Leitfaden zur Konzeption der Energiebereitstellung in Tiny Houses

Tamo Werner, Thomas Hartmann, Mattis Knudsen

07.07.2020

Diese Arbeit entstand im Rahmen des transformativen Projektseminars: "Tiny Houses nachhaltiger machen" am Zentrum für Angewandte Kulturwissenschaft am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gemeinsam mit dem Verein Tiny Houses für Karlsruhe, der "Hochschule Karlsruhe, dem Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse sowie der Karlsruher Schule der Nachhaltigkeit.

Die Veranstaltung ist Teil von Energietransformation im Dialog, ein Projekt der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren.

















Dozenten: Marius Albiez, Richard Beecroft, Randolph Liem, Volker Stelzer

LEITFADEN ZUR KONZEPTION DER ENERGIEBEREITSTELLUNG IN TINY HOUSES

Ergebnis aus dem Seminar: Tiny Houses nachhaltiger machen – ein transdisziplinäres Projektseminar – KIT – 2020

This work by Mattis Knudsen, Tamo Werner and Thomas Hartmann is licensed under CC BY-NC 4.0 . To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Inhalt

١.	E	inleitung	3
II.	В	Bedarfsermittlung	4
III.		Bewertungsmatrix	8
IV		Technologie über sicht	9
	i.	Netzstrom	9
	ii.	Fernwärme	. 10
	iii.	Verbrennung (Wärme)	. 11
	iv.	внкw	. 14
	٧.	Brennstoffzellen	. 16
	vi.	Kleinwindkraftanlagen	. 18
	vii.	Kleinwasseranlagen	. 20
	viii.	Wärmepumpen	. 21
	ix.	Photovoltaik	. 23
	х.	Solarthermie	. 25
	xi.	Infrarotheizung	. 26
	xii.	Widerstandsheizung	. 27
	xiii.	Wärme-/Kältespeicher	. 28
	xiv.	Batterien	. 29
٧.	Е	Beispielszenarien	. 30
	i.	Szenario 1	. 30
	ii.	Szenario 2	. 31
	iii.	Szenario 3	. 33
۷I		Umfrageergebnisse	. 35
. /1		Literaturyorzaichnic	27

I. Einleitung

Dieser Leitfaden soll Tiny House Interessierten und Bewohner*innen einen Überblick zu Möglichkeiten der Energieversorgung geben. Er entstand im Rahmen des Projektseminars "Tiny Houses nachhaltiger machen". In dem Leitfaden werden verschiedene mögliche Technologien zur Versorgung eines Tiny Houses mit Strom und Wärme sowie einige Energiespeichertechnologien betrachtet und verglichen. Bei den Vergleichen wurde auch die Nachhaltigkeit der Energieversorgung im Sinne von Emissionen und Umwelteinflüssen betrachtet. Der Leitfaden ist folgendermaßen strukturiert:

- Im ersten Abschnitt der Bedarfsermittlung wirst du dazu ermutigt, dich mit deinem Strom- und Wärmebedarf, den geologisch relevanten Begebenheiten und der Energieinfrastruktur zu befassen.
- Es folgt eine Bewertungsmatrix mit allen von uns betrachteten Technologien. Zusammen mit den Erkenntnissen aus der Bedarfsermittlung solltest du nun einige Technologien, welche für dich in Frage kommen, ausgewählt haben.
- In der Technologieübersicht findest du dann etwas detailliertere Beschreibungen der jeweiligen Technologie, deren Vor- und Nachteile und oft auch ein Beispielprodukt.
- Im letzten Abschnitt stellen wir einige Beispielszenarien vor.

Dieser Leitfaden erhebt keinen Anspruch auf wissenschaftliche Korrektheit oder Vollständigkeit und kann nicht die intensive Beschäftigung mit der Thematik und/oder eine professionelle Beratung ersetzen.

Die von uns aufgeführten Beispiele stellen keine Herstellerempfehlungen dar, sondern sollen der schnellen Übersicht über Kosten und Größendimensionen dienen. Eventuell sind die Produkte auch nicht mehr am Markt verfügbar. Zusätzlich ist zu beachten, dass Herstellerangaben für die Technologien oft für klassische Wohnungen oder Häuser gelten und für Tiny Houses möglicherweise abweichen können.

II. Bedarfsermittlung

Vor der Wahl oder der Konzeption eines Tiny Houses sollte der eigene (energetische) Bedarf genau untersucht bzw. hinterfragt werden. Wenn möglich ist ein Selbstexperiment sinnvoll, in dem man sich den Veränderungen, welche das Leben in einem Tiny House mit sich bringt, für ca. einen Monat unterwirft, um das eigene Wohlbefinden zu prüfen und anschließend keine bösen Überraschungen zu erleben. Folgende Fragen können helfen, sich selbst einzuschätzen.

Fragen zum Strombedarf:

Wenn der Strombedarf bekannt und nicht großflächig verändert wird, lässt sich dieser über die letzte Stromrechnung abschätzen.

Der Strombedarf in deinem Tiny House hängt vor allem von den elektronischen Großverbrauchern (Herd, Backofen, Waschmaschine, etc.) ab. Mit der verlinkten Website oder der Überschlagsrechnung unten kannst du deinen voraussichtlichen Stromverbrauch abschätzen. Die Abschätzung kann dann hilfreich sein, um zum Beispiel die Dimensionen einer möglichen Photovoltaikanlage besser einschätzen zu können.

Für die Abschätzung des Strombedarfs gibt es im Internet viele Tools. Bei dem unten verlinkten Beispiel sind schon viele elektrische Großverbraucher aufgeführt. Zusätzlich kannst du den Energieverbrauch von weiteren Stromverbrauchern, wie zum Beispiel E-Bikes oder Elektroautos ausrechnen, indem du die Leistung der Verbraucher mit den geschätzten Betriebsstunden pro Tag multiplizierst.

Tool zum Abschätzen des Strombedarfs:

https://www.stromverbrauch.de/Strombedarfsrechner-Wieviel-Strom-verbrauche-ich-wirklich-137

Überschlagsformel zum Abschätzen des Strombedarfs:

- Wohnfläche (m²) x 9 kWh
- Personenzahl x 200 kWh (bei zusätzlich elektrischer Warmwasserbereitung: x 550 kWh)
- Anzahl der Haushaltsgeräte (beispielsweise Waschmaschine, Trockner, Kühlschrank, TV) x
 200 kWh

Viele Tiny House Interessenten streben eine nachhaltige Lebensweise und damit einen geringen Stromverbrauch aus möglichst ökologischer Erzeugung an. Um sich selbst besser einordnen zu können hier Vergleichswerte zum Stromverbrauch:

Deutschlandweiter Durchschnitt: 1.770 kWh pro Jahr und Person

Stromverbrauch in	Einpersonen-	Zweipersonen-	Dreipersonen-	Vierpersonen-
kWh/Jahr	haushalt	haushalt	haushalt	haushalt
Einfamilienhaus	2000	3000	4000	4900
Mehrfamilienhaus	1500	2500	3500	4500

Außerdem macht es für manche Erzeugungsformen Sinn, den Stromverbrauch auf bestimmte Zeiten zu verschieben (Beispiel: Tagsüber waschen, um den Solarstrom zu nutzen), um den Anteil an selbstgenutztem Strom zu steigern. Frage dich also, ob du bereit bist, dich bezüglich deines Verbrauchs Umwelteinflüssen anzupassen und so zeitliche Flexibilität einzubüßen.

Fragen zum Wärmebedarf:

Aufgrund der geringen Grundfläche ist die Heizlast wesentlich geringer als bei Standard-Wohngebäuden. Bei einem gut gedämmten Tiny House mit ca. 15 m² Grundfläche lässt sich von einem maximalen **Heizwärmebedarf von 3 kW** ausgehen. Ohne Kenntnis der Gebäudehülle ist es schwierig bis unmöglich, den Wärmebedarf und die Spitzenlast abzuschätzen.

Der folgende Heizbedarfsrechner lässt sich verwenden, um überschlägig den eigenen Heizbedarf zu berechnen (Der Rechner ist eigentlich für Hallen gedacht, bei eigenen Tests lagen die Ergebnisse aber im Bereich des erwarteten).

https://www.waermebedarfsrechner.de/

Die Wärmelasten beim Warmwasserverbrauch liegen wesentlich höher. Anders als der Heizbedarf lässt sich der Wärmebedarf für Warmwasser (WW) gut über den gegenwärtigen WW-Verbrauch abschätzen.

Ein großer Teil des Verbrauchs wird durch das Duschen erzeugt. Die zuzuführende Wärmemenge berechnet sich über folgende Formel:

$$Q = \dot{m}*c_p*\left(T_{Dusch} - T_{Vorlauf}\right), \quad c_{p,Wasser} = 4.184 \; kJ/(kg*K)$$

Q: Wärmestrom, \dot{m} : Massenstrom, c_p : spezifische Wärmekapazität

Bei einer Vorlauftemperatur von 15°C und einer Duschtemperatur von 38°C kommt bei einem sparsamen 6 l/min (0,1kg/s) Duschkopf eine Wärmeleistung von ca. 10 kW raus. Bei 5 Minuten duschen entspricht das bei optimaler Frischwasserbeimischung ca. 10l Heißwasser von 80°C. Bei niedrigerer Heiztemperatur z.B. bei einer Solartherme ist der mengenmäßige WW-Verbrauch entsprechend höher.

Um keine Spitzenlast von 13 kW (Heizen + WW) bereitstellen zu müssen, werden die WW-Lasten von einem Speicher abgefedert. Dieser muss entsprechend dem Duschverhalten ausgelegt sein. Langes und heißes Duschen sowie Duschen von mehreren Personen hintereinander treibt die nötige WW-Last in die Höhe.

Wichtig ist, dass ich besonders im Sommer (bei sporadischer Nutzung von thermischer Energie) dafür sorgen muss, dass ausreichend heißes Wasser zur Verfügung steht, wenn ich duschen will. Wenn ich nicht permanent heißes Wasser vorhalten möchte, ist ein entsprechend vorausschauendes Verhalten nötig. Bei einer Heizleistung von 3kW und geplanten 5 Minuten Duschen muss ca. 15 Minuten vorher die Heizung angeschaltet werden. Bei einem Duschkopf mit 12 l/min Durchflussmenge sind es schon 30 Minuten.¹

Der durchschnittliche **Warmwasserverbrauch** in Deutschland liegt bei 55 Litern pro Tag und Person, das entspricht ca. **1,5 kWh pro Tag und Person.**

In einem Tiny House ist Platz ein rares Gut, weshalb dieser nicht für die Lagerung von Brennstoffen verbraucht werden soll. Daher kann es nötig sein, regelmäßig Brennstoffe anschaffen zu müssen, was eine Anpassung des Alltags und Einkaufs notwendig machen kann.

¹ Die Angaben variieren von System zu System und entsprechen hier einer worst-case Betrachtung, in der der Wärmespeicher gerade so für spontane Verbrauche (z.B. Hände waschen) ausreicht und die gesamte Energie zum Duschen erst noch erzeugt werden muss.

Beispiel: In einer kalten Woche läuft die Heizung durchschnittlich auf 2 kW Leistung. Das entspricht einer Wärmeleistung von 48 kWh * 7 (Tage) = 336 kWh. Dies entspricht bei einer Heizung mit Holz ca. 60 kg Scheitholz oder 14 kg Propan.

Bist du dazu bereit, regelmäßig große Mengen an Brennstoffen (Scheitholz/ Pellets/ Briketts) anzuschaffen, um dir Platz für die Lagerung zu sparen?

Fragen zur Standortwahl:

Bei der Standortwahl gibt es zwei Kategorien zu beachten: natürliche Gegebenheiten und die Infrastruktur.

Zunächst ist es ein guter Anhaltspunkt, sich die klimatischen Bedingungen des Ortes anzuschauen, in der das Tiny House errichtet werden soll. Je kälter ein Winter wird, desto größer fällt der Heizbedarf aus. Eine Winterhärtezonen-Karte kann dabei helfen, einen ersten Eindruck zu bekommen. Zusätzlich wird ein wärmerer Boden, z.B. bei einer Wärmepumpe mit Erdsonde, einen besseren Wirkungsgrad erzielen.

Möchte ich eine Solaranlage auf meinem Dach oder eine Windkraftanlage installieren, um meinem Strommix mehr erneuerbare Energien hinzuzufügen?

Hier kann die <u>Strahlungskarte</u> des Deutschen Wetterdienstes erste Informationen zur Abschätzung der Strahlungsleistung bieten. Allerdings sollte vor allem darauf geachtet werden, dass der Standort nach Süden hin eine möglichst freie Sicht hat.

Um herauszufinden, ob der Standort für eine Windkraftanlage geeignet ist, kann eine <u>Windkarte</u> zu Rate gezogen werden. Diese gibt an, wie groß die mittlere Windgeschwindigkeit über das Jahr an verschiedenen Standpunkten ist. Eine lokale Messung der Windgeschwindigkeit kann dadurch aber nicht ersetzt werden.

Wie sieht die vorhandene Energie-Infrastruktur aus?

Käme eine Heizungsgemeinschaft in Frage?

Gerade Strom- oder Gasnetz können wichtige Faktoren bei der Standortwahl sein. Hier lohnt sich auch ein Blick auf die Anbieter in der Region, die Wert auf eine nachhaltige Erzeugung legen. Vielleicht bietet sich auch ein Fernwärmeanschluss an, mit dem man die Wärme einer Heizungsgemeinschaft oder aus einem existierenden Fernwärmenetz nutzen kann. Eine Heizungsgemeinschaft könnte dabei helfen, die Kosten für eine Heizung zu verringern und eine effizientere Heizungsform wählen zu können, indem man sich mit anderen Tiny House Besitzer*innen zusammenschließt.

Der letzte Standortfaktor ist die Ressourcenverfügbarkeit. Wenn es wirklich eine Verbrenner-Heizung wird, sollten die Brennstoffe möglichst lokal verfügbar sein. Beispielsweise sollte bei der Holzverbrennung darauf geachtet werden, dass lokale und nachhaltig produzierte Holzscheite verwendet werden.

Im besten Fall hast du dich nun mit deinem eigenen Energiebedarf auseinandergesetzt. Es gibt viele Motive, warum man in ein Tiny House ziehen möchte. Sei es die Anschaffung einer eigenen und preiswerten (Im)Mobilie oder der Versuch, dem Wettlauf des Konsums zu Entkommen und sich auf das zu konzentrieren, was man wirklich braucht, um ein glückliches Leben zu führen, etc...

Wir möchten uns in diesem Leitfaden mit der Energieversorgung eines Tiny Houses beschäftigen und der Frage der Nachhaltigkeit derer. Dabei sollte folgender Grundsatz im Hinterkopf behalten werden: "So wenig wie möglich und so viel wie nötig". Damit ein Tiny House eine nachhaltigere Alternative sein kann, sollte der Energiebedarf möglichst genau ermittelt werden. Zum einem wirkt es sich positiv auf den ökologischen Fußabdruck und den Geldbeutel aus, wenn durch eine durchdachte Ermittlung des Energiebedarfes und Planung von einem Tiny House Ressourcen auf lange Sicht geschont werden können. Auf der anderen Seite muss ein Tiny House die Qualität eines Zuhauses bieten, in einer Art und Weise, in der es langfristig bewohnt werden kann. Die Frage, auf was verzichtet werden kann und auf was nicht, ist eine sehr individuelle Frage, welche sich nicht leicht beantworten lässt. Daher ist es sehr ratsam, sich intensiv mit dieser auseinanderzusetzten. Dabei könnte helfen sich vorzustellen, wie der Alltag in einem Tiny House aussehen könnte. Was bedeutet es beispielsweise einen Holzofen zu betreiben, um Warmwasser und Heizung zu betreiben. Ebenso hilfreich könnte es sein, in einem Tiny House probe zu wohnen, um erste Erfahrungen zu sammeln.

Eine gute Möglichkeit wäre, es mit einem Probewohnen in einem Tiny House zu versuchen, bevor man die endgültige Entscheidung fällt. Dazu wäre, falls vorhanden, der lokale Tiny House Verband eine gute Möglichkeit, Kontakte zu knüpfen und für eine kurze Zeit ein Probewohnen zu arrangieren. Falls es (noch) keinen Tiny House Verein in der Region geben sollte, hilft der Tiny House Verband sicher gerne weiter.

Bewertungsmatrix III.

Till. Dewertungsi		1	1	l	l		1	T
	Emissionen (gesundheitlich)	Emissionen (Klimawandel)	Ressourcenverbrauch	Investitionskosten	Betriebskosten	Platzbedarf (mit Speicher)	Schall/ Vibration	Grundanforderungen
Netzstrom	-		-	++		++	++	Netzanschluss
Fernwärme	-		0	++	-	++	++	Fernwärme- anschluss
Verbrennung Öl/ Gas	-			+	-	o (-)	0	Gasanschluss/ Tank
Verbrennung Holz ²		-/+	/++	+	0	o (-)	0	Regelmäßige Beschickung
BHKW Öl/ Gas	0	-	-	0	0	- ()	-	Gasanschluss/ Tank
BHKW Holz	-	0/++	-/++	0	+	- ()	-	Regelmäßige Beschickung
Brennstoffzelle ³	+	0/++	-/++		0/++	- ()	0	Gasanschluss/ Eigenproduktion
Kleinwindkraftanlage	++	++	++		++	+ (o)	+	Windreicher Standort
Kleinwasserkraft- anlage	++	++	++		++	+ (o)	+	Zugang zu Fließwasser
Geothermie (Erdwärmepumpe) ⁴	++	++	0/++		0/++	- ()	0	Erschließung möglich
Wärmepumpe (Luft)	+/++	+/++	0/++	-	0/++	- ()	-	
Photovoltaik	++	++	++	-	++	+ (o)	++	Sonnenreicher Standort
Solarthermie	++	++	++	0	++	+ (o)	+	Sonnenreicher Standort
Infrarotheizung	0	-	-	++	-/+	++	++	Stromversorgung
Widerstandsheizung	-		-	++	/o	+	+	Stromversorgung

 $^{^2}$ Unterscheidung nicht nachhaltiger/ nachhaltiger Anbau 3 Bezug Erdgas/ $\rm H_2$ Eigenproduktion 4 Abhängig von der Stromquelle (Strommix, Eigenerzeugung)

IV. Technologieübersicht

i. Netzstrom

Funktionsweise

In Deutschland wurden 2019 rund 512 TWh Strom verbraucht, am stärksten vertreten im Energiemix ist dabei Wind (ca. 1/3). Die Netzfrequenz in Deutschland und Europa ist auf 50 Hz festgelegt. Voraussetzung für den Bezug von Netzstrom ist ein Stromanschluss und ein Stromvertrag. Die Spannung liegt dabei bei 230V (1 Phase) bzw. 400V (3 Phasen), die Leistung kann je nach Anschluss variieren. Netzanschluss ist in Deutschlandfast überall möglich.

Zahlen und Fakten

Die Kosten für die reine Stromerzeugung lagen 2019 bei rd. 7,06 Cent/kWh. Zusammen mit EEG-Umlage (6,4 Cent), Offshore AbLa KWKG (1,0 Cent), Konzessionsabgabe (1,66 Cent), Netzentgelte (7,39 Cent), Stromsteuer (2,05 Cent) und Umsatzsteuer (4,86 Cent) liegt der durchschnittliche Strompreis für den Privatverbraucher bei **30,43 Cent/kWh** (strom-report.de, 2019). Auf Campingplätzen kann der Strompreis abweichen.

Die Kosten für einen neuen Stromanschluss liegen zwischen 1000€ und 2000€.

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Wartungsarme Technik im Haus Wenig Platzverbrauch im Haus	 Abhängigkeit vom Strompreis (Kosten) und Strommix (Emissionen)

Nachhaltigkeitsaspekte

Der **Primärenergiefaktor**⁵ für Strom liegt laut EnEV bei **1,8**. Es besteht die Möglichkeit, Ökostromtarife zu buchen oder am besten Stromanbieter zu wählen, die nur Ökostrom im Portfolio haben.

CO₂-Äquivalent ~ 400 g/kWh

<u>Beispielprodukte</u>

Vier Jahreszeiten Camping Biggesee 2019-2020, Strom: 0,55 €/kWh, Stromzählergebühr 18 €/a (biggesee.freizeit-oasen, 2019)

EnBW Privatstrom Natur Max12, Grundpreis: 9,89 €/Monat, Verbrauchspreis 29,80 Cent/kWh (enbw.com, 2020)

⁵ Der Primärenergiefaktor beschreibt das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie zu erhaltener Endenergie (erneuerbar ca. 0, Heizkessel mit Wirkungsgrad 0,9 ca. 1,1)

ii. Fernwärme

<u>Funktionsweise</u>

Fernwärme wird durch Heizwerke oder Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt. Bei Kraft-Wärme-Kopplung verringert sich der elektrische Wirkungsrad der Turbine, der Gesamtwirkungsgrad erhöht sich. Als Brennstoffe dienen Biomasse, Erdgas, Kohle oder Heizöl. Fernwärme kann nicht überall bezogen werden. Anders als bei Strom muss zuerst geprüft werden, ob an den Stellplatz ein Fernwärmeanschluss gelegt werden kann.

Zahlen und Fakten

Die Kosten für Fernwärme setzen sich zusammen aus Arbeitspreis, Leistungspreis und Grundpreis, zusammen etwa **11 Cent/kWh** (fernwärme-info, 2019). Dazu kommen die Kosten für den **Fernwärmeanschluss**, der sich auf etwa **5000€** beläuft.

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Wartungsarme Technik im Haus Wenig Platzverbrauch im Haus 	 Abhängigkeit vom Fernwärmepreis (Kosten) und Strommix (Emissionen) Anbieter kann nicht einfach wie beim Strom gewechselt werden

Nachhaltigkeitsaspekte

Im Vergleich zu kleinen dezentralen Heizungsanlagen lassen sich die anfallenden Schadstoffe besser entfernen. Der **Primärenergiefaktor** schwankt stark nach Anbieter, so ist die Kennzahl für das Stadtnetz Karlsruhe **0,26** und für das Wärmenetz Nord in Karlsruhe **0,01**. Die CO₂-Emissionen belaufen sich laut Stadtwerke Karlsruhe auf **77** g/kWh.

CO₂-Äquivalent ~ **100-400 g/kWh** (je nach KWK-Anteil)

<u>Beispielprodukte</u>

Stadtwerke Karlsruhe, Arbeitspreis: 6,05 Cent/kWh, Leistungspreis 36,83 €/kW/Jahr, Grundpreis: mind. 8,33 €/Monat

iii. Verbrennung (Wärme)

Funktionsweise

Für die Wärmebereitstellung direkt im Gebäude können klassisch Biomasse oder fossile Brennstoffe verbrannt werden. Zu den Heiztechniken gehört die Öl-Brennwertheizung (bzw. -therme), die Gas-Brennwertheizung (bzw. -therme), die Scheitholzheizung (Kamin oder Vergaser) und der Pellet-Kessel. Die Brennstoffe können flüssig, fest oder gasförmig sein.

Für Gas ist entweder ein Gasanschluss oder Flüssiggastank, für Öl ein Öltank notwendig. Bei Gas muss beachtet werden, dass der Tank außerhalb der Gebäudehülle angebracht werden muss. Bei Scheitholz oder Pellets muss entsprechend Platz für die Lagerung der Brennstoffe vorgesehen werden. Nimmt man den Aufwand (und evtl. Mehrkosten) für die regelmäßige Beschaffung in Kauf, kann auf umfangreiche Lagerung verzichtet werden.

Vor der Entscheidung für eine Technik müssen die Brandschutzvorschriften geprüft werden. Scheitholzheizungen mit geringer Leistung (<4 kW) sind nicht messpflichtig nach BImSchV. Gas- und Öltanks müssen evtl. 1m vom Haus entfernt aufgestellt sein.

Für das finanzielle Gesamtbild sollten bei der Entscheidung mögliche Förderungsmaßnahmen z.B. BAFA oder KfW untersucht werden.

Zahlen und Fakten

	Brennstoff	kWh/kg / kWh/l Brennstoff	CO2-Äquiv. Brennstoff [g/kWh]	Kosten Brennstoff [Cent/kWh]	Kosten System ⁶
Öl-	Heizöl	10,6/8,4	317	10,1	4000-5000€ Heizung +
Brennwert- heizung	Bio-Heizöl				1500-2500€ Öltank
Gas-	Erdgas	9-12	246	7,1	5000-6000€ Heizung +
Brennwert-	Biogas	~10	149		1500-2500€ Gasanschluss
heizung					(+4000-5000€ Solaranlage)
Gas-	Propan (fl)	14,06/ 7,17	278	10,85	5000-6000€ Heizung +
Brennwert-					2000-3000€ Gastank
heizung (fl)					(+4000-5000€ Solaranlage)
Scheitholz-	Scheitholz	4,3-4,9/	19 ⁷	5,2	6000-8000€
heizung		0,6-1,1			
	Briketts	6-9/			
		2-2,2			
Pellet-Kessel	Hack-	3,8-4,3/	23	3,96	18.000€
	schnitzel	0,6-1,1			
	Pellets	5,3-5,5/	22	5,5	
		3,4-3,6			
BHKW (s.	Diesel	12,61/10,66	300	9-13	
nächstes	Biodiesel	11,11/9,78	207	9-13	
Kapitel)	Pflanzenöl	11/10,12	186	10-12	

⁶ Die Systemkosten beziehen sich i.d.R. auf Lösungen für Einfamilienhäuer. Sofern kleinere Produkte seitens der Hersteller angeboten werden, können die Systemkosten geringer ausfallen.

⁷ Je nach Anbau und Bezugsart (regional) können die Emissionen stark variieren

Vor- und Nachteile

	Pro	Contra
Öl-Brennwert- heizung	 Bewährte Technik Geringe Kosten Wenig Platzbedarf 	 Fossiler Brennstoff Platz für Tank Abhängigkeit vom Ölpreis Ab 2025 verboten, mögliche Probleme mit Wartung und Ersatzteilen Wartung
Gas-Brennwert- heizung	Weniger Emissionen als Ö	 Abhängigkeit vom Gaspreis Wartung Gasanschluss
Gas-Brennwert- heizung (flüssig)	Weniger Emissionen als ÖKein Anschluss nötig	 Abhängigkeit vom Gaspreis Wartung Gastank
Scheitholz- heizung	 Nachhaltig bei regionalen Bezug Sehr kleine Geräte verfügbar 	n O Staubemissionen O Regelmäßiger Beschickungsaufwand O Wartung
Pellet-Kessel	Geringe Staubemissionen	 Hohe Kosten und Platzaufwand bei automatischer Beschickung Wartung

Nachhaltigkeitsaspekte

Zu vielen fossilen Brennstoffen gibt es nachhaltigere Alternativen, wobei zu beachten ist, dass Bio-Heizöl schon ab einem Anteil von 3% an pflanzlichem Öl als solches bezeichnet wird. Hinter dem Begriff "Klimaneutrales Heizöl" verbirgt sich ein Aufpreis, der vom Vertreiber für Ausgleichsmaßnahmen verwendet wird.

Scheitholz- und Pelletheizung können sehr geringe Emissionen haben. Das hängt ab von der Länge des Transportweges (regional oder nicht) und von der Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft. Hilfreiche Siegel sind FSC und Naturland, wobei Naturland nur in Deutschland vergeben wird und weitaus strengere Vorschriften hinsichtlich Ökologie, aber keine hinsichtlich sozialer Kriterien beinhaltet.

Die EnEV schreibt einen **Primärenergiefaktor** von **1,1** vor für **Gas und Öl** und **0,2** für **Holz**.

<u>Beispielprodukte</u>

	Produkt	Heiz- leistung	Wirkungs- grad	Gewicht	Volumen Wasser	Maße HxBxT	Leistungs aufnahme	Energie- effizienz- klasse	Investition	Bemerkung
Öl- Brennwert- heizung	Scheer- Heizsysteme MH 5/12	5kW	93%	55kg	17,5	380*440*590 mm³	34 W/h ⁸			
Gas- Brennwert- heizung	Vaillant auro COMPACT 14 kW	14kW (Modulation 20-100%)	98%	159kg	141	1640*599*693 mm³		A	3298€	Ausgelegt auf zusätzliche solarthermische Anlage
Scheitholz- heizung	Defro Optima Komfort Plus 3.9	3,9 kW	71%	190kg	321	1407*470*695 mm ³		D	1149€	
Pellet- Kessel	Vitoligno 300-C Viessmann	2,4 bis 8 kW	bis 95,3%	310kg	45l (60- 85°C)	1233*850*770 mm³	ca. 50W (max. 1,8 kW für Zündung)	A+	7200€	

⁸ bei 10min Brennerbetrieb pro Stunde Heizbetrieb

iv. BHKW

Funktionsweise

Ein Blockheizkraftwerk ist ein KWK-Kraftwerk im Kleinformat für die gleichzeitige Produktion von Strom- und Wärme. Der Gesamtnutzungsrad des Brennstoffes ist dabei höher als bei der einfachen Verbrennung⁹. Die Nutzung von BHKWs kann strom-, wärme- oder netzgeführt sein. Bei der stromgeführten Betriebsweise arbeitet das BHKW bei Strombedarf, die entstehende Wärme muss dann genutzt, gespeichert oder abgeführt werden. Dementsprechend ist hier ein Wärmespeicher sinnvoll. Ähnlich entsprechend bei der wärmegeführten Betriebsweise, nur dass bei Netzanschluss der Strom eingespeist werden kann. Bei der netzgeführten Betriebsweise kann die Anlage netzdienlich geführt werden, was für den Verbraucher bei hohen Strompreisen (sofern sich der Einspeisepreis an Nachfrage und Bedarf orientiert) und niedrigen Brennstoffkosten ökonomisch sinnvoll sein kann. Die Technik im BHKW teilt sich auf in Ottomotor (Erdgas, Biogas), Dieselmotor (Diesel, Biodiesel, Pflanzenöl) und Stirling-Motor (Gas, Holz). Durch die Rotation in den Motoren muss man die Geräuschentwicklung bei der Planung berücksichtigen.

Viele Hersteller haben sich in den letzten Jahren aus dem Geschäft zurückgezogen oder bieten nur noch Lösungen für höhere Leistungsbereiche an.

Zahlen und Fakten

Die Investitionskosten einer solchen Anlage belaufen sich auf etwa 10.000 bis 15.000€ Netto (inkl. Zusatzbrenner), dazu kommen 5500-6500€ Installationskosten und 350-450€ Wartungskosten pro Jahr.

Der **Gesamtwirkungsgrad** von BHKW ist i.d.R. **>90%** (bezogen auf Brennwert).

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Strom- und Wärmeproduktion in einem Hohe Modularität Ökonomisch sehr nützlich bei Flexibilisierung der Strompreise 	 Kleingeräte sind teuer Speicher nötig Brandschutz

<u>Nachhaltigkeitsaspekte</u>

Bei jeder Technik gibt es die Möglichkeit, pflanzenbasierte Brennstoffe zu verwenden. Als Nischenlösung ist die Nutzung von Pflanzenöl durchaus sinnvoll, erst bei umfangreicher Nutzung wirkt es sich negativ auf die Nachhaltigkeit aus durch Flächenverbrauch und Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Der hohe Wirkungsgrad senkt den Primärenergiefaktor.

Die EnEV schreibt einen Primärenergiefaktor von 1,1 vor für Gas und Öl und 0,2 für Holz.

⁹ Beim Gesamtwirkungsgrad geben Hersteller gerne eine Zahl in Abhängigkeit vom Heizwert an. Das führt dazu, dass sogar Werte über 100% erreicht werden, da die Kondensationsenthalpie der gasförmigen Produkte genutzt wird. Das sollte beim Vergleich verschiedener Produkte beachtet werden.

<u>Beispielprodukte</u>

	Produkt	Leistung	Wirkungs- grad	Gewicht	Maße HxBxT	Leistungs aufnahme	Energie- effizienz- klasse	Strom- kennzahl	Investition	Bemerkung
Ottomotor	SenerTec Dachs G2.9/F3.0 (Gas/Flüssiggas)	6,9kW _{th} , 3,0kW _{el}	28% elektrisch, 63% thermisch	580kg	720*1070*1270 mm³ (Platzbedarf 1920/2020)	65W	A+++	0,43	18490€	
Ottomotor	KW Energie - smartblock als mobiles BHKW, smartblock 7.5 (NG, LPG)	22,1kW _{th} , 7,5kW _{el}	109% (bezogen auf Hu)	380kg	820*700*1040 mm³		A++	0,4 (0,47 bei 50% Leistung)		Ab 100.000 kWh pro Jahr sinnvoll
Stirling	Remeha ELW 5- 12 (Gas)	11,9kW _{th} , 5kW _{el} (9,2-11,9 und 2,9- 5,0)	31,6% elektrisch, 75,7% thermisch (Hu)	490kg	1100*620*1160 mm³	200W	A++	0,44 f _{PE} : 0,279		
Ottomotor	Kirsch nano	9kW _{th} , 1,9kW _{el}	19% elektrisch, 76% thermisch	250kg	1270*675*790 mm³					

v. Brennstoffzellen

Funktionsweise

Brennstoffzellen erzeugen in einem chemischen Prozess aus einem Brennstoff (meist Wasserstoff) Strom und Wärme. Brennstoffzellenheizungen für private Haushalte werden meist mit Erdgas betrieben, welches in einem Reformationsprozess in Wasserstoff umgewandelt wird. Zur Abdeckung von Heizspitzen wird meist ein Spitzenlastkessel mit konventioneller Verbrennung eingesetzt. Eine Kombination mit einer eigenen Wasserstoffproduktion z.B. mittels Photovoltaik ist möglich. Ein Wärmespeicher ist bei stromgeführtem Betrieb sinnvoll, um die erzeugte Wärme zeitlich flexibel zu nutzen. Ein Stromspeicher kann die Wirtschaftlichkeit erhöhen, da der Strom als Eigenbedarf genutzt, aber auch ins Netz eingespeist werden kann.

Zahlen und Fakten

- Wirkungsgrad von Strom- und Wärmeproduktion 85 95 % (elektrisch bis 60 %)
- Förderung durch KfW: bis zu 40 % der Investitionskosten (10-jähriger Vollwartungsvertrag gefordert, welcher aber ebenfalls gefördert wird)
- Investitionskosten für komplettes System: 20.000 35.000 €
- Bei ausreichender ganzjähriger Auslastung: Amortisierung in 10-15 Jahren

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Netzunabhängige Stromversorgung Geringe Betriebskosten Wartungsarm Förderung durch KfW Nachhaltiger als konventionelle Verbrennung Leise und vibrationsarm Besonders ökologisch mit selbsterzeugtem Wasserstoff 	 Hohe Investitionskosten Oft Zusatzkomponenten nötig (Spitzenlastkessel, Wärmespeicher, Gasanschluss) Wärmebedarf sollte nicht zu niedrig sein

<u>Nachhaltigkeitsaspekte</u>

- Reduktion der CO₂-Emissionen um bis zu 50% im Vergleich zu konventionellen Heizungen mit Verbrennung
- Keine weiteren Verbrennungsabgase (Ausnahme: Spitzenlastkessel)
- Betrieb mit selbsterzeugtem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien möglich

$\underline{\text{Beispielprodukte}}$

Produkt	Leistung	Wirkungs-	Gewicht	Maße HxBxT	Leistungs-	Energieeffizienzklasse	Investitionskosten	Bemerkung
		grad	(kg)	(mm)	aufnahme			
Viessmann	0,75	Elektrisch:	326	1800x600x600	80 W	A++	21.000 € (11 kW	Komplettes System:
VITOVALOR	kW _{el}	37 %					(Spitzenwärmeleistung)	Brennstoffzelle
PT2:	1,1 kW _{th}	Gesamt:					Ausführung; inklusive	Warmwasserspeicher
		92 %					Förderung)	Brennwertmodul
								10 Jahre Wartung
Brennstoffzelle	1,5 kW _{el}	Elektrisch:	250	1200x550x800		A+++	25.000 €	System ohne
BlueGEN	0,85	56 %					(Preis ohne Förderung)	Warmwasserspeicher
BG-15	kW_{th}	Gesamt:						und Brennwertmodul
		88 %						

vi. Kleinwindkraftanlagen

Funktionsweise

Kleine Windenergieanlagen erzeugen mittels eines Generators Strom. Eine horizontale Rotorachse mit zwei bis vier Blättern ist in der Regel am effizientesten. Es existieren auch vertikale Ausführungen, die jedoch eine geringere Effizienz aufweisen. Das Windprofil am Standort ist entscheidend für die Wirtschaftlichkeit. Der Strom kann für den Eigenbedarf genutzt (meist wirtschaftlicher) oder ins Netz eingespeist werden.

Die Nennleistung der Anlagen gibt die Leistung bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit an und liefert somit nur bedingt Informationen über den Energieertrag. Informationen über den Energieertrag lassen sich aus einer Leistungskennlinie (Diagramm für Leistung der Anlage über die mittlere Windgeschwindigkeit) und der mittleren Windgeschwindigkeit oder noch genauer einem Windprofil (Häufigkeit der verschiedenen Windgeschwindigkeiten) abschätzen.

Wegen der jahreszeit- und wetterabhängigen Stromproduktion ist ein Stromspeicher oder eine direkte Netzeinspeisung nötig.

Zahlen und Fakten

- Windverhältnisse am Standort entscheidend für die Wirtschaftlichkeit: mindestens 4 m/s mittlere Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe. Eine doppelte mittlere Windgeschwindigkeit erzeugt etwa den achtfachen Energieertrag.
- Zur Orientierung kann die <u>Windkarte</u> des Deutschen Wetterdienstes dienen. Zusätzlich sollte eine Fachmeinung eingeholt werden oder eine einjährige Windmessung (zusätzliche Kosten) durchgeführt werden.
- Die Marktsituation ist unübersichtlich, mit vielen Produkten von niedriger Qualität und teilweise falschen Angaben, daher ist eine gründliche Recherche erforderlich.
- Investitionskosten je nach Modell: 4.000 8.000 €/kW

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Erneuerbare Energieform Keine Feinstaub oder CO₂- Emissionen im Betrieb Energieautonomie Wartungsarm 	 Wetter und Jahreszeitabhängige Stromproduktion Unübersichtlicher Anbietermarkt; wenige verlässliche Daten Je nach Höhe und Bundesland Genehmigung nötig Einspeisevergütung gering (wie bei großen Anlagen)

<u>Nachhaltigkeitsaspekte</u>

Keine nennenswerten Emissionen, ressourcenschonend

<u>Beispielprodukte</u>

HeYwind 2.5 (Heyde Windtechnik):

- horizontale Achse mit 3 m Rotordurchmesser und drei Flügeln
- Nennleistung von 2,5 kW bei 11 m/s Windgeschwindigkeit
- Jährliche Energieproduktion bei 4 m/s durchschnittlicher Windgeschwindigkeit: 1863 kWh Preis Turbine: 5369 € + Mast und Elektronik

AC 1002 (AeroCraft):

- horizontale Achse mit 2,4 m Rotordurchmesser und drei Flügeln
- Nennleistung von 1 kW bei 9 m/s Windgeschwindigkeit
- Preis Turbine: ab 3270 €

vii. Kleinwasseranlagen

Funktionsweise

Kleinwasserkraftanlagen nutzen in der Regel die potenzielle bzw. kinetische Energie von Wasser und wandeln sie mittels einer Turbine in mechanische Energie und mittels eines Generators weiter in elektrische Energie um. Aufgrund der oft annähernd konstanten Durchflussmenge eignen sich Wasserkraftwerke gut zum Abdecken einer elektrischen Grundlast. Die Nutzung von fließendem Gewässer kann auch auf dem eigenen Grundstück in den meisten Fällen nicht ohne Genehmigung genutzt werden. Es gilt das Wasserhaushaltsgesetz und das jeweilige Landeswassergesetz. Die entsprechende Genehmigung ist oft nicht oder nur mit großem Aufwand zu erlangen. Die Ansätze zur Nutzung sind vielfältig. Neben den klassischen Turbinen gibt es viele weitere Bauformen (Wasserwirbelkraftwerk, Wasserschneckenkraftwerk, etc.) die auch schon bei geringer Fallhöhe arbeiten und niedrigere Umwelteinflüsse aber oft auch eine niedrigere Effizienz aufweisen.

Zahlen und Fakten

Faustregel: 1 kWh entspricht 400 000 Litern Wasser, welches über ein 1 m hohes Gefälle geleitet wird.

Die Kosten für Kleinwasserkraftwerke im Bereich 70 – 1000 kW Leistung betragen 8.500 - 10.000 € pro kW

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Erneuerbare Energieform Keine Feinstaub oder CO₂- Emissionen im Betrieb Lange Lebensdauer Energieautonomie Wartungsarm Konstante Stromerzeugung 	 Aufwendiges Genehmigungsverfahren Hohe Investitionskosten Standortabhängigkeit Umwelteinflüsse (bspw. Fischdurchgang)

<u>Nachhaltigkeitsaspekte</u>

Eingriff in das Ökosystem Wasser. Keine Emissionen im Betrieb.

In der Regel sehr lange Lebensdauer.

Beispielprodukte

KT 340 (100 – 340 Watt); Lingenhöle Technologie GmbH;

Höhe: 450 mm; Durchmesser: 480 mm

Pelton Turbine mit minimaler/maximaler Fallhöhe von 7/35 m

Preis Turbine: 1.790 €

viii. Wärmepumpen

Funktionsweise

Über einen Wärmetauscher wird einem Medium Energie entzogen und damit ein anderes Medium, meist Warmwasser, erhitzt. Üblicherweise wird Erdwärme, Grundwasser oder die Umgebungsluft als "Energiequelle" herangezogen. Das Prinzip hinter der Wärmepumpe ist der Carnotprozess, bei dem durch Ausdehnung und Kompression eines Kältemittels gezielt Energie aufgenommen und abgegeben werden kann. Die bekannteste Wärmepumpe ist wohl der Kühlschrank, der dem Innenraum Energie entzieht - somit kühlt - und warme Luft nach außen abscheidet. Der Wärmetransport erfolgt dabei über ein Kältemittel, das besonders gute Wärmespeicherungseigenschaften besitzt.

Die Wärme kann über verschiedene Techniken aufgenommen werden:

- Luftwärmepumpen:
 - o Luftradiator: Luft wird durch einen Wärmekoppler geleitet
- Erdwärmepumpen:
 - o Erdwärmesonde: eine oder mehrere Bohrungen mit meist etwa 100 m Bohrtiefe.
 - Erdwärmekollektoren: Flache Kollektoren auf 1 2m Tiefe. Große verfügbare Fläche und geeignete Bodenqualität nötig. Eingeschränkte Bebauung und Bepflanzung der genutzten Fläche.
 - Erdwärmekörbe: Besondere Ausführung der Erdwärmekollektoren in 1 5 Meter Tiefe. Weniger Platzbedarf und bessere Bebauung/Bepflanzung möglich.

Zahlen und Fakten:

Тур	Thermische Leistung	Kosten	Jahresarbeitszahl ¹⁰ nach EEWärmeG
Luftradiator	1kW pro 1-2m³/h Luftstrom	-	mind. 3,5
Erdwärmesonde	Pro Tiefenmeter etwa 75 Watt	50-100€ / m ¹¹	mind. 4
Erdwärmekollektor	25 W / m ²	25€ / m²	mind. 4

- Zusätzliche Investitionskosten der Wärmepumpe: 6.000 8.000 €
- Bei Erdwärme: Hohe Montagekosten von 4.000 5.000 € wegen aufwendiger Soleanschlüsse
- Gesamtsystemkosten somit im oberen vierstelligen bis unteren fünfstelligen Bereich

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Gute Jahresarbeitszahl Keine Feinstaub oder CO2-Emissionen im Betrieb Niedrige Geräuschemissionen 	 Hohe Investitionskosten Langsame Wärmeverfügbarkeit Wärmespeicher sinnvoll Abhängigkeit vom Strommix

¹⁰ Verhältnis zwischen bereitgestellter Wärmeenergie und verbrauchter elektrischer Energie

¹¹ Abhängig vom Gesteinstyp

- Heizen und Kühlen möglich
- Deckung des kompletten Heizbedarfs möglich
- Kein Heizraum notwendig
- Wartungsarm

- Erhöhter Strombedarf durch Wärmepumpe
- Umwelteinflüsse durch Kollektoren oder Bohrung
- Keine kleinen Leistungsbereiche verfügbar

Nachhaltigkeitsaspekte

Die hohe Jahresarbeitszahl von mindestens 3,5 bzw. 4 verringert die CO₂-Emissionen des Strommix im Betrieb um denselben Faktor und nutzt daher die elektrische Energie von allen Elektroheizungen am besten aus.

Vor allem die verwendeten Kältemittel müssen beim Kauf kritisch betrachtet werden, da hier meist klimaschädliche Stoffe eingesetzt werden, v.a. fluorisierte Kohlenwasserstoffe. Dies stellt im Betrieb zwar keine Belastung dar, allerdings könnten diese bei Beschädigung entweichen und die Gesundheit der Umgebung gefährden.

Zudem bedeuten die Anschaffungskosten einer Wärmepumpe mit meist mehreren Tausend Euro eine finanzielle Belastung, die selbst bei Teilung der Kosten nicht für jeden eine Option darstellen.

Zuletzt müssen die für die Erdwärme-WP notwendigen Eingriffe in die Natur berücksichtigt werden. Während die Erdsonde als Stab senkrecht in die Erde gebohrt wird, ist für einen Flächenkollektor das Abtragen einer mehrere hundert Quadratmeter umfassenden Fläche notwendig, was einen großen Eingriff in die Natur bedeutet. Der Flächenkollektor kann zusätzlich dazu führen, dass tieferwurzelnde Pflanzen durch die dem Boden entzogene Wärme und daher früher eintretenden Frost geschädigt werden.

Beispielprodukte

Weishaupt Luft-Wärmepumpe WWP L16 I-2

Leistung: 13,4 kW

Die Heizung ist für ein einzelnes Tiny House deutlich überdimensioniert und kann daher für mehrere Einheiten genutzt werden. Würde man einen Heizbedarf von ca. 3 kW ansetzen, könnten damit 4 Einheiten versorgt werden. Die **Installationskosten pro Einheit** lägen bei ca. 3750 €, bei dem sich 11.424 € auf die Wärmepumpe und die restlichen 3500 € auf die Installation durch eine*n Handwerker*in aufteilen. Die Gesamtkosten betragen geschätzt etwa 15.000 €.

ix. Photovoltaik

Funktionsweise

Photovoltaik Module bestehen meist aus dem Halbleiter Silizium. Der Siliziumkristall wird dabei zu sehr dünnen Scheiben verarbeitet. Durch das Einbringen von Fremdatomen (dotieren) in übereinanderliegende Schichten können Elektronen mittels des Sonnenlichtes (Photonen) angeregt werden und es fließt Strom.

Die Technologie ist weit verbreitet und der Preis der Module fällt seit Jahren stetig. Wichtig sind vor allem die standortabhängige Strahlungsintensität und die Ausrichtung der Module.

Zahlen und Fakten

Tendenziell ist die Strahlungsintensität im Süden Deutschlands größer. Einen Überblick liefert die Strahlungskarte des Deutschen Wetterdienstes.

Ein handelsübliches Photovoltaikmodul hat, je nach Bauart, einen Wirkungsgrad von etwa 10-20 %. Grob lassen sich marktverfügbare PV Module in monokristallin, polykristallin und amorph (Dünnschichtmodule) einteilen. Monokristalline Module haben oft einen höheren Wirkungsgrad, sind allerdings auch teuer, da die Produktion solcher Module aufwendiger ist. Dünnschichtmodule haben in der Regel den niedrigsten Wirkungsgrad finden aber bei schlechten Lichtverhältnissen und hohen Betriebstemperaturen Anwendungen.

Beispiel: Steht in Karlsruhe eine Strahlungsenergie von bis zu 30 kWh pro Quadratmeter und Monat zu Verfügung, können bei einem Wirkungsgrad von 18 % etwa 5,4 kWh Energie pro Quadratmeter und Monat gewonnen werden. Ein Spannungswandler zur Netzeinspeisung oder eine Laderegler für eine Batterie mindern den Ertrag um wenige Prozent.

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Kein Feinstaub oder CO2 im Betrieb Positive Energiebilanz Geräuschlose Stromerzeugung Wertsteigung der Immobilie Unabhängigkeit von den Strompreisen Einfache ausgereifte Technik Gute Integrationsmöglichkeit Inselbetrieb möglich Gute Skalierbarkeit Wenig Wartung Dezentrale Energieversorgung 	Ertrag ist abhängig von der Sonneneinstrahlung

<u>Nachhaltigkeitsaspekte</u>

Bei einer Photovoltaikanlage entsteht im Betrieb kaum Kohlendioxid. Jedoch wird Energie benötigt für die Fertigung von PV Modulen. Das durchschnittliche CO2-Äquivalent Emissionen für Photovoltaik wird mit etwa 50 g Kohlendioxid pro Kilowattstunde angegeben. Im Mittel dauert es nur 2 - 3,5 Jahre, bis die Energie, die bei der Herstellung investiert, als Solarstrom wieder geerntet wurde. Die energieaufwendige Produktion der Module sollte bei der Kaufentscheidung berücksichtigt werden.

Beispielprodukte

Das PV Modul x83 325 Premium von Aleo hat 325 Watt Peak Leistung und eine Hersteller-Garantie von 25 Jahren. Das Modul hat eine Länge von 1716 mm und eine Breite von 1023 mm. Der Wirkungsgrad wird mit 18,5 % angegeben.

x. Solarthermie

Funktionsweise

Wie auch bei der Photovoltaik wird bei thermischen Solarkollektoren die Sonnenstrahlung genutzt. Die Strahlungsenergie wird von einem Absorber aufgenommen und an eine Flüssigkeit (z.B. Wasser-Glykol) abgegeben, die in einem Wärmetauscher das Brauchwasser erhitzt. Das theoretische Maximum bei Flachkollektoren liegt bei einer Temperatur von 121°C. Die Temperatur verringert sich dadurch, dass nicht die ganze Sonnenergie durch die Atmosphäre gelangt, und durch den Wirkungsrad des Kollektors.

Zahlen und Fakten

Wie bei der Photovoltaik wird bei der Solarthermie die Globalstrahlung genutzt. Der Wirkungsgrad von thermischen Sonnenkollektoren bewegt sich zwischen 55 und 75 %. An einem Standort wie Karlsruhe können damit Spitzenleistungen von 700 W/m² erreicht werden. Zur Warmwasserbereitung sollten pro Person ca. 1m² Kollektorfläche eingeplant werden.

Preise nur für den Kollektor belaufen sich auf ca. 300-500€ pro m².

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Keine Feinstaub oder CO2 im Betrieb Positive Energiebilanz Wertsteigerung der Immobilie Unabhängigkeit von den Energiepreisen Einfache ausgereifte Technik Gute Skalierbarkeit Dezentrale Energieversorgung 	 Ertrag ist abhängig von der Sonneneinstrahlung Hohe Investitionskosten Bewegte Teile

Nachhaltigkeitsaspekte

Bei einer Solaranlage entstehen im Betrieb kaum Kohlendioxid oder Schadstoffe. In der Konstruktion werden lediglich für die Hilfselektronik kritische Werkstoffe benötigt. Da die Kollektoren in der Regel auf dem Dach angebracht werden, entsteht kein zusätzlicher Flächenbedarf.

<u>Beispielprodukte</u>

Der Wolf Hochleistungssonnenkollektor hat eine Fläche von 2,3 Quadratmetern und kostet rund 370 Euro. Er ist 2099mm lang und 1099 breit. Sein Leergewicht beträgt 36 Kilogramm. Der Wirkungsgrad wird mit etwa 60% angegeben.

xi. Infrarotheizung

Funktionsweise

Die Infrarotheizung ist eine Art der Elektroheizung. Mittels elektrischer Energie wird ein Infrarotstrahler betrieben, der die Wärme als Strahlung in den Raum wirft. Diese wird von Objekten im Raum an ihrer Oberfläche reflektiert und zu einem Teil als Wärme absorbiert. Die Heizung heizt somit nicht die Luftmasse an sich, sondern gezielt die Menschen in der Umgebung.

Zahlen und Fakten

- Stromanschluss ist notwendig
- Heizleistung sollte auf verschiedene Heizelemente verteilt werden, da das Wärmeempfinden dann größer ist
- Investitionskosten bewegen sich im oberen dreistelligen bis unteren vierstelligen Bereich

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Geringer Platzbedarf Weniger Heizbedarf Geringe Anschaffungskosten Schnelle Wärmeverfügbarkeit Keine lok. Emissionen Geringe Geräuschpegel 	 Maximale Jahresarbeitszahl von 1 Abhängigkeit vom Strommix

Nachhaltigkeitsaspekte

Da die Anschaffungskosten für diese Heizart gering sind, ist die Infrarotheizung eine günstige Alternative zu anderen Heiztechnologien. Auch die vorteilhafte Nutzung der direkten Erhitzung der Objekte verringert die Energiekosten zumindest im Vergleich zu den anderen Elektro-Direktheizungen. Die Heizung kann ohne große bauliche Veränderungen montiert werden und könnte somit kostengünstig nachträglich eine andere Heiztechnologie ablösen.

Es handelt sich um eine geräuscharme Heizart und belastet damit nicht die Gesundheit des Bewohnenden oder dessen Umfeld.

Die Infrarotheizung produziert lokal keine Emissionen, allerdings ist ihr CO₂-Äquivalent im Betrieb vom Strommix abhängig. Dieser kann in Kombination mit einem Batteriespeicher und einer Solaranlage jedoch auf rein erneuerbare Energie verringert werden.

Beispielprodukte

Trotec Infrarot-Heizplatte TIH 1100S, Leistung: 1,1 kW

Bei einem Heizbedarf von 2 kW müssen zwei Heizplatten installiert werden. Pro Platte wird eine Wandfläche von 1 m² verbraucht. Die **Anschaffungskosten** liegen bei ca. 220 €. Die Installation kann entweder selbst erfolgen, da die Infrarotheizungen TÜV-geprüft sind und mit einem Stecker installiert werden können, oder durch eine*n Elektriker*in (bei 2 Handwerkerstunden ca. 120 €).

xii. Widerstandsheizung

Funktionsweise

Die Widerstandsheizung ist eine elektrische Heizung. Hierbei wird die elektrische Energie über einen Widerstand in Wärme umgewandelt und damit die umgebende Luft erhitzt. Es kann zwischen Konvektoren und Radiatoren unterscheiden werden. Bei Konvektoren wird die kalte Luft durch Unterdruck in den Heizkörper gezogen und nach oben in den Raum abgegeben. Radiatoren erhitzen ein Wärmemedium, z.B. Wasser, das anschließend durch einen Heizkörper geleitet wird.

Zahlen und Fakten

Stromanschluss ist notwendig

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
KostengünstigKeine lok. EmissionenGewichtgeräuscharm	COP von maximal 1

Nachhaltigkeitsaspekte

Im Vergleich zu anderen elektrischen Heizungen ist die Energienutzung bei dieser Heizart nicht optimal. Die Heizung wird im Betrieb mehr Energie verbrauchen als z.B. die Infrarotheizung.

Die Heizung hat lokal keine Emissionen, auch keine Geräuschemissionen. Das CO₂-Äquivalent im Betrieb ist vom Strommix abhängig und kann auch hier durch eine Photovoltaik-Akku-Kombination verbessert werden.

Beispielprodukte

Stiebel Eltron Wand-Konvektor CNS 200

Leistung: 2 kW

Die Heizung wird für eine Raumgröße von 20 m² empfohlen und verbraucht selbst ein Raumvolumen von 33 l. Die **Anschaffungskosten** liegen bei ca. 175 €. Da es sich hier um ein TÜV-zertifiziertes Elektrogerät für die Steckdose handelt, kann auch hier auf die Montage durch eine/einen Handwerker*in verzichtet werden. Die Installationskosten liegen bei zwei Arbeitsstunden, ca. 120 €.

xiii. Wärme-/Kältespeicher

Funktionsweise

Wärme-/Kältespeicher (WK-Speicher) speichern für einen längeren Zeitraum die Wärme/Kälte mittels eines Mediums, oftmals Wasser. Es gibt zwei Arten von Verlusten bei Wärmespeichern. Zu einem verliert der Speicher Wärme an die Umgebung, was durch eine vollständige Isolation verringert werden sollte. Zum anderen werden im Speicher warmes und kaltes Wasser gemischt. Dies wird auch als Schichtungsverlust bezeichnet. Hierbei geht keine Energie verloren, jedoch nimmt die Wärmequalität ab. Grundsätzlich ist es immer erstrebenswert, eine hohe Temperatur zu erhalten. Da warmes Wasser spezifisch leichter ist als kaltes Wasser, steigt es auf und bleibt dort. Umgekehrt sinkt kaltes Wasser ab und platziert sich unterhalb von heißem Wasser. Diese physikalische Eigenschaft erklärt die Temperaturschichtung in einem Wärmespeicher. Grundsätzlich ist es sinnvoll, möglichst heißes Wasser für die Heizung aus dem Speicher zu entnehmen.

Zahlen und Fakten

- Wasser als Speichermedium nimmt 116 Wh/kg auf, wenn es von Zimmer- auf Siedetemperatur erhitzt wird.
- Baugrößen ab 100 Liter bis zu mehreren tausend Litern sind verfügbar.

Vor- und Nachteile

Pro	Contra
 Wartungsarm Effizient Günstig Lange Lebensdauer Lassen sich gut kombinieren mit unterschiedlichen Technologien 	Platzbedarf

Nachhaltigkeitsaspekte

WK-Speicher enthalten weder giftige Stoffe noch Schwermetalle und sind damit gut recyclebar.

Beispielprodukte

Der Vaillant uniSTOR plus 120 kostet rund 700 Euro und hat ein Speichervolumen von 117 Litern. Durch sein Vakuumdämmmaterial sind die Energieverluste gering.

xiv. Batterien

Funktionsweise

Bei Batterien findet eine elektrochemische Reaktion statt, die die elektrische Energie freigibt. Die weitverbreitetsten Akkutypen sind der Lithium-Ionen-Akku und der Blei-Säure-Akku.

Der Lithium-Ionen-Akku besteht aus mehreren Materialien, darunter Lithium, Graphit, Aluminium und verschiedene Legierungen, die die Eigenschaften des Akkus bestimmen. Der Blei-Säure-Akku besteht hingegen aus Bleielektroden, die in eine Schwefelsäure eingetaucht sind.

Zahlen und Fakten

Lithium-lonen: 0,2-0,5 kWh/kg bzw. 0,3-0,8 kWh/l

• Blei-Säure-Akku: 0,03-0,04 kWh/kg bzw. 0,05-0,1 kWh/l

Vor- und Nachteile

	Pro	Cons
Lithium-Ionen-Akku	GewichtEnergiedichte	 Gefahr bei Beschädigung, v.a. Brandgefahr
Blei-Säure-Akku	Einfacher AufbauGute Recyclebarkeit	 Gewicht Entladetiefe max. 55 % Hohe Selbstentladung Gefahr bei Beschädigung, v.a. auslaufende Säure

Nachhaltigkeitsaspekte

Lithium-lonen-Akkus haben eine höhere Energiedichte als Blei-Säure-Akkus und sind somit platzsparender, zumal Blei-Säure-Akkus nur bis zu etwa der Hälfte entladen werden können und somit doppelt so groß dimensioniert werden müssen. Um einen Lithium-lonen-Akku zu recyclen, ist derzeit noch ein großer Aufwand nötig, da sich effiziente Recyclingmethoden noch in der Entwicklung befinden. Dies ist ein Vorteil von Blei-Säure-Akkus, deren einfache Zusammensetzung Recycling erleichtert. Blei-Säure- und Lithium-lonen-Akkus stellen allerdings bei Beschädigung eine große Gefahr dar, da hierbei im ersten Fall Säure und im zweiten Fall giftige Dämpfe austreten können, die die Umwelt belasten.

<u>Beispielprodukte</u>

PYLONTECH LiFePo4 Speicher 48V 2,4 kWh

Der Preis für diesen Akku liegt bei 1089 €. Bei den Kosten ist allerdings noch kein Wechselrichter mit eingeplant, der die Spannungstransformation auf 230V übernimmt. Es gibt zahlreiche Wechselrichter, die ein integriertes Batteriemanagement besitzen und die Solaranlage direkt mitsteuern. Hierdurch können nicht nur Kosten, sondern auch Komplexität eingespart werden.

V. Beispielszenarien

i. Szenario 1

Bewohnender:

Bewohnende	Grundfläche	Standort
1	15 m²	Berlin (Siemensstadt 2.0)

Mitarbeiter*in in einem Startup in der neuen Siemensstadt in Berlin. Strebt eine Lebensweise mit geringem Verbrauch an und möchte auf Verbrennungstechnologien verzichten. Mobiles Tiny House.

Elektrische Großverbraucher:

Kühlschrank, Herd, Mikrowelle

Bedarfsermittlung:

Mittels der Abschätzformel wird ein Strombedarf von ca. 1050 kWh pro Jahr (70 kWh/m²) für die Heizung und 547,5 kWh für Warmwasser einkalkuliert, da die Wärme auf jeden Fall elektrisch und nicht über einen Verbrenner bereitgestellt werden soll. Zusätzlich ergibt sich für die Elektrogeräte mittels der Abschätzformel ein Verbrauch von 600 kWh und 135kWh als Schätzwert für sonstige Lasten. Insgesamt kann also ein Bedarf von etwa 2332 kWh pro Jahr angepeilt werden.

In der Winterhärtezonenkarte hat Berlin die Härtezone 7b, was einem eher milderen Klima entspricht. Die Strahlungskarte gibt an, dass das Monatsmittel etwa 16-20kWh/m² beträgt. Die Windgeschwindigkeit ist im Mittel bei 1,9m/s und es muss damit gerechnet werden, dass es in der Stadt aufgrund von hohen Gebäuden vielleicht noch weniger ist.

In Bezug auf die Energieinfrastruktur ist, wie für eine Großstadt üblich, alles vorhanden.

Matrixauswertung:

Da Verbrennung für den Nutzenden als Heizung keine Option darstellt, können diese Heizungen in der Matrix ausgeschlossen werden. Gerade die Brennstoffzellen, Fernwärme, Wärmepumpen und Photovoltaik fallen direkt ins Auge, da hier die Emissionen und Betriebskosten geringer sind. Die Infrarotheizung fällt aufgrund ihrer günstigen Investitionskosten auf.

Möglichkeiten:

Photovoltaik bietet sich grundsätzlich an, um den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen. Mit einer Nutzung der kompletten Dachfläche könnte theoretisch der Bedarf an Energie zur Hälfte gedeckt werden. Eine Wärmepumpe könnte eine gute Gemeinschaftslösung darstellen, sofern es andere Tiny House Besitzer*innen gibt, die sich zusammenschließen und ein "lokales Fernwärmenetz" aufspannen. Sollte es allerdings doch eine mobile Variante sein, würde sich eine außenstehende Luft-Wärmepumpe anbieten. Eine Infrarotheizung könnte eine gute und günstige Möglichkeit darstellen, eine platzsparende Heizung zu erhalten, allerdings müsste hierbei noch ein Durchlauferhitzer o. Ä. installiert werden.

ii. Szenario 2

Bewohnende:

Bewohnende	Grundfläche	Standort
Energiegemeinschaft: 4 Tiny Houses 2 * 2 und 2 *	Jeweils 23m², insgesamt also 92m²	Freiburg Stadtrand
4 Bewohner		

Die Energiegemeinschaft wird bewohnt von 2 Paaren und 2 Familien mit 2 kleinen Kindern. Die Tiny Houses sind mobil, ein regelmäßiger Standortwechsel ist vorerst nicht vorgesehen, d.h. eine gegenseitige Abhängigkeit ist unkritisch.

Bedarfsermittlung:

Elektrische Großverbraucher:

Haushalt: Herd, Backofen, Kühl-Gefrier-Kombination, Geschirrspülmaschine, Waschmaschine,

Computer → 1200 kWh pro Haushalt

Gemeinsam: Elektroauto (10 kWh/100km, 10.000km pro Jahr, davon die Hälfte Zuhause geladen:

500kWh)

Personen: 400 bzw. 800 kWh je Haushalt

Wohnfläche: 207 kWh je Haushalt

Je Haushalt ergeben sich 1932 bzw. 2332 kWh, gesamt 8528 kWh Strombedarf pro Jahr.

Für die Ausführung der Gebäude nehmen wir einen älteren Niedrigenergiehaus-Standard mit 70 kWh/m²a an, woraus sich je Haushalt ein Heizbedarf von 1610 kWh pro Jahr ergibt.

Für die Warmwassernutzung nehmen wir den deutschen Durschnitt an, das ergibt 3 bzw. 6 kWh pro Haushalt und Tag und je Haushalt damit 1100 bzw. 2200 kWh.

Der Jahreswärmebedarf der Energiegemeinschaft beläuft sich in einem Jahr somit auf ca. 13.040 kWh. Dabei muss eine Spitzenlast von mindestens 12 kW gedeckt werden.

Aus der Strahlungskarte lässt sich für Freiburg eine Strahlungsdichte von **26-30 kWh/m² im Monat** ablesen. Es wurde lokal eine geringe durchschnittliche Windgeschwindigkeit gemessen.

Stromanschluss und Fernwärme sind möglich, aber nicht vorhanden.

Matrixauswertung:

Kleinwind- und Wasserkraft fallen an dem gewählten Standort raus. Um sich die generelle Flexibilität aufrecht zu erhalten, entscheiden die Bewohner sich gegen Erdwärmepumpen und Fernwärme. Ein Stromanschluss wird aber grundsätzlich in Erwägung gezogen.

Da die Gemeinschaft sich ein E-Auto teilt, ist die regelmäßige Anschaffung von Brennstoffen kein Problem. Für die Unterbringung der Heizung und weiterer Geräte, die sie sich teilen wollen, möchten sie sich einen Container anschaffen. Sie möchten Emissionen sparen aber nicht weit vom kostenoptimalen Weg abweichen. Dabei ist es ihnen egal, ob die Kosten sich besonders durch hohe Investitionen oder durch Betriebskosten bemerkbar machen. Es kann günstig und regional Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft bezogen werden.

Möglichkeiten:

Da am Standort in Freiburg eine hohe Sonneneinstrahlung gegeben ist, macht eine Nutzung mittels Solarenergie Sinn. Zusammen mit dem Container sind im Maximum ca. 100m² Dachfläche vorhanden. Bei einem Wirkungsrad von 10% (darin einberechnet sind auch Flächenverluste durch Strukturelemente usw.) sind im Jahresverlauf ca. **3300 kWh** Stromgewinnung möglich.

Um die restliche elektrische Leistung nicht komplett durch Netzstrom decken zu müssen und günstig Holz bezogen werden kann, kann ein **BHKW mit Holzbetrieb** das Mittel der Wahl sein. Bei der Auslegung muss konkret untersucht werden, ob ein **Spitzenlastkessel** verbaut werden soll und die Dimensionierung des BHKW dadurch kleiner ausfallen kann. Bei stromgeführter Betriebsweise (was bei teurem Strom und günstigem Brennstoff sinnvoll ist) sollte ein großzügig ausgelegter **Warmwasserspeicher** zum System gehören.

Bei Verzicht auf einen Stromanschluss muss das System durch eine **Batterie** erweitert werden, um Lastspitzen zu glätten.

Vorsicht: Bei Verzicht auf einen Netzanschluss kann es im Sommer bei wenig Sonnenschein und hohem Strombedarf dazu führen, dass zu viel Wärme erzeugt und abgeführt werden muss. Auch das muss bei der Systemauslegung berücksichtigt werden.

Verglichen mit einem konventionellen Einfamilienhaushalt ist das Verhältnis Strombedarf zu Wärmebedarf recht groß, daher wurde sich in diesem Beispiel gegen Wärmepumpe und thermischen Solarkollektor entschieden.

Die relativen Investitionskosten für ein BHKW sinken mit der Leistung. Im kleinen Bereich sind BHKWs zurzeit selten wirtschaftlich, in einer Energiegemeinschaft und bei geringen Brennstoffkosten können sie ökonomisch sinnvoll sein.

iii. Szenario 3

Rahmenbedingungen:

Stationäres Tiny House bewohnt von einer Familie mit zwei Kindern

Bewohnende	Grundfläche (m²)	Standort
4	40	Dingolfing, Bayern

Elektrische Großverbraucher:

Herd, Kühlschrank, Backofen, Kaffeemaschine, Gefrierschrank, Computer, Waschmaschine, Wasserkocher, Fernseher, Spülmaschine, 2 E-bikes (je 200 km/Monat)

Bedarfsermittlung:

Strom:

Der mit dem Bedarfsrechner ermittelte Stromverbrauch beträgt:

2600 kWh (Haushalt mit Großverbrauchern) + 24 kWh (2 E-Bikes mit 500 Wh pro 100 km) = 2624 kWh

Wärme:

Bei einem angenommenen Niedrigenergiehaus-Standard mit 70 kWh/m² pro Jahr ergibt sich ein jährlicher Heizbedarf von 70 kWh/m²*40 m² = 2800 kWh.

Der Warmwasserbedarf beträgt 1,5 kWh pro Tag und Person. Der gesamte jährliche Warmwasserbedarf beträgt also 1,5 kWh*4*365= 2190 kWh.

Ein Stromanschluss ist vorhanden, ein Gasanschluss kann realisiert werden und ein Fernwärmeanschluss existiert nicht.

Die mittlere Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe beträgt 2 - 3 m/s. Die durchschnittliche Strahlungsenergie pro Monat beträgt 26-30 kWh/m².

Matrixauswertung:

Kleinwind- und Kleinwasseranlage scheiden aufgrund der geologischen Gegebenheiten aus. Da die Familie auch ihren Kindern eine lebenswerte Zukunft ermöglichen möchte, wollen sie ihren ökologischen Fußabdruck möglichst geringhalten und auf konventionelle Verbrennung, wenn möglich verzichten. Die Familie ist finanziell gut situiert und kann sich höhere Investitionskosten leisten. Es verbleiben die Technologien Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpe, Brennstoffzelle (mit eigener Wasserstoffproduktion) und Infrarotheizung. Das Heizen mit Holz kommt aufgrund der aufwendigen Beschickung für die Familie nicht in Frage.

Möglichkeiten:

Die hohe Strahlungsenergie ermöglicht eine profitable Photovoltaik- und Solarthermieanlage auch zur Erzeugung von Wasserstoff für eine möglich Brennstoffzellenheizung. Ebenfalls in Frage kommt eine Erdwärmepumpe oder Luftwärmepumpe, die mit ökologisch erzeugtem Netzstrom oder Solarenergie versorgt wird. Bei eine Solaranlage mit 5,4 kWh/m² pro Monat (Wirkungsgrad von 18 % und Strahlungsenergie von 30 kWh/m² pro Monat) würden bei entsprechender Speicherung eine Fläche von 40,5 m² ausreichen, um den Jahresstrombedarf von 2624 kWh der Familie zu decken.

Der Warmwasserbedarf kann mit einer Solarthermie Anlage von etwa 4 m² gedeckt werden, wobei auf eine ausreichende Heizleistung in den sonnenarmen Wintermonaten geachtet werden sollte.

Eine Erdwärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 4 würde den Heizbedarf von 2800 kWh/Jahr mit 700 kWh/Jahr zusätzlichem Strombedarf decken. Allerdings stellt sich die Frage, ob sich ein für den relativ geringen Heizbedarf passendes System mit vertretbaren Investitionskosten findet.

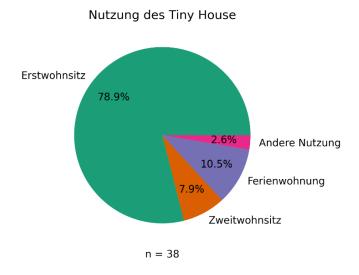
Ein Netzanschluss und eine Versorgung mit Ökostrom und einer Infrarotheizung stellt eine Alternative mit geringen Investitionskosten dar. Der Anschluss bringt jedoch eine höhere Abhängigkeit vom Strompreis mit sich und ist auf lange Sicht oft weniger rentabel als die Eigenproduktion von Strom oder Wärme.

Eine Brennstoffzelle mit eigener Wasserstoffproduktion ist derzeit wegen fehlenden marktreifen Produkten noch eine sehr aufwendige und kostenintensive Option.

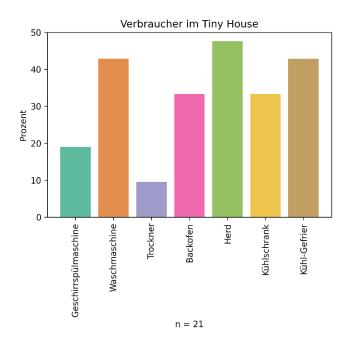
Nach diesem Überblick kann sich die Familie nun gezielter an Energieberater und Unternehmen wenden und die für sie ökologisch und ökonomisch nachhaltigste Lösung bestimmen.

VI. Umfrageergebnisse

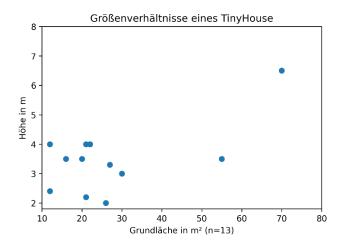
Im Rahmen des Seminars wurde eine anonyme Umfrage bei Tiny House Besitzenden durchgeführt, um die Nutzung von Tiny Houses zu untersuchen. Zunächst wurde nach der Wohnsitzform gefragt, wonach 78,9% der Bewohnenden das Tiny House als ihren Erstwohnsitz benutzen, 7,9% als Zweitwohnsitz und 10,5% als Ferienwohnung.



21 Befragte haben geantwortet, welche Großgeräte sie in ihrem Tiny House besitzen. Etwa 70% besitzen einen Kühlschrank oder eine Kühl-Gefrier-Kombination, 40% eine Waschmaschine und 34% einen Backofen. Die Geräteanzahl pro Kopf beträgt laut Umfrage 1,375 Geräte bei einer Auswertung von 16 Umfragen.



Um weitere Anhaltspunkte zu den generellen Dimensionen eines Tiny House zu erhalten, wurden diese befragt und es hat sich die folgende Verteilung herausgestellt. Hierbei ist bis auf wenige Ausreißer zu erkennen, dass sich Tiny Houses in Dimensionen von maximal $30m^2$ und einer Höhe von 4m bewegen. Bei den größeren Häusern sei dem Lesenden überlassen, ob diese noch ein "Tiny House" darstellen oder nicht.



VII. Literaturverzeichnis

Strom, Fernwärme, Verbrennung, BHKW

Ausfuhrkontrolle, B. f. (2019). *Merkblatt zu den CO2-Faktoren, Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit.*

baunebenkosten-rechner. (2020). Von http://www.baunebenkosten-rechner.de/baunebenkosten/anschlusskosten-strom-hoehe-kosten-stromanschlussbaustrom/abgerufen

biggesee.freizeit-oasen. (2019). Von https://biggesee.freizeit-oasen.de/preisliste-dauercamping-2019/ abgerufen

bine.info. (2020). Von

http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Basis_Energie/Basis_Energie_Nr._13 /basisEnergie_13_internetx.pdf abgerufen

blockheizkraftwerk. (2020). Von https://www.blockheizkraftwerk.org/hersteller abgerufen

enbw.com. (2020). Von

https://www.enbw.com/strom/privatkunden/produkte?Postleitzahl=76139&Ort=Karlsruhe& Strasse=&Hausnummer=&Verbrauch=3050&Typ=Strom#tarife abgerufen

energie-experten. (2018). Von https://www.energie-experten.org/heizung/brennstoffzelle/brennstoffzellen-heizung.html abgerufen

fernwärme-info. (2019). Von https://www.fernwaerme-

info.com/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/fernwaerme-info.com/Redakteure/dokumente/AGFW-

 $\label{lem:pressure} Pre is ueber sicht_Internet exemplar.pdf \&t=1592232425 \&hash=ca10d6e5 fe08a8b034bf83b5a5533421f728aa32 abgerufen$

heizkostenrechner. (2020). Von http://heizkostenrechner.eu/heizwert-brennwert-tabelle.html abgerufen

heizung. (2020). Von https://heizung.de abgerufen

kesselheld. (2020). Von https://www.kesselheld.de/brennstoffe/ abgerufen

Kuehnle, E. (2013). Das Comeback der Brennstoffzelle - Sonnenenergie.

solarkontor. (2020). Von https://solarkontor.de/Solarmodule-12V-monokristallin abgerufen

strom-report.de. (2019). Von https://strom-report.de/strompreise/strompreis-zusammensetzung/abgerufen

volker-quaschning. (2020). Von https://www.volker-quaschning.de/datserv/CO2-spez/index.php abgerufen

Wärmepumpen, Infrarot-, Widerstandsheizungen, Batterien, Wärme-/Kältespeicher

Viessmann Deutschland GmbH (09/2011) Planungshandbuch Wärmepumpen.

heizsparer. (2020). Von

https://www.heizsparer.de/heizung/heizungssysteme/waermepumpe/waermepumpen-kosten

- energieheld. (2020) Von https://www.energieheld.de/heizung/waermepumpe/kosten abgerufen energie-experten. (2020) Von https://www.energie
 - experten.org/heizung/elektroheizung/infrarotheizung/kosten.html abgerufen
- effizienzhaus-online. (2020) Von https://www.effizienzhaus-online.de/elektroheizung/abgerufen
- vaillant. (2020) Von https://www.vaillant.de/heizung/heizung-verstehen/tipps-rund-um-ihre-heizung/nachtspeicherheizung/ abgerufen
- heatness.de (2020) Von https://www.heatness.de/ratgeber/infrarotheizung-im-wochenendhausoder-ferienhaus/ abgerufen
- statista.de (2020) Von
 - https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1074324/umfrage/zusammensetzung-der-co2-emissionen-bei-der-herstellung-von-e-autobatterien/ abgerufen
- Umweltbundesamt (2020). Von https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien#im-jahr-2018-hatdeutschland-alle-von-der-eu-geforderten-mindestziele-erreicht abgerufen
- DLR (2015). *Physik Journal 14*. Von https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/veroeffentlichung_alle/Waer mespeicher_Physik_Journal_2015.pdf
- Brennstoffzelle, Kleinwindanlage, Kleinwasseranlage, Photovoltaik, Thermische Solarenergie energie-experten.org (2018) Von https://www.energie-experten.org/heizung/brennstoffzelle/brennstoffzellen-heizung.html abgerufen
- KFW: Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle (2020) Von https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/F%C3%B6rderprodukte/Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle-(433)/ abgerufen
- viesmann.de (2020). Von https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/kraft-waerme-kopplung/mikro-kwk-brennstoffzelle/vitovalor.html abgerufen
- klein-windkraftanlagen.com (2020). Von https://www.klein-windkraftanlagen.com/ abgerufen
- solarkontor. (2020). Von https://solarkontor.de/Solarmodule-12V-monokristallin abgerufen
- verbraucherzentrale.de (2017). Von
 - https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/kleine-windenergieanlagen-stromerzeugung-in-eigener-hand-10857 abgerufen
- heyde-windtechnik.de (2020). Von http://www.heyde-windtechnik.de/heywind.htm abgerufen
- lingenhoele.at (2020). Von https://www.lingenhoele.at/de/leistungsspektrum/turbinenbau/picowasserkraftwerke.php abgerufen
- aerocraft.de (2020). Von http://www.aerocraft.de/ac1002daten.html abgerufen aleo-solar.de (2020). Von https://www.aleo-solar.de abgerufen