

## **PROJEKT NEP2N – WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN ZWISCHEN HÖRSAAL UND PRAXIS: EIN PROJEKTBERICHT AUS STUDENTISCHER SICHT**

*Stina K. T. Amrhein<sup>1</sup>, Kaspar M. Schmädicke<sup>1</sup>, Mark F. Jentsch<sup>1</sup>, Benjamin R. Breuer<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bau und Umwelt, Professur Energiesysteme

### **ABSTRACT**

Die Integration von Wasserstofftechnologien in die Hochschullehre ist für die Ausbildung zukünftiger Fachkräfte im Energiesektor von großer Bedeutung. Im Rahmen des studentischen Projekts „NEP2N“ im Masterstudiengang Umweltingenieurwissenschaften an der Bauhaus-Universität Weimar wurde dementsprechend ein wasserstoffbetriebenes Modellfahrzeug entwickelt, dessen Ziel der Transfer von theoretischen Kenntnissen in die Praxis war. Das Projekt umfasste Konzeption, Konstruktion und Testfahrt eines mit einer Wasserstoff-Brennstoffzelle betriebenen Modellfahrzeugs für autonome Außeneinsätze und demonstriert die sichere, niederschwellige Anwendung aktueller Wasserstofftechnik im universitären Kontext. Die Studierenden übernahmen Planung, Dimensionierung und Fertigung aller Komponenten selbst und realisierten ein Modellfahrzeug mit einer 1.200 W-Brennstoffzelle, zwei Wasserstofftanks sowie der notwendigen Elektronik. Der Praxistest bestätigte eine mehrstündige Betriebsdauer und die Eignung für den Transport schwerer Lasten. Das Projekt NEP2N beweist, dass praxisnahes Arbeiten mit Wasserstofftechnologien nicht nur den Kompetenzerwerb fördert, sondern auch vielfältige Perspektiven für Studienprojekte im Bereich autonomer und nachhaltiger Mobilität eröffnet.

### **1. EINLEITUNG**

Wasserstofftechnologien werden in einer integrierten Energieversorgung zunehmend an Bedeutung gewinnen, was auch deren Betrachtung im Rahmen der Ausbildung von Fachkräften an Hochschulen erfordert. In diesem Beitrag werden daher die Erfahrungen und Ergebnisse, die während eines studentischen Projektes im Masterstudiengang Umweltingenieurwissenschaften an der Bauhaus-Universität Weimar gesammelt wurden, aus studentischer Sicht vorgestellt. Es handelt sich hierbei um das Gruppenprojekt NEP2N [1] aus dem Sommersemester 2024, in dem eine Studierendengruppe ein mit einer Wasserstoff-Brennstoffzelle betriebenes Modellfahrzeug konzipiert, gebaut und getestet hat.

Je nach Nutzung kann eine Brennstoffzelle Vorteile gegenüber einer Batterie haben. Da die Energiedichte von Wasserstoff (33,33 kWh/kg) [2] höher ist als die von Batterien (durchschn. 200 Wh/kg) [3], sorgt die Ausstattung eines Fahrzeugs mit einer Brennstoffzelle für ein geringeres Gesamtgewicht. Durch den Gewichtsvorteil können Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge eine höhere Reichweite erzielen und höhere Lasten transportieren als batteriebetriebene Fahrzeuge. Hinzu kommt die verkürzte Betankungszeit. Gerade im Schwerlastbereich kann die Nutzung von Brennstoffzellenantrieben daher eine sinnvolle Wahl sein, da eine Betankung mit Wasserstoff in wenigen Minuten geschieht, während das vollständige Aufladen einer Batterie mehrere Stunden dauern kann [4]. Diese Vorteile konnte die Studierendengruppe für ihr Modellfahrzeug und die Erfüllung der an das Projekt gestellten Anforderungen nutzen.

### **2. DAS PROJEKT NEP2N**

Das Projekt NEP2N verfolgte das Ziel, ein Modellfahrzeug speziell für flexible und autonome Außeneinsätze zu konzipieren, das in landwirtschaftlichen Anwendungen, im Bergbau sowie bei Einsätzen bei Rettungsmissionen und Inspektionen zum Einsatz kommen kann. Das Fahrzeug sollte gemäß der Aufgabenstellung mindestens dazu in der Lage sein, einen Betonwürfel von 10 cm Kantenlänge eine 100 m lange Strecke zu transportieren. Im Rahmen des Projektes beschäftigten sich die Masterstudierenden mit dem aktuellen Stand der Technik, dem mechanischen Aufbau, der Elektronik, der Wasserstofftechnik sowie mit der Akquise einer Finanzierung und der Öffentlichkeitsarbeit.

Zu Beginn des Projektes wurde den Studierenden eine Wasserstoff-Brennstoffzelle mit einer Leistung von 1.200 W sowie zwei Wasserstofftanks mit einem Volumen von je drei Litern bei einem Druckniveau von bis zu 300 bar zur Verfügung gestellt. Da es nicht das Ziel des Projektes war, ein Fahrzeug von Grund auf neu zu entwickeln, also Fahrwerk und mechanischen Antrieb selbst zu entwerfen, war es den Studierenden – auch aufgrund der kurzen Projektlaufzeit von etwas mehr als drei Monaten – erlaubt, als Basis ein fertiges Chassis zu erwerben und umzubauen. Nach ausführlicher Recherche und Sicherstellung der Finanzierung entschied sich die Gruppe für die Robotik-Plattform *Rosbot Plus* von *Roboworks*.<sup>[5]</sup> Dieses Chassis hat insbesondere durch seine Größe und Flexibilität für Umbauten überzeugt. Das Chassis wurde so weit zurückgebaut (siehe Abbildung 1), dass nur noch eine grundlegende Plattform mit Fahrwerk und Lenkung ohne Elektronik übrigblieb und eine selbst geplante Rahmenkonstruktion (siehe Abbildung 2) montiert werden konnte.

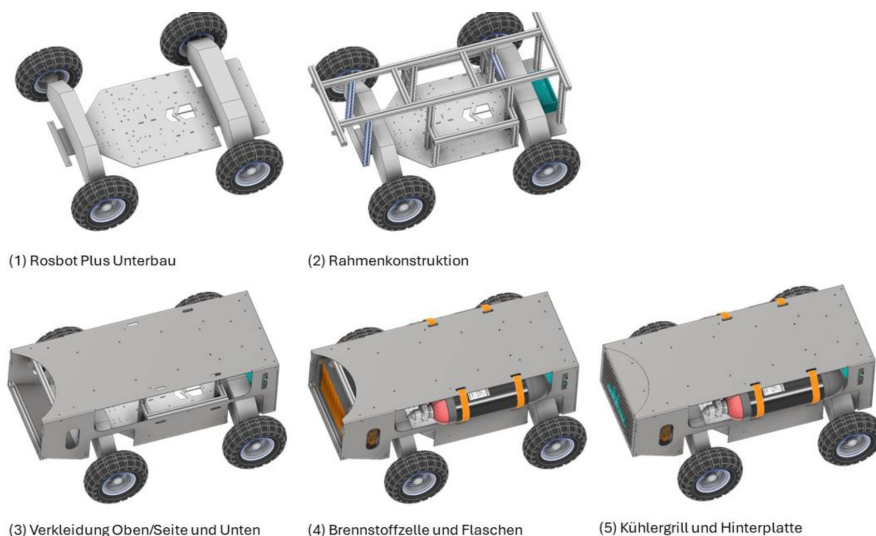


**Abbildung 1: Grundlage für das Modellfahrzeug NEP2N vor dem Rückbau des Chassis**



**Abbildung 2: Das Modellfahrzeug NEP2N mit selbst geplanter Rahmenkonstruktion**

Alle übrigen Komponenten mussten eigenständig dimensioniert und beschafft werden. Dabei handelte es sich um folgende Bauteile: 36 V Lithium-Ionen Traktionsakkumulator, Sende- und Empfangselektronik zur Fernsteuerung, Steuerungselektronik, Rahmenkonstruktion, Edelstahlverkleidung sowie Wasserstofftank und Gastechnik zur Versorgung der Brennstoffzelle mit Wasserstoff (siehe Abschnitt 4). Für die Entwicklung der Konstruktion nutzten die Studierenden Autodesk Inventor (siehe Abbildung 3). Die Herstellung der Kunststoffbauteile erfolgte im 3D-Druckverfahren, während die Komponenten aus Edelstahl mittels Laserschneidtechnik gefertigt und anschließend gekantet wurden.



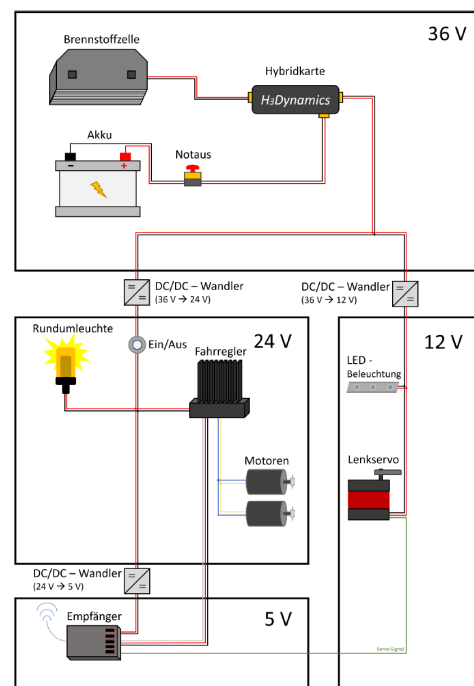
**Abbildung 3: CAD-Zeichnungen zum mechanischen Aufbau und zur Aufbaureihenfolge von NEP2N**

### 3. AUFBAU UND ELEKTRONIK DES FAHRZEUGS

Das Modellfahrzeug *NEP2N* besteht aus mechanischer Sicht im Wesentlichen aus den drei Komponenten des Unterbaus des *Rosbot Plus*, der eigens konzipierten Rahmenkonstruktion und der Außenverkleidung aus Edelstahl. Die Rahmenkonstruktion ist auf dem Unterbau angebracht und dient als Befestigung für die Brennstoffzelle, die Wasserstofftanks und für die Edelstahlverkleidung. Sie besteht überwiegend aus 20 x 20 mm Konstruktionsprofilen des Herstellers *item Industrietechnik GmbH*, welche mit Winkeln und Automatikverbindern verbunden wurden. Die Edelstahlverkleidung ist sehr stabil ausgeführt, dient hauptsächlich dem Schutz der Komponenten aber auch der Stabilität und Optik. Sie wurde so konzipiert, dass ausreichend zusätzliche Löcher vorgesehen wurden, um eine Nutenplatte oder andere Aufbauten zu befestigen. Für die Erfüllung der Semesteraufgabe wurden als Aufbauten je eine Halterung für einen Betonwürfel mit 15 cm und mit 30 cm Kantenlänge hergestellt und verschraubt (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4: Aufbauten des Fahrzeuges, links: Betonwürfelhalterung, rechts: Nutenplatte mit Eurobox**



**Abbildung 5: Schaltplan der elektrischen Komponenten**

Die Elektronik von *NEP2N* (siehe Abbildung 5) besteht aus der Steuerungselektronik mit Motoren und Servolenkung sowie aus der Stromversorgung, welche Akku und Brennstoffzelle umfasst. Die Hauptstromversorgung des Fahrzeuges wird durch die Brennstoffzelle gewährleistet, die den Strom entsprechend den Lastanforderungen der Motoren und anderer Verbraucher liefert. Zusätzlich lädt die Brennstoffzelle den Traktionsakku auf. Sie hat eine elektrische Leistung von bis zu 1.200 W, welche sie auf einer Spannungsebene von rund 36 V liefert. Für den Fall eines Ausfalls oder Ausschaltens der Brennstoffzelle können die Verbraucher im Modellfahrzeug weiterhin über den Akku versorgt werden.

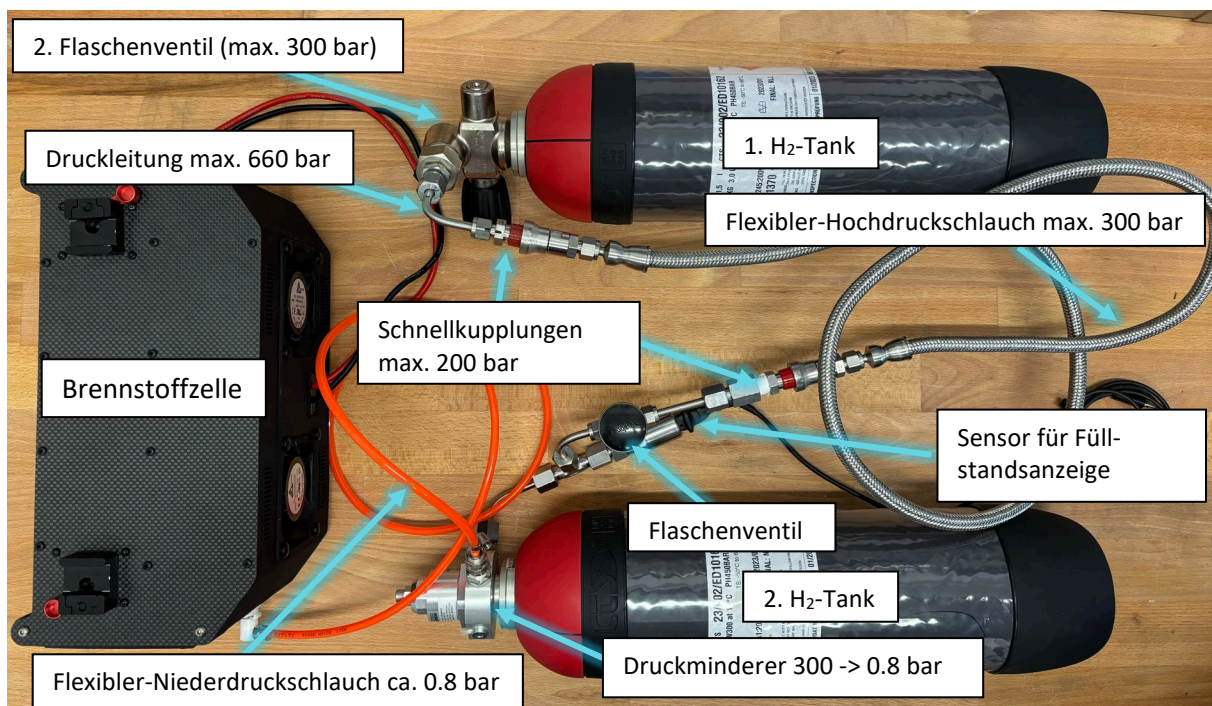
Der 36 V Akku dient als Zwischenspeicher und kann bei Bedarf Lastspitzen abdecken und den unterbrechungsfreien Betrieb der Brennstoffzelle sicherstellen. Die Schnittstelle zwischen der Energieversorgung (Brennstoffzelle und Akku) und den Verbrauchern bildet eine Hybridkarte. Sie sorgt während des Betriebs der Brennstoffzelle für das kontinuierliche Aufladen des Akkus und stellt die unterbrechungsfreie Versorgung der Verbraucher über den Akku sicher, wenn die Brennstoffzelle Spannungseinbrüche hat. Da sich Brennstoffzelle und Akku auf einem anderen Spannungsniveau als die Verbraucher befinden, wurden zudem unterschiedliche Spannungswandler benötigt. Hierfür wurde je ein DC/DC-Wandler

für die Motoren (24 V), für den Lenk-Servo (12 V) und für den Signalempfänger für die Fernsteuerung (5 V) verbaut. Als Fahrregler wurde sich für den *Navy Control 540 R Regler* von *Robbe Modellsport* entschieden, wobei dieser mittelfristig durch einen Fahrregler mit Mischfunktion ersetzt werden soll, um eine bessere Kurvenfahrt zu ermöglichen.

Angetrieben wird das Modellfahrzeug *NEP2N* durch zwei Gleichstrom-Motoren mit einer Leistung von je 100 W, die bereits im Chassis verbaut waren. Die Lenkung übernimmt ein ebenfalls bereits eingebauter Digital-Servo. Um das Fahrzeug fernzusteuern, wurde Elektronik aus dem RC-Modellbau verwendet. Der Fahrregler bekommt Signale zur Regelung der Motoren und des Lenk-Servos von einem RC-Empfänger, welcher über eine 2,4 GHz Verbindung mit einer RC-Fernsteuerung verbunden ist. Aus Sicherheitsgründen wurde schließlich noch ein Notaus-Schalter verbaut, um bei Störung die gesamte 36 V-Ebene von der Batterie trennen zu können. Über die Fernsteuerung kann aktuell Vortrieb, Lenkung sowie das Ein- und Ausschalten der an der Seite zur besseren Sichtbarkeit montierten Rundumleuchte reguliert werden.

#### 4. WASSERSTOFFTECHNIK DES FAHRZEUGS

Der studentischen Gruppe wurde zur Bearbeitung der Aufgabe zwei Wasserstofftanks mit einer Speicherkapazität von je 300 bar zur Verfügung gestellt. Bei voller Auslastung des Druckniveaus und einem Wirkungsgrad von 50 % steht dementsprechend eine elektrische Nutzenergie von etwa 2,4 kWh je Tank zur Verfügung. Einer der Tanks kann über einen Druckregler direkt mit der Niederdruckseite verbunden werden, während für die Einbindung des zweiten Tanks noch weitere Komponenten notwendig waren. Um beide Tanks miteinander zu verbinden, wurden eine Edelstahl-druckleitung und eine flexible Leitung eingesetzt, welche mit Schnellverbindern verbunden wurde (siehe Abbildung 6).



**Abbildung 6: Verbaute Komponenten des Wasserstoffversorgungssystems des Modellfahrzeugs NEP2N**

Um eine schnelle Befüllung mit Wasserstoff zu ermöglichen, müssen die Wasserstofftanks einfach montiert bzw. entfernt werden können. Aus diesem Grund wurden für die Verbindung flexible Hochdruckschläuche gewählt. Damit die Brennstoffzelle ebenfalls schnell (de-)montiert werden kann, um sie insbesondere bei Nichtbetrieb vor Dehydrierung durch die geöffnete Kathode zu schützen, wurde die

Brennstoffzelle ebenfalls mit einem flexiblen Schlauch mit einem der Wasserstofftanks verbunden. Auch das Fahrzeugchassis wurde so ausgeführt, dass ein schneller Ausbau der Brennstoffzelle möglich ist.

Um die Wasserstofftechnik weiter zu optimieren, besteht die Möglichkeit nach dem Flaschenventil der Wasserstofftanks noch eine Druckentlastung einzubauen. Derzeit muss bei dem Entkoppeln der Tanks noch darauf geachtet werden, dass der Druck in beiden Tanks unter 30 bar liegt. Mittels Druckentlastung würde ein sicheres Abkuppeln der Wasserstofftanks gewährleistet werden, auch wenn die Tanks noch voll sind. Des Weiteren wäre es denkbar, *NEP2N* so aufzurüsten, dass der Füllstand der beiden Tanks in Zukunft direkt von einem Display abgelesen werden kann.

## 5. ERGEBNISPRÄSENTATION / DISKUSSION

Das fertiggestellte Modellfahrzeug *NEP2N* misst 95 x 59 x 68 cm und wiegt circa 60 kg. Der Traktionsakku hat eine Kapazität von 7 Ah bei 36 V, während die Wasserstofftanks mit je 100 bar (ca. 26,4 g H<sub>2</sub>) getestet wurden. Die Füllmenge der Tanks kann bei 300 bar noch auf je 72,8 g H<sub>2</sub> erhöht werden, was bei einem Wirkungsgrad von 50 % überschlüssig eine elektrische Nutzenergie von rund 2.400 Wh bedeutet. Der Antrieb des Fahrzeugs wird durch zwei im Chassis verbaute Motoren realisiert, die je eine Leistung von 100 W besitzen und auf einem Spannungsniveau von 24 V arbeiten.

Zum Projektabschluss war das Modellfahrzeug *NEP2N* mit seinen beiden Wasserstofftanks bei 100 bar vier Stunden ohne Neubetankung in Betrieb. Das Fahrzeug absolvierte erfolgreich Testfahrten über eine Distanz von weit mehr als 100 Metern und transportierte dabei u.a. eine Last von 70 kg.

## 6. SCHLUSSFOLGERUNGEN / AUSBLICK

Das Projekt *NEP2N* verdeutlicht zweierlei: Zum einen lässt sich die Integration von Wasserstofftechnologien in die Hochschullehre niederschwellig und mit kalkulierbaren Risiken realisieren. Zum anderen werden Studierende dadurch in die Lage versetzt, theoretisches Wissen unmittelbar in die Anwendung zu bringen. Die Gruppe konnte zeigen, dass ein solches Projekt in dem begrenzten Zeitraum von einem Semester (3,5 Monate) umsetzbar ist. Während der Projektbearbeitung konnten die folgenden Erkenntnisse gesammelt werden:

- Planung und Dimensionierung: Die Gruppe musste sich planerisch mit der Aufgabe auseinandersetzen, passfähige Einzelkomponenten ermitteln und beschaffen sowie sich Optimierungen in Bezug auf Bauraum und Technik überlegen. Sämtliche Antriebskomponenten waren aufeinander abzustimmen und Planzeichnungen für die Anfertigung von Bauteilen im 3D-Druck bzw. Laserschneidtechnik anzufertigen.
- Bautechnische Umsetzung: Wenngleich die Studierenden, wie in Abschnitt 2 beschrieben wurde, das Modellfahrzeug nicht von Grund auf neu planen und entwickeln mussten, konnten durch den Umbau des Chassis, die Integration der H<sub>2</sub>-Gastechnik und den weitgehenden Austausch der Elektronik handwerkliche Fähigkeiten sowohl in mechanischer als auch in elektronischer Hinsicht gewonnen werden.
- Projektsteuerung und Öffentlichkeitsarbeit: Um das geplante Vorhaben umsetzen zu können, mussten sich die Studierenden zudem um Finanzierungsmöglichkeiten kümmern. Hierbei konnten sie einen Einblick darin bekommen, wie ein solches Projekt finanziert werden kann und welche Wege gegangen werden müssen, um Unternehmen zu finden, die ein solches Vorhaben finanziell oder materiell unterstützen. Hierzu gehörten auch die Planung und Durchführung verschiedener öffentlichkeitswirksamer Präsentationen des Fahrzeugs (Abbildung 7).

Die Studierenden konnten zudem einen Unterschied bei der Zusammenarbeit im Vergleich zu einem theoretischen Semesterprojekt feststellen, was von ihnen als wertvolle Erfahrung im Hinblick auf die spätere Berufstätigkeit gewertet wurde. In einem praktischen Semesterprojekt zeigt sich schnell, dass die Zuverlässigkeit der einzelnen am Projekt beteiligten Personen eine große Rolle spielt, um den

Gesamtfortschritt des Projektes und damit die Zielerreichung nicht zu gefährden. Von Beginn an stellten sich Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Arbeitsschritten klar heraus, so dass eine integrative Zusammenarbeit zwingend erforderlich war.



**Abbildung 7: NEP2N zu Gast bei der summaery der Bauhaus-Universität Weimar (links), bei der Maximator Hydrogen GmbH in Nordhausen (Mitte) und bei der Langen Nacht der Wissenschaften Weimar in der H<sub>2</sub>-Werkstatt der Stadtwirtschaft Weimar GmbH (rechts)**

Aufgrund der begrenzten Projektlaufzeit konnten über die Fertigstellung des Modellfahrzeugs hinaus keine weiteren Tests zur genaueren Spezifikation der Leistungsparameter gemacht werden. So wäre es in Zukunft bspw. interessant zu ermitteln, welche maximale Reichweite NEP2N bei einer vollständigen Befüllung der beiden Wasserstofftanks bei verschiedenen Druckstufen erreichen kann. Zudem bietet die Edelstahlverkleidung die Möglichkeit, das Fahrzeug als Plattform zu nutzen und unterschiedliche Aufbauten zu implementieren. So könnten die Einsatzgebiete vom reinen Transportvehikel z.B. hin zu einer Robotikanwendung diversifiziert werden. Zukünftige Erweiterungen wie eine autonome Navigation bieten weiterhin Potenzial für die Anwendung des Fahrzeugs in industriellen und humanitären Bereichen. Hierfür könnten bspw. Sensoren oder Kameras angebracht werden.

## DANKSAGUNG

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Studienprojekt wurde im Rahmen des Einzelvorhabens h<sub>2</sub>well-Strategie, welches durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unter dem Förderkennzeichen 03WIR1822 gefördert wird, inhaltlich entwickelt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen. Die Autor:innen danken der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Bauhaus-Universität Weimar, der item Industrietechnik GmbH und der Weimar-Werk GmbH für die monetäre sowie materielle Unterstützung des Projektes. Die Gruppenmitglieder des studentischen Projektes waren Stina Amrhein, Kaspar Schmädicke, David Belitz, Felix Lind, Paul Haberl und Maximilian Frank.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Bauhaus-Universität Weimar, *Studienprojekt NEP2N*, Weimar, 2024. [Online]. Available: <https://www.uni-weimar.de/de/bau-und-umwelt/professuren/energiesysteme/lehre/studienprojekt-nep2n/>. [Accessed Sep. 2025].
- [2] DIE GAS- UND WASSERSTOFFWIRTSCHAFT e.V., *Wasserstoff: Energieträger der Zukunft*, Berlin, 2025. [Online]. Available: <https://gas-h2.de/wasserstoff/>. [Accessed Oct. 2025].
- [3] Deutscher Bundestag, *Energiespeicher der Elektromobilität - Entwicklung der Energiedichten*, Berlin, 2020. [Online]. Available: <https://www.bundestag.de/resource/blob/819220/31128d3d32638f43627fa8a99bd3cb83/WD-8-090-20-pdf-data.pdf>. [Accessed Oct. 2025].
- [4] Umicore AG & Co. KG, *Brennstoffzellen vs. Batterien – Was ist der Unterschied?*, Hanau-Wolfgang, n.d. [Online]. Available: <https://www.unicore.de/de/presse/stories/brennstoffzellenkatalysatoren-fur-eine-saubere-mobilitat/brennstoffzellen-vs-batterien-was-ist-der-unterschied>. [Accessed Oct. 2025].
- [5] Roboworks, *Rosbot Plus*, Haymarket, 2025. [Online]. Available: <https://www.roboworks.net/store/p/rosbot-pro-4wdis>. [Accessed: Oct. 2025].