Mögliche Auswirkungen des Klimawandels in Ulm



Einleitung

Das Wetter, und damit auch der Klimawandel, haben einen großen Einfluss auf die vielfältigen Lebensbereiche der Menschen weltweit. Es ist wissenschaftlich gesichert und gut belegt, dass der Mensch Hauptverursacher der bereits laufenden globalen Erwärmung ist.

Trotz dieser Erkenntnisse und dem Übereinkommen von Paris im Jahr 2015, bei dem 195 Nationen die Begrenzung der menschengemachten globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten verabschiedeten, sind die Maßnahmen nicht ausreichend. Laut den *Vereinten Nationen* wird bei den derzeitigen Aktivitäten das 2°C-Ziel deutlich verfehlt und die Erdtemperatur wird sich um mindestens 3 °C erhöhen.

Die Auswirkungen des Klimawandels sind global wie auch regional zu bemerken. So haben Hitzeereignisse und das Risiko von Hochwasser in Deutschland markant zugenommen. In den vergangenen Jahren haben außerdem schwere Gewitter größere Schäden angerichtet.

Die globale Erwärmung hat natürlich auch Auswirkungen auf den Alltag in der Region Ulm / Neu-Ulm. Die Untersuchung der möglichen lokalen Änderungen auf die Energiesysteme in Gebäuden (Neubau und Bestand) als Folge des Klimawandels, insbesondere des Wärmebedarfs und der lokalen Stromerzeugung durch Photovoltaik-Anlagen, sind Teil des Förderprojekts AxIOME_BAR. Diese Analyse kann nur auf lokaler Ebene realisiert werden, da sich der Klimawandel unterschiedlich auf die verschiedenen Regionen in Deutschland auswirkt.

Die vorliegende Ergebnisinfo fasst die Ergebnisse der Klimaanalyse in der Region Ulm / Neu-Ulm zusammen und beschreibt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kombination von Photovoltaik-Anlagen und Luftwärmepumpen.

Gebäudesimulation

Das "Projekthaus Ulm", ein seit Anfang 2014 bewohnter Einfamilienhausneubau (KfW-Effizienzhaus 70), bietet hochaufgelöste Verbrauchsdaten im Strom- und Wärmebereich. Die Gebäudetechnik umfasst eine 9 kW Photovoltaik-Anlage, einen 4 kWh Batteriespeicher, eine Luftwärmepumpe mit Direktkondensation, eine Pellet-Heizung und eine Lüftung mit Wärme- und Feuchterückgewinnung.

Der Pelletofen steht als weiterer unabhängiger Wärmeerzeuger zur Verfügung. Die automatische Steuerung des Pelletofens und der Wärmepumpe erfolgt als sog. bivalenter, alternativer Betrieb. Oberhalb einer festgelegten Abschalttemperatur erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich über die Luftwärmepumpe. Unterhalb der Abschalttemperatur wird der Pelletofen betrieben, der die gesamte Heizwärme bereitstellen kann.

Das bedeutet, an kalten Tagen wird die Luftwärmepumpe nicht betrieben. Ein manuelles Bedienen des Pelletofens ist zusätzlich möglich.

Das Modell der Luftwärmepumpe ist empirisch anhand von mittleren täglichen Verbrauchs- und Erzeugungswerten sowie der mittleren Tagestemperatur aus dem Jahr 2015 erstellt. Für das Modell wird die Heizgrenze normgerecht bei 15 °C definiert.

Die Photovoltaik-Anlage des Projekthauses ist nach [1] modelliert. Die Basis ist ein empirisches Modell erstellt mit Hilfe von Messdaten einer Vielzahl von Photovoltaik-Systemen. Dieses empirische Modell ist anhand typischer Technologien, wie sie in Deutschland zum Einsatz kommen, auf Parameter übertragen und seine Eignung in der Region Ulm überprüft worden.

ÜBERBLICK

- Analyse der Klimaprojektion im ungünstigen Fall für die Region Ulm / Neu-Ulm.
- Mögliche Entwicklung der Temperatur bis 2080.
- Veränderung des Wärmebedarfs eines Einfamilienhaus (KfW-70).
- Exemplarischer Strombedarf einer Lufwärmepumpe.

GEFÖRDERT MIT MITTELN DER SOLARSTIFTUNG ULM/NEU-ULM





Klimaprojektion

Der Deutsche Wetterdienst betreibt seit Jahrzehnten eine hauptamtliche Wetterstation seines Messnetzes in Ulm. Diese Station misst verschiedene meteorologische Daten (z.B. Lufttemperatur und -feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit) kann jedoch natürlich nur Aussagen über die Vergangenheit liefern.

Die meisten Klimaprojektionen basieren auf Szenarien, wie die Entwicklung der Menge an Treibhausgasen in Zukunft aussehen könnte. Die Ergebnisse hier nutzen die Klimaprojektion des sogenannten A1B-Szenarios [2,3].

Das A1B-Szenario geht von starkem Wirtschaftswachstum, rascher Entwicklung neuer Technologien sowie einem ausgewogenen Energiemix aus und erwartet einen mittleren globalen Temperaturanstieg von 2,8 °C. Die projektionsbedingte Unsicherheit reicht dabei von 1,7 °C bis 4,4 °C [4]. Letzteres ist einem Verfehlen der globalen Klimaziele und der Festlegungen des Paris-Abkommens gleichzusetzen.

Dieses Szenario bildet die Grundlage für die vorliegende Untersuchung. Dafür spricht nicht nur die freie Datenzugänglichkeit und Betrachtung des schlimmsten Falls, sondern auch die hohe zeitliche Auflösung. Eine Betrachtung von Mittelwerten, z.B. auf Monatsbasis, kann zu Fehlinterpretationen führen.

Mittelwerte sind stets mit einem Informationsverlust verbunden. So kann die z.B. die Information einer mittleren Geschwindigkeit von 100 km/h auf der Strecke von Stuttgart nach Ulm bedeuten, dass man den Weg in etwa einer Stunde gefahren ist, oder eben auch dass man eine halbe Stunde im Stau stand und die restliche Zeit mit 200 km/h über die Autobahn gefahren ist.

"Mittelwerte sind stets mit einem Informationsverlust verbunden."

KLIMA UND WETTER

Das Klima fasst die Wettererscheinungen zusammen, die den *mittle-ren* Zustand der Atmosphäre an ein bestimmten Ort charakterisiert. Die statistischen Eigenschaften (z.B. Mittelwert, Häufigkeit extremer Ereignisse) beruhen auf dem Jahresablauf und einer lange Bezugsperiode (normalerweise mindestens 30 Jahre).

Das Wetter beschreibt hingegen den kurzfristigen, physikalischen Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort.

Zunahme der Temperatur in der Region

Das A1B-Szenario erwartet einen mittleren globalen Temperaturanstieg von 2,8 °C. Dies kann z.B. für die Region Ulm/Neu-Ulm eine mittlere Tagestemperatur von bis zu 34 °C im Sommer bedeuten

Dabei ist zu beachten, dass es sich dabei um die mittlere Tagestemperatur handelt und nicht um die absoluten Werte im Tagesgang. Eine mittlere Tagestemperatur von 34 °C kann z.B. Temperaturen von 28 °C in der Nacht und 40 °C am Tag bedeuten

Abbildung 1 zeigt die zeitliche Änderung der

mittleren Tagestemperatur während des Zeitraums von 2001 bis 2080 der A1B-Klimaprojektion. Über die horizontale Achse sind die Jahre aufgetragen und die vertikale Achse zeigt die Tage eines Jahres. Die mittlere Tagestemperatur ist farblich wiedergegeben von kalt (blau) bis heiß (rot).

Hier zeigt sich deutlich eine Zunahme der Anzahl an warmen und heißen Tagen in der zweiten Hälfte des Betrachtungszeitraums. Gleichzeitig zeigen sich mildere Winter mit der Abnahme an Tagen mit mittleren Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts.

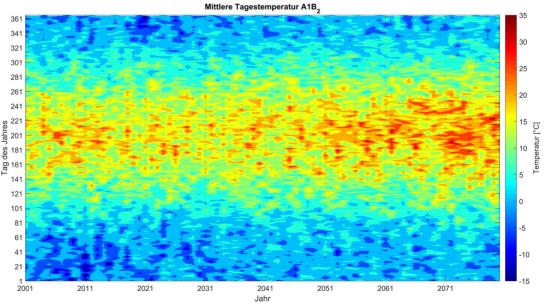


Abbildung 1: Mittlere Tagestemperatur der Periode 2001 bis 2080 anhand der A1B-Szenario-Klimaprojektion für den Standort Ulm.

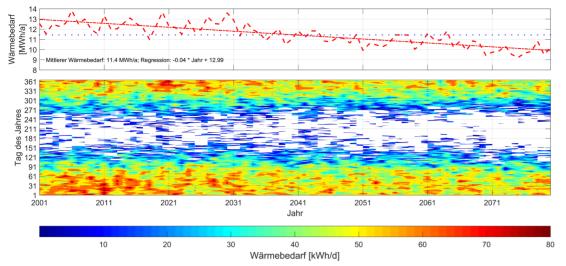


Abbildung 2: Jahressumme und Tagessumme des Wärmebedarfs des Projekthauses Ulm für die Periode 2001 bis 2080 anhand der A1B-Klimaprojektion.

Veränderung des Wärmebedarfs

Der Wärmebedarf des Gebäudes hängt von verschiedenen Faktoren ab und wird normalerweise durch das Heizungssystem gedeckt. Der wichtigste und variabelste Faktor ist die Außentemperatur. Von ihr hängen die Wärmeverluste über die Außenhülle des Gebäudes (z.B. Dach, Fassade, Keller und Fenster) ab. Der Wärmebedarf eines Gebäudes hängt außerdem noch von der geografischen Lage, der Gebäudegeometrie, -alter und -größe ab.

Abbildung 2 zeigt die simulierte zeitliche Änderung der Wärmebedarfs während des Zeitraums 2001 bis 2080 für das Projekthaus Ulm. Über die horizontale Achse sind die Jahre aufgetragen und die vertikale Achse zeigt die Tage eines Jahres. Der obere Teil der Abbildung zeigt die Entwicklung der Jahressumme des Wärmebedarfs. Der tägliche Wärmebedarf ist farblich wiedergegeben von gering (blau) bis hoch (rot). Weiße Flächen markieren Tage, an den kein Wärmebedarf für Raumwärme besteht.

Der Wärmebedarf zur Bereitstellung von Warmwasser wird in der Analyse nicht berücksichtigt, kann jedoch als annähernd konstant über den Jahresverlauf angenommen werden.

Aufgrund der Zunahme der milderen Winter mit der Abnahme an Tagen mit niedriger Tagesmitteltemperatur reduziert sich der Bedarf an Wärme.

Der langjährige Mittelwert liegt bei etwa 11.400 kWh/a. Jedoch zeigt sich eine mittlere, jährliche Abnahme von 400 kWh/a, beginnend bei ca. 13.000 kWh/a im Jahr 2001 bis zu etwa 10.000 kWh/a im Jahr 2080.

Bezogen auf das Projekthaus Ulm liegt der mittlere, spezifische Jahresheizenergiebedarf bei 39 kWh/m²a. Er reduziert sich im Mittel von 44 kWh/m²a zu Anfang des Untersuchungszeitraums auf 34 kWh/m²a aufgrund des klimabedingten Temperaturanstiegs.

Strombedarf der Luftwärmepumpe und Deckung durch die Photovoltaik-Anlage

Der Haupterzeuger des Heizungssystems ist eine Luftwärmepumpe mit Direktkondensation im Wärmespeicher und Frischwassersystem. Mit dem Einsatz an elektrischer Arbeit entzieht die Luftwärmepumpe der Umgebung Wärme und führt diese der Heizung zu. Dabei entzieht sie der Umgebung mehr Wärme als elektrische Arbeit aufgewendet werden muss. Jedoch sinkt die Effizienz der Luftwärmepumpe allerdings umso mehr, je geringer die Lufttemperatur ist.

Ein Teil des Strombedarfs der Wärmepumpe kann direkt durch die Erzeugungsleistung der Photovoltaik-Anlage gedeckt werden. Die Entwicklung des Strombedarfs der Wärmepumpe und dessen Deckung durch die Photovoltaik-Anlage hängen ebenfalls stark von der Klimaentwicklung ab.

Es zeigt sich auch, dass die Deckung des Strombedarfs der Wärmepumpe durch die Photovoltaikanlage im Verlauf der Klimaprojektion geringer wird Zum Einen sinkt der Wärmebedarf insgesamt aufgrund der höheren Außentemperaturen. Mildere Winter führen zu einer höheren Effizienz der Luftwärmepumpe und damit zu geringeren Betriebszeiten, die durch die möglichen Erträge der Photovoltaik-Anlage im Winter gedeckt werden.

Zum Anderen werden die Perioden ohne Wärmebedarf für die Heizung im Sommer länger. In diesen Zeiten muss die Luftwärmepumpe nur vereinzelt starten, um den Bedarf an Warmwasser zu decken.

Zusammengefasst steht somit mehr Solarstrom für andere Zwecke zur Verfügung. Es kann jedoch angenommen werden, dass bei einer Zunahme von heißeren und längeren Sommern der Bedarf an Klimageräten zur Gebäudekühlung zunehmen wird.

KLIMAPROJEKTION

Den Ausführungen in [5] folgend, wird hier von Klimaprojektionen und nicht von Klimaprognosen oder Klimavorhersagen gesprochen. Bei Prognosen und Vorhersagen erwartet man eine exakte Übereinstimmung der zeitlichen Entwicklung zwischen Simulationen und Beobachtungen. Aufgrund der hohen Unsicherheiten in den Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas kann dies eine Klimaprojektion nicht leisten. Beispielsweise kann die Klimaprojektion für Samstag, den 24. Februar 2079, zwar Sonnenschein vorhersagen, jedoch wäre eine Übereinstimmung der Klimaprojektion und Messung über einen Zeitraum von mehr als 60 Jahren nur Zufall.

Klimaprojektionen bieten jedoch Übereinstimmung der statistischen Klimaeigenschaften zwischen Modell und Beobachtung. Daher werden meist auch nur Tages-, Monats- oder Jahresmittelwerte verwendet. Die hier genannten Extremwerten bei Temperaturen o.ä., sind nur mit Unsicherheiten behaftete Möglichkeiten.

Diese Möglichkeiten *können* eintreten, sind jedoch keine definitiven Notwendigkeiten, die eintreten *müssen*.

IMPRESSUM

Projektträger unw - Ulmer Initiativkreis

nachhaltige Wirtschaftsentwicklung e.V. Olgastraße 82 89073 Ulm

Förderkennzeichen Projekt AxIOME_BAR 2017-01

Herausgeber Ingenieurbüro Holger Ruf Dornstadter Straße 15 89081 Ulm

Layout und Design Michael Ruf

Autoren
Dr.-Ing. Holger Ruf
Patrick Kober

Urheberrecht Titelbild, Foto S. 2: Holger Ruf Abb. 1, 2: Projekthaus Ulm (Ruf, Kober)

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz (CC NY-NC-ND 4.0).



Zusammenfassung

Der Klimawandel betrifft die unterschiedlichsten Regionen und Bereiche. Auch hat die globale Erwärmung Auswirkungen auf den Alltag in der Region Ulm/Neu-Ulm. Die Untersuchung der möglichen, lokalen Änderungen auf die Energiesysteme in Gebäuden (Neubau und Bestand) werden im Förderprojekt AxIOME_BAR durchgeführt

Der Grundidee des Projektes folgend, sind die Ergebnisse für die Allgemeinheit frei zugänglich.

Eine Erwärmung um 2 °C im Mittel hört sich nicht sehr dramatisch an, beschreibt aber nur die Änderung der langjährigen Mitteltemperatur. Eine Betrachtung von Mittelwerten auf z.B. Monatsbasis kann zu Fehlinterpretationen führen und vernachlässigt die Herausforderungen, die sich aus Extremwerten ergeben. Um dieser möglichen Fehlinterpretation zu begegnen wird die zeitlich nochaufgelöste Klimaprojektion zusammen mit Modellen, die hier in der Region validiert wurden, genutzt.

Im Projekthaus Ulm wird der -vor allem von der Außentemperatur abhängende- Wärmebedarf primär durch eine Luftwärmepumpe gedeckt. Wird die angenommene Klimaprojektion angesetzt, zeigt sich bis 2080 eine mittlere, jährliche Abnahme von 400 kWh an Raumwärme.

Durch den geänderten Wärmebedarf ändert sich auch der Strombedarf der Luftwärmepumpe und die Deckung durch die Photovoltaik-Anlage. Ein Teil des Strombedarfs der Wärmepumpe kann direkt durch die Erzeugung der Photovoltaik-Anlage gedeckt werden.

In den Wintermonaten reicht auch in Zukunft der Strom der Photovoltaik-Anlage nicht aus, um den Strombedarf der Wärmepumpe zu decken. Es muss zusätzliche Energie aus dem öffentlichen Netz entnommen werden. Die Perioden mit annähernder Deckung sind im Frühjahr und im Herbst, während im Sommer mehr Strom erzeugt wird als benötigt wird.

Die schon vorhandenen Messdaten zeigen, dass der Klimawandel auch in Ulm schon begonnen hat und den Betrieb von Gebäuden und Anlagen beeinflussen wird.

Weitere Informationen

In dem Buch *Klimawandel in Deutschland* (ISBN 978-3-662-50397-3) fassen über 100 Autoren die bereits zu beobachtenden und zukünftigen Veränderungen des Klimawandels für alle Themenbereiche und gesellschaftlichen Sektoren zusammen.

Alle Texte in dem Buch wurden mehrfach wissenschaftlich begutachtet und können als Einstieg in die komplexen Zusammenhänge des Klimawandels dienen.

Das elektronische eBook ist ein Open Access Buch und frei zugänglich auf *link.springer.com* Der ausführliche Bericht zur *Klimadatenanalyse* für die Region Ulm/Neu-Ulm im Rahmen des Projektes, sowie weitere Veröffentlichungen und Informationen zum Projekthaus Ulm sind frei zugänglich auf *www.projekthaus-ulm.de*



Quellen

- [1] H. Ruf, M. Schroedter-Homscheidt, G. Heilscher, und H. G. Beyer, "Quantifying residential PV feed-in power in low voltage grids based on satellite-derived irradiance data with application to power flow calculations," Solar Energy, vol. 135, pp. 692–702, 2016.
 DOI: 10.1016/j.solener.2016.06.001
- [2] M. Lautenschlager et al, Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.2, Data Stream 3: European region MPI-M/MaD: CLM_A1B_2_D3. Available: https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/ Compact.jsp?acronym=CLM_A1B_2_D3 (2017, Aug. 18). DOI: 10.1594/WDCC/CLM_A1B_2_D3
- [3] www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/sres-szenarien_node.html
- [4] L. Bernstein und R. K. Pachauri, Klimaänderung 2007: Synthesebericht. Berlin, 2008. ISBN: 978-3-00-025397-3
- [5] G. Brasseur, D. Jacob, und S. Schuck-Zöller, Hrg., Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven, 1. Auflage: Springer Verlag, 2016. ISBN: 978-3-662-50397-3