



# Testbericht

---

## Hyundai Nexa – 100.000 Kilometer

### Langzeittest

Bereich:

Konsumentenschutz & Mitgliederinteressen

Technik

Projektteam:

Dominik Darnhofer

Ing. Florian Merker

Dipl.-Ing. David Nosé

Marko Zmuric, MA

Testzeitraum:

August 2019 - August 2024

Testbericht-Fertigstellung:

Februar 2025

**Abbildung 1: Testfahrzeug Hyundai Nexö**



Quelle: Ing. Thomas Hava

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Einleitung</b>                                               | <b>4</b>  |
| 1.1 Übersicht über das Wasserstoffgesamtsystems im Testfahrzeug    | 4         |
| 1.2 Aufbau der Brennstoffzelle                                     | 5         |
| 1.3 Funktionsweise                                                 | 6         |
| 1.4 Wirkungsgrad                                                   | 8         |
| 1.5 Lagerung des Wasserstoffes                                     | 8         |
| <b>2. Technische Eigenschaften</b>                                 | <b>10</b> |
| <b>3. Langzeittest ÖAMTC</b>                                       | <b>11</b> |
| 3.1 Anschaffung                                                    | 11        |
| 3.2 Tankstellen                                                    | 11        |
| 3.3 Verbrauch                                                      | 12        |
| <b>4. Ergebnisse der Alterungsuntersuchung der Brennstoffzelle</b> | <b>12</b> |
| 4.1 Testprogramm                                                   | 12        |
| 4.2 Brennstoffzelle                                                | 15        |
| 4.2.1 Leistung und Wirkungsgrad des Brennstoffzellen-Stacks        | 15        |
| 4.2.2 Fazit zur Brennstoffzelle                                    | 16        |
| 4.3 Energiebereitstellung und -bedarf der Hochvoltkomponenten      | 17        |
| 4.3.1 Energiebereitstellung der Brennstoffzelle                    | 17        |
| 4.3.2 Energiebedarf der Klimaanlage                                | 18        |
| 4.3.3 Energiebedarf des elektrischen PTC-Heizers                   | 19        |
| 4.4 Wasserstoffbedarf                                              | 20        |
| 4.5 Reichweite                                                     | 21        |
| 4.6 Fazit                                                          | 22        |
| <b>5. Testfahrt Wien-Hamburg und zurück</b>                        | <b>23</b> |
| <b>6. Technische Probleme am Testfahrzeug</b>                      | <b>24</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                       | <b>26</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                                         | <b>26</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                                        | <b>26</b> |

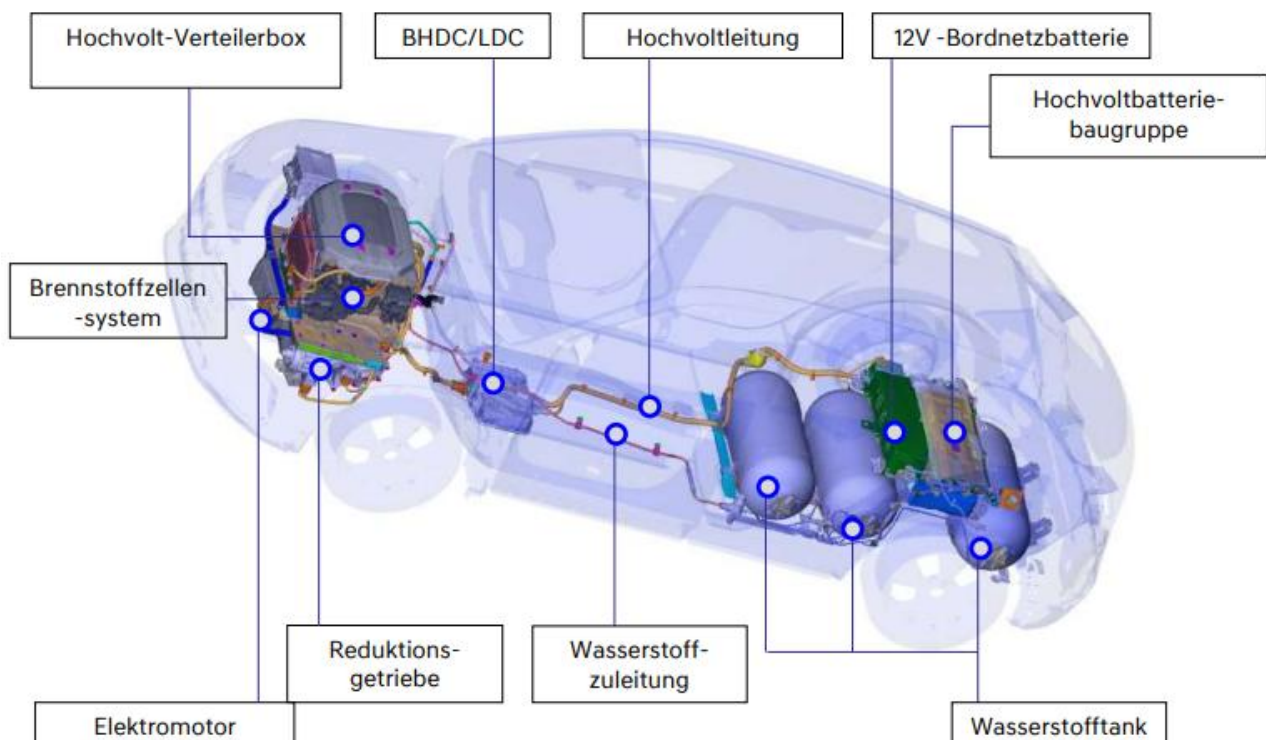
# 1. Einleitung

Das seitens des ÖAMTC zum Langzeittest ausgewählte Fahrzeug ist ein Hyundai Nexö mit Brennstoffzellenantrieb. Dabei handelt es sich um ein Elektrofahrzeug, bei dem der Strom für den Antrieb durch eine Brennstoffzelle erzeugt wird. In dieser werden Wasserstoff und Sauerstoff zu elektrischer Energie und Wärme umgewandelt. Dies geschieht bei der Umkehrung der Elektrolyse. Der große Vorteil des Brennstoffzellenfahrzeuges ist, dass es im Fahrbetrieb keine umweltrelevanten Emissionen produziert, da der einzige Ausstoß  $H_2O$ , also Wasser (Wasserdampf) ist. Weitere Vorteile sind niedrige Betriebstemperaturen von unter  $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , einfache Struktur, gute Haltbarkeit sowie schnelle Start- und Reaktionszeiten. (Quelle: Hyundai Import Gesellschaft m.b.H., 2024)

## 1.1 Übersicht über das Wasserstoffgesamtsystems im Testfahrzeug

In Abbildung 2 ist der Aufbau des Testfahrzeuges zu erkennen. Unter der Graphik werden die Funktionen der wichtigsten Bauteile beschrieben.

**Abbildung 2: Aufbau des Wasserstoffgesamtsystems im Testfahrzeug**



Quelle: Hyundai Motor Deutschland GmbH, 2019, S.10

- Das Brennstoffzellensystem erzeugt elektrische Energie durch eine elektrochemische Reaktion zwischen Sauerstoff und Wasserstoff.
- Die Hochvolt-Verteilerbox beliefert Bauteile wie den Wechselrichter, den Niederspannungs-DC-DC-Wandler, den Klimakompressor mit Energie aus der Batterie.

- LDC oder Niederspannungs-DC-DC-Wandler lädt die 12-V-Bordnetzbatterie.
- BHDC wandelt die Spannungen zwischen Hochvoltbatterie, Stack und Wechselrichter um.
- Die Hochvoltleitungen sind gemäß dem SAE-Standard orange und verlaufen von der Hochvoltbatterie im Heck nach vorne zu dem Elektromotor und anderen Hochvoltkomponenten.
- Die 12-V-Bordnetzbatterie betreibt die Standard-Stromverbraucher (z.B.: Radio, Kombiinstrumente, ...) sowie das Steuergerät, das die Versorgung mit Hochspannung und die Zuleitung von Wasserstoff regelt.
- Die Hochvoltbatteriebaugruppe ist dafür verantwortlich, dass der Antriebsmotor mit Strom beliefert und die generierte elektrische Energie gespeichert wird.
- Die Wasserstofftanks speichern den Wasserstoff.
- Die Wasserstoffzuleitungen liefern den Wasserstoff von den Wasserstofftanks zu der Brennstoffzelle.
- Das Reduktionsgetriebe erhöht das Motormoment (max. Drehmoment: 395 Nm) und leitet dieses an die Räder weiter.
- Der Elektromotor ist gemeinsam mit dem Reduktionsgetriebe für den Vortrieb des Fahrzeuges verantwortlich. Wenn das Fahrzeug verzögert oder gebremst wird, fungiert der Elektromotor als Generator und wandelt die kinetische Energie in elektrische Energie um, diese wird anschließend in der Hochvoltbatterie gespeichert.

*(Quelle: Hyundai Motor Deutschland GmbH, 2019, S.10/11)*

## 1.2 Aufbau der Brennstoffzelle

Jede Brennstoffzelle besteht aus zwei Elektroden (einer Anode (+), einer Kathode (-)) und einem Elektrolyten. Diese sind sandwichartig um den Elektrolyten angeordnet. Als Elektrolyt wird eine Membran – hergestellt aus thermoplastischem Kunststoff, genannt „Ionomer“ – verwendet. Diese Membran ist das Herzstück und wird häufig als PEM (Protonen-Austausch-Membran) abgekürzt.

Die Brennstoffzelle im Hyundai Nexa ist eine Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle, die auch als Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEMFC) bekannt ist und über eine Polymerelektrolytmembran verfügt, die speziell für den Wasserstoffionenaustausch konstruiert wurde.

Die PEMFC zeichnet sich im Vergleich zu anderen Brennstoffzellen durch eine höhere Stromdichte und eine höhere Leistungsabgabe aus. *(Quelle: Hyundai Import Gesellschaft m.b.H., 2024)*

## 1.3 Funktionsweise

Der in der Brennstoffzelle stattfindende Prozess – wo Energie freigesetzt wird – wird exotherme Reaktion genannt. Auf der einen Seite wird Wasserstoff zur Anode geleitet. Auf der anderen Seite liegt die Kathode, die mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft angereichert wird.

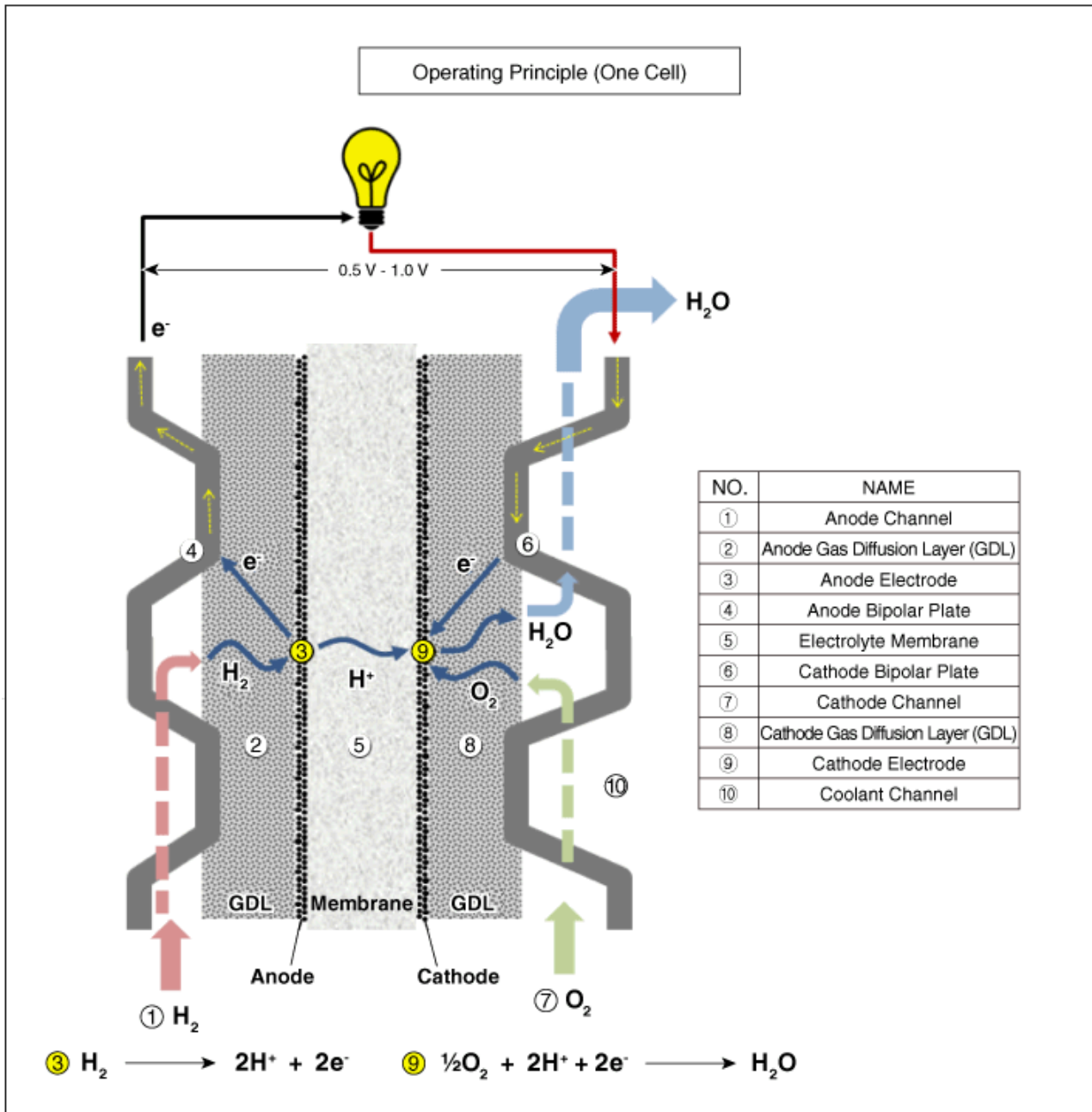
Der Wasserstoff ( $H_2$ ) verbindet sich mit Sauerstoff ( $O_2$ ) zu Wasser ( $H_2O$ ). An der Anode wird der Wasserstoff durch einen Platinkatalysator in positive Wasserstoff-Ionen (Protonen) und negativ geladene Elektronen aufgespalten.

Der Elektrolyt (PEM) ist aber nur für positiv geladen Ionen durchlässig, die negativ geladenen Elektronen werden aufgehalten, wodurch es an der Anode zu einem Elektronenüberschuss und an der Kathode zu einem Elektronenmangel kommt. Um es wieder auszugleichen, bewegen sich die negativ geladenen Elektronen über einen externen Stromkreis zur Kathode. Bei dieser Bewegung entsteht eine Spannung und dadurch ein Stromfluss (Gleichstrom). An der Kathode verbinden sich anschließend die Protonen und Elektronen mit Sauerstoff ( $O_2$ ) zu Wasser ( $H_2O$ ).

Neben der Kathode, der Anode und dem Elektrolyten sind die bipolaren Platten eines der wichtigsten Bauteile der Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen (PEMFC). Diese Platten sind für die Stützung der Elektroden und für die Induzierung des Wasserstoff- und Luftflusses verantwortlich. *(Quelle: Hyundai Import Gesellschaft m.b.H., 2024)*

Die folgende Abbildung zeigt einen typischen Brennstoffzellenstapel.

Abbildung 3: Aufbau & Funktion einer Brennstoffzelle<sup>2</sup>



Quelle: Hyundai Import Gesellschaft m.b.H., 2024

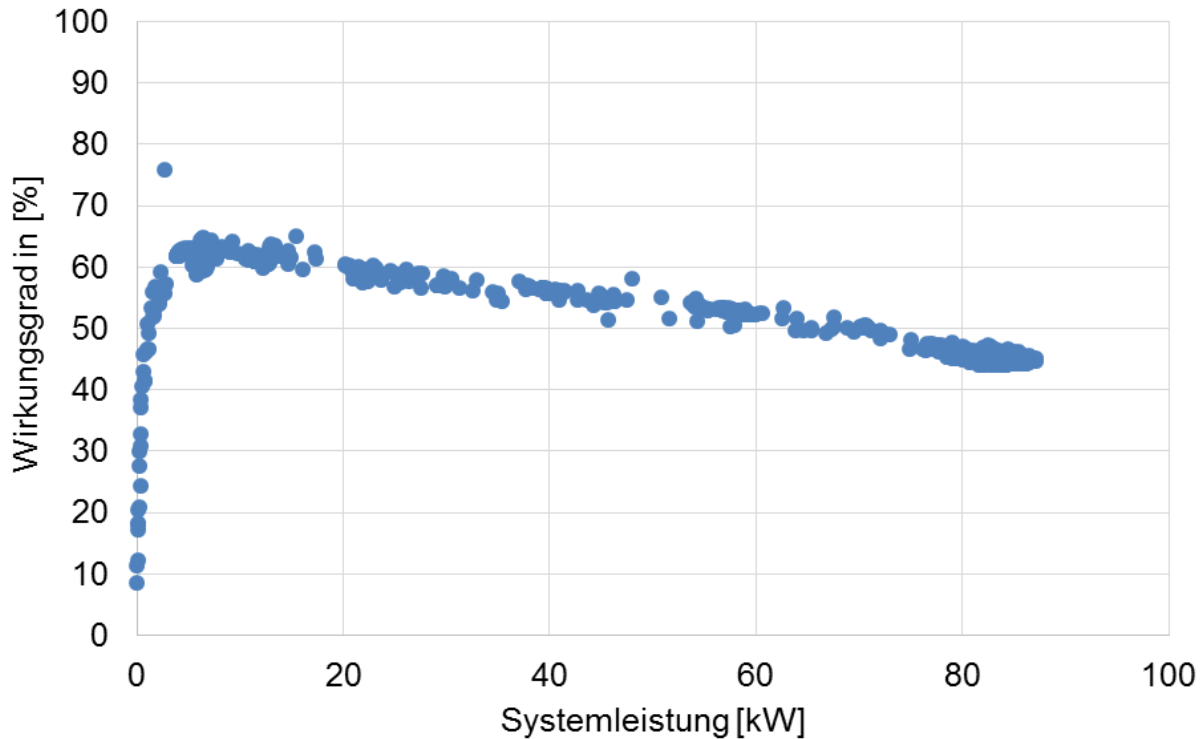
Eine PEM-Einzelzelle erreicht bereits minimale Dicken von 1 bis 1,2 mm und hat je nach Temperatur eine Nennspannung von zirka 0,5 bis 1 Volt und eine Zellenleistung von zirka 100 W. Sollten die Oberflächen der Zellplatten vergrößert werden, kann der Strom erhöht werden.

Um die Leistung für einen Elektromotor zu erbringen, reicht eine Zelle nicht aus, daher werden – wie beim Testfahrzeug – 440 Zellen in Reihenschaltung miteinander zu einem Brennstoffzellen Stack verbunden, wodurch eine höhere Spannung erzielt wird. (Quelle: Hyundai Import Gesellschaft m.b.H., 2024)

## 1.4 Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle liegt je nach Temperatur zwischen 50 und 70%, da der Rest der Energie in Wärme umgewandelt wird. Um diese Wärme abzuleiten, wird die Brennstoffzelle gekühlt. In Verbindung mit einem Elektromotor ist der Wirkungsgrad erheblich höher als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

**Abbildung 4: Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems**



Quelle: TU Wien, 2016, S.14

## 1.5 Lagerung des Wasserstoffes

Wasserstoff kann entweder gasförmig unter hohem Druck (350 bis 875 bar) oder flüssig bei  $-253^{\circ}\text{C}$  gelagert werden. Um in Fahrzeugen Wasserstoff „lagern“ zu können, muss der Tank qualitativ hochwertig und doppelwandig sein, da Wasserstoff – egal ob gasförmig oder flüssig – eine niedrige volumenbezogene Energiedichte aufweist (ca. 1/3 von Erdgas). Die Speicherung von Wasserstoff benötigt einen dreimal so großen Tank bzw. Druck wie Erdgas. Zwischen den beiden Hüllen des Tanks befindet sich – in einem Vakuum – ein Isolationsmaterial, wodurch Abdampfverluste minimiert und der Tank kalt gehalten wird.

Tankstellen lagern Wasserstoff sowohl gasförmig als auch – dies aber nur in seltenen Fällen – flüssig.



Das Testfahrzeug weist drei Tanks auf, die zusammen 151,6 kg wiegen. Sie fassen insgesamt 6,33 kg Wasserstoff und haben ein Volumen von 52,2 l pro Tank (insgesamt 156,6 l). Innen ist gasförmiger Wasserstoff unter einem Druck von bis zu 875 bar gespeichert. Der Wasserstofftank besteht aus einem Kunststoff-Innenbehälter mit einer Vollumwicklung aus Karbon-Verbundwerkstoff. Die Karbonhülle besteht aus hochwiderstandsfähiger Karbonfaser, eingetaucht in Epoxydharz. (Quelle: Hyundai Import Gesellschaft m.b.H., 2024)

## 2. Technische Eigenschaften

|                             |                                                                                                                                  |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Marke                       | Hyundai                                                                                                                          |
| Handelsbezeichnung          | Nexo                                                                                                                             |
| Baujahr                     | 2019                                                                                                                             |
| Türen                       | 5                                                                                                                                |
| Länge                       | 4.670 mm                                                                                                                         |
| Breite (ohne Außenspiegel)  | 1.860 mm                                                                                                                         |
| Höhe (mit Dachreling)       | 1.640 mm                                                                                                                         |
| Radstand                    | 2.790 mm                                                                                                                         |
| Eigengewicht                | 1.873 kg                                                                                                                         |
| Zuladung                    | 467 kg                                                                                                                           |
| Normverbrauch               |                                                                                                                                  |
| - Innerorts                 | 0,77 kg H <sub>2</sub> /100 km                                                                                                   |
| - Außerorts                 | 0,89 kg H <sub>2</sub> /100 km                                                                                                   |
| - Gesamt                    | 0,84 kg H <sub>2</sub> /100 km                                                                                                   |
| Abgasklasse                 | -                                                                                                                                |
| CO <sub>2</sub> -Ausstoß    | 0 g/km                                                                                                                           |
| Antriebsart                 | Wasserstoff-Brennstoffzelle                                                                                                      |
| Getriebe                    | 1- Gang Planetengetriebe                                                                                                         |
| Brennstoffzellentyp         | Polymerelektrolyt                                                                                                                |
| Brennstoffzelle             | 95 kW, 440 Zellen,<br>Leistungsdichte: 3,1 kW/Liter Volumen                                                                      |
| Wirkungsgrad                | 60 %                                                                                                                             |
| Maximale Leistung           | 120 kW (163 PS)                                                                                                                  |
| Maximales Drehmoment        | 395 Nm bei 0 min <sup>-1</sup>                                                                                                   |
| Höchstgeschwindigkeit       | 179 km/h                                                                                                                         |
| Reichweite [WLTP]           | 666 km                                                                                                                           |
| Beschleunigung<br>0-100km/h | 9,5 sec                                                                                                                          |
| Hochvoltbatterie            | Nickel-Mangan-Kobald (NMC) - Lithiumionen-Polymer, 250 V, 64<br>Zellen, 4 Zellenmodule, Zellspannung beträgt 3,75 V,<br>1,56 kWh |
| Wasserstofftank             | 156,6 l bzw. 6,33 kg bei 700 bar                                                                                                 |
| Reifen                      | Sommerreifen 245/45 R19<br>Winterreifen 245/45 R19                                                                               |

Quelle: Hyundai Motor Deutschland GmbH, 2023

### 3. Langzeittest ÖAMTC

#### 3.1. Anschaffung

Das Testfahrzeug wurde am 19.08.2019 durch den ÖAMTC geleast und in den Testfuhrpark der Abt. Technik, Test, Sicherheit aufgenommen. Es war das zweite Brennstoffzellen-Fahrzeug im ÖAMTC Fuhrpark. Das Vorgängermodell, der Hyundai ix35 FCEV, ist seit Juni 2015 im Fuhrpark des ÖAMTC vertreten.

#### 3.2. Tankstellen

In Österreich bestehen derzeit lediglich fünf öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen – jeweils eine in Wien, Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark und Tirol. Betrieben werden alle von der OMV – verkauft wird „grauer“ Wasserstoff.

Die häufigsten Betankungen wurden in Wr. Neudorf (IZ NÖ Süd Straße Objekt 9 4, 2351 Wiener Neudorf) durchgeführt (*Quelle: H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG, 2025*).

Seit Oktober 2023 besteht zwischen Wien Energie und ÖAMTC eine Vereinbarung, die dem ÖAMTC erlaubt an den Wasserstofftankstellen der Wien Energie – auf Privatgelände – zu tanken. An diesen Wasserstoff-Tankstellen wird „grüner“ Wasserstoff verkauft.

Mitte April 2025 wurde von der OMV bekanntgegeben, dass die 5 Wasserstofftankstellen, die Sie betreiben, im Laufe des Jahres 2025 geschlossen werden (*Quelle: H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG, 2025*).

Mit der Schließung der OMV-Wasserstofftankstellen in Österreich, ist der Betrieb eines Brennstoffzellenfahrzeug, welches mit Wasserstoff betrieben wird, erschwert bis gar unmöglich gemacht worden. Aus diesem Grund werden sich die Zulassungszahlen der Brennstoffzellenfahrzeuge in Österreich weiter verringern.

Ein möglicher Lichtblick ist die die AFIR-Verordnung (Alternative Fuels Infrastructure Regulation). Diese ist eine EU-Verordnung, die legt seit April 2024 verbindliche Ziele für den Aufbau von Lade- und Tankinfrastruktur für alternative Kraftstoffe wie Wasserstoff festlegt. Das genaue Ziel der Verordnung liegt darin, dass bis Ende 2030 in der EU mindestens alle 200 Kilometer entlang des Straßennetzes des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen mit einer Kapazität von mindestens 1 Tonne pro Tag und einem Druck von 700 bar errichtet werden. Zusätzlich muss an jedem städtischen Knotenpunkt mindestens eine Tankstelle, die Wasserstoff anbietet, vorhanden sein (*Quelle: European Commission, DG Mobility & Transport. 2025*).

Zur Erklärung:

- „Grauer“ Wasserstoff:
  - Wasserstoff wird durch die Dampfreformierung fossiler Brennstoffe wie Erdgas, Kohle oder Öl erzeugt (*Quelle: Umweltbundesamt Deutschland, 2025*).
- „Grüner“ Wasserstoff:
  - Wasserstoff wird durch die Elektrolyse erzeugt, die dafür notwendige Energie wird mittels erneuerbarer Energien (Windkraft, Wasserkraft oder Sonnenenergie) gewonnen (*Quelle: Umweltbundesamt Deutschland, 2025*).

### 3.3. Verbrauch

Laut Hersteller ist der Normverbrauch wie folgt (*Quelle: Hyundai Motor Deutschland GmbH, 2023*):

- |                 |                                     |
|-----------------|-------------------------------------|
| - Innerorts     | 0,77 kg H <sub>2</sub> /100 km      |
| - Außerorts     | 0,89 kg H <sub>2</sub> /100 km      |
| - <b>Gesamt</b> | <b>0,84 kg H<sub>2</sub>/100 km</b> |

Der Durchschnittsverbrauch über die gesamte Testdauer beträgt: 1,05 kg H<sub>2</sub>/100 km und liegt somit um 0,21 kg H<sub>2</sub>/100 km oder 25% über der Werksangabe.

## 4. Ergebnisse der Alterungsuntersuchung der Brennstoffzelle

Ziel der Studie war die Vermessung, Analyse und Bewertung des Brennstoffzellenfahrzeuges Hyundai Nexa im Hinblick auf den Alterungszustand. Aus diesem Grund wurden durch die *TU Wien / Automotive Test Center GmbH* zwei Vermessungen durchgeführt, die erste 2020 bei Neuzustand des Fahrzeuges und die zweite bei einem Kilometerstand von 100.000 Kilometer im Sommer 2024.

### 4.1. Testprogramm

Die Tests wurden auf dem Vierrad-Rollenprüfstand der TU Wien Automotive Test Center GmbH durchgeführt. Der zu absolvierende Fahrzyklus wird entsprechend dem Eco-Test, wie in Abbildung 6 dargestellt, durchgeführt. Es wurden Basismessungen bei verschiedenen Temperaturen vorgenommen, und zusätzlich erfolgte ein erweitertes Messprogramm bei einer Umgebungstemperatur von +23 °C. (*Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.2/3*)

**Tabelle 1: Basismessprogramm**

| Fahrzyklus | Phase     | Fahrbahnneigung und Fahrstil                                                   | Umgebungstemperatur | Klimatisierung | Dauer des Tests                                                |
|------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|
| Eco-Test   | Innerorts | Fahrbahnneigung:<br>0 %<br><br>Fahrstil:<br>"normal"<br>+/- 2 km/h<br>Toleranz | -20 °C              | Heizung        | 2x Eco-Test in Folge<br><br>Start mit Umgebungs-<br>temperatur |
|            |           |                                                                                | -10 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | 0 °C                | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | +10 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | +23 °C              | -              |                                                                |
|            |           |                                                                                | +30 °C              | Klimaanlage    |                                                                |
|            |           |                                                                                | +40 °C + 1.000 W/m² | Klimaanlage    |                                                                |
|            | Außerorts |                                                                                | -20 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | -10 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | 0 °C                | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | +10 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | +23 °C              | -              |                                                                |
|            |           |                                                                                | +30 °C              | Klimaanlage    |                                                                |
|            |           |                                                                                | +40 °C + 1.000 W/m² | Klimaanlage    |                                                                |
|            | Autobahn  |                                                                                | -20 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | -10 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | 0 °C                | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | +10 °C              | Heizung        |                                                                |
|            |           |                                                                                | +23 °C              | -              |                                                                |
|            |           |                                                                                | +30 °C              | Klimaanlage    |                                                                |
|            |           |                                                                                | +40 °C + 1.000 W/m² | Klimaanlage    |                                                                |

Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.4

Tabelle 2: Erweitertes Messprogramm bei +23°C Umgebungstemperatur

| Fahrzyklus     | Phase     | Fahrbahnneigung und Fahrstil                                                        | Umgebungstemperatur | Klimatisierung | Dauer des Tests                                                                     |
|----------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Konstant-fahrt | 30 km/h   | Fahrbahnneigung:<br>0 %<br><br>Fahrstil:<br>"normal"<br>+/- 2 km/h<br>Toleranz      | +23 °C              | -              | Start<br>betriebswarm                                                               |
|                | 50 km/h   |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
|                | 70 km/h   |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
|                | 100 km/h  |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
|                | 130 km/h  |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
| Stopp-and-Go   | -         | Fahrbahnneigung:<br>0 %<br><br>Fahrstil:<br>"normal"<br>+/- 2 km/h<br>Toleranz      |                     |                | 1x 50km/h-<br>700m-Test<br><br>Start<br>betriebswarm                                |
|                | Eco-Test  | Innerorts                                                                           |                     |                | Fahrbahnneigung<br>:<br>-2 %<br><br>Fahrstil:<br>"normal"<br>+/- 2 km/h<br>Toleranz |
| Außerorts      |           |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
| Autobahn       |           |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
| Eco-Test       | Innerorts | Fahrbahnneigung<br>:<br>+2 %<br><br>Fahrstil:<br>"normal"<br>+/- 2 km/h<br>Toleranz |                     |                | 1x Eco-Test<br><br>Start<br>betriebswarm                                            |
|                | Außerorts |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
|                | Autobahn  |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
| Eco-Test       | Innerorts | Fahrbahnneigung:<br>0 %<br><br>Fahrstil:<br>aggressiv<br>+/- 5 km/h<br>Toleranz     |                     |                | 1x Eco-Test<br><br>Start<br>betriebswarm                                            |
|                | Außerorts |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
|                | Autobahn  |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
| Eco-Test       | Innerorts | Fahrbahnneigung:<br>0 %<br><br>Fahrstil:<br>ökonomisch<br>+/- 5 km/h<br>Toleranz    |                     |                | 1x Eco-Test<br><br>Start<br>betriebswarm                                            |
|                | Außerorts |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |
|                | Autobahn  |                                                                                     |                     |                |                                                                                     |

Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.5

Tabelle 3: Eco-Testzyklus Zusammensetzung

| Eco-Test                   | 35,506 km<br>100%                |                           |                                   |                                 |                                  |                              |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| ausge-wertete<br>Zyklen    | Innerorts<br>8,850 km<br>24,93 % |                           | Außerorts<br>15,886 km<br>44,74 % |                                 | Autobahn<br>10,770 km<br>30,33 % |                              |
| Test-zyklen<br>„Bausteine“ | NEFZ<br>ECE<br>3,920 km          | CADC<br>Urban<br>4,930 km | NEFZ<br>EUDC<br>6,920 km          | CADC Extra<br>Urban<br>8,966 km | BAB130<br>9,270 km               | Auf-<br>/Abfahrt<br>1,500 km |

Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.6

## 4.2. Brennstoffzelle

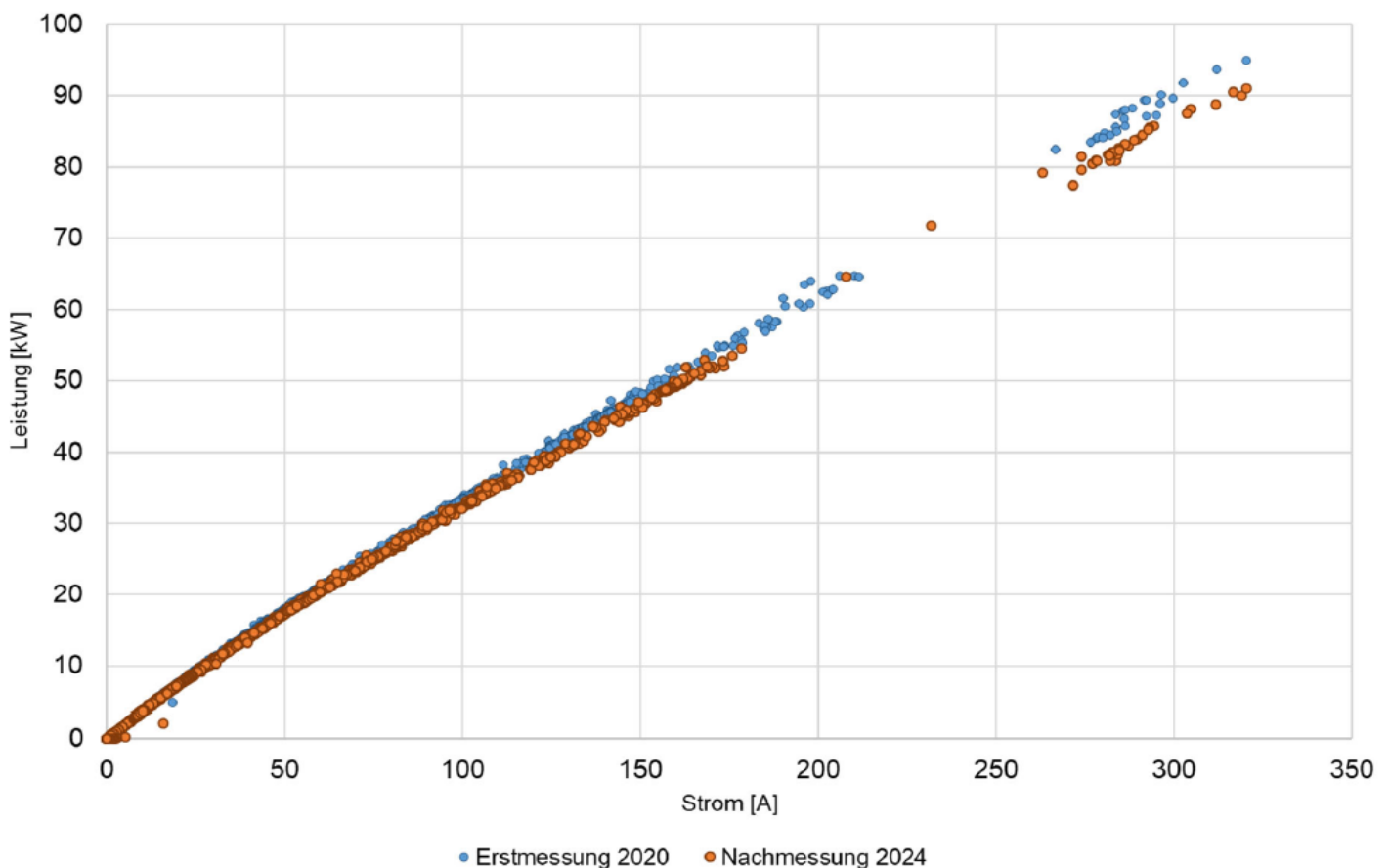
Anfangs werden die Unterschiede – die Brennstoffzelle betreffend – zwischen der Erstmessung 2020 und der Nachmessung 2024 dargestellt.

### 4.2.1. Leistung und Wirkungsgrad des Brennstoffzellen-Stacks

Abbildung 6 zeigt einen Vergleich des Leistungsverlaufs der Brennstoffzelle in Abhängigkeit vom abgegebenen Strom.

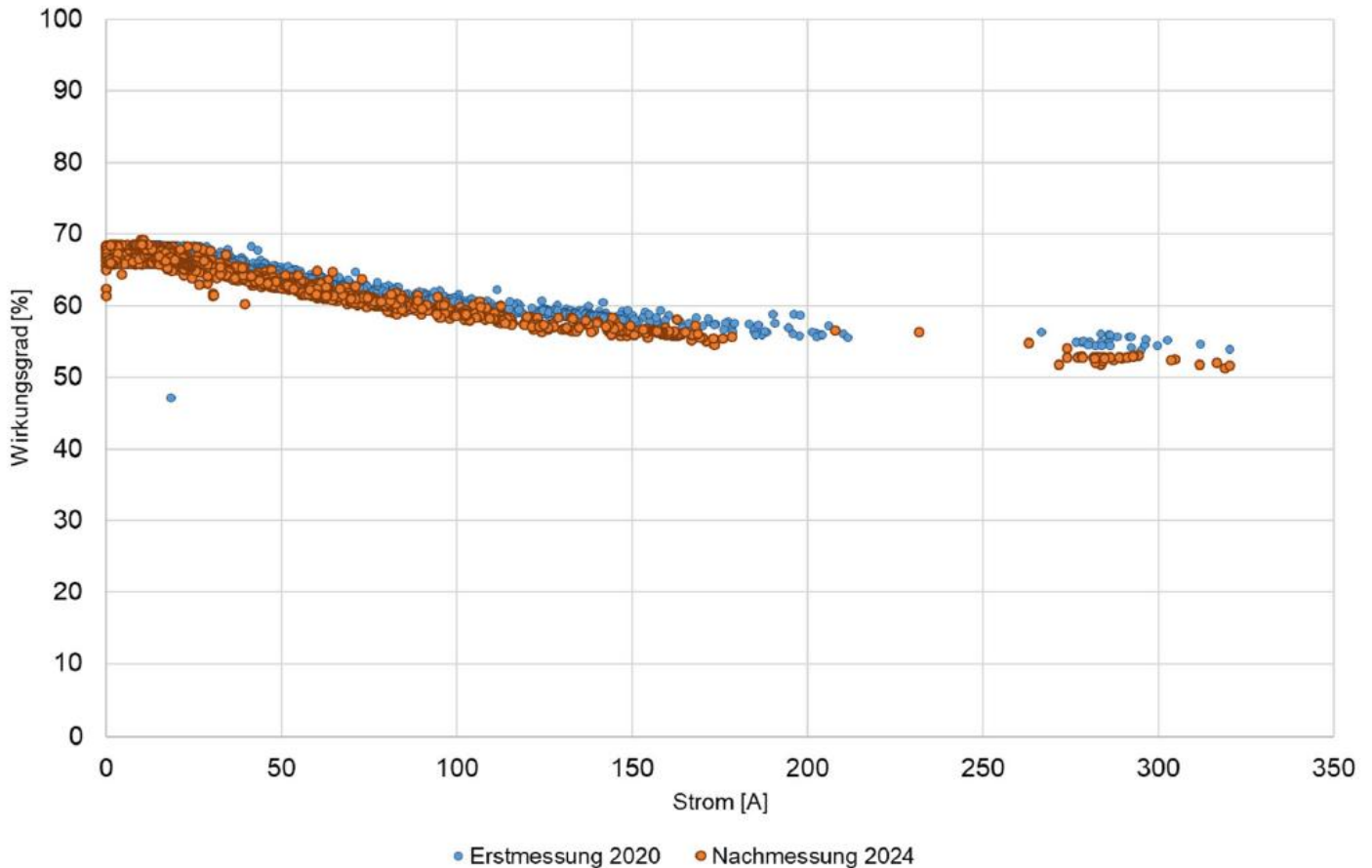
Im Vergleich zur Erstmessung 2020 hat sich die Brennstoffzellenleistung bei der Nachmessung 2024 auf niedrigere Werte verschoben, was bedeute, dass bei gleicher Stromstärke ein geringerer Leistungsoutput erzielt wird. (Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.9)

**Abbildung 5: Leistung des Brennstoffzellen-Stacks – Vergleich 2020 und 2024**



Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.10

Abbildung 7 veranschaulicht den Vergleich des Wirkungsgradverlaufs der Brennstoffzelle, wobei eine Verschiebung zu reduzierten Werten erkennbar ist. Es zeigt sich, dass die Abweichung des Wirkungsgrades zwischen der Erstmessung 2020 und der Nachmessung 2024 mit steigender Stromstärke größer wird. (Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.10)

**Abbildung 6: Wirkungsgrad des Brennstoffzellen-Stacks – Vergleich 2020 und 2024**

Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.11

#### 4.2.2. Fazit zur Brennstoffzelle

Die dargestellten Ergebnisse deuten auf eine Alterung der Brennstoffzelle hin, diese stellt sich jedoch mit einer Reduzierung der Maximalleistung um nur 3,5% als sehr moderat heraus.

Mit zunehmender Alterung verschiebt sich die Polarisationskurve nach unten, was bei gleicher Stromstärke zu einer niedrigeren Spannung und damit zu einer geringeren Leistung führt. Dies resultiert in einem reduzierten Wirkungsgrad. Im Fahrbetrieb führt die gleiche Leistungsanforderung aufgrund der Alterung zu einem veränderten Lastpunkt der Brennstoffzelle.

Ein weiterer Hinweis auf die Alterung zeigt sich im geänderten dynamischen Verhalten der Brennstoffzelle. Neben der reduzierten Leistung tritt auch eine verzögerte Bereitstellung der Maximalleistung auf (Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.12).



### 4.3. Energiebereitstellung und -bedarf der Hochvoltkomponenten

In diesem Kapitel wird ein Vergleich der Energiebereitstellung- bzw. des Energiebedarfs der einzelnen Fahrzeugkomponenten (Hoch- und Niedervolt) dargestellt. Verglichen wurde die Energiebereitstellung der Brennstoffzelle, Energiebedarf des Inverters des Antriebsmotors, Energiebedarf der Hochvoltbatterie, Energiebedarf der Klimaanlage, Energiebedarfs des elektrischen PTC-Heizers, Energiebedarf des Luftkompressors und der Energiebedarf des Niedervoltsystems.

Der Energiebedarf des Inverters des Antriebsmotors und der Energiebedarf der Hochvoltbatterie zeigten im Vergleich keine signifikanten Unterschiede. Geringe Unterschiede bei verschiedenen Temperaturen sind auf die unterschiedliche Betriebsstrategie des Fahrzeugs zurückzuführen.

Ebenso lagen der Energiebedarf des Luftkompressors und des Niedervolt-systems auf einem vergleichbaren Niveau zur Erstmessung 2020.

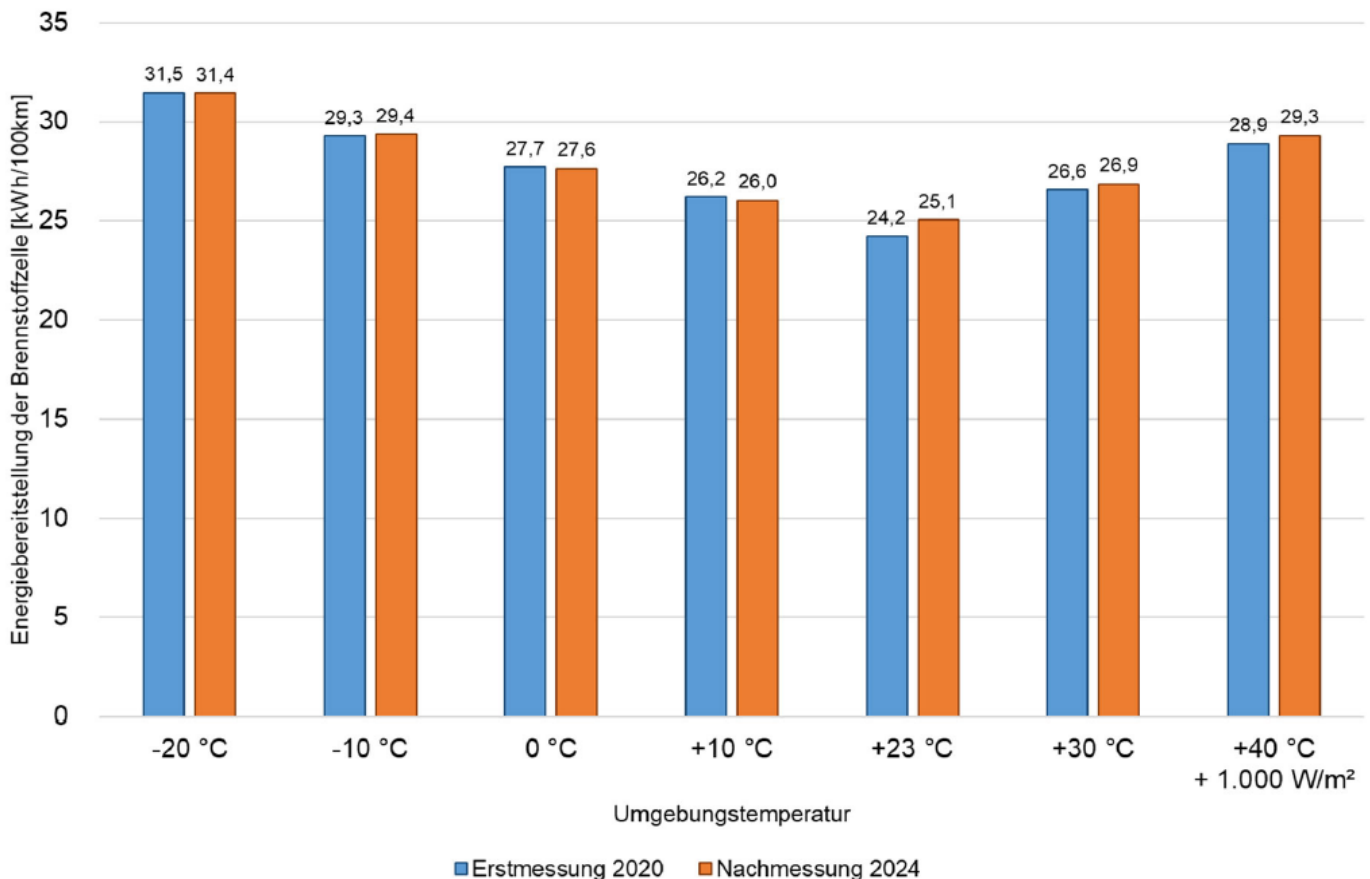
*(Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.13)*

#### 4.3.1. Energiebereitstellung der Brennstoffzelle

Abbildung 8 zeigt einen Vergleich der Energiebereitstellung der Brennstoffzelle. Diese lag bei der Nachmessung 2024 zwischen 25,1 und 31,4 kWh/100 km und entspricht damit dem Niveau der Erstmessung 2020.

Ein deutlicher Unterschied von etwa 4% zeigte sich lediglich bei der Messung bei einer Umgebungstemperatur von +23°C. Eine detaillierte Analyse der Messdaten ergab, dass dies auf einen erhöhten Energiebedarf des Inverters sowie auf eine geänderte Betriebsstrategie des Fahrzeugs im Umgang mit der Hochvolt-Batterie zurückzuführen ist. Während die Batterie bei der Erstmessung im Jahr 2020 während des Tests entladen wurde, zielte die Nachmessung auf eine ausgeglichene Energiebilanz ab. Die dafür benötigte Energie musste von der Brennstoffzelle bereitgestellt werden, was eine höhere Energieabgabe zur Folge hatte.

*(Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.13)*

**Abbildung 7: Energiebereitstellung der Brennstoffzelle – Vergleich 2020 und 2024**

Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.14

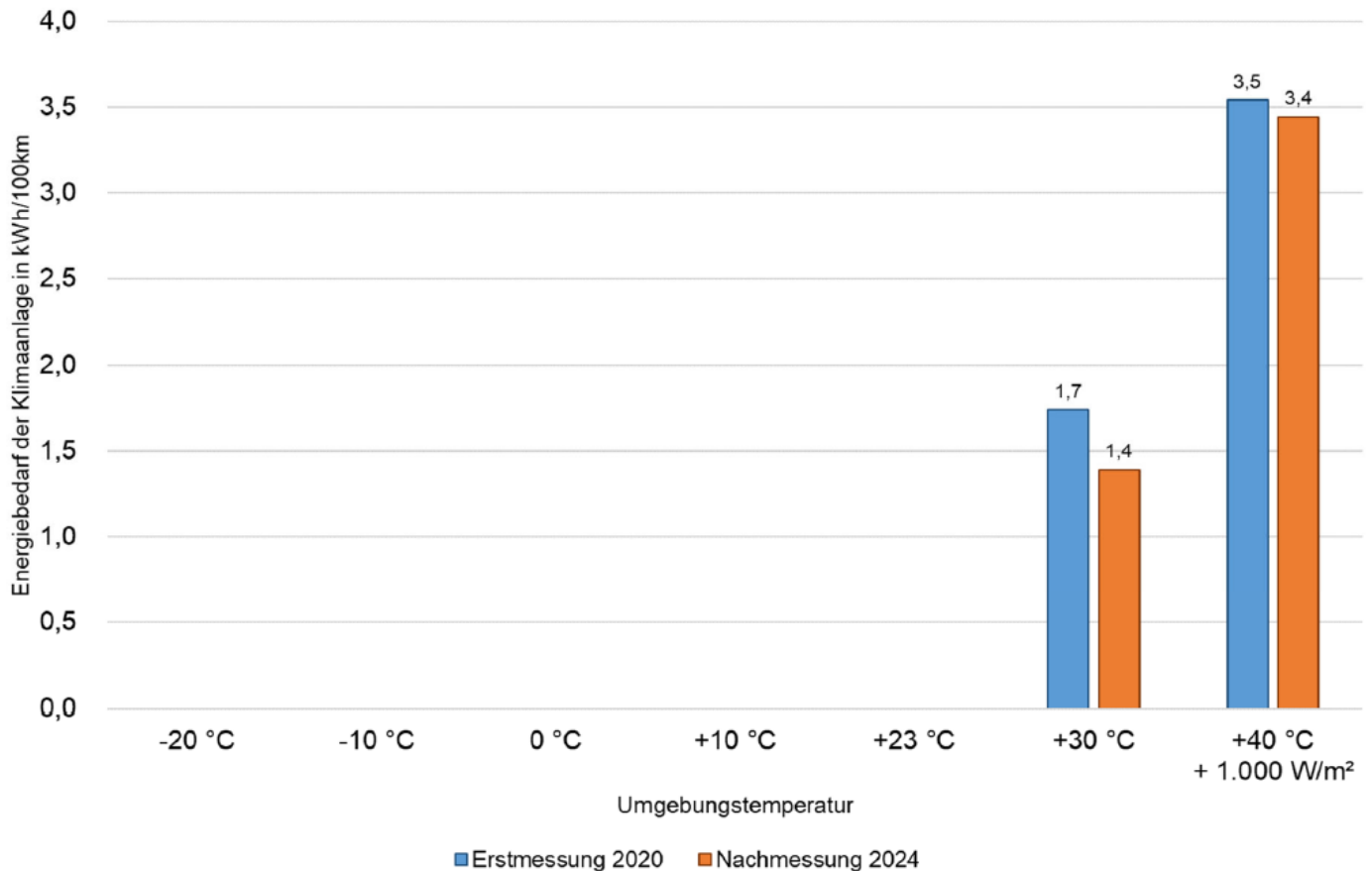
#### 4.3.2. Energiebedarf der Klimaanlage

Abbildung 9 vergleicht den Energiebedarf der Klimaanlage bei der Erstmessung 2020 und der Nachmessung 2024.

Die Klimaanlage war ausschließlich bei den Tests mit einer Umgebungstemperatur von + 30 °C bzw. + 40 °C im Betrieb.

Der Energiebedarf zeigt insgesamt ein vergleichbares Niveau. Beim Test bei 30°C ist jedoch eine etwas größere Differenz erkennbar, die auf eine höhere Anforderung an die Klimaanlage während des Tests zurückzuführen ist.

Eine eindeutige Ursache lässt sich aus den Messdaten nicht ableiten. Angesichts der ansonsten guten Vergleichbarkeit ist von unterschiedlichen Umwelt- und Temperaturbedingungen im Fahrzeug auszugehen. (Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.16)

**Abbildung 8: Energiebedarf der Klimaanlage – Vergleich 2020 und 2024**

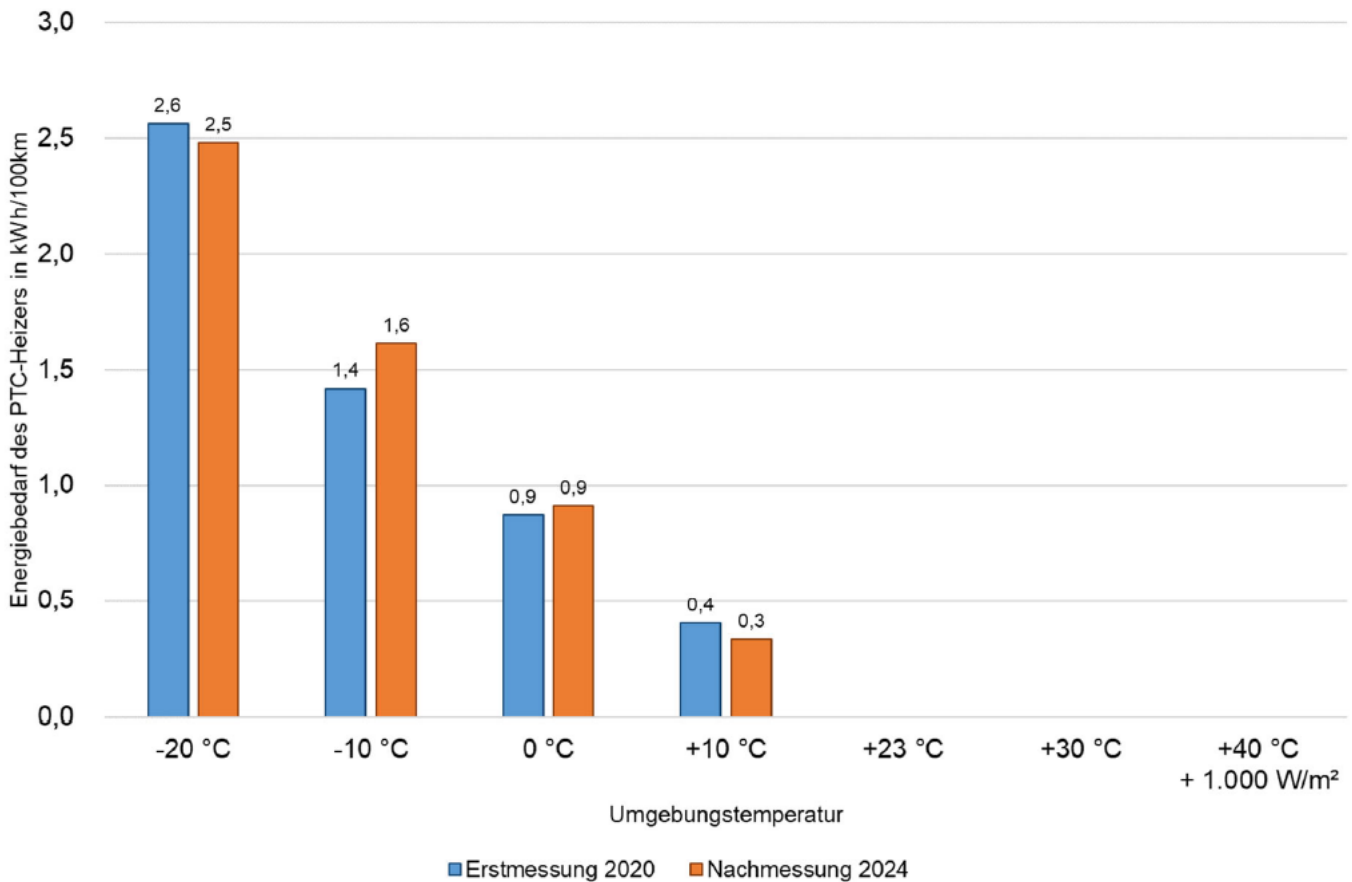
Quelle: TU Wien / Automotive Test Center GmbH, 2024, S.17

#### 4.3.3. Energiebedarf des elektrischen PTC-Heizers

In Abbildung 10 ist ein Vergleich des Energiebedarfs des elektrischen PTC-Heizers zu sehen. Die Heizung wurde ausschließlich bei Tests im Temperaturbereich zwischen -20 °C und +10 °C aktiviert.

Die Ergebnisse zeigen einen ähnlichen Energiebedarf in allen Testszenarien. Lediglich bei -10 °C ist eine größere Abweichung erkennbar, die auf eine längere Heizanforderung bei der Nachmessung 2024 im Vergleich zur Erstmessung 2020 zurückzuführen ist.

Eine eindeutige Ursache lässt sich aus den Messdaten nicht ableiten. Angesichts der ansonsten guten Vergleichbarkeit ist von unterschiedlichen Umwelt- und Temperaturbedingungen im Fahrzeug auszugehen. (Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.17)

**Abbildung 9: Energiebedarf des elektrischen PTC-Heizers – Vergleich 2020 und 2024**

Quelle: TU Wien / Automotive Test Center GmbH, 2024, S.18

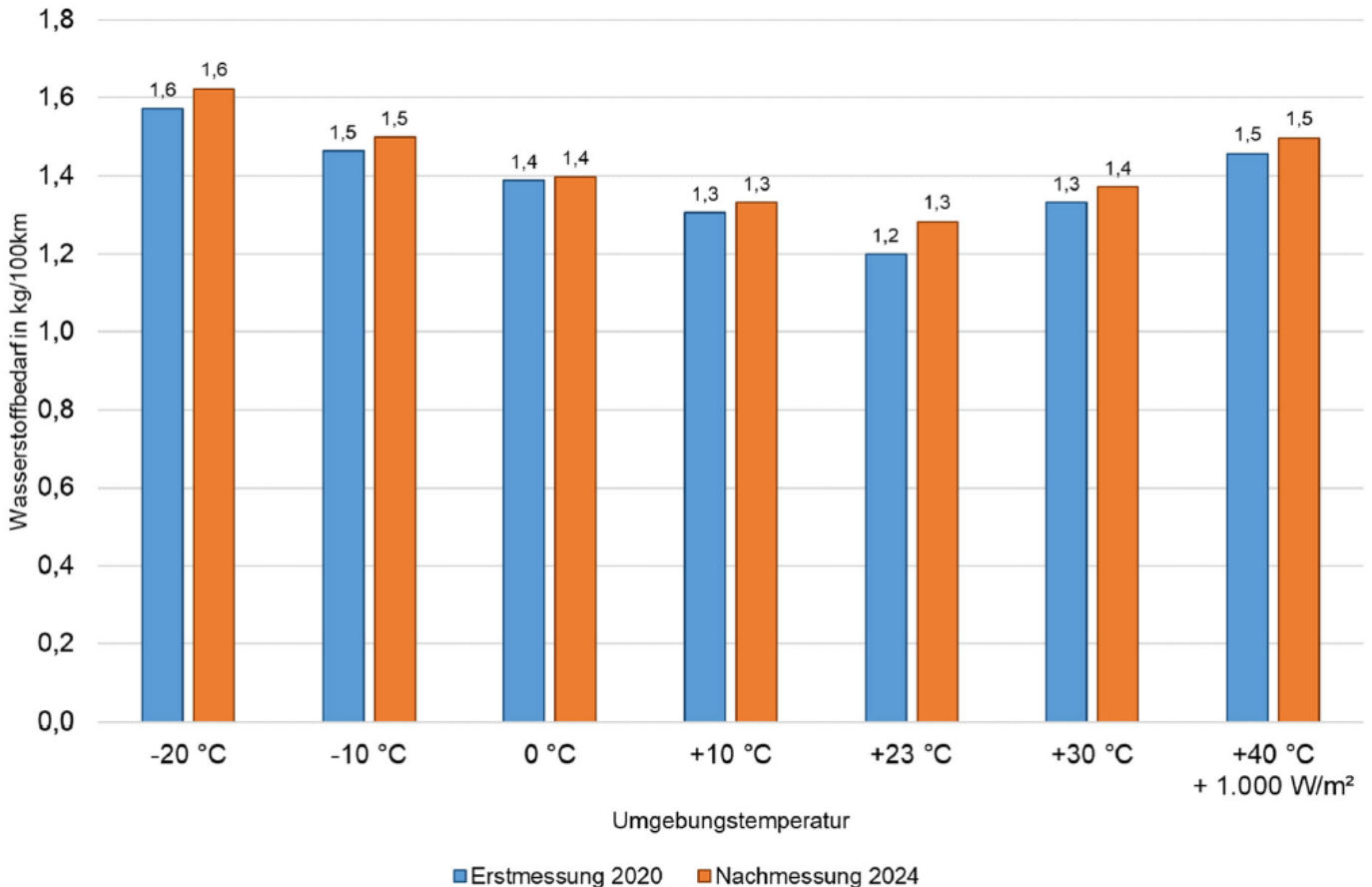
#### 4.4. Wasserstoffbedarf

Abbildung 11 zeigt einen Vergleich des Wasserstoffbedarfs, der bei der Nachmessung 2024 zwischen 1,3 und 1,6 kg H<sub>2</sub>/100 km lag und somit auf einem ähnlichen Niveau wie bei der Erstmessung 2020.

Der leicht erhöhte Wasserstoffbedarf ist auf die altersbedingte Leistungsminderung der Brennstoffzelle zurückzuführen.

Bei der Messung bei +23°C tritt im Vergleich zu den anderen Temperaturen eine deutlichere Abweichung auf, was auf eine geänderte Betriebsstrategie des Fahrzeuges hinweist.

Eine Analyse des Energiebedarfs der Hochvolt-Batterie zeigt, dass diese beim +23 °C-Test während des gesamten Tests geladen wurde. Die benötigte Energie wurde dabei aus der Brennstoffzelle bezogen, wie auch in der Energiebereitstellung der Brennstoffzelle (in der Abbildung 8) ersichtlich ist, was zu einem erhöhten Wasserstoffbedarf führte. (Quelle: TU Wien / Automotive Test Center GmbH, 2024, S.21)

**Abbildung 10: Wasserstoffbedarf – Vergleich 2020 und 2024**

Quelle: TU Wien / Automotive Test Center GmbH, 2024, S.22

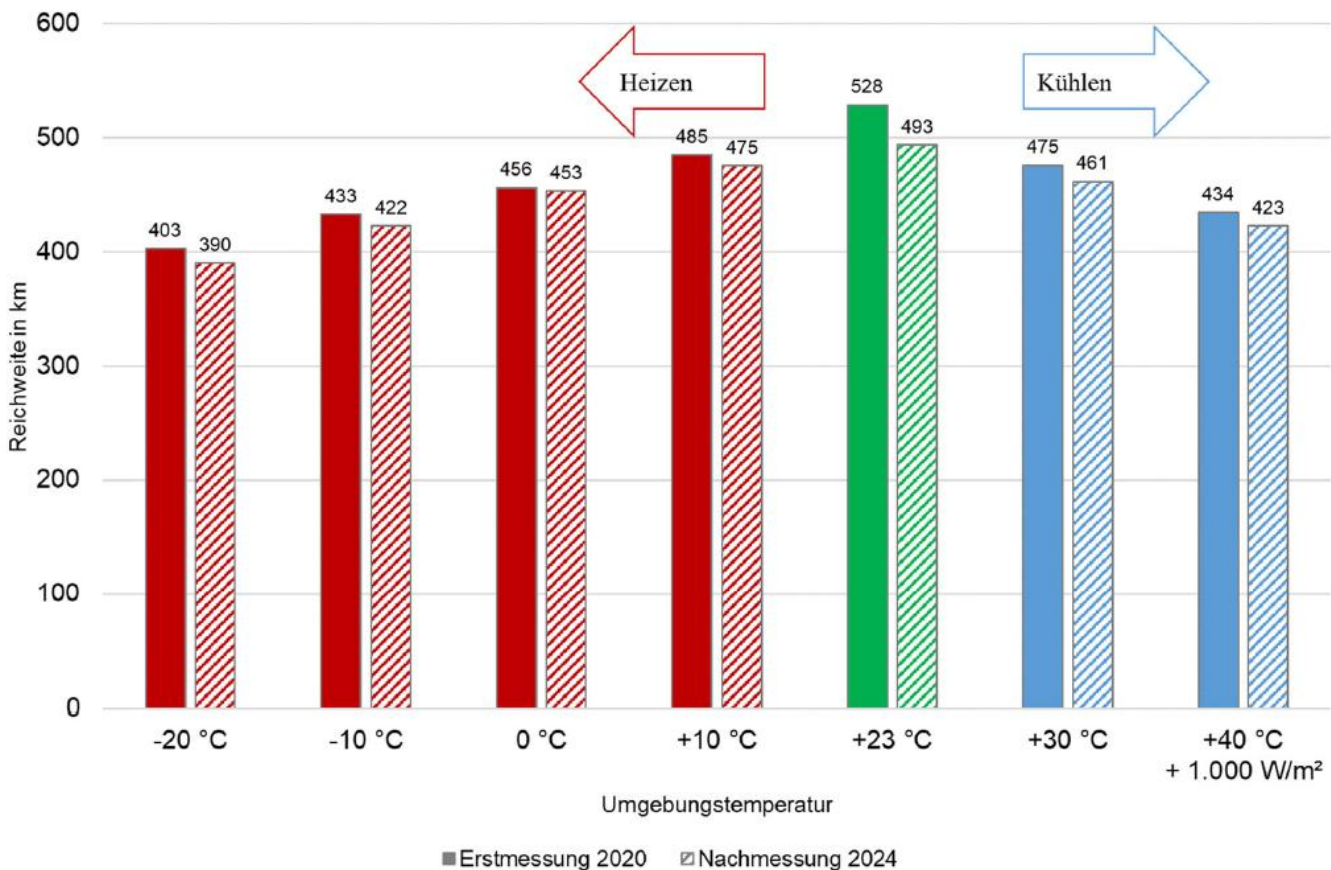
## 4.5. Reichweite

In Abbildung 12 ist ein Vergleich der theoretisch im Eco-Test erreichbaren Reichweiten in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur dargestellt. Bei den Nachmessungen im Jahr 2024 lagen die Reichweiten zwischen 390 und 493 km.

Im Vergleich zu den Erstmessungen von 2020 sind die Reichweiten leicht gesunken (um 3 bis 35 km). Dies ist, wie bereits in den vorherigen Kapiteln beschrieben, auf den geringfügig höheren Wasserstoffbedarf bei der Nachmessung im Jahr 2024 zurückzuführen.

Lediglich bei der Messung bei +23 °C zeigt sich eine deutlichere Reduktion der Reichweite. Diese ist auf das Betriebsverhalten des Fahrzeugs zurückzuführen. Wie bereits in Kapitel 4.3.1 zur Energiebereitstellung der Brennstoffzelle erwähnt, wurde während des Tests die HV-Batterie geladen. Der dadurch gestiegene Energiebedarf wurde durch die Brennstoffzelle gedeckt, was zu einem erhöhten Wasserstoffverbrauch und folglich zu einer reduzierten Reichweite führte. (Quelle: TU Wien / Automotive Test Center GmbH, 2024, S.25)

**Abbildung 11: Reichweite – Vergleich 2020 und 2024**



Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.26

## 4.6. Fazit

Aus den zuvor dargestellten Energiebilanzen ergibt sich, dass die Fahrzeugalterung keinen Einfluss auf die Energiebereitstellung der Brennstoffzelle und den Energiebedarf von Hochvolt-Batterie, Klimaanlage, elektrischen PTC-Heizer, Luftkompressor und des Niedervolt-Systems hatte.

Eine Veränderung wurde lediglich beim Energiebedarf des Inverters über die Lebensdauer des Fahrzeuges festgestellt. Dieser Unterschied ist jedoch gering. Zwischen Erstmessung 2020 und Nachmessung 2024 nahm die Differenz mit steigender Umgebungstemperatur zu. Eine eindeutige Ursache ließ sich anhand der Messdaten nicht bestimmen.

Eine direkter Alterungseffekt ist die Verringerung des Wirkungsgrads der Brennstoffzelle um 1 bis 2 Prozentpunkte in allen Testszenarien während des Fahrbetriebs. Dies steht im Einklang mit den Erkenntnissen aus Kapitel 4.1 zur Brennstoffzelle. Der leicht erhöhte Wasserstoffbedarf lässt sich damit ebenfalls erklären, bleibt jedoch mit maximal 0,1 kg/100 km (0,05 kg/100 km im Mittel) sehr gering.

Da die Bestimmung des Ansaugluft- und Sauerstoffbedarfs, der Wasserproduktion und der Reichweite auf dem Wasserstoffbedarf basiert, zeigen sich auch in diesen Bereich leichte Abweichungen im Vergleich zur Erstmessung 2020.

(Quelle: TU Wien/ Automotive Test Center GmbH, 2024, S.26)

## 5. Testfahrt Wien-Hamburg und zurück

Um die Langstreckentauglichkeit des Testfahrzeuges, des Brennstoffzellenantriebes sowie der Verfügbarkeit und Funktion von Wasserstofftankstellen zu testen, wurde ein Langstreckentest über rund 2.400 km durchgeführt.

Von der OMV-Tankstelle in Wr. Neudorf, wo die erste Betankung des Fahrzeuges stattgefunden hat, ging es über Freistadt, Passau, Regensburg und Leipzig nach Hamburg – und folge dessen via Leipzig und Regensburg wieder zurück nach Wiener Neudorf und Wien. Verbrauch und Reichweite wurde in folgenden Tabellen dargestellt.

**Tabelle 4: Fahrt von Wr. Neudorf nach Hamburg**

| Strecke - Hinfahrt      | Distanz lt. Google Maps | Gefahrene Strecke | Verbrauch [kg/100km] | Angezeigte Reichweite beim Start | Angezeigte Reichweite beim Erreichen des Ziels | Differenz angegebene Reichweite zu gefahrener Strecke | Verlorene Reichweite [km] | Verlorene Reichweite [%] |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Wr. Neudorf - Freistadt | 255 km                  | 268 km            | 1,3                  | 536 km                           | 257 km                                         | 268 km                                                | 11 km                     | 2,05%                    |
| Freistadt - Passau      | 157 km                  | 156 km            | 1,3                  | 257 km                           | 87 km                                          | 101 km                                                | 14 km                     | 5,45%                    |
| Passau - Regensburg     | 121 km                  | 122 km            | 1,5                  | 257 km                           | 98 km                                          | 135 km                                                | 37 km                     | 14,40%                   |
| Regensburg - Leipzig    | 341 km                  | 339 km            | 1,3                  | 514 km                           | 125 km                                         | 175 km                                                | 50 km                     | 9,73%                    |
| Leipzig - Hamburg       | 372 km                  | 370 km            | 1,2                  | 523 km                           | 120 km                                         | 153 km                                                | 33 km                     | 6,31%                    |

Quelle: eigene Aufzeichnungen

**Tabelle 5: Fahrt von Hamburg nach Wr. Neudorf**

| Strecke - Rückfahrt      | Distanz lt. Google Maps | Gefahrene Strecke | Verbrauch [kg/100km] | Angezeigte Reichweite beim Start | Angezeigte Reichweite beim Erreichen des Ziels | Differenz angegebene Reichweite zu gefahrener Strecke | Verlorene Reichweite [km] | Verlorene Reichweite [%] |
|--------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Hamburg - Leipzig        | 384 km                  | 385 km            | 1,2                  | 488 km                           | 72 km                                          | 103 km                                                | 31 km                     | 6,35%                    |
| Leipzig - Regensburg     | 342 km                  | 339 km            | 1,4                  | 528 km                           | 109 km                                         | 189 km                                                | 80 km                     | 15,15%                   |
| Regensburg - Wr. Neudorf | 426 km                  | 422 km            | 1,2                  | 495 km                           | 80 km                                          | 73 km                                                 | -7 km                     | -1,41%                   |

Quelle: eigene Aufzeichnungen

Auf den ersten Blick stellt sich die Frage, warum bei der Strecke Regensburg - Wr. Neudorf die angezeigte Reichweite beim Erreichen des Ziels höher ist als die Differenz zwischen angezeigter Reichweite beim Start und der gefahrenen Strecke. Dies ist einfach zu beantworten: Da die Tankstellen in Passau und Linz defekt waren, wurden die ersten 100 Kilometer der Strecke zurückhaltend und möglichst sparsam gefahren (maximal 100 km/h und Eco+ Modus), damit das Ziel auf jeden Fall erreicht wird. Allerdings zeigt dieser Umstand einer defekter Tank-Infrastruktur

auch auf, dass bei Routenplanungen Alternativen oder notfalls gar „Reserven“ eingeplant werden müssen.

### **Fazit:**

Nach der Reise, welche insgesamt über 24h dauerte, kann festgehalten werden, dass es zu keinerlei Problemen mit dem Testfahrzeug gekommen ist und im Normalfall (wenn Nachtanken möglich ist) diese Strecke ohne Probleme zurückgelegt werden kann.

Für weite Strecken punktet der Hyundai Nexo mit seiner Komfort- und Sicherheitsausstattung, welche den Fahrer unterstützt.

Bei schlechtem Wetter und höheren Geschwindigkeiten auf der Autobahn erhöht sich der Verbrauch des Fahrzeuges naturgemäß deutlich. Mit Hilfe des ECO+ Fahrmodus und einer langsamen Fahrweise – maximal 100 km/h am hochrangigen Straßennetz – kann der Verbrauch jedoch unter 1 kg/100km gesenkt werden. Bei den ersten 100 Kilometern der Fahrt wurde mit dieser Fahrweise der Verbrauch auf 0,7 kg/100km reduziert.

Ein großes Manko ist die Planungsunsicherheit durch die geringe Anzahl von Wasserstofftankstellen sowie das Risiko des (kurzfristigen) Ausfalls einer der wenigen Betankungsmöglichkeiten. Selbst wenn man die Strecken nach Vorhandensein von Tankstellen plant und ca.100 km Restreichweite für Umwege einplant, kann die Reichweite nicht ausreichen und es fraglich sein, ob die nächstgelegene Tankstelle funktioniert oder eine Störung aufweist.

Eine Hilfestellung leistet hierbei zwar die App *H2.Live* (<https://h2.live/>), dennoch können auch hier Störungsmeldungen verspätet gemeldet werden.

## **6. Technische Probleme am Testfahrzeug**

Innerhalb der ersten 100.000 Kilometern sind folgende technischen Defekte am Fahrzeug aufgetreten:

- Im Dezember 2019 fielen für eine kurze Zeit das Display und der Kollisionswarner aus.
- Im April 2020 gab es Funktionsprobleme mit dem Radio und der Klimaanlage. Das Problem wurde mittels Softwareupdate behoben.
- Im Jänner 2021 fielen während einer Fahrt bei starkem Schneefall das Radarsystem und das Display der Mittelkonsole für eine kurze Zeit aus.
- Im Juli 2022 wurde durch ein Softwareupdate Probleme mit dem Totwinkelassistent und dem Brennstoffzellensystem behoben.
- Im Dezember 2022 musste ein defekter Nebelscheinwerfer ausgetauscht werden.



- Im Februar 2024 musste die Windschutzscheibe aufgrund eines Steinschlags und mehrere Schläuche aufgrund eines Marderbisses ausgetauscht werden.
- Im März 2024 funktionierte die Frontkamera nicht mehr und zeigte ein schwarzes Bild an. In der Werkstatt wurde die Frontkamera ausgetauscht.

Der Hyundai Nexö musste einmal abgeschleppt werden, aber nicht aufgrund eines technischen Gebrechens, sondern wegen eines Auffahrunfalles.

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Testfahrzeug Hyundai Nexo.....                                           | 2  |
| Abbildung 2: Aufbau des Wasserstoffgesamtsystems im Testfahrzeug.....                 | 4  |
| Abbildung 3: Aufbau & Funktion einer Brennstoffzelle <sup>2</sup> .....               | 7  |
| Abbildung 4: Wirkungsgrad des Brennstoffzellensystems .....                           | 8  |
| Abbildung 6: Leistung des Brennstoffzellen-Stacks – Vergleich 2020 und 2024 .....     | 15 |
| Abbildung 7: Wirkungsgrad des Brennstoffzellen-Stacks – Vergleich 2020 und 2024.....  | 16 |
| Abbildung 8: Energiebereitstellung der Brennstoffzelle – Vergleich 2020 und 2024..... | 18 |
| Abbildung 9: Energiebedarf der Klimaanlage – Vergleich 2020 und 2024.....             | 19 |
| Abbildung 10: Energiebedarf des elektrischen PTC-Heizers – Vergleich 2020 und 2024 .. | 20 |
| Abbildung 11: Wasserstoffbedarf – Vergleich 2020 und 2024 .....                       | 21 |
| Abbildung 12: Reichweite – Vergleich 2020 und 2024.....                               | 22 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Basismessprogramm .....                                      | 13 |
| Tabelle 2: Erweitertes Messprogramm bei +23°C Umgebungstemperatur ..... | 14 |
| Tabelle 3: Eco-Testzyklus Zusammensetzung .....                         | 14 |
| Tabelle 4: Fahrt von Wr. Neudorf nach Hamburg .....                     | 23 |
| Tabelle 5: Fahrt von Hamburg nach Wr. Neudorf .....                     | 23 |

## Literaturverzeichnis

APS-Data GmbH Auto Preis Spiegel. 2024. <https://www.autopreisspiegel.at/>

EBE Mobility & Green Energy GmbH. 2020. Projekt e-Mobility Check. Leitfaden für die Nachrüstung von Ladeinfrastruktur im Bestandswohnbau, Wien

European Commission, DG Mobility & Transport. 2025. Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. <https://eur-lex.europa.eu/DE/legal-content/summary/deployment-of-alternative-fuels-infrastructure.html>

Geringer, Univ.-Prof. Dr. techn. Dipl.-Ing. Bernhard. 2016. Studie zur messtechnischen Analyse von Brennstoffzellenfahrzeugen. Wien : TU Wien. 2016.

Huber, Ing. Mag. Markus. 2024. Wissenschaftliche Untersuchung der Alterung der Brennstoffzelle des Hyundai Nexo. Wien : TU Wien/ Automotive Test Center GmbH. 2024.

Hyundai Import Gesellschaft m.b.H. 2024.

Hyundai Motor Deutschland GmbH. Hyundai NEXO: Maßnahmen im Notfall (inkl. Rettungsdatenblatt, ab 2018). 2019. <https://www.hyundai.com/de/de/service/gut-informiert/anleitungen-und-datenblaetter.html>

Hyundai Motor Deutschland GmbH. 2023. Preise und technische Daten Nexo. <https://dmassets.hyundai.com/is/content/hyundaiautoever/hyundai-nexo-my24-preislistepdf>

H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG. 2025. <https://h2.live/>

ÖAMTC ePower. 2024. <https://www.oeamtc.at/oeamtc-epower/>

Umweltbundesamt Deutschland. 2025. [Wasserstoff – Schlüssel im künftigen Energiesystem | Umweltbundesamt](https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasserstoff)