, NO_x, Feinstaub, unverbrannte Kohlenwasserstoffe. Auf dem Papier sind das chemische Formeln, aber in der Realität sind das Asthmaanfälle bei Kindern, Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei Erwachsenen, langfristig ein erhöhtes Krebsrisiko, gerade an viel befahrenen Straßen.

Wir haben gelernt: Ja, moderne Abgasnachbehandlung ist beeindruckende Ingenieurskunst. Katalysatoren, Partikelfilter, SCR-Systeme – sie holen viel raus aus dem, was früher ungefiltert in die Luft ging. Aber sie beseitigen das Problem nicht, sie **mildern** es. Und sie tun das unter idealen Bedingungen

am besten – warmgefahren, gewartet, ohne Manipulation. Im echten Alltag, mit vielen Kurzstrecken, kalten Starts und alternden Systemen, bleibt eine Menge übrig, die du einatmest, ohne dass du es siehst.

Beim E-Auto haben wir den Auspuff vom Auto weg verschoben, hinein ins Kraftwerk – **vorerst**, solange der Strommix nicht komplett erneuerbar ist. Das war ein wichtiger Punkt: Das E-Auto ist nicht automatisch klimaneutral. Aber es ist **lokal emissionsfrei** – an der Kreuzung, vor der Schule, in der Tiefgarage. Und je grüner der Strom wird, desto besser wird automatisch die Bilanz. Ohne dass du dein Auto tauschen musst.

Dann kommt der dritte Stapel: „**Kosten**“.

Am Anfang wirkte alles teuer. Neue Technik, höhere Anschaffungspreise, Ladeinfrastruktur. Aber als wir tiefer gegraben haben, zeigte sich ein anderes Bild:

- Die **Energiekosten pro 100 km** sind bei E-Autos – selbst mit heutigen Strompreisen – meist deutlich niedriger als bei Benzin und Diesel. Wer zu Hause oder mit PV lädt, fährt oft für ein Drittel oder die Hälfte dessen, was ein Verbrenner verbrennt.
- Die **Wartungskosten** sinken, weil viele typische Verschleißteile schlicht wegfallen: Öl, Zündkerzen, Kupplung, Abgasanlage.
- In vielen Ländern kommen steuerliche Vorteile, Förderungen, geringere Dienstwagenbesteuerung hinzu.

Damit verschiebt sich die Frage von „Was kostet mich das Auto beim Kauf?“ hin zu „Was kostet mich Mobilität über die nächsten 8–15 Jahre?“. In dieser Gesamtbilanz schneidet das E-Auto deutlich besser ab, besonders wenn du viel fährst und bewusst lädst.

Der vierte Stapel schließlich trägt den Titel „**Technik**“.

Hier liegen die Fotos und Protokolle aus den Laboren: Batteriechemien, Zellfertigung, Motorenentwicklungen, Leistungselektronik, Software. Wir haben verfolgt, wie sich Batterien von Blei und Nickel-Cadmium zu hoch entwickelten Lithium-Ionen-Systemen und LFP-Varianten entwickelt haben, wie kobaltärmere und perspektivisch kobaltfreie Chemien auf dem Vormarsch sind, wie Feststoffbatterien und Natrium-Ionen als nächste Wellen auftauchen.

Wir haben gesehen, wie der Elektromotor von einem altbekannten Industriewerkzeug zum Herzstück moderner Fahrzeuge wurde: Asynchron, permanentmagneterregt, fremderregt, Reluktanz – unterschiedliche Konzepte, alle mit hohen Wirkungsgraden, teils ohne seltene Erden. Und wir haben gesehen, wie deutsche Ingenieurskunst – Thermomanagement, Leichtbau, Fahrwerk, Crashesicherheit – auch im E-Zeitalter nicht verschwindet, sondern sich neue Betätigungsfelder sucht.

Am Ende blickt der Ermittler auf den gesamten Tisch:

- **Effizienz** spricht klar für den elektrischen Antrieb.
- **Emissionen** zeigen: Wer Abgase vermeiden will – lokal und global – kommt am E-Antrieb nicht vorbei.
- **Kosten** sagen: Wer Gesamtbetriebskosten betrachtet, erkennt die ökonomische Logik des Wechsels.
- **Technik** verrät: Die spannendsten Entwicklungen – von Batteriefertigung über Software bis Systemintegration – finden längst im elektrischen Umfeld statt.

Gibt es offene Punkte? Ja. Rohstofffragen, Recycling, soziale Folgen, globale Gerechtigkeit – all das haben wir nicht glattgebügelt. Aber die Beweisaufnahme zeigt deutlich: Der alte Hauptverdächtige **Verbrenner** hat seine beste Zeit hinter sich. Der neue „Tatverdächtige“, der Elektromotor, ist nicht perfekt, aber er ist **systematisch verbesserbar** – und Teil einer Lösung, nicht Teil des Problems.

Der Ermittler schlägt die Akte nicht zu, um sie zu vergessen, sondern weil die wesentlichen Beweise auf dem Tisch liegen. Die Frage „Wer ist der bessere Antrieb für die Zukunft?“ ist nicht mehr offen. Offen ist nur noch, **wie schnell** wir die Konsequenzen ziehen – und **wie fair** wir den Übergang gestalten.

23.2 Persönliche Perspektive: Wie unsere Mobilität aussehen könnte, wenn wir Mythen ablegen

Jetzt wechselt die Kamera die Perspektive. Weg vom Vernehmungszimmer, hin zu dir. Nicht als Ingenieur, nicht als Politiker, sondern einfach als Mensch, der morgens irgendwo losfährt und abends wieder ankommt.

Stell dir einen ganz normalen Tag im Jahr 2035 vor – nicht die perfekte Zukunftsstadt, sondern dein Alltag, nur ein paar Schritte weitergedacht.

Du wachst auf. Draußen vor dem Haus steht dein Auto – oder das Auto deiner Familie, oder vielleicht ein kleiner elektrischer Stadtflyer aus dem Carsharing, den du gestern Abend vor der Tür abgestellt hast. Du schaust auf dein Handy: Das HEMS zeigt dir, dass das Auto heute Nacht überwiegend in den günstigen Stunden und mit einem Anteil Solarstrom vom Vortag geladen hat. Dein Fahrzeug ist nicht zu 100 % voll, sondern genau so weit, wie du es eingestellt hast. 70 % reichen für deine üblichen Wege locker.

Auf dem Weg zur Arbeit ist dein Auto leiser als das, was du vielleicht von früher kennst. Kein Kaltstartgeräusch, kein Nageln, kein Schaltrucken. Im Stadtverkehr gleitest du mit vielen anderen – überwiegend elektrischen – Fahrzeugen durch die Straßen. Die Luft ist nicht perfekt, aber sauberer. Vor der Schule stehen keine dampfenden Auspuffe mehr im Standgas, während Eltern auf ihre Kinder warten.

Vielleicht nutzt du gar kein eigenes Auto mehr, sondern kombinierst ÖPNV, ein autonomes Shuttle und einen kleinen E-Roller. Das, was wir heute „multimodal“ nennen, fühlt sich dann nicht mehr nach Experiment an, sondern nach Normalität: Eine App zeigt dir, wie du am schnellsten und bequemsten von A nach B kommst – manchmal mit deinem eigenen Fahrzeug, manchmal mit einem geteilten. Du entscheidest nach Zeit, Komfort, Kosten – und nicht mehr aus Gewohnheit.

In der Mittagspause bekommst du eine kurze Nachricht: Dein Auto, das am Firmenparkplatz steht, hat ein paar Kilowattstunden ins Netz zurückgegeben, weil die Preise kurz hoch waren. Dein HEMS hat zugestimmt, weil du erst am späten Nachmittag wieder los musst und ein Puffer eingeplant war. Für dich ist das kein „Trading“, sondern einfach eine kleine Gutschrift auf der Stromrechnung am Monatsende. Energie fließt automatisch dahin, wo sie gerade gebraucht wird – und dein Auto ist ein Teil dieser Bewegung.

Abends, wenn du nach Hause kommst, merkst du, wie sehr sich deine innere Landkarte verändert hat. Früher war „Tankstelle“ ein fester Punkt in deiner Woche – heute ist das Laden ein Hintergrundprozess. Mal an der Wallbox, mal an einem Schnelllader auf der Langstrecke, mal am Firmenparkplatz. Statt „Ich muss noch tanken“ denkst du eher „Lädt der schon?“ – und oft ist die Antwort: „Ja, alles erledigt.“

Und die Mythen?

- Die Angst vor der Reichweite ist einer nüchternen Erfahrung gewichen: Dein Auto hat **mehr Reichweite, als du im Alltag brauchst**, und für die wenigen Langstrecken gibt es Schnelllader, die ohnehin mit deinen Pausen korrespondieren.
- Die Sorge um „das Netz“ hat sich relativiert: Du hast mitbekommen, dass Blackout-Szenarien nicht eingetreten sind, weil der Netzausbau Schritt für Schritt vorangegangen ist und flexible Lasten wie E-Autos, Wärmepumpen und Speicher gelernt haben, mitzuspielen.
- Die „Batteriepanik“ hat sich durch Jahre Alltagserfahrung gelegt: Du kennst Menschen, die seit zehn Jahren elektrisch fahren, deren Batterien nicht „explodiert“ sind, sondern immer noch solide Kapazität haben – und du weißt, dass es Recyclingströme gibt, die wertvolle Materialien zurückholen.

Vielleicht hast du nicht alle technischen Details im Kopf – du musst auch nicht. Aber du bemerkst: Das Bild, das du dir früher von Elektromobilität gemacht hast („teuer, kompliziert, unsicher“) stimmt mit deinem gelebten Alltag nicht mehr überein.

Es gibt immer noch Ärgernisse:

- eine Ladesäule, die mal nicht funktioniert,
- ein Softwareupdate, das zu spät kommt,
- ein politischer Beschluss, der dir widersprüchlich erscheint.

Aber die Grundrichtung ist klar: Mobilität ist **leiser, effizienter, vernetzter** geworden. Und sie fühlt sich weniger nach „Muss“ und mehr nach „Option“ an. Du hast mehr Wahlmöglichkeiten – zwischen Verkehrsmitteln, Tarifen, Nutzungskonzepten.

Würdest du in diesem Szenario jemals sagen: „Ich vermisse den Moment, wenn morgens der Motor kalt anspringt und nach Diesel riecht“? Vielleicht aus Nostalgie, so wie manche den Klang eines alten Vergasers mögen. Aber vermutlich nicht als Alltag.

Wenn wir die Mythen ablegen – „E-Autos sind nur für Reiche“, „das Netz bricht zusammen“, „das ist alles nur Ideologie“ – bleibt ein anderes Bild übrig:

- Technik, die sich im Alltag bewährt,

- Kosten, die beherrschbar sind oder sogar sinken,
- Städte, die etwas ruhiger, sauberer, lebenswerter werden,
- ein Energiesystem, das weniger von Ölpreisschocks und Krisen abhängig ist.

Die große Pointe ist: Dieser Alltag entsteht nicht durch einen großen Masterplan, der irgendwo im Ministerium liegt, sondern durch viele kleine Entscheidungen: deine, meine, die von Unternehmen, Kommunen, Stadtwerken. Elektromobilität ist nicht „die Revolution von oben“, sondern ein schrittweiser Umbau von unten und aus der Mitte der Gesellschaft heraus.

Die persönliche Perspektive am Ende dieses Buchs ist deshalb keine Science-Fiction, sondern ein Angebot: **So könnte dein ganz normaler Tag aussehen, wenn wir die Fakten ernst nehmen und die Angstbilder loslassen.**

23.3 Offene Fragen – und die Einladung an dich, selbst Teil der Lösung zu werden

Der Ermittler steht auf, nimmt die Akte „Tatort Auspuff“ in die Hand und geht langsam Richtung Regal. Aber er legt sie nicht in die Schublade „Erledigt“, sondern in ein Fach mit der Aufschrift „In Bearbeitung“. Der Fall ist weit genug aufgeklärt, um Entscheidungen zu treffen – aber er ist nicht endgültig abgeschlossen.

Denn es bleiben offene Fragen. Einige davon sind unbequem, andere sind Chancen im Wartestand. Zum Beispiel:

- **Rohstoffgerechtigkeit:** Wie stellen wir sicher, dass Lithium, Nickel, Phosphat, Kupfer unter Bedingungen gefördert werden, die Menschenrechte respektieren und Umweltzerstörung begrenzen? E-Autos lösen das Abgasproblem an der Straße, aber die Rohstofffrage bleibt eine globale Gerechtigkeitsfrage.
- **Globale Perspektive:** Wie vermeiden wir, dass Elektromobilität ein Projekt reicher Industriestaaten bleibt, während ärmere Länder weiter mit alten, dreckigen Gebrauchtfahrzeugen überschwemmt werden?

- **Stadt vs. Land:** Wie sorgen wir dafür, dass der Ausbau von Ladeinfrastruktur, ÖPNV und Sharing-Angeboten nicht nur Metropolen bevorzugt, sondern auch ländliche Räume mitnimmt?
- **Verkehrsmenge:** Reicht es, Antriebe zu tauschen, oder müssen wir auch darüber sprechen, **wie viel** Verkehr wir uns leisten wollen – flächenmäßig, energetisch, sozial?

Diese Fragen kann kein Motorenwerk und keine Batterie-Gigafactory alleine beantworten. Sie sind politisch, gesellschaftlich, kulturell. Und genau hier kommst du ins Spiel – nicht als „Konsument“, sondern als **Mitgestalter**.

Was kannst du konkret tun, außer vielleicht irgendwann ein E-Auto zu kaufen (oder es bewusst nicht zu tun, weil du andere Lösungen für dich besser findest)?

- Du kannst **Fragen stellen** – in deinem Umfeld, bei deinem Arbeitgeber, bei deiner Kommune:
 - Wo kommt der Strom für unsere Flotte her?
 - Warum gibt es hier noch keine Ladepunkte am Park-and-Ride?
 - Welche langfristige Strategie hat unsere Stadt für Verkehr und Energie?
- Du kannst **klüger mobil sein**, selbst ohne Technikfetisch:
 - Wegstrecken bündeln, Fahrgemeinschaften bilden, öfter Rad oder Bahn nutzen,
 - bei der nächsten Autowahl nicht nur auf PS und Listenpreis schauen, sondern auf Lebenszykluskosten und Nutzung.
- Du kannst in Gesprächen **Mythen entkräften**, ohne missionarisch zu werden:
 - Statt „E-Autos sind doch auch nicht besser“: „Lass uns mal die Zahlen anschauen.“
 - Statt „Das bringt alles nichts“: „Es bringt vielleicht nicht alles, aber deutlich mehr als nichts – und die Alternative ist Stillstand.“

Vielleicht bist du selbst in der Branche tätig – im Handwerk, bei einem Zulieferer, in der Energieberatung, in einer Kommune. Dann hast du zusätzlich Hebel in der Hand:

- Fortbildungen besuchen, die dich fit machen für neue Technologien,
- im eigenen Betrieb Projekte anstoßen,
- dich an Netzwerken beteiligen, die Know-how teilen und Fehler vermeiden helfen.

Und ja, du kannst wählen. Im ganz wörtlichen Sinne. Klimaziele, Industriepolitik, Förderprogramme, Rahmenbedingungen für Mobilität – all das sind **demokratische Entscheidungen**. Die Frage, ob ein Land wie Deutschland vom Verbrenner-Champion zum E-Pionier wird, ist keine Naturkonstante. Sie hängt davon ab, welche Geschichten in Wahlkämpfen erzählt werden, welche Prioritäten gesetzt werden, welche Koalitionen sich bilden.

Vielleicht hast du beim Lesen dieses Buches gemerkt, dass hinter vielen Schlagworten – „E-Autos sind Batteriemüll“, „wir verlieren alle Jobs“, „das Netz bricht zusammen“ – mehr Emotion als Fakten stecken. Wenn du jetzt besser unterscheiden kannst, **was Mythos und was belegbar ist**, dann ist schon viel gewonnen.

Der Ermittler dreht sich ein letztes Mal um und schaut dich an. Er sagt nicht: „Du musst.“ Er sagt:

„Du kannst mitentscheiden, wie die nächste Akte heißt. Ob sie ‚Klimakrise verschärft‘ oder ‚Industrie neu erfunden‘ heißen wird. Ob deine Kinder später sagen: ‚Warum habt ihr nichts gemacht?‘ Oder: ‚Gut, dass ihr nicht auf die Mythen hereingefallen seid.‘“

Dieses Buch ist kein Urteil, das über dir schwebt. Es ist eher ein **Werkzeugkasten**: Fakten, Zusammenhänge, Bilder, mit denen du dir selbst ein Urteil bilden kannst.

Vielleicht fährst du nach der Lektüre weiter Verbrenner – aus guten Gründen, weil es gerade nicht anders geht. Vielleicht steigst du um. Vielleicht fängst du an, in deinem Unternehmen Ladeplätze zu organisieren. Vielleicht diskutierst du beim nächsten Familienfest nicht mehr auf Bauchgefühl, sondern mit ein paar Zahlen im Kopf.

Ganz egal, welchen Weg du persönlich gehst:

- Du bist nicht nur Zuschauer in diesem Krimi,
- du bist eine der Figuren, die mitbestimmt, wie er ausgeht.

Der Ermittler legt die Akte nieder. Nicht, weil der Fall „Tatort Auspuff“ für immer abgeschlossen ist, sondern weil jetzt eine andere Phase beginnt. Die Beweisaufnahme ist weitgehend erledigt. **Ab jetzt geht es um Entscheidungen.**

Und die triffst – unter vielen anderen – auch du.