

# SOLARTHERMIE MIT ERDBECKENWÄRMESPEICHER

## EIN ERFAHRUNGSBERICHT AUS DÄNEMARK

Im Juni 2021 durften die DGS-Mitglieder Prof. Gerhard Mengedoht und Dipl.-Ing. Jörg Linnig an einer Exkursion zur Dänischen Technischen Universität (DTU) in Lyngby bei Kopenhagen teilnehmen. Prof. Mengedoht war zu dieser Zeit als Gastprofessor im Rahmen eines Forschungssemesters in der Solar Group von Prof. Simon Furbo tätig. Begleitet wurden beide auf einer Exkursion zur Stadt Marstal (Insel Ærø) von Prof. Jianhua Fan, einem langjährigen Mitglied der Solar Group von Prof. Furbo.

Im Rahmen eines umfangreichen Erfahrungsaustauschs berichtete Prof. Furbo zunächst über die Situation der Solarthermie in Dänemark: In der Vergangenheit hatte sich Dänemark zu einem der Pioniere der großen Freiflächen-Solarthermie z. B. in Kombination mit saisonaler Wärmespeicherung durch sehr große Erdbeckenwärmespeicher insbesondere im Bereich der Nutzung in

Nahwärmenetzen, entwickelt. Auch was die Forschung und Entwicklung im Bereich der Solarthermie anbelangt, ist das vergleichsweise kleine Dänemark, sowohl in der Zahl der solarthermischen Fernwärmesysteme als auch in der betriebenen großen Kollektorfläche, weltweit führend. Diese Systeme wurden meist im Verbund mit Biomasse KWK-Systemen und seit einiger Zeit auch mit Großwärmepumpen (Bild 1) errichtet. Jedoch wurde der stetig wachsende Zubau seit ca. 2021 „ausgebremst“. Eine aus unserer Sicht völlig unverständliche Entwicklung. Eine der wesentlichen Ursachen hierfür ist, nach Aussage unserer Gastgeber, der starke Einfluss der Energiewirtschaft und eine veränderte politische Situation. So endete Ende 2016 eine rund 10%ige Subventionsförderung.

Auch wenn der Anteil der Elektrizität in der Wärmeversorgung noch relativ gering ist, ist das Wachstum im Bereich

der Elektrizität deutlich zu erkennen (Bild 2). Damit scheint auch in Dänemark der Trend zu einer Elektrifizierung des Wärmemarktes seinen Anfang zu nehmen. Sowohl das Team um Prof. Furbo als auch alle Beteiligten, die wir während der Exkursion kennenlernen durften, sehen diese Entwicklung mit Besorgnis, da es den Klimaschutz um ein effizientes EE-Werkzeug ärmer macht.

Folgende vier Gründe macht Prof. Furbo für die Verlangsamung des dänischen Marktes für große Solarthermieanlagen verantwortlich:

- Keine Besteuerung von Biomasse
- Wärmepumpen werden aufgrund der guten Wirtschaftlichkeit in großer Zahl installiert
- Die dänische Energiebehörde unterstützt Fernwärmeunternehmen bei der Installation von großen Wärmepumpen in Fernwärmesystemen

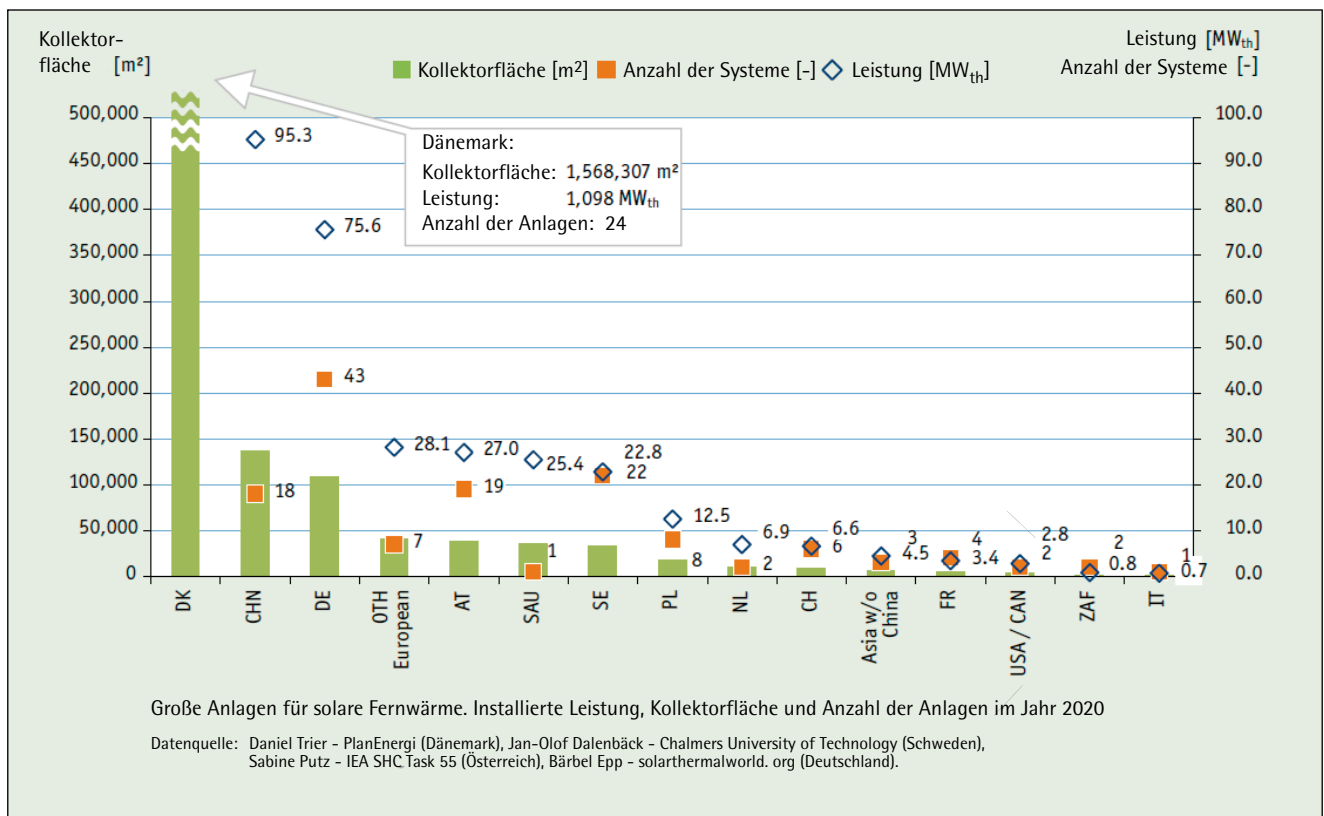


Bild 1: Solarthermische Fernwärmanlagen in der Welt bis Ende 2020

- Drastische Senkung der Stromsteuer für Fernwärmeunternehmen seit 2021 (von 0,21 DKK/kWh auf 0,004 DKK/kWh)

### Die Exkursion

Auf der Insel angekommen wurden wir von Leo Holm, dem Projektmanager der Firma PlanEnergi in Marstal, freundlich in Empfang genommen. Holm ist ein dänischer Pionier für solarthermische Großanlagen im Verbund mit Großwärmespeichern und war lange Zeit Manager und Projektkoordinator der Marstal Fjernvarme. Es war ein beeindruckendes Erlebnis über 75.000 m<sup>3</sup> Wasser mit einer Temperatur von etwa 75°C zu laufen, welches nur durch eine schwimmende Wärmedämmung von der Umgebung getrennt ist (Bild 3).

Bei der Anlage wird die Sonnenenergie über eine Kollektorfläche von insgesamt 33.365 m<sup>2</sup> in den Erdbeckenwärmespeicher (auch LTES oder PTES genannt) gespeichert. Der Clou: Durch sein sehr großes Volumen im Verhältnis zur Oberfläche benötigt der Wärmespeicher lediglich eine wärmedämmende Abdeckung, um die solarthermische Wärme aus dem Sommer für den Winter zu nutzen (Bild 4). Mit Batteriespeichern ist aktuell so etwas, vor allem in dieser Speicherdichte, nicht möglich. Der Wasserinhalt wird im Sommer auf bis zu 95° C erwärmt um im Winter mit der Fernwärme bei etwa 55 % solarem Deckungsgrad etwa 2/3 der etwa 3.000 Bewohner:innen der Stadt Marstal mit Heiz- und Wärmeenergie versorgen (Bild 5). Bei dem Speicher handelt es sich um eine Art künstlich angelegten See in Form eines umgekehrten Pyramidenstumpfes. Nach unten und zur Seite hin ist der Speicher lediglich mit einer Folie abgedichtet und völlig ungedämmt (Bild 6). An der Speicheroberfläche ist eine schwimmende Wärmedämmung angebracht, die entsprechend mit Kies beschwert ist und so ausgeführt ist, dass das Regenwasser zur Mitte hinläuft und abgeführt werden kann.

Der fehlende Wärmebedarf von etwa 45 % wird zwischenzeitlich über einen Holzhackschnitzelkessel mit einer Leistung von 4 MW sowie einer Wärmepumpe von 1,5 MW ergänzt. Die Wärmepumpe nutzt als Kältemittel CO<sub>2</sub> mit geringer Klimaschädlichkeit. Über eine ORC-Anlage wird Überschusswärme im Sommer zusätzlich verstromt. Die elektrische Erzeugungsleistung liegt bei 750 kWel.

Voraussetzung für eine hohe solare Deckung ist aber auch die optimierte Fernwärmeversorgung mit Rücklauftemperaturen von etwa 33° bis 40° C. Im Vergleich hierzu liegen unsere Fernwärmenetze bzw. die Rücklauftemperaturen

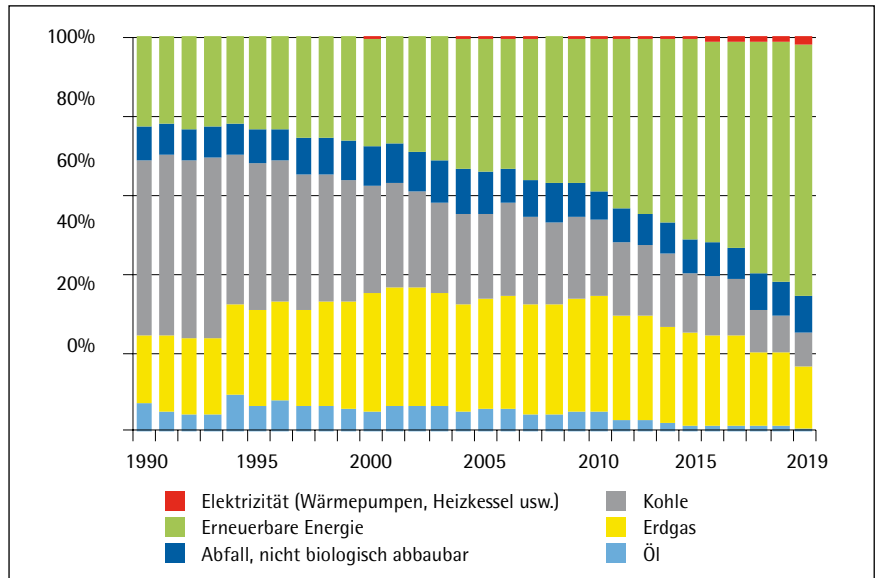


Bild 2: Der Energiemix für Fernwärme in Dänemark



Bild 3: Leo Holm (4. Person v.r.) erläutert die schwimmende Dämmung vom Erdbeckenwärmespeicher

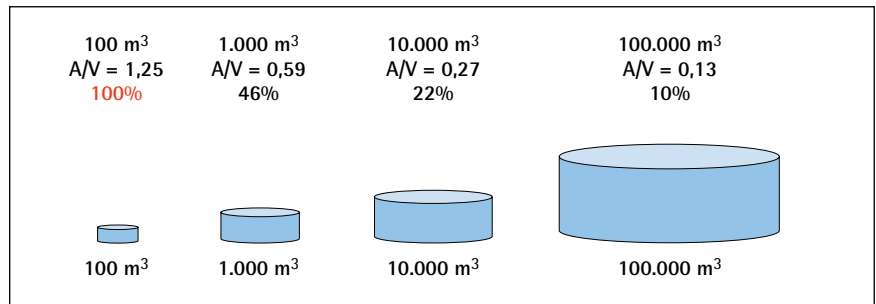


Bild 4: Große Wärmespeicher mit relativ kleiner Oberfläche sind energietechnisch am effizientesten

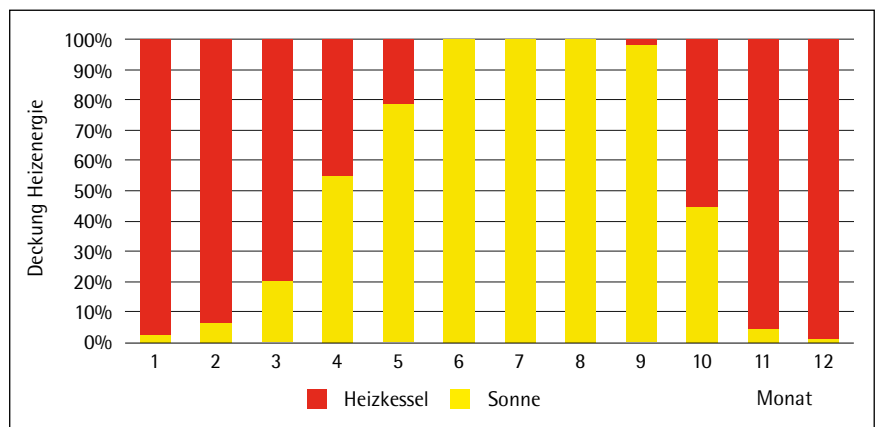


Bild 5: Monatliche solare Deckung der Wärmeproduktion (2005)

Quelle: Simon Furbo, DTU, 2021

Foto: Mengedot

Quelle: Mengedot

Quelle: Leo Holm, PlanEnergi

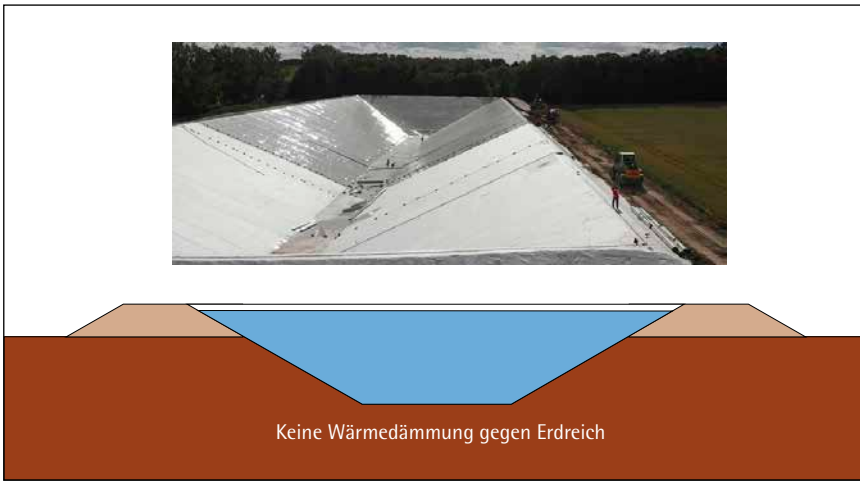


Bild 6: Aufbau eines neuen Erdbeckenwärmespeichers (LTES) in Høje-Taastrup bei Kopenhagen mit einem Wasservolumen von 70.000 m<sup>3</sup>, Konzept eines Erdbeckenwärmespeichers (LTES, PTES) mit schwimmender und gleichzeitig begehrbarer Dämmung

Quelle: Simon Furbo, DTU

häufig bei etwa 60 bis 70° C und höher. Dies liegt häufig auch an den schlecht ausgelegten Anlagen der Fernwärme-kunden, die Anlagen mit zu klein ausgelegten Heizflächen und fehlendem hydraulischen Abgleich betreiben. Mit optimierten hydraulischen Konzepten ist es den Betreibern möglich, die Anlage auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu nutzen. Der Wärmepreis liegt etwa bei 0,04 €/kWh. Im Vergleich hierzu liegt der Fernwärmepreis in Deutschland zwischen 0,18 und 0,25 €/kWh.

### Die Energieversorgung von Ærø

Nach der hochinteressanten Führung durch die Gesamtanlage ging es weiter in das Kommunikationszentrum der Kommune. Dort wurde wir von Cecilie Larsen, eine der vier Klimaschutzmanager:innen empfangen. Im Rahmen einer Präsentation erläuterte sie die Geschichte und weiteren Ziele zu einer energieautarken und klimaneutralen Energieversorgung der Insel. Hierbei wurde schon einiges umgesetzt, so konnte der CO<sub>2</sub>-Ausstoß

etwa von 2009 bis 2018 bereits um 44% reduziert werden (Bild 7).

Die ambitionierten Ziele für Ærø:

- 2025: CO<sub>2</sub>-Neutralität bei Wärme und Strom
- 2030: CO<sub>2</sub>-neutral und fossilfrei ohne Fähren
- 2035: CO<sub>2</sub>-neutral und fossilfrei inkl. Fähren
- 2040: CO<sub>2</sub>-neutral und fossilfrei auf der gesamten Insel

Der derzeitige Status:

- Ökostrom: 6 x 2 MW-Windturbinen produzieren im Jahresdurchschnitt 120 bis 145 % des Verbrauchs von Ærø (deckt ca. 65 %)
- Gebäude: Letzter kommunaler Öl-ofen wurde 2017 ersetzt
- Heizung: Fernwärme = 55% Sonne, (noch) 675 private Öl-Heizungen
- Verkehr:
  - Elektro- und Hybridfähren
  - Elektroautos
  - Solar-Busse

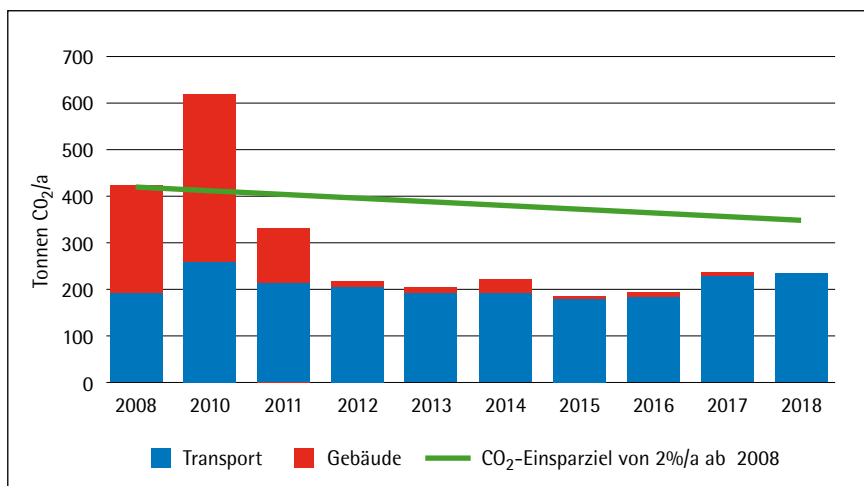


Bild 7: Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von 2009 bis 2018 auf der Insel Ærø

Um das Ziel der völligen Autarkie zu erreichen, soll auf Basis von hoher Bürgerbeteiligung folgendes umgesetzt werden:

- Erhöhung des Anteils regenerativer Energieträger
- Substitution und Austausch aller Ölheizungen oder sonstigen Heizungen mit fossilen Energieträgern
- Bürgerberatung, Energieberatung und Aufklärung (Anlagentechnik und Wärmeschutz)
- Netzausgleich
  - Speicherung
  - Sektor-Kopplung
  - Anpassung Verbraucherverhalten
- Mobilität und Transport
  - Umstellung aller Fähren auf elektrische Antriebe
  - E-Busse mit Solarmodulen
  - E-Mobilität und Car-Sharing

Im Übrigen wurde die Insel Ærø nur wenige Tage vor unserem Besuch zur nachhaltigsten Insel Europas erklärt und ausgezeichnet.

### Der Weg zur klimaneutralen Energieversorgung

Bei solchen Zielen und unter Berücksichtigung des bereits Erreichten kann sicherlich die Frage gestellt werden, wie eine solch kleine Insel uns um so viele Jahre in Sachen Klimaschutz voraus sein kann und was die Kommune Ærø anders macht.

Nun, da müssen wir in den 1970er Jahren beginnen. Unter dem Eindruck der Öl-Krise und des Berichts des Club of Rome zur Lage der Menschheit „Die Grenzen des Wachstums“ gründete man aus der Bürgerschaft heraus ein Energiebüro und überlegte, was man tun kann, um langfristig vom Öl unabhängiger zu



Bild 8: Erstes Bürgerbüro in den 1970er Jahren





Quelle: Simon Furbo, DTU

Bild 9: Mitarbeiter der Kommune Ærø mit den vier Klimaschutzmanagern bei der Verleihung des RESponsible Island Prize 2020

werden und den drohenden CO<sub>2</sub>-Anstieg zu begrenzen. Im Grunde lebte man bereits das, was auf der Klimakonferenz in Rio 1992 als Handlungsempfehlung aufgerufen wurde:

„Global denken! Lokal handeln!“

Aus dieser Bürgerbewegung heraus wurde von der Kommune das EnergyLab und ein Komitee für erneuerbare Energien gegründet. Mit vier Klimaschutzmanagern für 6.000 Einwohner bei insgesamt 25 Mitarbeitern innerhalb der Kommune ist dies ein beeindruckendes Engagement und Bekenntnis zu dem Willen, unser Klima ernsthaft zu schützen.

Neben der Solaren Fernwärmeversorgung werden sechs Windturbinen mit jeweils 2 MW betrieben. Mehrere hundert Bürger der Insel sind Miteigentümer. Dieses tolle Engagement über nunmehr mehr als 30 Jahre zeigt, was möglich ist, wenn Klimaschutz ernst genommen wird. Wäre es nicht schön, uns von diesem Geist beseelen zu lassen?

Eine Lehre aus dem Erfolgsmodell von Ærø könnte daher sein, die Netze in genossenschaftlich organisierte Netzbetriebe (Wärme/Strom) mit hoher Bürgerbeteiligung zu überführen. Dieser wesentliche Baustein der Energiewende könnte auch verhindern, dass mit den, zu einem großen Teil auch mit öffentlichen Mitteln geförderten, Investitionen in den Klimaschutz diese dem Gemeinwohl und nicht dem Alleinwohl einiger zugutekommt.

Leider gibt es viele, die von sich behaupten zu wissen, wo der Weg zur Klimaneutralität und damit zum Überleben der Menschheit (das ist es, um was es letztlich geht) langführt. Ein Pfad ist der einer völligen Elektrifizierung unserer Energieversorgung. Doch niemand kann heute wissen, wo dieser Weg möglicherweise endet und ob er breit genug ist, damit alle ihn gehen können.

Alles in allem war der Besuch unserer Nachbarn in Dänemark für uns sehr motivierend und inspirierend. Es tut gut zu sehen, dass es Menschen gibt, die einfach das tun, was sie für richtig und wichtig

halten, während andere immer noch darüber diskutieren, was aus welchen Gründen gar nicht funktionieren kann. So wie die Hummel, die nach den Gesetzen der Aerodynamik unmöglich fliegen kann. Die Hummel weiß das aber nicht und fliegt einfach. So erinnert uns die Insel Ærø doch an ein gallisches Dorf.

So könnte das Schlusswort denn dann lauten:

„Wir befinden uns im Jahre 2021 n.Chr. Ganz Europa ist von einigen wenigen Energieversorgungsunternehmen besetzt... Ganz Europa? Nein! Eine von unbeugsamen Dänen bevölkerte Insel hört nicht auf, dem Eindringling Widerstand zu leisten. Und das Leben ist nicht leicht für die europäischen Legionäre, die als Besatzung in den befestigten umliegenden Ländern liegen...“

#### Weitere Informationen

- <https://www.solarmarstal.dk/>
- <https://www.solarmarstal.dk/english/gallery/overview-solar-panels/>
- <https://vimeo.com/user3541889/review/131825993/b0cd6f43cf> (schöner Film über EE auf Ærø)

#### ZU DEN AUTOREN:

► Jörg Linnig  
IB EUKON

joeerg.linnig@eukon.de

► Prof. Dr.-Ing. Gerhard Mengedoht  
Technische Hochschule Ulm, THU  
mengedoht@solares-bauen-und-sanieren.de



Quelle: Linnig/Mengedoht

Bild 10: rechts: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Mengedoht, links: Dipl.-Ing Jörg Linnig bei der Überfahrt mit einer Fähre auf die Insel Ærø.