

# **ifa** Hybrid Real Endurance Test

## Verbrauchstest unter realen Bedingungen



Prof. Dr. Benedikt Maier  
Alexander Wottge (M. A.)  
Jannis Winter (B. A.)

**Institut für Automobilwirtschaft (IfA)**  
Hochschule für Wirtschaft und Umwelt (HfWU)  
vertreten durch die  
**ifa management GmbH**

Geislingen/St., September 2022



# **IfA Hybrid Real Endurance Test**

## Verbrauchstest unter realen Bedingungen

**Autoren:** Prof. Dr. Benedikt Maier, Alexander Wottge (M. A.) und Jannis Winter (B. A.)

Das Werk ist in all seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes  
ist ohne Zustimmung der Verfasser unzulässig und strafbar.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INHALTSVERZEICHNIS.....</b>                                         | <b>4</b>  |
| <b>1    AUSGANGSSITUATION UND ZIELSETZUNG .....</b>                    | <b>5</b>  |
| 1.1    AUSGANGSSITUATION.....                                          | 5         |
| 1.2    ZIELSETZUNG .....                                               | 6         |
| <b>2    KRAFTSTOFFVERBRÄUCHE VON PKW.....</b>                          | <b>8</b>  |
| 2.1    MESSVERFAHREN UND AUSWEIS VON KRAFTSTOFFVERBRÄUCHEN .....       | 8         |
| 2.2    EINFLUSSFAKTOREN AUF DEN KRAFTSTOFF- UND ENERGIEVERBRAUCH ..... | 10        |
| <b>3    STUDIENDESIGN: IFA HYBRID REAL ENDURANCE TEST .....</b>        | <b>13</b> |
| 3.1    FAHRZEUGE.....                                                  | 13        |
| 3.2    FAHRTSTRECKE.....                                               | 17        |
| 3.3    MESSVERFAHREN UND TECHNISCHE UMSETZUNG .....                    | 19        |
| 3.3.1    MESSUNG DER FAHRPERFORMANCE.....                              | 19        |
| 3.3.2    MESSUNG DES KRAFTSTOFFVERBRAUCHS .....                        | 21        |
| 3.4    DURCHFÜHRUNG UND ABLAUF DER MESSFAHRT .....                     | 23        |
| <b>4    STUDIENERGEBNISSE: IFA HYBRID REAL ENDURANCE TEST .....</b>    | <b>28</b> |
| 4.1    ERGEBNISSE VERGLEICHSPAAR TOYOTA RAV4 .....                     | 28        |
| 4.2    ERGEBNISSE VERGLEICHSPAAR TOYOTA YARIS.....                     | 33        |
| <b>5    FAZIT .....</b>                                                | <b>40</b> |
| <b>LITERATURHINWEISE.....</b>                                          | <b>42</b> |

# 1 Ausgangssituation und Zielsetzung

## 1.1 Ausgangssituation

Die ausgewiesenen Kraftstoffverbrauchswerte von Pkw stehen häufig in der Kritik. Im Mittelpunkt der Diskussionen stehen Abweichungen zwischen den innerhalb der Prüfstands-Tests ermittelten Kraftstoffverbräuchen und den letztlichen Realverbräuchen ährend der alltäglichen Fahrzeugnutzung. Die Rahmen- und Prüfbedingungen für die in Labor-Umgebung durchgeführten Tests sind im seit 2018 gültigen WLTP-Messverfahren (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) festgelegt. Dabei wurde dessen Vorgängerversion NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) vor allem aus dem Grund abgelöst, da der WLTP durch ein verschärftes Fahrprofil und seine stärkere Ausrichtung am Alltagsbetrieb realistischere Verbrauchsangaben zu Tage fördern sollte. Wenn auch die Verbrauchswerte durch den neuen Prüfzyklus näher an den Realverbräuchen liegen, ist auf Seiten der Fahrzeugnutzenden weiterhin eine spürbare Abweichung zu den realen Verbrauchswerten existent (DAT 2022).

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Labor-Werte zwar von den Kraftstoffverbräuchen im Realbetrieb abweichen, sie durch ihre universellen Testbedingungen jedoch eine objektive Vergleichbarkeit der Verbrauchswerte von verschiedenen Fahrzeugen untereinander sicherstellen. Die Anwendung des definierten Prüfverfahrens auf Plug-In-Hybride mit teilelektrifiziertem Antriebssträngen sowie rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge ist jedoch nur bedingt zielführend. Für diese Fahrzeuge gilt ein gesonderter Prüfmodus, der eine Vergleichbarkeit mit konventionell angetriebenen Fahrzeugen bzw. Hybridfahrzeugen ohne externe Lademöglichkeit nur schwer möglich macht. Zudem bringt der Testzyklus für Plug-In-Hybride derart niedrige Kraftstoffverbräuche hervor, die fernab von jeden in der Realität zu erreichenden Verbrauchswerten scheinen. So werden beispielsweise für SUV mit einem Leergewicht von über zwei Tonnen und einer Motorleistung im mittleren dreistelligen Bereich, Verbrauchswerte von teilweise unter zwei Litern auf 100 Kilometern ausgewiesen – Werte, die im alltäglichen Praxisgebrauch nicht erreichbar sind.

Für Konsumenten ist daher der direkte Vergleich der Verbrauchswerte zwischen unterschiedlichen Antriebsarten nur schwer möglich. Diese Transparenz wäre aus Verbrauchersicht jedoch erforderlich, um das passende Fahrzeug respektive die individuell passende Antriebsart auszuwählen. Musste sich noch vor wenigen Jahren in erster Linie zwischen Diesel- und Benzinantrieb entschieden werden, sind die Auswahlmöglichkeiten durch das zusätzliche Angebot von Vollhybriden, Plug-In-Hybriden und vollelektrischen Fahrzeugen heute bedeutend größer. Unklare Informationen über Kraftstoffverbräuche und eine eingeschränkte Vergleichbarkeit mit Plug-In-Hybriden erschweren daher die Entscheidungsfindung.

## 1.2 Zielsetzung

Die Ziele des IfA Hybrid Real Endurance Test sind vielschichtig. Zum einen möchte das Institut für Automobilwirtschaft (IfA) einen wertvollen Beitrag zur faktenbasierten Diskussion um reale Verbrauchsangaben leisten. Durch den IfA Hybrid Real Endurance Test wird die vielfach geäußerte Kritik an der Realitätsferne der ermittelten Verbrauchswerte aufgegriffen. Das am Institut für Automobilwirtschaft (IfA) entwickelte Testverfahren möchte die Kraftstoffverbräuche unter möglichst realen Bedingungen und im Alltagsgebrauch abbilden. Zudem soll das konzipierte Modell leicht verständlich sein und die tägliche Nutzungssituation eines breiten Fahrzeugnutzungsspektrums abbilden. Hierzu werden beispielsweise bei der Verbrauchsmessung verschiedene topografische Gegebenheiten berücksichtigt, mit denen Autofahrende in Deutschland konfrontiert sind. Ziel ist, einen möglichst realitätsnahen Verbrauchstest zu konzipieren, der sich zwar eng an den Parametern des WLTP-Prüfstandtests orientiert, bei den zentralen Testparametern jedoch noch detaillierte Vorgaben umfasst. So ist beispielsweise das Fahrprofil der Testfahrt angelehnt an das Nutzerprofil von Vielfahrenden, bei denen die Fahrzeuge überdurchschnittlich intensiv beansprucht werden.

Ein weiteres Ziel ist die Durchführung eines Effizienzvergleichs zwischen Voll- und Plug-In-Hybriden. Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, liegt den offiziell ausgewiesenen Verbrauchswerten von Plug-In-Hybriden (PHEV) ein grundlegend anderer Prüfmodus zugrunde als den konventionell angetriebenen Fahrzeugen bzw. auch Vollhybriden (HEV). Dies fördert bei PHEV die Ausweisung von realitätsfern wirkend niedrigen Verbrauchswerten und macht einen objektiven Vergleich von Plug-In mit anderen Fahrzeugen unmöglich.

Da jedoch vor allem teilelektrifizierte Fahrzeuge mit und ohne Stecker bei gewerblichen Nutzenden stark nachgefragt sind, soll mit den Ergebnissen des IfA Hybrid Real Endurance Tests insbesondere dieser Kundengruppe eine fundierte Entscheidungshilfe bereitgestellt werden. Zudem lassen die ermittelten Verbrauchswerte Rückschlüsse auf die letztlich Mobilitätskosten zu.

## 2 Kraftstoffverbräuche von Pkw

### 2.1 Messverfahren und Ausweis von Kraftstoffverbräuchen

Mit dem Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicles Test Procedure (WLTP) gibt es innerhalb der Europäischen Union ein standardisiertes Messverfahren zur Bestimmung von Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie Kraftstoff- bzw. Stromverbräuchen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen. Das WLTP-Prüfverfahren wurde seit September 2017 schrittweise eingeführt. Mit seinem verschärften Fahrprofil löste der WLTP den oftmals als zu realitätsfern und unrealistisch geltenden NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) ab, welcher seit den 1990er Jahren die Grundlage zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs darstellte (VDA 2018).

Wie der NEFZ als Vorgängerversion ist auch der WLTP ein Prüfstandtest, der unter Laborbedingungen eine Autofahrt simuliert. Um das WLTP-Testverfahren möglichst realitätsnah auszurichten, wurden dessen Rahmenbedingungen und der konkrete Ablauf des Fahrzyklus auf Grundlage weltweit gesammelter Fahrdaten aus der Praxis abgeleitet. Sie umfassen eine Vielzahl an definierten Parametern, zu denen u.a. die Zuladung, Reifendrucke, Schaltvorgänge oder auch die Umgebungstemperatur zählen. So ist im WLTP beispielsweise eine Zuladung von 15 Prozent der maximal zulässigen Zuladung vorgesehen. Auch ist die Temperatur in der Prüfkammer mit 23° Celsius exakt definiert (VDA 2018).

In Abhängigkeit vom individuellen Leistungsgewicht sieht der WLTP drei verschiedene Prüfzyklen für die Anwendung vor. Da der Großteil der aktuell in Deutschland verfügbaren Pkw und leichten Nutzfahrzeuge über ein Leistungsgewicht von mehr als 34 kW je Tonne Leermasse verfügen, werden sie als Klasse-3-Fahrzeug eingestuft und müssen anhand des für diesen Fahrzeugtyp vorgesehenen Fahrzyklus geprüft werden (UN 2018).

Der WLTP-Fahrzyklus, auch WLTC (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Cycle), beläuft sich für ein Fahrzeug der Klasse 3 auf eine Gesamtdauer von 30 Minuten und eine Wegstrecke von 23,262 Kilometern. Dabei ist für jede einzelne Sekunde genau festgelegt, mit welcher Geschwindigkeit das Fahrzeug auf dem Rollenprüfstand bewegt wird. Daraus ergibt sich dann ein sogenanntes Geschwindigkeitsprofil. Aufgeteilt ist der Fahrzyklus in insgesamt vier Abschnitte, die sich maßgeblich in ihrer Fahrperformance unterscheiden. So

simuliert der erste Fahrabschnitt „Low“ mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 19 km/h eher eine Fahrt im Stadtverkehr. Die Fahrabschnitte „Mid“ und „High“ entsprechen Fahrten auf Land- und Schnellstraßen. Der vierte Fahrabschnitt „Extra High“ hingegen kommt mit seiner Durchschnittsgeschwindigkeit von 92 km/h eher eine Autobahnfahrt nahe. In **Abbildung 1** sind die wesentlichen Rahmenbedingungen des WLTC-Fahrzyklus für ein Fahrzeug der Klasse 3 zusammengestellt. (UN 2018)

| Fahrabschnitt                                  | Low   | Mid   | High  | Extra High | Gesamt |
|------------------------------------------------|-------|-------|-------|------------|--------|
| Dauer, s                                       | 589   | 433   | 455   | 323        | 1.800  |
| Stillstandsdauer, s                            | 156   | 48    | 31    | 7          | 242    |
| Distanz, m                                     | 3.095 | 4.756 | 7.158 | 8.254      | 23.262 |
| Stoppanteil, %                                 | 26,5  | 11,1  | 6,8   | 2,2        | 13,4   |
| Höchstgeschwindigkeit, km/h                    | 56,5  | 76,6  | 97,4  | 131,3      | ---    |
| Durchschnittsgeschwindigkeit ohne Stopps, km/h | 25,7  | 44,5  | 60,8  | 94,0       | 53,8   |
| Durchschnittsgeschwindigkeit mit Stopps, km/h  | 18,9  | 39,5  | 56,6  | 92,0       | 46,5   |
| Maximale Verzögerung, m/s <sup>2</sup>         | -1,5  | -1,5  | -1,5  | -1,2       | -1,5   |
| Maximale Beschleunigung, m/s <sup>2</sup>      | 1,5   | 1,6   | 1,6   | 1,0        | 1,5    |

**Abbildung 1: Rahmenbedingungen WLTC-Fahrzyklus (Klasse 3)**

Quelle: United Nations (2018)

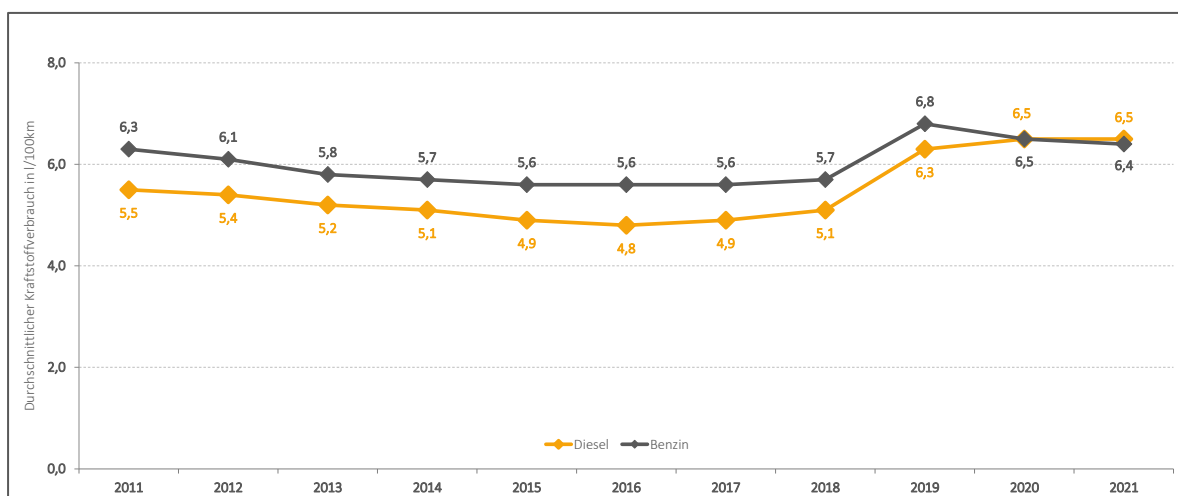
Neben der Berücksichtigung von verschiedenen Fahrsituationen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bezieht der WLTP auch Sonderausstattungen sowie die Aerodynamik beeinflussende Karosserievarianten und Rad-Reifen-Kombinationen mit individuellen Rollwiderständen ein (VDA 2018).

Die Verbrauchsmessung erfolgt dabei nicht durch die Analyse des volumetrischen Kraftstoffverbrauchs in Litern. Grundlage für die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs bildet die Messung des Gewichts der im Abgas enthaltenen kohlenstoffhaltigen Bestandteile, zu denen im Wesentlichen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zählt. Durch die Verwendung von genormten Kraftstoffen auf den Prüfstandtests kann basierend auf dem ermittelten CO<sub>2</sub>-Gewicht und der auf dem Prüfstand zurückgelegten Wegstrecke ein exakter Verbrauchswert in Litern pro 100 Kilometer berechnet werden. Ergänzt sei an dieser Stelle, dass diese Form der Verbrauchsmessung so zu einer exakteren Bestimmung des Treibhausgases führt und das Verfahren bereits seit den 1990er Jahren verbindlich vorgeschrieben ist (VDA 2018).

Als Anbieter von Neufahrzeugen sind Automobilhersteller und Händler gesetzlich dazu verpflichtet, Verbrauchsangaben gemäß der geltenden Verbrauchskennzeichnungsverordnung (PKW-EnVKV) vorzunehmen. Dabei werden die Verbrauchswerte für alle in Deutschland angebotenen Neuwagenmodelle gemäß WLTP erhoben. Gleichzeitig erfolgt in Deutschland seit dem 01. September 2018 die Bemessung der Kfz-Steuer auf Grundlage der WLTP-Werte. Aus Gründen der Vergleichbarkeit ist vom Gesetzgeber vorgeschrieben, die Daten zum Kraftstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Stromverbrauch gemäß NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) auszuweisen. Dazu werden die im WLTP-Zyklus erhobenen Werte auf NEFZ umgerechnet (DAT 2022).

## 2.2 Einflussfaktoren auf den Kraftstoff- und Energieverbrauch

Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch von in Deutschland neu zugelassenen Personenkraftwagen mit Benzinmotor lag im Jahr 2021 bei rund 6,4 Litern je 100 Kilometern. Bei Pkw mit Dieselmotor lag dieser Wert bei durchschnittlich rund 6,5 Litern Kraftstoff auf einer Strecke von 100 Kilometern. Im mehrjährigen Vergleich der Entwicklung der Durchschnittsverbräuche ist im Zeitraum zwischen den Jahren 2011 bis 2016/2017 ein leichter Rückgang zu verzeichnen. In den Jahren 2018 und 2019 stiegen die ausgewiesenen Durchschnittsverbräuche jedoch wieder an. Diese Entwicklung lässt sich unter anderem auf die Umstellung auf den anspruchsvolleren WLTP-Zyklus zurückführen. Dieser fördert tendenziell höhere Verbräuche zu Tage (**Abbildung 2**). (KBA 2022)

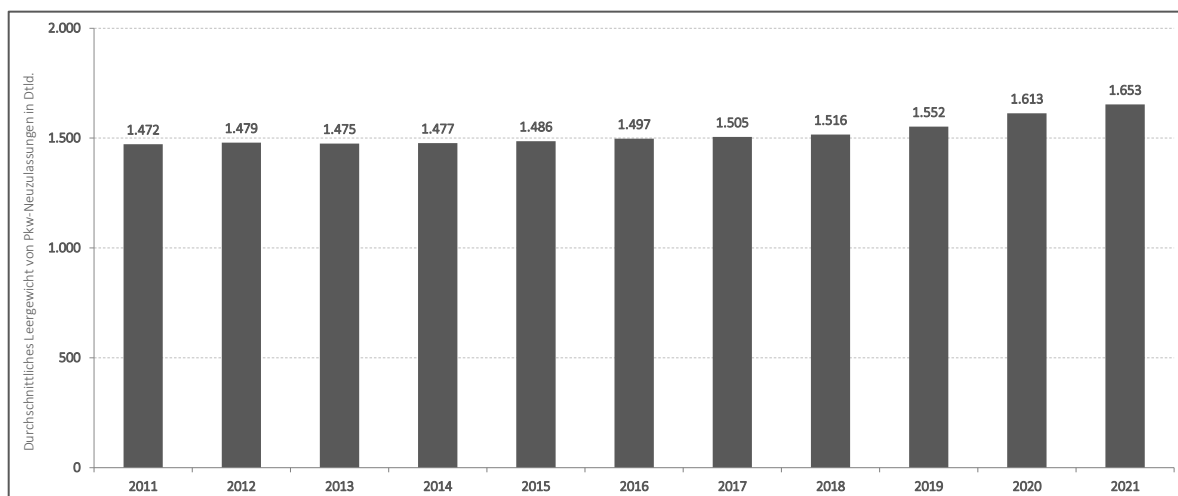


**Abbildung 2: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch Pkw-Nzl. in Deutschland**

Quelle: KBA 2022

Bei Betrachtung der in **Abbildung 2** dargestellten Entwicklung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs der in Deutschland neu zugelassenen Pkw könnte angenommen werden, dass auf technischer Seite kaum Verbesserungen stattgefunden haben, um die Fahrzeuge effizienter und damit verbrauchsärmer zu machen. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass sich Entwicklungen parallel zur technischen Weiterentwicklung der Antriebsstränge, negativ auf den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch auswirken.

Allen voran ist dabei das Fahrzeuggewicht zu nennen. Dieses wird im Wesentlichen durch die Fahrzeuggröße bzw. das Fahrzeugsegment und die Sicherheits- und Komfortausstattung beeinflusst. Ausgehend von einem durchschnittlichen Pkw-Leergewicht von 1.472 Kilogramm im Jahr 2011 liegt dieses im Jahr 2021 bei nunmehr 1.653 Kilogramm (KBA 2022). Die Gründe dafür liegen zum einen in höheren Ausstattungsniveaus für Sicherheits- und Komfortausstattungen. Waren beispielsweise 2011 rund vier von fünf Pkw in Deutschland mit einer Klimaanlage ausgestattet, verfügt aktuell fast jedes Fahrzeug über diese Komfortausstattung.



**Abbildung 3: Durchschnittliches Leergewicht von Pkw-Nzl. in Deutschland**

Quelle: KBA 2022

Andererseits sind Verschiebungen zwischen den Fahrzeugsegmenten auszumachen. Auffällig ist dabei die große Zunahme von SUV und Geländewagen: Belief sich deren Anzahl an neu zugelassener Fahrzeuge noch im Jahr 2011 auf rund 360.000 Einheiten, sind im Jahr 2021 knapp eine Million Fahrzeuge (947.849) der SUV- und Geländewagenklasse zuzuordnen. Diese Verschiebung ging insbesondere zulasten der Kompakt- und der (oberen) Mittelklasse (**Abbildung 4**) (KBA 2022).

| Segment            | 2011    |   | Entwicklung |       | 2021    |
|--------------------|---------|---|-------------|-------|---------|
| SUV + Geländewagen | 360.105 | ↑ | +587.744    | +163% | 947.849 |
| Kompaktklasse      | 805.233 | ↓ | -345.256    | -43%  | 459.977 |
| Kleinwagen         | 584.994 | ↓ | -210.272    | -36%  | 374.722 |
| Mittelklasse       | 465.713 | ↓ | -196.373    | -42%  | 269.340 |
| Mini               | 177.744 | ↓ | -8.810      | -5%   | 168.934 |
| Utilities          | 129.957 | ↓ | -27.093     | -21%  | 102.864 |
| Obere Mittelklasse | 163.742 | ↓ | -86.845     | -53%  | 76.897  |
| Großraum-Van       | 161.954 | ↓ | -115.660    | -71%  | 46.294  |
| Mini-Van           | 215.790 | ↓ | -188.846    | -88%  | 26.944  |
| Sportwagen         | 48.263  | ↓ | -21.609     | -45%  | 26.654  |
| Oberklasse         | 29.730  | ↓ | -4.904      | -16%  | 24.826  |

#### Abbildung 4: Neuzulassungen in Fahrzeugsegmenten 2011 und 2021

Quelle: KBA 2012, KBA 2022

Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Zunahmen bei den SUV und Geländewagen gleichzeitig auch zugunsten jener Fahrzeuge stattgefunden haben, die tendenziell einen höheren Kraftstoffverbrauch haben als Fahrzeuge des Kompakt- oder Mittelklassensegments. Das ist zum einen darauf zurückzuführen, dass SUV und Geländewagen im Durchschnitt ein höheres Eigengewicht haben. So liegt das Durchschnittsgewicht der im Jahr 2021 neu zugelassenen SUV bei 1.622 Kilogramm während ein Fahrzeug der Kompaktklasse ein Eigengewicht von durchschnittlich 1.499 Kilogramm aufweist (KBA 2022). Hinzu kommt, dass der Anteil an verbauten Allradantrieben bei SUV und Geländewagen mit rund 50 Prozent weitaus größer ist als bei anderen Fahrzeugklassen. Da Allradantriebe höhere Reibungsverluste im Antriebsstrang verursachen, weisen Allrad-Fahrzeuge i.d.R. höhere Verbrauchswerte auf als Fahrzeuge mit ausschließlich Front- oder Heckantrieb.

Vor diesem Hintergrund ist die nahezu gleichbleibende Situation bei den Kraftstoffverbräuchen dahingehend einzuordnen, dass Fahrzeuggröße und -gewicht als verbrauchsfördernde Faktoren zwar zugenommen haben. Hinzu kommt die angestiegene Verbreitung des Allradantriebs, von welcher zusätzlich verbrauchsfördernde Effekte ausgehen. Dennoch konnte der Durchschnittsverbrauch neu zugelassener Fahrzeuge auf vergleichbarem Niveau gehalten werden. Dies ist in erster Linie auf die technische Weiterentwicklung und die Effizienzsteigerung – u.a. durch die Teilelektrifizierung des Antriebsstrangs – zurückzuführen.

### 3 Studiendesign: IfA Hybrid Real Endurance Test

#### 3.1 Fahrzeuge

Im IfA Hybrid Real Endurance Test werden insgesamt vier Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten hinsichtlich ihres Kraftstoffverbrauchs untersucht. Dabei handelt es sich um je zwei aktuelle Toyota-Modelle der Typen Yaris und RAV4. Das Vergleichspaar des RAV4 besteht aus einem Plug-in-Hybriden und einem Vollhybriden. Bei den beiden Toyota Yaris ist ein Fahrzeug mit einem klassischen Verbrennungsmotor ausgerüstet während es sich bei dem Vergleichsfahrzeug um eine Vollhybrid-Version handelt.

Der Toyota RAV4, der in der Klasse der Kompakt-SUV anzusiedeln ist, ist in Deutschland als Vollhybrid oder Plug-in-Hybrid bestellbar. Der RAV4 als Vollhybrid kombiniert einen 178 PS starken 2,5l großen Benzinmotor mit einem 120 PS starken Elektromotor, woraus sich eine Systemleistung von 218 PS ergibt. Der relevante Unterschied zum Plug-in-Hybrid besteht darin, dass die Antriebsbatterie des Vollhybrid allein durch Energierückgewinnung aufgeladen wird und somit keine Zufuhr von externer Energie stattfindet. Beim Vollhybrid ist somit kein externes Aufladen der Batterie möglich (Toyota 2022).

Wie im Toyota RAV4 Vollhybrid bildet auch im Toyota RAV4 Plug-in-Hybrid ein Benzinmotor mit 2,5 Litern Hubraum die Basis des hybriden Antriebsstrangs. Dieser wird kombiniert mit einem 182 PS starken Elektromotor an der Vorderachse und einem zusätzlichen 54 PS starken Elektromotor, der die Hinterachse antreibt. Daraus ergibt sich eine Systemleistung von 306 PS. Die Lithium-Ionen-Batterie, die extern aufgeladen werden kann, verfügt über eine Kapazität von 18,1 kWh. Rein rechnerisch ist damit eine vollelektrische Reichweite von rund 75 Kilometern (nach WLTP) möglich (Toyota 2022).

**Abbildung 5** stellt die beiden Modellausführungen anhand der relevanten technischen Merkmale gegenüber.

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Fahrzeug                                                                          | RAV4 Plug-in-Hybrid                                                               | RAV4 Hybrid                                                                         |
| Verbrennungsmotor                                                                 | 4-Zylinder DOHC                                                                   | 4-Zylinder DOHC                                                                     |
| Hubraum                                                                           | 2.487 ccm                                                                         | 2.487 ccm                                                                           |
| Motorleistung   Drehmoment (ICE)                                                  | 185 PS   227/3.200-3.700 Nm@UpM                                                   | 178 PS   221/3.600-5.200 Nm@UpM                                                     |
| Motorleistung   Drehmoment (E-Motor)                                              | 182 PS VA / 54 PS HA   270 Nm VA / 121 Nm HA                                      | 120 PS VA   202 Nm VA                                                               |
| Systemleistung                                                                    | 306 PS                                                                            | 218 PS                                                                              |
| Getriebeart   Antriebsart                                                         | CVT   4WD                                                                         | CVT   2WD                                                                           |
| Beschleunigung 0-100 km/h                                                         | 6,0 sec                                                                           | 8,4 sec                                                                             |
| Höchstgeschwindigkeit                                                             | 180 km/h                                                                          | 180 km/h                                                                            |
| Leergewicht                                                                       | 1.910-2.000 kg   2.510 kg                                                         | 1.745-1.775 kg   2.135 kg                                                           |
| Verbrauch, kombiniert (WLTP) (l/100km)                                            | 1,2 l/100 km                                                                      | 5,8 l/100 km                                                                        |
| CO <sub>2</sub> -Emiss., gewichtet & kombiniert (WLTP) (g/km)                     | 26 g/km                                                                           | 130 g/km                                                                            |
| Rad- und Reifenkombination                                                        | 19" Leichtmetallfelgen mit Bereifung 235/55R19                                    | 19"-Leichtmetallfelgen mit Bereifung 225/55R19                                      |

### Abbildung 5: Übersicht Technische Daten Toyota RAV4

Quelle: Toyota 2022

Die konzeptbedingten Unterschiede zwischen dem RAV4 Plug-in-Hybrid und dem RAV4 als Vollhybrid sind insbesondere der großen Batterie geschuldet. Demzufolge wiegt der Plug-in-Hybrid etwa 165 Kilogramm mehr und kostet zum Zeitpunkt der Testfahrt ohne Berücksichtigung von etwaigen öffentlichen Förderungen über 10.000 Euro (brutto) mehr in der Anschaffung (Toyota 2022).

Das zweite Fahrzeugpaar, das hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs im Zuge des IfA Hybrid Real Endurance Test untersucht wird, besteht aus zwei Toyota Yaris. Der Toyota Yaris gehört der Klasse der Kleinwagen an und ist seit dem Jahr 2020 in der vierten Generation auf dem Markt. Die im Test untersuchte klassisch angetriebene Variante ist mit einem Benzinmotor und manuellem Sechsganggetriebe ausgestattet. Bei einem Hubraum von rund 1,5 Litern und drei Zylindern verfügt das Fahrzeug über eine Motorleistung von 125 PS (Toyota 2022).

Der Antriebsstrang des Yaris Hybrid als Pendant zum konventionell angetriebenen Yaris besteht sowohl aus einem Verbrennungsmotor als auch einem Elektromotor mit entsprechender Traktionsbatterie. Die Grundkomponenten des Verbrennungsmotors bei der Hybrid-Variante entsprechen dabei denen der klassischen Variante. Beim Hybrid allerdings ist die Motorsteuerung auf das Zusammenwirken mit dem Elektromotor so angepasst, dass der Benzinmotor maximal 92 PS leistet. In Kombination mit dem 80 PS starken Elektromotor ergibt sich eine Systemleistung von insgesamt 116 PS. Wie **Abbildung 6** zu entnehmen ist, liegen

beide Yaris in der Gegenüberstellung der technischen Details sehr eng beieinander. (Toyota 2022)

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Modellbezeichnung                                                                 | Yaris Benziner                                                                    | Yaris Hybrid                                                                        |
| Motor                                                                             | 3-Zylinder DOHC                                                                   | 3-Zylinder DOHC                                                                     |
| Hubraum                                                                           | 1.490 ccm                                                                         | 1.490 ccm                                                                           |
| Motorleistung   Drehmoment (ICE)                                                  | 125 PS   153/4.800-5.000 Nm@UpM                                                   | 92 PS   120/3.600-4.800 Nm@UpM                                                      |
| Motorleistung   Drehmoment (E-Motor)                                              | -                                                                                 | 80 PS VA   141 Nm VA                                                                |
| Systemleistung                                                                    | -                                                                                 | 116 PS                                                                              |
| Getriebeart   Antriebsart                                                         | 6-Gang-Schaltgetriebe   2WD                                                       | CVT   2WD                                                                           |
| Beschleunigung 0-100 km/h                                                         | 9,0 sec                                                                           | 9,7 sec                                                                             |
| Höchstgeschwindigkeit                                                             | 180 km/h                                                                          | 175 km/h                                                                            |
| Leergewicht                                                                       | 1.065-1.120 kg   1.555 kg                                                         | 1.090-1.180 kg   1.615 kg                                                           |
| Verbrauch, kombiniert (WLTP) (l/100km)                                            | 6,1 l/100 km                                                                      | 4,3 l/100 km                                                                        |
| CO2-Emiss., gewichtet & kombiniert (WLTP) (g/km)                                  | 138 g/km                                                                          | 98 g/km                                                                             |
| Rad- und Reifenkombination                                                        | 16" Leichtmetallfelgen mit Bereifung 195/55R16                                    | 16" Leichtmetallfelgen mit Bereifung 195/55R16                                      |

**Abbildung 6: Übersicht Technische Daten Toyota Yaris**

Quelle: Toyota 2022

Bei der Auswahl der Fahrzeuge wird angestrebt, dass verbaute Sonderausstattungen und Räder-Reifenkombinationen möglichst identisch sind. Dies soll eine maximale Vergleichbarkeit der Fahrzeuge ermöglichen. Aufgrund werksseitig festgelegter Ausstattungsumfänge, die stark an die jeweilige Antriebsversion gebunden sind, ist eine vollkommen deckungsgleiche Ausstattung der Fahrzeuge nicht möglich. Dennoch werden die Ausstattungsvarianten im IfA Hybrid Real Endurance Test so ausgewählt, dass sie möglichst ähnlich sind. Zu beachten ist dabei auch, dass nicht alle Ausstattungsunterschiede zwangsläufig auch einen Gewichtsunterschied mit sich bringen. Weiter neutralisiert werden etwaige Ausstattungsunterschiede durch eine gezielte Einflussnahme auf die Gestaltung der Rahmenbedingungen der Messfahrt. Diese sind so definiert, dass ausschließlich jene Ausstattungsumfänge bei der Fahrt genutzt werden, die auch bei beiden Fahrzeugen des Vergleichspaares verbaut sind. So kann ein unterschiedlicher Energieverbrauch aufgrund anderer Sonderausstattungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Wie **Abbildung 7** zeigt, basiert der Toyota RAV4 als Hybrid auf der Ausstattungslinie „Style Selection“. Gegenüber dem Toyota RAV4 Plug-in-Hybrid ist beispielsweise kein elektrisch verstellbarer Beifahrersitz oder ein Head-up Display verbaut (Toyota 2022).

|                                                                                                      |                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |                    |
| <b>RAV4 Plug-in-Hybrid</b>                                                                           | <b>RAV4 Hybrid</b>                                                                                    |
| Ladekabel (Haushalt, 230V Schuko, 10A)                                                               | ohne                                                                                                  |
| Onboard-Charger (6,6 kW)                                                                             | ohne                                                                                                  |
| Head-up-Display                                                                                      | ohne                                                                                                  |
| Beifahrersitz mit Höhen- und Längsverstellung, elektrisch                                            | Beifahrersitz manueller Höhen- und Längsverstellung                                                   |
| Lederpolster, schwarz                                                                                | Stoff-/Lederkombination                                                                               |
| Sitzbelüftung, regelbar für Fahrer- und Beifahrersitz                                                | ohne                                                                                                  |
| Klimaautomatik, Temperatur für Fahrer und Beifahrer separat regelbar, mit Vorheiz-/ Vorkühl-Funktion | Klimaautomatik, Temperatur für Fahrer und Beifahrer separat regelbar, ohne Vorheiz-/ Vorkühl-Funktion |
| Einstiegsbeleuchtung                                                                                 | ohne                                                                                                  |
| Frontscheibe, beheizbar                                                                              | ohne                                                                                                  |
| Steckdose 230V, im Kofferraum                                                                        | ohne                                                                                                  |
| Fahrersitz, mit Memoryfunktion                                                                       | Beifahrersitz mit Höhen- und Längsverstellung, elektrisch ohne Memoryfunktion                         |
| Rücksitze, 2. Sitzreihe beheizbar                                                                    | ohne                                                                                                  |

#### Abbildung 7: Ausstattungsunterschiede Vergleichspaar RAV4

Quelle: Toyota 2022

Auch die beiden Toyota Yaris sind nahezu identisch ausgestattet. Allerdings basiert der Yaris Hybrid nicht auf der Ausstattungslinie „Style“, sondern auf der Ausstattungslinie „Club“. So fehlen bei der Hybrid-Variante Ausstattungsdetails wie beispielsweise das JBL-Soundsystem oder das Head-up Display. Darüber hinaus verfügt der Yaris als klassischer Benziner über Sitzpolster in einer Ledernachbildung. Die Sitzpolster des Yaris Hybrid sind hingegen aus Stoff (Toyota 2022).

Die komplette Liste der Ausstattungsumfänge beim Vergleichspaar Yaris können der **Abbildung 8** entnommen werden.

|                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| <b>Yaris ICE Style</b>                                                            | <b>Yaris Hybrid</b>                                                                 |
| Head-up-Display, 10“, farbig                                                      | ohne                                                                                |
| JBL-Premium-Soundsystem                                                           | Standard Lautsprecher                                                               |
| Head-up-Display                                                                   | ohne                                                                                |
| Multimediadisplay, 9“                                                             | Multimediadisplay, 7“                                                               |
| Klimaautomatik, 2-Zonen                                                           | Klimaautomatik, 1-Zone                                                              |
| Privacy-Verglasung                                                                | ohne                                                                                |
| Ambientebeleuchtung                                                               | ohne                                                                                |
| Smartphone-Ladegerät, kabellos                                                    | ohne                                                                                |
| Sonnenblende mit Beleuchtung                                                      | ohne                                                                                |
| Toter-Winkel-Warner                                                               | ohne                                                                                |
| Elektrisch anklappbare Außenspiegel                                               | Außenspiegel manuell anklappbar                                                     |
| Kreuzungs-Assistent                                                               | ohne                                                                                |
| Einparkensoren vorne & hinten                                                     | ohne                                                                                |
| Rückfahrassistent mit Bremsunterstützung                                          | ohne                                                                                |
| Lordosenstütze                                                                    | ohne                                                                                |
| Sitzpolster in Ledernachbildung                                                   | Sitzpolster in Stoff                                                                |

**Abbildung 8: Ausstattungsunterschiede Vergleichspaar Yaris**

Quelle: Toyota 2022

### 3.2 Fahrtstrecke

Die Ausarbeitung der Fahrtstrecke des IfA Hybrid Real Endurance Test orientiert sich grundlegend an den Parametern des WLTP- bzw. WLTC-Fahrzyklus. Beim WLTP-Fahrzyklus handelt es sich um eine international vereinheitlichte CO<sub>2</sub>-Emissionsmessung von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen mit dem Ziel, die Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs einzelner Fahrzeugtypen realitätsnah anzugeben. Die Basis für die Festlegung des WLTP-Testzyklus liefern empirische Daten über das Fahrverhalten in unterschiedlichen Regionen. Relevante Parameter sind dabei unter anderem das Beschleunigungsverhalten, die Fahrgeschwindigkeiten und die Fahrzeugstillstandzeiten. Das Ergebnis ist ein Fahrzyklus, der in allen beteiligten Regionen repräsentativ sein soll (vgl. auch Abschnitt 2.1) (VDA 2018).

In Anlehnung an den WLTP-Fahrzyklus konzipierte das Institut für Automobilwirtschaft (IfA) die rund 2.200 Kilometer lange Teststrecke des IfA Hybrid Real Endurance Test. Das Streckenprofil setzt sich aus mehreren Fahrten im Stadtverkehr, auf Landstraßen und auf Autobahnen zusammen.

Der bedeutendste Unterschied zum WLTP-Fahrzyklus liegt in der Länge und Dauer der Testfahrt sowie der Prüfumgebung. Die Gesamtstrecke des IfA Hybrid Real Endurance Test erstreckt sich auf ca. 2.200 Kilometer. Das entspricht einer reinen Fahrzeit von etwa 36 Stunden und einer angestrebten Durchschnittsgeschwindigkeit in Höhe von 63 Kilometer pro Stunde. Weiterhin wird die WLTP-Messung auf einem Prüfstand durchgeführt während der IfA Hybrid Real Endurance test im Realverkehr stattfindet. Dadurch sind die Fahrzeuge des IfA-Tests zusätzlich natürlichen Gegebenheiten wie beispielsweise Bergfahrten oder Gegenwind ausgesetzt, die den Realtest in seinen wesentlichen Zügen anspruchsvoller machen als den WLTP-Prüfstandstest.

| Parameter                                                          | WLTP                                                      | IfA-Realtest                                      |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Prüfumgebung                                                       | Prüfstand                                                 | Realverkehr                                       |
| Messmethode                                                        | CO <sub>2</sub> -Emissionsmessung<br>(Exhaust Flow Meter) | OBD-Messung                                       |
| Streckenprofile                                                    | 4 Profile<br>(Low, Medium, High, Extra-High)              | 3 Profile<br>(Stadtverkehr, Landstraße, Autobahn) |
| Länge Testzyklus<br>(einmaliges Durchlaufen aller Streckenprofile) | 23,25km                                                   | 2.200km                                           |
| Dauer Gesamttest<br>(einmaliges Durchlaufen aller Streckenprofile) | 0h 30min.                                                 | ca. 36h 00min.                                    |

---

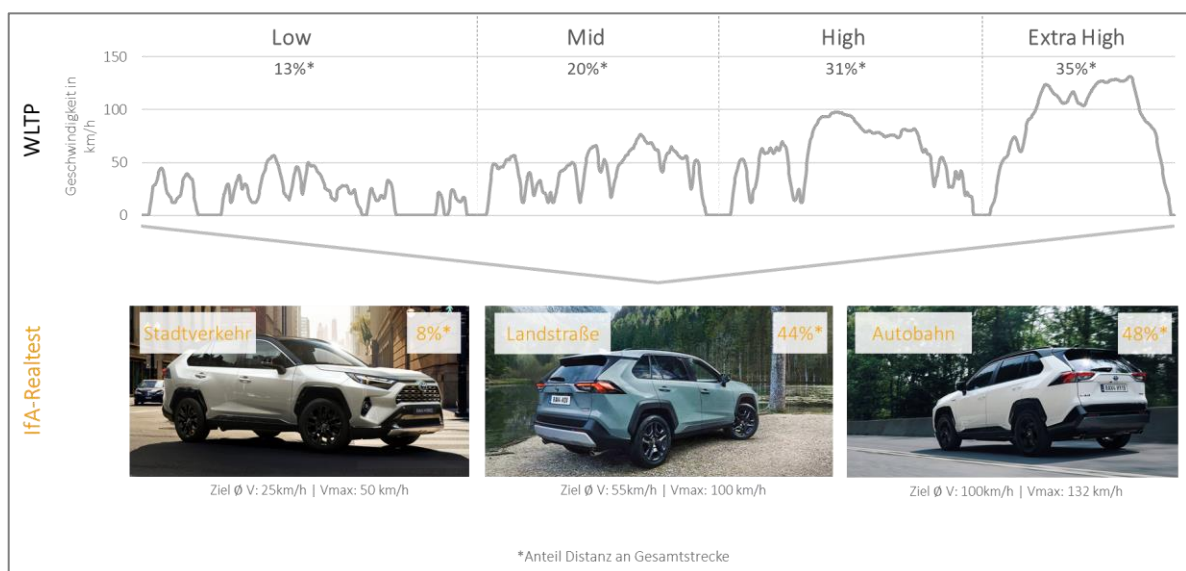
#### Abbildung 9: Grundlegende Parameter ifA Hybrid Real Endurance Test

Quelle: UN 2018 und Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

---

Die Streckenprofile des IfA Hybrid Real Endurance Test unterscheiden sich, wie der **Abbildung 10** zu entnehmen ist , wie folgt: acht Prozent der Gesamtstrecke werden im Stadtverkehr absolviert. Das entspricht einer Streckenlänge von rund 175 Kilometern. Innerhalb der Stadtetappen wird maximal mit einer Geschwindigkeit von etwa 50 Kilometern pro Stunde gefahren. Die anvisierte Durchschnittsgeschwindigkeit liegt bei rund 35 km/h. Weitere 44 Prozent der Gesamtstrecke werden auf Landstraßen zurückgelegt, was einer Strecke von

etwa 950 Kilometern entspricht. In diesem Fahrprofil liegt die angepeilte Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen bei 50 bis 60 km/h. Die Maximalgeschwindigkeit sollte dabei 100 km/h nicht überschreiten. Auch Autobahnfahrten machen einen wesentlichen Teil der des IfA Hybrid Real Endurance Test aus. Mit einem Anteil von 48 Prozent an der Gesamtstrecke werden etwa 1.025 Kilometer im Autobahnverkehr zurückgelegt. Auf den Autobahn-Etappen ist eine Durchschnittsgeschwindigkeit von rund 100 km/h vorgesehen. Hinsichtlich der Maximalgeschwindigkeit werden Geschwindigkeiten im Bereich um 130 bis 140 Kilometer pro Stunde angestrebt.



**Abbildung 10: Drei Streckenprofile abgeleitet aus WLTP**

Quelle: Eigene Darstellung

### 3.3 Messverfahren und technische Umsetzung

#### 3.3.1 Messung der Fahrperformance

Die Fahrperformance der Testfahrzeuge wird mit Hilfe eines GPS-Geräts gemessen. Während der Testfahrt dienen die GPS-Werte in erster Linie dazu, die gesetzten Zielvorgaben, vor allem in Bezug auf die Durchschnittsgeschwindigkeit, einzuhalten und zu dokumentieren. In der Nachbereitung und Datenauswertung stellen die per GPS ermittelten Wegstrecken eine wesentliche Grundlage für die Berechnung der Durchschnittsverbräuche dar. Die

Basis für das GPS (Global Positioning System) bilden 30 global verteilte Satelliten. Dabei senden diese Satelliten Signale aus, die wiederum zur Bestimmung verschiedenster Messparameter für Bewegung und Position genutzt werden können (Racelogic 2022).

Die Satelliten geben in Form von kodierten Radiosignalen kontinuierlich Informationen hinsichtlich ihrer aktuellen Position in Kombination mit der genauen Uhrzeit ab. Auf Basis der Signallaufzeiten können GPS-Empfänger ihre eigene Position und Geschwindigkeit berechnen. Hier reichen prinzipiell die Signale von drei Satelliten aus, welche sich oberhalb ihres Abschaltwinkels befinden. Allerdings haben in der Praxis GPS-Empfänger keine Uhr, die genau genug ist, um die Laufzeiten korrekt messen zu können. Aus diesem Grund wird das Signal eines vierten Satelliten benötigt, mit dem die genaue Zeit im Empfänger bestimmt werden kann (Racelogic 2022).

Mit GPS-Signalen lässt sich somit nicht nur die Position, sondern auch die Geschwindigkeit des Empfängers bestimmen. Dieses erfolgt über die Messung des sogenannten Dopplereffektes oder der numerischen Differenzierung des Ortes nach der Zeit. Die Bewegungsrichtung des Empfängers kann so ebenfalls ermittelt werden und als künstlicher Kompass oder zur Ausrichtung von elektronischen Karten dienen. Damit ein GPS-Empfänger ständig zu mindestens vier Satelliten Kontakt hat, werden mehr als 24 Satelliten eingesetzt, die die Erde jeden Sterntag zweimal in einer mittleren Bahnhöhe von 20.200 Kilometern umkreisen. Vier Satelliten bewegen sich dabei auf jeweils einer der sechs Bahnebenen, die 55 Grad gegen die Äquatorebene geneigt sind und gegeneinander um jeweils 60 Grad verdreht sind (Racelogic 2022).

Im Rahmen des IfA Hybrid Real Endurance Test kommt ein GPS-Messsystem der Firma Racelogic zum Einsatz. Mit der „Performace Box Touch“ können mit hoher Genauigkeit Geschwindigkeit, Beschleunigung, Verzögerung sowie Distanz gemessen werden. So werden die zurückgelegten Entfernungen beispielsweise auf einen Centimeter genau angegeben. Des Weiteren ermöglicht der Einsatz des GPS-Messgeräts in allen vier Testfahrzeugen eine hohe Vergleichbarkeit. Mittels Live-Tracking können alle relevanten Parameter, wie beispielsweise die Durchschnittsgeschwindigkeit jederzeit überwacht werden. Alle Parameter werden unter Verwendung einer Analysesoftware, der VBOX Suite analysiert und visualisiert. Die Messwerte werden 25 Mal pro Sekunde auf einer SD-Karte gespeichert, wodurch

am Ende jeder Etappe eine eigene Datenbank für jedes Fahrzeug abrufbar ist. Weitere relevante Spezifikationen des verwendeten GPS-Systems können **Abbildung 11** entnommen werden.

| Performance Box Touch GPS Data Logging |             |             |               |                |         |            |        |            |        |
|----------------------------------------|-------------|-------------|---------------|----------------|---------|------------|--------|------------|--------|
| Geschwindigkeit                        |             | Distanz     |               | Beschleunigung |         | Time       |        | Heading    |        |
| Accuracy                               | 0,1 km/h    | Accuracy    | 0,05 %        | Accuracy       | 1 %     | Accuracy   | 0,01 s | Accuracy   | 0,3 °  |
| Units                                  | km/h or mph | Units       | Metres / Feet | Units          | g force | Resolution | 0,01 s | Resolution | 0,01 ° |
| Update Rate                            | 25 Hz       | Update Rate | 25 Hz         | Update Rate    | 25 Hz   |            |        |            |        |
| Resolution                             | 0,01 km/h   | Resolution  | 1 cm          | Resolution     | 0,01 g  |            |        |            |        |

**Abbildung 11: GPS-System zur Dokumentation der Fahrdynamik**

Quelle: Racelogic 2022

### 3.3.2 Messung des Kraftstoffverbrauchs

Den Kraftstoffverbrauch der Testfahrzeuge ermittelt das Forschungsteam des Institut für Automobilwirtschaft (IfA) über die OBD-Schnittstelle der Fahrzeuge. Dazu wird ein OBD-Dongle verwendet, der mit der OBD-Schnittstelle verbunden wird. Die Abkürzung „OBD“ steht für On-Board-Diagnose und ist seit vielen Jahren ein internationaler Standard für alle Fahrzeuge. In Europa gilt für Benzinser seit dem Jahr 2001 und für Diesel seit 2004 der OBD-2 Standard. Mit der Einführung der On-Board-Diagnose können unter anderem abgasrelevante Daten wie beispielsweise die Kraftstoffeinspritzmenge überwacht werden. Darüber hinaus können über die OBD-Schnittstelle sämtliche Steuergeräte diverser Fahrzeuge ausgelesen werden (Schäffer 2013).

Damit der Datenaustausch zwischen einem Fahrzeug und einer externen Diagnoseeinrichtung, wie einem OBD-Dongle, standardisiert erfolgen kann, greift eine internationale DIN-Norm. In dieser Norm ist die Abfrage von mindestens 135 Parameter-IDs, Freeze Frame Daten, Werten der Lambdasonde und die Abfrage von Fahrzeug-Informationen wie Fahrgestellnummer geregelt (Reif 2015).

Die OBD-Steckdose im Fahrzeug setzt sich aus über 16 Dosen zusammen. Von diesen 16 Dosen sind sieben für die Hersteller vorgesehen und haben für die OBD keine weitere Bedeutung. Die anderen neun Dosen sind im Einzelnen genauen Funktionen zugeordnet (Reif 2015).

Jeder OBD-Stecker oder -Adapter ist mit einem leistungsstarken Chip, wie beispielsweise dem ELM 327 ausgestattet. Dieser Chip ermöglicht das Lesen von sogenannten CAN-Protokollen, die als Grundlage für die Kommunikation zwischen einem Endgerät und den Steuergeräten dienen. Dabei übersetzt der Chip die Fahrzeugdaten und gibt sie so aus, dass externe Diagnosegeräte und -software diese Daten lesen können (Robert Bosch GmbH 2019).

Lautet das Ziel, Verbrauchsdaten eines Fahrzeugs mit Hilfe eines OBD-Dongles zu ermitteln, läuft die Datenabfrage in der Praxis folgendermaßen ab: Über das externe Diagnosegerät werden zunächst die gewünschten Daten abgerufen. Der OBD-2 Adapter, der mit der OBD-Dose des Fahrzeugs verbunden ist, empfängt die Anfrage beispielsweise per Bluetooth. Der integrierte ELM 327 Chip übersetzt anschließend die Daten in eine Sprache, die das Fahrzeug beziehungsweise der CAN-Bus verstehen kann. Der CAN-Bus transportiert die Anfrage zu dem Steuergerät, das die Verbrauchswerte verarbeitet. Das Steuergerät erhält wiederum die Anfrage und stellt im Anschluss die angefragten Informationen bereit. Ein CAN-Bus transportiert die Daten zurück zum OBD-2 Dongle, wo der ELM 327 Chip die Daten zum wiederholten Male übersetzt. Anschließend gelangen die Daten über Bluetooth oder einer anderen drahtlosen Netzwerkverbindung zurück zur Software oder dem externen Diagnosegerät, wo sie sich unter anderem grafisch auswerten lassen. Der ganze Prozess läuft innerhalb von wenigen Sekunden ab (Robert Bosch GmbH 2019).

Bei dem IfA Hybrid Real Endurance Test kommt das Modell Geotab Go der Firma Geotab zum Einsatz. Dieser OBD-Dongle wird an die OBD II-Steckdose des Fahrzeugs angeschlossen und misst nahezu in Echtzeit umfassende sowie präzise Daten zum Standort, dem Fahrzeugzustand und dem Fahrverhalten. Der Datenaustausch zwischen dem Dongle und der Analysesoftware findet innerhalb des 2G-, 3G- oder LTE-Netzwerks statt (Geotab GmbH 2022).

Im Rahmen des IfA Hybrid Real Endurance Test wertet das Forscherteam insbesondere die Parameter Gesamt-Kraftstoffverbrauch des Motors im Leerlauf, Kraftstofffüllstand und Kraftstoffverbrauch während der Fahrt aus. Die Daten entstammen überwiegend direkt aus

dem Motormanagementsystem. Für die Analyse der Daten stellt die Firma Geotab ein Dashboard zu Verfügung, aus dem die Rohdaten auch zu weiteren Auswertungszwecken exportiert werden können. Weitere Spezifikationen des im Test verwendeten OBD-Systems können der **Abbildung 12** entnommen werden.

| Geotab Go OBD-Dongle                                |                       |                            |                            |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Motormessungen                                      |                       | Weitere Messungen          |                            |
| ✓ Motorgeschwindigkeit                              | ✓ Motordrehzahl       | ✓ Außentemperatur          | ✓ Antriebsänderung         |
| ✓ Kraftstoffverbrauch-Fahrt                         | ✓ Öldruck             | ✓ Innentemperatur          | ✓ Handbremse angezogen     |
| ✓ Kraftstoffverbrauch des Motors im Leerlauf        | ✓ Motoröltemperatur   | ✓ Zündung                  | ✓ Längsbeschleunigung      |
| ✓ Gesamt-Kraftstoffverbrauch                        | ✓ Motorkühltemperatur | ✓ Fahrzeug aktiv           | ✓ Verzögerung              |
| ✓ Gesamt-Kraftstoffverbrauch des Motors im Leerlauf | ✓ Kraftstofffüllstand | ✓ Sicherheitsgurt angelegt | ✓ Querbeschleunigung       |
| ✓ Kraftstofffüllstand                               | ✓ Motorbetriebszeit   | ✓ Eingelegter Gang         | ✓ Vertikale Beschleunigung |
|                                                     |                       | ✓ Kilometerleistung        |                            |



**Abbildung 12: OBD-Dongle zur Dokumentation des Kraftstoffverbrauchs**  
 Quelle: Geotab GmbH 2022

### 3.4 Durchführung und Ablauf der Messfahrt

Vor der Durchführung des IfA Hybrid Real Endurance Test sind vorbereitende Maßnahmen an den Testfahrzeugen zu treffen. Dazu zählen unter anderem Anpassungen in den Bereichen Beladung und Reifendruck. Orientierung dabei stiften in erster Linie die WLTP-Rahmenbedingungen, die beim IfA Hybrid Real Endurance Test mindestens erfüllt werden sollen.

Alle vier Testfahrzeuge werden mit 15 Prozent der zulässigen Zuladung beladen. Zusätzlich wird mit einem Referenzgewicht der fahrenden Person in Höhe von 75 Kilogramm kalkuliert, was auch so in den WLTP-Richtlinien festgeschrieben ist. Auf Basis des laut Datenblatt zulässigen Gesamtgewichts errechnen sich für die Testfahrzeuge folgende Zuladungen: Beide Toyota Yaris werden mit 76,5 Kilogramm beladen. Der Toyota RAV4 Hybrid wird mit 54 Kilogramm zusätzlichem Gewicht beladen, während das Pendant, der Toyota RAV4 Plug-in-Hybrid mit 76,5 Kilogramm zusätzlichem Gewicht beladen wird. Mehr- beziehungsweise Mindergewichte der Fahrerinnen und Fahrer, sowie das Reisegepäck werden bei den Berechnungen entsprechend berücksichtigt und bei Fahrerwechsel individuell angepasst (vgl. **Abbildung 13** und **Abbildung 14**).

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Modellbezeichnung                                                                 | RAV4 Plug-in-Hybrid                                                               | RAV4 Hybrid                                                                         |
| Zuladung                                                                          |                                                                                   |                                                                                     |
| Leergewicht   Zulässiges Gesamtgewicht                                            | 1.910-2.000 kg   2.510 kg                                                         | 1.745-1.775 kg   2.135 kg                                                           |
| Maximale Zuladung                                                                 | 510 kg                                                                            | 360 kg                                                                              |
| 15 % der maximalen Zuladung                                                       | 76,5 kg                                                                           | 54 kg                                                                               |
| Gewicht Fahrer                                                                    | 75 kg                                                                             | 75 kg                                                                               |
| Reifendruck                                                                       |                                                                                   |                                                                                     |
| Vorderachse                                                                       | 2,3 bar                                                                           | 2,3 bar                                                                             |
| Hinterachse                                                                       | 2,3 bar                                                                           | 2,3 bar                                                                             |
| Rad- und Reifenkombination                                                        | 19" Leichtmetallfelgen mit Bereifung 235/55R19                                    | 19"-Leichtmetallfelgen mit Bereifung 225/55R19                                      |

**Abbildung 13: Zuladung und Reifendruck Toyota RAV4**

Quelle: Toyota 2022

Der Reifendruck ist ein weiterer relevanter Faktor, der signifikante Auswirkungen auf den Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs hat. Im Falle des IfA Hybrid Real Indurance Test wird der vom Hersteller für die Räder- und Reifenkombination vorgeschriebene Reifendruck angewendet. Entsprechend dieser Prämisse wird der Luftdruck in den Reifen des Toyota RAV4 Hybrid und RAV4 Plug-in-Hybrid sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterachse auf 2,3 Bar angepasst. Die Reifen der beiden Toyota Yaris werden an der Vorderachse mit 2,2 Bar und an der Hinterachse mit 2,0 Bar befüllt (vgl. Abbildung 13 und 14).

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Modellbezeichnung                                                                   | Yaris Benziner                                                                      | Yaris Hybrid                                                                          |
| Zuladung                                                                            |                                                                                     |                                                                                       |
| Leergewicht   Zulässiges Gesamtgewicht                                              | 1.065-1.120 kg   1.555 kg                                                           | 1.090-1.180 kg   1.615 kg                                                             |
| Maximale Zuladung                                                                   | 510 kg                                                                              | 510 kg                                                                                |
| 15 % der maximalen Zuladung                                                         | 76,5 kg                                                                             | 76,5 kg                                                                               |
| Gewicht Fahrer                                                                      | 75 kg                                                                               | 75 kg                                                                                 |
| Reifendruck                                                                         |                                                                                     |                                                                                       |
| Vorderachse                                                                         | 2,2 bar                                                                             | 2,2 bar                                                                               |
| Hinterachse                                                                         | 2,0 bar                                                                             | 2,0 bar                                                                               |
| Rad- und Reifenkombination                                                          | 16" Leichtmetallfelgen mit Bereifung 195/55R16                                      | 16" Leichtmetallfelgen mit Bereifung 195/55R16                                        |

**Abbildung 14: Zuladung und Reifendruck Toyota Yaris**

Quelle: Toyota 2022

Nachdem die Testfahrzeuge gemäß der Vorgaben beladen und der Reifendruck angepasst ist, findet die Betankung der Fahrzeuge und die Installation der Messsysteme statt. Die Antriebsbatterie des Toyota RAV4 Plug-in-Hybrid wird im Vorfeld der Verbrauchsfahrt vollständig geladen.



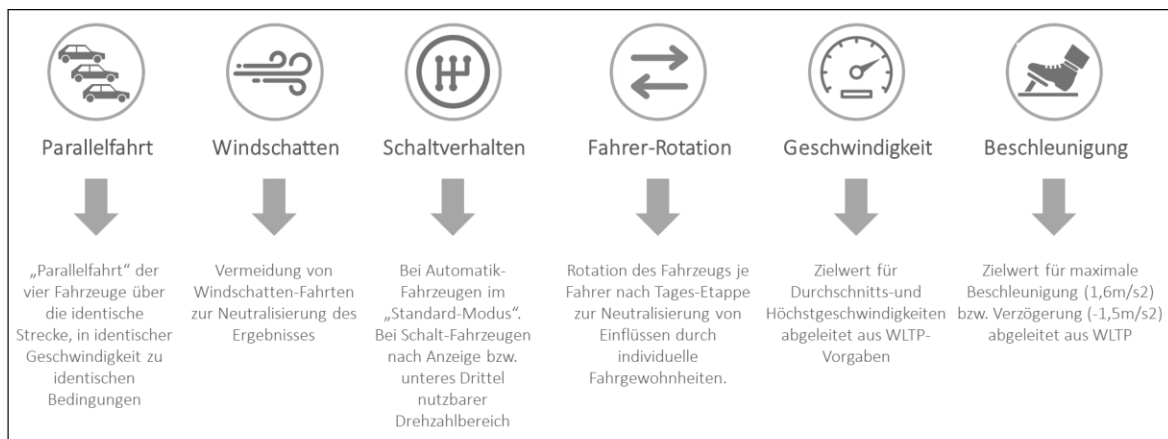
**Abbildung 15: Messverfahren und Dokumentation**

Quelle: Eigene Darstellung

Die Testfahrt des IfA Hybrid Real Endurance Test wird in der 19. Kalenderwoche des Jahres 2022 durchgeführt. Wie der Abbildung 17 zu entnehmen ist, umfasst die Fahrstrecke zehn Etappen, die in Summe rund 2.200 Kilometer durch Deutschland führen. Dabei erstreckt sich die Testfahrt über einen Zeitraum von vier Tagen. Damit eine hohe Vergleichbarkeit der Testfahrzeuge sichergestellt wird, werden vor der Beginn der Testfahrt spezifische Regeln zum Fahrverhalten festgelegt (vgl. Abbildung 16).

Diese Regeln setzen sich wie nachfolgend beschrieben zusammen: Alle vier Testfahrzeuge fahren zeitgleich die identische Strecke, damit der Vergleich unter identischen Umfeldbedingungen stattfinden kann. Darüber sind Fahrten im Windschatten zu vermeiden. Hinsichtlich des Schaltverhaltens der fahrenden Personen wird darauf geachtet, dass sich die Automatik-Getriebe der Testfahrzeuge dauerhaft ausschließlich im „Standard-Modus“ befinden. Der Toyota Yaris Benziner, der mit einem Schaltgetriebe ausgestattet ist, muss nach Möglichkeit nach der Schaltempfehlung auf der Anzeige im Cockpit geschaltet werden. Eine weitere Prämisse des IfA Hybrid Real Endurance Test stellt die Rotation der fahrenden Personen dar. Hierbei wechseln die vier Fahrerinnen und Fahrer nach jeder Tages-Etappe das Fahr-

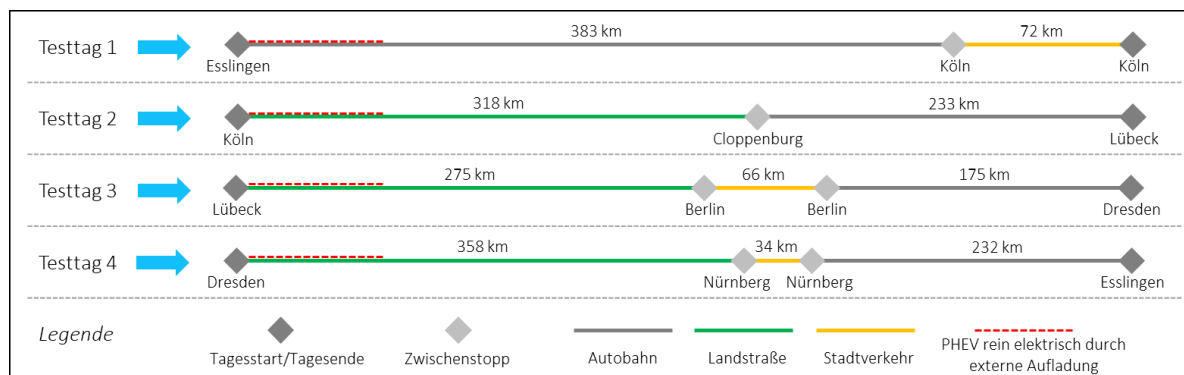
zeug. Somit sollen Einflüsse auf den Fahrzeugverbrauch durch die individuellen Fahrverhalten und -gewohnheiten trotz der engen Vorgaben im Zuge der Rotation neutralisiert werden. Bezüglich der zu fahrenden Durchschnitts- und Höchstgeschwindigkeiten, sowie maximalen Beschleunigungen orientieren sich die Testfahrer an den Zielwerten, die aus den WLTP-Vorgaben abgeleitet sind (vgl. Abschnitt 3.2).



**Abbildung 16: Regeln zum Fahrverhalten**

Quelle: Eigene Darstellung

Das Ziel der ersten Etappe ist die Stadt Köln, die nach einer vierstündigen Autobahnfahrt über 383 Kilometer erreicht wird. Im Anschluss daran folgt eine 72 Kilometer lange Stadtfahrt durch Köln. Vor dem Beginn des zweiten Testtages wird die Antriebsbatterie des RAV4 Plug-In-Hybrids an einer externen Stromquelle vollständig aufgeladen. Auch an den Testtagen drei und vier wird die Antriebsbatterie des RAV4 PHEV erneut aufgeladen.



**Abbildung 17: Ablauf und Zusammensetzung der Teststrecke**

Quelle: Eigene Darstellung

Der zweite Tag startet mit der dritten Etappe, die von Köln nach Cloppenburg führt. Diese Etappe führt 318 Kilometer über Landstraßen. Danach geht die Fahrt vom Zwischenziel aus weiter nach Lübeck. Dieser 233 Kilometer lange Kurs führt über die Autobahn. Mit dem Erreichen des Ziels in Lübeck endet der zweite Tag der Testfahrt.

Die fünfte Etappe des IfA Hybrid Real Endurance Test am dritten Tag führt zunächst von Lübeck nach Berlin. Diese Etappe führt fast ausschließlich 275 Kilometer über Landstraßen. Daran anschließend werden weitere 66 Kilometer im Stadtverkehr durch Berlin zurückgelegt. Dabei spiegelt das hohe Verkehrsaufkommen typische Fahrsituationen im urbanen Umfeld wider. Der letzte Abschnitt des dritten Tages führt von Berlin nach Dresden. Die 175 Kilometer Streckenlänge werden im Rahmen einer Autofahrt zurückgelegt.

Der letzte Tag des IfA Hybrid Real Endurance Test beginnt mit einer 358 Kilometer langen Route durch das Erzgebirge von Dresden in das fränkische Nürnberg. In Nürnberg werden weitere 34 Kilometer im Stadtverkehr zurückgelegt. Die letzte Etappe der Testfahrt führt 232 Kilometer über die Autobahn nach Esslingen am Neckar, wo der IfA Hybrid Real Endurance Test nach rund 2.200 Kilometern Strecke und 36 Stunden reiner Fahrzeit endet.

## 4 Studienergebnisse: IfA Hybrid Real Endurance Test

### 4.1 Ergebnisse Vergleichspaar Toyota RAV4

Die im IfA Hybrid Real Endurance Test ermittelten Verbrauchswerte für das Vergleichspaar des Toyota RAV4 – bestehend aus einer Vollhybrid-Version und einer Variante mit Plug-In-Hybrid-Antrieb – liegen relativ dicht zusammen. So benötigen beide SUV-Modelle weniger als 100 Liter Kraftstoff für die rund 2.150 Kilometer lange Teststrecke. Umgerechnet ergibt das bei den zwei Fahrzeugen Durchschnittsverbräuche von rund 4,3 bis 5,1 Liter je 100 gefahrene Kilometer.

Bezugnehmend auf das Gesamtergebnis der Testfahrt ist zunächst auf die für beide Fahrzeuge kontinuierlich per GPS-System erfasste Durchschnittsgeschwindigkeit einzugehen. Während für den RAV4 als Vollhybrid über den gesamten Testzeitraum eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 66,8 km/h dokumentiert wird, weicht der Wert des Plug-in-Pendants mit durchschnittlich 67,1 km/h nur minimal ab. Bei einer Gesamtfahrstrecke von rund 2.150 Kilometern und mehr als 36 Stunden Fahrzeit in Stadt-, Landstraßen- und Autobahnverkehr liegt die relative Abweichung im Bereich von 0,4 Prozent – ein Wert, der im Realverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmern und individuellen nicht vorhersehbaren Fahrsituationen kaum besser dargestellt werden kann. Das zeigt, dass beide Fahrzeuge während der gesamten Testfahrt mit vergleichbaren Fahr- und Verkehrssituationen konfrontiert waren und die Strecken jeweils mit gleicher Geschwindigkeit zurückgelegt wurden. Nicht zuletzt dadurch kann die hohe Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse beider Testfahrzeuge gewährleistet werden.

Die im Endergebnis ausgewiesenen Durchschnittsverbräuche ergeben sich aus der per GPS-System erfassten Wegstrecke und dem auf dieser Distanz angefallenen Kraftstoffverbrauch, welcher digital über die OBD-Schnittstelle festgehalten wurde. So benötigt der Toyota RAV4 als Vollhybrid für die gesamte Teststrecke über eine gemessene Distanz von 2.145,8 Kilometern insgesamt 98,90 Liter Kraftstoff. Umgerechnet ergibt das für den Gesamttest einen errechneten Durchschnittsverbrauch von 4,61 Litern je 100 Kilometer. Dieser Wert berücksichtigt einen Stadt-Anteil von 8 Prozent, 44 Prozent auf Landstraßen und 48 Prozent auf Autobahnen (vgl. Abschnitt 3.2).

| Toyota RAV4   Vollhybrid | Kategorie | Ø-Geschwindigkeit<br>(in km/h) | Distanz<br>(in km) | Gesamtverbrauch<br>(in Liter) | Ø-Verbrauch<br>(in Liter/100km) |
|--------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Esslingen - Köln         | Autobahn  | 95,9                           | 382,63             | 20,26                         | 5,29                            |
| Köln - Köln              | Stadt     | 31,8                           | 71,63              | 2,80                          | 3,91                            |
| Köln - Cloppenburg       | Land      | 60,0                           | 317,72             | 9,22                          | 2,90                            |
| Cloppenburg - Lübeck     | Autobahn  | 110,5                          | 233,44             | 12,94                         | 5,54                            |
| Lübeck - Berlin          | Land      | 58,7                           | 275,44             | 10,59                         | 3,84                            |
| Berlin - Berlin          | Stadt     | 28,4                           | 66,46              | 3,13                          | 4,71                            |
| Berlin - Dresden         | Autobahn  | 103,4                          | 175,01             | 9,80                          | 5,60                            |
| Dresden - Nürnberg       | Land      | 56,8                           | 358,01             | 16,03                         | 4,48                            |
| Nürnberg - Nürnberg      | Stadt     | 27,5                           | 33,92              | 1,69                          | 4,98                            |
| Nürnberg - Esslingen     | Autobahn  | 95,4                           | 231,54             | 12,44                         | 5,37                            |
| <b>Gesamt</b>            | -----     | <b>66,8</b>                    | <b>2.145,80</b>    | <b>98,90</b>                  | <b>4,61</b>                     |

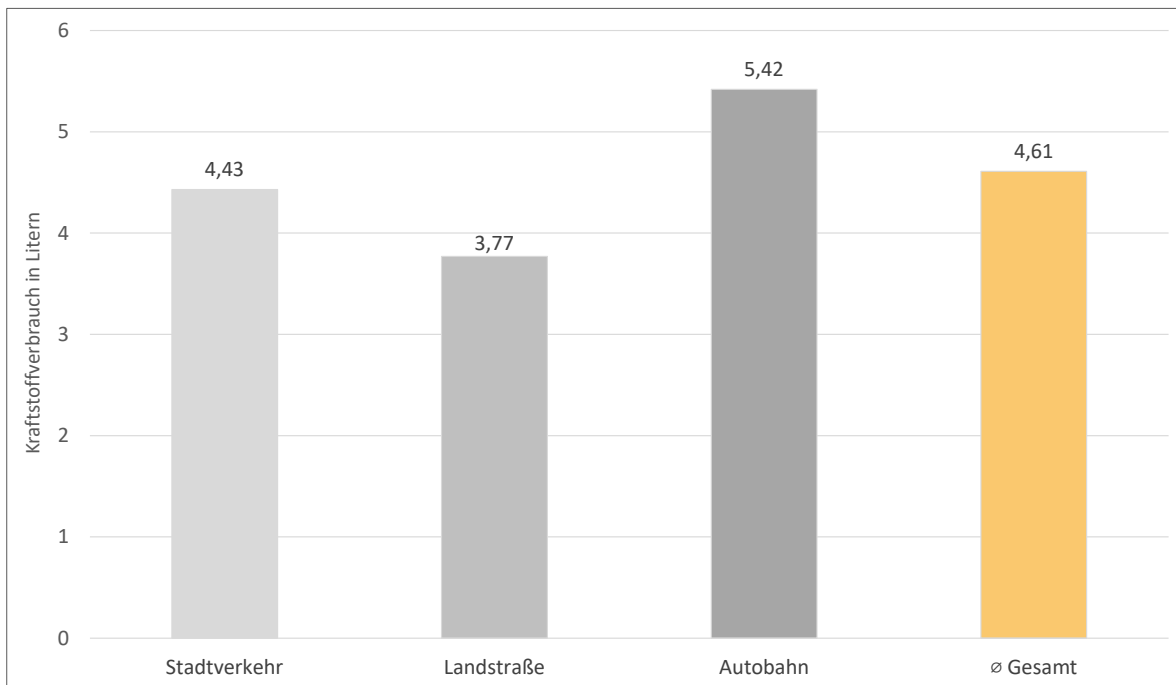
**Abbildung 18: Detailliergebnis Toyota RAV4 VollHybrid**

Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

Die im IfA Hybrid Real Endurance Test erfasste Datentiefe ermöglicht zudem eine noch differenzierte Betrachtung der Verbrauchswerte. So wurden für jede einzelne Etappe, die sich entweder vollständig aus Autobahn-, Landstraßen- oder Stadtverkehr zusammensetzt, die zurückgelegten Wegstrecken sowie der Gesamtverbrauch der Etappe erfasst. Damit kann für jede Etappe ein Durchschnittsverbrauchswert ausgewiesen werden. Bei der rund 275 Kilometer langen Landstraßenfahrt von Lübeck nach Berlin betrug der Durchschnittsverbrauch des RAV4 Vollhybrid beispielsweise 3,84 Liter je 100 Kilometer. Gleichzeitig lassen sich die Daten dahingehend aggregieren, sodass konsolidierte Durchschnittsverbräuche für Stadtverkehr, Landstraße und Autobahn – die drei grundlegenden Fahrumgebungen im IfA Hybrid Real Endurance Test – ausgewiesen werden können.

Demnach kann der RAV4 Vollhybrid auf der Landstraße den geringsten Durchschnittsverbrauch aufweisen, indem er im Mittel 3,77 Liter Kraftstoff je 100 Kilometer benötigt. Im Stadtverkehr liegt der durchschnittliche Verbrauch um 0,66 Liter höher und beläuft sich auf 4,43 Liter. Der höchste Durchschnittsverbrauch wird bei den Autofahrten registriert. Hier benötigt das SUV im Mittel 5,42 Liter für 100 Kilometer. Unter Berücksichtigung der Gesamtfahrstrecke von 2.145,80 Kilometern und einem Gesamtverbrauch in Höhe von

98,90 Litern steht am Ende der Testfahrt ein Gesamtdurchschnittsverbrauch von 4,61 Litern auf 100 Kilometern.



**Abbildung 19: Konsolidierte Ergebnisse in den Fahrumgebungen Toyota RAV4 Vollhybrid**  
Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

Den Blick richtend auf die Ergebnisse des RAV4 als Plug-in-Hybrid ist vorab eine Besonderheit hervorzuheben. Wie bereits in Abschnitt 3 beschrieben, wird bei der Plug-in-Variante jeder Testtag mit einer vollständig aufgeladenen Antriebsbatterie gestartet. Ab Start erfolgt die Fahrt dann ausschließlich im rein elektrischen „EV-Mode“ bis der Akkustand der Antriebsbatterie so niedrig ist, dass sich der Verbrennungsmotor automatisch dazu schaltet und das Fahrzeug im Hybrid-Modus betrieben wird. Durch dieses Lade- respektive Fahrkonzept werden je Testtag zwischen 68 und 85 Kilometer rein elektrisch zurückgelegt.

Im IfA Hybrid Real Endurance Test findet diese Besonderheit sowohl bei Darstellung als auch der Einordnung der Untersuchungsergebnisse der Plug-in-Variante Berücksichtigung. Nicht zuletzt aufgrund der vorhandenen Datentiefe kann der Kraftstoffverbrauch des Plug-in-Modells sowohl mit als auch ohne konsequentem Ladeverhalten dargestellt werden kann. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass das externe Aufladen der Antriebsbatterie von Plug-in-Hybriden in der Praxis nicht immer durchgehend erfolgen kann – sei es aus Gründen der Convenience oder schlichtweg aufgrund fehlender Ladepunkte.

Insgesamt absolviert der RAV4 Plug-in-Hybrid 311,3 Kilometer der Gesamtfahrstrecke (14,5 Prozent) von 2.143,66 Kilometern im rein elektrischen „EV-Mode“ und greift dabei auf Energie zurück, die zuvor über eine externe Stromquelle hinzugeführt wurde. Daher werden eine Autobahnfahrt und drei Landstraßenfahrten mit vollgeladenem Akku im reinen Elektromodus begonnen. 1.832,36 Kilometer wurden im Hybrid-Modus zurückgelegt. In Bezug auf das Gesamtergebnis können für den Durchschnittsverbrauch zwei Ergebnisse ausgewiesen werden – ein gemischtes Ergebnis, das die Gesamtdistanz berücksichtigt, sowie ein „bereinigtes“ Ergebnis, welches bei der Verbrauchsberechnung lediglich die im Hybrid-Modus zurückgelegte Strecke mit einbezieht. Dies ermöglicht zudem den direkten Vergleich beider RAV4-Varianten im Hybridmodus.

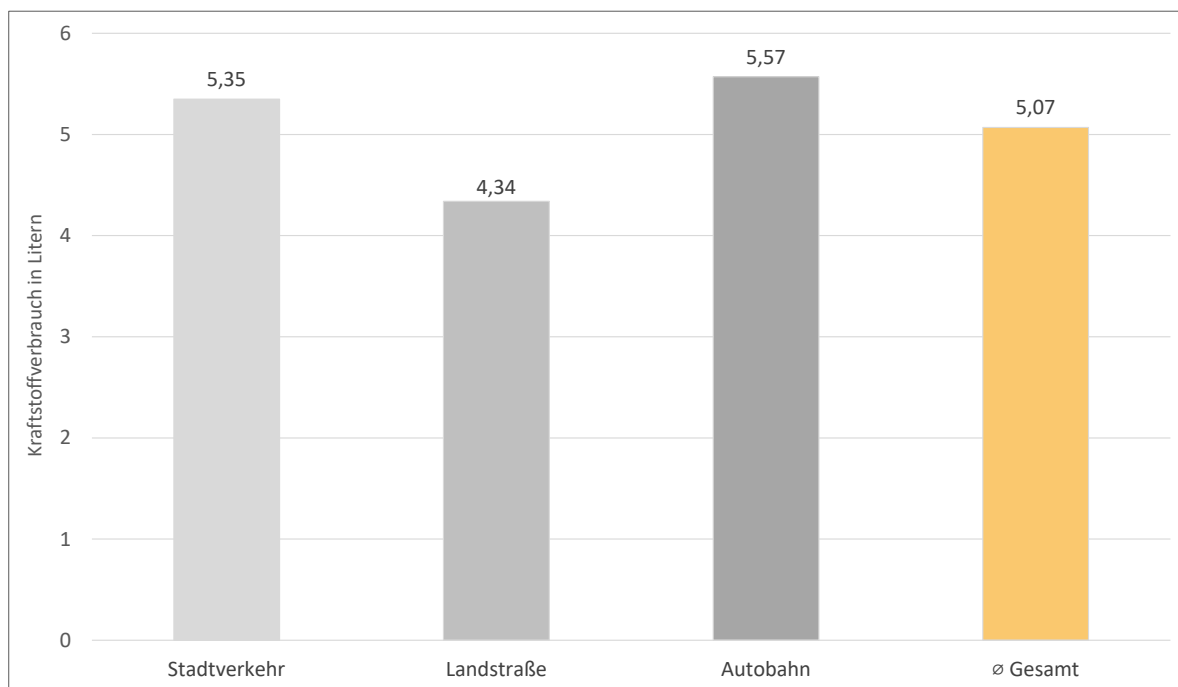
| Toyota RAV4   Plug-in-Hybrid                                                                           | Kategorie | Ø-Geschwindigkeit<br>(in km/h) | Distanz<br>(in km) |             | Gesamtverbrauch<br>(in Liter) | Ø-Verbrauch<br>(in Liter/100km) |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------|-------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------|
|                                                                                                        |           |                                | unbereinigt*       | bereinigt** |                               | unbereinigt*                    | bereinigt** |
| Esslingen - Köln      | Autobahn  | 96,8                           | 382,42             | 307,12      | 16,91                         | 4,42                            | 5,51        |
| Köln - Köln                                                                                            | Stadt     | 31,8                           | 70,17              | 70,17       | 3,44                          | 4,90                            | 4,90        |
| Köln - Cloppenburg  | Land      | 59,9                           | 317,72             | 232,42      | 10,67                         | 3,36                            | 4,59        |
| Cloppenburg - Lübeck                                                                                   | Autobahn  | 110,2                          | 233,45             | 233,45      | 13,26                         | 5,68                            | 5,68        |
| Lübeck - Berlin     | Land      | 58,6                           | 275,42             | 192,92      | 7,92                          | 2,88                            | 4,11        |
| Berlin - Berlin                                                                                        | Stadt     | 28,5                           | 66,51              | 66,51       | 4,00                          | 6,01                            | 6,01        |
| Berlin - Dresden                                                                                       | Autobahn  | 103,8                          | 175,00             | 175,00      | 9,55                          | 5,46                            | 5,46        |
| Dresden - Nürnberg  | Land      | 57,4                           | 357,60             | 289,40      | 12,41                         | 3,47                            | 4,29        |
| Nürnberg - Nürnberg                                                                                    | Stadt     | 27,5                           | 33,91              | 33,91       | 1,68                          | 4,95                            | 4,95        |
| Nürnberg - Esslingen                                                                                   | Autobahn  | 96,2                           | 231,46             | 231,46      | 12,99                         | 5,61                            | 5,61        |
| Gesamt                                                                                                 | -----     |                                | 2.143,66           | 1.832,36    | 92,83                         | 4,33                            | 5,07        |

\* unbereinigt = Inklusive Berücksichtigung durch externes Aufladen rein elektrisch zurückgelegte Wegstrecke  
\*\* bereinigt = Exklusive Berücksichtigung durch externes Aufladen rein elektrisch zurückgelegte Wegstrecke

**Abbildung 20: Detailergebnis Toyota RAV4 Vollhybrid**  
Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA)

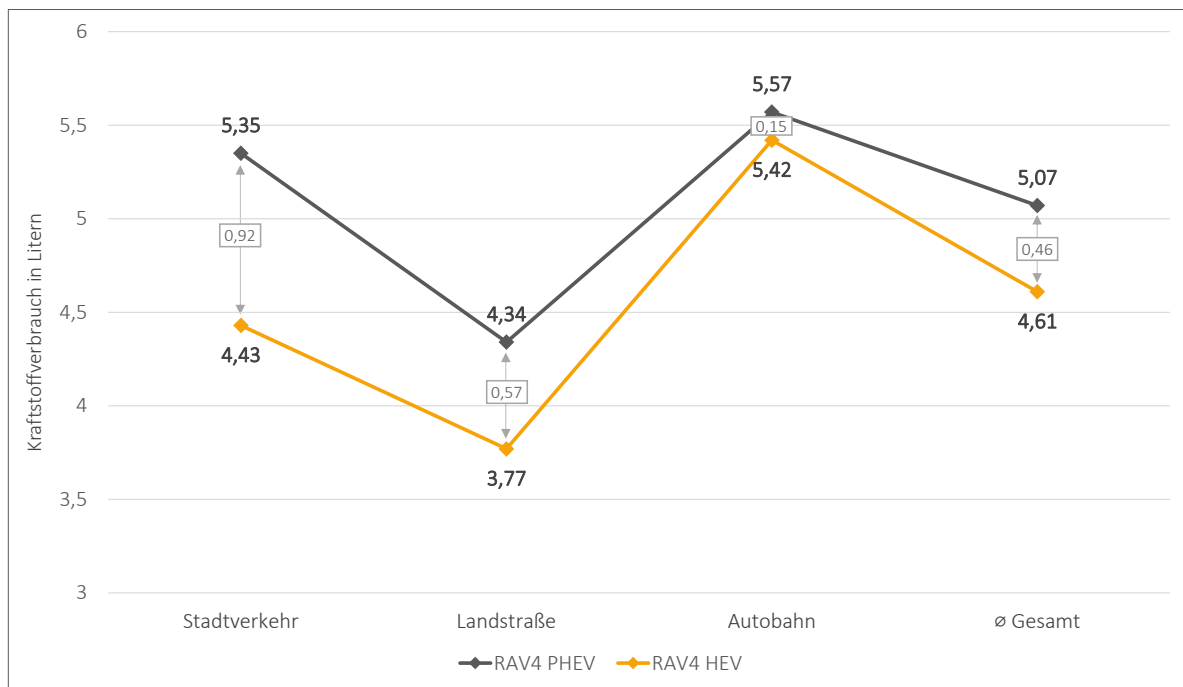
„Unbereinigt“ ergibt sich am Ende der Messfahrt ein Durchschnittsverbrauch in Höhe von 4,33 Litern je 100 Kilometer. Der Wert errechnet sich aus der zurückgelegten Wegstrecke in Höhe von 2.143,66 Kilometern und der dafür benötigten Kraftstoffmenge von 92,83 Litern. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass durch die vier Ladevorgänge rund 60 kWh Strom als zusätzlicher Energieträger extern zugeführt wurden. Die Betrachtung der Zusatzkosten dafür werden vor allem dann relevant, wenn – beispielsweise aus der Sicht eines

Flottenbetreibers – die Unterhaltskosten in ihrer Gesamtheit betrachtet werden sollen. Wird ausschließlich die im Hybrid-Modus zurückgelegte Strecke (1.832,66 Kilometer) zur Berechnung des Durchschnittsverbrauchs herangezogen, verschiebt sich das Ergebnis. In einer solchen Perspektive steigt der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch des Plug-in im Gesamt-Test auf 5,07 Liter an.



**Abbildung 21: Konsolidierte Ergebnisse in Fahrumgebungen Toyota RAV4 Plug-in-Hybrid**  
Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

Auch für den Toyota RAV4 als Plug-in-Hybrid ist eine differenzierte Auswertung der Verbrauchsdaten für die drei Fahrumgebungen möglich. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit mit der Vollhybrid-Variante werden in der Grafik ausschließlich die im Hybrid-Modus erzielten Verbrauchswerte ausgewiesen. Demnach liegt der Durchschnittsverbrauch im Stadtverkehr bei 5,35 Litern auf 100 Kilometern. Im reinen Landstraßenbetrieb sinkt der gemessene Durchschnittsverbrauch um rund einen Liter und beläuft sich auf 4,34 Liter. Der höchste Verbrauchswert wird auf der Autobahn gemessen. Hier benötigt der RAV4 als PHEV im Durchschnitt 5,57 Liter. Der Gesamtdurchschnittsverbrauch im Hybrid-Modus liegt bei 5,07 Litern auf 100 Kilometern.



**Abbildung 22: Gegenüberstellung Verbrauchswerte Vergleichspaar Toyota Yaris**

Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

Durch die Gegenüberstellung der Durchschnittsverbräuche des RAV4-Vergleichspaares kann die Vorteilhaftigkeit der jeweiligen Antriebsform in den Fahrumgebungen direkt abgelesen werden. Einleitend ist darauf hinzuweisen, dass aus Gründen der Vergleichbarkeit beim RAV4, ausschließlich die „bereinigten“ Verbrauchswerte ausgewiesen werden, die auf den im Hybrid-Modus zurückgelegten Wegstrecken basieren. Dabei zeigt sich der RAV4 als Vollhybrid in allen drei Fahrumgebungen als die verbrauchsgünstigere Variante. Am größten ist der Verbrauchsvorteil in der Stadt. Mit 0,92 Litern benötigt der Vollhybrid rund 20 Prozent weniger als sein Pendant als Plug-in. Im Landstraßenbetrieb nähern sich beide Werte an, sodass die Differenz bei rund einem halben Liter liegt. Auf Autobahnen liegen beide Modelle verbrauchstechnisch fast auf dem gleichen Niveau. Lediglich 0,15 Liter trennen PHEV und HEV.

## 4.2 Ergebnisse Vergleichspaar Toyota Yaris

So identisch die äußeren Rahmenbedingungen der beiden verglichenen Yaris-Modelle hinsichtlich Fahrleistungen, Sonderausstattungen und Fahrzeuggewicht sind, so unterschiedlich ist das Testergebnis der Verbrauchsfahrt: Gegenüber dem Durchschnittsverbrauch von

4,94 Litern der klassisch angetriebenen Yaris-Variante stehen 3,79 Liter beim Yaris als Hybrid-Modell. Das ergibt im Gesamt-Test einen Effizienzvorteil für den Yaris als Vollhybrid in Höhe von 1,15 Litern auf 100 Kilometern bzw. rund 25 Prozent.

Zur Einordnung der ermittelten Verbrauchsergebnisse ist zuvor auf die über GPS erfassten Fahrdaten einzugehen. Wie bereits in Abschnitt 3.4 beschrieben, wurde das Studiendesign so angelegt, dass beide Fahrzeuge des jeweiligen Vergleichspaares im realen Straßenverkehr exakt die gleiche Strecke in identischen Geschwindigkeiten zurücklegen und damit auch den gleichen Fahrsituationen ausgesetzt sind. Die Dokumentation der gesammelten GPS-Daten zeigt die erfolgreiche Schaffung identischer Rahmenbedingungen in realer Umgebung und untermauert die hohe Vergleichbarkeit der Messwerte. Ein gutes Beispiel dafür ist die Durchschnittsgeschwindigkeit der Testfahrt. Während für den Yaris in der Hybrid-Variante über die vier Testtage und zehn Etappen eine Durchschnittsgeschwindigkeit in Höhe von 68,0 km/h dokumentiert wird, durchläuft das ICE-Pendant die Gesamttestfahrt mit durchschnittlich 68,2 km/h. Das entspricht einer Abweichung von gerade einmal 0,2 km/h.

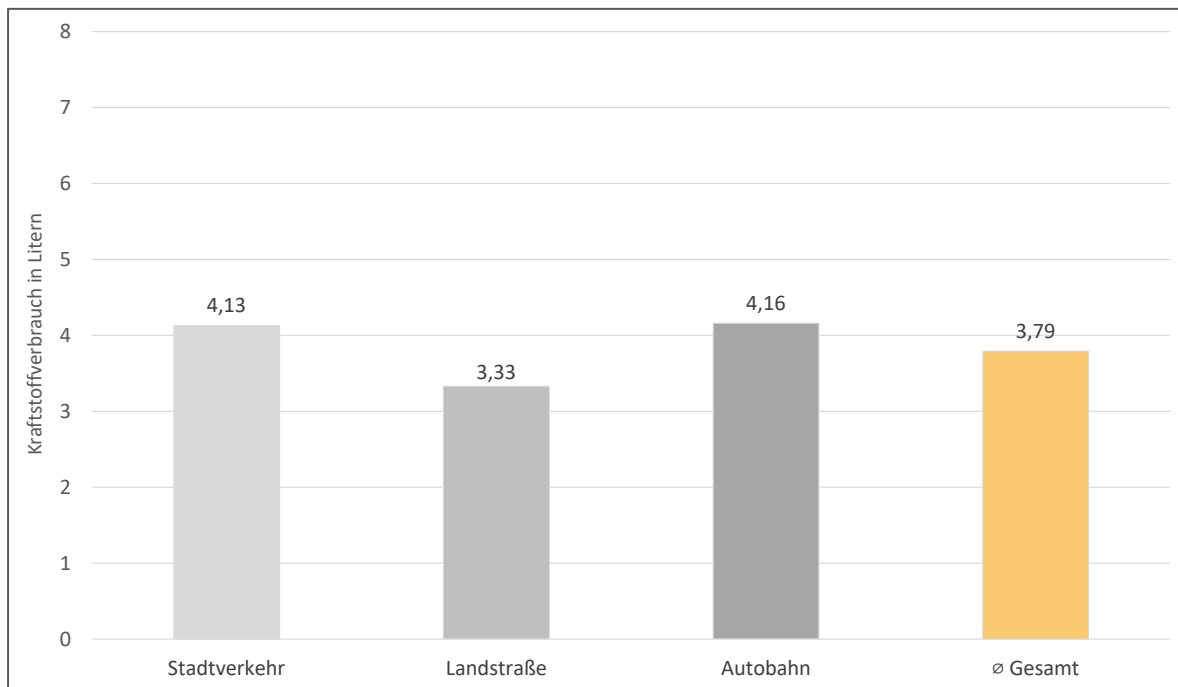
Wie auch bei dem Vergleich der beiden RAV4 basieren die ausgewiesenen Durchschnittsverbräuche des Yaris-Vergleichs auf der erfassten Wegstrecke (GPS-Messung) und dem dafür benötigten Kraftstoffverbrauch (OBD-Messung). Für den Yaris Hybrid bedeutet dies bei einem Gesamtverbrauch in Höhe von 81,29 Litern auf 2.146,02 Kilometern ein Durchschnittswert in Höhe von 3,79 Litern für 100 Kilometer. Diesem Ergebnis zugrunde liegen 1.022,69 Kilometer im Autobahnverkehr, 948,57 Kilometer auf Landstraßen und 174,76 Kilometer im reinen Stadtbetrieb.

| Toyota Yaris   Hybrid | Kategorie | Ø-Geschwindigkeit<br>(in km/h) | Distanz<br>(in km) | Gesamtverbrauch<br>(in Liter) | Ø-Verbrauch<br>(in Liter/100km) |
|-----------------------|-----------|--------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Esslingen - Köln      | Autobahn  | 97,0                           | 382,73             | 15,77                         | 4,12                            |
| Köln - Köln           | Stadt     | 32,5                           | 71,73              | 2,25                          | 3,14                            |
| Köln - Cloppenburg    | Land      | 60,6                           | 315,64             | 10,49                         | 3,32                            |
| Cloppenburg - Lübeck  | Autobahn  | 110,2                          | 233,42             | 9,46                          | 4,05                            |
| Lübeck - Berlin       | Land      | 59,3                           | 275,15             | 8,53                          | 3,10                            |
| Berlin - Berlin       | Stadt     | 29,4                           | 68,86              | 2,92                          | 4,24                            |
| Berlin - Dresden      | Autobahn  | 105,8                          | 174,97             | 7,49                          | 4,28                            |
| Dresden - Nürnberg    | Land      | 56,3                           | 357,78             | 12,52                         | 3,50                            |
| Nürnberg - Nürnberg   | Stadt     | 28,5                           | 34,17              | 2,04                          | 5,97                            |
| Nürnberg - Esslingen  | Autobahn  | 100,7                          | 231,57             | 9,82                          | 4,24                            |
| Gesamt                | -----     | 68,0                           | 2.146,02           | 81,29                         | 3,79                            |

**Abbildung 23: Detailergebnisse Toyota Yaris Hybrid**

Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA)

Die Einzelbetrachtung der Ergebnisse in den drei Fahrumgebungen eröffnet ein differenzierteres Bild auf die Verbrauchswerte. Demnach benötigt der Yaris Hybrid im Stadtverkehr durchschnittlich 4,13 Liter für 100 Kilometer Wegstrecke. Auf der Landstraße sinkt der gemessene Durchschnittsverbrauch deutlich auf 3,33 Liter. Auf der Autobahn hingegen steht ein Durchschnittsverbrauchswert in Höhe von 4,16 Litern auf 100 Kilometer.



**Abbildung 24: Konsolidierte Ergebnisse in den Fahrumgebungen Toyota Yaris Hybrid**  
Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

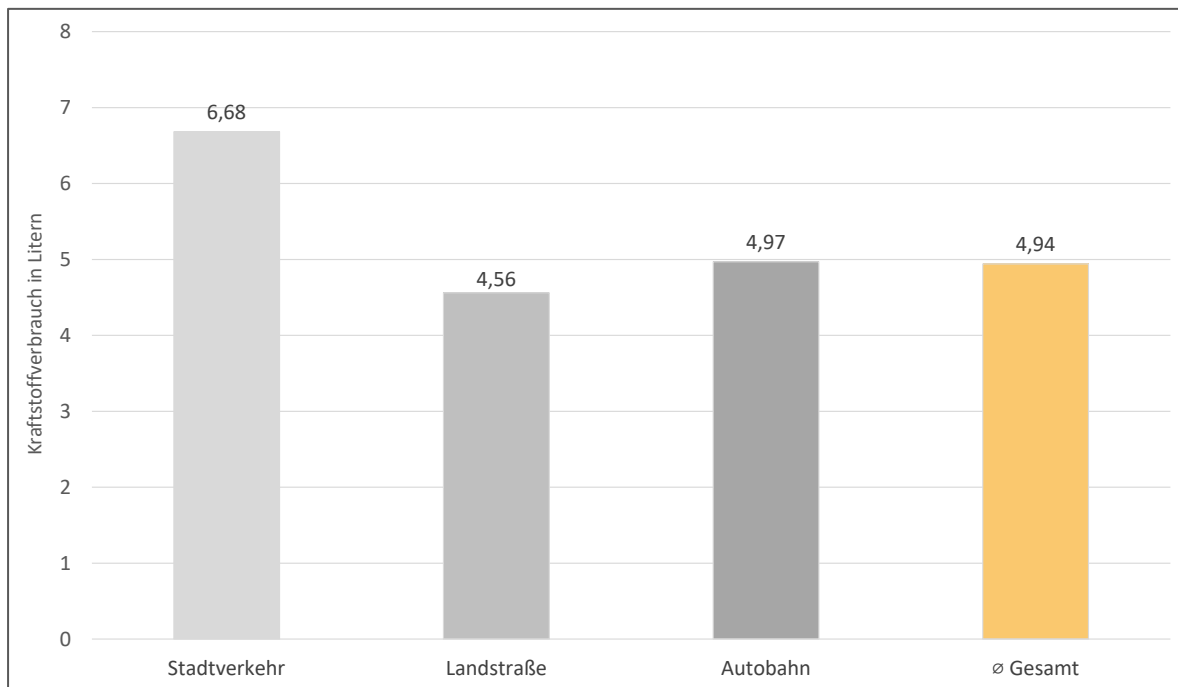
Der konventionell angetriebene Toyota Yaris (auch ICE = Internal Combustion Engine) liefert im IfA Hybrid Real Endurance Test die Referenzwerte im direkten Vergleich mit dem Yaris Hybrid. Dieses Fahrzeug benötigt für die insgesamt 2.157,96 Kilometer lange Teststrecke 106,53 Liter Kraftstoff, was einen Test-Durchschnittsverbrauch in Höhe von 4,94 Litern auf 100 Kilometern ergibt. Wie eingangs bereits beschrieben, bedeutet dies gegenüber der Hybrid-Variante einen Mehrverbrauch in Höhe von etwa 1,15 Litern auf 100 Kilometer.

| Toyota Yaris   ICE   | Kategorie | Ø-Geschwindigkeit<br>(in km/h) | Distanz<br>(in km) | Gesamtverbrauch<br>(in Liter) | Ø-Verbrauch<br>(in Liter/100km) |
|----------------------|-----------|--------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Esslingen - Köln     | Autobahn  | 98,0                           | 382,61             | 18,60                         | 4,86                            |
| Köln - Köln          | Stadt     | 36,6                           | 84,5               | 6,18                          | 7,31                            |
| Köln - Cloppenburg   | Land      | 60,6                           | 314,92             | 14,47                         | 4,59                            |
| Cloppenburg - Lübeck | Autobahn  | 108,8                          | 233,2              | 10,97                         | 4,70                            |
| Lübeck - Berlin      | Land      | 59,2                           | 274,79             | 11,91                         | 4,33                            |
| Berlin - Berlin      | Stadt     | 29,6                           | 68,72              | 4,18                          | 6,08                            |
| Berlin - Dresden     | Autobahn  | 106,1                          | 174,96             | 9,46                          | 5,41                            |
| Dresden - Nürnberg   | Land      | 56,9                           | 358,44             | 16,86                         | 4,70                            |
| Nürnberg - Nürnberg  | Stadt     | 28,5                           | 34,33              | 2,16                          | 6,29                            |
| Nürnberg - Esslingen | Autobahn  | 97,9                           | 231,49             | 11,74                         | 5,07                            |
| <b>Gesamt</b>        | -----     | <b>68,2</b>                    | <b>2.157,96</b>    | <b>106,53</b>                 | <b>4,94</b>                     |

#### Abbildung 25: Detailliergebnis Toyota Yaris ICE

Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA)

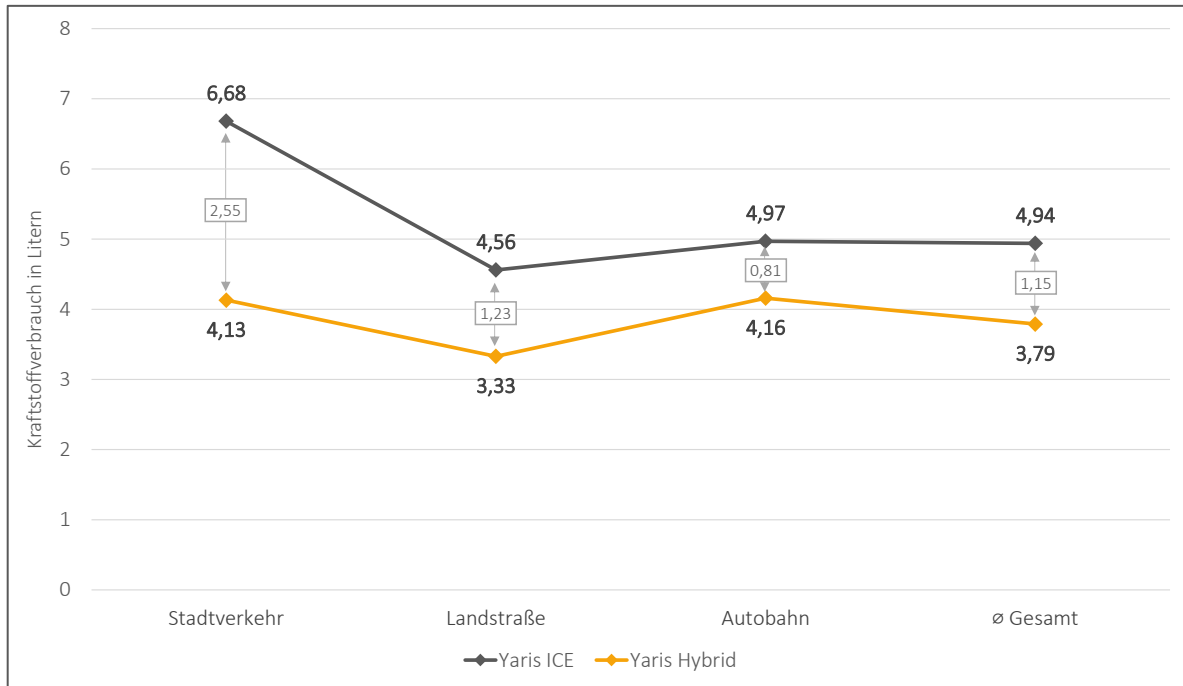
Auch beim klassisch angetriebenen Toyota Yaris ist eine Betrachtung der einzelnen Verbrauchswerte im Stadt-, Landstraßen- und Autobahnverkehr möglich. So liefert die Auswertung der im IfA Hybrid Real Endurance Test generierten Daten folgende Durchschnittsverbräuche zu Tage: Im Stadtverkehr benötigt der Kleinwagen im Testdurchschnitt 6,68 Liter für 100 Kilometer. Im Landstraßen- und Autobahnbetrieb verhalten sich die Verbrauchswerte annähernd ähnlich. So werden für 100 Kilometer auf der Landstraße im Durchschnitt 4,56 Liter benötigt. Im Autobahnbetrieb mit einer Reisedurchschnittsgeschwindigkeit in Höhe von rund 103 km/h sind es im Mittel 4,97 Liter.



**Abbildung 26: Konsolidierte Ergebnisse in den Fahrumgebungen Toyota Yaris ICE**

Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

Die Gegenüberstellung der ermittelten Verbrauchswerte von beiden Fahrzeugen zeichnet ein eindeutiges Bild. So liegt der Kraftstoffverbrauch des konventionell angetriebenen Yaris in der Stadt um rund 2,5 Liter über dem Verbrauch des Yaris Hybrid. Das entspricht einem Mehrverbrauch von etwa 60 Prozent und stellt den deutlichen Effizienzvorteil der Hybrid-Technologie im urbanen Raum heraus. Die deutliche Abweichung ist unter anderem damit zu begründen, dass der Hybrid-Yaris in der vom dauerhaften „Stopp-and-Go“-Phasen geprägten Stadtverkehr mit einer Vielzahl an Beschleunigungs- und Bremsvorgängen seine Technologievorteile ausspielen kann. Durch Rekuperationsvorgänge wird ein Großteil der Bremsenergie wieder direkt in die Traktionsbatterie eingespeist. Diese Energie steht dann wieder zum elektrischen Betrieb des Fahrzeugs zur Verfügung, ohne dass auf den Verbrennungsmotor zurückgegriffen werden muss.



**Abbildung 27: Gegenüberstellung der Verbrauchswerte für das Vergleichspaar Toyota Yaris**  
 Quelle: Institut für Automobilwirtschaft (IfA) 2022

Im Landstraßenbetrieb halbiert sich der Verbrauchsvorteil des Hybrid, liegt aber dennoch bei 1,23 Litern. Möglich wird das auch durch die Hybrid-Technik, die bei gleichbleibenden Geschwindigkeiten in der Ebene ein Abschalten des Verbrennungsmotors erlaubt. Das Tempo wird dann allein mittels Elektromotor gehalten, wodurch einzelne Fahrabschnitte auf Landstraßen verbrauchsneutral zurückgelegt werden können. Die dafür benötigte Energie stammt ebenfalls aus der Bremsenergieerückgewinnung – beispielsweise bei Bergabfahrten. Auf Autobahnen sinkt der Effizienzvorteil des Hybrid weiter und beträgt 0,81 Liter je 100 Kilometer. Im Anbetracht der Durchschnittsverbräuche im Bereich von unter fünf Litern liegt der Verbrauchsunterschied damit im Bereich von etwa 20 Prozent.

## 5 Fazit

Neben den ermittelten Verbrauchswerten hält der vom Institut für Automobilwirtschaft (IfA) konzipierte und durchgeführte Realverbrauchstest vielfältige Erkenntnisgewinne bereit. Die wichtigsten Erkenntnisse des Forschungsprojektes IfA Hybrid Real Endurance Tests lassen sich wie folgt zusammenfassen.

### **Objektiver Vergleich auch im Realverkehr möglich**

Der IfA Hybrid Real Endurance Test ist angetreten, um die oftmals an den Labortests geübte Kritik um die Kraftstoffverbräuche aufzugreifen und einen wertvollen Beitrag zur Diskussion um reale Verbrauchsangaben zu leisten. Das gewählte Testverfahren entspricht soweit möglich einer Fahrzeugnutzung unter realen Bedingungen. Das Ergebnis ist belastbar: Durch den Vergleich von zwei Fahrzeugpaaren innerhalb von 140 Fahrstunden und knapp 10.000 zurückgelegten Testkilometern durch ganz Deutschland sammelt der IfA Hybrid Real Endurance Test in Summe über 100 Millionen Datenpunkte. Die Zusammenfassung und Auswertung dieser gesammelten Daten liefert wiederum konsolidierte Durchschnittsverbräuche, die die Kraftstoffeffizienz der getesteten Fahrzeuge offenlegt. Damit zeigt das Forscherteam des Institut für Automobilwirtschaft, dass reale Testbedingungen und eine Vergleichbarkeit von Testwerten kombinieren lassen.

### **Kundenperspektive als zentrales Element im Forschungsdesign**

Die Messung von Kraftstoffverbräuchen im realen Straßenverkehr ist wohl so alt wie die meisten Autozeitschriften und -magazine. Insofern hat der IfA Hybrid Real Endurance Test kein wirkliches Neuland betreten. Vielmehr wurde der Gedanke einer unter realen Fahrbedingungen durchgeführten Verbrauchsmessung weitergeführt und durch ein transparentes und leicht nachvollziehbares Untersuchungsdesign sowie moderne Messmethoden angereichert. Als Ergebnis stehen objektiv und nachvollziehbar ermittelte Verbrauchswerte, die auf härteren Rahmenbedingungen als im WLTP-Verfahren basieren. Gleichzeitig wurde das Studiendesign so praxisnah definiert, dass es für Endverbraucher transparent und nachvollziehbar ist.

## **Elektrifizierung des Antriebsstrangs als Schlüssel zu hoher Effizienz**

Für das größte Aha-Erlebnis im Test sorgt der Yaris Hybrid. Er ist seinem nicht-elektrifizierten Äquivalent verbrauchstechnisch deutlich überlegen. Mehr als 2,5 Liter Verbrauchsvorteil im Stadtverkehr – also dem Umfeld, für das der Yaris gebaut wurde – sprechen eine deutliche Sprache. Die Tatsache, dass der hybride Yaris seine Antriebsbatterie in erster Linie auch mit Energie speist, die bei konventionellen Fahrzeugen ungenutzt bleibt, zeigt eindrucksvoll die technische, wirtschaftliche und ökologische Überlegenheit von Fahrzeugen mit elektrifiziertem Antriebsstrang – zumindest innerhalb der reinen Nutzungssituation.

Diese Aussagen stützen auch die Ergebnisse beider RAV4. Hier schafft es die Hybrid-Technologie, dass das SUV mit einem Leergewicht im Bereich zwischen 1,5 und 2 Tonnen im realen Straßenverkehr mit teils weniger als fünf Litern Kraftstoff auf 100 Kilometern auskommt. Wenn auch die Verbrauchswerte eindrucksvoll sind, erlaubt das RAV4-Ergebnis keine Benennung eines klaren Siegers. Vielmehr kommt es bei der Vorteilhaftigkeit von Plug-in- oder Vollhybrid-Technologie auf das individuelle Nutzer- beziehungsweise Fahrprofil an. Autofahrer mit eher kurzen Fahrstrecken und der Möglichkeit ihr Fahrzeug in regelmäßigen Abständen zu laden, fahren wohl mit der Plug-in-Variante günstiger – vor allem auch dann, wenn der Strom aus der heimischen Photovoltaikanlage kommt. Vielfahrer hingegen, die weite Strecken zurücklegen müssen und nicht immer und überall eine Stromlademöglichkeit haben, erzielen mit dem RAV4 als Vollhybrid die besten Verbrauchswerte. Insofern stellt der IfA Hybrid Real Endurance Test auch eine Entscheidungshilfe bei der Auswahl der optimalen Antriebsvariante dar.

## Literaturhinweise

DAT Deutsche Automobil Treuhand GmbH(2021): Leitfaden über den Kraftstoffverbrauch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen und den Stromverbrauch aller neuen Personenkraftwagenmodelle, die in Deutschland zum Verkauf angeboten werden, Ostfildern 2021

Geotab GmbH (2022): Datenblatt GO9-Telematik-Gerät, Herzogenrath 2022

Kraftfahrt-Bundesamt (2022): Fahrzeugzulassungen (FZ): Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, Flensburg 2022

Kraftfahrt-Bundesamt (2022): Neuzulassungsbarometer: Personenkraftwagen nach ausgewählten Segmenten, Flensburg 2022

Reif, K. (2015): Ottomotor-Management. Steuerung, Regelung und Überwachung. Springer Fachmedien Wiesbaden (Hrsg.), Wiesbaden 2015

Robert Bosch GmbH (2019): Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. Kfz-Fachwissen kompakt. Springer Vieweg (Hrsg.), Wiesbaden 2019

Schäffer, F. (2013): OBD: Fahrzeugdiagnose in der Praxis (Elektronik). Franzis Verlag GmbH (Hrsg.), München 2013

Toyota Deutschland GmbH (2022): RAV4 Plug-In-Hybrid. Preise und Fakten Modelljahr 2022, Köln 2022

Toyota Deutschland GmbH (2022): RAV4. Preise und Fakten Modelljahr 2022, Köln 2022

Toyota Deutschland GmbH (2022): Yaris. Preise und Fakten Modelljahr 2022, Köln 2022

UN Economic Commission for Europe (2018): United Nations Global Technical Regulation on Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP), Genf 2018

VBox Automotive Racelogic GmbH (2022): Datenblatt VBOX Touch, Wetzlar 2022

Verband der Automobilindustrie e.V. (2018): WLTP – neues Testverfahren weltweit am Start. Fragen und Antworten zur Umstellung von NEFZ auf WLTP, Berlin 2018