

Wasserstoffsysteme in Gebäuden - Eine empirische Analyse

Hydrogen Power Systems in Buildings - An Empirical Analysis

**Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M.Sc.)“ im Studiengang  
Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der  
Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Worthmann

Vorname: Valentin



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 30. September 2021

## **Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis .....	III
Griechische Formelzeichen .....	IV
Lateinische Formelzeichen.....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	V
Formelverzeichnis .....	VII
1 Einleitung .....	1
1.1 Methodisches Vorgehen und Fragestellung der Arbeit.....	2
2 Grundlagen und Ist-Zustand.....	3
2.1 Wasserstoff.....	3
2.1.1 Eigenschaften von Wasserstoff .....	3
2.1.2 Herstellung und Nachhaltigkeit von Wasserstoff .....	5
2.1.2.1 Schwarzer, brauner und grauer Wasserstoff .....	7
2.1.2.2 Blauer und türkiser Wasserstoff.....	8
2.1.2.3 Oranger, roter und weißer Wasserstoff .....	9
2.1.2.4 Grüner Wasserstoff .....	10
2.1.3 Speicherung und Transport von Wasserstoff .....	13
2.2 Brennstoffzellen .....	14
2.2.1 Funktionsweise und Aufbau einer Brennstoffzelle.....	15
2.2.2 Brennstoffzellen in Gebäuden.....	18
2.3 Photovoltaik als Primärenergieträger.....	21
2.4 Kombinierte Wasserstoffsysteme in Gebäuden .....	24
2.4.1 Zusammensetzung eines hybriden Wasserstoffsystems.....	24

2.4.2 Wirtschaftlichkeit eines hybriden Wasserstoffsystems.....	31
2.4.3 Marktsituation von Heiz- und Energiesystemen.....	33
3 Empirische Untersuchung.....	37
3.1 Rahmenbedingungen und Fragestellung dieser Arbeit.....	37
3.2 Methodik.....	38
3.2.1 Untersuchungsmethode.....	39
3.2.2 Aufbau und Entwicklung des Fragebogens.....	41
3.2.3 Ablauf der Befragung.....	43
3.2.4 Auswertungsverfahren.....	45
3.3 Ergebnisse.....	48
3.3.1 Persönliche Angaben.....	48
3.3.2 Umweltbewusstsein & Nachhaltigkeit.....	52
3.3.3 Wasserstoffsysteme in Wohngebäuden.....	54
4 Diskussion.....	60
4.1 Methodenkritik.....	60
4.2 Ergebnisdiskussion.....	62
4.3 Fazit und Ausblick.....	65
Anhangsverzeichnis.....	67
Anhang.....	68
Literaturverzeichnis.....	88
Ehrenwörtliche Erklärung.....	94

## **1 Einleitung**

Der Klimawandel steht im Mittelpunkt vieler Diskussionen, denn seine Auswirkungen werden nicht nur die Zukunft Deutschlands, sondern die der gesamten Menschheit betreffen und vieles Gewohntes und Bekanntes verändern. Nicht nur, dass die Anzeichen des Klimawandels in unzähligen Naturkatastrophen, wie z. B. in diesem Sommer 2021 in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz, immer sichtbarer werden, auch die bereits angesprochenen Diskussionen zu diesem Thema werden immer hitziger. Es lässt sich zweifelsfrei behaupten, dass Deutschland den Klimawandel nicht alleine stoppen kann, dennoch stellt sich die Frage, welche Maßnahmen Deutschland veranlasst, um eine weitere Veränderung des Klimas durch den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren.

Fakt ist, dass Deutschland auf dem Papier eine Strategie für den Klimaschutz hat. Der Klimaschutzplan 2050 wurde 2016 von der Bundesregierung verabschiedet. Deutschland hat damit die Vorgaben des Pariser Klimaabkommens erfüllt, eine langfristige Klimaschutzstrategie zu entwickeln. Das formulierte Ziel ist es, bis zum Jahr 2050 die Treibhausgasneutralität zu erreichen. Auf dem Weg zu diesem Ziel gibt es auch ein ehrgeiziges Zwischenziel: So sollen bereits bis 2030 mindestens 55 % weniger Treibhausgase als im Jahr 1990 ausgestoßen werden. Damit diese Ziele erreicht werden können, wurden durch die Bundesregierung Entwicklungspfade für verschiedene Sektoren vorgezeichnet. Die konkreten Handlungsfelder sind in der Forst- und Landwirtschaft, in Wirtschaft und Industrie, in der Energieversorgung sowie im Verkehrs- und Gebäudebereich zu finden (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020: 1 f.).

Im Bereich der Gebäude nennt der Klimaschutzplan eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen gegenüber 1990 in Höhe von 66 bis 67 % bis 2030 als Ziel. Dies soll erreicht werden, indem Neubaustandards hinsichtlich der Klimaneutralität erhöht werden, langfristige Sanierungsstrategien entwickelt werden, sowie die Abkehr von Heizungssystemen, die fossile Brennstoffe nutzen, vorangetrieben wird. Neue Heizungssysteme, die regenerative Energien nutzen, sollen durch entsprechende Maßnahmen seitens der Politik gegenüber fossilen Heizungssystemen attraktiver werden. Ebenfalls sollen Anreize für Energiesysteme geschaffen werden, die mehr Strom erzeugen, als das entsprechende Haus benötigt (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020: 4).

Ein Energiesystem für Wohngebäude, welches die Erzeugung von Wärme und Strom ermöglicht und dabei keine Treibhausgase ausstößt, sind nachhaltige Wasserstoffsysteme. Nachhaltige Wasserstoffsysteme können prinzipiell autark bestehen, indem sie dezentral Energie erzeugen und speichern. Wie nachhaltige Wasserstoffsysteme aufgebaut sind und wie sie von der relevanten Zielgruppe betrachtet werden, soll in den nachfolgenden Kapiteln dieser Arbeit erläutert werden. Zunächst wird im nächsten Abschnitt das methodische Vorgehen und die Forschungsfrage vorgestellt, die am Ende dieser Arbeit beantwortet werden soll.

### **1.1 Methodisches Vorgehen und Fragestellung der Arbeit**

Das Konzept der nachhaltigen Wasserstoffsysteme als Energiesystem für Wohngebäude würde zur Strategie der Bundesregierung passen, die angestrebte Treibhausgasneutralität im Gebäudebereich zu erreichen. Es besteht durch die vollumfängliche Vermeidung des Ausstoßes von Treibhausgasen und wird gleichzeitig mit regenerativen Energien betrieben. Daher soll in Kapitel 2 erläutert werden, wie sich nachhaltige Wasserstoffsysteme konkret zusammensetzen, wie die Komponenten eines solchen Systems aufgebaut sind und wie das aktuelle Umfeld für Heiz- bzw. Energiesysteme aussieht. Ziel dieses Kapitels soll es also sein, einen Überblick über das Konzept der nachhaltigen Wasserstoffsysteme zu geben.

Im zweiten Abschnitt soll eine empirische Untersuchung durchgeführt werden, um zu klären, ob nachhaltige Wasserstoffsysteme in Wohngebäuden von der relevanten Zielgruppe – also Gebäudeeigentümern in Deutschland – akzeptiert werden. Die formulierte Forschungsfrage lautet daher:

*Wie hoch ist die Akzeptanz von nachhaltigen Wasserstoffsystemen bei Eigentümern von Wohngebäuden in Deutschland?*

Die einzelnen Schritte der empirischen Forschung werden dargelegt und das eigene Handeln beschrieben. Anschließend werden die erhaltenen Erkenntnisse statistisch ausgewertet und erläutert. Hierauf aufbauend erfolgt im Kontext der beschriebenen Grundlagen eine Diskussion der Ergebnisse und abschließend wird ein Fazit gezogen, bei dem die Forschungsfrage beantwortet und ein Ausblick gegeben wird.

### 4.3 Fazit und Ausblick

Zum Abschluss soll ein Fazit gezogen, die Forschungsfrage beantwortet und ein Ausblick für das Konzept der nachhaltigen Wasserstoffsysteme in Wohngebäuden gegeben werden.

Das hier vorgestellte und betrachtete nachhaltige Wasserstoffsystem für Wohngebäude befindet sich noch am Anfang seiner Entwicklung. Aus der Literatur geht hervor, dass der Großteil der derzeit verwendeten Brennstoffzellen mit Erdgas, das zu Wasserstoff umgewandelt wird, betrieben wird. Tatsächlich in Wohngebäuden verbaute nachhaltige Wasserstoffsysteme sind rar. In Deutschland gibt es erst eine Marktlösung für ein nachhaltiges Wasserstoffsystem, das vorgestellte Produkt der Firma HPS. Der wohl größte Vorteil dieses Systems ist, dass es im optimalen Fall durch regenerative Energie, nahezu vollständig autark arbeiten kann und das Wohngebäude mit Strom und Wärme versorgt. Demgegenüber steht der hohe Anschaffungspreis, der auch aufgrund der vielen einzelnen Komponenten des nachhaltigen Wasserstoffsystems, die die zuvor genannte Autarkie erst möglich machen, entsteht. Der hohe Preis ist wohl die größte Barriere für nachhaltige Wasserstoffsysteme. Zwar gibt es staatliche Zuschüsse für Brennstoffzellen, allerdings reichen diese bei weitem nicht aus, die Lücke zwischen der Zahlungsbereitschaft der befragten Wohngebäude-Eigentümer und den Kosten für ein nachhaltiges Wasserstoffsystem zu schließen. Ein weiteres Problem ist, dass die Wärmeleistung in nachhaltigen Wasserstoffsystemen oft zu gering ist, um Wohngebäude vollständig zu beheizen. Die Forschungsfrage:

*Wie hoch ist die Akzeptanz von nachhaltigen Wasserstoffsystemen bei Eigentümern von Wohngebäuden in Deutschland?*

Kann unter Betrachtung der quantitativ erhobenen Erkenntnisse und der theoretischen Grundlage wie folgt beantwortet werden: In dem derzeitigen Zustand sind nachhaltige Wasserstoffsysteme bei Wohngebäude-Eigentümern nur wenig akzeptiert. Nachhaltige Wasserstoffsysteme sind zwar für viele Personen interessant, die Anschaffungskosten und die Zahlungsbereitschaft liegen aber viel zu weit auseinander, als dass in der derzeitigen Situation ein breiter Einsatz dieses Konzeptes zu erwarten wäre.

Zukünftig muss eine deutliche Weiterentwicklung dieser Systeme erfolgen, um am Markt erfolgreich zu sein. Kritische Erfolgsfaktoren für nachhaltige Wasserstoffsysteme können

eine Steigerung der Bekanntheit, eine Absenkung des Preises sowie die Erhöhung der elektrischen Wirkungsgrade sein. Ebenfalls relevant ist die Entwicklung der Technik, da die verwendete Technik oft aus anderen Bereichen stammt.

Auch die Entwicklung der Energiepreise, sowie der voraussichtlich steigende Stromverbrauch innerhalb der Gesellschaft, da z. B. immer mehr Heizungssysteme Strom als Energiequelle nutzen und die Elektrifizierung der Fahrzeuge voranschreitet, werden einen Einfluss auf die Zukunft von nachhaltigen Wasserstoffsystemen haben.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die in der Einleitung angesprochene Attraktivität, die die Bundesregierung mit dem Klimaschutzplan 2050 für nachhaltige Heizungssysteme gegenüber Heizungen, die fossile Brennstoffe benötigen, herstellen möchte, bei nachhaltigen Wasserstoffsystemen noch nicht zu erkennen ist.