

Heliogaia - Wärmenetz

Die ganze Stadt mit Sonne heizen

Bemerkungen zur Druckversion

Hier wurde versucht, den wesentlichsten Inhalt des Internet-Auftrittes <https://heliogaia.de> in einer linearen Aufeinanderfolge von Text darzustellen. Das ist nur rudimentär möglich. Z.B. fehlen alle Kalkulationstabellen, die bei Bedarf bitte online zugänglich gemacht werden sollen. Das Inhaltsverzeichnis stammt vom Original. Einige zum Verständnis weniger wichtige Kapitel fehlen hier, andere wurden umsortiert. Aktualisierungen des Originaltextes können nur um Wochen verzögert in die Druckversion Eingang finden. Die Nummern und Stellungen der Abbildungen wurden gegenüber der html- Darstellung nicht verändert, wodurch sich einige ansonsten bei Veröffentlichungen nicht übliche Dopplungen und Wiederholungen ergeben.

1. ▼ Was ist Heliogaia?

Heliogaia (sprich Heliogää) ist ein klima- und kostenneutrales Heizkonzept mit möglichst geringem Eingriff in die Bausubstanz. Heliogaia-Heizsysteme sind fähig, mittels Sonne (helios) und Erde (gaia, gää) ganze Städte oder Gemeindeverbände zu 100% mit Solarwärme zu versorgen. Heliogaia-Vollausbau ist bereits ein Drittel der gesamten Energiewende, ohne Mehrkosten im Vergleich zu herkömmlicher Technik. Raumwärme und Warmwasser für jedermann zu jeder Zeit, ohne Öl, Gas oder Holz, ohne Wärmepumpen & Windräder zu Heizzwecken, ohne Importe. Niemand braucht mehr eine Heizanlage, einen Keller voller wartungsintensiver Technik oder muss sich nach einer ersten, nur mäßig aufwendigen Anpassung weiter mit der energetischen Sanierung seines Hauses beschäftigen.

Benötigt werden im statistischen Mittel lediglich 3% Elektroenergie bezüglich der gebrauchten Wärme für Umwälzpumpen, dazu pro Person 23 m² thermische Kollektorfläche und 1m² Fläche über dem Erd-Speicher.

Heliogaia ist ein nicht kommerzieller Web- Auftritt, der in seinen zentralen Kapiteln (2. Technik, 2.5. Speicherverluste und 3. Szenario) den grundsätzlichen Aufbau dieser Heizsysteme beschreibt und einen weiteren wissenschaftlichen Nachweis für ihre Funktionsfähigkeit und problemlose Bezahlbarkeit erbringt. Wärmeverluste aus sehr großen, oberflächennahen und nicht isolierten Saisonspeichern werden detailliert berechnet. Jeder kann alle Ergebnisse online und frei bis zu den Quellen prüfen. Die hier erstellten Kalkulationstabellen sind offen zugänglich und können auch für eigene Berechnungen verwendet werden.

Die aktuelle Energiepreisentwicklung wirkt sich mit Heliogaia kaum auf die Raumheizkosten aus, nur indirekt über Baupreise.

Einen ersten Überblick über das ganze Projekt bekommt man mit den Kapiteln: Abstract, FAQ, Energiewendeplan.

2. ▼ Wie funktioniert das System Heliogaia, was ist das Besondere?

Die Größe der Speicher ist entscheidend!

Heliogaia heizt bei einem Elektrizitätsanteil von nur 3% aus besonders einfachen, aber riesigen Saisonspeichern in Wärmenetzen. Die Wärme wird im Sommerhalbjahr durch Solarthermie eingesammelt, jener regenerativen Technik mit dem höchsten Wirkungsgrad.

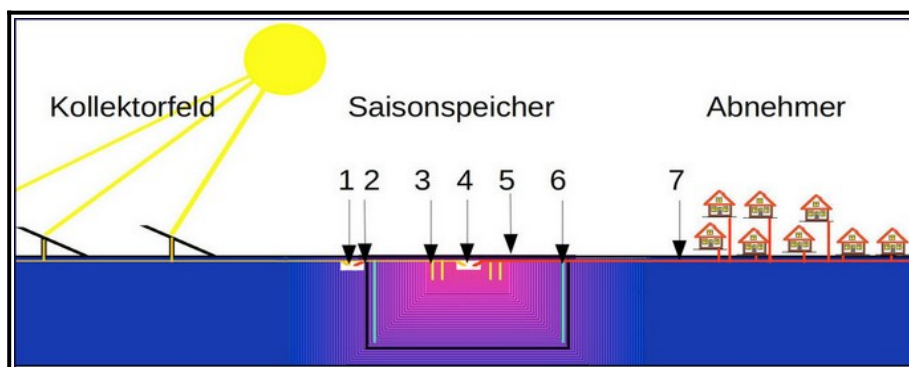


Bild 1: Titelbild, Schema einer Heliogaia-Anlage, nicht maßstäblich 1:kalter Wasserspeicher, 2:Speicherhaut (virtuell oder als wasserdichte Schlitzwand), 3:heiße Bohrung, 4:heißer Pufferspeicher, 5:Abdeckung, 6:kalte Bohrung, 7:Fernheizleitungen, Vor- und Rücklauf

Einschränkung der Speicherverluste wird allein durch Massivität erreicht. Das System arbeitet zwischen 40 und 80 Grad und ist fähig, den Wärmeüberschuss aus Industrieanlagen und den Kollektorströmen des Sommers zum unschlagbaren Preis von durchschnittlich 0,0027 Euro pro Kilowattstunde in den Winter zu retten.

Und das Beste: Die Speicher brauchen gar nicht erst gebaut zu werden. Sie sind als normal wassergesättigter Erdboden überall vorhanden.

Der Einfluss der Anlagengröße auf die Kosten und Verluste des Saisonspeichers wird durch Zahlen der hier abgeschätzten Modellszenarien deutlich:

| Szenario | Einwohner | Speichervolumen | Speicherverluste | Speicherkosten |
|--------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|
| | zum Stichtag | m ³ | % | €/kWh |
| Berlin | 3.644.826 | 504.878.027 | 4,9 | 0,0008 |
| Cottbus | 100.219 | 18.066.692 | 7,5 | 0,0017 |
| Gemeinden um Röbel | 7.518 | 1.312.169 | 21,9 | 0,0038 |
| Gemeinden um Rietz | 3.414 | 629.510 | 28,3 | 0,0045 |

Turbo-Kuscheln im größtmöglichen Saisonspeicher verringert die Verlustanteile. Darum werden nahe beieinander liegende Siedlungen oder ganze Städte mit je einem Verteilungsnetz um einen Speicher zu Versorgungseinheiten für viele Tausend Abnehmer zusammengefasst. Jedes Gebäude bis zu einem Wärmebedarf von 180 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr mit passenden Flächenheizungen wird zuverlässig versorgt.

Im Zuge der Energiewende können längere winterliche Dunkelflauten die Wärmeversorgung nicht unterbrechen.

Immer noch stark geförderte [Fehlinvestitionen in Wärmepumpen](#) sind kontraproduktiv und teuer, gefährden zudem Umwelt und Klima.

Man könnte in Zusammenarbeit aller Netzbetreiber die relativ aufwendige Verlegung der Heizleitungen auch zum Anlass nehmen, das gesamte, meist chaotisch gewachsene Versorgungs- und Anschlussystem einer Gemeinde auf solide Füße zu stellen: Ein einziger begehbare Tunnel enthält alle Medien. Künftige Kontrollen, Wartungen, Reparaturen und Verlegungen würden sehr vereinfacht. **Schon das gemeinsame Planen und Verlegen der oft anstehenden Wärme-, Glasfaser-, Ladesäulen- und Fahrradtrassennetze birgt erhebliche Synergieeffekte.**

3. ▼ Wie kann das bisschen Sonnenschein für die solare Beheizung ganzer Städte im kältesten Winter ausreichen? Leisten das die Kollektorflächen überhaupt?

Die Sonne schenkt uns in Deutschland pro Jahr etwa 500 mal mehr Wärme als wir zum Heizen brauchen, nur eben nicht zur „richtigen“ Zeit und nicht konzentriert, sondern über die ganze Fläche verteilt. Wir müssen den riesigen Überschuss im Sommer effektiv einsammeln und für den Winter parken. Das geht am günstigsten über alternativlos effektive Solarthermiekollektoren und Jahreswärmespeicher.

Ein einziger Quadratmeter thermischer Solarkollektor ersetzt so zu Heizungszwecken rund drei Quadratmeter Photovoltaik oder etwa 100 Quadratmeter Maisfeld (für Biogas).

Durch die saisonalen Wärmespeicher werden Strom- oder Gasspeicher und Windräder für den Raumwärmebedarf unnötig.

Elektrisch/ thermisch kombinierende Hybrid- oder PVT- Kollektoren, die bisher durch zu geringe Wärmeabnahme im Einsatz begrenzt waren, bekommen einen neuen, riesigen

Markt. In der dem Flachkollektor ähnelnden abgedeckten Bauform könnten sie auf der untersten Stufe einer Reihenschaltung von Kollektoren effektiv zum Wärme- und gleichzeitig zum Stromertrag beisteuern. Wenn etwa die Hälfte aller für Heliogaia benötigten thermischen Kollektoren als Hybride installiert werden, kommt es deutschlandweit zu einem zusätzlichen Jahresertrag von rund 100 TWh Elektroenergie. Zusammen mit den bereits installierten rund 50 TWh/a Photovoltaik ist das schon über die Hälfte des hier für eine vollständige Energiewende veranschlagten Ausbaues an PV-Anlagen, siehe Energiewendeplan. Zugleich werden durch die Doppelnutzung mindestens 1000 km² Dach- oder 2700 km² Bodenfläche weniger belegt.

4. ▼ Warum gibt es solche Heizanlagen nicht schon längst?

Es gibt Vorläufer [48], [123], [89], mit einer für den energetisch und finanziell wirklich effektiven Betrieb noch nicht ausreichenden Speichergröße.



Beispiel: Anlage bei Vojens (Dänemark) im Bau. Links der vorbereitete Saisonspeicher. [48]

Mit weiterer deutlicher Vergrößerung der Speicher (und Versorgungsgebiete) wächst das Volumen/Oberflächen-Verhältnis und damit das Wärme-Haltevermögen. Der relative Bauaufwand verringert sich rapide. Preiswerte ungedämmte Saisonspeicher, die das überall vorhandene Erdreich als Material nutzen und im Betrieb mit einem Minimum an Elektroenergie auskommen sollen, müssen mindestens 7000 Anschließer zu 100% mit Solarheizung und Warmwasser versorgen. Die jährlichen Wärmeverluste sinken dann naturgemäß unter 20%, ab ca. 50.000 Nutzer sogar unter 10%.

Viele Menschen müssen aber einmütig zusammen wirken, um derartige Anlagen zu bauen. Bisher gab es für einen Umstieg noch keinen so hohen Druck, weil Warnungen vor drohendem Klimawandel ignoriert und fossile Energieträger viel zu billig verkauft wurden. Durch politische Fehlentscheidungen sind zerstörerische Auswirkungen immer noch nicht annähernd adäquat versichert, wie auch bei Atomenergie, ansonsten wären diese überholten Techniken längst nicht mehr konkurrenzfähig. Alle Folgekosten kommen nun erst auf uns zu.

Weitere große Kollektorfelder mit Solarthermie und Zahlen dazu: [16], [128].

5. ▼ Gibt es Fördergelder für derartige regenerative Wärmenetze?

Die Zuschusslage für 100% solare Wärmenetze mit Jahreswärmespeicher für ganze Kommunen ist unübersichtlich und schwach.

[Bundesförderung effiziente Wärmenetze]

[zu-wenig-geld-fuer-effiziente-waermenetze]

[förderung-fur-warmenetze-4-0].

Für solare Fernwärmenetze der hier besprochenen Größenordnung fanden wir bisher kaum belastbare Aussagen.

Sie werden aber nach ihrem vollen Ausbau 450 bzw. 850 TWh/a Endenergie ablösen und damit das Klimaproblem entscheidend entspannen helfen.

Wegen dieser überragenden Bedeutung müssen sie jährlich mindestens 11 Milliarden Euro Förderung bekommen, wenigstens ebenso viel wie seinerzeit zwischen 1950 und 2010 die Atomenergie, die neben einer Menge Problemen nur rund 150 TWh Endenergie pro Jahr eingebracht hat. Damit können allein aus Fördermitteln nach unserer Kostenrechnung jedes Jahr sieben bis acht große Städte wie Cottbus mit einer kompletten Heliogaia- Anlage versorgt werden, mit sicherer Speichertechnik und fast ohne Strom. Tabelle Fördermittel Bestehen aber die ersten Pilotprojekte ihre Bewährungsprobe, werden kaum noch Zuschüsse nötig sein, weil alle Gemeinden diese Netze bauen wollen, auch im Ausland.

6. ▼ Wie kann die Energiewende mit Heliogaia aussehen? Hier gibt es die gesamte Energiewende in einem Bild.

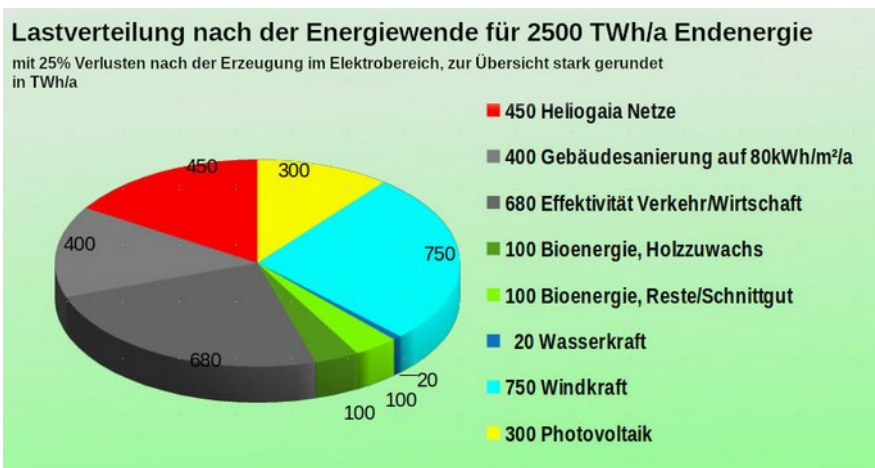


Bild 2: Die gesamte deutsche Energiewende in einem Bild
(aus Energiewendeplan)

Weiter mit [FAQ, Fragen und Antworten](#) zu Klimaschutz, Heliogaia und Energiewende, S. 67

Inhaltsverzeichnis

[Abstract](#) [Klimawandelkosten](#) [Problem Wärmepumpe](#) [Speicherverluste](#) [Standardhaus](#) [Endergebnisse](#) [Tabellen/Software](#)

1. Das Projekt Heliogaia

2. Technik

- 2.1. Intro
- 2.2. Wärmegewinnung, Kollektoren
- 2.3. Wärmespeicherung, Saisonspeicher
- 2.4. Wärmeverteilung, Fernwärmenetz
- 2.5. Speicherverluste

3. Szenario

- 3.1. Intro
- 3.2. Röbel, Vertreter für Kleinstadt
- 3.3. Rietz, Vertreter für ländlichen Raum
- 3.4. Berlin, Vertreter für Metropolen
- 3.5. Cottbus, Vertreter für Großstadt
- 3.6. Endergebnisse
- 3.7. Bau, Durchführung eines Heliogaia-Projektes

4. Mitwirkung

- 4.1. Abnehmer, Anschließer
- 4.2. Investoren, Planer, Firmen
- 4.3. Weitere Möglichkeiten der Mitwirkung
- 4.4. Finanzierung

5. Ergänzungen

- 5.1. Klimawandel und die nicht einbezogenen Kosten
- 5.2. Sanierungswahnsinn?
- 5.3. Individuelle Wärmepumpe versus kommunales Wärmenetz - Warum sind Wärmepumpen problematisch?
- 5.4. Erntefaktor, EROI, energy return on investment
- 5.5. Standardhaus
- 5.6. Energiewende- Plan
- 5.7. Unwägbarkeiten

6. Anhang

- 6.1. FAQ, Frequently asked questions
 - 6.2. Fachbegriffe
 - 6.3. Einheiten
 - 6.4. Tabellen und Software in Form freier Kalkulations-Tabellen
 - 6.5. Zahlen
 - 6.6. Quellen
-

Abstract, Zusammenfassung und Ergebnisse

Heliogaia ist das Klimaschutzprojekt mit dem zur Zeit größten Erfolgspotential, wirtschaftlich alternativlos, ein Quantensprung für die Energiewende:

Rund ein Drittel der in mittleren Breiten benötigten Endenergie ist Wärme bei Temperaturen unter 80 °C.

Dieser riesige Bedarf wird noch immer vorwiegend durch fossile Brennstoffe gedeckt.

Die jährlich hier eintreffende Sonnenwärme ist aber rund fünfhundert mal größer als der aktuelle Raumwärmeverbrauch.

Weil ein Teil dieses Überschusses aus dem Sommer in die Heizperiode gerettet werden kann, lässt sich damit unser Niedertemperatur-Wärmebedarf vollständig regenerativ absichern.

Das ist mit sehr großen, im Erdboden eingerichteten Jahreswärmespeichern besonders verlustarm und kostengünstig möglich. Die Grundzüge der benötigten Technik mit Speichervolumina von mehreren Millionen Kubikmetern und Speicherpreisen von durchschnittlich unter 0,003 € pro Kilowattstunde werden hier vorgestellt, dazu vier Kalkulationen konkreter Szenarien für die komplette Wärmeversorgung ganzer Städte bzw. Gemeindeverbände, am Ende ohne Einsatz von Kohle, Öl, Gas oder stromfressenden Wärmepumpen.

Zum Vergleich: Bisher gebaute Jahreswärmespeicher haben Inhalte von zehntausenden, maximal einigen hunderttausend Kubikmetern und kosteten zwischen 300 und 20 €/m³ Wasseräquivalent, Heliogaia-Speicher nur zwischen 2 und 10 €/m³. [\[110\]](#).

Alle Abschätzungen sind in den Kalkulationstabellen der Szenarien (Formate ods oder xlsx) bis zu ihren Quellen nachvollziehbar dargestellt, einige unter "Speicherverluste" exemplarisch erklärt. Die Rechentabellen dürfen [mit Vorbehalt](#) frei verwendet werden.

Die Plattform **Heliogaia.de** kann zur Organisationsbasis für die Erneuerung der gesamten Wärmewirtschaft ausgebaut werden. Sie zeigt Möglichkeiten zu Umsätzen in dreistelliger Milliardenhöhe und zur Schaffung sehr vieler sicherer Arbeitsplätze.

Die Veröffentlichung wendet sich nicht nur an Experten, Geschäftsleute, Kommunen und Politiker, sondern an alle Menschen mit Interesse an einer zügigeren Energiewende.

Ohne weiterführende Aktivität dieser Gruppen bleibt Heliogaia ein rein informativer Text im Netz.

Ergebnis der Kalkulationen:

Die Wohnungen und Gewerberäume von angenommen 10.000 Menschen, beispielsweise Tutzing/ Bayern, Luckau/ Brandenburg oder Lollar/ Hessen, können mit dem System 'Heliogaia' über zwei Fernheizungsleitungen komplett durch regenerativ erzeugte Wärme versorgt werden. Das Netz wird im Vorlauf zwischen 80 und 40 Grad und im Rücklauf mit ca. 28 Grad betrieben. Zusätzlich sind für 10.000 Abnehmer nötig:

- ein Viertel Quadratkilometer Kollektorfläche (pro Abnehmer knapp 25m²),
- ein im Erdboden mit 2% der Gesamtkosten eingerichteter Wärmespeicher, 130 m Durchmesser, 130m tief (pro Abnehmer 170 m³) sowie
- ein Elektroenergieeinsatz für Umwälzpumpen in Höhe von etwa 3% bezüglich der Heizleistung.

Die Jahresverluste aus dem ungedämmten Speicher, der im Oktober bei 80 Grad mit 40 Millionen kWh geladen ist, bleiben unter 20%, bei Systemen ab 50.000 Abnehmern sogar unter 10% der pro Saison eingelagerten Energie.

Im **Schnitt** sollen die Gebäude dazu auf einen Wärmebedarf von 80 kWh/m²/a (Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr) saniert sein. Auch ältere Gebäude sind in diesem Durchschnitt enthalten und können nach Einbau einer passenden Flächenheizung versorgt werden (bis zu einem Wärmebedarf von 180 kWh/m²/a: ungedämmte Ziegelmauer, ältere Doppelfenster, 10cm Dämmung im Dach).

Dieser bei mittlerem Aufwand gut erreichbare Wert von 80 kWh/m²/a wurde willkürlich gewählt, um die Abschätzungen hier durchführen zu können, ein anderer ist mit anderen Ergebnissen selbstverständlich auch möglich.

Zum Vergleich: Der gegenwärtige Durchschnitt beträgt in Deutschland 160 kWh/m²/a, bei weniger als 70 kWh/m²/a spricht man von Niedrigenergiehäusern, ... Klassifizierungen in [\[104\]](#).

Bis das Sanierungsziel 80 kWh/m²/a erreicht ist, helfen Heizkraftwerke oder Wärmepumpen über eine zweite Vorlaufleitung mit angehobenem Temperaturniveau, dass jedes Gebäude sofort durch Heliogaia versorgt werden kann. Der Deckungsgrad mit Solarenergie beträgt so einstweilen etwa 50%, wächst aber schließlich bis nahe 100%.

Für den bundesweiten Aufbau eines solchen Heizsystems bräuchte man 0,03% der Fläche für Speicher und maximal 1,5% für Kollektorfelder, falls keine Dächer oder Fassaden einbezogen würden, ansonsten auch deutlich weniger.

Zum Vergleich: Verkehrsflächen belegen 5%, für die Produktion von Biogas wurden 2017 sogar 7,5 % der Flächen vorgehalten, teilweise zu Heizzwecken. [\[103\]](#)

Für die Komplettversorgung mit Heizung und Warmwasser in privaten, öffentlichen und gewerblichen Gebäuden ergibt sich ein mittlerer laufender Aufwand von 60 € pro Person und Monat (81€ in der Übergangphase mit Heizkraftwerk).

Darin enthalten sind die Installation der Anlagen, 20% Nebenkosten sowie Reparatur und Wartung.

Kapitaldienst, Fördergelder und CO₂-Abgaben wurden in der Rechnung nicht beachtet.

Zum Vergleich: In der vergangenen Dekade haben wir ohne CO₂-Abgaben monatlich 65 € pro Kopf für Gebäudeenergie aufgewandt. [\[10\] S.7](#)

Die rein solare Beheizung der Privathaushalte allein kostet 29 € pro Person und Monat, günstiger in Ballungszentren.

Kosten und Preise beziehen sich auf die letzte Dekade. Eine ständige Anpassung an inflationäre Entwicklungen wäre zu aufwendig und auch nicht zielführend. Die ermittelten Relationen und darauf beruhende Aussagen bestehen fort.

Andere Zahlen zum Durchschnittsverbrauch der Gebäude würden in den Szenarien andere Ergebnisse liefern.

Eine wirtschaftliche Optimierungsrechnung zwischen

- **technischem und energetischem Aufwand für eine Absenkung des Energieverbrauchs an Gebäuden und**
- **einem andererseits etwas erhöhten Installationsaufwand in Heliogaia-Fernheizsystemen**

wäre vor der Ausgabe weiterer Einsparverordnungen sinnvoll.

Die beschriebene Technik entspricht ökologisch und ökonomisch den Anforderungen der Zukunft. Sie ist sauber, langlebig und fehlerfreundlich, ohne fragwürdige und unerprobte Hochtechnologien. Nahezu alle eingesetzten Materialien können in geschlossenen Kreisläufen geführt und nach Ablauf wieder verwendet werden, da es sich weitgehend um klassische Stoffe der Sekundärrohstoffwirtschaft handelt.

Die durch eine rasch wachsende Zahl kleiner und uneffektiver Einzelprojekte in dicht besiedelten Gebieten bereits mit Sorge betrachtete Gefährdung des Trinkwassers (durch thermische Störungen und Vermischung der Grundwasserhorizonte) wird mit der lokalen Zentralisierung kontrollierbar eingeschränkt.

Relativ hohe Anfangsinvestitionen werden durch die Monatsbeiträge in der Abschreibungszeit von 25 Jahren getilgt.

Wer die Investition scheut, lese dazu auch: [Klimawandelkosten](#).

Eine stark pauschalisierende Gesamtabschätzung über die rein interne Machbarkeit einer konsequenten und nachhaltigen Energiewende in Deutschland gibt es zum selber nachrechnen unter [Energiewendeplan](#).

1. Das Projekt Heliogaia

Aller Anfang ist schwer. Doch der Anfang der Energiewende war leichter als es ihre Vollendung sein wird. Bisher konnten die noch vorhandenen konventionellen Erzeuger wetterabhängig zurückgefahren oder zugeschaltet werden. So blieb die Speicherfunktion den fossilen Trägern überlassen. Die künftige Entwicklung wird ungleich anspruchsvoller, die Wirkungsgrade wegen der zunehmend nötigen Speicherung geringer. Eine Verfügbarkeitsgrenze für regenerative Energien innerhalb Deutschlands existiert bei absehbarem Energiebedarf zwar nicht, dafür aber Akzeptanz- und vor allem Speicherprobleme.

Neue Ideen und Initiativen sind gefragt.

Heliogaia ist das Klimaschutzprojekt mit dem zur Zeit größten Erfolgspotential. Etwa ein Drittel des momentanen Endenergieverbrauchs kann damit innerhalb weniger Jahre regenerativ ersetzt werden.

Bild 2 zeigt anschaulich, wie schmal der Anteil der regenerativen Energien im Vergleich zu den konventionellen in Wahrheit noch ist. Von 2493 TWh im Jahre 2019 bundesweit verbrauchter Endenergie wurden 470 TWh regenerativ erzeugt. Das ist ein Anteil von 18,8%. Die Erweiterung der vorangehenden 20 Jahre betrug etwa 400 TWh, also 16%.

Bei diesem Ausbautempo benötigte die Energiewende noch über hundert Jahre.

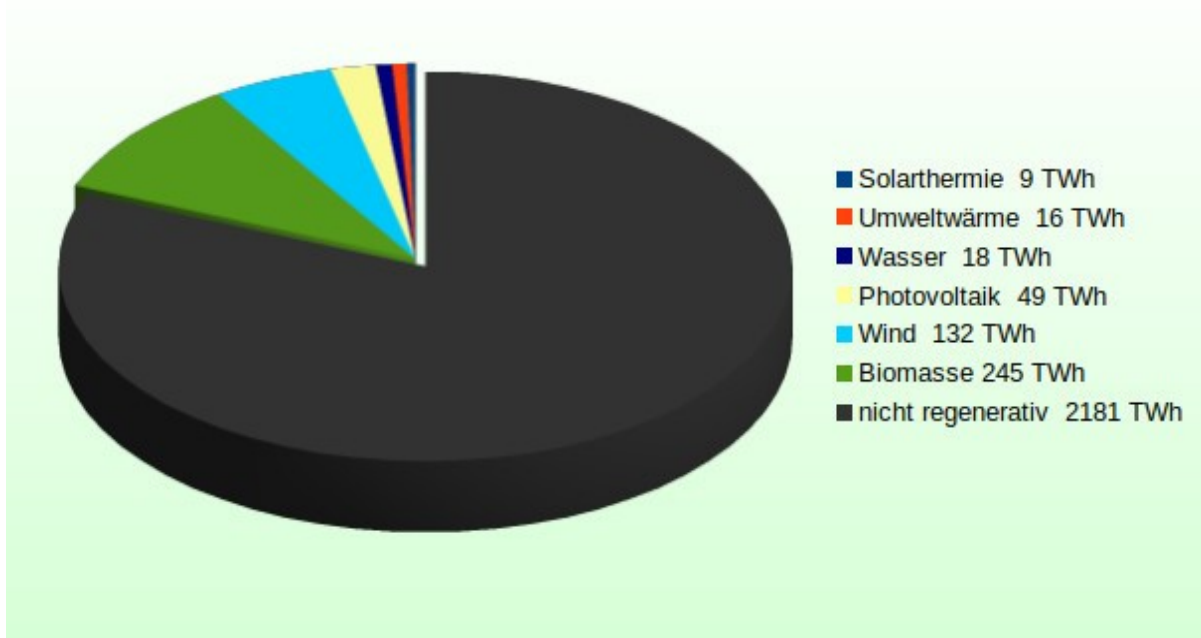


Bild 2: Endenergieverbrauch vor Corona in Deutschland nach Trägern: [\[96\]](#), Tabellen 6, 20.
Gesamt: 2493 TWh

$1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh} = 3,6 \text{ PJ} = 3,6 \cdot 10^{15} \text{ J}$;

$1 \text{ Terawattstunde} = 1 \text{ Milliarde Kilowattstunden} = 3,6 \text{ Petajoule} = 3.600.000.000.000.000 \text{ Joule}$;

1 TWh sind etwa 12 kWh pro BRD-Bürger

10 TWh/a = 1,14 GW (etwa ein Atomreaktor im Vollastbetrieb)

Kritikern scheint es illusorisch, alle Wirtschaftsfelder irgendwann komplett aus regenerativen Quellen sicher versorgen zu wollen. Das ist nachvollziehbar, wenn nur die bisherige Entwicklung proportional so fortgesetzt würde. Der Zubau würde die Grenzen des Erträglichen sprengen. Gewisse Grenzen sind bereits jetzt erreicht, Nebenwirkungen der Entwicklung werden sichtbar.

Beispielsweise kann der Biomasseanbau zur Energiegewinnung allein schon durch das gegebene Flächenlimit nicht wesentlich gesteigert werden. Und: Industrialisierte Landwirtschaft ist hauptverantwortlich für die Verarmung der Landschaften und die Vergiftung der Böden, mit allen bekannten Folgen, weltweit.

Eine insekten-, boden- und wasserfreundliche Betriebsführung muss in den Vordergrund treten. Biogasanlagen können zur Verwertung der dabei anfallenden Pflanzen und der organischen Reste aus anderen Bereichen nützlich sein. Eine energetische Rechtfertigung der aktuellen Maisfeldpraxis besteht nicht, angesichts der Folgeschäden und bei so grottenschlechten Wirkungsgraden von unter 1%.

Auch dürfen global keine schützenswerten oder indigen bevölkerten Gebiete mehr für Energieprojekte geopfert werden, neue Erdgasfelder, Ölplantagen und dergleichen. Wollen wir etwa im eigenen Land mit "Klimaschutz" brillieren, zugleich aber verbrecherisch weltweit den größten Schaden anrichten? [\[98\]](#) [\[102\]](#) [\[129\]](#) Eine saubere Umstellung der Energiewirtschaft kann auf eigenem Boden erreicht werden.

Auch Windenergieanlagen haben nicht nur Freunde. Landschaftsbilder werden großflächig beunruhigt und zerstört [\[148\]](#), fliegende Wildtiere erschlagen.

Die Größenordnungen dazu betragen 2019 in Deutschland: Jährlich hunderttausend Vögel, jährlich zweihundertfünfzigtausend Fledermäuse und täglich eine Milliarde Insekten.

Windräder sollten künftig nur in unbedingt notwendigen Mengen aufgestellt werden, sinnvoll konzentriert und an industriell vorgeprägten Standorten.

Jeder Turm in der Landschaft ist ein weithin sichtbares Ausrufezeichen: Verbrauche nicht so viel Strom!

In welchen Bereichen die größten Erfolge bei der weiteren Entwicklung zu erwarten sind, zeigt ein Blick auf Hauptanteile am Endenergieverbrauch: Rundet man großzügig und ignoriert geringe Überschneidungen, so entfallen

- ein Viertel auf den Stromverbrauch,
- ein Viertel auf den Verkehr und
- die Hälfte auf den Wärmeverbrauch.

Die Werte ähneln sich in allen Industriestaaten des gemäßigten Klimas.

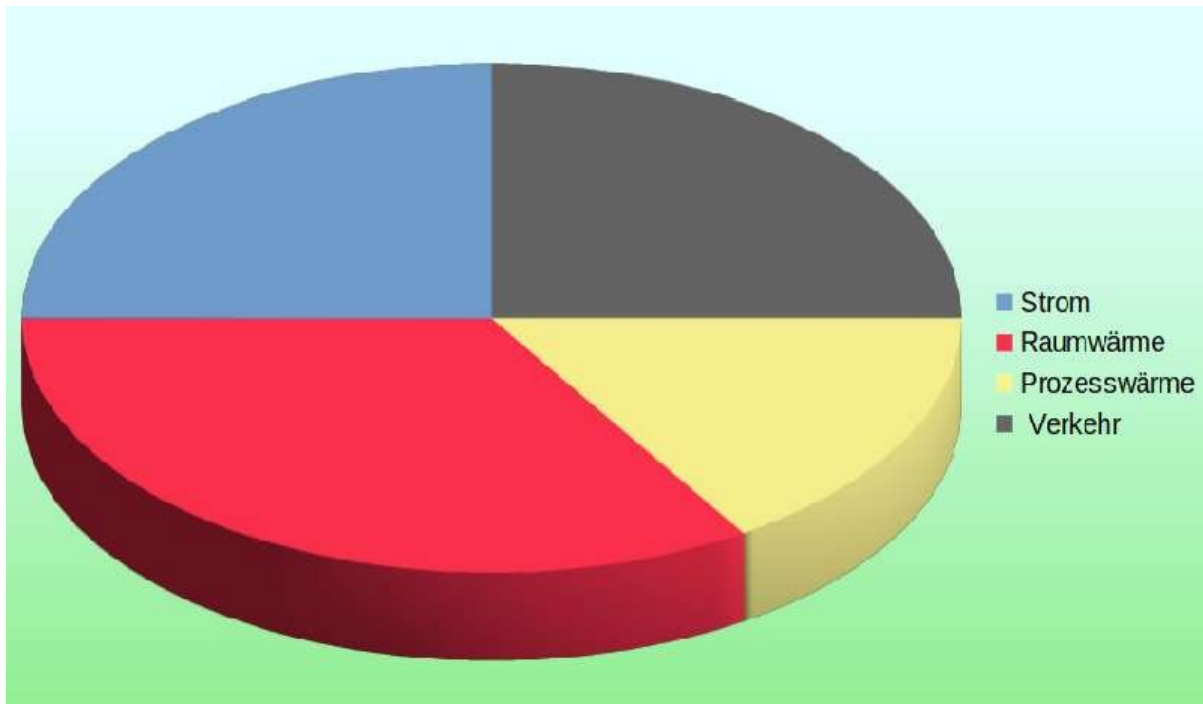


Bild 3: Endenergieverbrauch in Deutschland: gerundet 2500 TWh
(genauere Zahlen findet man in [\[151\]](#) zu Jahr 2019; [\[152\]](#) zu Jahr 2022 oder [\[69\]](#), [\[96\]](#))

Während bereits etwa 50% des aktuellen Stromverbrauchs regenerativ ersetzt sind (mit dem Vorbehalt der zuverlässigen Verfügbarkeit), hat sich in den anderen Bereichen kaum etwas getan. Dort dominiert noch immer der fossile Energieträger.

Wegen seines überragenden Anteils rückt der Wärmeverbrauch in den Fokus. Er unterteilt sich seinerseits wieder in ein Drittel industrielle Prozesswärme bei über 100°C und zwei Drittel Niedertemperatur Anwendungen, vor allem Warmwasser und Raumheizung.

Auf letztere konzentriert sich Heliogaia, also auf etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauches, der kurz- bis mittelfristig einfach durch Sonnenwärme ersetzt werden soll.

Das jährliche Energieangebot der Sonne ist auf der Fläche Deutschlands mit knapp 400.000 TWh rund fünfhundert mal größer als der aktuelle Raumwärmebedarf. Dennoch wird es wegen seiner ungleichen Verteilung auf die Monate bisher kaum genutzt.

Schon einige Jahrzehnte entwickelt und erprobt man Anlagen mit Langzeit- Wärmespeichern (Jahreswärmespeicher, saisonale Wärmespeicher, hier vorwiegend **Saisonspeicher** genannt). [\[123\]](#), [\[48\]](#) Damit wird es möglich, durch Beachtung einfacher physikalischer Prinzipien, Teile des gigantischen Wärmeüberschusses aus dem Sommer in den Winter zu retten. Die bisher erprobten Projekte waren jedoch zu klein, zu aufwendig und bei künstlich niedrig gehaltenen Kosten der fossilen Energieträger noch nicht überzeugend konkurrenzfähig. Außerdem wurden die Speicher zumeist nur ergänzend oder im Zusammenspiel mit sehr stromintensiven

Wärmepumpen betrieben. Probleme entstanden durch die hohen Anforderungen an feuchteempfindliche Wärmedämmung und durch den ungewöhnlich großen Masse- und Platzbedarf direkt am Einsatzort.

Dennoch, die Entwicklung der Wärmenetze kommt erst richtig in Fluss durch eine wesentliche Vergrößerung der Saisonspeicher und der zugehörigen Versorgungsgebiete. Größere kompakte Körper halten die Wärme länger. Aufwendige Dämmung verliert an Bedeutung oder ist gänzlich überflüssig.

Je größer der Speicher, desto geringer die anteiligen Kosten und Wärmeverluste.

Diese banale Erkenntnis wird mit den unter Szenario gerechneten Abschätzungen untermauert und hier vorweggenommen:

| Szenario | Einwohner zum Stichtag | Speichervolumen m ³ | Speicherverluste % | Speicherkosten €/kWh |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Berlin | 3.644.826 | 504.878.027 | 4,9 | 0,0008 |
| Cottbus | 100.219 | 18.066.692 | 7,5 | 0,0017 |
| Gemeinden um Röbel | 7.518 | 1.312.169 | 21,9 | 0,0038 |
| Gemeinden um Rietz | 3.414 | 629.510 | 28,3 | 0,0045 |

Das folgende Bild 4 zeigt auch graphisch die durch weitere Simulationen ermittelten Verlustanteile aus ungedämmten, ins Erdreich integrierten Saisonspeichern von mehreren Millionen Kubikmetern Speichermasse in Abhängigkeit von der Abnehmerzahl im Fernwärmenetz.

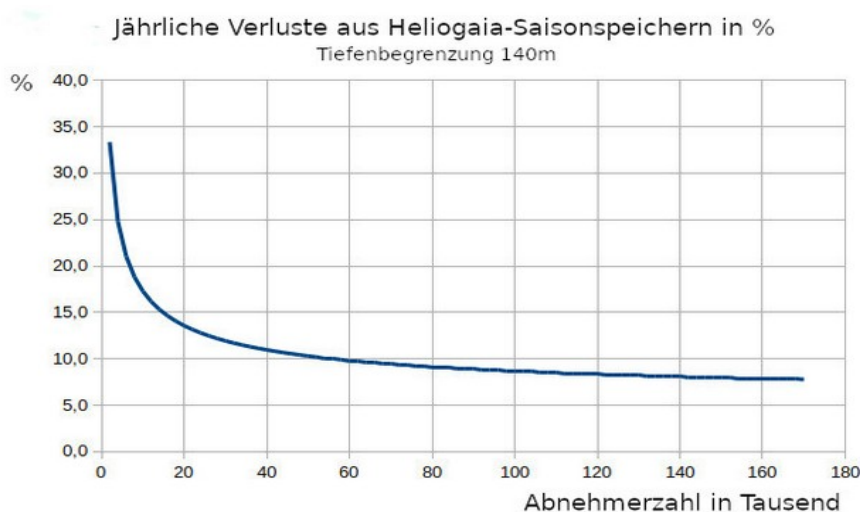


Bild 4: Verlustanteile aus ungedämmten Heliogaia-Saisonspeichern in Abhängigkeit von der Abnehmerzahl, willkürliche Tiefenbegrenzung auf 140 m
Daraus ersieht man z.B., dass die Verluste ab 55.000 Abnehmern unter 10% sinken.

Ebenso wie große Saisonspeicher müssen Wärmequellen in die Erzeugerseite der Fernwärmenetze eingebunden werden:

- industrielle Abwärme und
- Felder thermischer Solarkollektoren

Neben der nun erst komplett verwertbaren Abwärme wird **paradoxerweise der Treibhauseffekt zu einem wirksamen Mittel gegen den Klimawandel:**

Solarthermiekollektoren nutzen den Treibhauseffekt, eine sehr lange bekannte und einfache Technik: die dunkle Fläche hinter Glas.

Ihre **Effektivität** ist im Vergleich zu elektrischen Solaranlagen bei den zur Raumheizung erforderlichen Temperaturen **ungefähr dreimal höher, im Vergleich zum Biomasseanbau sogar bis über hundert mal.**

Das bedeutet, dass bei Wärmenutzung ein einziger Quadratmeter thermischer Sonnenkollektor etwa drei Quadratmeter Photovoltaik oder mehr als hundert Quadratmeter Maisfeld ersetzt. Ihr Anteil an der Energiewende muss folglich mit entschiedener Priorität vorangetrieben werden. [\[Wirkungsgrade\]](#)

Um ein Verständnis für den Wert der hier behandelten Energieform **Wärme** im Verhältnis zur Elektroenergie zu erlangen, möge sich der Leser auf ein interessantes Gedankenexperiment einlassen und folgendes abschätzen:

Bis in welche Höhe kann sich ein erwachsener Mensch mittels eines elektrisch betriebenen Aufzuges hinaufziehen lassen, wenn dazu die gleiche Energiemenge zur Verfügung steht wie für zwei Minuten warmes Duschen? [\(Lösung\)](#)

In der Literatur und in Programmschriften der Politik finden die sehr großen Saisonspeicher für Wärme viel zu wenig Beachtung, mit Blick auf ihr ungeheures Einsatzpotential als Schlüssel zur Massenanwendung der unschlagbar effektiven Solarthermie- bzw. Hybridkollektoren.

Auch die Ampelregierung konnte sich im Koalitionsvertrag nur zu zwei Sätzen dazu durchringen: "Wir werden uns für eine flächendeckende kommunale Wärmeplanung und den Ausbau der Wärmenetze einsetzen. Wir streben einen sehr hohen Anteil Erneuerbarer Energien bei der Wärme an und wollen bis 2030 50 Prozent der Wärme klimaneutral erzeugen."

Immerhin!

Eine dem Problem angemessene Einlösung wäre nun die zeitnahe Realisierung einiger Startprojekte zu Heliogaia bei voller Finanzierung, wenigstens je [Bauart-Variante](#) ein Muster mit 7000 bis zu einmal auch wenigstens 50000 Abnehmern, also für rund 2 Milliarden Euro. Die ersten vier willigen und geeigneten Städte bekommen den Zuschlag.

Hat sich das System bewährt, sind kaum mehr Förderungen nötig, weil es alle Gemeinden nachbauen wollen. Leider ist bisher noch nichts dergleichen geschehen. Stattdessen vergeudete man wertvolle Zeit damit, ökologisch fragwürdige, teure und stromfressende Wärmepumpen als **das** Mittel der Wärmewende auszurufen. ([Siehe Kapitel 5.3.](#))

Fernwärmegipfel und Gesetzesnovelle lassen wieder Hoffnung entstehen.

Bei entsprechendem Engagement wird es mit dem hier vorgestellten Szenario kurz- bis mittelfristig möglich, einen wirklich entscheidenden Schritt zur Lösung der Probleme zu gehen:

- Die Abhängigkeit von Energieimporten verschwindet.
- Die Ausbeutung der letzten fossilen Kohlenstoffverbindungen zu Heizzwecken wird abgebrochen.
- Eine erneut aufbegehrende Kernenergielobby verliert Argumente.
- Der Ausbau der Stromnetze, Elektrospeicher und der Windkraft kann durch weitgehenden Verzicht auf Wärmepumpen wesentlich geringer ausfallen als bisher avisiert.
- Formulierten Klimaziele lassen sich viel schneller erreichen und übererfüllen.
- Forderungen nach übertriebener Wärmedämmung und die wachsende Verteilung von Styropor & Co in unserer Umwelt werden eingeschränkt.
- Thermische Störungen des Untergrundes und Vermischung der Grundwasserhorizonte durch unzählige Einzelmaßnahmen werden durch die Zentralisierung minimiert.
- Das Kostenniveau für eine Bereitstellung von Raumwärme wird stabilisiert.
- Sehr viele Menschen bekommen eine sinnvolle Arbeit, was den Ausstieg aus veralteten Technologien erleichtert.
- Wir leisten einen Beitrag zu krisenfester Wirtschaft und nachhaltiger Wärmeversorgung.
- Bei internationaler Ausstrahlung der Modellprojekte kommt es zur entscheidenden Wirkung auf den globalen Klimaschutz.

Für Brennstoff und Heizung sind riesige Geldmengen in Umlauf (jährlich 65 Milliarden €). [\[10\]. S.7](#)

Wegen der Bedeutung der hier vorgestellten Technik und ihres unglaublichen Anwendungspotentials birgt das Projekt Heliogaia in wenigen Jahren Möglichkeiten zu einem Milliardengeschäft, an dem sich jeder mit mehr oder weniger Gewinn beteiligen kann. Die Hauptgewinne aber sind:

Wärme und saubere Luft für alle.

2. Technik

2.1. Intro

Alle Einzelprojekte müssen separat geplant werden, angepasst an die aktuellen Gegebenheiten (ökologisch, demographisch, geographisch, geologisch).

Hier kann es sich nur um den Versuch handeln, zunächst aus dem Fundus der durchgeführten theoretischen Untersuchungen heraus einen denkbaren Prototyp dieser Heizanlagen zu beschreiben, daneben einige Ansätze zu vorstellbaren Varianten.

Im anschließenden Kapitel "Szenario" gestatten einige konkrete Beispielszenarien

Überschlagsrechnungen, die mittels Kalkulationstabellen durchgeführt wurden und die zu den dargestellten Ergebnissen führen. Alles kann unter [Tabellen](#) nachgeprüft werden. Die einbezogenen Parameter, wie Einwohnerzahl, Wohn- und Gewerbefläche, Energieverbrauch, Speicher- und Verteilungsverluste, Kollektorstränge, Bodenkennzahlen u.s.w. lassen sich in den Formaten ods oder xlsx auch für eigene Berechnungen anpassen und verändern. Man findet sie mit genauer Bezeichnung, Einheit und Quellenvermerk in den blau unterlegten Eingabefeldern der Szenarien-Tabellenblätter "e" und "t". Verwendete Begriffe und Maßeinheiten können nachgeschlagen werden unter [Fachbegriffe](#) , [Einheiten](#).

Für Eilige vorab der Blick auf eins der Beispiele: Szenario [Röbel](#) (von den im Überblick gelisteten Tabellenblättern e,t,h,u,s: "t" anklicken) . Voreingestellt ist hierbei die ausschließliche Verwendung eines externen Kollektorfeldes, ohne Beteiligung innerstädtischer Potentiale, wodurch in der universell angelegten Tabelle einige der Spalten ihre Bedeutung verlieren und durchgehend konstante Werte zeigen. Die html- Formate enthalten keine Berechnungsformeln und keine Möglichkeiten zur Anpassung.

Nach einer einführenden Darstellung wird zu drei grundlegenden Bausteinen untergliedert:

- Wärmequelle, Kollektorfeld
- Jahreswärmespeicher, Saisonspeicher
- Verteilsystem, Fernheizungsnetz

Entsprechend der Beschreibung der Startseite geht es um Einheiten zur Wärmeversorgung von mehreren tausend Menschen, die nach einer Übergangszeit zur Anpassung der Gebäudesubstanz auf Niedrigtemperaturheizung komplett ohne Kohle, Öl, Gas, Wärmepumpen und damit ohne intensiven Einsatz von Elektroenergie auskommen. Lediglich zum Betrieb der Umwälzpumpen und zur Anlagensteuerung wird Strom benötigt, dann nur noch ca. 3% bezüglich der bereitgestellten Heizenergie.

Für die Jahre dieser Übergangszeit wird durch Heizkraftwerke und eine dritte, höher temperierte Leitung die sichere Versorgung auch aller noch nicht angepassten Gebäude garantiert, mit einem solaren Deckungsgrad von ca. 50%, zunehmend.

Eine besondere Wärmedämmung der Saisonspeicher mit marktüblichen Materialien ist wegen ihrer Größe nicht notwendig.

Detaillierte Aussagen zur physikalisch und ökonomisch sinnvollen **Mindestgröße** solcher Heizanlagen muss letztlich die Auswertung bestehender Projekte und die Zusammenarbeit unter Heliogaia liefern. Die hier geführten theoretischen Betrachtungen ergeben etwa 5000 Menschen als Mindestabnehmerzahl. Bei geringeren Zahlen steigen die relativen Wärmeverluste der Saisonspeicher wegen des ungünstigeren Volumen- Oberflächen- Verhältnisses rasch auf unrentable Werte an. Das Szenario Rietz mit 3400 Anschlüssen und einem Speichervolumen von rund 600.000 m³ zeigt bereits Jahresverluste von etwa 30% bezüglich der eingespeicherten Wärme. Die **Maximalgröße** eines Versorgungsgebietes wird durch die Leitungslängen und damit die tolerierbaren Verluste im Verteilungssystem begrenzt.

Fiktiv könnte ein Stadtteil oder eine Gemeinde mit angenommen 10.000 Abnehmern, beispielsweise Luckau in Brandenburg, ein Wärmenetz betreiben,

- bei Vorlauftemperaturen zwischen 40 und 80 °C, mit
- 0,25 km² Kollektorfläche (25 m²/Kopf) und einem
- grundwassergesättigten Saisonspeicher von 127 m Durchmesser und 127 m Tiefe.

Mit weniger als 40°C lässt sich kaum zuverlässig heizen, über 80°C neigt das Speicherwasser zu verstärkter Verdunstung und damit zu erheblichem Wärmeaustrag.

Das Kollektorfeld sorgt im Sommer für die Aufladung des Saisonspeichers auf etwa diese 80 Grad. Daraus wird im Winter über das Verteilungsnetz geheizt, bis im April der Speicher auf 40 Grad entladen ist und alles von vorn beginnt. Als Trägermedium dient Wasser.

Abweichend muss im ersten Jahr eher und/oder mit mehr Leistung begonnen werden, um von den aktuellen 10 Grad Bodentemperatur zunächst auf 40 und dann auf 80 Grad zu kommen. Generell brauchen die zwei oder drei Anfangsjahre mehr Leistung, bis sich auch das den Speicher unmittelbar umgebende Erdreich entsprechend aufgeheizt hat.

2.2. Wärmequelle, Kollektorfeld

Wenn es ökologisch und landschaftsästhetisch vertretbar ist, lassen sich Kollektorfelder am einfachsten in der Nähe von Speicher und Verbraucher einrichten, weitgehend mit günstigen Flachkollektoren bestückt oder mit abgedeckten Hybridkollektoren (PVT) zur parallelen Stromerzeugung. Wegen der relativ hohen Temperaturen für die Endbeladung des Speichers müssen auch Röhrenkollektoren nachgeschaltet werden. Eingrenzung der Verschattungsverluste auf z.B. 4% vergrößern den Flächenbedarf im Kollektorfeld gegenüber der Brutto-Kollektorfläche um den Faktor 2,75. Dadurch ergeben sich relativ große Vereinnahmungen, die aber zur Bewuchsbegrenzung weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden müssen. Die Felder umgebende Zäune ermöglichen z.B. wolfsichere Tierhaltung zwischen den Kollektorreihen. Auch der Naturschutz hat solche Flächen für sich entdeckt, z.B. als Rückzugsgebiet für bedrohte

Arten oder zur Regeneration jahrelang überanspruchter Böden [149].

Eine hoch aufgeständerte Bauweise der Kollektoren erlaubt sogar den nahezu störungsfreien Weiterbetrieb der angestammten Landwirtschaft, bei allerdings erheblichem Mehraufwand für die Installation.

Dies alles wird oft unter dem Namen "Agriphotovoltaik" behandelt und ist mit Solarthermie analog umsetzbar.

In den meisten Fällen erscheint es aber sinnvoll, die innerstädtischen Flächenressourcen einzubeziehen (Dächer, Fassaden, Böschungen, ...). So verbleibt die erzeugte Wärme zunächst direkt am Verbraucher und muss nicht verlustreich herbeigeschafft werden. Das ist dann übers ganze Jahr gesehen bereits die Hälfte der gesamten Wärmeversorgung.

Die Nutzung der Fernwärmeleitung erfolgt in beiden Richtungen. Es entstehen größere Herausforderungen an die Organisation der Prozesse. Die hauseigenen Anlagen werden im Unterschied zur bisherigen Praxis maximal mit Kollektoren bestückt, ohne jemals aus Überhitzung in Leerlauf treten zu müssen. So werden auch im Sommer große Energiebeträge auf hohem Temperaturniveau eingesammelt und zum Saisonspeicher abgeführt. Der hauseigene Speicher dient als Puffer für die Aufnahme der Tagesration.

Sollte der Wärmebedarf in Zukunft unter die geplanten Werte absinken, lässt sich darauf durch Verringerung der Speicher-Arbeitsspanne und der Kollektorfläche oder durch Ausdehnung des Versorgungsgebietes reagieren. Verluste und Kosten sinken gleichermaßen.

2.3. Jahreswärmespeicher, Saisonspeicher

Als Saisonspeicher wird ein bestimmtes Bodenvolumen direkt unter der Erdoberfläche definiert, am besten in Form eines Zylinders. Die geringste relative Oberfläche ergibt sich bei Gleichheit von Durchmesser und Tiefe. Abweichungen davon, die z.B. durch geologische, technische oder rechtliche Beschränkungen gefordert sein können, müssen durch höhere Verluste erkauft werden. Saisonspeicher befinden sich möglichst nahe bei Abnehmer und Erzeuger. Maßgebend für die bauliche Ausgestaltung sind die vorgefundenen Geländebedingungen, woraus sich Varianten ergeben:

1. Ein homogener, gut wasserdurchlässiger Sedimentkörper mit hohem Grundwasserstand ermöglicht die geschichtete Be- und Entladung mit Wärme über einige Brunnen.
2. Möchte man den Wasser-Kreislauf ohne die Nachteile eines direkten Kontakts mit dem Erdkörper führen, so wird die Wärmeübergabe durch u-förmige oder besser konzentrische Sonden realisiert, die man mit wenigen Metern Abstand voneinander in sehr großer Zahl bis auf die Sohle des Speichers senkrecht in den Boden bringen muss. Das führt zu sehr hohem Bohraufwand, ist aber bei dichten oder felsigen Böden ohnehin nicht anders möglich.
3. Eine weitere Variante ist die horizontale Durchbohrung von Geländeerhebungen geeigneter Größe, mit dem Vorteil, dass einfache Rohre verwendet werden können. Vor- und Rücklauf liegen dadurch nicht so dicht beieinander wie bei vertikalen Sonden, welche beides in einem Bohrloch realisieren müssen.

- Schließlich könnte man manche ohnehin offene Grube nutzen, z.B. Braunkohle- Tagebaue, um einen Teil des Abraums durch den Einbau geeigneter Rohrstrukturen sinnvoll als Wärmespeicher aufzusetzen.

Die folgenden Ausführungen, insbesondere die genannten Preise, favorisieren die erste Variante und müssen ansonsten sinngemäß angepasst werden.

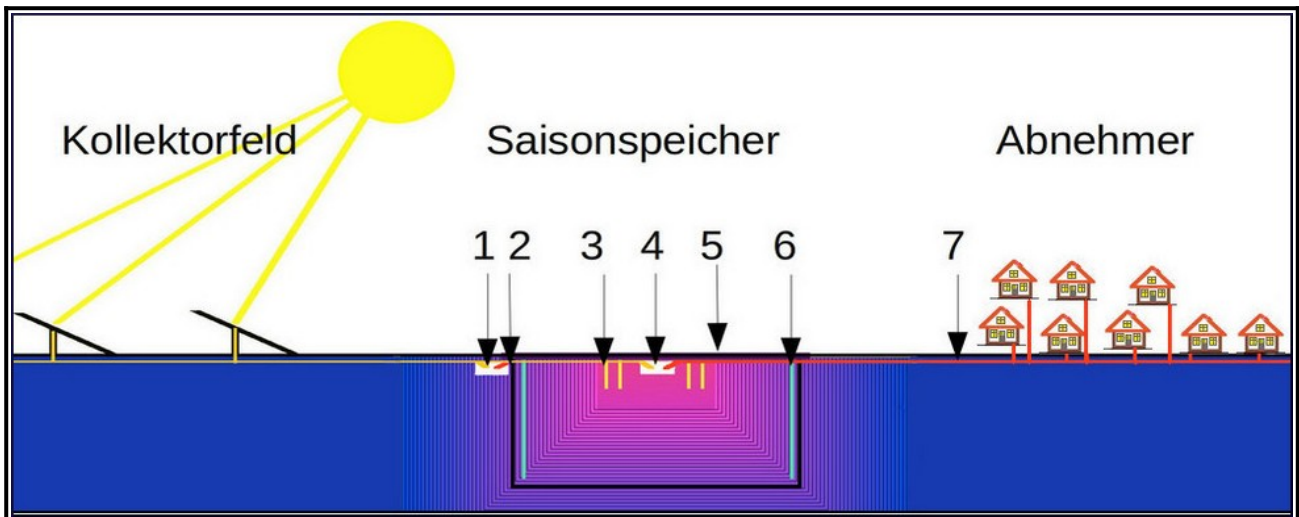


Bild 1: Schema der gesamten Anlage für ausreichend durchlässige Böden, nicht maßstäblich

- 1: kalter Pufferspeicher
- 2: Speicher"haut" mit vertikaler Dichtwand
- 3: heiße Bohrung
- 4: heißer Pufferspeicher
- 5: Abdeckung
- 6: kalte Bohrung
- 7: Fernheizleitungen, Vor- und Rücklauf

Zum Laden wird das heiße Wasser in der Nähe des Zentrums von oben her in den Speicherkörper eingeleitet und das kalte Wasser peripher aus der Tiefe heraus den wärmenden Kollektorflächen zugeführt. Die Entladung geschieht umgekehrt durch das Fernwärmenetz.

Anzahl und Durchmesser der einzubringenden Bohrungen und Filter richten sich nach den Fließverhältnissen im Bodenkörper.

Auch Zugänge für Wasser mittlerer Temperatur, welches gelegentlich eingelagert oder gehoben werden muss, sollen angebracht werden.

Das Speicherwasser enthält, durch die hohen Temperaturen gelöst, größere Mengen mineralischer Bestandteile aus dem Boden, das Kollektorfeld eventuell Frostschutzmittel (wenn es nicht bei fehlender Pumpaktivität leer laufen kann). Um die verschiedenen Qualitäten der Wärmeträger voneinander trennen zu können, sind an den Übergabestellen Wärmetauscher nötig. Sie bringen

Wärmeverluste und benötigen wegen der Belagsbildung durch Bodenmineralien zyklisch Regeneration oder Austausch, also einen laufenden Arbeits- und Materialeinsatz. Das ist der Nachteil offener Wasserführung.

Zur Vermeidung von teurer Überdimensionierung im Zuleitungssystem des Hauptspeichers müssen Wasserbehälter als Puffer die Tagesspitze ausgleichen. Das können zwei betonierte Bereiche passender Größe unter der Geländeoberfläche sein, der heiße in der Mitte, der kalte am Rande außerhalb des Speicherzylinders. Der periphere Puffer füllt sich durch Pumpen aus den unteren Regionen des Saisonspeichers kontinuierlich mit kaltem Wasser. Morgens sollte er voll sein. Bei einsetzender Sonnenstrahlung gelangt dieses Wasser zum Kollektorfeld und anschließend mit hoher Temperatur in den zweiten Pufferspeicher. Der ist abends voll und wird ständig ins obere Zentrum des Saisonspeichers entleert.

Folgende Arten von Wärmeverlusten aus dem Saisonspeicher sind zu erwarten, abzuschätzen und nach Möglichkeit einzuschränken:

- Wärmeleitung ins umgebende Erdreich
- Wärmeaustag nach oben, Wärmeleitung durch die Deckschicht und Wärmeübergang zur Umgebungsluft
- Wärmeaustag durch Grundwasserkonvektion infolge der Temperaturdifferenzen
- Wärmeaustag durch geographisch/geologisch bedingten horizontalen Grundwasserfluss
- Wärmeaustag durch Niederschläge
- Wärmeaustag durch verdunstende Feuchtigkeit
- Wärmeabstrahlung nach oben

Der Wärmeverlust nach oben sollte verringert werden durch eine die Ränder überlappende Aufschüttung von zwei oder drei Meter trockenem, sandigem Füllboden, eingeschlossen in zwei horizontale wasserdichte Folien. Um Durchnässung zu vermeiden bzw. abzuleiten, muss alles zu den Rändern hin ein leichtes Gefälle erhalten.

Die vor Verbiss zu schützenden Folien halten den Dämmsand trocken und verhindern das Eindringen von Niederschlagswasser in den Speicher sowie insbesondere auch den zu erwartenden Wärmeaustag durch verdunstende Feuchtigkeit aus dem Speichervolumen. Mit jedem Kubikmeter verdunstetem Wasser entweichen knapp 700 kWh Wärme. Das könnten ohne Maßnahmen zur Verhinderung bei 80°C erhebliche Mengen sein.

Die obere Folie wird mit einer Meterschicht Füll- und Mutterboden abgedeckt und als Option auch leicht bebaut, vielleicht mit Gärten, Gewächshäusern oder Kollektoren.

Niederschlagswasser wird mittels Drainage in entferntere Oberflächengewässer abgeleitet oder anderweitig verwendet. Jährlich sind das bei einer Anlagengröße für 10.000 Anschließer 5.000 bis 10.000 m³.

Um ein Abdriften der gespeicherten Wärme durch den Grundwasserfluss und kapillare Konvektionsströme zu verhindern, kann eine gegen die Umgebung dichtende vertikale Schlitzwand nötig werden ([FAQ](#), Frage 12). Waagrecht unter dem Speicher ist das als Baumaßnahme nicht erforderlich und wäre wohl auch kaum realisierbar. Diese Schlitzwand muss zur Vermeidung der Verdunstungsverluste dampfdicht an der unteren Folie der Abdeckung anliegen.

Gegen horizontal fließendes Grundwasser kann auch eine unsymmetrische Be- und Entladung des Speichers sinnvoll sein.

Die gerechneten Szenarien setzen Abdeckung und Schlitzwand voraus, mit einem Aufwand von maximal 2% der Gesamtinvestition.

Werden die meisten Verlustarten durch diese Maßnahmen für das Innere des Speichers vermindert, so kann auch das Abfließen der Wärme aus der näheren Umgebung noch Einfluss haben. Dazu wurden Abschätzungen vorgenommen.

Besonders stark werden aber die relativen Speicherverluste durch die absolute Größe, letztlich durch die Abnehmerzahl beeinflusst. Die Ergebnisse der hierzu vorgenommenen Berechnungen sind in Bild 2 zusammengefasst. Sie liegen bei einer Abnehmerzahl von 100.000 bereits deutlich unter 10%.

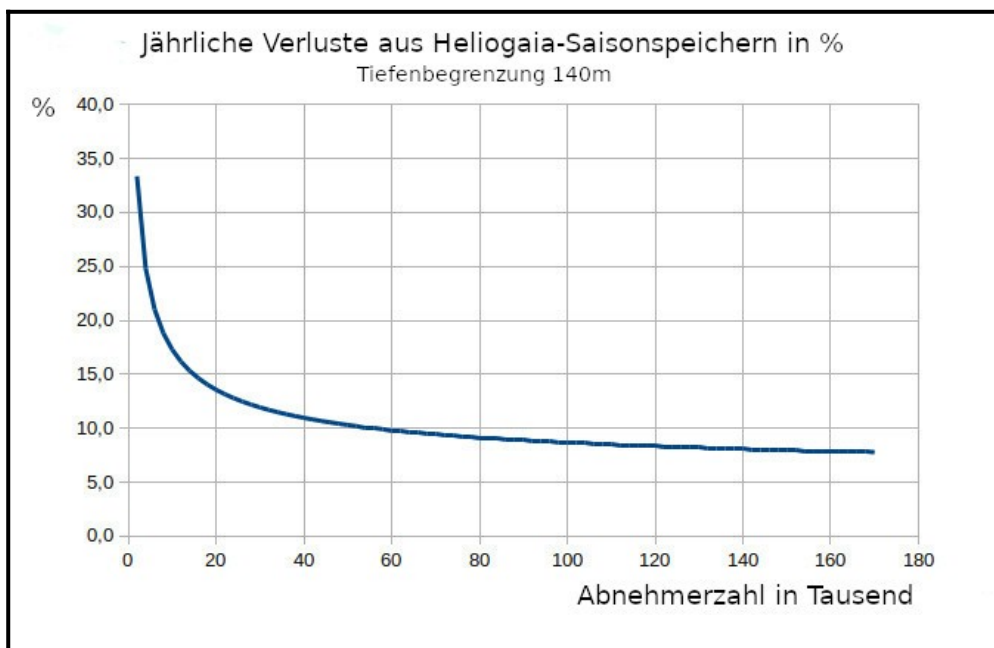


Bild 2: Speicherverluste als Funktion der Abnehmerzahl, willkürliche Tiefenbegrenzung: 140m

Die idealen Voraussetzungen für den Bau des Speicherkörpers zusammengefasst:

- Nähe zu Abnehmer und Kollektorfeld,
- hoher Grundwasserspiegel ohne Gefälle, dadurch geringe Grundwasserdrift,
- ausreichende Wasserdurchlässigkeit und Homogenität des Materials ($k_f \geq 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$) bis in die geplante Tiefe,
- möglichst geringe Wasserdurchlässigkeit ($k_f \leq 10^{-6} \text{ m/s}$, Lehm, Ton) in der Umgebung und unter dem Speicher,

- geringer Gehalt an löslichen Mineralien (Heißwasserlöslichkeit) und an Findlingen (wegen Bohrungen und Schlitzwand maximal 20cm Durchmesser).

Die Abschätzung der Speicherverluste wurde u.a. mit der Kalkulationstabelle "zylindermodell007.ods" vorgenommen und befindet sich unter Kapitel 2.5.

2.4. Verteilsystem, Fernheizungsnetz

Das Netz besorgt den Wärmetransport. Angestrebt werden kurze, genau dimensionierte und hervorragend gedämmte Leitungen. Sie müssen zügig durchflossen werden. Stehendes oder zu langsam fließendes Wasser hält auch bei bester Dämmung seine Wärme nicht. Zu Übergangszeiten kann auch in mehrstündigen Abständen gepulstes Pumpen sinnvoll sein, um Pufferspeicher in den Gebäuden zu füllen.

Die Übertragungsverluste diktieren sinnvolle Maximallängen für Wärmetrassen, wodurch ein Versorgungsgebiet und dadurch die Speichergröße beschränkt bleiben. Diese Begrenzung steht bei dünner Besiedlung dem Erfordernis nach großem Speichervolumen entgegen.

Die meisten Ortschaften in Deutschland liegen aber so nahe beieinander, dass ein Zusammenschluss von jeweils drei oder mehr Gemeinden um einen Speicher fast immer möglich erscheint.

In Ballungsgebieten sind Haupttrassen mit Durchmessern um 2 m denkbar, welche wegen des zügigeren Durchflusses auch 100 km lang sein könnten, bei Verlusten unter 1%. Dadurch wird es möglich, Speicher und Kollektorfelder auch in größerer Entfernung, also außerhalb von Metropolen anordnen zu können (siehe "Berlin Hauptverteilung" unter [Tabellen](#)).

Einen Einblick in Machbares liefern die Szenarien im Anschluss.

Für eine Übergangszeit, bis zum Erreichen des Sanierungszieles von durchschnittlich 80kWh/a/m², wird zusätzlich zu Vor- und Rücklauf eine weitere, höher temperierte Leitung benötigt, insgesamt also:

1. Leitung:Vorlauf >60°C
2. Leitung:Vorlauf >40°C
3. Leitung:Rücklauf <28°C

Unterschiedliche Tarife regeln die Entnahmeprioritäten.

Später genügen zwei Leitungen.

Mit 40 Grad Mindesttemperatur im Vorlauf kommen auch ältere Gebäude noch zurecht, bis zu einem Verbrauch von 180 kWh/m²/a (36-iger Ziegelmauer, herkömmliche Doppelfenster, 10cm Dämmung im Dach, 5cm Dämmung unter Fußbodenheizung, bis zu Außentemperaturen von -12°C). Bedingung sind hierbei aber Niedrigtemperatur- Flächenheizungen (Fußboden-, Decken- oder Wandheizung). Berechnungen dazu: siehe [Durchschnittshaus](#)

60 Grad benötigen noch alle konventionell versorgten Gebäude und bestimmte gewerbliche Abnehmer. Da der Speicher aber nicht ganzjährig 60 Grad liefert, muss diese Leitung zeitweise auf das erforderliche Niveau gehoben werden. Zur effektiven Versorgung von Wärmepumpen wäre die

Rücklaufleitung geeignet.

Alternativ erscheint der Einsatz von Gas oder/und Biomasse in saisonal betriebenen Blockheizkraftwerken (BHKW) in der Überbrückungsperiode sinnvoll und wird für die Abschätzungen zu den Szenarien verwendet.

Bestehende Fernwärmenetze sind vielfach veraltet, schlecht isoliert und für höhere Temperaturen ausgelegt. Sie können also kaum einbezogen werden. Zudem erfordert Heliogaia eine wesentliche Ausweitung der Versorgungsgebiete. Daher ist ein Neubau der Leitungen in den meisten Fällen sicher nötig und wird bei den Kosten hier voll eingeplant. Trassenführungen sind dabei als Leitungsbett sicher hilfreich.

Je nach Gegebenheiten könnte man die relativ aufwendige Verlegung der Heizleitungen auch zum Anlass nehmen, das gesamte, meist chaotisch gewachsene Versorgungs- und Anschlusssystem einer Gemeinde auf solide Füße zu stellen: Ein einziger begehbare Tunnel enthält alle Medien. Künftige Kontrollen, Wartungen, Reparaturen und Verlegungen würden sehr vereinfacht. Kosten dazu wurden hier aber nicht kalkuliert. Die Behörde und alle Netzbetreiber sollten zusammenwirken.

Alle Berechnungen zu den Kostenanteilen für die drei beschriebenen Komponenten bezüglich der Gesamtkosten ergaben im Schnitt:

- Kollektoren einschließlich Aufstellung: 36%
- Saisonspeicher mit Brunnen, Schlitzwand, Abdeckung und Pufferspeichern: 1,5%
- Fernheizungsnetz einschließlich der Hausanschlüsse: 26%.

Den verbleibenden Anteil bilden in der Reihenfolge abnehmend: Baunebenkosten, Wartungs- und Betriebskosten.

2.5. Speicherverluste

- Beschreibung der jährlichen Speicherverluste und Dokumentation der Kalkulation: [pdf](#), [odt](#)
- Vereinfachte Beschreibung der jährlichen Speicherverluste und Dokumentation der Kalkulation: [pdf](#), [odt](#)
- Kalkulationstabelle Zylindermodell, zylindermodell007: [ods](#), [xlsx](#) (Vorsicht Fremdformat)

3. Szenario

3.1 Intro

Dieser Abschnitt behandelt die Frage nach der bundesweiten Realisierbarkeit von Wärmenetzen der besprochenen Art.

Die Auswertung der Daten von citypopulation.de [75] und anderen Statistik-Portalen ergab, dass 2017 in Deutschland 82.792.000 Menschen auf 357.578 km² lebten.

Eine grobe, aber dafür sehr übersichtliche Einteilung ergibt folgendes Muster: Die Wohnstätten von rund 60 Millionen Menschen befinden sich in urbanen Gebieten auf einer Siedlungsfläche von etwa 24.000 Quadratkilometern.

1. knapp 20 Millionen in Metropolen mit über 1 Million Einwohnern bei einer Siedlungsdichte von ca. 4.000 Einwohnern pro Quadratkilometer,
2. fast 20 Millionen in Großstädten von 100.000 bis 1 Million Einwohnern bei einer Dichte von um die 3.000 Einwohnern pro Quadratkilometer und
3. etwas über 20 Millionen in Klein- und Mittelstädten zwischen 4.000 und 100.000 Einwohnern bei knapp 2.000 Einwohnern pro Quadratkilometer.

Weitere etwa 20 Millionen Menschen wohnen in kleineren Orten oder verstreut mit etwa 500 Bewohnern pro Quadratkilometer Siedlungsfläche.

Unter "Siedlungsflächen" verstehen wir die Flächensummen der bebauten Grundstücke mit direkter Erschließungsumgebung, also ohne größere Gewässer, Parks, Wiesen und Wälder. Sie dienen als Grundlage zur Ermittlung der Leitungslängen in den Unterverteilungen der Wärmenetze.

Für jede der vier Gruppen wird ein Beispiel-Szenario zur Dimensionierung eines Heliogaia-Fernheizsystems abgeschätzt, jeweils vor und nach der energetischen Sanierung der Einzelgebäude:

1. Berlin
2. Cottbus
3. Röbel und umgebende Siedlungen (im Weiteren mit Röbel bezeichnet)
4. Rietz-Neuendorf und umgebende Siedlungen (im Weiteren mit Rietz bezeichnet)

Dabei interessieren folgende Ergebnisse absolut bzw. pro Kopf:

- Kollektorfläche
- möglicher Anteil der Wärme-Direktversorgung, am Saisonspeicher vorbei
- Speichergröße
- Speicherverluste
- Netzlänge
- Netzverluste
- Elektroenergieaufwand für Umwälzpumpen

- Leistung Heizkraftwerk
- Investitionssumme
- Investitionssumme plus laufende Aufwendungen als kontinuierliche monatliche Kosten pro Kopf

Angangspunkt sind die Gegebenheiten in Deutschland 2017/18.

Die Ergebnisse, jeweils in Tabellen abgeschätzt, finden sich auf den nächsten Seiten dargestellt.

Namensymbole für die jeweils eingerichteten Tabellenblätter (**e, t, u, h, s**) und deren Inhalt:

- Tabellenblatt e, Eingabe: Modellierung des Jahreslaufes und vorab Eingaben dazu
- Tabellenblatt t, Haupttabelle: Weitere Eingaben, Berechnungen und Auswertung für das Beispielprojekt
- Tabellenblatt u, Unterverteilung (Fernwärmenetz): Abschätzungen zu Größenordnungen in der Unterverteilung
- Tabellenblatt h, Hauptverteilung (Fernwärmenetz): Abschätzungen zu Größenordnungen in der Hauptverteilung
- Tabellenblatt s, Siedlungsflächen: Zählungen/Abschätzungen zu Bevölkerung und Siedlungsstruktur

Wegen unterschiedlicher Herangehensweisen enthalten manche Tabellen auch weniger Blätter. Um Vergleichbarkeit zu erreichen, wurde für die verschiedenen Szenarien möglichst von einheitlichen Voreinstellungen ausgegangen. Eingabefelder sind jeweils blau unterlegt. Die Zahlen lassen sich ändern, um Auswirkungen zu beobachten. Das ist allerdings wegen der vielen gegenseitigen Beziehungen manchmal nicht einfach. Die Tabellen haben noch keine Testphase durchlaufen und enthalten möglicherweise Fehler.

Angangspunkt der Modellrechnungen war jeweils der komplette auf eine Person bezogene Bedarf an Niedrigtemperaturwärme in Haushalt, Öffentlichkeit und Gewerbe für Raumheizung, Warmwasser und Prozesse

1. im Vergleichszeitraum der Zehner-Jahre ca. 10.600 kWh/a/Kopf,
2. künftig, nach Erreichen des Sanierungszieles 5.905 kWh/a/Kopf.

Waren keine anderen Zahlen verfügbar, so kamen bundes-durchschnittliche Werte zum Einsatz; z.B. die Wohnfläche von 46,5 m²/Kopf sowie die Dena-Angabe, dass 37% der Gebäude-Endenergie auf Nichtwohngebäude entfallen [9] S.7,

zu 2. ergeben sich mit Erreichen der Zielstellung von 80 kWh/m² $(46,5 \cdot 80) / (100 - 37) \cdot 100 = 5.905$ und

zu 1. nach [91] für 2016 unter Einbeziehung von 10% der Prozesswärme rund 10.600 kWh/a/Kopf.

*Die Zahl 46,5 hat sich nach einer Aktualisierung der Quelle [118] auf 47,4 erhöht. Das wurde hier in der hauptsächlich für Ausgangswerte verwendeten Sammlung **Energierrelevante Zahlen für***

Deutschland und Berlin: [ods](#) [html](#) eingetragen, jedoch wegen Geringfügigkeit noch nicht auf alle anderen Rechnungen und Texte ausgedehnt. So wird auch in analogen Fällen verfahren, wenn Grundaussagen nicht berührt sind.

Der Bedarf zu 2. wird in den Tabellen "jahreslauf..." (Tabellenblatt e) nach einer Sinusfunktion über die Tage des Jahres verteilt und dem täglichen Gewinn aus der Kollektorfläche gegenübergestellt. Der Gewinn muss sofort verbraucht bzw. bei Überschuss in den Saisonspeicher abgeleitet werden. Liegt der Tagesbedarf über dem Gewinn, so kommt die Differenz aus dem Speicher zurück. Bei Anwendung der entsprechenden Verlustfaktoren ergibt sich der Temperaturverlauf im Saisonspeicher, der jährlich zwischen 40 und 80 Grad pendeln soll. Dies erreicht man durch Anpassung der (zuvor nur grob überschlagenen) Speicherkapazität und Kollektorfläche. Aus den so ausbalancierten Werten lässt sich dann in Tabellenblatt t nach weiteren Eingaben alles andere berechnen, letztlich das Investitionsvolumen und der monatlich pro Kopf aufzubringende Betrag.

Die Kollektorfläche kann aufgeteilt werden in einen innerstädtischen und einen externen Bereich (als Kollektorfeld mit Aufstellungsfaktor 2,75 für den Flächenbedarf, Verschattungsvermeidung, Wege, Zäune). Um den Härtefall für Flächenverbrauch zu demonstrieren, werden für Rietz, Röbel und Cottbus im Modell vorerst keine innerstädtischen Flächenpotentiale zugelassen. (Für Berlin macht das von Beginn an keinen Sinn.)

Die gesamte Anlage auf den gegenwärtigen Verbrauch einzustellen hieße Überdimensionieren. Es muss in der nächsten Zukunft wegen der Modernisierungsarbeiten von rückläufigem Bedarf ausgegangen werden. Realistisch erscheint das Sanierungsziel von im Mittel 80 kWh/a/m². Weitere Überlegungen dazu gibt es in den Kapiteln "Standardhaus" und "Sanierungswahnsinn". Der gegenwärtig höhere Verbrauch wird durch das Heizkraftwerk und die Installation der dritten Leitung abgefangen. Dazu gibt es eine Parallelberechnung und ein weiteres Endergebnis. Eventuell schon vorhandene Infrastruktur oder nutzbare Abwärmequellen könnten die Kosten senken, werden aber hier ignoriert.

Die Tabellenblätter t, u und h enthalten pauschale Abschätzungen zu Fernwärmenetzen, die sich, was Leitungslängen betrifft, für die Hauptleitung an realen Entfernungen und für die Unterverteilung an mittleren "Grundstücks"-größen orientieren, wobei die gesamte Siedlungsfläche durch die Anzahl der zu beheizenden Gebäude geteilt wurde, letztere nötigenfalls in Blatt s anhand von Auszählungen an Karten ermittelt. Zur Dimensionierung der Querschnitte wurden die Auslegungsleistung als doppelte Normleistung und übliche Strömungsgeschwindigkeiten angesetzt. Ergeben sich zu hohe Druckabfälle, muss in mehreren Stufen gepumpt werden. Die Pumpenleistung kann in die Heizleistung bei verbrauchernaher Installation einfließen. Das wurde jedoch nicht bilanziert, auch nicht Pumpleistungen innerhalb der Gebäude.

Die zu erzeugende Gesamtwärmeleistung enthält selbstverständlich alle zu erwartenden Verluste.

Hier die Einzelauswertungen:

3.2. Röbel, Vertreter für Kleinstadt [Röbel](#)

3.3. Rietz, Vertreter für ländlichen Raum [Rietz](#)

3.4. Berlin, Vertreter für Metropolen [Berlin](#)

3.5. Cottbus, Vertreter für Großstadt [Cottbus](#)

3.6. Endergebnisse [Endergebnisse](#)

3.2. Szenario Röbel

Zum Szenario zusammengefasst wurden die Orte

1. Bollewick
2. Bütow
3. Dambeck
4. Gotthun
5. Groß Kelle
6. Leizen
7. Ludorf
8. Minzow
9. Röbel/Müritz

mit insgesamt rund 7500 Einwohnern auf 155 km² Land- bzw. 8 km² reiner Siedlungsfläche. Der Durchmesser des Versorgungsgebietes beträgt etwa 12 km. Eine Wärme-Komplettversorgung aller Gebäude nach Heliogaia wird durch Tabelle "[jahreslauf_roebel.html](#)" modelliert.

(Die Tabelle simuliert im ersten Blatt "e" eine zweijährige Wärmebilanz pro Person in Tagesschritten, einschließlich des Ladeverhaltens des Saisonspeichers. Die Parameter werden rechts in blaue Felder eingegeben. Hat man sich durch alle 731 Tage gescrollt, erscheint Blatt "t" und berechnet dazu aus weiteren Parametern und Eingabegrößen das Gesamtergebnis. Die Blätter h, u und s dienen zur Abschätzung von Hauptverteilung und Unterverteilung im Wärmenetz sowie zum Erfassen der Siedlungsparameter. [Weitere Formate](#) lassen Formeln einsehen und sind auch zur Durchführung eigener Berechnungen geeignet.)

Die Rechnung geht von realistischen, eher vorsichtig gewählten Zahlen aus und arbeitet mit Pauschalen. Länge und Auslegung des Fernwärmenetzes z.B. wurden über die mittlere Grundstücksgröße abgeschätzt.

Setzt man den Wärmeverbrauch im Durchschnitt auf 80 kWh/a/m², entspricht das bei den gegebenen Wohn- und Gewerbeflächen einem Jahresbedarf von 5905 kWh pro Kopf für Heizung und Warmwasser, Endenergie, also ohne Berücksichtigung der Verluste des Versorgungssystems. Für die ganzjährige Wärmeversorgung der Bewohner sind, jetzt auch unter Berücksichtigung der Systemverluste, ein zylindrischer Erdspeicher mit 120m Durchmesser bei 116m Tiefe und eine Kollektorfläche von 0,2 km² erforderlich, 30% davon Röhrenkollektoren. Bei der Aufstellung der Kollektoren auf freiem Feld ergeben sich 0,55 km² Platzbedarf, also 0,35% der 155 km² Gesamtfläche. Der Fremdenergieeinsatz beträgt 2,2% bezüglich der verbrauchten Wärme, Elektroenergie für Umwälzpumpen.

Die laufenden Kosten sind monatlich 61 Euro/Kopf, ohne Berücksichtigung eventueller Darlehenszinsen oder Fördergelder.

Das ist ungefähr der gleiche Betrag, der in Deutschland in den letzten Jahren monatlich für Gebäudeenergie ausgegeben werden musste, bundesdurchschnittlich 65,4 Euro/Kopf [\[10\]](#), S. 7, (ohne CO₂-Steuer).

Als Durchschnittswert zeigt diese Zahl nicht die Aufwendungen im Einzelfall, die noch von der Gebäudesituation abhängen. Man kann sie auch nicht zum Vergleich in die üblichen Angaben von €/kWh für verschiedene Energieträgerarten umrechnen, weil jene weder Kosten für Heizungsanlagen noch CO₂-Steuern enthalten.

Hauptanteile der Kosten:

Fernwärmenetz mit Pumpen und Hausanschlüssen: 30%

Kollektoren und deren Aufstellung: 35%

Baunebenkosten: 20%

Das sind zugleich die wichtigsten Ansätze zur Kostensenkung. Die Mehrwertsteuer sollte bei der Brisanz des Themas ins Auge gefasst werden, alle Ausgangszahlen sind Bruttopreise.

Der Saisonspeicher ist mit allen Bohrungen, Schlitzwänden, Abdeckungen und Pufferspeichern zu etwa 2% an den Aufwendungen beteiligt.

In der Übergangsperiode, bis zur vollständigen Sanierung aller Gebäude auf 80 kWh/a/m², werden 10.600 kWh/a/Kopf zugrunde gelegt, der Bundesdurchschnitt im Niedrigtemperatur-Wärmeverbrauch. Für die Lücke müssen die dritte Fernwärmeleitung mit >60°C und das Blockheizkraftwerk mit 9 MW elektrischer Leistung aufkommen. Hiermit sind vergleichsweise geringe zusätzliche Investitionen aber durch den Brennstoffverbrauch höhere laufende Kosten verbunden. Mit allem anderen zusammen ergeben sich monatlich Ausgaben von 80 Euro/Kopf, bei einem schon eingepreisten Fremdenergieeinsatz von 40%. Die Haltbarkeit der Komponenten wurde berücksichtigt und ihre Wartung mit 160€ pro Jahr und Haushalt eingeplant.

Die Investition für Röhren beläuft sich auf 140 Millionen Euro. Sie wird durch die monatlichen Raten der Abnehmer innerhalb der Abschreibungsfrist getilgt.

Abbildung 1 zeigt die zu erwartenden Größenbeziehungen maßstäblich, ohne Beachtung der geologischen Gegebenheiten oder der Eigentumsverhältnisse, nur für eine erste optische Orientierung. Die wirkliche Flächenzuordnung obliegt dem Planer und letztlich dem Bürgerentscheid. Das blau unterlegte Feld umfasst die Bruttofläche vollständig ausgelagerter Kollektoren mit allen zur Montage, Wartung und Verschattungsverhinderung nötigen Rändern und Zwischenräumen. Zwei Drittel davon sind nicht von Kollektoren überdeckt und sollen weiterhin in bestimmtem Maße landwirtschaftlich genutzt werden.

Rote nummerierte Linien zeigen hypothetisch den Verlauf der Haupttrassen des Fernwärmenetzes.

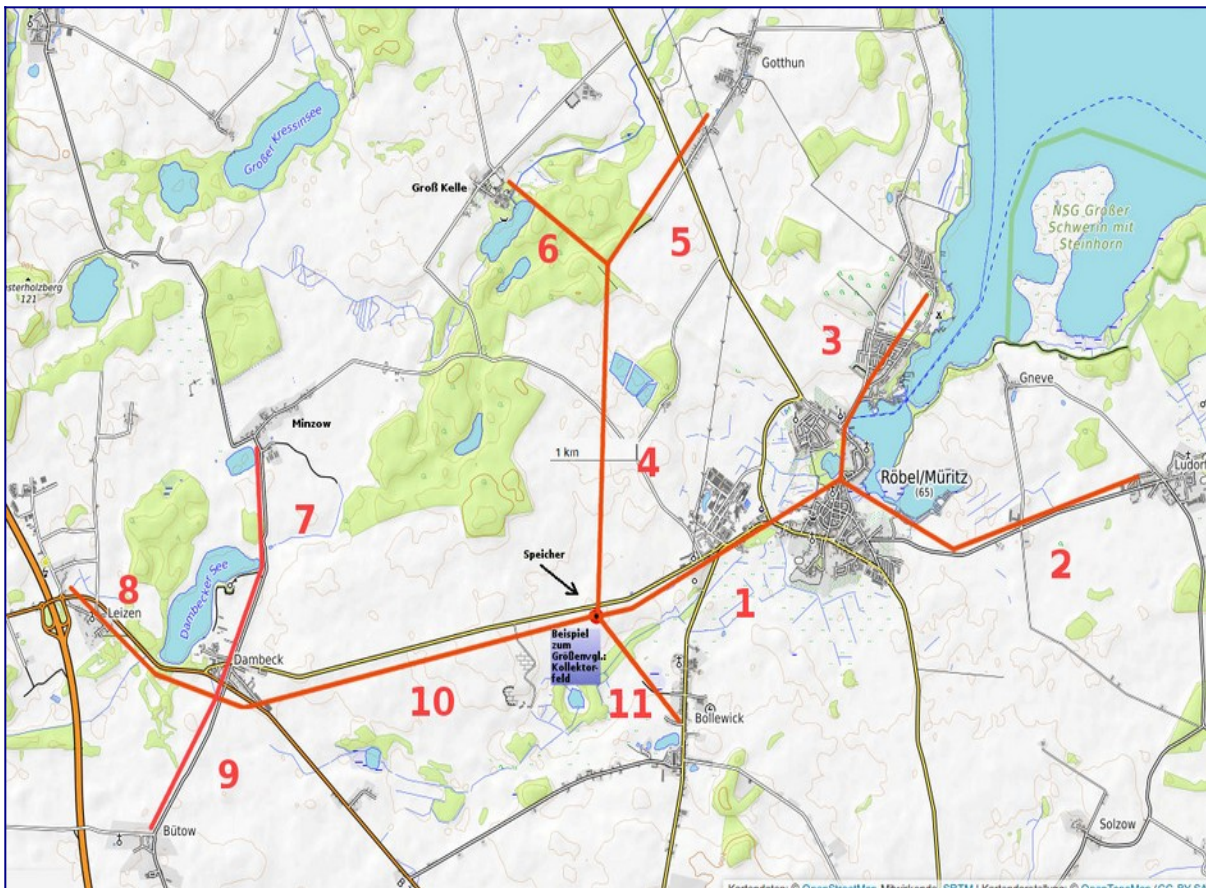


Bild 1: Gemeindeverbund "Röbel" mit Saisonspeicher (rot) und Kollektorfeld (blau)

(Klick auf Bild zum Vergrößern)

Tabellen zum Rechnen in weiteren Formaten [hier](#).

3.3. Szenario Rietz

Zum Szenario Rietz zusammengefasst wurden die Orte

1. Glienicke
2. Herzberg
3. Lindenberg
4. Hartensdorf
5. Pfaffendorf
6. Wilmersdorf
7. Görzig
8. Görzig Gewerbe
9. Raßmannsdorf
10. Rietz-Neuendorf
11. Sauen
12. Groß/Klein Rietz

mit insgesamt 3400 Einwohnern auf ca. 130 km² Land- bzw. 6 km² reiner Siedlungsfläche. Der Durchmesser des zerstreut besiedelten Versorgungsgebietes beträgt ungefähr 11 km. Eine Wärme-Komplettversorgung aller Gebäude nach Heliogaia wird durch Tabelle " [jahreslauf_rietz.html](#)" modelliert.

(Die Tabelle simuliert im ersten Blatt "e" eine zweijährige Wärmebilanz pro Person in Tagesschritten, einschließlich des Ladeverhaltens des Saisonspeichers. Die Parameter werden rechts in blaue Felder eingegeben. Hat man sich durch alle 731 Tage gescrollt, erscheint Blatt "t" und berechnet dazu aus weiteren Parametern und Eingabegrößen das Gesamtergebnis. Die Blätter h, u und s dienen zur Abschätzung von Hauptverteilung und Unterverteilung im Wärmenetz sowie zum Erfassen der Siedlungsparameter. [Weitere Formate](#) lassen Formeln einsehen und sind auch zur Durchführung eigener Berechnungen geeignet.)

Die Rechnung geht von realistischen, eher vorsichtig gewählten Zahlen aus und arbeitet mit Pauschalen. Länge und Auslegung des Fernwärmenetzes z.B. wurden über die mittlere Grundstücksgröße abgeschätzt.

Setzt man den Wärmeverbrauch im Durchschnitt auf 80 kWh/a/m², entspricht das bei den gegebenen Wohn- und Gewerbeflächen einem Jahresbedarf von 5905 kWh pro Kopf für Heizung und Warmwasser, Endenergie, also ohne Berücksichtigung der Verluste des Versorgungssystems. Für die ganzjährige Wärmeversorgung der Bewohner sind, jetzt auch unter Berücksichtigung der Systemverluste, ein zylindrischer Erdspeicher mit 90m Durchmesser bei 90m Tiefe und eine Kollektorfäche von ca. 0,1 km² erforderlich, 30% davon Röhrenkollektoren. Bei der Aufstellung der Kollektoren auf freiem Feld ergeben sich 0,27 km² Platzbedarf, also 0,2% der 130 km² Gesamtfläche.

Der Fremdenergieeinsatz beträgt 3,3% bezüglich der verbrauchten Wärme, Elektroenergie für Umwälzpumpen.

Die laufenden Kosten ergeben monatlich 82 Euro/Kopf, ohne Berücksichtigung von eventuellen Darlehenszinsen oder Fördergeldern.

Das ist mehr als in Deutschland bisher monatlich für Gebäudeenergie ausgegeben werden musste, bundesdurchschnittlich 65,4 Euro/Kopf (ohne CO₂-Steuer).

Als Durchschnittswert zeigt diese Zahl nicht die Aufwendungen im Einzelfall, die noch von der Gebäudesituation abhängen. Man kann sie auch nicht zum Vergleich in die üblichen Angaben von €/kWh für verschiedene Energieträgerarten umrechnen, weil jene weder Kosten für Heizungsanlagen noch CO₂-Steuern enthalten.

Hauptanteile der Kosten:

Fernwärmenetz mit Pumpen und Hausanschlüssen: 39%

Kollektoren und deren Aufstellung: 28%

Baunebenkosten: 20%

Das sind zugleich die wichtigsten Ansätze zur Kostensenkung. Die Mehrwertsteuer sollte bei der Brisanz des Themas ins Auge gefasst werden, alle Ausgangszahlen sind Bruttopreise.

Der Saisonspeicher ist mit allen Bohrungen, Schlitzwänden, Abdeckungen und Pufferspeichern zu etwa 2% an den Aufwendungen beteiligt.

In der Übergangsperiode wird der bundesdurchschnittliche Energiebedarf für Niedertemperaturwärme von 10.600 kWh/a/Kopf zugrunde gelegt. Für die Lücke müssen die dritte Fernwärmeleitung mit $>60^{\circ}\text{C}$ und das Heizkraftwerk mit 4MW elektrischer Leistung aufkommen. Hiermit sind vergleichsweise geringe zusätzliche Investitionen aber durch den Brennstoffverbrauch höhere laufende Kosten verbunden. Mit allem anderen zusammen ergeben sich monatlich 101 Euro/Kopf, bei einem schon eingepreisten Fremdenergieeinsatz von 39%. Die Haltbarkeit der Komponenten wurde berücksichtigt und ihre Wartung mit 160€ pro Jahr und Haushalt eingeplant.

Die Investition für Rietz beläuft sich auf 85 Millionen Euro. Sie wird durch die monatlichen Raten der Abnehmer innerhalb der Abschreibungsfrist getilgt

Hier die Darstellung der Größenordnungen:

(Die reale Beanspruchung von Flächen, hängt von der konkreten Planung ab und würde in einer Bürgerabstimmung beschlossen)

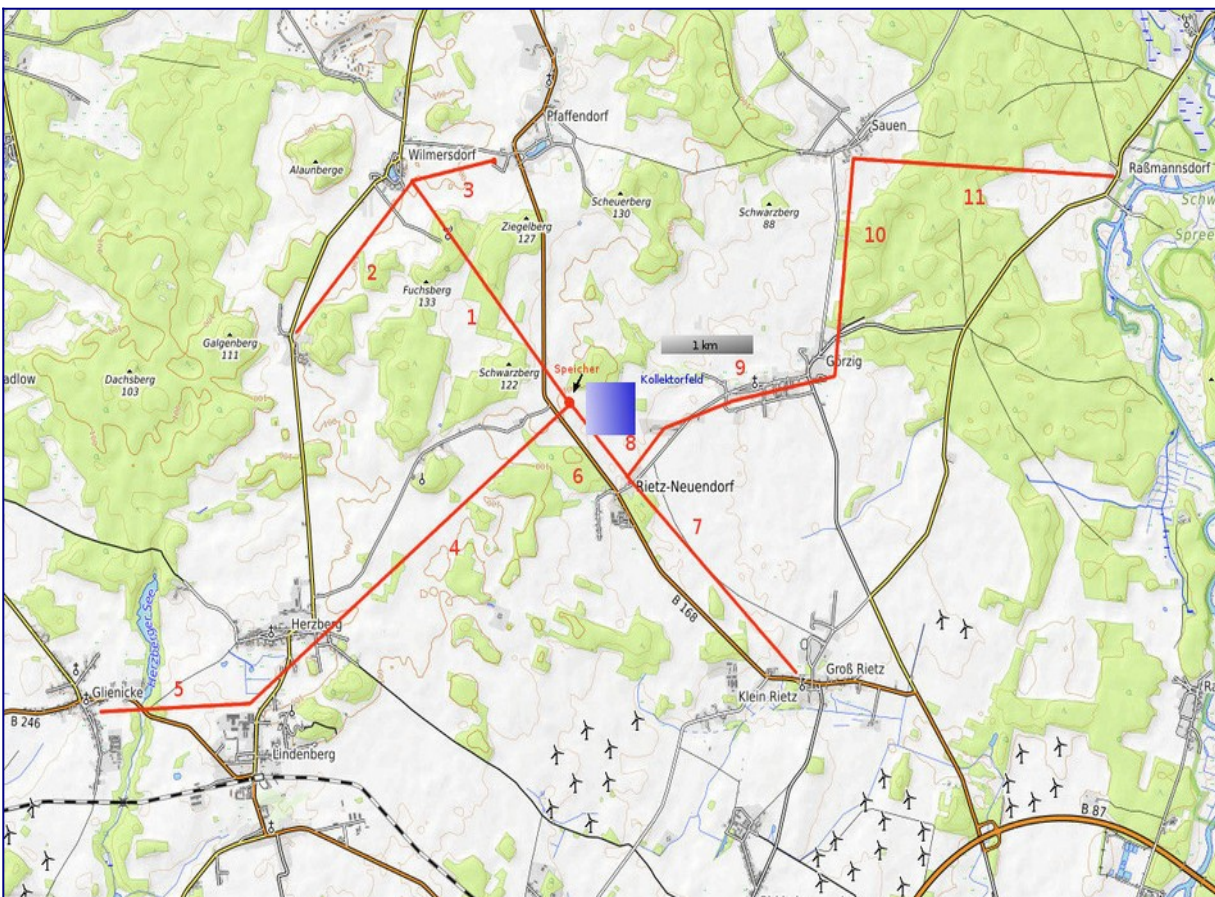


Bild 1: Gemeindeverbund "Rietz" mit Saisonspeicher (rot) und Kollektorfeld (blau)

(Klick auf Bild zum Vergrößern)

Für den ländlichen Raum gäbe es die klimaneutrale Alternative, mit dem Holzzuwachs der Wälder zu heizen. Auch dafür existiert hier ein Überschlag:

[Tabelle](#).

Die Ergebnisse zeigen aber kaum Kostenunterschiede zur Fernwärmeoption, insbesondere bei zum Mindestlohn eingerechnetem Arbeitsaufwand fürs Vorbereiten und Heizen:

Durchschnittliche Kosten nach Sanierung der Gebäude auf 80kWh/m²/a: 640 €/a/Kopf = monatlich 53 €/Kopf

Durchschnittliche Kosten nach Sanierung, einschließlich persönlichem Aufwand: 1.160 €/a/Kopf = monatlich 97 €/Kopf

Durchschnittliche Kosten vor der Sanierung: 978 €/a/Kopf = monatlich 82 €/Kopf

Durchschnittliche Kosten vor der Sanierung, einschließlich persönlichem Aufwand: 1.915 €/a/Kopf = monatlich 160 €/Kopf

Gleichwohl besteht diese Möglichkeit, weil der Holzzuwachs in den zugehörigen Wäldern den Bedarf mehr als doppelt abdecken könnte: 9% der verfügbaren Fläche müssten bei moderater Sanierung der Gebäude bewaldet sein (16% bei aktuellem Energiebedarf). Im Bundesdurchschnitt sind 31% bewaldet.

Fazit: Die komplette Heizwärmeversorgung könnte bei Komfortverzicht und nicht gerechnetem Arbeitsaufwand um 20 bis 30 Euro pro Person und Monat preiswerter sein, wenn sie mit dem anfallenden Zuwachs an Restholz gedeckt würde. (Laufender Diesel- und Stromverbrauch für Holztransport und Aufbereitung wurden nicht einbezogen.)

Tabellen zum Rechnen in weiteren Formaten [hier](#).

3.4. Szenario Berlin

Ein derartig komplexes Gebilde wie Berlin nach der Maßgabe von Heliogaia zu entwickeln, ist eine besondere Herausforderung.

Gegliedertes Vorgehen wäre daher gut denkbar: Stadtteile ab etwa 10.000 Einwohnern könnten ein eigenes System betreiben. Die Speicherverluste lägen dann um die 20% und würden erst mit steigenden Anschließerzahlen weiter verringert. Man müsste über Möglichkeiten einer modularen Speicher- und Netzerweiterung nachdenken.

Die vorliegende Modellrechnung nimmt die Stadt als Einheit.

In Berlin leben 3,6 Millionen Einwohner in 605.000 Gebäuden auf 892 km² Fläche, wobei die reinen Siedlungsgebiete ungefähr 630 km² umfassen. Der Wärmeverbrauch wird mit durchschnittlich 80 kWh/a/m² als gut erreichbares Sanierungsziel angenommen.

Es ist daran gedacht worden, einen Teil der in einigen hundert Metern Tiefe liegenden, durch Grundwassernichtleiter eingeschlossenen Salzwasserschicht als einen großen Saisonspeicher zu definieren und zu nutzen. Man muss dann eine sehr große Anzahl Tiefbohrungen durch mehrere Grundwasserstockwerke hindurch in dieses Niveau bringen, um den gesamten Berliner Wärmebedarf ein- und auszuladen. Dabei darf das Wasser der verschiedenen Stockwerke nicht vermischt werden, ansonsten ist das Trinkwasser in Gefahr. Wenn sich auch jemand fände, der dauerhaft 100%-ige Dichtheit verspricht, so wäre das schon aus diesem Grunde nicht besonders vertrauenswürdig. Die Variante erscheint unverantwortbar und sollte nicht weiter verfolgt werden.

Ein Problem für alle Ballungsräume ist der recht große Platzbedarf, nicht vereinbar mit hohen Grundstückspreisen. Daher sollten der Saisonspeicher am Stadtrand und möglichst viele Kollektoren an den Gebäuden untergebracht werden. Das Netz ist dann in beiden Richtungen zu betreiben und eine ausgeklügelte Führung der Wärmeströme Voraussetzung für den Erfolg. Anders als bisher üblich, bekommt jede Dach- bzw. Fassadenanlage die komplette verfügbare Fläche Röhrenkollektoren und einen lokalen Speicher (etwa 570 Liter pro Kopf) zur Aufnahme des Tagesertrags. Sie arbeitet primär autonom, anschließend im Netzverbund. Bei dieser Dimensionierung kann schon ein großer Teil der Versorgung direkt am Gebäude geleistet werden (46%).

Zu den einzelnen Komponenten der Anlage:

1. Kollektoren:

Einige Studien zur Erforschung des Berliner Solarflächenpotentials liegen vor, allerdings hauptsächlich unter dem Gesichtspunkt der Eignung für PV-Anlagen. [93] u.a.

Ein eigener Überschlag über Dach- und Fassadenflächen führte zu einem noch höheren Potential von 20 m²/Kopf:

Fensterlose Seiten- bzw. Giebelflächen, Balkonbrüstungen, Zwischengeschoss- Fassadenflächen, ca. 50 cm schmale, fast waagerechte Sonnenschutzvorsätze als Streifen über den Fensterreihen ..., alles kann neben den Dachflächen unter Berücksichtigung architektonischer Gesichtspunkte mit farbigen Flachkollektoren, aber vorrangig mit Röhrenkollektoren besetzt werden.

Wo das Wärmeziel trotzdem erreicht wird, sind auch Kombikollektoren für zusätzliche Elektrizitätserzeugung eine Option.

Hier nicht berücksichtigt wurden Barriere- und Böschungflächen entlang mancher Bahn-, Straßen- und Gewässerverläufe, Energiezäune, Überdachungen von Verkehrsflächen, z.B. Radwegen und Parkplätzen ...

Orientieren sich geneigte oder vertikale Flächen in den südlichen Halbkreis, sind sie verwertbar, also etwa die Hälfte. Im Sommer bei einer mittäglichen Sonnenhöhe um 55 ... 60° sind die meisten davon auch nicht oder nur gering verschattet.

Dachflächen:

Berlin hat 605.000 Gebäude mit einer gesamten (in die Horizontale projizierten) Dachfläche von 106 Millionen m², 60% sind Flachdächer [93] S.7: $106 \cdot 0,6 + 106 \cdot 0,4 \cdot 0,5$ sind 84,8 Millionen m². Geht man davon aus, dass 30% davon aus verschiedenen Gründen nicht nutzbar sind, ergeben sich 59 Millionen m² belegbare Dachfläche.

Fassaden:

605.000 Gebäude mit einer gesamten Grundfläche von 103 Millionen m² :

Nimmt man quadratische Grundrisse und dadurch minimale Fassadenflächen an, ergeben sich pro Gebäude ($103.000.000/605.000$) 170 m² Grundfläche, 52m Umfang und mit einer durchschnittlichen Geschosshöhe von 2,65 [Tabelle] bei 2,7 m Geschosshöhe eine Fassadenfläche von mindestens $52m \cdot 2,65 \cdot 2,7m = 372m^2$.

Südhalbkreis: 50%, Eignung: 20%, geringe Verschattung: 60%;

$372m^2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,6 = 22 m^2$ geeignete Fassadenfläche pro Gebäude, insgesamt 13 Millionen m² .

Ohne die genannten anderen Möglichkeiten wären demnach rund 72 Millionen m² Fläche allein an Berliner Gebäuden verfügbar. Pro Einwohner wären das rund 20 m² .

Wir lehnen uns nicht weit aus dem Fenster und rechnen im Szenario mit der 2008 durch [30], S. 6 ermittelten Zahl von 13,78m²/Kopf. Alle weiter benötigten Kollektoren (3,5m²/Kopf) werden über dem Saisonspeicher und/oder am Stadtrand in dessen Nähe auf freiem Feld installiert. Das ist für die Endbeladung auf 80°C ohnehin zu einem gewissen Teil nötig. Wegen der hohen Temperaturen und aus Platzgründen wird in diesem Szenario ausschließlich mit Röhrenkollektoren gerechnet.

2. Saisonspeicher:

Wegen des Grundwasserschutzes und der besseren Beschickbarkeit im offenen Kreislauf soll der Erdspeicher auf dem ersten Grundwassernichtleiter (ohne Standortkenntnisse, angenommen in 140 m Tiefe) aufsitzen, also möglichst nur das oberste, auch gut durchlässige Grundwasserstockwerk einbeziehen. Das führt bei der geforderten Speichermasse zu erheblicher flächiger Ausdehnung. Der Durchmesser ist gegenüber der Tiefe um ein vielfaches größer. Die Modellberechnungen ergaben wegen der riesigen absoluten Größe dennoch vertretbare Verluste von nur 7%. Auf die umgebende Dichtwand kann möglicherweise verzichtet werden, wenn man den Speicher an einem Ort mit geringem Grundwasserfluss einrichtet. In der durchgeführten Modellrechnung ist der 140m tiefe Speicher auf einer runden Fläche von 2100 m Durchmesser mit 2m trockenem, sandigem Füllboden zwischen zwei Folien abgedeckt, darüber normaler Füll- oder Mutterboden, leicht bebaut.

3. Fernwärmenetz:

In Ballungsgebieten können die Haupttrassen der Netze auch Längen in der Größenordnung von 100 km überbrücken, wenn sie entsprechend große Mengen an Warmwasser in sehr großen Durchmessern mit nicht zu geringer Geschwindigkeit leiten. Für Berlin eignen sich fünf ca. 25 km lange Doppelleitungen (zwei Rohre zu je 2m Durchmesser) vom Rand in die Stadt hinein bis zu den Verteilerzentren. Die Pumpleistungen betragen für Vor- und Rücklauf 17 W/Kopf, alle Verluste der Hauptverteilung zusammen liegen unter 1% ([Tabelle waermeverlust hauptverteilung im jahr002.html](#)). Jeder Knotenpunkt bekommt sein Heizkraftwerk oder einige Wärmepumpen mit Herabkühlung des Rücklaufes.

Die Unterverteilung muss dann in mühsamer Kleinarbeit zwischen allen anderen Medien hindurch von Haus zu Haus gebaut und angeschlossen werden. Gerade für Berlin sei noch einmal erwähnt, dass es hier sinnvoll scheint, alle bereits vorhandenen Systeme mit einem begehbaren Tunnelnetz zu unterwandern, in welchem die Fernheizleitungen und nach und nach auch sämtliche anderen Medien jederzeit zugänglich und übersichtlich Platz fänden - sicher eine auch für die Stadt und andere Netzbetreiber langfristig interessante Investition, die aber in dieser Kalkulation nicht berücksichtigt werden kann.

Die Zahlen für die Unterverteilung wurden zur Aufwandsbegrenzung aus der Modellrechnung Cottbus übernommen und proportional angepasst.

Auswertung:

Nach vollständiger energetischer Sanierung der Gebäude beträgt der Elektroenergieeinsatz 3,4%, die Kosten monatlich knapp 49 Euro/Kopf, ohne Berücksichtigung von eventuellen Darlehenszinsen oder Fördergeldern. Das ist weniger als in Deutschland die letzten Jahre monatlich zur Beheizung ausgegeben werden musste, bundes- durchschnittlich 65,4 Euro/Kopf (ohne CO2-

Steuer). Als Durchschnittswert zeigt diese Zahl nicht die Kosten im Einzelfall, die immer auch sehr von der Gebäudesituation abhängen. Man kann sie auch nicht zum Vergleich in die üblichen Angaben von €/kWh für verschiedene Energieträgerarten umrechnen, weil da weder die Kosten für Heizungsanlagen noch CO₂-Steuern enthalten sind.

Hauptanteile der Kosten:

Fernwärmenetz mit Pumpen und Hausanschlüssen: 13%

Kollektoren und deren Aufstellung: 43%

Baunebenkosten: 20%

Das sind zugleich die wichtigsten Ansätze zur Kostensenkung. Die Mehrwertsteuer sollte bei der Brisanz des Themas ins Auge gefasst werden, alle Ausgangszahlen sind Bruttopreise.

Der Saisonspeicher ist mit allen Bohrungen, Schlitzwänden, Abdeckungen und Pufferspeichern mit weniger als 1% an den Aufwendungen beteiligt.

In der Übergangsperiode, solange der Wert von 5.168 kWh/a/Kopf noch nicht durchgängig erreicht ist, werden 10.600 kWh/a/Kopf zugrunde gelegt, der Bundesdurchschnitt für den Verbrauch von Wärme im Temperaturbereich unter 100°C. Für die Lücke müssen die dritte Fernwärmeleitung mit >60°C und die Heizkraftwerke mit insgesamt 6,6 GW elektrischer Leistung eingerichtet werden. Hierfür sind vergleichsweise geringe zusätzliche Investitionen (+5%) aber durch den Brennstoffverbrauch höhere laufende Kosten anhängig. Mit allem anderen zusammen ergeben sich monatlich 76 Euro/Kopf, bei einem schon eingepreisten Fremdenergieeinsatz von 56%. Die Haltbarkeit der Komponenten wurde berücksichtigt und ihre Wartung mit 160€ pro Jahr und Haushalt eingeplant.

Die Start-Investition für die Gesamtanlage Berlin beläuft sich auf 52 Milliarden Euro. (Diese Summe wird im Laufe der Abschreibungszeit durch den oben genannten Monatsbeitrag der Abnehmer getilgt.)

Abbildung 1 zeigt die zu erwartenden Größenbeziehungen und Ausmaße ohne Beachtung geologischer Gegebenheiten oder der Eigentumsverhältnisse, also nur für eine erste optische Orientierung. Die wirkliche Flächenzuordnung obliegt dem Planer und letztlich dem Bürgerentscheid. 80% aller Kollektoren befinden sich auf und an den Gebäuden der Stadt. Das dargestellte Kollektorfeld umfasst die Bruttofläche der zusätzlich extern aufgestellten Kollektoren mit allen zur Montage, Wartung und Verschattungsverhinderung nötigen Rändern und Zwischenräumen. Zwei Drittel davon sind nicht von Kollektoren überdeckt und sollen weiterhin in bestimmtem Maße landwirtschaftlich genutzt werden. Die 1km langen roten Streifen in den Ecken des Bildes dienen dem Größenvergleich.



Bild 1: Berlin mit Saisonspeicher (orange) und ergänzendem Kollektorfeld (blaugrün)
 Maßstab rot: 1km

(Klick auf Bild zum Vergrößern)

Zugehörige Tabellen in html-Format:

Tabelle [jahreslauf_berlin.html](#) simuliert im ersten Blatt "e" aus rechts eingegebenen Parametern eine zweijährige Wärmebilanz einschließlich des Ladeverhaltens des Saisonspeichers für ganz Berlin, pro Person, in Tagesschritten.

Hat man sich durch alle 731 Tage gescrollt, erscheint Blatt "t" und berechnet dazu aus weiteren Parametern und Eingabegrößen das Gesamtergebnis.

Tabelle [0_waermeverlust_hauptverteilung_im_jahr002.html](#) zeigt gesondert die Verluste auf Hauptverteilungstrassen.

Tabelle [0_zahlen_energierelevant_BERLIN_BRD.html](#) zeigt die aus den Recherchen gesammelten Grunddaten samt Quellen.

Tabellen zum Rechnen in weiteren Formaten [hier](#).

3.5. Szenario Cottbus

In Cottbus leben 100.000 Einwohner in 22.000 Gebäuden auf 165 km² Fläche, wobei die reinen Siedlungsgebiete ungefähr 43km² umfassen.

Eine Wärme-Komplettversorgung aller Gebäude nach Heliogaia wird durch Tabelle ["cottbus_rechentabelle.html"](#) modelliert. Diese Rechnung geht von realistischen, eher vorsichtig gewählten Zahlen aus. Zum Aufdecken systematischer Fehler wurde eine gegen die anderen Szenarien noch weiter pauschalisierte Herangehensweise gewählt (ohne eine tägliche Energiebilanz im Jahresgang).

Setzt man den Wärmeverbrauch im Durchschnitt auf 80 kWh/a/m², entspricht das bei den gegebenen Wohn- und Gewerbeflächen einem Jahresbedarf von 5321 kWh pro Kopf für Heizung und Warmwasser, Endenergie, also ohne Berücksichtigung der Verluste des Versorgungssystems.

Für die ganzjährige Wärmeversorgung von Cottbus sind, jetzt auch unter Berücksichtigung der Systemverluste, ein zylindrischer Erdspeicher mit 400m Durchmesser bei 140m Tiefe und eine Kollektorfläche von 2 km² erforderlich, 30% davon Röhrenkollektoren. Bei der ausschließlichen Aufstellung der Kollektoren auf freiem Feld ergeben sich 5 bis 6 km² Platzbedarf, 3,4% der Gesamtfläche.

Der Fremdenergieeinsatz beträgt 3,3% bezüglich der verbrauchten Wärme, Elektroenergie für Umwälzpumpen.

Die laufenden Kosten ergeben im Schnitt monatlich 46 Euro/Kopf, ohne Berücksichtigung von eventuellen Darlehenszinsen oder Fördergeldern.

Das ist viel weniger als in Deutschland monatlich bisher für Gebäudeenergie ausgegeben werden muss, bundesdurchschnittlich 65,4 Euro/Kopf (ohne CO₂-Steuer).

Diese Zahl zeigt nicht die Kosten im Einzelfall, die von der konkreten Gebäudesituation abhängen. Man kann sie auch nicht zum Vergleich in die üblichen Angaben von €/kWh für verschiedene Energieträgerarten umrechnen, weil jene weder Aufwendungen für Heizungsanlagen noch CO₂-Abgaben enthalten.

Hauptanteile der Kosten:

Fernwärmenetz mit Pumpen und Hausanschlüssen: 22%

Kollektoren und deren Aufstellung: 38%

Baunebenkosten: 20%

Das sind zugleich die wichtigsten Ansätze zur Kostensenkung. Die Mehrwertsteuer sollte bei der Brisanz des Themas ins Auge gefasst werden, die Ausgangszahlen sind Bruttopreise.

Der im offenen Kreislauf betriebene Saisonspeicher ist mit allen Bohrungen, Schlitzwänden, Abdeckungen und Pufferspeichern nur zu 1 bis 2% an den Aufwendungen beteiligt.

In der Übergangsperiode wird der bundesdurchschnittliche Energiebedarf für Niedertemperaturwärme von 10.600 kWh/a/Kopf zugrunde gelegt. Für die Lücke müssen die dritte

Fernwärmeleitung mit $>60^{\circ}\text{C}$ und das Heizkraftwerk mit 143 MW elektrischer Leistung aufkommen. Hiermit sind vergleichsweise geringe zusätzliche Investitionen aber durch den Brennstoffverbrauch höhere laufende Kosten verbunden. Mit allem anderen zusammen ergeben sich monatlich 70 Euro/Kopf, bei einem schon eingepreisten Fremdenergieeinsatz von 48%. Die Haltbarkeit der Komponenten wurde berücksichtigt und ihre Wartung mit 160€ pro Jahr und Haushalt eingeplant.

Die Gesamtinvestition beläuft sich auf 1,4 Milliarden Euro. Sie wird durch die monatlichen Raten der Abnehmer innerhalb der Abschreibungsfrist getilgt.

Abbildung 1 zeigt die zu erwartenden Größenbeziehungen und Ausmaße ohne Beachtung der geologischen Gegebenheiten oder der Eigentumsverhältnisse, nur für eine erste optische Orientierung. Die wirkliche Flächenzuordnung obliegt dem Planer und letztlich dem Bürgerentscheid. Das blau unterlegte Feld zeigt den Flächenbedarf vollständig ausgelagerter Kollektoren mit allen zur Montage, Wartung und Verschattungsverhinderung nötigen Rändern und Zwischenräumen. Zwei Drittel davon sind nicht von Kollektoren überdeckt und sollen weiterhin in bestimmtem Maße landwirtschaftlich genutzt werden. Dennoch, wie die Proportionen zeigen, ergibt sich ein kaum zu vermittelnder Flächenbedarf.

Zweite Variante (grün unterlegt):

Rechnet man für Cottbus mit einem Wärmebedarf von 80 kWh/a/m^2 als Sanierungsziel bei Einbindung des laut [5], S.215 vorhandenen innerstädtischen Solarflächenpotentials von $1.577.500 \text{ m}^2$, so liefert die Rechnung bei voller Auslegung mit Röhrenkollektoren unwesentliche Abweichungen im finanziellen Aufwand, dagegen aber weniger als 1 km^2 zusätzlich notwendiges externes Kollektorfeld (in der Abbildung grün unterlegt). Der Netzaufbau müsste dann analog zum Szenario für Berlin geschehen. Diese Variante erscheint gut realisierbar.

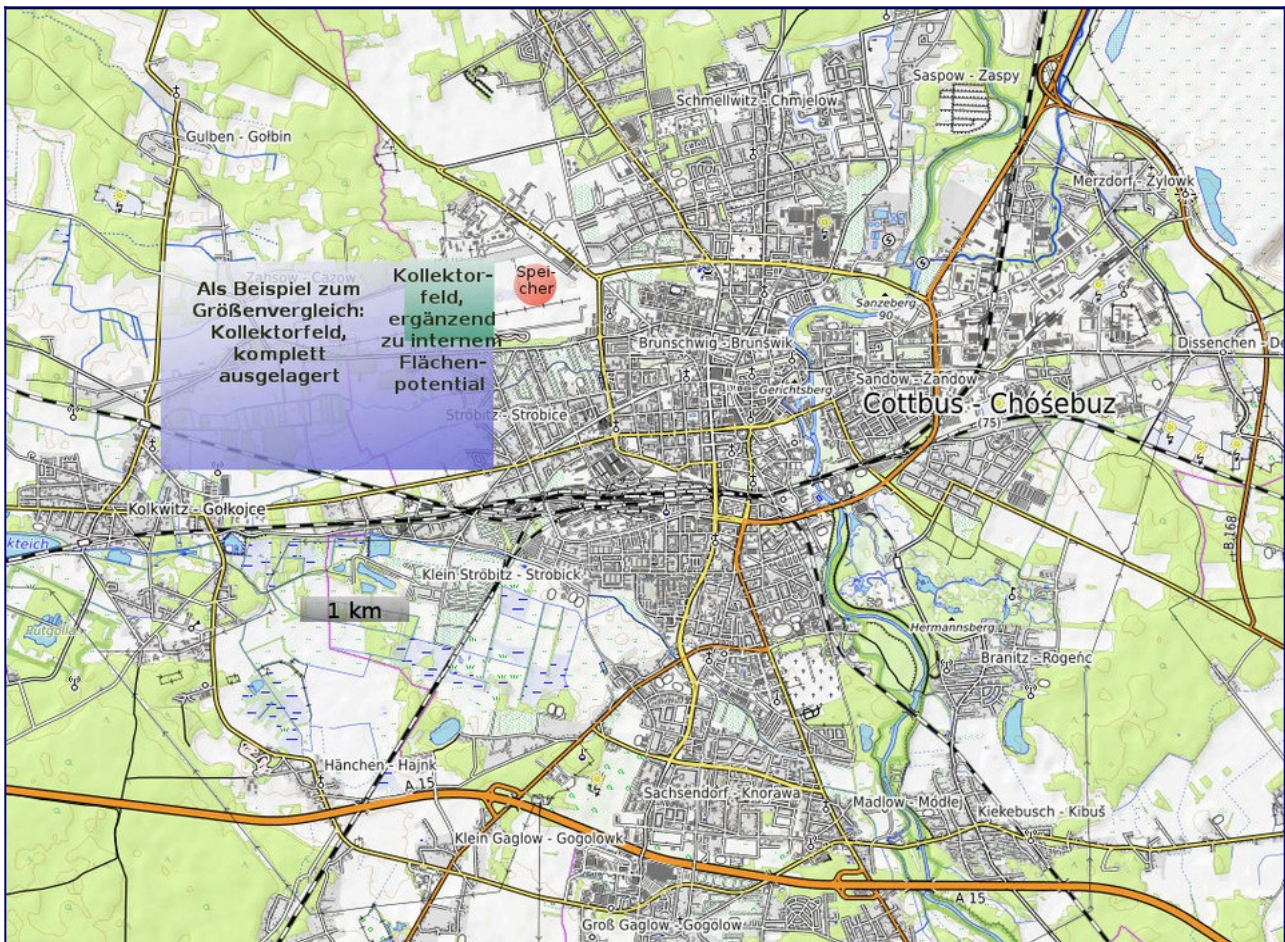


Bild 1: Die Stadt Cottbus mit Saisonspeicher (rot) und zwei Varianten Kollektorfeld (blau-Härtetest, grün- realistisch)

(Klick auf Bild zum Vergrößern)

Tabellen zum Rechnen in weiteren Formaten [hier](#).

3.6. Endergebnisse

Zu jeder der ungefähr gleich besetzten Besiedlungsarten (je 20 Millionen in Metropole, Großstadt, Mittel/Kleinstadt und ländlicher Raum) wurde ein Szenario abgeschätzt. Alle vier Teile ergaben die Machbarkeit der Heliogaia- Fernwärmenetze aus technischer und ökonomischer Sicht, mit Vorbehalt bei sehr verstreuter Besiedlung im ländlichen Raum. Das Einzugsgebiet sollte dann nicht größer sein als 12 km im Durchmesser, bei einer Anschließierzahl von wenigstens 5000 Personen. Den Überblick über die wichtigsten Ergebnisse liefert Tabelle [endrechnung.html](#).

Ausführlicher sind die Berichte zu den einzelnen Vertretern ([Röbel](#), [Rietz](#), [Berlin](#), [Cottbus](#)) mit den zugehörigen [Tabellen](#) und Karten.

In allen vier Tabellen kann die Herleitung der Ergebnisse bis zu ihren Quellen verfolgt werden.

Wegen ihrer annähernd gleichen Wichtung liefert die Mittlung der gefundenen Zahlen Anhaltspunkte für den Bedarf bei einem bundesweiten Ausbau der Heliogaia-Netze:

- **0,03% des Territoriums für Speicher, maximal 1,5% für Kollektorfelder *) und**
- **zur Finanzierung von Heizung und Warmwasser für Wohnung, Gewerbe und öffentliche Gebäude einen laufenden Betrag von 60 € pro Person und Monat** (ohne Berücksichtigung von Kapitalkosten einerseits und Fördermitteln andererseits).

Zum Vergleich:

- Der Anteil der Verkehrsflächen beträgt zwischen 3 und 5%, je nachdem, was alles mitgezählt wird.
 - Bisher wurden in Deutschland jährlich 65 Milliarden Euro für Gebäudeenergie ausgegeben [\[Dena\]](#), S.7, das sind monatlich ca. 65€ pro Kopf.
-

Kostenaspekt:

Die Kostenschätzungen sind stark abhängig vom Kollektorpreis und vom Preis der Fernheizleitungen, die jeweils mit ca. einem Drittel zu Buche stehen (Kollektoren für Szenario Rietz mit 28% und für Berlin mit 43%). Die Aufwendungen für den favorisierten Saisonspeicher mit offenem Wasserkreislauf (Variante 1) betragen dagegen nicht mehr als 2% der Gesamtsumme.

Das Investitionsvolumen für den bundesweit kompletten Umbau beträgt auf der Erzeugerseite (Kollektoren, Heizkraftwerke, Speicher und Verteilungsleitungen) 1500 Milliarden €, umgerechnet 17.800€/Kopf. Über 10 Jahre verteilt ist das jeweils ein Fünftel des in 2019 getätigten Bruttoinvestitionsvolumens.

Hinzu kommen auf Abnehmerseite die Sanierungskosten der Gebäude mit 838 Milliarden € (bis 2050, nach einer Studie der KfW Bankengruppe, "Ermittlung der Wachstumswirkungen der KfW-Programme zum energieeffizienten Bauen und Sanieren"[88]);

Ein eigener Überschlag zu den Sanierungskosten aller Wohngebäude auf 80 kWh/m²/a mit pauschalen Sanierungspreisen aus [140] ergab ungefähr das Doppelte ([standardhaus002.html](#)), einschließlich Nichtwohngebäuden das Dreifache.

Energieaspekt, bezogen auf 2018:

Von 100% Endenergieverbrauch (2500 TWh) wird der gesamte Niedrigtemperatur- Wärmebedarf (mit 34%, 850 TWh) zu etwa gleichen Teilen CO₂-neutral ersetzt durch

- Heliogaia-Netze (463 TWh) und
- Sanierungsmaßnahmen (387 TWh)

In einer Übergangsphase bis zur vollständigen Sanierung helfen Heizkraftwerke, anfangs mit einem Fremdenergieanteil (nicht solarthermisch) von insgesamt ca. 50%. Später sinkt dieser Anteil auf konstant 3%.

Die Verluste aus den Saisonspeichern liegen bei mehr als zehntausend Abnehmern unter 20%, bei mehr als fünfzigtausend Abnehmern unter 10% der pro Jahr eingepeicherten Wärme. Man kann begründet davon ausgehen, dass diese Zahlen im Praxisbetrieb günstiger ausfallen. ([siehe Kapitel Speicherverluste](#))

Die beschriebene Technik entspricht ökologisch und ökonomisch den Anforderungen der Zukunft. Sie ist sauber, langlebig und fehlerfreundlich, ohne fragwürdige und unerprobte Hochtechnologien. Nahezu alle eingesetzten Materialien können in geschlossenen Kreisläufen geführt und nach Ablauf wieder verwendet werden, da es sich weitgehend um klassische Stoffe der Sekundärrohstoffwirtschaft handelt.

Die durch eine rasch wachsende Zahl kleiner und uneffektiver Einzelprojekte in dicht besiedelten Gebieten bereits mit Sorge betrachtete Gefährdung des Trinkwassers (durch thermische Störungen und Vermischung der Grundwasserhorizonte) wird mit der lokalen Zentralisierung gut kontrollierbar eingeschränkt.

...

4.4. Finanzierung

Die Kalkulation unter Heliogaia ergab über die Laufzeiten der Komponenten einen durchschnittlichen Monatsaufwand von 60 €/Kopf für volle Solarwärmeversorgung, also für Heizung und Warmwasser im kompletten Gebäudebestand (Wohnung, Öffentlichkeit und Gewerbe). Diese Zahl berücksichtigt zunächst weder mögliche Fördergelder noch die Aufwendungen zur Kapitalbeschaffung. Die Kosten der herkömmlichen Energieversorgung von Gebäuden betragen analog 65 €/Kopf/Monat ([10],S.7). Hier hingegen ist die Versicherung gegen Klimaschäden bzw. die CO₂- Steuer nicht einbezogen, weil solche Kosten bis dato ignoriert wurden. Beide Werte basieren auf Zahlen aus der Dekade bis 2020 und sind mit der Inflation am Wachsen. An den Absolutzahlen darf man sich darum nicht zu sehr festklammern. Diese Kosten wurden aber für den gleichen Zeitraum ermittelt und dürfen als Maß für den gesellschaftlichen Aufwand zu Bau und Betrieb der entsprechenden Technik gelten. Abgesehen von der Unmöglichkeit der Fortsetzung des alten Systems würden sie sich auch annähernd parallel entwickeln. Weil aber die gegenwärtige Inflation hauptsächlich durch Turbulenzen auf den Märkten der fossilen Energieträger entstand, und auch die Kollektoren bei einsetzender Massenproduktion günstiger werden dürften, kann man erwarten, dass sich die neue Technik preislich noch vorteilhafter entwickeln wird.

Geldgeber zu finden, ist Angelegenheit der bauwilligen Gemeinde bzw. ihrer Bürger. Insbesondere unter den künftigen Abnehmern sollten sich motivierte Investoren melden. Nach dem Motto:

"Mein Geld in meine Stadt"

könnten Fonds oder Genossenschaften gebildet werden.

Heliogaia-Systeme verursachen die Kosten bei ihrer Installation, sehr wenig während des Betriebes. Eine Beteiligung an der Investition könnte somit auch durch beitragsfreie Wärmeversorgung über einen vereinbarten Zeitraum abgegolten werden. So hätte der Investor die Inflation partiell umgangen.

Je nach Situation lassen sich Fördergelder akquirieren, welche EU, Bund oder Länder für Projekte zur Energiewende ausschreiben. Erkundungen und Antragstellung dazu sind ebenfalls Sache des Bauwilligen.

Nach Ablauf der Abschreibungsfrist der Komponenten in 25 bis 50 Jahren muss neu investiert werden. Das ist mit jeder Technik so und auch hier zu berücksichtigen.

Berechnen wir Raten eines Darlehens über die Investitionssumme von 18.000 €/Kopf für oben angesetzte 25 Jahre ($25 \cdot 12 \cdot 60 = 18.000$), so ergeben sich zur vollen Finanzierung von Heliogaia je nach Zinssatz folgende monatliche Belastungen:

- bei 0,5% → 63,84 €/Kopf/Monat
- bei 1% → 67,84 €/Kopf/Monat
- bei 1,5% → 71,99 €/Kopf/Monat
- bei 2% → 76,29 €/Kopf/Monat
- bei 2,5% → 80,75 €/Kopf/Monat
- bei 3% → 85,36 €/Kopf/Monat

Bei Aufteilung des Gebäudeenergieverbrauchs für Wohn- und Nichtwohngebäude auf 63 und 37% ([10],S.7), erhalten wir folgende Raten für Heizung und Warmwasser der Wohngebäude, je nach Zins:

- bei 0,5% → 40,22 €/Kopf/Monat
- bei 1% → 42,74 €/Kopf/Monat
- bei 1,5% → 45,35 €/Kopf/Monat
- bei 2% → 48,06 €/Kopf/Monat
- bei 2,5% → 50,87 €/Kopf/Monat
- bei 3% → 53,78 €/Kopf/Monat

In der betrachteten Dekade, z.B. im Jahre 2018, betrug der Anteil der Warm-Miete für Heizung und Warmwasser pro m² Wohnfläche gemittelt 1,03 €/m² [154]. Bei durchschnittlicher Wohnfläche von 47,4 m² pro Kopf ergab sich daraus ein Betrag von 48,82 € pro Bürger und Monat, also jener Betrag, der auch für Heliogaia bei 2 bis 2,5% Kapitalzinsen für Wohnung aufgewendet werden muss. Heliogaia war somit schon Jahre zuvor gegenüber der fossilen Raumbeheizung kostenneutral, wird nun aber durch CO₂-Steuer und die Explosion der Energieträgerpreise konkurrenzlos günstig, auch gegenüber Wärmepumpen (Kapitel 5.3) und kleineren Wärmenetzen. Bei der Dringlichkeit des Themas sind für einen zügigen Start ausreichend große Pilotprojekte nötig, ab 10.000 Anschließer. Sie sollen Hemmschwellen beseitigen und sind als Vorzeige- Muster mit 100% Förderung längst überfällig.

5. Ergänzungen

5.1. Klimawandel und die nicht einbezogenen Kosten

Über menschengemachten Klimawandel wird immer noch sehr interessenbezogen diskutiert. Nun soll er wenigstens begrenzt werden.

Umfassende, alle (?) Parameter einbeziehende Rechenmodelle, auf Supercomputern durchgeführt, liefern Prognosen und Verhaltensempfehlungen. Dabei bleibt eine Tatsache aber meistens ungenannt: Klimaprozesse verlaufen chaotisch, wie das Wetter und sind nicht (exakt) berechenbar, mit wachsendem Vorhersagezeitraum immer weniger.

Die meisten öffentlich gehandelten Vorhersagen sehen die Natur eher milde gestimmt. Ganz selten nur ist zu hören, was eigentlich im Extremfall auch eintreten könnte. Das sollten aber alle wissen, um das Risiko einer von uns selbst betriebenen immer noch sehr zögerlichen Politik wirklich abschätzen zu können.

Dazu hier also auch einige Überlegungen.

Die Erde erwärmt sich durch zu starke menschengemachte Störungen der Atmosphäre. Dadurch schmelzen die Gebirgsgletscher und die bisher ziemlich stabil auf sehr großen Landflächen abgelagerten Eisvorräte (Antarktika 26,92 Millionen km³, Grönland 2,85 Millionen km³).

Verteilt man diese, nach einem hypothetisch angenommenen kompletten Abschmelzen, als entstandene Wassermenge auf die gesamte Meeresfläche der Erde (361 Mio. km²), **so errechnet sich ein Anstieg des Wasserspiegels um etwa 74m** ($0,9 \cdot (26,92 + 2,85) / 361 = 0,074$).

Dabei sind geringere Einflussgrößen, wie z.B. die Ausdehnung der Meeresfläche auf Überschwemmungsgebiete, die Vergrößerung des Wasservolumens durch Erwärmung oder der Beitrag durch schmelzende Gebirgsgletscher nicht einbezogen.

Die Szenarien der Wissenschaften liefern, dass nicht alles Eis und erst recht nicht alles so schnell abtauen wird. Hoffentlich gibt es keine Rechenfehler und hoffentlich macht das Chaos nicht ernst, denn ansonsten lägen demnächst alle hier als Modelle einbezogenen Gebiete (Röbel bis Cottbus) unter Wasser. Wärmespeicher wären "überflüssig".

Von climatecentral.org [\[86\]](#) gibt es ein Küstenrisiko-Screening-Tool mit welchem man interaktiv verschiedene Bedrohungsszenarien anschauen kann.

Darin zeigt die Karte zum Jahr 2040 etwa folgende potentiellen Überschwemmungsgebiete:



Bild 1: climatecentral.org; bereits 2040 verlorene oder massiv bedrohte Gebiete

Schwierig wird es zusätzlich, weil sich der Vorgang durch das Abschmelzen und die Erwärmung selbst antreibt.

Ein Beispiel ist die **Eis-Albedo-Rückkopplung**:

Eis absorbiert Sonnenstrahlung nur zu 10%, das heißt, 90% der Energie reflektiert es ins All zurück. Nach dem Abschmelzen offen liegende dunklere Land- und Wasserflächen dagegen absorbieren das Licht fast wie Sonnenkollektoren zu 80 oder 90% und erwärmen sich sehr stark. Das Eis am Rande schmilzt noch schneller. Einmal über einen gewissen Kipp-Punkt hinaus eingetretene Veränderungen lassen sich nicht mehr aufhalten. Die Lawine rollt.

Auch **das Abtauen der Permafrostböden** wirkt verheerend:

Der über viele Millionen Jahre dort eingefrorene Kohlenstoff entweicht in die Atmosphäre. 1700 Milliarden Tonnen klimaschädliche Gase können aus den Sümpfen freigesetzt werden, mehr als in allen Regenwäldern der Erde zusammen festgelegt sind. [102])

Und es gibt weitere solcher Rückkopplungseffekte.

Gebirgsgletscher garantieren die Wasserversorgung der Flüsse und dadurch ganzer Regionen. Sie überbrücken die Jahreszeiten durch ihr Speicherverhalten. Abgeschmolzene Gletscher bewirken Rückzug der Fließgewässer, Trockengebiete oder Wüsten. Lebensformen und Wirtschaftssysteme brechen zusammen, was wiederum zu Flucht und Völkerwanderung führt, mit allen bekannten Folgen.

All solche unbezahlbaren Kosten wurden in Preisvergleiche nie einbezogen, wie auch die für einen Super-GAU in Kernkraftwerken nicht. Ein "angemessener" Versicherungsbeitrag müsste jeden Rahmen sprengen und wäre das sofortige Aus für die atomaren und fossilen Energietechnologien. Keine Versicherung der Welt übernimmt diese Risiken. Wer übernimmt sie dann?

Über Klimawandel wird stark interessenbezogen diskutiert. Politiker wollen Wahlen gewinnen. Bürger wählen Politiker, die "ihre Interessen" vertreten. So kann es geschehen, dass Menschen aus Unkenntnis oder kurzgreifendem Egoismus ihren eigenen Untergang wählen.

Dabei gehen wir in diesen Überlegungen nicht so weit wie der bekannte Denker und Astrophysiker Stephen Hawking, der den Leugnern einer Gefahr durch Klimawandel den Flug zur Venus finanzieren wollte, die - als ehemals erdähnlicher Planet mit flüssigen Wasservorräten begabt - einen solchen Wandel bereits hinter sich hat. Heute herrschen dort Oberflächentemperaturen von knapp 500 Grad und atmosphärische Drücke, die jedes U-Boot zerquetschen würden.

Was sollen wir tun, um derartigen Szenarien zu entgehen?

Investieren wir zu spät oder halbherzig in die Energiewende, nimmt der Klimawandel Fahrt auf und wir verlieren die verfügbaren Mittel an den Katastrophenschutz: Zeltlager, Notunterkünfte, Ersatz für Gebäude und Infrastruktur, Dämme, Deiche, Militär, Grenzanlagen, Mauern.

Wir können auch falsch investieren oder subventionieren und tun das ausgiebig: Externe Gaspipelines, Wärmepumpen, Biogaserzeugung mit maximal 0,5% Gesamtwirkungsgrad, industrialisierte Landwirtschaft, Massentierhaltung, ...

5.2. Sanierungswahnsinn?

Auf dem Hintergrund von Klimawandel und Energiewende ist jede eingesparte Kilowattstunde eine gute Kilowattstunde. Weil Gebäudeenergieverbrauch den größten Posten im Energiemarkt darstellt, ist hier das Sparpotential besonders hoch.

Eine lange Reihe von Verordnungen und ein Dickicht neu entstandener Fachbegriffe zeugen von Bemühung. [\[104\]](#)

Durchsichtigkeit in der Begriffsbildung und Nachhaltigkeit in der Wahl der Materialien lassen aber zu wünschen übrig. Riesige Mengen problematischer Dämmstoffe wurden und werden noch verbaut. Sie hinterlassen kommenden Generationen zusammen mit dem strahlenden Müll der Kernenergiewirtschaft schier unlösbare Recyclings- und Entsorgungsprobleme.

Z.B. wurde 2016 Styropor zum Sondermüll erklärt, Entsorgungskosten bis 8000 €/t.

Das ist inzwischen wieder aufgehoben, die Mülltrennung weiter gesetzlich angeordnet.

Eine Vorschrift ist schnell geschrieben. Wie sauber lassen sich aber auf der Abbruchstelle die Materialien wirklich wieder trennen? Was bewirken Naturkatastrophen? Gehört der Anblick der winzigen weißen Styroporkügelchen im Erdboden und an den Spülsäumen der Gewässer künftig zu unserem Landschaftsbild? Wer sammelt die alle wieder auf? Wie kommen Bodenorganismen mit der Flut fein zerriebener neuer Materialien zurecht? Welche Studie zeigt den Einfluss zerbrochener feinsten Glasnadeln aus Glas- oder Mineral- Dämmwolle auf Regenwürmer und damit die Fruchtbarkeit der Böden?

Die Möglichkeit, durch Heliogaiasysteme letztlich 100% regenerative Wärmeversorgung zu garantieren, relativiert den Sinn der meist wenig umweltverträglichen und oft auch sehr kostspieligen Bestrebungen am Einzelobjekt. Gebäude, bis unters Dach mit HighTech ausgerüstet, sind zum Sammeln von Erfahrungen gut, aber bei Massenanwendung und ohne Stützgelder nicht überlebensfähig.

Zwischen den Kosten für energetische Gebäudesanierungen hier und dem Installationsaufwand der Solar-Wärmeerzeuger dort muss abgewogen werden. Damit entscheidet sich, wie weit es noch sinnvoll ist, durch Wärmeschutzverordnungen sportliche Ziele vorzugeben.

Für alle hier abgeschätzten Szenarien wurde der Wärmeverbrauch eines auf 80 kWh/m²/a sanierten Gebäudes angesetzt. ([Standardhaus](#))

Nach Lösung der Optimierungsaufgabe müssen die Kollektorflächen möglicherweise noch um einige Quadratmeter pro Kopf erweitert werden. Speichervolumen steht ohnehin fast zum Nulltarif als Saisonspeicher zur Verfügung.

Hier wurde zunächst die Frage nach der Möglichkeit zum Anschluss unsanierter Gebäude an die erste Vorlaufleitung (40°C) des Heliogaiasystems untersucht. Sie konnte für Häuser mit einem Verbrauch von bis zu 180 kWh/m²/a nach Einbau einer Flächenheizung positiv entschieden werden (siehe Tabellen / "Durchschnittshaus").

Die Auslegungsleistung (doppelte Nennleistung) wird allenfalls in Mittwinter-Monaten abgerufen, zu denen der Speicher noch die in der Abschätzung geforderten Vorlauftemperaturen von mindestens 45 Grad liefern kann.

5.3. Individuelle Wärmepumpe versus kommunales Wärmenetz - Warum sind Wärmepumpen problematisch?

Wie können wir unsere Raumwärme- und Warmwasserversorgung umstellen, künftig klimaneutral und möglichst kostengünstig? Wärmepumpen werden in maßgebenden Szenarien dazu als wichtigster Baustein gehandelt, nun anscheinend auch staatlich favorisiert, medial und finanziell zunehmend gefördert. Wärmenetze werden zwar auch benannt, aber es passiert viel zu wenig, angesichts des überragenden Potentials bei Verwendung angemessen großer Saisonspeicher.

Das Problem:

Wärmenetze sind schwieriger zu organisieren und in ihrer Wirtschaftlichkeit von der Anschließerdichte abhängig. Jede am Einzelobjekt mit finanzieller Hilfe installierte Wärmepumpe bindet nun Abnehmer und verzerrt damit unzulässig den Wettbewerb.

Es ist also ratsam, erst genau zu rechnen und dann zu bauen.

Eine direkte Gegenüberstellung soll sensibilisieren und aufwecken: Individuelle Wärmepumpe versus kommunales Wärmenetz.

Verglichen werden nur zwei Zahlen, die Kosten und der Stromverbrauch, hochgerechnet auf ganz Deutschland unter der hypothetischen Annahme, dass die gesamte Wärmeversorgung (Öffentlichkeit, Gewerbe, Wohnung) mit nur einer dieser Techniken erfolgt. Vergleichbarkeit entsteht durch die parallele Anwendung gleicher statistischer Eingangsgrößen:

- Gesetzter mittlerer Wärmeverbrauch der beheizten Gebäude nach ihrer energetischen Sanierung: 80 kWh/m²/a
- mittlere Wohnfläche: 46,5 m²/Kopf
- Anteil der Nichtwohngebäude am Wärmeverbrauch: 37%

Weitere Basisdaten entstammen

1. hauptsächlich vom Fraunhofer ISE und von Herstellern durchgeführten Feldversuchen an etwa 200 Wärmepumpenanlagen,
2. der unter Heliogaia erstellten Abschätzung zu vier Modellszenarien für 100% solare kommunale Wärmenetze mit Saisonspeicher.

Ergebnisse:

| | Kosten in €/Monat/Kopf | Stromverbrauch in TWh/a |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| Wärmepumpenheizung | 82 | 139 |
| Heliogaia-Netz | 60 | 14 |

- Wärme aus Wärmepumpen ist mit durchschnittlich mindestens 82 €/Monat/Kopf deutlich teurer als die aus einem Heliogaia-Netz mit letztlich 60 €/Monat/Kopf.
- Heliogaia braucht jährlich 14 Terawattstunden Elektroenergie zum Betrieb seiner Umwälzpumpen.
Wärmepumpen benötigen 139 TWh Strom,
 - unter der Voraussetzung einer Halbierung des Gebäudewärmeverbrauchs (von aktuell durchschnittlich ca. 160 auf 80 kWh/m²/a) und
 - unter Hinzunahme einer noch nicht vorhandenen Speicher- und Ausgleichstechnik für Jahreszeiten und Flauten.

Die Wärmepumpenlösung braucht damit mehr Strom als den vollen Jahresertrag aller aktuell vorhandenen deutschen Windkraftwerke, Stand 2022 (123 TWh/a), konzentriert im Winter.

Der ermittelte Preis von 82 €/Monat/Kopf für die Wärmepumpenlösung ist dabei keineswegs eine sichere Größe. Er hängt einerseits stark vom Stromtarif ab und andererseits davon, auf welche Nutzerzahl sich die jeweilige Investition verteilt.

Unserer Rechnung liegen günstigste Annahmen zugrunde, wodurch der Monatspreis leicht auch auf das Doppelte der Vergleichszahl (60 €/Monat/Kopf) steigen kann oder mehr. Solche Auswirkungen

lassen sich durch Parameteränderungen in der zugrundeliegenden Rechen-Tabelle [Kosten und Strombedarf der Wärmepumpe](#) (Formate ods oder xlsx) leicht feststellen.

Erhöht man z.B. den aus der Quelle übernommenen Stromtarif von 0,2753 €/kWh auf die auch zwischenzeitlich überschrittenen 0,40 €/kWh, so ergibt sich bereits ein Preis von 101 €/Monat/Kopf für die Versorgung durch Wärmepumpen.

Verwendet man für die Verteilung der Investitionskosten den Deutschlanddurchschnitt von 1,94 Bewohnern pro Haushalt, anstelle der aus den Feldversuchen gewonnenen 3,69 Personen (Tabelle, Zelle B20, Personen pro WP-Anlage), so ergeben sich mit dem neuen Stromtarif zusammen bereits 138 €/Monat/Kopf. Das ist nicht abwegig, wenn man bedenkt, dass 44% der Wohnflächen in Gebäuden mit nur einem Haushalt liegen.

Hohe Jahresarbeitszahlen zwischen 3 und 4 lassen sich in den Feldversuchen nur mit geringsten Heizkreis-Vorlauftemperaturen von 32...33 Grad erreichen, weshalb Flächenheizungen notwendig sind. Diese Investitionen wurden auf keiner der beiden Seiten in Rechnungen einbezogen, ebensowenig energetische Sanierungskosten, Fördergelder oder Zinsen für Kredite.

Eine [einfacher zu lesende Rechnung](#), die auf vergleichbaren Grunddaten, aber aktuellen Angaben des Stromlieferanten basiert, stammt aus März 2024 und liefert für die Wärmepumpenlösung:

| Kosten in €/Monat/Kopf | Stromverbrauch in TWh/a |
|---------------------------|----------------------------|
| 109 | 148 |

So wird deutlich, dass wir uns mit Wärmepumpen wieder auf extrem unsicheres Gelände begeben: Starke Abhängigkeit von Stromtarifen und von Energielieferanten überhaupt.

Nach dem Motto "ein Problem lösen, ein anderes schaffen" werden Wärmepumpen noch immer gefördert, trotz weiterer bekannter, damit verbundener Probleme:

- Gefährdung der Klimaziele durch rasante Anhäufung von Kältemitteln mit im Vergleich zu CO2 teils mehrtausendfachem Treibhauspotential [\[40\]](#) [\[78\]](#) *),
- Durchplastung und mögliche weitere Kontamination der Böden durch kommunal flächendeckenden Einbau von solesführenden Erdkollektoren bzw.
- Gefährdung des Trinkwassers durch unzählige Tiefenbohrungen und damit mögliche Durchmischungen der Grundwasserhorizonte sowie
- großflächige thermische Störungen des Bodenlebens,
- die Notwendigkeit zur Herstellung riesiger, aufwendig und teils ökologisch fragwürdig erzeugter Elektro-Speicherkapazitäten, verbunden mit hohem Wirkungsgradverlust,
- Beunruhigung der Wohnumgebung durch Verdichtung der Geräuschkulisse.

Jede installierte Wärmepumpe suggeriert damit fälschlich eine punktuell gelungene klimaneutrale Wärmeversorgung und verschlingt obendrein massenhaft Strom und Finanzmittel, andernorts dringend benötigt.

Weit effektiver wäre die gemeinde-interne 100% solare Wärmenetz-Lösung, z.B. auf genossenschaftlicher Basis. Sie widerspricht zwar unserem Hang zur Individualisierung, ist aber für die Wärmeerzeugung bei Massenanwendungen unschlagbar: Ökologisch weniger problematisch, technisch überschaubar, nicht teurer als bisherige Heizanlagen, mit höchstem Wirkungsgrad und ohne Elektro- oder Gasspeicher. Sie wird in der hier vorgelegten Abschätzung (Energiewende-Plan) favorisiert. Eine beliebig lange Dunkelflaute ohne Wind und Sonne ist dann kein Thema mehr für die sichere Raumwärmeversorgung.

Eine physikalisch- energetische Bewertung der Wärmepumpe steht unter [FAQ](#) , Frage 22

Wärmepumpentechnik eignet sich

- als Nischenlösung bei sehr geringer Verbraucherdichte (unter 4000 Siedler auf 150 km²) und
- als Übergangslösung in Heliogaia-Heizstationen zur Versorgung des noch unsanierten Gebäudebestandes über die dritte Leitung.

Wird ihr Einsatz nicht zeitnahe auf diese Fälle beschränkt, gefährden wir das Gelingen der Energiewende. Wir finanzieren mit steuergestütztem Fördergeld unsere eigene Verarmung und einen über das Notwendige hinauslaufenden aufgeblähten Stromnetz- und Windausbau, schlimmstenfalls wegen des horrenden Stromverbrauchs eine Wiederkehr der Atomenergie.

**) „Entweichen z. B. 2 kg des Kältemittels FKW R404A, so entwickelt diese Menge an Kältemittel das gleiche Treibhauspotenzial wie 6,5 Tonnen Kohlendioxid, die beispielsweise bei der Verbrennung von 32.500 kWh Erdgas anfallen. Dies entspricht in etwa der Energiemenge, die man 3 Jahre zum Beheizen eines normalen Neubaus einsetzen würde.“ [<https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/technik/kaeltemittel>]*

Stabile FKW sind im Unterschied zu Kohlendioxid kein natürlicher Bestandteil der Luft und machen bisher auch nur einen verschwindenden Anteil der Klimabelastung aus. Sie sollten in den nächsten Jahren nicht mit bester Absicht noch weiter durch massenhafte Installation von Wärmepumpen großräumig in Stellung gebracht werden, mit dem heute leider nicht mehr geringem Risiko der Freisetzung durch Naturkatastrophen, Terror, Krieg oder anderes menschliches Versagen. Allen sind die Bilder aus der Ukraine, den Erdbebengebieten oder dem Ahrtal bekannt.

Es gibt eine verwirrende Anzahl ausgesprochen stabiler FKW mit sehr hohem Treibhauspotential, [\[142\]](#) [\[31\]](#), die dauerhaft und unwiederbringlich in den Weiten der Atmosphäre untertauchen könnten, vielleicht mit zusätzlichen, noch unbekanntem Nebenwirkungen. Wer kann das angesichts der Technikgeschichte ernsthaft verantworten wollen.

Nicht so beständige Alternativen sind dann wieder explosiv oder gesundheitsgefährdend, andere verteuern die Geräte.

Es ist pro Wärmepumpe mit 1 bis 6 kg Kältemittel zu rechnen.

Wegen größerer Preisunterschiede sind einige davon auch beliebte Schmuggelware zur Umgehung

von Klimaschutz-Vorschriften, dem hier durch die "Initiative Ehrenwort" unter Fachfirmen entgegnet werden soll.

5.4. Erntefaktor, EROI, energy return on investment

Das Ergebnis vorab: In der ersten Abschreibungszeit von 25 Jahren ist die geerntete Energie 7 mal größer als die eingesetzte, später ist sie durch Nutzung von Recyclingmaterial dauerhaft 25 mal größer.

Für jede energieliefernde Einrichtung ist die Frage nach dem Erntefaktor zu beantworten. Wie gestaltet sich das Verhältnis von Energie-Output zu Energie-Input unter Beachtung des gesamten Umfeldes?

So wurde auch für Heliogaia eine erste Abschätzung vorgenommen.

Verlässliche Zahlen zu finden ist nicht einfach. Verschiedene Quellen ergaben durch Auswertung verschiedener Verfahren und die Wahl unterschiedlicher Fertigungsstufen oft größere Differenzen beim Energieinhalt von Konstruktionsmaterial, so dass hier noch nicht das letzte Wort gesprochen werden kann und genauere Untersuchungen folgen sollten. Die Größenordnung wird aber deutlich.

Bei der Beschaffung einer bestimmten Zahl für den Energieinhalt eines Materials oder Halbzeuges wurde zwischen vertrauenswürdigen Quellen gemittelt und schließlich stark gerundet. Daraus entstand die Tabelle [Energieinhalt](#) von Material und Halbzeug.

Aus eigenen Abschätzungen zum spezifischen Materialverbrauch, aus den Mengenangaben der Szenario-Tabellen und aus Aufschlägen von viermal 10% (jeweils für Bau, Wartung, Rückbau und Recycling) ergab sich zum Schluss, dass die Heliogaia-Anlage für eine Hunderttausender-Stadt wie Cottbus in drei bis vier Jahren die für ihre Errichtung benötigte Energie wieder eingespielt hat. Gegenüber 25 Jahren Abschreibungszeit ist das ein befriedigendes Ergebnis. Enthalten sind alle Anlagenteile einschließlich der zweiten Vorlaufleitung, mit Ausnahme des vorübergehend ergänzenden Heizkraftwerkes und der Beiträge zur Herstellung von Baumaschinen und Produktionsanlagen. Damit könnten noch weitere Systeme errichtet oder andere Aufgaben bewältigt werden. Einige Teile des Heizsystems sind auch wesentlich über die Abschreibungszeit hinaus beständig. Das wurde in der Rechnung ebenfalls nicht berücksichtigt

Beim Austausch der Anlagenteile nach ihrer Ablaufzeit kann fast vollständig auf Recyclingmaterial zugegriffen werden, wodurch sich der neuerliche Energieeinsatz auf etwa ein Viertel beschränkt.

Die Rücklaufzeit der Energie liegt dann unter einem Jahr.

Bei geschickter Anordnung der Vorgänge lässt sich ein Teil der hineingesteckten Prozessenergie auch sekundär zum Heizen nutzen.

Weiter ergibt sich hier die Frage nach Dekarbonisierung industrieller Prozesse.

Tabellen im html-Format:

[Energieinhalt mit Quellenangabe.](#)

[Energieinhalt, gerundet.](#)

[Erntefaktor-Kalkulationstabelle.](#)

Diese Übersichten sind unter [Tabellen](#) auch in weiteren Formaten erhältlich.

5.5. Standardhaus, Energiebedarfsrechnung für Gebäude

[zum Rechenschema "Standardhaus"](#)

Statistische Betrachtungen und Pauschalisierungen führen auf den Begriff Standardhaus, welcher nicht etwa bedeutet, dass künftig alle Häuser gleich aussehen sollen. Er kann aber helfen, allgemeine Fragen zu klären, z.B. zur Machbarkeit von Heliogaia-Heizsystemen.

Wie funktioniert das Heizen mit niedrigen Vorlauftemperaturen und wie aufwendig ist es?

Welche Dämmung ist nötig, um die geforderte Minderung an Heizleistung und Vorlauftemperatur zu erreichen?

Welche Dachflächen, Fassadenflächen, Wohnflächen ... stehen pro Kopf und überhaupt zur Verfügung?

Wie müssen Baukörper unter Wärme-Aspekten zueinander stehen und wie müssen sie beschaffen sein?

Die Geometrie eines Bauwerkes ist gegenwärtig verstärkt auch unter energetischen Gesichtspunkten zu betrachten. Kompakte, organische Bauformen sind jenen vorzuziehen, die äußerlich eher an Kühlrippen erinnern. Die runde, abgeckte Form toppt Spitzchen und Erker.

Um Fragen der letztendlichen Bauform geht es hier aber weniger. Sie bleiben der Architektur vorbehalten.

Zwei grundsätzlich gegenläufige Tendenzen sind

- einerseits die energetisch sinnvolle Zusammenlegung von Baukörpern und
- andererseits der Drang zur Individualisierung und Vereinzelung.

Jede Zusammenlegung wendet Außenflächen nach innen. Transmissionsverluste entfallen.

Diese Tendenz ist im letzten Jahrhundert bis zum Exzess vorangetrieben worden. Menschen leben dicht gedrängt in riesigen Wohneinheiten, in Proletenregalen, wie es der Volkswitz treffend formuliert hat.

Viele Familien möchten dagegen das eigene Häuschen, um dort eigenverantwortlich leben und gestalten zu können.

Ist das in Zukunft überhaupt noch möglich und energetisch verantwortbar?

Die Rechnung am pauschalisierten Modell "[standardhaus002.html](#)" hat gezeigt, dass selbst die extremste Form der Vereinzelung mit einem Aufwand von ca. 25.000 €/Kopf den in Heliogaia angesetzten Wert von 80 kWh/a/m² erreichen kann. Für kompaktere Bauformen verringert sich der Aufwand bis etwa zur Hälfte.

Die kleinste sinnvoll denkbare Zelle ist der 2-Personen-Haushalt auf bundesdurchschnittlicher Wohnfläche von 46,7 m²/Kopf. (Die durchschnittliche Personenzahl pro Haushalt in Deutschland beträgt 1,94.)

Hier hätte das **ingeschossige nicht unterkellerte Standardhaus mit Flachdach** eine Bruttofläche von

$2 \times 46,7 \times 1,15 \text{ m}^2 = 107 \text{ m}^2$. Die Geschosshöhe von 2,6 m führt zu einer Bauwerkshöhe von etwas

über 3 m. Um den angestrebten Wert von 80 kWh/a/m² zu erreichen, bedarf es guter Fenster mit 3-Scheiben-Verglasung ($U=0,65 \text{ W/K/m}^2$) und bei vorhandener 36-iger Ziegelwand einer zusätzlichen Dämmung von 6 cm an Außenmauer und Bodenplatte sowie 20 cm unter Dach mit handelsüblichem, nachhaltigem Dämmstoff. Im Neubau ist die Zahl noch einfacher zu erreichen (z.B. durch Holz, Schaumbeton,...).

Ein solches "Häuschen" ließe sich durch jede Flächenheizung (Fußboden, Wand, Decke), mit einer Auslegungsleistung von 40 W/m² auf der vorhandenen Wohnfläche bei einem Jahresaufwand von 8600 kWh/a ausreichend beheizen.

Auslegungsleistung: für extreme Kälteperioden maximal nötige Leistung, Verdopplung der Durchschnittsleistung.

Die Warmwasserbereitung mit 1400 kWh/a und der Elektroenergieverbrauch könnten einen Teil bereits abdecken, werden hier jedoch nicht abgezogen.

40 W/m² lassen sich z.B. mit einer Fußbodenheizung bei 35°C mittlerer Wassertemperatur und 20°C Zimmertemperatur gut erreichen. Der Verlegeabstand der Heizleitungen wäre 250mm, auch unter Teppich [90]. Analoges gilt für Wand- oder Deckenheizungen.

Kein Neubau sollte mehr errichtet werden, ohne eine Art von Flächenheizung für die komplette Niedertemperaturbeheizung wenigstens vorzusehen. Später nur sehr aufwendig zu realisierende Nachrüstungen sind dadurch zu vermeiden. Auch andere Heizungsarten arbeiten mit Flächenheizungen am effektivsten.

Der nötige Luftaustausch von 30 m³/h/Person verursacht 16% der Heizaufwendungen. Er bedarf keiner technischen Besonderheiten, sofern die Bauhüllen/Fenster entsprechend ausgelegt sind. Nötigenfalls kann man kurz und situationsgerecht per Hand lüften.

Das Standardhaus (in der Tabelle unter 1) stellt pro Person eine Dachfläche von 53,5 m² zur Verfügung, worauf real 15.000 kWh/a/Kopf solarthermisch eingesammelt werden könnten. Vergleicht man das mit dem Bedarf für Heizung und Warmwasser (4300+700) kWh/a/Kopf, so sieht man reichlich überdimensioniertes Potential. Große Kollektorflächen auf freiem Feld wären nicht nötig.

Aufgrund der jeweils gegebenen Bebauungssituation wird in anderen Kapiteln dennoch oft ein externes Kollektorfeld einbezogen und der Platz dafür hypothetisch beansprucht. Es besteht aber viel Gestaltungsspielraum.

Drei Varianten der Zusammenlegung von Standardhäusern als Reihen- und/oder mehrgeschossige Häuser in Tabelle "[standardhaus002.html](#)" zeigen, wie der Aufwand an Dämmung und Hüllfläche zurück geht und wie sich jeweils Heizenergiebedarf und Dachflächen/Solarenergieangebot ändern. Fassadenflächen wurden hier für thermische Kollektoren nicht in Betracht gezogen.

Ergebnis der Abschätzung:

Die positive Grundaussage der Machbarkeit eines Heizsystems nach Heliogaia bleibt überall erhalten, selbst wenn nicht Röhrenkollektoren mit 529 kWh/a/m² sondern teils auch Flachkollektoren mit pauschal 300 kWh/a/m² eingesetzt würden.

Eine etwas modifizierte Kalkulation ergab, dass sogar nahezu unsanierte Gebäude der Größe "Standardhaus" mit einem Wärmebedarf bis 180 kWh/m²/a durch die 40°C- Vorlaufleitung des Heliogaia-Systems nach Einbau einer Flächenheizung komplett versorgt werden können. (Tabelle "Durchschnittshaus")

Bauwerke bis zu dieser Verbrauchskennzahl können also ohne weitere Vorlaufleitung im Durchschnitt der 80 kWh/m²/a enthalten sein.

5.6. Energiewende- Plan

Zur Frage, wer eigentlich die Energiewende plant und was alles dazugehört, fanden wir bis zur Erstellung dieser Seite (2019/20) kaum eine übersichtliche, richtig befriedigende Antwort [124], [59]. Eine feste Planung ist auch problematisch, weil sich alles im Prozess befindet und nur durch das Zusammenwirken sehr vieler Menschen lösen lässt. In kurzen Abständen ergeben sich neue Ideen, Initiativen und Techniken.

Energiesystemmodelle/Szenarien wurden vom Fraunhofer Institut (ISE) unter Annahme verschiedener gesellschaftlicher Prämissen erstellt und laufend aktualisiert [60], bis hin zu stundengenauen Energiecharts in die Zukunft hinein [130].

Ein wichtiger Vorreiter der Energiewende ist das Öko-Institut Freiburg mit seinem "Das Energiewende-Szenario 2020" von 1996 [139].

Bei Agora-Energiewende [145] forscht man seit 2012 nach dem richtigen Weg.

Weiteres, auch Umfassenderes in zupackend jugendlicher bzw. bürgernaher Frische:

- Ihr habt keinen Plan, darum machen wir einen! (2019) von Claudia Langer u.a., mit Vorwort von Harald Lesch
- Handbuch Klimaschutz (2020) von Karl-Martin Hentschel u.a.; Veröffentlicht durch die Vereine Mehr Demokratie und BürgerBegehren Klimaschutz

Liest man Programmschriften, blättert im Internet, kommt man zu dem Glauben, Energiewende- das sei Elektroauto, Photovoltaik, Windrad, Wärmepumpe, Energiemais und Brennwertkessel. Wichtigste Aspekte wie Exergiebetrauchtungen fehlen weitgehend. **Ein grober Fehler ist aktuell die wieder einseitig technokratische Orientierung auf Elektrizität und Wärmepumpe bei Heizsystemen. Aufwendig erzeugter, teils teuer zwischengespeicherter Strom soll nach gängigen Szenarien massenweise mit material- und wartungsintensiver HighTech in einfachen Wärmeanwendungen versenkt werden**, woraus eine Menge neuer Probleme erwachsen (siehe [Kapitel 5.3](#)).

Nutzen wir stattdessen einfache Solarthermie zur Beheizung unserer Städte in einem ihr wirklich angemessenem Umfang, steht die hochwertige Elektroenergie für Verkehr und Dekarbonisierung

der Prozesse zur Verfügung. Auf Gas-Importe und einen übermäßigen Windausbau kann verzichtet werden. Unser riesiger **Raumwärmebedarf** lässt sich mit höchstmöglichem Wirkungsgrad **komplett und direkt aus Sonnenstrahlung** decken. Das jahreszeitliche Speicherproblem gilt spätestens seit der Veröffentlichung von Heliogaia auch als ökonomisch gelöst: Direkte Sonnenwärme aus Heliogaia-Systemen wird zuletzt preiswerter sein als konventionelle Raumbeheizung, Speicherkosten für Wärme bleiben in allen gerechneten Szenarien unter 0,005 € pro Kilowattstunde.

Warum Solarthermie in Kombination mit Saisonspeichern für Heizungen gegenüber Strom und Wärmepumpe so klar im Vorteil ist, das lehrt auch ein Blick auf die Rangliste für Wirkungsgrade (siehe unten) oder in [FAQ](#), Punkte 22, 20, 7.

Um nicht spätere Entwicklungen zu blockieren, muss geplant werden, an welchen Orten welche Teile des Dach- und Fassadenflächenpotentials für Photovoltaik verwendet werden dürfen und welche wir im Hinblick auf die Wärmewende besser für thermische Kollektoren vorbehalten sollten. Dabei sind die technischen Unterschiede bei Erzeugungseffektivität und Transportfähigkeit zu beachten. Wärme muss bei örtlichem Bedarf immer den Vorrang bekommen. Sie wird mehr gebraucht, hat die dreifache Effektivität bei ihrer direkten Erzeugung, aber keinen so großen Verwertungsradius wie Strom, der sich darum auch leicht an anderer Stelle gewinnen lässt. Angepasste PVT-Kollektoren können sogar beides. Sie liefern bei gleichzeitig verwertbarer Wärmeabgabe gegebenenfalls sogar mehr Strom als einfache PV-Module.

Es gibt weitere wichtige Gründe für detailliertere Planung und Zielsetzung:

Wir können uns aus Abhängigkeiten befreien, politische Erpressbarkeit abbauen, denn ungefähr 70% der aktuell verbrauchten Energie müssen wir noch importieren. Das eigene regenerative Potential ist aber so riesig groß, um damit sogar in die Rolle des Exporteurs wechseln zu können. Das erscheint auch notwendig: Bürgerkriegsähnliche innenpolitische Auseinandersetzungen im Vorfeld und letztlich Fukushima haben zur Überwindung der Atomenergie in Deutschland geführt. Bei fast durchgängiger Westwindlage bleibt aber die Bedrohung aus den Kernkraftwerken der Nachbarstaaten bestehen, welche nun sogar noch ausgebaut werden sollen, zynischerweise aus Klimaschutzgründen. Wer zahlt unsere Versicherung gegen Schäden von dort? Werden wir zum Exporteur sauberer Energie, können wir andere beim Austausch dieser bedrückenden Relikte unterstützen. Potentiale und Knowhow sind vorhanden.

Strom- und Gaserzeugung in Wüsten ist keine gute Idee, wenn neue Abhängigkeiten entstehen, wenn die Anlagen mit Sand überweht oder mit Bomben beworfen werden könnten.

Hier soll mit wenig Aufwand und zum selber Nachrechnen ein stark pauschalisierter Überblick über die Machbarkeit einer konsequenten und nachhaltigen Energiewende in Deutschland versucht werden.

Dieser ersetzt aber nicht einen Plan. Betrachtungen zu Finanzierung und Zeitläufen fehlen. Das Ergebnis ist auf der letzten Seite zusammengefasst.

Zum Merken

1 TWh= 10^9 kWh= 3,6 PJ= $3,6 \cdot 10^{15}$ J;

1 Terawattstunde= 1 Milliarde Kilowattstunden= 3,6 Petajoule= 3.600.000.000.000.000 Joule;

1 TWh sind etwa 12 kWh pro BRD-Bürger.

10 TWh/a= 1,14 GW (ungefähre elektrische Leistung eines Atomreaktors im Vollastbetrieb)

Annahmen und Voraussetzungen

- Die Energiewende wird auf eigenem Territorium vollzogen.
Am Ende sind keine Importe von Energie oder Energierohstoffen nötig.
- Heliogaia wird realisiert und ersetzt 850 TWh Endenergie (zusammen mit der hier vorgesehenen energetischen Gebäudesanierung auf durchschnittlich 80 kWh/m²/a).
- Wasserkraft und Biomasse sind ausgereizt.
- Auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen erhält der ökologische Aspekt den Vorrang vor dem energetischen.
Parallel zur Energiewende passiert eine Agrarwende.
Falls es dadurch zu Potentialeinbußen kommt, gibt es Alternativen.

Der aktuelle Jahres-Energieverbrauch (vor Corona), gerundet

- Endenergie: 2500 TWh
- Primärenergie: 3600 TWh

Wir rechnen ausschließlich mit Endenergie. Das Wachsen der Erneuerbaren wird die Unterscheidung schwinden lassen.

Hauptanteile des verfügbaren regenerativen Potentials

- Solarstrahlung: Jährlich fast 400.000 TWh auf die Fläche Deutschlands (357.582 km²).
*1086 kWh/m²/a Globalstrahlung [13] ergeben im Jahresmittel durchgängig 124 Watt/m².
Davon sind in der Praxis bis zu 50% mit Kollektoren umsetzbar, je nach Technik und Anwendung.
Auf den 2300 km² in Deutschland dafür nutzbaren Dach- und Fassadenflächen [107] könnten etwa 400 TWh/a an Strom bzw. alternativ etwa 1200 TWh/a an Wärme geerntet werden, in Solarfarmen auf freiem Feld aber praktisch unbegrenzte Mengen.
Eine neuere Ermittlung des Gebäudeflächenpotentials von 2021 kommt auf 12000 km² Fassaden- und 6000 km² Dachfläche [109]. Diese Zahlen sollten aber so nach eigenen Überschlügen nur mit Vorsicht verwendet werden.*
- Windenergiepotential an Land beträgt nach [131] auf den dort ausgewählten 13,8% der Fläche zwischen 2400 und 2900 TWh/a. Es gibt aber laut Quelle bei der Realisierung weitere zahlreiche Nutzungseinschränkungen.
- Windenergie auf dem Meer ist praktisch unbegrenzt, hat aber durch national-territoriale und gesetzliche Einschränkungen momentan nur ein Potential von maximal 240 TWh/a (60 GW*4000 Vollaststunden) [77].

Bisher werden von diesen Angeboten nur vernachlässigbar kleine Teile genutzt. In allen Punkten handelt es sich um Jahrespotentiale, wobei die Verfügbarkeit im Moment des Bedarfes nicht garantiert ist. Folglich besteht ein grundlegendes Ausgleichs- und Speicherproblem.

Wirkungsgrade und Besonderheiten der Wandler für regenerative Energien

Welcher Teil der auf einer verfügbaren Fläche eintreffenden Sonnenstrahlung lässt sich in der Praxis durch die verschiedenen Möglichkeiten einfangen und energetisch verwenden?

Rangliste:

1. Solarthermie: ...**20 bis 55%**, je nach Gerät und Temperatur auch deutlich mehr[\[119\]](#)[\[58\]](#)
2. Photovoltaik: ...**12 bis 22%**
3. Windkraftwerke: ...**5%**, errechnet nach [\[131\]](#)
4. Photosynthese: ...**1 bis 2%**
5. Landwirtschaft: **0,13%** bei Strom-, **0,38%** bei Wärmenutzung, abgeschätzt mit [\[101\]](#)
6. Forstwirtschaft: **0,08%** bei Strom-, **0,23%** bei Wärmenutzung, abgeschätzt aus [\[Tabelle\]](#)

Bei **Windkraftwerken** besteht die Besonderheit, dass einerseits ein **Vielfaches** der beernteten Fläche landschaftsästhetisch verändert wird, andererseits nur ein winziger **Bruchteil** von 2...3% wirklich bebaut werden muss (Fundament, Kranplatz und Zuwegung; etwa 5000 m² pro Anlage). Will man so den Energiegewinn auf die beeinflusste Fläche beziehen, ergibt sich je nach Aspekt (landschaftsästhetisch, energetisch, landwirtschaftlich) ein völlig anderes Bild.

Da man die Türme wegen der gegenseitigen Windverschattung nicht beliebig dicht aufstellen kann, erhalten wir unter energetischem Aspekt obige 5% (als Anteil der geernteten Energiemenge, bezogen auf die im gesamten Windpark eingestrahelte Energie).

Wind entsteht letztlich aus flächenbezogener Sonnenstrahlung, jedoch überregional. Damit könnte das von Windenergieanlagen vereinnahmte Gebiet gleichzeitig noch durch Solarthermie-, PV- oder PVT-Kollektoren belegt und so dreifach oder mit Landwirtschaft sogar vierfach genutzt werden.

Eine ähnliche Argumentation ergibt sich für **Wasserkraft**, die hier aber wegen ihrer geringen Bedeutung für Deutschland nicht weiter betrachtet wird.

Über die Machbarkeit der Energiewende

Nehmen wir den Endenergieverbrauch vor Corona mit 2500 TWh und ignorieren zugunsten der Einprägsamkeit kleinere Überschneidungen, dann gehen etwa ein Drittel in den Niedrig-Temperatur-Wärmeverbrauch, ein Sechstel in den industriellen Prozess-Wärmeverbrauch bei über 80°C und jeweils rund ein Viertel in Strom und Verkehr:

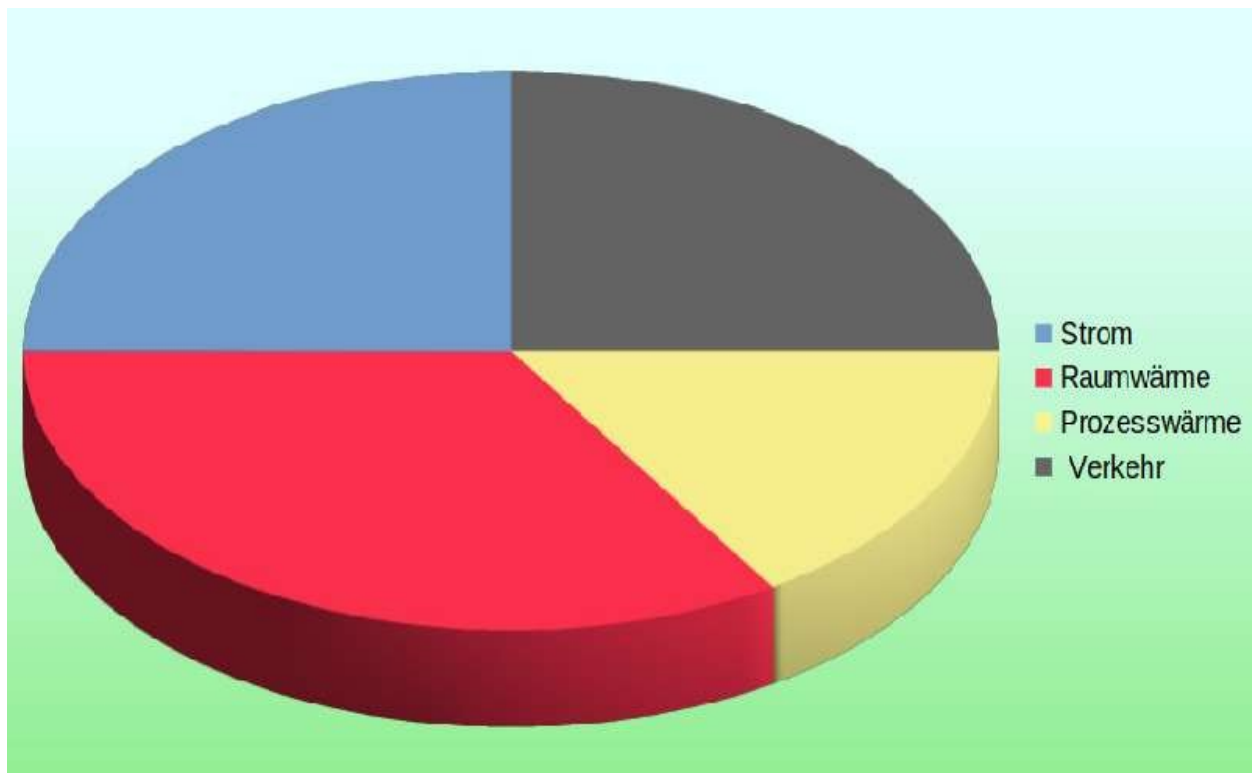


Bild 1: Endenergieverbrauch in Deutschland: gerundet 2500 TWh
(genauere Zahlen findet man in [\[151\]](#) zu Jahr 2019; [\[152\]](#) zu Jahr 2022)

- Der Niedrig-Temperatur-Wärmeverbrauch muss mit 850 TWh/a durch Heliogaia ausgeglichen werden,
- 200 TWh/a der Stromerzeugung stammen 2020 bereits aus Wind, Wasser und Photovoltaik, [Fraunhofer ISE](#).

Ein Mehrbedarf für die Umstellung selbst wird nicht angesetzt, weil die bestehenden Industrien und Gewerke teilweise nur ihre Arbeitsrichtung ändern, wodurch keine signifikante Erhöhung der energetischen Aufwendungen zu erwarten ist.

So müssen für eine vollständige Energiewende noch ca. 1450 TWh/a eingespart, zusammengeschoben oder durch nachhaltige Quellen ersetzt werden.

Für eine kluge Einteilung dieser Menge sind vor allem die Wirtschaft und wir als Verbraucher verantwortlich.

Die Vermeidung von Verschwendung als primärer Maßnahmenkomplex ist bekannt und wurde hinlänglich oft vorgetragen.

Unvollständige Liste:

- Lastverkehr verlegen, von der Straße auf Schienen und Wasserwege.
- Schiene konsequent ausbauen und elektrifizieren, Rückführung der Energie aus Bremsungen und Bergab-Fahrten ins Netz.
- Lukrative, möglichst kostenfreie Personenbeförderung per Bahn und ÖPNV, dafür Erhöhung der Kraftstoffsteuer.
- Streichung der KFZ-Steuer, damit Kostenreduktion für ruhenden Verkehr.

- Vermeiden der Kurzstreckenflüge.
- Zusammenrücken von Wohn- und Arbeitsort zur Vermeidung von Berufsverkehr (Wahl von Wohn- und Arbeitsstelle, Homeoffice, Städteplanung).
- Aufbau eines sicheren, vom sonstigen Verkehr weitgehend unabhängigen Radverkehrsnetzes.
- Begrenzung des rasant wachsenden Verbrauchs der Server (z.B. durch Einsatz wesentlich effizienterer Speicher).
- Begrenzung des Standby-Verbrauchs (z.B. kein Standby mehr über 10 mW ab 2025).
- Wärmeanwendungen von Strom im Niedrigtemperaturssektor konsequent solarthermisch ersetzen.
- Alternativen zur elektrischen Raumkühlung suchen.
- Kälteanwendungen auf Bedarf, Dämmung und Aufstellungsort prüfen, mit Wärmeanwendungen kombinieren.
- Kraft-Wärme-Kopplung: Wärmeerzeugung (insbesondere Prozesswärme) mit Stromerzeugung koppeln, bei hohem Strom- Wirkungsgrad.
- Wärmekraftwerke abschalten. In Restlaufzeit vollständige Verwertung der Abwärme im Wärmenetz mit Saisonspeicher.
- Industrien/ Gewerbe zusammenrücken, bilden von vielstufigen Wärmenutzungskaskaden bei abfallender Temperatur mit Raumwärme ganz am Ende, im Saisonspeicher zwischengelagert.
(einmal phantasiert z.B. Stahlhütte - Zementbrenner - Keramik/Ziegelbrennofen - ... - Bäckerei - Brauerei - Raumwärme)
- Recyclingmaterial sauberer erfassen und einsetzen, man braucht im Schnitt nur ein Viertel des Energieeinsatzes gegenüber der Verwendung natürlicher Rohstoffe.
- Mehr mit Holz bauen und anderen ortstypischen nachhaltigen Baustoffen, weniger mit Beton und Stahl.

Diese Liste betrifft vornehmlich den Aufwand für die Bereiche Verkehr, Strom und Hochtemperatur- Prozesswärme (zusammen rund 1700 TWh/a), die wegen zunehmender Elektrifizierung künftig verschmelzen werden.

Lassen sich davon 40% vermeiden (inklusive der Effizienzsteigerungen durch den Wechsel der Antriebsarten im Verkehr), müssen aus den oben errechneten 1450 TWh/a nur noch 770 TWh/a ersetzt werden ($1450 - 1700 \cdot 0,4 = 770$).

Etwa 100 TWh/a können jeweils

- aus dem [Holzzuwachs](#) der **Wälder** und
- durch konsequente Nutzung organischer Reststoffe und von Schnittgut aus der **Landwirtschaft** in Biogas-, Ethanol- und Pyrolyse-Anlagen,

genutzt werden.

Wald und Feld wurden im Zuge der bisherigen Energiewende bereits überstrapaziert. Große Teile der hiervon noch in Raumwärme eingebundenen Ressourcen setzt Heliogaia wieder frei. Hohe Exergie (Energie-Wertigkeit) und gute Speicherfähigkeit der Produkte lassen sie gut für thermisch intensive Industrieprozesse oder für Antriebe geeignet erscheinen. Eine ökologisch aufbauende

Gewinnung biologischer Rohstoffe und eine bodenverbessernde, kohlenstoffspeichernde Verwendung der Rückstände haben vor der Energienutzung Vorrang, z.B. zur Erzeugung von Kompost und Terra Preta; ebenso ein (zwischenzeitlich) höherer Verwendungszweck, z.B. Holzbau.

Das Wald- und Feldpotential von 2 mal 100 TWh/a kann hier voll angerechnet werden, weil es in der bisherigen Bilanz nicht vorkommt. Es verbleiben 570 TWh/a ($770-100-100=570$).

Zusammen mit den bereits realisierten 200 TWh an jährlicher regenerativer Stromerzeugung aus Wind, Wasser und Photovoltaik sind für eine komplette Energiewende insgesamt 770 TWh/a verfügbare Elektroenergie nötig ($570+200=770$).

Für eine teilweise notwendige Wandlung in andere Nutzungsformen (z.B. Gase), die nötige Speicherung und Umverteilung werden pauschal insgesamt 25% Verluste unterstellt, wodurch der Betrag für Elektroenergie nochmals auf 1027 Einheiten erhöht werden muss (75% von 1027 ergeben 770).

Wasserstoffspeicher verursachen 40 bis 50 % Verluste [127], Pumpspeicher 20%, Batteriespeicher 10 bis 20%, Netze 6%.

Weil die Wasserkraft mit ihren ausgebauten 18 TWh/a nicht wesentlich zum Zuwachs beitragen kann, verteilt sich jener auf Wind und Photovoltaik, was ein Wachstum der beiden Sektoren um den Faktor 5,6 bedeutet ($1027/(200-18)=5,6$).

Bei einer zur bisherigen Entwicklung proportionalen Zunahme müssen

- die Windbranche auf rund 750 TWh/a und
- die Solarbranche auf rund 300 TWh/a

ausgebaut werden.

Für die gesamte Inanspruchnahme von Flächen bedeutet das:

- Bei 25% Offshore-Anteil der Windkraftwerke würden zusammen mit den bereits vorhandenen Anlagen rund 4 bis 5 % der Fläche durch die Aufstellung beeinträchtigt, was aber nur einen geringen Einfluss auf die sonstige Nutzung hat. Maximal 0,1% werden wirklich bebaut. Geht man dabei jedoch nicht umsichtig und ausgesprochen „landschaftsökonomisch“ vor, wird eine unnötig großflächige Beunruhigung des Landschaftsbildes für viele Menschen unerträglich sein.
- Die für 300 TWh benötigten Photovoltaik-Kollektoren könnten bei Ernten von 150 kWh/m²/a (entspricht 14,2% Wirkungsgrad) bereits vollständig auf 2000 der 2300 km² geeigneten Dach- und Fassadenflächen untergebracht werden, z.B. auf 1000 km² als Hybridkollektoren mit zusätzlicher Wärmeabgabe und auf 1000 km² als normale PV-Module.
- Für Röhrenkollektoren blieben dann immer noch 300 km² Dach oder Fassade übrig. Entsprechend Endergebnis der Abschätzung unter Heliogaia ([Tabelle](#), Zeile Zusammenfassung) ist bei einem Anteil von knapp 50% Röhrenkollektoren eine Kollektorfläche von etwa 2000 km² für unsere komplette Wärmeversorgung nötig. Zieht man davon die im Beispiel bereits aufgeführten Dächer und Fassaden mit 1000+300 km² ab, bleiben noch 700 km² übrig, das sind mit Aufstellungsumgebung rund 2000 km² Kollektoren

auf freiem Feld, 0,6% der Gesamtfläche.

Andererseits: Für eine hypothetisch angenommene komplette Aufstellung aller PV- und Wärmekollektoren nur auf freiem Feld bräuchte man bei maximaler Anwendung von Hybridtechnik 3000 km², einschließlich der nötigen Aufstellungsumgebung rund 8000 km², also 2,3 % der Gesamtfläche.

Weil die Gebäude sicherlich, wenn auch wahrscheinlich nicht vollständig einbezogen werden, wird sich die Beanspruchung der offenen Flächen im Bereich zwischen 1 und 2% einstellen.

Diese Gebiete sind nicht verloren, denn sie eignen sich nebenher zur Regeneration überanspruchter Böden, zum Artenschutz [\[149\]](#) und wegen der Umzäunung zur wolfsicheren Freiland-Tierhaltung, [FAQ](#), Frage 15.

Zum Vergleich: Der Verkehr belegt 5% unserer Böden.

Neben der Einrichtung von Heliogaia wird also bei vernünftigem Umgang mit den Ressourcen eine Verfünffachung bis Versechsfachung des bisherigen Wind- und Photovoltaik-Ausbaues die komplette Energiewende ermöglichen.

Das vorhandene Potential ist ausreichend, mit Vorbehalt der zu errichtenden Verteilungs- und Speichertechnik.

Die Erweiterungen sollten unter Hinzunahme eines großen Teils an Offshore-Technik und Repowering [\[147\]](#) auch konsensfähig sein. Ansonsten wären weitere Sparpotentiale zu erschließen.

Ökonomischer Treibstoff für diesen Ausbau sind demokratisch und politisch justierte Fördermittel sowie eine wirksame Höhe der CO₂-Steuer.

Bei Kostenerwägungen müssen immer auch die noch nicht bezahlten Kosten des galoppierenden Klimawandels im Hintergrund stehen, welche parallel auflaufen und mit jeder weiteren Verzögerung exponentiell zunehmen. (siehe Kapitel [Klimawandel und die nicht einbezogenen Kosten](#))

Zusammengefasst werden die 2500 TWh/a Endenergie- Bedarf also folgendermaßen ersetzt:

- Bau von Heliogaia-Netzen, 450 TWh/a
- Energetische Sanierung des Gebäudebestandes, 400 TWh/a
- Vermeidung von Verschwendungen, 680 TWh/a
- Höher temperierte Industrie- Prozesswärme teilweise aus Holzzuwachs, 100 TWh/a
- Treibstoff, Biogas, Prozesswärme aus der Verwertung von organischen Resten und Schnittgut, 100 TWh/a

- Ausbau der regenerativen Elektroenergie nebst Netzen und Speichern von 200 auf ca. 1000 TWh/a

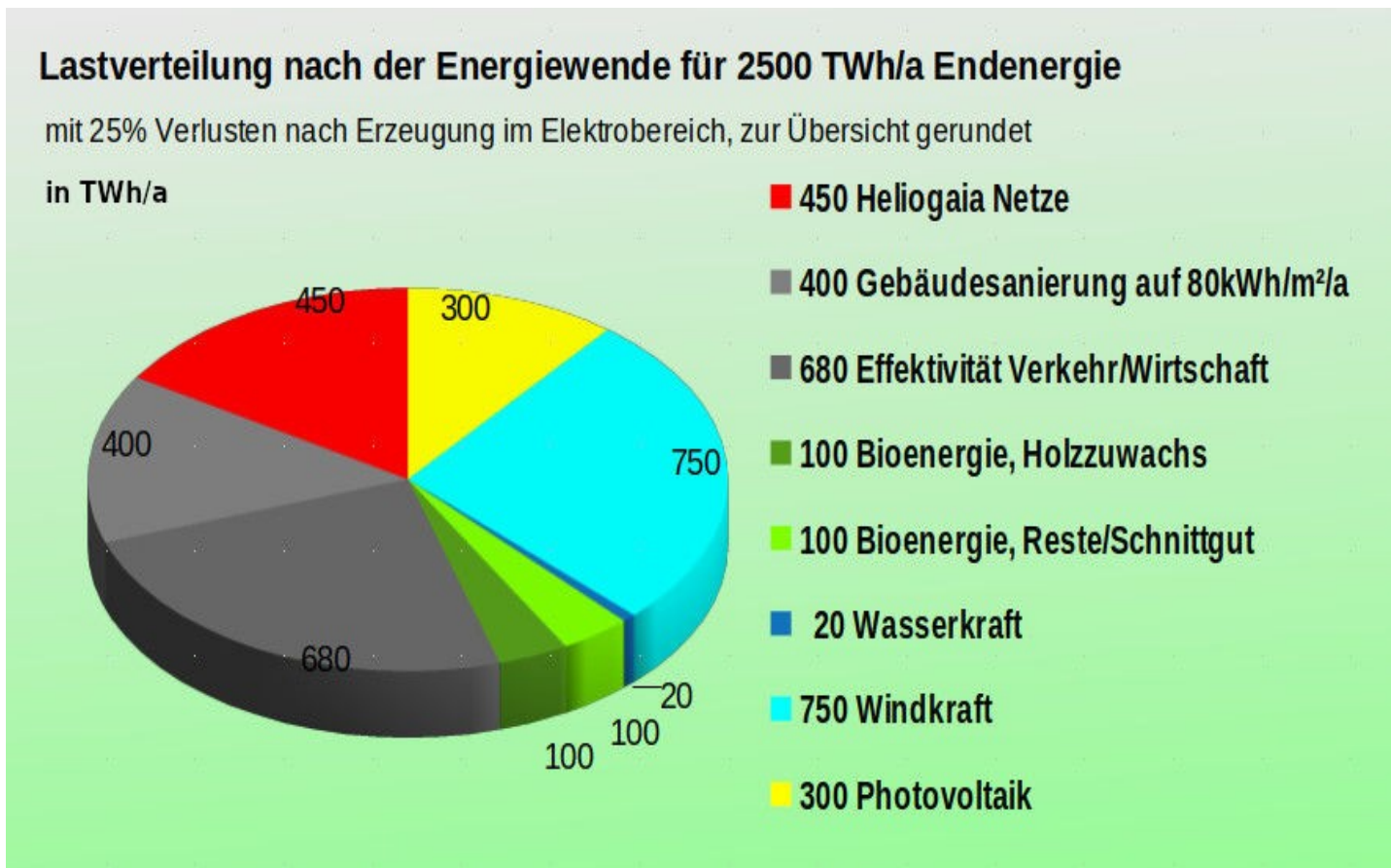


Bild 2: Verteilung der Energieträger nach der Energiewende Deutschlands in TWh/a

6. Anhang

6.1. Fragen und Antworten zu Klimaschutz, Heliogaia und Energiewende, FAQ

1. ▼ Was ist Heliogaia?

Heliogaia (sprich Heliogäa) ist ein klima- und kostenneutrales Heizkonzept mit möglichst geringem Eingriff in die Bausubstanz. Heliogaia-Heizsysteme sind fähig, mittels Sonne (helios) und Erde (gaia, gäa) ganze Städte oder Gemeindeverbände zu 100% mit Solarwärme zu versorgen. Heliogaia-Vollausbau ist bereits ein Drittel der gesamten Energiewende, ohne Mehrkosten im Vergleich zu herkömmlicher Technik. Raumwärme und Warmwasser für jedermann zu jeder Zeit, ohne Öl, Gas oder Holz, ohne Wärmepumpen & Windräder zu Heizzwecken, ohne Importe. Niemand braucht mehr eine Heizanlage, einen Keller voller wartungsintensiver Technik oder muss sich nach einer ersten, nur mäßig aufwendigen Anpassung weiter mit der energetischen Sanierung seines Hauses beschäftigen.

Benötigt werden im statistischen Mittel lediglich 3% Elektroenergie bezüglich der gebrauchten Wärme für Umwälzpumpen, dazu pro Person 23 m² thermische Kollektorfläche und 1m² Fläche über dem Erd-Speicher.

Heliogaia ist ein nicht kommerzieller Web- Auftritt, der in seinen zentralen Kapiteln (2. Technik, 2.5. Speicherverluste und 3. Szenario) den grundsätzlichen Aufbau dieser Heizsysteme beschreibt und einen weiteren wissenschaftlichen Nachweis für ihre Funktionsfähigkeit und problemlose Bezahlbarkeit erbringt. Wärmeverluste aus sehr großen, oberflächennahen und nicht isolierten Saisonspeichern werden detailliert berechnet. Jeder kann alle Ergebnisse online und frei bis zu den Quellen prüfen. Die hier erstellten Kalkulationstabellen sind offen zugänglich und können auch für eigene Berechnungen verwendet werden.

Die aktuelle Energiepreisentwicklung wirkt sich mit Heliogaia kaum auf die Raumheizkosten aus, nur indirekt über Baupreise.

Einen ersten Überblick über das ganze Projekt bekommt man mit den Kapiteln: Abstract, FAQ, Energiewendeplan.

2. ▼ Wie funktioniert das System Heliogaia, was ist das Besondere?

Die Größe der Speicher ist entscheidend!

Heliogaia heizt bei einem Elektrizitätsanteil von nur 3% aus besonders einfachen, aber riesigen Saisonspeichern in Wärmenetzen. Heliogaia heizt bei einem Elektrizitätsanteil von nur 3% aus besonders einfachen, aber riesigen Saisonspeichern in Wärmenetzen. Die Wärme wird im Sommerhalbjahr durch Solarthermie eingesammelt, jener regenerativen Technik mit dem höchsten Wirkungsgrad.

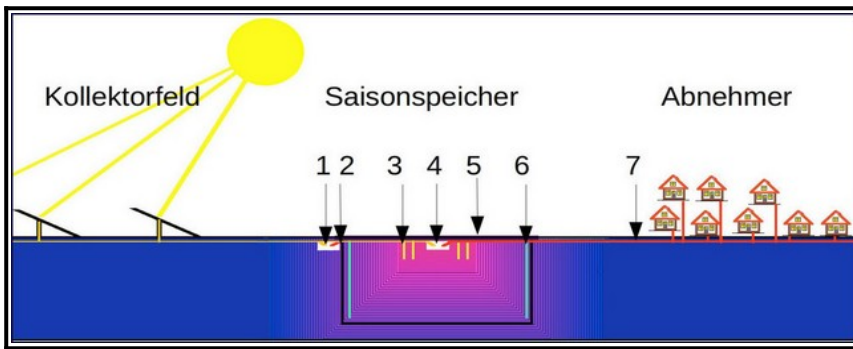


Bild 1: Titelbild, Schema einer Heliogaia-Anlage, nicht maßstäblich
 1: kalter Wasserspeicher, 2: Speicherhaut (virtuell oder als wasserdichte Schlitzwand), 3: heiße Bohrung, 4: heißer Pufferspeicher, 5: Abdeckung, 6: kalte Bohrung, 7: Fernheizleitungen, Vor- und Rücklauf

Einschränkung der Speicherverluste wird allein durch Massivität erreicht. Das System arbeitet zwischen 40 und 80 Grad und ist fähig, den Wärmeüberschuss aus Industrieanlagen und den Kollektorströmen des Sommers zum unschlagbaren Preis von durchschnittlich 0,0027 Euro pro Kilowattstunde in den Winter zu retten.

Und das Beste: Die Speicher brauchen gar nicht erst gebaut zu werden. Sie sind als normal wassergesättigter Erdboden überall vorhanden.

Der Einfluss der Anlagengröße auf die Kosten und Verluste des Saisonspeichers wird durch Zahlen der hier abgeschätzten Modellszenarien deutlich:

| Szenario | Einwohner | Speichervolumen | Speicherverluste | Speicherkosten |
|--------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|
| | zum Stichtag | m ³ | % | €/kWh |
| Berlin | 3.644.826 | 504.878.027 | 4,9 | 0,0008 |
| Cottbus | 100.219 | 18.066.692 | 7,5 | 0,0017 |
| Gemeinden um Röbel | 7.518 | 1.312.169 | 21,9 | 0,0038 |
| Gemeinden um Rietz | 3.414 | 629.510 | 28,3 | 0,0045 |

Turbo-Kuscheln im größtmöglichen Saisonspeicher verringert die Verlustanteile. Darum werden nahe beieinander liegende Siedlungen oder ganze Städte mit je einem Verteilungsnetz um einen Speicher zu Versorgungseinheiten für viele Tausend Abnehmer zusammengefasst. Jedes Gebäude bis zu einem Wärmebedarf von 180 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr mit passenden Flächenheizungen wird zuverlässig versorgt.

Im Zuge der Energiewende können längere winterliche Dunkelflauten die Wärmeversorgung nicht unterbrechen.

Immer noch stark geförderte [Fehlinvestitionen in Wärmepumpen](#) sind kontraproduktiv und teuer, gefährden zudem Umwelt und Klima.

Man könnte in Zusammenarbeit aller Netzbetreiber die relativ aufwendige Verlegung der Heizleitungen auch zum Anlass nehmen, das gesamte, meist chaotisch gewachsene Versorgungs- und Anschlussystem einer Gemeinde auf solide Füße zu stellen: Ein einziger begehbare Tunnel enthält alle Medien. Künftige Kontrollen, Wartungen, Reparaturen und Verlegungen würden sehr vereinfacht. **Schon das gemeinsame Planen und Verlegen der oft anstehenden Wärme-, Glasfaser-, Ladesäulen- und Fahrradtrassennetze birgt erhebliche Synergieeffekte.**

3. ▼ Wie kann das bisschen Sonnenschein für die solare Beheizung ganzer Städte im kältesten Winter ausreichen? Leisten das die Kollektorflächen überhaupt?

Die Sonne schenkt uns in Deutschland pro Jahr etwa 500 mal mehr Wärme als wir zum Heizen brauchen, nur eben nicht zur „richtigen“ Zeit und nicht konzentriert, sondern über die ganze Fläche verteilt. Wir müssen den riesigen Überschuss im Sommer effektiv einsammeln und für den Winter parken. Das geht am günstigsten über alternativlos effektive Solarthermiekollektoren und Jahreswärmespeicher.

Ein einziger Quadratmeter thermischer Solarkollektor ersetzt so zu Heizungszwecken rund drei Quadratmeter Photovoltaik oder etwa 100 Quadratmeter Maisfeld (für Biogas). Durch die saisonalen Wärmespeicher werden Strom- oder Gasspeicher und Windräder für den Raumwärmebedarf unnötig.

Elektrisch/ thermisch kombinierende Hybrid- oder PVT- Kollektoren, die bisher durch zu geringe Wärmeabnahme im Einsatz begrenzt waren, bekommen einen neuen, riesigen Markt. In der dem Flachkollektor ähnelnden abgedeckten Bauform könnten sie auf der untersten Stufe einer Reihenschaltung von Kollektoren effektiv zum Wärme- und gleichzeitig zum Stromertrag beisteuern. Wenn etwa die Hälfte aller für Heliogaia benötigten thermischen Kollektoren als Hybride installiert werden, kommt es deutschlandweit zu einem zusätzlichen Jahresertrag von rund 100 TWh Elektroenergie. Zusammen mit den bereits installierten rund 50 TWh/a Photovoltaik ist das schon über die Hälfte des hier für eine vollständige Energiewende veranschlagten Ausbaues an PV-Anlagen, siehe Energiewendeplan. Zugleich werden durch die Doppelnutzung mindestens 1000 km² Dach- oder 2700 km² Bodenfläche weniger belegt.

4. ▼ Warum gibt es solche Heizanlagen nicht schon längst?

Es gibt Vorläufer [48], [123], [89] , mit einer für den energetisch und finanziell wirklich effektiven Betrieb noch nicht ausreichenden Speichergröße.



Beispiel: Anlage bei Vojens (Dänemark) im Bau. Links der vorbereitete Saisonspeicher. [48]

Mit weiterer deutlicher Vergrößerung der Speicher (und Versorgungsgebiete) wächst das Volumen/Oberflächen-Verhältnis und damit das Wärme-Haltevermögen. Der relative Bauaufwand verringert sich rapide. Preiswerte ungedämmte Saisonspeicher, die das überall vorhandene Erdreich als Material nutzen und im Betrieb mit einem Minimum an Elektroenergie auskommen sollen, müssen mindestens 7000 Anschließer zu 100% mit Solarheizung und Warmwasser versorgen. Die jährlichen Wärmeverluste sinken dann naturgemäß unter 20%, ab ca. 50.000 Nutzer sogar unter 10%.

Viele Menschen müssen aber einmütig zusammen wirken, um derartige Anlagen zu bauen.

Bisher gab es für einen Umstieg noch keinen so hohen Druck, weil Warnungen vor drohendem Klimawandel ignoriert und fossile Energieträger viel zu billig verkauft wurden. Durch politische Fehlentscheidungen sind zerstörerische Auswirkungen immer noch nicht annähernd adäquat versichert, wie auch bei Atomenergie, ansonsten wären diese überholten Techniken längst nicht mehr konkurrenzfähig. Alle Folgekosten kommen nun erst auf uns zu.

Weitere große Kollektorfelder mit Solarthermie und Zahlen dazu: [16], [128].

5. ▼ Gibt es Fördergelder für derartige regenerative Wärmenetze?

Die Zuschusslage für 100% solare Wärmenetze mit Jahreswärmespeicher für ganze Kommunen ist unübersichtlich und schwach.

[Bundesförderung effiziente Wärmenetze]

[zu-wenig-geld-fuer-effiziente-waermenetze]

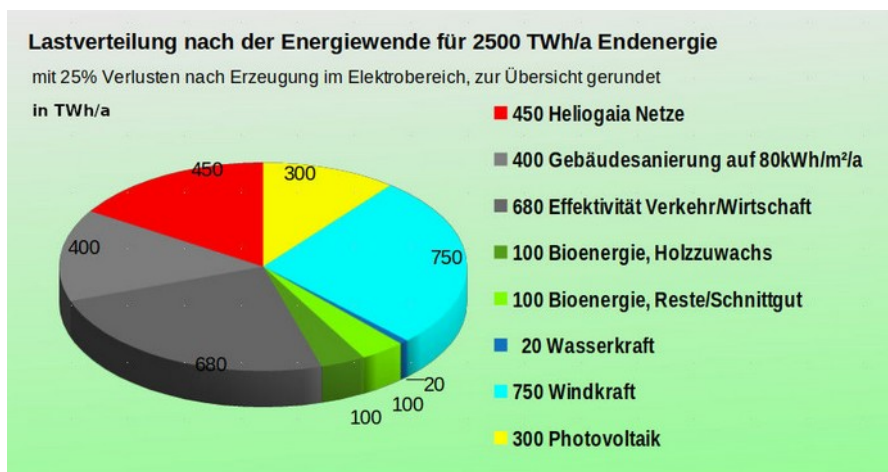
[förderung-fur-warmenetze-4-0].

Für solare Fernwärmenetze der hier besprochenen Größenordnung fanden wir bisher kaum belastbare Aussagen.

Sie werden aber nach ihrem vollen Ausbau 450 bzw. 850 TWh/a Endenergie ablösen und damit das Klimaproblem entscheidend entspannen helfen.

Wegen dieser überragenden Bedeutung müssen sie jährlich mindestens 11 Milliarden Euro Förderung bekommen, wenigstens ebenso viel wie seinerzeit zwischen 1950 und 2010 die Atomenergie, die neben einer Menge Problemen nur rund 150 TWh Endenergie pro Jahr eingebracht hat. Damit können allein aus Fördermitteln nach unserer Kostenrechnung jedes Jahr sieben bis acht große Städte wie Cottbus mit einer kompletten Heliogaia- Anlage versorgt werden, mit sicherer Speichertechnik und fast ohne Strom. Tabelle Fördermittel Bestehen aber die ersten Pilotprojekte ihre Bewährungsprobe, werden kaum noch Zuschüsse nötig sein, weil alle Gemeinden diese Netze bauen wollen, auch im Ausland.

6. ▼ Wie kann die Energiewende mit Heliogaia aussehen? Hier gibt es die gesamte Energiewende in einem Bild. Bild 2: Die gesamte deutsche Energiewende in einem Bild



(aus Energiewendeplan)

Klick auf die Zahlen für weitere Information

7. ▼ Wieso hat es nur im Zusammenhang mit einem Jahreswärmespeicher Sinn, größere Dachflächen mit thermischen Solarkollektoren zu belegen? Welche Rolle spielen PVT-Kollektoren?

Obwohl thermische Kollektoren, verglichen mit Photovoltaik-Modulen, etwa dreimal mehr

Sonnenenergie einfangen können, gilt die bittere Tatsache: Eine zu große Kollektorfläche ohne Jahreswärmespeicher wäre überdimensioniert. Die riesige, zwischen April und September anfallende Wärmemenge könnte nicht ausreichend abgenommen werden. Die teure Anlage arbeitete im Leerlauf. Trotzdem würde hier im Winter die erzeugte Wärme zum Heizen nicht zuverlässig ausreichen. Die Sonne scheint zu selten und zu schwach. Die Bewölkung ist zu dicht, das Dach zu klein.

PVT-Kollektoren sollen zur Nutzung mit Heliogaia wie einfache Flachkollektoren aufgebaut sein, nur eben mit PV-Schicht als Absorberfläche. So können sie die nötigen Temperaturen erreichen und in einer Reihenschaltung von Kollektoren als unterste Stufe fungieren. Damit sind sie dann in ihrer Doppelnutzung unschlagbar. Ungedeckte PVT-Module liefern in unseren Breiten im Winter kaum Energie und sind zur eigentlichen Heizwärmeversorgung untauglich, allenfalls zur Übergangszeit im Verbund mit stromfressenden Wärmepumpen. Im Sommer gelten die Ausführungen des ersten Absatzes analog.

8. ▼ Kann ich für mein eigenes Haus einen unabhängigen Jahreswärmespeicher einrichten? Das ist möglich bei Neubau oder im Zusammenhang mit einer Grundsanierung, nur verhältnismäßig teuer, nimmt sehr viel Raum ein und muss von überdurchschnittlich hohen Aufwendungen zu Wärmedämmung und Energieeinsparung flankiert werden. Die Speicher in den verlinkten Beispielen sind in unseren Breitengraden für eine 100% solare Beheizung noch zu klein. [115], [63]

Eine theoretische Untersuchung zur Möglichkeit vollständig solarer Beheizung für Einzelgebäude mit mindestens vier Wohneinheiten auf 52 Grad nördlicher Breite gibt es von uns schon 1992 in HLH 6/92 Raumheizung mit Solarkollektoren und Jahreswärmespeicher [105].

Neben diesen sensiblen, wären auch chemische und Latentwärmespeicher Optionen, die hier nicht weiter diskutiert werden sollen.

Es ist viel wirksamer, Geld und Initiative für die kommunale Komplettlösung Heliogaia einzusetzen.

9. ▼ Kosten: Welchen Preis hat Heliogaia für Bau und Betrieb?

Entsprechend Veröffentlichungsdatum dieser Seite wurden Kosten und Preise für die Dekade bis 2020 ermittelt.

Die reinen Speicherkosten betragen dort bundesdurchschnittlich 0,0027 € pro Kilowattstunde, siehe Tabelle Endergebnisse.

Im Gesamtsystem ergibt sich folgendes Bild:

Während konventionelle Technik im Bundesdurchschnitt 65€ pro Person und Monat für Gebäudeenergie verursachte [10] S.7, verringert sich dieser Wert durch Heliogaia unwesentlich auf 60€, [siehe Endrechnung und Tabellen unter 5.3.1.].

Mit der anziehenden Inflation werden die Preise ein anderes Gesicht bekommen. Nimmt man die angegebenen Zahlen als Maß für den mit Raumwärme verbundenen gesellschaftlichen Aufwand, sind sie in ihrer Relation auch zeitlos. Der Bau von Heliogaia-Systemen ist somit kostenneutral. In diesem Preis enthalten ist der Aufwand für Planung, Bau, Betrieb und Wartung der

Anlagen einschließlich der Übergabestationen in den einzelnen Gebäuden des gesamten Bestandes: Öffentlichkeit, Industrie/ Gewerbe und Wohnen.

Nur die Heizung der Wohnung allein betrachtet ergaben bundesdurchschnittlich 29 €/Person/Monat, günstiger in Ballungsräumen, wobei Mehrwertsteuer, Wartung und Hausanschlussstation schon einbezogen sind.

Bei Vergleichen unter den Preisen pro Kilowattstunde entsteht die Schwierigkeit, dass CO₂-Ausstoß vor 2019 nicht bezahlt werden musste und dass es sich hier nicht nur um Brennstoffkosten handelt, sondern um Gesamtausgaben, also auch die bisherigen Ausgaben

für Öfen, Kessel, Schornsteine usw. beachtet werden müssen.

In alle monetären Angaben wurden einerseits Kapitalkosten und andererseits mögliche Fördergelder nicht einbezogen.

Mit 30 bis 50% Kostenanteil wiegen die Kollektoren in dieser Bilanz am schwersten. Ihr Preis wird bei einsetzender Massenherstellung nach aller Erfahrung noch deutlich sinken.

10. ▼ Wie viel Energie wird für das Einrichten, Betreiben, spätere Rückbauen und Ersetzen von Heliogaia-Anlagen gebraucht? Woher kommt diese Energie? Wird sie überhaupt wieder eingespielt?

Diese Fragen sind sehr wichtig und müssen im Zusammenhang mit Energieversorgungseinrichtungen immer gestellt werden. Charakteristisch ist die Rücklaufzeit, nach der eine Anlage die für ihren Bau und Betrieb investierte Energie wieder ausgeworfen hat. Für thermische Kollektoren liegt sie zwischen 0,8 und 1,6 und für komplette Heliogaia-Anlagen je nach Recyclinganteil zwischen 1 und 4 Jahren (bei einer Abschreibungszeit von 25 Jahren, geschätzt in Kapitel „5.8. Erntefaktor“).

11. ▼ Wie schnell kann im dringenden Bedarfsfalle ein Heliogaia-Projekt realisiert werden?

Der physikalische Aspekt:

Der Speicher duldet keinen Verzug. Er muss ab März/ April, spätestens ab Ende Mai geladen werden, wenn er für den kommenden Winter verfügbar sein soll. Man muss ihn außerdem in der Anfangsphase von 10 auf 80 °C, also um 70 Grad aufladen, 30 Grad mehr als in den Folgejahren. Daher und mit jedem späteren Beginn muss größere Kollektorfläche oder Abwärme vorgehalten werden. Provisorisch installierte Zusatzkollektoren gibt man später dem Nachbarprojekt weiter. Alternativ wäre die Betriebsaufnahme um ein Jahr verzögert, während das aktuelle Jahr den Speicher mit der original notwendigen Kollektorfläche vorheizt.

Der politische Aspekt:

Im Kriegs- bzw. Krisenmodus mit verkürzten oder mit parallel zur Bauphase verlaufenden Genehmigungs- und Planungsverfahren könnte man es von Frühjahr bis Herbst unter Aufbietung aller Kräfte schaffen, eine Anlage in Betrieb zu nehmen, wenn Exploration, Finanzierung, Wärmeabnahme, Material- und Grundstücksfragen geklärt wären oder bis Mitte Mai geklärt werden können.

Der bauliche Aspekt:

Zuerst müssen die Kollektorflächen samt Leitungen installiert werden, welche erste zentrale Bohrungen im vorgesehenen Speicherterrain so früh als möglich mit heißem Wasser füllen. Dann werden die restlichen Baumaßnahmen am Speicher vorgenommen: Pufferspeicher, weitere Bohrungen und Installationen, periphere Dichtwand, Abdeckung, Technikgebäude. Im Sommer wird dann das Netz zu den Abnehmern verlegt bzw. ergänzt.

Parallel sollte viel getan werden, um Gebäude auf einen jährlichen Durchschnittsverbrauch von 80 kWh/m² anzupassen und mit Niedrigtemperatur- Flächenheizungen auszurüsten.

Je nach Planung ist die für eine Übergangsfrist eventuell nötige Heizzentrale zu bauen.

12. ▼ Wie setzt man eine tief reichende Dichtwand gegen horizontalen Grundwasserfluss in die Erde ein?

Lehm oder besser noch Ton sind hervorragende natürliche Dichtmaterialien, die man einer vertikalen Schicht von z.B. 70 cm Stärke bis in die geplante Tiefe rings um den Speicher zumischen kann, um nötige Dichtigkeit zu erreichen. Das ließe sich z.B. durch eine auf 30 Metern Länge aufgereihe Anzahl hartmetallbestückter Schaufelräder erreichen, zwischen zwei Schienen in der vertikalen Dichtwand-Ebene rotierend, an zwei oder mehreren Kränen

hängend. Nach Aushub einer Anfangstiefe von einigen Metern und unter ständiger Zugabe von Wasser und Ton wühlt sich die Vorrichtung langsam in mehrmaligem Ab und Auf in den tonigen Schlamm bis in die gewünschte Tiefe hinab.

Danach kommt das benachbarte Stück des Speicherumfangs an die Reihe. Nach Setzung ist die Dichtheit erreicht.

Es gibt auch bereits bewährte Verfahren, die man sich als Video ansehen kann:

Unterirdische Giganten - So entstehen die Lausitzer Dichtwände

Dammertüchtigung am Sylvensteinspeicher - BAUER Spezialtiefbau GmbH

13. ▼ Was ändert sich, wenn kein Bodenkörper mit ausreichender Wasser-Durchlässigkeit für Beladung und Entladung gefunden wird?

In der Nähe von Flüssen und in Gebieten, die von Eiszeitgletschern gebildet sind, dürften sich für die preiswerten offen durchströmten Speicher immer genügend durchlässige Böden finden lassen. Ist der Bodenkörper aber zu dicht, muss mit in sich geschlossenen Sonden gearbeitet werden.

Vorteile: Das Wärmeträgermedium kommt mit Boden nicht in Kontakt und bleibt frei von Verunreinigungen.

Nachteil: Die Anzahl der benötigten Bohrungen wird vervielfacht und der Preis der Gesamtanlage könnte erheblich steigen.

Eine konzentrische Sonde kann folgenden Querschnitt haben:



Bild 3: Schema der konzentrischen Sonde, nicht maßstäblich

Drei ineinander geschachtelte Rohre mit entsprechenden Abstandhaltern.

In den Zwischenräumen: Außen Wasser (der Wärmeübergang vom oder zum Erdreich), innen Wasser (der Gegenfluss), dazwischen Dämmung.

Im Sommer strömt das Wasser außen abwärts und lädt den Boden von oben nach unten thermisch geschichtet auf.

Zur Heizperiode wird die Richtung umgekehrt.

Die Strömungsquerschnitte müssen optimiert werden. Innen sollte der Fluss schneller, außen langsamer verlaufen.

Die Bohrungen reichen bis zum Speichergrund, ihre Abstände betragen entsprechend der vorliegenden Bodeneigenschaften einige Meter.

In die Rohrwände müssen Stahlseelen eingeschmolzen sein, damit die Sonde beim Rückbau wieder gezogen werden kann.

14. ▼ Ist über dem Speicher dann auch der Anbau von Südfrüchten in Mitteleuropa möglich?

Der Boden über dem Speicher liefert in der vorgeschlagenen Bauform etwa 10 W/m^2 (1% der Leistung eines Heizkissens). In einem Gewächshaus mit Zweischeiben-Wärmeschutz-Verglasung ($U=1,4 \text{ W/m}^2/\text{K}$) ließe sich damit bei Dunkelheit eine Temperaturdifferenz von 7K zur Außenluft aufrecht erhalten. Unter -7 Grad Außenlufttemperatur besteht innen also Frostgefahr. In diesen Zeiten müsste man aktiv aus dem Speicher heizen. Wenn das in der Gesamtanlage bilanziert ist, kann der Ort sein Tropenhaus bekommen.

15. ▼ Wie funktioniert extensive Tierhaltung und/oder Naturschutz in Kollektorfeldern?

Hier lassen sich ausgezeichnete Synergieeffekte erreichen:

Bewuchsbegrenzung - Tierwohl durch artgerechte Freilandhaltung - hochwertige Bioprodukte und/oder Naturschutz.

Kollektorfelder sollen zur Sicherheit umzäunt sein. Mehr als die Hälfte der Fläche ist zur Verschattungsvermeidung nach oben hin offen und muss zur Bewuchsbegrenzung beweidet werden.

Es fehlt auch nicht an Unterstellmöglichkeiten gegen Hitze und Regen. Sogar Vorratsbehälter für Tränken würden aus dem abfließenden Niederschlagswasser von Kollektorflächen gespeist.

Noch ein Eichenbestand mit Tümpel am Nordweststrand, auch als Windschutz für die Kollektoren, und es entstehen ideale Bedingungen, Schafe, Gänse, Shetland- oder Wildrinder, Strauße, Alpaka ... dort ganzjährig, pflegeleicht und wolfssicher unterzubringen. [126] Alternativ oder gleichlaufend sollen Projekte im Naturschutz realisiert werden. [95]

16. ▼ Hat der Klimawandel denn Auswirkungen für Deutschland? Lohnen sich für uns überhaupt Maßnahmen dagegen?

Das ist eine problematische Frage, die aber gestellt wird.

Neben der allgemeinen Erwärmung bemerken wir momentan extremere Wetterlagen, vor allem Trockenheit. Den Feldern und Gewässern fehlt der Regen, die Wasserversorger fördern Vorräte.

Viele Bäume müssen wegen Dürre und vermehrtem Schädlingsbefall umgeschlagen werden.

Die Zusammensetzung der Arten ändert sich. Tropenkrankheiten rücken in unsere Nähe.

In anderen Teilen der Welt gehen die Lebensgrundlagen noch schneller verloren.

Völkerwanderung verursacht wachsende soziale und gesellschaftspolitische Probleme.

Im Extremfall, nach Überschreitung des Kippunktes und einem völligen Abschmelzen des globalen Inlandeises, wird alles Land bis zur Höhe 74 m von Meerwasser überschwemmt.

Energiewendekosten werden dann eine kleine Ziffer weit hinter dem Komma gewesen sein. (Genauer in Kapitel Klimawandelkosten)

17. ▼ Ist Atomenergie nicht auch eine Lösung?

Nein, dann lieber doch die Überschwemmung! Man erkennt wenigstens eine Küstenlinie. Wer diese Frage stellt, sollte zuvor seine Bereitschaft erklären, den radioaktiven Müll im Garten seiner Kinder zu vergraben.

Möchten wir den Teufel durch Beelzebub austreiben? Außerdem sind die realen Kosten zu hoch [141], die Genehmigungsverfahren und Bauzeiten für einen wirksamen Klimaschutz viel zu lang.

Große Hoffnungen lagen durch Jahrzehnte auf Fuissionsreaktoren. Aber auch hier würden durch Teilchenbeschuss erhebliche Mengen radioaktiver Abfälle in den Konstruktionsmaterialien induziert.

18. ▼ Werden uns die "grünen" Techniken vor dem Klimawandel bewahren?

Der Klimawandel ist bereits eingetreten. Es kann nur noch daran gearbeitet werden ihn abzumildern und den Kipppunkt zu vermeiden (ohne genau zu wissen, wo der liegt). Dazu ist jedes persönliche Engagement recht, jede Einsparung, die schnell und wirksam erreicht werden kann. Auch „grüne“ Technologien können sich als Flop erweisen oder in falschen Händen Schaden anrichten. Sich nur drauf oder auf Wirtschaft, Regierungen und Behörden zu verlassen ist keine gute Idee. Als schwerwiegender Fehler wird z.B. die momentan sehr stromlastige Ausrichtung der Szenarien auf Heizsysteme mit Wärmepumpen gesehen.

19. ▼ Was kann ich persönlich hier und jetzt noch gegen den Klimawandel tun?

- Dach oder oberste Decke mit mindestens 20cm nachhaltigem Dämmstoff dämmen,
- Fenster mit Dreischeiben- Wärmeschutzverglasung einbauen,
- bei Sanierungen Flächenheizung mit dahinter liegender Dämmung einbauen,
- Im Winter die Lüftung auf Notwendiges begrenzen, Ritzen schließen,
- mehr mit Fahrrad und Zug fahren,
- Elektroenergieverbrauch senken,
- weiter über Suffizienz nachdenken.

Dann kontrolliere deinen ökologischen Fußabdruck und ziehe daraus Schlussfolgerungen.

[121](kurz); [125](ausführlich)

20. ▼ Warum soll man Elektroenergie nicht zur Wärmeerzeugung verschwenden?

Elektroenergie ist durch ihr flexibles Einsatzvermögen die technisch wertvollste Energieform. Sie lässt sich jedoch nur mit hohem wirtschaftlichen Aufwand bei relativ geringem Wirkungsgrad aus anderen Formen herstellen und schwer speichern.

Wärme ist die gehaltvollste, massivste täglich gebrauchte Energieform. Für einen gefühlt mäßigen Effekt benötigt man große Mengen aufzuwendender Energieeinheiten.

(Gedankenexperiment)

Wärme sollte man daher möglichst nicht auf dem Umweg über die Elektrizität erzeugen, sondern mit alternativlos effektiver Solarthermie direkt aus der Sonnenstrahlung gewinnen, speichern und sie dann über regelbare Thermostaten zum Heizen, Duschen,

Wäschewaschen, Geschirrspülen ... verwenden. (Waschmaschinen mit separatem Warm- und Kaltwasseranschluss anschaffen.) Das alles geht auch schon ohne Jahreswärmespeicher im Sommerhalbjahr und kann sofort realisiert werden.

Das Ersetzen von Strom durch direkte Sonnenwärme bietet nach der Vermeidung von Wärmeverschwendung überall die höchsten Einspareffekte.

Genau entgegen dieser Einsicht findet man heute Bestrebungen, die Netze von überschüssigem Windstrom durch dessen Wärmenutzung zu befreien. Wichtig klingende Techniken wie 'Power to heat' oder 'Elektrodenkessel' haben oft nur die Funktion riesiger stromvernichtender Tauchsieder. Das sollte eine Übergangserscheinung aus den Anfängen der Windenergienutzung bleiben. Denn einerseits müssen künftig für Verkehr und die Dekarbonisierung der Industrie noch riesige Elektrizitätsmengen erzeugt und zu Teilen auf hohem Exergieniveau gespeichert werden, andererseits stößt die Ausweitung der Windkraft begründet auf wachsenden Widerstand.

Noch destruktiver ist die Idee, selbst erzeugten, nicht gebrauchten Solarstrom mangels ausreichender Vergütung nicht einzuspeisen sondern als Wärme im Pufferspeicher zu entwerten. Diese Blüte treiben Erzeuger und Netzbetreiber aus 'wirtschaftlichen' Gründen gemeinsam. Hier muss schleunigst eine gesamtwirtschaftlich vernünftige Lösung für Zählertechnik und angemessene Abrechnung gefunden werden. Und man soll endlich genügend Kapazitäten für die elektrolytische Erzeugung gut speicherbaren Gases aufstellen.

21. ▼ Wie können wir den Elektroenergieverbrauch weiter einschränken?

Der Hauptpunkt wurde mit der vorigen Frage bereits behandelt:

Keine Elektrizität zur Wärmeerzeugung, ebenso nicht zur Klimatisierung, Alternativen suchen.

Größe und Nutzungsdauer der Kühl- und Gefriergeräte auf Notwendiges beschränken, am kältesten Ort aufstellen (Herstellerangaben einbeziehen).

Induktionsfeld-Herd verwenden und den Töpfen feuerfeste "Kaffeemützen" aufstülpen (nähen aus Schweißschutzdecke, Flammschutzmatte... mit feuerfestem Garn)

Wasserkocher sind auch sparsam (weil Heizstab innen); bei möglichst hoher Starttemperatur nicht mehr Wasser einfüllen, als gebraucht wird.
 Ansonsten weitere Ideen haben und wie hinlänglich bekannt: Standby- Geräte, wie Fernseher, Radios, Computer, Drucker, Kopierer... nicht dauerhaft mit dem Netz verbinden, sondern über schaltbare Verteilerdosen betreiben und nachts ausschalten!
 Stromverbrauch der Geräte bei der Anschaffung mehr beachten, auch besonders bei heimlichen Dauerbrennern wie Umwälzpumpen, Bewegungsmeldern, Computern, Telefonen, Routern, Repeatern, Steuergeräten ... ,
 das Fahrrad selber treten, sinnlose Lichtverschmutzung in Land und Garten vermeiden, Photovoltaik-Balkonkraftwerk mit Laderegler und Speicher installieren, 600W/(800W?) ist momentan Genehmigungsgrenze ...
 Für Hersteller von Elektrogeräten: Der Standby-Verbrauch muss vom einstelligen Watt- in den einstelligen Milliwatt-Bereich abgesenkt werden; Auch dann noch müssen in Deutschland laufend einige Windräder nur für Standby arbeiten und jährlich viele hundert Tonnen Batterieelemente nur dafür hergestellt werden, von denen immer noch mehr als die Hälfte im Hausmüll landen!
 Aktuell muss besonders darauf geachtet werden, dass die rasant wachsende IT-Begeisterung nicht die gesamte Energiewende konterkariert. Der Energieverbrauch von Datenspeichern bindet zunehmend Kraftwerke und muss von Seiten der Hersteller drastisch gesenkt werden.

22. ▼ Warum sind Wärmepumpen so problematisch?

Wie in Heliogaia, insbesondere auch in Abschnitt "5.3. Individuelle Wärmepumpe versus kommunales Wärmenetz" nachgewiesen, sind solare Wärmenetze die effektiveren Bausteine der Wärmewende. Jene leben aber von möglichst flächendeckendem Anschließerbedarf. Wärmepumpen wirken hier kontraproduktiv, weil sie Anschließer mit einer Scheinlösung binden. Ihre Betreiber begeben sich erneut und erweitert in starke Abhängigkeit von Stromtarifen und Elektrizitätserzeugern. Sie verarmen durch unnötige Mehrausgaben, vorerst kaschiert durch staatliche Zuschüsse. Wärmepumpen als Massenerscheinung können erhebliche Umweltprobleme verursachen. Sie machen als Systeme wirtschaftlich und physikalisch nur wenig Sinn:

Aktuell arbeiten die meisten Wärmepumpen mit elektrischem Antrieb und brauchen im Winter durchschnittlich für drei Kilowattstunden abgegebener Heizenergie etwa eine Kilowattstunde Strom. (mittlere Jahresarbeitszahl JAZ aus 221 Feldversuchen: 3,37; siehe Tabelle)

Diese wird ihrerseits wieder mit einem Wirkungsgrad von rund einem Drittel hergestellt: Zur Erzeugung einer Kilowattstunde Strom benötigt man im Kraftwerk ungefähr drei Kilowattstunden Wärme bei sehr hoher Temperatur, z.B. aus Gas oder Kohle. Eine Wärmepumpe sammelt also etwa die gerade bei der zentralen Stromerzeugung verpulverte Abwärme wieder ein. Ungefähr das gleiche Verhältnis ergibt sich bei Nutzung von Solarenergie über Kollektoren. Thermische Kollektoren ernten drei mal mehr Energie als Photovoltaikmodule.

Der riesige HighTech-Aufwand (Anlagen zur Elektrizitätserzeugung + Elektroenergiespeicher + Wärmepumpenanlage) ohne nennenswerten Gewinn gegenüber der direkten Solarthermie erscheint auf diesem Hintergrund wie ein Schildbürgerstreich, zumal die Speicherung von Elektroenergie viel aufwendiger ist als die von Wärme. Wärmepumpen sind interessant bei sehr geringer Wohndichte als Insellösungen und als größere Einheiten vorübergehend in Heliogaia-Heizzentralen zur Anhebung des Temperaturniveaus der dritten Leitung (zur Versorgung des noch unsanierten Gebäudebestands).

Für einige Zeit könnten Wärmepumpen Windspitzen in Netzen abfedern, bis genügend Power-To-Gas-Anlagen verfügbar sind.

Grundlage der Wärmewende sollten sie nicht sein, denn das allein würde die Verdopplung der bereits vorhandenen Windenergieanlagen (2022) bedeuten, nebst angemessener Speichertechnik, bei gleichlaufender Halbierung des Wärmebedarfs der Gebäudesubstanz. Noch massiver muss aber parallel der Elektro-Ausbau für die Verkehrswende sein; und nochmals für die Dekarbonisierung von Industrie und Gewerbe. Wie soll das alles gehen?

23. ▼ Kommt Heliogaia ohne Strom aus?

Leider nicht ganz. Für den Antrieb der Umwälzpumpen und die Anlagensteuerung ist Elektroenergie erforderlich. Das sind etwa 3% der bewegten Wärmeenergie. Auch für Bau und Wartung der Anlagen ist etwas Elektrizität nötig.

24. ▼ Wer hat eigentlich den Plan für die Energiewende?

So leicht lässt sich hierauf keine Antwort finden. Also gibt es ein eigenes Kapitel.

25. ▼ Batterie oder Brennstoffzelle, E-Fuel, Bio-Fuel: Welches Speichersystem wird sich im Zuge der Energiewende bei KFZ, Land- und Baumaschinen letztlich durchsetzen?

Die Frage ist im Bezug auf die Gesamtbilanz der Energiewende wichtig, braucht doch der Verkehr momentan noch ca. ein Viertel unserer Endenergie, die letztlich bei voller Elektrifizierung nur durch Wind oder Photovoltaik bereitgestellt werden kann.

Wirkungsgrade der Batteriespeicher sind etwa doppelt so hoch wie die der Wasserstoffspeicher.

Batterien sind aber schwer und teuer. Sie haben auch eine umstrittene Ökobilanz und begrenzte Rohstoffquellen bei ihrer Herstellung. Solange hier keine signifikanten Fortschritte sichtbar sind, wird letztlich jedes KFZ elektrisch zweigleisig betrieben werden müssen:

- Der Tank nebst Brennstoffzelle steht für die gelegentliche Langstrecke (800 km),
- eine erweiterte Batterie für die tägliche Kurzstrecke (30 km).

So bleibt die Batterie relativ leicht (maximal 40 kg) und kann dennoch den größten Teil der Fahrleistung abdecken. Am Auto gibt es zwei Anschlussarten, an den Zapfsäulen nur eine. Zu Hause und am Arbeitsplatz steht die ständige Verbindung zum Netz, welches daraus auch seine Vorteile zieht, wenn es nun kurzfristig gepuffert wird.

Für 30 km täglich lässt sich bei gutem Wetter die Batterieladung auch in der Wagenoberfläche selbst erzeugen. Stehende Fahrzeuge dienen so zugleich als Stromgeneratoren im Netz.

Die gesamte Abrechnung erfolgt nicht an der Tank- oder Anschlussstelle, sondern über ein im Wagen integriertes IT-Modul und ein Konto im Internet.

Bau- und Landmaschinen sowie zwischenzeitlich die aktuell noch vorhandene Verbrennerflotte werden mit zunehmend grün erzeugten Kraftstoffen versorgt, auch und besonders auf der Basis von Pflanzen und Abfällen.

Die Nutzenergie-Wirkungsgrade, bzw. die Anteile der ursprünglich erzeugten Elektroenergie, die schließlich der Fortbewegung dienen, wurden für die verschiedenen Umwandlungsketten für Fahrzeuge in [144] zusammengestellt:

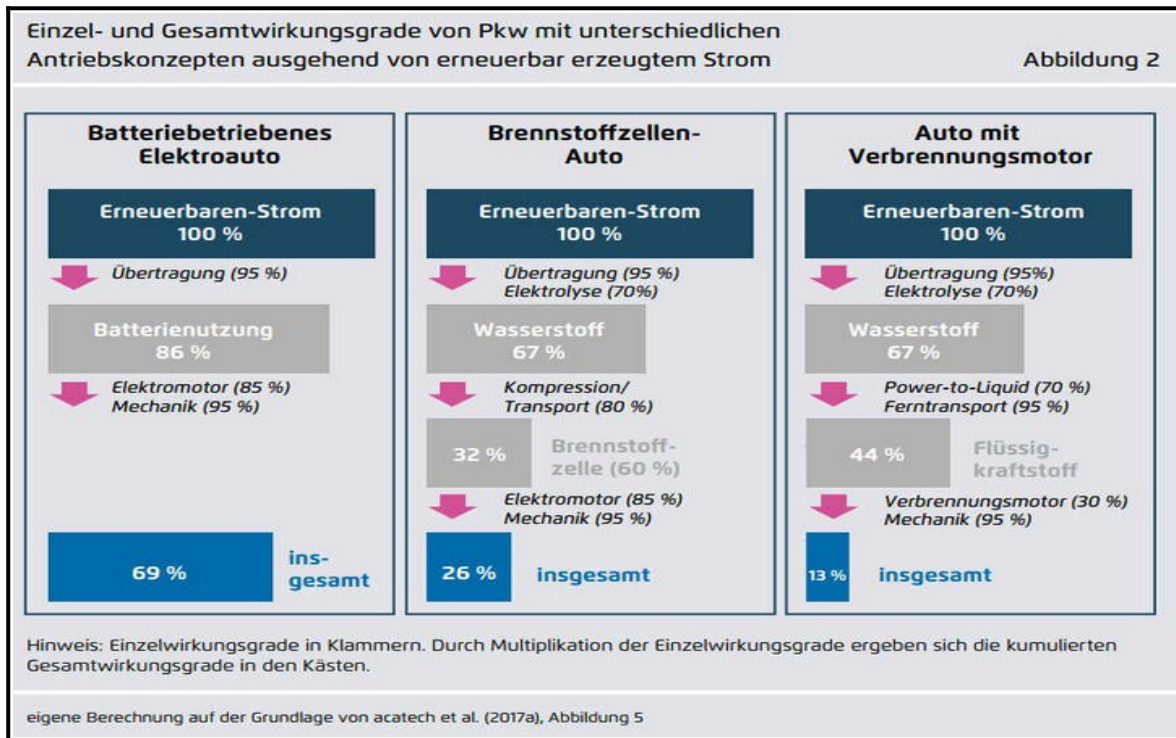


Bild 4: Wirkungsgrade, Fahrzeuge

26. ▼ Kann man die Energiewende nicht überstürzen?

Man kann. Wir müssen gründlich überlegen und dürfen nicht mit bester Absicht ausschließlich in eine verkehrte Richtung laufen.

Wir dürfen nicht falsch investieren oder subventionieren, z.B. in externe Gaspipelines, zu viel in Wärmepumpen und damit zu viel in die Stromtechnik und in nicht nachhaltiges Wirtschaften überhaupt. Mit Begeisterung kann man die Energiewende zerfördern, z.B. durch Vorzeige- Einzelbauten, hochgerüstet bis unters Dach mit kurzlebiger, wartungsintensiver Technik, die im Massenbetrieb und ohne hohe Fördergelder niemals überlebensfähig sein wird und schließlich nur das Müllproblem vergrößert.

Andererseits hat uns Corona eben noch rechtzeitig in Erinnerung gerufen, was exponentielles Wachstum bedeutet. Zu lange Überlegen geht auch nicht.

Nimmt der Klimawandel durch seine sich selbst beschleunigenden Rückkopplungseffekte Fahrt auf, könnten die jetzt noch zur Energiewende vorhandenen Kräfte urplötzlich vom unmittelbar benötigten Katastrophenschutz verschluckt werden.

So oder so, in beiden Fällen wären die Mittel für eine nachhaltige Energiewende verloren.

27. ▼ Warum müssen Saisonspeicher so groß sein?

Jeder weiß: Gegen Frieren hilft Kuscheln. Extrem gut darin sind manche Tierarten: Kaiserpinguine trotzen in dichten Kolonien dem antarktischen Winter und bebrüten dort bei 70 Minusgraden sogar ihre Kücken; Ist die Überwinterungstraube groß genug, überlebt das Bienenvolk...

Aus physikalischer Sicht klingt alles nüchterner: Je größer das Verhältnis von Inhalt zu Oberfläche, desto besser das Wärmehaltvermögen, denn Wärme wird im Volumen gehalten und durch die Oberfläche abgegeben. Um also die Wärme lange halten zu können, braucht man große, kompakte Körper, genauer beschrieben unter Speicherverluste. Die übliche Dämmung kann bald weitgehend entfallen.

28. ▼ Wie warm wird die Erde über dem Heliogaia-Speicher maximal sein?

Wie in Gelände, unter dem Fernheizrohr verlegt sind. Der Passant spürt nichts, aber der Schnee schmilzt eher. Oder ähnlich wie ein Heizkissen, eingestellt bei 1 Watt, normal sind 100 Watt.

29. ▼ Wird dabei das Grundwasser nicht beeinflusst? (Temperatur, Grundwasserspiegel)

Es handelt sich um eine technische Einrichtung. Im Bereich der direkten Speichermasse wird das Grundwasser zur Wärmespeicherung gebraucht und bis 80 oder 90 Grad erhitzt. Ab etwa 40m Entfernung verlieren sich die Einflüsse. Der Grundwasserspiegel bleibt konstant.

30. ▼ Wird dabei das Bodenklima nicht gestört, zum Beispiel indem sich durch die hohe Temperatur neue Bakterien ansiedeln?

Es handelt sich um eine technische Einrichtung. Im Bereich der direkten Speichermasse wird das Grundwasser zur Wärmespeicherung gebraucht und bis 80 oder 90 Grad erhitzt. Möglicherweise vorhandenes tieferes Bodenleben wird massiv gestört. In der obersten Deckschicht über dem Speicher ist Leben möglich, allerdings wird es sich in diesem Bereich auch verändern, ebenso in der beeinflussten Umgebung bis etwa 40m. Davon könnten ernst zu nehmende Probleme ausgehen. Monitoring des Bodenlebens in Schlepprichtung des Grundwassers wird vor allem bei Pilotprojekten unabdingbar. Es wäre gut, wenn hier Beobachtungen aus bestehenden Anlagen als Beiträge zu einem Forum oder als Fachartikel einfließen könnten. Andererseits entfallen auch alle bisher verstreut bestehenden Anlagen, besonders jene, die noch in der Zukunft entstehen könnten. Dadurch wird das Problem konzentriert und das Grundwasser im Ganzen letztlich geschützt. Bakterienkulturen, die sich bei 30 oder 40 Grad gut bilden können (übliche Temperaturen bei zerstreuter Nutzung) bekommen großflächig kein Milieu mehr.

31. ▼ Wenn auf den Hausdächern Wärme gesammelt wird, wie verstecken wir die Rohre und halten unsere Kommune ästhetisch?

Der Anblick der Bebauung wird sich ändern. Das ist keine Frage. Ob das negative oder positive Empfindungen bei uns auslöst, ist ein individuelles Problem. Kollektoren wachsen schon mehrere Jahre vor unseren Augen auf den Dächern. Sie können aber zunehmend auch unter architektonischen Gesichtspunkten integriert oder sogar als Gestaltungselemente eingesetzt werden. Die Installation verschwindet üblicherweise hinter der Fassade.

32. ▼ Könnten Erdbeben entstehen, etwa weil das Erdreich sich regelmäßig ausdehnt und wieder zusammenzieht?

Erdbeben entstehen allenfalls in Gegenden mit größerem Gefälle. Hier muss man bergmännischen Sachverstand anwenden und eine passende Standortwahl treffen.

33. ▼ Lässt sich von Heliogaia- Anlagen alles recyceln?

Bis auf Anstriche, Klebstoffe und einige Kleinteile wie Gummidichtungen oder einzelne Elektronik-Bauelemente lässt sich mit der nötigen Sorgfalt alles recyceln. Die Planer, Konstrukteure und Zulieferbetriebe werden da auch immer besser. Mit Verwendung von recyceltem Material sinkt der Energieaufwand zur Herstellung der Komponenten und damit auch die Energierücklaufzeit der gesamten Anlage auf etwa ein Viertel. Beim Einsatz von PVT-Kollektoren ist die Frage etwas komplizierter, da diese (wie einfache PV-Module) geringe Mengen dotiertes Silizium und teilweise auch Problemstoffe enthalten, welche sauber abgetrennt werden müssen.

34. ▼ Wie kann ich persönlich die Entwicklung von Heliogaia-Netzen fördern?
Stelle bei der Stadtverwaltung einen Antrag auf Fernwärmeversorgung, überzeuge Nachbarn, Freunde und Bekannte, das auch zu tun.
Sprich in Begegnungen und insbesondere in Gemeindeversammlungen von der Möglichkeit und Notwendigkeit vollständig solarer Heizsysteme.
Verbreite den Link und verlinke die Seite <https://heliogaia.de> in deinen eigenen Medien.
Beteilige dich an entsprechenden Initiativen und Fonds oder gründe sie selbst.
Es gibt leider noch keine Pilotanlage in der nötigen Größenordnung, die einen Durchbruch zu einer dem Problem angemessenen Klimapolitik erkennen ließe.
Städte und Gemeinden müssen informiert und aktiviert werden.

35. ▼ Was sind die fünf kuriosesten Erkenntnisse im Zusammenhang mit Heliogaia?
◦ Ein Quadratmeter Solarthermiekollektor ermöglicht 100 m² Blumenwiese oder unberührten Urwald. Er leistet dank Saisonspeicher im Niedrigtemperatursektor energetisch mindestens das gleiche wie 100 m² Energiemais oder Holzplantage, siehe Wirkungsgrade.
◦ Der Erdkörper selbst ist durch seine Größe ein super-super Wärmespeicher! Jedem Kubikmeter im Erdkörper ist lediglich ein halber Quadratmillimeter an der Oberfläche zugeordnet, wohindurch die in ihm gespeicherte Wärme nur entweichen kann. Die Abkühlung ist auch darum seit Beginn der Zeiten kaum fortgeschritten, siehe Speicherverluste/pdf.
◦ Wärmepumpen gefährden Klimaschutz; wenn durch ihre Kältemittel in den nächsten Jahren massenhaft langlebige Klimakiller mit (im Vergleich zu CO₂) teils mehrtausendfachem Treibhauspotential in Stellung gebracht und später durch Katastrophen oder Unachtsamkeit freigesetzt werden. [78]
◦ Kollektorfelder fordern und ermöglichen Naturschutz und extensive Freiland- Tierhaltung (FAQ Frage 15).
◦ Zum Schluss zur Exergie (Wertigkeit von Energieformen) die [Quizfrage](#).

6.4. Tabellen und Software in Form freier Kalkulations-Tabellen

Die Tabellen wurden geschaffen und verwendet, um Abschätzungen der Speichergrößen und Kollektorflächen vornehmen zu können, wie sie zu einer komplett solaren Beheizung ganzer Städte nötig sind. Sie sollen hier für eigene Berechnungen öffentlich verfügbar gegeben sein, ohne Garantie auf Fehlerfreiheit.

Bei Weiterverwendung ist die Quelle zu nennen. Falls Veränderungen vorgenommen wurden, ist auch das zu vermerken. In den meisten Fällen gibt es drei Formate: xlsx (Exel), ods (Libre-Office-Calc) und html.

Möchte man nur lesen, ist html die beste Wahl. Zum Experimentieren, Ansehen und Nachprüfen der Formeln eignen sich die beiden anderen Formate, wobei ods vorzuziehen wäre, denn so ist das Original geschrieben (Libre-Office-Calc Version: 5.1.6.2.). Freier Download der aktuellsten Version von [LibreOffice](#).

Bei der Übertragung aus Libre-Office nach Excel kommt es durch die Komplexität immer wieder zu geringfügigen Formatierungsfehlern, die aber durch einige Handgriffe beseitigt werden können. Dafür sind die Tabellen weiterhin im viel benutzten Excel-Format verfügbar. Lesbarkeit und Inhalte sind davon nicht betroffen.

Preise und statistische Zahlen ändern sich im Laufe der Zeit nach ihren Tendenzen etwas. Das kann natürlich nicht immer und sofort in alle Tabellen und Texte übernommen werden, muss es auch nicht, wenn sich wegen Geringfügigkeit an den Grundaussagen nichts ändert. Die hier vorgenommenen Abschätzungen und Preisvergleiche gelten für den Zeitraum von etwa 2010 bis 2020. Inflationär bedingte Entwicklungen beeinflussen die gefundenen preislichen **Relationen** kaum, d.h. die Kosten für das neue Heizsystem werden die Haushalte später nicht spürbar höher belasten als die für das herkömmliche System.

Das Nachvollziehen und Prüfen der Formeln lässt sich am sichersten in Libre-Office bewerkstelligen und wenn man daneben einen gut formatierten Druck mit Zeilennummern und Spaltenbuchstaben in der Hand hält. Parameter in blauen Feldern können in der Regel variiert werden, um ihre Wirkung auf die Ergebnisse zu beobachten.

1. Zu den Szenarien

Tabellen zu den Szenarien simulieren in der Regel im ersten Blatt "e" eine zweijährige Wärmebilanz pro Person in Tagesschritten, einschließlich des Ladeverhaltens des Saisonspeichers. Die Parameter werden rechts in blaue Felder eingegeben. Blatt "t" berechnet daraus und aus weiteren Parametern das Gesamtergebnis. Die Blätter "h", "u" und "s" dienen zur Abschätzung von Hauptverteilung und Unterverteilung im Fernwärmenetz sowie zum Erfassen der Siedlungsparameter. Zur Aufdeckung und Vermeidung systematischer Fehler und teils auch zur Aufwandsbegrenzung ist die Herangehensweise nicht in allen Tabellen analog.

- Röbel: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Rietz: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Cottbus: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Berlin: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Berlin, Hauptverteilung: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Alternative für Rietz: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

2. Grundlagen

Die Tabelle "Zylindermodell" dient der Abschätzung der Verluste aus Heliogaia-Saisonspeichern, und wird im Kapitel [Speicherverluste](#) genauer beschrieben.

- Zylindermodell: [ods](#) [xlsx](#), ([mit Vorsicht, Fremdformat](#))
- Standardhaus: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Durchschnittshaus: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

3. Summe, Auswertung

- Endrechnung: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Kosten und Strombedarf der Wärmepumpe: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

4. Zusätze

- Födergelder wie bisher für die Atomindustrie: [ods](#) [html](#)
- Zahlen, energiebezogen: [ods](#) [html](#)
- Druckverlust in geraden, störungsfreien Rohrleitungen, d kleiner als 500mm: [ods](#)
- Druckverlust in geraden, störungsfreien Rohrleitungen, d größer als 500mm: [ods](#)
- Grundwasserfluss, kf-Wert: [ods](#) [html](#)
- Prozesswärme aus Holzzuwachs? [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Wirkungsgrad Biogasanlagen: [ods](#) [html](#)
- Energieinhalt von Baustoffen und Halbzeug, mit Quellen: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Energieinhalt von Baustoffen und Halbzeug, gerundet: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Erntefaktor-Kalkulationstabelle, Energieinhalt in Material und Bauleistungen: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Fachbegriffe Formelsymbole: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Maßeinheiten: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)
- Quellen: [ods](#) [html](#)

6.5. Zahlen, Informationssammlung Wärmewende, Energiewende

Hier gibt es Links bzw. Zahlen mit Quellenangabe im Überblick, die für Rechnungen zu Heliogaia zusammengetragen wurden oder für Projekte interessant sein könnten. Es handelt sich teilweise um interne Arbeitsmittel, nicht durchgängig veröffentlichungsreif, die hier für Interessenten als Arbeitsbasis dennoch verfügbar gemacht werden sollen.

Im Zweifelsfalle html-Format verwenden. Das Erstellungsformat ist ods (Libre-Office Calc). Für Excel xlsx wählen, dabei könnten kleinere Formatierungsfehler auftreten.

Energierrelevante Zahlen für Deutschland und Berlin: [ods](#) [html](#)

Wirkungsgrade regenerativer Energiequellen: Welcher Teil der auf einer verfügbaren Fläche eintreffenden Sonnenstrahlung lässt sich in der Praxis durch die verschiedenen Möglichkeiten einfangen und energetisch verwenden?

Rangliste: [Wirkungsgrad](#)

Kosten und Strombedarf von Wärmepumpen,

ausführliche Variante mit Auswertung von 221 Feldversuchen: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

vereinfachte Variante mit Auswertung von 221 Feldversuchen und Zahlen eines Energielieferanten, März 2024: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

Heiz- und Brennwerte: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

Zahlen zur Bestimmung der Energieeffektivität, EROI. Wie viel Energie steckt in welchem Material?

Sammlung mit Quelle: [html](#) [ods](#) [xlsx](#)

Zusammenfassung, stark gerundet: [html](#) [ods](#) [xlsx](#)

Kollektordaten/Solarkeymark (im Solarkeymark geprüfte Thermie-Kollektoren): [pdf](#); auch [\[92\]](#); [\[119\]](#); [\[120\]](#)

Strahlungsdaten:

1. DWD, Deutscher Wetterdienst; Auf den Seiten des [DWD](#) (Deutscher Wetterdienst) finden sich ortsbezogene Werte zur Globalstrahlung (Gesamtstrahlung auf die Horizontalfläche), jährlich oder monatlich. Menü im Hauptfeld rechts:

- Globalstrahlung ab 1991, Global-, Diffus- und Direktstrahlung getrennt ab 2016
- Globalstrahlung (Zeiträume), Mittelwerte über je 30 Jahre: 1981 bis 2010 und 1991 bis 2020
- Trend der Globalstrahlung seit 1991

2. Photovoltaisches geografisches Informationssystem; Hier [\[153\]](#) finden sich Strahlungsdaten z.B. auch im csv- Tabellenformat. Ort, Zeit u.a. können vorgegeben werden.

3. [Solarkataster](#), Eignung der Einzelgebäude für Solartechnik; Viele Städte zur Auswahl, leider nicht mehr oder noch nicht vollständig

Wetterdaten: Langjährige ortsbezogene Mittel von Temperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer u.a.: [Tabellenübersicht](#)

Gase: Klimaschädlichkeit, Verweildauer: [Tabelle Wikipedia](#); [Tabelle Umweltbundesamt](#)

Materialdaten, Wärmeleitfähigkeit und Dichte: [Link zu Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien](#)

Wassergesättigte und nicht wassergesättigte Böden, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

Physikalische Werte von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur: [ods](#) [xlsx](#) [html](#)

Daten zur Grundwasserströmung, kf-Werte, Durchlässigkeitsbeiwerte: [odt](#) [html](#)

Auslegung von Fußbodenheizungen: [Tabelle von Fußbodenheizung24](#)

Druckverluste in Rohrleitungen: [Link zum Druckverlust Online Rechner](#)

Mögliche Holznutzung in unseren Wäldern: [html](#) [ods](#) [xlsx](#)

Wirkungsgrad Biogasanlagen: [ods](#) [html](#)

6.6. Quellen

| home: | https://heliogaia.de/index.html | |
|--------------|---|---|
| Quelle | Stichworte | Link/Quelle |
| 1 | Preis für Flachkollektor, Bildschirmfoto aus Jahr 2020 | https://heliogaia.de/flachkollektor_preis.jpg |
| 2 | baupreise24.de/baupreise/erdarbeiten | http://baupreise24.de/baupreise/erdarbeiten |
| 3 | bodenrichtwerte-boris.de/borisde/?lang=de | https://www.bodenrichtwerte-boris.de/borisde/?lang=de |
| 4 | Clausen-Kosten_-laendliche_-Waermenetze-2012.pdf | https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Clausen-Kosten_-laendliche_-Waermenetze-2012.pdf |
| 5 | Energiekonzept_CB_Endbericht_30-09-2013.pdf, S. 215 | https://www.cottbus.de/files/storage/file/003970be-d37a-4e7c-938d-ce65353f2169/Energiekonzept_CB_Endbericht_30-09-2013.pdf |
| 6 | wikipedia.org/wiki/Berlin | https://de.wikipedia.org/wiki/Berlin |
| 7 | wikipedia.org/wiki/Cottbus#cite_note-Metadaten_Einwohnerzahl_DE-BB-1 | https://de.wikipedia.org/wiki/Cottbus#cite_note-Metadaten_Einwohnerzahl_DE-BB-1 |
| 8 | wikipedia.org/wiki/Deutschland | https://de.wikipedia.org/wiki/Deutschland |
| 9 | Dena-Gebaeudereport Endenergiebezogener-Gebaeudeenergieverbrauch | https://www.dena.de/fileadmin/dena/Bilder/Newsroom/Meldungen/2018Q2/Grafik-dena-Gebaeudereport-kompakt-2018-Endenergieverbrauch.pdf |
| 10 | 9254_Gebaeudereport_dena_kompakt_2018.pdf | https://heliogaia.de/9254_Gebaeudereport_dena_kompakt_2018.pdf |
| 11 | destatis.de; Wohngebäudebestand, Berlin | https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/BBHeft_derivate_00019628/SB_F01-01-00_2018j01_BE.pdf |
| 12 | DWD, Wetterdaten: Langjährige ortsbezogene Mittel von Temperatur, Sonnenscheindauer u.a. | https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html |
| 13 | DWD, Globalstrahlung (direkt und diffus), Karten, orts- und zeitbezogene Messungen, viele Jahre | https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_sum.html?nn=16102 |
| 14 | energynet.de/2018/04/11/erneuerbare-prozesswaerme-industrie | www.energynet.de/2018/04/11/erneuerbare-prozesswaerme-industrie |
| 15 | enerko.de Kurzbericht-FW-Schiene-Rheinland.pdf | https://enerko.de/wp-content/uploads/2020/01/191212-Kurzbericht-FW-Schiene-Rheinland.pdf |
| 16 | 1800m² Kollektorfeld Senftenberg | https://www.ritter-xl-solar.de/anwendungen/waermenetze/stadtwerke-senftenberg/ |
| 17 | Heizspiegel-fuer-Deutschland-2018.pdf | https://www.heizspiegel.de/fileadmin/hs/heizspiegel_2018/Heizspiegel-fuer-Deutschland-2018.pdf |
| 18 | heizspiegel.de/heizkosten-senken/heizungswartung/ | https://www.heizspiegel.de/heizkosten-senken/heizungswartung/ |
| 19 | ier.uni-stuttgart.de Stromerzeugungskosten Arbeitsbericht_04.pdf | https://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/arbeitsberichte/downloads/Arbeitsbericht_04.pdf |
| 20 | ikz.de/uploads/media/50-55_Daemmstandards.pdf | https://www.ikz.de/uploads/media/50-55_Daemmstandards.pdf |
| 21 | mediatum.ub.tum.de/doc/969497/969497.pdf | https://mediatum.ub.tum.de/doc/969497/969497.pdf |
| 22 | was-kostet-brunnen-bohren/ | https://www.my-hammer.de/preisradar/was-kostet-brunnen-bohren/ |
| 23 | seitzpumpen.homepage.t-online.de/PDF-Dateien/Preisliste/NM.pdf | http://seitzpumpen.homepage.t-online.de/PDF-Dateien/Preisliste/NM.pdf |
| 24 | shop.ksb.com Pumpen 00215A9B05B41ED697B45C00A8EBFD5A.pdf | https://shop.ksb.com/ims_docs/00/00215A9B05B41ED697B45C00A8EBFD5A.pdf |

| | | |
|----|--|---|
| 25 | solaranlagen-portal.de/thermische-solaranlage/solkollektor-preis.html | https://www.solaranlagen-portal.de/thermische-solaranlage/solkollektor-preis.html |
| 26 | solarkeymark.nl/DBF/PDF_Downloads/DS_1575.pdf | http://www.solarkeymark.nl/DBF/PDF_Downloads/DS_1575.pdf |
| 27 | solarkeymark.nl/DBF/PDF_Downloads/DS_47.pdf | http://www.solarkeymark.nl/DBF/PDF_Downloads/DS_47.pdf |
| 28 | Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität von Böden | https://heliogaia.de/Geothermisches_Potenzial_spezifische_Wärmeleitfähigkeit_und_spezifische_Entzugsleistung_Berlin_k218 |
| 29 | Gründächer_Berlin_Ausgabe_2017_k611.pdf | https://heliogaia.de/Gründächer_Berlin_Ausgabe_2017_k611.pdf |
| 30 | Solare Flächenpotenziale Berlin (Ausgabe 2008), S. 6 | https://heliogaia.de/Solare_Flächenpotenziale_Berlin_k806.pdf |
| 31 | Treibhausgase, Potentiale, Verweildauer | https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauspotential |
| 32 | Statistisches Jahrbuch Cottbus 2018 | https://www.cottbus.de/files/storage/file/344a9f1d-5dfd-430d-9366-c43ea10e0b3c/Jahrbuch2018-2.pdf |
| 33 | Statistisches-jahrbuch-2019-dl.pdf | https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/statistisches-jahrbuch-2019-dl.pdf;jsessionid=28A758EBF284B5C80 |
| 34 | Straelen Beschreibung Wasserversorgung | https://www.straelen.de/rathaus-politik/dienstleistungen/ver-und-entsorgung/wasserversorgung/Geschichte |
| 35 | swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Markterhebung/Marktumfrage_2017.pdf | https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Markterhebung/Marktumfrage_2017.pdf |
| 36 | umweltbundesamt.de/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme | https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#textpart-1 |
| 37 | Hybridkollektoren | https://www.dgs.de/fileadmin/newsletter/2019/Intersolar_2019_Mueller.pdf |
| 38 | Die-groessten-solarparks-der-welt | https://xpert.digital/wussten-sie-es-die-groessten-solarparks-der-welt/ |
| 39 | Preis für Röhrenkollektor, Bildschirmfoto aus Jahr 2020 | https://heliogaia.de/roehrenkollektor_preis_330.jpg |
| 40 | Kältemittel, Treibhauspotential | https://de.wikipedia.org/wiki/Kältemittel |
| 41 | docs.b-tu.de/fg-bauoekonomie/Kalusche-Wolfdietrich/2016/orientierungswerte | https://www-docs.b-tu.de/fg-bauoekonomie/public/Forschung/Publikationen/Kalusche-Wolfdietrich/2016/orientierungswerte.pdf |
| 42 | Große Solarthermie-Anlage mit Saisonspeicher in Dänemark | https://www.energynet.de/2017/01/11/grosse-solarthermie-anlagen-weltrekord/ |
| 43 | citypopulation.de/de/germany/urbanareas/ | https://www.citypopulation.de/de/germany/urbanareas/ |
| 44 | umweltbundesamt.de/ | https://www.umweltbundesamt.de/ |
| 45 | bmwi.de/Navigation/DE/Home/home.html | http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Home/home.html |
| 46 | de.statista.com/statistik/kategorien/ | https://de.statista.com/statistik/kategorien/ |
| 47 | Agentur für erneuerbare Energien | https://unendlich-viel-energie.de/ |
| 48 | Thermische Solaranlage Voljens, Dänemark | https://www.enwipo.de/2015/08/20/weltgroesste-solarthermieanlage-nutzt-power-to-heat/ |
| 49 | Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft ... | https://www.bdew.de |
| 50 | Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. | https://www.agfw.de/ |
| 51 | Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Arbeitsgruppe/arbeitsgruppe_ee.html | http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Arbeitsgruppe/arbeitsgruppe |
| 52 | erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE | http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Home/home.html;jsessionid=910DFFBD5D568812AA247EAF75E5F45 |
| 53 | Atomenergie/ Kernenergie, Deutschland, Förderung | https://de.wikipedia.org/wiki/Kernenergie#Deutschland |
| 54 | VGB, internationaler Fachverband für die | https://www.vgb.org/de/ |

| | | |
|----|---|---|
| | Erzeugung und Speicherung von Strom und Wärme, non-profit-Organisation, freiwilliger Zusammenschluss von Unternehmen der Kraftwerksbetreiber und -hersteller | |
| 55 | Energiesparkonto | https://www.energiesparkonto.de/index.php?cmd=esk_landingPage&action=default |
| 56 | Öko-Institut e.V. Freiburg | https://www.oeko.de/ |
| 57 | ag-energiebilanzen.de/4-0-Arbeitsgemeinschaft.html | https://ag-energiebilanzen.de/4-0-Arbeitsgemeinschaft.html |
| 58 | Daten aller im solarkeymark geführten und geprüften Kollektoren | http://www.solarkeymark.nl/DBF/PDF_Downloads/SolarKeymark_Summary_Collectors.pdf |
| 59 | Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 | https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5 |
| 60 | Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update | https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update.pdf |
| 61 | volker-quaschnig.de/index.php | https://www.volker-quaschnig.de/index.php |
| 62 | bmwi Energieeffizienz-in-zahlen-2020 | https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2020.html |
| 63 | Jahreswärmespeicher für Einzelhäuser, Projekt Cottbus | http://www.cottbus-sonne.de/ |
| 64 | Geologische Karten Brandenburg | http://www.geo.brandenburg.de |
| 65 | Geoinformationen | https://bb-viewer.geobasis-bb.de/ |
| 66 | fbinter.stadt-berlin.de wfs01_08_geolschnitte_berlin@senstadt | http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/?loginkey=alphaDataStart&alphaDataId=wfs01_08_geolschnitte_berlin@senstadt |
| 67 | Begleituntersuchung von großen Wärmespeichern in Dänemark | https://www.solar-district-heating.eu/dk-monitoring/ |
| 68 | co2online.de heizenergieverbrauch | https://www.co2online.de/service/publikationen/trendreport-energie/heizenergieverbrauch/media/heizenergieverbrauch/ |
| 69 | denaGEBAEUDEREPORT2022 Energie im Gebäudebereich | https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-Gebaeudereport_2022.pdf |
| 70 | statistikportal.de/sites/default/files/2018-06/Z7100E%20201800_0.pdf | https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2018-06/Z7100E%20201800_0.pdf |
| 71 | regionalstatistik.de/ | https://www.regionalstatistik.de/ |
| 72 | destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch.html | https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch.html |
| 73 | Anzahl-der-gemeinden-in-deutschland-nach-gemeindegroessenklassen | https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1254/umfrage/anzahl-der-gemeinden-in-deutschland-nach-gemeindegroessenklassen |
| 74 | | |
| 75 | citypopulation.de/Deutschland_d.html | https://www.citypopulation.de/Deutschland_d.html |
| 76 | DWD, Globalstrahlung langjährige Mittel | https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_mv.html?nn=16102 |
| 77 | Offshore Windenergiepotential | https://www.offshore-stiftung.de/potential-der-windenergie-auf-see-deutschland-betr%C3%A4gt-laut-studie-mindestens-60-gw |
| 78 | Wärmepumpe Kältemittel | https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/technik/kaeltemittel |
| 79 | solarthermie-potenziale.de | http://www.solarthermie-potenziale.de/cms/wp-content/uploads/2014/05/Solarthermie_in_Einfamilienhausern_Wuestenrot_Stiftung.pdf |
| 80 | energie-lexikon.info/heizwert.html | https://www.energie-lexikon.info/heizwert.html |
| 81 | deutschlandin zahlen.de ; wohnflaeche-je-einwohner | https://www.deutschlandin zahlen.de/tab/deutschland/infrastruktur/gebäude-und-wohnen/wohnflaeche-je-einwohner |
| 82 | statistik-berlin-brandenburg.de/ | https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/ |

| | | |
|-----|--|---|
| 83 | gigaTES, Innsbruck | https://gigates.at/index.php/de/ |
| 84 | stadtentwicklung.berlin.de/ | https://www.stadtentwicklung.berlin.de/ |
| 85 | fbinter.stadt-berlin.de | https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=k06_01_1realnutz2015@senstadt |
| 86 | Karten von künftigen Überschwemmungsgebieten | https://coastal.climatecentral.org/map/7/8.5076/53.9963/?theme=sea_level_rise&map_type=coastal_dem_comparison&basemap=roadmap&contiguous=true&elevation_model=best_available&el=kopp_2017 |
| 87 | opentopomap.org | https://opentopomap.org/#map=13/53.37171/12.52270 |
| 88 | KfW... Energieeffizienz-Studie | https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article115010523/Die-KfW-deutet-ihre-Energieeffizienz-Studie-um.html |
| 89 | Solare Nahwärme Eggenstein | https://www.youtube.com/watch?v=iJH5xXA5pM |
| 90 | fussbodenheizung24; Leistungstabellen Fußbodenheizung | https://heliogaia.de/leistungstabelle_datenblatt_fbh24.pdf |
| 91 | Endenergieverbrauch für Wärme; 3_tab_energieverbrauch-eev-sektor-waermezwecke_2018-02-14.pdf | https://www.umweltbundesamt.de/bild/tab-energieverbrauch-des-gesamten-eev-sektors-fuer |
| 92 | Erklärung zu solarkeymark vgl.[58] | https://blog.paradigma.de/wie-findet-man-den-kollektorertrag-der-solaranlage-kwh/ |
| 93 | Das Berliner Solarpotenzial | https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/HTW-Berlin-2018-Das-Berliner-Solarpotenzial.pdf |
| 94 | studie_dezentrale_vs_zentrale_waermeversorgung.pdf | https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/pressemitteilungen_pdf/studie_dezentrale_vs_zentrale_waermeversorgung.pdf |
| 95 | Kollektoranlagen_und_Naturschutz_mit_Text_Markierungen_NABU-BSW-Papier-1.pdf | https://heliogaia.de/Kollektoranlagen_und_Naturschutz_mit_Text_Markierungen_210428_NABU-BSW-Papier-1.pdf |
| 96 | Energiedaten_gesamt_xls; BMWI | https://heliogaia.de/t/energiedaten-gesamt.xls |
| 97 | 2019: Expertenkommission „Energie der Zukunft“, Stellungnahme zu 2017 | https://www.dieter-bouse.de/app/download/5814210241/BMWI_2_+Fortschrittsbericht+zur+Energiewende+BJ+2017+-+Stellungnahme |
| 98 | Palmölanbau zerstört Regenwald | https://www.regenwald.org/themen/palmoel |
| 99 | Wirkungsgrad der Photosynthese | https://de.wikipedia.org/wiki/Photosynthese |
| 100 | Energiebilanz der Biogaserzeugung aus Gras- und Maissilage (2007) | https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2007_kelm_tauben.pdf |
| 101 | biogas.faustzahlen (2019) | https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/ |
| 102 | Permafrost- Kohlenstoffspeicher | https://www.welt.de/wissenschaft/article7471068/Im-Permafrost-lauert-der-groesste-Kohlenstoff-Schatz.html |
| 103 | Weltagrarbericht, Flächennutzung | https://www.weltagrarbericht.de/aktuelles/nachrichten/news/de/33208.html |
| 104 | Klassifizierungen im Gebäudeenergiebedarf | https://de.wikipedia.org/wiki/Energiestandard |
| 105 | Jahreswärmespeicher für Einzelhäuser; Michael Wittig: Raumheizung mit Solarkollektoren und Jahreswärmespeicher; In: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik; VDI-Verlag, 06/1992, S. 309-311 | https://heliogaia.de/hypokaustenhaus.pdf |
| 106 | geothermie erdbebenrisiko | https://www.spektrum.de/news/geothermie-erdwaerme-ist-womoeglich-nicht-ohne-erdbebenrisiko-zu-haben/1634696 |
| 107 | SolarServer, PV-Potential, Fassaden- und Dachflächen in Deutschland, 2344km² | https://www.solarserver.de/2007/08/03/ecofys-mehr-als-2300-quadratkilometer-gebaeudelaeche-fuer-photovoltaik-und-solarthermie |
| 108 | Prüfdaten von Solarthermiekollektoren; solarkeymark datenbank | https://solarkeymark.eu/database/ |
| 109 | Solar nutzbares Flächenpotential | https://fdw-online.de/de/news761507 |
| 110 | Kosten für Jahreswärmespeicher in Projekten der letzten Jahre | https://www.ikz.de/fileadmin/news_import/IKZF_20200515_014_01_05_picture-0005.jpg |
| 111 | Inflationsrate | https://www.finanz-tools.de/inflation/inflationsraten-deutschland |

| | | |
|-----|--|---|
| 112 | Klimaschutz Plan | Ihr habt keinen Plan, darum machen wir einen! (2019) von Claudia Langer u.a. |
| 113 | Solites | http://www.solites.de/ |
| 114 | Volllaststunden Windenergieanlagen | https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen |
| 115 | Energie sparen im Haushalt | https://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-ba |
| 116 | Klimaschutz Plan | Handbuch Klimaschutz (2020) von Karl-Martin Hentschel u.a. |
| 117 | ANGUS untersucht die Verwertbarkeit des Untergrundes für Energiezwecke | https://www.uni-kiel.de/de/detailansicht/news/137-angus-ii# |
| 118 | Wohnfläche | https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21_326_31231.html |
| 119 | Liste von Solarthermiekollektoren, Vergleich der Jahreserträge für 50° | https://blog.paradigma.de/die-besten-solkollektor-liste/ |
| 120 | Liste von Solarthermiekollektoren, Vergleich der Jahreserträge für 75° | https://blog.paradigma.de/die-besten-kollektoren-fuer-hohe-temperaturunterschiede-75/ |
| 121 | Ökologischer Fußabdruck (kurz) | https://www.fussabdruck.de/fussabdrucktest/#start/index/ |
| 122 | Der Kumulierte Energieaufwand (KEA)im Baubereich | http://inas.org/tl_files/inas/downloads/GEMIS/1999_kea-bau.pdf |
| 123 | Solarthermie2000plus (2008 bis 2012) | https://www.igte.uni-stuttgart.de/veroeffentlichungen/publikationen/AB_SUN_FKZ_0329607P.pdf |
| 124 | Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050, Umweltbundesamt 2014 | https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/089/45089736.pdf |
| 125 | Ökologischer Fußabdruck (ausführlich) | https://www.wwf.de/themen-projekte/klima-energie/wwf-klimarechner |
| 126 | Blütenmeer im Kollektorfeld, Tierhaltung | https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2020/04/Energiekommune_2020_04_SolareWaermenetze.pdf |
| 127 | Wirkungsgrad des Wasserstoff-Speichersystems | https://www.pro-physik.de/nachrichten/strom-zu-wasserstoff-und-wieder-zurueck |
| 128 | 157.000 m ² Kollektorfeld Silkeborg (Dänemark) | https://www.solarserver.de/2021/09/10/waerpumpe-ergaenzt-weltgroesste-solarthermie-anlage-in-silkeborg |
| 129 | Neue Gasfelder auf Kosten der Ureinwohner: | https://www.t-online.de/nachhaltigkeit/klima-und-umwelt/id_100244952/australien-kritik-am-12-milliarden-projekt-zur-foerderung |
| 130 | Elektro-Energie Charts, interaktiv, Fraunhofer ISE | https://energy-charts.info/?l=de&c=DE |
| 131 | Windenergiepotential | https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial_der_windenergie.pdf |
| 132 | Umweltbundesamt; nachhaltige Waldwirtschaft | https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/nachhaltige-waldwirtschaft#holznutzung-nahe-am-zuwachs |
| 133 | das Energiewende-Szenario 2020 Öko-Institut 1996 | https://www.oeko.de/oekodoc/98/1996-001-de.pdf |
| 134 | Potenzialatlas 2020 | https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/319.Potenzialatlas_2_Auflage_Online.pdf |
| 135 | Agentur für erneuerbare Energien, Statistik, förderal erneuerbar | https://www.foederal-erneuerbar.de/startseite |
| 136 | Batteriespeicher | https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/stromspeicher/uebersicht/ |
| 137 | 1000 KM rein elektrisch ohne tanken! unterwegs im Supersportwagen Gumpert Nathalie | https://www.youtube.com/watch?v=yH4SPFEJR-s |
| 138 | LCOS, Preise für Speicher | http://energiespeicher.blogspot.com/2017/12/lcos-levelized-cost-of-storage-preis.html |
| 139 | Das GRÜNE Energiewende-Szenario 2020 von 1996 | https://www.oeko.de/oekodoc/98/1996-001-de.pdf |
| 140 | Sanierungskosten | https://www.sparkasse.de/themen/sanierung-modernisierung-renovierung/was-kostet-eine-modernisierung.html |
| 141 | Kernenergie/ Atomenergie, Kosten/Förderungen seit 1955 | https://foes.de/publikationen/2020/2020-09_FOES_Kosten_Atomenergie.pdf |
| 142 | Kältemittel, Treibhauspotential, Übersicht über Treibhausgase vom Umweltbundesamt | https://heliogaia.de/treibhauspotentiale_gwp_ausgewaehltter_verbindungen_und_deren_gemische.pdf |

| | | |
|-----|---|---|
| 143 | VERORDNUNG (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase | https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TEXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517&rid=1 |
| 144 | Agora Verkehrswende | https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Die_Kosten_synthetischer_Brenn-_und_Kraftstoffe_bis_2050/Ag |
| 145 | Agora Energiewende | https://www.agora-energiewende.de/ueber-uns/agora-energiewende/ |
| 146 | Koalitionsvertrag, Ampelregierung 2021 | https://www.spd.de/koalitionsvertrag2021/ |
| 147 | Windkraft_2030, Ausblick: aus https://www.lee-nrw.de/data/documents/2020/11/23/532-5fbb61e5e6bb2.pdf | https://heliogaia.de/windkraft_bis_2030_markierter_text_532-5fbb61e5e6bb2.pdf |
| 148 | Landschaftsästhetische Auswirkungen von Windkraftanlagen, Landschaftsarchitekt Prof. Dr. Werner Nohl | https://heliogaia.de/landschaftsaesthetische_auswirkungen_nohl-windkraft1375881239.pdf |
| 149 | Kollektoranlagen und Naturschutz; NABU | https://heliogaia.de/Kollektoranlagen_und_Naturschutz_mit_Text_Markierungen_210428_NABU-BSW-Papier-1.pdf |
| 150 | Genehmigung für große Solarthermie aus Behördensicht | https://www.solarserver.de/2022/04/27/genehmigung-fuer-grosse-solarthermie-aus-behoerdensicht/ |
| 151 | Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland; bdew 2019 | https://heliogaia.de/20190529_Waermeverbrauchsanalyse-Foliensatz-2019_42oo8Va.pdf |
| 152 | Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland; bdew 2022 | https://heliogaia.de/Waermeverbrauchsanalyse_Foliensatz-2022.pdf |
| 153 | Photovoltaisches geografisches Informationssystem, Sonnenlauf am Standort in Tabellenform | https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/de/ |
| 154 | Mieterbund, Betriebskostenspiegel | https://mieterbund.de/service/checks-formulare/betriebskosten/betriebskostenspiegel/ |