Thema: Analyse von Einflussparametern auf die Effizienz von Wärmepumpen in Deutschland

Masterarbeit

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

vorgelegt von

Name: Meyer Vorname: Luis

[redacted] [redacted]

Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 30.09.2022

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis....I

1. Einleitung....1

2. Theorieteil....3

2.1 Funktion einer Wärmepumpe....3

2.2 Kennzahlen für die Effizienz von Wärmepumpen....6

2.3 Lineare Regression: Grundlagen....8

2.4 Literaturrecherche....12

3. Forschungsteil....16

3.1 Vorgang der Forschung....16

3.2 Datenbeschaffung/Web Scraping....17

3.3 Variablenselektion für die Analyse....22

3.4 Explorative Datenanalyse: Ergebnisse....25

3.5 Lineare Regression....43

3.5.1 Überprüfen der Annahmen....43

3.5.2 Lineare Regression – Ergebnisse....48

4. Diskussionsteil....55

4.1 Diskussion der Ergebnisse....55

4.2 Limitationen und zukünftige Forschungen....58

5. Fazit....60

Literaturverzeichnis....62

A. Anhang....66

A.1 Research Summary....66

A.2 Python Skripte.....79

A.2.1 Web Scraping Anlagendaten.....79

A.2.1 Web Scraping Verbrauchsdaten.....83

A.2.2 Web Scraping Wetterdaten.....84

A.2.3 Datenaufbereitung und Analyse.....86

A.3 Ehrenwörtliche Erklärung.....105

1. Einleitung

Im Zuge der Energiewende und Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist das Thema Wärmepumpen omnipräsent. Der Endenergieverbrauch in privaten Haushalten macht mit 28,6 % einen ähnlich sehr hohen Anteil aus, der Einfluss ist ähnlich hoch wie der Endenergieverbrauch im Industriesektor mit 28,5 %. Dabei sind die größten Energieträger noch Erdgas und Öl, der Anteil an erneuerbaren Energien steigt aber stetig an. Die Raumwärme ist dabei mit 70 % der größte Faktor des Energieverbrauchs.[1] Um die Energiewende voranzutreiben, hat die Bundesregierung das Ziel formuliert, bis 2024 500.000 neue Wärmepumpen in Deutschland zu installieren. Als erste konkrete Maßnahme dafür werden in den kommenden Jahren 13 bis 14 Milliarden Euro in energetische Förderungen investiert, der Großteil davon fließt in Sanierungen für Bestandsgebäude. [2] Diese Maßnahme ist ein wichtiges Instrument, um Anreize für Wärmepumpe zu schaffen, die ein Umdenken in der Gesellschaft anregen.

Neben der Energiewende sorgen andere aktuelle Themen wie steigende Ölpreise oder auch mögliche Restriktionen durch den Russland-Ukraine-Krieg für einen immer höheren Stellenwert für Wärmepumpen. Das zeigt sich auch darin, dass im Jahr 2021 in jedem zweiten Neubau (50,6 %) eine Wärmepumpe als primäre Heizung verwendet wurde. Im Verhältnis dazu waren es 2015 lediglich 31,4 %. [3] Dies zeigt, dass der Betrieb von Wärmepumpen im Neubau bereits stark etabliert ist. Die Nachfrage nach Bauland steigt immer weiter, obwohl die Verfügbarkeit immer knapper wird. So ist der Preis je Quadratmeter seit 2009 von 122€ auf 199€ im Jahr 2020 um 63 % gestiegen. Diese starke Preissteigerung ist auf die weiter sinkende Verfügbarkeit von Bauland zurückzuführen.[4] Daher ist es wichtig, dass Wärmepumpe auch in bestehenden Gebäuden effizient arbeiten können. Die erfolgreiche Implementierung von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden ist allerdings nicht so einfach möglich. Viele bestehende Bauten sind aufgrund der Dämmeigenschaften oder der Heizkörper auf keinem hohen energetischen Niveau.

---

[1] Vgl. (Umweltbundesamt 2022)

[2] Vgl. (Bundesregierung 2022)

[3] Vgl. (Statistisches Bundesamt 2022)

[4] Vgl. (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. 2021)

Daher ist es wichtig herauszufinden, welche Parameter entscheidend sind um die Wärmepumpe im Bestand ökonomisch sinnvoll zu betreiben.

Die Forschungsfragen lauten daher:

F1: Was sind die entscheidenden Faktoren, die den effizienten Betrieb einer Wärmepumpe ausmachen?

F2: Wie ist es möglich Wärmepumpe effizient in Bestandsgebäude zu integrieren?

Um diese Fragen zu analysieren liegt eine Verbraucherdatenbank von Wärmepumpen zugrunde. Diese Datenbank wird mittels Web Scraping von der Internetseite extrahiert und anschließend mit explorative Datenanalyse und einer Linearen Regression auf die Effizienzfaktoren untersucht.

5. Fazit

In dieser Forschung wurden Effizienzfaktoren von Wärmepumpen mit besonderem Fokus auf Bestandsgebäude untersucht. Dabei ging es darum, Parameter zu finden, die starken Einfluss auf die Jahresarbeitszahl haben. Durch explorative Datenanalyse und lineare Regressionen wurden sämtliche Variablen des Datensatzes untersucht.

Bezüglich der Forschungsfrage nach den Effizienzfaktoren, kam es zu folgenden Ergebnissen. Es hat sich herausgestellt, dass der Unterschied der Arten von Wärmepumpen deutlich ist. Sole-Wasser-Wärmepumpen sind deutlich effizienter als Luft-Wasser-Wärmepumpe. Der Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz kam im Erdreich stärker zum Vorschein. Wohingegen bei Luft-Wasser-Wärmepumpen die mittlere Quellentemperatur mehr Einfluss hat. Daher hat sich herausgestellt, dass der Temperaturhub also die Differenz der Vorlauf- und Quellentemperatur entscheidend ist. Dabei ist die Quellentemperatur im Erdreich sehr konstant und hat somit einen voraussehbaren Einfluss auf die Effizienz der Anlage. Die Außenluft ist mehr von der durchschnittlichen Temperatur in der Heizperiode abhängig und ist daher anfälliger für Schwankungen. Die Vorlauftemperatur ist unabhängig von der Bauart stärker beeinflussbar. Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Flächenheizkörpern die Vorlauftemperaturen senken lässt und somit höhere Jahresarbeitszahlen erzielt werden. In Bezug auf die Bestandsgebäude war in dieser Forschung auffällig, dass viele Gebäude bereits Fußbodenheizung nachgerüstet haben, um die Effizienz zu verbessern. Folglich hatte diese Maßnahme einen starken Einfluss auf die Effizienz von bestehenden Gebäuden. Die monovalente Betriebsweise von Wärmepumpe zeigte sich im Vergleich zu bi- oder trivalenten Betriebsweise sehr effizient. Anders als erwartet waren die Arbeitszahl von bivalenten Systemen, die Wärmepumpe nur in hohen Quellentemperaturbereichen einsetzen, deutlich geringer. Außerdem erwiesen sich modulierende Wärmepumpe ebenfalls als vorteilhaft in Bezug auf die Jahresarbeitszahl.

Zu der zweite Forschungsfrage ist erst einmal klarzustellen, dass der effiziente Betrieb von Wärmepumpen in bestehenden Gebäuden möglich ist. In dieser Forschung zeigte sich, dass sowohl Neubauten als auch Bestandsgebäude auf ähnlich hohem Effizienzniveau betrieben werden können. Grund dafür ist zum einen, dass in diesem Fall die Bestandsgebäude durch Sanierungsmaßnahmen gute energetische Voraussetzungen für den Betrieb von Wärmepumpen haben. Zusätzlich gab es wenige Ausreißer oder typische Bestandsgebäude mit hohen Vorlauftemperaturen, die den negativen Effekt der Vorlauftemperatur deutlich

machen würden. Ein weiterer Aspekt, der dieses Thema beeinflusst, ist die technologische Weiterentwicklung der Wärmepumpen. Es wurde deutlich, dass es diesbezüglich eine stetige Verbesserung gab, die Bestandsgebäude kontinuierlich effizienter machen. Daher wurden selbst ohne Sanierungsmaßnahmen mit Radiatoren als Heizkörper eine hohe Jahresarbeitszahl erreicht.

Literaturverzeichnis