Solarenergie für Mehrfamilienhäuser in Litauen

Potenziale der Umsetzung

2019

Autore

M.Sc. Joris Nettestroth, M.Sc. Oliver Rosebrock, Knut Höller, Kęstutis Kupšys, Vitas Mačiulis, Inga Rovbutas

Projektleitung

Initiative Wohnungswirtschaft Osteuropa e.V.
Friedrichstraße 95
10117 Berlin
Deutschland
Tel: +49 (0)30 2067 9802
Fax: +49 (0)30 2067 9804
E-Mail: info@iwoev.org

Kooperationspartner

Steinbeis Innovationszentrum energie+
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch
Dr.-Ing. Stefan Plesserw
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
Mühlenpfordtstraße 23
38106 Braunschweig
Deutschland
Fon: +49 531 3913555
Fax: +49 531 3918125
E-Mail: info@siz-energie-plus.de

Lietuvos vartotojų organizacijų aljansas
Parko g. 3-7
Vilnius, Litauen
Tel. +370 691 34864
info@lvoa.lt
http://www.lvoa.lt
www.Solemio.lt

Perspektyvinių technologijų taikomųjų tyrimų institutas
Vismaliukų g. 34
10243 Vilnius, Litauen
Tel. +370 5 250 0616
info@protechnology.lt
http://www.protechnology.lt

Im Auftrag des:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Europäische Klimaschutzinitiative EUKI

EUKI SOL Projekt ist ein Teil der Europäischen Klimaschutzinitiative (EUKI). Die EUKI ist ein Finanzierungsinstrument des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Übergeordnete Ziele der EUKI sind die Intensivierung des grenzüberschreitenden Dialogs sowie des Wissens- und Erfahrungsaustauschs in der Europäischen Union, um gemeinsam die Umsetzung des Pariser Abkommens voranzutreiben.

Die hier vertretenen Auffassungen geben die Meinung der Verfasser wieder und entsprechen nicht unbedingt dem offiziellen Standpunkt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

Inhalt

Einleitendes Wort 4

Zusammenfassung 5

1. Soziale Gegebenheiten in Litauen in Bezug auf PV 6

2. Voraussetzungen und Möglichkeiten für die Expansion des Photovoltaikmarktes in Litauen 8

2.1 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung in Litauen 8

2.2 Bewertung des Photovoltaikmarktes 9

3. Der Stand der Sanierung von Mehrfamilienhäusern in Litauen 10

3.1 Optionen für die energetische Modernisierung von Mehrfamilienhäusern mit ihren Vor- und Nachteilen 10

3.2 Anwendung des Modells zur Modernisierung der Energieversorgung am Beispiel des Gebäudes an der Taikos g. 27 in Uetna 11

4. Technische Expertise 13

4.1 Gebäude und Randbedingungen der Simulationen 15

4.2 Ergebnisse der Heißwärmebedarfssimulation 15

4.3 Endenergiebedarfe und Energiekosten der Gebäude 16

4.4 Ergebnisse der PV-Simulation 16

4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 19

4.6 Ableitungen/Empfehlungen 22

4.7 Ausblick 23

Anhang 24

Randbedingungen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: 27

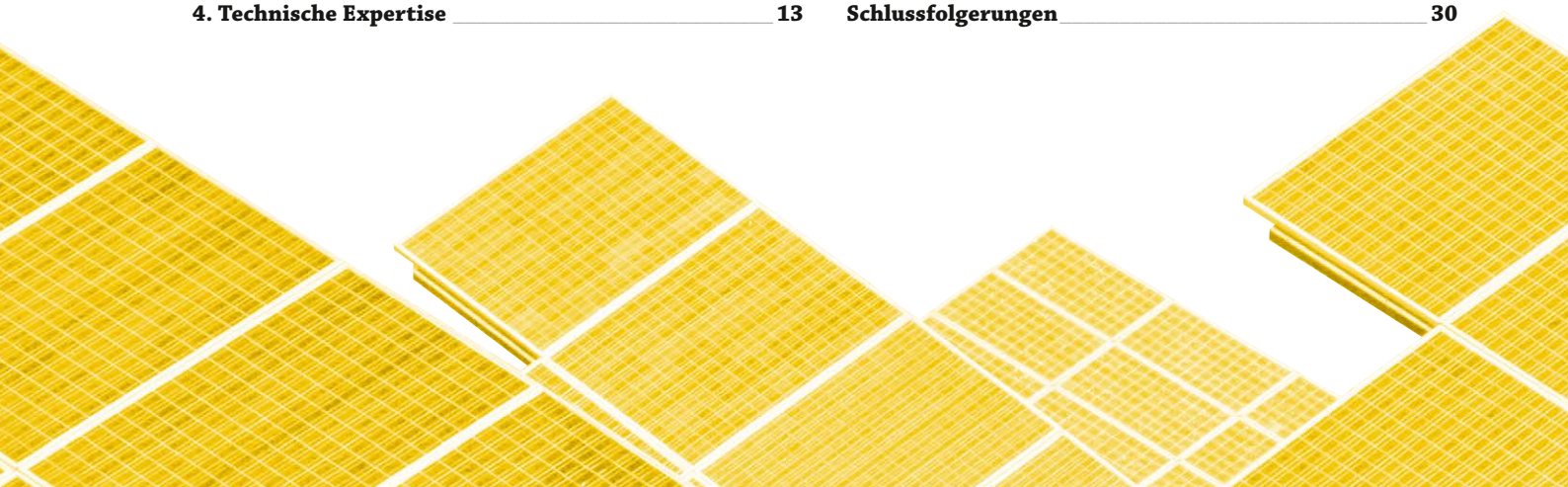
5. Bewertung des rechtlichen und finanziellen Umfelds 27

5.1 Gesetzliche Regelung 27

5.2 Wirtschaftliche Faktoren 29

5.3 Subventionsprogramme 29

Schlussfolgerungen 30



Einleitendes Wort

Immer mehr Menschen machen sich Sorgen über die Folgen des Klimawandels und beginnen, klima- und umweltfreundlicher zu werden. Dies beginnt beim Sortieren von Müll und führt über den Verzicht auf Kunststoff- und Einweggeschirr, häufigeres Radfahren oder das Benutzen öffentlicher Verkehrsmittel bis hin zur Energiegewinnung aus erneuerbaren Energiequellen. Eine eigene Solaranlage konnte man sich bis vor kurzem kaum vorstellen. Nachdem die Preise für Photovoltaikmodule dramatisch gesunken sind, werden sie immer erschwinglicher. In Litauen entscheiden sich Besitzer von Einfamilienhäusern schon ziemlich oft für Solaranlagen auf dem Dach. Wohnungseigentümer misstrauen dieser Möglichkeit jedoch weiterhin. Mit dieser Studie soll gezeigt werden, dass Investitionen in Solarmodule auf Dächern von Mehrfamilienhäusern eine optimale Ergänzung für die übliche energetische Sanierung darstellen und die Kosten nicht nur für Strom, sondern auch für die Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen senken können.

Derzeit importiert Litauen rund 60 Prozent der gesamten im Land verbrauchten elektrischen Energie. Diese Zahl zeigt, weshalb der Staat und die Stromverbraucher stark von der wirtschaftlichen und politischen Situation anderer Länder abhängig sind und somit langfristig nicht zwingend eine Preisstabilität gegeben ist. Diese Abhängigkeit führte dazu, dass das Energieministerium der Republik Litauen in seiner Strategie der Energieunabhängigkeit Litauens vorsah, dass die Stromerzeugung bis ins Jahr 2050 zu einhundert Prozent im Landesinnern erfolgt, wovon 80 Prozent aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird, und die Hälfte aller Verbraucher[1] sogenannte *Prosumenten* sind. Diese Zahl ist sehr ehrgeizig und ist ohne die Hilfe der kleinsten Verbraucher, der Bewohnervon Mehrfamilienhäusern, nicht umzusetzen. Damit die Bewohner von Mehrfamilienhäusern die Installationsmöglichkeiten von Solaranlagen berechnen können, haben wir diese Publikation zusammengestellt.

In dieser Studie werden die aktuelle soziale Situation, die rechtlichen Rahmenbedingungen und die Subventionsmöglichkeiten für die Verbraucher diskutiert, um Produzenten zu werden. Am wichtigsten ist jedoch, dass eine umfassende technisch-ökonomische Analyse vorgestellt wird, die den Nutzen und die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Photovoltaikmodule untermauert. Das Institut für angewandte Forschung im Bereich zukunftsweisender Technologien *(Perspektyvinių technologijų taikomųjų tyrimų institutas – Protech)*, Projektpartner in Litauen, präsentierte eine Analyse der Sanierungen in Litauen und die Bewertung verschiedener Optionen. Und der Partner in Deutschland, das *Steinbeis-Innovationszentrum siz energie+*, der über eine langjährige Erfahrung in der Planung und Umsetzung von Solarenergieprojekten verfügt, hat zwei in Litauen vorhandene, nicht sanierte Wohngebäude analysiert und deren Sanierung für verschiedene Szenarien simuliert, um die Anforderungen für die Energieeffizienzklassen C, A und A++ zu erreichen. Ebenso wurde der Energieverbrauch berechnet, wenn die Photovoltaikzellen in die Sanierung von Standardmehrfamilienhäusern bis zur Energieklasse C integriert würden.

Diese Studie richtet sich in erster Linie an Beamte und Politiker, die das Recht und die Macht haben, die Verbreitung erneuerbarer Energien zu beschleunigen. Die Informationen, die jedem Energieverbraucher in dieser Studie zur Verfügung gestellt werden, sollten auch in Anbetracht der Möglichkeit nützlich und interessant sein, die Sonne für die eigenen Bedarfe zu nutzen.

Knut Höller
Initiative Wohnungswirtschaft Osteuropa (IWO e.V.)

1 https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf

Zusammenfassung

1. Die durch Photovoltaikzellen erzeugte Sonnenenergie wird immer beliebter. Ein attraktiver Anwendungsbereich dieser Technologie ist die Modernisierung von Mehrfamilienhäusern.
2. Die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wird sowohl in Europa als auch in Litauen durch strategische Dokumente gefördert. Die nationale Strategie Litauens zur Unabhängigkeit in der Energiepolitik sieht nicht nur die vollständige Unabhängigkeit von Energieimporten vor, sondern auch einen raschen Anstieg der Zahl der produzierenden Verbraucher.
3. In Litauen leidet ein großer Teil der Bevölkerung unter Energiearmut: Familien können es sich nicht leisten, Heizung, Warmwasser und Strom zu bezahlen. Investitionen in erneuerbare Energiequellen könnten eine Möglichkeit sein, dieses Problem zu lösen.
4. Entsprechend den Anforderungen für die Energieklassen von Gebäuden erfordert nur die Klasse A++ die Einbeziehung erneuerbarer Energiequellen. Wir haben die Fälle analysiert, in denen erneuerbare Energiequellen auch in niedrigeren Energieeffizienzklassen verwendet werden, und haben unsere Berechnungen zur Verfügung gestellt.
5. Die vollständige Modernisierung eines Mehrfamilienhauses ist mit sehr hohen Investitionen verbunden. Daher versuchen die Bewohner diese Sanierung zu umgehen. Die Tatsache, dass in den vergangenen zehn Jahren nur sechs Prozent aller Gebäude saniert wurden, spiegelt die sehr geringe Attraktivität und die Ineffizienz wider.
6. Gesamtwirtschaftlich liegt ein großes Potenzial in der Vermeidung von Fernwärmebezug außerhalb der Heizperiode für die Warmwasserversorgung. Für den Sommer sollten daher dezentrale Lösungen (z. B. elektrische Wärmepumpen) genutzt werden. Der Ersatz ihrer Versorgungsquelle durch elektrische Wärmepumpen würde nicht nur die Ausgaben der Verbraucher reduzieren, sondern auch den Kostenanteil für die Arbeiten an den Heizräumen und dem Verteilnetz des zentralen Anbieters in der warmen Jahreszeit vermeiden.
7. Ohne ausreichende Mittel für die vollständige Sanierung des Hauses wäre eine Teilsanierung, insbesondere die Modernisierung der Heizzentralen, viel wichtiger. Dies würde die Möglichkeit schaffen, die Wärme in jedem Haus individuell zu regulieren und somit die Organisation einer Zentralheizung wirtschaftlich und energetisch effizienter zu gestalten.
8. Eine effizientere Art der Modernisierung von Gebäuden wäre eine kombinierte Wärmepumpen- und Solarkraftanlage, die mit einer Teilsanierung des Gebäudes kombiniert wird. Dadurch können bis zu 60 % der jährlichen Heiz- und Warmwasserkosten eingespart werden, und dies bei weitaus geringeren Kosten als bei herkömmlichen Sanierungen.
9. Die Sanierung eines Mehrfamilienhauses bis zur Energieklasse A++ ist die beste Wahl im energetischen Sinne, aber wirtschaftlich nicht attraktiv und nur in besonderen Fällen anwendbar.
10. Eine umfassende Analyse der Gebäude und die Simulation der Sanierung haben gezeigt, dass die Aufwertung des Gebäudes auf die Energieklasse C zusammen mit der Installation eines Solarkraftwerks die kostengünstigste ist.
11. Die Schaffung von Energiepartnerschaften und ein klarer gesetzlicher Rahmen für das Miteigentum sind eines der wichtigsten Instrumente, die der Staatspolitik zur Verfügung stehen, um die Zahl der produzierenden Verbraucher zu erhöhen.
12. Die Preise für Solarkraftwerke sind immer noch so hoch, dass Konsumenten mit niedrigem Einkommen abgeschreckt werden, weshalb staatliche Subventionen ein unverzichtbares Instrument für die weitere Verbreitung der Solarenergie sind.

1. Soziale Gegebenheiten in Litauen in Bezug auf PV

Im Rahmen dieses Berichts werden Aspekte von Energiefragen beleuchtet. **Erstens** bezieht sich Photovoltaik, wie aus dem Begriff bereits hervorgeht, auf die Elektrizitätserzeugung. Die Sonnenstrahlung wird in elektrischen Strom in Solaranlagen (die PV-Solarzellen aus Halbleitern enthalten) umgewandelt und danach über Wechselrichter in das [Mikro-]Netz eingespeist. Das ist die einfachste Art der Nutzung von Solarenergie in beliebigen Gebäuden, darunter auch in Mehrfamilienhäusern (MFHs). Solarstrom oder **solare Photovoltaik,** kurz auch als Solar-PV bezeichnet, sind gewöhnlich die Begriffe, die in einem solchen Fall verwendet werden.

Zweitens, wenn auch weniger offensichtlich, geht es um die Nutzung von Sonnenenergie zu Heizzwecken. Im Zuge der Entwicklung der Sonnenenergienutzungstechnik wurde diese ursprünglich dazu eingesetzt, um Sonnenlicht zu sammeln und es in Wärme umzuwandeln, daher auch der Name - **solarthermische** Technologie. Die Solarthermiemodule auf dem Dach sind Sonnenlichtkollektoren, die mit Flüssigkeit gefüllte Röhren enthalten. Die Sonnenstrahlung heizt die Flüssigkeit in den Röhren auf, wonach diese betriebsbereit in das Heizsystem befördert wird, um, z. B., Wasser zu erhitzen.

Im Laufe des technologischen Fortschritts erlebte die Solar-PV-Technologie äußerst steile Preisrückgänge, wodurch sie im Vergleich zur solarthermischen Technologie wettbewerbsfähiger wurde. Der Umwandlungsfaktor von Sonnenlicht in elektrischen Strom ist in den vergangenen zwei Jahrzehnten enorm angestiegen, während die Kosten für die Ausrüstung im Vergleich zu den Jahren 1990-2000 um ein Vielfaches gesunken sind. Dies führte zu einer weltweiten Verbreitung der Nutzung von Solar-PV, was zusätzliche Anreize mit sich führte, da die Massenproduktionsvorteile die Technologie spürbar erschwinglicher machten.

Bestimmte wirtschaftliche und politische Entwicklungen machten Solar-PV für den Endnutzer sogar noch kostengünstiger. Ab September 2018 hob die Europäische Union den Mindesteinfuhrpreis für PV Module auf, was zu einem zusätzlichen Preisabfall für PV-Module von rund 30 Prozent führte. Aktuell liegen die Preise bei ca. €0,20/Wp und der Preis kann bei der aktuellen Produktionstechnologie eigentlich als der Tiefstpreis angesehen werden[2].

Zum heutigen Zeitpunkt[3] ist Solar-PV im Vergleich zur solarthermischen Technologie kostengünstiger und technisch weniger aufwendig. Aus diesem Grund werden wir uns nicht mit der solarthermischen Anwendung in MFH in Litauen befassen. Diese Annahme wird von der Meinung zahlreicher Experten unterstützt. Der Hauptgrund dafür besteht darin, dass elektrischer Strom bislang die universellste Form von Energie ist, die leicht in eine andere Energieform umgewandelt werden kann, die üblicherweise im Haushalt genutzt werden, während thermische Energie (Wärmeenergie) weniger universell ist.

In puncto Elektrizität ist das Gesamtbild für einen Anstieg des Einsatzes von PV-Solaranlagen eher mäßig günstig. Die Netzstrompreise in Litauen sind eine der niedrigsten in Europa – mit 0,1097 Euro (brutto) pro Kilowattstunde, auf der am weitesten verbreiteten (laut Eurostat[4]) Netzfrequenz. Innerhalb der gesamten EU gibt es nur in einem EU-Staat günstigeren Strom für den Haushalt – in Bulgarien.

Unsere eigenen Berechnungen zeigen, dass sich eine gewöhnliche PV-Anlage in etwa 8 bis 13 Jahren auszahlt, in Abhängigkeit von der aktuellen Unterstützung auf Staatsebene und den Berechnungsannahmen. Für Länder mit besseren Kennzahlen der Netzparität wie etwa Deutschland, Spanien oder Italien ist die Wahl von Solarstrom offensichtlich – Selbsterzeugung und Eigenverbrauch bringen leicht ersichtliche Vorteile für Haushalte sowie auch für die Industrie.

In Litauen ist die Entscheidung mit einem Durchschnittspreis von 0,1097 €/kWh weniger offensichtlich. Die verhältnismäßig hohen anfänglichen Investitionskosten beeinträchtigen die Fähigkeit Solar-PV-Anlagen für die Selbsterzeugung von Strom zu installieren. Die Anzahl der „Prosumer“ (‘producing consumers’ - produzierende Verbraucher) liegt immer noch bei ungefähr 1.000 – wobei sich die meisten der Anlagen in Einfamilienhäusern befinden.

Für MFH bestehen große rechtliche Hürden für selbsterzeugten Strom. Dabei wäre gerade im MFH-Sektor die Eigennutzung von Solarenergie aus Gründen einer besseren Dynamik der gesellschaftlichen Gleichstellung und als ein Instrument für die Bekämpfung von Energiearmut eigentlich die wünschenswerteste Lösung.

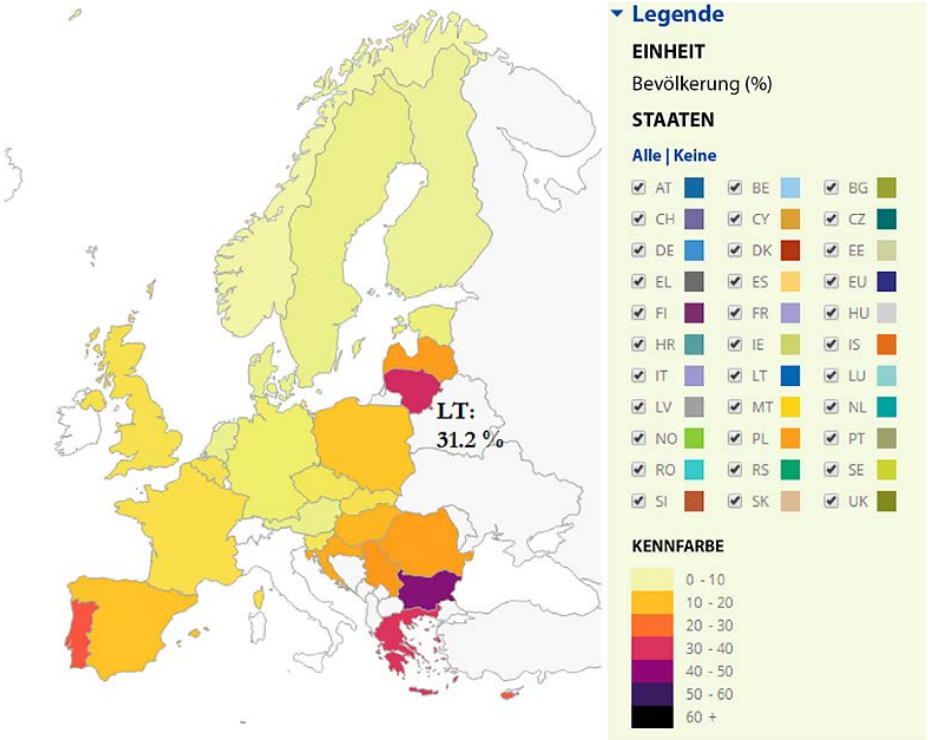
Das Letztere ist eindeutig ein Problem, um das sich der Staat und die nichtstaatlichen Akteure nicht ausreichend küm-

2 Insgesamt liegt der Preis für die Installation von 1 kWp einer Solar-PV-Kraftwerkanlage etwa bei 1.000 Euro für kleine Anlagen (mit kleineren kW-Bereichswerten) und bei 500-600 Euro pro kW Spitzenleistung für größere Anlagen (Hunderte von kW und Megawatt). Zusätzlich zu den Solarmodulen sind Montagegestelle und elektrische Zusatzausstattung notwendig, und auch die Kosten für den menschlichen und den administrativen Aufwand sollten dazugerechnet werden.

3 Diese Broschüre wurde im März 2019 gedruckt.

4 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices,_First_semester_of_2016-2018_(EUR_per_kWh).png

Unfähigkeit der Bevölkerung ihr Zuhause ausreichend warm zu halten (%) 2016

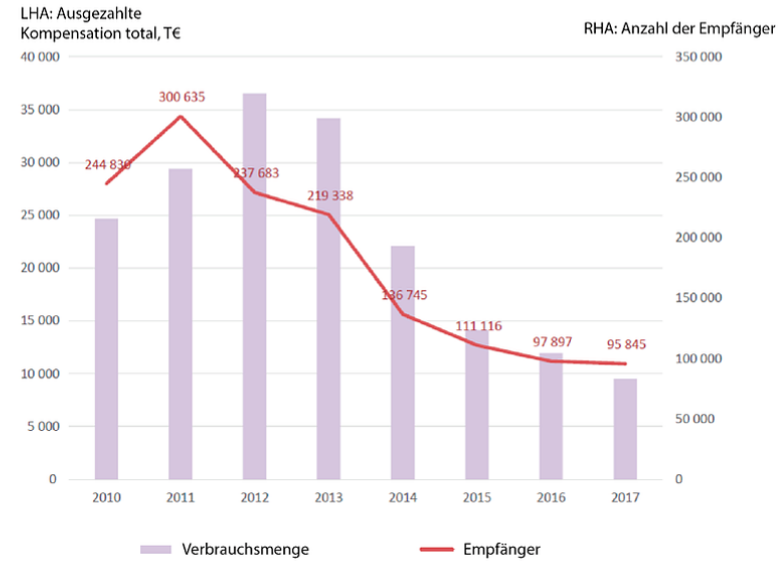


mern. Wie von der Europäischen Beobachtungsstelle für Energiearmut[5] gezeigt wird, befindet sich Litauen unter den ärmsten Staaten, wenn es um die Fähigkeit der Einwohner, „ihre Wohnung ausreichend warm zu halten", geht. Siehe Abbildung unten:

Die ärmsten litauischen Familien geben über 50 Prozent ihres monatlichen Einkommens für Heizung, Strom und Warmwasser aus. Die Wurzeln dieses Problems liegen im Erbe der Sowjetzeit, wie aus europaweiten Studien hervorgeht[6].

Durch eine Kombination von Faktoren hervorgerufen, darunter auch durch ein niedriges Haushaltseinkommen, hohe Energiekosten und energieineffiziente Wohnhäuser, sind von Energiearmut[7] gegenwärtig ca. 50 Millionen Menschen in ganz Europa betroffen, was tiefgreifende Folgen für die Gesundheit und das Wohlergehen der Bürger hat. Für Mittel-

Kompensation für Wärme und heißes Wasser an Konsumenten, die staatliche Unterstützung beziehen, 2010 - 2017



Quelle: Litauischer Zentralverband für Heizung

5 https://www.energypoverty.eu/

6 Im Bericht der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen „Energiepreise und -kosten in Europa" {SWD(2019) 1 final}, veröffentlicht am 9. Januar 2019 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52019DC0001) wird angegeben, dass innerhalb der EU nord- und westeuropäische Haushalte 4-8 % und Zentral- und Osteuropäer 10-15% von ihrem Einkommen für Energie ausgeben, ohne Transport.

7 Energiearmut bezieht sich auf eine Situation, in der Haushalte darum zu kämpfen haben, die notwendige Menge an inländischen Energiedienstleistungen zu erhalten, die einen angemessenen Lebensstandard garantieren würden, wie etwa ausreichende Wärme und Kühlung (18-21°C im Winter und 25°C im Sommer laut der Weltgesundheitsorganisation).

und Osteuropa schafft die Kombination der oben genannten Faktoren einen Teufelskreis, der sich von selbst stärkt: niedriges Einkommen (und somit niedrige oder überhaupt keine[8] Ersparnisse) beeinträchtigen die Fähigkeit, in Energieeffizienz des Hauses oder der Wohnung zu investieren, die sie bewohnen.

Die massive Wohnungsprivatisierungskampagne in den 1990er Jahren endete als eine „giftige Gabe" – viele Familien leben in Wohnungen, die sie sich im Normalfall nicht leisten könnten, wobei es keine Unterstützung für den Erhalt oder die Verbesserung der Bausubstanz gab. Familien mit einem niedrigen Einkommen und keinen Ersparnissen sind nicht dazu fähig, die Kosten für Erneuerungsarbeiten am Haus zu tragen – deshalb gibt es Mechanismen staatlicher Unterstützung, um ein massives MFH-Modernisierungsprogramm auszuführen.

Globale Klimaauswirkungen und der Drang nach einer Konsolidierung der europäischen Energiepolitik haben die Dringlichkeit verstärkt. Zur Umsetzung sind aber eine Reihe an fundamentalen und komplexen Fragen zu klären, und hier könnte in Zukunft Fortschritt erwartet werden. Ohne solche Maßnahmen wird es sehr schwierig sein, die Klimaschutz- und Energieziele bis 2030 und 2050 zu erreichen. Es besteht Potential für Gebäude den Energieverbrauch um 50 bis 60 Prozent und die CO2-Emissionen um ca. 50 Prozent zu reduzieren. Da allerdings nur 0,4-1,2 Prozent des Gebäudebestands jährlich renoviert/erneuert werden, ist es eindeutig, dass dieser Prozess beschleunigt werden muss.

In 2015 lebten ca. 15,2 Prozent der Bevölkerung der EU in Wohnungen/Häusern mit Bauschäden (wie etwa undichte Dächer, feuchte Wände, Böden oder Fundamente, oder Fäulnis am Fensterrahmen oder am Boden). Die Wichtigkeit von Energieeffizienzmaßnahmen ist einleuchtend. Die Energieeffizienzrichtlinie (EED) verfügt über das Potential, einen positiven Schritt in dieser Richtung vorzunehmen, indem sie Energieeffizienzmaßnahmen auf Haushalte mit niedrigem Einkommen im Energiebereich richtet. Somit kann diese neue EU-Rahmenvorschrift dabei helfen, die Energiearmut wirkungsvoller zu bekämpfen. Die Umsetzung in nationales Recht soll sehr gründlich ausgeführt werden, um Maßnahmen für die Lösung dieser komplexen und vielschichtigen Angelegenheit sicherzustellen.

2. Voraussetzungen und Möglichkeiten für die Expansion des Photovoltaikmarktes in Litauen

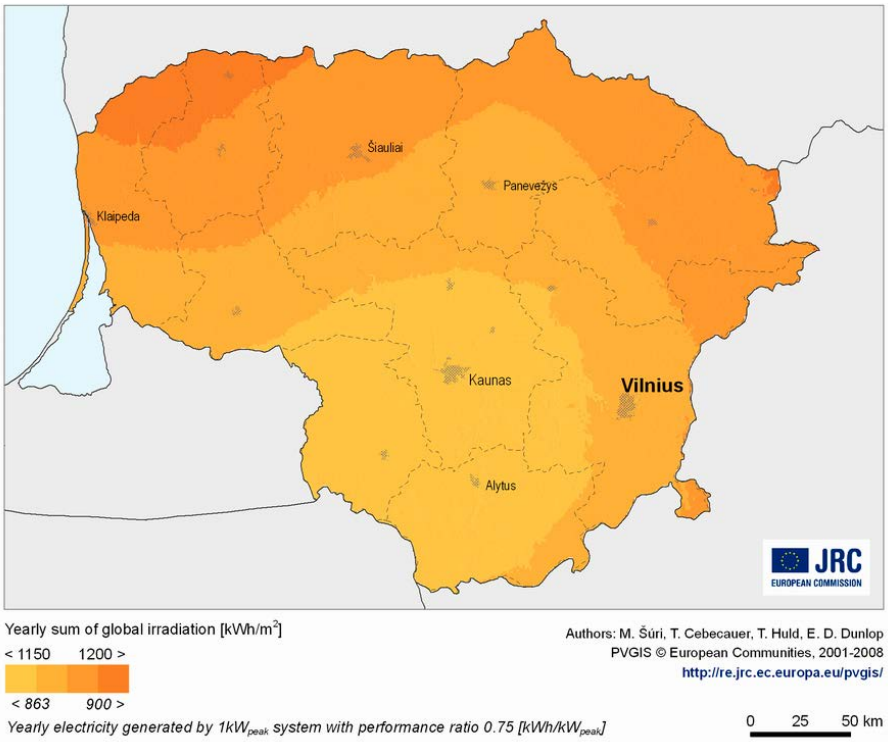
2.1 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung in Litauen

Die Sonneneinstrahlung beträgt in Litauen zwischen 900 kWh/km² und 1100 kWh/km² pro Jahr. Die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in den wichtigsten Städten Litauens (kWh/m²/Jahr): 990 in Vilnius, 1058 in Kaunas, 1062 in Klaipėda, 974 in Šiauliai und 1073 in Nida. Unter diesen Bedingungen ist es möglich, mit den neuesten Photovoltaik-Technologien durchschnittlich 950 bis 1050 kWh Strom pro Jahr zu erzeugen.

Bei einer solchen Sonneneinstrahlung und einer geringen Subvention von 30 Prozent für die Hardware ist die Produktion von Solarstrom wirtschaftlich. Daher wird sie sich definitiv verbreiten. Die litauische Energieunabhängigkeitsstrategie sieht vor, dass bis ins Jahr 2020 30 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt werden und der Anteil der Sonnenenergie an diesen Ressourcen 6 Prozent

8 Stand 2017 gaben 12 Prozent der Litauer Haushalte zu, dass sie überhaupt keine Ersparnisse beliebiger Art haben, wie eine Studie von Spinter tyrimai zeigte. Weitere 27 Prozent der Bevölkerung hatten Ersparnisse in Höhe ihrer Ausgaben für nur 1 Monat (oder weniger). Quelle: https://ziniuterasa.swedbank.lt/spaudos-pranesimai/tyrimas-be-pajamu-2-3-lietuvos-gyventoju-issiverstu-iki-3-menesiu

Globale Sonnenstrahlung und Potenzial der Solarenergie



beträgt. Im Jahr 2030 sollen 45 Prozent der gesamten Energie aus erneuerbaren Quellen stammen, wobei der Anteil der Sonnenenergie 25 Prozent betragen und rund 12 Prozent des Strombedarfs des Landes decken soll.

2.2 Bewertung des Photovoltaikmarktes

Der Photovoltaikmarkt begann sich in Litauen 2009 aktiver zu entwickeln, als der Einspeisetarif (*feed in tariff*) eingeführt und die ersten kommerziellen Projekte gestartet wurden. Kurz darauf wurde im Jahr 2011 das Gesetz zu erneuerbaren Energiequellen verabschiedet. Dies hat vor allem für kleinere Solarenergieanlagen (bis 30 kW) günstige Bedingungen geschaffen. Innerhalb von drei Jahren hat das Gesamtvolumen der Photovoltaikanlagen 60 MW erreicht. Im Jahr 2012, als die Behörden nicht rechtzeitig auf den dramatischen Preisverfall von Solarmodulen reagierten, wurde der Tarif für das Vertriebsnetz sehr attraktiv und führte zu einer „Solarstrom-Base“. Die neue Regierung hat alle Vorteile radikal aufgehoben, weshalb in den folgenden zwei Jahren in Litauen kein einziges neues Solarkraftwerk installiert wurde.

2014 wurde ein bidirektionales Abrechnungssystem für Solarstrom entwickelt. Dieses System ermöglicht die Stromerzeugung zur günstigsten Tageszeit, nämlich tagsüber und im Sommer, um ungenutzte Überschüsse sofort an den Betreiber des Verteilernetzes abzuführen und diesen Strom zu dem Zeitpunkt zu beziehen, zu dem er fehlt, also abends und im Winter. Gleichzeitig werden Haushalte nicht nur zu Stromverbrauchern, sondern zu „produzierenden Verbrauchern“, was erhebliche wirtschaftliche und soziale Folgen hat. Obwohl auf 10 kW für Hausverbraucher und 50 kW für Behörden begrenzt, hat diese Änderung den Markt belebt, wodurch 2018 eine Gesamtleistung von 80 MW erreicht wurde. Die Verbraucher könnten bis zu 30 Prozent Subventionen für die Ausrüstungskosten erhalten, und öffentliche Einrichtungen sogar bis zu 100%.

Derzeit sind die rechtlichen und wirtschaftlichen Bedingungen für die produzierenden Verbraucher günstiger denn je, und folglich steigt die Anzahl neuer Anlagen stetig an. Das Programm des Energieministeriums sieht vor, dass man im Jahr 2020 34 000 neue produzierende Verbraucher mit einer Gesamtkapazität von bis zu 200 MW zählen möchte. Dieses ehrgeizige Ziel kann nur durch die Einbeziehung der Bewohner von Mehrfamilienhäusern erreicht werden. Weitere günstige Bedingungen sind in der Änderung des Gesetzes zu erneuerbaren Energien enthalten, die derzeit vom Seimas geprüft wird. Es ist vorgesehen, einen Grenzwert von 500 kW für die Begrenzung der bidirektionalen Leistungsabrechnung anzuwenden und die Stromerzeugung nicht nur am Verbrauchsort, sondern auch an jedem anderen vom Hersteller gewählten Ort zuzulassen. Gleichzeitig sorgen ausgezeichnete Bedingungen dafür, Solarstrom nicht nur für den Hausgebrauch zu nutzen, sondern diesen Strom auch dank der Verwendung moderner Luft-Wasser-Wärmepumpen für die günstige Wärmeerzeugung zu verwenden. Aus diesem Grund haben wir diese Machbarkeitsstudie erstellt, in der wir die Möglichkeiten zur Einbeziehung von Sonnenenergie in die Sanierung von Mehrfamilienhäusern in Litauen berechnet haben.

3. Der Stand der Sanierung von Mehrfamilienhäusern in Litauen

Die Sanierung von Mehrfamilienhäusern in Litauen begann 2004, nachdem die Regierung der Republik Litauen die Resolution „zur Genehmigung des Programms zur Sanierung / Modernisierung von Mehrfamilienhäusern" verabschiedet hatte. Sie legte die Bedingungen für Sanierungs- und Förderungsmechanismen fest und gründete die Agentur zur Sanierung von Wohnhäusern (Būsto energijos taupymo agentūra), die zum Koordinator und Controller dieser Prozesse wurde. Der Sanierungsmechanismus wurde ständig verbessert.

Die letzte Änderung des Regierungsbeschlusses zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien für die Sanierung von Wohnhäusern wurde im Dezember 2018 angenommen. Damit ist die erneuerbare Energie vollständig in die Modernisierung von Mehrfamilienhäusern integriert: die Nutzung von Solar-, Wind-, Geothermie- und Aerothermieenergie ist zu günstigen Bedingungen vorgesehen. Dies ermöglicht eine vielfältigere Sanierung von Mehrfamilienhäusern und damit eine aktivere Verfolgung der Klimaschutzziele.

In Litauen (gemäß den Zahlen von 2010) gibt es 37 300 zu renovierenden Mehrfamilienhäusern aus der Sowjetzeit mit drei oder mehr Wohnungen. Bis zum 31. Dezember 2018 wurden aber nur 1650 Gebäude bzw. 6 Prozent aller Mehrfamilienhäuser renoviert. Derzeit werden 450 Gebäude renoviert. Somit warten also noch ungefähr 35 000 Gebäude auf ihre Sanierung. Dies bedeutet, nach einfacheren, kostengünstigeren und effizienteren Möglichkeiten zur Modernisierung der Gebäude zu suchen.

3.1 Optionen für die energetische Modernisierung von Mehrfamilienhäusern mit ihren Vor- und Nachteilen

Normalerweise werden in Litauen die Wände, das Dach und der Keller der Gebäude durch Dämmung isoliert, Fenster und Außentüren ersetzt, die Rohrleitungen isoliert und die Heizkörper ersetzt. Aktive Energieeffizienzmaßnahmen wie die Nutzung von Sonnenenergie, Aerothermie oder Geothermie werden sehr selten eingesetzt. Durch ihre Verwendung kann derselbe Energiespareffekt aber bei deutlich niedrigeren Kosten erzielt werden. Vor allem ist es möglich, bessere Ergebnisse bei der Reduzierung der CO2-Emissionen zu erzielen und einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der litauischen Klimaschutzprogramme zu leisten.

Besonders günstige Bedingungen für die Nutzung erneuerbarer Energien, vor allem für die Erzeugung von Solarstrom, bestehen aus einem sehr fortschrittlichen bidirektionalen Abrechnungssystem (*net metering*), das in Litauen angewandt wird. Das Wesentliche dabei ist, dass Solarstrom zu Zeiten der Lichtenergie erzeugt werden kann, d. h., tagsüber oder im Sommer, dann gegen eine geringe Gebühr zur „Aufbewahrung" ins Stromnetz übertragen und er dann verwendet wird, wenn er am dringendsten benötigt wird, d. h., bei Dunkelheit oder im Winter.

Bei Verwendung von Luft-Wasser-Wärmepumpen eignet sich dieses System besonders für die Erzeugung von Wärmeenergie. Sie verwenden dazu die Wärme der Umgebungsluft. Zur Stromerzeugung wird das Sonnenlicht genutzt.

3.1.1 Teilmodernisierung

Die vollständige Modernisierung eines Mehrfamilienhauses ist enorm kostspielig. Deshalb versuchen die Bewohner am liebsten, sie zu vermeiden. Entsprechend beträgt der Anteil der renovierten Gebäude mit der vorher genannten, vollständigen Sanierung über 10 Jahre nur 6 Prozent, doch er zeigt die Wirksamkeit einer solchen Sanierung.

Es lohnt sich, die Sanierung auf andere Weise in Angriff zu nehmen, nämlich in kleinen und sehr kostengünstigen Schritten. Einer davon ist die Modernisierung der Heizzentralen von Mehrfamilienhäusern mit neuen Mitteln. Auf diese Weise kann der Wärmeverbrauch eines Hauses kostengünstig bis zu 15 Prozent reduziert werden. Eine weitere sehr kostengünstige Möglichkeit ist, im Sommer auf die Warmwasserversorgung des zentralen Versorgungsnetzes zu verzichten. Nach dem Ende der Heizperiode sind von Mai bis Oktober die zentrale Wärmeerzeugung und -versorgung für Warmwasser und Handtuchradiatoren („Schlangen") wirtschaftlich gesehen sehr ineffizient.

3.1.2 Modernisierung mit Solarstrom und Wärmepumpen

Diese Art der Modernisierung ist attraktiv, weil zum Erreichen des Modernisierungsziels beispielsweise die Menge an Fernwärme um bis zu 60 Prozent reduziert werden kann. Dies ist eine typische Sanierungsmaßnahme, bei der die Energieeffizienzklasse des Gebäudes von F auf C erhöht werden soll. Dieses Ziel kann durch den Einsatz von Luft- und Sonnenenergie deutlich günstiger erreicht werden.

3.1.3 Traditionelle Sanierung

Die traditionelle Sanierung besteht aus der Wärmedämmung aller äußeren Strukturelemente eines Gebäudes, um deren Wärmewiderstand deutlich zu erhöhen, d. h., den Verlust thermischer Energie zu reduzieren. Gleichzeitig wird das Energiesystem des Gebäudes teilweise erneuert. Dies ist eine

sehr offensichtliche und verständliche Art der Modernisierung eines Gebäudes, aber sie ist teuer. Daher ist es nicht leicht, die Bewohner eines Gebäudes davon zu überzeugen.

3.1.4 Traditionelle Sanierung kombiniert mit der Nutzung von erneuerbaren Energien

Diese Methode ermöglicht es, dass das Gebäude fast keine Fernwärme mehr nutzt und so beinahe zu einem „Null-Energie-Haus" wird. Um dieses Niveau zu erreichen, müssen autonome Wärmeerzeugungsanlagen verwendet werden. In der Regel werden dazu Photovoltaikzellen zur Erzeugung von Solarstrom und geothermische oder aerothermische Luft-Wasser-Wärmepumpen zur Erzeugung von Wärme und Warmwasser eingesetzt.

3.2 Anwendung des Modells zur Modernisierung der Energieversorgung am Beispiel des Gebäudes an der Taikos g. 27 in Uetna

Um eine detailliertere Studie über die Modernisierung verschiedener Gebäude zu erhalten, wurde ein typisches Wohnhaus aus der Sowjetzeit an der Taikos g. 27 in Utena ausgewählt (nachfolgend als Utena-Gebäude bezeichnet).

Die wichtigsten allgemeinen Parameter sind:

- Anzahl der Wohnungen: 38
- Nutzfläche aller Wohnungen: 2043 m^2
- Fläche aller nichtbewohnbaren Räume: 101 m^2
- Gesamtfläche: 2144 m^2

Wichtige Parameter bezüglich Energie und Ökonomie:

- Wärmeverbrauch pro Jahr (1 m^2): 189 kWh
- Wärmeverbrauch pro Jahr (Total): 405 000 kWh
- Wärmemenge pro Jahr für die Zubereitung von Warmwasser (1 m^2): 54 kWh
- Wärmemenge pro Jahr für die Zubereitung von Warmwasser (Total): 110 000 kWh
- Stromverbrauch für Haushaltszwecke pro Jahr (1 m^2): 30 kWh
- Stromverbrauch für Haushaltszwecke pro Jahr (Total): 64 300 kWh
- Energieeffizienzklasse: F
- Baukosten, um die Energieeffizienzklasse des Gebäudes von F auf C zu erhöhen: 378 000 EUR
- Baukosten, um die Energieeffizienzklasse des Gebäudes von F auf A++ zu erhöhen: 667 000 EUR

Diese Parameter wurden verwendet, um die Modernisierung des Energiesystems dieses Gebäudes zu simulieren.

Das Utena-Gebäude ist aus Sicht der Sanierung nicht typisch, da seine anfängliche Energieeffizienz die Klasse F ist, wohingegen die Energieeffizienz typischer Mehrfamilienhäuser in Litauen die Klasse E ist. Dieses Gebäude wurde für die Studie ausgewählt, weil es in das innovative Projektprogramm der deutschen Regierung aufgenommen wurde und bis zur höchsten Energieklasse renoviert wird. Nachdem nun alle Energiedaten des Mehrfamilienhauses vor der Sanierung vorhanden sind und vorgesehen ist, die Informationen über den Energieverbrauch nach der Sanierung zu dokumentieren, ist es sinnvoll, die verschiedenen Varianten der Sanierung in der Simulation und in der Realität nach der Umsetzung des Projekts zu vergleichen.

3.2.1 Sanierung der Heizzentrale zusammen mit einer Teilsanierung des Warmwassersystems für die Sommerperiode

Das Ziel dieser Sanierung ist die Modernisierung der Heizzentrale des Gebäudes und der Verzicht auf die Warmwasserversorgung des zentralen Anbieters während der warmen Sommerperiode.

Die Heizzentralen der alten Gebäude ermöglichen keine Regelung der Vorlauftemperatur im Gebäude. Die Regelung der Vorlauftemperatur erfolgt daher zentral über die Vorlauftemperatur im Wärmenetz. Daher ist es nicht möglich, die Wärmeausnutzung im Haus abhängig von den Änderungen der Lufttemperatur während des Tages schnell zu regulieren. Doch die Häuser sind so unterschiedlich, wie auch die Bedürfnisse der Bewohner. Nach der Modernisierung der Wärmeeinheit sind alle diese Möglichkeiten vorhanden, wodurch sich rund 15 % Wärmeenergie einsparen lassen. Die Kosten einer solchen Modernisierung würden für das betreffende Haus etwa 20 000 EUR betragen.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Energieeffizienz besteht darin, auf die Warmwasserversorgung aus der Fernwärmezentrale zu verzichten. Die wirtschaftlichen Indikatoren für einen solchen Verzicht sind die Folgenden:

- Warmwasserverbrauch von Mai bis Oktober: 1100 m^3
- Wärmeenergie zur Erzeugung dieser Warmwassermenge: 55 000 kWh
- Leistung der Wärmepumpe für diese Wärmemenge: 42 kW
- Stromverbrauch der Wärmepumpe für diese Wärmemenge: 18 000 kWh
- Leistung des Solarkraftwerks zur Erzeugung dieser Strommenge: 19 kW
- Kosten des Solarkraftwerks: 19 000 EUR
- Kosten der Wärmepumpe inklusive Installation: 11 000 EUR
- Kosten für Solarstrom bei bidirektionaler Abrechnung: 0,03 EUR/kWh

Mit diesen Parametern berechnen wir:

- Kosten für 1 m^3 Warmwasser mit Solarstrom und Wärmepumpe: 1,5 EUR/m^3
- Kosten für 1 m^3 Warmwasser über das zentrale Fernwärmesystem: 4,52 EUR/m^3
- Unterschied: Faktor drei

In diesem Fall sind die Investitionskosten nicht berücksichtigt. Sie setzen sich wie folgt zusammen: 20 000 EUR für die Modernisierung der Wärmeinheit und 30 000 EUR für die Warmwassererzeugung. Dies berücksichtigt jedoch nicht die tatsächlichen Kosten des zentralen Fernwärmesystems, in dem eine dreimal niedrigere Kapazität als im Winter erzeugt wird. Bei einer Teilsanierung werden 30% Subventionen auf den Normalbetrag gewährt, weshalb die Amortisation folgendermaßen aussieht: 4,7 Jahre für die Sanierung der Heizzentrale und 6,5 Jahre für die Warmwasseraufbereitung.

Daher ist eine Teil- oder „geringe Sanierung" viel kostengünstiger als eine herkömmliche Sanierung, bei der das gesamte Gebäude isoliert wird.

3.2.2 Erhöhung der Energieklasse eines Gebäudes von F auf C ohne Isolierung

Diese Modernisierung erfolgt mit Solarstrom und Wärmepumpen.

Wie bereits erwähnt, besteht das Ziel der Sanierung, oder besser gesagt der Modernisierung alter Gebäude darin, den Ener-

gieverbrauch von Gebäuden und somit die Kosten für Heizung und Warmwasser für die Bewohner zu senken. Gleichzeitig sollen die CO2-Emissionen gesenkt und die Umwelt vor dem Treibhauseffekt geschützt werden. Zu diesem Zweck wird üblicherweise die traditionelle Art der Isolierung der Wände eines Hauses, des Austauschs von Fenstern und Türen und der Verwendung anderer passiver Mittel verwendet.

Es gibt aber noch einen anderen Weg, um das gleiche Ergebnis zu erzielen: die schmutzige CO2-Wärme (aus Gas- oder sogar aus Biokraftstoffen) durch saubere Sonnen- und Luftwärme aus Photovoltaik-Solarmodulen und Luft-Wasser-Wärmepumpen ersetzen. Die rechtlichen, technischen und administrativen Möglichkeiten für diese Modernisierungsmethode in Litauen stehen kurz vor dem Abschluss, da sie ein bidirektionales Abrechnungssystem (*net metering*) für Solarenergie aus Solarkraftwerken bis 500 kW verwenden sowie die Anwendung dieses Systems für die Stromerzeugung ermöglichen, die unabhängig vom Ort des Stromverbrauchs erfolgt.

Nachstehend zeigen wir die wirtschaftlichen Auswirkungen einer solchen Modernisierung am Beispiel des Utena-Gebäudes unter Verwendung der oben genannten Gebäudedaten auf.

Durch die Sanierung von der Klasse F zur Klasse C werden voraussichtlich 253 100 kWh Wärme eingespart.

Dieses Sanierungsprojekt würde 378 000 EUR kosten.

Die Kosten für die gleiche Wärmeeinsparung berechnen wir auf andere Weise, nämlich mit einem Solarkraftwerk und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe. Der jährliche SCOP-Wirkungsgradindikator für diese Pumpe ist 3, d. h., 1 kWh Strom wird in 3 kWh Wärme umgewandelt. Um den gleichen Effekt zu erzielen, werden 253 000: 3 = 85 000 kWh Strom benötigt.

Die Wärmepumpe, die pro Jahr 253 000 kWh erzeugen soll, muss eine Wärmeleistung von 125 kW aufweisen und kostet mit vollständiger Installation 80 000 EUR.

Das Solarkraftwerk, das jährlich 85 000 kWh Energie erzeugen soll, muss eine Leistung von 90 kW aufweisen und kostet mit vollständiger Installation 90 000 EUR. Bei dieser Methode lohnt es sich, die Heizkörper auszutauschen, was 10 000 EUR kosten würde.

Die Gesamtkosten für die Modernisierung des Energiesystems des Gebäudes mit Solarkraftwerk und Wärmepumpe betragen 180 000 EUR. Das traditionelle Sanierungsprojekt sieht Baukosten in Höhe von 378 000 EUR vor.

Die Schlussfolgerung ist, dass die Modernisierung des Energiesystems des Gebäudes, durch die 62 Prozent der Wärmeenergie eingespart werden können (wie im Sanierungsplan für die Verbesserung von Klasse F zur Klasse C vorgesehen), indem „schmutzige" Wärmeenergie durch „grüne" Energie ersetzt wird, **2,1 Mal billiger wäre als die Isolierung des Hauses auf herkömmliche Weise**.

Es ist allerdings zu erwähnen, dass nicht komplett auf eine Verbesserung der Gebäudehülle verzichtet werden sollte, da hier nicht nur energetische Themen, sondern auch bauphysikalische (Zugluft, Wärmebrücken, Kondensation am Fenster) und Komforthemen (kalte Oberflächen) berücksichtigt werden.

3.2.3 Traditionelle Sanierung

Bei der traditionellen Sanierung werden alle Außenkonstruktionen eines Gebäudes isoliert, die Fenster und Außentüren ersetzt sowie die Heizzentralen und die Komponenten des Heizungssystems modernisiert.

In dieser Studie wurde diese Methode nicht detaillierter untersucht, da solche Sanierungen schon lange durchgeführt werden und in vielen Gebäuden bereits Studien von diversen Institutionen durchgeführt wurden.

Wie bereits erwähnt, soll der Verbrauch von Wärmeenergie im Falle des Utena-Gebäudes von 405 000 kWh/Jahr auf 152 000 kWh/Jahr reduziert werden, d. h., um 253 000 kWh/Jahr. Gleichzeitig würde sich die Energieeffizienzklasse des Gebäudes von der Klasse F zur Klasse C verbessern.

Die Kosten dieser Arbeiten betragen 378 000 EUR.

Da in Utena die Kosten für Fernwärme 4,72 ct/kWh betragen, würden durch die Sanierung 11 950 EUR Heizkosten pro Jahr eingespart. Für eine solche Sanierung beträgt die berechnete **Amortisation 31 Jahre.**

Natürlich ist der soziale und ästhetische Effekt einer solchen Sanierung nicht berücksichtigt: das Haus ist äußerlich attraktiver, und es ist schön, darin zu wohnen. Solche Faktoren sind sehr wichtig, aber ökonomisch schwer einzuschätzen.

3.2.4 Traditionelle Sanierung kombiniert mit der Nutzung von erneuerbaren Energien

In Europa breitet sich die Bewegung für die Einrichtung von energieeffizienten Passivgebäuden mit der Energieeffizienzklasse A++ aus. Solche Häuser sind zweifellos die Zukunft von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Es ist nicht möglich, ein A++-Haus ohne lokale Energieerzeugung auszustatten, d. h., für das renovierte Gebäude müssen Systeme erneuerbarer Energien verwendet werden. Der Versuch, solche Vorzeigmodelle zu installieren, ist notwendig, weil sowohl Wissenschaftler als auch Praktiker die Besonderheiten dieser Häuser verstehen und dabei lernen müssen, wie sie ökonomisch und technisch effizient gestaltet werden können.

Diese Methode wurde auch im Falle des Utena-Gebäudes berechnet. Dieses Gebäude soll nicht nur isoliert werden, sondern auch ein mit einer Erdwärmepumpe verbundenes Solarkraftwerk erhalten.

Im Falle des A++-Gebäudes soll der Verbrauch von Wärmeenergie von 405 000 kWh/Jahr auf 34 000 kWh/Jahr reduziert werden, d. h., um 371 000 kWh/Jahr. In diesem Fall würden für das Heizen eines Quadratmeters 1,62 kWh/Jahr ausreichen, während bei einem nicht renovierten Gebäude 188,86 kWh/Jahr notwendig sind, sodass der Wärmeverbrauch um 99,1 % reduziert werden würde. Um dieses Ergebnis zu erreichen, werden neben der traditionellen Isolierung ein 18-kW-Solarkraftwerk, eine 24-kW-Wärmepumpe und eine Gruppe von 8-kW-Solarkollektoren für die Warmwassererzeugung installiert.

Eine solche Sanierung eines Mehrfamilienhauses wäre sehr attraktiv, jedoch ist der Preis mit 667 000 EUR ohne Planung und zusätzliche Arbeiten sehr hoch. Die Nettoamortisation des Projekts beträgt **35 Jahre.** Daher ist dieser Weg ohne zusätzliche staatliche oder sonstige Subventionen für die Bewohner nicht attraktiv. Wir hoffen, dass wir anhand des mit Subventionen realisierten Projekts des Utena-Gebäudes konkret berechnen können, ob sich die Sanierung des Gebäudes bis zur höchsten Energieklasse in finanzieller und ökologischer Hinsicht lohnt.

4. Technische Expertise

Im Zuge des Forschungsprojekts wird untersucht, unter welchen Randbedingungen die Investition in eine Photovoltaikanlage bei Mehrfamilienhäusern sinnvoll ist. Hierzu werden im ersten Schritt zwei typische Mehrfamilienhäuser ausgewählt, eines in Stahlbetonbauweise (panel house) und eines in monolithischer Bauweise (brick house).

Die Auswahl der Gebäude ist repräsentativ für ca. 20 000 Gebäude in Litauen (vgl. Abbildung 1).

Im ersten Schritt werden die Bestandsgebäude mit Hilfe des Programms EnergyPlus thermisch simuliert, um den Heizwärmebedarf zu bestimmen. Auf Basis dieses Wertes und eines gemessenen Energieverbrauchs für die Trinkwarmwasserbereitung wird der Endenergiebedarf für die Heizung und das Trinkwarmwasser ermittelt. Hierbei werden Verluste in der Trinkwarmwasserverteilung von ca. 20 % und in der Heizungsverteilung von ca. 10 % angenommen. Als Hilfsstrombedarf werden 2% der verbrauchten Wärme angesetzt. Der Stromverbrauch für Nutzerstrom basiert auf gemessen Werten.

Mittels dieser Kombination kann der gesamte Endenergiebedarf des Gebäudes ermittelt werden. Das Vorgehen zeigt Abbildung 2.

Neben der Bestandssimulation werden je Gebäude drei Varianten mit unterschiedlicher Gebäudehülle simuliert. Hierfür werden die U-Wert-Anforderungen der litauischen Energieeffizienzklassen berücksichtigt. Ebenso wird die Anforderung an die Luftdichtheit berücksichtigt. Nicht berücksichtigt werden die endenergetischen und die primärenergetischen Anforderungen der Energieeffizienzklassen, die neben der Gebäudehülle auch die Energieerzeugung und -träger in die Berechnung einbeziehen.

Diese Nichtberücksichtigung der energetischen Anforderungen wird in Kauf genommen, da im Forschungsprojekt ein Vergleich zwischen Gebäudedämmung und Photovoltaikintegration und deren Effekt auf die Energiekosten erfolgt.

Nach Bestimmung der Energiebedarfe für Strom und Wärme wird über eine Simulation ermittelt, wie hoch die Stromerzeugung und der Eigennutzungsanteil von PV-Strom in Abhängigkeit der Ausrichtung und der Dachbelegung ist.

Auf Basis dieser Kennwerte werden Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Anlehnung an die VDI 2067 [9] (Vollkostenbetrachtung) durchgeführt. Die Ergebnisse dienen zur Ableitung von Empfehlungen.

Abbildung 1:
Ausgewählte Gebäude

Typical MFH „brick house"
(~ 2/3 of building stock)

~ 14.000 units in total

simple brick construction

district heating system

Typical MFH „panel house"
(~ 1/3 of building stock)

~ 6.000 units in total

simple ferro concrete construction

district heating system

9 VDI 2067 Blatt 1 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen; Grundlagen und Kostenberechnung Schriftart Fußnoten

Abbildung 2:
Vorgehen zur Ermittlung des Endenergiebedarfs

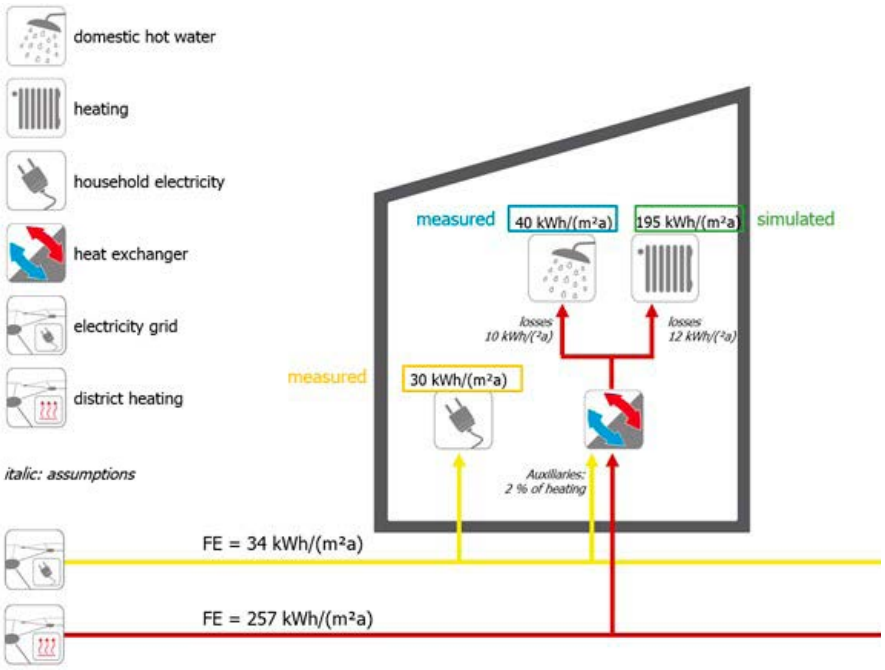


Abbildung 3:
Basisdaten brick house

	W/(m²K)
U_{Wall}	1,27
U_{Window}	2,5
U_{Roof}	0,85
U_{Floor}	0,93
n_{50}	3 h^{-1}

2760 m² living area
55 flats
ground area 63,4 m x 11,05 m
5 storeys
~ 30 % window area ratio on „long side"
measured total heat consumption: 156 kWh/(m²a)
measured total DHW consumption: 70 kWh/(m²a)
measured total electr. consumption: 21,3 kWh/(m²a)

Abbildung 4:
Basisdaten panel house

	W/(m²K)
U_{Wall}	1,27
U_{Window}	2,5
U_{Roof}	0,85
U_{Floor}	0,71
n_{50}	3 h^{-1}

2043 m² living area
38 flats
ground area 40 m x 15,5 m
5 storeys
~ 30 % window area ratio on all sides
measured total heat consumption: 189 kWh/(m²a)
measured total DHW consumption: 55 kWh/(m²a)
measured total electr. consumption: 30 kWh/(m²a)

Tabelle 1: Randbedingungen Gebäudehülle und Infiltration

Heat-transfer coefficient [W/(m²K)]	Floor	Class C	Class A	Class A++
Roof	0.85	0.16 → **18 cm of ins.**	0.10 → **31 cm of ins.**	0.08 → **40 cm of ins.**
Wall	1.27	0.25 → **12 cm of ins.**	0.12 → **26 cm of ins.**	0.10 → **32 cm of ins.**
Floor	0.93	0.25 → **9 cm of ins.**	0.14 → **20 cm of ins.**	0.10 → **30 cm of ins.**
Window	2.5	1.6 → double glazing	1.0 → double glazing	0.7 → double glazing
n_{50} [h^{-1}]	3	2	1	0.6

Im Gegensatz zu den rechtlichen Anforderungen wird in diesem Projekt zusätzlich auch der Haushaltsstrom betrachtet.

4.1 Gebäude und Randbedingungen der Simulationen

Ausgewählt wurden zwei unsanierte Gebäude, die der typischen Bebauung in Litauen entsprechen. Beide Gebäude sind fünfgeschossig. Fotos und weitere Kennwerte zu Flächen und zur Gebäudehülle zeigen Abbildung 6 und Abbildung 7.

Die thermische Simulation erfolgt auf Basis von EnergyPlus. Als klimatische Randbedingungen werden Meteonorm-Wetterdaten vom Standort Kaunas gewählt. Die U-Werte werden durch einfache Ziegel- bzw. Stahlbetonkonstruktionen abgebildet. Die g-Werte der Verglasung werden mit 0,5 angesetzt. Als Infiltrationsluftwechsel wird auf Basis des Luftwechsels bei 50 Pa Druckdifferenz und Gl. 61 bzw. Gl. 62 aus DIN V 18599[10] Teil 2 angesetzt. Die Berücksichtigung von internen Lasten und Fensterlüftung erfolgt über Nutzungsprofile der DIN V 18599 bzw. nach Standardlastprofil vom BDEW.

Für die Simulation der sanierten Varianten werden die U-Wert-Anforderungen sowie die Anforderungen der n50-Luftwechsel an die jeweiligen litauischen Energieeffizienzklassen berechnet. Tabelle 1 zeigt den Überblick über die Randbedingungen sowie die notwendige Dämmschichtdicke bei Nutzung eines typischen Dämmstoffs mit der Wärmeleitgruppe 035.

4.2 Ergebnisse der Heißwärmebedarfssimulation

Mit Hilfe von EnergyPlus wurden Simulationen für die beiden Gebäude durchgeführt. Hierbei wurde in einem Raster von 15° gearbeitet, um den Einfluss der Orientierung des Gebäudes zur überprüfen. Dieser Einfluss war vernachlässigbar. Genaue Ergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Als Mittelwerte für die Heizwärmebedarf ergeben sich für das brick house 144 kWh/(m²a) im unsanierten Zustand, 65 kWh/(m²a) für die Energieeffizienzklasse C, 44 kWh/(m²a) für die Energieeffizienzklasse A und 10 kWh/(m²a) für die Energieeffizienzklasse A++. Es ist anzumerken, dass bei der Energieeffizienzklasse A++ eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung berücksichtigt wurde. In der Klasse A++ wird aus Kostengründen auf die Berücksichtigung einer Lüftungsanlage verzichtet. Abbildung 5 zeigt den simulierten Heizwärmebedarf für das brick house.

Abbildung 5: Heizwärmebedarf brick house für unterschiedliche Energieeffizienzklassen

10 DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden: Berechnung des Nutz-, End und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung– Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

Abbildung 6: Heizwärmebedarf panel house für unterschiedliche Energieeffizienzklassen

Abbildung 6 zeigt den Heizwärmebedarf für das panel house. Auch hier wurde für Energieeffizienzklasse A++ eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung berücksichtigt. Als Mittelwerte für die Heizwärmebedarf ergeben sich 184 kWh/(m²a) im unsanierten Zustand, 67 kWh/(m²a) für die Energieeffizienzklasse C, 37 kWh/(m²a) für die Energieeffizienzklasse A und 8 kWh/(m²a) für die Energieeffizienzklasse A++.

4.3 Endenergiebedarfe und Energiekosten der Gebäude

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen den Endenergiebedarf des Gesamtgebäudes. Hierbei wird auch der Haushaltsstrom der Wohnungen berücksichtigt, da auch dieser die Energiekosten der Wohnungen im Haus beeinflusst. Für die Verluste in der Heizwärmeverteilung werden für das unsanierte Gebäude 12 kWh/(m²a) und für das sanierte Gebäude 5 kWh/(m²a) angenommen, für die Trinkwarmwasserversorgung werden Verteilverluste von 10 kWh/(m²a) angenommen. Ebenso wird angenommen, dass sich der Verbrauch an Trinkwarmwasser durch eine energetische Sanierung nicht ändert. Lediglich die Verteilverluste werden minimiert, dieser Wärmeverlust entsteht in der thermischen Hülle und reduziert wiederum den Heizwärmebedarf. Daher wird angenommen, dass sich keine Änderung im Endenergiebedarf für das Trinkwarmwasser ergibt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass bei besseren Energieeffizienzklassen der Strombedarf einen immer größeren Teil am Gesamtenergiebedarf aufweist. Ebenso zeigt sich, dass der Trinkwarmwasserbedarf zur entscheidenden Größe im Bereich des Wärmeverbrauchs wird.

Werden die Arbeitspreise für Fernwärme und Strom mit Stand vom Januar 2019 berücksichtigt, verschieben sich die Anteile noch stärker in Richtung des Stroms (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10).

Auf Basis dieser Kennwerte wird überprüft, inwieweit eine Photovoltaikintegration wirtschaftlich, aber auch ökologisch sinnvoller ist als Erhöhung der Dämmung.

4.4 Ergebnisse der PV-Simulation

Zur Bestimmung des wirtschaftlichen und ökologischen Potenzials von PV-Integration auf Mehrfamilienhäusern muss zunächst der Ertrag bestimmt werden. Hierzu wird mit Hilfe

Abbildung 7: Endenergiebedarf inkl. Nutzerstrom brick house

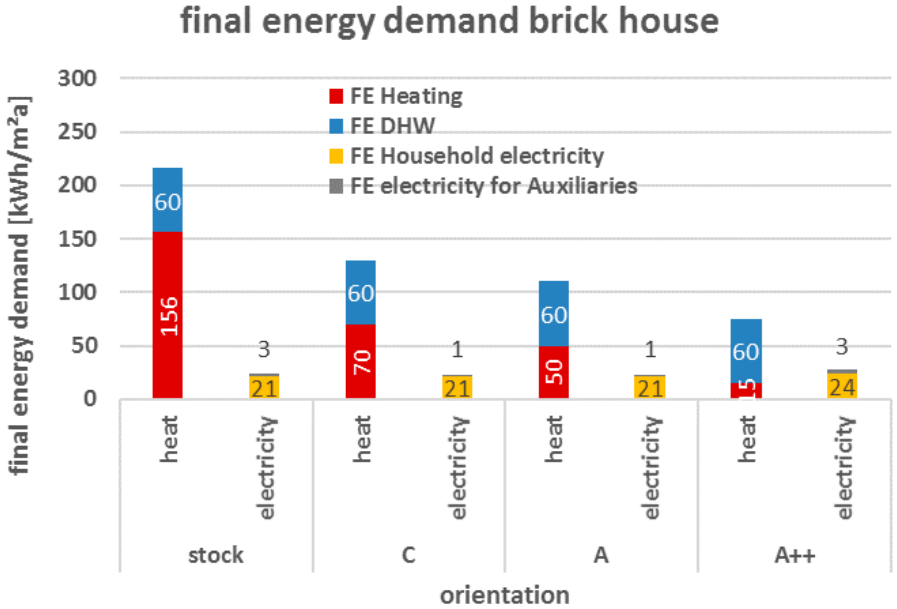


Abbildung 8: Endenergiebedarf inkl. Nutzerstrom panel house

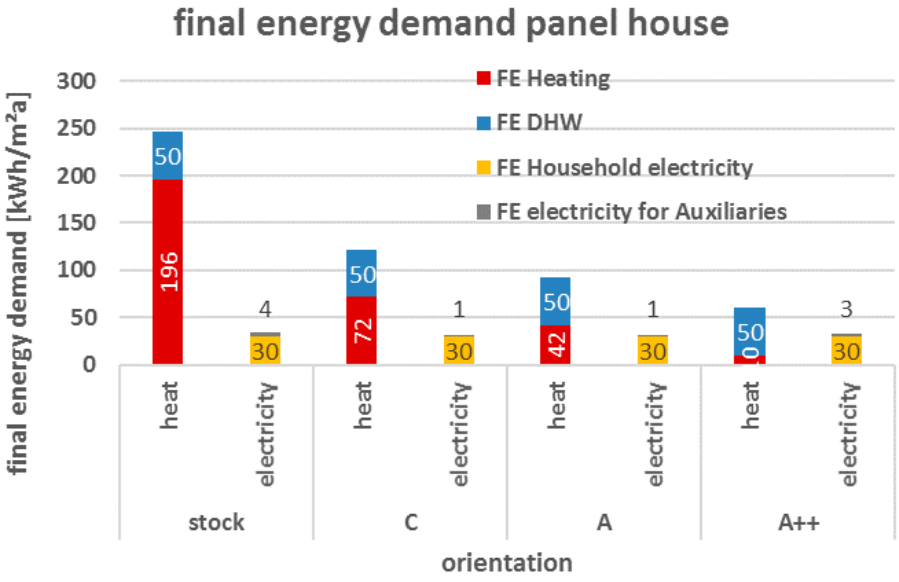
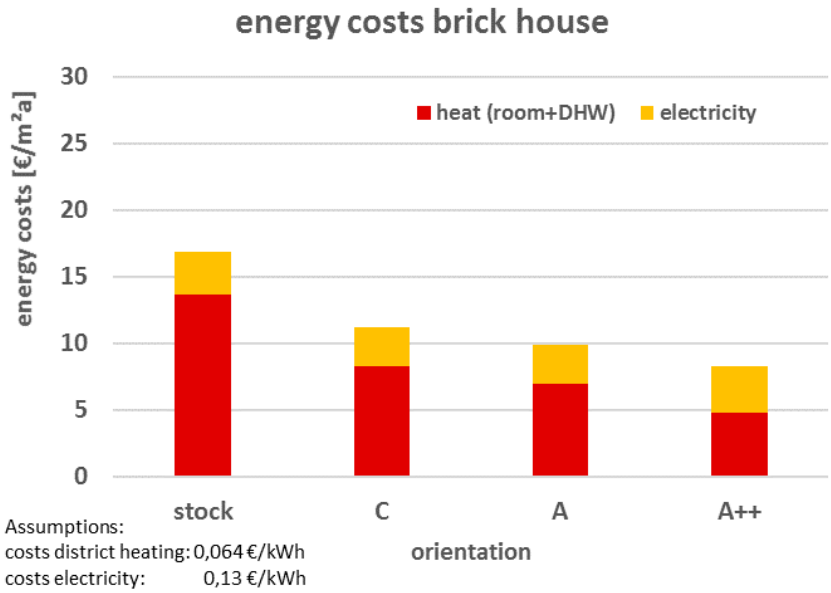
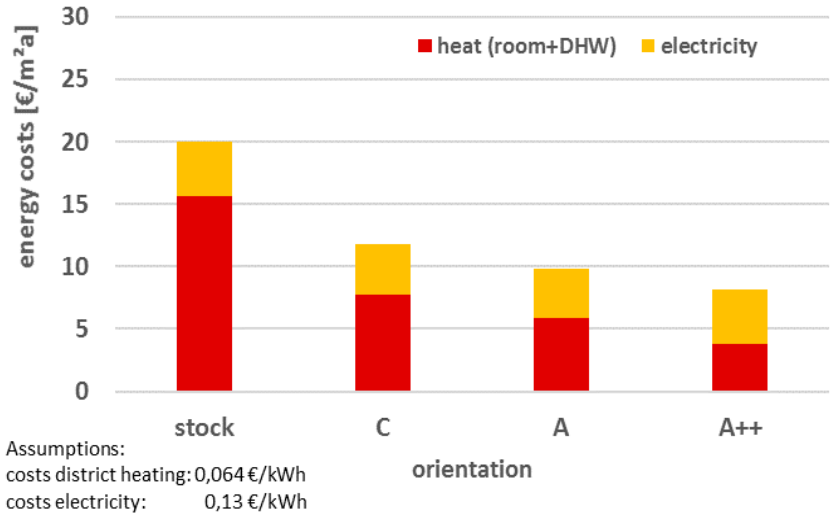


Abbildung 9: Energiekosten (ohne Grundpreise) brick house



Assumptions:
costs district heating: 0,064 €/kWh
costs electricity: 0,13 €/kWh

Abbildung 10: Energiekosten (ohne Grundpreise) panel house



Assumptions:
costs district heating: 0,064 €/kWh
costs electricity: 0,13 €/kWh

Abbildung 11: Vergleich der Dachbelegung bei verschiedenen Neigungswinkeln am Beispiel Berlin

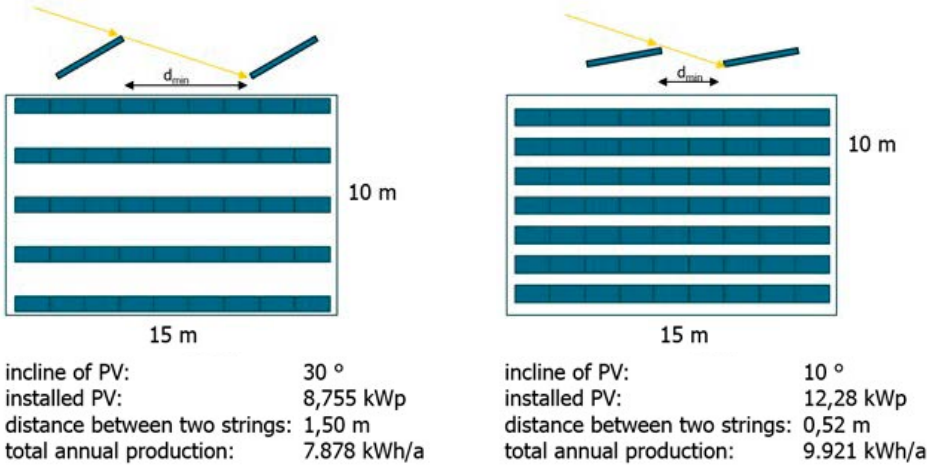


Abbildung 12: PV-Produktion, Eigennutzung und Einspeisung für verschiedene Dachbelegungen und Orientierungen, brick house

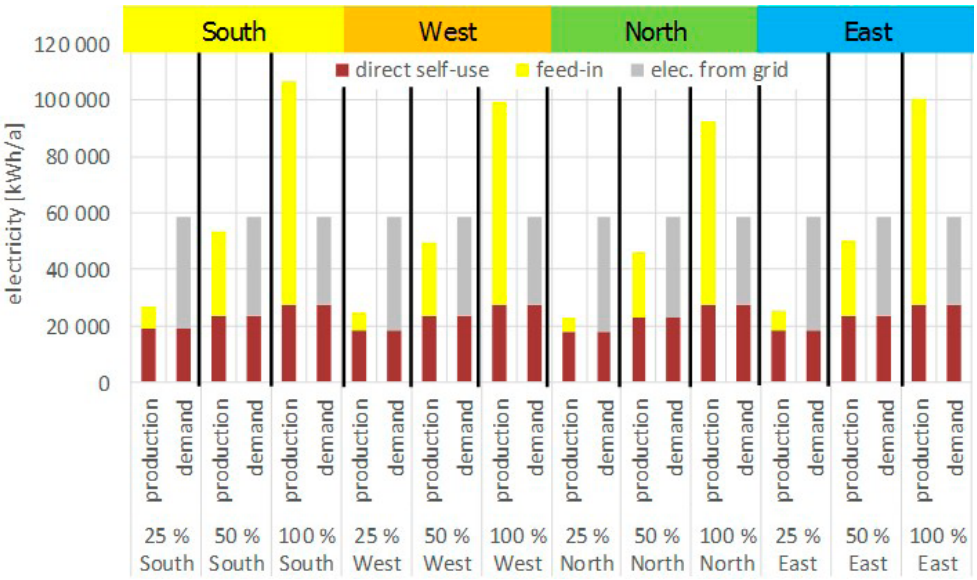
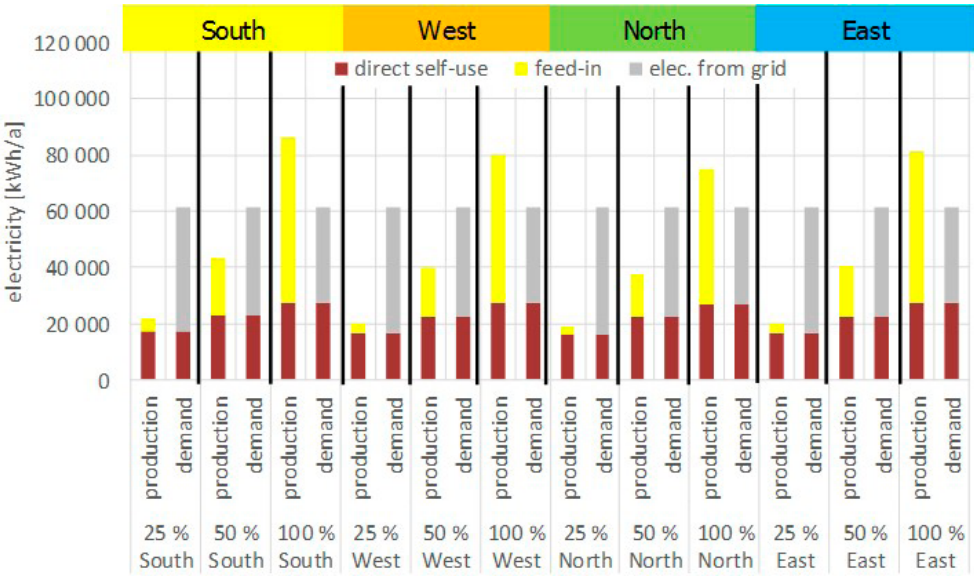


Abbildung 13: PV-Produktion, Eigennutzung und Einspeisung für verschiedene Dachbelegungen und Orientierungen, panel house



des Programms TRNSYS der mögliche PV-Ertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung simulativ ermittelt.

Als Aufstellwinkel wird 10° gewählt, da in diesem Fall mehr Module auf gleicher Fläche installiert werden können. Der spezifische Ertrag sinkt durch die nicht optimale Neigung, der Gesamtertrag steigt aber durch die erhöhte Kapazität, die auf der gleichen Dachfläche installiert werden kann (vgl. Abbildung 11).

Die Simulation wird für beide Gebäude für vier Ausrichtungen (Nord, Ost, Süd, West) und jeweils drei unterschiedliche Belegungen (25 %, 50 % und 100 % der verfügbaren Dachfläche) durchgeführt. Die verfügbare Dachfläche wird mit 80 % der Grundfläche angenommen. Weiterhin wird ein spezifischer Flächenbedarf von 5 m²/kWp (Hochleistungsmodule) angesetzt.

Die maximal zu installierenden PV-Leistungen betragen somit 112 kWp (brick house) bzw. 91 kWp (panel house).

Es entstehen somit für jedes Gebäude zwölf Profile für PV-Strom.

Aufgrund des finanziellen Vorteils der Direktnutzung und Überschusseinspeisung mit Net-Metering gegenüber der Volleinspeisung muss der Eigennutzungsanteil für jeden Fall bestimmt werden. Hierzu ist ein Verbrauchsprofil notwendig. Als Grundlage dient das H0-Profil des BDEW, das mit dem jeweiligen Strombedarf des Gebäudes skaliert wird. Über die Bilanzierung von Erzeugung und Bedarf auf 15-Minuten-Basis lässt sich der Eigennutzungsanteil bestimmen. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die Strombilanzen für die unterschiedlichen Dachbelegungen und -orientierungen bei jeweils 10° Neigung der Module.

Es ist zu erkennen, dass in beiden Gebäuden bis zu 40 % des Bedarfs durch Direktnutzung von PV-Strom gedeckt werden kann. Ebenso ist zu erkennen, dass bei etwa 60 % (brick house) bzw. ca. 80 % (panel house) Belegung des Daches die Erzeugung dem Bedarf entspricht.

Aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen zum Net-Metering, bei dem eine Produktion von Strom, die über dem Bedarf liegt, keine wirtschaftlichen Vorteile bietet, muss eine Vollbelegung des Daches aus ökonomischer Sicht hinterfragt werden.

4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Nach dem in den vorherigen Kapiteln die Endenergiebedarfe ermittelt wurden und das Potenzial von PV-Integration energetisch bewertet wurde, werden nun ökonomische Betrachtungen durchgeführt. Hierbei wird eine Vollkostenbetrachtung analog zur VDI 2067 angewendet, d. h., es werden über einen Zeitraum von 20 Jahren die kapitalgebundenen Kosten durch die Investition, die betriebsgebundenen Kosten (Wartung, Instandsetzung) sowie die bedarfsgebundenen Kosten (Energiekosten) ermittelt.

Es wird angenommen, dass das Gebäude weiterhin am Fernwärmenetz angeschlossen ist (vgl. Abbildung 17). Ebenso wird angenommen, dass Verteil- und Übergabeverluste reduziert werden.

Zur Bewertung des Einflusses der Photovoltaik werden zehn Varianten untersucht:

1) keine Sanierung, keine PV
2) keine Sanierung, 25 % Dachfläche mit PV belegt
3) keine Sanierung, 50 % Dachfläche mit PV belegt
4) keine Sanierung, 100 % Dachfläche mit PV belegt
5) Sanierung Gebäudehülle nach Anforderungen der Klasse C, keine PV
6) Sanierung Gebäudehülle nach Anforderungen der Klasse C, 25 % Dachfläche mit PV belegt
7) Sanierung Gebäudehülle nach Anforderungen der Klasse C, 50 % Dachfläche mit PV belegt
8) Sanierung Gebäudehülle nach Anforderungen der Klasse C, 100 % Dachfläche mit PV belegt
9) Sanierung Gebäudehülle nach Anforderungen der Klasse A, keine PV
10) Sanierung Gebäudehülle nach Anforderungen der Klasse A++, keine PV

Abbildung 14: Investitionskosten brick house

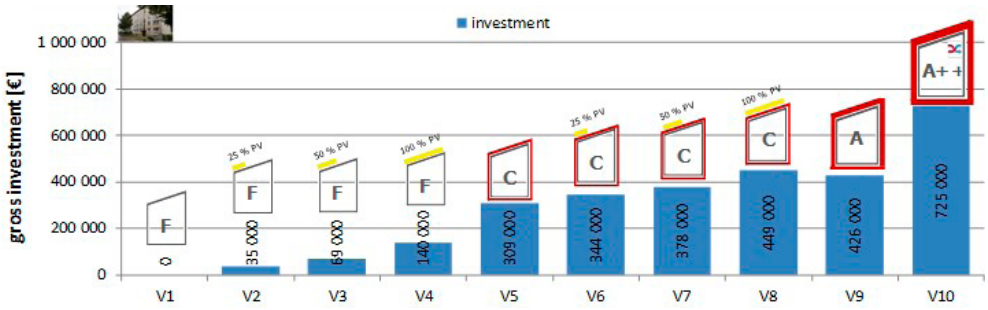


Abbildung 15: Investitionskosten panel house

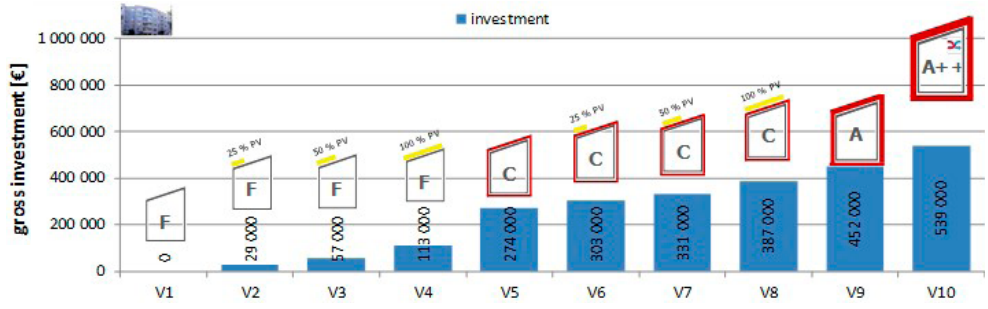


Abbildung 16: Jahresgesamtkosten brick house im ersten Jahr

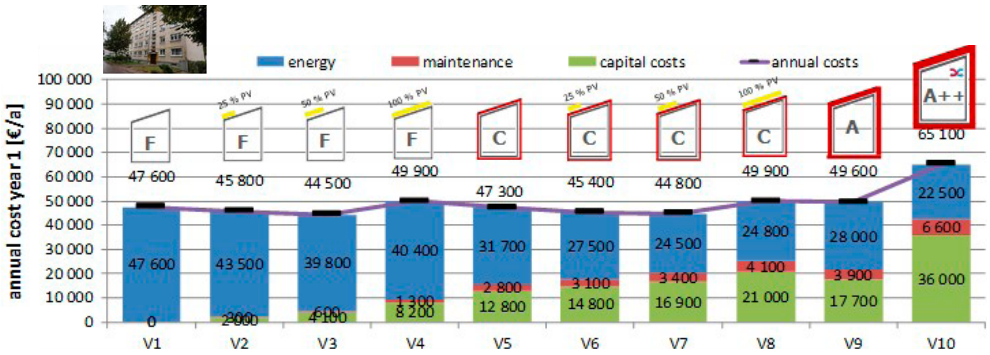
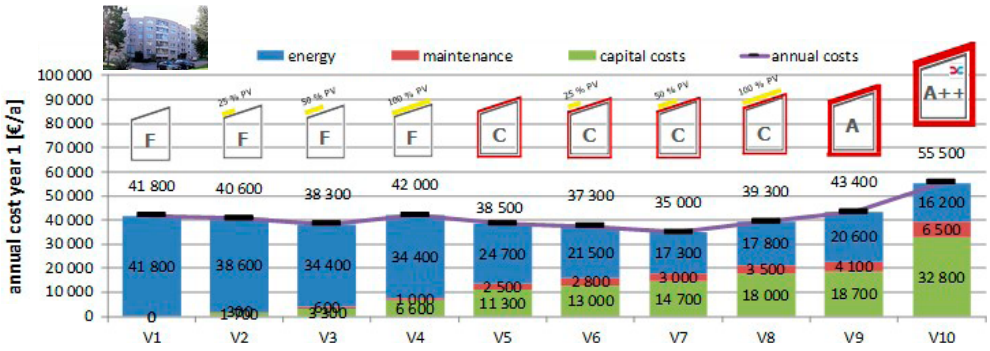


Abbildung 17: Jahresgesamtkosten panel house im ersten Jahr



Als Grundlage zur Bewertung dienen spezifische Kennwerte für die Investition je cm und m² Dämmung sowie für die Investition der PV-Anlage (1 100 €/kWp netto). Bei der Gebäudehülle werden nur die energiebedingten Mehrkosten angesetzt.

Als Lebensdauer werden für die PV-Anlage 25 Jahre, für die Gebäudehülle 50 Jahre angesetzt. Die in der Klasse A++ notwendige Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung hat eine Lebensdauer von 20 Jahren. Ein Kapitalzinssatz von 3% wird angesetzt. Für die Energiepreissteigerung werden zwei Fälle untersucht, eine Steigerung der Energiepreise von 2 %/a und eine Energiepreissteigerung von 5 %/a. Eine Übersicht über die Randbedingungen ist im Anhang zu finden.

Net-Metering, also die Einspeisung von Strom bei Überproduktion und die Beziehung des eingespeisten Stroms zu vergünstigten Konditionen (~ 4 ct/kWh), wenn die PV-Produktion nicht ausreicht, wird berücksichtigt. Die maximale Menge, die vom Netz zu vergünstigten Konditionen zurückgekauft werden kann, entspricht der Einspeisung oder im Falle einer Überdimensionierung der PV-Anlage (Erzeugung > Bedarf) dem Strombedarf. Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen die Investitionskosten für die jeweilige Varianten.

Die Investitionskosten liegen zwischen 12,70 €/m² bzw. 636 €/WE und 262,68 €/m² bzw. 13 181 €/WE für das brick house und zwischen 14,19 €/m² bzw. 763 €/WE und 263,83 €/m² bzw. 14 184 €/WE beim panel house. Die Unterschiede sind erheblich. Insbesondere die Kosten für die Nachrüstung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (V10) erhöhen den zu investierenden Betrag erheblich.

Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen die Jahresgesamtkosten im ersten Jahr (ohne Energiepreissteigerung). Es ist zu erkennen, dass abgesehen von der Sanierung auf Klasse A+ die Jahresgesamtkosten etwa 10 % beim brick house und bis ca. 15 % beim panel house voneinander abweichen. Ebenfalls ist zu erkennen, dass die Energiekosten bei einer Sanierung auf A++ am geringsten sind, jedoch die Jahresgesamtkosten aufgrund der hohen Investition am höchsten sind. Die geringsten Jahresgesamtkosten weisen jeweils die Varianten V7 mit einer Sanierung auf Klasse C und einer 50-prozentigen Dachbelegung mir Photovoltaik auf. Die etwas höheren Gesamtkosten bei einer Vollbelegung des Daches gegenüber der nur halben Belegung des Daches sind mit dem System des Net-Metering zu begründen. Wird mehr erzeugt, als im Jahresverlauf im Gebäude verbraucht wird, wird diese Differenz dem Netz kostenlos zur Verfügung gestellt, und die zusätzliche PV-Fläche, durch die ein Überschuss in der Jahresbilanz entsteht, ist nicht wirtschaftlich.

Ebenso ist zu erkennen, dass zunächst die energetische Sanierung wirtschaftlicher ist als die PV-Integration (Vergleich V5 und V2-V4). Die Erhöhung des Dämmstandards vermindert, wie physikalisch zu erwarten ist, die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme (Vergleich V5 und V9-V10). Dies bedeutet, dass die Integration von Photovoltaik in Kombination mit der Sanierung auf Energieeffizienzklasse C wirtschaftlicher ist als die Sanierung auf Energieeffizienzklasse A oder A++ (Vergleich V7 und V9-10).

Werden Energiepreissteigerungen von 2 %/a bzw. 5 %/a für den Stromnetzbezug und für den Fernwärmebezug sowie konstante Kosten für Strom aus dem Net-Metering angesetzt, so ergeben sich Gesamtkosten über 20 Jahre von 1,0 (V7, 2 %/a) bis 1,6 Mio. € (V10, 5 %/a) für das brick house (vgl. Abbildung 18) bzw. 0,8 (V7, 2 %/a) und 1,4 Mio € (V10, 5 %/a) für das panel house (vgl. Abbildung 19).

Bei beiden Gebäuden ist zu erkennen, dass die Variante 7, d.h., die Sanierung der Gebäudehülle nach den Anforderungen der Energieeffizienzklasse C und die Nutzung von Photovoltaik, am wirtschaftlichsten ist und daher bevorzugt werden sollte.

Um auf das Thema Energiearmut zurückzukommen, wird im Folgenden der Einfluss auf die Energiekosten durch Sanierung und PV-Integration dargelegt. Angenommen wird ein Vier-Personen-Haushalt auf einer Wohnfläche von 60 m².

Abbildung 20 bis Abbildung 23 zeigen die Energiekosten im ersten Jahr nach der Sanierung für die einzelnen Energie-

Abbildung 18: Gesamtkosten über 20 Jahre brick house

Abbildung 19: Gesamtkosten über 20 Jahre panel house

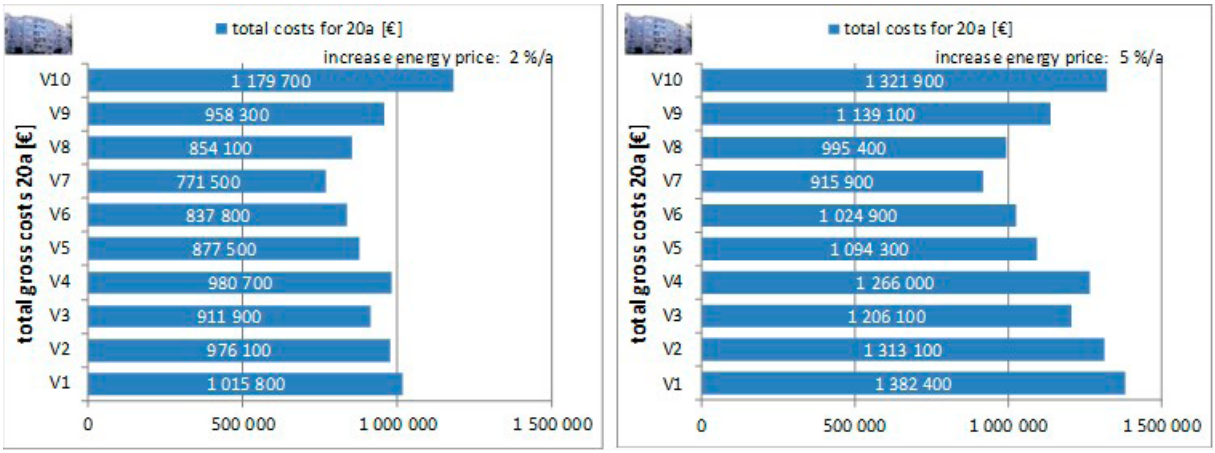
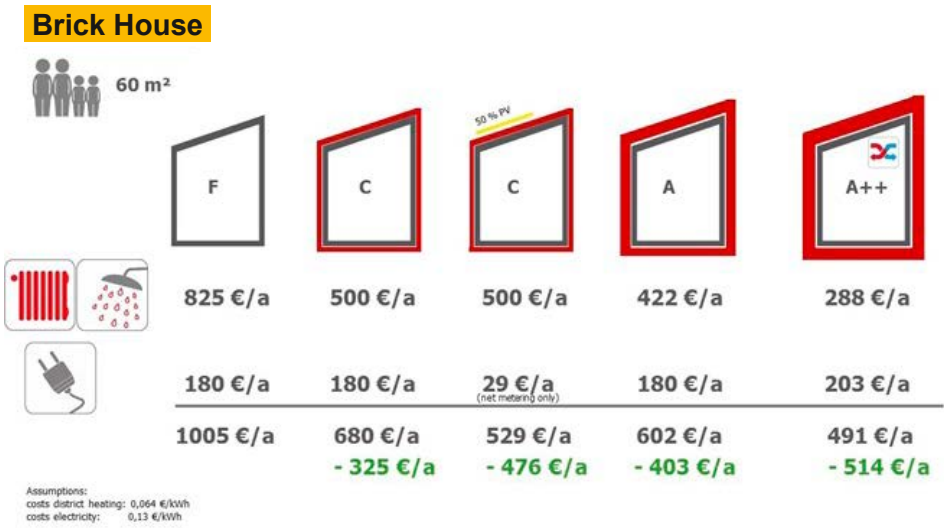


Abbildung 20: Energiekosten Musterhaushalt brick house



standards sowie die Investitionskosten für diesen Haushalt und die statische Amortisationszeit ohne Berücksichtigung von Wartung und Instandsetzung.

Es zeigt sich, dass die Sanierung auf Energieeffizienzklasse C und die Integration mit Photovoltaik die kürzeste Amortisationszeit und den zweitgrößten Einfluss auf die jährlichen Energiekosten hat. Nur die Sanierung auf die Klasse A++ hat geringere Energiekosten zur Folge, allerdings auch einen erhöhten investiven Aufwand.

4.6 Ableitungen/Empfehlungen

Auf Basis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist zu empfehlen, dass unsanierte Gebäude im ersten Schritt energetisch saniert werden sollten. Dies führt zum Einen zu einer Komforterhöhung im Inneren der Gebäude und vermindert bauphysikalische Probleme wie Wärmebrücken. Zum Anderen werden die Energiekosten deutlich gesenkt.

Bei der energetischen Sanierung sollte aber auch berücksich-

Abbildung 21: Statische Amortisationszeit brick house

Abbildung 22: Energiekosten Musterhaushalt panel house

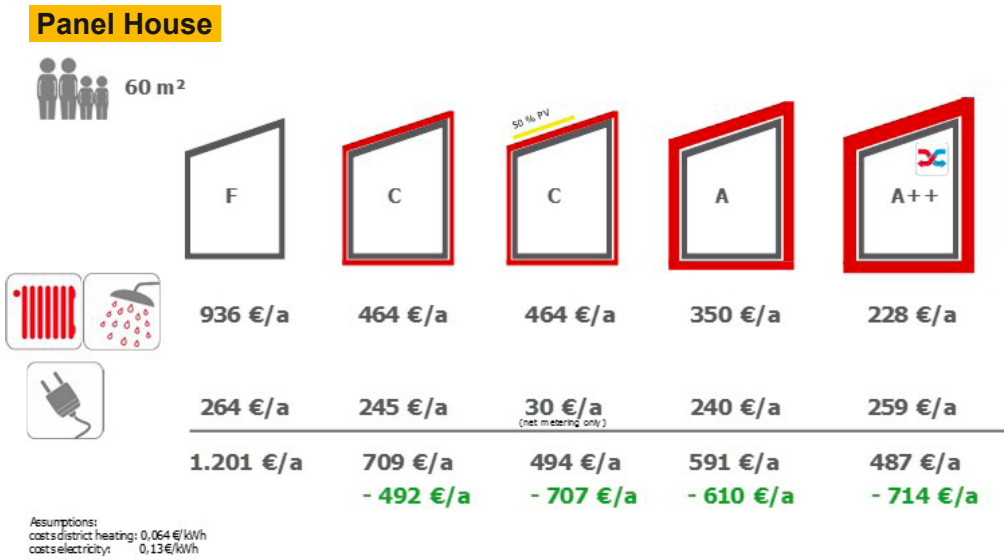
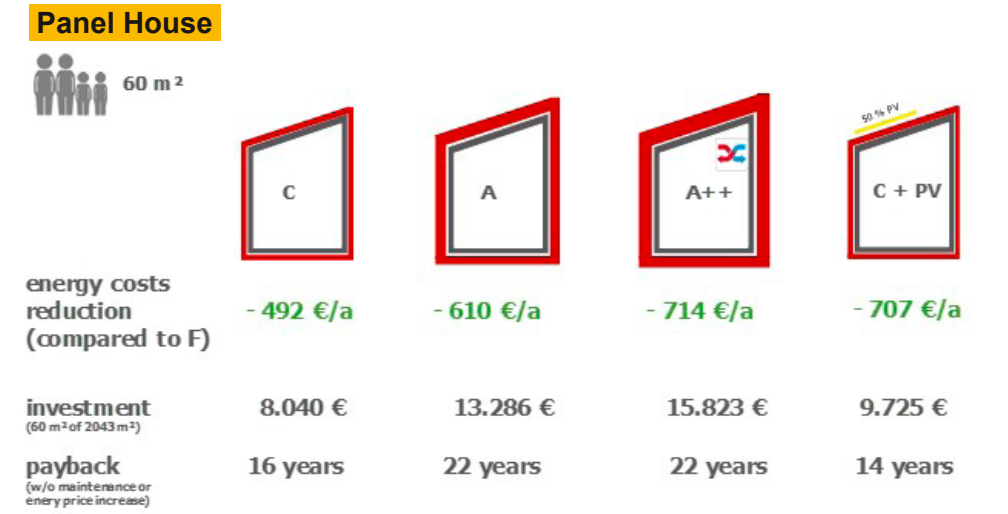


Abbildung 23: Statische Amortisationszeit panel house



tigt werden, dass bei höheren Dämmschichtdicken die Wärmebedarfsreduzierung relativ zur weiteren Dämmschichtdicke geringer wird, d.h., bspw., dass 20 cm Dämmung bezogen auf den unsanierten Zustand eine Reduzierung des Wärmebedarfs von 70 % zur Folge haben können, eine Installation von weiteren 20 cm zu einer Dämmschichtdicke von insgesamt 40 cm den Wärmebedarf nur um weitere 20 Prozentpunkte mindert. Der Effekt der Dämmung wird also geringer.

Die Berechnungen haben gezeigt, dass in Bezug auf die Energiekosten die Sanierung auf Energieeffizienzklasse C kosteneffizienter als eine Sanierung auf Energieeffizienzklasse A oder A++ ist.

Ebenso hat sich gezeigt, dass bei einem sanierten Gebäude (Klasse C) die PV-Integration eine höhere Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die Gesamtenergiekosten aufweist, als weitere Dämmung zu installieren.

Ein weiterer Vorteil der PV-Integration ist die zunehmende Unabhängigkeit von der Strompreisentwicklung. Etwa 40 % des Bedarfs können direkt durch PV-Strom gedeckt werden.

Anzustreben ist eine Gebäudesanierung auf Energieeffizienzklasse C sowie die Integration von PV-Modulen, deren Jahresenergieproduktion etwas so hoch wie der Jahresstrombedarf des Gebäudes ist.

Statische Anforderungen sowie Platzbedarfe sind bei der Auslegung der Photovoltaikanlage zu berücksichtigen und können zu geringerer Verfügbarkeit von Dachfläche führen. In diesem Fall sollte die maximal zur Verfügung stehende Dachfläche genutzt werden.

4.7 Ausblick

Die Berechnungen haben gezeigt, dass die Integration von Photovoltaik sinnvoll ist. Ebenso kann aufgezeigt werden, dass die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen, deren Produktion höher als der Verbrauch im Gebäude ist, aufgrund des Net-Meterings nicht gegeben ist. Unter der Annahme, dass Überproduktionen zum aktuellen Börsenpreis verkauft werden können, könnte eine zusätzliche Einnahmequelle generiert werden.

Es wurde als Ausblick untersucht, wie hoch diese Einnahmen sein können. Im Falle des brick house könnten bei voller Dachbelegung 106 MWh/a Strom produziert werden. 78 MWh/a werden ins Netz eingespeist und 31 MWh/a über das Net-Metering zurückbezogen. Das heißt, in diesem Fall gibt es für 47 MWh/a keine finanziellen Erlöse. Auf Basis vom Jahresverlauf des Börsenpreises kann ermittelt werden, dass der durchschnittliche Börsenpreis in den Zeiten, in denen in das Netz eingespeist wird, bei 4,82 ct/kWh liegt. Im Vergleich hierzu ist der Jahresdurchschnittspreis bei 4,03 ct/kWh. Wird angesetzt, dass die überschüssigen Erträge von 47 MWh/a mit 4,82 ct/kWh vergütet werden, so lassen sich zusätzlich Einnahmen von 2 256 €/a erzielen. Für die Erzeugung von 47 MWh/a sind ca. 47 kWp notwendig. Unter Berücksichtigung der Förderung liegen die Investitionskosten hierfür bei ca. 37 000 €. Mittels der Einnahmen aus dem Verkauf zum Börsenpreis ist die zusätzliche PV-Anlage innerhalb von 16,5 Jahren refinanziert.

Dies bedeutet, dass auch hier rechtliche Möglichkeiten geschaffen werden sollten. Mit zusätzlichen Einnahmen kann der Energiearmut ebenfalls begegnet werden.

Ebenso müssen klare rechtliche Regelungen geschaffen, wie Wohnungseigentümergemeinschaften gemeinsam PV-Anlagen installieren und betreiben können.

Anhang

A1: Ergebnisse der Simulation für den Bestand und die Sanierung auf Energieeffizienzklasse C

Abbildung 24: Heizwärmebedarf brick house, Nord-Süd-Ausrichtung, Bestand

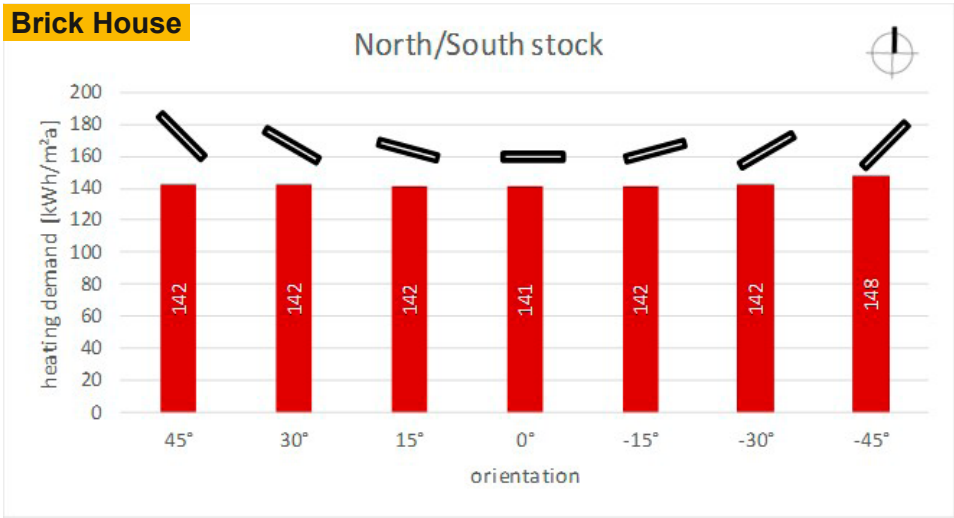


Abbildung 25: Heizwärmebedarf brick house, Ost-West-Ausrichtung, Bestand

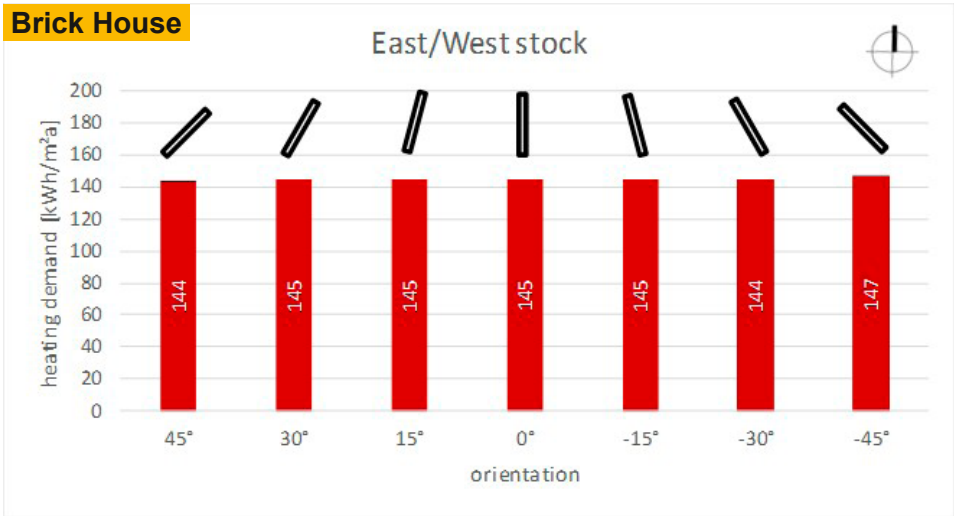


Abbildung 26: Heizwärmebedarf brick house, Nord-Süd-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C

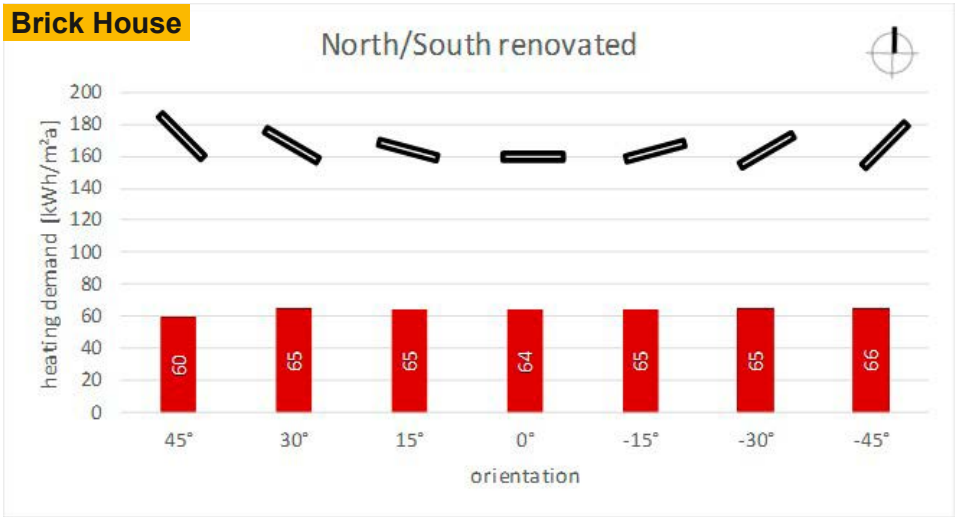


Abbildung 27: Heizwärmebedarf brick house, Ost-West-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C

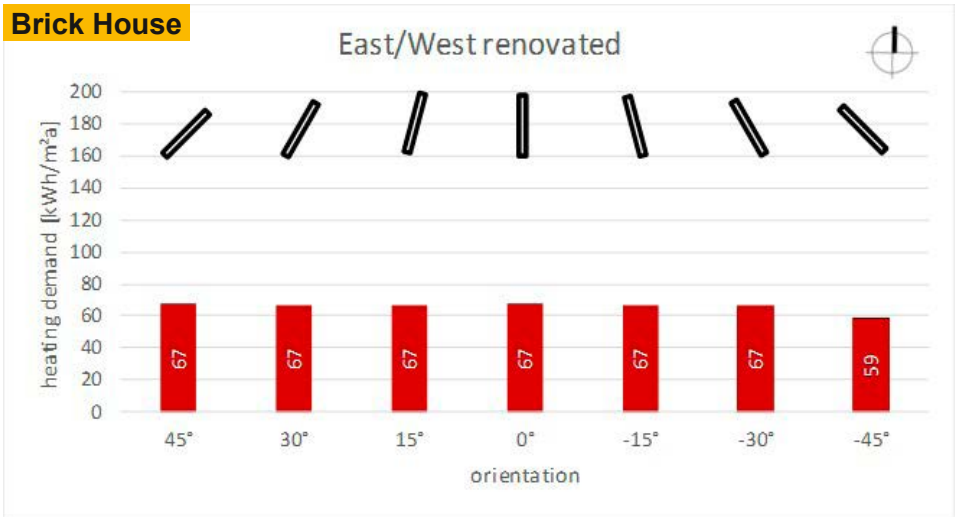


Abbildung 28: Heizwärmebedarf panel house, Nord-Süd-Ausrichtung, Bestand

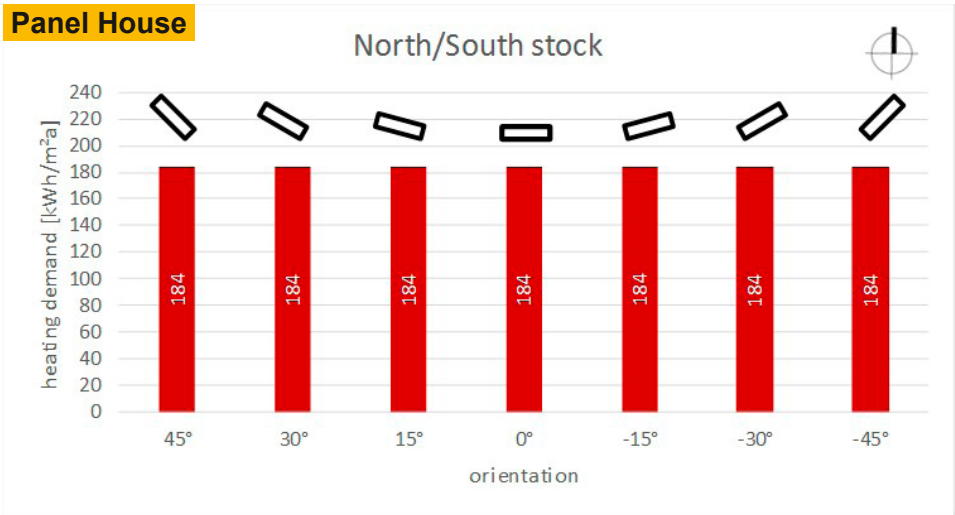


Abbildung 29: Heizwärmebedarf panel house, Ost-West-Ausrichtung, Bestand

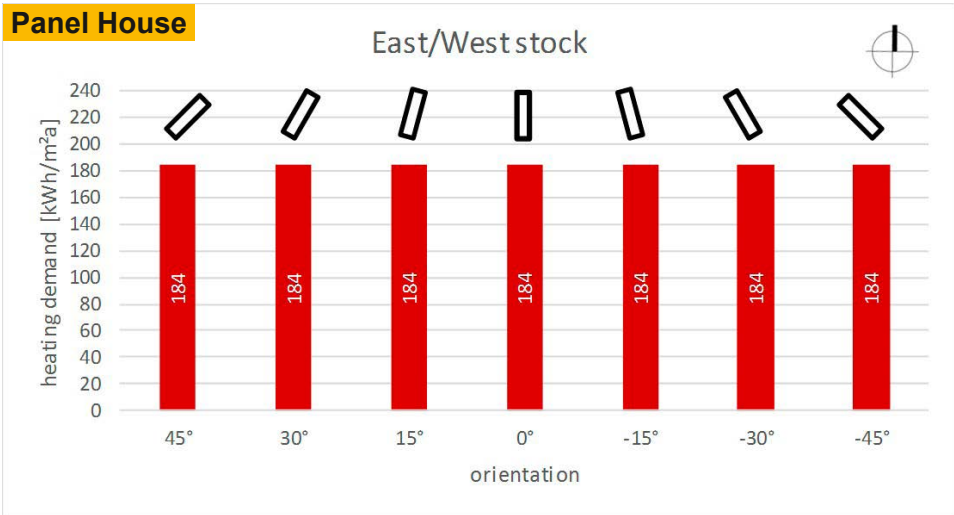


Abbildung 30: Heizwärmebedarf panel house, Nord-Süd-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C

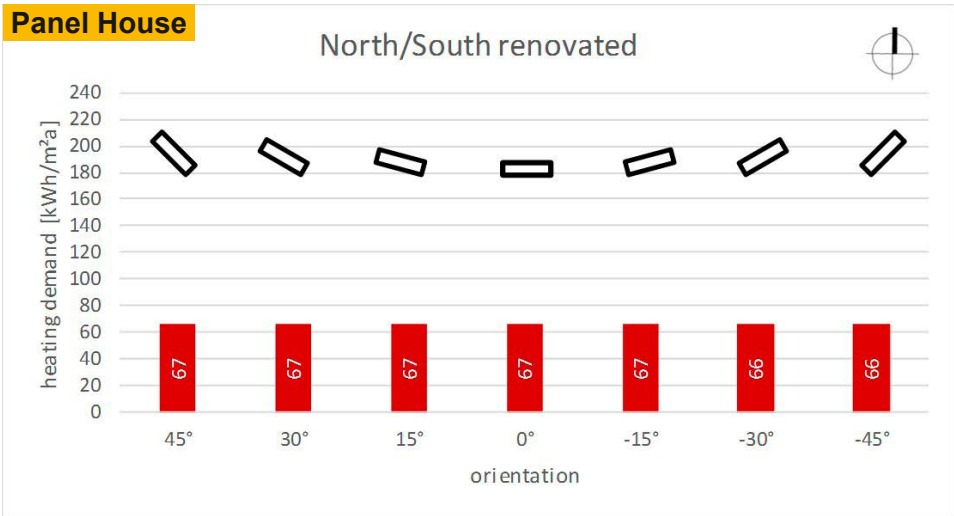
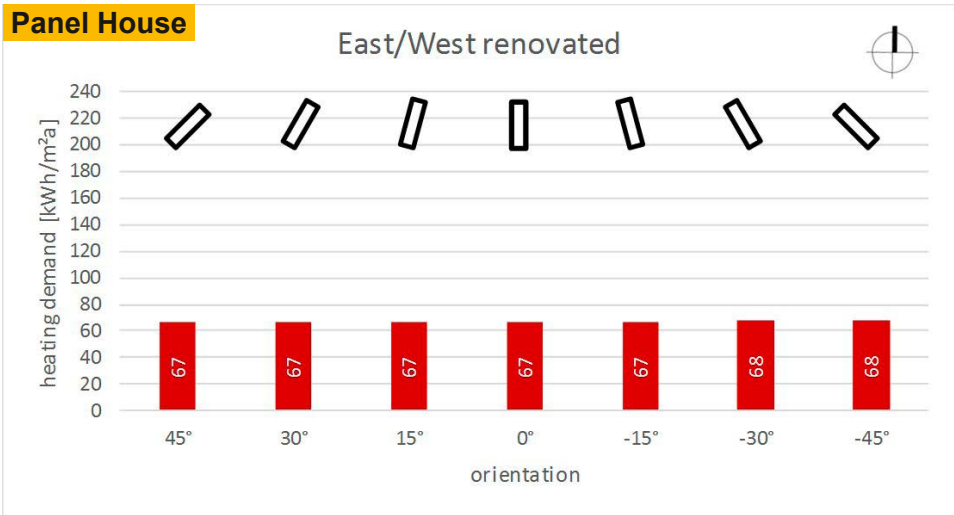


Abbildung 31: Heizwärmebedarf panel house, Ost-West-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C



Randbedingungen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Gebäudehülle (energiebedingte Mehrkosten, netto):

Tabelle 2: Kosten Gebäudehülle

Quelle: BMVBS[11]

Net investment costs insulation	
Additional costs per cm ir m^2 insulation wall	2.39 €
Additional costs per cm ir m^2 insulation basement ceiling	1.35 €
Additional costs per cm ir m^2 insulation steep roof	2.18 €
Additional costs per cm ir m^2 insulation flat roof	1.15 €
Insulation double-glazed windows per m^2	269 €
Additional costs triple-glazing to double-glazing per m^2	50 €

Ansatz für Wartung und Instandsetzung: 1 % der Investitionssumme pro Jahr

Gebäudetechnik:

- Photovoltaik inkl. Peripherie (Wechselrichter, Kabel, Installation): 1 100 €/kWp (netto)
- Berücksichtigung von Förderung: 332 €/kWp (brutto)
- RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung: 75 €/m^2 (brutto)

Ansatz für Wartung und Instandsetzung: 1 % der Investitionssumme pro Jahr

Energiekosten:

- Strom: 10,74 ct/kWh (netto)
- Fernwärme: 5,82 ct/kWh (netto)
- Net-Metering: 3,82 ct/kWh (netto)

Mehrwertsteuersatz Fernwärme: 9%

Mehrwertsteuersatz sonstiges: 21 %

2 Kosten Gebäudehülle, Quelle: BMVBS

5. Bewertung des rechtlichen und finanziellen Umfelds

5.1 Gesetzliche Regelung

Bei der Nutzung von Solaranlagen in Wohnblöcken gibt es eine Reihe von Unsicherheiten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Rechtsvorschriften nicht klar genug sind, um ihre Anwendung zu regeln, insbesondere im Fall von Wohnblöcken. Dies wirft die Frage auf, ob es nicht angemessen wäre, dass Litauen ein spezielles Gesetz über Energiegemeinschaften (engl. *energy communities*) verabschieden würde, das bestimmte Aspekte der kollektiven Energieerzeugung und -verteilung definiert.

Wir möchten die wichtigsten Gründe und Hindernisse für eine aktivere Nutzung von Solarkraftwerken in Mehrfamilienhäusern zusammenfassen.

Erstens besteht ein **Problem des Miteigentums.** Gemäß dem Zivilgesetzbuch der Republik Litauen gibt es eine generelle Regel, dass das im gemeinsamen Eigentum stehende Vermögen im gegenseitigen Einvernehmen aller Miteigentümer verwaltet, genutzt und verfügt wird. Diese Bestimmung gilt nicht, wenn die Nutzung der gemeinsamen Räume oder Einrichtungen des Gebäudes den gesetzlichen und behörd-

11 Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2012. Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden

lichen Vorschriften für die Nutzung und Instandhaltung von Gebäuden unterliegt.

In diesen Fällen gilt die Bestimmung, dass die Entscheidung über die Nutzung des gemeinsamen Vermögens mit der Stimmenmehrheit (eine Stimme mehr als die Hälfte) der Mitglieder der Gemeinschaft getroffen wird. Da die Installation eines Solarkraftwerks für die Nutzung eines Gebäudes nicht erforderlich ist, folgen die Behörden, die die Bewilligungen zur Einrichtung von Solarkraftwerken ausstellen, häufig den allgemeinen Bestimmungen des Zivilgesetzbuchs, die die Zustimmung aller Mitglieder der Gemeinschaft erfordern. Daher ist in der Gesetzgebung Klarheit darüber notwendig, wie hoch der Anteil der zustimmenden Mitglieder der Gemeinschaft für die Installation eines Solarkraftwerks auf dem Dach oder den Wänden des Gebäudes, das den Mitgliedern der Gemeinschaft Strom liefern würde, sein muss.

Seit dem 1. November 2017 können Gemeinschaften nicht nur für die Installation eines Solarkraftwerks von den Erleichterungen der Gesetze der Republik Litauen profitieren, sondern auch von den zur Verfügung stehenden Erleichterungen für produzierende Verbraucher, d. h., von der Möglichkeit, ungenutzte Energie sofort an den Stromversorger zur „Aufbewahrung" zu übergeben, sofern die Leistung der Anlage 100 kW nicht überschreitet (es ist vorgesehen, diesen Grenzwert ab Herbst 2019 auf 500 kW zu erhöhen). Das Wesentliche dieser „Aufbewahrung" ist, dass der Erzeuger einen Teil der nicht sofort verbrauchten Sonnenenergie an den Stromversorger abgeben und danach wieder beziehen kann, wenn kein Solarstrom erzeugt wird oder dieser unzureichend ist (nachts oder während der Herbst-Winter-Periode). Es ist richtig, dass für diesen Dienst eine von der Nationalen Kontrollkommission für Energiekontrolle und -preise festgelegte Netzwartungsgebühr entrichtet werden muss, die sich auf etwa 4 Cent inkl. Mehrwertsteuer beläuft.

Mit dem neuen Gesetz über Energiegemeinschaften könnte eine Bestimmung eingeführt werden, die keinen Zweifel darüber aufkommen lässt, ob ein Verbraucher, der Solarenergie von einer kollektiven juristischen Person verwendet, den „Aufbewahrungsdienst" nutzen darf. Es wäre auch wichtig, die Bestimmung abzuschaffen, dass die Einführung erneuerbarer Energiequellen im Heizungssektor automatisch die Einführung eines Binärtarifs impliziert. Der letztere Faktor ist sehr diskriminierend, da die Mehrfamilienhäuser, die früher Sonnenkollektoren installierten, „Opfer" des binären Wärmetarifs wurden, da die in Armut und Energiearmut lebenden (und deshalb staatliche Unterstützung erhaltenden) Bewohner der Mehrfamilienhäuser keine Entschädigungen erhielten. Diese Situation erfordert eine detailliertere Studie, aber dies ist wahrscheinlich eines der Probleme, die durch ein gesondertes Gesetz gelöst werden müssen.

Zweitens weisen viele Mehrfamilienhäuser einen **geringen Stromverbrauch für den allgemeinen Eigenbedarf des Wohnblocks** auf. Das System und die Kostenzuweisung sind klar genug, wenn die Gemeinschaft Solarstrom für allgemeine Zwecke verwendet: Aufzüge, Treppenhausbeleuchtung, Wasserpumpen und andere allgemeine Anlagen. In vernünftig gestalteten Gemeinschaftsbereichen und -anlagen ist der Energiebedarf jedoch gering, und Solarkraftwerke mit niedriger Leistung sind wirtschaftlich nicht attraktiv. Daher wäre es sinnvoll, Solarkraftwerke auf den Dächern und gegebenenfalls an den Fassaden zu installieren und dort Strom nicht nur für den allgemeinen Bedarf, sondern auch für den individuellen Verbrauch durch die Mitglieder der Gemeinschaft zu erzeugen.

Drittens ist nicht klar, wie intern **der Energieverbrauch für den individuellen Bedarf** abzurechnen ist. Diese Abrechnung erfordert einen speziellen Zähler. Leider gibt es in diesem Fall viele rechtliche und technische Fragen, die zu lösen sind. Derzeit hat jedes Mitglied der Gemeinschaft einen individuellen Vertrag mit dem Stromversorger. Normalerweise hat ein Gebäude keine allgemeine Buchhaltung für das gesamte Gebäude die den gesamten Energieverbrauch aller einzelnen Verbraucher berücksichtigt. Das war bisher auch nicht notwendig. Daher müssen zunächst die rechtlichen und technischen Voraussetzungen für die Lieferung von Solarstrom für die allgemeine Stromzufuhr des Gebäudes und die Installation von Stromzählern geschaffen werden, die den Verbrauch der gemeinsamen Einrichtungen und den Gesamtverbrauch aller einzelnen Verbraucher separat berücksichtigen. Es gilt die Frage zu klären, wer das tun und auf wessen Kosten dies geschehen soll.

Die Problematik wird durch die Tatsache verkompliziert, dass der Energiebetreiber ESO bei der Erfüllung der Anforderungen des *Dritten Energiepakets der EU* in naher Zukunft die Stromversorgungsfunktion aufgeben muss und nur die Funktion der Stromverteilung und der Netzerhaltung behalten darf. Gleichzeitig muss die Stromversorgungsfunktion an die freien Stromversorger weitergegeben werden. In diesem Fall kann jedes Mitglied der Gemeinschaft seinen Stromversorger frei wählen, weshalb die Installation eines Geräts für die gesamte Stromabrechnung sehr problematisch wird, da jeder Stromversorger über sein eigenes Abrechnungssystem verfügen sollte.

Das vierte Problem **verringert durch die freie Wahl des Lieferanten die Attraktivität der Photovoltaikanlagen?** Es könnte eine gesetzliche Bestimmung eingeführt werden, nach der von der Mehrheit der Gemeinschaft ein einziger freier Anbieter für alle Mitglieder der Gemeinschaft ausgewählt werden könnte, wobei dies gleichzeitig das Wahlrecht der einzelnen Mitglieder einschränken würde. Doch die Situation kann jedoch stark verkompliziert werden, wenn ein Mitglied der Gemeinschaft seine Wohnung an ein Nichtmitglied verkauft, das mit seinem bisherigen Stromversorger einziehen möchte. In diesem Fall sollte das Recht zur freien Wahl des Lieferanten weiter eingeschränkt werden, wenn die Vorteile eines gemeinsamen Solarkraftwerks genutzt werden sollen. Solche Fragen werden heftige Diskussionen zwischen Anwälten, Energieexperten und Mitgliedern der Gemeinschaft auslösen, sollten aber zweifellos gesetzlich geregelt sein.

Fünftens wirft die **gerechte Verteilung der Elektrizität** Fragen auf. Die gesetzliche Bestimmung müsste auch die Verteilung der Sonnenenergie an die einzelnen Verbraucher festlegen, wie auch wer diese Verteilung durchführen muss, wenn jeder Verbraucher einen individuellen Vertrag mit dem Stromversorger hat. Am einfachsten wäre es, den erzeugten Solarstrom nach Verbrauch zu verteilen. Ein Algorithmus für eine solche Verteilung wäre leicht zu implementieren. In diesem Fall läge aber der Hauptvorteil beim Verbraucher mit dem höchsten Gesamtstromverbrauch, was für Familien mit geringem Energieverbrauch wahrscheinlich nicht akzeptabel wäre. Eine Gemeinschaftsvereinbarung, die sicherstellen würde, dass die Investitionen ihrer Mitglieder in das Solarkraftwerk proportional zum Stromverbrauch erfolgen, würde in diesem Fall die Entscheidung erleichtern. Eine solche Vereinbarung wäre wahrscheinlich sehr schwierig zu realisieren.

Sechstens gibt es ein Dilemma bei der **Kostenverteilung für die „Aufbewahrung"**. Die Situation würde durch die Besonderheit der Produktion von Solarenergie während eines

Tageszyklus erschwert. Natürlich wird Solarstrom tagsüber bei Tageslicht erzeugt. Es wäre sehr wünschenswert, wenn er tagsüber verbraucht wird, wodurch Einsparungen beim „Aufbewahren" von ungenutzter Energie und gleichzeitig bei den Kosten für diese „Aufbewahrung" erzielt würden. Wenn jedoch eine Gesamtabrechnung vorgenommen wird, hat die Aufteilung der Kosten für die „Aufbewahrung" im Verhältnis zum Stromverbrauch die folgende Wirkung: für diejenigen, die tagsüber Strom verwenden, sind diese Kosten, relativ gesehen, höher als für diejenigen, die abends Strom benötigen. Während die Nutzung von Elektrizität tagsüber stärker gefördert werden sollte, würde eine einfache Zuteilung der „Aufbewahrungskosten" die Verbraucher demotivieren, die tagsüber Strom verwenden. Es ist daher ratsam, das System für die „Kosten der Aufbewahrung" zu ändern, um diesen Dienst in Form von Sachleistungen (Strom) statt in bar zu bezahlen. Auf diese Weise würde die Gemeinschaft abends und nachts weniger als die tagsüber produzierte, aber nicht verwendete Elektrizität zurückerhalten und müsste die fehlende Menge zu Marktpreisen kaufen. Dies würde jedoch die teilweise unfaire Gebühr des Verbrauchers beseitigen, der tagsüber Strom benötigt.

5.2 Wirtschaftliche Faktoren

Leider ist die Amortisationszeit eines Solarkraftwerks noch immer ziemlich lang. Obwohl die Kosten für die Ausrüstung von Solarkraftwerken stetig sinken, ist es derzeit nicht möglich, ein kleines Kraftwerk zu einem Preis unter 1 000 EUR/kW zu installieren. Wenn der Strom einige Cent pro kWh kostet, beträgt die Amortisationszeit eines Solarkraftwerks nicht weniger als 10 – 15 Jahre. Eine solche Amortisationszeit ist für viele Verbraucher sicherlich nicht akzeptabel. Damit die Amortisationszeit attraktiver würde, dürfte sie acht Jahre nicht überschreiten. Dafür ist die Subvention der Investitionen für die Installation von Solarkraftwerken notwendig und sollte mindestens 30 % betragen. Diese Investitionen müssten unter den günstigsten Bedingungen in das Sanierungsprogramm der Mehrfamilienhäuser einbezogen werden.

Vorgeschlagen wird, den produzierenden Verbrauchern der Gemeinschaft anhand ausländischer Beispiele die Möglichkeit zu bieten, anstelle der direkten Subventionen verschiedene Leasing- oder Kreditprogramme zu Vorzugskonditionen zu erhalten. Diese Programme sind wirklich effektiv, aber nur in den Ländern, in denen der Strompreis für Haushaltskunden viel höher ist als in Litauen, was zu anderen wirtschaftlichen Bedingungen für die produzierenden Verbraucher führt.

Die Entscheidung über die Nutzung von Solarenergie sollte sich nicht auf den Energieaspekt beschränken. Die Gemeinschaft hat auf ihrem Gebäude beispielsweise ein 60 kW-Kraftwerk eingerichtet, das die CO2-Emissionen pro Jahr um 30 Tonnen reduziert. Auf diese Weise würde die Gemeinschaft des Mehrfamilienhauses einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung der Klimaschutzverpflichtungen des Landes leisten.

Es muss auch bedacht werden, dass selbst wenn die Gemeinschaft 30 % Subventionen für ein typisches 60-kW-Kraftwerk erhalten würde, die Gemeinschaftsmitglieder trotzdem noch 42 000 EUR auf eigene Kosten beitragen müssten. Dies wäre der finanzielle Beitrag der Bürger zur Verbreitung der lokalen Stromerzeugung, wie es in der litauischen Energiesicherheitsstrategie vorgesehen ist. Durch die Schaffung der richtigen Förderinstrumente würde die Regierung durch eine solche Verbreitung mehrere zehn Millionen Euro einsparen, um ihre Energiesicherheit und Unabhängigkeit zu erhöhen.

Da fast alle Solaranlagen in Litauen produziert werden, würde eine bedeutende Verbreitung von Solarkraftwerken Hunderte von Arbeitsplätzen in Fertigungs-, Planungs-, Installations- und Betreiberfirmen schaffen, wodurch die Gemeinschaft einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung der litauischen Wirtschaft leisten würde.

Die Aktivitäten der litauischen Wohngemeinschaften (oder Energiegemeinschaften), die Solarenergie nutzen, wären ein sehr wichtiger Faktor für die Fortschritte des Landes in den Bereichen Energie, Wirtschaft und Umweltschutz.

5.3 Subventionsprogramme

Im Zeitraum 2019 – 2020 werden im Rahmen des Programms bezüglich des Klimawandels 17 Mio. EUR für die Förderung der Solarenergie in Mehrfamilienhäusern bereitgestellt.

Das Programm wird vom Energieministerium der Republik Litauen vorbereitet. Die Richtlinien für das Förderprogramm sind jedoch noch nicht veröffentlicht. Das Ministerium hat noch nicht bekannt gegeben, wie das Programm funktionieren wird.

Aus unserer Sicht sollten bei der Gestaltung des Programms folgende Grundsätze beachtet werden:

Keine Diskriminierung. Es darf keine Ausnahmen oder Einschränkungen geben, die die Subvention für einen Teil der Häuser verhindern würde. Im Gegenteil gibt es Fälle, in denen nach den Prioritäten der Regierung (nach Erörterung mit dem Nichtregierungssektor und den Wirtschaftsverbänden) die Tendenz besteht, ein bestimmtes Segment von Mehrfamilienhäusern zu fördern, zum Beispiel Häuser, deren Sanierung normalerweise eingeschränkt ist (beispielsweise in Altstadtbereichen).

Minimale bürokratische Prozesse. Die Mindestanforderungen für Anträge müssen vom Ministerium und von den Institutionen, die das mögliche Subventionsprogramm umsetzen, vorgegeben werden. Andernfalls wird der bürokratische Prozess dazu führen, dass viele Wohnblöcke nur ungern einen Antrag stellen.

Komplexität. Synergieeffekte sind durch die Kombination der Programme zur Förderung der Solarenergie mit anderen wichtigen Elementen einer nachhaltigen Verbreitung möglich. Zum Beispiel ist saubere Mobilität mit Solarenergie sowohl in energetischer Hinsicht als auch im Zusammenhang mit der Lösung verkehrsbedingter Verschmutzungsprobleme nachhaltig. Daher sollte das Energieministerium zusammen mit dem Umweltministerium und dem Ministerium für Verkehr und Kommunikation besondere Maßnahmen vorsehen, um nicht nur Photovoltaik-Anlagen zu fördern, sondern auch die Verwendung von erzeugtem Solarstrom zum Laden von Elektroautos. Wenn zum Beispiel die Installation eines Solarkraftwerks als separates Projekt ohne zusätzliche Elemente ausgeführt wird, beträgt die Entschädigung X Prozent. Werden zusätzlich Wärmepumpen installiert, beträgt die Entschädigung X + 10 %. Wird eine Solarladestation für Elektroautos mit direkter Nutzung von Solarstrom (und ohne Netzstrom) installiert, die auch den Bewohnern von Mehrfamilienhäusern zur Verfügung steht, erhöht sich die Entschädigung um weitere 10 % usw. Solche öffentlichen Maßnahmen würden die Empfänglichkeit des Ökosystems der produzierenden Verbraucher für künftige Systeme der Bedarfsdeckung (engl. *demand response*), den Einsatz von Elektrofahrzeugen zur Speicherung von Reserveenergie und die Stabilisierung des Systems erheblich erhöhen.

Schlussfolgerungen

Mit dieser Studie wurden verschiedene Faktoren analysiert, die die Entwicklung der Solarenergie auf dem Wohnimmobilienmarkt bestimmen. Die Bewohner von Mehrfamilienhäusern sind in Litauen statistisch gesehen ein Teil der Gesellschaft mit geringerem Einkommen, der stark von der Unbeständigkeit der Kosten für Heizung, Warmwasser und Strom beeinflusst wird. Litauen ist ein Land, in dem die Mehrheit der Menschen unter Energiearmut leidet, d. h., sie können ihre Rechnungen für Heiz-, Warmwasser- und Stromkosten nicht bezahlen.

Die technische und wirtschaftliche Vereinfachung der Bedingungen für den Kauf und die Nutzung von Solarkraftwerken macht es sinnvoll, die Installation dieser Kraftwerke zu überdenken, um die Stromproduktion für die eigenen Bedürfnisse zu nutzen. Der neue Begriff *Prosumer* (produzierende Verbraucher) erfreut sich weltweit großer Beliebtheit. In Litauen arbeitet die Regierung seit Jahren daran, die Bedingungen für die produzierenden Verbraucher zu verbessern. Zu guter Letzt besteht weiterhin das Problem der globalen Erwärmung, das in Litauen immer wichtiger wird.

Nach einer Analyse der geografischen, sozialen und wirtschaftlichen Situation in Litauen können wir fest davon ausgehen, dass für die Bewohner von Mehrfamilienhäusern günstige Bedingungen für Investitionen in die Solarenergie bestehen. Die Sonnenstrahlung in Litauen reicht aus, um den Großteil des Strombedarfs zu decken. Das attraktive, bidirektionale Abrechnungssystem (*net metering*) fördert ebenfalls die Wahl von Photovoltaiksystemen. Es wurde ein Subventionsprogramm zur Stromerzeugung entwickelt, mit dem bis zu 30 Prozent der Investitionen in das Kraftwerk zurückerstattet werden.

Basierend auf technischen Berechnungen für eine Teil- und Vollsanierung ohne und mit erneuerbaren Energiequellen, wird dasselbe Ergebnis erzielt: die Installation eines Solarkraftwerks reduziert in jedem Fall die Energiekosten. Welche Variante gewählt werden sollte, muss von Fall zu Fall unter Berücksichtigung der Wünsche und der finanziellen Situation der Bewohner entschieden werden.

Unsere Projektpartner empfehlen, einen Teil der Mittel aus den Programmen für den Klimawandel für Demonstrationsprojekte in verschiedenen Regionen Litauens bereitzustellen, um die Vorteile erneuerbarer Energien in Mehrfamilienhäusern in der Realität zu testen.

Gegenwärtig steht die Öffentlichkeit den erneuerbaren Energiequellen immer noch skeptisch gegenüber, da sie sie als teure und überbewertete Technologien betrachtet. Fehlende Informationen und anhaltende Stereotypen verhindern, dass sich dieser Bereich aktiver entwickelt. Die Interessengruppen sollten daher besorgt sein, die Öffentlichkeit informieren und ihre Einstellung ändern. So könnten auch Demonstrationsprojekte zu diesem Ziel beitragen.

Die geringe Kaufkraft vieler Bewohner von Mehrfamilienhäusern führt zu einer erhöhten Angst, in etwas zu investieren, dessen Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit nicht ganz klar ist. Menschen mit geringerem Einkommen neigen nicht dazu, ihr Vermögen zu riskieren, und ziehen es vor, bewährte Werkzeuge wie den Austausch von Fenstern oder die Isolierung von Wänden zu verwenden. Der relativ niedrige Strompreis in Litauen ermutigt den Verbraucher nicht, Produzent zu werden, da die Vorteile nicht signifikant sind.

Wir empfehlen, die Bewohner durch Aufklärung weiterhin zur Wahl erneuerbarer Energiequellen zu ermutigen. Es ist notwendig, einen günstigeren und flexibleren rechtlichen Rahmen für das Miteigentum zu schaffen. Die Schaffung von Energiepartnerschaften ist eines der Instrumente, mit denen für die Verbraucher ein großer Anreiz geschaffen werden kann, zu Produzenten zu werden.

Abkürzung und Begriffe

BGF	Bruttogeschossfläche
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt-Peak
n_{50}	Luftwechsel im Gebäude bei 50 Pascal Druckdifferenz
PV	Photovoltaik
WE	Wohneinheit
Wfl.	Wohnfläche

Abbildungsverzeichnis

Unfähigkeit der Bevölkerung ihr Zuhause ausreichend warm zu halten (%) 2016 7

Kompensation für Wärme und heißes Wasser an Konsumenten, die staatliche Unterstützung beziehen, 2010 - 2017 7

Globale Sonnenstrahlung und Potenzial der Solarenergie 9

Abbildung 1: Ausgewählte Gebäude 13

Abbildung 2: Vorgehen zur Ermittlung des Endenergiebedarfs 14

Abbildung 3: Basisdaten brick house 14

Abbildung 4: Basisdaten panel house 14

Tabelle 1: Randbedingungen Gebäudehülle und Infiltration 15

Abbildung 5: Heizwärmebedarf brick house für unterschiedliche Energieeffizienzklassen 15

Abbildung 6: Heizwärmebedarf panel house für unterschiedliche Energieeffizienzklassen 16

Abbildung 7: Endenergiebedarf inkl. Nutzerstrom brick house 16

Abbildung 8: Endenergiebedarf inkl. Nutzerstrom panel house 17

Abbildung 9: Energiekosten (ohne Grundpreise) brick house 17

Abbildung 10: Energiekosten (ohne Grundpreise) panel house 17

Abbildung 11: Vergleich der Dachbelegung bei verschiedenen Neigungswinkeln am Beispiel Berlin 18

Abbildung 12: PV-Produktion, Eigennutzung und Einspeisung für verschiedene Dachbelegungen und Orientierungen, brick house 18

Abbildung 13: PV-Produktion, Eigennutzung und Einspeisung für verschiedene Dachbelegungen und Orientierungen, panel house 18

Abbildung 14: Investitionskosten brick house 19

Abbildung 15: Investitionskosten panel house 19

Abbildung 16: Jahresgesamtkosten brick house im ersten Jahr 20

Abbildung 17: Jahresgesamtkosten panel house im ersten Jahr 20

Abbildung 18: Gesamtkosten über 20 Jahre brick house 21

Abbildung 19: Gesamtkosten über 20 Jahre panel house 21

Abbildung 20: Energiekosten Musterhaushalt brick house 21

Abbildung 21: Statische Amortisationszeit brick house 22

Abbildung 22: Energiekosten Musterhaushalt panel house 22

Abbildung 23: Statische Amortisationszeit panel house 22

Abbildung 24: Heizwärmebedarf brick house, Nord-Süd-Ausrichtung, Bestand 24

Abbildung 25: Heizwärmebedarf brick house, Ost-West-Ausrichtung, Bestand 24

Abbildung 26: Heizwärmebedarf brick house, Nord-Süd-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C 25

Abbildung 27: Heizwärmebedarf brick house, Ost-West-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C 25

Abbildung 28: Heizwärmebedarf panel house, Nord-Süd-Ausrichtung, Bestand 25

Abbildung 29: Heizwärmebedarf panel house, Ost-West-Ausrichtung, Bestand 26

Abbildung 30: Heizwärmebedarf panel house, Nord-Süd-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C 26

Abbildung 31: Heizwärmebedarf panel house, Ost-West-Ausrichtung, saniert Energieeffizienzklasse C 26

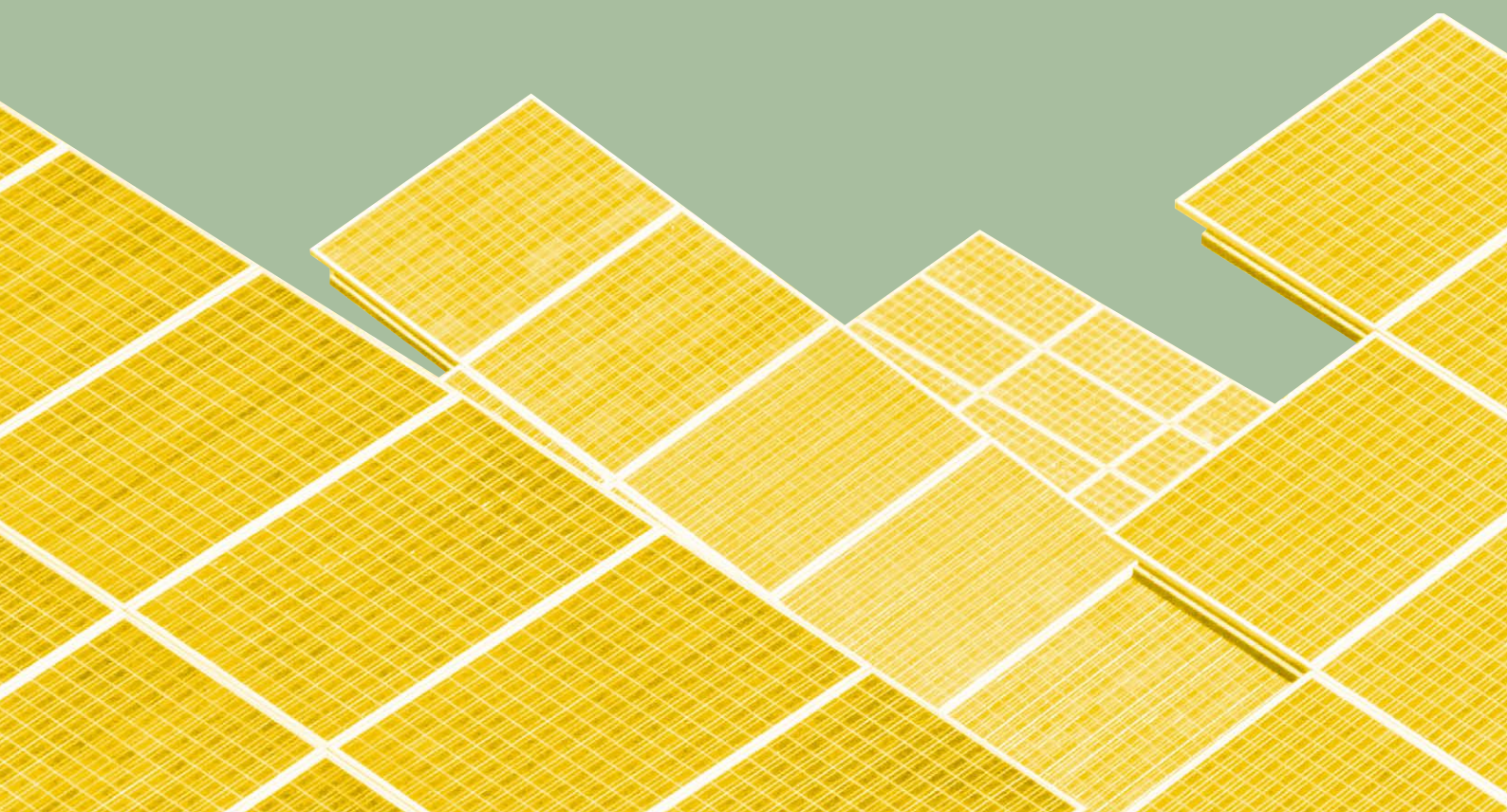



Tabelle 2: Kosten Gebäudehülle 27