



BACHELORARBEIT

Herausforderungen bei der Planung
von Photovoltaikanlagen auf denkmal-
geschützten Gebäuden

Eingereicht von:
Studiengang:
Matrikelnummer:
Datum:

Wilhelm Schulze
Bauingenieurwesen
30013470
15.10.2025

Erstprüferin:
Zweitprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
M. Eng. Martin Rostek

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1.	Problemstellung und Relevanz.....	3
1.2.	Zielsetzung.....	4
1.3.	Bedeutung der Nachhaltigkeit historischer Gebäude	4
1.4.	Abgrenzung des Themas und methodisches Vorgehen	5
2.	Theoretische Grundlagen	6
2.1.	Erneuerbare Energien und deren Nutzung	6
2.2.	Denkmalschutzrechtliche Vorgaben	7
2.3.	Energieverbrauch und Verbrauchprofil von Kirchengebäuden.....	8
3.	Bestandsaufnahme und Analyse.....	10
3.1.	Gebäudeanalyse	10
3.2.	Erfassung der Energieverbräuche	11
3.3.	Erstellung eines Verbrauchprofils	13
4.	Planerische Betrachtung der regenerativen Energieversorgung.....	17
4.1.	Allgemeine Anforderungen aus Statik	17
4.2.	Potenzielle Flächen	18
4.3.	Elektroheizung als Wärmequelle	19
4.4.	Technische Lösungsansätze	20
5.	Bewertung möglicher Versorgungskonzepte	21
5.1.	Vergleich von Verbrauchsprofil und Anlagenauslegung.....	21
5.2.	Gegenüberstellung Erzeugung und Verbrauch für Süd-Dach	21
5.3.	Die Süddach-Variante	22
5.4.	Vergleich anderer Dachvarianten	23
5.5.	Zwischenfazit als Übergang zur Gesamtbewertung.....	23
6.	Energetische und wirtschaftliche Bewertung.....	24
6.1.	Einleitung und Bezug	24
6.2.	Bewertung.....	24
6.2.1.	Energetische Bewertung	24
6.2.2.	Wirtschaftliche Bewertung	25
6.2.3.	Denkmalpflegerische Bewertung.....	26
6.3.	Zusammenführung der Ergebnisse	27
6.4.	Ausblick.....	27
7.	Fazit	28
8.	Verzeichnis.....	29
8.1.	Literaturverzeichnis	29
8.2.	Tabellenverzeichnis	30
8.3.	Abbildungsverzeichnis.....	31
8.4.	Verwendete Hilfsmittel.....	31
8.5.	Anlagen.....	31
8.6.	Abkürzungsverzeichnis	37
8.7.	Formelzeichen.....	38
8.8.	Eigenständigkeitserklärung	39

1. Einleitung

1.1. Problemstellung und Relevanz

Die Energiewende zählt zu den politisch und gesellschaftlich bedeutsamsten Themen unserer Zeit und betrifft somit alle Menschen. Die fortschreitende Klimakrise macht sich zunehmend bemerkbar, nicht nur in theoretischen Szenarien, sondern spürbar durch reale Extremwetterereignisse wie Hochwasser oder Stürme. Gleichzeitig tragen ein steigender Lebensstandard und der damit verbundene hohe Verbrauch im Alltag zur Verschärfung der Knappheit fossiler Ressourcen bei. Ein wichtiger Schritt waren die im Jahr 2016 international vereinbarten Klimaziele. Das damals beschlossene Pariser Klimaabkommen sieht eine Begrenzung der Erderwärmung auf möglichst 1,5 °C sowie eine deutliche Senkung der CO₂-Emissionen für alle Unterzeichnerstaaten vor. [1] Damit ist klar, dass schnelles Handeln im Bereich erneuerbarer Energien dringend erforderlich ist.

Politische Entscheidungsprozesse sind jedoch häufig von Interessenkonflikten und Bürokratie geprägt, was Fortschritte verlangsamen kann. [2] Während Neubauten zunehmend nach energetischen Standards errichtet werden, stellt der Gebäudebestand (insbesondere denkmalgeschützte Objekte) eine besondere Herausforderung dar, insbesondere in Bezug auf deren Beitrag zur Energiewende. Hier prallen scheinbar gegensätzliche Werte aufeinander: der Schutz historischer Bausubstanz als kulturelles Erbe einerseits und die Verantwortung gegenüber künftigen Generationen durch nachhaltiges Wirtschaften andererseits. Auf Kirchengebäuden wie das in Ipse [3] lässt sich das übertragen. Sie sind nicht nur architektonisch, sondern auch kulturell und gesellschaftlich von hoher Bedeutung und übernehmen in vielen Gemeinden zentrale, soziale und identitätsstiftende Funktionen. Diese doppelte Verantwortung, der Erhalt des kulturellen Erbes und die Reduktion von Treibhausgasemissionen verlangt nach Lösungen, die Bewahrung und Erneuerung miteinander verbinden.

Dächer denkmalgeschützter Gebäude bieten dabei ein oft unterschätztes Potenzial für Photovoltaikanlagen. Die Umwandlung von Sonnenenergie in Strom stellt eine erprobte und kosteneffiziente Alternative zu fossilen Brennstoffen dar. [4] Doch bei denkmalgeschützten Gebäuden ist der Handlungsspielraum stark eingeschränkt. Denn Eingriffe in die Bausubstanz, Veränderungen des Erscheinungsbildes und mögliche Auswirkungen auf den Denkmalwert können zu Ablehnungen durch die zuständigen Behörden führen. [2] Anstelle einer grundsätzlichen Diskussion über die vermeintliche Unvereinbarkeit von PV-Modulen und historischer Architektur sollte stärker nach denkmalverträglichen Ansätzen gesucht werden.

Der Markt entwickelt sich hierfür stetig weiter: dachintegrierte PV-Systeme, farblich angepasste Module oder Solardachziegel, die von der Straße aus fast nicht sichtbar sind, zeigen, dass Kompromisse möglich sind. Vergleichbare Projekte wie die Martin-Luther-Kirche in Waldhausen [5] oder die in Greifswald-Wieck [6] verdeutlichen, dass moderne Technik und historischer Charme durchaus miteinander vereinbar sein können. Grundvoraussetzung bleibt, dass Behörden und Eigentümer bereit sind, neue Wege zu gehen. Denkmalschutz sollte nicht als grundsätzliches Hindernis verstanden werden. Vielmehr kann er im Sinne einer nachhaltigen Denkmalpflege weiterentwickelt werden, sodass er den Klimaschutz nicht blockiert, sondern konstruktiv mitgestaltet.

1.2. Zielsetzung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die Herausforderungen bei der Planung von Photovoltaikanlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden zu analysieren. Als Fallbeispiel dient die Kirche im Ort Ipse in Sachsen-Anhalt. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie eine PV-Anlage unter Berücksichtigung denkmalpflegerischer Anforderungen so integriert werden kann, dass einerseits das historische Erscheinungsbild gewahrt bleibt und andererseits ein Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung geleistet wird. Die zentrale Forschungsfrage lautet daher: Welche technischen, rechtlichen, ästhetischen und wirtschaftlichen Herausforderungen ergeben sich bei der Integration einer Photovoltaikanlage in ein denkmalgeschütztes Kirchengebäude, und wie können diese im Fall der Ipser Kirche bewertet werden?

Im Rahmen der Arbeit werden daher rechtliche, technische, denkmalpflegerische und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt, um aufzuzeigen, an welchen Punkten besondere Konflikte entstehen und welche Lösungsansätze bestehen. Ziel ist eine Einschätzung zu Entwicklungsmöglichkeiten der Ipser Kirche und welche Grenzen der Denkmalschutz dabei setzt.



Abb. 3: Dorfkirche zu Ipse

1.3. Bedeutung der Nachhaltigkeit historischer Gebäude

Die europäischen Klimaschutzziele verdeutlichen, dass auch historische Gebäude zunehmend für die Energiewende an Bedeutung gewinnen. Der Energieverbrauch im Gebäudesektor liegt bei rund 30 % des Gesamtenergiebedarfs. Europa hat sich verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 40 % gegenüber 1990 zu reduzieren. [7] Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn auch der Energiebedarf in Bestandsgebäuden deutlich gesenkt wird. Während Neubauten nach den neuesten energetischen Vorschriften errichtet werden, stellen historische Gebäude eine große Herausforderung dar. Sie sind nicht nur aufgrund ihrer teil-

weise einzigartigen architektonischen Bauweise besonders, sondern auch kulturell und gesellschaftlich von großer Bedeutung. Klimaschutz ist deshalb eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die das Bewahren des Alten mit der Integration des Neuen verbinden muss.

Eine Möglichkeit zur Reduktion von Treibhausgasen bietet die Nutzung erneuerbarer Energien durch Photovoltaik. Allerdings ist die Integration solcher Anlagen auf Kirchendächern mit hohen Anforderungen verbunden. Neben den gesetzlichen Vorgaben sind vor allem die Abstimmungen mit den Denkmalschutzbehörden entscheidend. Ein Eingriff in Dachstühle mit besonderer Konstruktion oder spezieller Dachdeckung muss gewährleisten, dass die Substanz geschont wird. Als besonders kritisch wird die Sichtbarkeit von Anlagen und ihre optische Verträglichkeit mit der historischen Bausubstanz angesehen. [8] Gerade bei der hier untersuchten Kirche, deren Ursprung bis in das Jahr 1238 zurückreicht [3], ist es wichtig, die architektonische Integrität und das historische Erscheinungsbild weitgehend zu bewahren. Gleichzeitig bieten die großen Dachflächen solcher Gebäude, die häufig nach Süden ausgerichtet sind, eine sehr vorteilhafte Grundlage für die Nutzung von Solarenergie. Ziel ist daher eine Lösung, die funktional und optisch verträglich ist, aber auch rechtlich genehmigungsfähig erscheint.

1.4. Abgrenzung des Themas und methodisches Vorgehen

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse der technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie den besonderen Anforderungen des Denkmalschutzes bei der Integration von Photovoltaikanlagen. Darüber hinaus wird das energetische Potenzial einer Anlage in Verbindung mit dem spezifischen Verbrauchsprofil des Gebäudes simuliert und ausgewertet.

Nicht Gegenstand der Arbeit sind allgemeine Betrachtungen zum Einsatz erneuerbarer Energien in Neubauten oder nicht denkmalgeschützten Gebäuden. Ebenso wird auf eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse im Sinne einer umfassenden Vollkostenrechnung verzichtet. Maßnahmen zur thermischen Sanierung, wie Fassadendämmung, Lüftungskonzepte oder hybride Heizsysteme, bleiben ebenfalls unbeachtet. Der Fokus liegt klar auf den besonderen Herausforderungen der Integration einer PV-Anlage im Kontext denkmalgeschützter Gebäude. Methodisch stützt sich die Arbeit auf eine Kombination aus Literatur- und Quellenanalyse, einer vor Ort Datenerhebung mit Verbrauchsprofil sowie der Simulation mittels spezieller Planungssoftware.

Zunächst erfolgt eine Einordnung der relevanten gesetzlichen Grundlagen und politischen Zielsetzungen im Bereich Klimaschutz. Anschließend werden die spezifischen Gebäudeeigenschaften erfasst. Da lediglich ein Hauptzähler im Gebäude vorhanden ist und somit keine differenzierten Stromzähler für einzelne Verbrauchergruppen existieren, wurde eine eigenständige Datenerhebung durchgeführt. Hierbei wurden die relevanten elektrischen Verbraucher aufgenommen, deren Nutzungszeiten sowie der Gesamtverbrauch für verschiedene Szenarien wie Gottesdienste abgeschätzt. Die erhobenen Messdaten wurden in ein tabellarisches CSV-Format (Comma-Separated Values) überführt, um sie für Sunny Design nutzbar zu machen. [9] Unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten (*Anlage 7: Planstände*) wurde der Gebäudekomplex zunächst nachgebildet.

Auf dieser Grundlage und unter Berücksichtigung denkmalpflegerischer Faktoren war es mög-

lich verschiedene Platzierungen der PV-Module vorzunehmen und miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse werden hinsichtlich technischer Machbarkeit und rechtlicher Genehmigungsfähigkeit für den Standort Ipse abgewogen. So lassen sich die wesentlichen Herausforderungen identifizieren, die bei der Planung einer PV-Anlage auf der Ipser Kirche zu berücksichtigen sind.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Erneuerbare Energien und deren Nutzung

Die Gewinnung von Energie aus regenerativen Quellen wird durch Forschung und technische Weiterentwicklungen kontinuierlich effizienter und vielseitiger. Ziel ist, möglichst viele Flächen sinnvoll nutzbar zu machen. Eine der wichtigsten Technologien ist dabei die Photovoltaik (PV) mit ihrer vorteilhaften Einsatzmöglichkeit am oder auf einem Gebäude. In Deutschland wurden im Jahr 2024 rund 74,1 TWh Strom aus Photovoltaik erzeugt, das entsprach etwa 14,9 % der gesamten Stromerzeugung [10]. Erneuerbare Energien wie in dem Fall aus photoelektrischer Energie und die Reduktion fossiler Energieträger spielen somit eine zentrale Rolle in der Energiewende. Für die technische Einordnung werden im Folgenden Aufbau und Funktionsweise einer typischen gebäudebezogenen PV-Anlage dargestellt.

Da es sich bei der Ipser Kirche [3] um ein Gebäude mit Anschluss an das öffentliche Stromnetz handelt, steht der Aufbau einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage im Fokus. Sie bestehen aus in Reihe geschalteten Solarzellen deren Halbleitermaterial (in der Regel Silizium) einfallendes Sonnenlicht in Gleichstrom umwandelt [11]. Dieser wird anschließend über einen Wechselrichter in Wechselstrom transformiert und kann so ins öffentliche Netz eingespeist oder selbst nutzbar gemacht werden.

PV-Module sind so aufgebaut, dass sie möglichst flach auf dem Dach montiert werden können. Die mit Aluminium eingerahmten Zellen, werden oben durch Sicherheitsglas gegen Witterung geschützt und durch Verbundfolien zwischen Frontglas und Rückwand fixiert. Zur elektrischen Anbindung dienen die interne Verdrahtung sowie die Anschlussdose. [11].

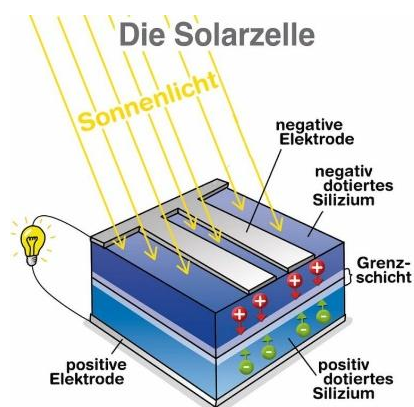


Abb. 4: Modell Solarzelle [11]

Jede Solarzelle besteht vereinfacht aus zwei unterschiedlich dotierten Halbleiterschichten. Eine p-dotierte Silizium Schicht mit positiven Ladungsträgern und n-dotiertes Silizium mit Elektronenüberschuss getrennt durch eine pn-Grenzschicht [11]. Treffen Photonen durch Sonneneinstrahlung auf das Material, entsteht durch den photoelektrischen Effekt eine elektrische Spannung. [12] Angeregte Elektronen wandern aus der Raumladungszone in das n-Gebiet in Richtung der Elektronenlöcher und werden über den Frontkontakt als Strom abgegeben [11]. Die damit erzeugte Gleichspannung führt man dann einem Wechselrichter zu, der sie netzkonform (Deutschland 230 V, 50 Hz) in nutzbare Wechselspannung umwandelt. Neben einer direkten Verwen-

derung der erzeugten Energie vor Ort ist auch eine Einspeisung ins öffentliche Netz möglich. Die Aufteilung dieser Strommengen lässt sich hinsichtlich einer Dokumentation typischerweise mit Einspeise- und Verbrauchszählern festhalten.

Von der Zelltechnologie ausgehend sind die am weitesten verbreiteten Varianten die monokristalline (MK) und die polykristalline (PK) Siliziumzelle. MK-Zellen werden aus hochreinem Silizium mit gleichmäßiger Kristallstruktur hergestellt und weisen eine charakteristische gleichmäßige Oberfläche sowie meist höhere Wirkungsgrade auf [11]. PK-Zellen hingegen weisen aufgrund der Herstellung (Gussblöcke, anschließendes Zersägen) ein helleres, körnigeres Erscheinungsbild auf und erreichen tendenziell zwar etwas niedrigere Wirkungsgrade, sind aber vergleichsweise kostengünstiger [11].

Eine vollständige und effiziente PV-Anlage erfordert neben den Modulen, eine auf die String-Konfiguration abgestimmte Wechselrichterauslegung und, sofern sinnvoll, Energiemanagement [11]. Moderne Systeme werden häufig über Apps überwacht. Energiemanagementsysteme (EMS) können die Nutzung automatisieren und so Nutzlasten verschieben. Ein zusätzlicher Batteriespeicher kann zudem erkannte Fehlbedarfe besser decken und den Eigenverbrauchsanteil erhöhen, um einem Abfließen der erzeugten Energie in das öffentliche Netz entgegenzuwirken [11]. Im vorliegenden Fall spielt er jedoch keine tragende Rolle.

Der Gesamtwirkungsgrad einer Anlage hängt von mehreren Faktoren ab: Zelltyp, Sonneneinstrahlung und Ausrichtung, sowie mögliche Verluste durch Verschattung oder technische Abweichungen. Diese Einflussgrößen sind bei Gebäuden wie der Ipser Kirche zu berücksichtigen, weil architektonische Zwänge (z. B. Turm-Verschattung) und denkmalpflegerische Anforderungen (z. B. Modul-Lage) die optimale technische Lösung einschränken können.

2.2. Denkmalschutzrechtliche Vorgaben

Die rechtliche Grundlage für Solaranlagen auf Kulturdenkmalen in Sachsen-Anhalt bildet der Runderlass vom 22. Dezember 2023 [8]. Er wurde von der Staatskanzlei und dem Ministerium für Kultur erlassen und lockert damit die Vorgaben für die Erteilung denkmalschutzrechtlicher Genehmigungen nach § 14 Abs. 1 DenkmSchG für die Errichtung von Solaranlagen (Photovoltaik und Solarthermie) auf bzw. an Kulturdenkmalen im Sinne von § 2 Abs. 2 Nr. 1 und 2 DenkmSchG [8].

Vor Inkrafttreten dieser Regelung waren derartige Anlagen in der Praxis häufig kaum genehmigungsfähig. Damit eröffnen sich Perspektiven, denkmalgeschützte Gebäude in die Energiewende einzubinden. Zu dem Geltungsbereich „Solaranlage“ zählen PV- und Solarthermieanlagen, einschließlich aller technisch erforderlichen Komponenten [8]. Grundsätzlich besteht für alle diese Komponenten denkmalschutzrechtliche Genehmigungspflicht bei der Errichtung an oder auf einem Kulturdenkmal [8]. In der Regel erfolgt eine Bewilligung, es sei denn, es liegt eine „erhebliche Beeinträchtigung“ des Denkmals im Sinne von § 10 Abs. 1 Satz 1 DenkmSchG vor [8].

Dient der erzeugte Strom überwiegend der Versorgung des Baudenkmals selbst, kann die Genehmigung nur versagt werden, wenn dem überwiegend denkmalpflegerische Gründe entgegenstehen, [8]. Ist die Reversibilität der Anlage gesichert und wird ein wesentlicher Beitrag

zur Treibhausgasneutralität geleistet, gilt die bloße Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes oder der Umgebung nicht mehr als überwiegender Ablehnungsgrund (vgl. § 10 Abs. 2 Nr. 2 DenkmSchG) [8]. Doch die Diskussion wirft folgenden Zielkonflikt auf: der Denkmalschutz (Art. 36 Abs. 4 Verf. LSA) gegen den Klimaschutz (Art. 20a GG i. V. m. § 3 Abs. 2 KSG, Ziel der Treibhausgasneutralität bis spätestens 2045) [2]. Beide Schutzgüter besitzen zudem Verfassungsrang sind also in Balance zu bringen. Der Erlass vom 22.12.2023 definiert diese Abwägung neu: PV- und Solarthermieanlagen sind zwar genehmigungspflichtig, sollen aber grundsätzlich ermöglicht werden [8]. Eine Ablehnung kommt daher nur bei tatsächlich erheblicher Beeinträchtigung in Betracht.

Für die Ipser Kirche eröffnet dieser Runderlass Handlungsspielräume. Zwar prägt die Dachlandschaft das Ortsbild, doch durch reversible, also rückbaufähige Systeme, kann das Projekt auch rechtlich gelingen. Damit entfernt sich die Praxis weg von einem rein konservierenden Auftrag hin zu einer dynamischen Vereinbarkeit von Denkmal- und Klimaschutz. Gleichzeitig erteilt der Erlass strikte Auflagen zum Schutz der baulichen Integrität [8]. Hinzu kommt die zeitliche Befristung von Genehmigungen (bis Ende 2045).

Für das betrachtete Objekt bedeutet dies: Photovoltaikanlagen können unter Eingriffsminimierung installiert werden, wenn sie als temporäre, rückbaubare Maßnahmen ausgeführt sind [8]. Vor der Genehmigung sind immer Alternativen zu prüfen, etwa eine weniger auffällige Positionierung, farbliche Anpassungen der Module oder deren verschiedene Installationsmöglichkeiten. Für Ipse bietet sich eine Integration in die Dachfläche oder eine angegliche Modulfarbe an. Der Eingriff wird damit zwar nicht ausgeschlossen, aber in seiner Wirkung zumindest reduziert. Insgesamt markiert der Erlass einen Perspektivwechsel: Denkmalschutz bleibt zentral, wird aber in ein ausgewogeneres Verhältnis zum Klimaschutz gestellt [2]. Für die Ipser Kirche entsteht so die Chance, Teil einer nachhaltigen Energiezukunft zu werden, ohne ihren Denkmalwert aufzugeben.

2.3. Energieverbrauch und Verbrauchprofil von Kirchengebäuden

Die Untersuchung dieser elektrischen Last zeigte eine besondere Datensituation: Am Hauptgebäude existierte lediglich ein einzelner zentraler Zähler. Spezifische Verbrauchergruppen (z. B. die elektrische Läuteanlage) waren daher nicht separat erfasst. Standardisierte Rechenwege konnten deshalb nur eingeschränkt angewendet werden. Um dennoch eine belastbare Analyse zu ermöglichen, wurden die Daten durch eigene empirische Erhebungen ergänzt und mit dem vom Kirchenamt Salzwedel übermittelten Zählerständen (2022; *Anlage 1: Zählerstände Strom Kirche Ipse*) abgeglichen. Dabei kamen Hochrechnungen auf Basis von Betriebszeiten (z. B. Glockenläuten) und technischen Daten (z. B. Beleuchtungsanlagen) zum Einsatz.

Die Messdaten wurden dann in einer CSV-Tabelle (*Tabelle 4: Verbrauchsprofil im CSV-Format*) strukturiert erfasst. Da dieses Format plattformunabhängig ist, ermöglicht es eine eindeutige Zuordnung von Zeitmarken und Verbrauchswerten und lässt sich ohne Konvertierung in die verwendete Simulationssoftware (Sunny Design, SMA) importieren. Für eine Erhebung war durch die bestehende Datenlage eine Vor-Ort-Begehung notwendig. Sämtliche Verbrauchsanlagen wurden dafür tabellarisch aufgenommen und mit Produktdatenblättern hinter-

legt: alle Beleuchtungsgruppen, die Läuteanlage, an den Sitzgruppen installierte Direktheizungen sowie Steuerungsgeräte. Aus den technischen Daten und den Stückzahlen wurde auf den jeweiligen stunden bezogenen Verbrauch geschlossen und weiterführend auf einen langfristigen Bedarf. Für Veranstaltungen wurde ein Aktionsfaktor (AF in h) angesetzt, der die erwartete Betriebszeit je Verbrauchergruppe abbildet. Die Daten wurden manuell für das gesamte Jahr in Excel übertragen und anschließend als CSV exportiert, um sie in der Simulation weiterzubereiten.

Auf diese abstrakte Art wird versucht, den elektrischen Verbrauch der Kirche zu erfassen und Handlungsoptionen zu bewerten. Der Gesichtspunkt Wärme (Heizung/Lüftung) im Sinne einer thermischen Sanierung bleibt dabei unbeachtet.

Prinzipiell weist das Verbrauchprofil der Ipser Kirche ein niedriges Grundlastniveau mit punktuellen Verbrauchsspitzen bei Veranstaltungen auf. Für Photovoltaik-Anlagen bedeutet das: In den Sommermonaten entstehen tendenziell Überschüsse, während in Wintermonaten die Erträge verhältnismäßig gering sind. Genau dann, wenn die Direktheizung und zusätzliche Beleuchtung den Bedarf signifikant erhöht. Diese Asymmetrie ist eine der zentralen Herausforderungen für Wirtschaftlichkeit und Effizienz einer PV-Anlage im denkmalgeschützten Kontext der Kirche.

3. Bestandsaufnahme und Analyse

3.1. Gebäudeanalyse

Nachdem in Kapitel 2 (S. 6) die allgemeinen Rahmenbedingungen für den Einsatz von Photovoltaikanlagen dargestellt wurden, folgt nun die konkrete Betrachtung des Untersuchungsobjekts. Am Beispiel der Ipser Kirche sollen die baulichen und energetischen Voraussetzungen analysiert werden, um daraus die Grundlage für die weitere Planung abzuleiten.

Die Ipser Gemeinde findet sich in der gleichnamigen Ortschaft des südlichen Altmarkkreises Salzwedel (Sachsen-Anhalt) wieder. Die nächstgelegene Stadt ist Gardelegen, etwa fünf Kilometer nördlich mit rund 22.000 Einwohnern [12]. Mit ungefähr 177 Einwohnern zählt Ipse daher zu den kleineren Gemeinden der Region mit einem von Höfen und Obstgärten geprägten Ortsbild [3]. Die Kirche steht an der Ipser Hauptstraße (Dorfstraße). Durch die geringe Bebauungsdichte des Standorts, und die im Norden anschließende begrünte Freifläche für Veranstaltungen, wirkt sie dennoch freigestellt



Abb. 5: Deckenmalerei

Erste urkundliche Erwähnungen von Ipse stammen aus dem Jahr 1238 [13]. Aus den folgenden Jahrhunderten sind dennoch nur wenige Ereignisse überliefert. Eine Plünderung durch Magdeburger Truppen im Jahr 1416 gehört dabei zu den markantesten Einträgen [13]. Die Kirche des Ortes wurde mehrfach umgebaut, saniert und erweitert: 1603 wurde eine neue Glocke geweiht, 1722 der Turm nach Beschädigungen im Dreißigjährigen Krieg instandgesetzt. 1821 wurde dieser dann aus Kostengründen verkleinert und rund 35 Jahre später umfassend restauriert. [13] Es kam zu weiteren Glockenwechsel und Funden historischer Gegenstände, die untersucht wurden. [13] Bei Reparaturen am Dachstuhl im Jahr 2008 wurden bemalte Deckenelemente entdeckt, restauriert und 2020 wieder eingebaut. [13] Sie prägen bis heute das Innere der Kirche.

Baulich handelt es sich um einen Feldsteinbau mit Backsteinelementen. [13] Besonderheiten sind ein Kreuzstein im Eingangsbereich, eine Auswölbung der Apsis und eine Steinplatte vor dem Altar unbekannter Herkunft [13].



Abb. 8: Kreuzstein [29]



Abb. 7: Ansicht Ost



Abb. 6: Apsis [29]



Abb. 9: Eingangsbereich

Das Gebäude besteht aus einem Kirchenschiff mit leicht versetztem Chor im Osten, einem westlich vorgelagerten Glockenturm in Fachwerkbauweise und einer südlichen Eingangshalle. (*Anlage 7: Planstände*) Der romanische Ursprung zeigt sich hier vor allem im massiven Sockel [13]. Spätere Zerstörungen führten zu visuellen gotischen Überlagerungen [13]. Das gesamte nach Nord-Süd ausgerichtete Dach des Kirchenschiffs ist mit Biberschwanzziegeln gedeckt, der Turm hingegen mit Schiefer. 2008 erfolgten erste umfangreiche Reparaturen am Dachstuhl und am Turm, die die Statik bis heute sichern sollen [13]. Die Verbindung restaurierter historischer Elemente mit einer möglichen energetischen Modernisierung (z. B. PV-Integration) erfordert eine weiterführende Gebäudeanalyse, um Kulturlandschaft und Bausubstanz gleichermaßen zu schützen. Der Verein Ipse excitare e. V. trägt hier durch Fördermittel und ehrenamtliches Engagement wesentlich zum Erhalt und zur Präsentation der Kirche bei [14].

3.2. Erfassung der Energieverbräuche

Die systematische Erfassung der Energieverbräuche ist die Grundlage jeder belastbaren energetischen Analyse. Nur mit belastbaren Verbrauchsdaten lassen sich Verbrauchsprofilen erstellen, regenerative Systeme sinnvoll dimensionieren und Einsparpotenziale nachweisen. Kirchen unterscheiden sich deutlich von Wohn- oder Bürogebäuden: großes Raumvolumen, spezifische Bauphysik und vor allem unregelmäßige Nutzung mit ereignisbezogenen Lastspitzen. Im Fokus steht dabei die elektrische Energie (kWh), hauptsächlich für Beleuchtung, Läuteanlage, Medientechnik und teilweise Heizsysteme. Bei Direktheizungen steigt der Strombedarf durch Wärmeerzeugung sprunghaft. Eine detaillierte Heizlastberechnung (z. B. mit IBP) wäre für thermische Systeme möglich, war aber aufgrund der unregelmäßigen Nutzung und Gebäudekomplexität in dieser Arbeit nicht zielführend.

Klassisch erfolgt die Erfassung über den Hauptzähler, der monatlich oder jährlich abgelesen wird. Detailliertere Aufschlüsselungen sind mit Unterzählern je Verbrauchergruppe oder mit Lastgangmessung (z. B. 15-Minuten-Intervall) möglich. Letztere bildet das Nutzungsgeschehen exakt ab und macht Spitzenlasten am besten sichtbar. In Ipse [3] wurde bislang ausschließlich der zentrale Hauptzähler genutzt und einmal im Jahr abgelesen. Das reicht zwar für eine Grobabschätzung des Jahresverbrauchs, ist aber unzureichend für eine feinere Analyse ereignisbezogener Lasten wie Bauarbeiten oder Veranstaltungen. Gerade bei unregelmäßiger Nutzung spricht vieles für eine detailliertere Messung (z. B. temporäre Datenlogger),

um Verbrauchsgruppen und Veranstaltungslasten exakt zuzuordnen.

Ein praktisches Beispiel ist in dem Fall die vergessene Heizabschaltungen, das in der Vergangenheit die Stromrechnung vervielfachte. Die lokalen Randbedingungen (nur Hauptzähler), zeigen zugleich das vereinfachte und empirische Methoden nötig sind, um zu verwertbaren Ergebnissen zu kommen.

Wesentlich ist die zeitliche Dimension der Datenerhebung. Kurzzeitmessungen erfassen typische Nutzungsspitzen. In Ipse liegt eine Jahresablesung vor (*siehe Anlage Stromzähler*). Diese erlaubt eine grobe Einordnung, liefert aber kaum Informationen zu Lastspitzen oder tages-/anlassbezogener Nutzung. Daraus wurde in Absprache mit dem Vorsitzenden des Kirchenvereins ein Referenzjahr ermittelt mit den dazugehörigen Veranstaltungen. Um annähernd auf das den Verbrauch von 689 kWh aus dem Jahr 2022 zu kommen (*Anlage 1: Zählerstände Strom Kirche Ipse*), mussten die Verbraucher in der Kirche erfasst und dokumentiert werden.

Datum	Veranstaltungen	AF [h]	Verbrauch [kWh]
Januar	-	-	-
15 Februar	Konzert zum Valentinstag	9	81,63
15 März	Läute-Gottesdienst	5	49,05
20 April	Oster-Gottesdienst	3	1,54
30 Mai	Pfingst-Gottesdienst, Maibaumfest	5	2,07
22 Juni	offene Gärten mit Ausstellung in der Kirche	12	15,84
Juli	-	-	-
August	-	-	-
13 September	Tag des offenen Denkmals mit Konzert und Ausstellung	12	17,10
05 Oktober	Lichtblüten-Festival mit Erntedank-Gottesdienst	12	3,38
23 November	Gottesdienst zum Ewigkeitssonntag	3	35,03
6 13 15 20 Dezember	Krippenspiel-Probe	8	66,68
18 Dezember	Weihnachtsmarkt	8	90,96
24 Dezember	Heilig Abend-Gottesdienst	3	25,03

Tabelle 1: Veranstaltungen mit Gesamtverbrauch

Daher wurden ergänzend vor Ort Erhebungen durchgeführt: Alle relevanten Anlagen und technische Produktdatenblätter wurden gesammelt (*siehe Produktdatenblätter*), um so stundenbezogener Leistungen und Nutzungszeiten abzuleiten. Die Daten wurden manuell in Excel erfasst und als CSV (*Tabelle 4: Verbrauchsprofil im CSV-*) exportiert, um sie softwareunabhängig weiterzuverarbeiten und in Sunny Design zu importieren. [9]

Eine sorgfältige Bestandsanalyse zeigt regelmäßig Modernisierungspotenziale: Auffällige Verbräuche lassen sich identifizieren, Empfehlungen zielgerichtet ableiten und die Energieversorgung bedarfsgerecht anpassen. Die hier gewählte Methodik ist übertragbar und kann als exemplarisches Vorgehen für vergleichbare Liegenschaften dienen.

Art	Ort	Verbrauch [W]	Anzahl [Stk.]
Läuteanlage	Glockenturm	350	1
Sitzheizung	Kirchenschiff	270	29
Beleuchtung 1	Kirchenschiff	8,5	16
Beleuchtung 2	Galerie	400	16
Dauerlast Steuergerät LA	Glockenturm	30	1
Veranstaltungstechnik Konzert	Kirchenschiff	300	1
Veranstaltungstechnik Gottesdienst	Kirchenschiff	120	1
Glühweinkocher	außen	3000	2

Tabelle 2: Verbrauchgruppen

3.3. Erstellung eines Verbrauchsprofils

Grundlage der Analyse ist eine händisch erstellte Verbrauchstabelle, in der sämtliche relevanten Verbraucher für ein Jahr stundenweise erfasst und addiert wurden. Ereignisse wie das tägliche Glockenläuten, die Beleuchtungsnutzung am Abend oder zusätzliche Lasten bei Veranstaltungen wurden gezielt berücksichtigt. Dabei wurde im ersten Schritt alle Verbrauchsgruppen einzeln zusammengefasst. (*Tabelle 3: Verbrauchsprofil der Verbrauchsgruppen im Jahresüberblick*) Daraus konnten die Gesamtverbräuche der Elektrogeräte separat betrachtet werden und mit einer Abweichquote λ von 1 % erhöht werden. So entsteht ein Bild des realen Energiebedarfs der Ipser Kirche über ein Jahr.

Für jede Stunde wird daher wie folgt die elektrische Arbeit (E) als Summe der Beiträge aller aktiven Verbraucher (\sum_i) ermittelt:

$$E_h [\text{kWh}] = \sum_i P_i [\text{kW}] \cdot t_{i,h} [\text{h}] \quad \text{Gl. 1}$$

Für identische Verbraucher (z. B. Leuchten) gilt:

$$P[kW] = \frac{P_1[W]}{1000} \quad \text{Gl. 2}$$

$$E[kWh] = P_1[kW] \cdot 1[h] \quad \text{Gl.3}$$

$$E[kWh] = E[kWh] \cdot n[Stk] \quad \text{Gl.4}$$

Diese Rechnung beruht jedoch auf einer Stunde Laufzeit des Verbrauchers und nicht auf den gesamten Aktionszeitraum einer Veranstaltung, daher wird E_{Ereignis} nochmal mit dem Aktionsfaktor [h] multipliziert und man erhält den Gesamtverbrauch einzelner Verbrauchsgruppen pro Veranstaltung.

$$E_{\text{Licht gesamt}} = E_{\text{Licht16}} \cdot AF[h] \quad \text{Gl. 5}$$

Beispiel : Beleuchtung 1

$$E[kW] = \frac{8,5 [W]}{1000} = 0,0085[kW] \quad \text{Gl. 6}$$

$$E_{\text{Licht1}} = 0,0085[kW] \cdot 1[h] = 0,0085[kWh] \quad \text{Gl.7}$$

$$E_{\text{Licht16}} = 0,0085[kW] \cdot 16[Stk] = 0,136[kWh] \quad \text{Gl.8}$$

$$E_{\text{Licht gesamt}} = 0,136[kWh] \cdot 8[h] = 1,088[kWh] \quad \text{Gl. 9}$$

$$E_{\text{Licht, Tag}} = \sum_{h=1}^{24} E_{\text{Licht, Stunde}} \Rightarrow E_{\text{Licht, Jahr}} = \sum_{\text{Tage}} E_{\text{Licht, Tag}} \quad \text{Gl. 10}$$

Bestandsaufnahme und Analyse

0	0	0,03		0,000754	0,030754
0	0	0,03		0,000754	0,030754
0	0	0,03		0,000754	0,030754
305,37	24,96	262,8	33,24	6,606	667,50504
Sitzheizung	Beleuchtung2	Dauerlast	Veranstaltung	1% Abweichq	Gesamt
[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]

Tabelle 3: Verbrauchsprofil der Verbrauchsgruppen im Jahresüberblick (interaktiv)

Für unkalkulierbare Ereignisse wie Veranstaltungsvorbereitungen und Wartungen wurde eine Abweichquote von 1 % berücksichtigt. Hierbei wurde eine vereinfachte Annahme getroffen: λ pauschal mit 1 %. Die Festlegung orientiert sich bewusst am Richtwert von 689 kWh und ermöglicht eine klarere Darstellung.

Die Excel Tabellen 3 und 4 sind im Stunden Format für ein Jahr angelegt, daraus ergibt sich eine Datei mit 8760 Zeilen. Da diese hier zu groß erscheint, ist sie interaktiv verlinkt.

Um diese Werte für Sunny Design nutzbar zu machen, wurde eine zweite Excel Datei im kompatiblen Format angelegt um diese dann als CSV-Datei einzuspeisen. Sunny Design bietet den Vorteil das Verbrauchsprofil im Verhältnis zur Erzeugung der PV-Anlage zu stellen. Somit lässt sich direkt das Verbrauchsprofil mit den typischen PV-Erzeugungsprofilen vergleichen. Tagsüber kann die Grundlast häufig durch Solarstrom gedeckt werden, verbrauchsstarke Nachmittagszeiträume liegen teilweise in Erzeugungsspitzen. Abendliche Spitzen (Beleuchtung, Veranstaltungen) fallen dagegen meist außerhalb der PV-Erzeugung und müssen ohne Speicher weiterhin aus dem Netz bezogen werden. Ein Batteriespeicher könnte den Eigenverbrauch erhöhen und Netzspitzen verschieben; die Wirtschaftlichkeit ist dann gesondert zu prüfen.

2023-01-01T00:00:00	0,030754					
2023-01-01T01:00:00	0,030754					
2023-01-01T02:00:00	0,030754					
2023-01-01T03:00:00	0,030754					
2023-01-01T04:00:00	0,030754					
2023-01-01T05:00:00	0,030754					
2023-01-01T06:00:00	0,030754					
2023-01-01T07:00:00	0,030754					
2023-01-01T08:00:00	0,030754					
2023-01-01T09:00:00	0,030754					

Tabelle 4: Verbrauchsprofil im CSV-Format (interaktiv)

Die Auswertung zeigt deutliche zeitliche Schwankungen: nachts liegt nur eine geringe Grundlast vor. Am Nachmittag und Abend hingegen steigt der Bedarf durch Beleuchtung an. Insbesondere Veranstaltungen verursachen über mehrere Stunden hinweg erhöhte Verbrauchswerte, da zusätzliche Geräte (z. B. Heizgeräte, Kochgeräte) den Verbrauch weiter erhöhen. Kleinere, aber dafür regelmäßige Anteile entstehen durch das tägliche Glockenläuten. (Richtwert: 3 min \approx 0,0175 kWh pro Tag). Insgesamt ergibt sich ein klares Nutzungsprofil: niedrige Grundlast, ergänzt durch zeitlich begrenzte, gut erkennbare Mehrverbräuche. Das detaillierte Stundenprofil ist die zentrale Grundlage, um Effizienz und Einsatzpotenzial einer PV-Anlage realistisch zu bewerten. Es zeigt, wo PV-Eigenverbrauch technisch gut möglich ist, und wo Speicher oder Lastverschiebung erforderlich wären, um den Nutzen zu steigern. Die gewonnenen Verbrauchsdaten und das daraus abgeleitete Lastprofil bilden die Grundlage für die weitere Planung. In Kapitel 4 werden diese Ergebnisse mit den rechtlichen, statischen und ästhetischen Rahmenbedingungen verknüpft, um mögliche Optionen für die Installation einer Photovoltaikanlage zu entwickeln.

4. Planerische Betrachtung der regenerativen Energieversorgung

Die Installation von Photovoltaikanlagen (PV) auf historischen Gebäuden erfordert eine sorgfältige Abwägung zwischen Energiegewinnung, Denkmalschutz und baulichen Rahmenbedingungen. Zentral ist die Frage, in welchem Umfang das äußere Erscheinungsbild beeinträchtigt werden darf. Nach § 14 DenkmSchG LSA ist eine Genehmigung zu versagen, wenn die Maßnahme das Erscheinungsbild wesentlich verändert und dadurch den Denkmalwert mindert. [15] Ein prägnantes Beispiel stellt die vollständige Eindeckung des Kirchendaches mit PV-Modulen dar. Eine Maßnahme, die ästhetisch kaum mit den Vorgaben des Denkmalschutzes vereinbar wäre. Darüber hinaus muss die Revisionsfähigkeit des Daches gewährleistet bleiben, damit künftige Reparaturen und Inspektionen nicht erschwert werden [8]. Neben ästhetischen Gesichtspunkten sind die statischen Eigenschaften des Gebäudes von essenzieller Bedeutung.

4.1. Allgemeine Anforderungen aus Statik

Laut vorliegenden Untersuchungen (vgl. mündl. Mitteilung T. Mottschalk, Vors. Ipse excitare e. V., 2025) verweist das aktuelle Gutachten von 2015 (*Anlage 4*) auf statische Unbedenklichkeit, die Tragfähigkeit des Kirchendaches sei aber dennoch nur eingeschränkt gegeben oder zumindest nicht ganz bedenkenlos zu bewerten. Konventionelle Aufdachsysteme würden erhebliche Zusatzlasten erzeugen, die durch eine weitere Betrachtung durch einen Statiker abgesichert sein muss. Solche Eingriffe sind jedoch denkmalpflegerisch problematisch, da sie die Reversibilität beeinträchtigen [8]. Als Alternative bieten sich Solardachziegel an, die sich optisch harmonischer in das historische Erscheinungsbild einfügen und zugleich die Eingriffe in die Dachsubstanz reduzieren. Die Dimensionierung der PV-Anlage orientiert sich am realen Strombedarf. Grundlage waren, die in Excel dokumentierten, jährlichen Energieverbräuche, die sowohl den Grundbedarf als auch Lastspitzen bei Veranstaltungen berücksichtigen. Ziel ist keine Überproduktion, sondern eine bedarfsgerechte Dimensionierung, unter Abwägung wirtschaftlicher Aspekte und Denkmalverträglichkeit. Eine weitere Komponente ist die Dachneigung und -ausrichtung. Die vorhandene Neigung beeinflusst maßgeblich den Jahresertrag, während die Ausrichtung, die über den Einstrahlungswinkel entscheidet. Energetisch optimal ist eine Orientierung nach Süden.



Abb. 11: Dachstuhl (Ost) [29]



Abb. 10: Dachstuhl (West) [29]

4.2. Potenzielle Flächen

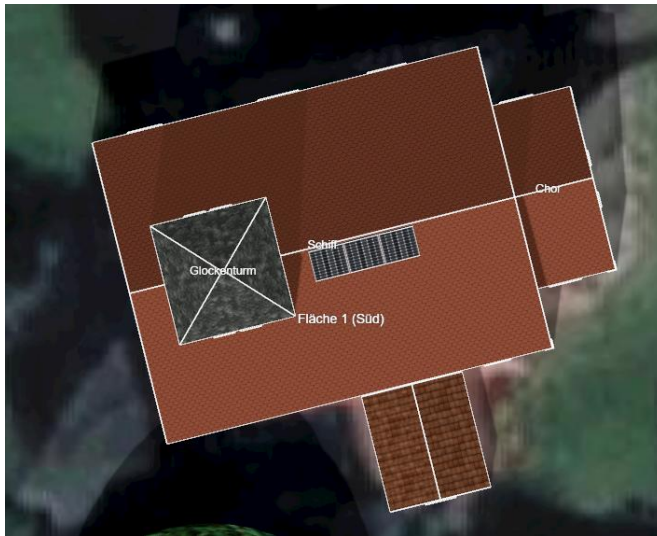


Abb. 12: Draufsicht Süd-Dach

Für die Integration einer Photovoltaikanlage auf der Ipser Kirche stehen grundsätzlich drei Flächen zur Verfügung: das nach Süden orientierte Hauptdach, die Dachfläche des Eingangsbereichs mit Ost-West-Ausrichtung sowie die westliche Turmfassade. Jede dieser Varianten weist spezifische Vor- und Nachteile auf, die sowohl aus energetischer als auch aus denkmalpflegerischer Sicht zu berücksichtigen sind. Das Süd-Dach stellt aus technischer Perspektive die attraktivste Fläche dar. Mit einer Neigung von etwa 56° bietet es zwar keine optimalen Bedingungen, aber in diesem Fall ausreichend für die solare Einstrahlung. Die Fläche ist groß genug, um mehrere Mo-

dule aufzunehmen, und erlaubt damit auch eine vergleichsweise simple Anordnung. Problematisch ist jedoch, dass diese Seite von der Hauptstraße aus sichtbar ist und somit eine erhebliche Veränderung wahrnehmbar wäre. Hinzu kommt die Verschattung durch den Glockenturm, die in bestimmten Tageszeiten den Ertrag reduziert.

Die Dachfläche des Eingangsbereichs weist im Vergleich eine Ost-West-Ausrichtung auf. Hier können ebenfalls mehrere Module installiert werden, allerdings fällt die Ertragsleistung geringer aus, da die Einstrahlung zeitlich verteilt auftritt. Während in den Morgenstunden die östliche Seite genutzt werden kann, steht am Nachmittag die westliche Fläche zur Verfügung. Energetisch bedeutet dies eine Straffung der Ertragskurve, allerdings auch eine Abweichung vom maximal möglichen Jahresertrag. Ein Vorteil dieser Variante liegt in der geringeren Sichtbarkeit aus dem öffentlichen Raum, wodurch die denkmalpflegerische Verträglichkeit höher einzuschätzen ist.



Abb. 13: Draufsicht Eingangsbereich

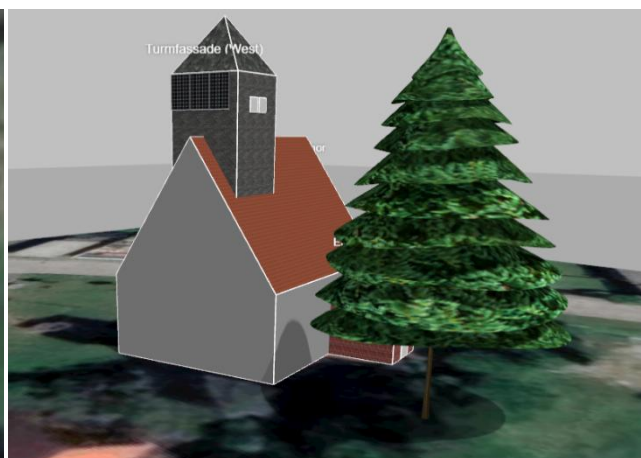


Abb. 14: westliche Turmfassade

Die von der Straße abgewandte westliche Turmfassade schließlich stellt die optisch verträglichste Option dar. Energetisch ist die Fläche jedoch schwächer: Es ist zum einen ist sie klein und damit nur für eine begrenzte Modulzahl geeignet, allerdings ausreichend für den Verbrauch der Kirche. Aufgrund der Westorientierung wird die Eigenverbrauchsquote erhöht zum anderen ist die Einstrahlung aufgrund der Westorientierung stark limitiert, gleichwohl könnte sie den Eigenverbrauch steigern.

Alle in Betracht gezogenen Flächen wurden mit den PV-Modulen Axitec (*Anlage 2: Produktdatenblätter*) ausgestattet, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Flächen zu gewährleisten. Bei der Auswahl der PV-Module bot Sunny Design eine Datenbank mit einer großen Auswahl an Herstellern an, jedoch fehlte eine klare Vergleichsmöglichkeit hinsichtlich der Effizienz. Durch eine ergänzende Recherche fiel die Wahl schließlich auf das deutsche Produkt von Axitec, welches sich durch hohe Qualität auszeichnen. Beim Wechselrichter hingegen bestand keine Auswahlmöglichkeit. Hier wurde ein kompatibles Gerät der hauseigenen Marke vorgegeben, was keine individuellen Anpassungen zuließ. Sunny Design bot bei allen potenziellen Flächen den Wechselrichter Sunny Boy 1.5 [9] an, um die elektrische Auslegung mit dem String plan zu konfigurieren. Für die Auslegung der Module werden die PV-Module in Reihe geschaltet, das wird über die String-Konfiguration in Sunny Design erstellt. Dabei mussten mindestens 3 Module auf einer Fläche verlegt werden, um eine funktionstüchtige Auslegung zu erhalten. Dies erwies sich für den Eingangsbereich als nicht optimal, da keine wirtschaftliche Ost-West-Auslegung möglich war.

4.3. Elektroheizung als Wärmequelle

Die Beheizung von Kirchenräumen stellt aufgrund des großen Raumvolumens und der unregelmäßigen Nutzung eine besondere Herausforderung dar. In der Ipser Kirche werden elektrische Direktheizungen eingesetzt, die während der Wintermonate zu Veranstaltungen zugeschaltet werden. Insgesamt sind 29 Heizkörper unterhalb der Kirchenbänke installiert. Sie bestehen aus Heizspulen mit Schutzgittern und lassen sich einzeln per Taster ein- und ausschalten, wodurch eine flexible Steuerung möglich ist. Die Wärmeabgabe erfolgt unmittelbar am Sitzplatz: Die Wärme steigt von den Füßen der Besucher nach oben, sodass trotz des unbeheizten Raumvolumens eine direkte Wärmeempfindung entsteht (*Anlage 5*). Dieses Prinzip ist physikalisch sinnvoll, weil es auf kleinem Raum einen spürbaren Komfort erzeugt.

Die Leitungsführung der Heizkörper erfolgt visuell unauffällig unter den Bänken. Die Kabel sind in Holzdielen integriert und werden anschließend in Leerrohren entlang der Außenwände gebündelt. Diese Lösung ist sicher und zugleich ästhetisch, da sie das historische Erscheinungsbild nicht beeinträchtigt. In Kombination mit einer Photovoltaikanlage könnte ein Teil der benötigten Energie regenerativ erzeugt werden. Damit würden sich die Betriebskosten nachhaltig senken und gleichzeitig ökologische Vorteile ergeben.

Auf Basis der in diesem Kapitel dargestellten planerischen Voraussetzungen werden in Kapitel 5 (S. 21) konkrete Versorgungskonzepte betrachtet. Dazu werden die potenziellen Dachflächen simuliert und mit den in Kapitel 3 (S.) ermittelten Verbrauchsprofilen abgeglichen, um die technische Eignung und die energetischen Potenziale der verschiedenen Varianten zu bewerten.

4.4. Technische Lösungsansätze

Neben der Wahl der geeigneten Dachfläche ist die Frage der technischen Integration von entscheidender Bedeutung. Grundsätzlich können drei Ansätze unterschieden werden: Aufdachsysteme, Indach-Systeme sowie farblich angepasste Module (wie zum Beispiel Dachziegel-Module) (*Anlage 6*). Aufdach-Systeme stellen hier die klassische Variante dar. Dabei werden die PV-Module mit Unterkonstruktionen auf der bestehenden Dachdeckung montiert. Diese Lösung ist technisch erprobt und vergleichsweise kostengünstig. [16]

Indach-Systeme bieten eine Möglichkeit, die Module harmonischer in das Dach-Bild zu integrieren. Hierbei ersetzen die Solarmodule Teile der Dachdeckung und übernehmen zugleich deren Schutzfunktion. Der Vorteil liegt in der flächigen Integration, die weniger auffällig wirkt als klassische Aufdach-Systeme. Allerdings ist die technische Umsetzung aufwändiger, und die Kosten sind höher. Zudem erfordert diese Variante eine besonders sorgfältige Abstimmung mit der Denkmalbehörde, da ein Eingriff in das Dach unvermeidlich ist. Eine weitere Option stellen farblich angepasste Module dar. Entweder als gesamtheitliches Modul oder als Solardachziegel (*Anlage 6*). Sie können so gestaltet werden, dass sie in ihrem Farbton und Form den bestehenden Dachmaterialien ähneln. Damit wird versucht, die optische Einheit des Daches zu bewahren und gleichzeitig ungenutzte Potenziale auszuschöpfen. Eine weitere Option kann auch die systematische Anordnung der Solarmodule als Kreuz darstellen.

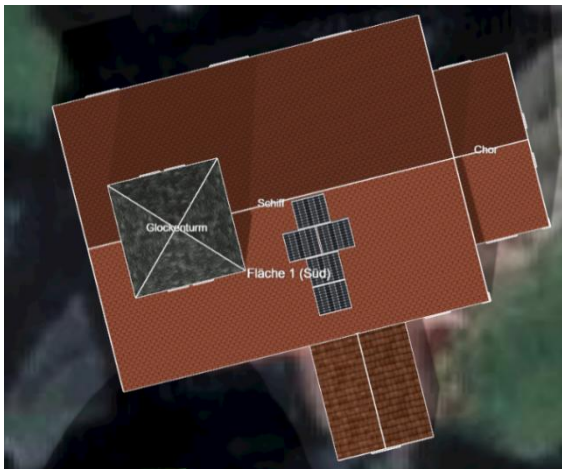


Abb. 18: Kreuz-Anordnung



Abb. 15: Kirche in Neufrach [20]



Abb. 17: Kirche in Dersum [30]



Abb. 16: Kirche in Zernin [19]

5. Bewertung möglicher Versorgungskonzepte

Die in den vorangehenden Kapiteln dargestellte Analyse des Gebäudes (*Kapitel 3; S.10*) und die planerische Betrachtung möglicher Flächen und technischer Integrationslösungen (*Kapitel 4; S.17*) bilden die Grundlage für die Entwicklung eines Versorgungskonzepts. Ziel dieses Kapitels ist es, die prinzipielle Eignung der verschiedenen Varianten zu überprüfen und exemplarisch anhand der Simulation zu bewerten, wie sich eine Photovoltaikanlage auf das Energieprofil der Ipser Kirche auswirken würde.

5.1. Vergleich von Verbrauchsprofil und Anlagenauslegung

Das in Kapitel 3 (S. 10) erstellte Verbrauchprofil verdeutlicht, dass die Kirche über eine geringe Grundlast verfügt, die vor allem durch Beleuchtung und Steuerungstechnik entsteht. Demgegenüber stehen deutliche Lastspitzen, die in erster Linie durch Veranstaltungen und den Einsatz elektrischer Heizungen verursacht werden. Dieser Umstand führt zu einer Diskrepanz zwischen einem relativ niedrigen Jahresverbrauch und gelegentlichen Belastungsspitzen. Für die Auslegung einer PV-Anlage bedeutet dies, dass nicht die maximale Ausnutzung der verfügbaren Dachfläche im Vordergrund stehen sollte, sondern eine Dimensionierung, die sich am realen Bedarf orientiert. Eine Überproduktion im Sommer ist für die Kirche wenig nutzbar, während im Winter trotz PV-Anlage weiterhin Netzstrom benötigt würde.

5.2. Gegenüberstellung Erzeugung und Verbrauch für Süd-Dach

Um die grundsätzliche Eignung zu bewerten, wurde in der Simulationssoftware Sunny Design eine Beispielanlage (*Anlage 2: Produktdatenblätter*) auf dem Süd-Dach modelliert. Hierbei wurden drei Module mit einer Gesamtleistung von 1,37 kWp vorgesehen. Die Simulation ergab einen Jahresertrag von rund 1.185 kWh. Verglichen mit dem durchschnittlichen Jahresverbrauch von etwa 668 kWh würde die Anlage bilanziell ausreichend Strom erzeugen, um die Kirche vollständig zu versorgen. Praktisch zeigt sich jedoch, dass nur ein geringer Anteil der erzeugten Energie direkt genutzt werden kann. Von den 1.185 kWh werden etwa 138 kWh unmittelbar vor Ort verbraucht, während 1.047 kWh ins öffentliche Netz eingespeist werden. Damit ergibt sich eine Eigenverbrauchsquote von rund 11,7 % und ein Autarkiegrad von 20,7 %.

Details	
Jährlicher Energieverbrauch	668 kWh
Jährlicher Energie-Ertrag	1.185 kWh
Netzeinspeisung	1.047 kWh
Netzbezug	529 kWh
Max. Leistung Netzbezug	14.01
Eigenverbrauch	138 kWh
Eigenverbrauchsquote	11,7 %
Autarkiequote	20,7 %

Tabelle 5: Verbrauchsdaten im Detail

5.3. Die Süddach-Variante

Ein Blick auf die monatliche Ertragsverteilung zeigt die strukturelle Problematik: Während im Sommer hohe Überschüsse erzeugt werden, die den Bedarf deutlich übersteigen, ist die Erzeugung im Winter stark reduziert. Genau in dieser Zeit steigt jedoch der Stromverbrauch durch Veranstaltungen und den Einsatz elektrischer Heizungen an.

Diese zeitliche Entkopplung führt dazu, dass die PV-Anlage zwar bilanziell ausreichend Strom liefert, die praktische Deckung des Bedarfs jedoch eingeschränkt bleibt. Abendliche Veranstaltungen mit hohem Strombedarf können nicht durch die Anlage abgedeckt werden, da die Erzeugung zu diesen Zeiten entfällt.

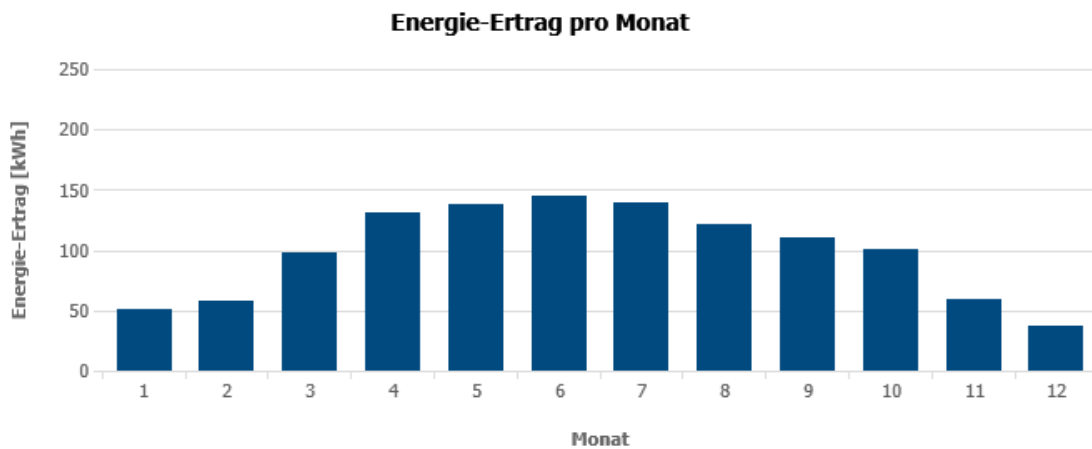


Abb. 19: Energie-Ertrag pro Monat

5.4. Vergleich anderer Dachvarianten

Neben dem Süd-Dach wurden auch die weiteren in Kapitel 4 (S. 17) beschriebenen Flächen in der Simulation betrachtet. Das Eingangsdach mit West-Ausrichtung erzielt leicht geringere Jahreserträge, dafür verteilt sich die Stromproduktion mehr auf die Abendstunden. Dies steigert leicht den Eigenverbrauch, wenngleich der Gesamtertrag geringer bleibt. Die westliche Turmfassade hingegen zeigt erwartungsgemäß die niedrigsten Erträge, aber produziert dennoch ausreichend Strom.

Kennzahl	Süd-Dach	West-Ausrichtung	Westliche Turmfassade
Jährlicher Energie-Ertrag	1.185 kWh	938 kWh	763 kWh
Netzeinspeisung	1.047 kWh	811 kWh	642 kWh
Netzbezug	529 kWh	541 kWh	546 kWh
Eigenverbrauch	138 kWh	127 kWh	121 kWh
Eigenverbrauchsquote	11,7 %	13,5 %	15,9 %
Autarkiequote	20,7 %	19 %	18,1 %
Eingesparte Stromkosten im ersten Jahr	143 €	117 €	98 €
Gesamte Ersparnis nach 20 Jahren	531 €	-5 €	-370 €
Eingesparte Stromkosten nach 20 Jahren	3.020 €	2.485 €	2.119 €
Erwartete Amortisationszeit	15,4 a	21 a	21 a
CO ₂ -Reduktion nach 20 Jahren	8 t	6 t	5 t
Gesamtinvestitionskosten	1.774,50 €	1.774,50 €	1.774,50 €

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Kennzahlen für die drei Dachvarianten

5.5. Zwischenfazit als Übergang zur Gesamtbewertung

Die Ergebnisse der Simulation verdeutlichen, dass die Ipser Kirche bilanziell problemlos durch eine PV-Anlage mit Strom versorgt werden könnte. In der Praxis verhindern jedoch die zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Bedarf sowie die spezifische Nutzung des Gebäudes eine vollständige Eigenversorgung. Das Süd-Dach bietet die höchsten Erträge, ist jedoch denkmalpflegerisch am kritischsten. Das Eingangsdach und die Turmfassade stellen optisch verträglichere Alternativen dar und steigern den Eigenverbrauch. Eine abschließende Bewertung der Wirtschaftlichkeit und der denkmalpflegerischen Abwägung erfolgt im folgenden Kapitel.

6. Energetische und wirtschaftliche Bewertung

6.1. Einleitung und Bezug

Die in den Kapiteln 3 (S.10) bis 5 (S.21) erarbeiteten Ergebnisse liefern eine umfassende Grundlage, um die Eignung einer Photovoltaikanlage für die Ipser Kirche abschließend zu bewerten. Dabei gilt es, die energetischen, wirtschaftlichen und denkmalpflegerischen Aspekte zusammenzuführen und im Hinblick auf die Forschungsfrage, wie eine PV-Anlage auf einem denkmalgeschützten Kirchengebäude installiert werden kann, ohne den Denkmalwert wesentlich zu beeinträchtigen, abzuwägen.

6.2. Bewertung

6.2.1. Energetische Bewertung

Die Simulationen haben gezeigt, dass bereits eine kleine Anlage von 1,37 kWp bilanziell in der Lage wäre, den gesamten Jahresstrombedarf der Kirche zu decken. Mit einem zu erwartenden Jahresertrag von 1.185 kWh liegt die Produktion deutlich über dem mittleren Jahresverbrauch von 668 kWh. Allerdings fällt der praktische Nutzen geringer aus: Nur rund 138 kWh (11,7 %) können direkt vor Ort tatsächlich verbraucht werden, während der Rest ins öffentliche Netz eingespeist wird. Der Autarkiegrad liegt daher bei 20,7 %.

Diese Kennzahlen verdeutlichen die strukturelle Diskrepanz zwischen der Erzeugung durch die PV-Anlage und dem tatsächlichen Verbrauch. Saisonalen Betrachtungen verdichten diese Annahmen. Während im Sommer Überschüsse von bis zu 130 kWh pro Monat entstehen, liegt der Ertrag im Winter bei weniger als 70 kWh. Gerade in dieser Zeit steigt jedoch der Strombedarf durch Veranstaltungen und Heizungen. Somit ist die PV-Anlage nicht in der Lage, die Lastspitzen im Winter wie zum Beispiel zur Veranstaltung im Februar abzudecken, sondern führt vielmehr zu einer Einspeisung von Sommerüberschüssen, die für den Kirchenbetrieb wenig Nutzen haben.

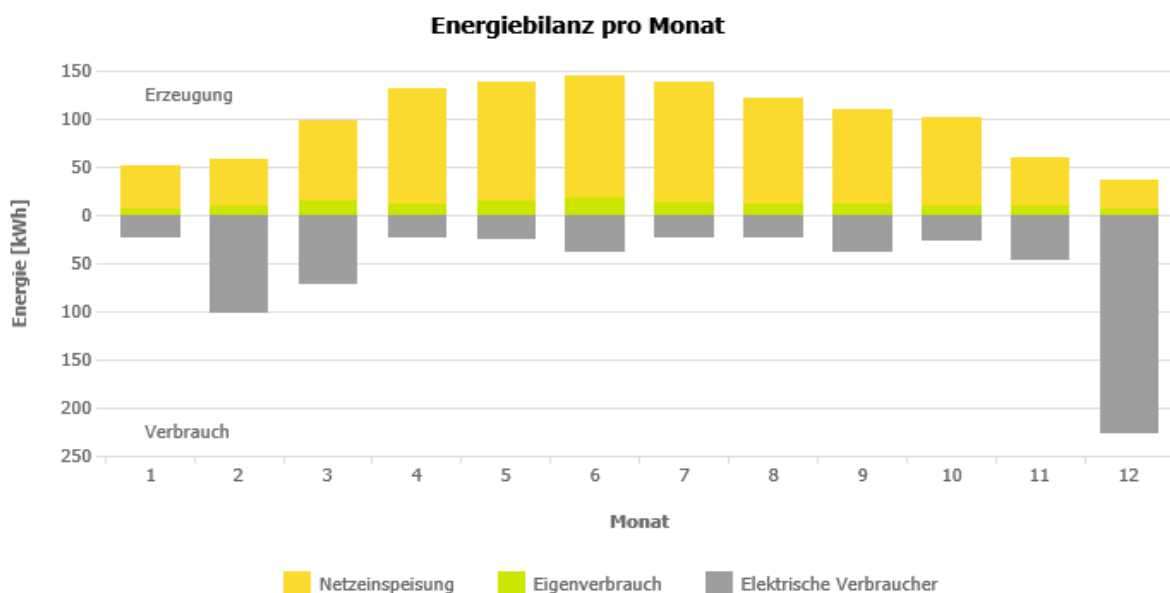


Abb. 20: Energiebilanz pro Monat

6.2.2. Wirtschaftliche Bewertung

Wirtschaftlich ist die Anlage nur eingeschränkt attraktiv. Unter Berücksichtigung der aktuellen spezifischen Investitionskosten für die PV-Anlage und einem Strompreis von 28 ct/kWh [17], ergibt sich laut Sunny Design eine Amortisationszeit von etwa 15,4 Jahren und einer jährlichen Rendite von 2,7 %. Dieser Zeitraum ist vergleichsweise hoch und mindert die Rentabilität, insbesondere da die Kirche nur selten genutzt wird und dadurch die Eigenverbrauchsquote niedrig bleibt. Die jährliche Strompreissteigerungsrate wurde mit 3 % angesetzt, um die erwartete Preisentwicklung der kommenden Jahre zu berücksichtigen. Als Einspeisevergütung wurde ein Wert von 10 ct/kWh [18] und da es sich um eine vereinfachte Betrachtung handelt, werden Grundpreis und Leistungsgebühren mit 0 Euro angesetzt.

Mit diesen Eingaben lässt sich eine vereinfachte Wirtschaftlichkeitsrechnung darstellen. Im ersten Jahr betragen die Stromkosten ohne PV-Anlage 187 Euro, mit PV-Anlage hingegen nur 43 Euro, was 143 Euro Stromkosten im ersten Jahr spart. Somit werden über den Zeitraum von 20 Jahren, 3.020 Euro an Stromkosten gespart, wobei zusätzlich eine Einspeisevergütung von 1.987 Euro simuliert wurde.

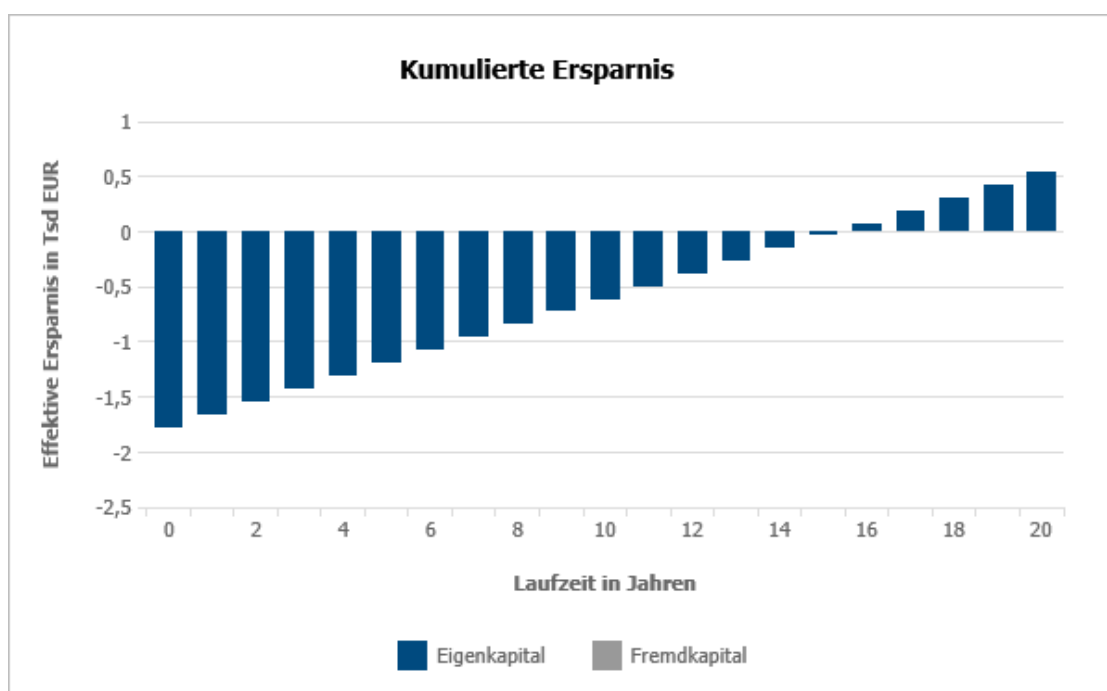


Abb. 21: Kumulierte Ersparnis

Das ermittelte Verbrauchsprofil der Kirche ist Grundlage für die Berechnung der Stromkosten. Diese weist einen Verbrauch von 668 kWh, welche veranstaltungsbezogene Nutzungsspitzen erfasst. Der simulierte Energiebedarf wurde mit den oben genannten Tarifwerten verrechnet, wodurch Sunny Design die jährlichen Stromkosten und Einsparungen aufzeigt. Somit zeigt sich ein klarer Bezug zwischen Verbrauchsdaten und der Wirtschaftlichkeit, denn der reale Energiebedarf der Liegenschaft bestimmt die zu erwartenden Kosteneinsparungen und beeinflusst damit die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage.

Individuelle Installationsoptionen wie etwa Solarziegel sind allein in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit wenig empfehlenswert. Hohe Anschaffungskosten, vereint mit einer aufwändigen Installation. Eine Möglichkeit ist die Verwendung eines zusätzlichen Batteriespeichers. Dieser könnte den Eigenverbrauch steigern, indem ein Teil der Sommerüberschüsse in die Abendstunden oder Wintermonate verschoben würde. Rechnerisch könnte dadurch der Eigenverbrauch auf bis zu 26 % steigen. Gleichmaßen steigert das unweigerlich die Investitionskosten und beeinflusst so die Wirtschaftlichkeit für den Standort Ipse erneut. Da ausschließlich herstellereigene Batteriesysteme zur Verfügung stehen, war die Auswahl in Sunny Design stark eingeschränkt. Daher fiel die Wahl auf das kostengünstigste Modell aus der gegebenen Datenbank, das eine energetisch ausreichende Speicherlösung für die Anlagengröße darstellt. (Anlage 2: Produktdatenblätter)

Kennzahlen	Ohne Speicher	Mit Speicher
Netzeinspeisung	1.047 kWh	735 kWh
Netzbezug	529 kWh	359 kWh
Eigenverbrauch	138 kWh	359 kWh
Eigenverbrauchsquote (in % von PV-Energie)	11,7 %	38 %
Autarkiequote (in % vom Energieverbrauch)	20,7 %	46,3 %
Eingesparte Kosten im ersten Jahr	143 €	160 €
Gesamte Ersparnis nach 20 Jahren	531 €	-6.377 €
Eingesparte Stromkosten nach 20 Jahren	3.020 €	3.690 €
Erwartete Amortisationszeit	15,4 a	21 a
CO ₂ -Reduktion nach 20 Jahren	8 t	8 t
Gesamtinvestitionskosten	1.774,50 €	7.174,50 €

Tabelle 7: Vergleich mit und ohne Batteriespeicher

Damit bleibt festzuhalten, dass eine PV-Anlage zwar energetisch sinnvoll, aus rein wirtschaftlicher Sicht vorerst nicht zu empfehlen ist.

6.2.3. Denkmalpflegerische Bewertung

Neben der Energie und der Wirtschaftlichkeit sind die denkmalpflegerischen Anforderungen ein entscheidender Faktor. Das Süd-Dach ist energetisch am geeignetsten, da es hohe Erträge liefert, gleichzeitig aber von der Hauptstraße gut sichtbar ist. Damit stellt diese Variante die sichtbarste Beeinträchtigung des historischen Erscheinungsbildes dar. Die Eingangsdachfläche mit West-Ausrichtung oder die westliche Turmfassade sind optisch unauffälliger. Allerdings sind diese Flächen wirtschaftlich unattraktiver und somit nicht rentabel. Auch wenn sie

denkmalpflegerisch verträglicher erscheinen, bleibt ihr wirtschaftlicher Nutzen begrenzt.

Ein möglicher Kompromiss könnte in der Nutzung farblich angepasster Module oder Indach-Systeme bestehen. Diese integrieren sich harmonischer in das Dach-Bild, sind jedoch deutlich teurer. Zudem hängt ihre Genehmigungsfähigkeit stark von der Haltung der Denkmalbehörde ab. Trotz der Vielschichtigkeit solcher Bewertungen kann eine Einzelfallentscheidung pauschal wirken. Doch gerade durch die differenzierte Bewertung in solchen Entscheidungsprozessen bestätigt sich diese Annahme nicht. Modernisierungsprozesse wie hier am Beispiel der Ipser Kirche stützen sich zwar auf bestehende Rechtsgrundlagen, müssen aber damit rechnen, die neue Anlage oder Veränderungen der Bausubstanz eine neue rechtliche Erwartungshaltung eröffnet.

6.3. Zusammenführung der Ergebnisse

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine Photovoltaikanlage auf der Ipser Kirche zwar technisch machbar und bilanziell ausreichend leistungsfähig ist, die spezifischen Rahmenbedingungen jedoch zu erheblichen Einschränkungen führen. Energetisch wird der Bedarf gedeckt, wirtschaftlich bleibt die Anlage wenig attraktiv, und denkmalpflegerisch sind erhebliche Abwägungen erforderlich.

Damit wird die zentrale Forschungsfrage beantwortet: Eine PV-Anlage kann an einem denkmalgeschützten Kirchengebäude installiert werden, wenn sie sorgfältig geplant, wirtschaftliche, rechtliche und Denkmalpflegerische Aspekte gleichermaßen abgewogen werden und diese in Abstimmung mit der Denkmalbehörde realisiert wird. Die Umsetzung ist jedoch nur bedingt wirtschaftlich und erfordert Kompromisse zwischen Energieertrag, Effizienz und dem Schutz historischer Bausubstanz.

6.4. Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind exemplarisch für viele kleinere Kirchengebäude in ländlichen Regionen. Sie zeigen, dass solche Objekte bzw. Liegenschaften zwar ein grundsätzliches Potenzial für erneuerbare Energien besitzen, dieses jedoch nur eingeschränkt genutzt werden kann. Zukünftige technische Entwicklungen könnten hier neue Möglichkeiten schaffen. Leistungsstärkere Module, optisch angepasste Systeme und wirtschaftlich tragfähige Speicherlösungen könnten die Integration erleichtern. Um die Rentabilität zu steigern, bietet sich auch die Option auf regionale Fachbetriebe zurückzugreifen, die die Photovoltaikanlage zu günstigeren Konditionen anbieten.

Parallel dazu ist eine Weiterentwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen notwendig, um Klimaschutz und Denkmalschutz besser in Einklang zu bringen. Der Erlass von 2023 [8] ist eine erste Grundlage für einen Perspektivenwechsel. Die Ipser Kirche könnte damit eine Vorbildfunktion übernehmen: Auch wenn die Anlage aus heutiger Sicht wirtschaftlich wenig attraktiv ist, kann sie einen symbolischen Beitrag zur Energiewende leisten. Als Demonstrationsprojekt könnte sie zeigen, dass auch kleine, denkmalgeschützte Dorfkirchen Teil einer nachhaltigen Energiezukunft sein können.

7. Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, die Möglichkeiten und Grenzen der Integration einer Photovoltaikanlage auf einem denkmalgeschützten Kirchengebäude am Beispiel der Ipser Kirche zu untersuchen. Im Zentrum stand die Frage, inwiefern eine PV-Anlage unter Berücksichtigung denkmalrechtlicher Vorgaben installiert werden kann. Die Untersuchung hat gezeigt, dass eine Photovoltaikanlage technisch realisierbar ist und bilanziell den Strombedarf des Gebäudes decken könnte. Die Simulationen verdeutlichten jedoch auch die strukturellen Grenzen: Die Eigenverbrauchsquote liegt aufgrund der unregelmäßigen Nutzung niedrig, während Überschüsse überwiegend in Zeiten entstehen, in denen sie kaum genutzt werden können. Wirtschaftlich ergibt sich daher eine vergleichsweise lange Amortisationszeit, und denkmalpflegerisch bleiben gerade die effizienten Flächen kritisch.

Darüber hinaus hat die Arbeit methodische Herausforderungen aufgezeigt. Die Erstellung eines belastbaren Verbrauchprofils erwies sich als anspruchsvoll, da nur wenige Messdaten vorlagen und ergänzende Annahmen notwendig waren. Gerade bei historischen Gebäuden fehlen häufig Unterzähler oder Lastgangmessungen, sodass der Energieverbrauch nur über Schätzungen und Plausibilisierungen nachvollzogen werden kann. Für zukünftige Projekte empfiehlt es sich daher, eine differenzierte Verbrauchsmessung einzurichten, um Planung und Simulation auf eine solidere Datenbasis zu stellen.

Ein weiteres Hindernis besteht in der Abstimmung zwischen den beteiligten Akteuren. Eigentümer, Planer und Denkmalbehörden verfolgen oft unterschiedliche Zielsetzungen, sodass Verzögerungen und Konflikte nicht auszuschließen sind. Hier bedarf es klarer Leitlinien und offener Kommunikation, um praktikable Lösungen für alle Beteiligten zu ermöglichen. Gleichzeitig bestätigt die Arbeit, dass Fortschritte möglich sind, wenn innovative Ansätze gewählt werden. Projekte in Städten wie Zernin [19] und Neufrach [20] haben verdeutlicht, dass Photovoltaikanlagen und Denkmalschutz vereinbar sein können, wenn moderne Technologien wie dachintegrierte Systeme oder farblich angepasste Module genutzt werden und die Planung von Beginn an mit den Denkmalbehörden abgestimmt wird.

Für zukünftige Vorhaben sollten zwei Aspekte besondere Beachtung finden. Erstens ist eine präzise Verbrauchsanalyse unerlässlich, um realistische Konzepte zu entwickeln. Zweitens muss die Planung frühzeitig den Dialog mit den zuständigen Behörden suchen, um Konflikte zu vermeiden und individuelle Lösungen zu ermöglichen. Darüber hinaus könnten neue Technologien und rechtliche Anpassungen die Integration erleichtern und die Attraktivität solcher Projekte steigern.

Eine technische Aufwertung von denkmalgeschützten Gebäuden trägt nicht nur zur Reduktion von CO₂-Emissionen bei, sondern auch zum Erhalt und zur nachhaltigen Nutzung von historischen Objekten. Denn die Energiewende ist ein gesamtgesellschaftliches Problem und betrifft den ländlichen sowie den Urbanen Bereich. Besonders geschichtsträchtige Innenstädte weisen einen hohen Bestand an denkmalgeschützten Gebäuden auf, deren Fläche als mögliche Modernisierung dienen.

Die Ipser Kirche zeigt exemplarisch, dass auch kleine, denkmalgeschützte Dorfkirchen Teil der Energiewende sein können. Allerdings nur, wenn technische Innovation, methodische Sorgfalt und denkmalpflegerische Sensibilität in Einklang gebracht werden.

8. Verzeichnis

8.1. Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit, „bmz.de“, 01 01 2025. [Online]. Available: <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602>. [Zugriff am 20 08 2025].
- [2] S. Lange, „mein-pv-anwalt.de“, 20 Juli 2022. [Online]. Available: <https://mein-pv-anwalt.de/solaranlage-und-denkmalschutz-vorrang-fuer-den-klimaschutz/>. [Zugriff am 13 08 2025].
- [3] Bürgermeister Mandy Schumacher, „gardelegen.de“, 01 01 2024. [Online]. Available: <https://www.gardelegen.de/Stadtleben/Die-Stadt/Ortsteile/Ipse/?La=1>. [Zugriff am 10 09 2025].
- [4] F. Nowitzin, „aceflex.de“, 01 März 2024. [Online]. Available: <https://www.aceflex.de/magazin/fossile-brennstoffe-reduzieren-photovoltaik-nutzen/>. [Zugriff am 30 09 2025].
- [5] S. Werner und D. Peter, „elk-wue.de“, 17 November 2023. [Online]. Available: <https://www.elk-wue.de/news/2023/17112023-photovoltaik-auf-kirchlichen-gebaeuden>. [Zugriff am 21 08 2025].
- [6] R. J. Doelling, „solaranlage.eu“, 13 10 2023. [Online]. Available: <https://www.solaranlage.eu/kosten/ertrag/kirchen>. [Zugriff am 21 08 2025].
- [7] Europäische Kommission, „commission.europa.eu“, 01 01 2025. [Online]. Available: <file:///C:/Users/Willi/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/654a4747-3293-4c4c-af40-02fee833c635/unser%20ziel%20klimaneutralit%C3%A4t%20bis%202050-ML0419339DEN.pdf>. [Zugriff am 26 08 2025].
- [8] S.-A. S. u. M. f. Kultur, „Runderlass der Staatskanzlei und Ministerium für Kultur zur Erteilung denkmalschutzrechtlicher Genehmigungen nach § 14 Absatz 1 DenkmSchG für die Errichtung von Solaranlagen auf bzw. an einem Kulturdenkmal nach § 2 Absatz 2 Ziffern 1 und 2 denkmSchG“, Bundesland Sachsen-Anhalt, Sachsen-Anhalt, 2023.
- [9] SMA Solar Technology AG, „SMA“, 01 01 2022. [Online]. Available: <https://www.sma.de/produkte/apps-software/sunny-design>. [Zugriff am 15 08 2025].
- [10] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „bundeswirtschaftsministerium.de“, 01 04 2025. [Online]. Available: <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Dossier/strommarkt-der-zukunft.html>. [Zugriff am 30 09 2025].
- [11] D. Schahinian, „heizsparer.de“, 24 Juni 2024. [Online]. Available: https://www.heizsparer.de/solar/photovoltaik/photovoltaik-technik#google_vignette. [Zugriff am 25 08 2025].
- [12] M. Schumacher, „gardelegen.de“, 31 12 2024. [Online]. Available: <https://www.gardelegen.de/Stadtleben/Die-Stadt/Stadtgeschichte/>. [Zugriff am 01 09 2025].
- [13] T. Mottschalk, „Ipse Geschichte Ort und Kirche (Mappe)“, Tilo Mottschalk, Ipse, 2016.
- [14] D. M. Schuppe, „sachsen-anhalt.de“, Staatskanzlei und Ministerium für Kultur Sachsen-Anhalt, 01 01 2025. [Online]. Available: <https://moderndenken.sachsen-anhalt.de/moderne-denker/ipse-excitare>. [Zugriff am 30 09 2025].
- [15] B. Sachsen-Anhalt, *Denkmalschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt*, Sachsen-Anhalt: Bundesrepublik Deutschland, 1991.
- [16] J. Burkhardt, „ECHTSOLAR“, 29 März 2023. [Online]. Available: <https://echtsolar.de/solardachziegel/>. [Zugriff am 25 August 2025].
- [17] S. Schäfers, „vergleich.de“, 13 10 2025. [Online]. Available: <https://www.vergleich.de/strompreise.html>. [Zugriff am 13 10 2025].

- [18] F. Wulff, „bundesnetzagentur.de,“ 15 11 2024. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG_Foerderung/start.html. [Zugriff am 13 10 2025].
- [19] B. W. e. a. Rafael Binkowski, „staatsanzeiger.de,“ 28 07 2022. [Online]. Available: <https://www.staatsanzeiger.de/nachrichten/politik-und-verwaltung/kretschmann-will-auch-an-kirchen-photovoltaik-ausnahme-beim-kloster-maulbronn/>. [Zugriff am 10 10 2025].
- [20] A. Keller, „kirchen-online.org,“ 15 03 2012. [Online]. Available: <https://kirchen-online.org/kirchen--kapellen-rund-um-den-bodensee-d-a-ch/neufrach---st-peter-und-paul.php>. [Zugriff am 10 10 2025].
- [21] ggmgaastro, „ggmgaastro.com,“ 14 10 2025. [Online]. Available: https://www.ggmgaastro.com/de-de-eur/wasser-und-gluehweinkocher-21-liter-3kw-wkh30?utm_term=default&utm_campaign=DE%20%7C%20Shopping%20%7C%20Fallback&utm_source=bing&utm_medium=cpc&mclid=e3f44592fb3117d074522d7c3a90a8a5&utm_content=Alle%20Produkte. [Zugriff am 10 09 2025].
- [22] Christoph Heinrich et al., „perrot-turmuhren.de,“ 01 06 2025. [Online]. Available: https://www.perrot-turmuhren.de/fileadmin/perrot/Public/Content/Images/Content/PDFs/Produktblatt_PERCONTA_final.pdf. [Zugriff am 18 08 2025].
- [23] Ledino, *LED-Strahler*, Gardelegen: Weitergabe von Elektro-Montagen Kämpfer, 2025.
- [24] S. Wiedmann, „axitecsolar.com,“ 01 01 2025. [Online]. Available: <https://axitecsolar.com/solarmodul/axibiperfect-gl-wb>. [Zugriff am 02 09 2025].
- [25] R. W. Kristin Wießel, Artist, *BV: Kirchgebäude Ipse*. [Art]. Eigenbedarf, unbekannt.
- [26] D.-I. C. Sußmann, „Bauzustandsanalyse der Evangelischen Dorfkirche in Ipse Bericht-Nr.: 2015/11/IPSE,“ sußmann , Magdeburg, 2015.
- [27] paXos Solar GmbH, Karsten Birkholz, „paxos.solar,“ 01 01 2025. [Online]. Available: <https://paxos.solar/produkt/sbs-2348-tr-solarbiberschwanz-terrakotta/>. [Zugriff am 06 10 2025].
- [28] Kretzschmar, Artist, *Pläne Bestand*. [Art]. sußmann, .2019.
- [29] T. Lnage, „Objektdokumenatation Dorfkirche Ipse Altmarkkreis Salzwedel,“ Büro für DOKUMENTATION & DENKMALpflege , Bad Belzig, 2020.
- [30] K. Roispich, „noz.de,“ 24 06 2024. [Online]. Available: <https://www.noz.de/lokales/doerpen/artikel/kirche-in-dersum-wird-mit-pv-anlage-auf-dem-dach-zum-vorreiter-47223290>. [Zugriff am 10 10 2025].
- [31] F. D. N. E. Tiemo Rink, „bdew.de,“ 13 10 2025. [Online]. Available: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>. [Zugriff am 06 10 2025].
- [32] M. Stage, „studentenwerk-magdeburg.de,“ 12 06 2012. [Online]. Available: https://www.studentenwerk-magdeburg.de/wp-content/uploads/2012/06/logo_h2.jpg. [Zugriff am 14 10 2025].
- [33] F. Plamdorf, Artist, *Ipse Kirche*. [Art]. 2022.

8.2. Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Veranstaltungen mit Gesamtverbrauch</i>	12
<i>Tabelle 2: Verbrauchsgruppen</i>	13
<i>Tabelle 3: Verbrauchsprofil der Verbrauchsgruppen im Jahresüberblick (interaktiv)</i>	15
<i>Tabelle 4: Verbrauchsprofil im CSV-Format (interaktiv)</i>	15
<i>Tabelle 5: Verbrauchsdaten im Detail</i>	22
<i>Tabelle 6: Gegenüberstellung der Kennzahlen für die drei Dachvarianten</i>	23

<i>Tabelle 7: Vergleich mit und ohne Batteriespeicher</i>	26
<i>Tabelle 8: Zählerstand</i>	32

8.3. Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: Ipse Kirche [33]</i>	1
<i>Abb. 2: H2 Logo [32]</i>	1
<i>Abb. 3: Dorfkirche zu Ipse</i>	4
<i>Abb. 4: Modell Solarzelle [11]</i>	6
<i>Abb. 5: Deckenmalerei</i>	10
<i>Abb. 6: Apsis [29]</i>	10
<i>Abb. 7: Ansicht Ost</i>	10
<i>Abb. 8: Kreuzstein [29]</i>	10
<i>Abb. 9: Eingangsbereich</i>	11
<i>Abb. 10: Dachstuhl (West) [29]</i>	17
<i>Abb. 11: Dachstuhl (Ost) [29]</i>	17
<i>Abb. 12: Draufsicht Süd-Dach</i>	18
<i>Abb. 13: Draufsicht Eingangsbereich</i>	18
<i>Abb. 14: westliche Turmfassade</i>	18
<i>Abb. 17: Kirche in Neufrach [20]</i>	20
<i>Abb. 15: Kirche in Zernin [19]</i>	20
<i>Abb. 16: Kirche in Dersum [30]</i>	20
<i>Abb. 18: Kreuz-Anordnung</i>	20
<i>Abb. 19: Energie-Ertrag pro Monat</i>	22
<i>Abb. 20: Energiebilanz pro Monat</i>	24
<i>Abb. 21: Kumulierte Ersparnis</i>	25
<i>Abb. 22: Sitzheizung</i>	32
<i>Abb. 23: Beleuchtung 1</i>	32
<i>Abb. 24: Dachstuhl Zeichnung [25]</i>	33
<i>Abb. 25: Sitzheizung</i>	34
<i>Abb. 26: Solarbiberschwanz [27]</i>	34

8.4. Verwendete Hilfsmittel

Sunny Design

Sunny Design wurde zur Planung der Photovoltaikanlage genutzt. Die Software berücksichtigt alle technischen Vorschriften der Anlage. Des Weiteren können relevante wirtschaftliche Daten abgerufen werden, die zu einer umfassenden Bewertung der Anlage führt. Um dies zu nutzen, wurde das Verbrauchsprofil in Sunny Design eingespeist. Mit der eigenständigen Visualisierung des Gebäudes in der Software, wurden die Solarmodule auf dem Kirchendach verlegt. Daraus errechnete sich das Programm die Peak-Leistung der Anlage, um dies mit dem zuvor eingespeisten Verbrauchsprofil gegenüberzustellen. Bei der Errechnung der Gesamtleistung der Anlage, berücksichtige das Programm unter anderem, die Verschattung, den Azimut und die Dachneigung. Für die Veranschaulichung der eingespeisten Daten, wurden Tabellen generiert und Screenshots aus der 3D Ansicht in Sunny Design genutzt.

8.5. Anlagen

<i>Anlage 1: Zählerstände Strom Kirche Ipse</i>	32
<i>Anlage 2: Produktdatenblätter</i>	32
<i>Anlage 3: Winkelberechnung</i>	32
<i>Anlage 4: Bauzustandsanalyse der Evangelischen Dorfkirche in Ipse</i>	34
<i>Anlage 5: Sitzheizung</i>	34

Verzeichnis

Anlage 6: Solarbiberschwanz	34
Anlage 7: Planstände	35
Anlage 8: Verbrauchsrechnung der Verbrauchsgruppen	35

Anlage 1: Zählerstände Strom Kirche Ipse

Zeitraum	Verbrauch	Zählerstand
01.05.2021 – 30.04.2022	103 kWh	1.266
01.05.2022 – 30.04.2023	689 kWh	1.964
01.05.2023 – 13.03.2024	1.098 kWh	3.022
14.03.2024 – 13.03.2025	186 kWh	3.208

Tabelle 8: Zählerstand







Anlage 2: Produktdatenblätter



Abb. 23: Beleuchtung 1



Abb. 22: Sitzheizung

 Produktdatenblatt_G lühweinkocher.pdf Glühweinkocher [21]	 Produktblatt_PERCO NTA_Läuteanlage.pdf Läuteanlage [22]	 LEDINO Displaystrahl. Charlot Beleuchtung 2 [23]	 PV- DB_108zlg_biperfect GL WB MiA_DE_Indac Anlage [24]
 Wechselrichter.pdf Wechselrichter [9]	 Speichermedium.pdf Speichermedium [9]		

Anlage 3: Winkelberechnung

1. Kosinus für Seite a nach Winkel α umstellen:

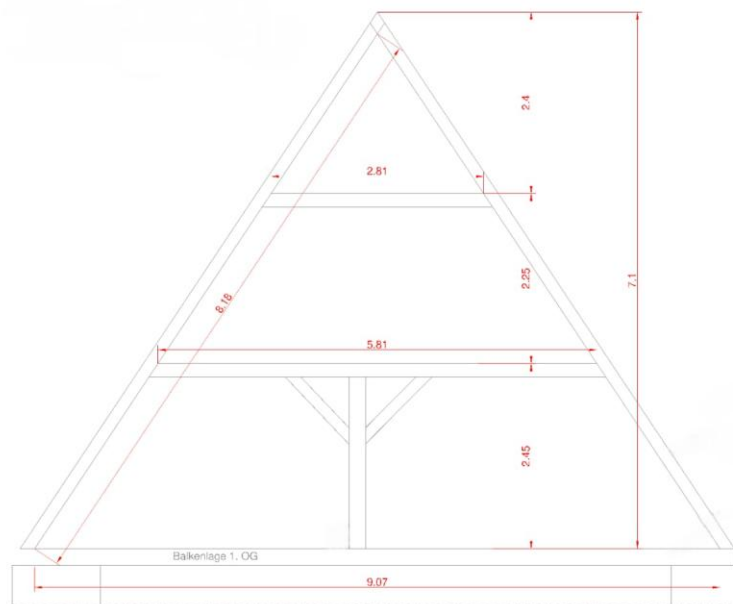


Abb. 24: Dachstuhl Zeichnung [25]

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 * b * c * \cos(\alpha)$$

$$a^2 - b^2 - c^2 = -2 * b * c * \cos(\alpha)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{a^2 - b^2 - c^2}{-2 * b * c}$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 - b^2 - c^2}{-2 * b * c}\right)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{8,18^2 - 8,18^2 - 9,07^2}{-2 * 8,18 * 9,07}\right) = 56,33^\circ$$

2. Kosinussatz für Seite b nach Winkel β

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 * a * c * \cos(\beta)$$

$$b^2 - a^2 - c^2 = -2 * a * c * \cos(\beta)$$

$$\cos(\beta) = \frac{b^2 - a^2 - c^2}{-2 * a * c}$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{b^2 - a^2 - c^2}{-2 * a * c}\right)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{8,18^2 - 8,18^2 - 9,07^2}{-2 * 8,18 * 9,07}\right) = 56,33^\circ$$

3. Winkel γ mit Winkelsummensatz ermitteln:

$$180^\circ = \alpha + \beta + \gamma$$

$$\gamma = 180^\circ - \beta - \alpha$$

$$\gamma = 180^\circ - 56,33 - 56,33 = 67,34^\circ$$

Anlage 4: Bauzustandsanalyse der Evangelischen Dorfkirche in Ipse



150202_Bauzustands
analyse_ipse 3.pdf [26]

Anlage 5: Sitzheizung









Abb. 25: Sitzheizung

Anlage 6: Solarbiberschwanz



Abb. 26: Solarbiberschwanz [27]

Anlage 7: Planstände

 Lageplan Ipse Kirche.pdf [28]	 E-001_191114_Lage plan_A3_500.pdf [28]	 E-002_191114_Dach geschoss_A3_100.pdf [28]	 E-003_191114_Erdge schoss_A3_100.pdf [28]	 E-004_191114_Schni tt A-A_A3_100.pdf [28]
 OBJEKTDOKUMENT ATION Ipse.pdf [29]				

Anlage 8: Verbrauchsrechnung der Verbrauchsgruppen

$$P [kW] = \frac{P_1 [W]}{1000}$$

$$E[kWh] = P_1 [kW] * 1 [h]$$

$$E [kWh] = E [kWh] * n[Stk]$$

$$E_{Licht\ gesamt} = E_{Licht16} * AF [h]$$

Läuteanlage:

$$E_{Läutanalge} [kW] = \frac{350 [W]}{1000} = 0,35 [kW]$$

$$E_{Läutanlage} = 0,35 [kW] * 1 [h] = 0,35 [kWh]$$

$$E_{Läutanlage} = 0,0085 [kW] * 1[Stk] = 0,35$$

Sitzheizung:

$$E_{Sitzheizung} [kW] = \frac{270 [W]}{1000} = 0,27 [kW]$$

$$E_{Sitzheizung} = 0,27 [kW] * 1 [h] = 0,27 [kWh]$$

$$E_{Sitzheizung} = 0,27 [kW] * 29[Stk] = 7,83 [kWh]$$

$$E_{Licht\ gesamt} = E_{Licht16} * AF [h]$$

Beleuchtung 1:

$$E [kW] = \frac{8,5 [W]}{1000} = 0,0085 [kW]$$

$$E_{Licht1} = 0,0085 [kW] * 1 [h] = 0,0085 [kWh]$$

$$E_{Licht16} = 0,0085 [kW] * 16[Stk] = 0,136 [kWh]$$

$$E_{Licht\ gesamt} = 0,136[kWh] * 8 [h]$$

Beleuchtung 2:

$$EE_{Licht2} [kW] = \frac{400 [W]}{1000} = 0,4 [kW]$$

$$E_{Licht2} = 0,4 [kW] * 1 [h] = 0,4 [kWh]$$

$$E_{Licht2} = 0,4 [kW] * 16[Stk] = 6,4 [kWh]$$

Dauerlast Steuergeräte:

$$E_{Dauerlast} [kW] = \frac{30 [W]}{1000} = 0,03 [kW]$$

$$E_{Dauerlast} = 0,03 [kW] * 1 [h] = 0,03 [kWh]$$

$$E_{Dauerlast} = 0,03 [kW] * 1[Stk] = 0,03 [kWh]$$

Veranstaltungstechnik Konzert:

$$E_{Veranstaltungstechnik1} [kW] = \frac{300 [W]}{1000} = 0,3 [kW]$$

$$E_{Veranstaltungstechnik1} = 0,3 [kW] * 1 [h] = 0,3 [kWh]$$

$$E_{Veranstaltungstechnik1} = 0,3 [kW] * 1[Stk] = 0,3 [kWh]$$

Veranstaltungstechnik Gottesdienst:

$$E_{Veranstaltungstechnik2} [kW] = \frac{120 [W]}{1000} = 0,12 [kW]$$

$$E_{Veranstaltungstechnik2} = 0,12 [kW] * 1 [h] = 0,12 [kWh]$$

$$E_{Veranstaltungstechnik2} = 0,12 [kW] * 1[Stk] = 0,12 [kWh]$$

Glühweinkocher:

$$E_{Glühweinkocher} [kW] = \frac{3000 [W]}{1000} = 3 [kW]$$

$$E_{Glühweinkocher} = 3 [kW] * 1 [h] = 3 [kWh]$$

$$E_{Glühweinkocher} = 3 [kW] * 2[Stk] = 6 [kWh]$$

8.6. Abkürzungsverzeichnis

§	Paragraf
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AF	Aktionsfaktor
Art.	Artikel
Co2	Kohlenstoffdioxid
CSV	Comma-Separated Values
DenkmSchG	Denkmalschutzgesetz
DIN	Deutsches Institut für Normung
Dr.	Doktor/-in
e.V.	eingetragene Verein
EMS	Elektromanagementsystem
EN ISO	Europäische Normen Internationale Organisation für Normung
EU	Europäische Union
GG	Grundgesetz
IBP	Energieberatersoftware
Ing.	Ingenieur-innen
i.V.m.	in Verbindung mit
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LA	Läuteanlage
LSA	Land Sachsen-Anhalt
MK	Monokristallin
Mündl.	Mündlich
M.Eng.	Master of Engineering
Nr.	Nummer
PK	Polykristallin
Prof.	Professor/-in
PV	Photovoltaik
S.	Seite
SMA	Solar Technology AG
VDE	Verband der Elektrotechnik
Verf.	Verfassung
Vgl.	Vergleich
z.B.	zum Beispiel

8.7. Formelzeichen

%	Prozent
€	Euro
a	Jahr
ct/kWh	Cent pro Kilowattstunde
h	Stunde
Hz	Hertz
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt Peak
min	Minuten
n	Anzahl
P	Leistung
Stk.	Stück
t	Zeit
TWh	Terrawattstunden
V	Volt
W	Watt
λ	Lambda
E	elektrische Arbeit
Σ	Summe

8.8. Eigenständigkeitserklärung

Eigenständigkeitserklärung

für wissenschaftliche Arbeiten/Prüfungsleistungen an der Hochschule Magdeburg-Stendal

Hiermit bestätige ich, Wilhelm Schulze 30013470, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel, Herausforderungen bei der Planung von Photovoltaikanlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden, selbstständig und ohne die Hilfe anderer Personen angefertigt habe.

Ich habe nur die konkret angegebenen Quellen und Hilfsmittel und diese nur in der angegebenen Form verwendet.

Aus fremden Werken und Quellen entnommene Inhalte, wörtliche Zitate oder sinngemäße Inhalte, z.B. der Argumentation nach, und IT-/KI-generierte Inhalte habe ich an der jeweiligen Stelle unter Angabe der konkreten Quellen gekennzeichnet. IT-/KI-generierte Inhalte sind mit „Unterstützt von/durch Sunny Design und Verweis auf die detaillierten Belege in der „Übersicht verwendeter Hilfsmittel“ zu kennzeichnen.

Darüber hinaus bestätige ich, dass ich beim Einsatz von IT-/KI-gestützten Werkzeugen diese Hilfsmittel in der „Übersicht verwendeter Hilfsmittel“ mit dem Nutzungsdatum, dem Produktnamen, der Bezugsquelle (z. B. URL) und Angaben zu genutzten Funktionen der Software sowie zum Nutzungsumfang vollständig aufgeführt habe. Ich habe die IT-/KI-generierten Inhalte außerdem unter Beachtung der allgemeinen Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis geprüft.

Mir ist bewusst, dass bei dem Versuch, das Ergebnis einer Prüfungsleistung durch Täuschung oder Benutzung nicht zugelassener Hilfsmittel zu beeinflussen, die betreffende Prüfungsleistung mit „nicht ausreichend“ / „nicht erfolgreich abgeschlossen“ zu bewerten ist beziehungsweise die betreffende Prüfungsleistung als mit „nicht ausreichend“/„nicht erfolgreich abgeschlossen“ bewertet gilt (Muster-SPO der Hochschule Magdeburg-Stendal vom 23.03.2023 § 35 Abs. 3 Satz 1).

Ich bestätige ausdrücklich, dass diese Arbeit weder vollständig noch teilweise einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder veröffentlicht worden ist.

Ich stimme zu, dass die Arbeit in eine Datenbank zur Plagiats- bzw. Hilfsmittelnutzungsprüfung eingestellt und gespeichert wird.

10.10.25 W.Schulze

Datum, eigenhändige Unterschrift