

Lehr- und Forschungsgeräte zur

# Solarenergie

- Photovoltaik & Solarthermie
- Grundlagen verstehen
- Praxiswissen gezielt nutzen

# Der Programmbereich 2E präsentiert Ihre **Versuchsgeräte zur Solarenergie**

GUNT Gerätebau ist seit über 35 Jahren weltweit als kompetenter Anbieter von technischen Ausbildungsgeräten bekannt. Mit dem Programmbereich 2E fasst GUNT Themen aus den Bereichen Energie und Umwelt, insbesondere unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zusammen. Auch mit dem neu überarbeiteten Schwerpunkt Solarenergie stellt sich GUNT den aktuellen globalen Herausforderungen.

## Einstieg in das solare Zeitalter

Die jährlich auf die Kontinente eingestrahlte Energiemenge der Sonne übertrifft den globalen Energiebedarf nahezu um das 2000-fache. Gerade im Hinblick auf die globale Klimaproblematik ist es naheliegend, dieses Potenzial bestmöglich zu nutzen.

Um die Bedeutung der Solarenergie für die zukünftige Energieversorgung zu veranschaulichen, sind in der Abbildung einige fossile Energievorräte im Vergleich dargestellt.

## Solarenergie sinnvoll nutzen

Bei der Nutzung von Solarenergie können prinzipiell zwei Bereiche unterschieden werden: die Photovoltaik und die Solarthermie.

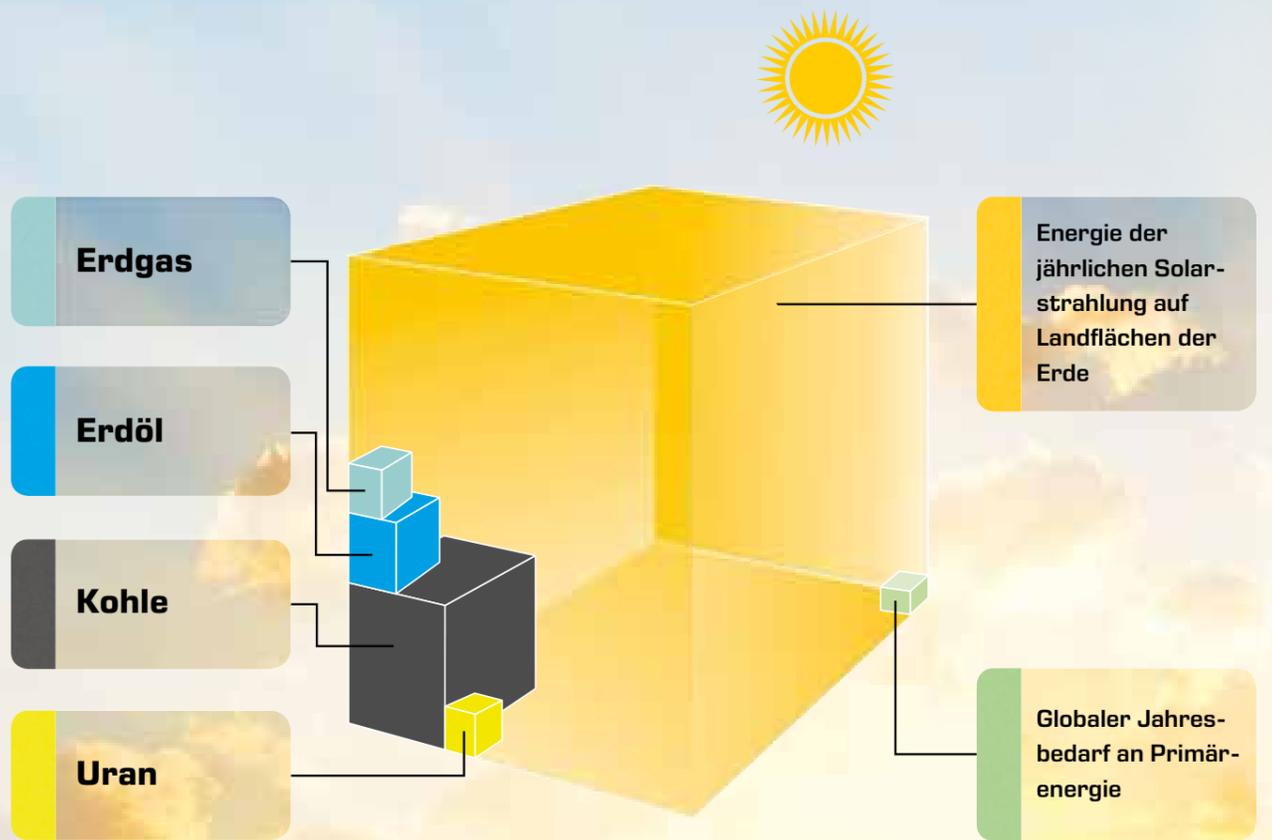
Bei der Photovoltaik entsteht direkt elektrische Energie, während bei der Solarthermie zunächst Wärme entsteht, die entweder direkt verwendet wird oder in größeren Solarkraftwerken durch Wärmekraftmaschinen zu elektrischer Energie umgewandelt werden kann.

Im Bereich von einigen Megawatt elektrischer Leistung konkurrieren beide Nutzungsarten miteinander. Es ist möglich, große Photovoltaik-Anlagen aus mehreren tausend Solarmodulen zu bauen. Es ist aber genauso denkbar, die gleiche Leistung mit einem thermischen Parabolrinnen-Kraftwerk bereitzustellen. Welche Technologie gewählt wird, ist stark vom geplanten Standort und der Einbindung in das Versorgungsnetz abhängig.

Vorteil kleinerer Solaranlagen ist es, Strom und/oder Wärme in der Nähe des Verbrauchers bedarfsgerecht bereitzustellen. Um das Potenzial der Solarenergie für eine nachhaltige Energieversorgung auszuschöpfen, ist das Verständnis und die Weiterentwicklung moderner Nutzungskonzepte zwingend erforderlich.

In diesen Zusammenhängen sehen wir unsere Aufgabe, Geräte für die technische Ausbildung im Bereich der Solarenergie zu entwickeln.

Unsere Lehrgeräte helfen Ihnen und Ihren Studenten Anwendungen kennen zu lernen, Grundlagen zu vertiefen und spezifische Fragen effizienter Systeme gezielt zu bearbeiten.

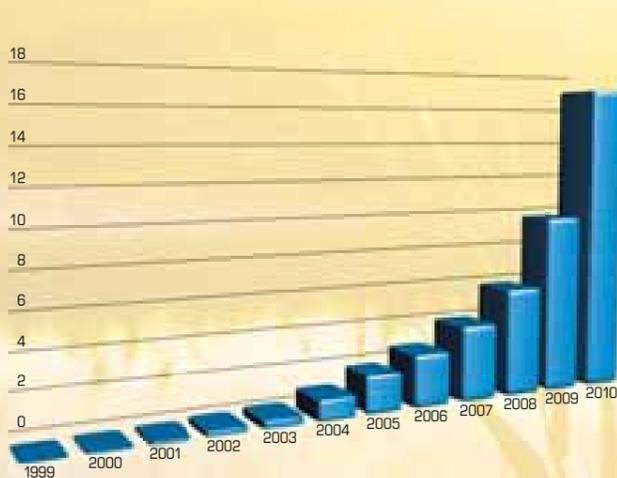


## Photovoltaik

Erfolgreiche Technologieentwicklung und wirtschaftliche Anreize haben in den letzten Jahren zu einem deutlichen Zuwachs an installierter Photovoltaik-Leistung geführt.

Erzeugter Solarstrom wird direkt in das Netz eines Energieversorgers eingespeist oder bereits vor Ort verbraucht.

Die Vorteile einer solchen Stromerzeugung sind bekannt: Solarstrom trägt zur Entlastung der Umwelt bei, reduziert den Aufwand für den Stromtransport und sichert eine unabhängige und kostengünstige Energieversorgung.

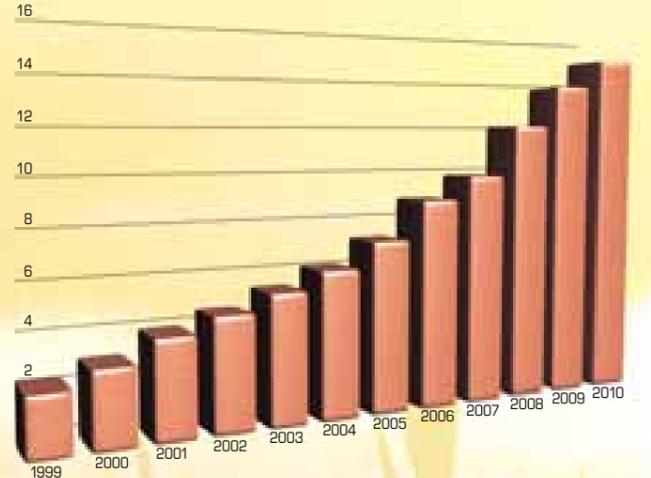


Entwicklung der installierten Photovoltaikleistung in Deutschland in GW<sub>pv</sub> (Quelle: BSW-Solar)

## Solarthermie

Die Energie aus solarthermischen Kollektoren wird bisher überwiegend zur Heizung und Brauchwassererwärmung eingesetzt. Darüber hinaus kann die Solarthermie aber auch als Quelle für Prozesswärme in der Industrie, zur Dampferzeugung in Kraftwerken und sogar zum Kühlen genutzt werden. Je nach Anwendung kommen unterschiedliche Kollektortypen zum Einsatz.

Im nachfolgenden Diagramm wird die installierte Kollektorfläche als Maß für den jährlichen Zuwachs an solarthermischen Anlagen verwendet.



Entwicklung der solarthermischen Kollektorfläche in Deutschland in Mio. m<sup>2</sup> (Quelle: BSW-Solar)



Besuchen Sie unsere Webseiten unter [www.gunt2e.de](http://www.gunt2e.de)

# Mit 2E das Potenzial der Solarenergie in der technischen Ausbildung darstellen

Unterrichten Sie die verschiedenen Möglichkeiten zur Solarenergienutzung im Rahmen eines strukturierten Curriculums.

## Das didaktische Konzept

### In sinnvollen Schritten zu den wesentlichen Elementen der Photovoltaik

Anwendungstechnik 1  
**Photovoltaische Solarmodule richtig einsetzen**

Grundlagen PV  
**Technologische Grundlagen von Zellen und Modulen**

Anwendungstechnik 2  
**Untersuchung und Simulation von Systemen**

### 2E-Lehrgeräte zur Photovoltaik



#### ET 250 Messen an Solarmodulen

Funktion von Solarmodulen

Seite 4

Seite 6  
ET 250.01

Seite 7  
ET 250.02



#### ET 252 Messen an Solarzellen

Versuchsstand mit vier frei verschaltbaren Solarzellen und Bypassdioden

Seite 9



#### ET 255 Photovoltaiknutzung: netzparallel oder Insel

Versuchsstand mit Photovoltaiksimulator für die Arbeit mit elektrischen Komponenten aus der Photovoltaik-Praxis

Seite 10

### Grundlagen und Anwendungen solarer Wärmeerzeugung erlernen

Anwendungstechnik 1  
**Einsatz moderner Flachkollektoren**

Grundlagen ST  
**Einflussgrößen solarthermischer Wärmeerzeugung**

Anwendungstechnik 2  
**Kombinierte Nutzung erneuerbarer Wärme**

### 2E-Lehrgeräte zur Solarthermie



#### HL 313 Brauchwassererwärmung mit Flachkollektor

Nutzung der Solarthermie mit Komponenten aus der Praxis

Seite 13



#### ET 202 Grundlagen Solarthermie

Modell einer solarthermischen Anlage

#### WL 377 Versuchsstand Konvektion und Strahlung

Wärmeübergang durch Konvektion und Strahlung in Gasen

Seite 15

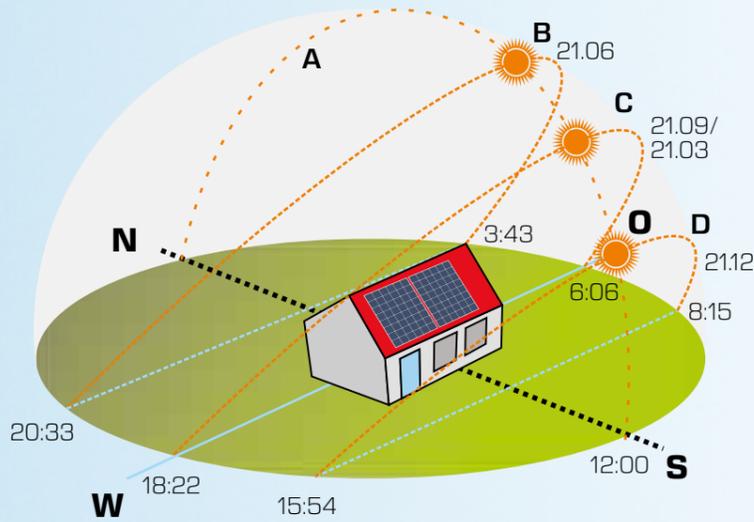


#### HL 320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe

Kombination verschiedener Module, frei konfigurierbarer Universalregler

Seite 17

# Photovoltaik-Module richtig einsetzen



Die Ausrichtung der Modulflächen zur Himmelsrichtung und ihre Neigung spielen eine wesentliche Rolle bei der Optimierung des Ertrags einer Solaranlage.

Die Abbildung zeigt die auf der Erde sichtbare Sonnenbahn zu verschiedenen Jahreszeiten. Die vermerkten Uhrzeiten für Sonnenauf- und Untergang ergeben sich am Standort Berlin:

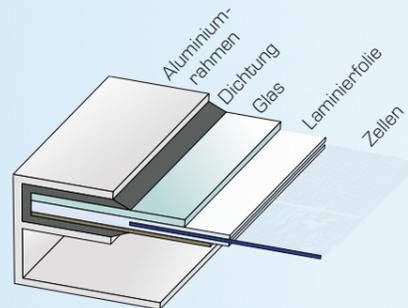
- A Zenit
- B Sommersonnenwende
- C Frühlings-/Herbstanfang
- D Wintersonnenwende

## Von der Zelle zum Modul

Die Solarzelle stellt die kleinste Einheit eines Photovoltaik-Moduls dar. Eine einzelne Zelle liefert nur eine geringe Leerlaufspannung von ca. 0,6 Volt. Um elektrische Energie ins Netz einzuspeisen oder Verbraucher damit zu betreiben, reicht diese Spannung nicht aus. Ein Modul fasst daher mehrere verschaltete Zellen zu einer Einheit zusammen. Gängige Module erreichen Leerlaufspannungen von ca. 12 oder 24 Volt. Mit diesen Spannungen könnte schon ein Gleichspannungsverbraucher betrieben oder ein Akkumulator geladen werden. Das Modul stellt also die kleinste Form eines Photovoltaik-Generators dar. Eine vollständige Photovoltaik-Anlage enthält neben den Modulen zur Erzeugung weitere Komponenten zur Umwandlung und Bereitstellung des Solarstroms.

## Verkapselung der Module

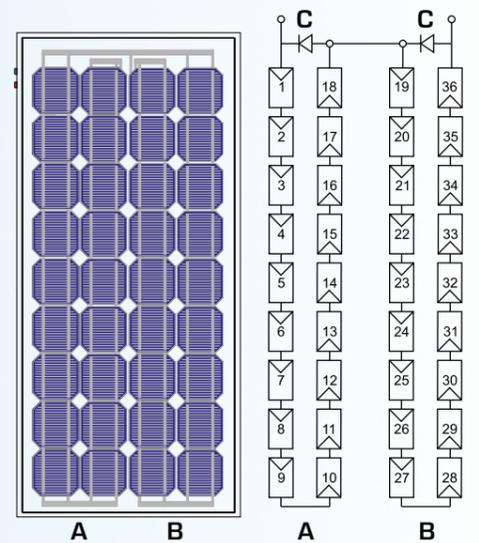
Gängige Zellen bestehen aus dünnen Siliziumscheiben. Sie müssen nach der elektrischen Kontaktierung bruchsicher und witterungsgeschützt in das Modul integriert werden.



## Betrieb bei optimaler Leistung

Die elektrische Leistung des Photovoltaik-Moduls ergibt sich aus dem Produkt von Strom und Spannung im Arbeitspunkt. Dabei wird der Arbeitspunkt durch die elektrische Last des angeschlossenen Verbrauchers vorgegeben.

Um zu prüfen ob der optimale Arbeitspunkt erreicht ist, muss die vollständige Strom-Spannungs-Kennlinie bekannt sein. Die Vermessung der Kennlinie kann mit einem variablen Lastwiderstand erfolgen.



In typischen Photovoltaik-Modulen werden 18 Zellen seriell zu Strängen verbunden. Jeder Strang (A, B) wird durch eine **Bypassdiode** (C) abgesichert. Dadurch bleibt ein Teil der Modulleistung erhalten, falls ein Strang ausfällt und einzelne Zellen werden gegen Schädigungen geschützt.



# ET 250 Messen an Solarmodulen

## Funktionsweise

Mit diesem Versuchsstand können Sie die wesentlichen Aspekte beim Betrieb von Solarmodulen praxisnah vermitteln.

ET 250 verfügt über zwei Solarmodule. Die Solarmodule können wahlweise in Reihe oder parallel geschaltet werden. Den Neigungswinkel der Module können Sie individuell einstellen. Für die Versuche steht Ihnen ein Anzeigegerät zur Verfügung, welches alle relevanten Messwerte übersichtlich anzeigt.

Aus den Messwerten können Strom-Spannungs-Kennlinien erstellt werden. Diese Kennlinien sind ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Photovoltaik-Anlage.



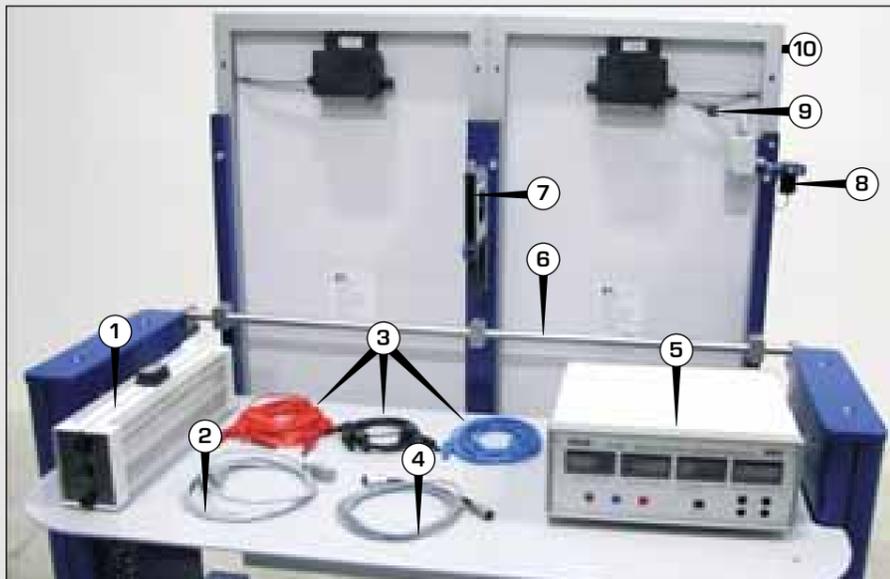
# Mit **ET 250** die Praxis der solaren Stromerzeugung an Photovoltaik-Modulen kennenlernen

## Lernziele

- Physikalisches Verhalten von Photovoltaik-Modulen bei wechselnder Beleuchtungsstärke, Temperatur und Verschattung
- Kennenlernen wichtiger Kenngrößen wie Kurzschlussstrom, Leerlaufspannung und maximale Leistung
- Aufnahme von Strom-Spannungs-Kennlinien in Parallel- und Reihenschaltung
- Einfluss der Neigung des Solarmoduls
- Bestimmung des Wirkungsgrades



## Die Gerätekomponenten



1 Schiebewiderstand, 2 Netzkabel, 3 Kabelsatz für Parallel- und Reihenschaltung, 4 Messkabel, 5 Messeinheit, 6 Kippachse, 7 Neigungsmesser, 8 Beleuchtungsstärkeaufnehmer, 9 Temperatureufnehmer, 10 Photovoltaik-Module



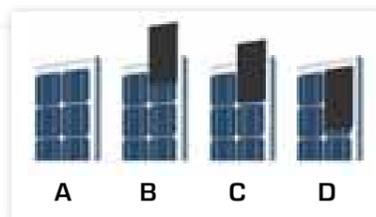
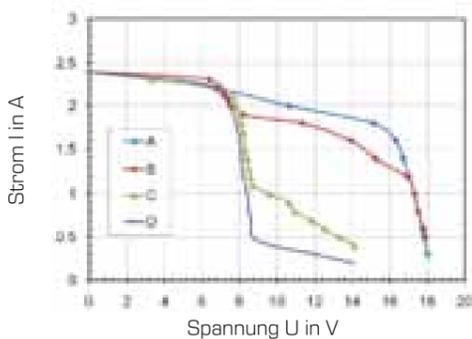
Sensor zur Messung der Beleuchtungsstärke



Die Messeinheit



Bypassdioden am Modul



## Versuche bei Verschattungen

Die Verschattung stellt an vielen Standorten eine wesentliche Ursache für Ertragseinbußen dar. Auch zu diesem Effekt sind daher gezielte Versuche mit ET 250 vorgesehen. Die Ergebnisse können mit dokumentierten Referenzversuchen verglichen werden. In der Abbildung sind Strom-Spannungs-Kennlinien für verschiedene Verschattungen einzelner Zellen eines Moduls dargestellt.



Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.

## Das didaktische Begleitmaterial

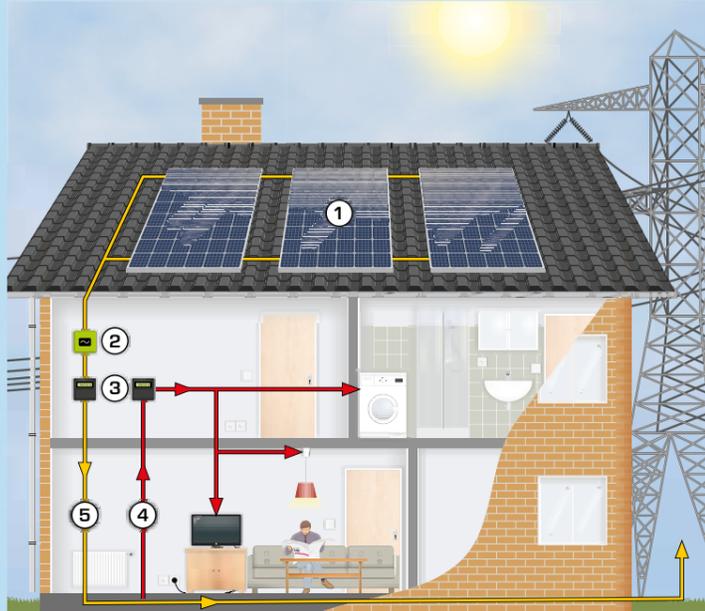
Das gut strukturierte didaktische Begleitmaterial führt Schritt für Schritt durch die Versuche und stellt auch die zugehörigen Grundlagen angemessen dar. Themen sind z.B. die Berücksichtigung meteorologischer Daten sowie die Anlagenauslegung.



# Solarstrom in das Netz einspeisen



Nachdem Photovoltaik-Anwendungen zunächst auf Nischen, wie die Versorgung von schlecht zugänglichen Verbrauchern, begrenzt waren, ist inzwischen der überwiegende Anteil im netzparallelen Betrieb installiert. Beim netzparallelen Betrieb wird der erzeugte Solarstrom nach der Umwandlung in Wechselstrom in ein öffentliches Stromnetz eingespeist. Wesentliche Komponenten einer Anlage im Netzbetrieb sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:



- 1 Photovoltaik-Module, 2 Wechselrichter
- 3 Stromzähler, 4 Anschluss an Verbraucher
- 5 Einspeisung ins Netz

Der gelieferte Solarstrom wird über einen Einspeisezähler erfasst, der vom Netzbetreiber zugelassen ist. Der Strombedarf für die Hausversorgung wird bisher zumeist weiterhin aus dem Netz abgedeckt und über einen zweiten Stromzähler erfasst. Um speziell den Eigenverbrauch des erzeugten Solarstroms zu fördern, wird diese Nutzungsart in Deutschland gesondert vergütet.



## Anlagensicherheit

Durch die steigende Anzahl von netzgebundenen Photovoltaik-Anlagen ergeben sich spezielle Anforderungen an die Technik zur Stabilisierung von Netzspannung und -frequenz. Für die Zulassung einer netzgebundenen Photovoltaik-Anlage sind zudem Sicherheitsvorrichtungen z.B. bei Blitzschlag oder Brandbekämpfung erforderlich.

# ET 250.01 Photovoltaik im Netzbetrieb

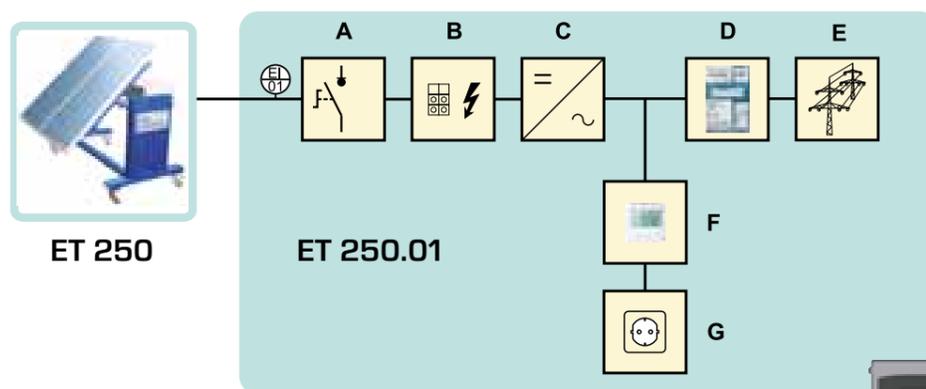
## Komponenten und Funktion

ET 250.01 ist als Erweiterungsmodul für ET 250 konzipiert und bietet Ihnen die Möglichkeit, die Lerninhalte von ET 250 sinnvoll zu ergänzen.

ET 250.01 enthält Komponenten aus der Photovoltaik-Praxis, die zur Nutzung des Solarstroms bei Anbindung an ein öffentliches Stromnetz benötigt werden. Dazu gehören:

- DC-Trennschalter (A)
- Überspannungsschutz (B)
- netzgeführter Wechselrichter mit MPP Tracker und Netzüberwachung (C)
- Zweirichtungs-Einspeisezähler mit smart metering Funktionen (D)
- Zähler für Eigenverbrauch (F)
- Steckdose (G)

Die Komponenten sind übersichtlich auf einem Leitungsschema angebracht. An den relevanten Stellen der Schaltung sind Messbuchsen für den Einsatz von Handmessgeräten für Strom und Spannung integriert. Über Energiezähler können eingespeiste Energie und Eigenverbrauch erfasst werden.



## Lernziele

- Funktion von Komponenten für den Netzbetrieb
- Sicherheitseinrichtungen von Photovoltaikanlagen
- Funktion eines netzgeführten Wechselrichters mit Leistungsoptimierung (MPP Tracker)
- Funktion moderner Zweirichtungsenergiezähler zur Netzeinspeisung
- Umwandlungswirkungsgrad eines netzgeführten Wechselrichters
- Energiebilanz im Netzbetrieb

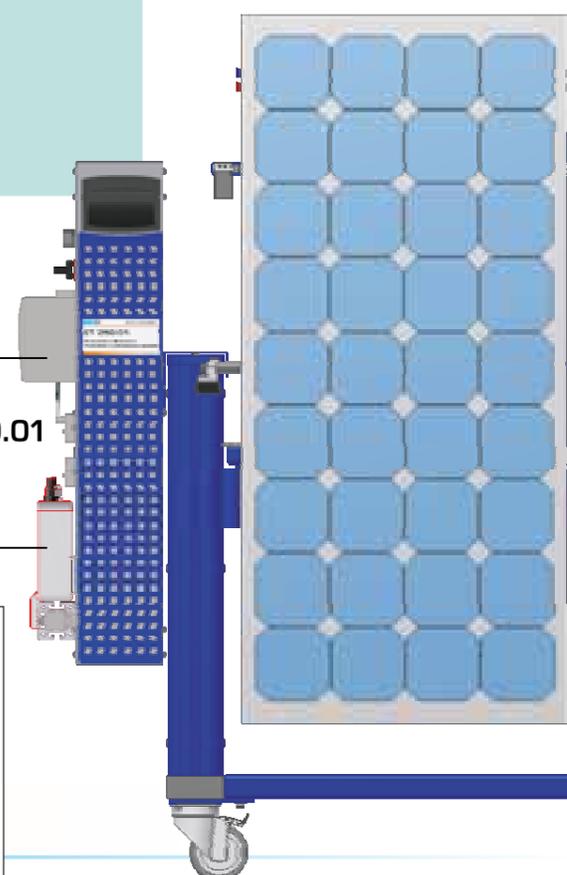
Einspeisezähler

ET 250.01

Wechselrichter



Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.





### Versorgung von entlegenen Krankenstationen

Die gewonnene elektrische Energie stellt tagsüber die Kühlung von Medikamenten sicher. Überschüssige Energie wird in Akkumulatoren gespeichert und steht nachts für die Beleuchtung der Behandlungsräume zur Verfügung.



### Befuerung von Seezeichen

Bei der Markierung von Schifffahrtswegen werden an besonderen Stellen seit langem befeuerte Seezeichen eingesetzt. Wird die benötigte Energie für die Lichtquelle durch ein photovoltaisches Inselssystem bereit gestellt, entfällt der Bedarf an anderen Energieträgern. Insbesondere an unzugänglichen Stellen verringert sich dadurch der Aufwand für ihren Betrieb erheblich.

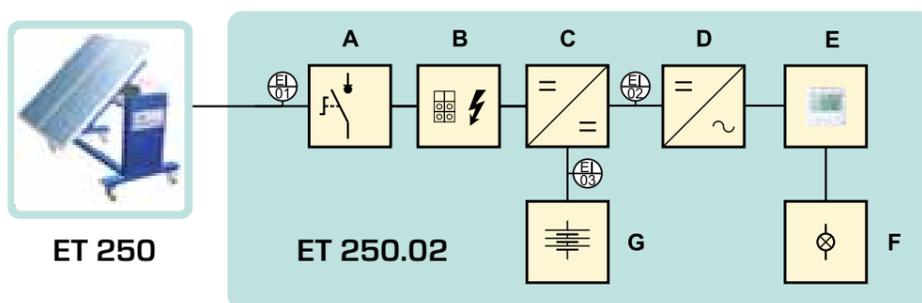
## Solarstrom für die netz-unabhängige Versorgung

Photovoltaik-Anlagen werden im Inselbetrieb eingesetzt, wenn für die Stromversorgung z.B. an entlegenen Standorten kein Netz eingebunden werden kann oder soll. Zu einem typischen Inselssystem gehören folgende Komponenten:

- Photovoltaik-Generator
- Spannungswandler
- Laderegler
- Akkumulatoren
- Verbraucher

Bereits an kleinen Anlagen können wichtige Aspekte typischer Inselanlagen untersucht werden. Entscheidend für die Versorgungssicherheit ist die Auslegung von Modulgröße und Speicher. Zu berücksichtigen sind dabei z.B. tages- und jahreszeitliche Schwankungen des Sonnenenergieangebots sowie die zu erwartenden Lastspitzen der Anwendung.

## ET 250.02 Photovoltaik im Inselbetrieb



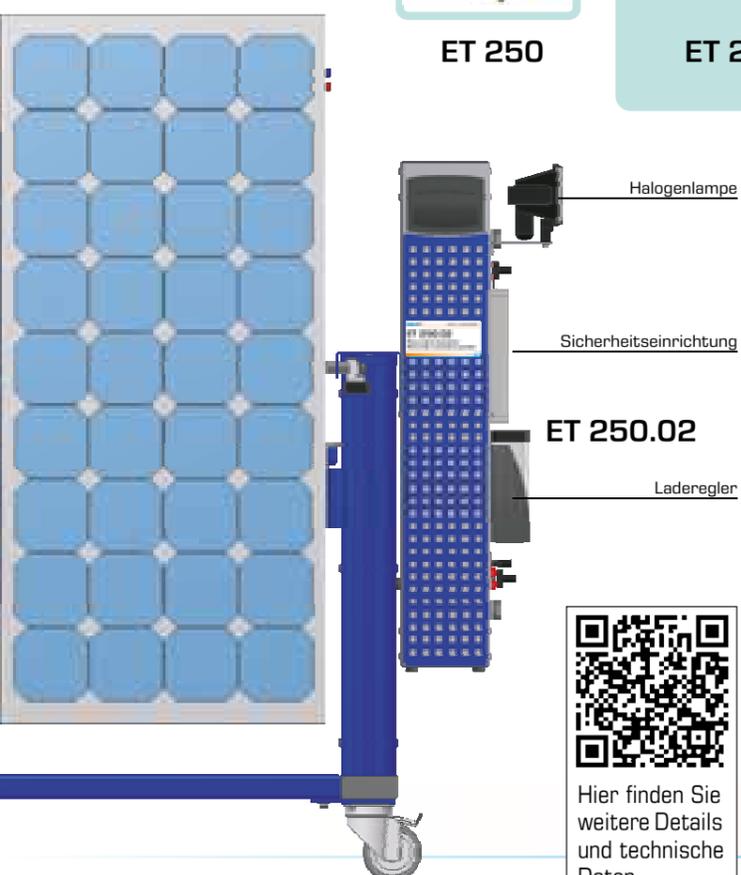
### Komponenten und Funktion

Auch ET250.02 ist ein Erweiterungsmodul für ET250. Das Gerät ermöglicht Ihnen wesentliche Aspekte der Solarstromnutzung in Inselsystemen zu unterrichten. ET250.02 enthält dazu alle erforderlichen Komponenten:

- DC-Trennschalter (A)
- Überspannungsschutz (B)
- Laderegler mit MPP Tracker (C)
- Insel-Wechselrichter (D)
- Zähler für Eigenverbrauch (E)
- Halogenlampe als elektrische Last (F)
- Akkumulator (G)

Zur Durchführung der Versuche werden die ET 250-Photovoltaikmodule an ET 250.02 angeschlossen. Sobald der Laderegler mit Solarstrom versorgt wird, nimmt er den Betrieb auf. Das MPP-Tracking und das Verhalten bei verschiedenen Ladezuständen des Akkumulators können nun untersucht werden. In das Leitungsschema integrierte Messbuchsen ermöglichen dazu Messungen Strom und Spannung mit Hilfe von Handmessgeräten.

Über den Energiezähler kann der Eigenverbrauch einer Lampe erfasst werden, die Teil des Versuchsmoduls ist.



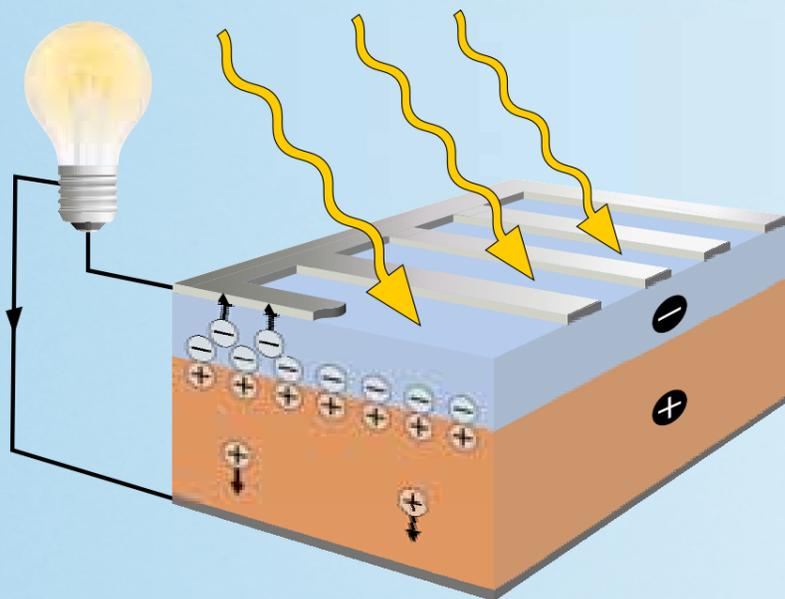
### Lernziele

- Funktion von Komponenten für den Inselbetrieb
- Funktion eines Ladereglers
- Nutzung von Akkumulatoren
- Wechselrichter im Inselbetrieb
- Sicherheitseinrichtungen
- Umwandlungswirkungsgrad eines Inselwechselrichters
- Energiebilanz im Inselbetrieb



Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.

# Grundlagen photovoltaischer Solarzellen unter definierten Bedingungen erarbeiten

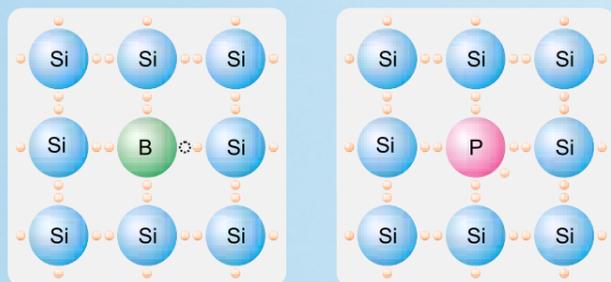


## Funktionsweise einer Solarzelle

Eine typische Solarzelle besteht aus zwei verschiedenartigen Schichten des Halbleiters Silizium. Durch Dotierung mit Phosphor bzw. Bor wird in der oberen Schicht ein Überschuss und in der unteren Schicht ein Mangel an Elektronen erzeugt.

Innerhalb der Solarzelle entsteht durch die Dotierung ein elektrisches Feld. Die obere Schicht wirkt als negativer Pol (Kathode). Die untere Schicht fungiert als positiver Pol (Anode).

Durch die Absorption von Licht (Photonen) werden die Elektronen in der Solarzelle mobilisiert. Das angeregte Elektron kann sich im Leitungsband bewegen und hinterlässt im Valenzband ein positiv geladenes mobiles Loch.



Dotierung von Silizium: Phosphor führt zum Elektronenüberschuss, Bor erzeugt einen Elektronenmangel

## Herstellung

Nachdem Alexandre Edmond Becquerel bereits 1839 den photoelektrischen Effekt entdeckt hatte, vergingen noch über 100 Jahre bis 1954 die erste Siliziumsolarzelle hergestellt werden konnte. Am weitesten verbreitet sind mono- oder polykristalline Siliziumsolarzellen. Als Ausgangsmaterial werden zunächst Siliziumscheiben (Wafer) durch Sägen aus Blocksilizium hergestellt.

Bis zur Entstehung der fertigen Zelle sind eine Vielzahl von weiteren Schritten erforderlich. Sie lassen sich im Wesentlichen folgenden Bearbeitungsstufen zuordnen:

- Dotierung (Einbau des elektrischen Feldes)
- Passivierung (Verringern von Materialfehlern)
- Kontaktierung (Siebdruck mit leitenden Pasten)

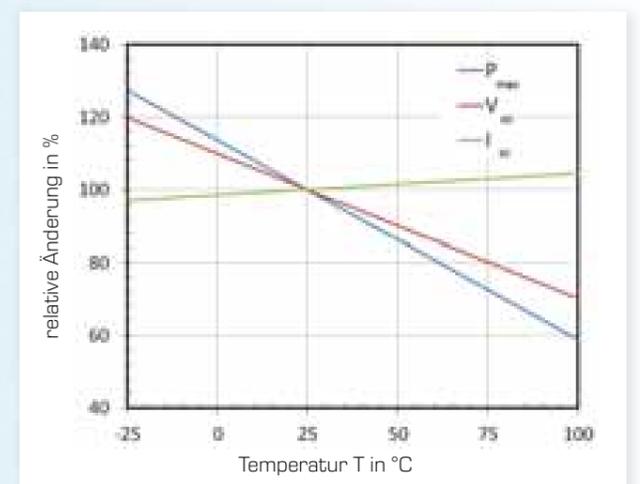


Fertigungslinie zur Herstellung von Siliziumsolarzellen

## Der Ertrag von Solarzellen ist temperaturabhängig

Während des Betriebs werden bis zu 25% der Sonnenenergie in elektrischen Strom umgewandelt. Der übrige Anteil führt zur Erwärmung der Solarzelle. Durch Effekte im Halbleitermaterial führt dieses zu einer Verringerung der Leistungsfähigkeit der Solarzelle. Daher ist es vorteilhaft, die Module in einem ausreichenden Abstand zur Unterlage zu montieren, um ihre Kühlung durch einen Luftstrom auf der Modulrückseite zu gewährleisten.

Mit ET 252 können Sie die Auswirkung der Temperatur auf die Solarzelle gezielt untersuchen.



Relative Temperaturabhängigkeit von Leistung ( $P_{max}$ ), Leerlaufspannung ( $V_{oc}$ ) und Kurzschlussstrom ( $I_{sc}$ )

# ET 252 von der Solarzelle zum Modul

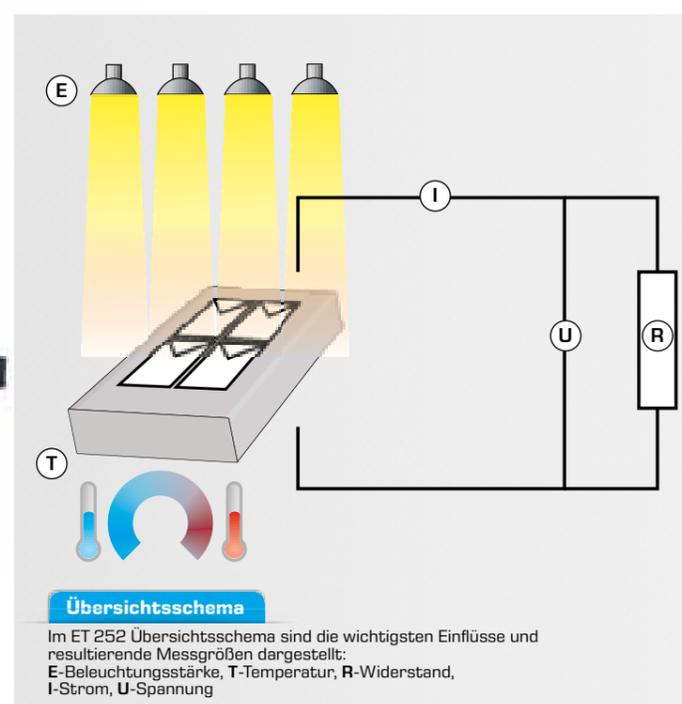


## Software mit Tutorfunktion

Mit der umfangreichen Software können alle Gerätefunktionen über eine USB Schnittstelle von einem externen PC oder Laptop bedient werden. Neben der Steuerung von Helligkeit und Temperatur wird hier auch die **automatisierte Kennlinienmessung** über die LabVIEW-gesteuerte Stromsenke parametrisiert.

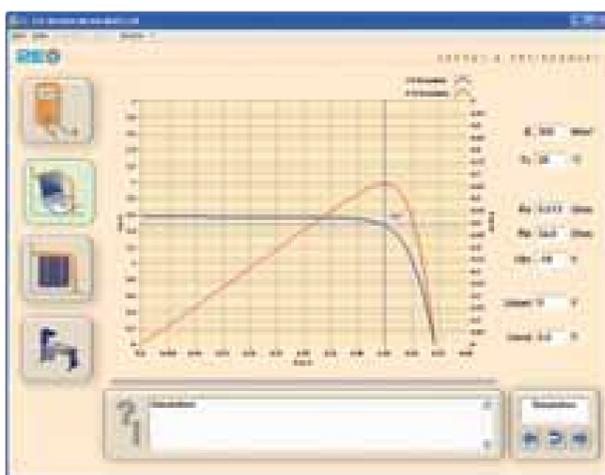
## Funktionen des Versuchsstandes

ET 252 ermöglicht es Ihnen, die grundlegenden Zusammenhänge der Photovoltaik in durchdachten Experimenten zu vermitteln. Hauptkomponenten des Versuchsgärates sind vier Solarzellen, die mit einer einstellbaren Beleuchtungseinheit bestrahlt werden. Durch ein geregeltes Peltierkühlelement können die Solarzellen gezielt temperiert werden. Dadurch werden vergleichende Messreihen zum Einfluss der Temperatur auf die Kenngrößen der Zellen ermöglicht.



## Lernziele/Übungen

- Strom-Spannungs-Kennlinien von Solarzellen
- Serien- und Parallelschaltung von Solarzellen
- Einfluss der Temperatur auf die Solarzellenparameter
- Verhalten der Solarzelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken und teilweiser Verschattung



Die Software enthält zudem eine integrierte **Tutorfunktion**, die in didaktisch ausgewogenen Schritten den Einstieg in die Grundlagen der Photovoltaik und in die verschiedenen Messmöglichkeiten des Geräts unterstützt.

Animationen veranschaulichen die Grundlagen verschalteter Zellen und die wählbaren Optionen am integrierten Steckfeld.

Zwei Sachverhalte stehen im Zentrum des didaktischen Konzepts:

## Verschaltungsarten

Bei einer Reihenschaltung addieren sich die Spannungen der einzelnen Solarzellen. Die Stromstärke bleibt konstant. Bei einer Parallelschaltung bleibt dagegen die Spannung konstant, während sich die Ströme der einzelnen Zellen addieren.

## Strom-Spannungs-Kennlinien

Strom-Spannungs-Kennlinien dienen dazu, die Leistungsfähigkeit einer Photovoltaik-Anlage zu beurteilen. Der Verlauf der Kennlinie ist unter anderem von der Beleuchtungsstärke und von der Temperatur abhängig.



Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.

2E a division of

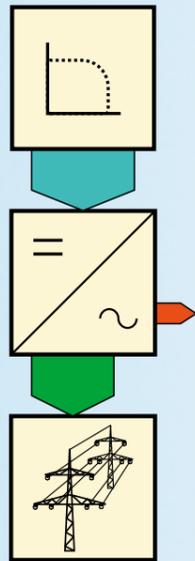
**gunt**  
HAMBURG

# Solarstrom effizient nutzen Betriebszustände simulieren

Sowohl bei Inselanlagen als auch bei netzparallelen Anlagen führen Änderungen von Beleuchtungsstärke, Temperatur und Auslastung zu einer Verschiebung des elektrischen Arbeitspunktes. Dadurch ergeben sich für die Systemkomponenten Änderungen des Betriebszustandes und Abweichungen der Wirkungsgrade.

Dieses Verhalten der Systemkomponenten kann durch Feldversuche mit Photovoltaik-Modulen oder durch Simulation ihrer Strom-Spannungs-Kennlinien untersucht werden.

Die so gewonnenen Daten können bei der Prognose von Anlagenerträgen anhand von meteorologischen Daten verwendet werden. Bei Wechselrichtern muss insbesondere das Verhalten im Teillastbereich einkalkuliert werden. So kann der Wirkungsgrad z.B. bei Auslastungen von ein Fünftel der Nennleistung auf unter 60% absinken.



## Der Energie-nutzungsfaktor

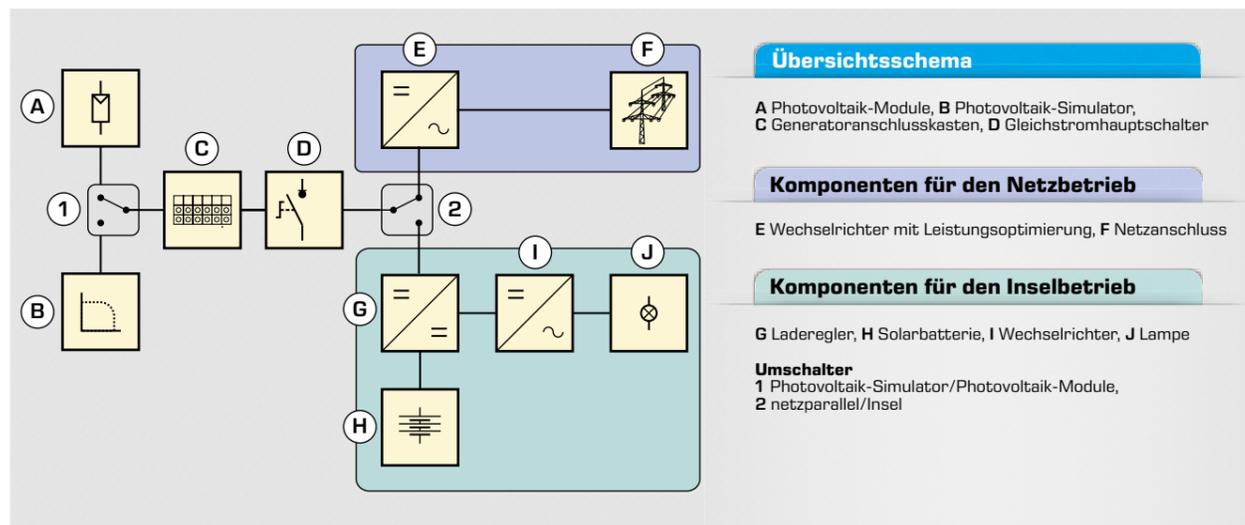
Der Energienutzungsfaktor eines Wechselrichters ergibt sich aus dem Verhältnis der tatsächlich genutzten Energiemenge zum theoretisch verfügbaren Energieangebot der angeschlossenen Photovoltaik-Module. Um einen hohen Energienutzungsfaktor zu erreichen, sollte der Wechselrichter möglichst optimal auf die Leistung der angeschlossenen Module und die ganzjährige Verteilung des Solarenergieangebots abgestimmt sein.

## Leistungsoptimierung bei Netz- und Inselbetrieb

Bei Änderungen der Beleuchtungsstärke und der Temperatur verschiebt sich der optimale Betriebspunkt eines Photovoltaik-Moduls. Im Netzbetrieb erfolgt die erforderliche Anpassung des Betriebspunkts (MPP-Tracking) zumeist durch eine integrierte Funktion des Wechselrichters. Bei Systemen im Inselbetrieb ist diese Funktion oft im Funktionsumfang des Ladereglers enthalten.



# ET 255 Photovoltaiknutzung netzparallel oder Insel



## Funktionsweise

Mit dem Versuchsstand ET 255 können Sie Komponenten aus der Photovoltaik-Praxis für die Netzeinspeisung und für den Inselbetrieb unter realen Betriebsbedingungen untersuchen. Dabei können Sie mit realen Photovoltaik-Modulen (ET 250) oder mit dem integrierten Photovoltaik-Simulator arbeiten.

Die Ansteuerung und Parametrierung des Photovoltaik-Simulators erfolgt per Software. Weitere Softwarefunktionen ermöglichen die Erfassung und Darstellung der Messdaten und unterstützen so das Erreichen jeweils vorgegebener Lernziele.

Für den Netzbetrieb steht ein Modulwechselrichter zu Verfügung. Im Inselbetrieb können verschiedene Laderegler, ein Wechselrichter und ein Akkumulator eingesetzt werden.

Für elektrische Messungen mit Handmessgeräten ist ET 255 an allen relevanten Punkten mit Messstellen für Strom und Spannung ausgestattet.

## Lernziele/Übungen

- Funktion von netzgeführten Wechselrichtern
- Funktion von Ladereglern und Akkumulatoren im Inselbetrieb
- Wirkungsgrad und dynamisches Verhalten von Anlagenkomponenten
- Funktion von Modulen zur Leistungsoptimierung (MPP Tracker)

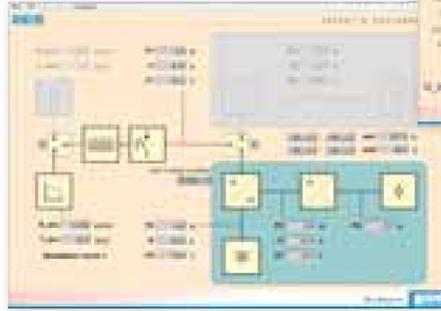


Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.

# Die ET 255 Software

## Bedienung und Messdatenerfassung

Betriebszustand und aktuelle Messwerte werden mit der ET 255 Software in einer übersichtlichen Darstellung angezeigt. Für die spätere Auswertung in externen Tabellenkalkulationsprogrammen können die Messwerte kontinuierlich gespeichert werden.



## Der Photovoltaik-Simulator

Über die übersichtliche Bedienoberfläche des Photovoltaik-Simulators können Kennlinien für verschiedene Beleuchtungsstärken und Temperaturen ausgewählt werden. Theoretische Grundlage für die Berechnung der Strom-Spannungs-Kennlinien bildet das sogenannte Zweiodenmodell.



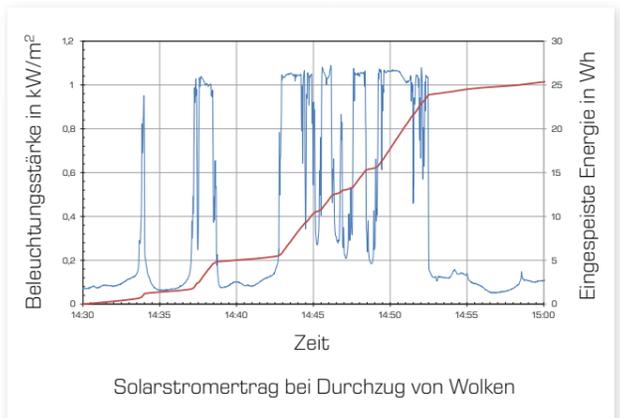
Grundlegende Konzepte aus der Praxis der modernen Photovoltaiknutzung können mit ET 255 in durchdachten Schritten vermittelt werden

## ET 255 mit ET 250 und HL 313.01 kombinieren

Die 2E-Geräte aus dem Bereich Photovoltaik sind Teil eines modularen Konzepts. Die erweiterte Gerätekombination zur Photovoltaik-Praxis besteht aus folgenden Geräten:

- ET 250 Messen an Solarmodulen
- HL 313.01 Labor-Lichtquelle
- ET 255 Photovoltaiknutzung

Bei der Anbindung von ET 250 an ET 255 werden die Messwerte der Photovoltaik-Module an ET 255 übertragen. Mit der zugehörigen Software können diese Daten erfasst und dargestellt werden. Wie nachfolgend gezeigt, können diese Daten in Tabellenkalkulationsprogrammen für Ertragsberechnungen genutzt werden.



## ET 255 im Einsatz an der FH Joanneum/Österreich

An der FH Joanneum in Kapfenberg/Österreich wird der Versuchsstand ET255 für Praktika im Bereich Energie und Umweltmanagement eingesetzt. Durch den PV-Simulator können witterungsunabhängige Versuche zur Effizienz von PV Anlagen durchgeführt werden.



## Didaktisches Begleitmaterial

Eine speziell auf das Versuchsprogramm abgestimmte Anleitung erleichtert den Einstieg auch in komplexere Systeme. So wird z.B. im Grundlagenteil wichtiges Hintergrundwissen für den Betrieb des Akkumulators in einem angemessenen Umfang dargestellt.



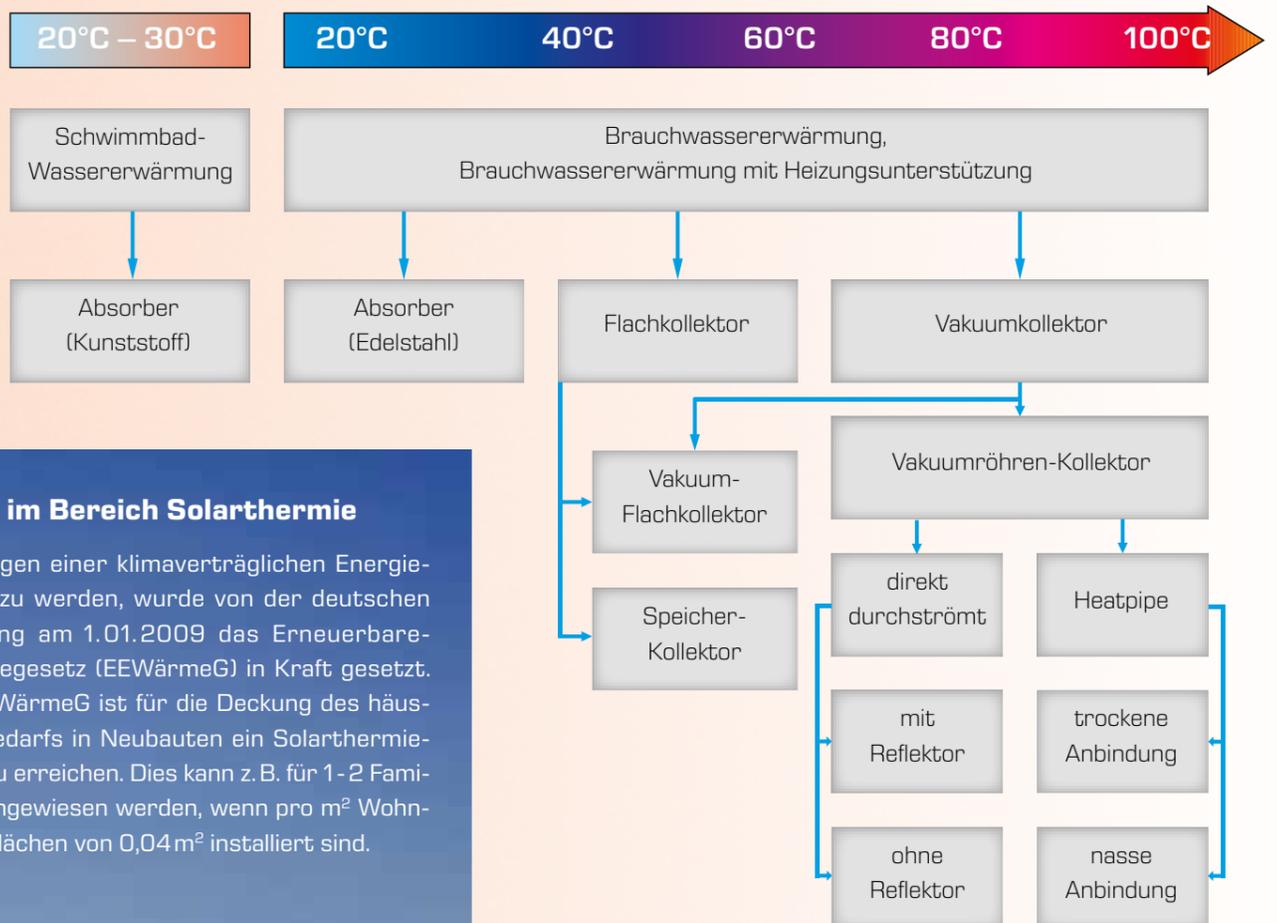
# Solarthermie in sinnvollen Schritten verstehen

## Praxis der thermischen Solarenergienutzung

Haupteinsatzgebiete für solarthermische Energie sind bisher die Erwärmung von Brauchwasser und die Heizungsunterstützung. Je nach Anwendung und benötigter Temperatur sind unterschiedliche Kollektortypen geeignet.

Da z. B. für die Erwärmung von Freibädern vergleichsweise geringe Temperaturen benötigt werden, kommen hier oft nur einfache Kollektortypen zum Einsatz.

Werden dagegen besonders hohe Temperaturen benötigt, bieten sich effektivere Kollektortypen wie der Vakuumröhrenkollektor an.



### Maßnahmen im Bereich Solarthermie

Um Anforderungen einer klimaverträglichen Energiepolitik gerecht zu werden, wurde von der deutschen Bundesregierung am 1.01.2009 das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) in Kraft gesetzt. Gemäß dem EEWärmeG ist für die Deckung des häuslichen Wärmebedarfs in Neubauten ein Solarthermieanteil von 15% zu erreichen. Dies kann z. B. für 1-2 Familien Häuser nachgewiesen werden, wenn pro m<sup>2</sup> Wohnfläche Kollektorflächen von 0,04m<sup>2</sup> installiert sind.

Eine wesentliche Voraussetzung für den erfolgreichen Betrieb von solarthermischen Anlagen ist die fachgerechte Installation der Komponenten durch gut geschulte Spezialisten.

### Flachkollektoren

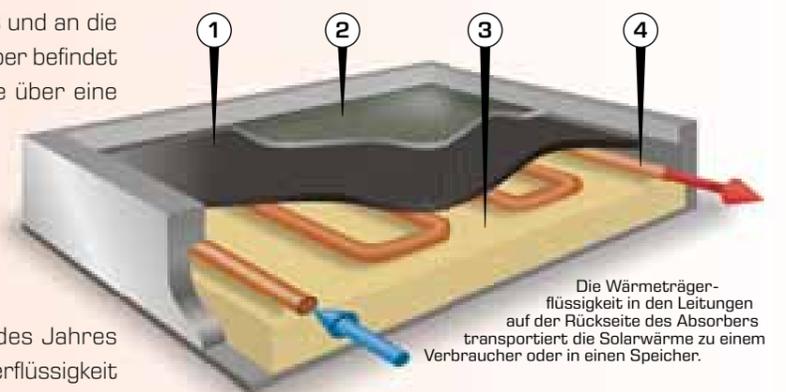
Der mit ca. 90% Marktanteil am weitesten verbreitete Kollektortyp ist der Flachkollektor. Seine Stärken liegen im vergleichsweise einfachen Aufbau und den guten Langzeiterfahrungen.

### Aufbau eines Flachkollektors

Im Inneren eines Flachkollektors befindet sich ein Absorber der das Sonnenlicht in Wärme umwandelt und an die Wärmeträgerflüssigkeit weitergibt. Der Absorber befindet sich in einem Gehäuse, das auf der Rückseite über eine möglichst gute Wärmedämmung verfügt.

- 1 Absorber
- 2 Glasabdeckung
- 3 Wärmedämmung
- 4 Wärmeträgerleitung

Für gemäßigte Breiten, in denen im Verlauf des Jahres mit Frost zu rechnen ist, muß die Wärmeträgerflüssigkeit gegen das Einfrieren geschützt werden. Ansonsten können die Flachkollektoren zerstört werden.

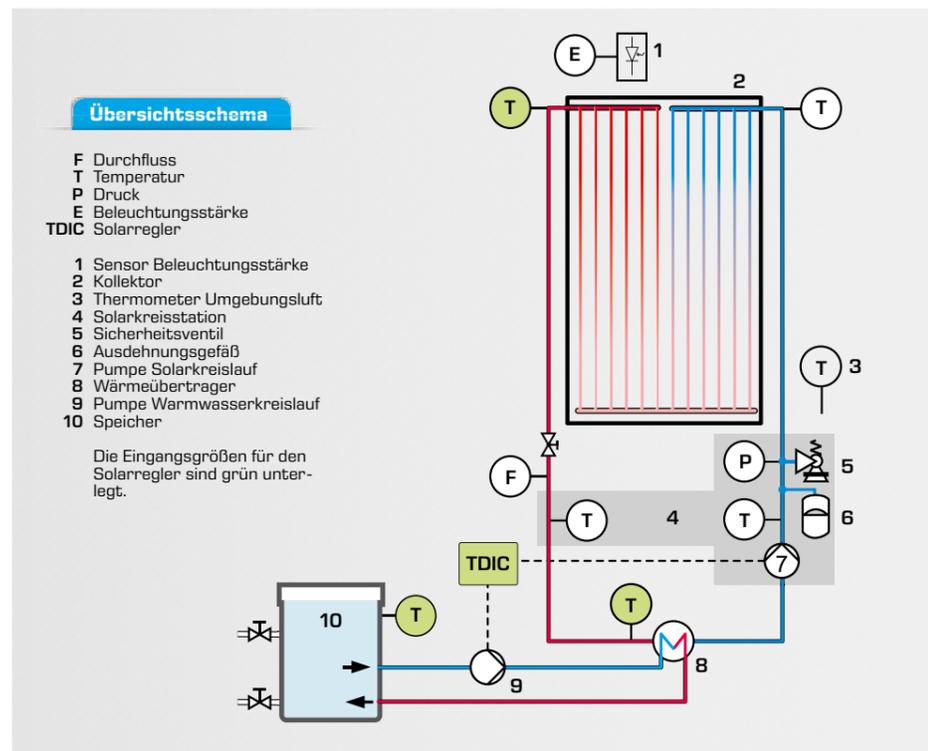


Die Wärmeträgerflüssigkeit in den Leitungen auf der Rückseite des Absorbers transportiert die Solarwärme zu einem Verbraucher oder in einen Speicher.

# Solarthermie Anwendungstechnik 1

## HL 313 Brauchwassererwärmung mit Flachkollektor

Lernen Sie mit HL 313 die wesentlichen Komponenten aus der Praxis der solarthermischen Brauchwassererzeugung kennen. Von der korrekten Befüllung mit einer Wärmeträgerflüssigkeit bis zur Bestimmung und Optimierung der Nutzleistung beinhaltet das didaktische Konzept entscheidende Ausbildungsaspekte aus Praxis und Theorie.



### Funktionsweise

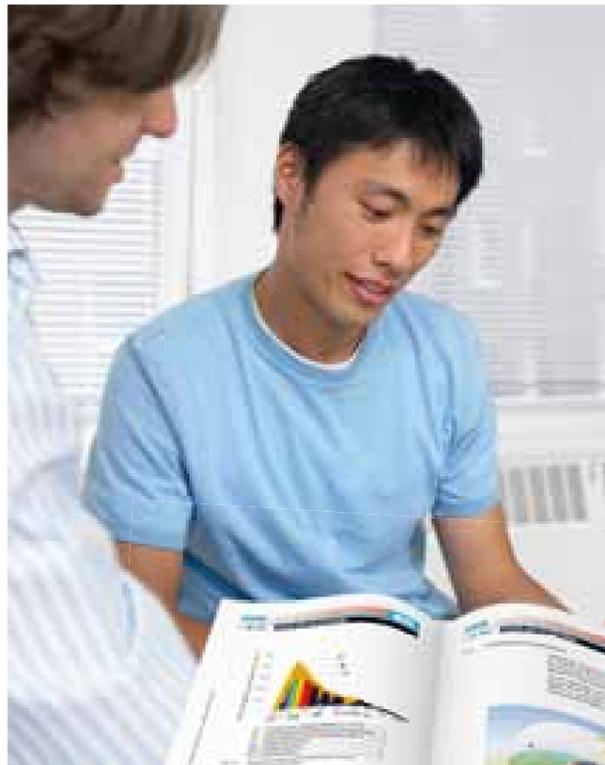
Der Flachkollektor absorbiert die Strahlungsenergie und wandelt sie in Wärme um. Die Wärme wird auf eine Wärmeträgerflüssigkeit im Solarkreislauf übertragen. Über einen Wärmeübertrager gelangt die Wärme in den Warmwasserkreislauf. Dabei steuert der Solarregler die Pumpen im Warmwasser- und Solarkreislauf. Der Solarkreislauf ist mit einer Sicherheitsbaugruppe ausgestattet die ein Membranausdehnungsgefäß, ein Sicherheitsventil und einen Druckaufnehmer enthält.

### Die Solarkreisstation

Neben dem Kollektor gehören die Pumpe sowie Befüll-, Sicherheits- und Messeinrichtungen zu den wichtigsten Komponenten einer thermischen Solaranlage. In der Praxis werden diese Komponenten oft in der sogenannten Solarkreisstation zusammengefasst.

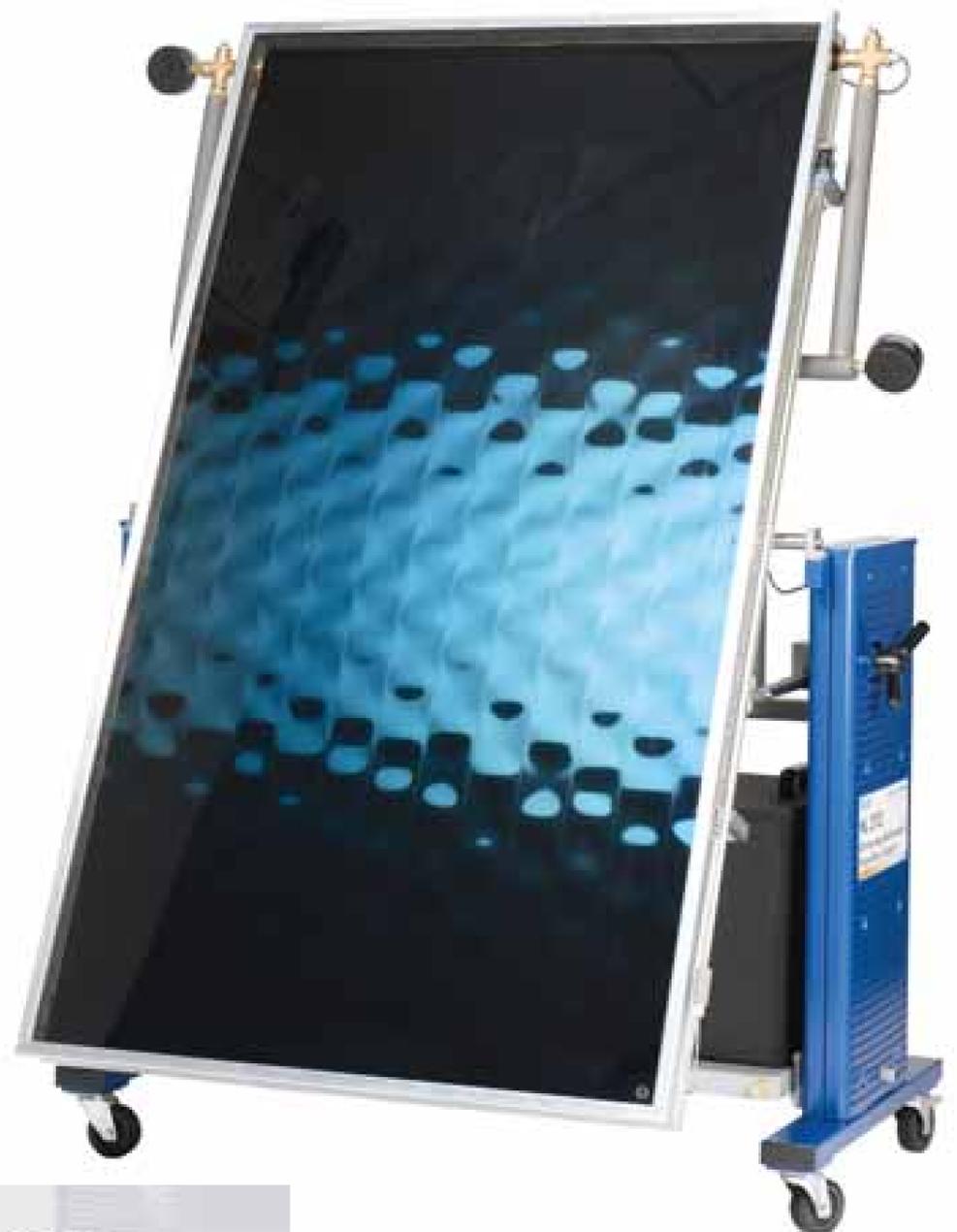


Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.



### Das didaktische Begleitmaterial

Das gut strukturierte didaktische Begleitmaterial stellt die Grundlagen dar und führt Schritt für Schritt durch die Versuche.



Einsatz im Labor mit künstlicher Beleuchtung oder im Freiland, wenn das Sonnenscheinangebot ausreicht.

### Lernziele/Übungen

- Funktion eines thermischen Solar Kollektors und Aufbau des Solarkreislaufes
- Funktion eines Solarreglers
- Abhängigkeit des Kollektorwirkungsgrades von der Temperaturdifferenz zur Umgebung
- Bestimmung der Nutzleistung



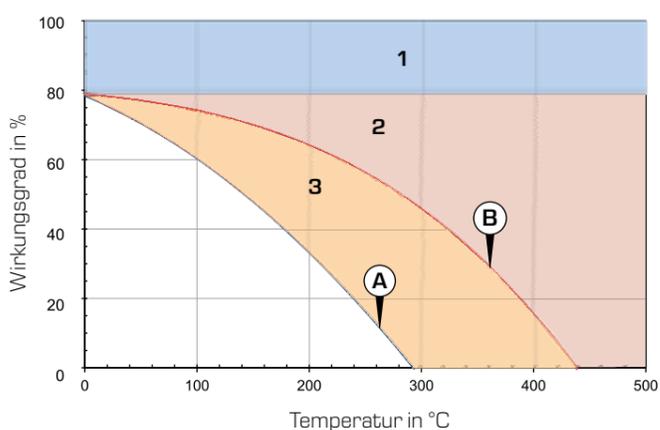
# Einflussgrößen der thermischen Solarenergienutzung gezielt erarbeiten

Die Energie der Sonne hält unsere Umgebung auf einer für unser Leben wichtigen Durchschnittstemperatur. Die Sonneneinstrahlung schafft Temperaturunterschiede und damit die Voraussetzungen für die lokalen Klima- und Wetterverhältnisse. Sowohl in globalen als auch in den sehr viel kleineren Dimensionen eines solarthermischen Kollektors sind vergleichbare Effekte zu beobachten.

Die durchdachte Erarbeitung der Grundlagen der solarthermischen Energieumwandlung bietet die beste Voraussetzung für den erfolgreichen Betrieb und die gezielte Verbesserung von Kollektoren und Komponenten.

Zum Verständnis der Grundlagen müssen alle beteiligten Einzelschritte und das Zusammenwirken der beteiligten physikalischen Effekte genau betrachtet werden.

Wir möchten Ihnen mit unseren Versuchsständen zur Solarthermie helfen, die wesentlichen Aspekte aus Theorie und Praxis in angemessenen Schritten zu vermitteln.



## Wirkungsgradkennlinien

Es lässt sich zeigen, dass Kollektoren bei tiefen Temperaturen die besten Wirkungsgrade erzielen. Ursache hierfür ist ein Anstieg der Verluste mit zunehmender Temperatur.

Dieses Verhalten ist in der gezeigten Wirkungsgradkennlinie eines Flachkollektors (A) erkennbar.

**A** gemessene Wirkungsgradkennlinie

**B** berechnete Kennlinie bei Verlusten durch Wärmestrahlung (ohne Verluste durch Konvektion und Wärmeleitung)

Im Diagramm ist zudem die Temperaturabhängigkeit der verschiedenen Verlustanteile durch farblich markierte Bereiche dargestellt:

- 1 optische Verluste
- 2 Verluste durch Wärmestrahlung
- 3 Verluste durch Konvektion und Wärmeleitung

Mit Hilfe der Wirkungsgradkennlinie ist es möglich, die Qualität und das Verhalten verschiedener Kollektoren zu vergleichen.

## Energiebilanz am Kollektor

Eines der Hauptziele der Kollektorentwicklung besteht darin, die Verluste zu minimieren. Die Anteile der wichtigsten Verlustkanäle bei der thermischen Solarenergienutzung mit Flachkollektoren sind in der folgenden Energiebilanz schematisch dargestellt.

- 1 Absorption in der Atmosphäre
- 2 Reflexion an der Glasabdeckung
- 3 Konvektion
- 4 Strahlungsverluste
- 5 thermische Verluste

Auf dem Weg zum Absorber passiert das Sonnenlicht (1) zunächst die Glasabdeckung. Dabei wird bereits ein Teil des eingestrahnten Lichts reflektiert (2). Weitere Verluste entstehen durch Konvektion (3), Strahlungsverluste (4) und Wärmetransport (5).



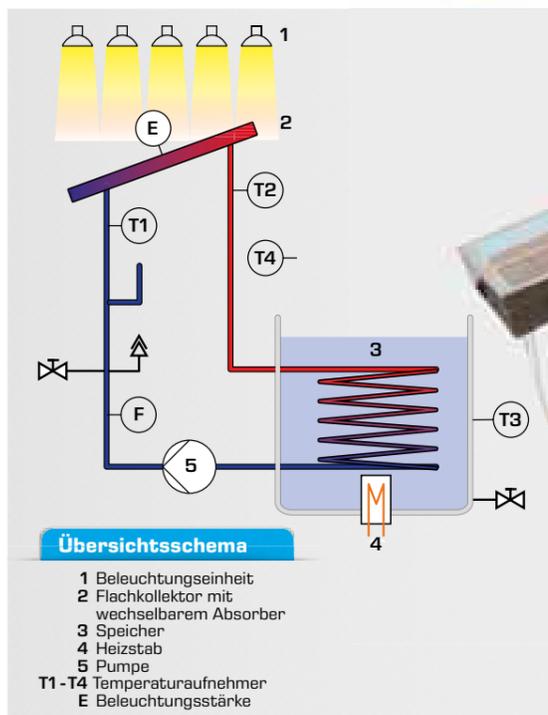
# Grundlagen Solarthermie

## ET 202

Der Versuchsstand ET 202 ermöglicht Ihnen systematische Messreihen zu einer solarthermischen Anlage mit Flachkollektor.

Eine Beleuchtungseinheit simuliert die natürliche Solarstrahlung. Das Licht wird in einem Absorber in Wärme umgewandelt und an eine Wärmeträgerflüssigkeit übertragen. Eine Pumpe fördert die Wärmeträgerflüssigkeit durch einen Speicher. Dort wird die Wärme über einen integrierten Wärmeübertrager an den Speicherinhalt abgegeben.

Für vergleichende Messungen von Kollektorverlusten kann der vormontierte Absorber mit selektiver Beschichtung gegen einen einfacheren geschwärtzten Absorber ausgetauscht werden. Der elektrische Heizstab (4) im Speicher (3) verkürzt die Aufheizzeiten für Versuche bei höheren Temperaturen.



### Lernziele/Übungen

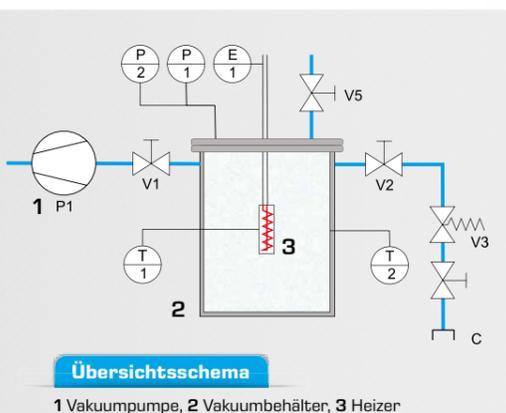
- Aufbau und Funktion einer einfachen solarthermischen Anlage
- Energiebilanz am Solarkollektor
- Einfluss von Beleuchtungsstärke, Einstrahlungswinkel und Durchfluss
- Bestimmung von Wirkungsgradkennlinien
- Einfluss verschiedener Absorberoberflächen

### Software

Die Versuchsdurchführung wird unterstützt durch übersichtliche Software zur Darstellung und Auswertung der Messwerte.



Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.

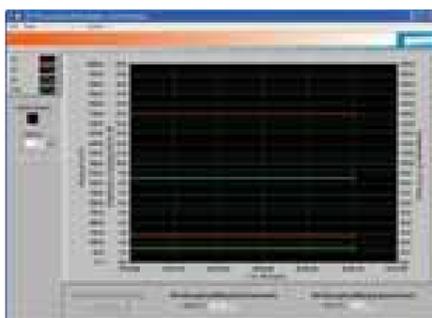


### Funktionsweise

Während die Energie bei Umgebungsdruck hauptsächlich über Konvektion transportiert wird, findet der Energietransport bei sehr geringen Drücken nur durch Strahlung statt.

Ein elektrisch beheizter Metallzylinder befindet sich in einem Druckbehälter, der evakuiert werden kann. Niedrige Drücke bis zu 1 Pa absolut, werden über die eingebaute Vakuumpumpe erzeugt. Überdrücke bis 1 bar können über einen externen Druckluftanschluss realisiert werden.

An der Messeinheit werden Druck und Temperaturen angezeigt. Die Messdaten können gleichzeitig über USB direkt auf einen PC übertragen und dort mit Hilfe der mitgelieferten Software ausgewertet werden:

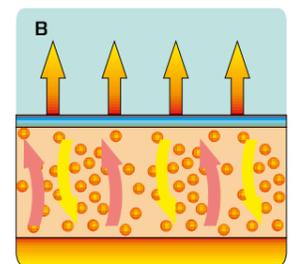
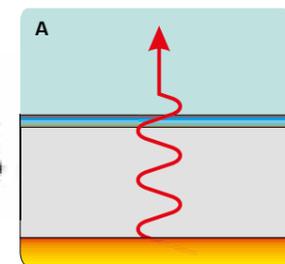


WL 377 Software

# WL 377

## Versuchsstand Konvektion und Strahlung

WL 377 ermöglicht Ihnen Experimente zum Wärmetransport unter verschiedenen Umgebungsbedingungen. Damit können Sie insbesondere die Grundlagen zu typischen Wärmeübertragungsvorgängen in einem thermischen Solarkollektor erarbeiten.



Werden die Zwischenräume zwischen Glasabdeckung und Absorber evakuiert, können die Wärmeverluste eines thermischen Solarkollektors deutlich vermindert werden.

### Lernziele/Übungen

- Wärmeübertragung durch Konvektion bei Umgebungsdruck
- Wärmeübertragung durch Strahlung bei Vakuum



Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.

# Kombinierte Nutzung erneuerbarer Wärmequellen

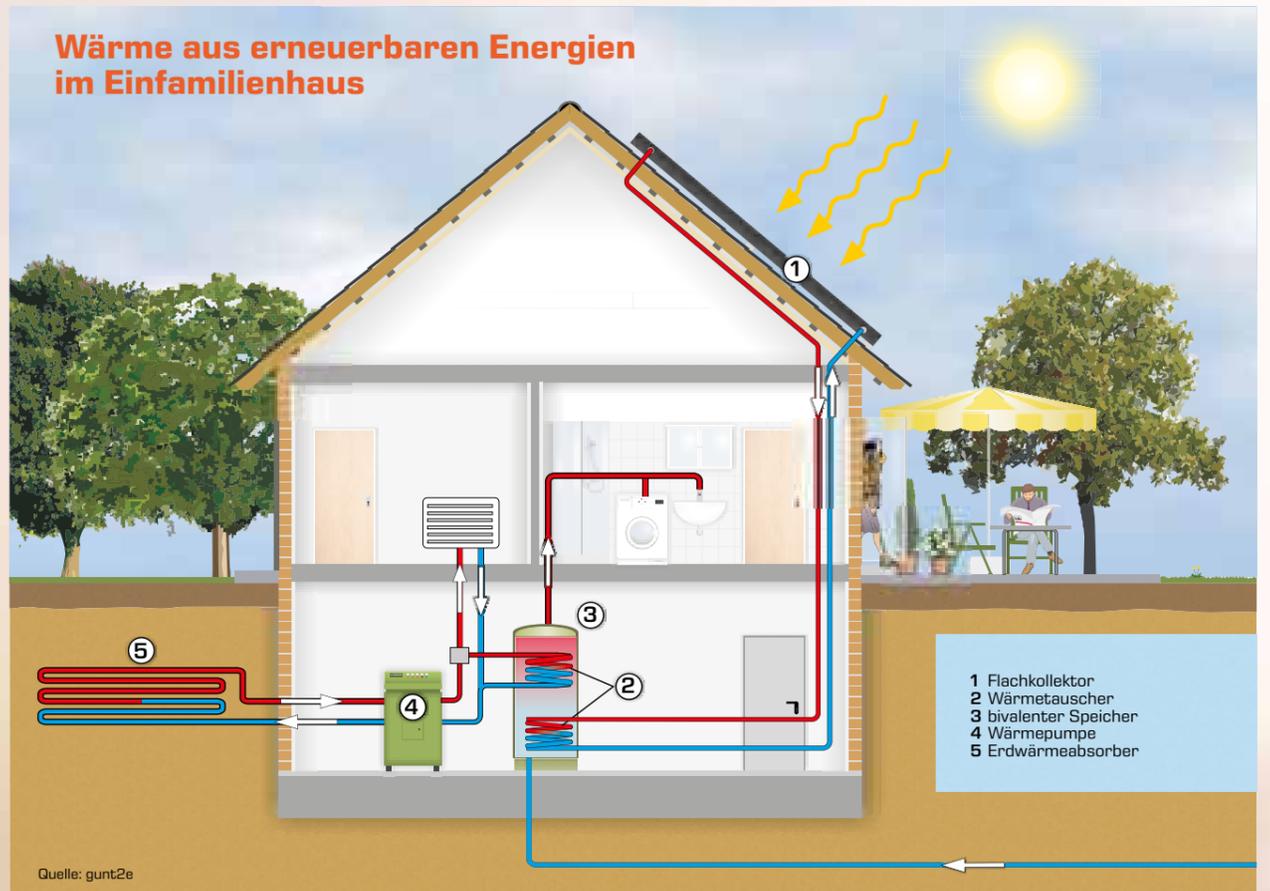
Für moderne Wohngebäude mit guter Wärmedämmung stellt der Verzicht auf eine konventionelle Heizung in vielen Fällen eine echte Alternative dar. Bei der Kombination von solarthermischen Kollektoren mit einer Wärmepumpe sind inzwischen sehr oft deutliche Einsparungen bei ganzjähriger Versorgungssicherheit gewährleistet.



Quelle: Vißmann



Gerade bei größeren Heizungsanlagen kann die kombinierte Nutzung von Wärmepumpen und Solarthermie eine deutliche Reduzierung der Kosten bewirken.



Quelle: gunt2e

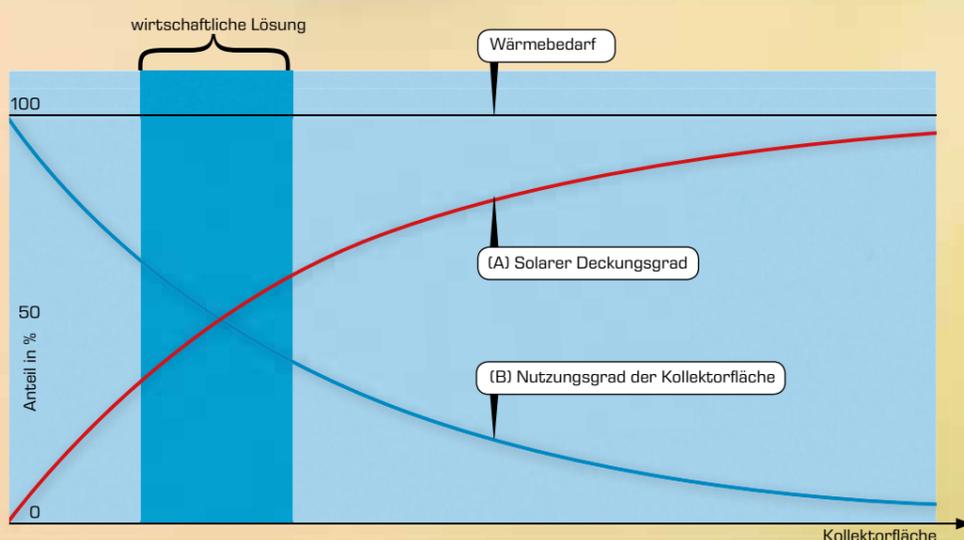
Die Abbildung zeigt ein System zur Raumheizung und Brauchwassererwärmung. Der Flachkollektor (1) unterstützt die Wärmeerzeugung und reduziert damit den Energieverbrauch der Sole-Wärmepumpe (4). Die Wärmeversorgung für die Wärmepumpe erfolgt durch den Erdwärmeabsorber (5). Der bivalente Speicher (3) ermöglicht die Einbindung verschiedener Wärmequellen und schafft einen Ausgleich zwischen Wärmeangebot und -bedarf.

# Auslegung und Deckungsgrad

Ein wichtiges Kriterium bei der Auslegung von klimaschonenden Heizungsanlagen ist der Deckungsgrad, d.h. der Anteil des Wärmebedarfs, der im Jahresmittel solarthermisch abgedeckt werden soll.

Wie im nebenstehenden Diagramm gezeigt, lässt sich mit zunehmender Kollektorfläche ein höherer Deckungsgrad (A) erreichen. Dabei sinkt jedoch der Nutzungsgrad (B) der Kollektorfläche. D.h. für eine gegebene Anlage verringert sich mit zunehmender Kollektorfläche die Zeit, in der die maximal mögliche Leistung vollständig genutzt werden kann.

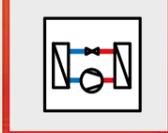
Eine wirtschaftliche Lösung (dunkler Bereich) wird zu meist bei einem ausgewogenen Verhältnis im Bereich des Schnittpunkts der Kurven A und B erreicht.



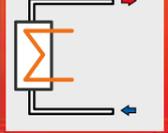
Aus dem Diagramm lässt sich erkennen, dass für eine bedarfsgerechte und wirtschaftliche Anlage neben der Solarthermie eine weitere Wärmequelle erforderlich ist. Um zu ermitteln, welche Kombination von Anlagenkomponenten dabei am besten geeignet ist, muss das Verhalten der Komponenten bei den zu erwartenden Betriebszuständen bekannt sein.

# Solarthermie und Wärmepumpe **HL 320**

HL 320.01



HL 320.02



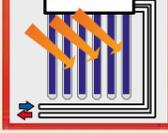
HL 320.03



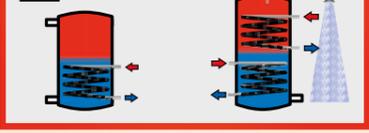
## Module des HL320 Systems:

- HL 320.01 Wärmepumpe
- HL 320.02 konventionelle Zusatzheizung
- HL 320.03 Flachkollektor
- HL 320.04 Vakuumröhrenkollektor
- HL 320.05 zentrales Speichermodul
- HL 320.07 Fußbodenheizung als Verbraucher oder Wärmequelle
- HL 320.08 Gebläsekonvektor als Verbraucher oder Wärmequelle

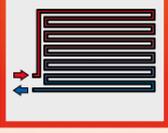
HL 320.04



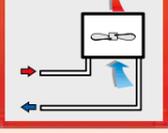
HL 320.05

HL 320  
Modulsystem  
Solarthermie  
und  
Wärmepumpen

HL 320.07



HL 320.08



Mit geringem Aufwand können Verbindungen für die Wärmeübertragung zwischen den einzelnen Modulen verändert werden.

Dadurch ist es möglich, in kurzer Zeit mit den gleichen Modulen verschiedene Anlagenkonzepte zu untersuchen.

## Das HL 320 Modulkonzept

Um verschiedene Kombinationen von klassischen und regenerativen Wärmequellen sowie von Speichern und Verbrauchern zu untersuchen, wurde das Konzept des Modulsystems HL 320 entwickelt.

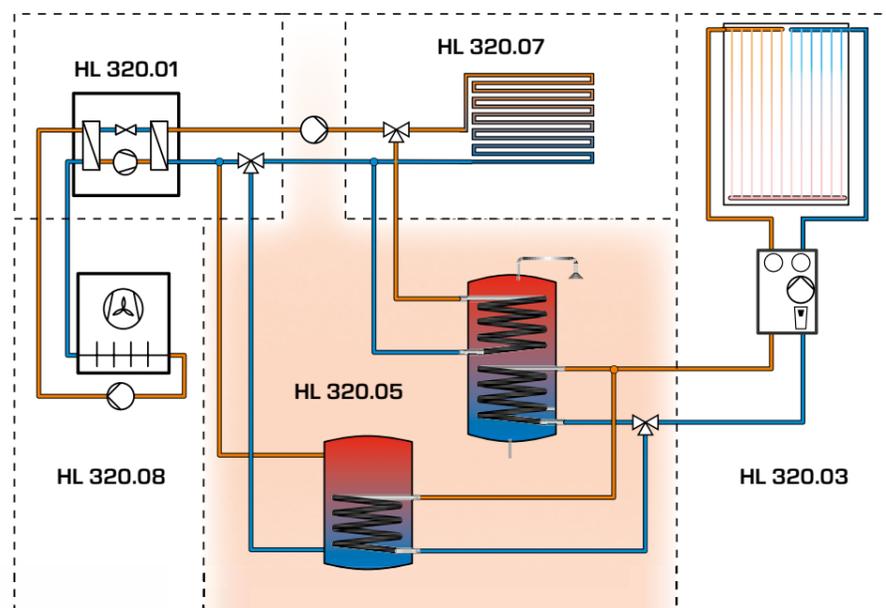
Zum Einsatz kommen typische Industriekomponenten aus der Praxis der modernen Heizungstechnik.

Das Modulsystem ist Teil des didaktischen Gesamtkonzepts von 2E im Bereich der erneuerbaren Energien.

Untersuchen Sie mit HL 320 verschiedene Konfigurationen für Solarthermie und Wärmepumpe

## System mit Wärmepumpe und Flachkollektor

Das Prozessschema für ein typisches System mit Wärmepumpe und Flachkollektor ist in der nachfolgenden Abbildung gezeigt:



In dieser Konfiguration wird der Gebläsekonvektor HL 320.08 als Wärmequelle für die Wärmepumpe HL 320.01 verwendet. Das Modul HL 320.07 ist als Wärmesenke (Fußbodenheizung) eingebunden.

## Das HL 320.05 Speichermodul

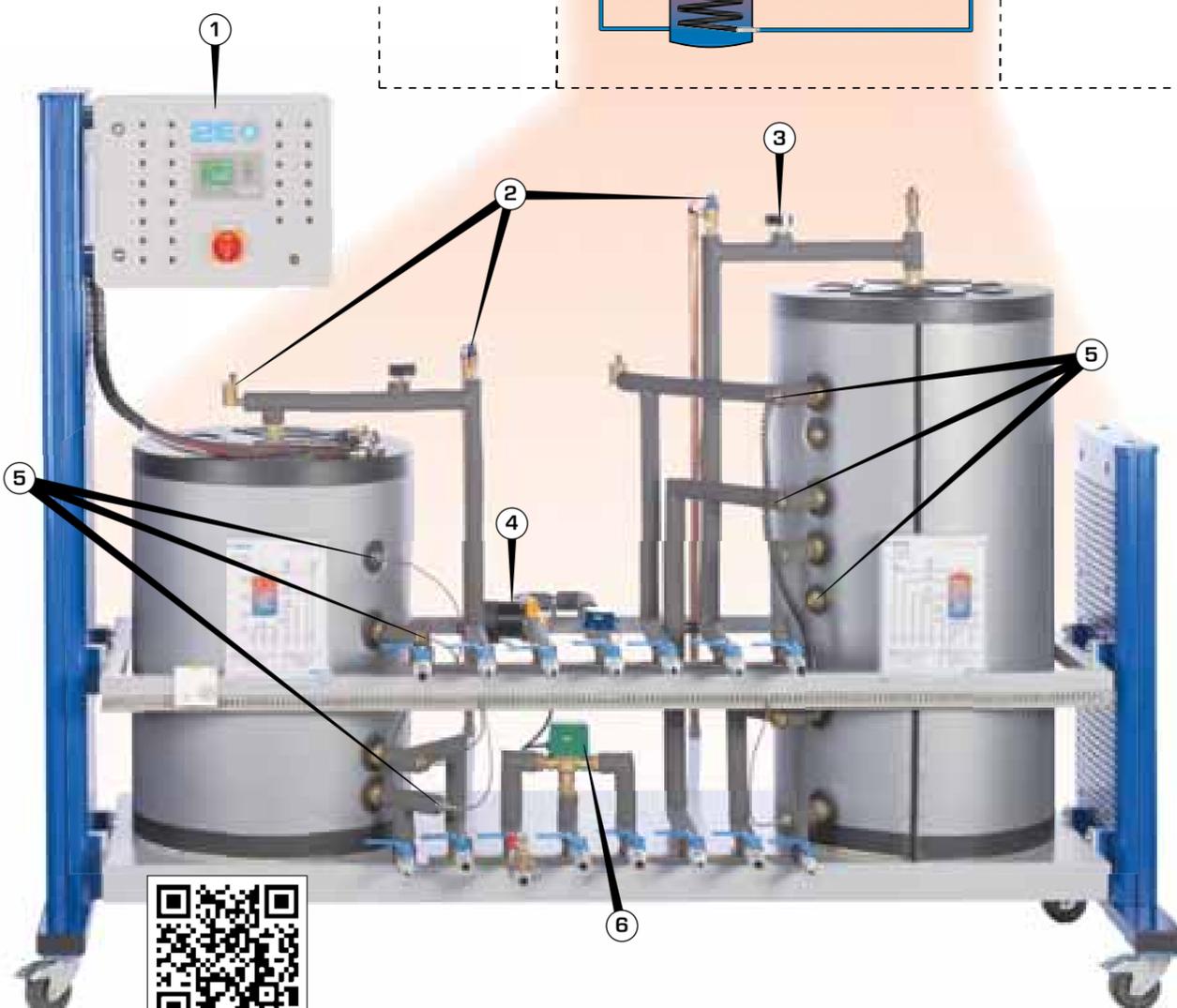
### Das Grundgerät mit Pufferspeicher und bivalentem Speicher

Ein zentrales Modul für alle vorgesehenen Versuche ist das Speichermodul HL320.05. Es verfügt über einen Pufferspeicher und einen bivalenten Speicher. Weitere Bestandteile dieses Moduls sind:

1. ein frei programmierbarer Regler
2. Überdruck- und Entlüftungsventile
3. Drucksensoren
4. eine Pumpe
5. Temperaturlaufnehmer an Leitungen, Wärmeübertragern und an verschiedenen Positionen im Innenraum der Speicherbehälter
6. ein angetriebenes Dreizehventil

Sowohl die Anschlüsse zu einzelnen Komponenten als auch zum Speicher sind mit eigenen Zuleitungen und Absperrventilen versehen, um den Aufwand bei Veränderungen des Leitungsverlaufs gering zu halten.

Die Pumpe und das Dreizehventil können durch entsprechend parametrierte Ausgänge des Reglers angesteuert werden.



Hier finden Sie weitere Details und technische Daten.

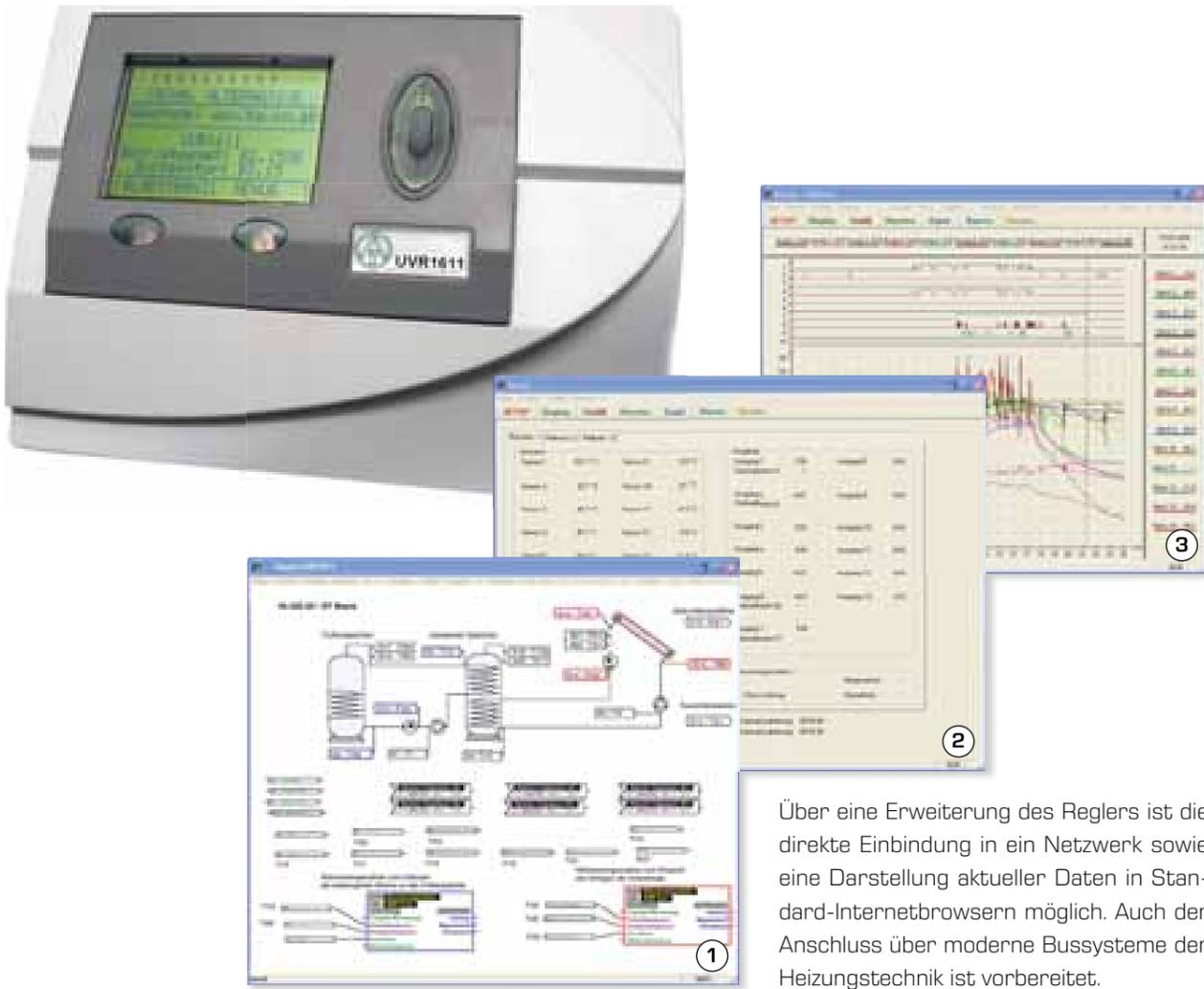
# HL 320.05 Frei programmierbarer Universalregler mit Datenlogger und umfangreicher Software

Das Speichermodul HL 320.05 ist mit einem frei programmierbaren Regler ausgestattet. Zur Vorbereitung eines Versuchs werden die benötigten Mess- und Steuerleitungen der beteiligten HL 320-Module gemäß der Versuchsanleitung an die Ein- und Ausgänge des Reglers angeschlossen.

Für die passende Konfigurierung des Reglers können nun vorbereitete Konfigurationsdateien aus dem internen Speicher des Reglers aktiviert werden. Es stehen ausführlich dokumentierte Konfigurationsdateien für einführende und fortgeschrittene Versuche zur Verfügung. In dem Speicher des Reglers können auch neu erstellte Konfigurationen oder Änderungen gespeichert werden.

Übersichtlicher als die Bearbeitung von Einstellungen über die Bedienelemente des Reglers ist die Benutzung der PC-basierten Konfigurationssoftware Tapps. Tapps bietet vollständigen Zugriff auf vordefinierte und selbsterstellte Funktionen des Reglers. Wie in der folgenden Abbildung gezeigt, bietet das Programm zudem die Möglichkeit, auch Grafiken des aktuellen Anlagenschemas in der betreffenden Konfigurationsdatei zu speichern (1).

Der Regler enthält zudem einen Datenlogger, so dass alle relevanten Messgrößen aufgezeichnet und zur späteren Auswertung auf den PC übertragen werden können. Auch für die Datenerfassung, Übertragung (2) und Darstellung (3) steht ein umfangreiches Softwarepaket zur Verfügung (incl. Exportfunktion für Microsoft Excel Format).

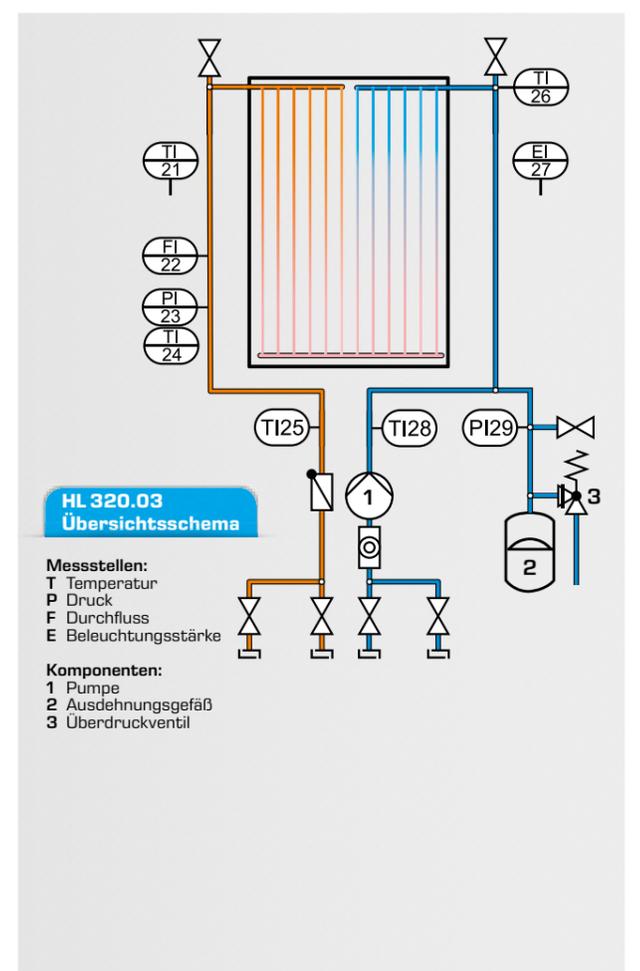


Über eine Erweiterung des Reglers ist die direkte Einbindung in ein Netzwerk sowie eine Darstellung aktueller Daten in Standard-Internetbrowsern möglich. Auch der Anschluss über moderne Bussysteme der Heizungstechnik ist vorbereitet.



## Der Flachkollektor HL 320.03

Der Flachkollektor HL 320.03 ist als ein Baustein für das HL 320 Modulsystem vorgesehen. Dieses Modul enthält eine Solarkreisstation mit einer regelbaren Pumpe. Ein Membranausdehnungsgefäß (MAG) gleicht Druckschwankungen im Solarkreis aus. Verschiedene Temperaturenfnehmer sowie ein Durchflussmesser ermöglichen die Erfassung der solaren Wärmeenergie. Messleitungen und Steuerleitungen ermöglichen den Anschluss an den zentralen Regler auf dem Speichermodul HL 320.05.



# HL 320 Konfigurationen

## HL 320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe

	Konfigurationen				
	ST Basis	ST Max	WP Basis	ST WP	ST WP Max
HL 320.01 Wärmepumpe			X	X	X
HL 320.02 konventionelle Heizung		X			X
HL 320.03 Flachkollektor	X	X		X	X
HL 320.04 Vakuumröhrenkollektor	(X)	(X)		(X)	(X)
HL 320.05 zentrales Speichermodul mit Regler	X	X		X	X
HL 320.07 Fußbodenheizung / Erdwärmeabsorber		X	X	X	X
HL 320.08 Gebläseheizung / Luftwärmeübertrager			X	X	X

Je nach Lernziel können die Schulungsmodulare zu unterschiedlichen Konfigurationen zusammengestellt werden. Herzstück ist das zentrale Speichermodul mit dem frei programmierbaren Universalregler.

Der Vakuumröhrenkollektor HL 320.04 kann alternativ zum Flachkollektor HL 320.03 eingesetzt werden.

Durch vergleichende Messreihen an unterschiedlichen Versuchsaufbauten können besonders effiziente Anlagenkonzepte ermittelt werden.



HL 320 Grundkonfiguration für Versuche zur Warmwasserbereitung und Kollektortests

### Lernziele/Übungen

- Kennenlernen von modernen Heizungsanlagen auf der Basis erneuerbarer Energiequellen
- Inbetriebnahme von Heizungsanlagen mit Solarthermie und Wärmepumpen
- Erlernen der elektrischen, hydraulischen und regelungstechnischen Betriebsbedingungen
- Eigenschaften verschiedener Wärmespeicher
- Einflussgrößen für die Effizienz und Leistung von solarthermischen Kollektoren
- Einflussgrößen für die Effizienz und Leistung von Wärmepumpen
- Aufstellen von Energiebilanzen für verschiedene Anlagenkonfigurationen
- Anforderungsprofile von Brauchwassererwärmung und Raumheizung
- Entwickeln von Regelstrategien für verschiedene Betriebsarten

# Planung für Ihr Solarenergie-Labor

## 2E-Geräte sinnvoll kombinieren

Natürlich ist Ihre Auswahl von 2E-Versuchsgeräten zur Solarenergie auch von individuellen Faktoren vor Ort abhängig. Als Hilfestellung möchten wir Ihnen jedoch eine Übersicht für die sinnvolle Kombination von mehreren Versuchsgeräten anbieten:

2E-Photovoltaik-Versuche									
Ausbaustufen	Labor-Variante A					Labor-Variante B			
	I	II	III	IV		I	II	III	IV
	Schritt für Schritt zum vollständigen Labor →					Schritt für Schritt zum vollständigen Labor →			
ET 250	+					+			
HL 313.01		+					+		
ET 252			+					+	
ET 250.01				+					
ET 250.02				+					
ET 255									+

2E-Solarthermie-Versuche													
Ausbaustufen	Labor-Variante A						Labor-Variante B						
	I	II	III	IV	V		I	II	III	IV	V	VI	VII
	Schritt für Schritt zum vollständigen Labor →						Schritt für Schritt zum vollständigen Labor →						
HL 313	+												
HL 313.01		+						+					
ET 202			+								+		
WL 377				+								+	
HL 320 ST Basis*							+						
HL 320 ST Max*								+					
HL 320 WP Basis*									+				
HL 320 ST WP*										+			
HL 320 ST WP Max*											+		

\* (vgl. Tabelle S.19)

Für die Bereiche Photovoltaik und Solarthermie lassen sich jeweils zwei Labor-Varianten (A,B) unterscheiden. Für jede Labor-Variante ergeben sich verschiedene Einstiegsgeräte (Ausbaustufe I). Wie in den Tabellen gezeigt, bieten sich bis zur jeweiligen vollen Ausbaustufe eine Reihe einander ergänzende Versuchsgeräte an.

Dadurch erhalten Sie die Möglichkeit, eine gewünschte Gerätezusammenstellung auch schrittweise zu beschaffen. Durch die gezeigten Kombinationen ist mit jeder Ausbaustufe eine sinnvolle Erweiterung der Versuche im 2E-Curriculum zur Solarenergie gewährleistet.



Engineering  
for a more  
sustainable  
society  
[www.gunt2e.de](http://www.gunt2e.de)



### Impressum

**Herausgeber:**  
G.U.N.T. Gerätebau GmbH  
Hanskampring 15 - 17  
D-22885 Barsbüttel  
Telefon: +49 40 / 670 854 - 0  
Internet: [www.gunt2e.de](http://www.gunt2e.de)

**Geschäftsführer:**  
Rudolf Heckmann

**Expertenteam:**  
Dr. K. Boedecker

**Chefredaktion:**  
Rudolf Heckmann

**Layout:**  
Profi-Satz

Wiederverwendung, Speicherung, Vervielfältigung und Nachdruck des Inhalts – auch in Auszügen – sind nur mit schriftlicher Genehmigung der G.U.N.T. Gerätebau GmbH gestattet. Für unverlangt eingesandtes Text- und Bildmaterial wird keine Haftung übernommen.

08.2013