Teamprojekt

Automatische Strompreisoptimierung für Einfamilienhäuser mit Solaranlage und Batteriespeicher

Abdullah Manap

11142864

Eingereicht bei:

Prof. Dr. Michael Freiburg

# Einleitung

Seit 2025 wurden in Deutschland dynamische Strompreise eingeführt, die den Verbrauchern ermöglichen variable Strompreise zu kaufen. Es werden in unterschiedlichen Zeiten von der Strombörse Strompreise festgelegt. Die Strompreise werden abhängig von dem Erneuerbaren Energien erzeugten Strom errechnet. Das heißt also, dass die Wetterbedingung den Strompreis beeinflussen. Bei viel Sonne und Wind sinkt dann der Börsenpreis entsprechen. Die Strompreise werden ein Tag vorher festgelegt. Durch die Bereitstellung von Schnittstellen und Lastprofile von Einfamilienhäusern wird in dieser Teamprojekt Arbeit eine Software programmiert, die eine Strompreisoptimierung mittels von Daten aus der PV-Prognosen, Wettervorhersagen sowie dynamisch Strompreise ermöglicht.

# Dynamische Strompreise

An erster Linie wollen wir herausfinden, wie sich der Strompreis überhaupt zusammensetzt und was der Börsenpreis ist. Anhand der Daten von Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. können wir festlegen, dass der durchschnittliche Strompreis von einem Haushalt stand Juli 2025 in Deutschland bei 39,7 ct/kWh liegt. Dabei wurde ein Jahresverbrauch von 3.500 kWh betrachtet. Der Gesamtpreis eines Strompreises bildet sich aus der Beschaffung des Stromes, wobei der Anteil bei 41 % liegt. Zum anderen haben Netzentgelte einen Anteil des Strom-

preises von 27%. Diese werden für die Nutzung und Ausbau der Strompreise abgerechnet. Rest des Anteiles besitzt die Steuern, Abgaben und Umlagen mit 32 %

Dadrunter fallen Abgaben wie die KWKG-Umlage (2025 beträgt die Umlage bei 0,277 ct/kWh), Offshore-Netzumlage, §19 StromNEV-Umlage, Konzessionsabgabe, Stromsteuer und die Mehwertsteuer. Die Strompreise werden in der Strombörse EPEX Spot gehandelt. Dabei bildet sich der Strompreis durch das Verhältnis von Angebot und Nachfrage. Um bei Überlast das Netz im Gleichgewicht zu halten, werden die Strompreise günstiger gehandelt. Aber wenn zu viel Strom erzeugt wird und dabei das Wetter passend ist, wie sonnige Tage oder viel Windenergie, wird der Strompreis günstig angepasst. Aus dieser Grundlage werden die dynamischen Strompreise stundenweise für den folgenden Tag bestimmt. Dieser Art von Handel wird auch als Day-Ahead-Markt benannt oder die Strompreise auch als Day-Ahead-Preise. Dazu gibt es den Intraday-Preis, in dem der Preis noch am selben Tag gehandelt wird.

Für die Verfügbarkeit von Daten über dynamische Strompreise, wird für die Software eine Schnittstelle (API) aufgesucht. Dadurch werden aktuelle Strompreise aus dem Börsenmarkt übermittelt, womit die dynamischen Strompreise in die Software eingebunden werden können. Wir das aufgesuchte Schnittstelle mit den Börsenpreisen verglichen und nach Richtigkeit geprüft. Dabei wurde eine Schnittstelle des Unternehmens Tado genutzt, um die am Börsenmarkt ermittelten Day-Ahead-Strompreise mit den Daten vom 27.09.2025 zu vergleichen.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stunde | Preis (ct/kWh) | Stunde | Preis (ct/kWh) |
| 14-15 | 4.85 | 21-22 | 11.44 |
| 15-16 | 7.82 | 22-23 | 10.75 |
| 16-17 | 9.31 | 23-24 | 9.95 |
| 17-18 | 11.2 | 0-1 | 9.75 |
| 18-19 | 13.33 | 1-2 | 9.53 |
| 19-20 | 14.86 | 2-3 | 9.43 |
| 20-21 | 12.25 | 3-4 | 9.14 |

Tabelle EpexSpot Börsenpreise [2]

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Screenshot enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.

Abbildung Dynamische Strompreise aus Schnittstelle (Tado)

Anhand der Tabelle 1 (EpexSpot Börsenpreise) und Abbildung 1 (Dynamische Strompreise aus Schnittstelle) kann festgestellt werden, dass die dynamischen Strompreise und die Börsenpreise identisch sind und keine große Abweichungen aufweisen. Auch die von dem Unternehmen Vattenfall veröffentlichte Strompreise wurde verglichen. Es wurde festgestellt, dass die Preise ebenso identisch veröffentlicht wurden.

Ein Bild, das Screenshot, Text, Diagramm, Schrift enthält.

KI-generierte Inhalte können fehlerhaft sein.

Abbildung Dynamische Strompreis (Vattenfall) [3]

# Lastprofile

Für die Optimierung der Strompreise wird ein Lastprofil benötigt, da vorerst ermittelt werden muss, wie hoch der Verbrauch in den jeweiligen Stunden aussieht und ob die Lasten für eine Optimierung verschoben werden können. Auf Basis der Standardlastprofile möchte wir als Eingang des Systems für die Software ein realistisches Lastprofil erstellen und diese für die Optimierung nutzen. Ziel dabei ist ein 24h Stunden Profil zu erstellen. Dafür nehmen wir die Standardlastprofile, die von der BDEW zur Verfügung gestellt werden. Standardlastprofile sind Lastprofile die für Verbraucher unter 100.000 kWh/Jahr zu Verfügung gestellt werden. Das sind Verbrauchsverhalten einer bestimmten Verbrauchergruppe, die viertelstündig den Mittelwert des Verbrauchs wiedergeben. Da ein Lastgangmessung zu aufwendig für den Verbraucher unter 100.000 kWh/Jahr ist, werden die Standardlastprofile zu Verfügung gestellt [7, S. 377]. In den Standardlastprofilen werden die Profile eingeteilt in Werktagen, Samstagen und Sonntagen und nach den Jahreszeiten, in dem sich der Verbrauch unterscheidet. Diese Daten sind auf 1.000.000 kWh Verbrauch für eine Jahr normiert. Um diese Werte zu nutzen, muss folgendes berechnet werden:

Mit dieser Berechnung kommen wir auf den entsprechenden Verbrauch. Bei der Bestimmung dieser Daten möchten wir von einem Einfamilienhaus mit 4 Personen ausgehen. Dazu nehmen wird den Durchschnittsverbrauch in Kenntnis. Anhand der Quellen sind diese zu Vergleichen. Der Durchschnittsverbrauch ohne Warmwasserbereitung laut Vattenfall beträgt 4000 kWh [3]. Nach ADAC liegt der Wert bei maximal 4500 kWh [4]. Anders wird der Wert bei Enpal angegeben. Dort wird ein Wert zwischen 4000 bis 5100 kWh jährlich geschätzt [5].

Nach den vorliegenden Angaben setzen wir das Durchschnittsverbrauch bei 4000 kWh, die wir mit in die Rechnung einbeziehen.

# Berechnung des PV-Ertrags

Für die Berechnung des PV-Ertrags muss an erste Linie die Sonnenposition und der Einfallswinkel bestimmt werden. Mittels der Sonnenhöhe und das Sonnenazimut werden diese berechnet. Vorher muss bestimmt werden wie der Sonnenazimut, also dem Winkel zwischen der geographischen Nordrichtung und dem Vertikalkreis durch den Sonnenmittelpunkt, beschrieben wird. Dafür wir wie in der Tabelle 2 die folgenden Bezeichnungen verwendet [6, S.83].

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | NO | O | SE | S | SW | W | NW |
| 0° | 45° | 90° | 135° | 180° | 225° | 270° | 315° |

Tabelle Winkelbeschreibung Sonnenazimut [6]



Abbildung Winkelbezeichnung [6]

Die Sonnenhöhe und der Sonnenazimut lassen sich über die Uhrzeit und Datum bestimmen. Dabei es auch wichtig die Sonnendeklination mit einzubeziehen. Sie beschreibt die Neigung zu der Sonne. Die Erde wendet im Jahresverlauf einmal die nördliche und einmal die südliche Halbkugel zu. Um diese zu bestimmen wird zuerst Jahreswinkel berechnet[6, S.83].

Für die Sonnendeklination eingesetzt in:

Im nächsten Schritt wird durch die Zeitgleichung und der mittleren Ortszeit die Wahre Ortszeit bestimmt.

Zeitgleichung:

Mittlere Ortszeit:

Wahre Ortszeit:

Durch die Wahre Ortszeit kann im weiteren Verlauf der Stundenwinkel ermittelt werden.

Anhang der vorhergingen Berechnungen und den Breitengraden wird die Sonnenhöhe und der Sonnenazimut bestimmt.

Letztendlich wird der Einfallswinkel berechnet, die den Winkel beschreibt, die zwischen einem Vektor **s** in Sonnenrichtung und dem Normalvektor **n** der geneigten Ebene befindet.



Abbildung Winkelbezeichnung des Sonneneinfallswinkels

Um die Bestrahlungsstärke zu bestimmen, wird vorerst auf die horizontale Bestrahlungsstärke eingegangen, da mit dem horizontalen Werten die Bestrahlungsstärke für die geneigte Ebene berechnet werden können.

Die gesamte Bestrahlungsstärke unterteilt sich auf der horizontalen Erdoberfläche aus der direkten Bestrahlungsstärke und der diffusen Bestrahlungsstärke [6, S. 79]:

Wie in der Abbildung 3 zu sehen, entstehen durch Hindernisse in der Atmosphäre Streuungen der Strahlungen, die dazu führen, dass am Ende neben der direkten Strahlung auch eine diffuse Strahlung entsteht [6]. Die diffuse Strahlung besitzt dabei keine definierte Richtung, aber die direkte Strahlung kommt direkt aus der Sonnenrichtung.



Abbildung Streuung in der Atmosphäre [6]



Abbildung Einstrahlung in die geneigte Ebene [6]

Bei einer PV-Anlage muss aber die geneigte Fläche betrachtet werden, da die gesamte Strahlung zusätzlich noch mit dem reflektierten Anteil zusammensetzt. Es handelt es sich hierbei um die Bodenreflexion, die mitberücksichtigt wird. Daraus entsteht die Formel:

Die Berechnung der Bodenreflexion setzt sich zusammen aus der Formel:

Der Albedo Wert A wird je nach Umgebung bestimmt. Wenn die Umgebung nicht bekannt ist, wird meistens ein Wert von 0,2 eingegeben [6, S.88].



Tabelle Albedo für verschiedene Umgebungen [6]

Die direkte Strahlung auf der geneigten Ebene lässt ebenso anders festlegen als in der horizontalen. Dabei entsteht die Formel mit Berücksichtigung der Neigungswinkel und dem Einfallswinkel [6, S.86]:

Letztere entsteht die diffuse Strahlung beim isentropischen Ansatz, heißt es wird davon ausgegangen, dass aus allen Himmelsrichtungen der gleiche Anteil der Himmelsstrahlung ankommt, aus [6, S.87]:

Quellenangabe

[1] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), „BDEW – Strompreisanalyse Juli 2025“. [Online]. Verfügbar: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>. [Zugriff: 27.09.2025].

[2] EpexSpot. [Online]. Verfügbar: <https://www.epexspot.com/en/market-results?market_area=DE-LU&auction=MRC&trading_date=2025-09-27&delivery_date=2025-09-28&underlying_year=&modality=Auction&sub_modality=DayAhead&technology=&data_mode=table&period=&production_period=>. [Zugriff: 27.09.2025].

[3] Vattenfall, „Dynamischer Stromtarif“. [Online]. Verfügbar: <https://www.vattenfall.de/strom/tarife/oekostrom-dynamik-boersenpreise>. [Zugriff: 27.09.2025].

[4] ADAC, “Stromverbrauch im Haushalt: Das ist Durchschnitt bei ein bis vier Personen“. [Online]. Verfügbar: <https://www.adac.de/rund-ums-haus/energie/spartipps/stromverbrauch-im-haushalt/?utm_source=chatgpt.com#stromverbrauch-von-4-personen> [Zugriff: 30.09.2025]

[5] Enpal, „Durchschnittsverbrauch Strom: So viel Energie nutzt ein Haushalt wirklich“. [Online]. Verfügbar: <https://www.enpal.de/strom/durchschnittsverbrauch?utm_source=Search%20Ads&utm_campaign=22153726533&utm_term=182441672108&utm_content=731604179406&utm_placement=&utm_device=c&utm_keyword=&utm_location=9044640&gad_source=1&gad_campaignid=22153726533&gbraid=0AAAAADMX8nuBAtrJLcPJ46IUcVrIXlb0u&gclid=Cj0KCQjw3OjGBhDYARIsADd-uX7S4a3DrO55uf-P4nqINifle4ft4ZJKUZiN1GEOfocNycooxNdufJoaAjtAEALw_wcB>. [Zugriff: 30.09.2025]

[6] V. Quaschning, „Regenerative Energiesysteme: Technologie – Berechnung – Klimaschutz“. 10. Auflage, Hanser Verlag, München,2019.

[7] Wolfgang Schellong, “Analyse und Optimierung von Energieverbundsystemen“, 1. Auflage, Springer Vieweg, Heidelberg,2016.