



Solarthermie

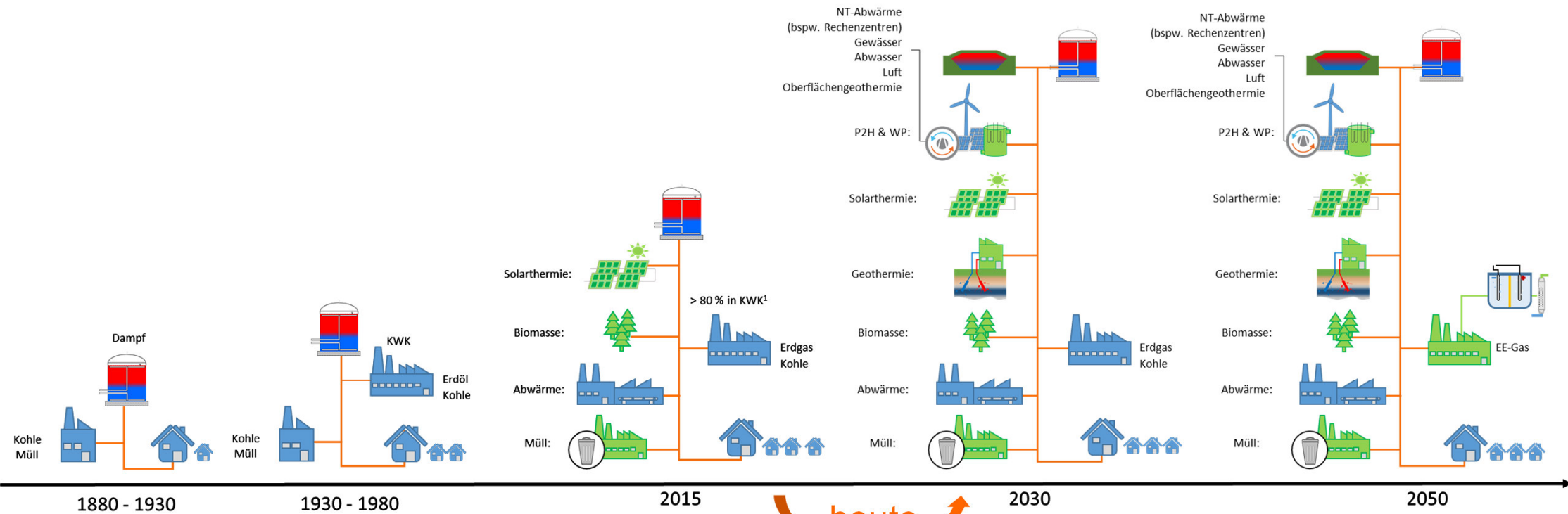
Einblicke in die Technik und Wirtschaftlichkeit

Dr. Jens Kühne | 26. September 2023 | Kiel

AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.
www.agfw.de



- » **AGFW** fördert seit über 50 Jahren als effizienter, unabhängiger, neutraler Verband die KWK sowie Wärme- und Kältesysteme auf nationaler und internationaler Ebene.
- » **AGFW** vereint mehr als 650 Fernwärme- und Kälteversorger (regional und kommunal) sowie Industriebetriebe der Branche aus Deutschland und Europa
- » **AGFW** vertritt über 95% des deutschen Fernwärmeanschlusswertes (57.000 MW_{th}) – den größten Westeuropas
- » **AGFW** hat die Fachkompetenz über die gesamte Prozesskette der effizienten Wärme- und Kälteversorgung sowie der Kraft-Wärme-Kopplung



¹ AGFW-Hauptbericht 2015

Eigene Darstellung nach (Klimapfade für Deutschland, BCG und prognos, 2018) und ergänzt durch (Generationen der Fernwärme)

» **Individuelle Fernwärme wird noch individueller**

- Erzeugungspark wird zunehmend heterogener
- Lokale Gegebenheiten werden immer wichtiger

» **Erneuerbare Wärmeerzeuger dekarbonisieren die Fernwärme**

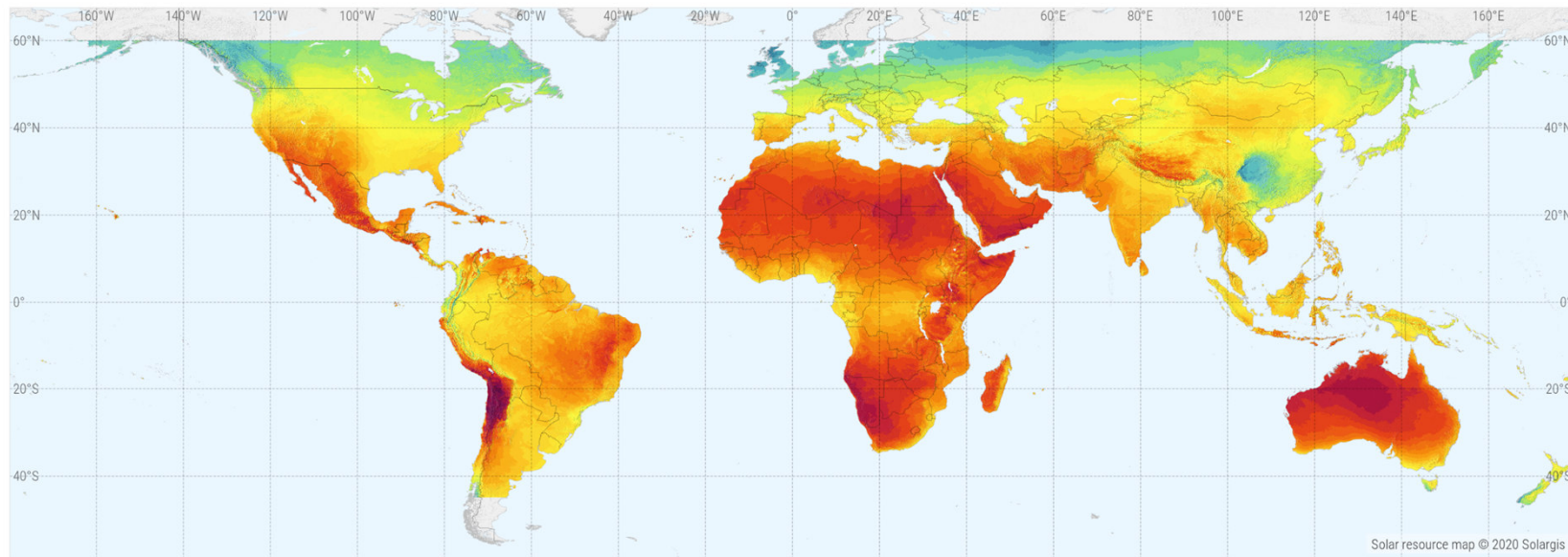
» **Sektorkopplung gewinnt an Bedeutung**

Grundlagenwissen Technik

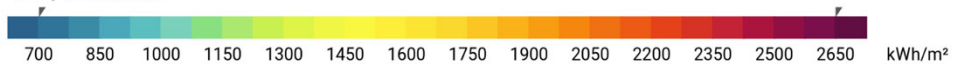
- » **Globalstrahlung: auf einer horizontalen Fläche auftreffende Sonnenstrahlung bestehend aus direkter Strahlung und gestreuter (diffuser) Strahlung**
- » **Anteil direkter Sonnenstrahlung abhängig von Sonnenhöhe zwischen 1/3 und 3/4 ([Deutscher Wetterdienst](#))**

GHI 2019

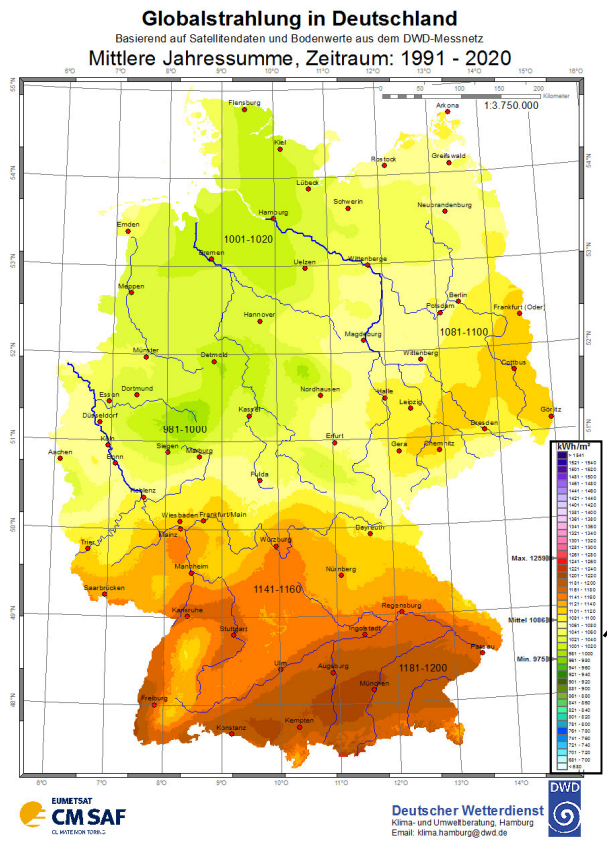
SOLARGIS



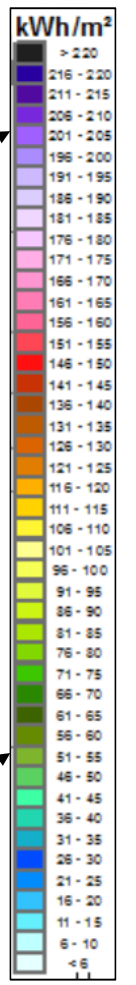
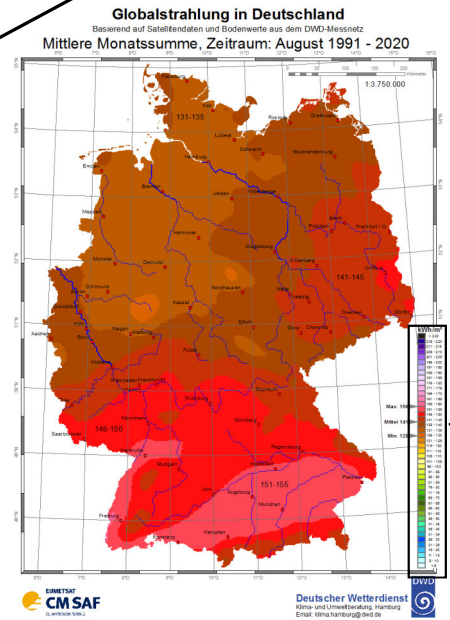
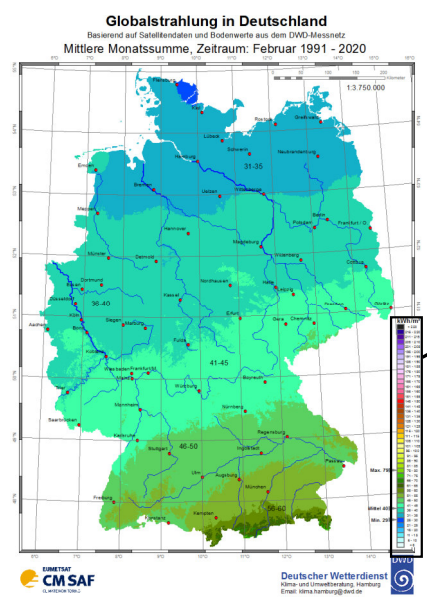
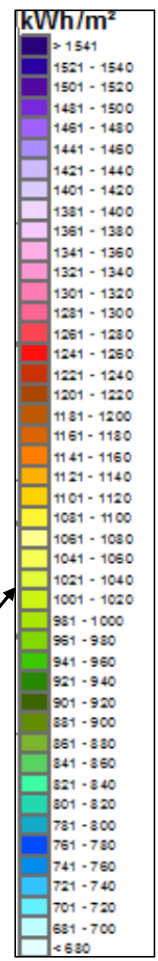
Global horizontal irradiation (GHI):
Yearly totals in 2019



(Bildquelle: SOLARGIS, www.solargis.com, Zugriff 04.02.2022)



Max. 1.259 kWh/m²(a)
Min. 957 kWh/m²(a)
Ø 1.086 kWh/m²(a)





Flachkollektoren



Vakuüm-Röhrenkollektoren



Parabolrinnenkollektor

» Unterscheidung wichtiger Flächen

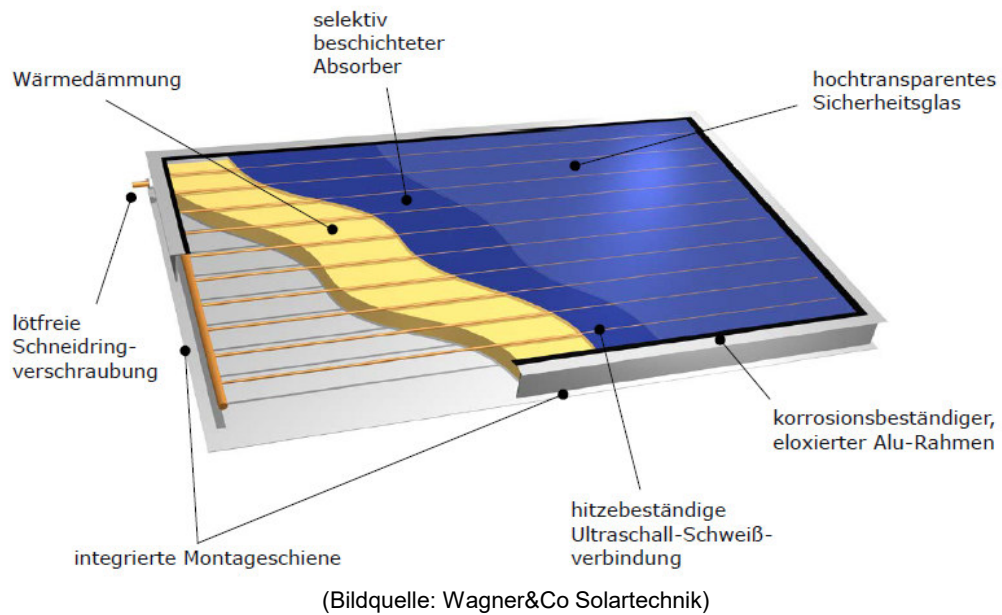
- Aufstellfläche
- Bruttokollektorfläche
- Aperturfläche
- Absorberfläche

Kollektorgeometrie,
beschrieben in DIN EN ISO 9488:2001

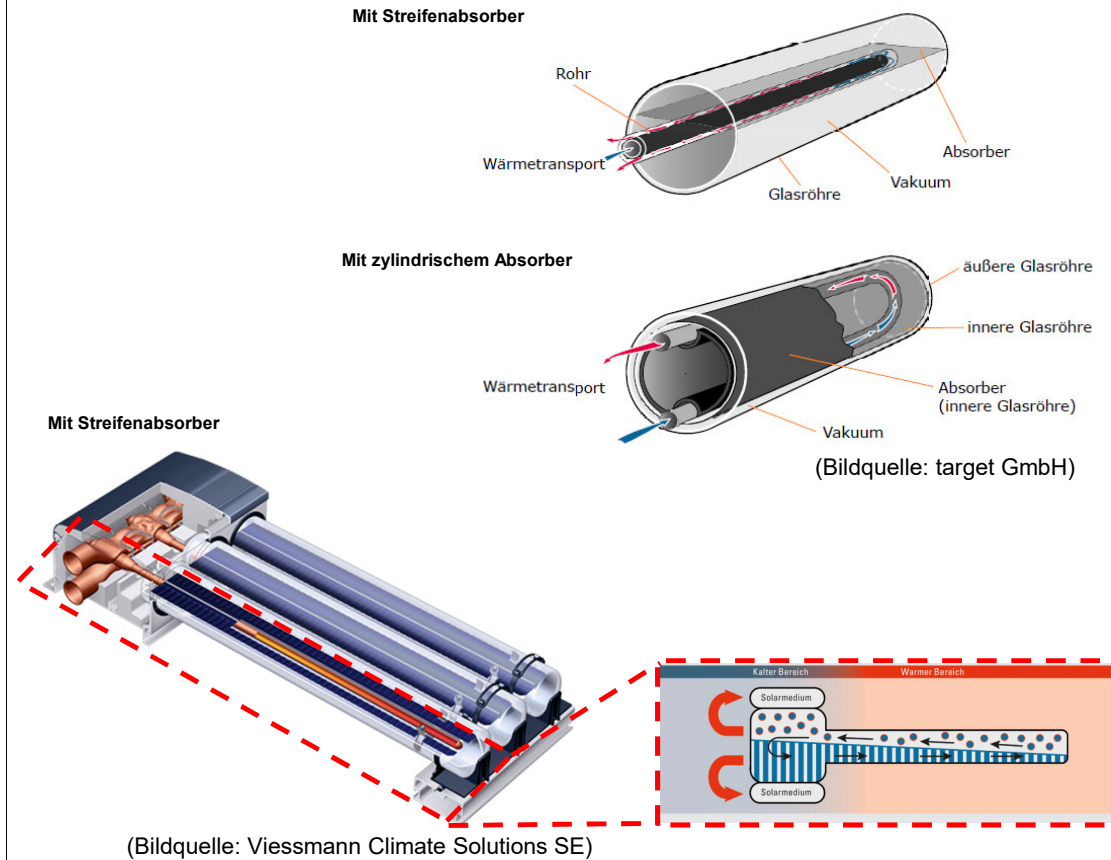
Faustformel

$$\frac{\text{Aufstellfläche}}{\text{Bruttokollektorfläche}} = 2 \dots 3$$

Aufbau eines Flachkollektors



Aufbau eines Vakuumröhren-Kollektors



Hochtemperatur Flachkollektoren



Standort: Berlin-Köpenick



1.058 m²(Kollektorfläche)
440 MWh/a (erwartet)
Köpenick: 75.000 MWh/a
Rücklaufanhebung

Vakuurröhren-Kollektor



Ludwigsburg: Flachkollektoren



(Bildquelle: Solarthemen Media GmbH, www.solarserver.de, Zugriff 07.02.22)

Deponie Graz: Flachkollektoren



(Bildquelle: Hamburg Institut)

Vakuurröhren-Kollektor



Solarthermie

Energiebunker Hamburg



(Bildquelle: Hamburg Energie)

PV



Ludwigsburg, Deutschland
14.800 m² Kollektorfläche
Inbetriebnahme Spätsommer 2020
5.500 MWh/a bei 9 MW_p



Silkeborg, Dänemark
150.000 m² Kollektorfläche
Inbetriebnahme Ende 2016
80.000 MWh/a entspricht ca. 20 % des Jahresbedarfs

Einheit	Flachkollektor	Röhrenkollektor	Quelle
$\text{kW}_p/\text{m}^2_{\text{Apertur}}$	0,7		IEA SHC Task 52: Solar Thermal and Energy Economy in Urban Environments, Report C2 - Technology and Demonstrators, 2018, S. 11, Best Practice Silkeborg
$\text{kW}/\text{m}^2_{\text{Brutto}}$	0,65		
$\text{kW}_p/\text{m}^2_{\text{Brutto}^*}$		0,7	Viktor Wesselak et a., Regenerative Energietechnik, 2. Auflage, 2013, Kapitel 5 Solarthermie
$\text{kW}/\text{m}^2_{\text{Brutto}}$	0,7		IEA SHC Task 52: Solar Thermal and Energy Economy in Urban Environments, Report C1 - Technology and Demonstrators, 2018, Table 6, S. 16, Benchmark of ground-mounted solar thermal systems
$\text{kW}/\text{m}^2_{\text{Brutto}}$		0,7**	Förder- und Finanzierungsleitfaden für Freiflächen-Solarthermie-Anlagen mit Wärmespeicher und Anbindung an Wärmenetze, Hamburg Institut, Auflage 2, 2016, S. 22

Einheit	Flachkollektor	Röhrenkollektor	Quelle
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}^*}$	340 – 450	450 - 540	Patrick Geiger, Solarthermie und Wärmenetze – eine Kombination mit Zukunft, vorgestellt Okt. 2019, Folie 26
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}}$		480	Patrick Geiger, Solarthermie und Wärmenetze – eine Kombination mit Zukunft, vorgestellt Okt. 2019, Folie 29
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}^*}$	373	409	Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU, 2014, Table 12 and Table 13, Overview of solar thermal heating plants
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}}$	365 - 410		IEA SHC Task 52: Solar Thermal and Energy Economy in Urban Environments, Report C1 - Technology and Demonstrators, 2018, Table 6 (and 7), S. 16, Benchmark of ground-mounted solar thermal systems
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}}$	425		IEA SHC Task 52: Solar Thermal and Energy Economy in Urban Environments, Report C2 - Technology and Demonstrators, 2018, Brønderslev Municipality, S. 9
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Apertur}}$	458		
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}^*}$		473**	Technology Data for Energy Plants for Electricity and District heating generation, ENERGINET, August 2016, S. 292
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}^*}$	355 - 372	463 - 472	Solar district heating, D3.2, AGFW und Solites, 2014, Fallstudie: Rothenburg ob der Tauber, S. 6
$\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Brutto}}$		405**	Förder- und Finanzierungsleitfaden für Freiflächen-Solarthermie-Anlagen mit Wärmespeicher und Anbindung an Wärmenetze, Hamburg Institut, Auflage 2, 2016, S. 22

* Bezugsfläche nicht genau definiert, vermutlich ist jedoch Bruttokollektorfläche gemeint, da dies am häufigsten als Bezugsfläche angenommen wird

** Ausgewählter Kollektor nicht genau definiert

Flachkollektoren: Annahmen zwischen $340 - 450 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Brutto}} \cdot \text{a})$

Vakuum-Röhrenkollektoren: Annahmen zwischen $400 - 540 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Brutto}} \cdot \text{a})$

Aktiver Frostschutz

- » **Thermischer Frostschutz**
 - Nutzung Wärmenetz (ca. 1 % des Wärmeertrages nötig)
 - Elektroheizung
- » **Leerlaufen der Anlage**
 - Speicher mit entsprechendem Volumen nötig
 - Auslegung für Leerlaufen ohne Druckluft

Passiver Frostschutz

- » **Wasser-Propylenglykol-Gemisches als Wärmeleitmedium (Standard: 35 % Glykolanteil)**

- » **Gründe für Stagnation:**
 - Fehlende Abnahme der Wärme
 - Stromausfall

- » **Vorbeugende Maßnahmen, um Überhitzung zu vermeiden:**
 - aktive elektrische Kühlung (eher für kleinere Anlagengrößen)
 - batteriegepufferte Notstromlösung

- » **Maßnahmen, um mit Überhitzung durch Stagnation umzugehen:**
 - ausreichend dimensionierte Gefäße für die Aufnahme der Wärmeleitmediums
 - Sicherheitsventile mit entsprechenden Auffangbehältern
 - Stagnationssichere Hydraulik

» Energiewirtschaftliche Kriterien

- Entfernung zum Wärmenetz
- Geografische Lage, Ausrichtung
- Möglichkeiten der hydraulischen Einbindung
- Flächenkosten

» Akzeptanzbezogene Kriterien

- Konfliktpotenzial Blendung
- Konfliktpotenzial Anwohner
- Konfliktpotenzial Gewerbe
- Konfliktpotenzial Naturschutz
- Konfliktpotenzial Landwirtschaft

» **Problembewusstsein**

» **Problemlösung**

» Rechtliche Kriterien

- Kann bestehendes Planrecht herangezogen werden?
- Kann Planrecht geschaffen werden?
- Rechtliche Ausschlussgründe für Flächen
- Sind Flächen im Eigentum vorhanden

» Ökologische Kriterien

- Vorbelastete Konversionsflächen
- Flächen entlang großer Verkehrswege
- Regenwasserversickerungsflächen
- Stillgelegte Deponien und Halden

Einbindung in Wärmenetze und Integration in das Erzeugungsportfolio

» Verlauf der Sonne im Jahr hat Einfluss auf Neigungswinkel der Kollektoren

- Im Sommer steht die Sonne am höchsten, im Winter am niedrigsten
- Je nach Kollektorneigung kann die Ertragsentwicklung im Jahresverlauf verschoben werden

» Überlegungen zu Zeitraum des Höchstertrags

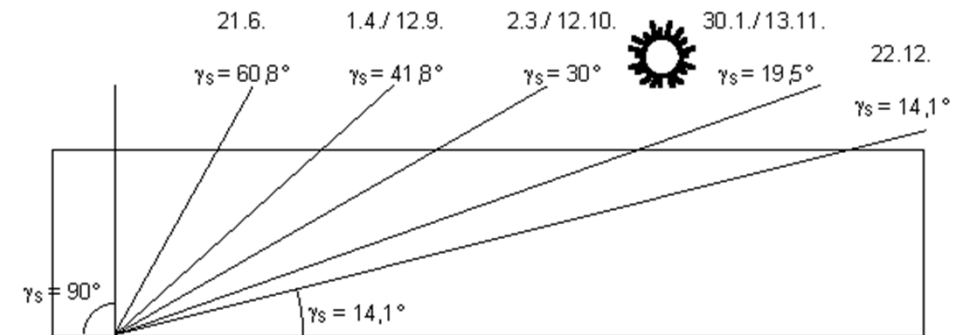
- Sommerlast des Wärmenetzes ist sehr niedrig (5 - 10 % der Spitzenlast)
- Übergangszeitraum ist hilfreich, aber Vorlauftemperaturen sind höher

» In Deutschland werden Solarkollektoren in der Regel

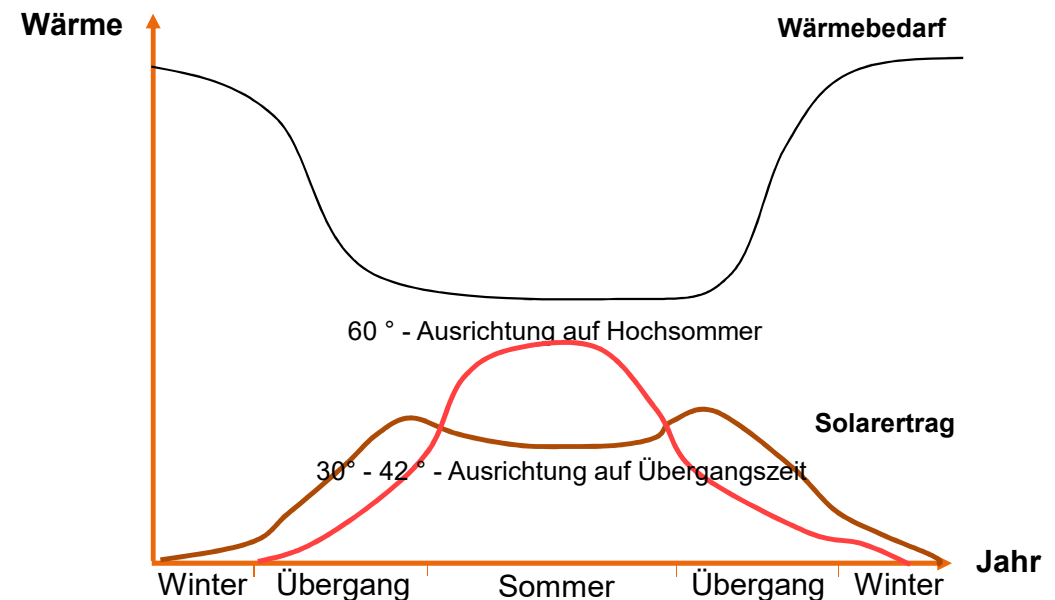
- Nach Süden ausgerichtet, um die Strahlung effektiv zu nutzen
 - Bei baulichen Vorgaben (z.B. Installation auf Lärmschutzwall) wird davon abgewichen und verringert den Wärmeertrag
- Mit einem Neigungswinkel von ca. 35° aufgestellt
 - Dies ermöglicht den höchsten Ertrag und erbringt insbesondere in der Übergangszeit gute Leistung (siehe nächste Folie)

» Einbindung von Wärmespeichern zur Optimierung prüfen

- Leistung << Last → kein Speicher
- Leistung > Last → Pufferspeicher (~ 0,2 m³/m²_{Brutto})
- Leistung >> Last → Saisonaler Speicher (~ 2 m³/m²_{Brutto})



Quelle: Volker Quaschnig; "Regenerative Energiesysteme"; Carl Hanser Verlag München 1998



Kennzahlen in der Fernwärme

» **Primärenergiefaktor**

- Bestimmung des PEF nach AGFW FW 309 Teil 1 – Energetische Bewertung von Fernwärme
- Wärme aus solarthermischen Anlagen wird mit 0 bewertet
- Hilfsstromeinsatz muss bei der Berechnung berücksichtigt werden

» **CO₂-Emissionsfaktor**

- Berechnung nach AGFW FW 309 Teil 1 (für Gebäudeenergieausweis nach GEG) oder Teil 6 (für weitere Anwendungen)

» **Anteil erneuerbarer Wärme**

- Gesamte Wärme aus solarthermischen Anlagen gilt als erneuerbare Wärme nach § 2 Abs. 2 GEG
- Auch für Förderprogramme gilt i. d. R. die gesamte Wärme als erneuerbar

» **Solar KEYMARK**

- Label um verschiedene Produkte solarthermischer Anlagen unter definierten Rahmenbedingungen vergleichbar zu machen (bezieht sich auf DIN EN 12975)

Wärmegestehungskosten

- » **Wirtschaftlichkeit von solarthermischen Anlagen ist stark abhängig von Kapitalkosten**
 - Flächenkosten werden hier nicht betrachtet

- » **Daten geben Anhaltswerte aus der Literatur wieder und können im Einzelfall bei realen Projekten abweichen**

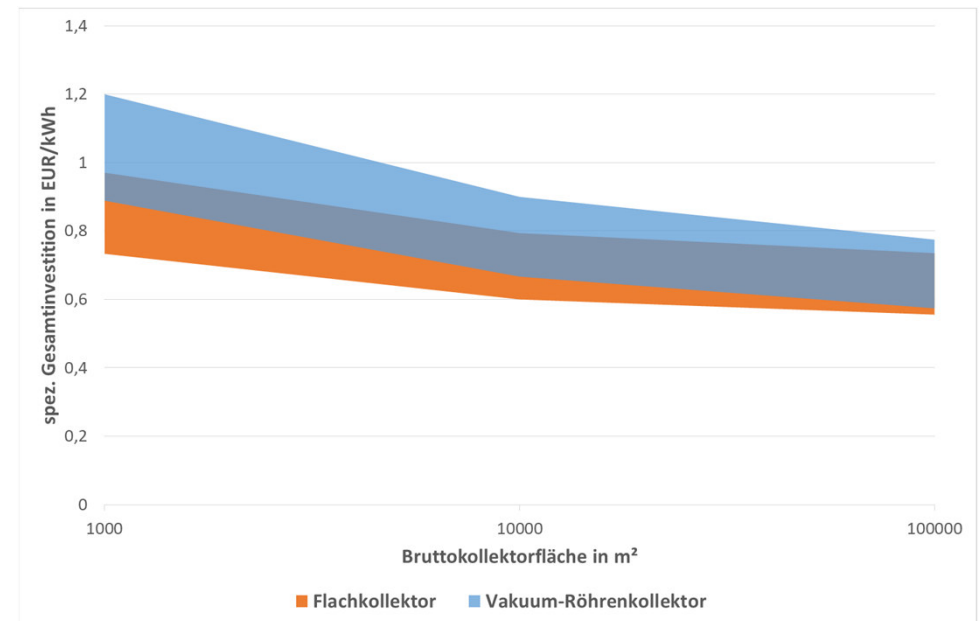
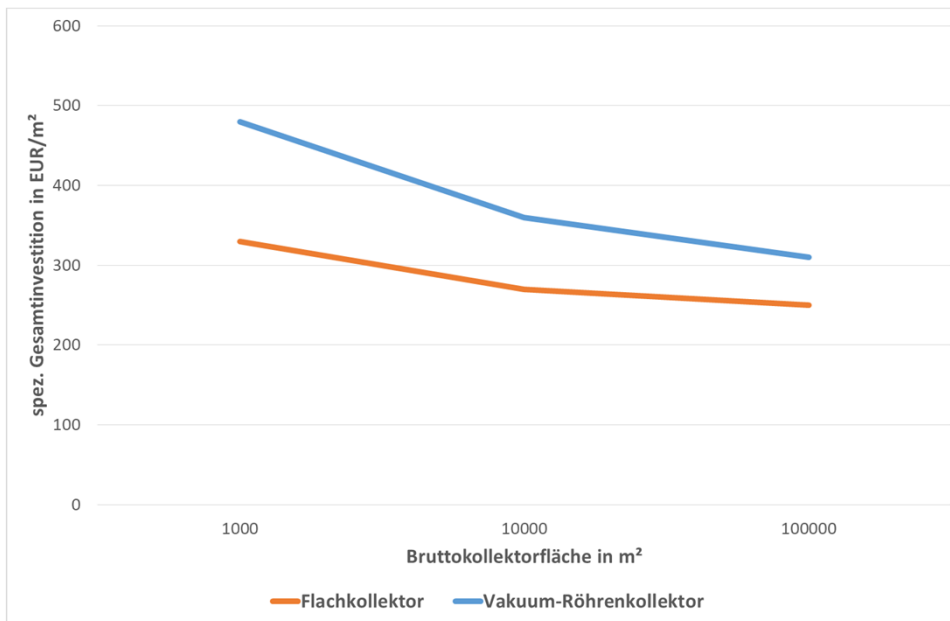
- » **Die Gesamtinvestition beinhaltet alle Einzelkostenposten**

- » **Die Gesamtinvestition ist maßgeblich abhängig von**
 - der Größenordnung der Gesamtanlage (Skaleneffekte)
 - der gewählten Technologie und damit auch der erreichbaren Temperatur

Spez. Gesamtinvestition in EUR/m² Bruttokollektorfläche				
Gesamtbruttokollektorfläche		500 m²	10.000 m²	100.000 m²
Flachkollektoren	EUR/m ² _{Brutto}	330	270	250
Vakuum-Röhrenkollektoren	EUR/m ² _{Brutto}	480	360	310

Quelle: Thamling et al., *Perspektive der Fernwärme*, Prognos AG und HIC Hamburg Institut Consulting GmbH, im Auftrag des AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., 2020

- » Gesamtinvestition auch auf den Ertrag beziehen
- » Je größer die Anlage, desto geringer die Differenz zwischen Flachkollektor und Vakuumröhrenkollektor
- » Auswahl der Technologie muss insbesondere in Hinblick der Wärmenetztemperaturen geschehen



» **Die Gesamtinvestition kann aufgeteilt werden in Einzelpositionen**

- **Kollektoren**

Dieser Posten beinhaltet nur die Kosten der Solarthermiekollektoren

- **Anlagentechnik**

Hierunter fallen alle Kosten der Peripherie

- **Elektrische Anbindung und MSR-Technik mit Installation**

Alle Kosten der Elektroinstallation und weitere Kosten zur Anbindung an das elektrische Netz

- **Baukosten**

Kosten zum Aufbau der Solarthermieanlage

- **Planungskosten**

Alle Kosten, die im Planungsprozess der Anlage anfallen.

- **Anbindungskosten**

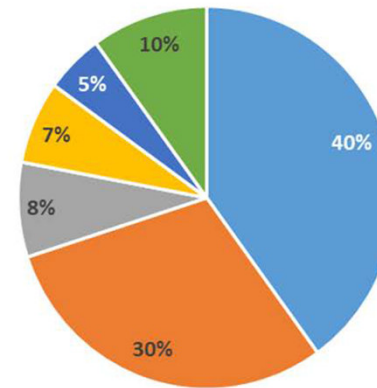
Alle Kosten für die thermische Anbindung der Anlage an das Wärmenetz. Enthalten ist beispielsweise der Wärmeübertrager zwischen der Solaranlage und dem Wärmenetz.

Dabei werden keine längeren Anbindungsleitungen zum Wärmenetz berücksichtigt, diese müssen gesondert betrachtet werden.

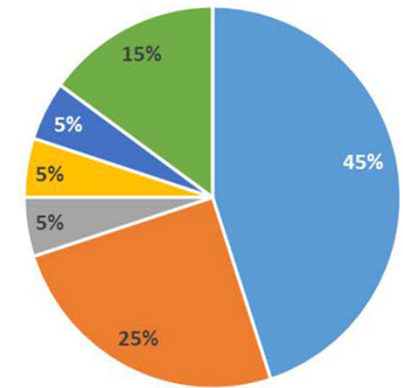
- **Flächenkosten** (hier nicht berücksichtigt)

Bei Aufstellflächen, die gekauft wurden, müssen diese in der Investition berücksichtigt werden

Flachkollektoren



Vakuüm-Röhrenkollektoren



- Kollektoren
- Anlagentechnik
- Elektrische Anbindung und MSR-Technik mit Installation
- Baukosten
- Planungskosten
- Anbindungskosten

Quelle: Darstellung nach Grosse et al., Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU, EUR28859, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-75771-6, doi:10.2760/24422, JRC109006, 2017

» **Betriebskosten solarthermischer Anlagen**

- Wartungs- und Instandhaltungskosten
- Stromkosten (Pumpen, MSR-Technik, etc.)
- Ggf. Kosten für Aufstellfläche, wenn sie gepachtet ist

» **Jährliche Wartungs- und Instandhaltungskosten können mit 0,7 % der Gesamtinvestitionskosten angesetzt werden**

» **Der Strombedarf beläuft sich auf rund 1 bis 1,5 % der erzeugten Wärmemenge. Die spezifischen Stromkosten müssen anhand der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen ermittelt werden.**

» **Flächenkosten sind ortsabhängig und werden daher nicht betrachtet, müssen jedoch in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einfließen**

	Einheit	Flachkollektor	Vakuum-Röhrenkoll.	In Abhängigkeit von
Basisdaten				
Interner Kalkulationszins	%		5	Unternehmenspolitik
Energiemengen				
Jähr. erzeugte Wärmemenge	MWh _{th} /a		10.000	Vorgabe
Jähr. verbrauchte Strommenge	MWh _{el} /a		100	abgegebene Wärmemenge, Peripherie
Auslegung Solarthermieanlage				
Spez. jährlicher Ertrag	MWh _{th} /(m ² a)	0,4	0,5	Technologie, Globalstrahlung, Aufstellwinkel
Benötigte Bruttokollektorfläche	m ² _{Brutto}	25.000	20.000	Wärmemenge
Benötigte Aufstellfläche	m ²	75.000	60.000	Verfügbarkeit, Wärmemenge, Aufstellwinkel
Investition				
Spez. Gesamtinvestition	EUR/m ² _{Brutto}	270	360	Technologie, Rahmenbedingungen
Gesamtinvestition	EUR	6.750.000	7.200.000	Technologie, Standort-/Baurahmenbedingungen
Betriebskosten				
Stromkosten	EUR/a		16.000	Verschaltungskonzept, energiewirt. Einordnung
Wartung/Instandhaltung	EUR/a	47.250	50.400	Technologie
Wärmegestehungskosten				
LCOH auf 25 Jahre	EUR/MWh_{th}	54	58	

Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

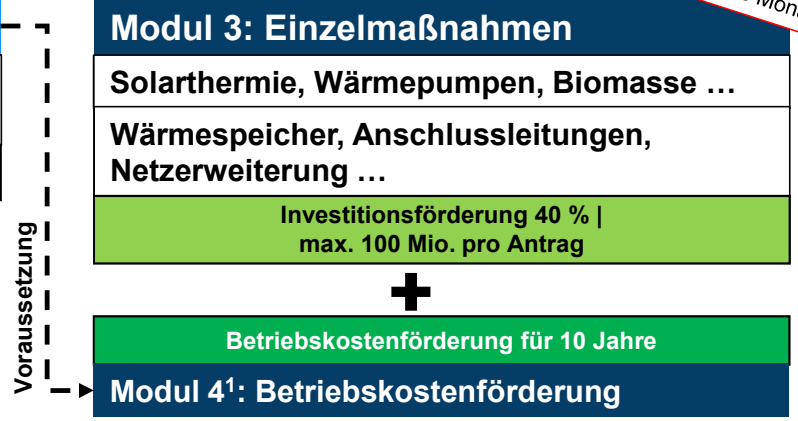


zunächst beschränkt auf 36 Monate

Modul 1: Transformationspläne und Machbarkeitsstudien	
bestehendes Wärmenetz: Transformationsplan (Trafo)	Neubau Wärmenetz: Machbarkeitsstudie
Investitionsförderung 50 % max. 2 Mio. Euro	Investitionsförderung 50 % max. 2 Mio. Euro

Modul 2: Systemische Förderung
Wärmequelle: Solarthermie, Wärmepumpen, ...
Wärmeverteilung: Rohrleitungssystem, Armaturen, ...
Optimierungsmaßnahmen
Umfeldmaßnahmen
Planungsleistungen
Investitionsförderung 40 % max. 100 Mio. pro Antrag

<p>Betriebskostenförderung für 10 Jahre</p> <ul style="list-style-type: none"> Solarthermie: 1 ct/kWh_{th} Wärmepumpe (abhängig von SCOP) Strombezug max. 9,2 ct/kWh_{Umgebungs-/Abwärme} EE-Strombetrieb max. 3 ct/kWh_{th}
Modul 4 ¹ : Betriebskostenförderung



¹ verwaltungstechnisch

» **Modul 1**

- Potenzialuntersuchung
- Planungsleistung bis HOAI Leistungsphase 4 (Genehmigungsfähigkeit)

» **Modul 2**

- Planungsleistung HOAI Leistungsphase 8 (Inbetriebnahme)
- Förderung bis 40 % der ansatzfähigen Kosten (Wirtschaftlichkeitslücke beachten)
- Anbindungsleistungen
- Wärmespeicher (auch saisonale)

» **Modul 3**

- Planungsleistung HOAI Leistungsphase 8 (Inbetriebnahme)
- Förderung bis 40 % der ansatzfähigen Kosten (Wirtschaftlichkeitslücke beachten)
- Anbindungsleistungen
- Wärmespeicher (auch saisonale)

» **Modul 4 (anschließend an Modul 2 | Modul 3, falls Trafoplan vorliegt und erstes Maßnahmenpaket umgesetzt)**

- Betriebskostenförderung 1 ct/kWh_{th} (Wirtschaftlichkeitslücke beachten)
- Förderung für 10 Jahre

» **Veröffentlichung März 2022, September 2022, Januar 2023, ...**

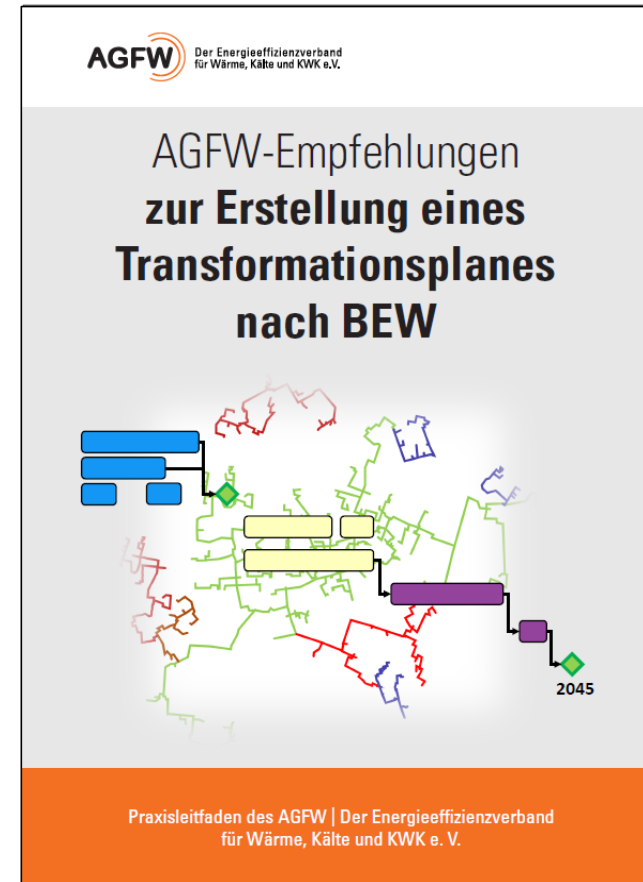
- Rund 1.000 Downloads

» **Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis**

- Teil I – Ist-Zustand des Wärmenetzes und zukünftiger Versorgungsgebiete
- Teil II – Potenzialermittlung
- Teil III – Netzentwicklung
- Teil IV – Maßnahmen
- Teil V – Analyse von Umfeldmaßnahmen

www.agfw.de/transformationsplan

→ anmelden, herunterladen, lesen



» **Veröffentlichung März 2021**

- Ca. 550 Downloads

» **Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis**

- Technik der elektrischen Kompressionswärmepumpe
 - Funktions- und Bauweise
 - Frost und Stagnation
 - Flächenanforderungen (Flächenscreening)
 - Auslegungskennwerte: Leistung und Ertrag, Aufstellfläche
- Wirtschaftlichkeit
 - Betriebskosten
 - Wirtschaftlichkeitsrechnung
 - Fördermöglichkeiten
- Regulatorik
 - Kennzahlen
 - Genehmigungen
- Ergänzende Unterlagen
- Praxisbeispiele

www.agfw.de/praxisleitfaeden

→ anmelden, herunterladen, lesen



darum fernwärme ...

denn sie ist stubenrein und hilft,
CO₂ zu vermeiden.

www.fernwaerme-info.eu

fernwärme 
rein ins haus.

Noch Fragen?



Tobias Roth
Erzeugung, Sektorkopplung
und Speicher
E-Mail: t.roth@agfw.de
Tel.: 069 6304 - 347

