

Systeme
für die technische
Ausbildung



Energie

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz



Inhaltsverzeichnis

Willkommen bei GUNT

Im vorliegenden Katalog geben wir Ihnen einen umfassenden Überblick über unsere innovativen Demonstrations- und Versuchsgeräte.

GUNT-Geräte für:

- Ausbildung in technischen Berufen
- Training und Weiterbildung von technischem Personal in Handwerk und Industrie
- Studium der Ingenieurdisziplinen

Energie

	Einleitung	004
1	Solarenergie	010
2	Wasserkraft und Meeresenergie	052
3	Windkraft	074
4	Biomasse	106
5	Geothermie	126
6	Energiesysteme	162
7	Energieeffizienz in Gebäuden	200
	Produktübersicht	250

Impressum

© 2024 G.U.N.T. Gerätebau GmbH. Wiederverwendung, Speicherung, Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung gestattet.

GUNT ist eine eingetragene Marke. Unsere Produkte sind somit geschützt und unterliegen dem Urheberrecht.

Für Druckfehler kann keine Gewähr übernommen werden. Änderungen vorbehalten.

Bildnachweise: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Herstellerfotos, Shutterstock, 123RF.
 Gestaltung & Satz: Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hamburg.
 Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem, umweltfreundlichen Papier.

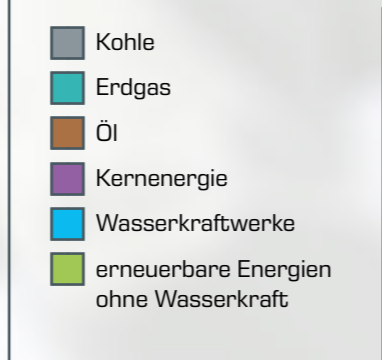
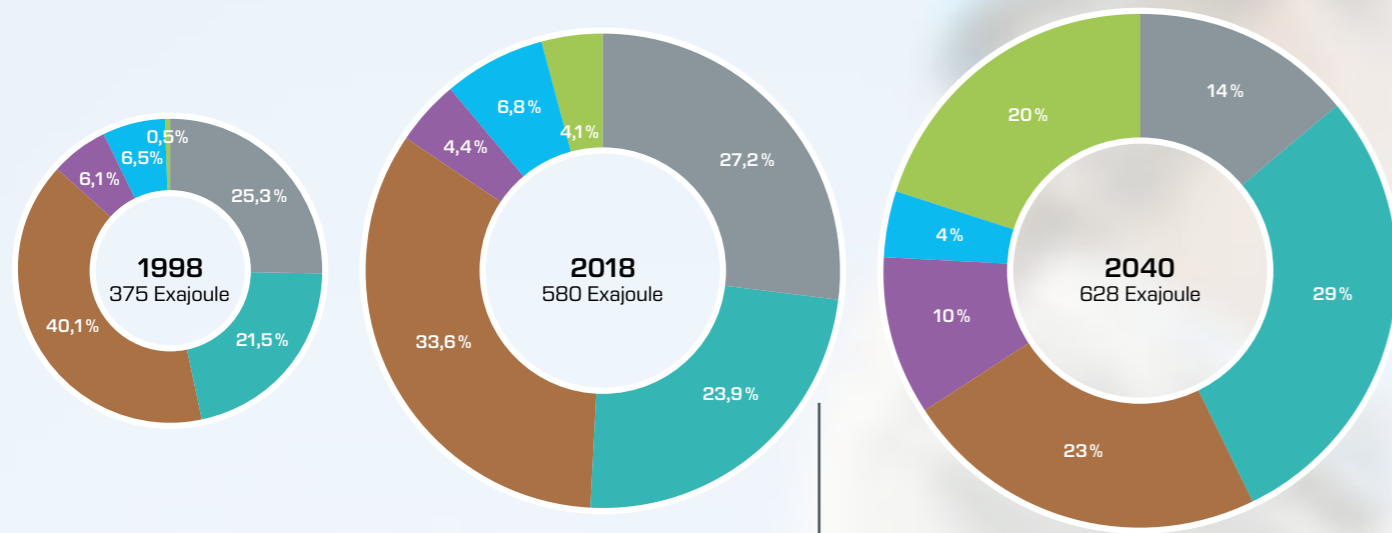
Basiswissen

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Anstieg des globalen Energieverbrauchs

Eine stetig wachsende Weltbevölkerung und zunehmende Industrialisierung haben in den letzten Jahrzehnten zu einem starken Anstieg des globalen Energieverbrauchs geführt.

Das Diagramm des World Energy Council (WEC) zeigt den steigenden Verbrauch an Primärenergie von 1998 bis 2018 und eine Prognose für 2040. In dem angenommenen Szenario für 2040 ist erkennbar, dass die Gesamtmenge an eingesetzten fossilen Brennstoffen trotz eines zunehmenden Gesamtverbrauchs an Primärenergie abnimmt und der Anteil an erneuerbaren Energien deutlich zunimmt.



Quelle: World Energy Council WEC

Belastung der Umwelt

Das größte Problem bei der Versorgung durch fossile Energieträger besteht in der Begrenztheit der Vorkommen und in der Belastung der Umwelt durch schädliche Abfallprodukte. Sowohl der CO₂-Ausstoß aus Verbrennungsvorgängen als auch nukleare Risiken von Kernkraftwerken führen zu Gefahren für den Menschen und das Ökosystem der Erde. Neben der Deckung des Energiebedarfs ist daher die Vermeidung von schädlichen Abfallprodukten die wesentliche Anforderung an eine zukünftige Energieversorgung.

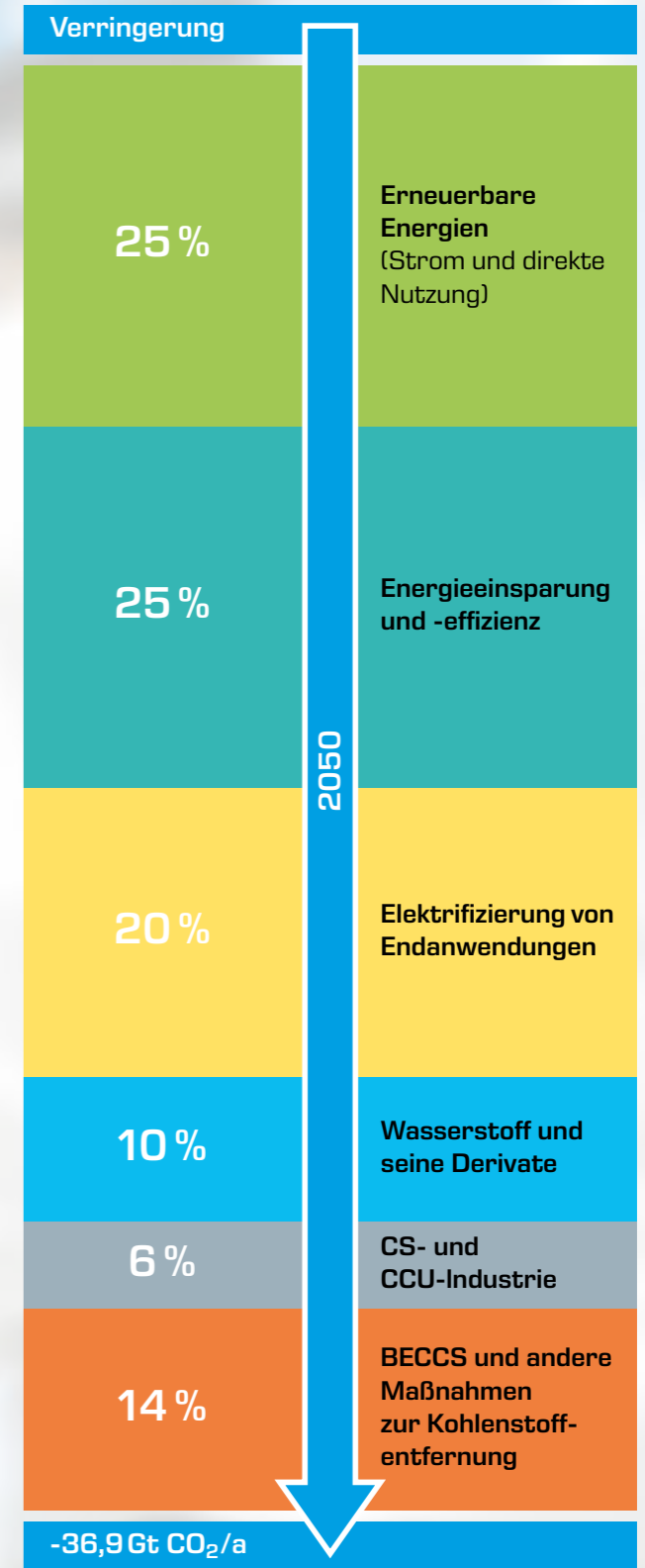
Technologische Möglichkeiten auf dem Weg zum 1,5 Grad-Ziel

Die Zeit drängt und die Emissionen klimaschädlicher Gase müssen ab sofort drastisch gesenkt werden, um die Chance auf das 1,5°C-Ziel nicht zu verspielen. In Übereinstimmung mit dem Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zur Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5°C bis 2050 sollten Kohle und Öl ihren Höhepunkt bereits hinter sich haben, während Erdgas seinen Höhepunkt 2025 erreicht.

Die zur Beschleunigung der Energiewende benötigten Ressourcen und Technologien sind bereits heute verfügbar.

Ergebnisse eines Szenarios der IRENA (International Renewable Energy Agency) für das Erreichen des 1,5°C Ziels sind in der nebenstehenden Grafik zusammengefasst.

Verringerung der CO₂-Emissionen im 1,5°C-Szenario bis 2050



Aus der Grafik ist zu erkennen, welchen Beitrag einzelne Maßnahmen zur globalen Reduzierung der CO₂ Emissionen leisten sollten. Ziel dieses IRENA-Szenarios ist es bis zum Jahr 2050 eine Reduzierung von 36,9 Gt CO₂/a zu erreichen.

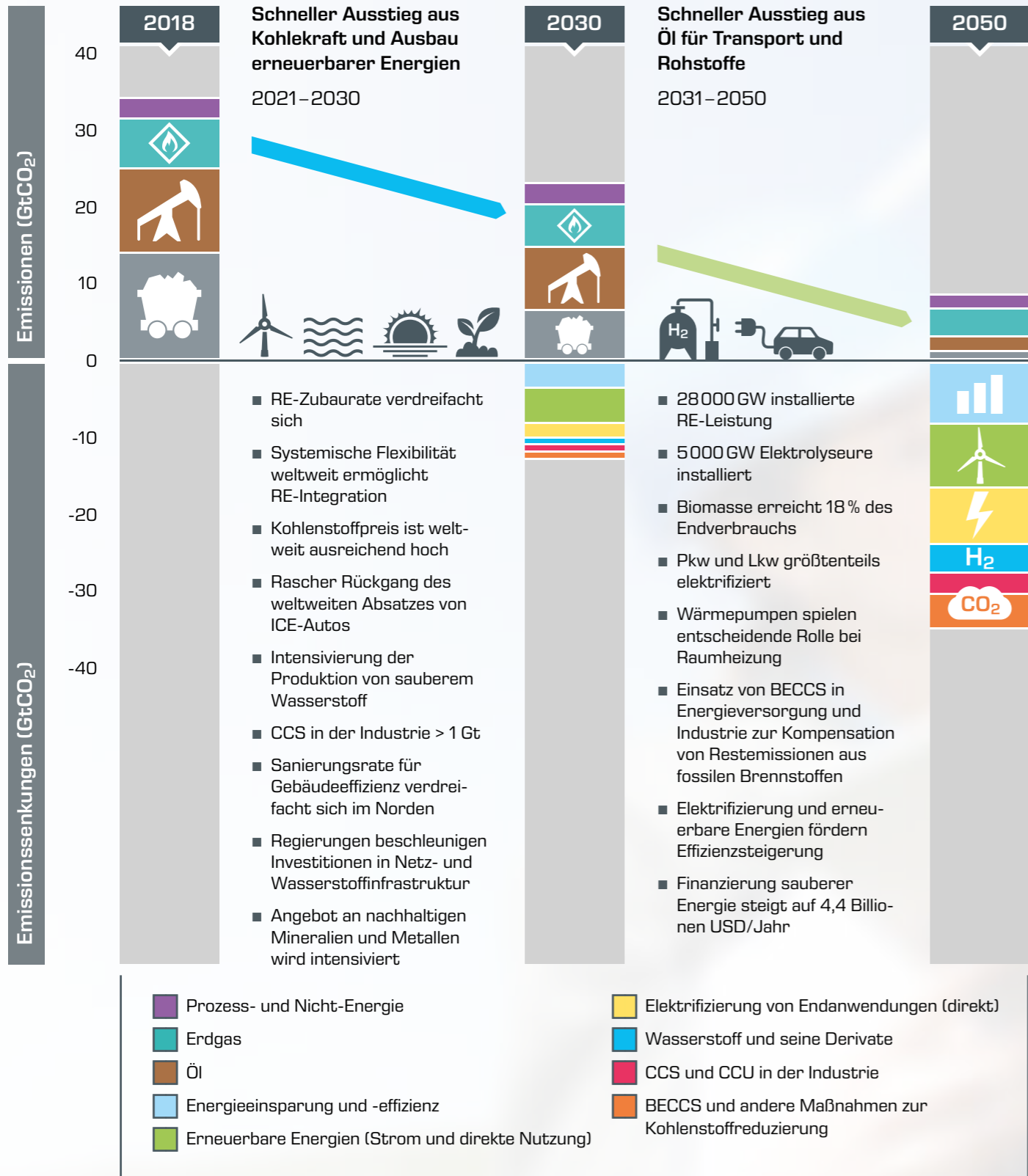
Auf der nachfolgenden Seite ist der zeitliche Verlauf der CO₂-Reduzierung durch einzelne Maßnahmen und erneuerbare Energiequellen im Detail dargestellt.

- CS** Carbon storage (Speicherung von Kohlenstoff)
- CCU** Carbon capture and utilization (Speicherung und Wiederverwertung von Kohlenstoff)
- BECCS** Bio energy with carbon capture and storage (Nutzung von Bioenergie mit Speicherung und Wiederverwertung von Kohlenstoff)

Basiswissen

1.5 Grad Fahrplan

Verminderung der CO₂ Emissionen bei Ausstieg aus Kohle und Öl, 2021–2050



RE erneuerbare Energie, VRE variable erneuerbare Energie, CBAM CO₂-Grenzausgleichssystem, ICE Verbrennungsmotor, GW Gigawatt, Gt Gigatonne, CCS Kohlenstoffabscheidung und -speicherung, BECCS Bioenergie in Kombination mit Technologien zur Kohlenstoffentfernung, CCU Kohlenstoffabscheidung und -nutzung

Quelle: IRENA / Fahrplan zum 1,5°C-Ziel

Effiziente Verwendung von Energie

Neben der Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien wird eine wesentliche Herausforderung in der effizienten Verwendung der verfügbaren Energie liegen. Nur wenn auf beiden Gebieten auf globaler Ebene ausreichende Fortschritte erzielt werden, kann es gelingen, den bedrohlichen Ausstoß von Klimagasen auf ein erträgliches Maß zu reduzieren.

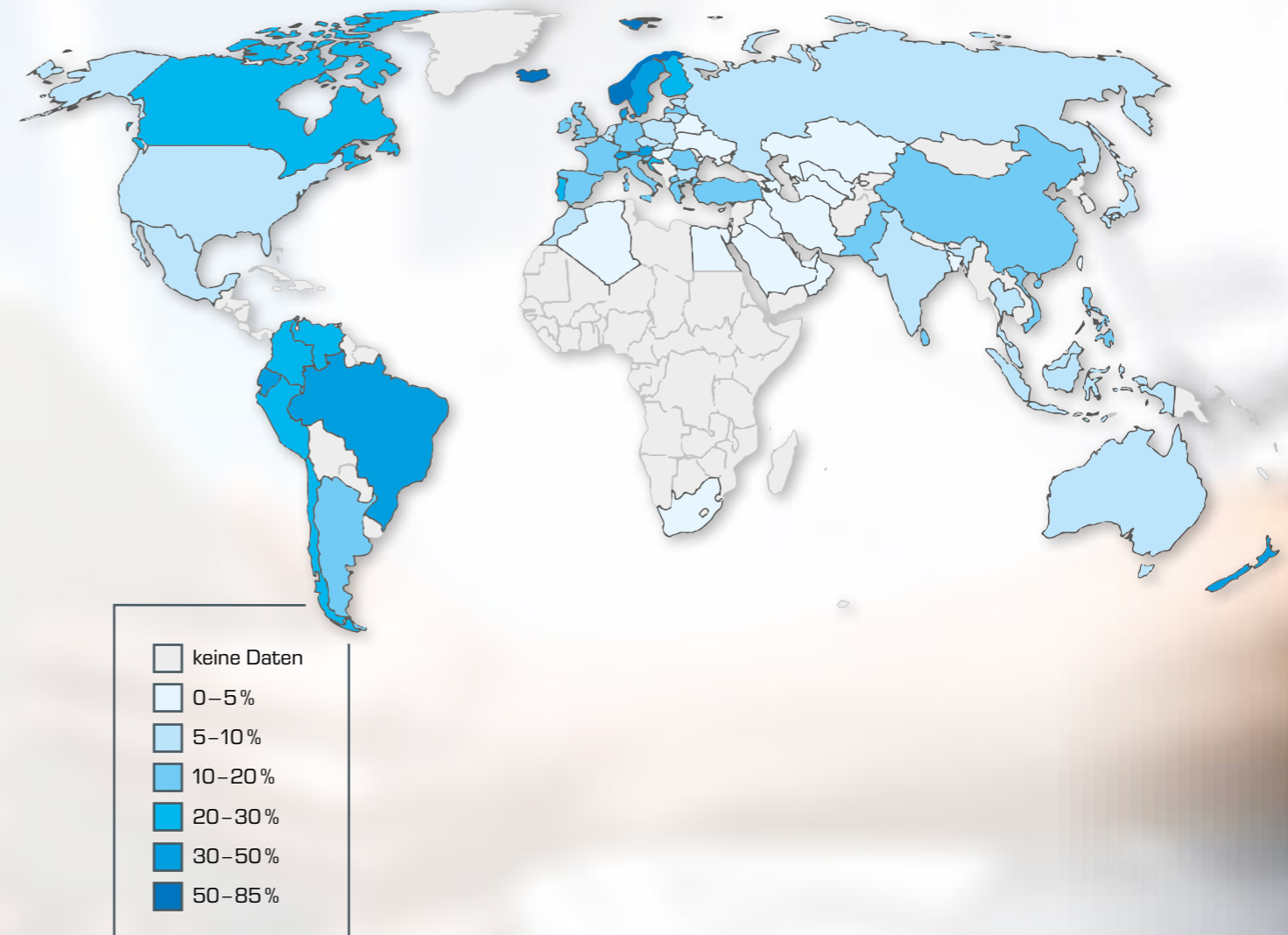
Durch ein sorgfältig strukturiertes Produktprogramm im Bereich Energie möchten wir Sie in Ihrem Bemühen unterstützen, die dafür erforderlichen, umfassend qualifizierten Fachkräfte auszubilden.

Energienutzung im globalen Kontext

Beim Klimaschutz und bei der Umstellung auf eine nachhaltige Energieversorgung handelt es sich um Aufgaben, die nur in einem globalen Kontext lösbar sind. Auf den Einführungsseiten der Kapitel Solarenergie, Wasserkraft/Meeresenergie und Windkraft bieten wir Ihnen daher einen globalen Überblick zur Verfügbarkeit der jeweiligen Energiequelle in Form einer Weltkarte an.

Eine globale Übersicht zu den regionalen Anteilen aller erneuerbaren Quellen an der Primärenergie im Jahr 2019 ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

Anteile erneuerbarer Energie an der Primärenergie weltweit



Quelle: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy (2020)

Lernfelder

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Energie für die Welt von morgen

Im Bereich der erneuerbaren Energietechnik haben sich historisch die Bereiche Solarenergie, Windkraft, Wasserkraft, Biomasse und Geothermie herausgebildet. Die Trennung dieser Bereiche hat sich dabei aus den unterschiedlichen Primärquellen erneuerbarer Energie entwickelt. Darüber

hinaus sehen wir insbesondere in der Optimierung von Energiesystemen und speziell in der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden die wirksamsten Möglichkeiten, für mehr Nachhaltigkeit in der Energieverwendung.

Die Grundlagen der Energietechnik

Auch für die erneuerbaren Energien bilden Kenntnisse der konventionellen Energietechnik eine wichtige Grundlage. Hierzu gehören z.B. Thermodynamik, Wärmeübertragung, Kreisprozesse, Dampferzeugung und Turbomaschinen.

Für das Verständnis von Windkraft und Wasserkraft sind Grundlagenkenntnisse auf dem Gebiet der Strömungsmechanik erforderlich. Im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse stellen prozesstechnische Aspekte ein wichtiges Fundament dar. Für diese Grundlagen finden Sie interessante Geräte in unseren Programmbereichen:

Zur experimentellen Umsetzung der Bereiche des Energie-Curriculums liefern wir Ihnen die geeigneten Lehrsysteme. Die Grafik zeigt die wesentlichen Elemente, in die wir den Programmbereich Energie unterteilt haben.



3

Thermische Energietechnik

4

Technische Strömungsmechanik

5

Prozesstechnik

» Thermische Energietechnik

» Technische Strömungsmechanik

» Prozesstechnik

Einführung	
Lernfelder Solarenergie	012
Basiswissen Solarenergie	014

Photovoltaik	
Basiswissen Photovoltaik	016
ET 250 Messen an Solarmodulen	018
ET 250.01 Photovoltaik im Netzbetrieb	020
ET 250.02 Photovoltaik im Inselbetrieb	021
ET 252 Messen an Solarzellen	022
Übersicht ET 255 Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme	024

Solare Kühlung	
Basiswissen Solare Kühlung	046
ET 256 Kühlen mit Solarstrom	048
ET 352.01 Solare Wärme zur Kälteerzeugung	050

Solarthermie	
Basiswissen Solarthermie	026
Basiswissen Konzentrierende Solarthermie	028
ET 202 Grundlagen Solarthermie	030
ET 202.01 Parabolrinnenkollektor	032
WL 377 Konvektion und Strahlung	034
HL 313.01 Künstliche Lichtquelle	035
HL 313 Brauchwassererwärmung mit Flachkollektor	036
HL 314 Brauchwassererwärmung mit Vakuumröhrenkollektor	038
Übersicht HL 320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe	040
HL 320.03 Flachkollektor	042
HL 320.04 Vakuumröhrenkollektor	043
ET 203 Parabolrinnenkollektor mit Sonnennachführung	044

Lernfelder
Solarenergie

Lernfelder

Produkte

Solarenergie sinnvoll nutzen

Bei der Nutzung von Solarenergie unterscheiden wir die Bereiche Photovoltaik, Solarthermie und solare Kühlung.

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

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 konzentrierenden thermischen Parabolrinnen-Kraftwerk bereitzustellen. Welche Technologie gewählt wird, ist stark vom geplanten Standort und der Einbindung in das Versorgungsnetz abhängig.

Vorteil von Solaranlagen zur Kühlung ist es, dass die Verfügbarkeit von solarer Energie mit dem Bedarf an Kühlung zunimmt. Sowohl für kleine dezentrale Anwendungen als auch im großtechnischen Maßstab gewinnen Konzepte zur solaren Kühlung an Bedeutung.

Um das Potenzial der Solarenergie für eine nachhaltige Energieversorgung weltweit bestmöglich auszuschöpfen, sind das Verständnis und die Weiterentwicklung auch teils sehr verschiedener Nutzungskonzepte zwingend erforderlich.

Photovoltaik

Anwendungstechnik 1 –
Photovoltaische Solarmodule
richtig einsetzen

ET 250
Messen an Solarmodulen
ET 250.01
Photovoltaik im Netzbetrieb
ET 250.02
Photovoltaik im Inselbetrieb

Grundlagen Photovoltaik –
Technologische Grundlagen
von Solarzellen

ET 252
Messen an Solarzellen

Anwendungstechnik 2 –
Untersuchung und Simulation
von Systemen

ET 255
Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme

Solarthermie

Grundlagen Solarthermie –
Einflussgrößen solarthermischer
Wärme

ET 202
Grundlagen Solarthermie
WL 377
Konvektion und Strahlung

Anwendungstechnik 1 –
Einsatz moderner Kollektoren

HL 313
Brauchwassererwärmung mit Flachkollektor
HL 314
Brauchwassererwärmung mit Röhrenkollektor

Anwendungstechnik 2 –
Kombinierte Nutzung erneuerbarer
Wärme

HL 320
Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe

Konzentrierende Solarthermie

ET 202.01
Parabolrinnenkollektor
ET 203
Parabolrinnenkollektor mit Sonnennachführung

Solare Kühlung

Nutzung von Photovoltaik

ET 256
Kühlen mit Solarstrom

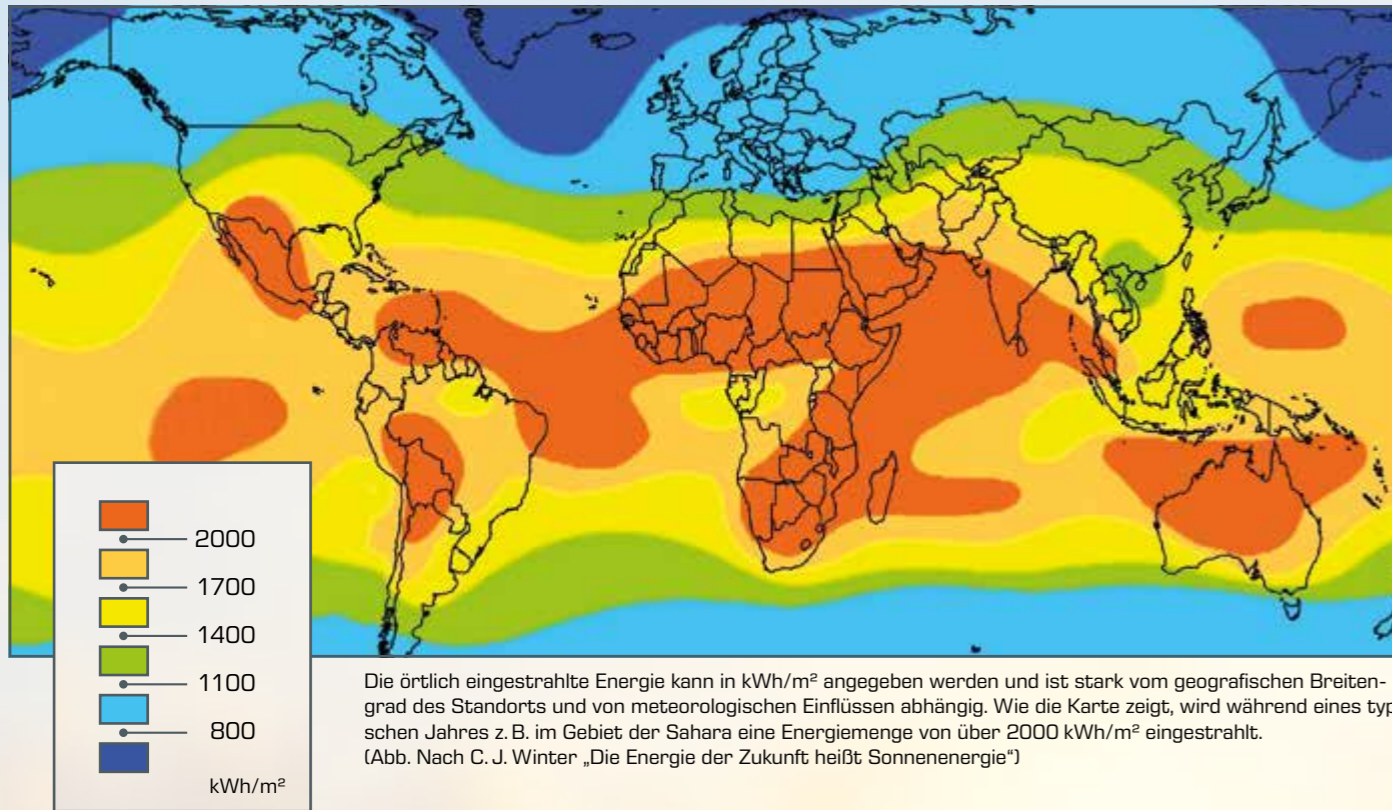
Nutzung von solarer Wärme

ET 352.01
Solare Wärme zur Kälteerzeugung

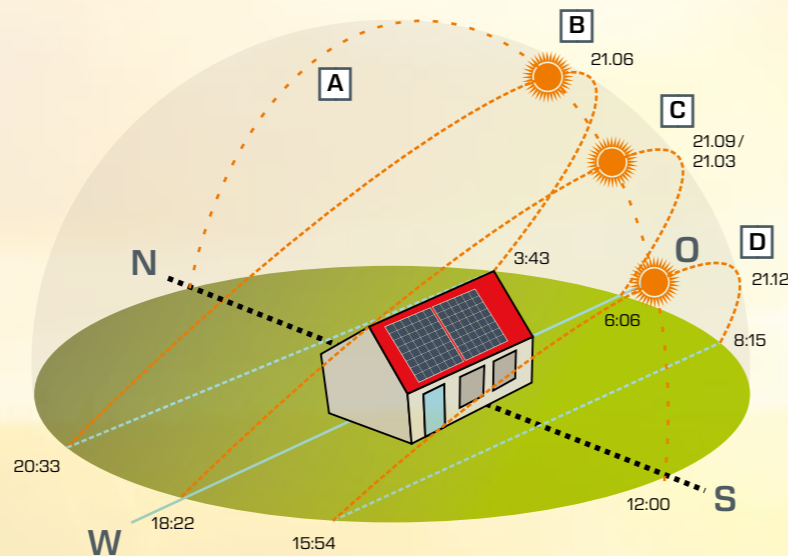
Basiswissen
Solarenergie

Energie im Überfluss

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.



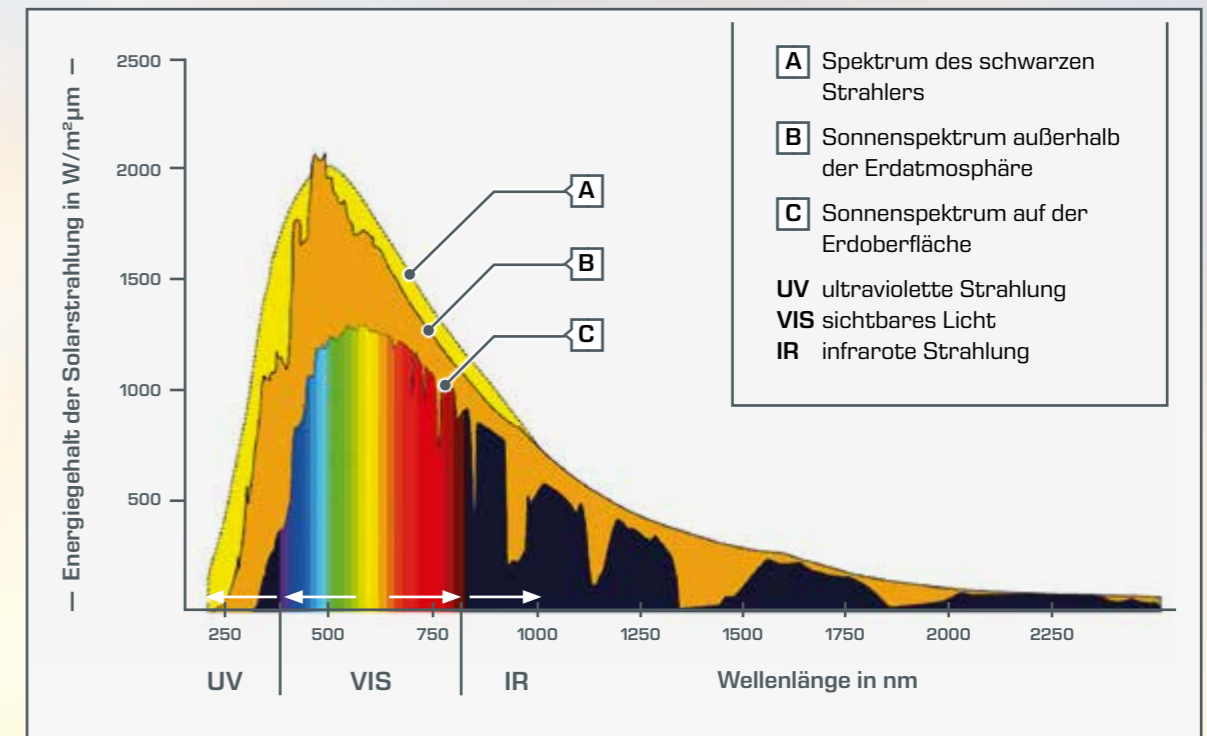
Die Ausrichtung der absorbierenden Flächen zur Himmelsrichtung und ihre Neigung spielen eine wesentliche Rolle bei der Optimierung des Ertrags einer Solaranlage. Die Abbildung zeigt die auf der Erde sichtbare Sonnenbahn zu verschiedenen Jahreszeiten. Die vermerkten Uhrzeiten für Sonnenauf- und Untergang ergeben sich am Standort Berlin:



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

Um die Nutzung der Solarstrahlung jeweils zu optimieren, ist es zunächst erforderlich, die Eigenschaften der Solarstrahlung zu kennen. Hierbei ist insbesondere die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts von Interesse. Durch spektroskopische Untersuchungen kann der Energiegehalt

des Sonnenlichts bei verschiedenen Wellenlängen bestimmt werden. Gelingt es nun, die spektralen Eigenschaften des Empfängers bzw. Absorbers besser an das Sonnenspektrum anzupassen, ist eine wesentliche Bedingung zur Verbesserung der Energiebilanz gegeben.



Das Spektrum des Sonnenlichts

Im Inneren der Sonne führen Fusionsprozesse zu Temperaturen von bis zu $15 \cdot 10^8$ K. Das Spektrum des emittierten Sonnenlichts beruht jedoch auf Prozessen in äußeren Schichten des Sonnenkörpers. Die spektrale Zusammensetzung lässt sich theoretisch durch einen sogenannten schwarzen Strahler mit einer Oberflächentemperatur von 5777 K beschreiben.

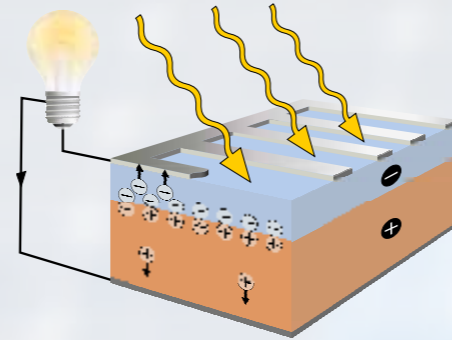
Auf dem Weg zur Erdoberfläche wird die Solarstrahlung in der Atmosphäre durch Streuung und Absorption abgeschwächt.

Basiswissen

Photovoltaik

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

Die Vorteile der direkten Umwandlung von Licht in Strom sind bekannt: Solarstrom trägt zur Entlastung der Umwelt bei, reduziert den Aufwand für den Stromtransport und sichert eine unabhängige und kostengünstige Energieversorgung.

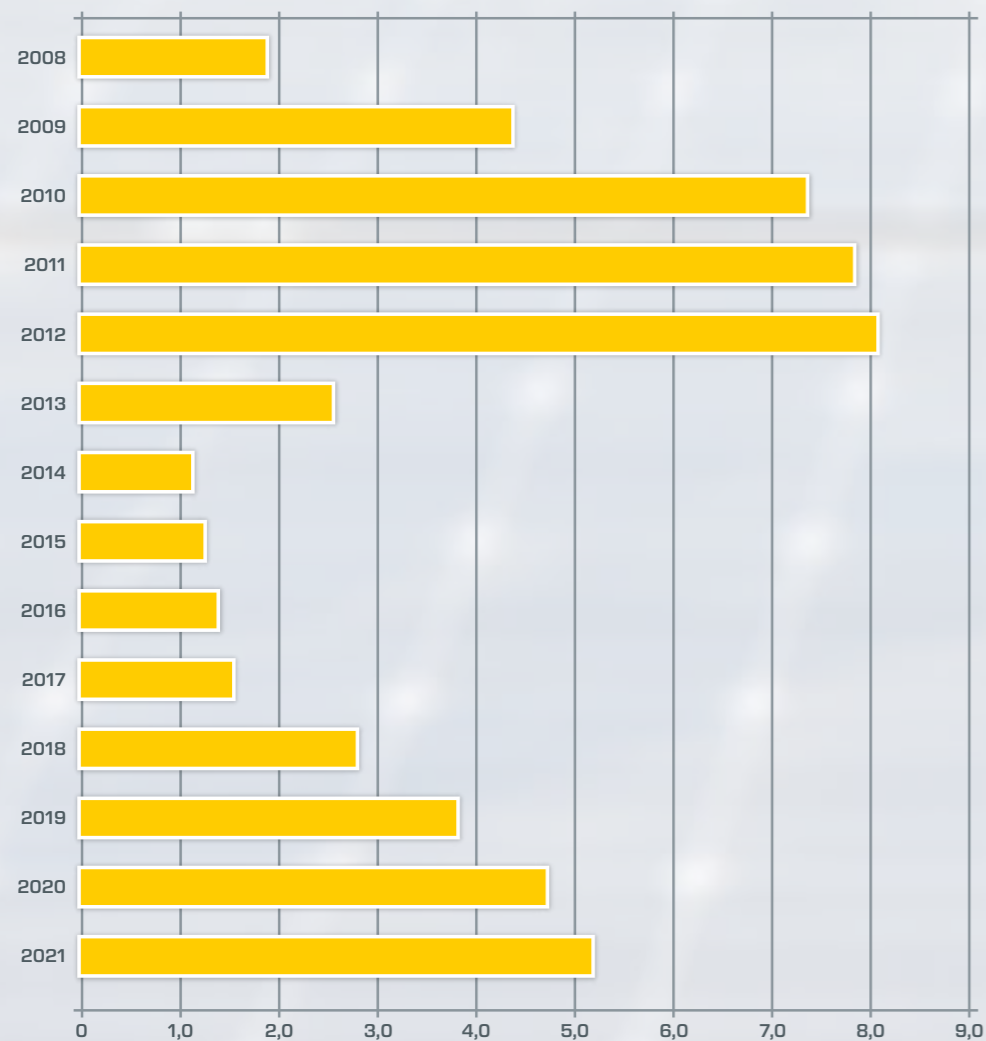


Funktionsweise von Halbleitersolarzellen

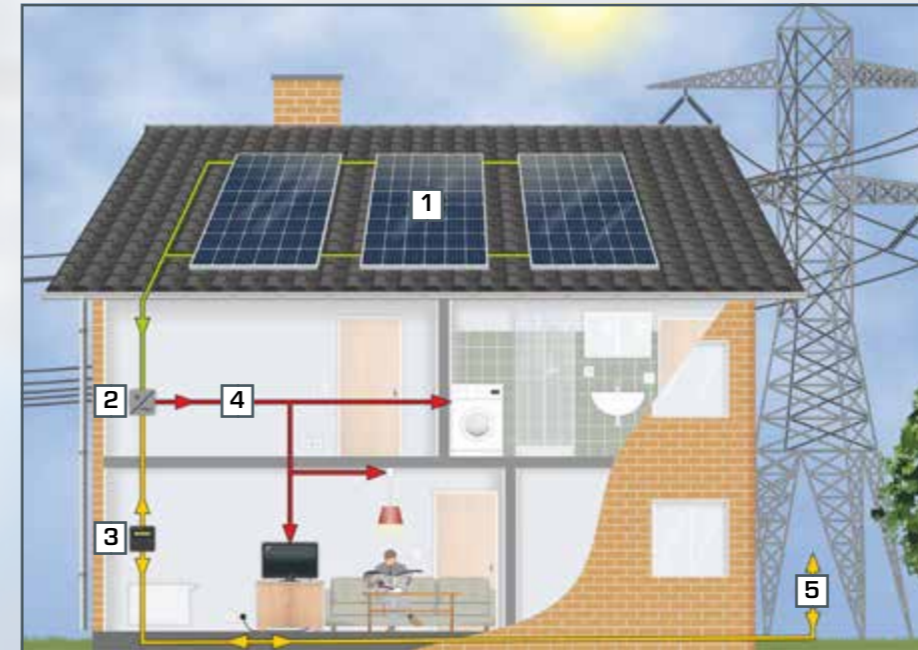
Eine Halbleitersolarzelle wandelt die Strahlungsenergie des Lichts in elektrische Energie um. Die Bedingung dafür ist eine ausreichende Energie bzw. Wellenlänge der absorbierten Lichtquanten (Photonen). Nur wenn die absorbierte Energie im Halbleiter ausreicht, kann ein Elektron aus der Bindung des atomaren Kristallgitters befreit werden. Das nun bewegliche Elektron hinterlässt einen freien Platz im Kristallgitter. Dieses sogenannte Loch trägt eine positive elektrische Ladung und ist ebenfalls frei im Halbleiter beweglich.

Um diese beweglichen elektrischen Ladungsträger nutzen zu können, wird in den Halbleiter ein elektrisches Feld eingebaut, indem er durch geeignete Fremdatome dotiert wird.

Unter dem Einfluss dieses internen elektrischen Feldes können erzeugte positive und negative Ladungsträger in der Solarzelle getrennt werden. Damit wird es möglich, die Solarzelle als Quelle in einem Stromkreis zu nutzen.



Jährlich installierte Photovoltaikleistung in Deutschland in MW_{pv}
(Quelle: BSW-Solar)



Solarstrom effizient nutzen

Um den photovoltaischen Solarstrom zu sammeln, werden z. B. 36 einzelne Solarzellen zu einem Modul zusammengesetzt. Bei der nachfolgenden Nutzung des Solarstroms können verschiedene Konzepte unterschieden werden:

- Inselbetrieb
- Netzbetrieb
- Netzbetrieb mit Speicher

Ein Inselbetrieb ist z. B. für Anwendungen an entlegenen Standorten ohne Anbindung an ein öffentliches Stromnetz passend. Wichtig für eine Stromversorgung ohne Unterbrechungen ist hier ein Speicher, um die elektrische Energie z. B. auch bei Nacht nutzen zu können.

Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen speisen den Solarstrom direkt in ein öffentliches Netz ein. Hier wird ein Wechselrichter benötigt, der den Gleichstrom der Photovoltaik-Module in Wechselstrom passender Frequenz und Spannung umwandelt.

- 1 Photovoltaik-Module
- 2 Wechselrichter
- 3 Stromzähler
- 4 Anschluss an Verbraucher
- 5 Einspeisung in das Netz

Bei einem Überangebot von eingespeistem Strom kann das öffentliche Stromnetz instabil werden. Um diesen Effekt zu vermeiden, wird der Eigenverbrauch von Solarstrom in Deutschland finanziell gefördert. Die erforderlichen netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen werden durch Speicher erweitert. Durch geschickte Steuerung von Verbrauch und Speicherbeladung kann der Anteil an selbst genutztem Solarstrom deutlich erhöht werden.

ET 250 Messen an Solarmodulen

Für Laborversuche unter gleichmäßigen Lichtverhältnissen empfehlen wir unsere künstliche Lichtquelle HL 313.01. Nähere Informationen hierzu finden Sie auf Seite 35.



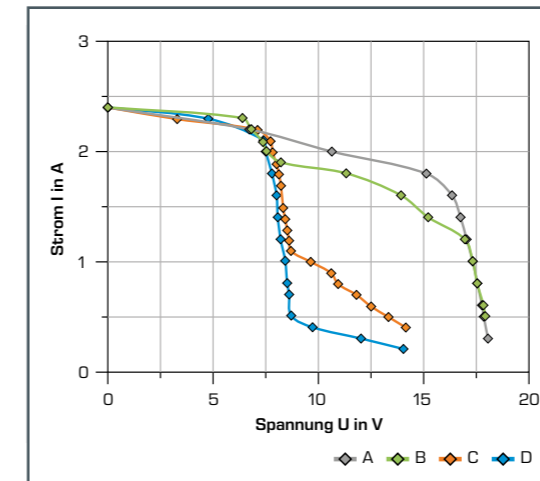
Mit diesem Versuchsstand können Sie die wesentlichen Aspekte beim Betrieb von Solarmodulen praxisnah vermitteln. ET 250 verfügt über zwei Photovoltaik-Module. Die Module können wahlweise in Reihe oder parallel geschaltet werden. Den Neigungswinkel der Module können Sie individuell einstellen. Für die Versuche steht Ihnen eine Messeinheit zur Verfügung, welche 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.

Zum Produkt:



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 (A, B, C, D) dargestellt.

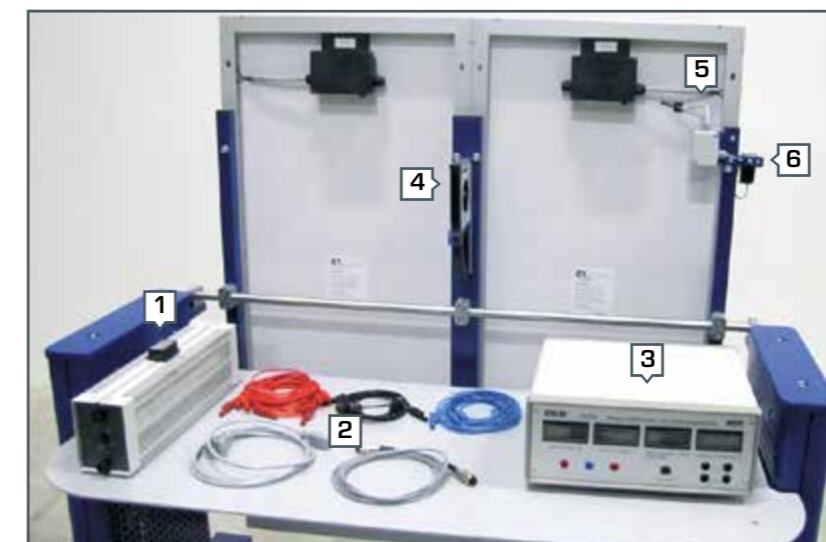


Lerninhalte

- 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

Zubehör und Komponenten

- Schiebewiderstand
- Kabelsätze
- Messeinheit
- Neigungsmesser
- Temperaturlaufnehmer
- Beleuchtungsstärkeaufnehmer



ET 250.01 Photovoltaik im Netzbetrieb

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. Der Wechselrichter arbeitet im netzgeführten Betrieb und variiert Strom und Spannung, für die maximale Leistung der Solarmodule. Die entnommenen oder eingespeisten Strommengen werden über einen modernen Zweirichtungsstromzähler erfasst.



Zum Produkt:



Lerninhalte

- Komponenten aus der Praxis der netzgebundenen Solarstromnutzung
- Funktion von Gleichstrom-Trennschalter und Überspannungsschutz
- Funktion eines netzgeführten Wechselrichters mit Leistungsoptimierung (MPPT)
- Einfluss der Auslastung auf den Wirkungsgrad des Wechselrichters
- Funktion von modernen Stromzählern
- Energiebilanz im Netzbetrieb

ET 250.02 Photovoltaik im Inselbetrieb

Auch ET 250.02 ist ein Erweiterungsmodul für ET 250. Das Gerät ermöglicht Ihnen, wesentliche Aspekte der Solarstromnutzung in Inselsystemen zu unterrichten. ET 250.02 enthält dazu alle erforderlichen Komponenten: Der Laderegler überwacht die Spannung der Batterie und optimiert den Arbeitspunkt der Photovoltaik-Module. Im Inselbetrieb können einfachere Wechselrichter verwendet werden, da eine Überwachung der Netzspannung nicht benötigt wird.



Sie können die kompakten Erweiterungsmodul
ET 250.01 und ET 250.02 mit wenigen Hand-
griffen an ET 250 befestigen und ebenso einfach
wieder abnehmen.

Lerninhalte

- Komponenten aus der Praxis der Solarstromnutzung im Inselbetrieb
- Funktion von Gleichstrom-Trennschalter und Überspannungsschutz
- Funktion eines Ladereglers mit Leistungsoptimierung (MPPT)
- Einfluss der Auslastung auf den Wirkungsgrad der Komponenten
- Einfluss von Schwankungen des solaren Energieangebots und des Stromverbrauchs auf den Systemwirkungsgrad
- Energiebilanz im Inselbetrieb

Zum Produkt:

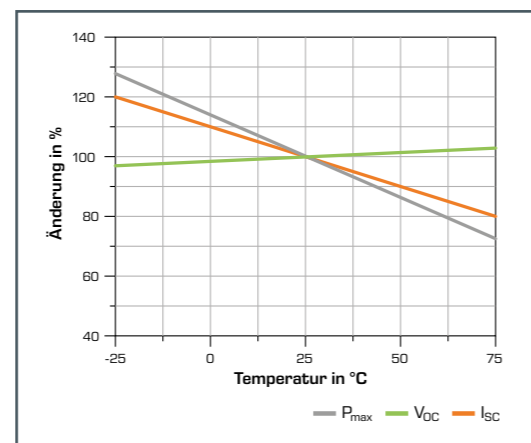


ET 252

Messen an Solarzellen

ET 252 ermöglicht es Ihnen, die grundlegenden Zusammenhänge der Photovoltaik in durchdachten Experimenten zu vermitteln.

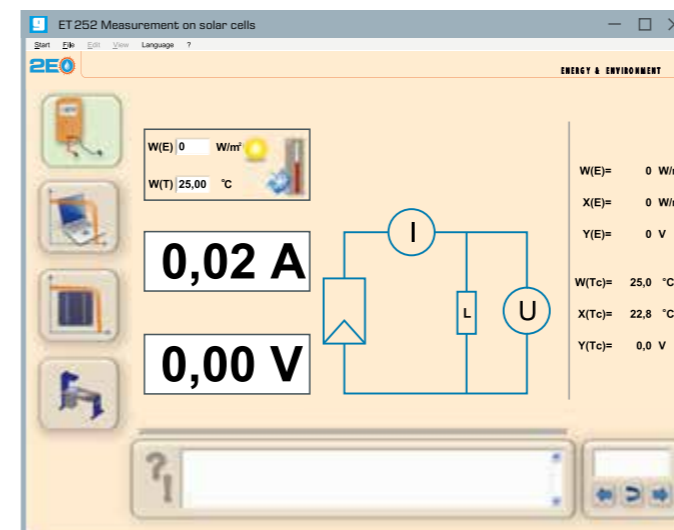
Hauptkomponenten des Versuchsgertes sind vier Solarzellen, die mit einer einstellbaren Beleuchtungseinheit bestrahlt werden. Durch ein geregeltes Peltierkühlelement können die Solarzellen gezielt temperiert werden. Dadurch werden vergleichende Messreihen zum Einfluss der Temperatur auf die Kenngrößen der Zellen ermöglicht.



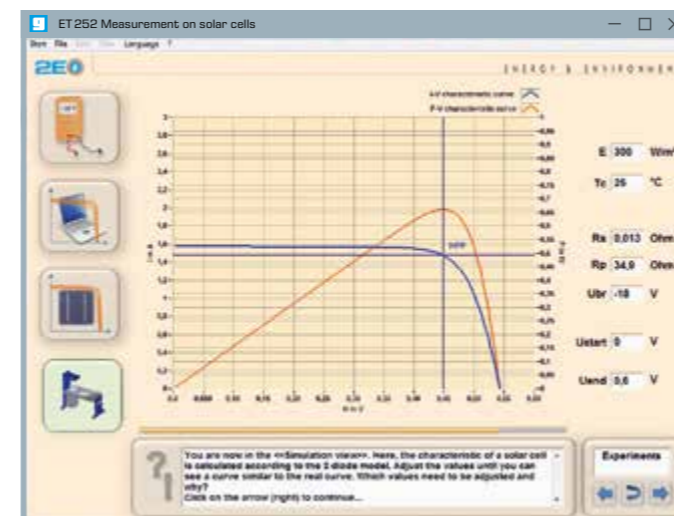
Mit ET 252 können Sie die Auswirkung der Temperatur auf die Solarzelle gezielt untersuchen.

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 Messung der Kennlinien über die steuerbare Stromsenke parametrisiert.



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



Im Simulationsmodus können Einflüsse spezifischer Zellenparameter auf die Strom-/Spannungskennlinie untersucht werden.



Lerninhalte

- physikalisches Verhalten von Solarzellen bei unterschiedlicher Beleuchtungsstärke und Temperatur
- Aufnahme von Strom-Spannungs-Kennlinien
- Berechnung von Stromstärke und erzielbarer Leistung auf Basis des Ein-Diodenmodells
- Einfluss von Beleuchtungsstärke und Temperatur auf die Kennlinien
- Verschaltung von Solarzellen in Parallel- und Reihenschaltung
- Wirkung von Bypassdioden
- Leistungsminderung durch Verschattung

Übersicht

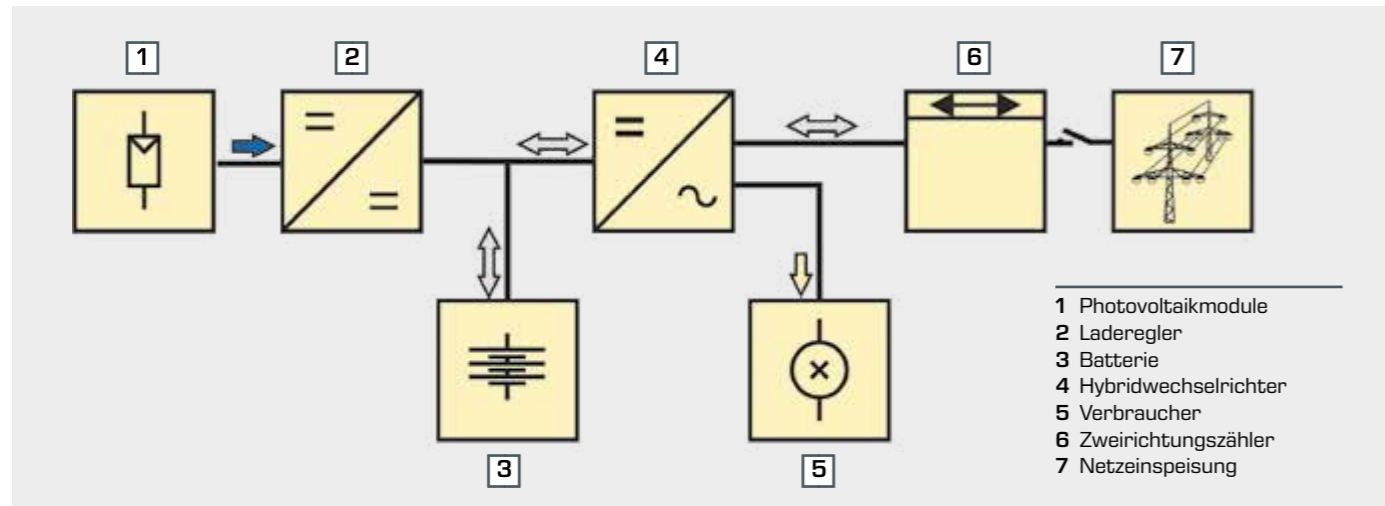
ET 255 Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme

Photovoltaischer Solarstrom kann sowohl für den direkten lokalen Verbrauch als auch für die Einspeisung in ein öffentliches Stromnetz genutzt werden. Dabei können sogenannte Hybridwechselrichter eingesetzt werden, durch die es möglich ist, den lokalen Strombedarf sowohl aus der Photovoltaikanlage als auch aus dem Netz zu decken. Die Eigennutzung des Solarstroms wird

inzwischen politisch unterstützt, um das öffentliche Netz zu entlasten und eine gleichmäßigere Versorgung zu gewährleisten.

Wesentliche Komponenten einer Anlage für ein typisches Einfamilienhaus sind im folgenden vereinfachten Anlagenschema dargestellt.

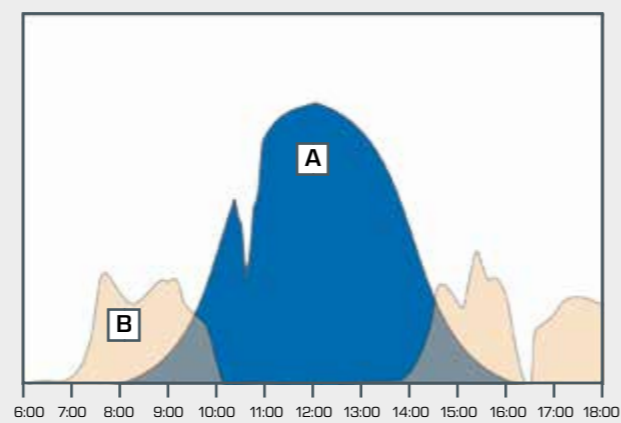
Anlagenkomponenten zur Solarstromnutzung



Solarstrom und Strombedarf in einem Wohngebäude

Typische Messdaten für den erzeugten Solarstrom und den Strombedarf eines Wohngebäudes während eines Tages zeigen den Bedarf für gespeicherten Strom aus Batterien. Erst durch Batterien wird es möglich, den Bedarf in den Morgen- und Abendstunden zu decken.

Zur Orientierung sind die Energieströme aus den Photovoltaikmodulen und der Batterie farblich markiert und können auch im Anlagenschema zugeordnet werden.



A Stromerzeugung durch Photovoltaikmodule
B Deckung des Strombedarfs durch Batterien

Für Regionen mit unsicherer Netzverfügbarkeit bieten viele Hybridwechselrichter eine Notstromfunktion, um die lokale Stromversorgung bei Netzausfall zu gewährleisten. Zugleich wird während des Netzausfalls die Einspeisung aus der Photovoltaikanlage in das öffentliche Netz unterbunden.

Versuche mit Photovoltaiksimulator und aktuellen Anlagenkomponenten

Bei der praktischen Realisierung einer Anlage zur Photovoltaiknutzung sind insbesondere bei Netzanbindung die regionalen Vorgaben und Sicherheitsauflagen der jeweiligen Netzbetreiber zu berücksichtigen.

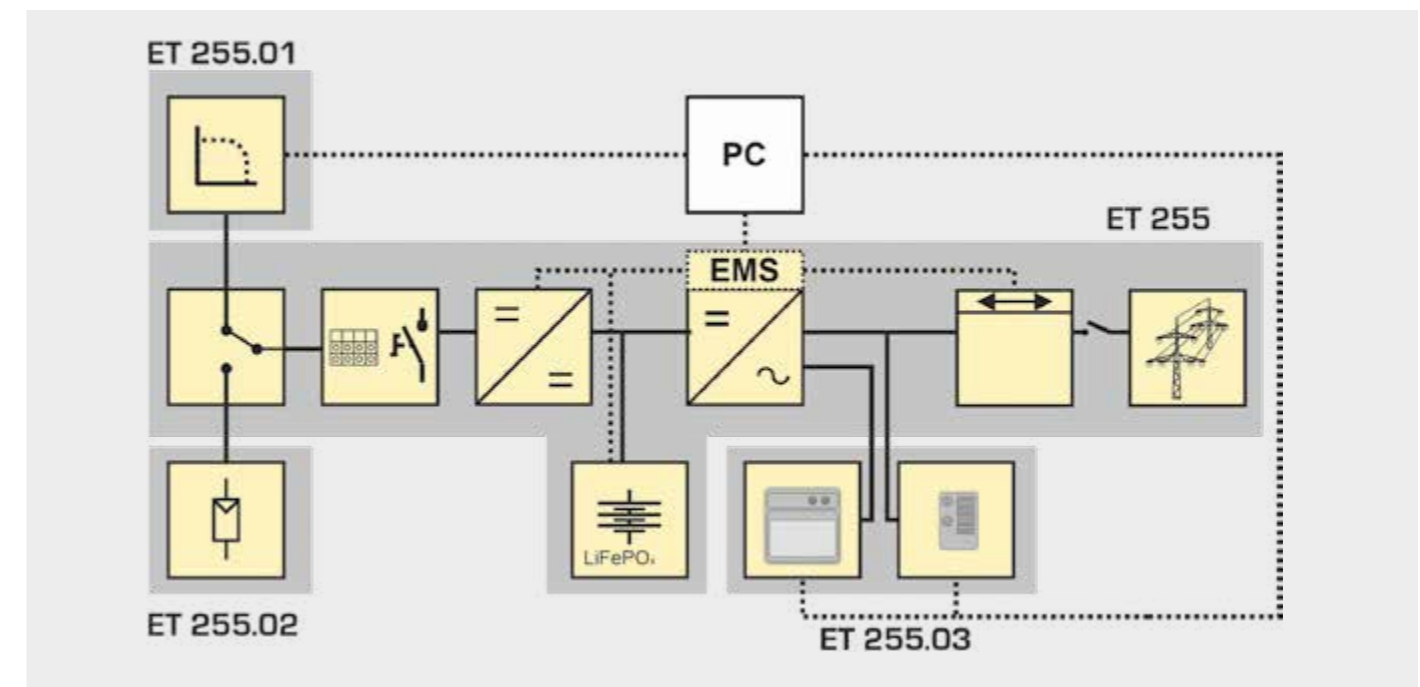
Um auch anspruchsvollere Versuche mit aktuellen Komponenten aus der Photovoltaik-Praxis zu ermöglichen, bieten wir ein überarbeitetes System aus aufeinander abgestimmten

Versuchmodulen an. Im zentralen Modul ET 255 sind ein Netzwechselrichter, eine Lithium-Eisenphosphat-Batterie mit Laderegler sowie ein Zweirichtungstromzähler enthalten. Ein Energiemanagementsystem (EMS) erfasst die Energieströme und steuert einzelne Komponenten.

Aufbau der Geräteserie ET 255

Zur Versorgung von ET 255 können der Photovoltaiksimulator (ET 255.01) oder reale Photovoltaikmodule (ET 255.02) eingesetzt werden. Durch das EMS können Verbraucher unterschiedlicher Priorität angesteuert werden, die auf dem Versuchsmodul ET 255.03 enthalten sind.

Über die GUNT-Software auf einem externen PC erfolgt die Parametrierung und Bedienung für den Photovoltaiksimulator sowie die Erfassung und Darstellung der Messwerte. Zudem können Versuchsabläufe mit definierten Verbrauchsprofilen gesteuert werden.



Aufbau der Geräteserie ET 255

ET 255
Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme

ET 255.01
Photovoltaiksimulator

ET 255.02
Photovoltaikmodule

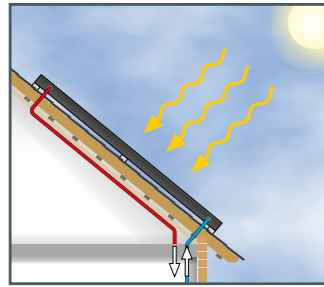
ET 255.03
Verbraucher für Photovoltaikanlagen



Lerninhalte

- moderne Photovoltaiknutzung mit Eigenverbrauch und Speicher
- Leistungsoptimierung durch Maximum-Power-Point-Tracking
- Wirkungsgrad und dynamisches Verhalten von Anlagenkomponenten
- Energiemanagementsysteme (EMS)
- Simulation von Tagesgängen (meteorologische Daten und Verbrauchsprofile)
- Anlagenbetrieb bei Netzausfall

Basiswissen Solarthermie

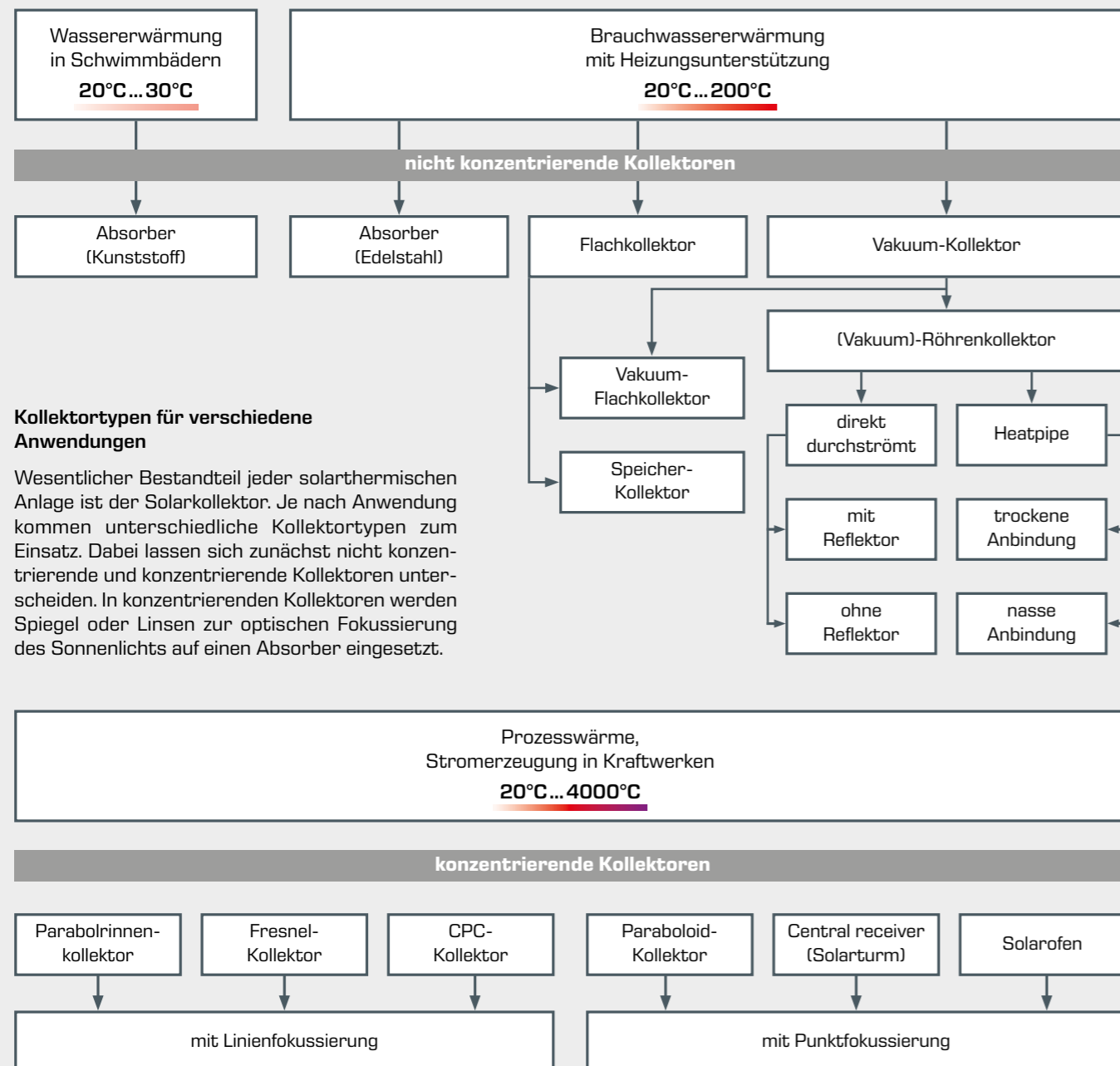


Als Solarthermie bezeichnet man die Nutzung der Solarstrahlung zur Bereitstellung von Wärme. Die Wärme kann zur Heiz- und Brauchwassererwärmung, aber auch als Prozesswärme in der Industrie und zur Dampferzeugung in Kraftwerken und sogar zum Kühlen genutzt werden.

Typische Anwendungen für solarthermische Kollektoren:

- Wassererwärmung in Schwimmbädern
- Niedertemperaturwärme für Raumheizung
- Brauchwassererwärmung
- Prozesswärme (konzentrierende Solarthermie)
- Stromerzeugung (konzentrierende Solarthermie)

Kollektorbauarten



Kollektortypen für verschiedene Anwendungen

Wesentlicher Bestandteil jeder solarthermischen Anlage ist der Solarkollektor. Je nach Anwendung kommen unterschiedliche Kollektortypen zum Einsatz. Dabei lassen sich zunächst nicht konzentrierende und konzentrierende Kollektoren unterscheiden. In konzentrierenden Kollektoren werden Spiegel oder Linsen zur optischen Fokussierung des Sonnenlichts auf einen Absorber eingesetzt.

Flachkollektor

Ein weit verbreiteter nicht konzentrierender Solarkollektortyp ist der Flachkollektor. Diese Bauform weist eine gute Mischung aus einfachem und robustem Aufbau, effektiver Wirkung und geringen Systemkosten auf.

Die Rückseite ist gegen Wärmeverluste gedämmt. Das Kupferrohr kann auf verschiedene Arten durch den Kollektor geführt sein. Der Absorber kann aus Kupfer, Aluminium oder Stahl bestehen. Die dunkle Färbung des Absorbers entsteht durch

die selektive Beschichtung. Die Glasabdeckung besteht aus hochwertigem, eisenarmem Solarglas, mit geringem Absorptionsfaktor.

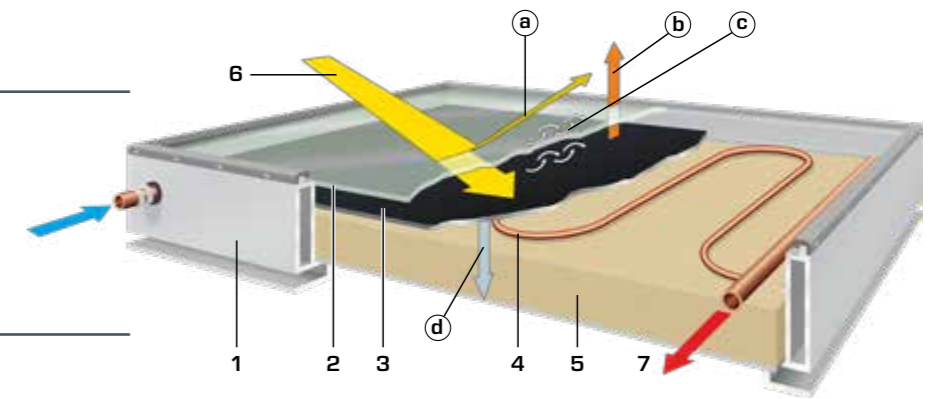
Bei der Konstruktion wird ein Kompromiss zwischen gutem Wärmeübergang durch turbulente Strömung und einem niedrigen Druckverlust gesucht. Hauptsächlich wird der Flachkollektor zur Warmwasserbereitung und Heizunterstützung genutzt.

Aufbau

- 1 Kollektorrahmen
- 2 Glasabdeckung
- 3 Absorber
- 4 Kupferrohr als Wärmeträgerleitung
- 5 Wärmedämmung
- 6 einfallende Solarstrahlung
- 7 erzeugte Wärme am Ausgang des Kollektors

wichtigste Verluste

- a Verluste durch Reflexion
- b thermische Strahlungsverluste
- c Verluste durch Konvektion
- d Verluste durch Wärmeleitung



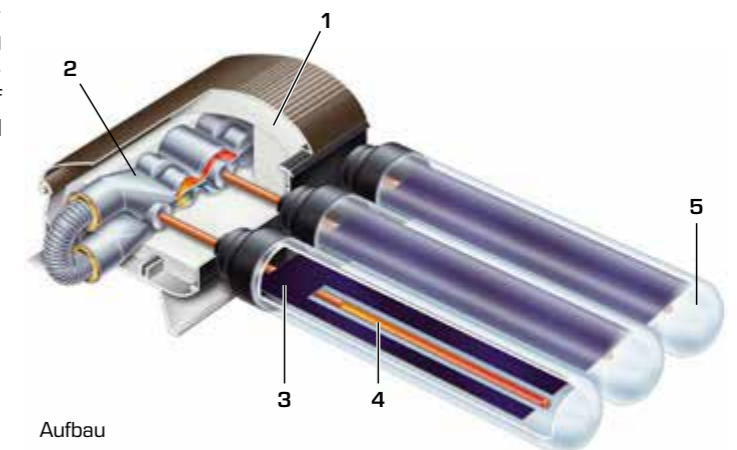
Röhrenkollektor

Während Flachkollektoren einfach aufgebaut sind, setzen sich Röhrenkollektoren aus technisch aufwendigeren Einzelkomponenten zusammen. Mit der Verwendung doppelwandiger luftleerer Glasröhren (Vakuümröhren) werden Wärmeverluste durch Konvektion vermieden. Die Glasröhren beinhalten Absorber, die mit einer spektral selektiven Beschichtung versehen sind. Bei sogenannten Heatpipe-Kollektoren erfolgt der Wärmetransport vom Absorber in den Solarkreislauf durch Verdampfung und Kondensation einer Verdampfungsflüssigkeit in einem abgeschlossenen Übertragungsrohr. Die erzeugte Wärme wird auf die Wärmeträgerflüssigkeit im Solarkreislauf übertragen und gelangt von dort zum Verbraucher oder in den Speicher.

Der Wirkungsgrad von Röhrenkollektoren ist bis zu 30 Prozent höher als der von Flachkollektoren. Ein Vorteil bei direkt durchströmten Röhrenkollektoren mit umlaufendem Absorber besteht darin, dass sie Licht von allen Seiten absorbieren und damit auch diffuses Streulicht besser nutzen.



Röhrenkollektoren montiert im optimierten Anstellwinkel auf einem Flachdach



Aufbau

- 1 Wärmedämmung
- 2 Doppelrohr-Wärmeübertrager außerhalb der Wärmeträgerflüssigkeit, trockene Anbindung
- 3 Absorber
- 4 Heatpipe
- 5 Glasrohr (Vakuüm)

Basiswissen

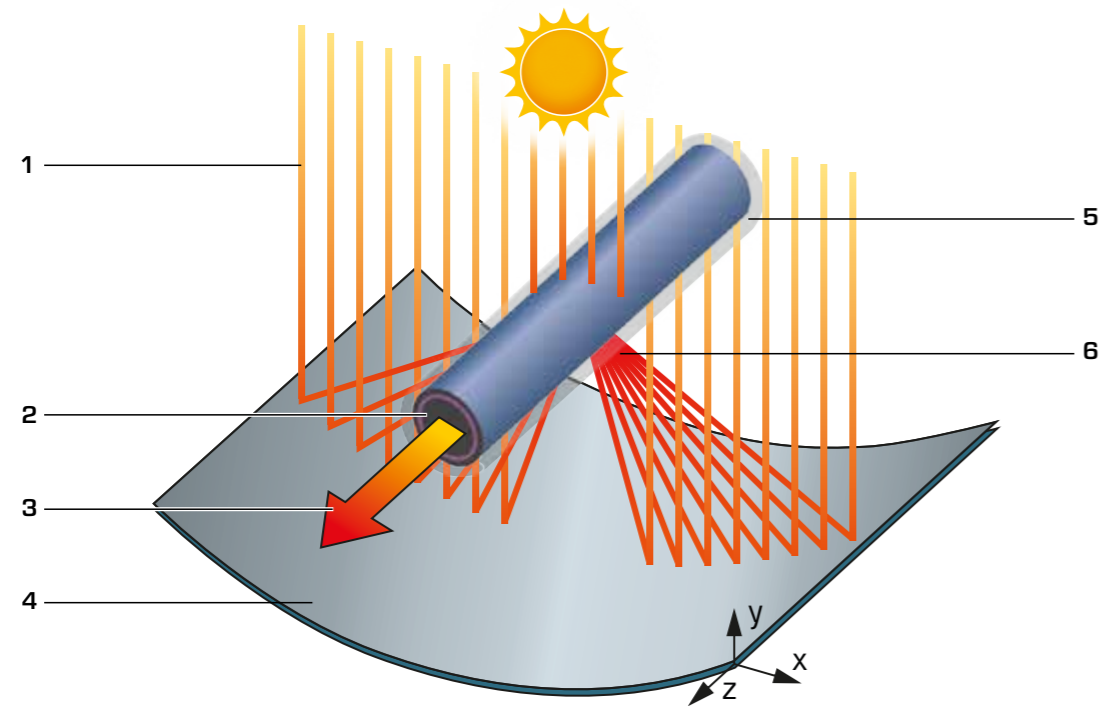
Konzentrierende Solarthermie

Parabolrinnenkollektor

Mit konzentrierenden Kollektoren wird die Einstrahlung auf optischem Weg durch Spiegel und Linsen auf den Absorber vervielfacht. Da sich nur der direkte Strahlungsanteil konzentrieren lässt, ist der Einsatz solcher Systeme in Regionen mit hoher Direkteinstrahlung sinnvoll.

Die Solarstrahlung wird durch einen parabolischen Spiegel auf ein Absorberrohr fokussiert. Dabei wird die Strahlungsenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt. Zur Reduzierung von

Wärmeverlusten ist das Absorberrohr mit einer doppelwandigen Glashülle versehen. Mit Hilfe einer Rohrleitung im Absorber wird die Wärme auf eine Wärmeträgerflüssigkeit im Solar-Kreislauf übertragen und gelangt in den Speicher.



Aufbau

1 einfallende Solarstrahlung, 2 Absorberrohr, 3 Wärmeträgerflüssigkeit, 4 Parabolspiegel mit reflektierender Oberfläche, 5 Glasrohr, 6 konzentrierte Solarstrahlung



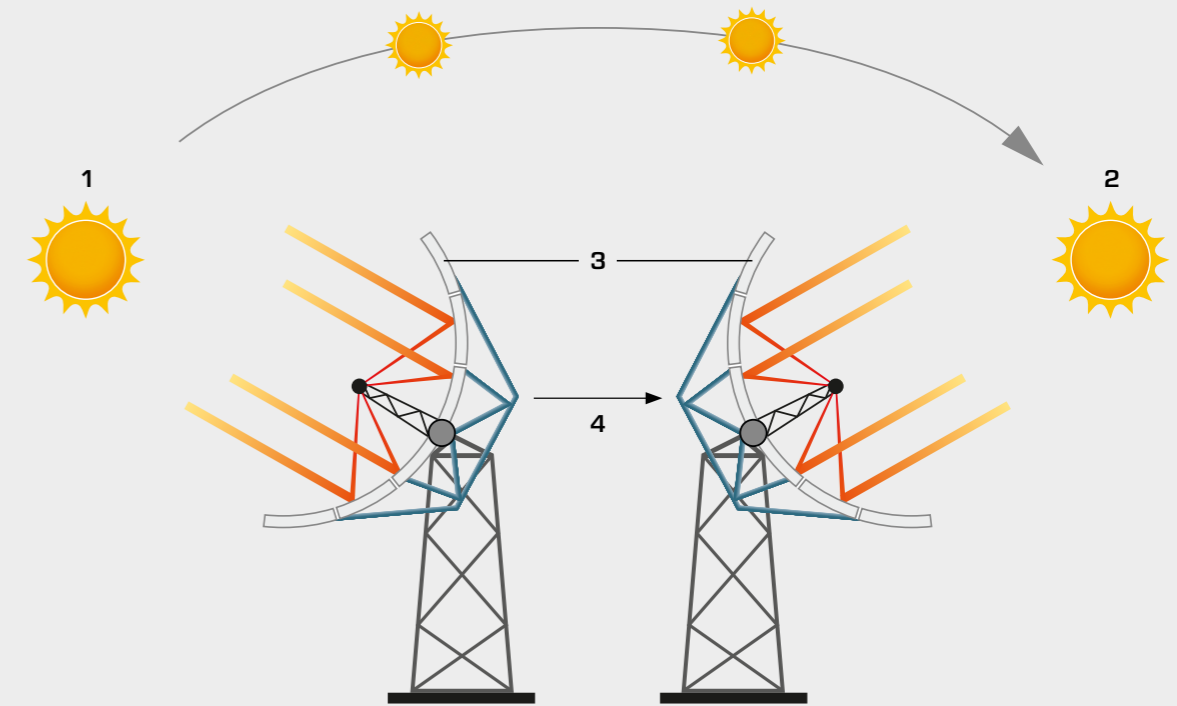
Für ein Kraftwerk können einzelne Parabolrinnenkollektoren in einem Kollektorfeld zusammengeschaltet werden.

Sonnennachführung

Für konzentrierende Systeme zur Solarenergienutzung ist eine Nachführung der konzentrierenden optischen Elemente (Linsen oder Spiegel) erforderlich. Bahn- und Rotationsbewegung der Erde bewirken eine kontinuierliche Veränderung der Sonnenhöhe (Elevation) und -ausrichtung (Azimut). Entscheidend für eine ein- oder zweiachsige Ausführung sind die eingesetzte Technologie und der geografische Standort. Große Parabolrinnenkraftwerke werden vorzugsweise mit

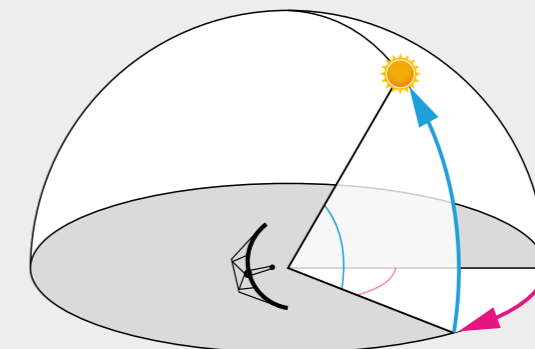
einachsigen Nachführungen an Standorten mit kleiner geografischer Breite realisiert.

Für sogenannte Turmkraftwerke mit punktförmigen Absorbern müssen die Spiegel während des Tagesverlaufs kontinuierlich in beiden Richtungen nachgeführt werden.



Funktionsprinzip der Sonnennachführung

1 Osten, 2 Westen, 3 schwenkbarer Kollektor mit zweiachsiger Sonnennachführung, 4 Position über den Tag



Sonnenposition und Einfallswinkel

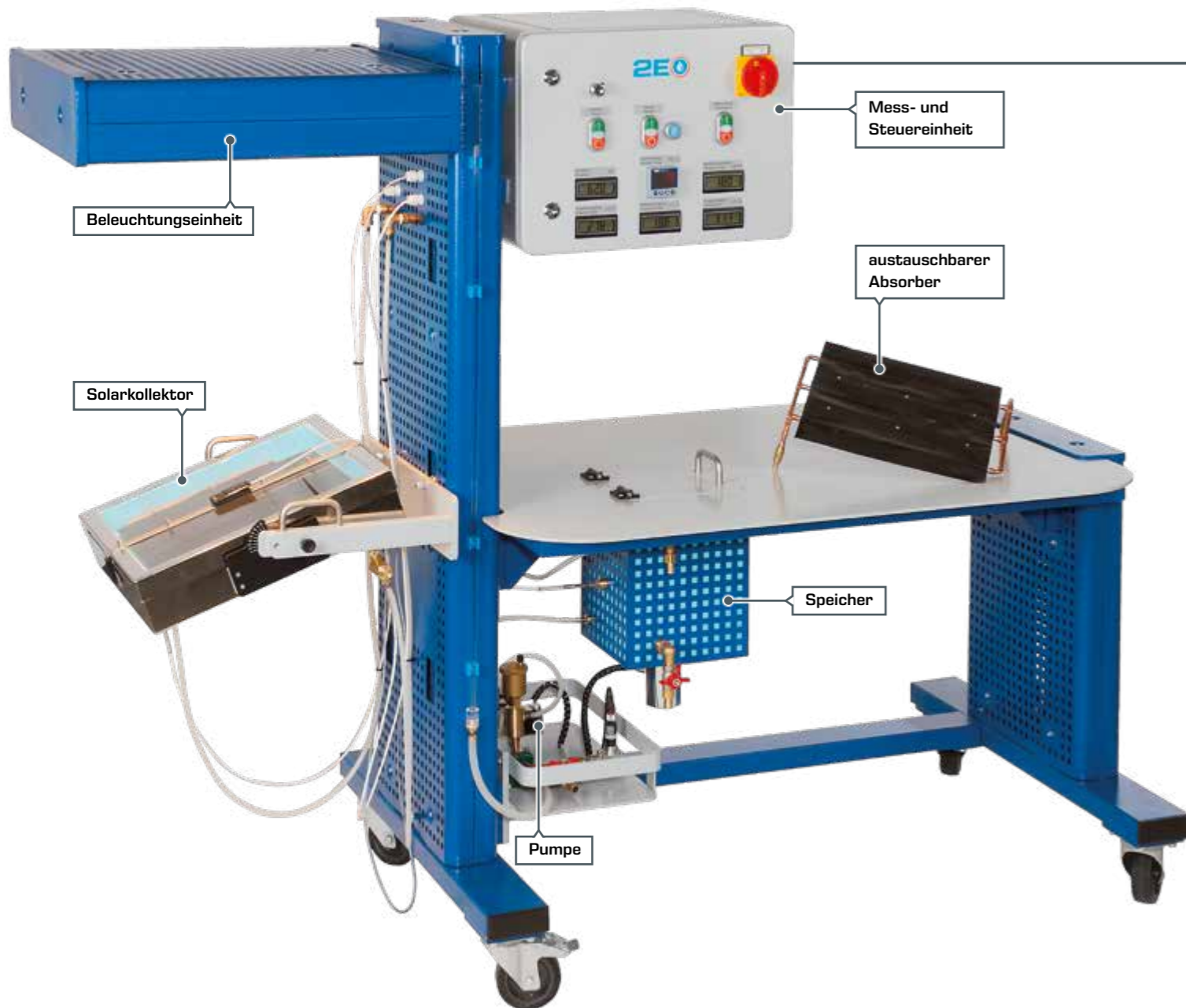
■ **Azimut:** horizontaler bzw. waagerechter Winkel bei der Spiegeleinstellung
■ **Elevation:** vertikaler bzw. senkrechter Winkel bei der Spiegeleinstellung

ET 202 Grundlagen Solarthermie

Mit dem Versuchsstand werden systematische Messreihen an einer solarthermischen Anlage mit Flachkollektor aufgenommen. 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

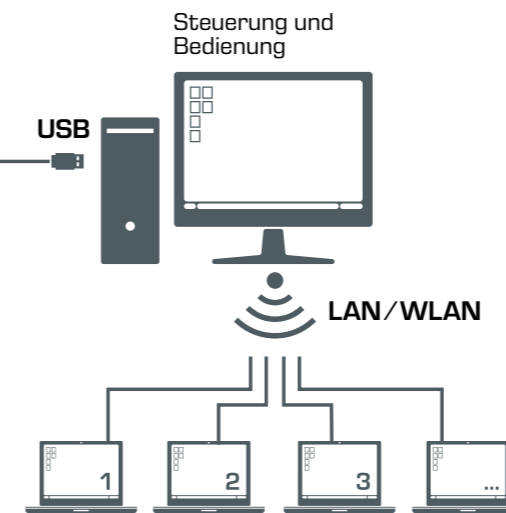
den Speicherinhalt abgegeben. Für vergleichende Messungen von Kollektorverlusten kann der vormontierte Absorber mit selektiver Beschichtung gegen einen einfacheren geschwärzten Absorber ausgetauscht werden. Eine elektrische Heizung im Speicher verkürzt die Aufheizzeiten für Versuche bei höheren Temperaturen.

Zum Produkt:



Features

- witterungsunabhängiger Betrieb
- neigbarer Flachkollektor mit austauschbaren Absorbern
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk

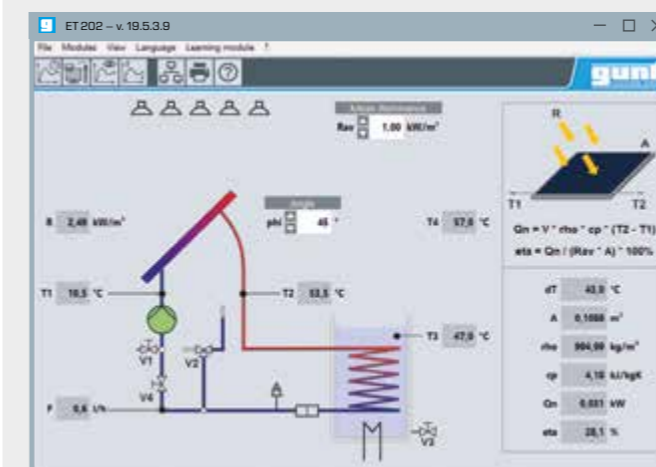


Lerninhalte

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

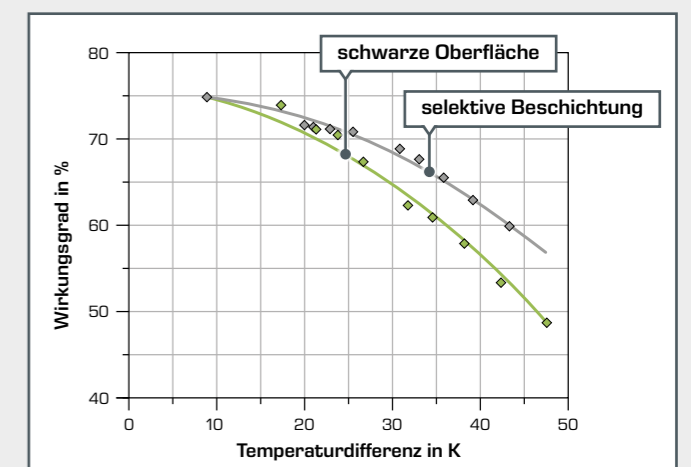
Software

Die Software zeigt die aktuellen Werte in einem Systemdiagramm an und ermöglicht die Aufnahme einzelner Messpunkte oder eines Zeitverlaufs. Gespeicherte Messdaten können



GUNT-Software zur Messdatenerfassung via PC

in ein Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Microsoft Excel) importiert und dort weiterverarbeitet werden.



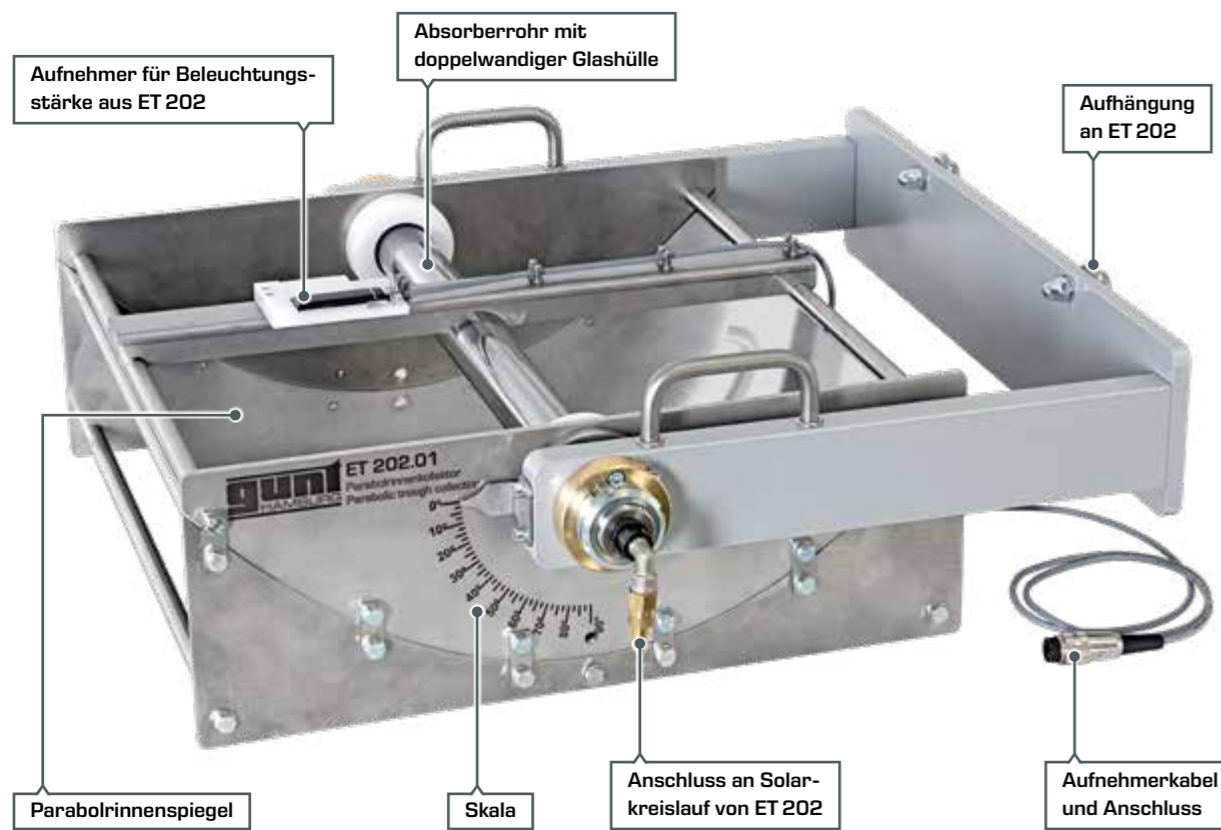
Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Kollektortemperatur. Eine spezielle Beschichtung des Absorbers erlaubt höhere Wirkungsgrade.

ET 202.01 Parabolrinnenkollektor

ET 202.01 ermöglicht zusammen mit dem Versuchsstand ET 202 die Untersuchung grundlegender Aspekte der konzentrierenden solarthermischen Energienutzung. Das Licht der Beleuchtungseinheit aus ET 202 wird mit Hilfe des parabolischen Spiegels auf das Absorberrohr fokussiert. Zur Reduzierung von Wärmeverlusten ist das Absorberrohr mit einer doppelwandigen Glashülle versehen. Durch eine Rohrleitung im Absorber wird die Wärme auf eine Wärmeträgerflüssigkeit im Solarkreislauf des Versuchsstandes ET 202 übertragen und gelangt dort in den Speicher.

In Versuchen wird der Wirkungsgrad eines konzentrierenden Parabolrinnenkollektors direkt mit einem klassischen Flachkollektor verglichen.

Zum Produkt:



ET 202.01 beleuchtet mit der Lichtquelle von ET 202



schwenkbarer Parabolrinnenkollektor

Lerninhalte	
■	Fokussierung von Solarstrahlung mit einem Parabolrinnenspiegel
■	optischer Konzentrationsfaktor
■	Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärme
■	Verluste in thermischen Solarkollektoren
■	Wirkungsgradkennlinien

Features	
■	schwenkbarer Parabolrinnenkollektor mit hochreflektivem Spiegel
■	Absorberrohr mit selektiver Beschichtung
■	evakuiertes doppelwandiges Glasrohr zur Reduzierung von Wärmeverlusten



ET 202 zusammen mit ET 202.01

WL 377 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.

HL 313.01 Künstliche Lichtquelle

Mit Hilfe dieser Lichtquelle können Sie reproduzierbare Versuchsbedingungen in Räumen erzeugen. Die Lichtquelle enthält acht Halogenstrahler, die in zwei Reihen angeordnet sind. Der Neigungswinkel der einzelnen Halogenstrahler kann verstellt werden, um den jeweiligen Versuch mit möglichst senkrecht einstrahlendem Licht zu betreiben.



Die künstliche Lichtquelle HL 313.01 ist für Versuchstände konzipiert, die auch mit Sonnenlicht betrieben werden können, wie z.B. das Solarmodul ET 250 oder der Solarkollektor von HL 313.

Lerninhalte

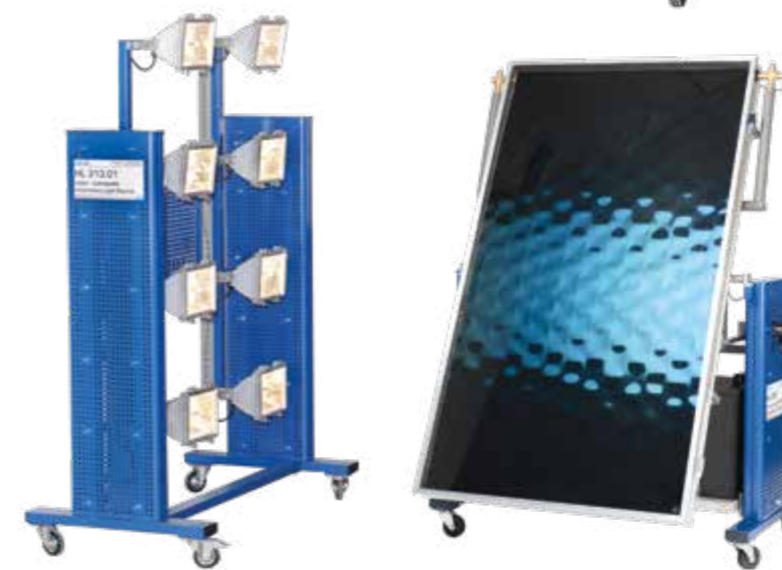
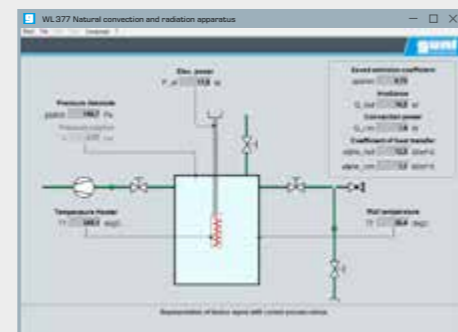
- Wärmeübertragung durch Konvektion bei Umgebungsdruck
- Bestimmung der übertragenen Wärmemenge
- Wärmeübertragung durch Strahlung bei Vakuum
- Bestimmung des Strahlungskoeffizienten

Zum Produkt:



Software

Mit Hilfe der GUNT-Software können die Messdaten dargestellt und aufgezeichnet werden.



Die künstliche Lichtquelle HL 313.01 zusammen mit HL 313 Flachkollektor

Zum Produkt:



HL 313

Brauchwassererwärmung mit Flachkollektor

Lernen Sie mit HL313 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 alle wesentlichen, praktischen und theoretischen Aspekte einer modernen Ausbildung.



Der Regler steuert die Umwälzpumpen und kann für die Aufzeichnung von Daten genutzt werden.



Temperaturen, Beleuchtungsstärke und Durchfluss werden auch elektronisch erfasst.



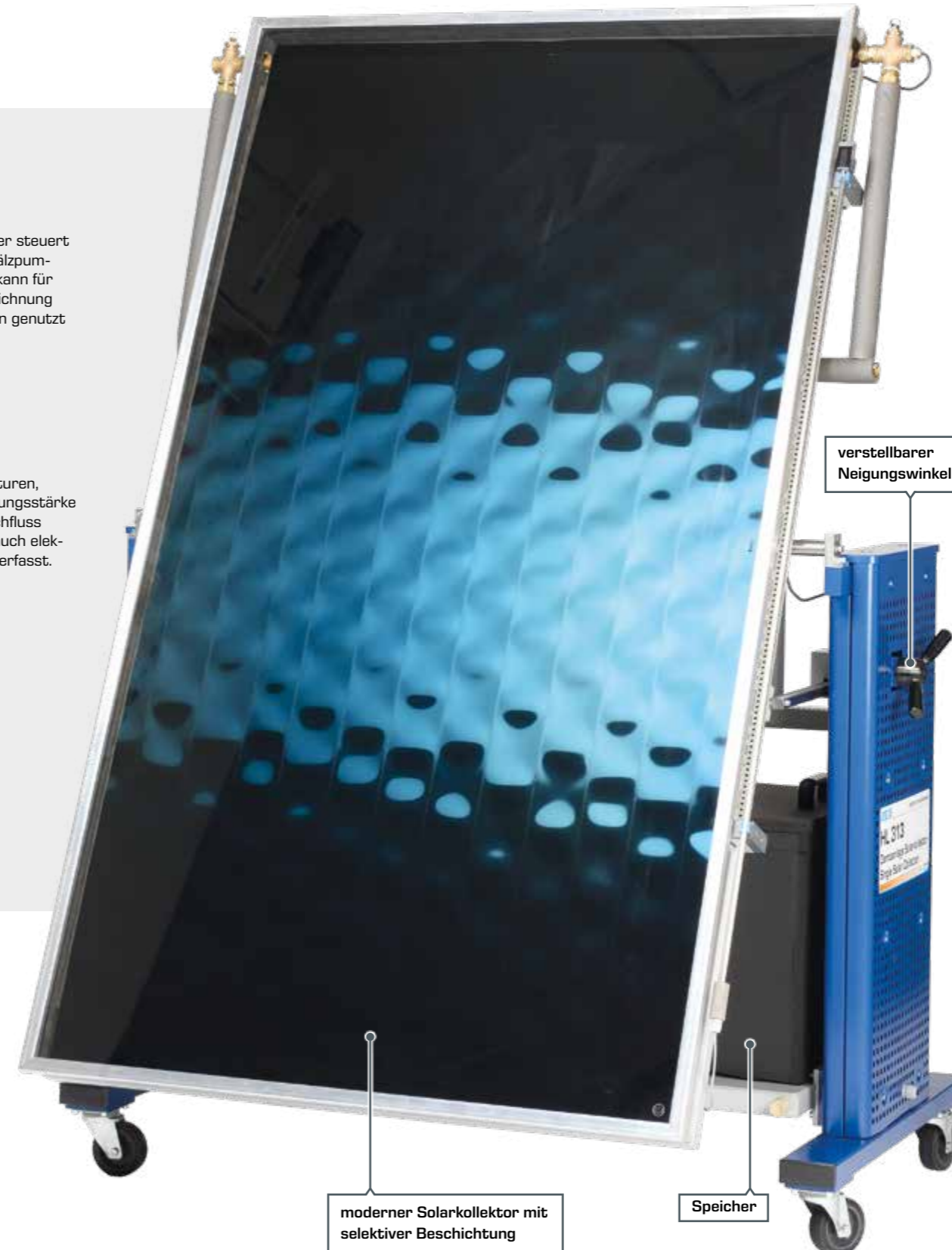
Die Solarkreisstation enthält eine Umwälzpumpe und wesentliche Komponenten für einen sicheren Betrieb.

Lerninhalte

- Funktionen des Flachkollektors und des Solarkreislaufs
- Bestimmung der Nutzleistung
- Zusammenhang zwischen Durchfluss und Nutzleistung
- Bestimmung des Kollektorwirkungsgrads
- Zusammenhang zwischen Temperatur und Wirkungsgrad des Kollektors

Für Laborversuche unter gleichmäßigen Lichtverhältnissen empfehlen wir unsere künstliche Lichtquelle HL 313.01. Nähere Informationen hierzu finden Sie auf Seite 35.

Zum Produkt:



Externe Bedienung

Die Bedienung des Solarreglers kann sowohl durch Bedienelemente am Gerät als auch mittels Webbrowser über einen integrierten Router erfolgen. Die Bedienoberfläche im Webbrowser enthält zudem die aktuellen Messwerte und kann an beliebig vielen Endgeräten dargestellt werden.

Der Zugriff auf aufgezeichnete Messwerte ist auf windows-basierten Endgeräten über WLAN oder LAN-Anbindung mit dem kundeneigenen Netzwerk möglich. Dafür ist eine zusätzliche Hersteller-Software für den Solarregler verfügbar



HL 314 Brauchwassererwärmung mit Vakuumröhrenkollektor

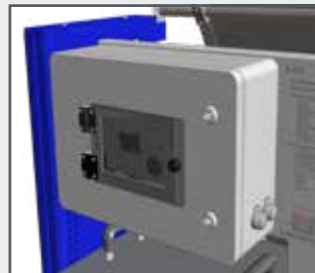
Der Versuchsstand HL 314 enthält aktuelle Komponenten aus der Praxis solarthermischer Wärmeerzeugungssysteme. Die absorbierte Wärme wird im Vakuumröhrenkollektor auf eine handelsübliche Wärmeträgerflüssigkeit im Solarkreislauf übertragen. Über einen Platten-Wärmeübertrager gelangt die Wärme in den Warmwasserkreislauf. Dabei steuert der Solarregler die Pumpen im Warmwasser- und Solarkreislauf.

Der Versuchsstand wurde so dimensioniert, dass ein kompletter Aufheizvorgang im Rahmen eines Praktikumsversuchs durchgeführt werden kann. Versuche können im Labor mit künstlicher Beleuchtung HL 313.01 oder bei ausreichender Sonneneinstrahlung im Freiland durchgeführt werden.

Zum Produkt:



Der Regler steuert die Umwälzpumpen und kann für die Aufzeichnung von Daten genutzt werden.



Temperaturen, Beleuchtungsstärke und Durchfluss werden auch elektronisch erfasst.



Die Solarkreisstation enthält eine Umwälzpumpe und wesentliche Komponenten für einen sicheren Betrieb.



Lerninhalte

- Funktionen des Röhrenkollektors und des Solarkreislaufs
- Bestimmung der Nutzleistung
- Zusammenhang zwischen Durchfluss und Nutzleistung
- Bestimmung des Kollektorwirkungsgrads
- Zusammenhang zwischen Temperatur und Wirkungsgrad des Kollektors



Externe Bedienung

Die Bedienung des Solarreglers kann sowohl durch Bedienelemente am Gerät als auch mittels Webbrowser über einen integrierten Router erfolgen. Die Bedienoberfläche im Webbrowser enthält zudem die aktuellen Messwerte und kann an beliebig vielen Endgeräten dargestellt werden.

Der Zugriff auf aufgezeichnete Messwerte ist auf windows-basierten Endgeräten über WLAN oder LAN-Anbindung mit dem kundeneigenen Netzwerk möglich. Dafür ist eine zusätzliche Hersteller-Software für den Solarregler verfügbar

Übersicht HL 320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe

Das Modulsystem HL 320 ermöglicht, Heizungssysteme mit verschiedenen erneuerbaren und konventionellen Energiequellen zu untersuchen. Solarthermie kann mit Wärmeerzeugung aus Wärmepumpen kombiniert werden. Das modulare

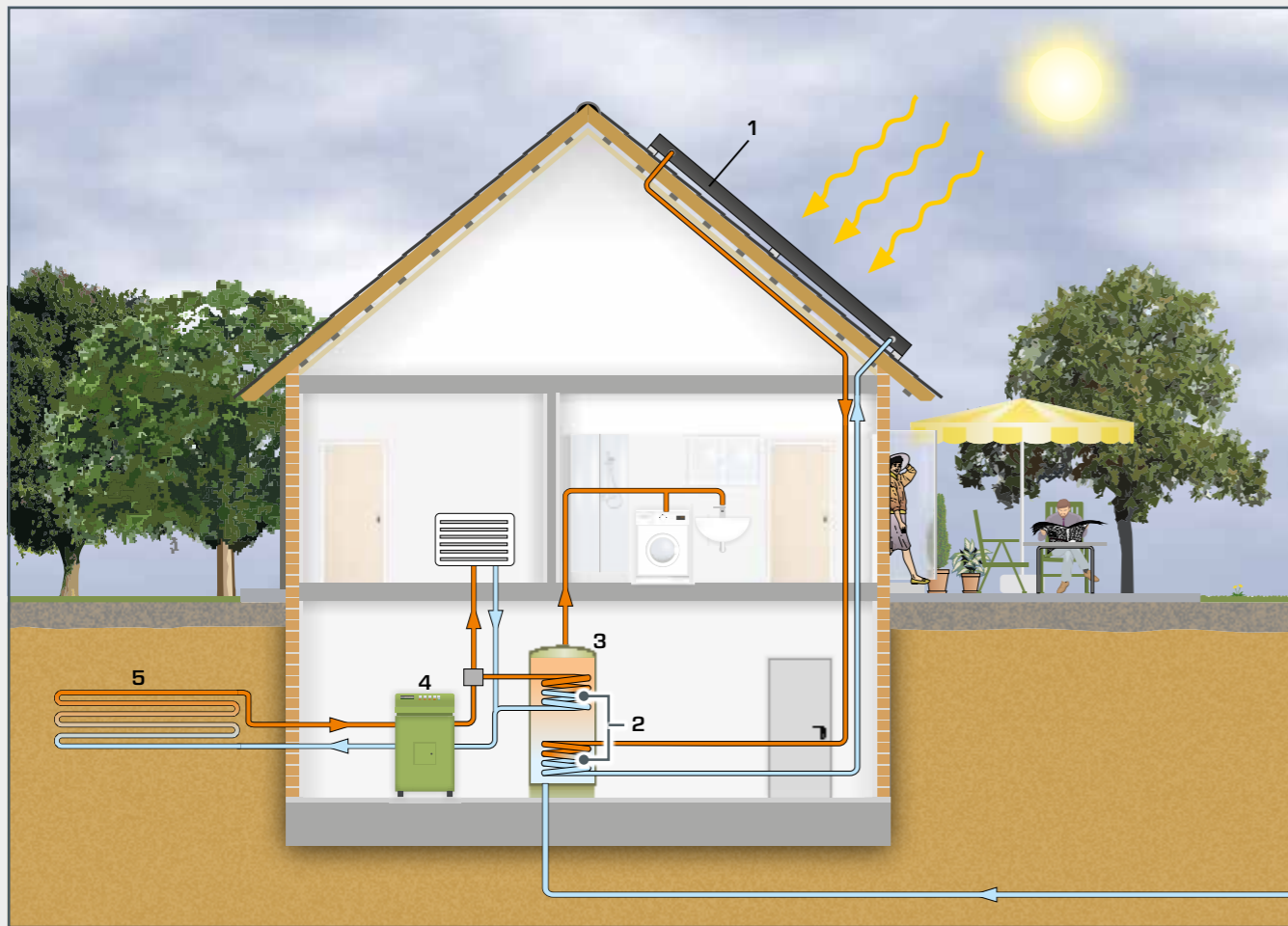
Konzept des HL 320 Systems erlaubt es, verschiedene Kombinations- und Konfigurationsmöglichkeiten zu realisieren.



Kombinierte Nutzung erneuerbarer Wärmequellen

Für moderne Wohngebäude mit guter Wärmedämmung stellt der Verzicht auf eine konventionelle Heizung in vielen Fällen eine sinnvolle Alternative dar. Bei der Kombination von

solarthermischen Kollektoren mit einer Wärmepumpe sind inzwischen sehr oft deutliche Einsparungen, bei ganzjähriger Versorgungssicherheit, möglich.



1 Flachkollektor, 2 Wärmeübertrager, 3 Warmwasserspeicher, 4 Wärmepumpe, 5 Erdwärmeabsorber;
 orange warme Wärmeträgerflüssigkeit,
 blau kalte Wärmeträgerflüssigkeit,
 rot Kältemittel Hochdruckseite,
 blau Kältemittel Niederdruckseite

HL 320.01
Wärmepumpe

HL 320.02
Konventionelle Heizung

HL 320.03
Flachkollektor

HL 320.04
Vakuumröhrenkollektor

HL 320.05
Zentrales Speichermodul mit Regler

HL 320.07
Fußbodenheizung/
Erdwärmeabsorber

HL 320.08
Gebläseheizung/
Luftwärmeübertrager

Das Speichermodul bietet einen bivalenten Speicher und einen Pufferspeicher. Mit dem Regler können benötigte Messwerte auch über längere Zeiträume zur Analyse des Systemverhaltens aufgezeichnet werden.

Frei programmierbarer Regler mit umfangreicher Software

Die Module HL 320.07 und HL 320.08 können als Wärmequelle oder als Wärmesenke verwendet werden.

HL 320.03 Flachkollektor

Am Flachkollektor HL 320.03 können in Verbindung mit anderen Modulen der RHLLine verschiedene Versuche zur solarthermischen Brauchwassererwärmung durchgeführt werden. Von besonderem Praxisbezug ist die Regelungstechnik für die kombinierte Erzeugung von Brauchwasser und Heizwärme. Dabei erfolgt die Regelung und Datenaufnahme per CAN-Bus über das Speichermodul HL 320.05.

Die Verbindung der Module erfolgt sehr einfach mit Schläuchen und Schnellkupplungen. In Verbindung mit anderen Modulen des HL 320-Systems können verschiedene Kombinationsmöglichkeiten für regenerative Wärmequellen erprobt und optimiert werden.



🎓	Lerninhalte
■	Bestimmung der Nutzleistung
■	Einfluss von Temperatur, Beleuchtungsstärke und Einstrahlwinkel auf den Kollektorwirkungsgrad
■	Einbindung eines Flachkollektors in ein modernes Heizungssystem
■	hydraulische und regelungstechnische Betriebsbedingungen
■	Energiebilanzen
■	Optimierung der Betriebsbedingungen für verschiedene Nutzungsarten

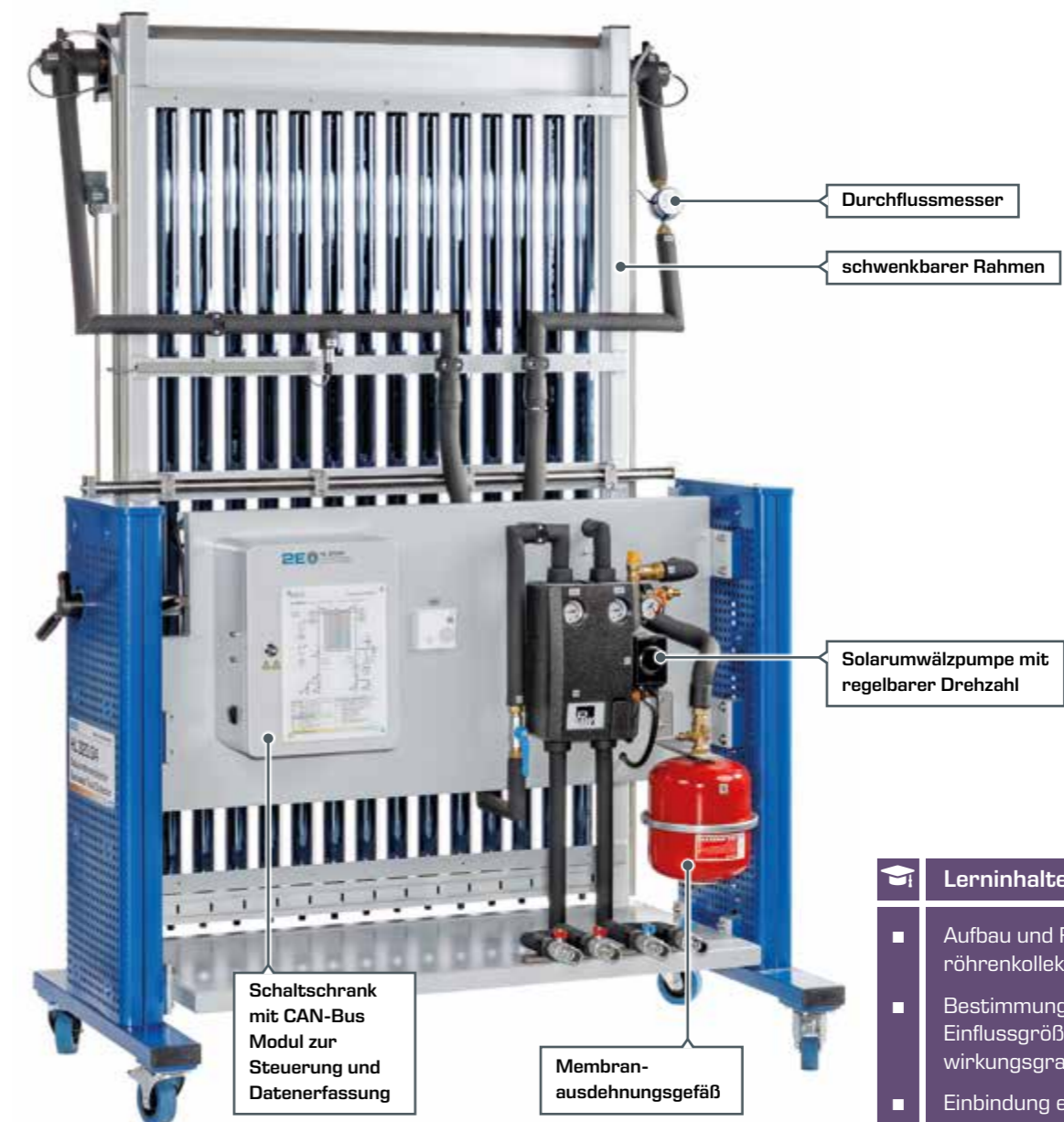
Zum Produkt:



HL 320.04 Vakuümrohrenkollektor

HL 320.04 entspricht einem Vakuümrohrenkollektor moderner Bauart. Aufgrund der geringeren Wärmeverluste erreichen Vakuümrohrenkollektoren gegenüber einfachen Flachkollektoren deutlich höhere Arbeitstemperaturen. In der Praxis werden Vakuümrohrenkollektoren z.B. bei eingeschränkter Aufstellfläche eingesetzt. Im ganzjährigen Heizungsbetrieb ermöglichen Vakuümrohrenkollektoren, den saisonalen Bedarf einer konventionellen Zusatzheizung zu verringern.

Das Versuchsmodul kann auf verschiedene Weise in das Modulsystem eingebunden werden. Möglich ist sowohl die Nutzung zur Erzeugung von erwärmtem Brauchwasser als auch zur kombinierten Erzeugung von Brauchwasser und Heizwärme. Leitungsverbindungen für die Wärmeträgerflüssigkeit können durch Schnellkupplungen mit geringem Aufwand hergestellt und verändert werden.



Zum Produkt:



🎓	Lerninhalte
■	Aufbau und Funktion des Vakuümrohrenkollektors
■	Bestimmung der Nutzleistung und Einflussgrößen auf den Kollektorwirkungsgrad
■	Einbindung eines Vakuümrohrenkollektors in ein modernes Heizungssystem

ET 203 Parabolrinnenkollektor mit Sonnennachführung

Mit dem Parabolrinnenkollektor werden wesentliche Aspekte der solarthermischen Energienutzung untersucht. Die Solarstrahlung wird mit Hilfe des parabolischen Spiegels auf ein Absorberrohr fokussiert. Die Strahlungsenergie wird absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die Wärme gelangt über eine Wärmeträgerflüssigkeit in den Solarkreislauf und von dort in den Warmwasserkreislauf.

Der Parabolrinnenkollektor kann über zwei Getriebemotoren dem Sonnenstand nachgeführt werden. Dabei ist sowohl eine Steuerung gemäß berechneten astronomischen Daten als auch eine sensorbasierte Steuerung möglich. Der Kollektor ist schwenkbar und kann für Versuche mit der künstlichen Lichtquelle HL 313.01 vertikal ausgerichtet werden. Rollen und bewegliche Stützen erlauben die Positionierung an einem geeigneten Außenstandort.

Zum Produkt:



Features

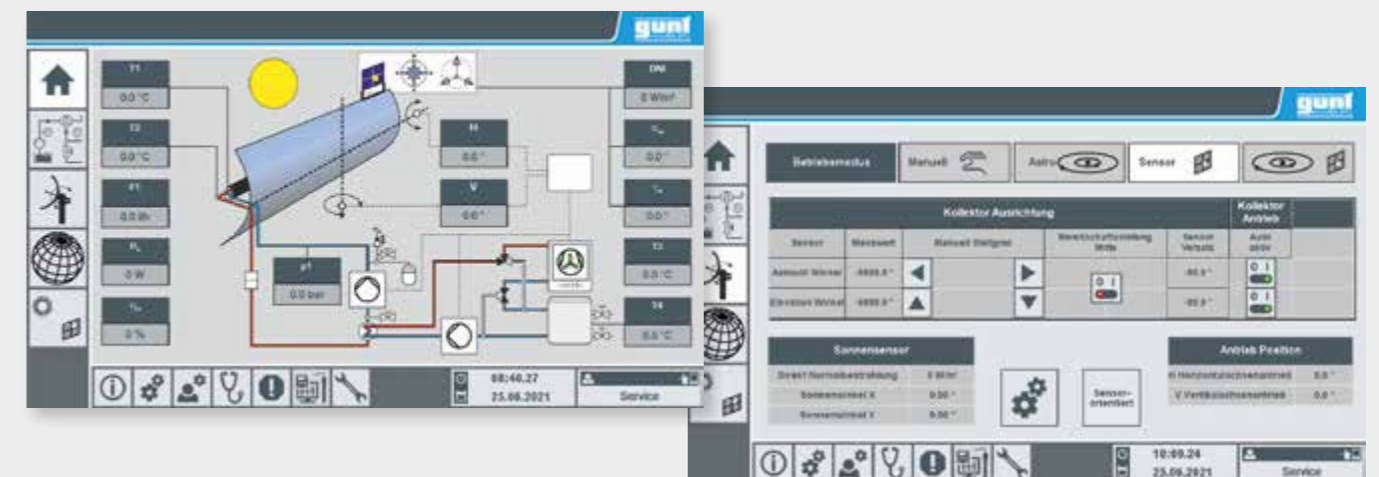
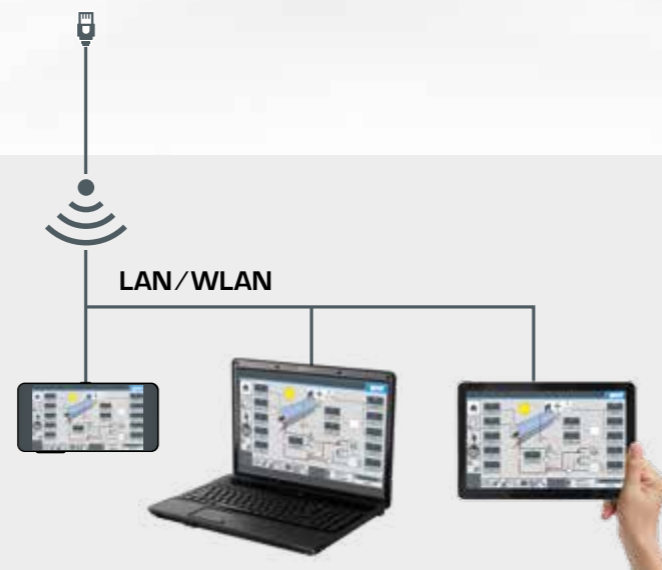
- mobiler Parabolrinnenkollektor mit motorisierter Zweiachsnachführung
- astronomische und sensorbasierte Sonnennachführung
- integrierter Router für Bedienung und Steuerung über ein Endgerät und für Screen-Mirroring an weiteren Endgeräten: PC, Tablet, Smartphone

Lerninhalte

- optischer Konzentrationsfaktor
- DNI: Direct Normal Irradiance
- sensorbasierte oder astronomische Sonnennachführung
- Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärme
- Wirkungsgradkennlinien

Externe Bedienung

Die Bedienung und Steuerung erfolgen über die integrierte SPS und den Touchscreen. Mittels integrierten Routers kann der Versuchsstand alternativ über ein externes Endgerät gesteuert werden. Die Bedienoberfläche kann zusätzlich an weiteren Endgeräten dargestellt werden (Screen-Mirroring). Der Zugriff auf gespeicherte Messwerte ist von Endgeräten via WLAN mit integriertem Router/LAN-Anbindung mit dem kundeneigenen Netzwerk möglich.



Basiswissen Solare Kühlung

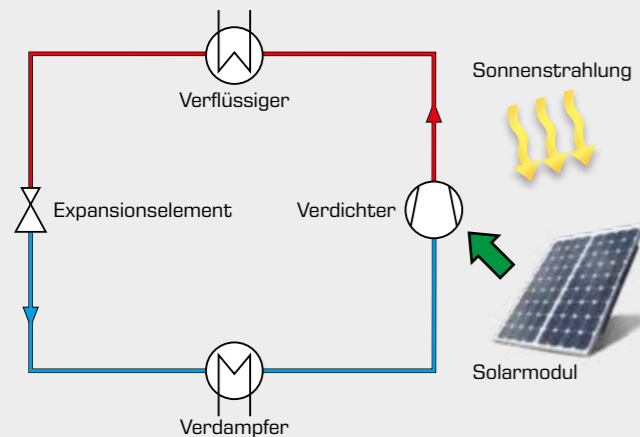
Das Interesse an alternativen Verfahren der Kälteerzeugung, die aus erneuerbaren Energiequellen versorgt werden können, wächst beständig. Die Grundidee solarer Kühlung besteht darin, Sonnenenergie zur Kühlung von Gebäuden oder zur

Prozesskühlung, gerade in der heißen Tageszeit, zu nutzen. Der Zukunftsmarkt „Solares Kühlen“ ist für die Nachhaltigkeit von Gebäuden mit Klimaanlage, sowohl in gemäßigten Klimazonen als auch in warmen Ländern, von höchster Bedeutung.

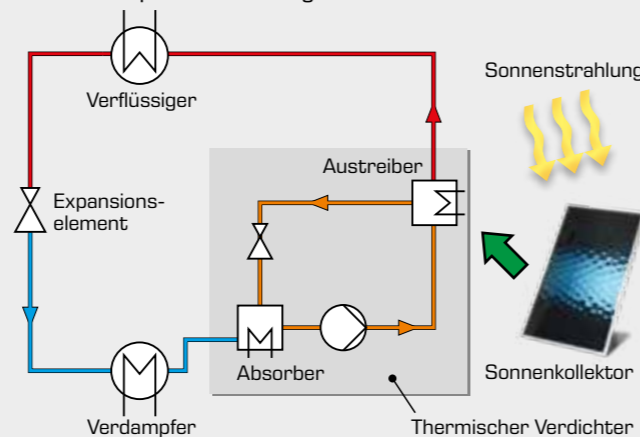
Funktionsprinzip der solaren Kühlung

Unter solarer Kühlung versteht man einen Prozess, bei dem der Kälteprozess **direkt** über Solarenergie angetrieben wird. Die Sonnenenergie dient damit als regenerative Antriebswärmequelle. Grundsätzlich wird bei der Umwandlung der Solarenergie in Nutzenergie zwischen zwei Verfahren unterschieden:

Umwandlung in elektrischen Strom, elektrisches Verfahren mit Photovoltaikmodul



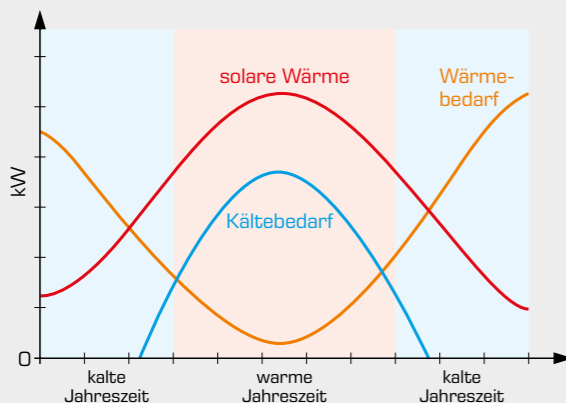
Umwandlung in Wärme, thermisches Verfahren am Beispiel einer Absorptionskälteanlage mit Solarkollektor



In solaren Kältemaschinen wird im Prinzip der elektrische durch einen thermischen Verdichter ersetzt.

Verfügbare Solarenergie

Sonneneinstrahlung und Kühlbedarf korrelieren zeitlich miteinander. Diesen Zustand gilt es nutzen. Die Vorteile einer Versorgung von Kühlanlagen durch Solarenergie sind daher offensichtlich.

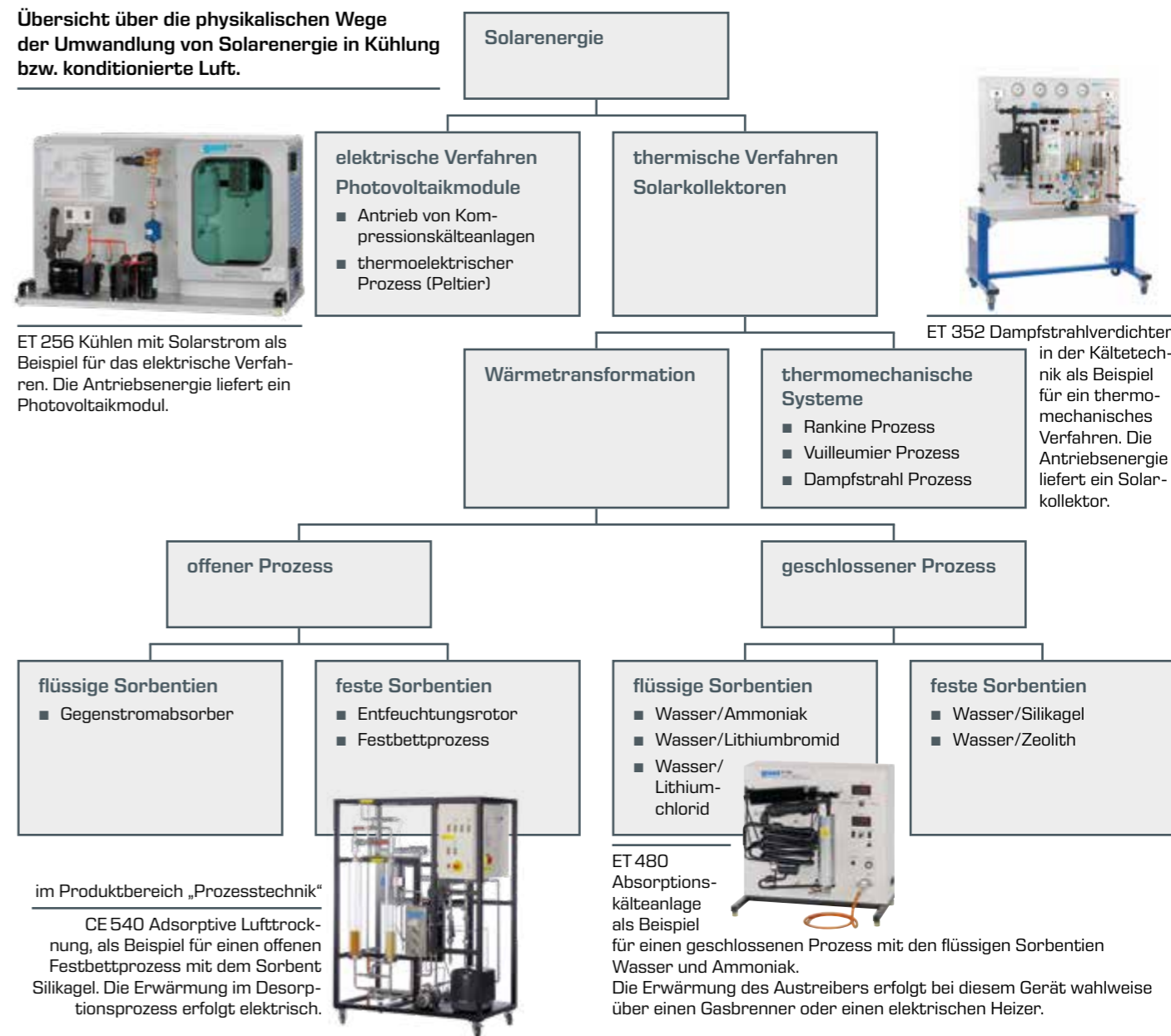


Typische Jahresverläufe für verfügbare Solarenergie und den Heiz- sowie Kühlbedarf eines Gebäudes

Vorteile der solaren Kühlung

- Statt einer hohen elektrischen Leistung für eine konventionelle Kühlanlage, kann der Verbrauch an elektrischer Energie auf die Antriebe von Pumpen und Gebläsen beschränkt werden.
- Besonders an warmen Sommertagen, wenn der Kühlbedarf besonders groß ist, wird der Stromverbrauch gesenkt.

Übersicht über die physikalischen Wege der Umwandlung von Solarenergie in Kühlung bzw. konditionierte Luft.



ET 256 Kühlen mit Solarstrom als Beispiel für das elektrische Verfahren. Die Antriebsenergie liefert ein Photovoltaikmodul.

ET 352 Dampfstrahlverdichter in der Kältetechnik als Beispiel für ein thermomechanisches Verfahren. Die Antriebsenergie liefert ein Solarkollektor.

im Produktbereich „Prozesstechnik“

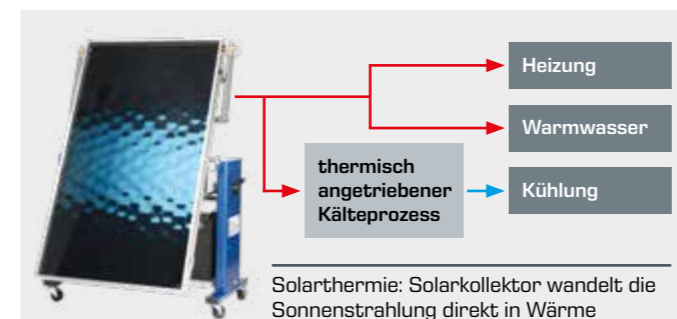
CE 540 Adsorptive Lufttrocknung, als Beispiel für einen offenen Festbettprozess mit dem Sorbent Silikagel. Die Erwärmung im Desorptionsprozess erfolgt elektrisch.

ET 480 Absorptionskälteanlage als Beispiel für einen geschlossenen Prozess mit den flüssigen Sorbentien Wasser und Ammoniak. Die Erwärmung des Austreibers erfolgt bei diesem Gerät wahlweise über einen Gasbrenner oder einen elektrischen Heizer.

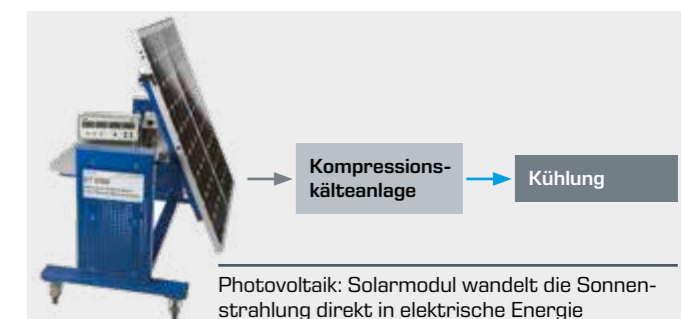
Versorgung von Gebäuden als Anwendungsbereich

Ein großer Anteil von möglichen Anwendungen der solaren Kühlung betrifft den Bereich der Gebäudeversorgung. Im Hinblick auf eine energetische Optimierung ist es daher sinnvoll, auch

andere Energieverbraucher eines Gebäudes zu berücksichtigen. Im dargestellten Schema sind zwei System-Konzepte für die Einbindung von Solarthermie und Photovoltaik dargestellt.



Solarthermie: Solarkollektor wandelt die Sonnenstrahlung direkt in Wärme



Photovoltaik: Solarmodul wandelt die Sonnenstrahlung direkt in elektrische Energie

ET 256 Kühlen mit Solarstrom



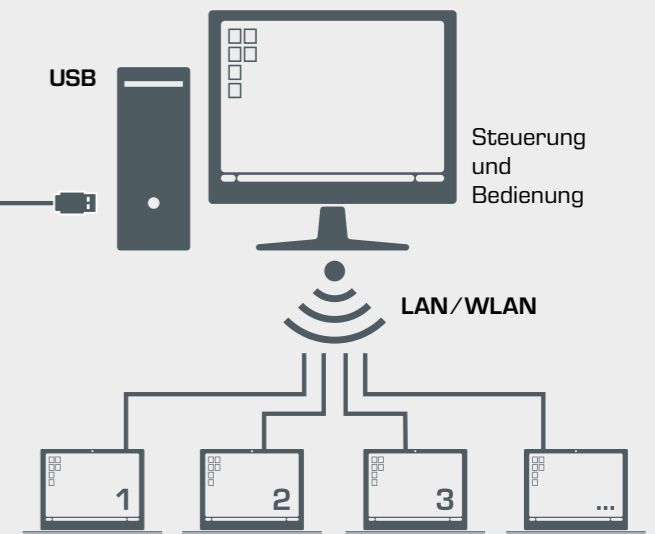
HL 313.01 Künstliche Lichtquelle

ET 256.01 Labornetzteil

ET 250 Messen an Solarmodulen

ET 256 Kühlen mit Solarstrom auf Laborwagen WP 300.09

- Kompressionskälteanlage für den Betrieb mit Photovoltaik-Modulen ET 250 oder mit Labornetzteil ET 256.01
- Steuereinheit startet den Kompressor, sobald ausreichend elektrische Leistung der Solarmodule zur Verfügung steht
- lange Kühldauer durch Kältespeicher und Dämmung
- Software zur Steuerung und Bilanzierung der Energieströme



GUNT-Software zur Gerätesteuerung und Messdatenerfassung via PC

Lerninhalte

- Versorgung einer Kompressionskälteanlage mit Strom aus Photovoltaik-Modulen
- Komponenten einer Photovoltaik-Kälteanlage
- Betrieb des Verdichters bei wechselndem Leistungsangebot und Kältebedarf
- Be- und Entladen von Kältespeichern
- Leistungszahl der Kälteanlage in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen
- Kältekreisprozess im log p,h-Diagramm
- Bilanzierung der Energieströme

Zum Produkt:



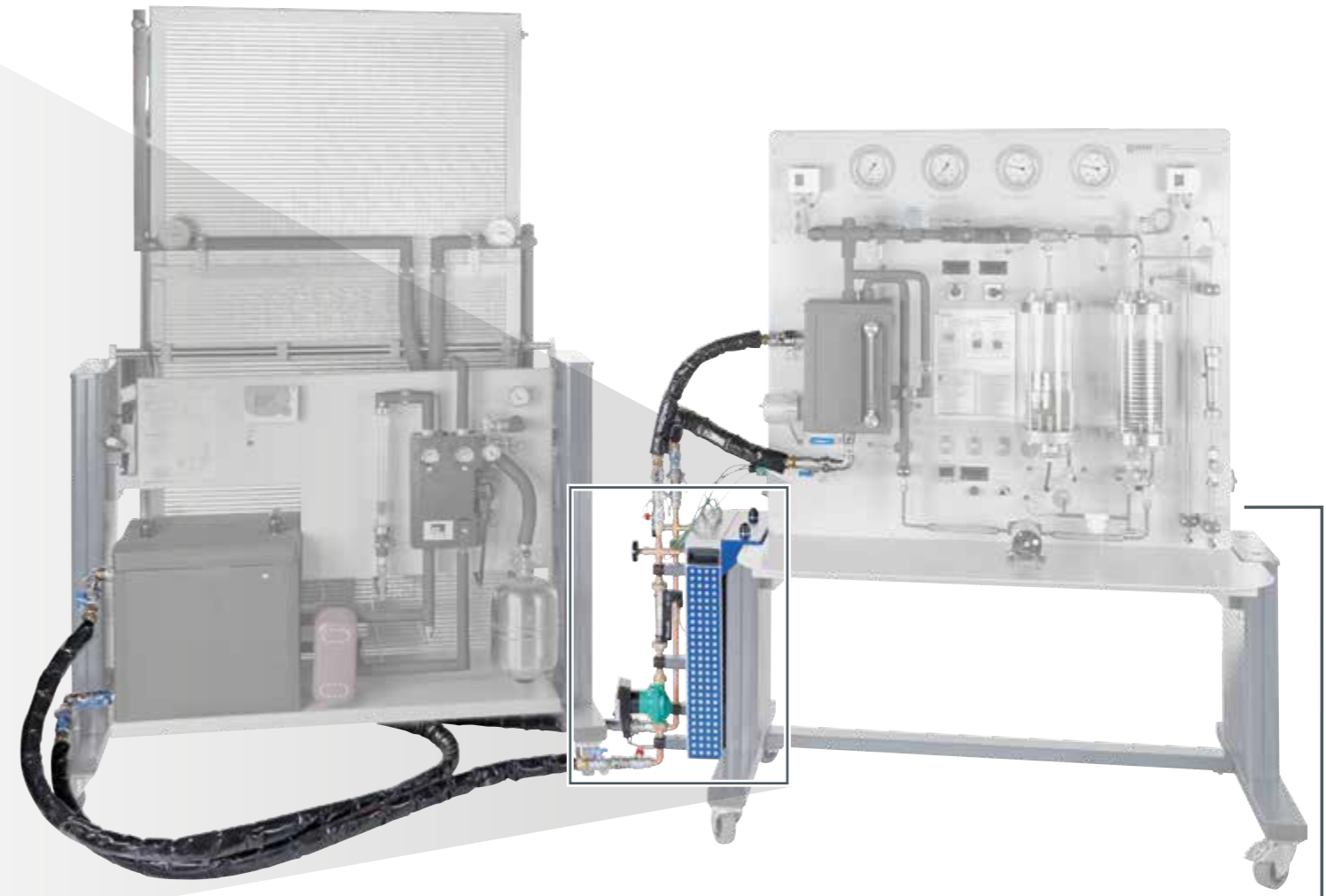
Das Versuchsgerät ET 256 enthält eine Kühlkammer die durch einen typischen Kompressionskältekreislauf gekühlt wird. Als besonderes Merkmal besteht die Möglichkeit, den eingesetzten Hubkolbenverdichter über ein Steuergerät direkt durch Strom aus Photovoltaikmodulen von ET 250 zu versorgen. Alternativ kann die Versorgung über das Labornetzteil ET 256.01 erfolgen.

ET 352.01 Solare Wärme zur Kälteerzeugung

Speziell in subtropischen Übergangsregionen bieten thermische Verfahren zur Kälteerzeugung eine vielversprechende Möglichkeit der Solarenergienutzung. Bei diesen Verfahren kann die im Sommer oft überschüssige Wärme aus solarthermischen Anlagen verwendet werden, um Kälte zu erzeugen.

ET 352.01 ermöglicht den Betrieb des Dampfstrahlverdichters aus ET 352 mit solar erzeugter Wärme aus dem Flachkollektor HL 313. Die Pumpe aus ET 352.01 fördert die erhitzte Wärmeträgerflüssigkeit aus dem Speicher von HL 313 zum Dampfgenerator von ET 352. Die ET 352 Software erfasst Temperaturen und den Volumenstrom aus ET 352.01 zur Bilanzierung der übertragenen Wärme.

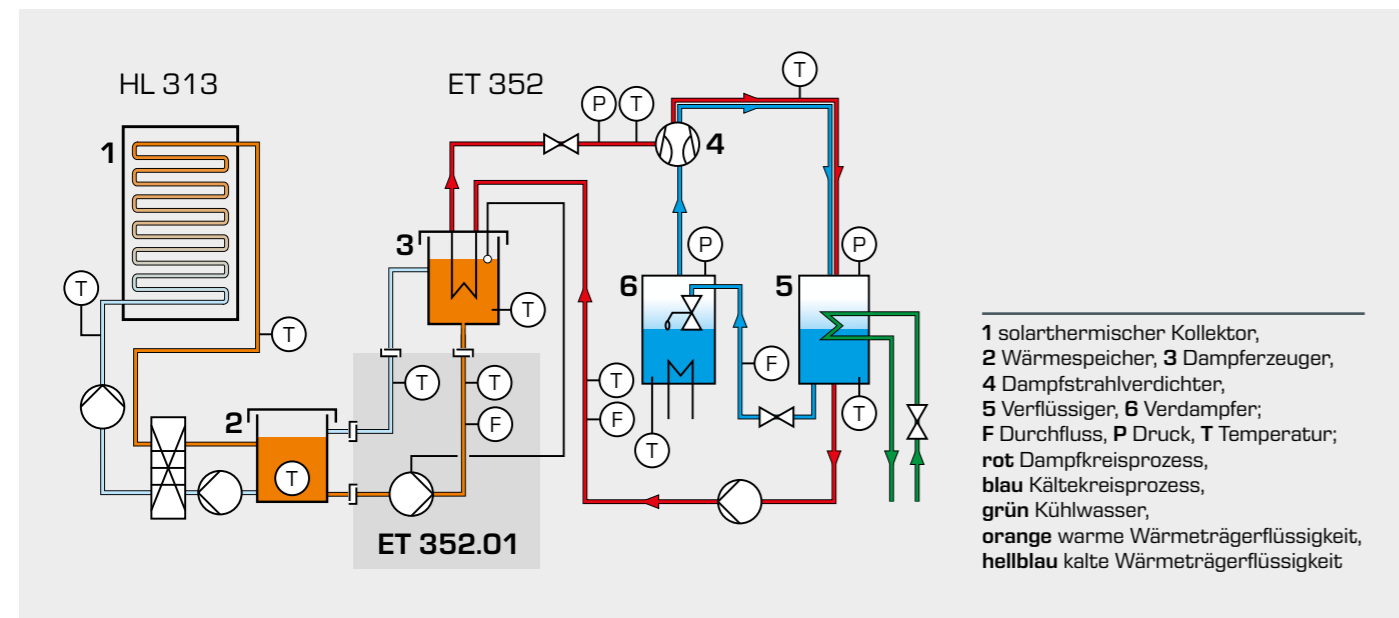
Zum Produkt:



HL 313 Brauchwassererwärmung mit Flachkollektor oder
HL 314 Brauchwassererwärmung mit Röhrenkollektor

ET 352 Dampfstrahlverdichter in der Kältetechnik

Lerninhalte	
■	Komponenten von solaren Kälteanlagen nach dem Dampfstrahlverfahren
■	Betrieb eines Dampfstrahlverdichters an einem solarthermischen Kollektor
■	erweiterte Konzepte zur Nutzung von thermischen Solaranlagen
■	Energiemanagement für solarthermische Kältesysteme



Die GUNT-Software von ET 352 ermöglicht Darstellung und Erfassung der Messdaten. Über die Netzwerkfähigkeit können Versuche im Remote-Learning eingebunden werden.

Wasserkraft und Meeresenergie

Einführung

Lernfelder Wasserkraft und Meeresenergie	054
--	-----

Wasserkraft

Basiswissen Wasserkraft	056
HM 150.19 Funktionsprinzip einer Peltonturbine	058
HM 150.20 Funktionsprinzip einer Francisturbine	059
HM 450C Kenngrößen hydraulischer Strömungsmaschinen	060
HM 450.01 Peltonturbine	062
HM 450.02 Francisturbine	062
HM 450.03 Propellerturbine	063
HM 450.04 Kaplanturbine	063
HM 421 Versuchsstand Propellerturbine	064
HM 365.31 Pelton- und Francisturbine	066
HM 430C Versuchsstand Francisturbine	068

Wellenenergie

Basiswissen Wellenenergie	070
ET 270 Wellenkraftwerk	072

Lernfelder

Wasserkraft und Meeresenergie

Lernfelder

Produkte

Wasserkraft

Natürliche Fließbewegungen des Wassers wie in Flüssen und Stauseen können für die Stromproduktion genutzt werden. Daneben lassen sich im Bereich der Meere sowohl der Tidenhub (das periodische Fallen und Steigen des Meeresspiegels) als auch der Energiegehalt von Strömung und Wellen einsetzen.

Beide Arten der Energieumwandlung gehören zu den erneuerbaren Energien. Während die typische Wasserkraftnutzung bereits seit Jahrhunderten verbreitet ist, steht die Nutzung der Meeresenergie jedoch noch in den Anfängen.

Wie in der nebenstehenden Tabelle gezeigt, lassen sich im erweiterten Bereich Wasserkraft und Meeresenergie insbesondere verschiedene Lerninhalte aus der Turbinentechnik unterscheiden. Das entsprechende Produkt ist in der angrenzenden Spalte aufgeführt.

Technische
Strömungsmechanik

Insbesondere zu den Bereichen Turbinen und Strömungsmechanik finden Sie weitere Versuchsstände im Programmbereich 4 „Technische Strömungsmechanik“.

» Technische
Strömungs-
mechanik

Grundlagen der Strömungsmechanik:
Energieumwandlung in Wasser-
turbinen

Strömungsmaschinen:
Messungen an Turbinen und Pumpen

Turbinen in Laufkraftwerken:
Fluss- und Gezeitenkraftwerke

Turbinentypen vergleichen:
Antrieb eines Asynchrongenerators

Einfluss des Leitapparats auf
charakteristische Turbinenkennlinien

HM 150.19
Funktionsprinzip einer Pelton-
turbine

HM 150.20
Funktionsprinzip einer Francisturbine

HM 450C
Kenngrößen hydraulischer Strömungsmaschinen

HM 450.01
Pelton-
turbine

HM 450.02
Francisturbine

HM 450.03
Propellerturbine

HM 450.04
Kaplanturbine

HM 421
Versuchsstand Propellerturbine

HM 365.31
Pelton- und Francisturbine

HM 430C
Versuchsstand Francisturbine

Meeresenergie

Energiegewinnung aus
Wellenbewegungen mit einer
Wells-Turbine

ET 270
Wellenkraftwerk

Basiswissen

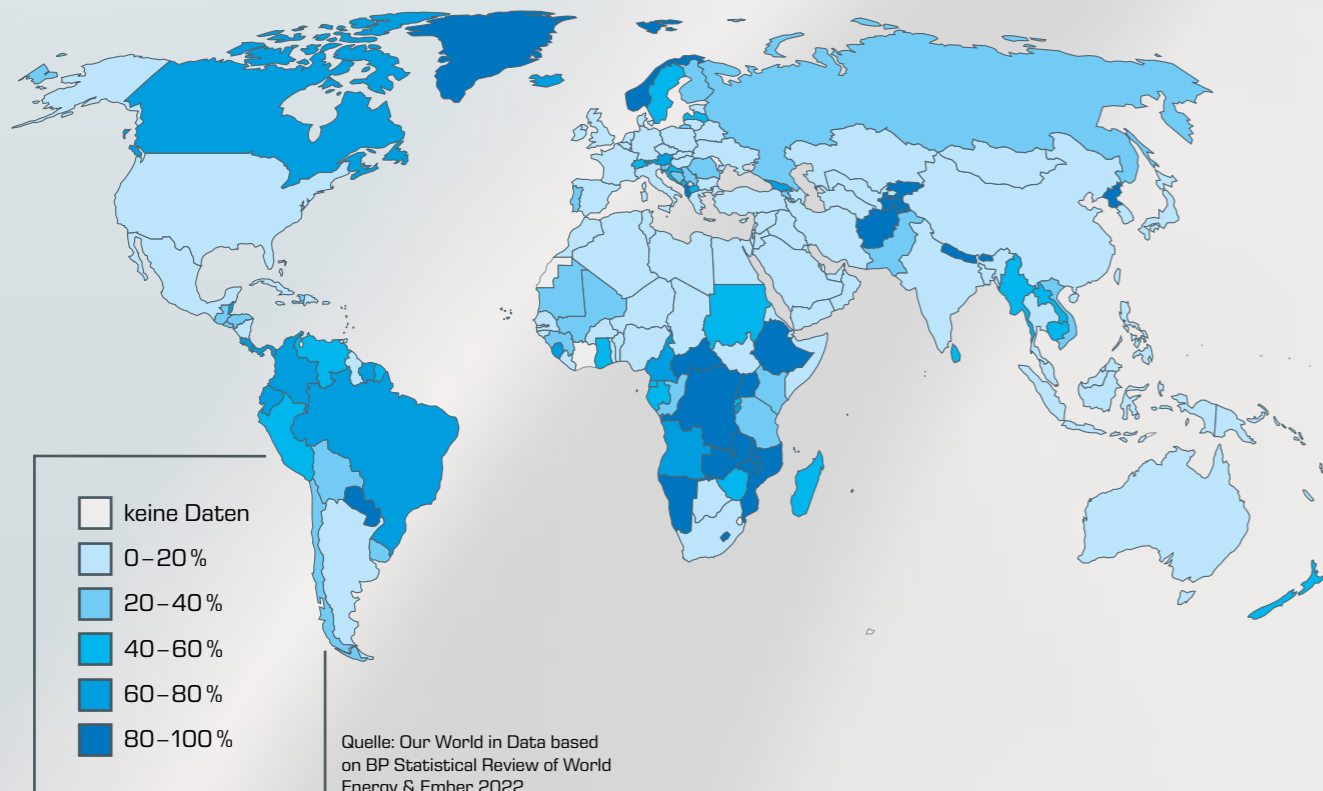
Wasserkraft

Klassische Wasserkraftanlagen werden bereits seit Jahrhunderten als Energiequelle für unterschiedlichste mechanische Anwendungen eingesetzt. Damit stellt die Wasserkraft einen seit langem erfolgreich genutzten erneuerbaren Energielieferanten dar. Seit Beginn der Stromerzeugung durch Wasserkraft hat sich ihr Anteil an der elektrischen Energieerzeugung inzwischen auf etwa ein Viertel des weltweit verbrauchten Stroms entwickelt.

Mit zunehmender Größe der eingesetzten Turbinen und der dafür erforderlichen Staudämme zeigen sich jedoch auch zum Teil deutliche Defizite in der ökologischen Gesamtbilanz dieser Technologie. Aufgrund geologischer Gegebenheiten können einzelne Länder wie z.B. Bhutan (99%), Demokratische Republik Kongo (99%) und Norwegen (92%) sehr große Anteile ihres elektrischen Energiebedarfs durch Wasserkraft abdecken.

Zum Vergleich: In Deutschland werden nur 3,2% abgedeckt. In China befindet sich das zur Zeit leistungsstärkste Wasserkraftwerk der Erde: Dort kann am Drei-Schluchten-Staudamm eine Gesamtleistung von bis zu 18200 Megawatt erzeugt werden.

Anteil der Wasserkraftnutzung an der Elektrizitätsversorgung 2021

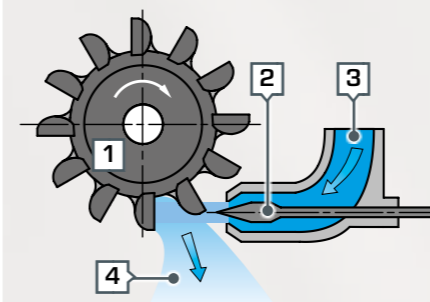


Dezentrale Stromversorgung durch kleine Wasserkraftwerke

In Regionen ohne zentrale Stromversorgung bieten gerade dezentrale, kleine Wasserkraftwerke im Leistungsbereich bis ca. 5 kW die Möglichkeit, auf angepasste Weise eine nachhaltige Entwicklung zu unterstützen.

Neben den typischen Kenngrößen wie Fallhöhe und Durchfluss sind hierbei auch Wartungsaspekte und die Zugänglichkeit des Aufstellungsortes ausschlaggebend für die Auswahl des Turbinentyps. Bei Fallhöhen von 150 m und mehr kommen zumeist Pelton- oder Francis-Turbinen zum Einsatz. Bei geringeren Fallhöhen werden hingegen Kaplan-Turbinen bevorzugt eingesetzt.

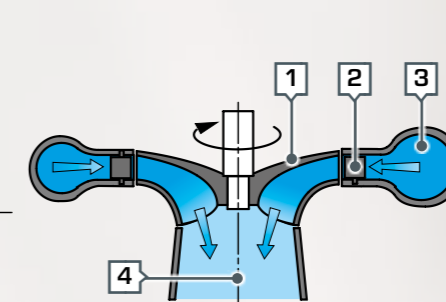
Turbinentypen in Wasserkraftwerken



Pelton-turbine

In der Pelton-turbine „schießt“ das Wasser aus einer oder mehreren Düsen auf die Schaufeln des Laufrades.

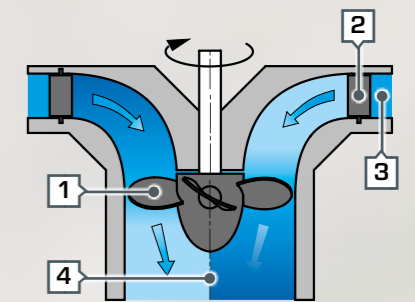
Fallhöhe: 150 - 2000 m
Durchfluss: 0,02 - 70 m³/s
Speicherkraftwerke



Francis-turbine

Die Francis-turbine arbeitet mit Überdruck. Die Schaufeln des Leitapparates sind verstellbar.

Fallhöhe: 20 - 700 m
Durchfluss: 0,3 - 1000 m³/s
Talsperren



Kaplan-turbine

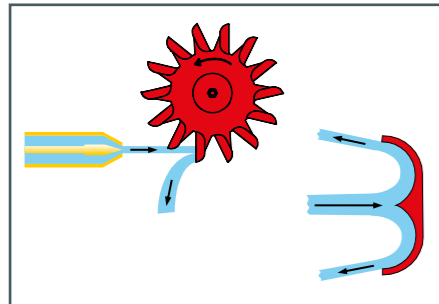
Auch die Kaplan-turbine arbeitet mit Überdruck. Hier sind Leitapparat und Laufschaufeln verstellbar.

Fallhöhe: 2 - 60 m
Durchfluss: 4 - 2000 m³/s
Flüsse

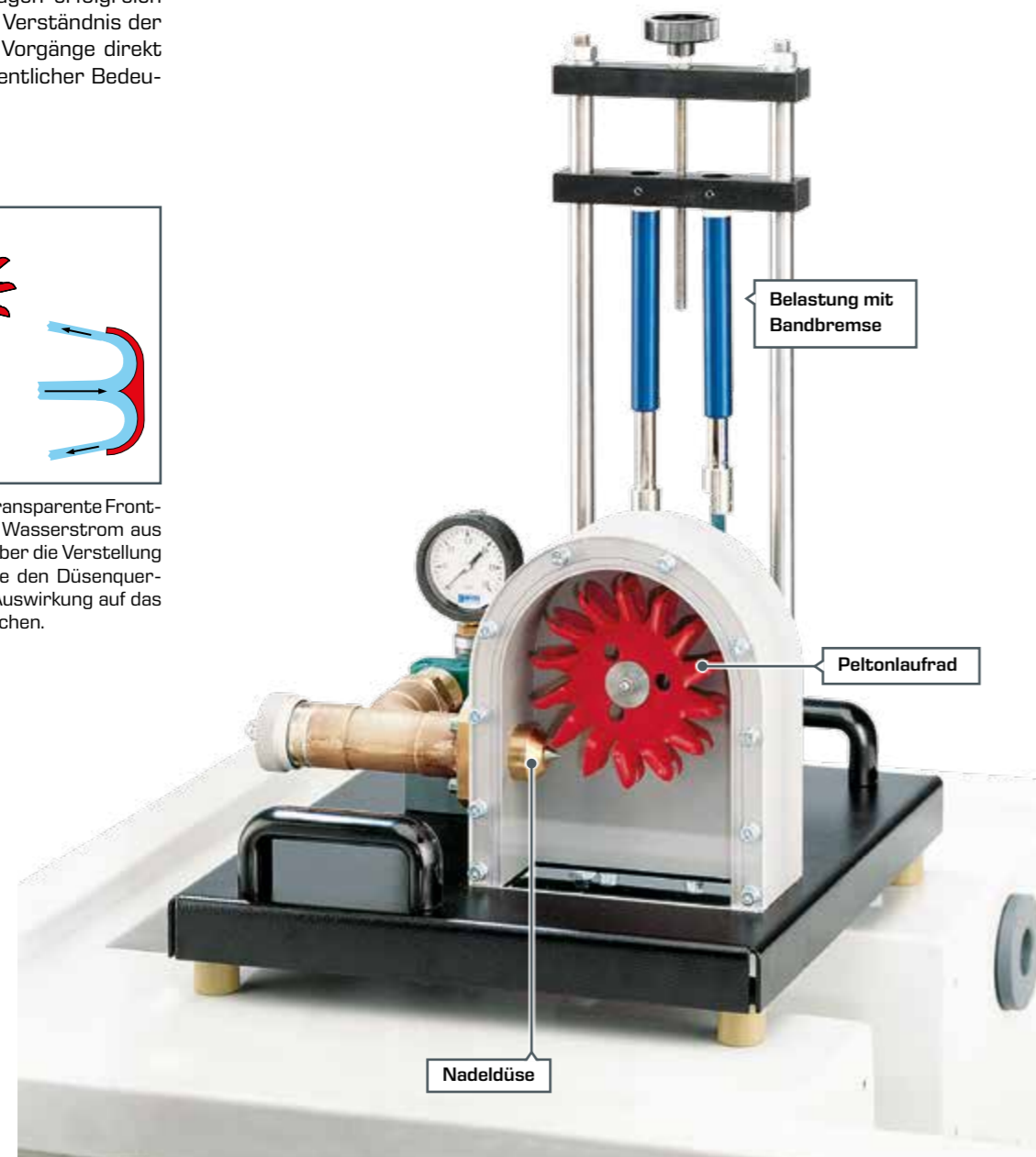
1 Laufrad 2 Leitapparat 3 Wassereintritt 4 Wasseraustritt

HM150.19 Funktionsprinzip einer Peltonturbine

Um die Grundlagen der Energieumwandlung in Wasserkraftanlagen erfolgreich zu unterrichten, ist das Verständnis der strömungstechnischen Vorgänge direkt an der Turbine von wesentlicher Bedeutung.

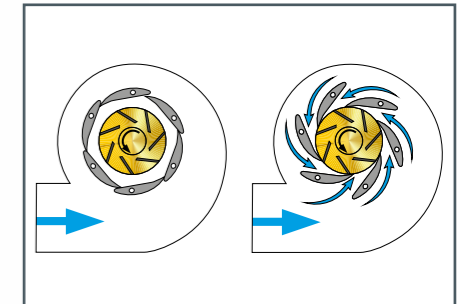


Beobachten Sie durch die transparente Frontscheibe an HM150.19 den Wasserstrom aus der Düse auf das Laufrad. Über die Verstellung der Düsennadel können Sie den Düsenquerschnitt einstellen und die Auswirkung auf das Betriebsverhalten untersuchen.



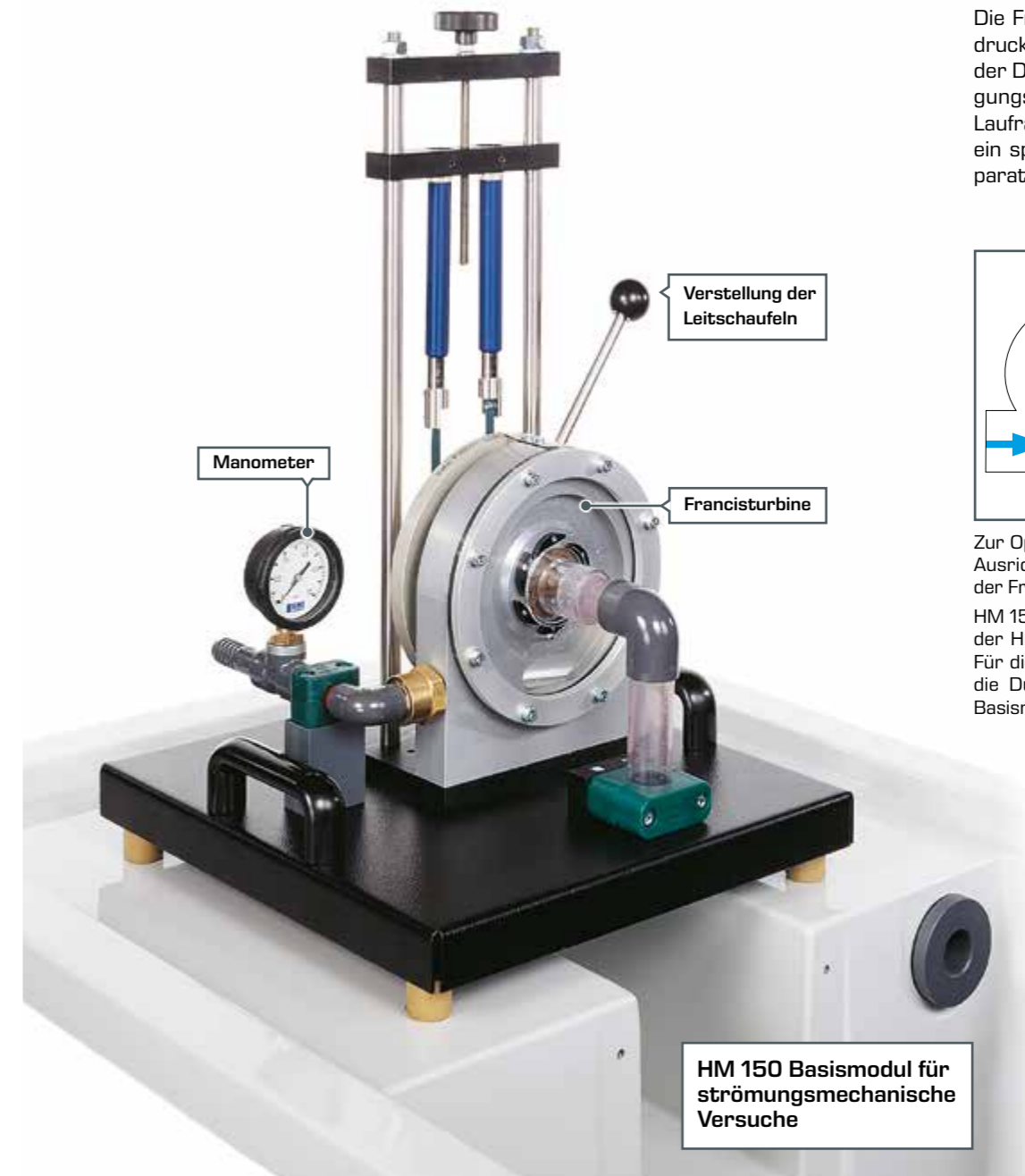
HM150.20 Funktionsprinzip einer Francisturbine

Die Francisturbine gehört zu den Überdruckturbinen, bei denen die Umsetzung der Druckenergie des Wassers in Bewegungsenergie im Leitapparat und im Laufrad erfolgt. Das Wasser wird über ein spiralförmiges Gehäuse dem Leitapparat zugeführt.



Zur Optimierung der Leistung können Sie die Ausrichtung der Schaufeln am Leitapparat der Francisturbine einstellen.

HM 150.19 und HM 150.20 sind Bestandteil der HM 150-Serie zur Strömungsmechanik. Für die Wasserversorgung der Turbinen und die Durchflussmessung empfehlen wir das Basismodul HM 150.



Lerninhalte	
■	Aufbau und Funktion einer Peltonturbine kennenlernen
■	Drehmoment, Leistung und Wirkungsgrad bestimmen
■	Kennlinien für Drehmoment, Leistung und Wirkungsgrad grafisch darstellen



HM150 Basismodul

Zum Produkt:



Lerninhalte	
■	Aufbau und Funktion einer Francisturbine kennenlernen
■	Drehmoment, Leistung und Wirkungsgrad bestimmen
■	Kennlinien für Drehmoment, Leistung und Wirkungsgrad grafisch darstellen

Zum Produkt:



HM 450C Kenngrößen hydraulischer Strömungsmaschinen

Hydraulische Strömungsmaschinen gehören zu den Fluidenergiemaschinen. Sie arbeiten kontinuierlich und weisen einen stationären Druckunterschied zwischen Ein- und Austritt auf. Mit HM 450C wurde ein modularer Versuchsstand für die Grundlagenversuche im Bereich hydraulischer Strömungsmaschinen realisiert. HM 450C bildet hierbei die Basis-einheit mit einer Kreiselpumpe. Durch einen geschlossenen Wasserkreislauf kann der Versuchsstand standortunabhängig eingesetzt werden.

Als optionale Zubehöre sind die Peltonturbine HM 450.01, die Francisturbine HM 450.02, die Propellerturbine HM 450.03 und die Kaplan-turbine HM 450.04 erhältlich. Die Turbinen sind einfach auf dem Versuchsstand zu montieren. Sie werden mit wenigen Handgriffen an die Druckseite der Kreiselpumpe angeschlossen.

Eine Besonderheit dieses Versuchsstands ist die Möglichkeit, gleichzeitig Pumpe und Turbine zu betreiben. An beiden Strömungsmaschinen können zeitgleich Messwerte aufgenommen werden.



GUNT-Software für Messwert-anzeige und -auswertungen wie dimensionslose Kennzahlen und Pumpenkennlinien



HM 450.03 Propellerturbine



Versuchsstand HM 450C mit Propellerturbine HM 450.03

Zum Produkt:



Lerninhalte

- Vergleich von Turbinentypen
- Bestimmung der mechanischen Leistung
- Einfluss von Düsenquerschnitt bzw. Leitschaufeln
- Aufnahme von Kennlinien
- Berechnung der Wirkungsgrade

HM 450.01 Peltonturbine

- Gleichdruckturbine
- Leistungsanpassung über Düsennadel
- direkte Sicht auf Nadeldüse und Laufrad im Betrieb
- Belastung über Bandbremse

1 Nadeldüse, 2 Laufschaufeln Peltonrad

Nadeldüse und Laufrad

Einstellung Nadeldüse

HM 450.02 Francisturbine

- radial durchströmte Überdruckturbine
- Leistungsanpassung über Leitschaufelstellung
- direkte Sicht auf Leitschaufeln und Laufrad im Betrieb
- Belastung über Bandbremse

1 Laufrad, 2 Leitschaufeln, verstellbar

Leitapparat und Laufrad

Einstellung Leitschaufeln

HM 450.03 Propellerturbine

- axial durchströmte Überdruckturbine
- Leistungsanpassung über Leitschaufelstellung
- direkte Sicht auf Leitschaufeln und Laufrad im Betrieb
- Belastung über Wirbelstrombremse

1 Wirbelstrombremse, 2 Einstellung Leitschaufeln, 3 Leitschaufeln, verstellbar, 4 Laufschaufeln

Leitapparat und Laufrad

Einstellung Leitschaufeln

HM 450.04 Kaplan-turbine

- axial durchströmte Überdruckturbine
- Leistungsanpassung über Leit- und Laufschaufelstellung
- direkte Sicht auf Leit- und Laufschaufeln, mit Verstellung, und Laufrad im Betrieb
- Belastung über Wirbelstrombremse

1 Laufschaufeln, verstellbar, 2 Führungsstange Laufschaufelverstellung

Leitapparat und Laufschaufelverstellung

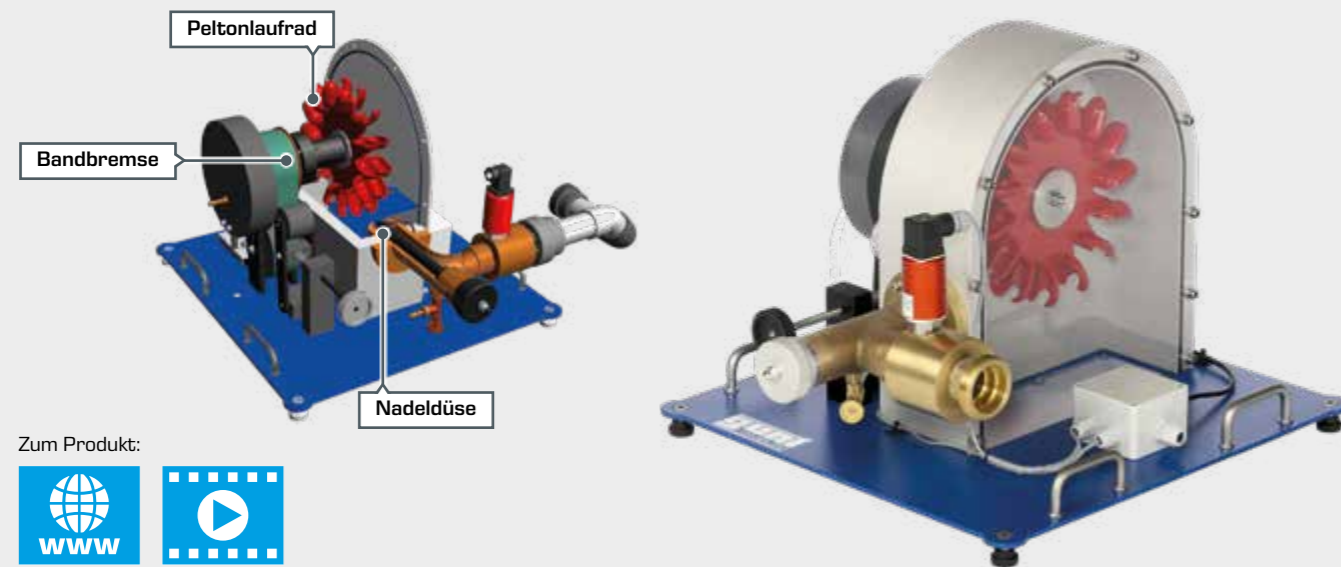
Einstellung Leitschaufeln

HM 450.01 Pelton turbine HM 450.02 Francis turbine

HM 450.01 Pelton turbine

The Pelton turbine belongs to the free jet or impulse turbines, in which the conversion of pressure energy of water into kinetic energy takes place completely in the guide apparatus. Pelton turbines are used at high head and

relatively low water flows. The performance of the turbine is set by the nozzle diameter. In practice, Pelton turbines are used for the drive of synchronous generators, where they run at constant speed.



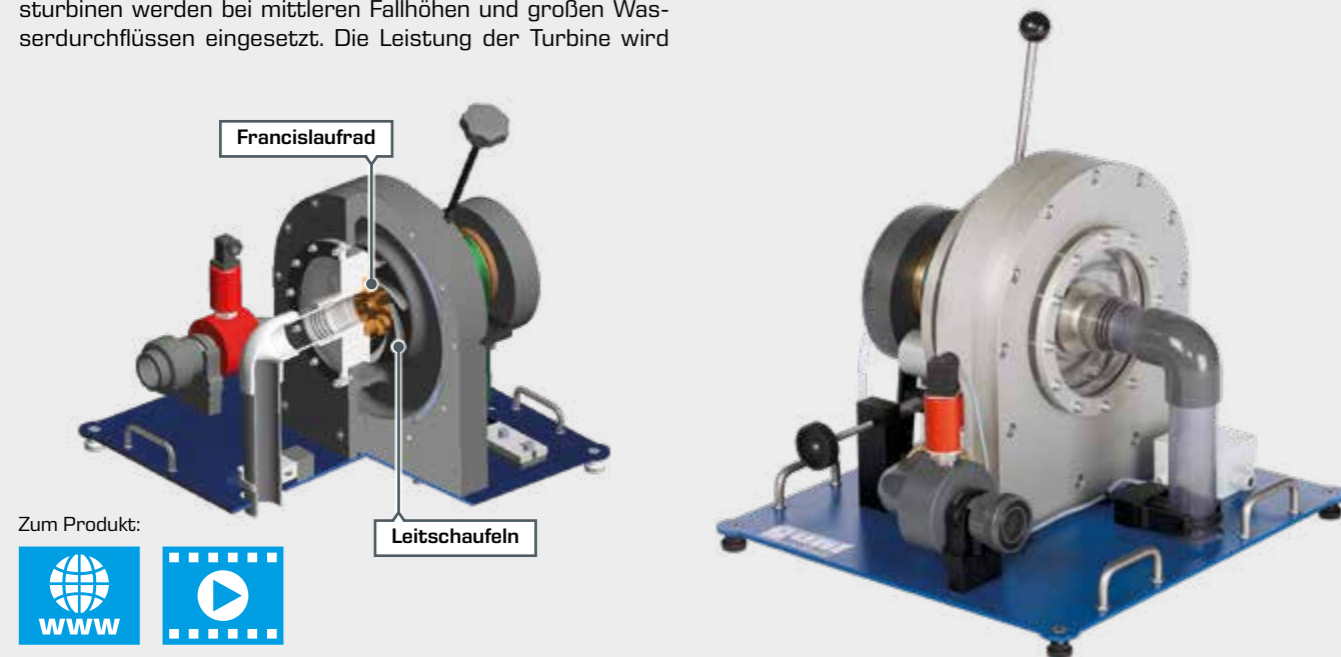
Zum Produkt:



HM 450.02 Francis turbine

The Francis turbine belongs to the reaction turbines, in which the conversion of pressure energy of water into kinetic energy in the guide apparatus and runner takes place. Francis turbines are used at medium head and high water flows. The performance of the turbine is

regulated by the adjustment of the guide vanes. In practice, Francis turbines are used in run-of-river power plants and storage power plants.



Zum Produkt:



HM 450.03 Propeller turbine HM 450.04 Kaplan turbine

HM 450.03 Propeller turbine

Propeller turbines have, in contrast to Kaplan turbines, fixed runner blades. These turbines are used at low head and very high water flows. The performance of the propeller turbine is set by the

adjustment of the guide vanes. In practice, propeller turbines and Kaplan turbines are used in run-of-river power plants.



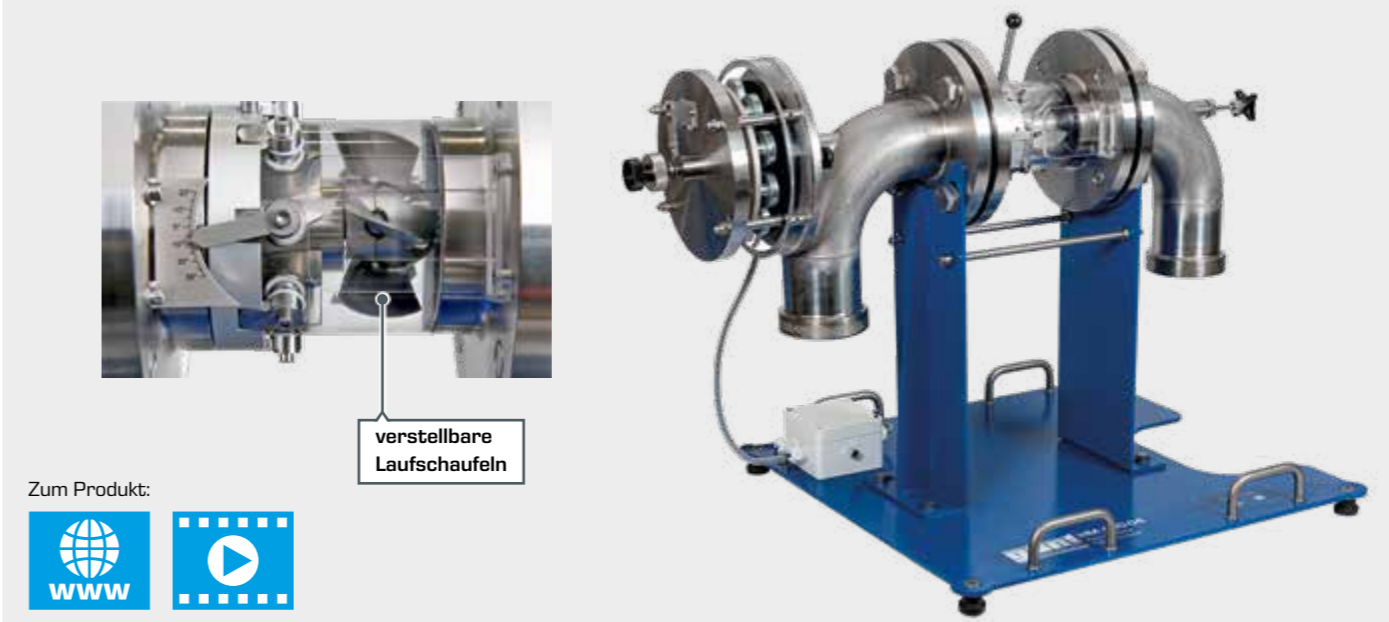
Zum Produkt:



HM 450.04 Kaplan turbine

Kaplan turbines are characterized by axial flow and adjustable runner blades. Kaplan turbines are used at low head and very high water flows. As they are doubly regulated

turbines, in which both the guide vanes and the runner blades can be adjusted, they are suitable for use under fluctuating operating conditions.



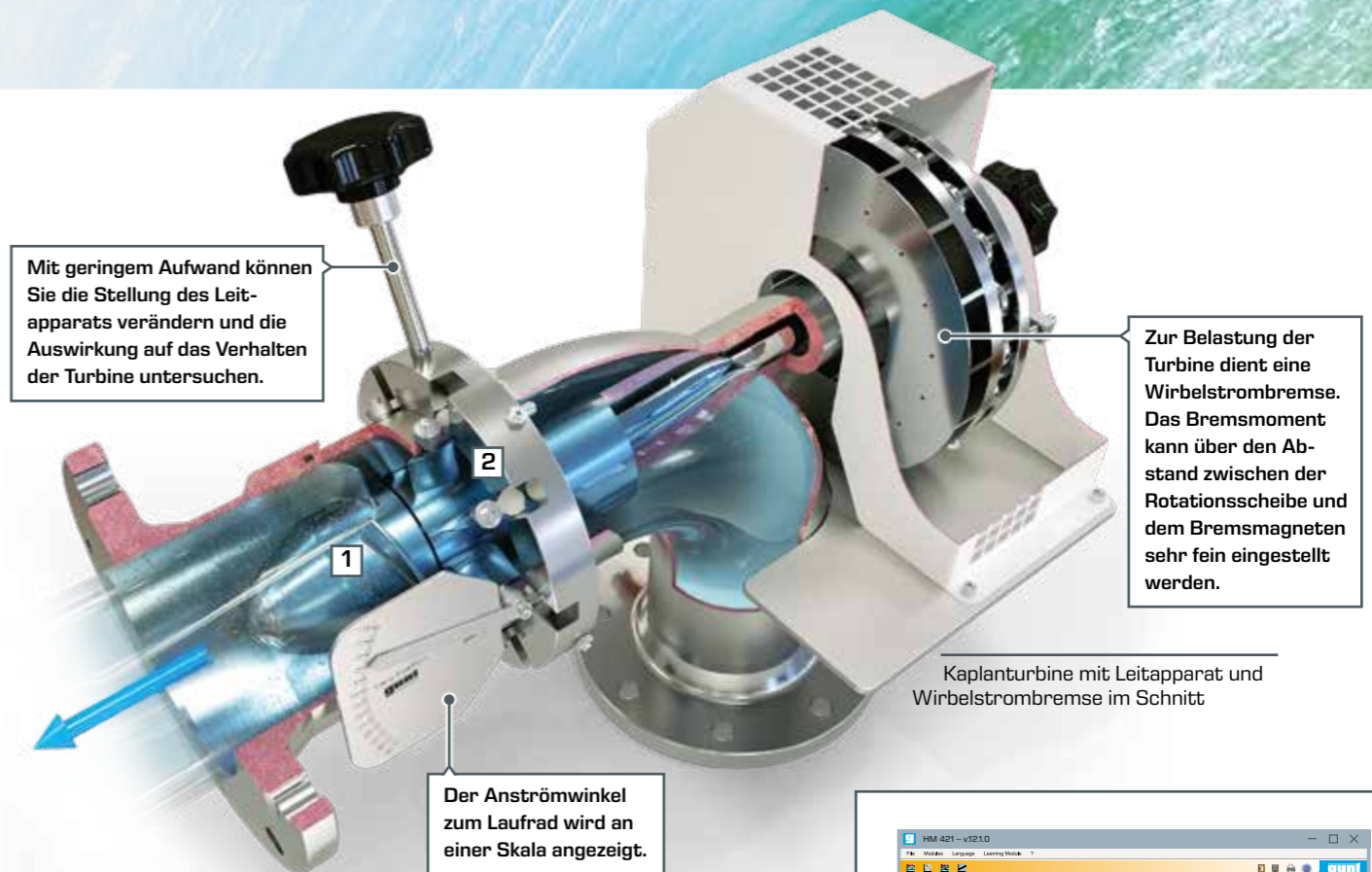
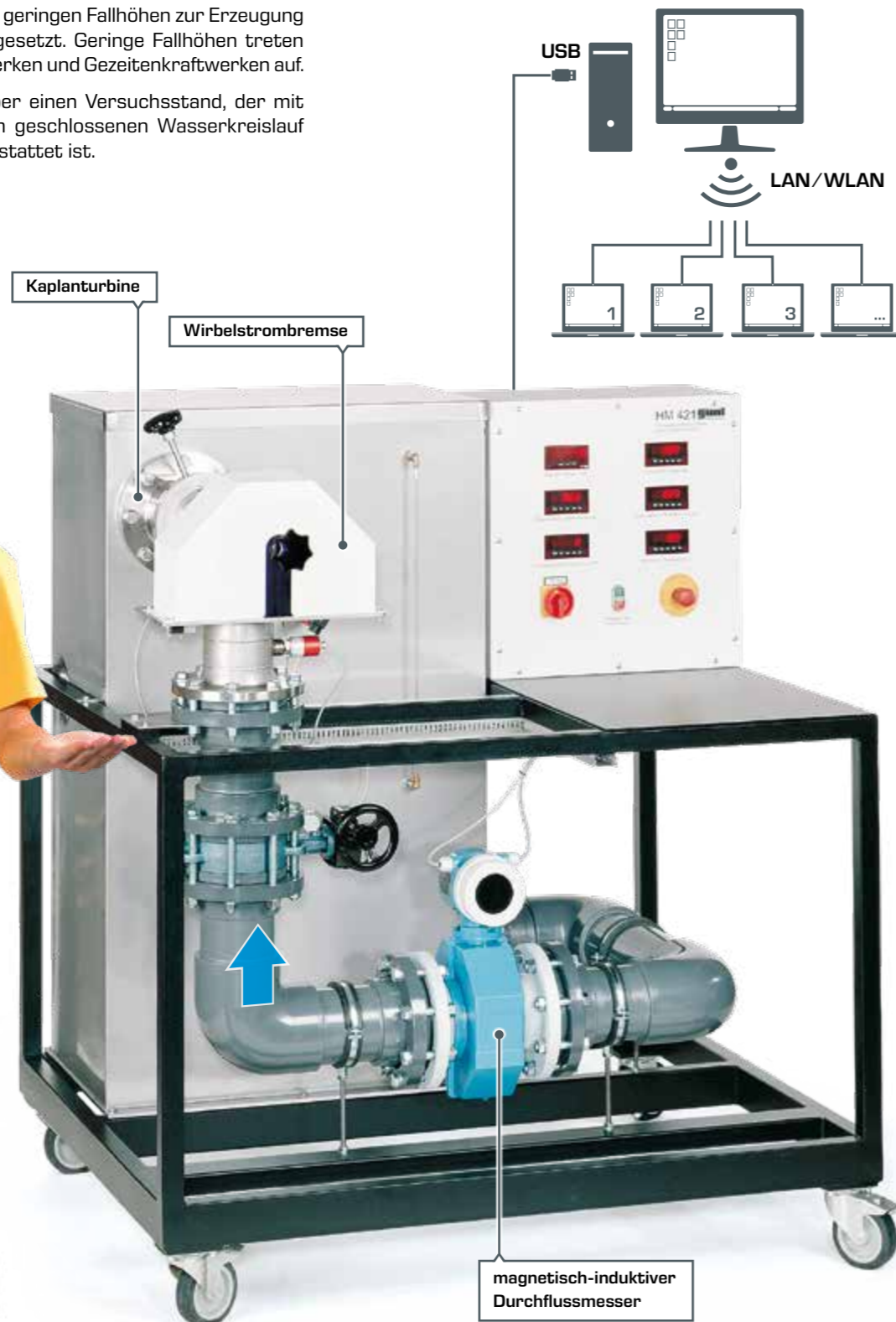
Zum Produkt:



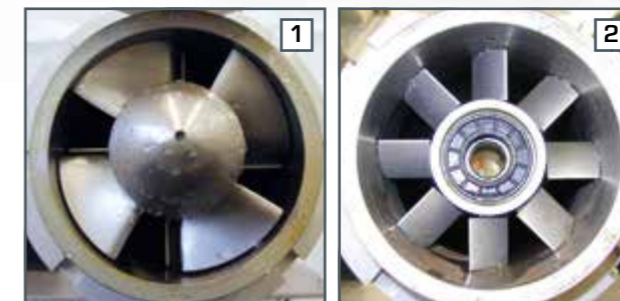
HM 421 Versuchsstand Propellerturbine

Propellerturbinen werden bei geringen Fallhöhen zur Erzeugung von elektrischem Strom eingesetzt. Geringe Fallhöhen treten beispielsweise bei Laufkraftwerken und Gezeitenkraftwerken auf.

Mit HM 421 verfügen Sie über einen Versuchsstand, der mit einer Kaplan turbine in einem geschlossenen Wasserkreislauf und einer Tauchpumpe ausgestattet ist.

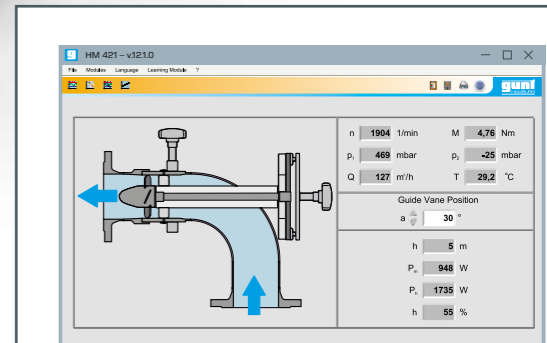


Kaplanturbine mit Leitapparat und Wirbelstrombremse im Schnitt



Laufrad

Leitapparat



Software

Die Software für HM 421 ermöglicht die Erfassung der wichtigsten Größen:

- Durchfluss
- Fallhöhe
- Drehzahl
- Drehmoment
- Druck am Eintritt und Austritt
- Temperatur

Folgende Größen können aus den Messwerten berechnet werden

- hydraulische Leistung
- mechanische Leistung
- Wirkungsgrad
- Fallhöhe

Lerninhalte

- Messung von Turbinenkennlinien
- Bestimmung von Leistungskurven bei verschiedenen Drehzahlen (hydraulische Leistung, mechanische Leistung)
- Bestimmung der Fallhöhe
- Berechnung des Turbinenwirkungsgrades
- Einfluss der Schaufelstellung auf die Leistung und den Wirkungsgrad

Zum Produkt:

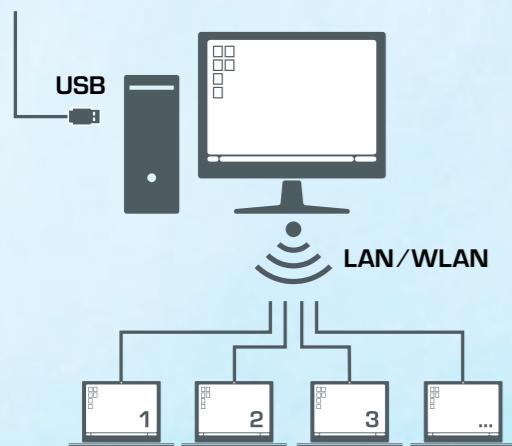


HM 365.31 Pelton- und Francisturbine

Mit dem Modulsystem HM 365 können Sie das charakteristische Betriebsverhalten verschiedener Turbinentypen untersuchen. Die Wasserversorgung erfolgt mit der speziell dafür vorgesehenen Versorgungseinheit HM 365.32. Die von der Turbine erzeugte Energie wird an den Asynchrongenerator von HM 365 übertragen. Nähere Informationen über die weiteren Einsatzmöglichkeiten finden Sie in den Datenblättern der jeweiligen Geräte.



Die **GUNT-Software** bietet eine intuitive Visualisierung aktueller Messdaten in einem Anlagenschema und ermöglicht die kontinuierliche Datenerfassung über einen USB-Anschluss. Natürlich sind auch grafische Darstellungen und Berechnungen zur Auswertung der Messdaten vorgesehen.



HM 365.31 Pelton-turbine



HM 365.31 Francisturbine



HM 365 Universale Brems-
und Antriebseinheit

HM 365.32 Versorgungs-
einheit für Turbinen

Lerninhalte

- Vergleich von Gleich- und Überdruck-turbinen
- Bestimmung der mechanischen und der hydraulischen Leistung
- Bestimmung des Wirkungsgrads
- Aufnahme von Kennlinien
- Einfluss des Düsenquerschnitts der Pelton-turbine auf die Kennwerte
- Einfluss der Leitschaufelstellung der Francisturbine auf die Kennwerte

HM 365 verfügt über einen Drehstrom-Asynchrongenerator, der hier als Generator eingesetzt wird. Durch die Möglichkeit, die Belastung durch Drehzahl oder Drehmoment zu steuern, kann die untersuchte Turbine bei variierender hydraulischer Leistung im jeweils optimalen Arbeitspunkt betrieben werden.

HM 365.32 ist mit Aufnehmern für Druck, Temperatur und Durchfluss ausgestattet. Eine leistungsstarke Pumpe – im geschlossenen Wasserkreislauf – simuliert das Gefälle eines Wasserkraftwerkes.

Zum Produkt:

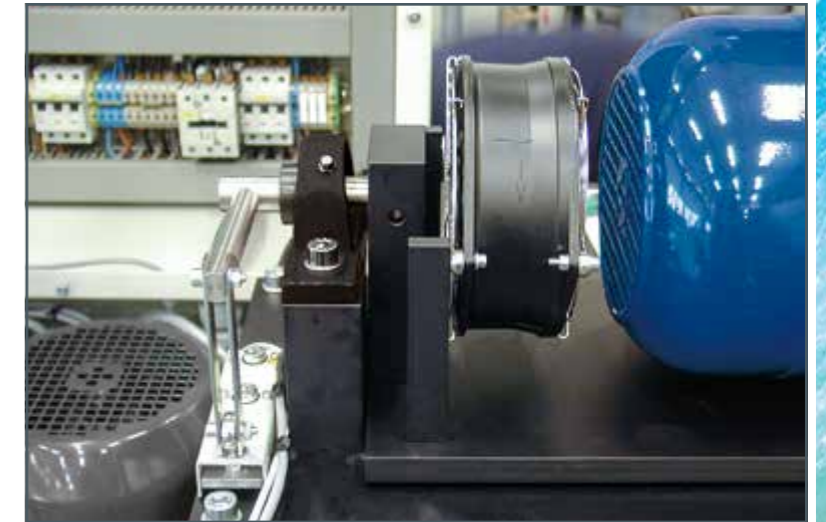


HM 430C Versuchsstand Francisturbine

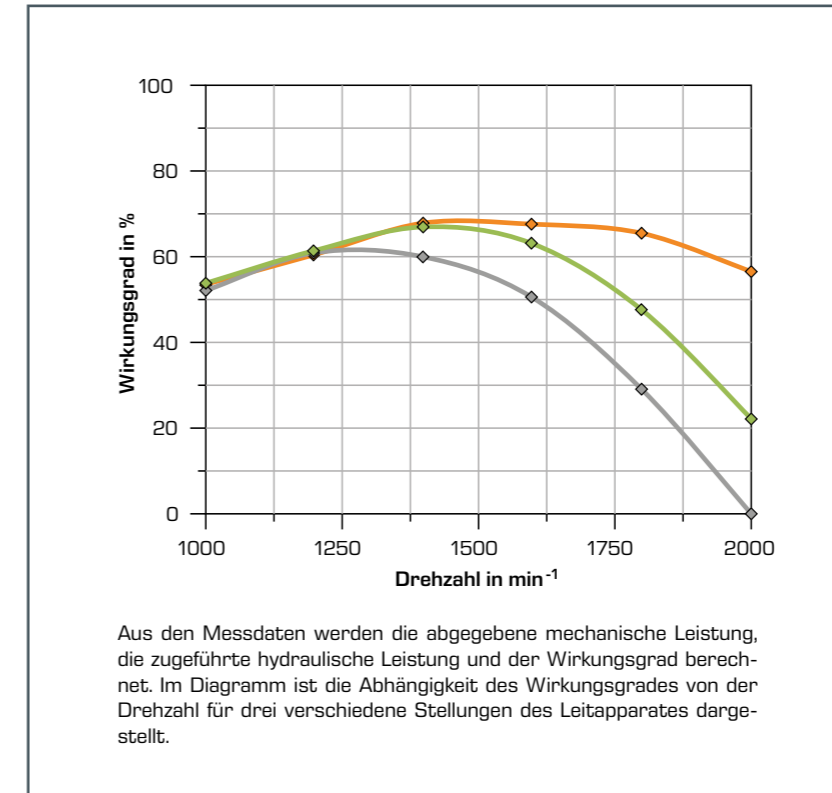
Für die Wasserkraftnutzung bei mittleren Fallhöhen und mittleren Durchflüssen kommen Francisturbinen zum Einsatz. Mit HM 430C haben Sie die Möglichkeit, einen Gleichstrom-generator zur Energieumwandlung zu nutzen.



Mit geringem Aufwand können Sie das Verhalten der Turbine bei verschiedenen Stellungen des Leitapparats untersuchen.



Ein Kraftsensor erfasst das Drehmoment an der pendelnden Aufhängung des Generators.

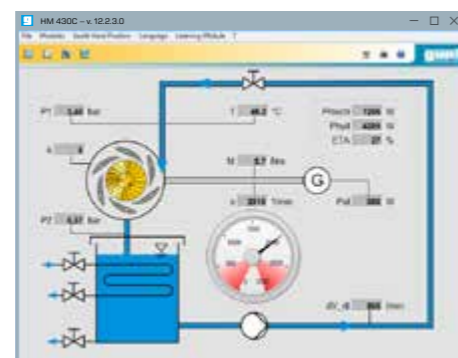


Aus den Messdaten werden die abgegebene mechanische Leistung, die zugeführte hydraulische Leistung und der Wirkungsgrad berechnet. Im Diagramm ist die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Drehzahl für drei verschiedene Stellungen des Leitapparates dargestellt.

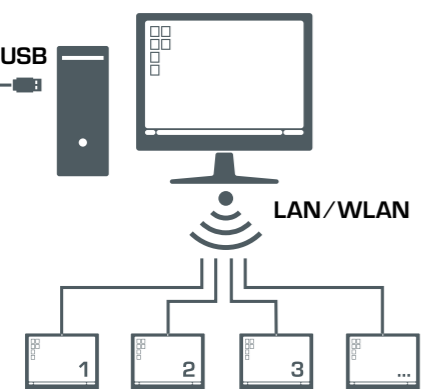
🎓	Lerninhalte
■	Umwandlung von hydraulischer in mechanische Energie untersuchen
■	Drehmoment und Drehzahl an der Turbinenwelle bestimmen
■	mechanische Leistung und hydraulische Leistung bestimmen
■	Wirkungsgrad bestimmen
■	Kennlinien aufzeichnen
■	Einfluss der Leitschaufelstellung untersuchen
■	Geschwindigkeitsdreiecke berechnen

Software

Zur Überwachung des aktuellen Anlagenzustandes werden z.B. Drehmoment, Drehzahl und Druck in der GUNT-Software angezeigt.



Zum Produkt:



Basiswissen
Wellenenergie

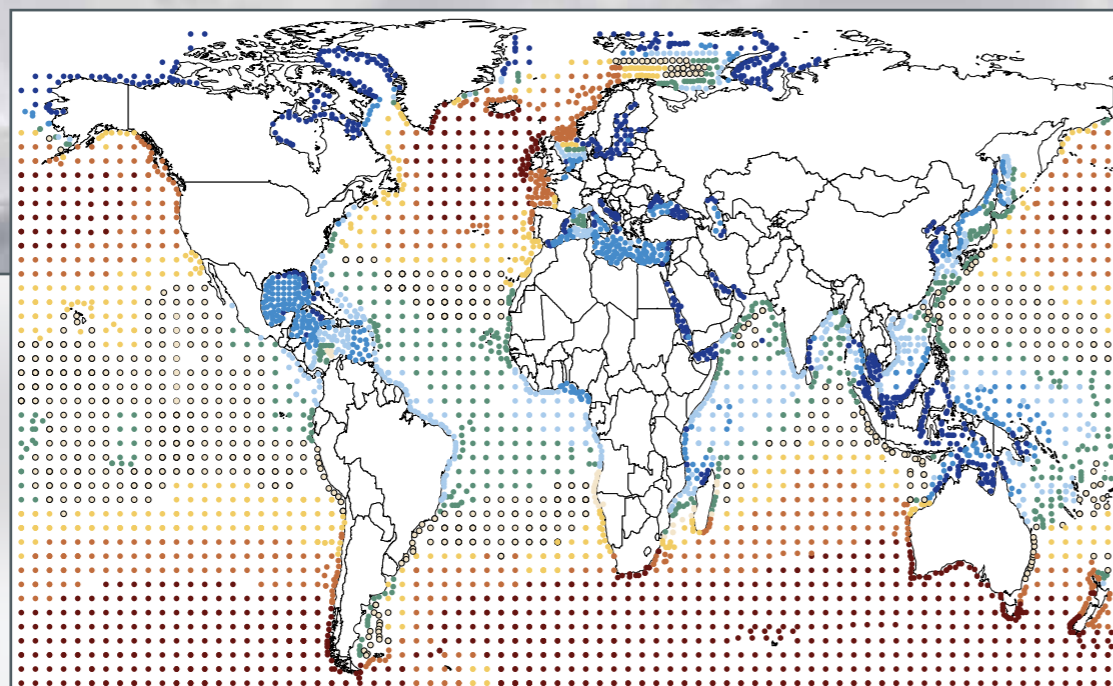


Die Wellen der Ozeane enthalten einen unerschöpflichen Energievorrat. Sie werden durch Wind, Gravitationskräfte und atmosphärische Druckunterschiede hervorgerufen.

Von der internationalen Energieagentur wird der mögliche weltweite Beitrag der Wellenenergie zur Stromversorgung auf über 10% eingeschätzt.

Die große Herausforderung bei der Konstruktion von Wellenkraftwerken besteht nicht zuletzt darin, Anlagen zu konzipieren, die den zum Teil zerstörerischen natürlichen Randbedingungen genügend lange standhalten. Als vielversprechend hat sich die Integration von Kammersystemen nach dem Prinzip der oszillierenden Wassersäule (OWC: Oscillating Water Column) in bestehende Küstenschutz-einrichtungen erwiesen.

Leistung der Meereswellen im Jahresdurchschnitt (kW/m)



- < 5
- 5 – 10
- 10 – 15
- 15 – 20
- 20 – 30
- 30 – 40
- 40 – 60
- > 60

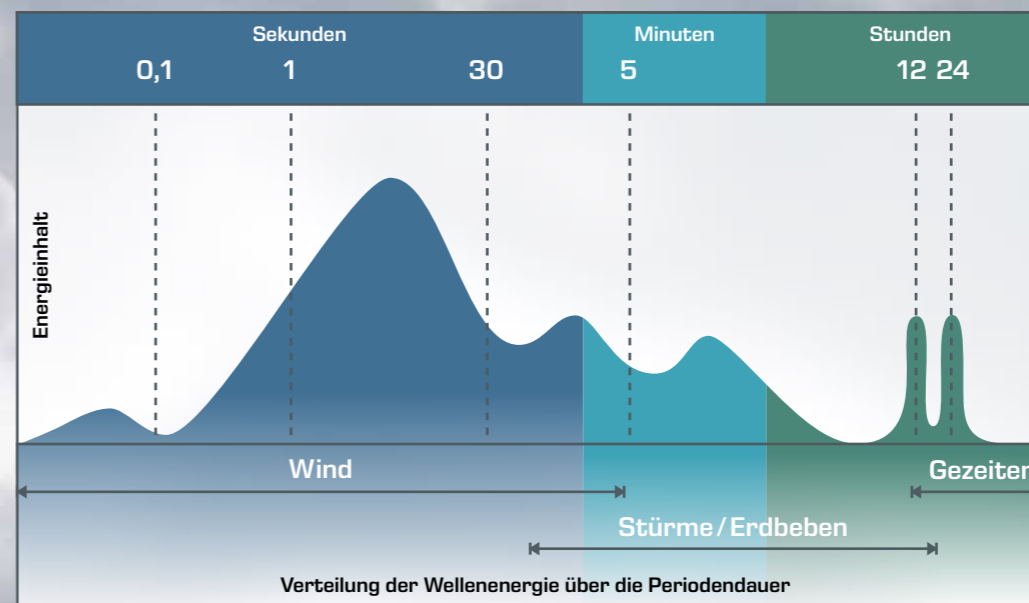
Die Karte zeigt die durchschnittliche jährliche Wellenleistung. Dabei wird von der Leistung entlang einer Küstenlinie oder entlang eines Wellenkamms ausgegangen. Die Leistungsdichte wird hier in kW/m angegeben. Es ist zu beobachten, dass hohe Leistungen insbesondere in Breiten fern des Äquators und an den Westküsten der Kontinente anzutreffen sind. Quelle: Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, Stellenbosch University

Eine Abschätzung des Energieflusses einer Welle ergibt sich nach der linearen Wellentheorie zu:

$$P \sim T * H^2$$

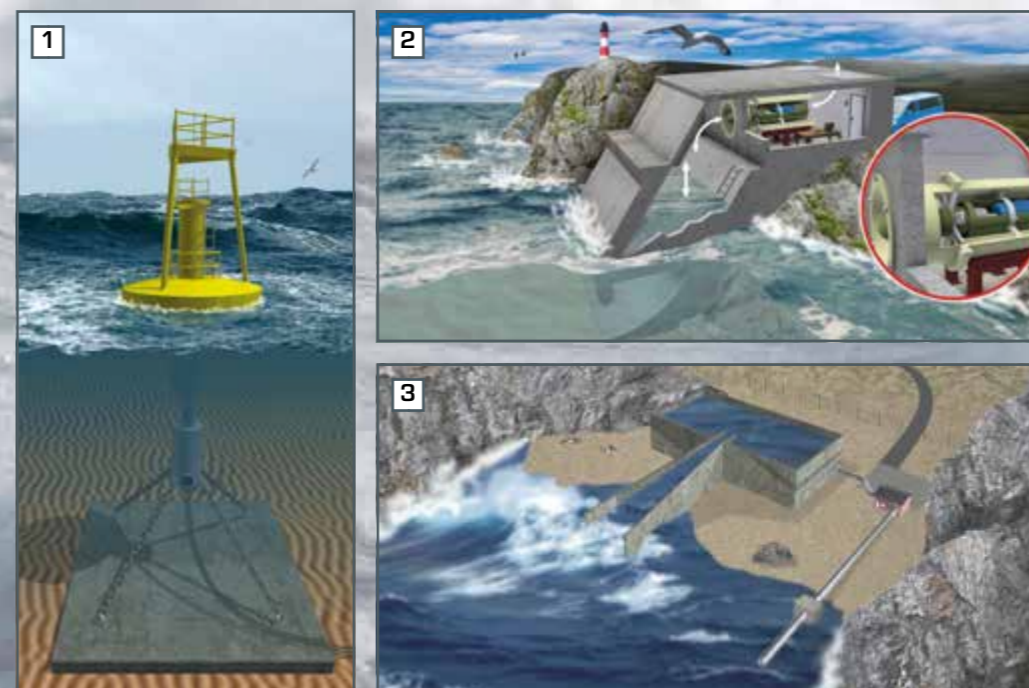
Man erkennt, dass die Leistung **P** linear von der Periodendauer **T** und quadratisch von der Höhe der Welle **H** abhängig ist.

Verteilung des Wellenenergieangebots



Bei der Konzeption von Anlagen zur Wellenkraftnutzung ist die Verteilung des Wellenenergieangebots von entscheidender Bedeutung. Ergebnisse aus globalen Untersuchungen zeigen, dass der größte Anteil an Wellenenergie einer Periodendauer zwischen 1 und 30 Sekunden zugeordnet werden kann.

Mechanische Grundprinzipien zur Wellenkraftnutzung



Die bisher vorgeschlagenen und zum Teil auch bereits großtechnisch umgesetzten Systeme zur Nutzung der Wellenenergie lassen sich entsprechend des zu Grunde liegenden Prinzips in folgende Kategorien einteilen:

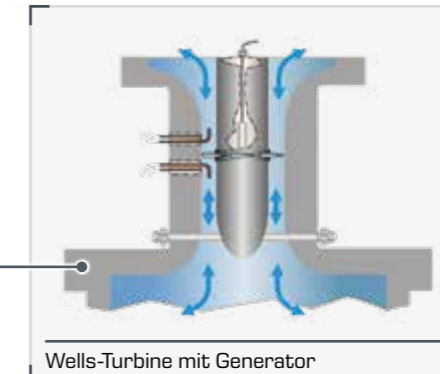
- 1 Schwimmersystem
- 2 Kammersysteme (OWC)
- 3 Überlaufsysteme

ET 270 Wellenkraftwerk

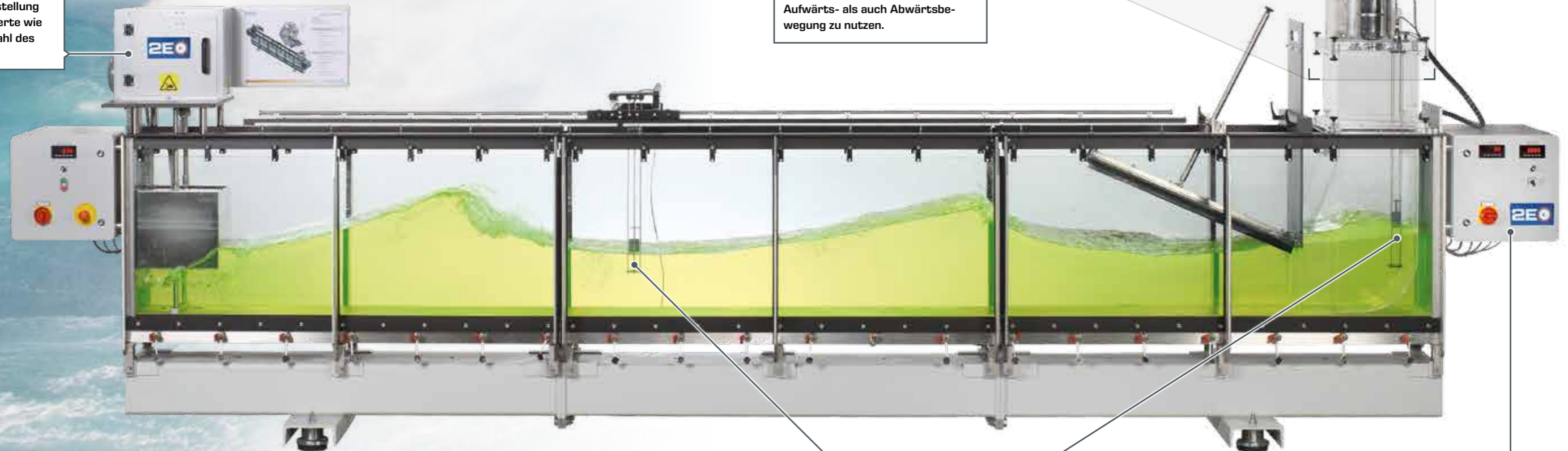
Wellenkraftwerke nutzen die Energie der Meereswellen zur Stromerzeugung. Anlagen nach dem Prinzip der oszillierenden Wassersäule (OWC) sind mit einer Kammer ausgestattet, deren offene Unterseite unterhalb des Meeresspiegels endet. An deren oberen Ende befindet sich eine Turbine. Die kontinuierliche Wellenbewegung erzeugt innerhalb der Kammer eine oszillierende Wassersäule, welche die darüber liegende Luftmasse in Bewegung versetzt. Der so erzeugte Luftstrom treibt die Turbine an, die über einen Generator Strom erzeugt.

Neben den eigentlichen Komponenten eines Kammerwellenkraftwerks (OWC) enthält ET 270 einen Wasserkanal mit einem steuerbaren Wellenerzeuger für Laborversuche. Dabei ermöglicht die GUNT-Software die Erfassung und Darstellung der relevanten Messwerte wie Wellenhöhe und Drehzahl des Generators.

In Anlehnung an großtechnische Anlagen verwenden wir bei ET 270 eine Wells-Turbine. Dieser Turbinentyp funktioniert unabhängig von der Strömungsrichtung der Luft. Damit ist es möglich, sowohl die Energie des Luftstroms in der Aufwärts- als auch Abwärtsbewegung zu nutzen.



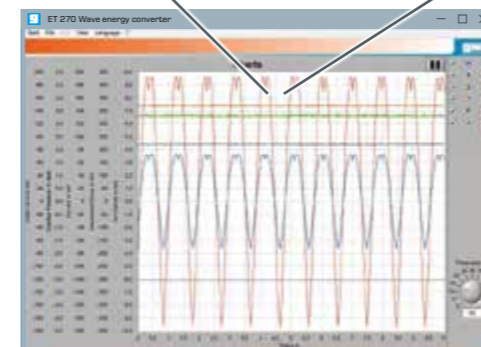
Wells-Turbine mit Generator



Über die Steuerung des Generators kann die Drehzahl der Wells-Turbine vorgegeben werden. Dadurch ist es möglich, den effizientesten Arbeitspunkt für die Energiegewinnung einzustellen.

Lerninhalte

- Wellenkraftwerk kennenlernen
- Verständnis der Energiegewinnung aus Wellenbewegungen
- Messung von Wellenbewegungen
- Wells-Turbine kennenlernen
- Optimierung des Betriebsverhaltens



Software

Messung der Wellenhöhe

Zum Produkt:



Einführung	
Lernfelder Windkraft	076
Basiswissen Windkraft	078

Grundlagen der Windenergietechnik	
HM 226 Windkanal zur Visualisierung von Stromlinien	080
HM 170 Offener Windkanal	082
HM 170.09 Auftriebskörper Tragfläche NACA 0015	084
HM 170.22 Druckverteilung an einer Tragfläche NACA 0015	085
HM 170.70 Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung	086
ET 210 Grundlagen Windkraftanlagen	088
ET 220 Energieumwandlung an einer Windkraftanlage	090
ET 220.01 Windkraftanlage	092
ET 220.10 Bediengerät für Windkraftanlage ET 220.01	092

Anwendungstechnik bei Windkraftanlagen	
AT 200 Wirkungsgradbestimmung von Getrieben	094
ET 222 Windkraft-Antriebsstrang	096
ET 224 Betriebsverhalten von Windkraftanlagen	098
Basiswissen Zustandsüberwachung bei Windkraftanlagen	100
PT 500 System zur Maschinendiagnose, Basiseinheit	102
PT 500.11 Zubehörsatz Riss in der Welle	104
PT 500.15 Zubehörsatz Schäden an Getrieben	105



Lernfelder
Windkraft

Lernfelder

Produkte

Technologie mit Zukunft

Während typische Windräder für mechanische Antriebe bereits seit Jahrhunderten verbreitet sind, erlebt speziell die Stromerzeugung mittels großer Windkraftanlagen gegenwärtig ihren wirtschaftlichen Durchbruch.

Der aktuelle Trend geht zu großen Windkraftanlagen mit großen Rotoren. Dies liegt vor allem daran, dass in großen Höhen hohe Windgeschwindigkeiten vorliegen. Die Windgeschwindigkeit hat einen sehr großen Einfluss auf die Drehgeschwindigkeit des Rotors. So sind Rotordurchmesser von ca. 100 m heutzutage keine Seltenheit mehr.

Der Prozess der Energiegewinnung durch Windkraft beinhaltet neben den praktischen Aspekten auch umfangreiche theoretische Grundlagen. Daher unterscheiden wir in unserem didaktischen Konzept zum Bereich Windkraft die rechts aufgeführten Lernfelder.

Grundlagen der Windenergietechnik

Untersuchungen an
umströmten Körpern**HM 226**

Windkanal zur Visualisierung von Stromlinien

HM 170

Offener Windkanal

HM 170.09

Widerstandskörper Tragfläche NACA 0015

HM 170.22

Druckverteilung an einer Tragfläche NACA 0015

Stromerzeugung aus Windenergie

HM 170.70

Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung

ET 210

Grundlagen Windkraftanlagen

ET 220

Energieumwandlung an einer Windkraftanlage

Einfluss des realen Windangebots und
des Strombedarfs auf den Ertrag von
Windkraftanlagen**ET 220.01**

Windkraftanlage

ET 220.10

Bediengerät für ET 220.01

Anwendungstechnik bei Windkraftanlagen

Energieübertragung und Anlagen-
steuerung**AT 200**

Wirkungsgradbestimmung von Getrieben

ET 222

Windkraft-Antriebsstrang

ET 224

Betriebsverhalten von Windkraftanlagen

Maschinenüberwachung

PT 500

System zur Maschinendiagnose, Basiseinheit

PT 500.11

Zubehörsatz Riss in der Welle

PT 500.15

Zubehörsatz Schäden an Getrieben

Basiswissen

Windkraft

Der Erfolg moderner Windkraftanlagen wäre ohne Beiträge aus verschiedensten Teildisziplinen nicht denkbar. Für wirtschaftliche Aspekte beim Betrieb von Windparks gewinnen Systeme

zur Zustandsüberwachung (engl. Condition Monitoring Systems – CMS) zunehmend an Bedeutung.



Aerodynamik

Die Aerodynamik ist die Lehre des Verhaltens von Körpern in einem kompressiblen Gas (Luft). Die Aerodynamik beschreibt die Kräfte, die es ermöglichen, dass ein Windrad sich dreht oder ein Flugzeug vom Boden abhebt.

Die Auslegung eines Rotorblatts für moderne Windkraftanlagen muss sowohl die aerodynamischen Eigenschaften als auch die mechanische Belastbarkeit berücksichtigen. Um den Anforderungen gerade bei sehr großen Windkraftanlagen gerecht zu werden, kommen oft Flügelprofile zum Einsatz, die in umfangreichen Simulationen optimiert wurden.

Energiegewinnung aus Windkraft

Um Windenergie nutzen zu können, muss die kinetische Energie des Windes zunächst in Rotationsenergie umgewandelt werden. Die Rotationsenergie kann anschließend mit einem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden. Wie bei allen Energieumwandlungsprozessen sind auch hier bei jedem Einzelschritt Verluste zu beobachten. Ausgehend von der maximal nutzbaren Windleistung (Betz-Kriterium) treten aerodynamische, mechanische und elektrodynamische Verluste auf.

Getriebetechnik

Bei der Leistungsübertragung von der Rotorachse auf den Generator müssen zwei Grundvoraussetzungen erfüllt sein:

- gute Gleichlaufesigenschaften mit möglichst geringen Schwankungen der Drehzahl und der Momente
- gute Anpassung des Drehzahlbereiches zwischen Rotor und Generator

Obwohl in den letzten Jahren große Fortschritte bei der Entwicklung von Frequenzumrichtern erzielt wurden, beruhen etablierte Triebstrangkonstruktionen auf dem Einsatz von Übersetzungsgetrieben. Die Getriebe ermöglichen es, Drehzahl bzw. Frequenz des Generators den Anforderungen des Wechselstromnetzes anzupassen.

Anlagensteuerung

Die Leistungsfähigkeit von Windkraftanlagen ist von mechanischen und elektrischen Komponenten sowie von einer effizienten Anlagensteuerung abhängig. Der Einfluss der wirksamen Parameter unter allen relevanten Betriebsbedingungen muss hierbei bekannt sein. Dazu wird die Abhängigkeit der Rotorleistung von Windgeschwindigkeit, Rotordrehzahl und Rotorblattwinkel in entsprechenden Kennfeldern berücksichtigt.

Maschinenüberwachung

Der Bau und Betrieb einer Windkraftanlage ist mit hohen Investitionskosten verbunden. Ein Ausfall von Rotorlagerung, Getriebe oder Rotorwelle führt zu finanziellen Einbußen.

Um einen Ausfall zu vermeiden, werden an Windkraftanlagen kontinuierlich Schwingungsanalysen durchgeführt. Ziel dieser Analysen ist es, beschädigte Komponenten frühzeitig zu erkennen und auszutauschen, bevor es zum Ausfall der Windkraftanlage kommt.

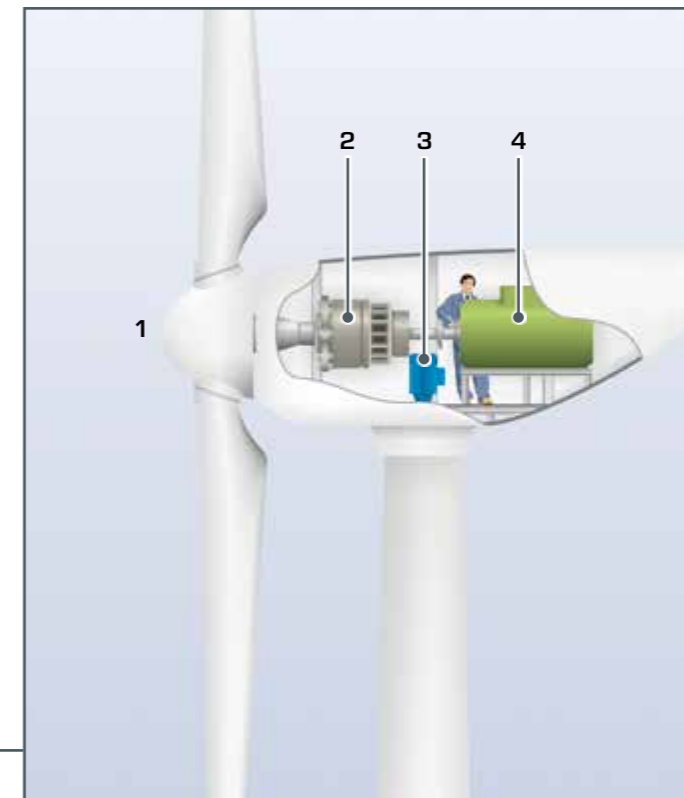
Windkraftanlagen bestehen neben dem Rotor und dem Generator aus vielen einzelnen Komponenten, die nur zusammen eine funktionsfähige und effiziente Windkraftanlage bilden.

Folgende Aspekte spielen bei der Ausbildung von Facharbeitern und Ingenieuren im Bereich der Windenergie-technik eine zentrale Rolle:

- Funktionsweise und Zusammenwirken der einzelnen Komponenten
- Montage und Betriebsüberwachung

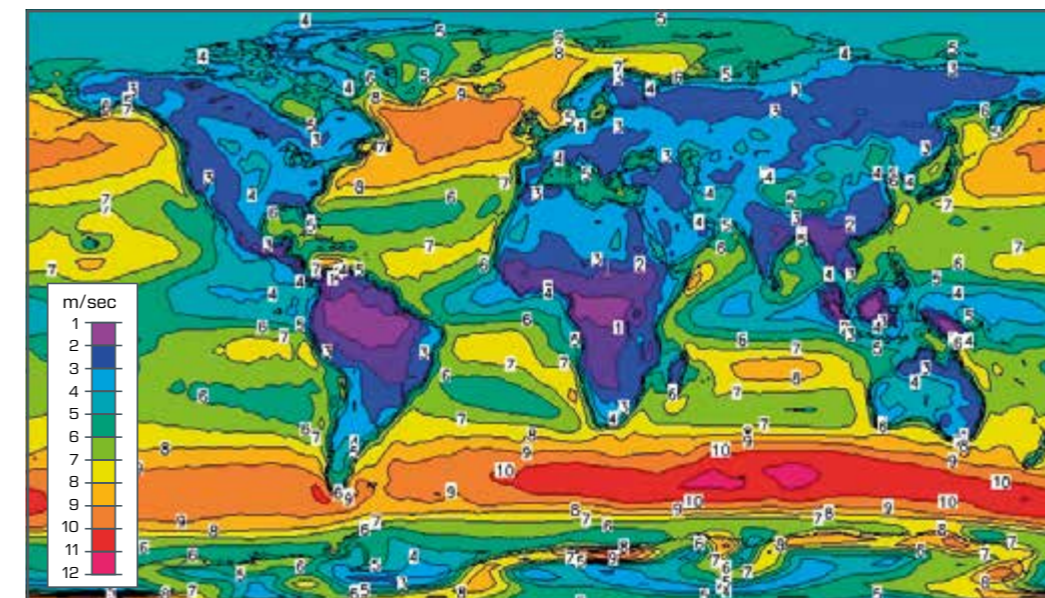
Aufbau einer typischen Windkraftanlage

1 Rotor, 2 Getriebe, 3 Azimut-Motor, 4 Generator



Globales Windenergieangebot

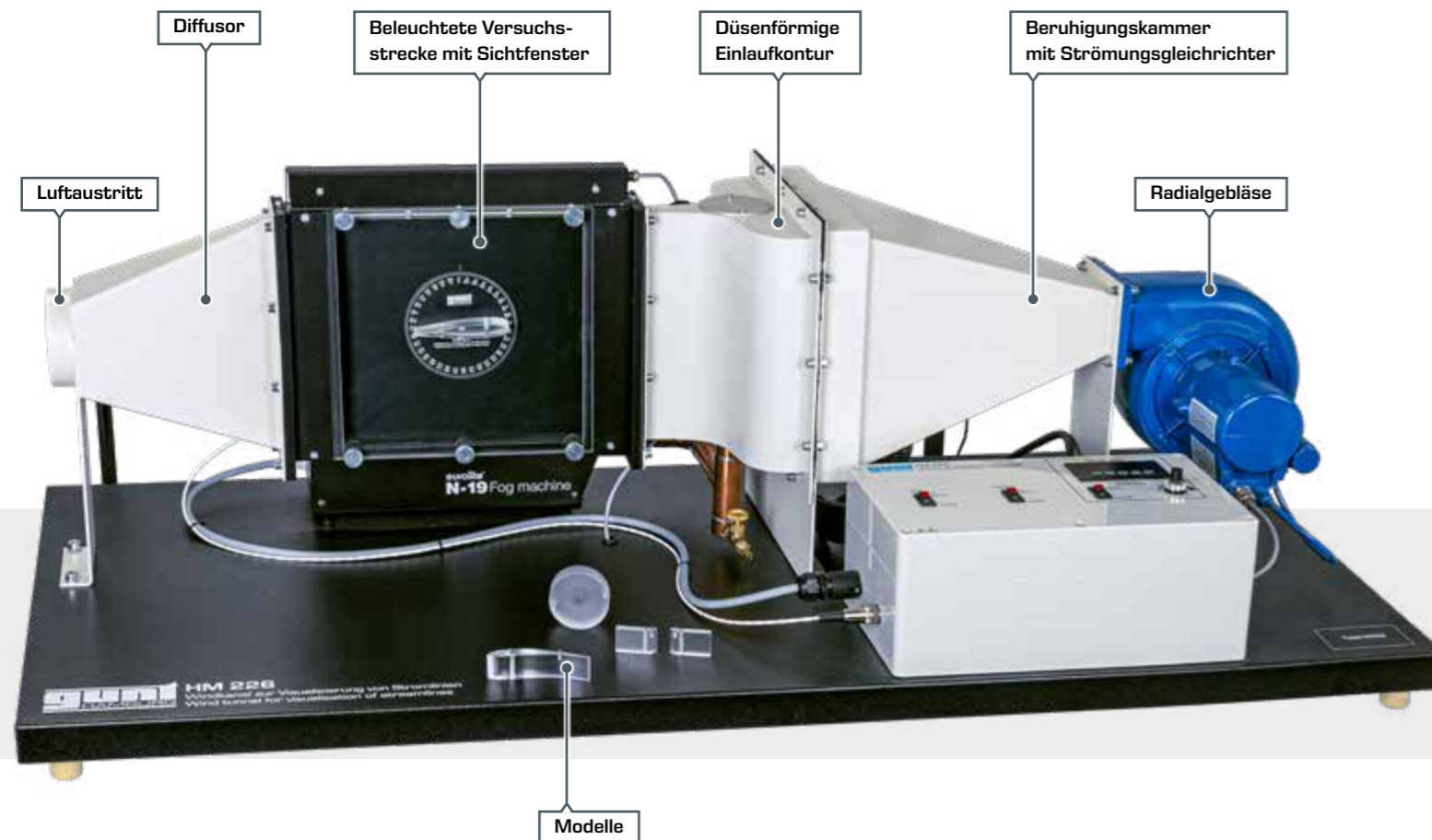
Die Grafik zeigt das mittlere globale Windenergieangebot als farblich gekennzeichnete Flächen



HM 226 Windkanal zur Visualisierung von Stromlinien

Das Versuchsgerät HM 226 ist ein offener Windkanal, in dem Stromlinien, Strömungsablösungen und Turbulenzen mit Hilfe von Nebel sichtbar gemacht werden. Das verdampfte Nebelfluid ist ungiftig, wasserlöslich und der Niederschlag greift übliche Materialien nicht an.

Die Versuchsstrecke besitzt einen schwarzen Hintergrund und eine transparente Scheibe; durch eine zusätzliche Beleuchtung sind die Stromlinien gut sichtbar.

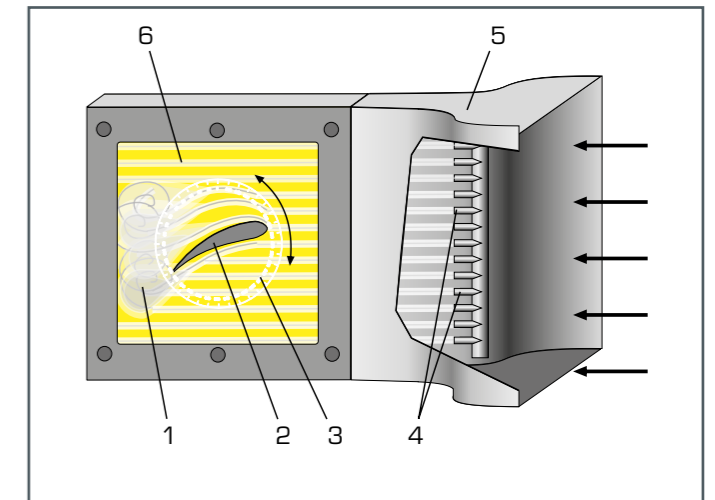


Vier austauschbare Modelle sind im Lieferumfang enthalten. Der Anstellwinkel der Tragfläche ist einstellbar.



Modelle

1 Tragfläche, 2 Blende, 3 Zylinder, 4 Leitschaukelprofil



Aufbau der Versuchsstrecke

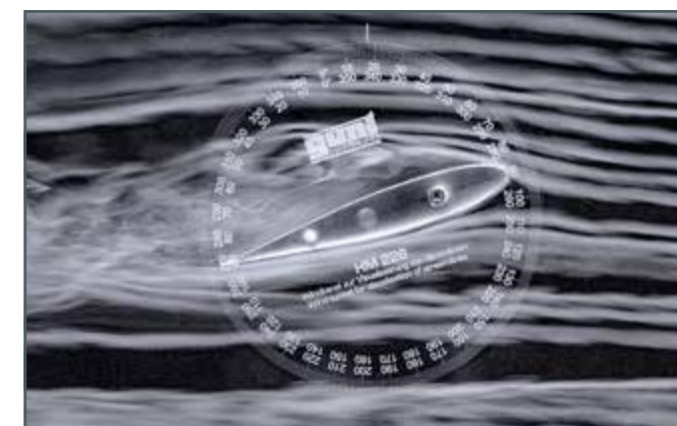
1 Verwirbelung, 2 Modell, 3 Skala zur Einstellung des Anstellwinkels, 4 Düsen zur Einleitung von Nebel, 5 düsenförmige Einlaufkontur, 6 beleuchtete Versuchsstrecke

Zum Produkt:



Lerninhalte
<ul style="list-style-type: none"> Visualisierung von Stromlinien Umströmung bzw. Durchströmung von verschieden geformten Modellen Strömungsablösung und Turbulenzen Strömungsabriss in Abhängigkeit vom Anstellwinkel

Features
<ul style="list-style-type: none"> transparenter, beleuchteter Sichtbereich zur optimalen Beobachtung der Stromlinien turbulenzarme Strömung Stromlinienfeld wird durch Injektion von Nebel aus mehreren Düsen erzeugt Nebelgenerator im Lieferumfang enthalten



Detailansicht der Versuchsstrecke

Strömungsabriss in Abhängigkeit des Anstellwinkels

HM170 Offener Windkanal mit Zubehör

Grundlagen der Windenergieumwandlung

Am Anfang der Wirkungskette einer Windkraftanlage steht der Rotor. Wie viel Windenergie in mechanische Arbeit umgesetzt wird, hängt ganz wesentlich von den aerodynamischen Eigenschaften des Rotorblatts ab.

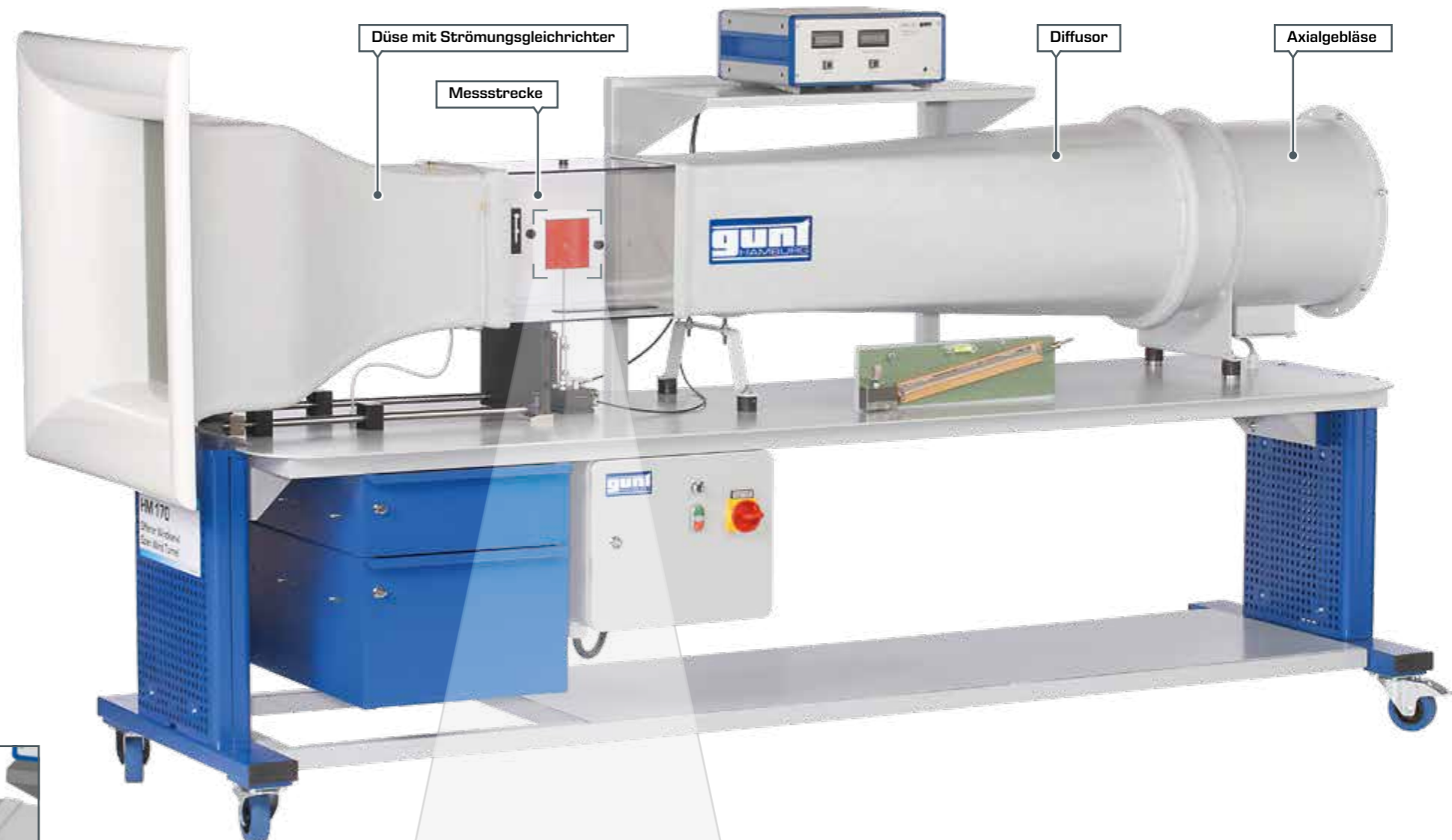
Am Windkanal HM170 können Versuche mit verschiedenen Profilformen und Widerstandskörpern durchgeführt werden. Dabei kann z.B. der Einfluss des Anstellwinkels auf die Druckverteilung am Profil gemessen werden. Daraus resultierende Auftriebskräfte und Widerstandskräfte bestimmen die Umwandlung der kinetischen Energie des Windes in mechanische Arbeit an der Rotorwelle.

HM170 ist ein offener Windkanal vom Typ „Eiffel“, mit dem die aerodynamischen Eigenschaften verschiedener Modelle demonstriert und gemessen werden. Dazu wird Luft aus der Umgebung durch einen Strömungsgleichrichter angesaugt und beschleunigt.

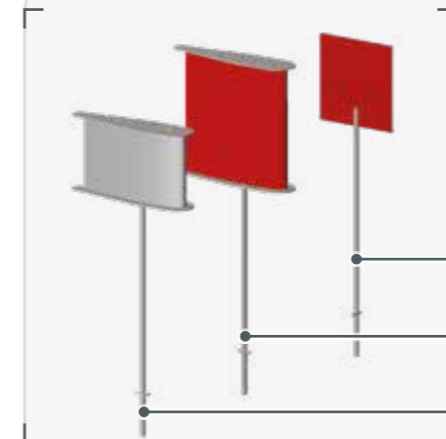
In einer Messstrecke umströmt die Luft ein Modell, z.B. eine Tragfläche. Anschließend wird die Luft durch das antreibende Gebläse wieder ins Freie gefördert.

Für die einzelnen Versuche mit HM170 ist umfangreiches Zubehör verfügbar.

Zum Produkt:



Kraftaufnehmer
für 2 Komponenten



Für detaillierten Einstieg in die Aerodynamik von Windkraftanlagen empfehlen wir zunächst Versuche mit folgendem Zubehör:

HM 170.05
Widerstandskörper Quadratscheibe

HM 170.09
Auftriebskörper Tragfläche NACA 0015

HM 170.22
Druckverteilung an einer Tragfläche NACA 0015

Features

- offener Windkanal für vielseitige aerodynamische Versuche
- homogene Strömung durch Strömungsgleichrichter und spezielle Düsenkontur
- transparente Messstrecke

Lerninhalte

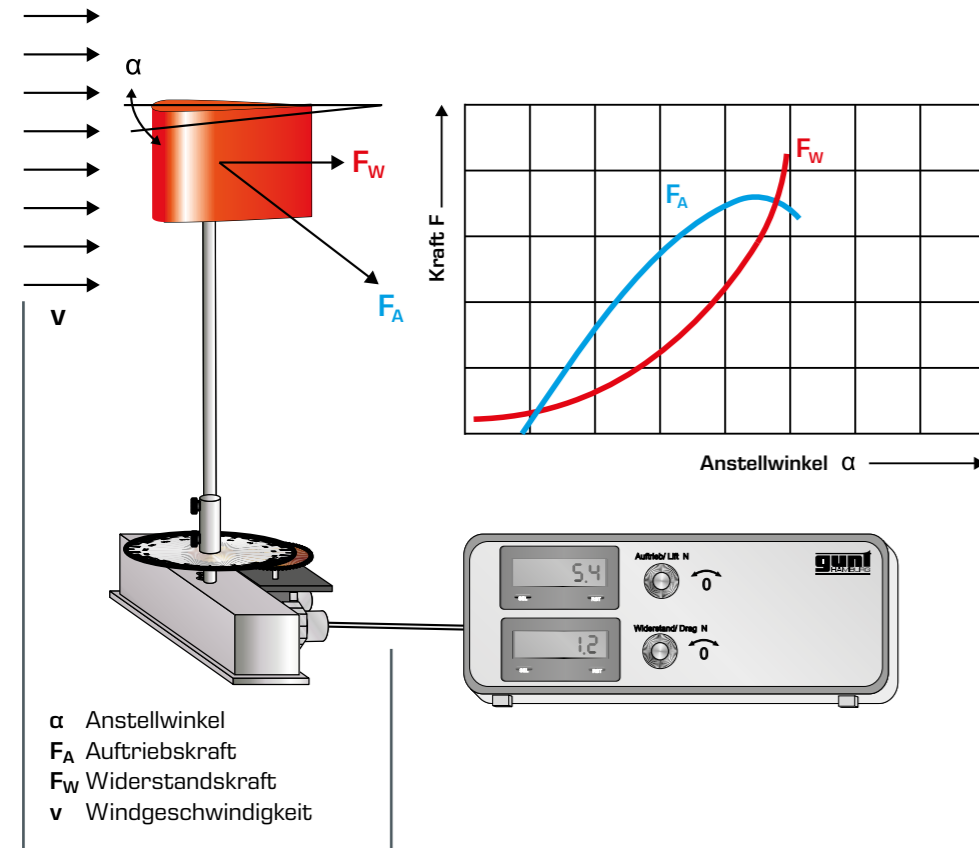
- Untersuchungen an umströmten Körpern
- Druckverteilung an einer umströmten Tragfläche aufnehmen
- Auftriebskraft und Widerstandskraft messen
- Auftrieb und Strömungsablösung in Abhängigkeit des Anstellwinkels und der Strömungsgeschwindigkeit

HM170.09 Auftriebskörper Tragfläche NACA 0015

Die Auftriebskraft steht definitionsgemäß senkrecht zur Anströmungsrichtung. Bei gegebener Windgeschwindigkeit lässt sich die maximale Auftriebskraft unter einem Anstellwinkel beobachten, der charakteristisch für das verwendete Flügelprofil ist.

Mit HM 170.09 nehmen Sie systematisch die wirkenden Kräfte an einem Flügelprofil auf.

Zum Produkt:

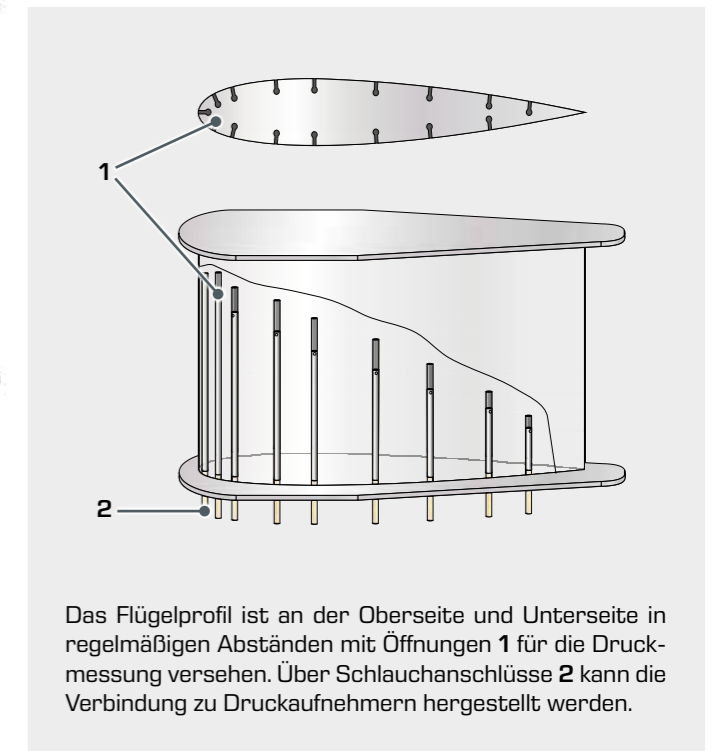
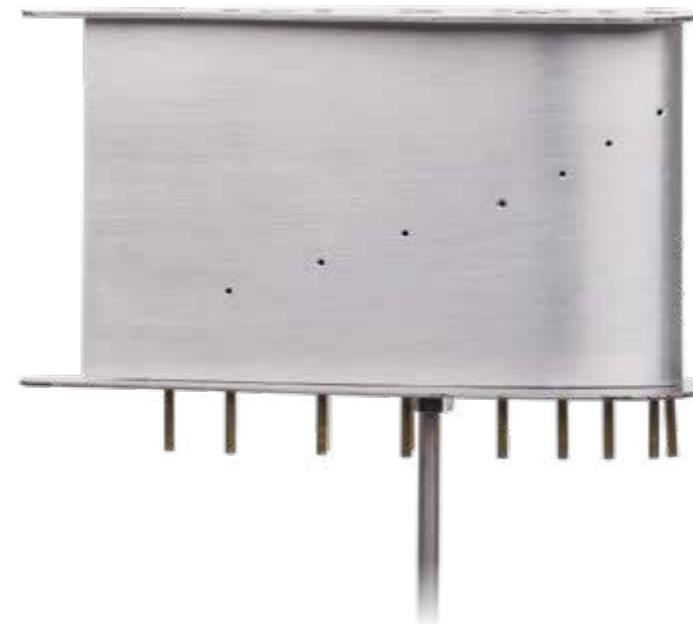


HM170.22 Druckverteilung an einer Tragfläche NACA 0015

Die Messung der Druckverteilung um ein umströmtes Tragflächenprofil vermittelt den Studierenden grundlegende Erkenntnisse zur Entstehung der Auftriebskraft.

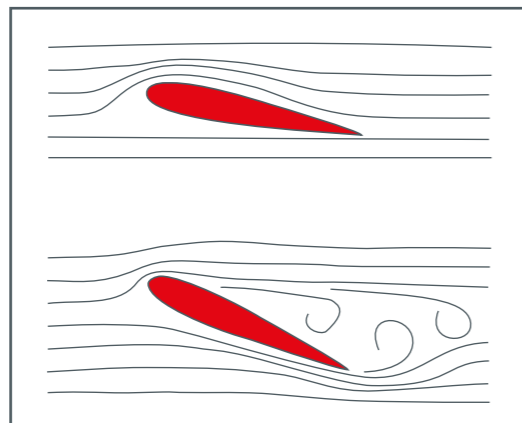
Mit HM170.22 wird die Druckverteilung am Flügelprofil NACA 0015 demonstriert.

Zum Produkt:



Lerninhalte

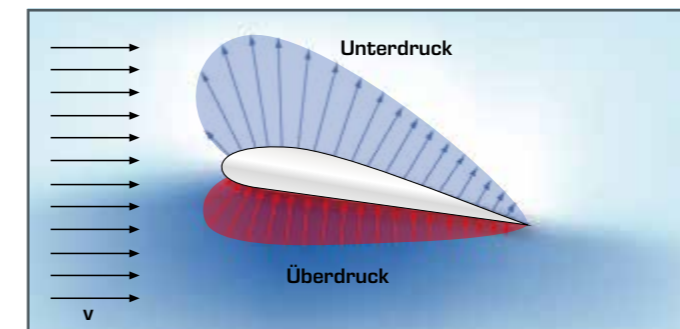
- Untersuchungen an umströmten Körpern
- Bestimmung des Widerstandsbeiwerts (c_w -Wert)
- Bestimmung des Auftriebsbeiwerts
- zusammen mit Kraftaufnehmer HM 170.40
 - ▶ Bestimmung des Momentbeiwerts



„Pitch“ und „Stall“ bestimmen das Betriebsverhalten der Windkraftanlage

Die wirksame Kraft auf das Rotorblatt lässt sich über den Anstellwinkel (Pitch) einstellen.

Der Strömungsabriss (Stall) wird speziell bei kleineren Windkraftanlagen gezielt genutzt, um die Drehzahl des Rotors zu begrenzen.



Damit an einem umströmten Körper Auftrieb entsteht, muss an der Unterseite Überdruck und an der Oberseite Unterdruck vorliegen.

Lerninhalte

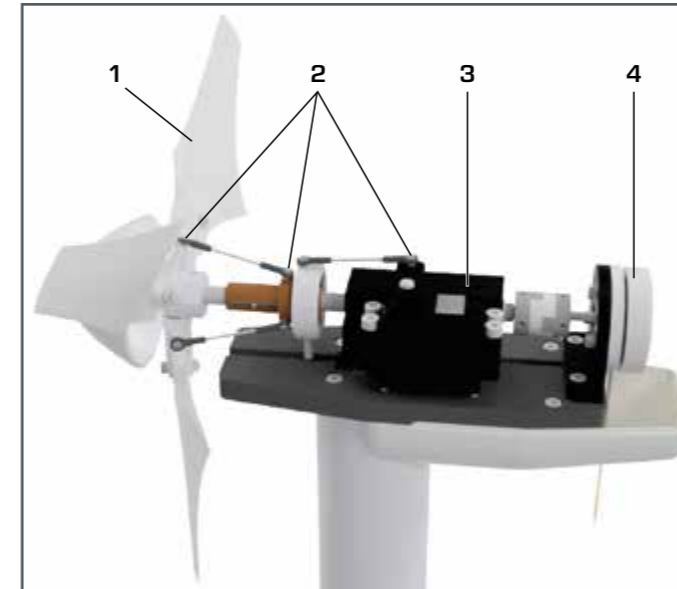
- Druckverteilung an einer umströmten Tragfläche aufnehmen
 - ▶ in Abhängigkeit des Anstellwinkels

HM170.70 Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung

HM 170.70 ermöglicht zusammen mit dem Windkanal HM 170 die Demonstration einer Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung und drehzahlvariablem Generator. Das Axialgebläse im Windkanal verfügt über eine variable Drehzahl und liefert die benötigte Luftströmung für die Versuche. Der Generator wird direkt von einem 3-Blatt-Rotor angetrieben. Mit Hilfe eines Servomotors wird der Einstellwinkel der Rotorblätter verändert.

Um verschiedene Betriebspunkte anzufahren, kann über einen Regler die Soll-drehzahl des Generators vorgegeben werden. Über integrierte Hall-Sensoren wird die Rotordrehzahl präzise erfasst. Für die Untersuchung unterschiedlicher Formen, sind im Lieferumfang Rotorblätter mit geradem und mit optimiertem Profil enthalten.

Zum Produkt:



Komponenten der Windkraftanlage

1 Rotorblatt, 2 Rotorblattverstellung, 3 Servomotor, 4 Generator



HM170.70 angeschlossen an den offenen Windkanal HM170

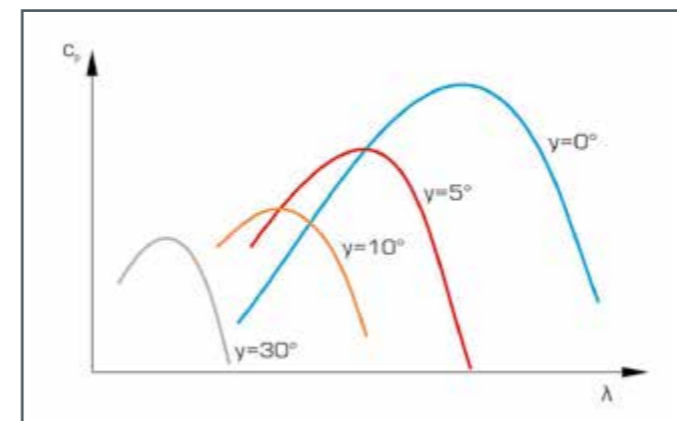
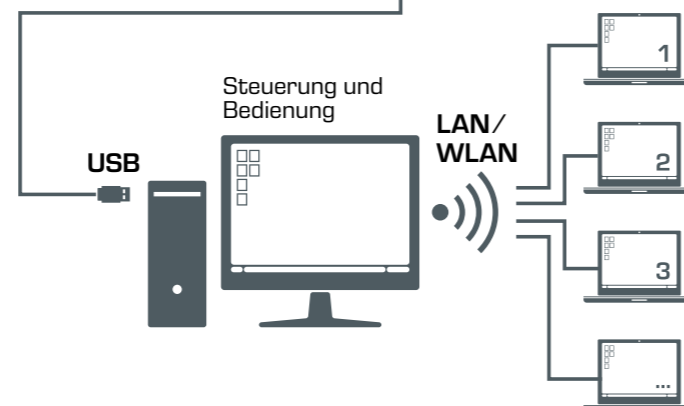
Features

- Windkraftanlage mit variabler Drehzahl
- Einstellwinkel der Rotorblätter über Servomotor verstellbar
- Untersuchung eigener Rotorblattformen (3D Druck) möglich
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk



Lerninhalte

- Umwandlung von kinetischer in elektrische Energie
- Leistungsanpassung durch
 - ▶ Drehzahleinstellung
 - ▶ Rotorblattverstellung
- Verhalten bei Schräganströmung
- Bestimmung des Leistungsbeiwert-Schnellaufzahl-Kennfeldes
- Vergleich von unterschiedlichen Rotorblattformen



Leistungsbeiwert über Schnellaufzahl bei unterschiedlichen Einstellwinkeln des Rotorblatts und konstanter Windgeschwindigkeit

ET 210 Grundlagen Windkraftanlagen

Bei modernen Windkraftanlagen wird die Leistungsentnahme aus dem Wind an die wechselnden Windverhältnisse angepasst. Im Starkwindbereich wird die Leistungsentnahme zum Schutz der Anlage begrenzt. Dazu dient die Rotorblattverstellung. Diese ändert durch Winkelverstellung die wirkenden Kräfte am Rotorblatt. Im Normalwindbereich wird über Generatorsysteme mit variabler Drehzahl die Leistungsentnahme optimiert.

ET 210 demonstriert eine Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung und Generator mit variabler Drehzahl. Die Luftströmung wird von einem Gebläse erzeugt. Ein Strömungsgleichrichter sorgt für eine gleichmäßige und turbulenzarme Strömung. Ein 3-Blatt-Rotor treibt den Generator direkt an. Für die Untersuchung unterschiedlicher Formen, sind im Lieferumfang Rotorblätter mit geradem und mit optimiertem Profil enthalten.

Zum Produkt:

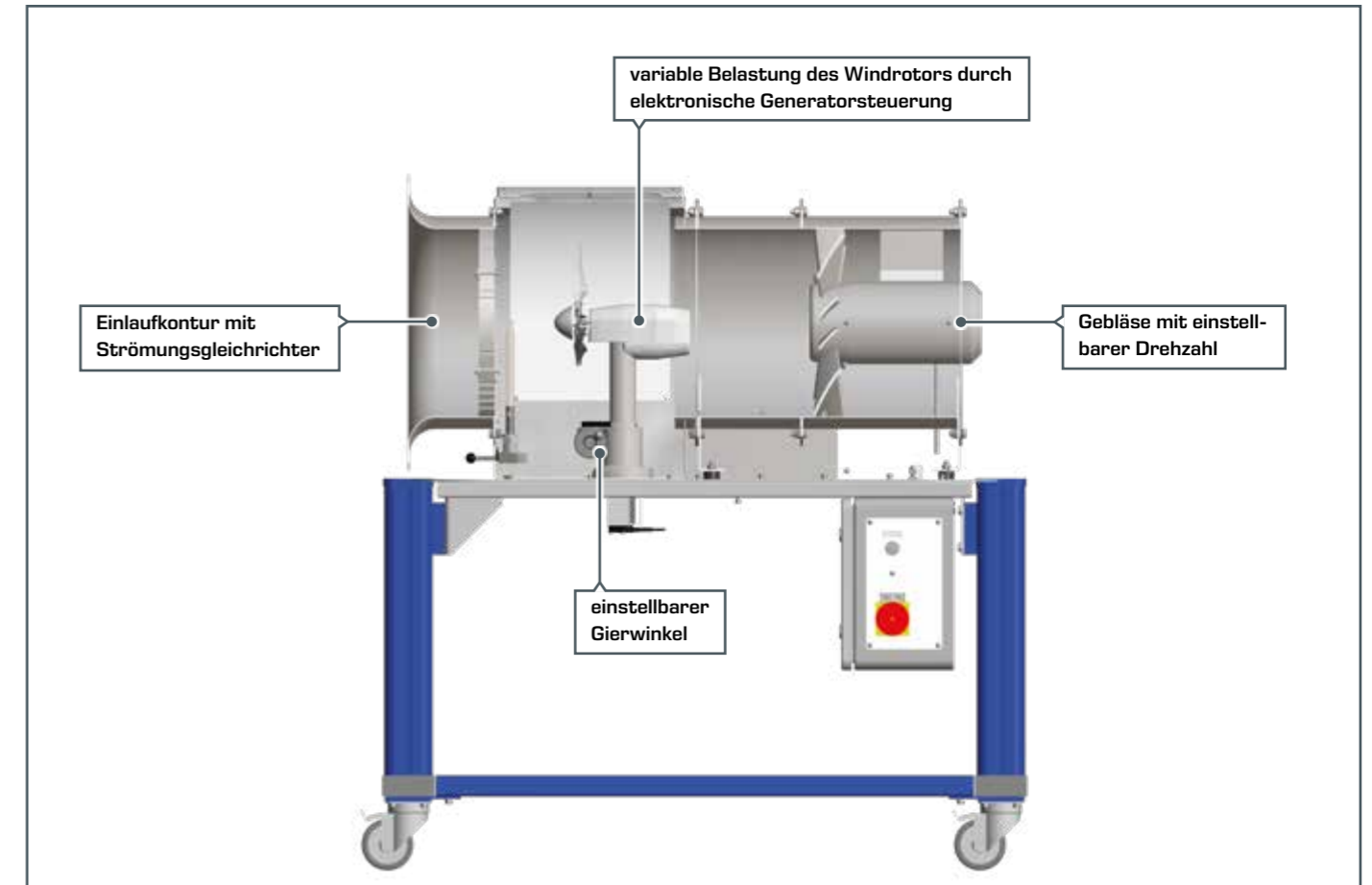
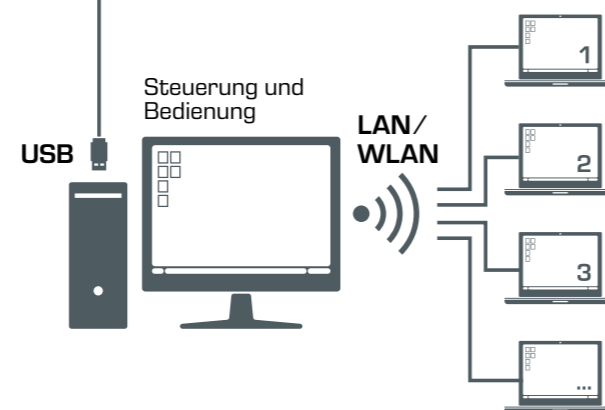


Features

- kompaktes Gerät, Versuche ohne weiteres Zubehör durchführbar
- Windkraftanlage mit variabler Drehzahl
- Verstellung von Rotorblatt und Gierwinkel
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk

Lerninhalte

- Umwandlung von kinetischer in elektrische Energie
- Leistungsanpassung durch
 - ▶ Drehzahleinstellung
 - ▶ Rotorblattverstellung
- Verhalten bei Schräganströmung
- Bestimmung des Leistungsbeiwert-Schnellaufzahl-Kennfeldes
- Vergleich von unterschiedlichen Rotorblattformen

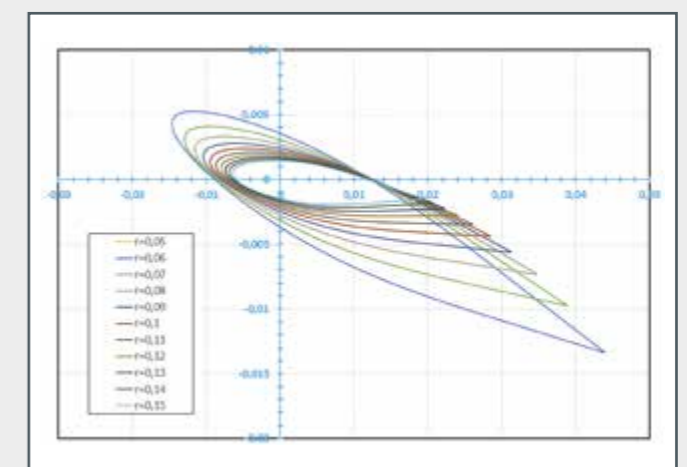


Software

Die Software berechnet die umgewandelte elektrische Leistung, das Generatordrehmoment sowie anlagenspezifischen Kennwerte.



GUNT-Software zur Gerätesteuerung und Messdatenerfassung via PC



Berechnete Ergebnisse für eine Folge von Segmenten an einem Rotorblatt. Änderung der Blatttiefe und der Verwindung in Abhängigkeit vom Blattradius.

ET 220 Energieumwandlung an einer Windkraftanlage

Mit ET 220 können Sie die einzelnen Stufen von der Umwandlung der Windströmung in Rotationsenergie bis zur Speicherung der elektrischen Energie in Akkumulatoren in anschaulichen Schritten unterrichten.

Um den Betrieb einer Windkraftanlage unter realen Wetterbedingungen im Außenbereich zu untersuchen, kann ET 220 zusammen mit ET 220.01 betrieben werden.

Zum Produkt:



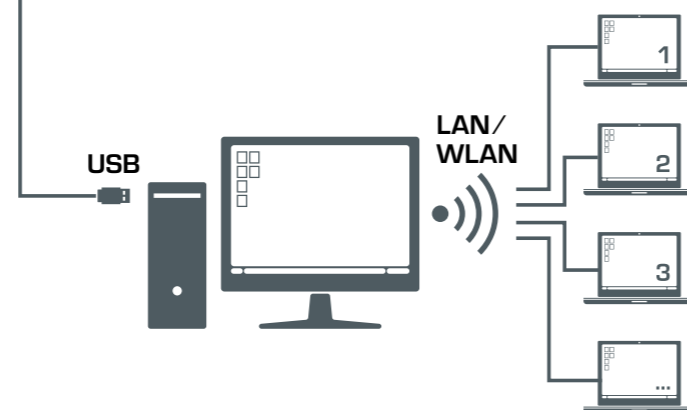
ET 220 wird auch an der University of Leeds/UK in der Ingenieurausbildung eingesetzt. Für verschiedene Ausbildungssituationen sowohl im Grundlagen- als auch in fortgeschrittenen Bereichen sind ausführlich dokumentierte Versuche durchführbar.

Features

- praxisgerechte Versuche im Labormaßstab
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk

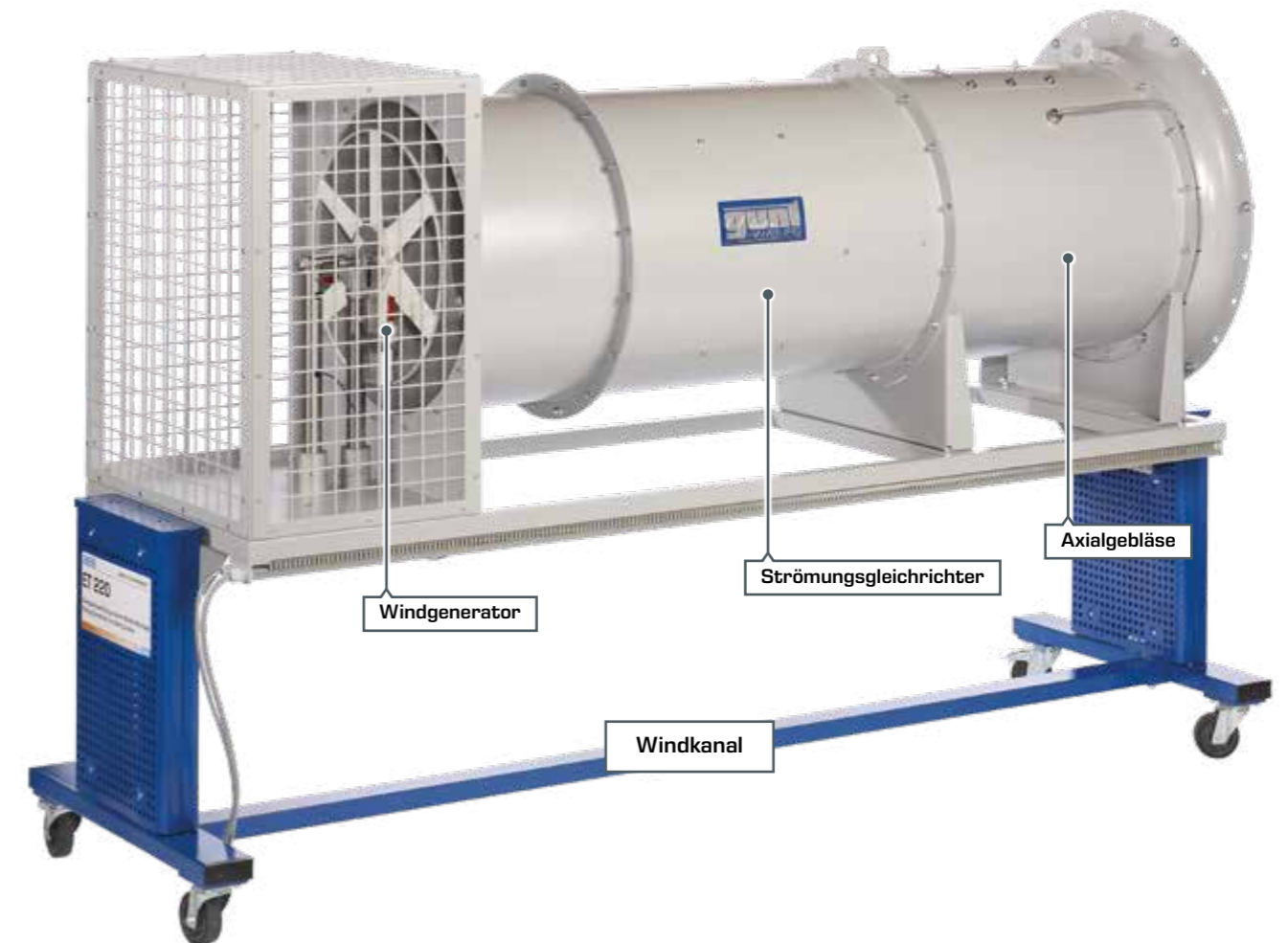
Lerninhalte

- Umwandlung von kinetischer Windenergie in elektrische Energie
- Funktion und Aufbau eines Inselsystems mit einer Windkraftanlage
- Ermittlung des Leistungsbeiwertes in Abhängigkeit von der Schnellaufzahl
- Energiebilanz an einer Windkraftanlage
- Bestimmung des Wirkungsgrades einer Windkraftanlage



Der Windkanal von ET 220 ermöglicht Versuche unter definierten Bedingungen. Dadurch können Sie auch bei kürzeren

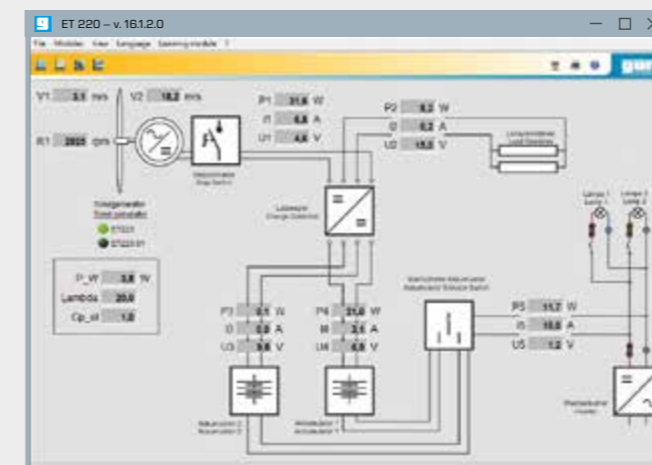
Versuchszeiten charakteristische Anlagenkenngrößen unabhängig von der Wetterlage systematisch untersuchen.



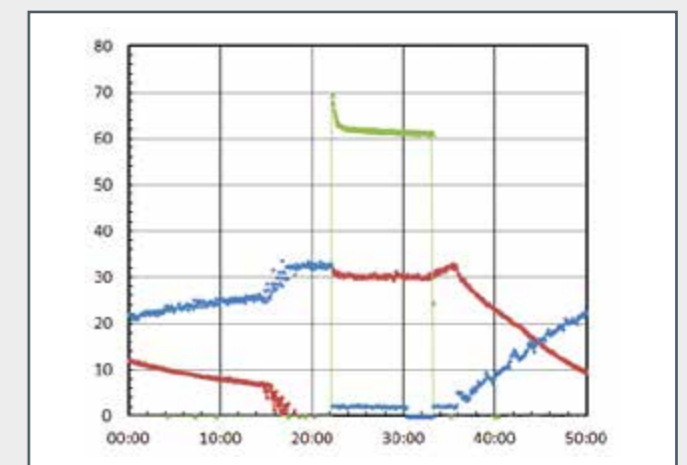
Software

Mit der Software werden Strom und Spannung an verschiedenen Stellen des Inselsystems erfasst.

Energiebilanzen sind für das Gesamtsystem und für einzelne Komponenten möglich.



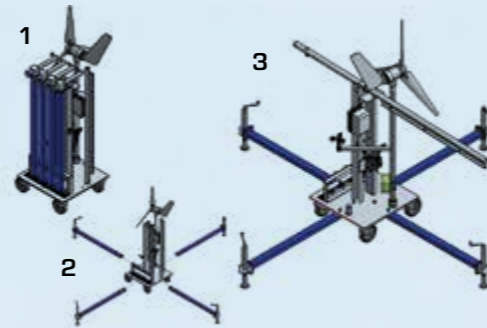
GUNT-Software zur Messdatenerfassung via PC



Gemessene Zeitverläufe der elektrischen Leistungen

ET 220.01 Windkraftanlage ET 220.10 Bediengerät für Windkraftanlage ET 220.01

Der Ertrag einer Windkraftanlage ist von den vorherrschenden Windgeschwindigkeiten und der Nutzbarkeit des erzeugten Stroms abhängig. Die Windkraftanlage ET 220.01 wird entweder zusammen mit ET 220 verwendet oder zusammen mit ET 220.10.

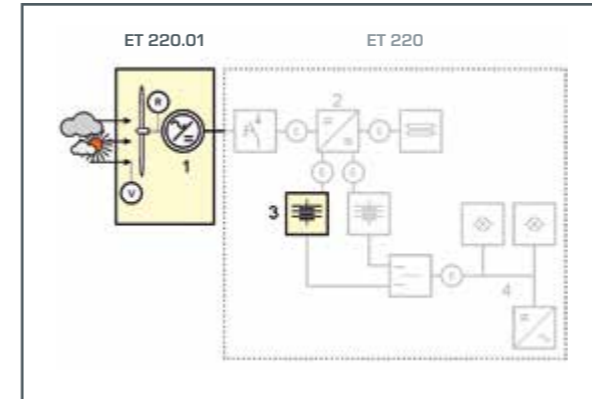


Inbetriebnahme von ET 220.01

Im Transportzustand 1 kann die Windkraftanlage leicht zum Versuchsort gebracht werden. Nach Montage der Stützen 2 wird die Windkraftanlage auf den schwenkbaren Mast aufgesetzt 3.



Zum Produkt:



Die erzeugte elektrische Energie wird an das Bediengerät von ET 220 übertragen und kann zur Ladung von Akkumulatoren oder für den direkten Verbrauch eingesetzt werden.



Wie in einem typischen Diagramm der Anleitung von ET 220 gezeigt, werden witterungsbedingte Leistungsverläufe (rot) zur Berechnung der Energieerträge (blau) ausgewertet.



Die Nabenhöhe des Rotors beträgt bei aufgerichtetem Mast ca. 5 m.

Mit wenigen Handgriffen können Sie den schwenkbaren Mast in die gewünschte Position bringen.



ET 220.10 Bediengerät für Windkraftanlage ET 220.01

Die elektrische Energie der Windkraftanlage ET 220.01 wird in das, vom Stromnetz unabhängige, Inselsystem von ET 220.10 eingespeist.

Aufnehmer erfassen Windgeschwindigkeit und Drehzahl des Rotors von ET 220.01, sowie Strom und Spannung des Inselsystems. Die Messwerte werden über USB direkt auf einen PC übertragen und dort mit Hilfe der mitgelieferten Software ausgewertet. Windgeschwindigkeit und Drehzahl des Rotors können zusätzlich an digitalen Anzeigen abgelesen werden.

Zum Produkt:



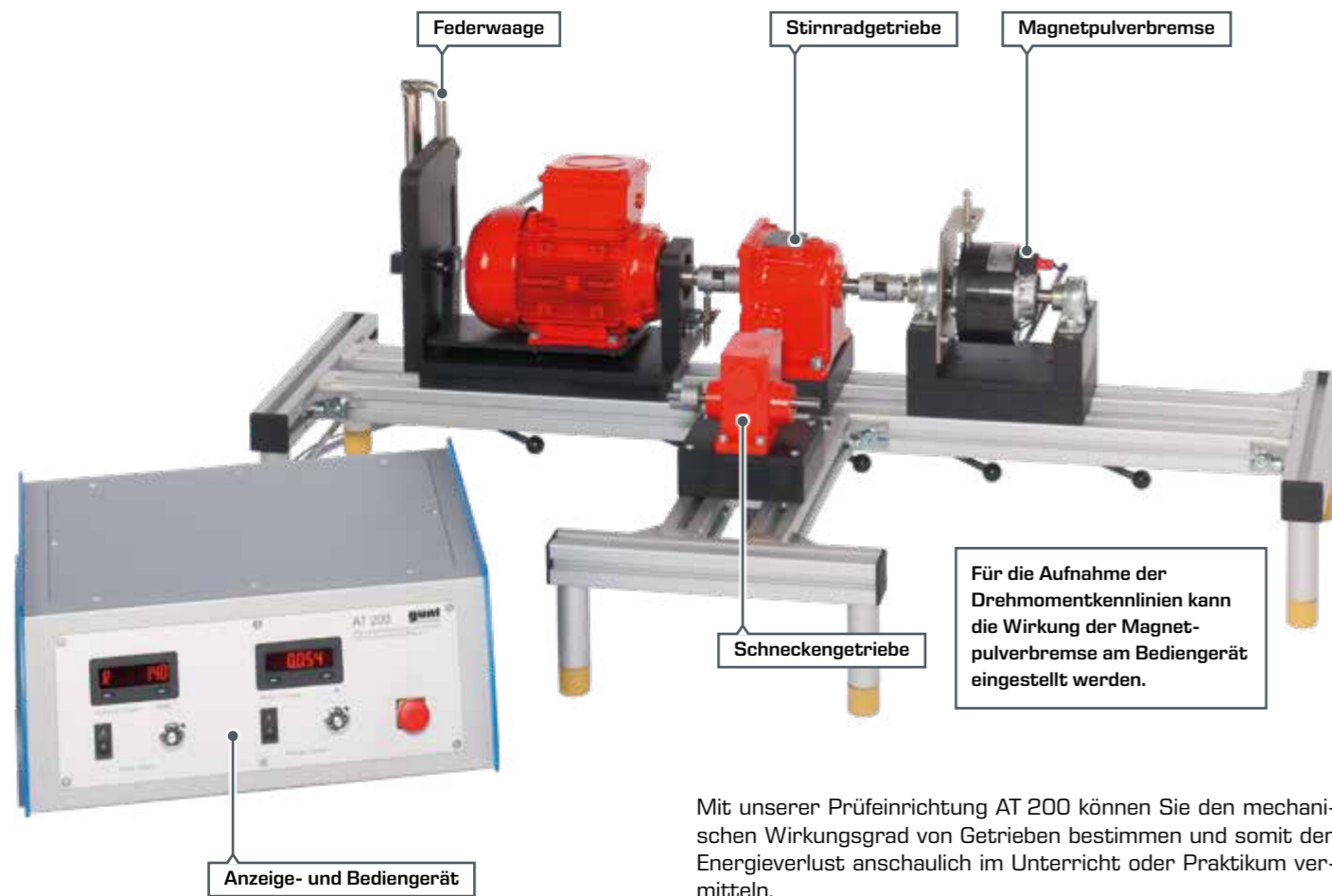
Lerninhalte

- Aufbau und Funktion einer Windkraftanlage im Inselbetrieb
- Energiebilanz einer Windkraftanlage unter realen Windbedingungen

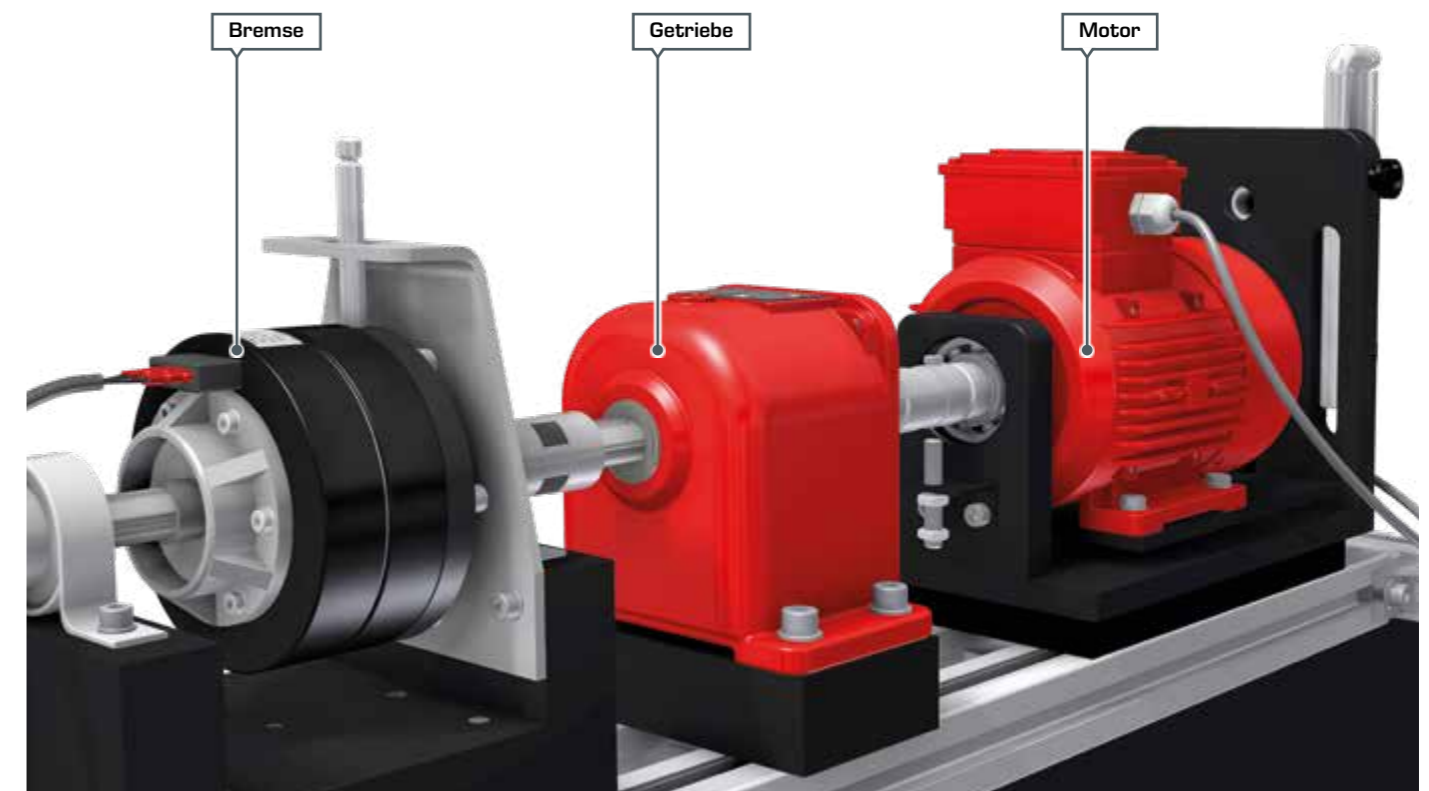
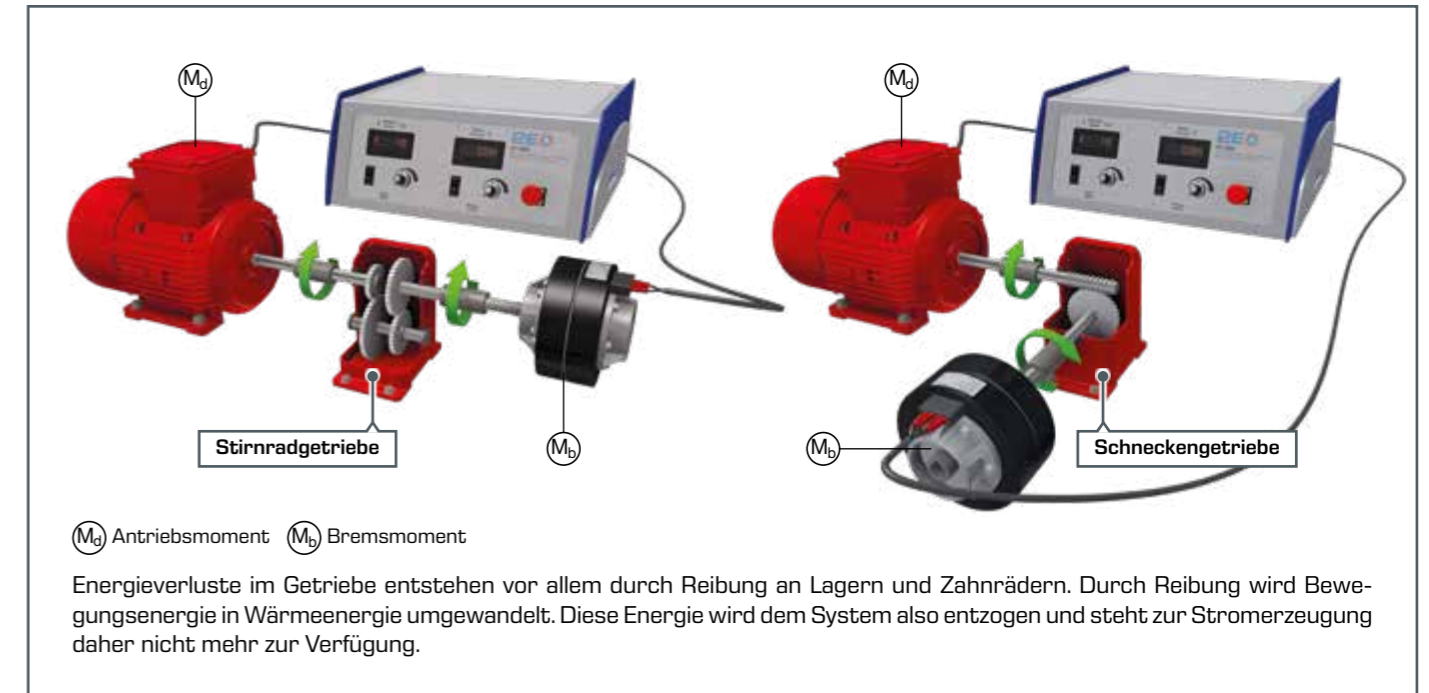
AT 200 Wirkungsgradbestimmung von Getrieben

Getriebe spielen bei der Energieumwandlung in Windkraftanlagen eine sehr wichtige Rolle. Aufgabe eines Getriebes ist es, die kinetische Energie des Rotors mit möglichst geringen Verlusten auf den Generator zu übertragen. Bei

typischen Anwendungen muss die vergleichsweise geringe Drehzahl des Rotors an deutliche höhere Drehzahlen am Generator angepasst werden.



Mit unserer Prüfeinrichtung AT 200 können Sie den mechanischen Wirkungsgrad von Getrieben bestimmen und somit den Energieverlust anschaulich im Unterricht oder Praktikum vermitteln.



Zum Produkt:



Lerninhalte

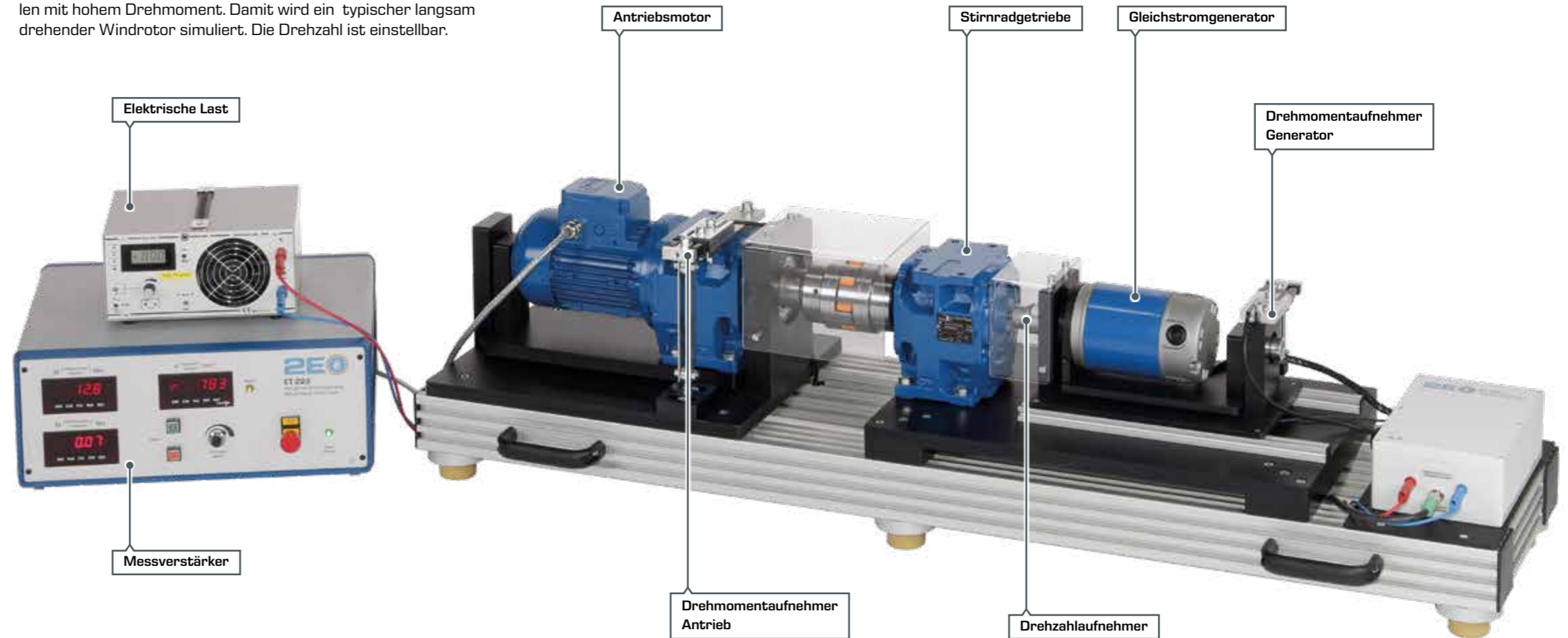
- Bestimmung des mechanischen Wirkungsgrades von Getrieben durch Vergleich von mechanischer Antriebs- und Bremsleistung für
 - ▶ Stirnradgetriebe, zweistufig
 - ▶ Schneckengetriebe
- Drehmoment-Strom-Kennlinie einer Magnetpulverbremse aufnehmen
- Antriebs- und Regelungstechnik

ET 222 Windkraft-Antriebsstrang

Moderne Windkraftanlagen sollten bestmöglich an das Windangebot ihres Standorts angepasst sein und effiziente Betriebsbedingungen ermöglichen. Neben dem Windrotor selbst sind insbesondere Komponenten des Antriebsstrangs wie das Getriebe und der elektrische Generator ausschlaggebend.

Das Versuchsgerät ET 222 enthält einen typischen Windkraft-Antriebsstrang im Labormaßstab, der durch einen Elektromotor angetrieben wird. Der Motor ermöglicht niedrige Drehzahlen mit hohem Drehmoment. Damit wird ein typischer langsam drehender Windrotor simuliert. Die Drehzahl ist einstellbar.

Zum Produkt:

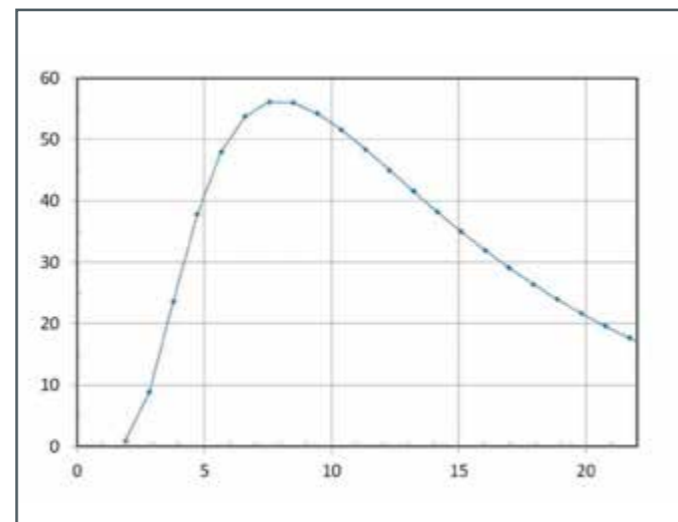


Features

- Elektromotor mit niedriger Drehzahl simuliert Windrotor
- Generator mit einstellbarer elektrischer Last
- Drehmomentmessungen an Antrieb und Generator

Lerninhalte

- Umwandlung von Rotationsenergie in elektrische Energie
- Einfluss von Drehmoment und Drehzahl auf den Wirkungsgrad des Getriebes
- Einfluss von Drehmoment und Drehzahl auf den Wirkungsgrad des Generators
- Einfluss der typischen Drehmoment-Kennlinie eines Windrotors auf den Gesamtwirkungsgrad des Antriebsstrangs



Simulierte Drehmoment-Kennlinie eines Windrotors:
x-Achse: Wellendrehzahl in min^{-1}
y-Achse: Drehmoment in Nm

In den Versuchen mit ET 222 werden typische Betriebsbedingungen eines Antriebsstrangs simuliert. Dazu werden die elektrische Last des Generators und die Drehzahl des Antriebsmotors variiert. Auf diese Weise können Arbeitspunkte einer typischen Drehmoment-Kennlinie angefahren werden. Die berechnete Kennlinie ergibt sich aus der mechanischen Leistung eines Windrotors für eine gegebene Windgeschwindigkeit.

Die Generatordrehzahl und die Drehmomente der Antriebsseite und des Generators werden mit Aufnehmern erfasst und digital am Messverstärker angezeigt. Die Messwerte stehen zudem als analoge Signale für eine optionale externe Erfassung oder Verarbeitung zur Verfügung.

NOTTINGHAM
TRENT UNIVERSITY

ET 222 wurde speziell für die Ausbildung im Bereich Windenergie an der NOTTINGHAM TRENT UNIVERSITY (UK) entwickelt.

ET 224 Betriebsverhalten von Windkraftanlagen

Die Leistungsfähigkeit von Windkraftanlagen ist von mechanischen und elektrischen Komponenten sowie von einer effizienten Anlagensteuerung abhängig. Der Einfluss der wirksamen Parameter unter allen relevanten Betriebsbedingungen muss daher bekannt sein.

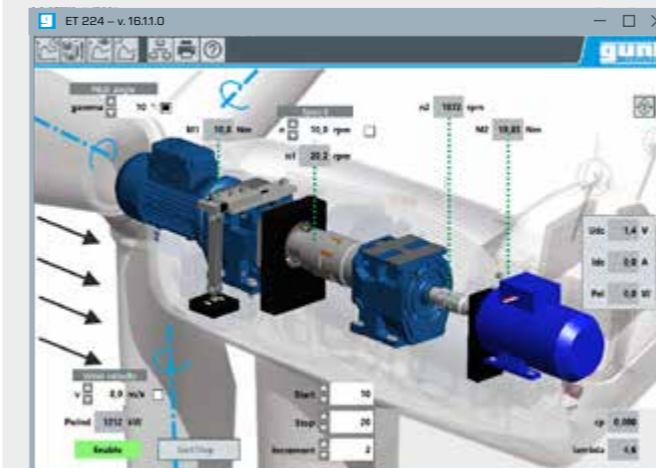
Mit ET 224 werden die Komponenten eines Windkraft-Antriebsstrangs betrachtet. Für ein besseres Verständnis werden wichtige Anlagenparameter in Versuchen mit simulierten Kennfeldern untersucht. Ein Getriebemotor mit einstellbarer Drehzahl realisiert den typischen, langsam drehenden Windrotor mit hohem Drehmoment. Zwischen der langsam drehenden Antriebsseite und der schnell drehenden Generatorseite befindet sich ein dreistufiges Stirnradgetriebe. Ein Drehstrom-Synchrongenerator mit Gleichrichter wandelt die mechanische Energie in elektrische Energie. Die elektrische Energie wird an eine elektronische Last übertragen.



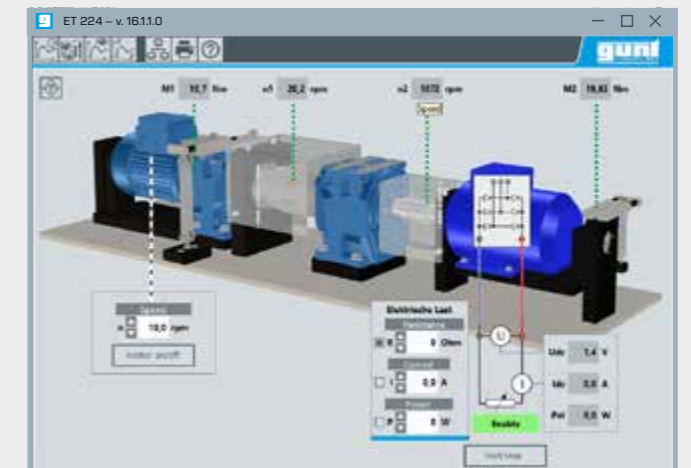
Software

Die elektronische Last kann direkt oder über das Simulationsmodul der mitgelieferten Software gesteuert werden. Einzelmessungen, automatisierte Aufnahmen von Kennlinien

und Kennlinienfeldern sowie Messungen im autonomen windgeführten Anlagenbetrieb können durchgeführt werden.



Automatisierte Messungen im Simulationsmodus



Anlagensteuerung ohne Simulation

Zum Produkt:

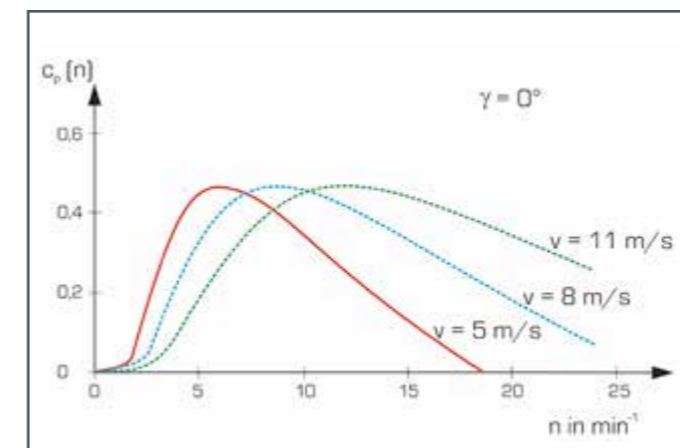


Lerninhalte

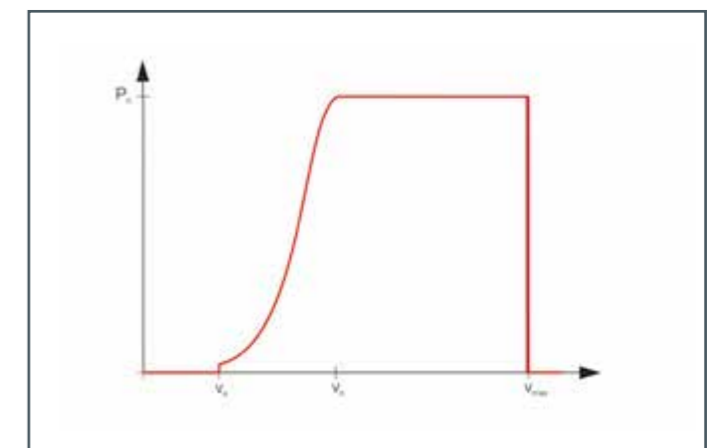
- Umwandlung von kinetischer Energie in elektrische Energie
- Leistungsbeiwert und Schnellaufzahl
- Einfluss von Drehmoment und Drehzahl auf den Wirkungsgrad des Getriebes und des Generators untersuchen
- Einfluss von Windgeschwindigkeit und Rotorblattwinkel auf die typische Drehmoment-Kennlinie eines Windrotors untersuchen
- Leistungsbegrenzung durch Steuerung von Drehzahl und Rotorblattwinkel
- windgeführte Anlagensteuerung im autonomen Betrieb kennenlernen

Features

- Antriebseinheit mit niedriger Drehzahl simuliert Windrotor
- GUNT-Mess- und Simulationssoftware mit Steuerfunktion für elektronische Last
- automatisierte Aufnahme von Kennlinienfeldern in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Rotorblattwinkel und Rotordrehzahl
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk



Leistungsbeiwert als Funktion der Rotordrehzahl: Simulation typischer Kennfelder bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten und Rotorblattwinkeln



Leistungskennlinie für den autonomen Betrieb bei zunehmender Windgeschwindigkeit: abgegebene Leistung wird von der Anlagensteuerung durch Anpassung von Rotordrehzahl und Rotorblattwinkel begrenzt

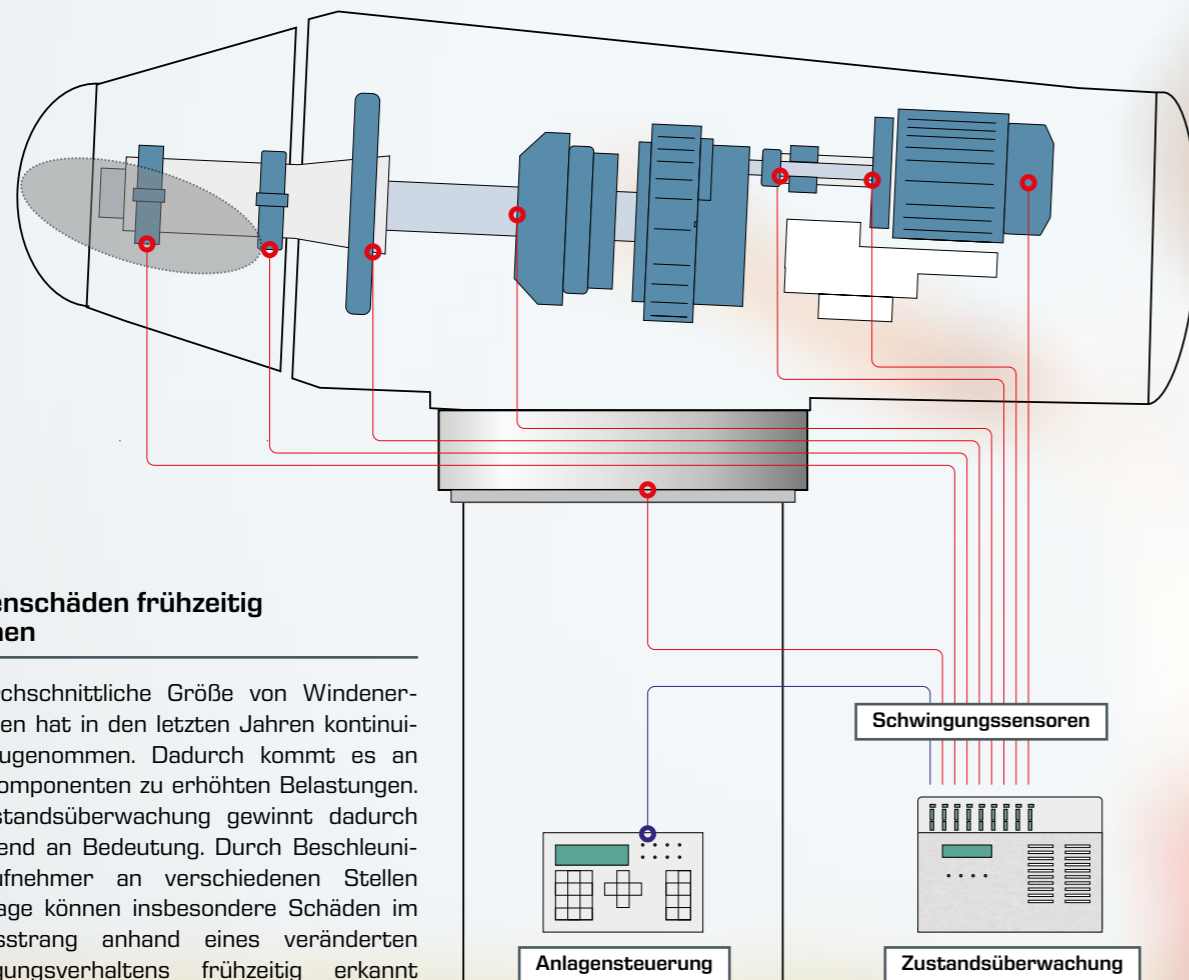
Basiswissen

Zustandsüberwachung bei Windkraftanlagen

Zur Reduzierung technischer und wirtschaftlicher Risiken werden inzwischen in allen größeren Windkraftanlagen Systeme zur Überwachung des Anlagenzustandes (engl. **Condition Monitoring Systems: CMS**) eingesetzt.

Neben typischen Daten, wie z.B. Windgeschwindigkeit, Drehzahl, elektrische Leistung und Temperatur, erfassen diese Systeme insbesondere Schwingungen an allen relevanten Stellen einer Anlage. Durch Analyse und Vergleich der Schwingungsdaten mit Sollwerten ist es möglich, beschädigte Komponenten frühzeitig zu erkennen und

auszutauschen, bevor es zum Ausfall der Komponenten kommt. Aus Sicht der Betriebsführung sind dabei sowohl die Anpassung geeigneter Wartungsintervalle als auch die frühzeitige Schadenserkenkung von Bedeutung. Unter Einbeziehung von CM-Systemen werden inzwischen z.B. in Verträgen zwischen Herstellern, Betreibern und Versicherungen von Windkraftanlagen, Ausfallzeiten von deutlich unter 10 % vereinbart.



Anlagenschäden frühzeitig erkennen

Die durchschnittliche Größe von Windenergieanlagen hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Dadurch kommt es an vielen Komponenten zu erhöhten Belastungen. Die Zustandsüberwachung gewinnt dadurch zunehmend an Bedeutung. Durch Beschleunigungsaufnehmer an verschiedenen Stellen der Anlage können insbesondere Schäden im Antriebsstrang anhand eines veränderten Schwingungsverhaltens frühzeitig erkannt werden.

Gefahren vermeiden

An sensiblen Komponenten einer Windkraftanlage, wie Lager und Zahnräder, können Fehler durch verschiedene Ursachen auftreten. Dazu gehören regulärer Verschleiß, extreme Umweltbedingungen, Überlastungen sowie Montage- und Herstellungsfehler. Wenn daraus resultierende Defekte zu lange unentdeckt bleiben und nicht rechtzeitig behoben werden, können große Schäden entstehen, die bis zur Zerstörung einer Windkraftanlage führen können.

Nicht zuletzt aufgrund von Gefahren für die Umgebung ist insbesondere für größere Windkraftanlagen eine möglichst kontinuierliche Überwachung des Anlagenzustandes zwingend erforderlich.



Expertenwissen sichert zuverlässige Anlagenüberwachung

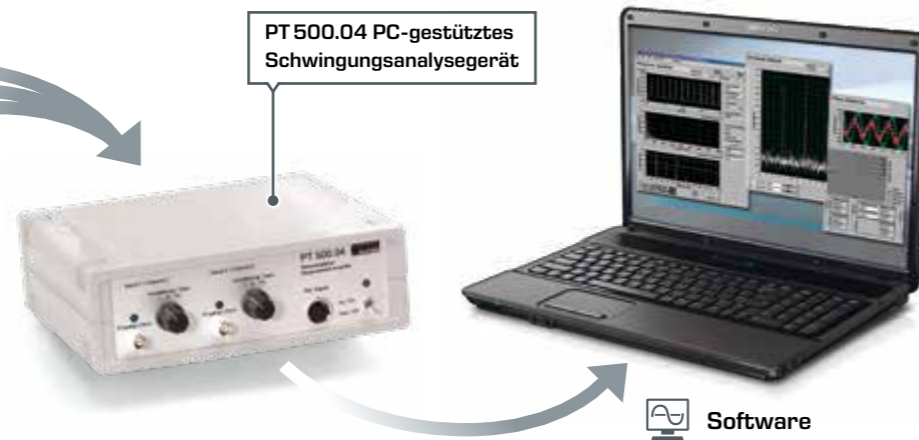
Zu den Aufgaben einer Zustandsüberwachung gehören insbesondere Schwingungsmessungen an verschiedenen Anlagenkomponenten in einem geeigneten Frequenzbereich. Aus der Analyse des Körperschalls können Rückschlüsse auf den Zustand der Komponenten gezogen werden. Weitere wichtige Messgrößen sind aber auch z.B. Drehzahl sowie die Temperaturen des Öls und des Lagers.

Für die sichere Unterscheidung von zustands- und betriebsbedingten Messwerten sind in vielen Fällen weiterhin erfahrene Experten erforderlich. Wir möchten Ihnen mit unseren Geräten im Bereich Windenergie wesentliche Versuche anbieten, um die erforderlichen Fachkenntnisse zu vermitteln.

PT 500 System zur Maschinendiagnose, Basiseinheit

Mit dem Lehrsystem zur Maschinendiagnose PT 500 können Sie gezielt Schwingungssignale verschiedener typischer Fehlfunktionen und Schäden simulieren, messen und auswerten. Die Interpretation der Messsignale kann somit ausführlich geübt

werden. Professionelle Messtechnik unterstützt die Übertragung der erworbenen Erfahrungen in den betrieblichen Alltag moderner Windenergieanlagen.



Zum Produkt:



Das Grundgerät PT 500 zusammen mit dem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät PT 500.04 ermöglicht bereits eine Reihe von Übungen zum Thema Maschinendiagnose und Maschinenüberwachung. Die GUNT-Software bietet zur Auswertung vielfältige Analysemöglichkeiten. Dazu gehören z.B.:

- Oszilloskop
- Frequenzspektrum
- Schwingstärke
- Hüllkurvenanalyse
- Schadensanalyse an Wälzlagern und Getrieben über Hüllkurvenspektren

Ausführliche Informationen zum PT 500 System

Eine vollständige Übersicht zu allen Optionen des modularen Systems bietet auch unsere PT 500-Broschüre, die für Sie auf www.gunt.de zum Download verfügbar ist.



Referenzen

Weltweit arbeiten viele Kunden bereits erfolgreich mit unserem Ausbildungssystem PT 500.

Hier einige ausgewählte Referenzen:

- HAW Hochschule für angewandte Wissenschaften, Hamburg
- HTW Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden
- Reinhold-Würth-Hochschule, Künzelsau
- Warsaw University, Warschau/Polen
- RFPC Training Center, Bandar Iman/Iran
- INTECAP Instituto Technica de Capacitación y Productividad, Guatemala

Zubehör für das PT 500 System

- PT 500.01 Untergestell, fahrbar
- PT 500.04 PC-gestütztes Schwingungsanalysegerät
- PT 500.05 Brems- und Belastungsvorrichtung
- PT 500.10 Zubehörsatz elastische Welle
- PT 500.11 Zubehörsatz Riss in der Welle
- PT 500.12 Zubehörsatz Schäden bei Wälzlagern
- PT 500.13 Zubehörsatz Kupplungen
- PT 500.14 Zubehörsatz Riementrieb
- PT 500.15 Zubehörsatz Schäden an Getrieben
- PT 500.16 Zubehörsatz Kurbeltrieb
- PT 500.17 Zubehörsatz Kavitation in Pumpen
- PT 500.18 Zubehörsatz Schwingungen in Ventilatoren
- PT 500.19 Zubehörsatz elektromechanische Schwingungen
- PT 500.41 Zwei Wegaufnehmer



Das Grundgerät enthält eine schwingungsgedämpfte Aufspannplatte, einen drehzahleregelten Antriebsmotor mit Tachometer, eine Welle mit zwei Massescheiben und zwei Lagereinheiten, eine Kupplung und

Wuchtgewichte. Durch ein breites Zubehörprogramm kann fast jede Thematik der Maschinendiagnose behandelt werden.

Lerninhalte

- Einführung in die Schwingungsmesstechnik an rotierenden Maschinensystemen:
 - ▶ Grundlagen der Messung von Wellen- und Lager-schwingungen
 - ▶ Grundgrößen und Parameter
 - ▶ Aufnehmer und Messgeräte
 - ▶ Einflüsse von Drehzahl und Wellenanordnung
 - ▶ Einfluss der Aufnehmerposition
- Frequenzspektren verstehen und interpretieren
- Umgang mit einem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät

PT500.11 Zubehörsatz Riss in der Welle



Die Rotorwelle einer Windkraftanlage überträgt die mechanische Energie vom Rotor an das Getriebe. Durch die frühzeitige Erkennung von Rissen in der Welle lässt sich das Risiko eines kostenintensiven Ausfalls bzw. die Gefahr einer Zerstörung der Anlage minimieren.

Mit unserem Zubehör PT500.11 können Sie Schwingungsanalysen an defekten Wellen durchführen. Es stehen Ihnen unterschiedliche Wellen zur Verfügung, mit denen unterschiedlich große Risse simuliert werden können.

Zum Produkt:



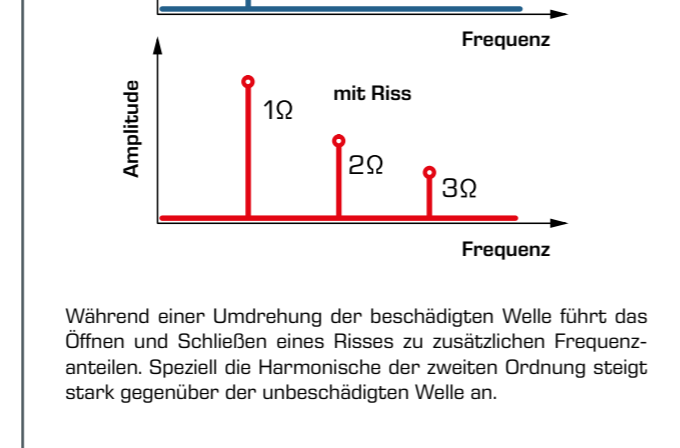
PT500.15 Zubehörsatz Schäden an Getrieben



Mit dem Zubehörsatz PT 500.15 verfügen Sie über verschiedene Radsätze mit Zahnschädigungen. Zudem sind auch unbeschädigte Räder für vergleichende Messungen Bestandteil des

Lieferumfangs. PT 500.15 ermöglicht Ihnen gezielte Versuche zur Schwingungsanalyse von Verzahnungsschäden und die Schadenslokalisierung in Getrieben.

Zum Produkt:



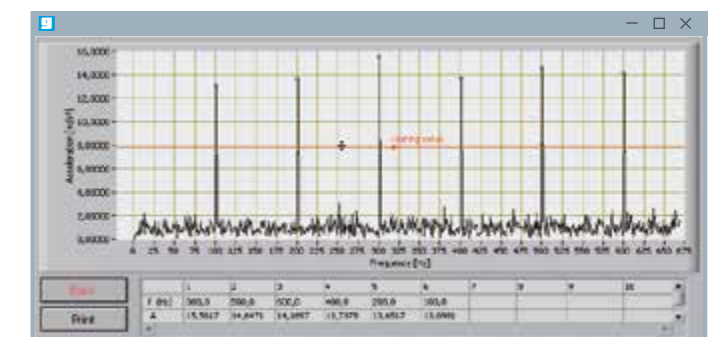
Lerninhalte

- Veränderung des charakteristischen Schwingungsverhaltens (Eigenfrequenz, Resonanzdrehzahl, Amplitude und Phase der Schwingungen) durch einen Riss
- Rissidentifikation aus der Veränderung des Schwingungsspektrums
- Riss in der Welle beim übertragenden Wellenende
- Frequenzspektren verstehen und interpretieren
- Umgang mit einem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät

Lerninhalte

- Identifikation von Getriebebeschäden anhand des Schwingungsverhaltens
- Einfluss der Verzahnungsart
- Lokalisierung des Schadens
- Einfluss der Schmierung
- Einfluss des Achsabstands und des Flankenspiels
- Frequenzspektren verstehen und interpretieren
- Umgang mit einem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät

Zum Produkt:



Spektrum eines geradeverzahnten Getriebes bei 1800min^{-1} und Zahnengriffsfrequenz von 752Hz

Einführung	
Lernfelder Biomasse	108

Bioethanol	
Basiswissen Bioethanol	110
CE 640 Biotechnische Herstellung von Ethanol	112

Biodiesel	
Basiswissen Biodiesel	122
CE 650 Biodieselanlage	123

Biogas	
Basiswissen Biogas	116
CE 642 Biogasanlage	118

Lernfelder
Biomasse Lernfelder

Produkte

Die allgemeine Biomasse ist ein äußerst vielseitiger Ausgangsstoff. Sie können die verschiedenen Pflanzen und Früchte als Lebensmittel, als Futtermittel, als Brennstoff zur Wärmeerzeugung, als Dünger, als Zusatz- oder Grundstoff für Crèmes und Lotionen und als Treibstoff zu Zwecken der Mobilität einsetzen. Viele der genannten Verwendungen enthalten Überschneidungen mit anderen Bereichen, so dass anfallende Nebenprodukte in einem anderen Zweig als Ausgangsmaterial verwendet werden können.

Wir bieten Ihnen im Bereich Biomasse drei Geräte an, die die grundlegenden Prozesse praxisnah darstellen und verdeutlichen. Die Verwendung der anfallenden Nebenprodukte ist ebenfalls möglich. So erhalten Sie zum Beispiel mit CE640, der biotechnischen Herstellung von Ethanol, als Hauptprodukt Ethanol und als Nebenprodukt Maische. Die Maische können Sie verwerfen oder aber in der Biogasanlage CE642 als Substrat verwenden. Wenn Sie die Biogasanlage betreiben, erhalten Sie als Hauptprodukt Biogas und als Nebenprodukt einen hochwertigen Dünger, den Gärrest. Dieser Gärrest ist gegenüber Gülle geruchsärmer und die Nährstoffe sind für Pflanzen besser aufzunehmen.

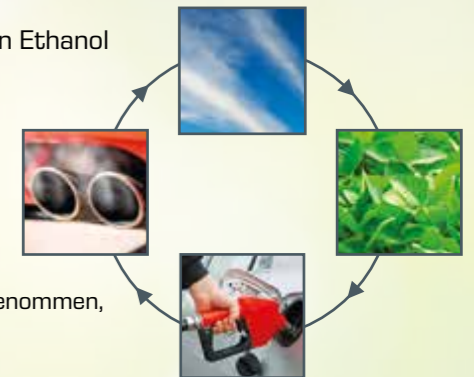
Als Hauptprodukt von der Biodieselanlage CE650 erhalten Sie nach dem optionalen Reinigungsprozess Biodiesel. Durch die optionale Aufbereitung der Nebenprodukte erhalten Sie Glycerin, welches z. B. in Lebensmittel- und Kosmetikindustrie Anwendung findet, und einen Anteil der Zusatzstoffe zurück.



Bioethanol

CE 640
Biotechnische Herstellung von Ethanol

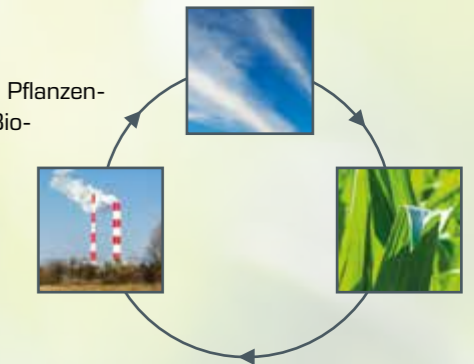
Durch den anaeroben Abbau von Pflanzenbestandteilen (z. B. Kartoffeln) durch Enzyme und Hefen kann Bioethanol hergestellt und z. B. als Treibstoff verwendet werden. Das Abgas wird wiederum von den Pflanzen aufgenommen, der Kreislauf ist geschlossen.



Biogas

CE 642
Biogasanlage

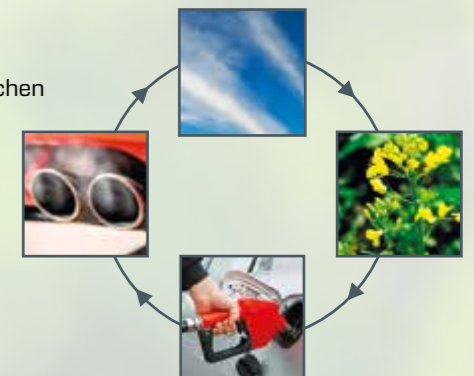
Durch den anaeroben Abbau von Pflanzenbestandteilen (z. B. Mais) durch Biomasse kann Biogas hergestellt und z. B. in Blockheizkraftwerken verstromt und die Abwärme zu Heizzwecken genutzt werden. Das Abgas wird wiederum von den Pflanzen aufgenommen, der Kreislauf ist geschlossen.



Biodiesel

CE 650
Biodieselanlage

Mit der Umesterung von pflanzlichen Ölen werden mit Hilfe einiger Zusatzstoffe Glycerin und der gewünschte Biodiesel erhalten. Das Abgas wird wiederum von den Pflanzen aufgenommen, der Kreislauf ist geschlossen.



Basiswissen
Bioethanol

Der Verbrauch der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas ist in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen. Die notwendigen Fördermengen zur Deckung des Energiebedarfs führen zum immer schnelleren Erschöpfen von Lagerstätten. Neu ermittelte Vorkommen sind aufgrund der Lage und häufigen Verunreinigungen nur schwer abbaubar. Es sind also Alternativen gefragt.

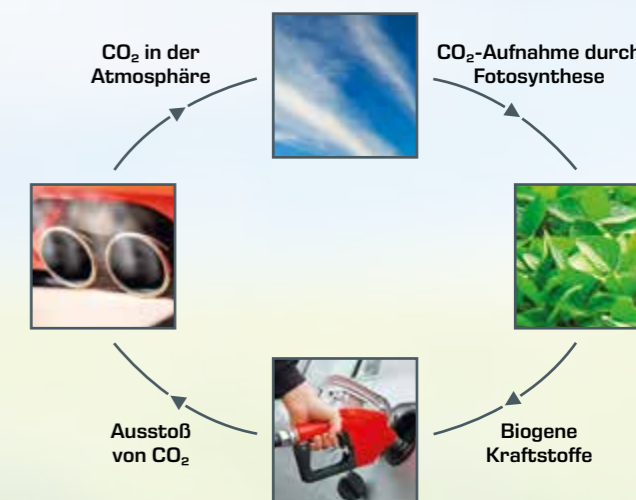
Für die Realisierung einer klimaneutralen und erneuerbaren Energieversorgung spielen, neben den un stetigen Energieträgern, wie Wind und Sonne, auch lagerfähige klimaneutral hergestellte Energieträger aus nachwachsender Biomasse eine wichtige Rolle.

Um die biogenen Energierohstoffe in einen lagerfähigen Energieträger umzuwandeln, werden unterschiedliche biologische und thermische Verfahren eingesetzt.



Der CO₂-Kreislauf des Bioethanols

Mit Hilfe des Sonnenlichts ermöglicht die Fotosynthese das Pflanzenwachstum. Dabei werden CO₂ aus der Atmosphäre, sowie Wasser und anorganische Stoffe von der Pflanze aufgenommen und in energiereichere, organische Verbindungen umgesetzt. Diese Biomasse kann als Produkt eines biochemischen Prozesses betrachtet werden, bei dem ein Teil des absorbierten Sonnenlichts in Form von chemischer Energie gespeichert wird. Um die Biomasse als Energieträger in verschiedenen technischen Prozessen nutzen zu können, sind spezielle Aufbereitungsmethoden erforderlich. Dazu gehören einfache physikalische, aber auch aufwendigere thermochemische und biologische Verfahren.



Biokraftstoffe für klimaneutrale Energie

Neben den einfachen mechanischen Verfahren für die Herstellung von festen Energieträgern (Pellets) wie Zerkleinerung und Pressagglomeration, werden für die Herstellung von Biokraftstoffen und Biogas komplexe biologische Verfahren eingesetzt.

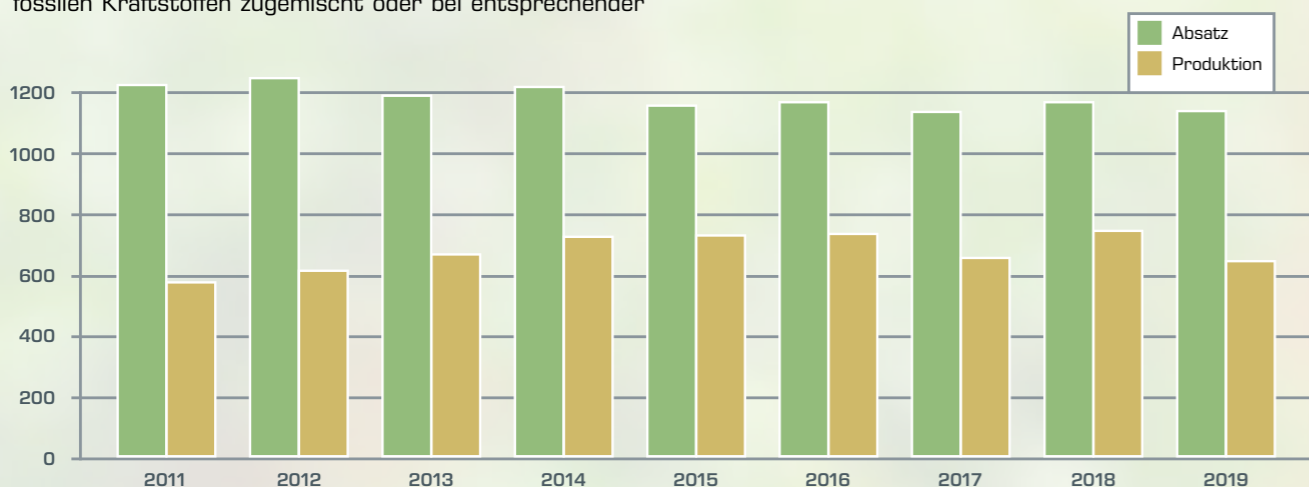
Diese Verfahren sind Anwendungen von natürlichen Prozessen aus der Natur im industriellen Maßstab. Bei diesen Prozessen spielen Faktoren wie Temperatur, pH-Wert, Durchmischung und Verweilzeit eine wichtige Rolle, um die größte Ausbeute an Energieträger aus der Biomasse zu erzielen.

Bei Biokraftstoffen handelt es sich um Ersatzstoffe für Superkraftstoffe und Dieselmotoren, die entweder den fossilen Kraftstoffen zugemischt oder bei entsprechender

Motorentechnik direkt eingesetzt werden. Die Grundlage für die Biokraftstoffe ist bei Superkraftstoff Ethanol und bei Dieselmotoren Pflanzenöl.

Für den Bereich der Biokraftstoffe bieten wir Ihnen sowohl eine Anlage für die Umwandlung von Stärke in Ethanol mittels Enzymen und Hefen, als auch eine weitere Anlage für die klassische Herstellung von Biodiesel aus Pflanzenölen durch Umesterung an.

Unsere Bioethanolanlage enthält neben der Destillations-einheit zur Trennung des Ethanols aus dem Gärrest auch die zuvor erforderlichen Maische- und Gärbehälter für den vollständigen Herstellungsprozess.



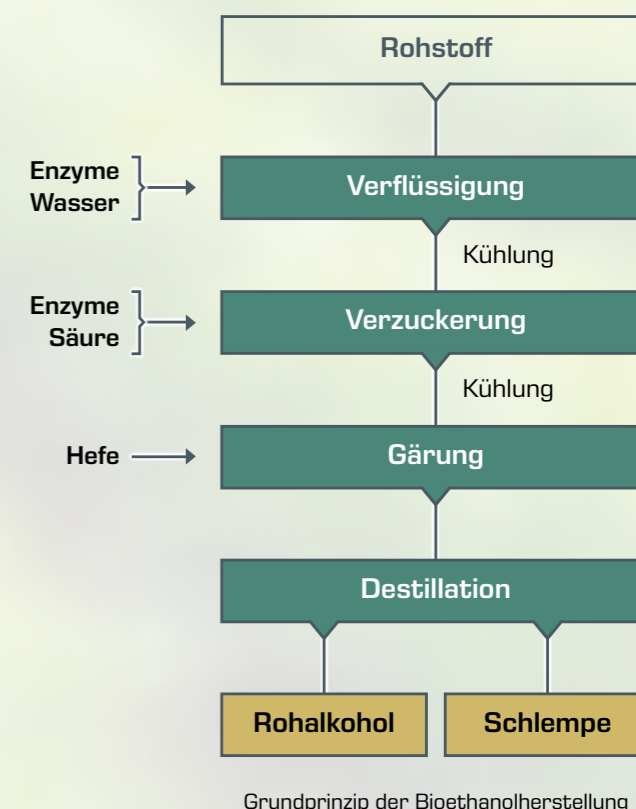
Bioethanolentwicklung in Deutschland (in 1.000 t)

(Quelle: BDBe/FNR)

Ausgangsstoff für Bioethanol sind die in Pflanzen enthaltenen Kohlenhydrate (Zucker), aus denen mit Hilfe von Enzymen und Hefepilzen Alkohol entsteht. Während zuckerhaltige Pflanzen direkt vergoren werden, geht bei stärkehaltigen Pflanzen der eigentlichen alkoholischen Gärung zunächst der enzymatische Aufschluss des Pflanzenmaterials voraus.



Der Gärprozess ist dann abgeschlossen, wenn entweder der Zucker verbraucht oder eine maximale Alkoholkonzentration erreicht ist. Das entstehende Bioethanol wird durch Destillation abgetrennt. Das Produkt der Destillation wird als Rohalkohol bezeichnet.



CE 640 Biotechnische Herstellung von Ethanol

Den Herstellungsprozess von Bioethanol in einem Laborversuch erarbeiten

Die Versuchsanlage zur biotechnischen Herstellung von Ethanol ist für die berufliche und studentische Ausbildung in den Fachrichtungen Chemie- und Bioverfahrenstechnik hervorragend geeignet. Bioethanol wird auch zukünftig der weltweit führende Biokraftstoff sein. Die Studierenden lernen das komplette Verfahren von den Rohstoffen bis zum Endprodukt kennen.

Mit der Versuchsanlage CE 640 Biotechnische Herstellung von Ethanol können Sie alle notwendigen Prozessschritte von der Verflüssigung und Verzuckerung der Ausgangsstoffe, über die Umwandlung von Zucker in Ethanol, bis zur Destillation verfolgen und untersuchen.



Zugabe der Rohstoffe
in den Maischebehälter

Vorbereitung der Hefe

Zugabe der Hefe in den Gärbehälter

Zufriedene Kunden

 
**AGRICULTURAL
RESEARCH INSTITUTE**
Nicosia/Cyprus
Dr. Polycarpus Polycarpou
Agricultural Research
Officer Head of Soils and Water Use Department
Agricultural Engineering
Agricultural Research Institute



**Fachhochschule
Münster** University of
Applied Sciences

**Fachbereich Chemieingenieurwesen
in Steinfurt**

Im Labor für chemische Verfahrenstechnik der Fachhochschule Münster wird die Herstellung von Ethanol mit CE 640 als Praktikum angeboten. Für die Durchführung sind zwei Termine angesetzt, so dass alle Teilnehmer sowohl das Ansetzen der Maische als auch das Ergebnis von Gärung und Destillation in eigenen Versuchen verfolgen können.



Zum Produkt:



CE 640

Biotechnische Herstellung von Ethanol

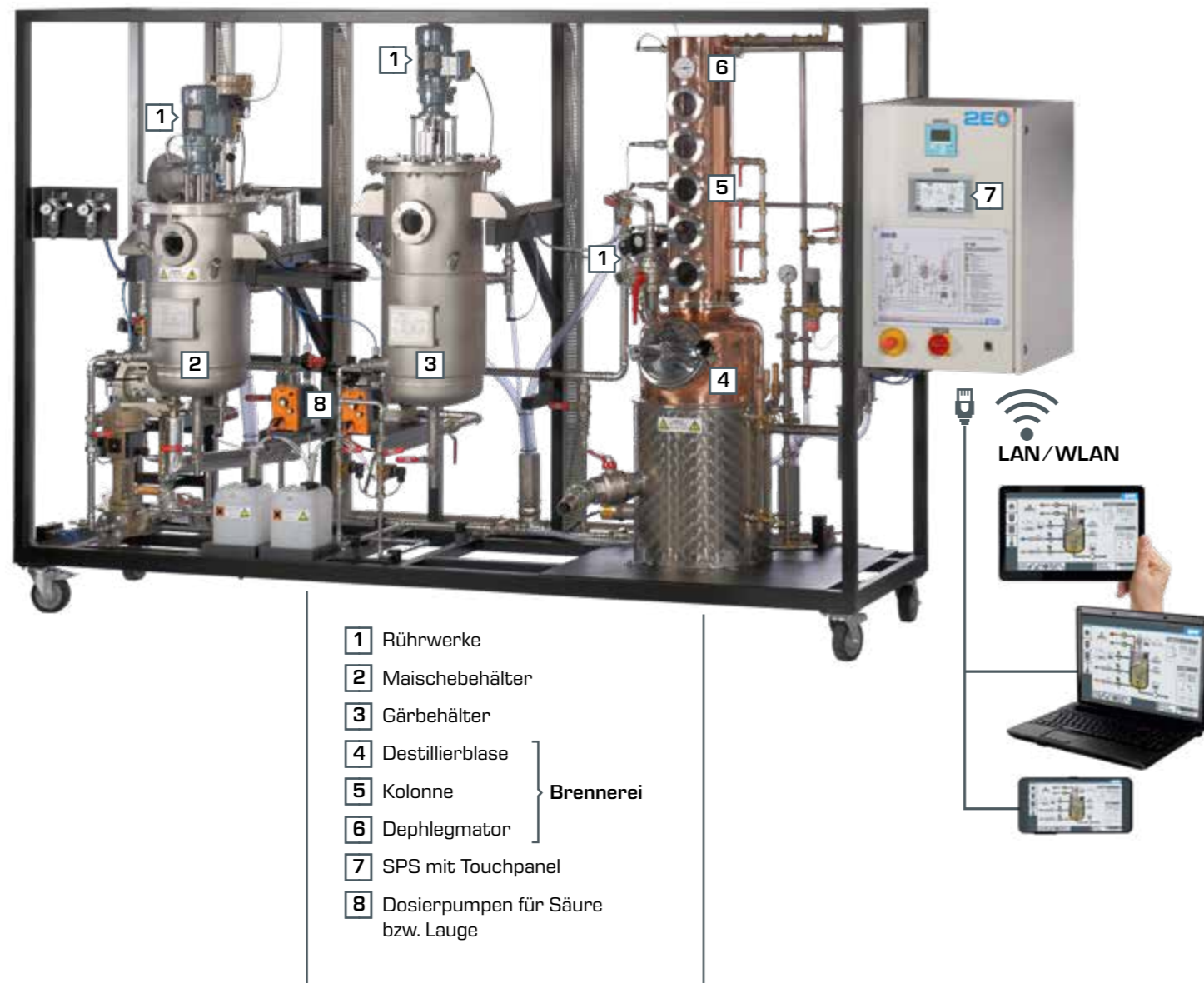
Von der Pflanze zum Biokraftstoff

Mit dem Versuchstand CE 640 können Sie den vollständigen Prozess zur Herstellung von Ethanol im Labormaßstab durchführen. Ethanol wird als Ausgangsstoff für Biokraftstoffe und viele andere Produkte aus stärke- und zuckerhaltigen Rohstoffen hergestellt. Bei der Umwandlung von Stärke in Ethanol müssen unterschiedliche Umwandlungsprozesse mit Hilfe von Enzymen und Hefepilzen durchgeführt werden.

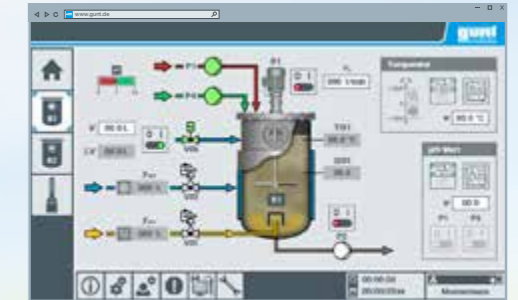
Die Stärke wird mit den Enzymen Gluco-Amylase und Alpha-Amylase im ersten Tank in Zucker umgewandelt. Dieser Prozess erfolgt unter Überwachung und Regelung der Temperatur und des pH-Wertes.

Nach dem Umpumpen in den zweiten Tank und der Zugabe von Hefepilzen findet unter Abschluss der Atmosphäre der Gärprozess statt. Dabei wandelt die Hefe den Zucker in Ethanol und Kohlenstoffdioxid um. Das Kohlenstoffdioxid entweicht über einen Gärverschluss in die Umwelt. Die Temperatur in dem Gär-tank wird dabei überwacht und geregelt.

Nach Abschluss des Gärprozesses wird das Ethanol mit Hilfe einer Destillationsanlage (Brennerei) von den Reststoffen getrennt.



Starkwandige, hochglanzpolierte und gehämmerte Destillierblase aus reinem Kupfer.



Anlagensteuerung und Datenerfassung über SPS

Die Versuchsanlage wird über Touchscreen von einer SPS gesteuert. Die SPS ermöglicht die Erfassung der wichtigsten Größen auf dem internen Speicher:

- Temperatur
 - pH-Wert
 - Gärtemperatur
 - Wassertemperatur
 - Kesseltemperatur
 - Glockenböden-temperaturen
 - Dephlegmator-temperatur
 - Kondensat-temperatur
- Maischebehälter
- Gärbehälter
- Brennerei

Lerninhalte

- Verkleisterung durch Dampf-injektion
- Verflüssigung unter Einsatz von Alpha-Amylase
- Verzuckerung unter Einsatz von Gluco-Amylase
- Gärung: Umsatz von Zucker zu Ethanol durch Hefekulturen unter anaeroben Verhältnissen
- Destillation: Abtrennung von Ethanol aus der Maische

Basiswissen
Biogas

Steigender Energiebedarf und die Begrenzung fossiler Energiequellen erfordern neue Konzepte zur Sicherstellung der Energieversorgung. Neben der Solar- und Windenergie stellt die Energiegewinnung aus Biomasse einen wichtigen Baustein zukünftiger Energiekonzepte dar.

In einer Biogasanlage bauen Mikroorganismen unter Ausschluss von Licht und Sauerstoff die organischen Ausgangsstoffe (Substrat) biologisch ab. Als Produkt dieses anaeroben Abbaus entsteht ein Gasgemisch, das zum überwiegenden Teil aus Methan besteht. Dieses Gasgemisch bezeichnet man als Biogas.



Die komplexen Vorgänge des anaeroben Abbaus können vereinfacht in vier aufeinander folgende Phasen unterteilt werden.

Phase 1: Hydrolyse

Das in Biogasanlagen eingesetzte Substrat liegt in Form von ungelösten, hochmolekularen Verbindungen vor, wie z.B. Proteine, Fette und Kohlenhydrate. Daher müssen diese Verbindungen zunächst in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt werden. Als Produkt der Hydrolyse entstehen Aminosäuren, Zucker und Fettsäuren.

Phase 2: Versäuerung

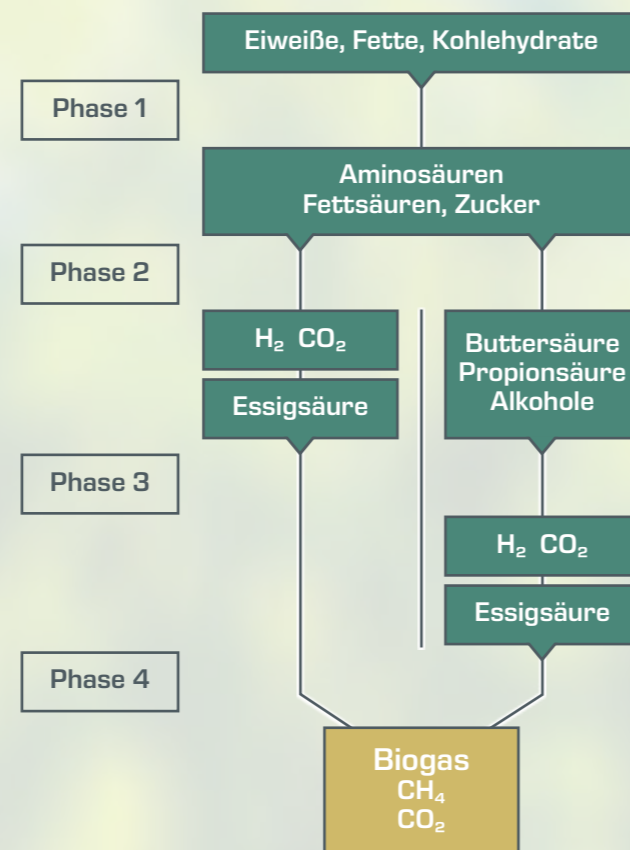
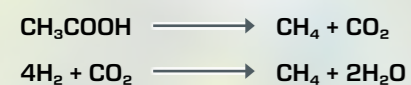
Aus den Produkten der Hydrolyse entstehen nun durch biochemischen Abbau hauptsächlich Propionsäure, Buttersäure, Essigsäure, Alkohole, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid.

Phase 3: Essigsäure-Bildung

Die Produkte der vorherigen Phase werden nun in Essigsäure, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid umgewandelt.

Phase 4: Methanbildung

Methanbakterien können für ihren Stoffwechsel entweder Essigsäure (CH_3COOH) oder Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff verwerten. Folgende beiden biochemischen Reaktionen können zur Bildung von Methan (CH_4) führen:



Grundprinzip des anaeroben Abbaus

Umgebungsbedingungen

Die an dem anaeroben Abbau beteiligten Mikroorganismen haben unterschiedliche Anforderungen an die Umgebungsbedingungen. Dies betrifft in erster Linie den pH-Wert und die Temperatur. Insbesondere die Methanbakterien reagieren sehr empfindlich auf Abweichungen dieser beiden Prozessgrößen von ihrem jeweiligen optimalen Wert. Finden alle 4 Phasen des Abbaus in einem Reaktor statt,

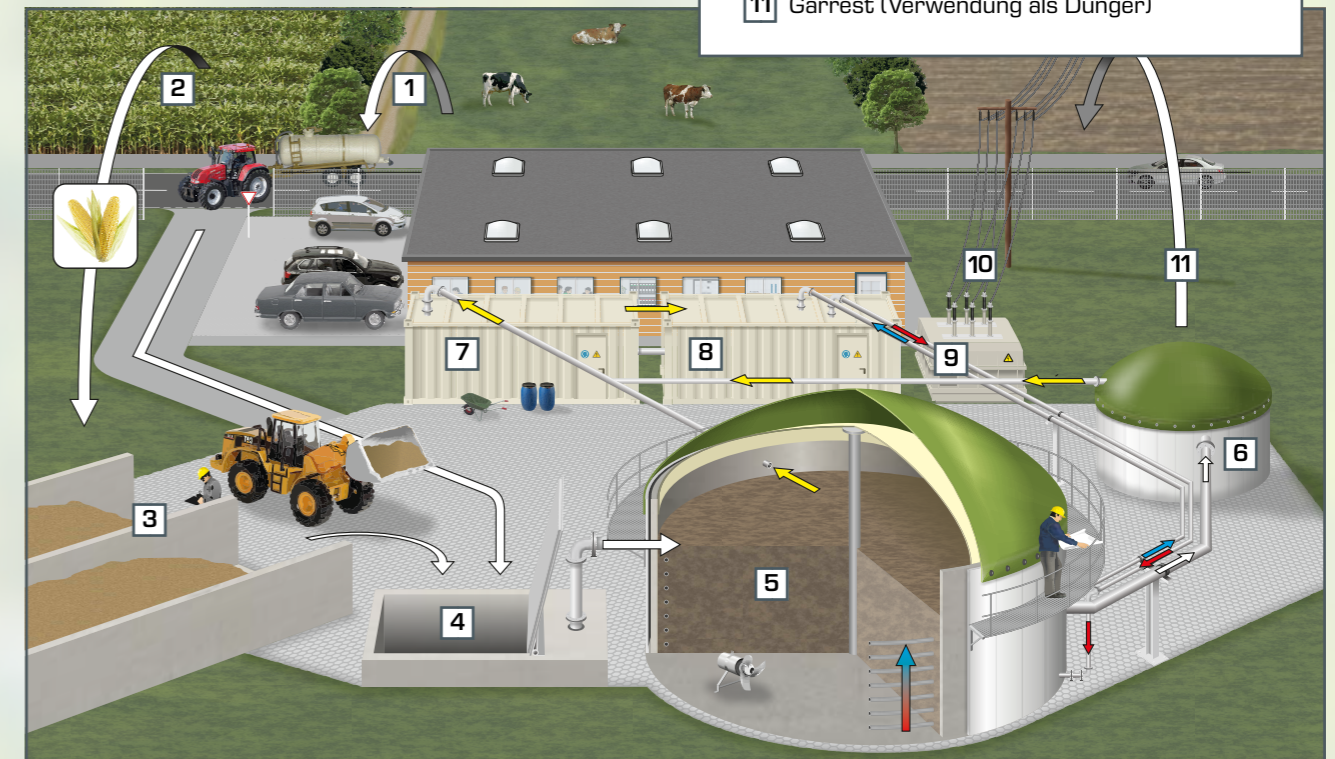
muss hinsichtlich der Temperatur und des pH-Wertes ein Kompromiss gefunden werden. Dies hat eine geringere Biogasausbeute zur Folge. Aus verfahrenstechnischer Sicht ist eine zweistufige Prozessführung in zwei getrennten Reaktoren sinnvoller. Auf diese Weise lassen sich die Umgebungsbedingungen gezielter an die jeweiligen Mikroorganismen anpassen.

Nutzung von Biogas

Das entstandene Biogas kann nun in einem Blockheizkraftwerk verbrannt werden. Dadurch wird die im Biogas gespeicherte Energie in Rotationsenergie umgewandelt. Ein angeschlossener Generator erzeugt hieraus wiederum elektrischen Strom. Ein Blockheizkraftwerk erzeugt neben elektrischer Energie auch Wärme, die z.B. zur Beheizung des Reaktors oder von Räumlichkeiten genutzt werden kann.

Funktionsprinzip einer Biogasanlage:

- 1 Gülle aus Viehhaltung
- 2 nachwachsende Rohstoffe (z.B. Mais)
- 3 Vorlage für zerkleinerte Rohstoffe
- 4 Vorlage für Beschickung des Bioreaktors
- 5 Bioreaktor (Fermenter)
- 6 Gärrestspeicher
- 7 Biogasaufbereitung
- 8 Blockheizkraftwerk
- 9 Wasserkreislauf zur Beheizung des Bioreaktors
- 10 Einspeisung des Stroms ins öffentliche Netz
- 11 Gärrest (Verwendung als Dünger)



CE 642 Biogasanlage

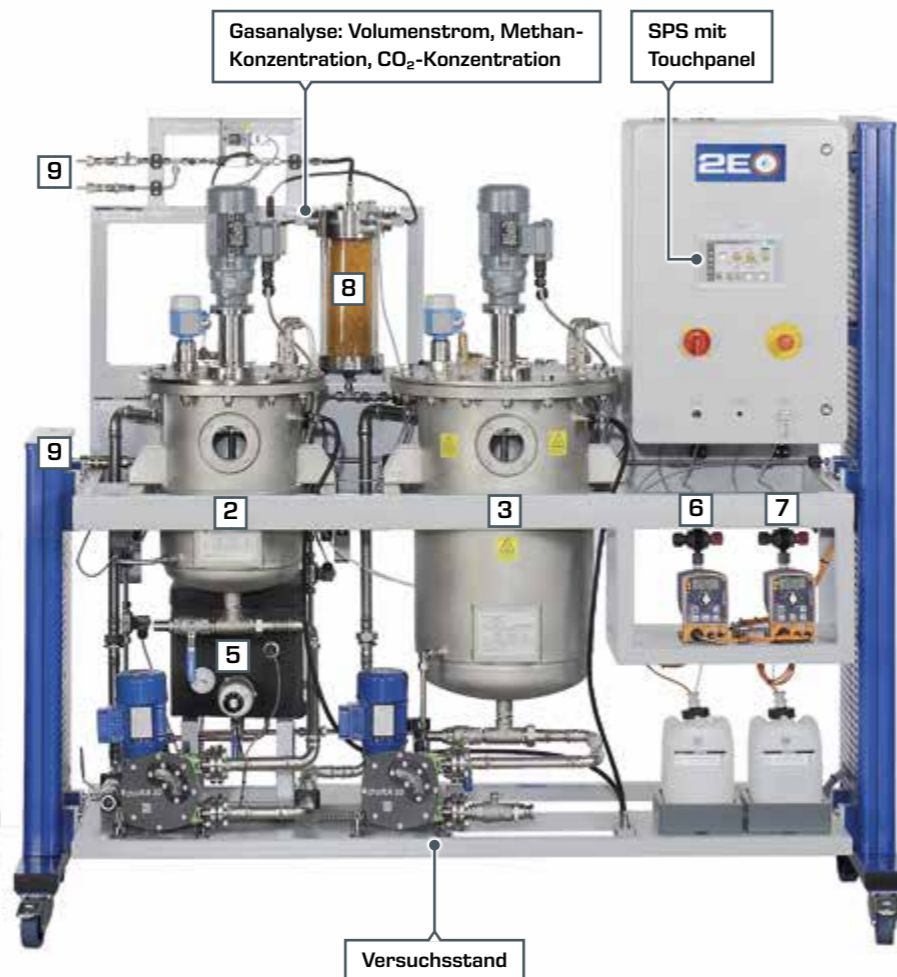
Mit CE 642 haben wir für Sie eine praxisnahe Anlage zur Erzeugung von Biogas unter Laborbedingungen entwickelt. CE 642 bietet Ihnen die Möglichkeit, alle wichtigen Einflussgrößen der Biogasproduktion gezielt zu untersuchen. Die erforderlichen Prozessschritte können über die SPS kontrolliert und automatisiert werden. Die Anlage ist mit umfangreicher Messtechnik und Datenerfassung ausgestattet, um alle erforderlichen Prozessgrößen zu erfassen.

Als Substrat dient eine Suspension aus zerkleinerten, organischen Feststoffen. Im ersten Rührreaktor findet die Hydrolyse und Versäuerung des Substrates statt. Dabei wandeln anaerobe Mikroorganismen langkettige organische Stoffe zu kurzkettigen organischen Stoffen um. Im zweiten Rührreaktor entsteht im letzten Schritt des anaeroben Abbaus Biogas, das überwiegend Methan und Kohlenstoffdioxid enthält. Durch diese zweistufige Betriebsweise können Sie die Umgebungsbedingungen in beiden Reaktoren getrennt voneinander einstellen und optimieren. Der Gärrest wird in einem separaten Behälter gesammelt.

Zum Produkt:



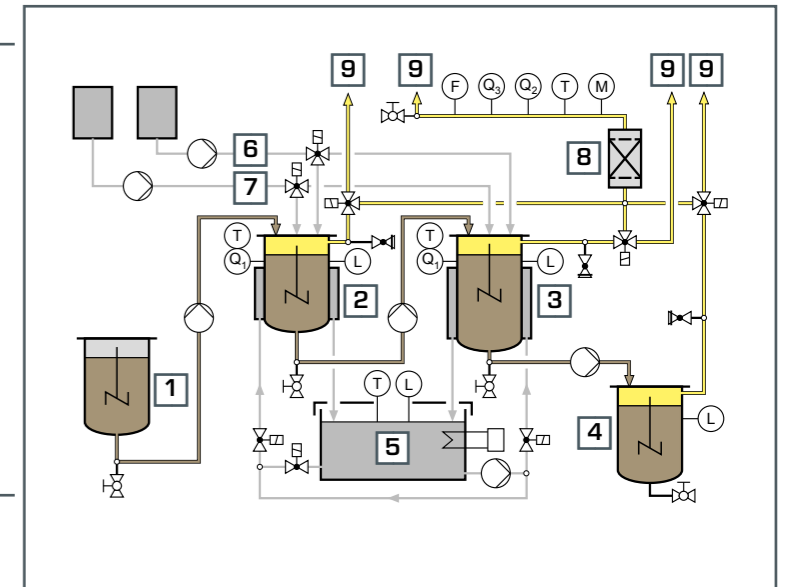
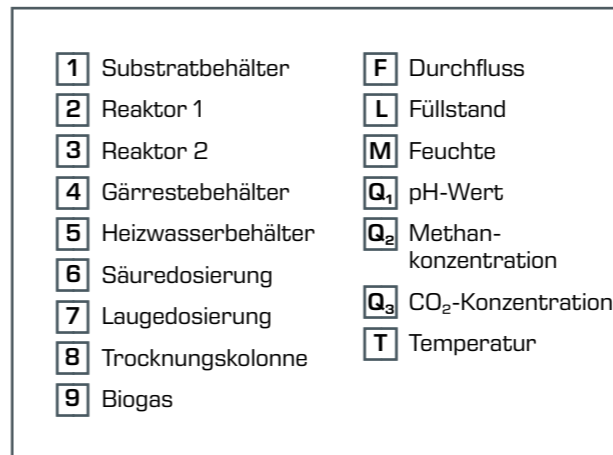
Industrielle Schlauchpumpe



Versorgungseinheit

Versuchsstand

Nachbehandlungseinheit



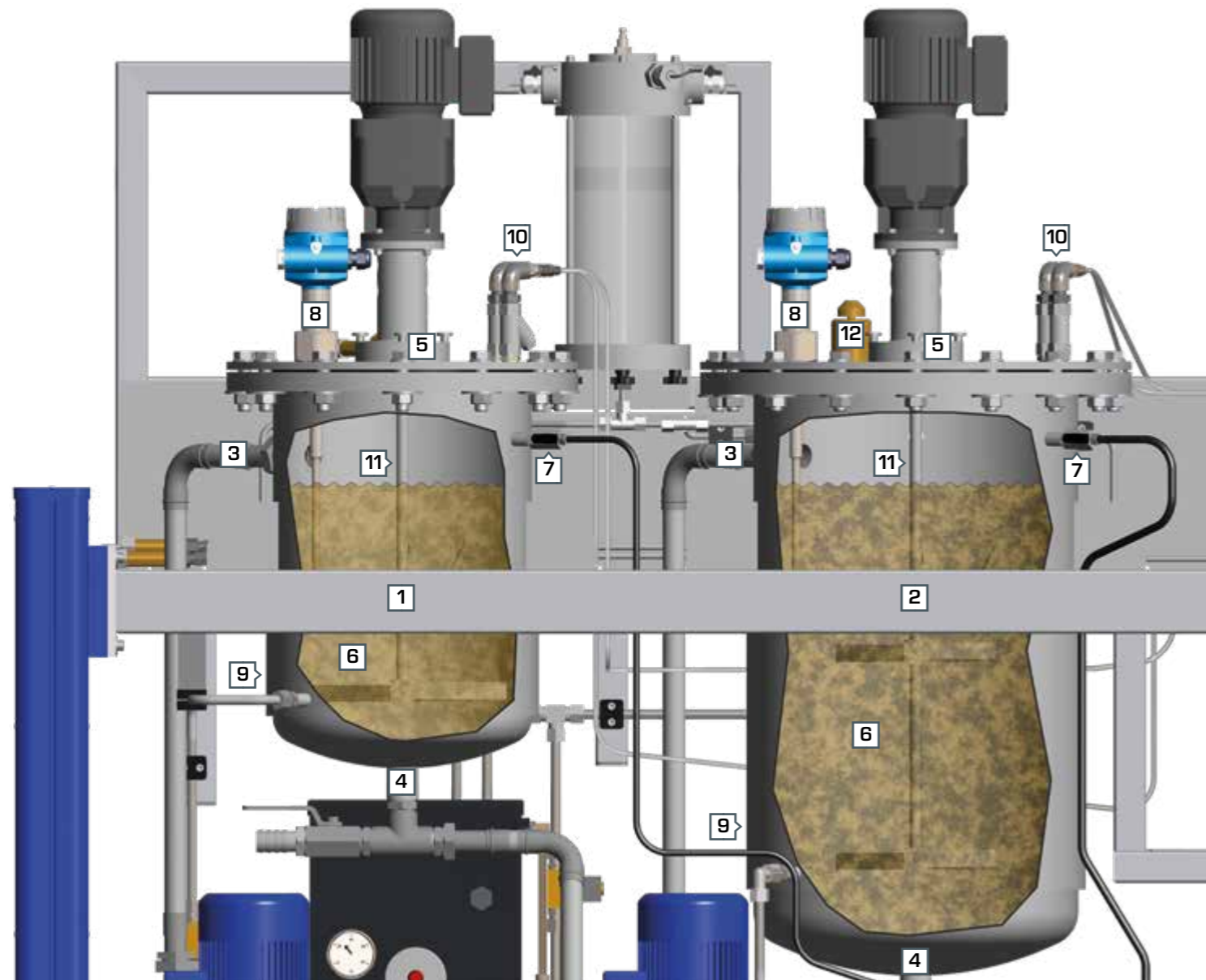
Silikagel in der Trocknungskolonne



Anschlüsse für Biogas ohne Gasanalyse

Lerninhalte

- Herstellung eines stabilen Betriebszustandes
- Einfluss der folgenden Prozessgrößen auf die Biogaserzeugung
 - Temperatur
 - Substrat
 - Raumbelastung
 - pH-Wert
- Einfluss der Betriebsweise auf die Biogasausbeute
 - einstufig und zweistufig
 - mit und ohne Nachgärung
 - kontinuierlich und diskontinuierlich
- Bestimmung folgender Größen in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen
 - Biogasausbeute
 - Biogasbildungsrate
 - Biogasqualität

CE 642
Biogasanlage

- | | | | |
|-------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|
| 1 Reaktor 1 | 4 Ablauf | 7 Anschluss für Inertgas | 10 Säure- und Laugedosierung |
| 2 Reaktor 2 | 5 Befüllöffnung | 8 Füllstandsmessung | 11 Rührwerk |
| 3 Zulauf | 6 Biomasse | 9 Doppelmantel zum Heizen | 12 Sicherheitsventil |

Je Reaktor steht eine Füllstands-, eine pH-Wert- und eine Temperaturmessung zur Verfügung. Substrat und Biomasse werden mit für Biogasanlagen typischen Schlauchpumpen gefördert. Die Temperierung erfolgt über einen Doppelmantel mit Heizwasser. Das Biogas kann analysiert oder direkt zur eigenen Verwendung geleitet werden.

SPS Bedienoberfläche



In der Bedienoberfläche der SPS im Menü **Gasanalyse** erhalten Sie den Überblick über die aktuelle Strömungsrichtung des Gases sowie die aktuellen Messwerte der Gasanalytik. Darüber hinaus wählen Sie den Messmodus **Auto** oder **Manuell** mit den Messzeiten je Behälter in diesem Menü aus. Sie können ebenfalls über dieses Menü die Verläufe der gespeicherten Messwerte aufrufen.

Die SPS für CE 642 ermöglicht die Erfassung der wichtigsten Größen

- | | | |
|---|---|------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Temperatur ■ pH-Wert ■ Füllstand ■ Drehzahl der Rührwerke ■ Volumenstrom ■ Methankonzentration ■ Kohlenstoffdioxidkonzentration | } | je Reaktor |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Temperatur ■ Feuchtigkeit ■ Volumenstrom und Menge | } | Gasanalyse |

Kundenreferenz aus Argentinien



INTI
Instituto Nacional de Tecnología Industrial



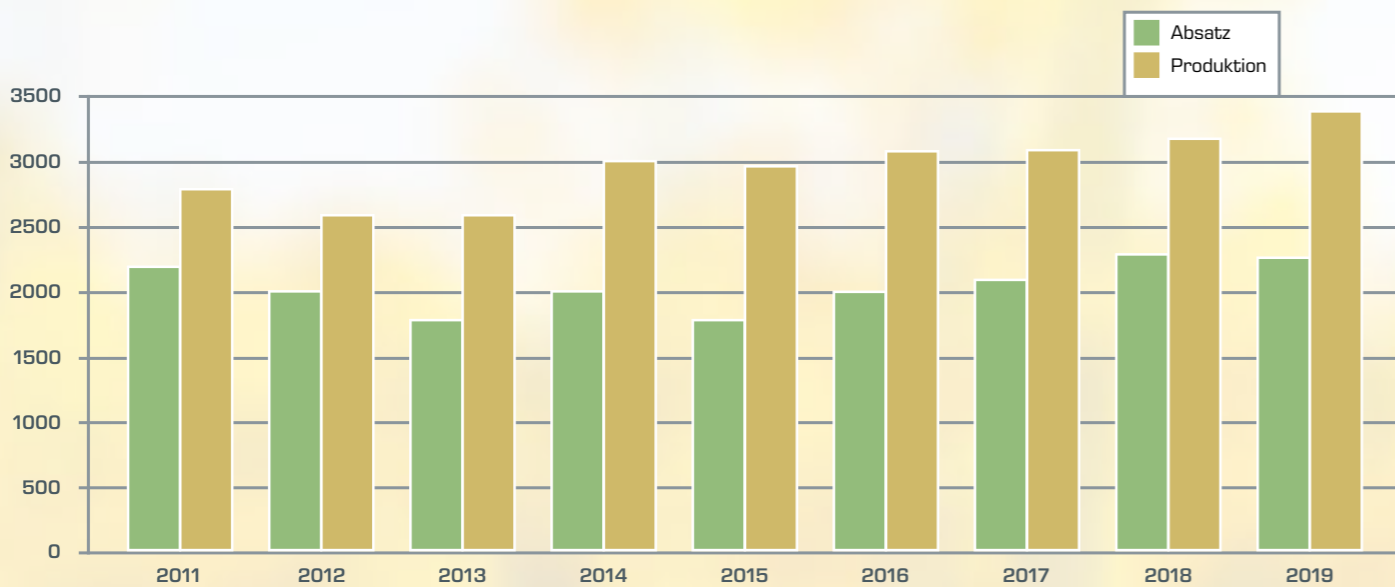
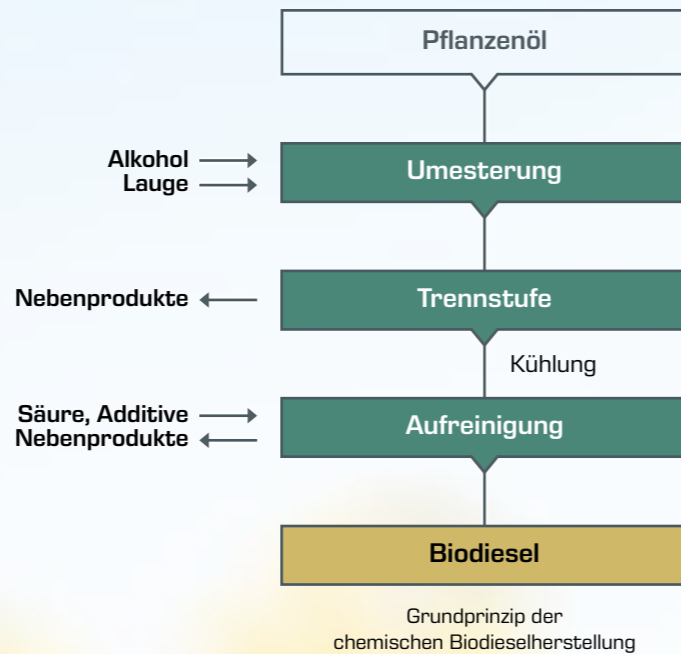
Basiswissen Biodiesel

Im Bereich der Biokraftstoffe ist Biodiesel ein wichtiger Bestandteil. Biodiesel kann aus unterschiedlichen Rohstoffen hergestellt werden, die vor allem je nach Region variieren.

Es finden hauptsächlich Pflanzenöle Anwendung, die chemisch oder biologisch in Biodiesel überführt werden. In den gemäßigten Breiten wird vielfach Rapsöl verwendet, in subtropischen Regionen wird häufig Palmöl eingesetzt.

Für den chemischen Prozess der Umesterung werden darüber hinaus verschiedene Einsatzstoffe wie z.B. kurzkettige Alkohole und Lauge benötigt.

Nach der erfolgreichen Herstellung ist eine Reinigung des Biodiesels für die Nutzung in Motoren notwendig. In dem zusätzlichen Prozessschritt wird hauptsächlich Wasser abgeschieden. Als Nebenprodukt fällt im Wesentlichen Glycerin an, für dessen Verwendung aktuell verschiedene Prozesse in der Erprobung sind. Aufgrund der hohen Biodieselproduktion sind ebenfalls große Mengen Glycerin verfügbar, die über den Bedarf der klassischen Verwendung als Frostschutzmittel und Salbengrundlage hinausgehen.



Biodieselentwicklung in Deutschland (in 1.000t)

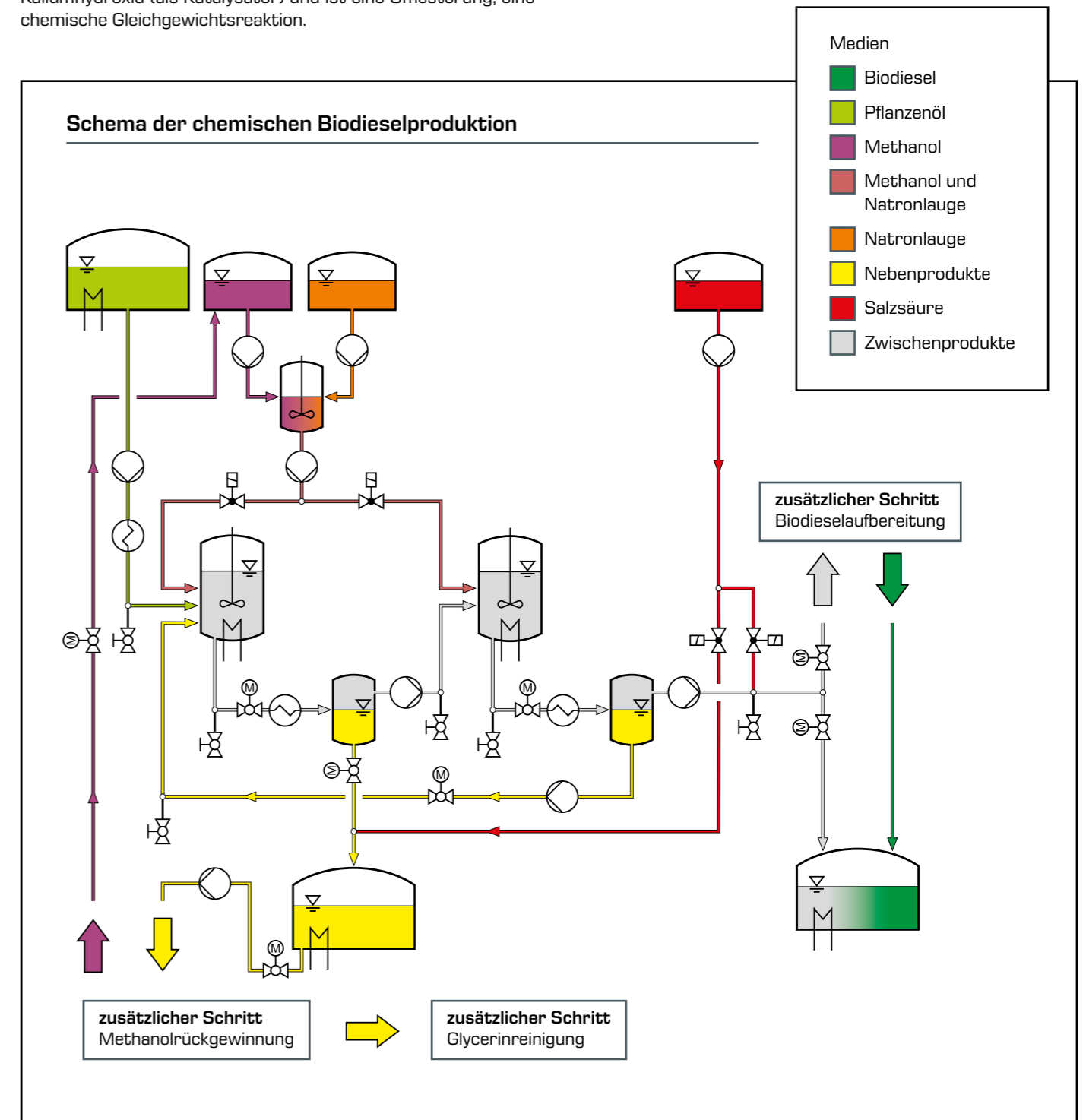
Quelle: Ufop, VDB, BAFA, BMF, FNR (April 2014) © FNR 2014

CE 650 Biodieselanlage

Biokraftstoffe für klimaneutrale Energie

Der Einsatz erneuerbarer Energieträger im Bereich der Mobilität kann durch den Ersatz fossiler Brennstoffe erfolgen. Eine Möglichkeit hierfür ist Biodiesel, der aus Pflanzenölen gewonnen wird. Die Herstellung erfolgt unter Zugabe von Methanol und Kaliumhydroxid (als Katalysator) und ist eine Umesterung, eine chemische Gleichgewichtsreaktion.

Im großtechnischen Maßstab erfolgt die Produktion kontinuierlich in Rührkesselreaktoren. Dieser Prozess wird von der Versuchsanlage CE 650 in kleinem Maßstab abgebildet.



CE 650 Biodieselanlage

Unter fachlichen Aspekten stellt die katalytisch aktivierte Herstellung von Biodiesel aus Pflanzenölen eine Gleichgewichtsreaktion der chemischen Reaktionstechnik dar, die Teil der chemischen Verfahrenstechnik ist.

Versuche mit CE650 zur Herstellung von Biodiesel im zweistufigen Prozess mit Methanolrückgewinnung und Biodieselwäsche bieten eine Vielzahl unterschiedlicher Prozessparameter. Diese können für die Optimierung des Prozesses angepasst werden.

Schritte der Biodieselherstellung

Die chemische Reaktion läuft bei Temperaturen von ca. 60°C ab. Nach der eingestellten Verweilzeit verlassen die Produkte den Reaktor. Die Produkte liegen als zweiphasiges Stoffgemisch vor: Eine biodieselreiche Phase und eine Phase mit Nebenprodukten. Die Nebenprodukte werden aus dem folgenden Phasentrenner (Abscheider) zum Lager gepumpt. Für die biodieselreiche Phase bestehen diese Optionen: Rückführung zum Reaktor, 2. Umesterungsstufe, Methanolrückgewinnung (Destillation) und Biodieselwäsche (Absorption).

Zum Produkt:



Transparente Behälter ermöglichen die kontinuierliche Beobachtung von Reaktionen und Trennvorgängen.



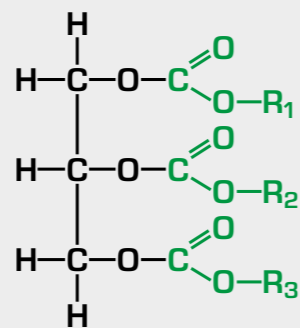
CE 650 Anlagenabschnitte

- 1 Versorgung
- 2 Umesterung 1. Stufe
- 3 Umesterung 2. Stufe
- 4 Methanolrückgewinnung
- 5 Biodieselwäsche
- 6 Lager

Die Anlagenabschnitte 1–6 sind übersichtlich auf dem zweigeteilten Versuchsstand angeordnet und lassen sich so auch für Unerfahrene leicht identifizieren.

Lerninhalte

- Erzeugung von Biodiesel aus Pflanzenöl
 - ▶ Einfluss der Verweilzeit
 - ▶ Einfluss der Temperatur
- chemische Umesterung
- Phasentrennung im Schwerkraftfeld
- Destillation
- Flüssig-Flüssig-Extraktion
- Anfahren eines kontinuierlichen Prozesses, bestehend aus mehreren Grundoperationen



Versuchsvorbereitung

Die CE 650 Versuchsanleitung umfasst ausführliche Geräte- und Versuchsbeschreibungen. Zur Versuchsvorbereitung wird hier zudem auf wesentliche Grundlagen wie die Chemie der Triglyceride eingegangen.



Anlagensteuerung per SPS

Die Versuchsanlage wird mit einer SPS gesteuert, die mittels eines Touchpanels bedient wird. Übersichtliche Bedienmasken für alle Anlagenteile ermöglichen es, aktuelle Messwerte zu verfolgen und Prozessparameter zu variieren. Über den integrierten Router kann die Bedienoberfläche zusätzlich auf weiteren Endgeräten dargestellt werden (Screen-Mirroring). Auch der Zugriff auf gespeicherte Messwerte ist via LAN/WLAN möglich.

Einführung	
Lernfelder Geothermie	128
Basiswissen Geothermie	130

Wärmeübertrager	
Basiswissen Wärmeübertrager	132
Übersicht WL 110 Geräteserie	134
WL 110 Versorgungseinheit Wärmeübertrager	136
WL 110.01 Doppelrohr-Wärmeübertrager	138
WL 110.02 Platten-Wärmeübertrager	139
WL 110.03 Rohrbündel-Wärmeübertrager	140
WL 110.05 Rippenrohr-Wärmeübertrager	141
WL 315C Vergleich von verschiedenen Wärmeübertragern	142

Oberflächennahe Geothermie	
Basiswissen Oberflächennahe Geothermie	144
ET 101 Einfacher Kompressionskältekreislauf	146
ET 262 Erdwärmesonde mit Heatpipe-Prinzip	148
ET 264 Erdwärmenutzung mit Zwei-Brunnensystem	150
Übersicht HL320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe	152

Tiefe Geothermie	
Basiswissen Tiefe Geothermie	154
Übersicht ET 850 & ET 851 Dampferzeuger und Axiale Dampfturbine	156
ET 850 Dampferzeuger	158
ET 851 Axiale Dampfturbine	160

Lernfelder
Geothermie

Lernfelder

Produkte

Die Voraussetzungen für die effektive Nutzung geothermischer Energie ist ein Vorkommen mit erhöhter Temperatur, eine effektive Wärmeübertragung in die weiteren Kreisläufe sowie die effiziente Nutzung der Energie. Je nach dem Temperaturniveau der Quelle kann die geothermische Energie ausschließlich zu Heizzwecken genutzt werden oder eine Verstromung mit Restwärmenutzung erfolgen.

Für die Übertragung der gewonnenen Wärme in die weiteren Kreisläufe werden bei beiden Nutzungsvarianten Wärmeübertrager benötigt. Der Nachteil mehrerer Kreisläufe ist der Energieverlust bei der Wärmeübertragung; der wesentliche Vorteil ist eine deutlich längere Standzeit der Anlage, da korrosive Bestandteile zurückgehalten werden.

In geothermischen Anlagen werden Wasserkreisläufe und Kältemittelkreisläufe mit Wärmepumpen zu Heizzwecken verwendet. Der Wasserkreislauf ist die effizientere Variante, da keine elektrische Energie für eine Wärmepumpe benötigt wird. Allerdings muss die Temperatur des Vorkommens höher sein.

Die Verstromung in z.B. Dampfturbinen erfordert erneut höhere Temperaturen, die in der tiefen Geothermie zu finden sind. Mit der gewonnen Energie wird ein Dampfkreislauf mit Turbine und Generator betrieben, der Strom produziert.

Wärmeübertrager

WL 110

Versorgungseinheit Wärmeübertrager

WL 110.01

Doppelrohr-Wärmeübertrager

WL 110.02

Platten-Wärmeübertrager

WL 110.03

Rohrbündel-Wärmeübertrager

WL 110.05

Rippenrohr-Wärmeübertrager

WL 315C

Versuchsstand für verschiedene Wärmeübertrager

Oberflächennahe Geothermie

ET 101

Einfacher Kompressionskältekreislauf

ET 262

Erdwärmesonde mit Heatpipe-Prinzip

ET 264

Erdwärmenutzung mit 2-Brunnensystem

HL 320

Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe (Kombination 3)

Tiefe Geothermie

ET 850

Dampferzeuger

ET 851

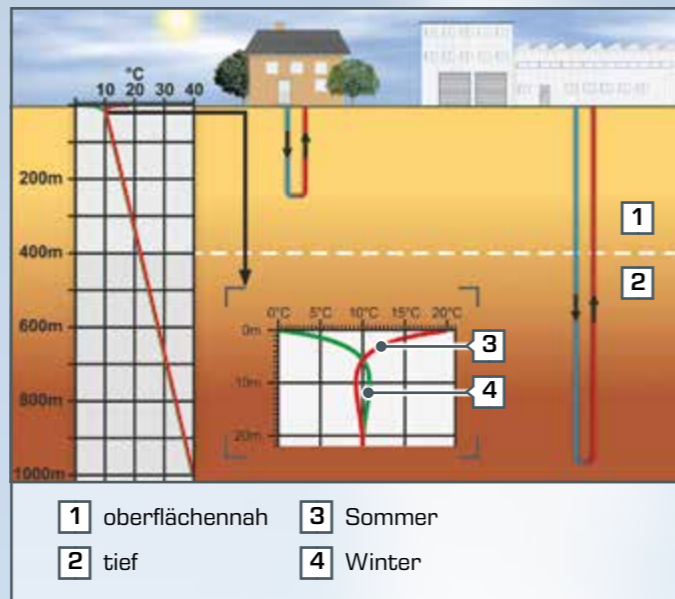
Axiale Dampfturbine

Basiswissen Geothermie

Wärmeenergie aus der Erde

Als Geothermie bezeichnet man die Nutzung der unterhalb der Erdoberfläche gespeicherten Wärmeenergie. Diese Wärmeenergie steht in der Regel überall und jederzeit zur Verfügung. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen erneuerbaren Energien (z.B. Solare Energie und Windkraft). Es liegt also nahe, die geothermische Energie zu nutzen.

Im oberen Bereich der Erdkruste (ca. 0...20m) wird die Temperatur durch die klimatischen Bedingungen an der Erdoberfläche bestimmt. Unterhalb dieses Bereiches ist die Temperatur zeitlich konstant und nur von der Tiefe abhängig. Im Mittel steigt die Temperatur pro 100m um ca. 3°C an. Die Wärmeenergie resultiert zum überwiegenden Teil aus dem Zerfall radioaktiver Isotope von Uran, Thorium und Kalium.



Unterscheidung der Vorkommen

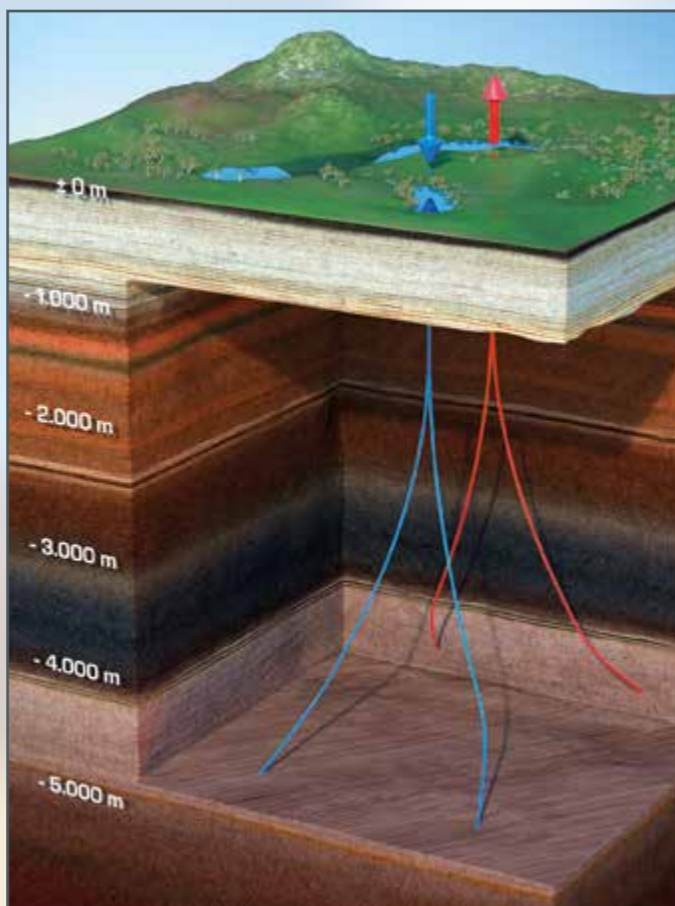
Üblicherweise wird bei der Geothermie zwischen der **oberflächennahen** Geothermie und der **tiefen** Geothermie unterschieden.

Oberflächennahe Geothermie

Bei der oberflächennahen Geothermie wird die im oberen Bereich der Erdkruste gespeicherte Wärmeenergie (ca. 0...400m) genutzt. Oberflächennahe Geothermie lässt sich besonders zum Heizen in privaten Haushalten sinnvoll einsetzen.

Tiefe Geothermie

Von tiefer Geothermie spricht man, wenn die Wärme in Regionen von ca. 400...5000m gespeichert ist. Da hierfür tiefe Bohrungen erforderlich sind, ist diese Form der Nutzung deutlich kostenintensiver als die oberflächennahe Geothermie. Daher eignet sich die tiefe Geothermie überwiegend für industrielle Anwendungen.



Nutzung der geothermischen Energie

Die Nutzung geothermischer Energie erfordert interdisziplinäres Fachwissen in verschiedenen Bereichen, wie z.B. Bergbau, Geologie, Maschinenbau, Anlagenbau und Bauwesen.

Die Verwendung der geothermischen Energie hängt auch von der Temperatur des Vorkommens ab. Ist die Temperatur gering, wird die Energie zum Heizen und Kühlen genutzt. Liegt eine hohe Temperatur vor, wird die Energie zur Stromerzeugung genutzt.

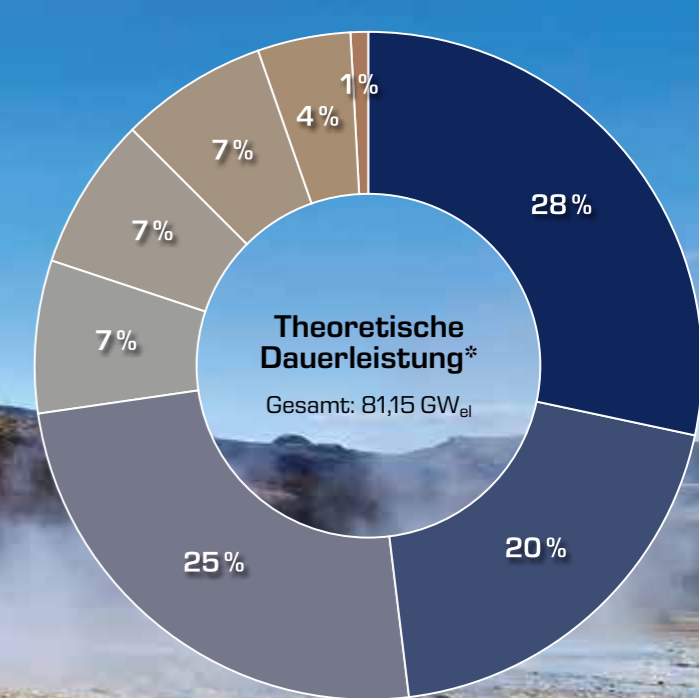
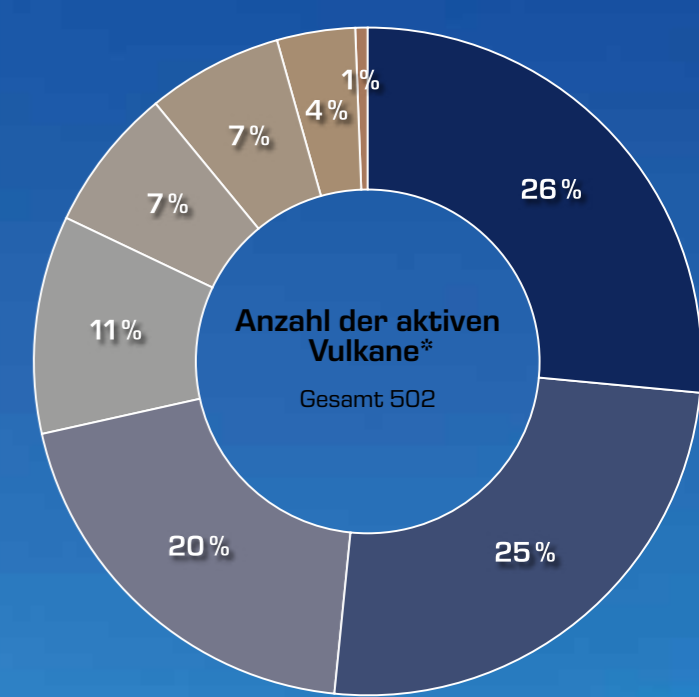
In der Gebäudetechnik werden z.B. für Fußbodenheizungen nur geringe Vorlauftemperaturen benötigt. Um die Bohrungstiefe gering zu halten, werden Wärmepumpen eingesetzt. Es können somit auch vermeintlich zu kalte oder warme Umgebungen zu Kühl- und Heizzwecken verwendet werden. Die Betriebskosten reduzieren sich somit auf den Betrieb der Wärmepumpe.

Potenzial und Ausblick

Das Potenzial zur Nutzung geothermischer Energie teilt sich den Vorkommen entsprechend auf. Für die Wärmeanomalien mit aktivem Vulkanismus wurde eine theoretische elektrische Dauerleistung von etwa 81 GW_{el} in nur 8 Ländern ermittelt. Als Größenvergleich dient der Bruttostromverbrauch in Deutschland von etwa 600 TWh im Jahr 2013. Dies entspräche einer Dauerleistung von 68 GW_{el}.

Der weltweite Vergleich zeigt, dass durch die Erschließung allein der theoretischen Dauerleistung aktiver Vulkanregionen 4% des Weltstrombedarfs gedeckt werden können. Werden weitere Vorkommen sowohl in Oberflächennähe als auch in größeren Tiefen erschlossen, wäre bereits in naher Zukunft eine deutlich höhere Deckung des weltweiten Bedarfs an Strom und Wärme aus geothermischen Quellen denkbar.

- USA
 - Indonesien
 - Japan
 - Philippinen
 - Mexico
 - Island
 - Neuseeland
 - Toskana (Italien)
- *ausgewählte Länder
Quelle: V. Steffansson: World geothermal assessment



Basiswissen

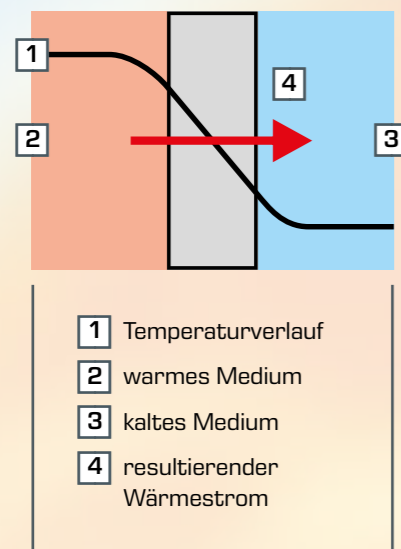
Wärmeübertrager

Wärmeübertragung

Grundsätzlich dienen Wärmeübertrager dem Zweck, die Wärme eines strömenden Stoffes auf einen anderen strömenden Stoff tieferer Ausgangstemperatur zu übertragen. Die Stoffe sind gasförmig oder flüssig. Grundlegend für die Wärmeübertragung ist die Temperaturdifferenz der beiden Medien als treibendes Gefälle.

Der gesamte übertragene Wärmestrom hängt außerdem direkt von der Übertragungsfläche ab. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Wandgeometrien (z. B. Rippen) verwendet, um die Übertragungsfläche zu vergrößern.

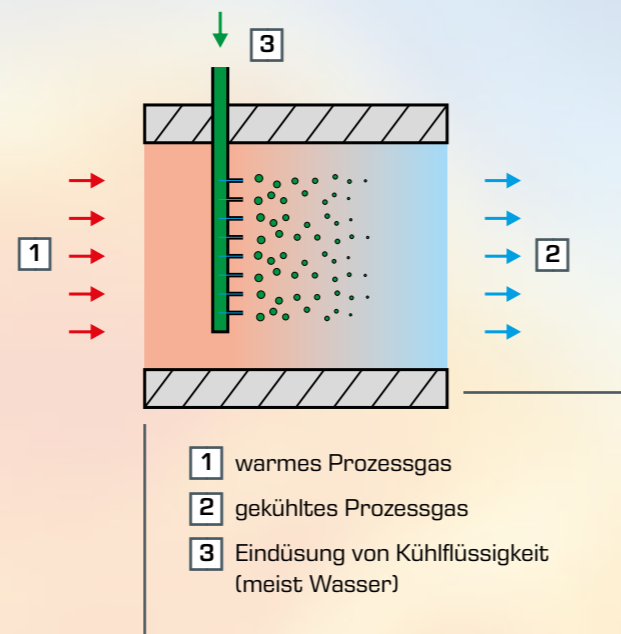
Die Wärmeübertragung gliedert sich in drei Abschnitte: Den Wärmeübergang vom wärmeren Medium an die Wand, die Wärmeleitung durch die Wand und den Wärmeübergang von der Wand an das kältere Medium.



Der Wärmeübergang vom Medium zur Wand bzw. von der Wand zum Medium ist u. a. von der Stoffart, der Strömungsgeschwindigkeit und den Aggregatzuständen der Medien abhängig. Die Wärmeleitung in der Wand hängt von der Wanddicke und dem Wandmaterial ab.

Kontaktart der beteiligten Medien

Wird in einem Produktionsprozess Wasser zur Kühlung eingespritzt, wird dies als direkte Wärmeübertragung bezeichnet. Eine Trennung des Kühlmittels und des Produktes ist nicht vorhanden. Die direkte Einspritzung von Wasser wird z. B. in Walzwerken der Stahlindustrie zur Zwischenkühlung oder in Nasskühltürmen im Kraftwerksbereich angewendet.

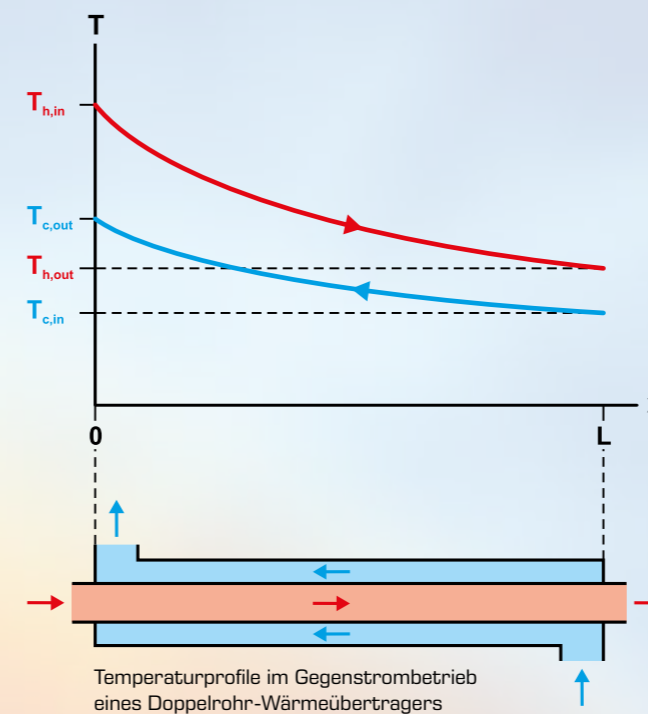


Im Gegensatz zur direkten Wärmeübertragung, wird die Wärmeübertragung bei räumlich getrennten Medien als indirekt bezeichnet. Die Trennung der beiden Stoffe erfolgt mit einer wärmedurchlässigen Wand. Der bekannteste Wärmeübertrager mit indirekter Wärmeübertragung ist der Heizkörper in der Haustechnik.

Ein Sonderfall stellt die halbindirekte Wärmeübertragung dar, die im Besonderen für Wärmespeicher verwendet wird. Diese Mischform wird durch die zeitlich getrennte Nutzung erreicht. Tagsüber wird mit einer Solarthermieanlage ein Wärmespeicher aufgeladen und nachts die Wärmeenergie als Raumwärme oder als Warmwasser wieder entladen.

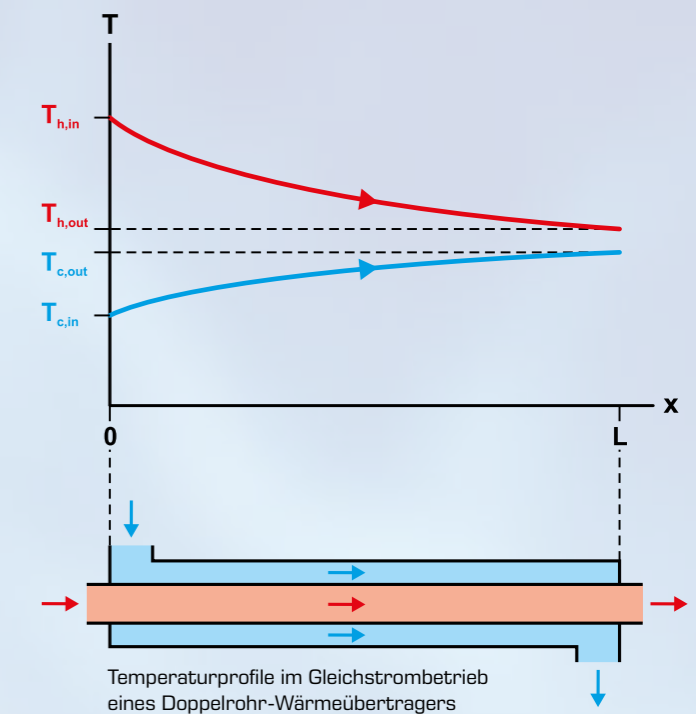
Strömungsführungen

Die möglichen Strömungsführungen indirekter Wärmeübertrager sind der Gegen-, Gleich- und Kreuzstrom oder Kombinationen aus diesen. Ein Beispiel für eine Kombination ist der Kreuzgegenstrom, der häufig bei Rohrbündel-Wärmeübertragern verwendet wird. Ist der zur Verfügung stehende Platz begrenzt, werden häufig Platten-Wärmeübertrager verwendet, die im Gegenstrom betrieben werden.



Im Gegenstrombetrieb tritt am Eingang des warmen Mediums das kalte Medium aus. Wenn die Auslegung des Wärmeübertragers gut ist, kann sogar eine höhere Austrittstemperatur der kalten Seite, als die der warmen Seite erreicht werden.

Bei einem Betrieb des Wärmeübertragers im Gleichstrom ist dies nicht möglich. Die Austrittstemperatur der kalten Seite kann maximal der Austrittstemperatur der warmen Seite entsprechen. Die Medien fließen im Gleichstrom nebeneinander her.



Die dritte Variante ist der Kreuzstrom, der im Besonderen für die exakte Temperierung eines temperaturempfindlichen Produktes verwendet wird.

Um die Vorteile aller Strömungsführungen zu nutzen, sind Kombinationen der Grundformen gebräuchlich. Für eine schnelle und sichere Temperierung großer Mengen an aggressiven Chemikalien kommt z. B. ein mehrgängiger Rohrbündel-Wärmeübertragers zum Einsatz.

Übersicht

WL 110 Geräteserie – Versuche zu Grundlagen der Wärmeübertragung

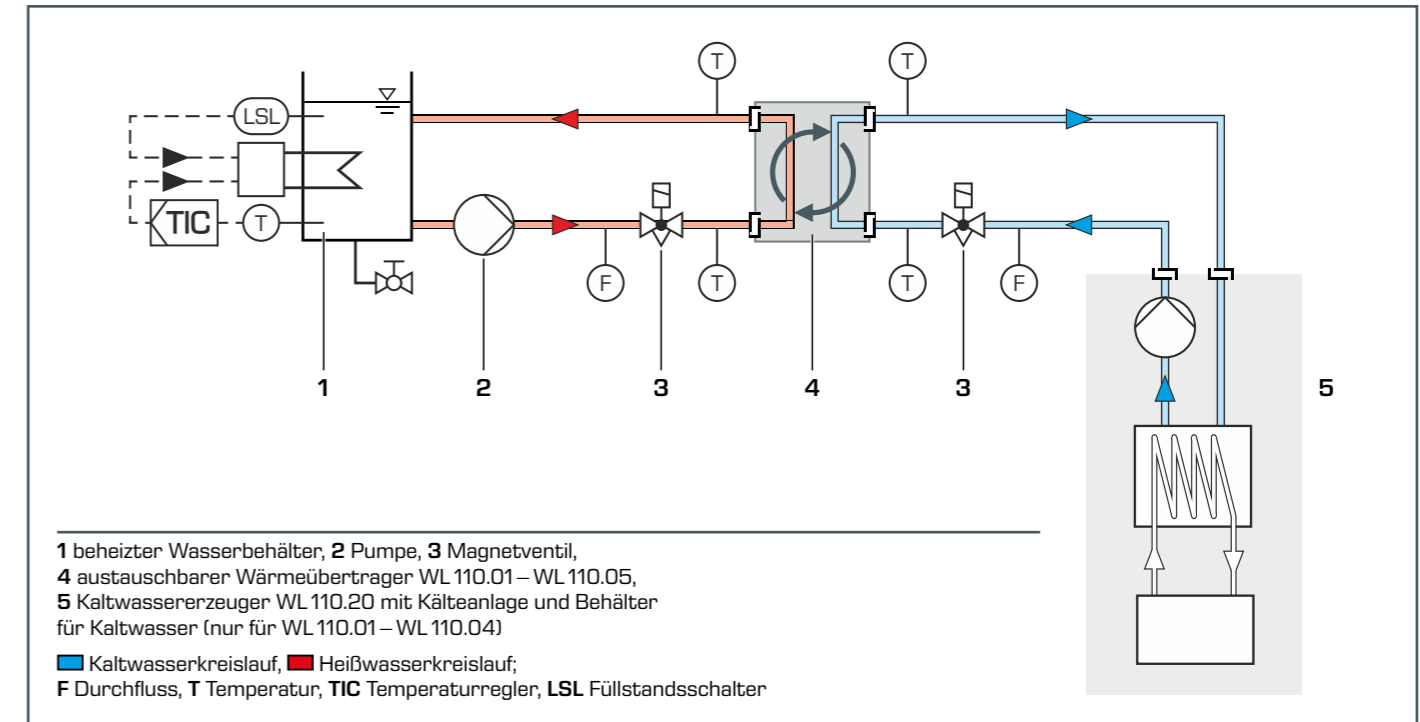
**WL 110
Versorgungseinheit**

Die Versorgungseinheit erzeugt Heißwasser. Alle Messwerte werden am Touchscreen des Gerätes angezeigt und können über eine LAN/WLAN-Verbindung übertragen werden.

**WL 110.20
Kaltwassererzeuger**

Mit dem optional erhältlichen Kaltwassererzeuger können die Wärmeübertrager bei geeigneten Versuchsbedingungen betrieben werden.

- automatische Erkennung des Zubehörs über RFID-Technologie
- energie- und wassersparende Technik, platzsparender Aufbau



Zum Produkt:

**WL 110.01****Doppelrohr-Wärmeübertrager**

- einfache Bauform
- transparentes Außenrohr bietet einsehbaren Strömungsraum
- Gleich- oder Gegenstrombetrieb möglich

**WL 110.02****Platten-Wärmeübertrager**

- kompakte Bauform
- Gleich- oder Gegenstrombetrieb möglich

**WL 110.03****Rohrbündel-Wärmeübertrager**

- transparentes Mantelrohr
- Medien strömen im Kreuzgegen- und Kreuzgleichstrom

**WL 110.04****Rührbehälter mit Doppelmantel und Rohrschlange**

- Heizen mit Mantel oder mit Rohrschlange
- Rührwerk zur besseren Vermischung des Mediums

**WL 110.05****Rippenrohr-Wärmeübertrager**

- Wärmeübertragung zwischen Wasser und Luft im Kreuzstrom
- Vergrößerung der wärmeübertragenden Oberfläche durch Rippen auf den Rohren

WL 110

Versorgungseinheit Wärmeübertrager

Reale Versuche – digitale Medien

Das digitale Lehr-Lern-Konzept bietet eine Interaktion zwischen realen Versuchen und digitaler Lehre mit:

1. Vorbereitung
 2. Durchführung
 3. Auswertung
- der Versuche.

Die Versorgungseinheit WL 110 stellt jeweils die Grundversorgung bereit. Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie die Schnittstellen werden ebenso von der Versorgungseinheit bereitgestellt.



Verbindung zu max. 10 mobilen Endgeräten über integrierten WLAN-Router

Datentransfer über LAN/WLAN zur vielseitigen externen Nutzung der Messwerte und Screenshots z.B. Auswertung in Excel



- intuitive Versuchsdurchführung über **Touchscreen** (HMI)
- Gerätesteuerung mit einer **SPS**, über Touchscreen oder ein Endgerät bedienbar
- integrierter WLAN-Router für Bedienung und Steuerung über ein Endgerät und für **Screen-Mirroring** an bis zu 10 Endgeräten: PC, Tablet, Smartphone
- automatische Systemkonfiguration
- Datenerfassung intern in der SPS
- Zugriff auf gespeicherte Messwerte ist von Endgeräten via WLAN mit integriertem Router / LAN-Anbindung über das kundeneigene Netzwerk möglich

1. Vorbereitung

Ortsunabhängige Versuchsvorbereitung mit GUNT E-Learning Kursen oder direkt am Versuchsgerät über das Basiswissen in der SPS.



2. Durchführung

Untersuchung und Vergleich verschiedener Wärmeübertrager, intuitive Führung durch die Versuche über Touchscreen.



3. Auswertung

Direkt am Versuchsgerät und via Datentransfer von Messwerten und Screenshots auch ortsunabhängig möglich.

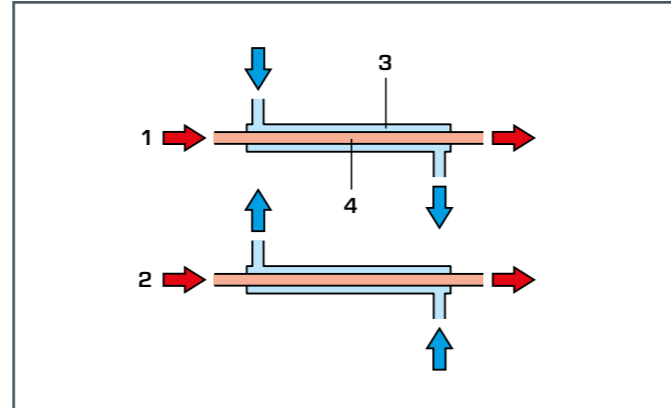


WL 110.01 Doppelrohr-Wärmeübertrager

Doppelrohr-Wärmeübertrager stellen die einfachste Bauart der Wärmeübertrager dar. Sie werden bevorzugt eingesetzt, wenn Wärme bei hohen Druckunterschieden oder zwischen hochviskosen Medien übertragen wird. Ein Vorteil ist der gleichmäßig durchströmte Rohrraum, der frei von Strömungstotzonen ist.

Das heiße Wasser wird durch das Kernrohr (innen) geleitet und das kalte Wasser durch das Mantelrohr (außen). Dabei gibt das heiße Wasser kontinuierlich einen Teil seiner thermischen Energie an das kalte Wasser ab.

Am Doppelrohr-Wärmeübertrager befinden sich zwei zusätzliche Temperaturempfänger zur Messung der Temperatur nach der Hälfte der Übertragungsstrecke.



1 Gleichstrombetrieb, 2 Gegenstrombetrieb,
3 äußeres Rohr mit kaltem Wasser,
4 inneres Rohr mit heißem Wasser
■ Kaltwasserseite, ■ Heißwasserseite



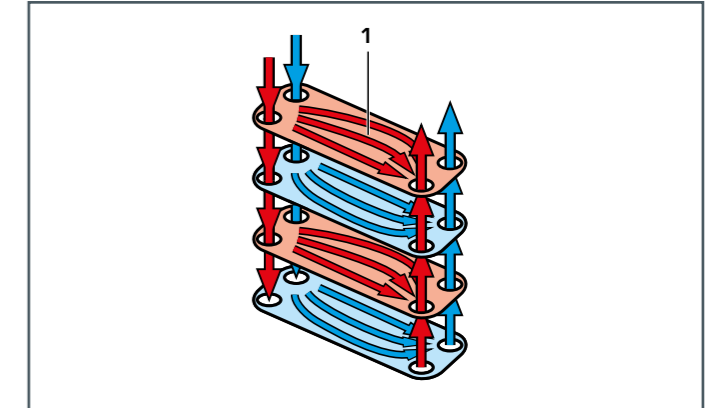
Zum Produkt:



WL 110.02 Platten-Wärmeübertrager

Platten-Wärmeübertrager zeichnen sich vor allem durch ihre kompakte Bauform aus, bei der das gesamte Material zur Wärmeübertragung genutzt wird. Ein Vorteil ist der geringe Platzbedarf, bezogen auf die Wärmeübertragungsfläche.

Der Platten-Wärmeübertrager besteht aus mehreren profilierten Platten. Durch Verbinden der Platten miteinander entstehen zwei hermetisch voneinander getrennte Rohrkanäle. Jeweils ein kalter und ein heißer Rohrkanal wechseln sich in der Anordnung ab. Die profilierten Platten sorgen für eine Durchmischung des Wassers und verbessern die Wärmeübertragung.



1 Platte mit gepresstem Profil
■ Kaltwasserseite, ■ Heißwasserseite



Zum Produkt:



Lerninhalte

- Funktion und Verhalten im Betrieb eines Doppelrohr-Wärmeübertragers
- Temperaturverläufe aufnehmen
 - ▶ im Gleichstrombetrieb
 - ▶ im Gegenstrombetrieb
- mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ermitteln
- mit anderen Wärmeübertragertypen vergleichen



Lerninhalte

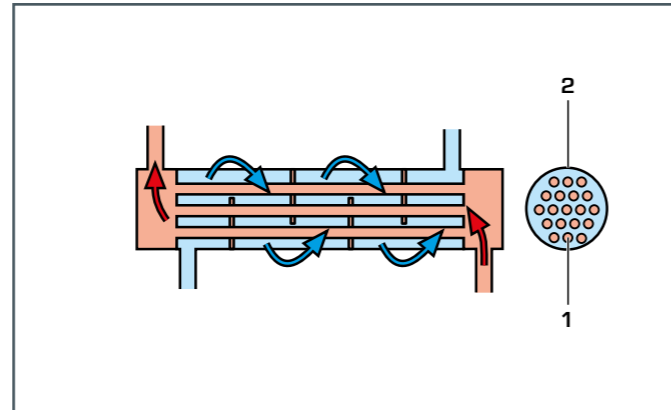
- Funktion und Verhalten im Betrieb eines Platten-Wärmeübertragers
- Temperaturverläufe aufnehmen
 - ▶ im Gleichstrombetrieb
 - ▶ im Gegenstrombetrieb
- mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ermitteln
- mit anderen Wärmeübertragertypen vergleichen



WL 110.03 Rohrbündel-Wärmeübertrager

Rohrbündel-Wärmeübertrager zeichnen sich durch die große Wärmeübertragungsfläche und die kompakte Bauform aus.

Der Rohrbündel-Wärmeübertrager besteht aus sieben Kernrohren, umgeben von einem transparenten Mantelrohr. Das heiße Wasser fließt durch die Kernrohre, das kalte Wasser durch das Mantelrohr. Dabei gibt das heiße Wasser einen Teil seiner thermischen Energie an das kalte Wasser ab. Mit Hilfe von Umlenklechen wird die Strömung im Mantelraum so umgelenkt, dass eine stärkere Turbulenz und damit ein intensiverer Wärmeübergang erzeugt wird. Die Medien strömen kontinuierlich im Kreuzgegen- und Kreuzgleichstrom.



1 Kernrohr, 2 Mantelrohr
 ■ Kaltwasserseite, ■ Heißwasserseite



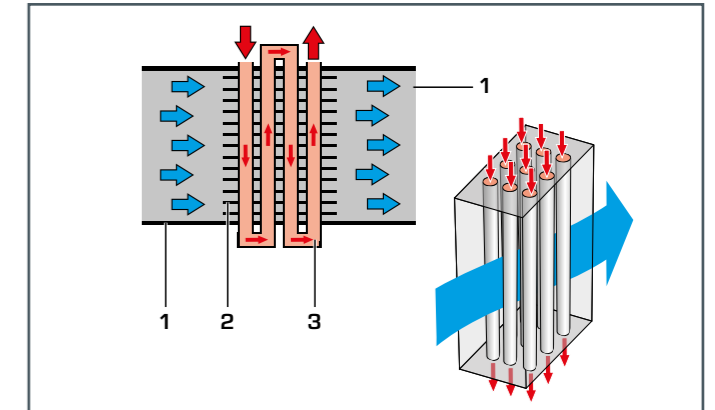
Zum Produkt:



WL 110.05 Rippenrohr-Wärmeübertrager

Die wärmeübertragende Oberfläche eines Wärmeübertragers kann durch Aufbringen von Rippen effektiv vergrößert werden. Dieses Prinzip wird im Rippenrohr-Wärmeübertrager vor allem dazu genutzt, um mit der Umgebungsluft einen geschlossenen Kreislauf zu kühlen oder zu erwärmen.

Der Rippenrohr-Wärmeübertrager besteht aus einem luftdurchströmten Kastenprofil, das mehrfach von der heißwasserführenden Rohrstrecke durchquert wird. Dadurch wird ein Kreuzstrom der wärmeübertragenden Medien realisiert. Das heiße Wasser gibt einen Teil seiner thermischen Energie an die Luft ab. Zur Vergrößerung der wärmeübertragenden Oberfläche sind Rippen auf der Rohrstrecke aufgebracht.



1 Luftkanal, 2 Rippen, 3 wasserführende Rohrleitung
 ■ kalte Luft, ■ Rohrleitung mit heißem Wasser



Zum Produkt:



Lerninhalte

- Funktion und Verhalten im Betrieb eines Rohrbündel-Wärmeübertragers
- Temperaturverläufe aufnehmen
 - ▶ im Kreuzgleichstrombetrieb
 - ▶ im Kreuzgegenstrombetrieb
- mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ermitteln
- mit anderen Wärmeübertragertypen vergleichen



Lerninhalte

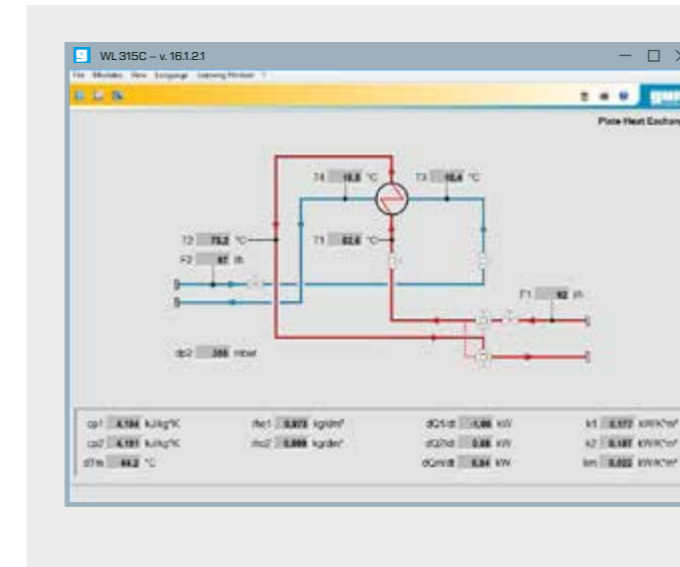
- Funktion und Verhalten im Betrieb eines Rippenrohr-Wärmeübertragers
- mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ermitteln
- Wärmeübertragung zwischen Wasser und Luft im Kreuzstrom
- Einfluss der Wärmekapazität
- mit anderen Wärmeübertragertypen vergleichen



WL 315C Vergleich von verschiedenen Wärmeübertragern

In der Praxis werden je nach Anforderung unterschiedliche Wärmeübertragertypen eingesetzt. Mit dem Versuchsstand WL 315C können Sie fünf verschiedene Bauarten von Wärmeübertragern untersuchen und vergleichen. Der Wärmeübergang in den verschiedenen Wärmeübertragern erfolgt dabei nach dem Gegen- oder Gleichstromprinzip mit verschiedenen Fluiden. Der zu untersuchende Wärmeübertrager wird am Schaltschrank angewählt. Den Wechsel zwischen Gleich- und Gegenstrom führen Sie über Ventile aus. Den Durchfluss im

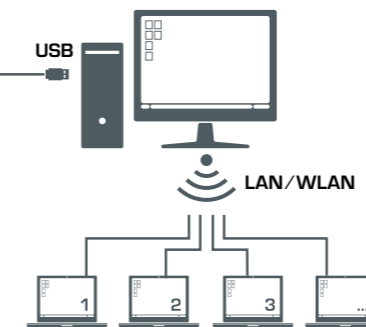
Warmwasser- bzw. Kaltwasserkreislauf stellen Sie ebenfalls mit Ventilen ein. Das warme Wasser durchströmt den Wärmeübertrager und gibt dabei einen Teil seiner thermischen Energie an das kalte Wasser ab. Der Versuchsstand ist mit Aufnehmern für Differenzdrücke und Temperaturen ausgestattet. Der Durchfluss wird mit einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser bestimmt. Die Messwerte können Sie an digitalen Anzeigen ablesen und gleichzeitig mittels USB direkt auf einen PC übertragen und dort mit Hilfe der mitgelieferten Software auswerten.



Die Software für WL 315C erfasst folgende Messgrößen

- Temperaturverläufe entlang der Wärmeübertrager
- Eingangs- und Ausgangstemperaturen
- Durchfluss des Warm- und Kaltwassers
- Druckverlust über den Wärmeübertrager

Mit der Software können Sie ebenfalls die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der verschiedenen Wärmeübertrager bestimmen. In einer separaten Ansicht werden die Stoffdaten der Wärmeträger aufgeführt und die Berechnung der charakteristischen Werte mit den Messdaten ausgeführt.



Mit der Warmwasserversorgung (WL 312.10) und der Kaltwasserversorgung (WL 312.11) können Sie WL 315C als unabhängiges System mit geschlossenem Wasserkreislauf betreiben. Ein optional erhältlicher Wärmeübertrager Dampf/Wasser (WL 315.01) sowie der elektrische Dampferzeuger (WL 315.02) erweitern den Versuchsumfang.

Zum Produkt:



- 1 Entlüfter
- 2 Doppelrohr-Wärmeübertrager
- 3 Temperaturlaufnehmer
- 4 Platten-Wärmeübertrager
- 5 Druckaufnehmer
- 6 Verstellarmaturen
- 7 Rippenrohr-Wärmeübertrager
- 8 Anströmkanal
- 9 Gebläse
- 10 Rohrbündel-Wärmeübertrager
- 11 Rührbehälter mit Doppelmantel und Rohrschlange
- 12 Schaltschrank

Lerninhalte

- Wärmeübertragungsprozesse kennenlernen
 - ▶ Wärmeübertragung
 - ▶ Wärmeleitung
- Messung relevanter Temperaturen und Durchflüsse
- Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten
- Erstellung von Temperaturverläufen für die verschiedenen Wärmeübertragertypen
 - ▶ Gleichstrom
 - ▶ Gegenstrom
 - ▶ Kreuzgleichstrom
 - ▶ Kreuzgegenstrom
- Vergleich der verschiedenen Wärmeübertragertypen untereinander
 - ▶ Platten-Wärmeübertrager
 - ▶ Doppelrohr-Wärmeübertrager
 - ▶ Rohrbündel-Wärmeübertrager
 - ▶ Rippenrohr-Wärmeübertrager
 - ▶ Rührbehälter mit Doppelmantel und Rohrschlange

Basiswissen

Oberflächennahe Geothermie

Das Grundprinzip

Der oberflächennahen Geothermie liegt das gleiche Grundprinzip wie bei der Solarthermie zugrunde. Als Wärmequelle fungiert jedoch nicht die Sonne, sondern der Boden. Im Boden befindet sich ein Rohrleitungssystem, in dem ein flüssiges Wärmeträgermedium zirkuliert. Im Boden erwärmt sich das Medium und

überträgt die gespeicherte Wärme im Haus an eine Wärmepumpe. Die Wärmepumpe hebt die aus dem Boden gewonnene Wärme auf ein höheres und somit nutzbares Energieniveau (thermodynamischer Kreisprozess).

Technische Ausführungen der Nutzung

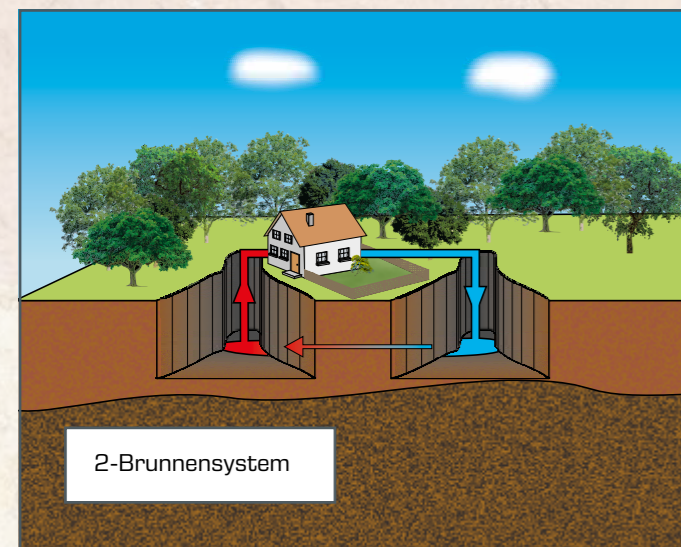
Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Wärmeenergie der Erdoberfläche zu nutzen. Die technische Ausführung ist von den lokalen Gegebenheiten, der gewünschten Leistung und der Kombination mit anderen Energiesystemen abhängig. Im Bereich der oberflächennahen Geothermie wird zum einen zwischen offenen und geschlossenen Systemen und zum anderen zwischen Kollektoren und Sonden unterschieden. Für Erdwärmesonden sind darüber hinaus verschiedene Rohrleitungssysteme verfügbar.

Erdwärmekollektoren bestehen aus einer horizontal im Boden verlegten Rohrleitung. Diese Rohrleitung befindet sich in einer Tiefe von ca. 1...2m. Erdwärmesonden haben eine vertikale Ausrichtung und können bis zu einer Tiefe von ca. 100m in den Boden reichen. Brunnensysteme nutzen die Wärmeenergie des Grundwassers mittels zweier Brunnen. Die Förderung erfolgt mit dem Quellbrunnen, die Rückführung mit dem Senkbrunnen entgegen der Strömungsrichtung.

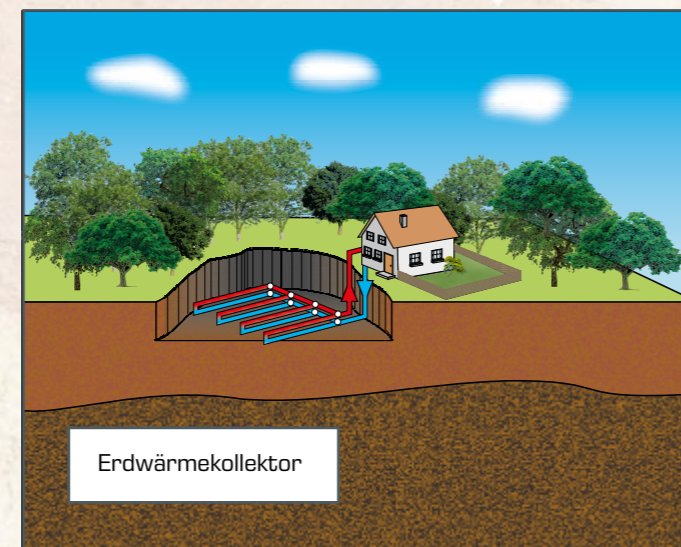
Wärmeübertrager und Wärmepumpen

Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden und Brunnensysteme fungieren bei der oberflächennahen Geothermie als Wärmeübertrager und stellen somit die Antriebsenergie der thermodynamischen Kreisprozesse von Wärmepumpen dar. Die Kreisprozesse veranschaulichen die wirtschaftliche Nutzung der Erdwärme zu Heizzwecken auch bei eigentlich zu geringen Quelltemperaturen.

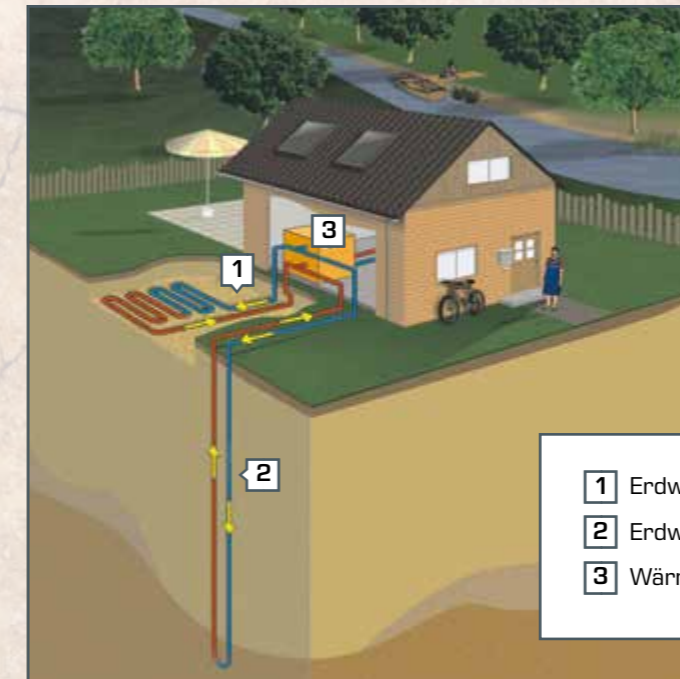
Neben dem Betrieb mit Wasser als Wärmeübertragermedium, werden auch Kältemittel verwendet. Die sogenannten Heatpipesysteme als Erdwärmesondentyp nutzen die großen Energiemengen bei Verdampfung und Kondensation für eine effektive Energieübertragung.



2-Brunnensystem



Erdwärmekollektor



- 1 Erdwärmekollektor
- 2 Erdwärmesonde
- 3 Wärmepumpe

Ressourcenschonendes Heizen

Bereits in geringen Tiefen lässt sich geothermische Energie effektiv nutzen. Die oberflächennahe Geothermie eignet sich vor allem zur Wärmeversorgung in privaten Haushalten und in kleinen Industriebetrieben.

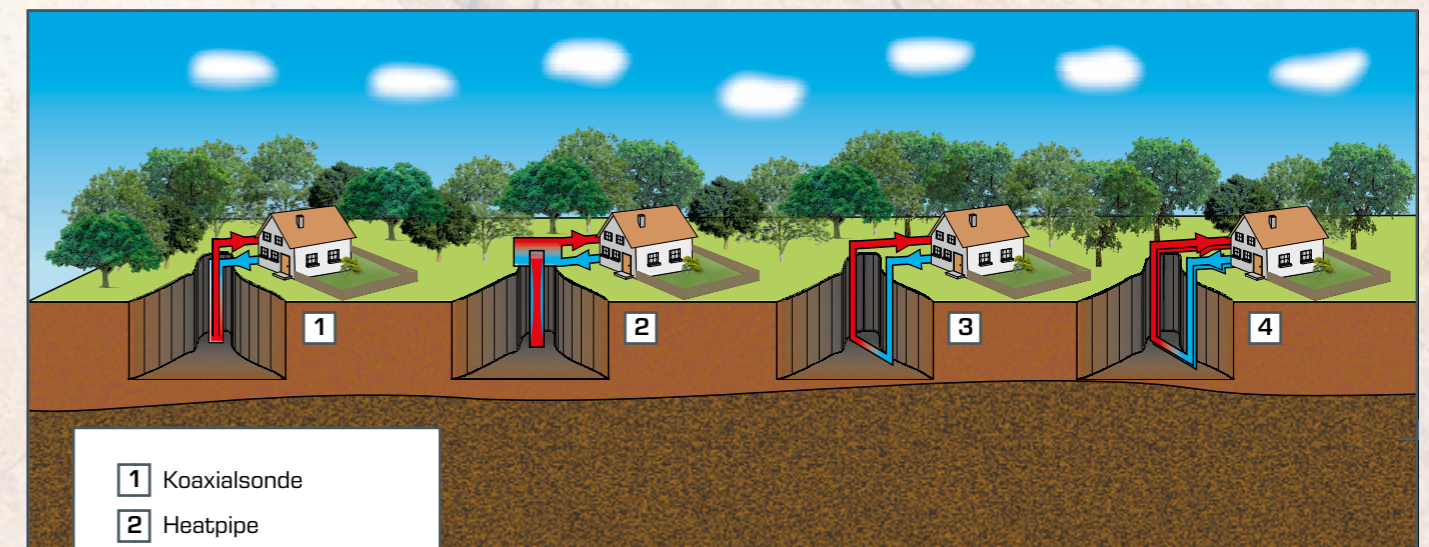
Mit der Nutzung von Wärmepumpen reduzieren sich die Heiz- bzw. Betriebskosten auf die elektrische Leistungsaufnahme der Umwälzpumpen und des Verdichters.

Es können auch verschiedene Nutzungstypen kombiniert werden. Bei vorhandenen Freiflächen kann ein Kollektor z.B. zusammen mit einer Erdwärmesonde verwendet werden.

Erdwärmesonden

Für Erdwärmesonden sind verschiedene Bauformen verfügbar, die unterschiedliche Vorteile aufweisen. Die U-Rohrsonden und die Doppel-U-Rohrsonde befinden sich bereits im technischen

Einsatz und werden, z.B. bei Pfahlgründungen mit eingelassen. Die Wärmeversorgung kann so mit geringen zusätzlichen Investitionen mit Erdwärme erfolgen.



- 1 Koaxialsonde
- 2 Heatpipe
- 3 U-Rohrsonde
- 4 Doppel-U-Rohrsonde

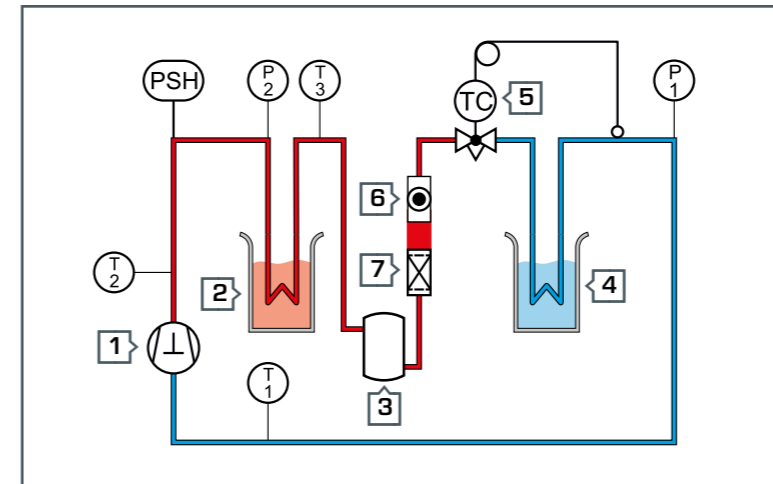
ET101 Einfacher Kompressionskältekreislauf



Mit diesem Versuchsgerät können Sie den Aufbau und die Funktionsweise einer Wärmepumpe anhand eines einfachen Kompressionskältekreislaufs vermitteln und für den Lernenden direkt fühlbar veranschaulichen.

Im Bereich der oberflächennahen Geothermie ist der Einsatz von Wärmepumpen notwendig, um die aus dem Boden gewonnene Wärmeenergie auf ein nutzbares Energieniveau zu erhöhen. Die Energie im Boden wird dabei auf ein Wärmeträgermedium, in der Regel Wasser, übertragen und somit zum Heizen nutzbar.

Zum Produkt:



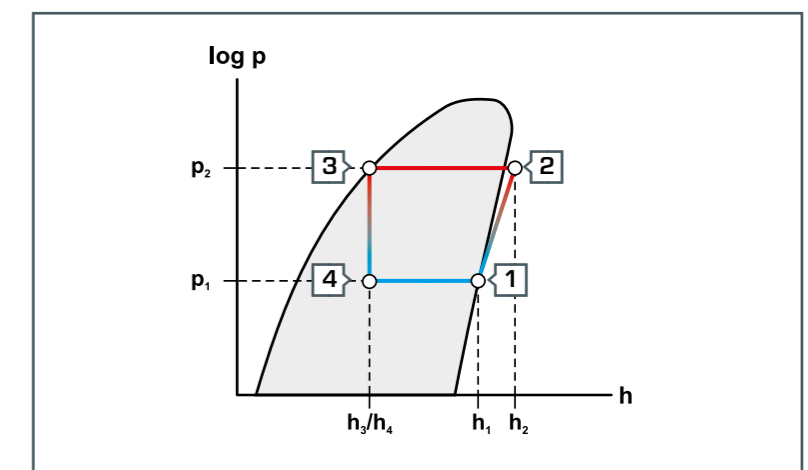
- | | |
|----------------|--------------------|
| 1 Verdichter | 5 Expansionsventil |
| 2 Verflüssiger | 6 Schauglas |
| 3 Sammler | 7 Filter/Trockner |
| 4 Verdampfer | |
- P Druck, PSH Druckschalter, T Temperatur

ET101 beinhaltet alle für den Betrieb einer Wärmepumpe notwendigen Komponenten. Die Verwendung handelsüblicher Komponenten aus der Kältetechnik sichert einen hohen Wiedererkennungswert aus der Praxis.

Alle für den Prozess notwendigen Messgrößen werden analog an den jeweiligen Orten der Messung angezeigt.

Für angehende Ingenieure und Fachkräfte im Bereich der Energietechnik sind die Kenntnisse über diesen Kreisprozess unverzichtbarer Bestandteil der Ausbildung.

Die Energie für die Verdichtung ist elektrisch aufzubringen. Die für die Verdampfung erforderliche Energie wird der Erde entnommen und nach der Verdichtung bei höherem Druck z. B. über eine Fußbodenheizung zum Heizen verwendet.

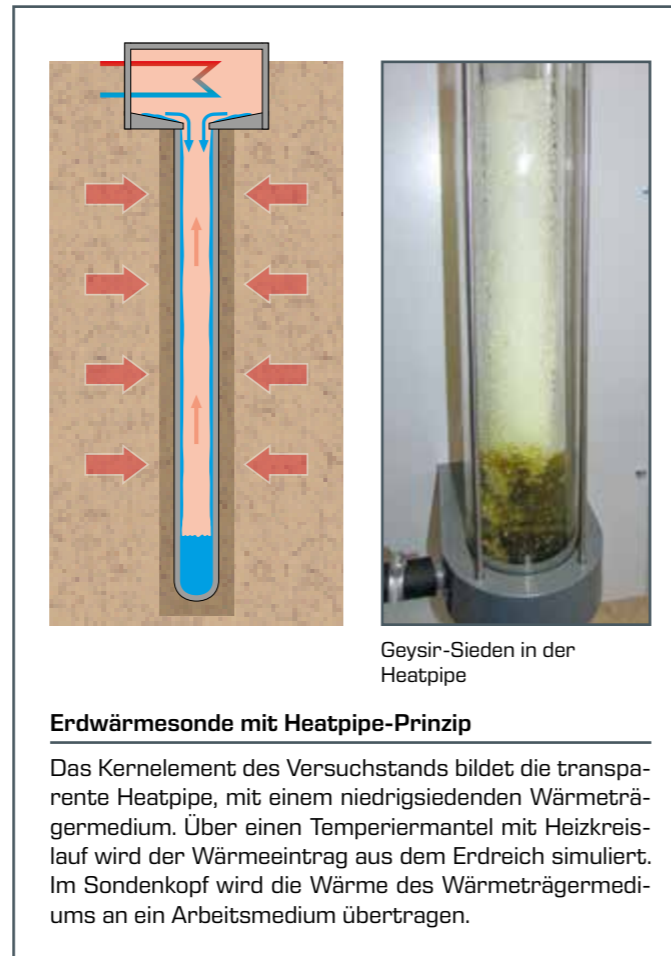


- | | |
|-------|--------------|
| 1 → 2 | Verdichtung |
| 2 → 3 | Kondensation |
| 3 → 4 | Expansion |
| 4 → 1 | Verdampfung |
- p Druck, h Enthalpie

Lerninhalte
■ Grundlagen eines Kompressionskältekreislaufs
■ Hauptkomponenten einer Kälteanlage <ul style="list-style-type: none"> ▶ Verdichter ▶ Verdampfer ▶ Verflüssiger ▶ Expansionselement
■ Zusammenhang zwischen Druck und Siedepunkt einer Flüssigkeit
■ Funktion einer Kälteanlage / Wärmepumpe
■ Grundverständnis für den thermodynamischen Kreisprozess entwickeln
■ einfache Energiebilanz

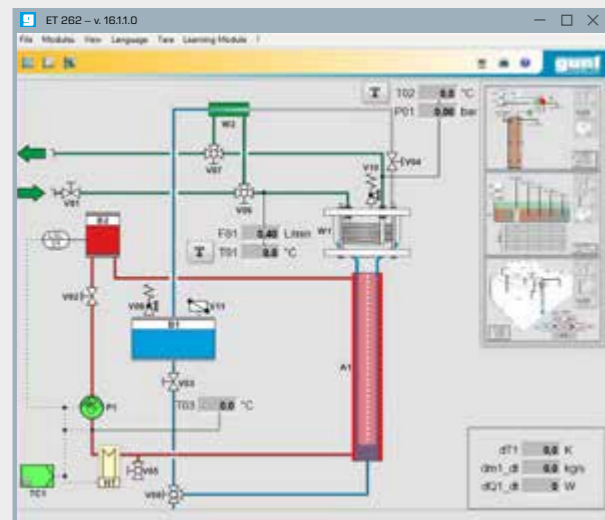
ET 262 Erdwärmesonde mit Heatpipe-Prinzip

Eine Heatpipe oder ein Wärmerohr ist ein Wärmeübertrager, der unter Nutzung von Verdampfungswärme eines Stoffes eine hohe Wärmestromdichte erlaubt. Die Anwendung von Heatpipes in der Geothermie wird mit ET 262 demonstriert.



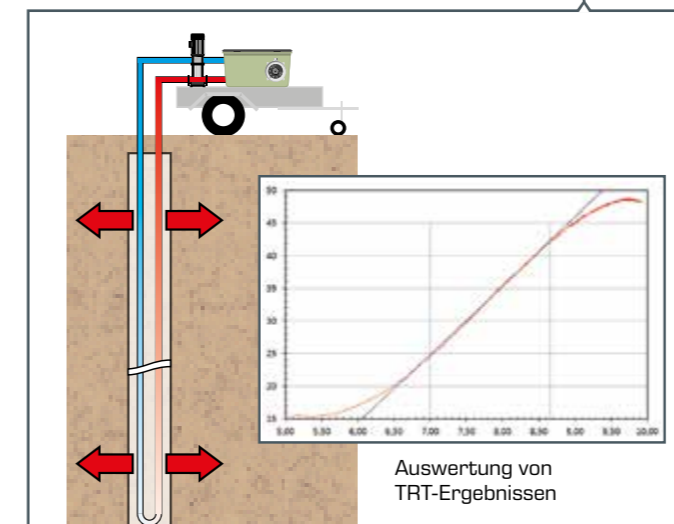
Lerninhalte

- Grundlagen der Geothermie
- Betriebsverhalten einer Erdwärmesonde mit Heatpipe-Prinzip
- Bestimmung der abführbaren Wärmemenge der Heatpipe bei Variation der thermischen Last
- Variation der Füllmenge des enthaltenen Wärmeträgermediums
- Untersuchung des radialen Temperaturprofils in einer Sandprobe und Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Sand mittels Thermal Response Test
- Grundlagen und Energiebilanz einer Wärmepumpe



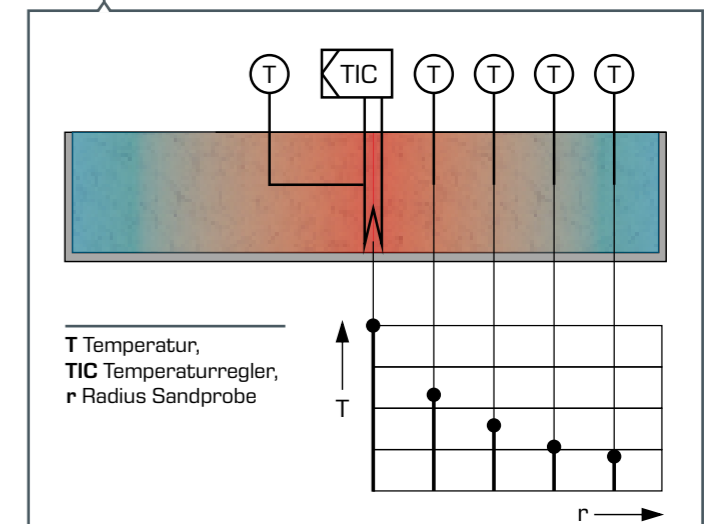
Software

Aufnehmer erfassen Temperaturen und Durchfluss des Arbeitsmediums im Wärmeübertrager. Aus den Messwerten wird die übertragene thermische Leistung ermittelt. Mit Hilfe der Messwerte wird in der GUNT-Software die Energiebilanz einer angebundenen Wärmepumpe simuliert.



Thermal Response Test (TRT)

In der zweiten Sektion des Versuchstands kann der sogenannte Thermal Response Test (TRT) zur Bewertung der Ergiebigkeit einer geothermischen Wärmequelle untersucht werden.



Radiale Wärmeleitung in einer Sandprobe

In der dritten Sektion wird ein Sandzylinder mit einer zylindrischen Wärmequelle beheizt. Das sich radial ausbreitende Temperaturprofil in der Sandprobe wird erfasst und die Wärmeleitfähigkeit der Sandprobe berechnet.

Zum Produkt:



ET 264 Erdwärmennutzung mit Zwei-Brunnensystem

Bei der geothermischen Wärmegewinnung mit Zwei-Brunnensystemen wird die thermische Energie direkt dem oberflächennahen Grundwasser entzogen. Der Versuchsstand ET 264 enthält alle wesentlichen Komponenten, um die wichtigen Aspekte dieses Verfahrens zu untersuchen.



Förderbrunnen

Wasserstände abhängig vom Durchfluss

Schluckbrunnen

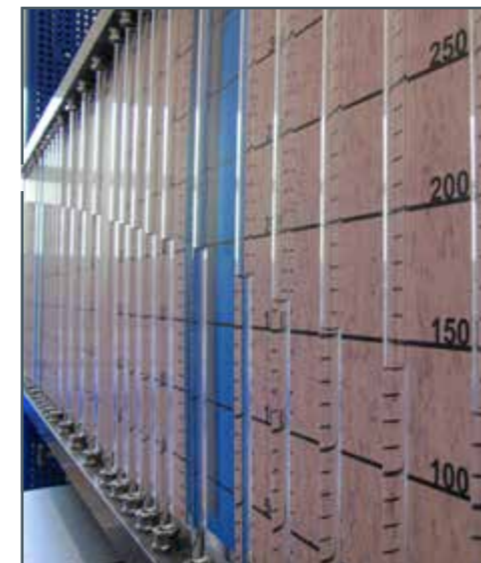
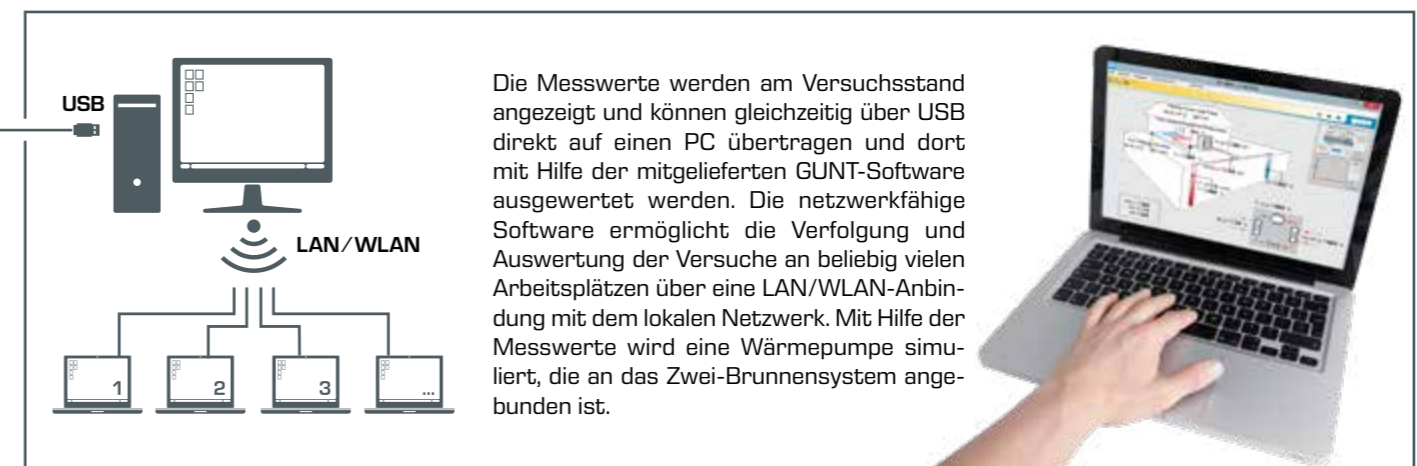
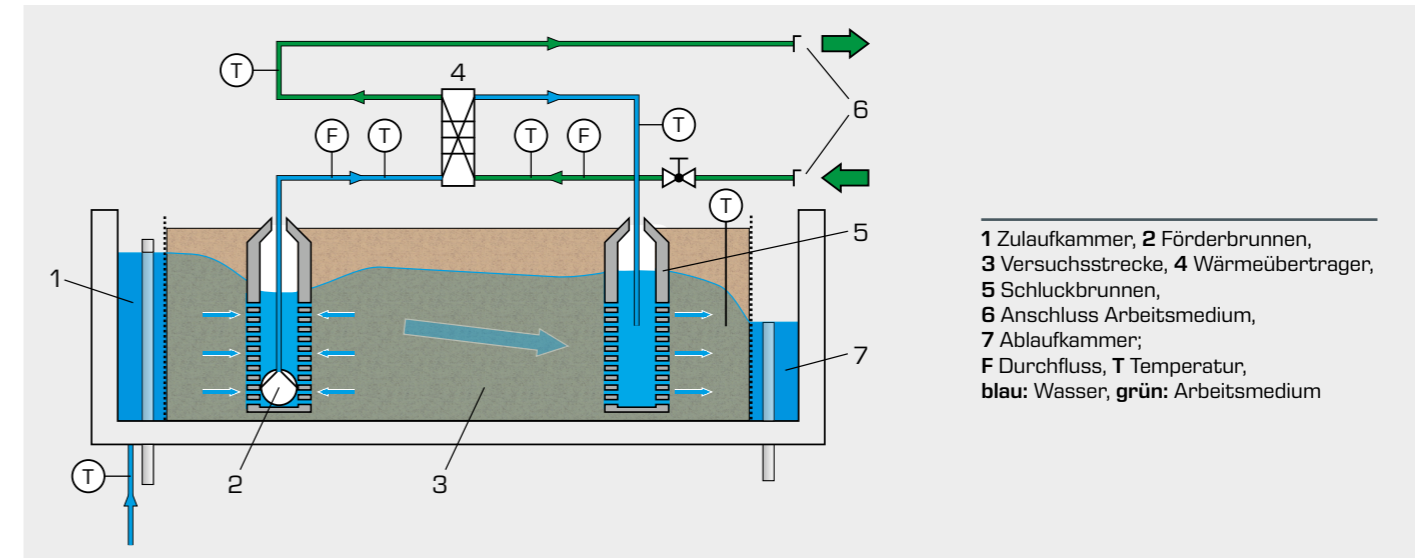
Kernelement des Versuchsstandes ist ein von Wasser durchströmtes Sandbett mit einem Förder- und einem Schluckbrunnen. Über zwei seitlich angrenzende Kammern mit einstellbarer Füllhöhe kann die simulierte Grundwasserströmung in das Sandbett ein- und austreten. Dabei erfolgt die Versorgung über einen beheizbaren Wasserkreislauf mit Vorratsbehälter und Pumpe.

Zum Produkt:



Lerninhalte

- Grundlagen der geothermischen Nutzung
- Betriebsverhalten eines Zwei-Brunnensystems
- hydraulische und thermische Eigenschaften des Erdreichs
- Bestimmung der nutzbaren Wärmeleistung
- Grundlagen und Energiebilanz einer Wärmepumpe



Manometertafel am Sandbett



Druckmessstellen und Ablasshahn



Temperaturmessungen mit Handsonde

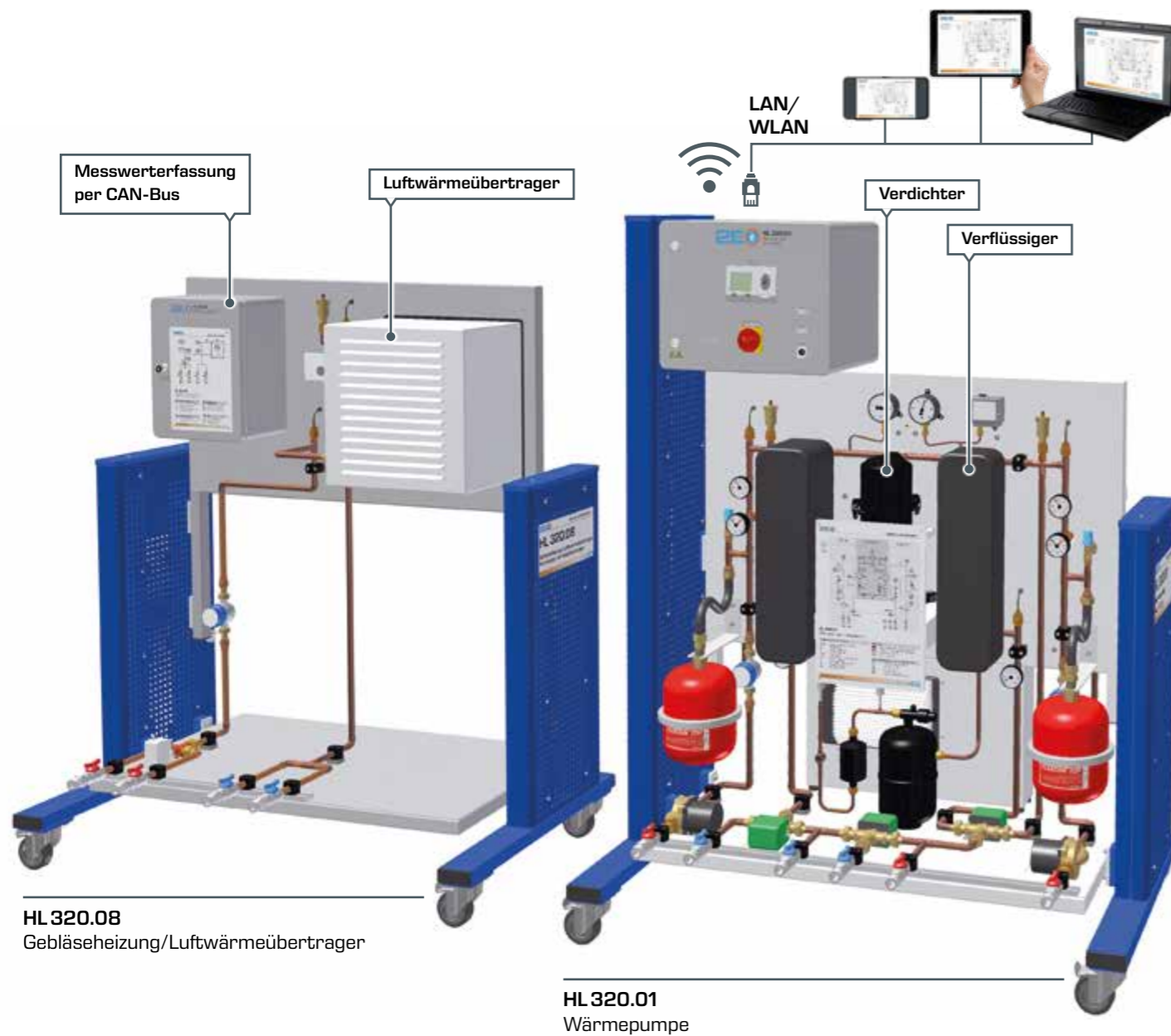
Übersicht

HL 320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe
Kombination 3

Das Modulsystem HL 320 ermöglicht Ihnen Versuche zum Thema Erdwärme und Solarthermie in einem modernen Heizungssystem. Bei der Kombination 3 werden folgende Module zu einem System verbunden:

- HL 320.01 Wärmepumpe
- HL 320.07 Fußbodenheizung / Erdwärmeabsorber
- HL 320.08 Gebläseheizung / Luftwärmeübertrager

Zur Bilanzierung der Energieströme sind an allen erforderlichen Stellen Aufnehmer für Temperaturen und Durchflüsse eingebaut. Die Messwerte aller Module werden über eine gemeinsame Datenleitung (CAN-Bus) an den Regler des Wärmepumpenmoduls übertragen und durch einen integrierten Datenlogger erfasst. Über eine Netzwerkanbindung kann der Datenaustausch mit einem PC erfolgen.



HL 320.01
Wärmepumpe

Zum Produkt:



HL 320.08
Gebläseheizung/Luftwärmeübertrager

Zum Produkt:

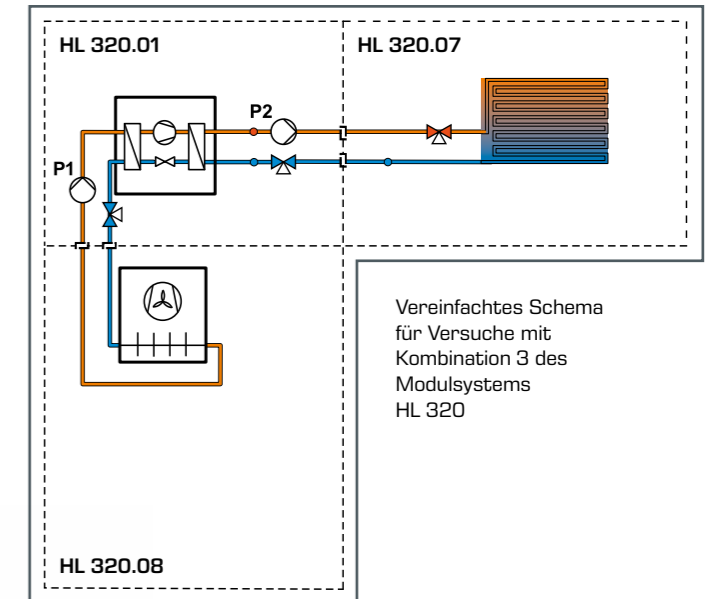


Mit Kombination 3 können gezielte Versuche an einem Heizungssystem auf Basis einer Wärmepumpe durchgeführt werden. Für Untersuchungen an einem System zur Nutzung oberflächennaher Geothermie wird HL 320.07 als Wärmequelle, also als Erdwärmeabsorber betrieben.



HL 320.07
Fußbodenheizung/Erdwärmeabsorber

Zum Produkt:



Lerninhalte

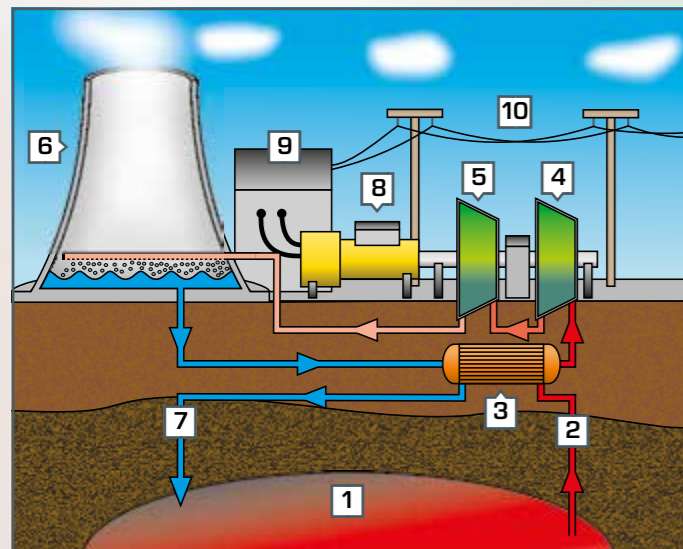
- Funktion und Aufbau einer Wärmepumpe
- Vergleich von verschiedenen Wärmequellen
- Einflussgrößen für den COP (Coefficient of Performance)
- Parametrierung eines Wärmepumpen-Reglers

Basiswissen

Tiefe Geothermie

Grundprinzip

Die tiefe Geothermie basiert auf der Nutzung der thermischen Energie der Erdkruste aus Tiefen von mehr als 400 m. Im Unterschied zur oberflächennahen Geothermie sind klimatische Einflüsse in diesen Tiefen vernachlässigbar. Im Vergleich zur oberflächennahen Geothermie kann die Erdwärme direkt genutzt werden. Je nach Temperaturniveau des Vorkommens erfolgt eine direkte Verstromung oder eine direkte Verwendung zu Heizzwecken.



- 1 Wärmereservoir
- 2 Förderung
- 3 Dampferzeuger
- 4 erste Turbinenstufe
- 5 zweite Turbinenstufe
- 6 Kühlturm
- 7 Rückförderung
- 8 Generator
- 9 Transformator
- 10 Stromnetz

Unterscheidung der Vorkommen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die unterschiedlichen Wärmervorkommen, die der tiefen Geothermie zugeordnet werden, zu unterteilen. Als Kriterium der verschiedenen Lagerstätten kann die erforderliche Bohrungstiefe, der Ursprung der Erdwärme, die Art der Nutzung oder das Temperaturniveau verwendet werden. Unter dem Aspekt der technischen Nutzung der Erdwärme, wird meist eine Unterteilung nach dem Temperaturniveau des Wärmervorkommens gewählt. Hierbei wird zwischen zwei unterschiedlichen Typen von Lagerstätten unterschieden.

Die höchsten Temperaturen treten bei so genannten Wärmeeinomalien auf. Diese sind im Wesentlichen aktive oder ehemalige Vulkanregionen, können aber auch ohne Vulkanismus vorkommen. Die Lagerstätten werden als Hochenthalpie-Lagerstätten bezeichnet. Die Vorteile dieser Lagerstätten sind die direkte Verstromung der heißen Dämpfe und die geringe Tiefe. Je tiefer die Bohrung ausgeführt wird, umso wärmer wird das Erdreich. In Tiefen von 4000 – 5000 m werden meist den Wärmeeinomalien vergleichbare Temperaturen erreicht. Der Vorteil der geringeren Bohrkosten ist bei diesen Vorkommen nicht mehr gegeben.

Etwas kälter sind die Niederenthalpie-Lagerstätten. Der wirtschaftliche Betrieb einer Erdwärmequelle mit geringem Temperaturniveau ist nur bei der Wärmenutzung zu Heizzwecken gegeben. Die Verstromung der geothermischen Energie dieses Lagerstättentyps wird nur in Sonderfällen vorgenommen. In diesen werden dann geschlossene Organic-Rankine-Cycle (ORC) Anlagen eingesetzt, um bereits Temperaturen ab 80°C elektrisch zu nutzen.

Um die beiden Lagerstättentypen zu erschließen, stehen mehrere technische Lösungen zur Verfügung. Mit den Druck- und Temperaturbedingungen, eventuell enthaltenen Gasen oder Wassermengen werden die folgenden Systeme unterschieden:

- hydrothermale Systeme
- petrothermale Systeme
- tiefe Erdwärmesonden
- Geothermie aus Tunneln
- Geothermie aus Bergbauanlagen

Technische Ausführung der Nutzung

Bis auf die tiefen Erdwärmesonden handelt es sich um offene Systeme, die aus umwelttechnischen Gründen als 2-Brunnensysteme ausgeführt werden. Ein Kraftwerksstandort wird mit bis zu vier gelenkten Bohrungen ausgestattet. Nach der Förderung und Nutzung des warmen Wassers oder Dampfes wird das kalte Arbeitsmedium wieder in die Tiefe gepumpt. Durch diese Maßnahme sinkt der Arbeitsdruck nicht ab und der Wirkungsgrad und die förderbare Leistung bleiben weitestgehend erhalten.

Ausblick

Aktuell ist eine elektrische Leistung von 23GW_{el} weltweit installiert. Mit der heutigen verfügbaren Technologie der hydrothermalen Systeme könnte diese auf etwa 100GW_{el} im Jahr 2050 gesteigert werden.

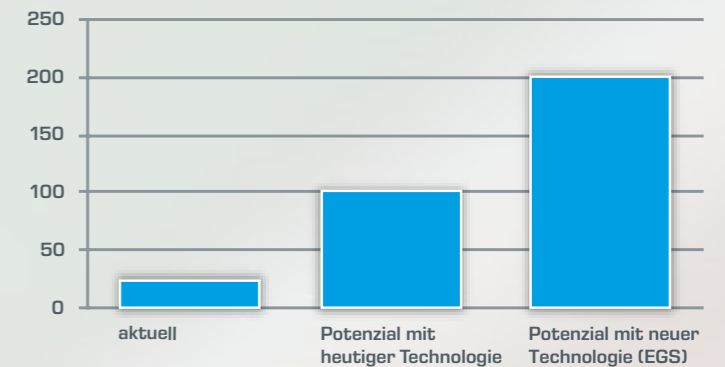
Unter Hinzunahme der Enhanced-Geothermal-Systems (EGS), also der petrothermalen Systeme, können sogar mehr als 200GW_{el} erreicht werden. Diese Anlagen sind allerdings noch nicht Stand der Technik.

Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie

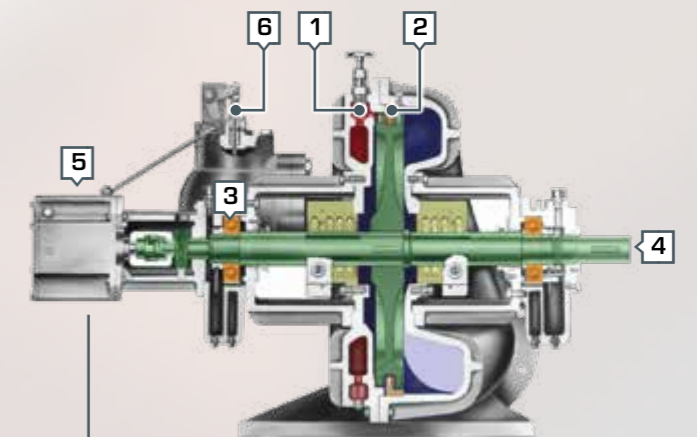
Im Bereich der tiefen Geothermie ist der Einsatz von Dampfturbinen notwendig, um die aus dem Boden gewonnene Wärmeenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Die Dampfturbine wandelt die Energie des Dampfes aus dem Boden in Rotationsenergie um. Aus der kinetischen Energie der Rotation erzeugt ein Generator anschließend elektrischen Strom.

Eine typische industrielle Dampfturbine ist die im Schnitt gezeigte Gleichdruckturbine mit einem so genannten Curtisrad. Die Turbine ist für den direkten Antrieb von Generatoren ausgelegt und besitzt kein Getriebe.

Weltweite installierte Leistung in Gigawatt



Quelle: Technology Roadmap/
Geothermal Heat and Power –
International Energy Agency



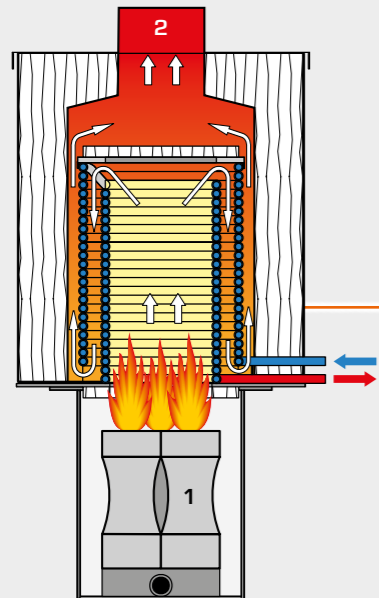
- 1 Düse
- 2 Umlenkung im Laufrad
- 3 Wälzlager
- 4 Laufradwelle
- 5 Drehzahlregler
- 6 Drosselventil

Übersicht ET 850 & ET 851 Dampferzeuger und Axiale Dampfturbine

Mit der Kombination aus Dampferzeuger ET 850 und axialer Dampfturbine ET 851 bietet GUNT den Aufbau einer realen Dampfkraftanlage im Labormaßstab.

Diese Anlage besitzt alle wichtigen Komponenten einer realen Großanlage: Durchlauf-Wasserrohrkessel mit Überhitzer, Kondensator mit Wasserstrahlpumpe für Vakuumbetrieb, Speisewasserbehälter, Kondensat- und Speisewasserpumpen, Dampfturbine mit Leistungsbremse, Wellenabdichtung über Labyrinth und Sperrdampf.

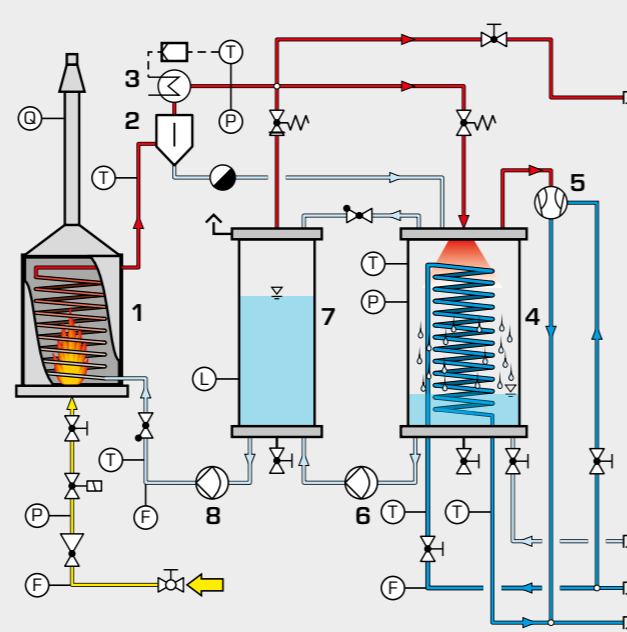
- Bauart als Durchlauf-Wasserrohrkessel gewährleistet höchste Sicherheit
- schnelle Dampferzeugung durch kleinen Wasserinhalt
- elektrischer Überhitzer ermöglicht frei einstellbare Überhitzung des Dampfes
- saubere und geruchsfreie Verbrennung durch Beheizung über Propangas
- wassergekühlter Kondensator mit Evakuierung über Wasserstrahlpumpe ermöglicht Betrieb auch ohne axiale Dampfturbine ET 851



Schnitt durch den ET 850 Dampferzeuger
1 Brenner, 2 Abgas, ↑ Strömungsrichtung der erhitzten Luft entlang des Wärmeübertragers

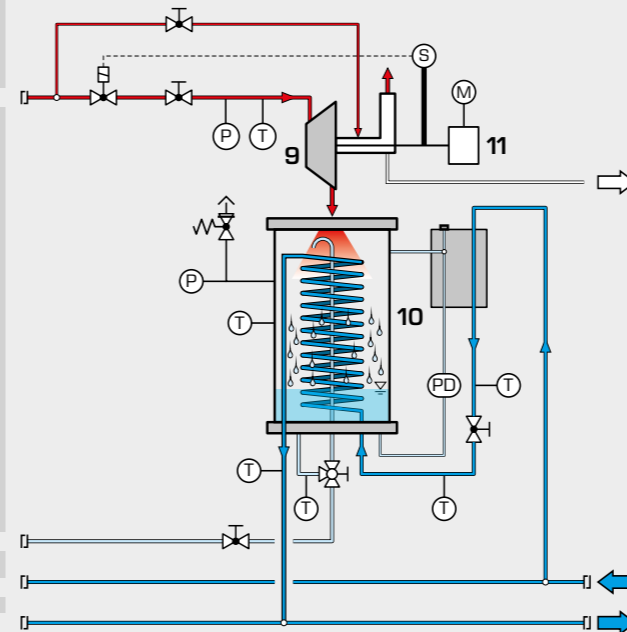
ET 850 Dampferzeuger

- | | | |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 Dampfkessel, | 4, 10 Kondensator, | 7 Speisewasser- |
| 2 Wasserabscheider, | 5 Wasserstrahlpumpe, | behälter, |
| 3 Überhitzung, | 6 Kondensatpumpe, | 8 Speisewasserpumpe, |



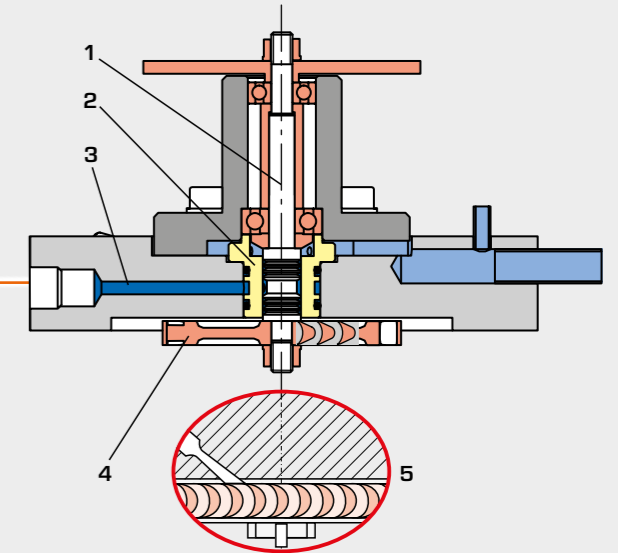
ET 851 Axiale Dampfturbine

- | | | |
|---------------|--------------------|---------------|
| 9 Turbine, | P Druck, | S Drehzahl, |
| 11 Bremse; | PD Differenzdruck, | T Temperatur, |
| F Durchfluss, | Q Abgasanalyse, | M Drehmoment |



Das Betriebsverhalten hat viel Ähnlichkeit mit einer realen Anlage. So kann die sorgfältige Abstimmung von Dampferzeuger, Turbine, Kondensator und Überhitzer demonstriert und geübt werden. Eine Datenerfassung ermöglicht eine zügige, genaue Auswertung und gibt einen schnellen Überblick.

- einstufige Axialturbine
- Welle senkrecht angeordnet und wälzgelagert
- berührungsfreie Labyrinthdichtung mit Sperrdampf ermöglicht Vakuumbetrieb
- transparenter, wassergekühlter Kondensator
- verschleißfreie Wirbelstrombremse mit Permanentmagneten als Turbinenlast
- Sicherheitsabschaltung bei Überdrehzahl mittels Schnellschlussventil
- Dampfmengenmessung über Kondensatstand



1 Welle, 2 Labyrintheintritt, 3 Dampfeintritt, 4 Laufrad, 5 Querschnitt durch Düse und Laufschaufeln



ET 850 Dampferzeuger

ET 851 Axiale Dampfturbine

ET 850 Dampferzeuger

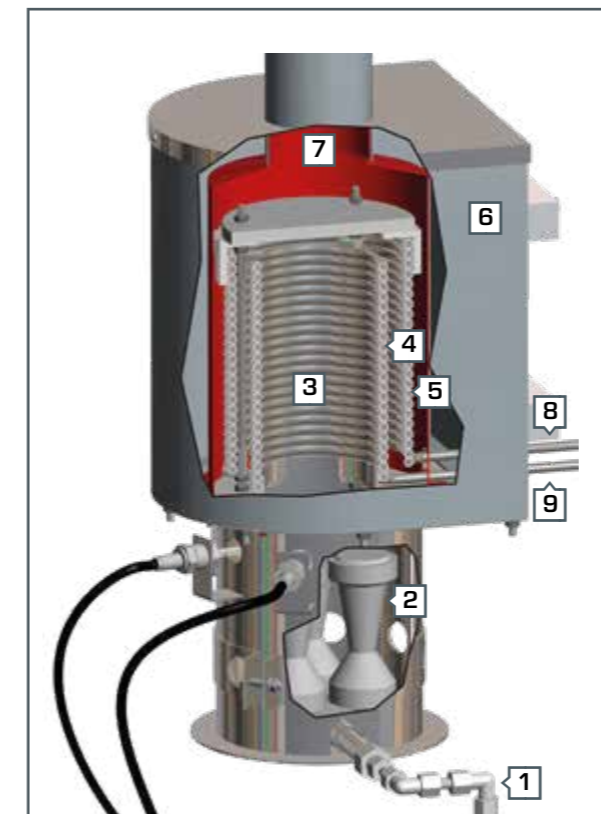
In einem Dampferzeuger entsteht Wasserdampf, der im weiteren Verlauf für Heizkraftwerke oder Maschinenantriebe genutzt wird. Dampferzeuger und Dampfverbraucher bilden zusammen eine Dampfkraftanlage. Dampfkraftanlagen arbeiten nach dem Dampfkraftprozess, der auch heute noch zu den wichtigsten industriell genutzten Kreisprozessen zählt. Dampfkraftanlagen werden hauptsächlich zur Stromerzeugung eingesetzt. Der Dampferzeuger ET 850 bildet zusammen mit der axialen Dampfturbine ET 851 eine komplette Dampfkraftanlage im Labormaßstab. Mit dem Versuchsstand ET 850 lernen Studierende die Komponenten und die Arbeitsweise

eines Dampferzeugers kennen und können die charakteristischen Kennwerte der Anlage untersuchen. Die vielfältigen Sicherheitseinrichtungen des Dampferzeugers können getestet und mittels diverser Überwachungseinrichtungen überprüft werden.

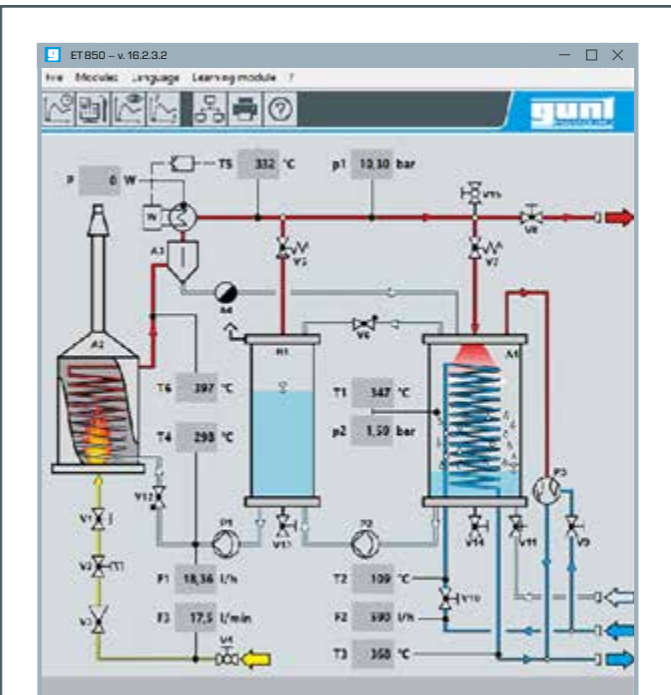
Wird der Dampferzeuger ohne die Dampfturbine betrieben, wird der erzeugte Dampf direkt über einen Kondensator verflüssigt und über einen Behälter zurück in den Verdampfungsreislauf geführt.



Der Dampferzeuger ist nach den „Technischen Regeln Dampf“ (TRD) konstruiert, druckgeprüft und besitzt alle gesetzlich vorgeschriebenen Sicherheitsarmaturen.



- | | |
|-------------|----------------|
| 1 Gaszufuhr | 6 Isolation |
| 2 Brenner | 7 Abgas |
| 3 1. Zug | 8 Wasserzufuhr |
| 4 2. Zug | 9 Dampfabfuhr |
| 5 3. Zug | |



Software

Aufnehmer erfassen Temperaturen, Drücke und Durchflüsse an allen relevanten Stellen. Die Software ermöglicht eine übersichtliche Darstellung der Messdaten auf dem PC. Zeitverläufe können aufgenommen und gespeichert werden. Mit Hilfe einer Tabellenkalkulation (z.B. MS Excel) können die gespeicherten Daten ausgewertet werden.

Lerninhalte

- Kennlernen und Untersuchung der spezifischen Kennwerte eines Dampfkessels
- Wirkungsgrad eines Dampferzeugers
- Untersuchung der Abgase
- Einfluss von unterschiedlichen Brennereinstellungen
- Sättigungstemperatur und -druck
- Dampfenthalpie
- Bestimmung der Wärmestromdichte und des Wärmedurchgangskoeffizientens

Zum Produkt:



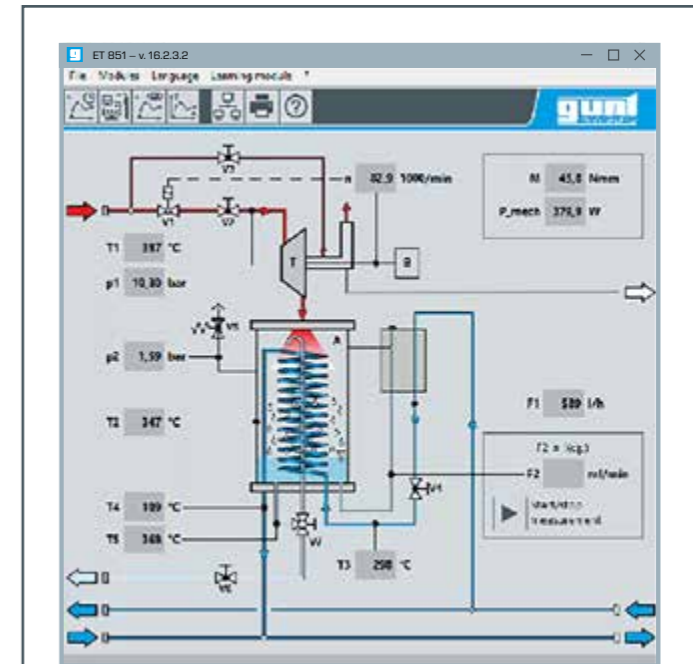
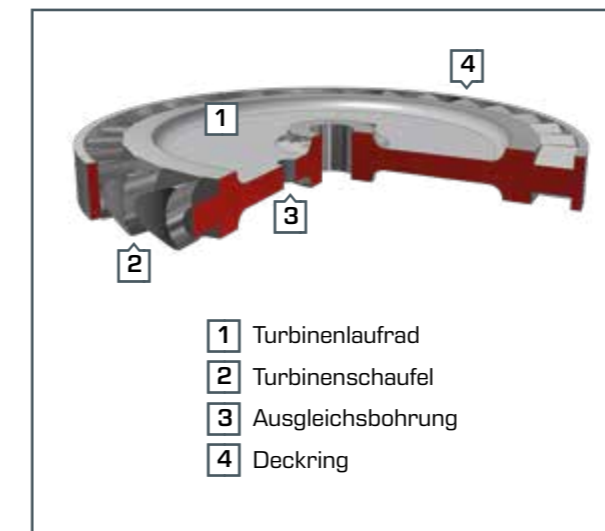
ET 851 Axiale Dampfturbine

Mit dem Versuchsstand ET 851 steht Ihnen eine axiale Dampfturbine mit Wirbelstrombremse, Kondensator, Verrohrung, Instrumentierung und Sicherheitseinrichtungen zur Verfügung. Alle relevanten Messwerte wie Temperaturen, Drücke und Durchflüsse werden erfasst und digital angezeigt. Mit Hilfe einer bedienungsfreundlichen Software können Sie die Messwerte mit einem PC bequem weiter verarbeiten.

ET 851 ist optimal an den Dampferzeuger ET 850 angepasst. Es ist somit möglich, die Dampfturbine in einen geschlossenen Dampfkreislauf zu betreiben und zu untersuchen.

Für angehende Ingenieure und Fachkräfte im Bereich der Energietechnik sind die Kenntnisse über den Dampfturbinenprozess unverzichtbarer Bestandteil der Ausbildung.

Bei dem Versuchsgerät ET 851 handelt es sich um eine einstufige, axiale Gleichdruckturbine mit vertikaler Achse. Der benötigte Dampf muss extern erzeugt werden (z. B. über den Dampferzeuger ET 850). Die Turbine kann mit Sattdampf oder überhitztem Dampf betrieben werden. Der Dampf wird in der Turbine entspannt und über den wassergekühlten Kondensator verflüssigt. Belastet wird die Turbine über eine Wirbelstrombremse. Die Turbine besitzt eine berührungslose Labyrinthdichtung an der Welle mit Sperrdampfkreis. Um Schäden wie z. B. eine zu hohe Drehzahl oder Überdruck im System zu verhindern, ist die Turbine mit diversen Sicherheitseinrichtungen ausgestattet.



Software

Aufnehmer erfassen Temperaturen, Drücke und Durchflüsse an allen relevanten Stellen. An der Wirbelstrombremse werden Turbinendrehzahl und Drehmoment elektronisch gemessen. Die Messwerte werden an digitalen Anzeigen abgelesen und können gleichzeitig über USB direkt auf einen PC übertragen und dort mit Hilfe der mitgelieferten Software ausgewertet werden.

Lerninhalte

- Arbeitsweise einer Dampfturbine
- Dampfverbrauch der Turbine
- Turbinenleistung bei unterschiedlichen Einstellungen
- Untersuchung der auftretenden Verluste an unterschiedlichen Komponenten der Turbine
- Leistungs- und Drehmomentverlauf
- Gesamtwirkungsgrad im Vergleich zum theoretischen Wirkungsgrad

Zum Produkt:



Einführung	
Basiswissen Energiesysteme	164

Umwandlung		Speicher	
Lernfelder Umwandlung in Energiesystemen	168	Lernfelder Speicher in Energiesystemen	180
ET 292 Brennstoffzellensystem	170	ET 513 Einstufiger Kolbenverdichter	182
ET 794 Gasturbine mit Nutzturbine	172	HM 143 Instationäre Abflussvorgänge bei Speichern	184
Basiswissen Wärmepumpe	174	Basiswissen Thermische Speicher	186
ET 102 Wärmepumpe	176	HL 320.05 Zentrales Speichermodul mit Regler	188
HL 320.01 Wärmepumpe	178	ET 420 Eisspeicher in der Kältetechnik	190
		Basiswissen Elektrochemische Speicher	194
		Übersicht ET 255 Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme	196
		ET 220 Energieumwandlung an einer Windkraftanlage	198
		ET 220.01 Windkraftanlage	199

Basiswissen

Energiesysteme

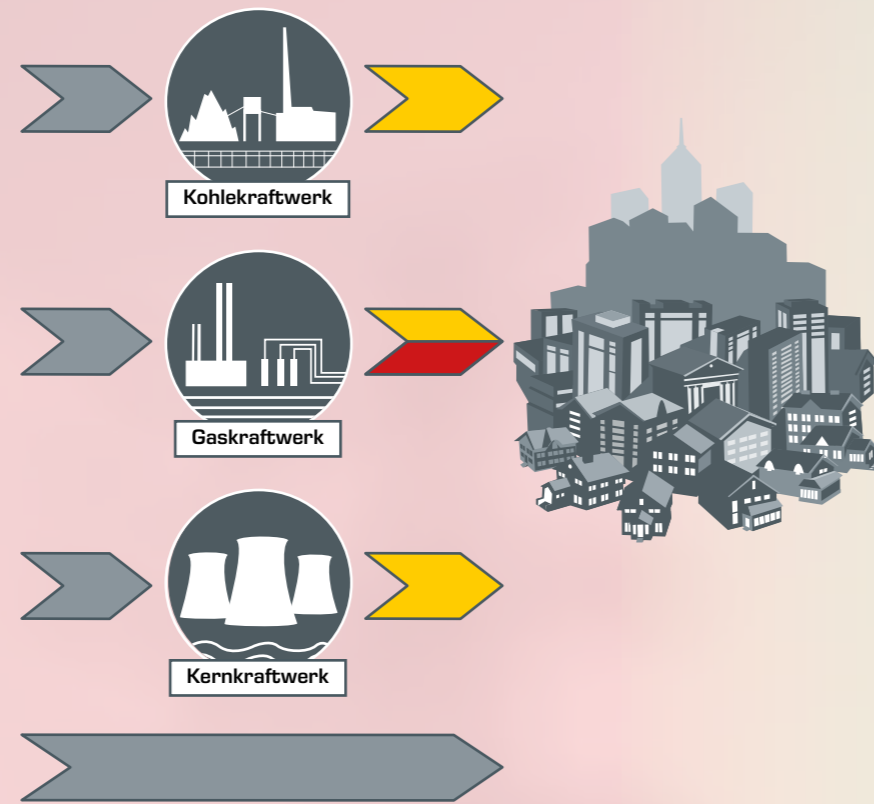
Als Energiequelle hat man lange Zeit fast ausschließlich fossile Energieträger verwendet. Strom wurde in wenigen zentralen Kraftwerken erzeugt. Die Wärmeversorgung erfolgte überwiegend mit Kohleöfen, Ölheizungen oder Gasthermen. Öl und Kohle erfordern eine lokale Bevorratung. Gas wird bei fehlendem Anschluss an das Gasnetz in Druckbehältern gespeichert.

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien sind viele kleine dezentrale Energieerzeuger, wie z.B. Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen, errichtet worden. Dies führte zu einem komplexen System mit neuen Herausforderungen, wie z.B. die zeitlich schwankende Verfügbarkeit der Sonnenenergie und Windenergie. Um diese Energiequellen zur Sicherung der Grundlast nutzen zu können, sind effiziente Speicher erforderlich.

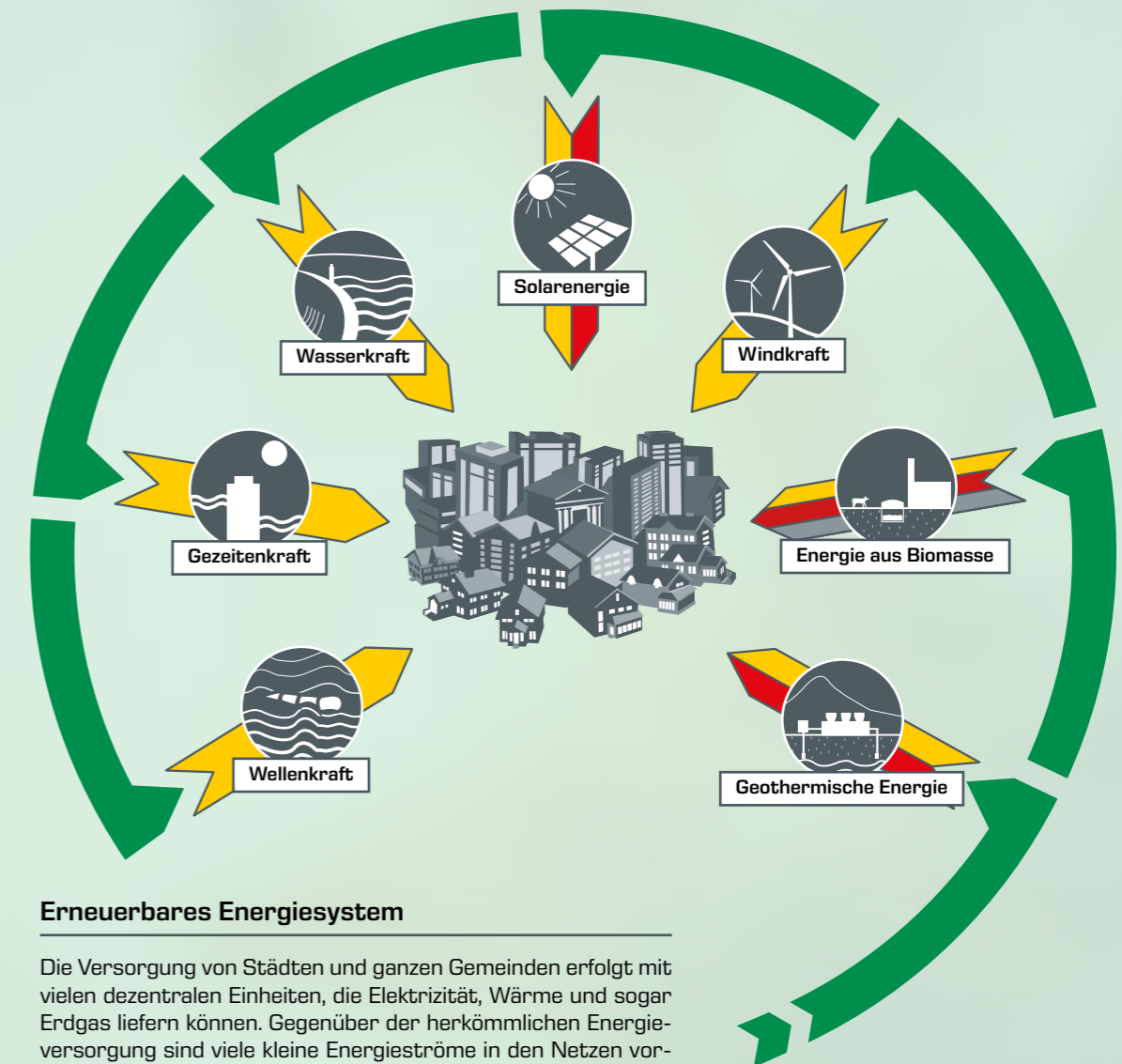
Speicher können auf Lageenergie (z.B. Pumpspeicher), Druckenergie (z.B. Druckluftspeicher), thermischer Energie (z.B. Warmwasserspeicher) oder elektrochemischer Energie (z.B. Akkumulator) beruhen. Je nach verfügbarer Energie ist auch eine Umwandlung in eine speicherfähige Form, und im Bedarfsfall die Rückwandlung, erforderlich. Bei einem Überschuss an Energie kann Strom und Gas z.B. auch in die allgemeinen Versorgungsnetze eingespeist werden. Die Abstimmung der Einspeisungen und Verbräuche ist eine komplexe Aufgabe und erfordert eine professionelle Steuerung.

Ein Energiesystem besteht somit aus folgenden Teilbereichen:

- Erzeugung
- Umwandlung
- Speicherung
- Transport
- Rückwandlung
- Verbrauch



Konventionelles Energiesystem



Erneuerbares Energiesystem

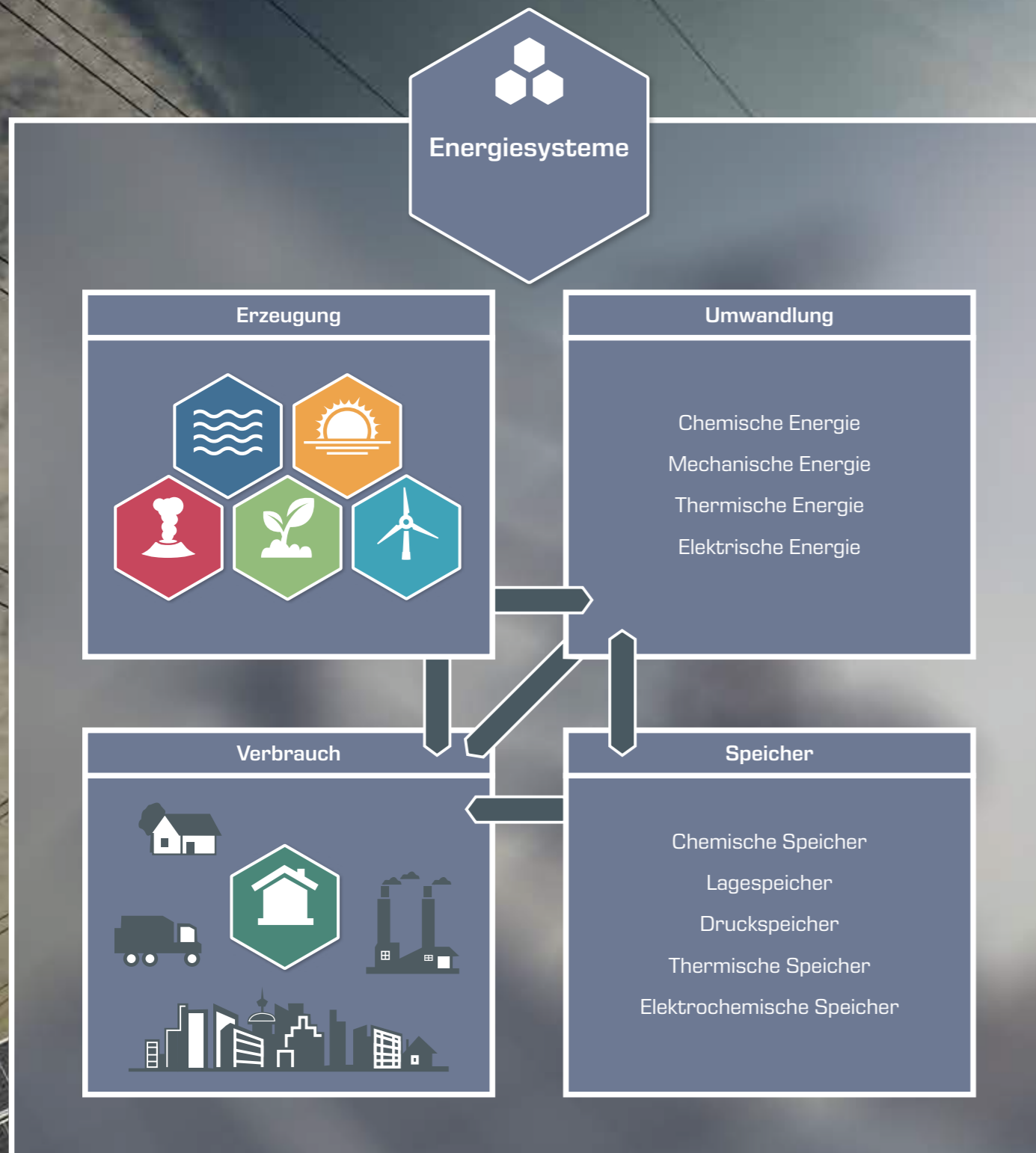
Die Versorgung von Städten und ganzen Gemeinden erfolgt mit vielen dezentralen Einheiten, die Elektrizität, Wärme und sogar Erdgas liefern können. Gegenüber der herkömmlichen Energieversorgung sind viele kleine Energieströme in den Netzen vorhanden.

- fossiler Brennstoff
- elektrische Energie
- Wärmeenergie
- erneuerbare Energie

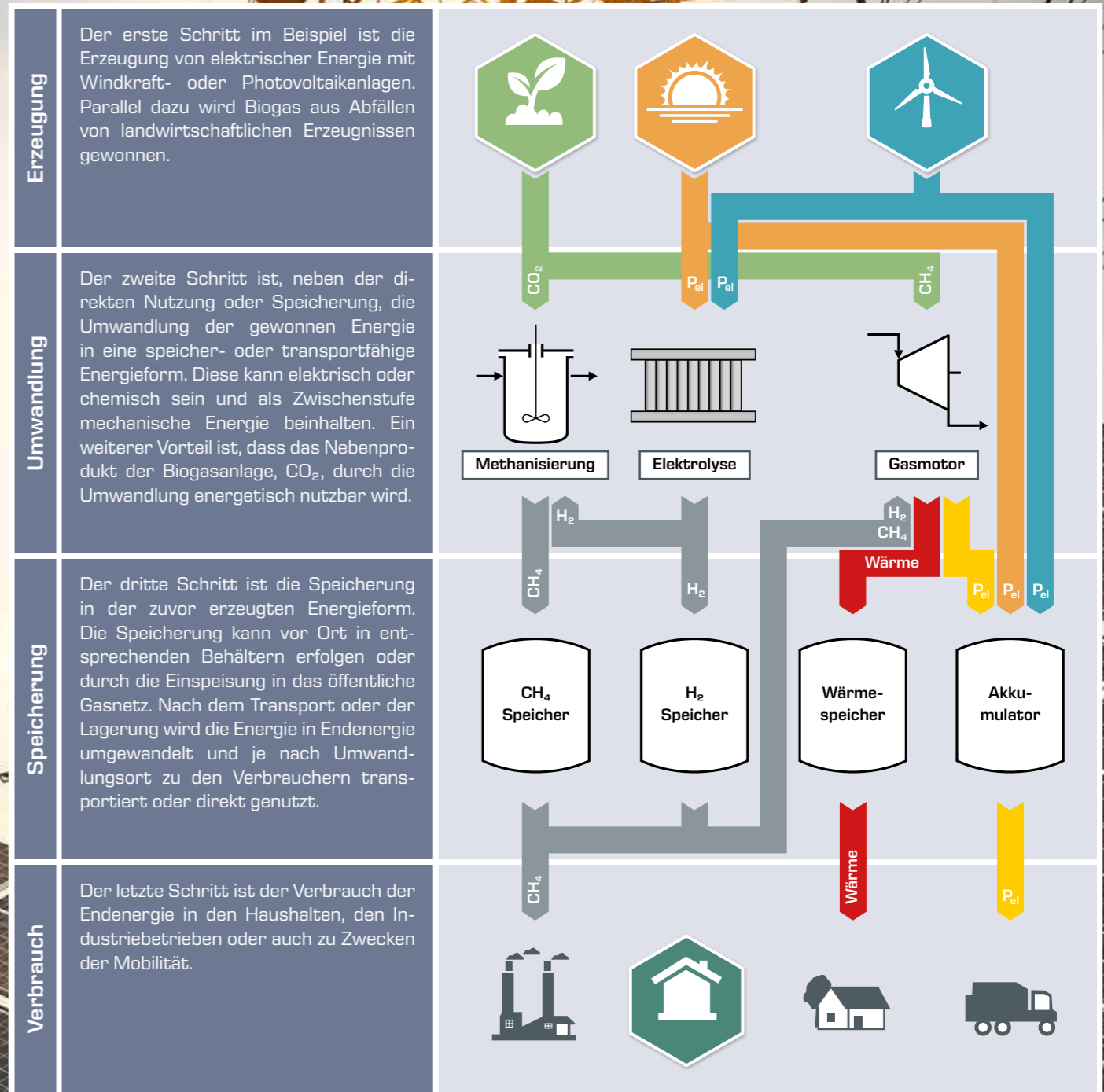
Überschussstrom

Eine Besonderheit erneuerbarer Energien ist der produzierte Überschussstrom, der z.B. entsteht, wenn Photovoltaikanlagen zur Mittagszeit ihre Spitzenleistung ins Netz einspeisen. Um die Spannung konstant zu halten, müssen erneuerbare Energien daher häufig noch gedrosselt werden. Dieses verschenkte Potenzial kann in einem optimierten Energiesystem genutzt werden. Sobald mehr Strom produziert als verbraucht wird,

kann der Überschuss z.B. zum Betrieb eines Elektrolyseurs verwendet werden. Aus Wasser entsteht dabei Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff kann bei Bedarf in Brennstoffzellen wieder zur Stromerzeugung eingesetzt werden oder z.B. dem Erdgas beigemischt werden. Die vormals überschüssige Energie steht somit zu einem anderen Zeitpunkt und Ort zur Verfügung.



Beispiel eines Energiesystems



Lernfelder

Umwandlung in Energiesystemen

Lernfelder

Produkte

In Versorgungsnetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien unterscheiden sich Angebot und Bedarf an Energie oftmals. Ursachen hierfür sind sowohl fehlende Energiespeicher als auch entlegene Erzeugungsorte. Im Zuge der erneuerbaren Energien mit vielen dezentralen Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen sind inzwischen auch Inselösungen möglich.

Es wird z.B. der überschüssig anfallende Strom zur Ladung eines geeigneten Speichers verwendet. Hierfür wird die elektrische Energie in einem Elektrolyseur für die Wasserspaltung verwendet und der entstehende Wasserstoff direkt gespeichert oder in einer Methani-

sierung chemisch umgesetzt. Nach der Umwandlung kann das erzeugte Methan gespeichert und zur Rückwandlung zu thermischer, mechanischer und auch elektrischer Energie in einer Gasturbine verwendet werden. Ein Elektrolyseur stellt somit eine elektrisch-chemische Umwandlung dar, die Methanisierung eine chemisch-chemische Umwandlung.

Eine bekannte Umwandlungskomponente in Energiesystemen der Gebäudetechnik ist die Wärmepumpe. Diese überführt elektrische und thermische niederkalorische Energie in thermisch nutzbare Energie zu Heizzwecken.

Chemisch-elektrisch

ET 292
BrennstoffzellensystemChemisch-thermisch-
mechanisch-elektrisch**ET 794**
Gasturbine mit Nutzturbine

Elektrisch-thermisch-thermisch

ET 102
Wärmepumpe
HL 320.01
Wärmepumpe

ET 292 Brennstoffzellensystem

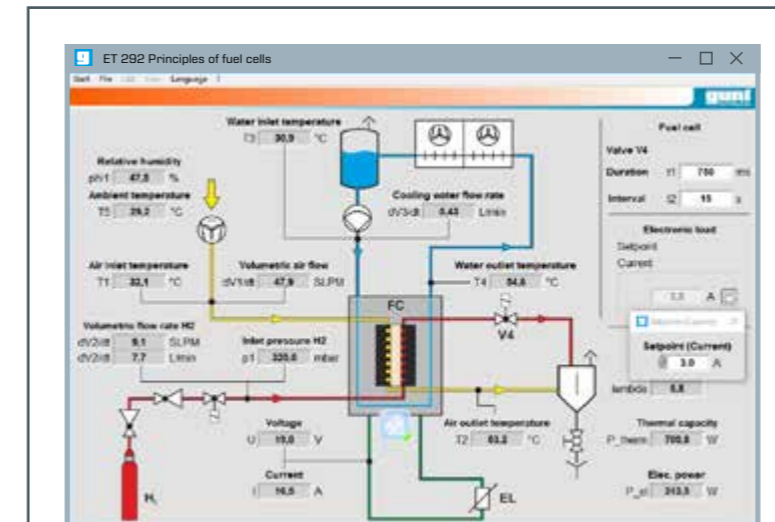
Moderne Brennstoffzellensysteme gewinnen z.B. bei der dezentralen Energieumwandlung zur Versorgung von Haushalten zunehmend an Bedeutung. Die Energiebereitstellung vor Ort hat den Vorteil, Transportverluste in starkem Maße zu verringern. Zudem ergibt sich in der Kraft-Wärme-Kopplung ein sehr guter Gesamtwirkungsgrad durch Nutzung der thermischen sowie der elektrischen Energie. Unternehmen aus dem Bereich der Heizungstechnik haben das Potential dieser Systeme erkannt und arbeiten derzeit intensiv an der Marktreife und Kommerzia-

lisierung von Brennstoffzellensystemen zur häuslichen Energieversorgung. Die Anforderungen an Brennstoffzellensysteme, um sich auf dem liberalisierten Energiemarkt zu etablieren, beinhalten nicht nur die Frage nach Energieeffizienz, sondern gleichermaßen nach ökonomischem Potenzial. Eine Zukunft bestimmt von der Wasserstoffenergiewirtschaft ist ohne den Einsatz von Brennstoffzellen zur Energieumwandlung nicht denkbar.

Mit ET 292 erhalten Sie ein Brennstoffzellensystem, welches in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben wird. Die Komponenten des Brennstoffzellensystems finden Sie übersichtlich auf einer Tafel montiert. Die Brennstoffzelle wird über eine elektronische Last belastet und arbeitet je nach Wunsch spannungs-, strom oder leistungsgeführt.

Als Arbeitsmedien nutzt die Brennstoffzelle Sauerstoff und hochreinen Wasserstoff. Der Sauerstoff wird mittels eines integrierten Gebläses über die Umgebungsluft in die Brennstoffzelle gefördert. Der Wasserstoff wird über einen Druckgasbehälter bereitgestellt und über eine mehrstufige Druckminderung auf den Systemdruck der Brennstoffzelle entspannt.

- 1 Niederdruckminderventil
- 2 Eingangsventil
- 3 Kathodengebläse
- 4 Brennstoffzelle
- 5 Wasserabscheider
- 6 Hauptschalter
- 7 Kühlwasserpumpe
- 8 Wasserkühler
- 9 optische Durchflusskontrolle
- 10 Kühlwasserbehälter



Die Software für ET 292 ermöglicht die Erfassung der wichtigsten Größen

- Ein- und Austrittstemperaturen
 - ▶ luftseitig
 - ▶ wasserseitig
- Systemdruck
- Wasserstoffvolumenstrom
- elektrische Leistung
- Strom
- Spannung

Zum Produkt:



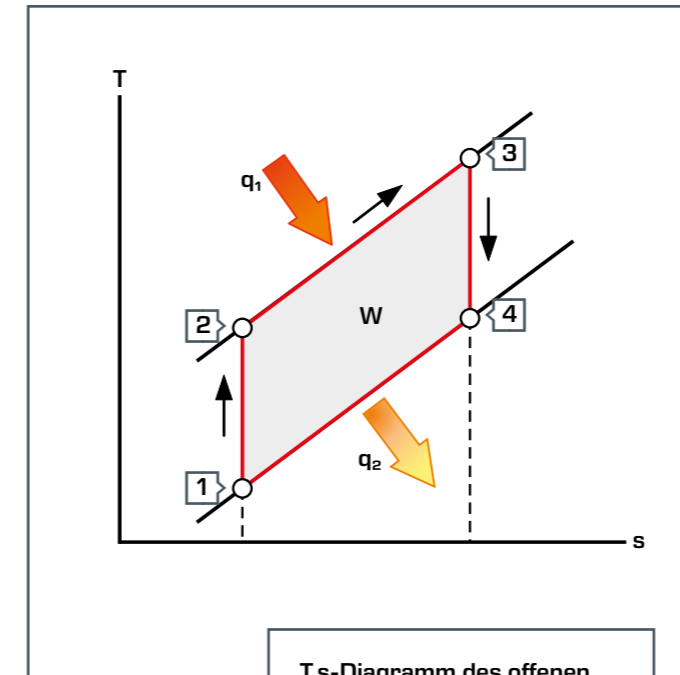
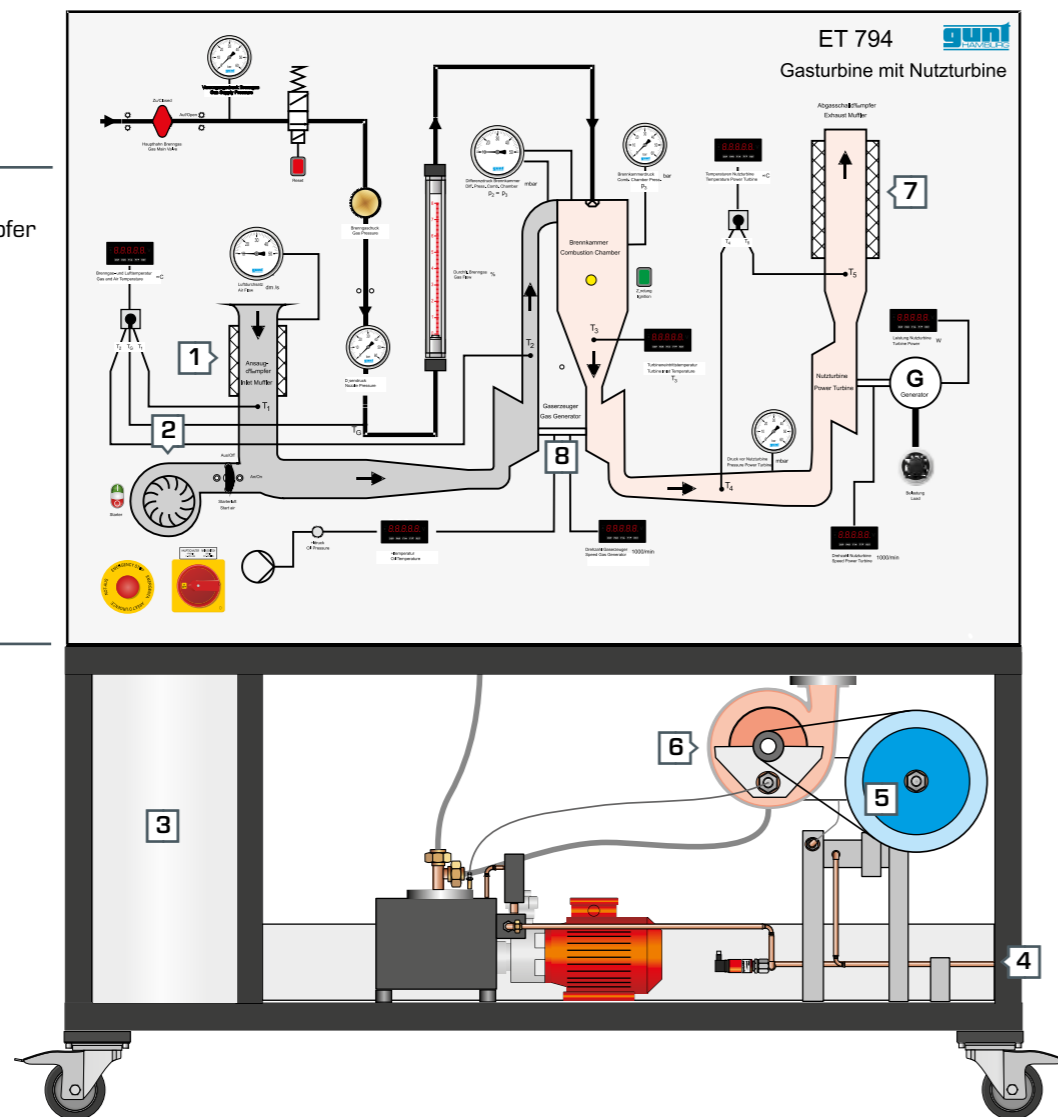
Lerninhalte	
■	Umwandlung von chemischer Energie in elektrische und thermische Energie
■	Funktion und Aufbau eines Brennstoffzellensystems
■	Zusammenhänge der Betriebsparameter von Brennstoffzellen
■	Einflüsse auf die elektrische Leistung von Brennstoffzellen
■	Aufnahme und Visualisierung aller relevanten Kennlinien Spannung / Strom
■	Berechnung relevanter Kenngrößen

ET 794 Gasturbine mit Nutzturbine

Gasturbinen mit freilaufenden Nutzturbinen werden bevorzugt als Antriebe für stark wechselnde Leistungsanforderungen in Kraftwerken, Schiffen, Lokomotiven und im Kraftfahrzeugbau eingesetzt. ET 794 untersucht das Verhalten im Betrieb einer Anlage mit zwei unabhängigen Turbinen in 2-Wellen-Anordnung. Hierbei treibt eine Turbine (Hochdruckturbine) den Verdichter an und die andere Turbine (Nutzturbine) liefert die Nutzleistung.

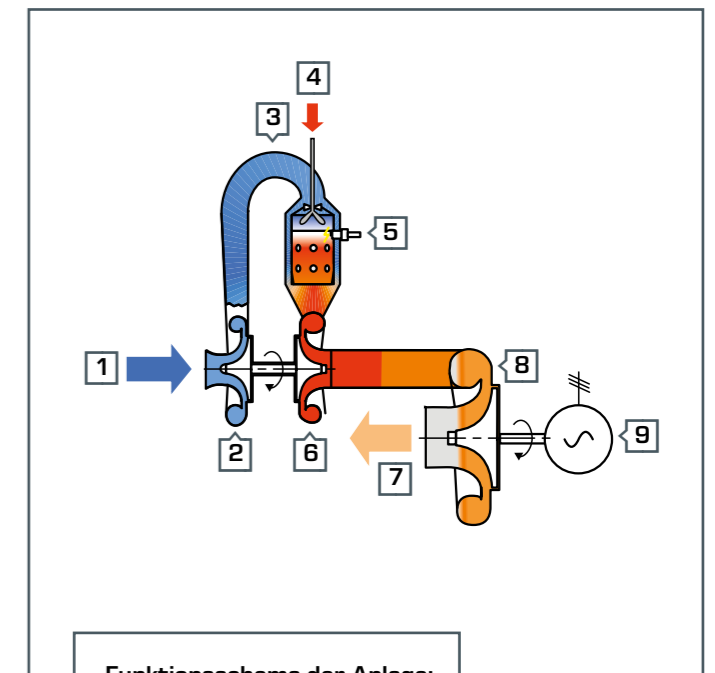
Leistungsänderungen in der Nutzturbine haben keinen Einfluss auf den Verdichter, der mit optimaler Drehzahl im besten Wirkungsgradpunkt weiterlaufen kann. Drehzahl, Temperaturen, Drücke sowie Massenströme von Luft und Brennstoff werden mit Hilfe von Aufnehmern erfasst und angezeigt. Typische Kenngrößen werden bestimmt.

- 1 Luftansaugung mit Schalldämpfer
- 2 Startergebläse
- 3 Schaltschrank
- 4 Kühlwasseranschluss
- 5 Generator
- 6 Nutzturbine
- 7 Gaserzeuger (Verdichter, Brennkammer, Turbine)
- 8 Schalldämpfer für Abgas



T,s-Diagramm des offenen Gasturbinenprozesses:

- 1 → 2 Verdichtung
 - 2 → 3 Wärmezufuhr
 - 3 → 4 Entspannung
- q_1 zugeführter Wärmestrom,
 q_2 abgeführter Wärmestrom,
 W Nutzarbeit



Funktionsschema der Anlage:

- 1 kalte Luft
- 2 Verdichter
- 3 Rohrbrennkammer
- 4 Brennstoff
- 5 Zündkerze
- 6 Hochdruckturbine
- 7 Abgas
- 8 Nutzturbine
- 9 Generator

Zum Produkt:



Lerninhalte

- Wellenleistung bestimmen
- spezifischen Brennstoffverbrauch bestimmen
- Turbinenkennlinie der Nutzturbine aufnehmen
- Wirkungsgrad der Anlage bestimmen

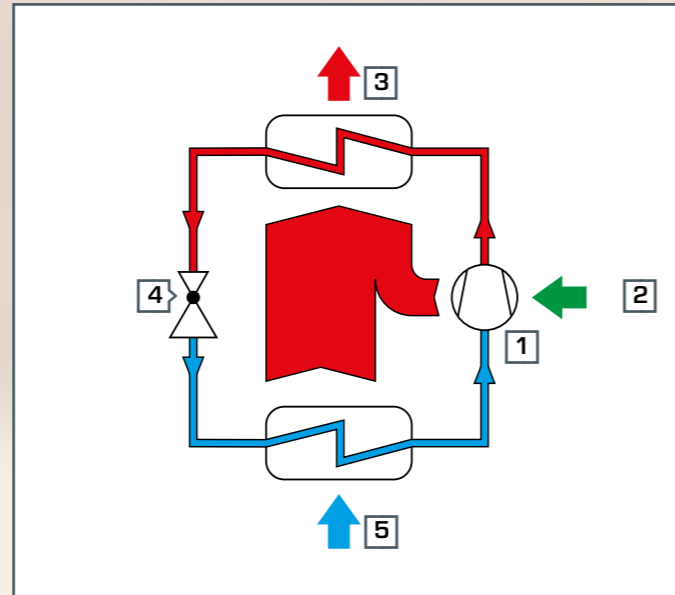
Basiswissen

Wärmepumpe

Was ist eine Wärmepumpe?

Eine Wärmepumpe transportiert Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau. Hierzu benötigt die Wärmepumpe eine Antriebsleistung. Diese kann mechanisch, elektrisch oder thermisch sein. Meistens werden Wärmepumpen verwendet, die nach dem Prinzip einer Kompressionskälteanlage arbeiten. Seltener werden Wärmepumpen nach dem Absorptionsprozess eingesetzt.

- 1 Verdichter
- 2 Antriebsenergie
- 3 Wärmeabgabe
- 4 Expansionsventil
- 5 Wärmeaufnahme



Woher nimmt die Wärmepumpe ihre Energie?

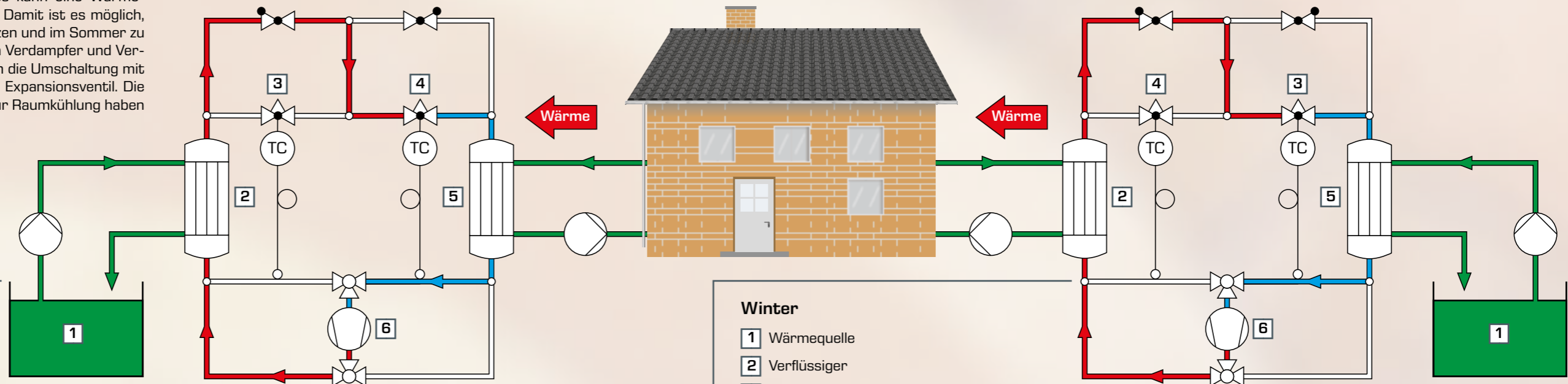
Eine Wärmepumpe entzieht die Energie in der Regel der Umwelt. Üblich sind Luft, Grundwasser, Erdreich oder Flusswasser. Wird die Energie dem Erdboden entzogen, spricht man auch von oberflächennaher Geothermie. Wichtig für einen hohen Wirkungsgrad ist eine möglichst hohe und konstante Temperatur der Energiequelle. Die Temperatur sollte im Winter, wenn die größte Heizleistung erbracht werden muss, nicht zu stark absinken. Bei

Grundwasser und Erdreich müssen die Wärmeübertrager sehr groß dimensioniert sein, um eine lokale Unterkühlung zu verhindern. Bei der Wahl der Wärmequelle sind Investitionsaufwand, Wirkungsgrad, Verfügbarkeit und Genehmigungsaufwand abzuwägen. Besonders günstig ist die Nutzung niederwertiger Abwärme wie Abluft oder Kühlwasser.

Energiequelle	Vorteil	Nachteil
Außenluft	geringe Investitionen	schlechte Leistung im Winter
Flusswasser	geringe Investitionen	schlechte Leistung im Winter
Grundwasser	gute, konstante Leistung	höhere Investitionen, Genehmigung
Erdreich	gute, konstante Leistung	hoher Flächenbedarf

Eine Wärmepumpe kann kühlen oder heizen

Aufgrund des gleichen Funktionsprinzips kann eine Wärmepumpe auch als Kältemaschine arbeiten. Damit ist es möglich, mit der gleichen Anlage im Winter zu heizen und im Sommer zu kühlen. Es werden nur die Funktionen von Verdampfer und Verflüssiger getauscht. Dies geschieht durch die Umschaltung mit zwei Rückschlagventilen und ein zweites Expansionsventil. Die meisten der sogenannten Split-Geräte zur Raumkühlung haben bereits eine Heizfunktion implementiert.



Sommer

- 1 Wärmesenke
- 2 Verflüssiger
- 3 Expansionsventil 1
- 4 Expansionsventil 2
- 5 Verdampfer
- 6 Verdichter

- Wasser- / Solekreislauf
- Kältemittel (Niederdruck)
- Kältemittel (Hochdruck)

Winter

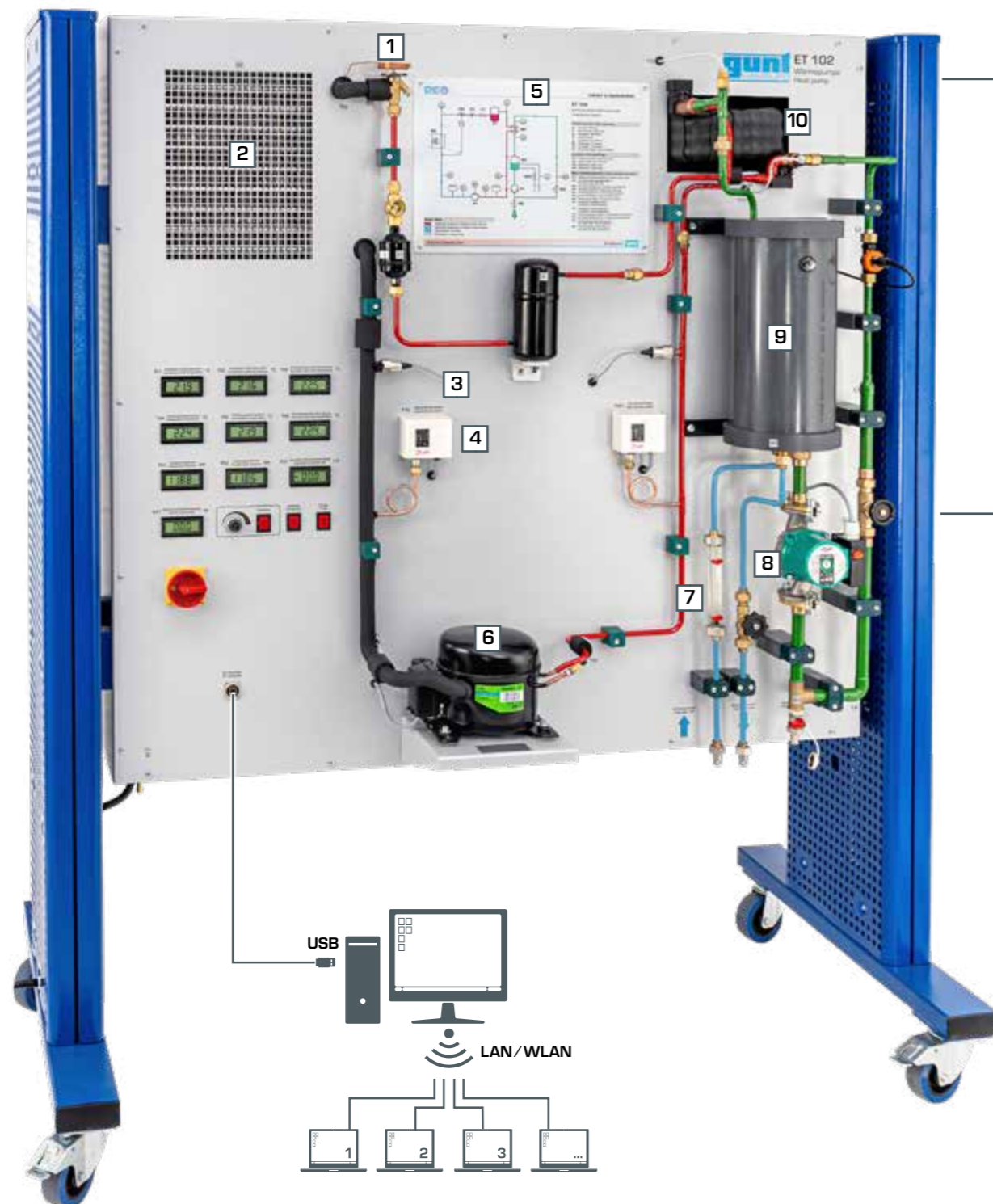
- 1 Wärmequelle
- 2 Verflüssiger
- 3 Expansionsventil 1
- 4 Expansionsventil 2
- 5 Verdampfer
- 6 Verdichter

- Wasser- / Solekreislauf
- Kältemittel (Niederdruck)
- Kältemittel (Hochdruck)

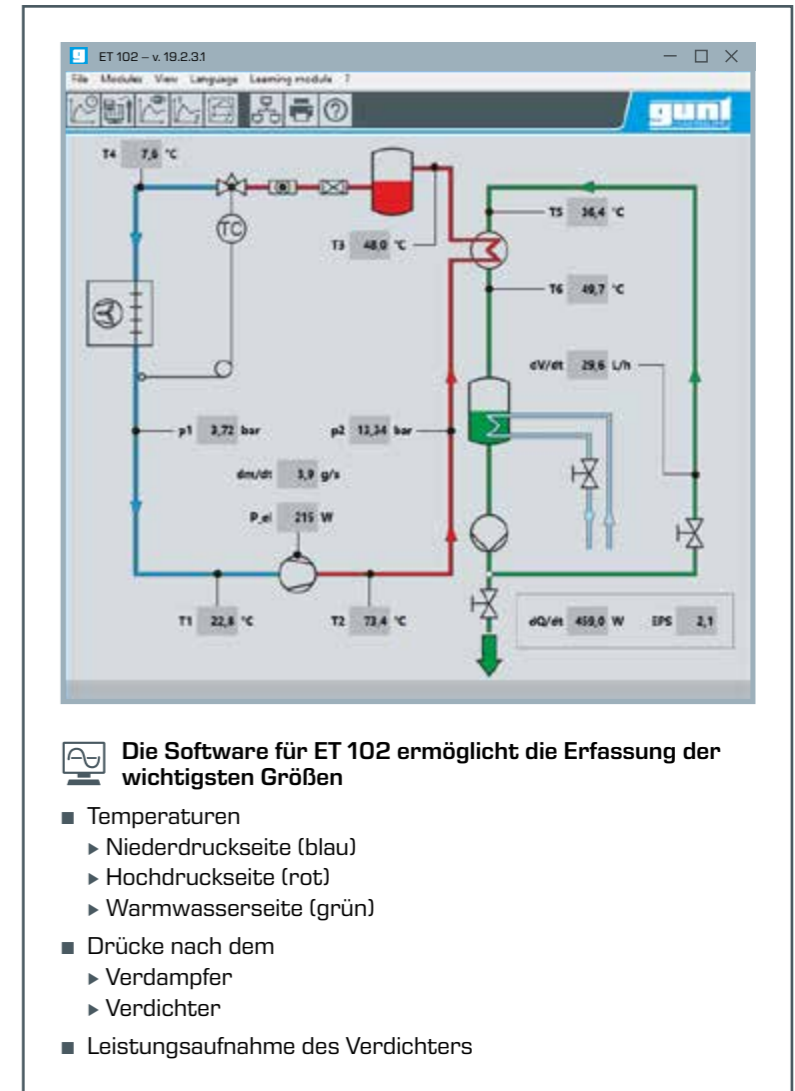
ET102 Wärmepumpe

Das GUNT-Gerät ET102 beinhaltet ein komplettes Funktionsmodell einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Die übersichtliche und weiträumige Anordnung der Komponenten ermöglicht ein problemloses Verständnis des Aufbaus einer Wärmepumpenanlage. Alle Bauteile sind in der Wärmepumpen- und Kältetechnik gängige Komponenten. Sie haben damit einen hohen Wiedererkennungswert und ermöglichen die für die Berufsbildung wichtige Praxisnähe. In der Anlage befinden sich eine Vielzahl von Sensoren, die Drücke, Temperaturen und Durchflüsse erfassen. Durch die Anzeige der Messwerte können die Abläufe

innerhalb einer Wärmepumpe von Lernenden unmittelbar untersucht werden. Gleichzeitig erfolgt eine Anzeige und Auswertung der Messungen auf einem PC. Neben der spezifischen Ausbildung an der Wärmepumpe können Sie auch die Grundlagen der Kältetechnik hervorragend demonstrieren. Neben der grundsätzlichen Erläuterung der Funktion einer Wärmepumpe/Kältemaschine können Sie auch quantitative Messungen, wie z.B. die experimentelle Ermittlung der Leistungszahl, durchführen.



- 1 Expansionsventil
- 2 Verdampfer mit Gebläse
- 3 Druckaufnehmer
- 4 Druckschalter
- 5 Prozessschema
- 6 Verdichter
- 7 Durchflussmesser Kühlwasser
- 8 Pumpe
- 9 Warmwasserbehälter
- 10 Verflüssiger

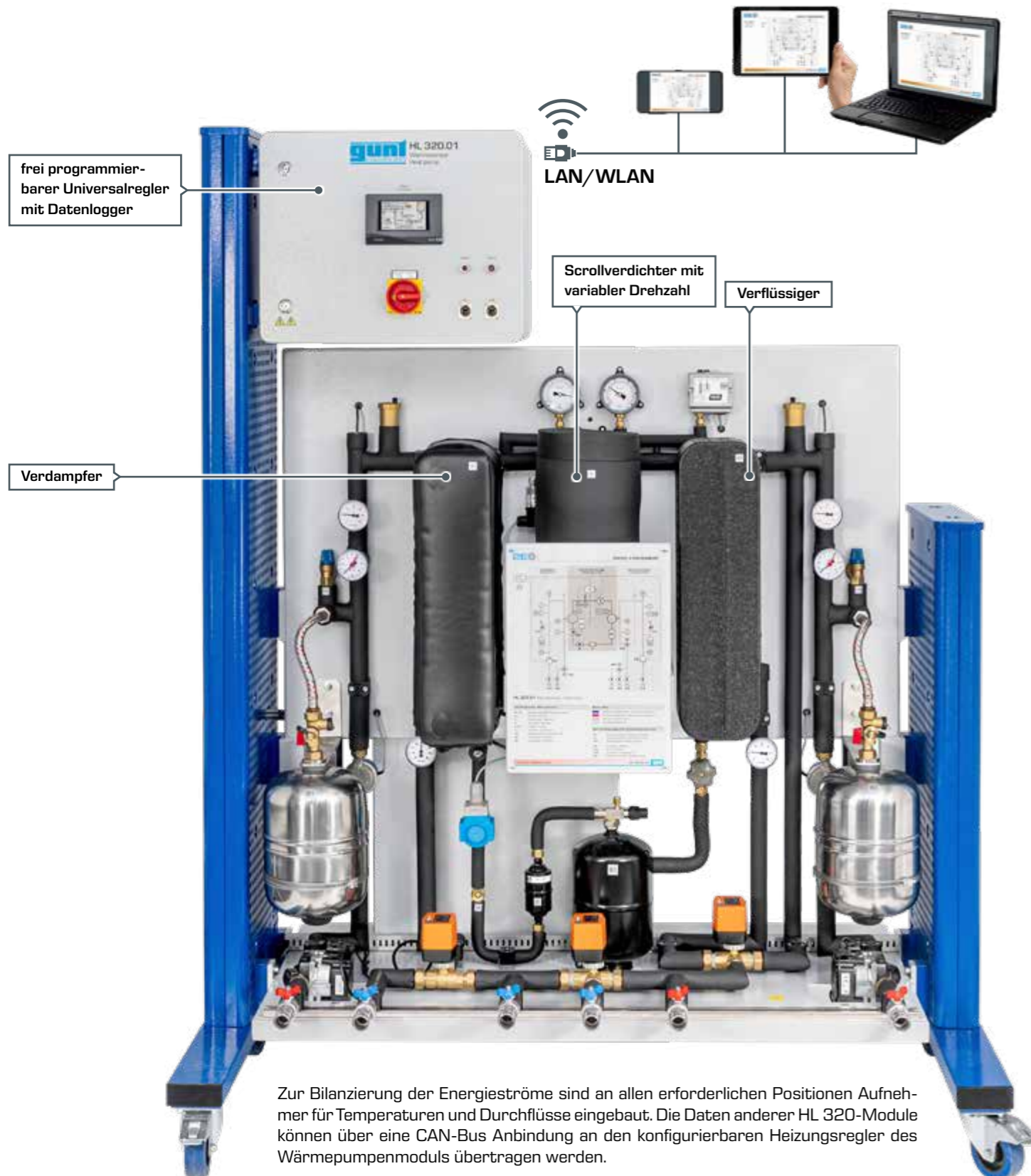


- Lerninhalte**
- Aufbau und Funktion einer Luft-Wasser Wärmepumpe
 - Darstellung des thermodynamischen Kreisprozesses im log p,h-Diagramm
 - Energiebilanzen
 - Bestimmung wichtiger Kenngrößen
 - ▶ Druckverhältnis am Verdichter
 - ▶ ideale Leistungszahl
 - ▶ reale Leistungszahl
 - Abhängigkeit der realen Leistungszahl von der Temperaturdifferenz (Luft-Wasser)
 - Betriebsverhalten unter Last

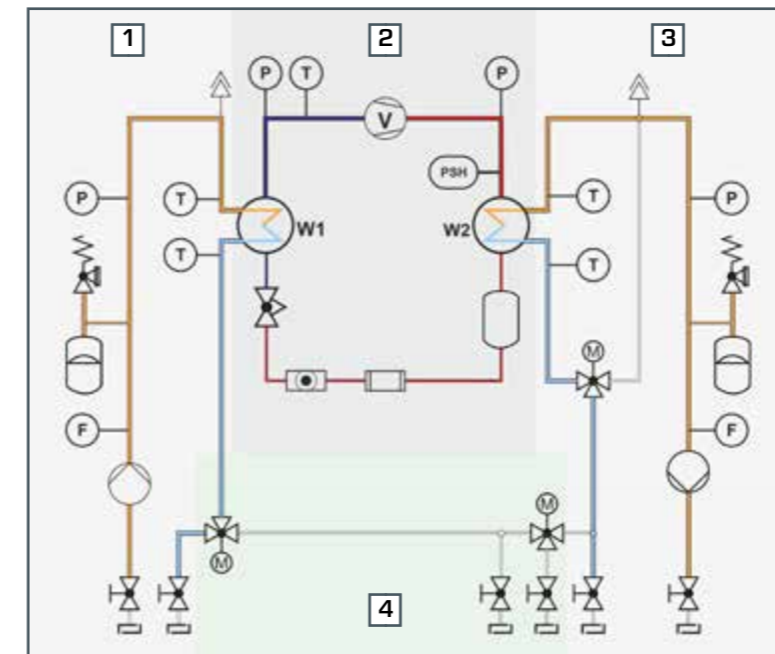
Zum Produkt:



HL 320.01 Wärmepumpe



Die Wärmepumpe HL 320.01 ist Teil des Modulsystems HL 320 und ermöglicht Ihnen unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten von Erdwärme und Solarthermie in einem modernen Heizungssystem. Die Wärmepumpe wird durch einen drehzahlvariablen Scrollverdichter angetrieben. Dadurch ist es möglich, die Heizleistung der Wärmepumpe an den aktuellen Bedarf der Heizungsanlage anzupassen.



Prozessschema des Moduls HL 320.01 Wärmepumpe

- 1 Anschlüsse Quellkreis
- 2 Kältekreis
- 3 Anschlüsse Heizungskreis
- 4 zusätzliche Möglichkeiten für Einbindung von HL 320-Modulen



🎓	Lerninhalte
■	Funktion und Aufbau einer Wärmepumpe
■	Unterscheidung verschiedener Betriebszustände
■	Einflussgrößen für den COP (Coefficient of Performance)
■	Parametrierung eines Wärmepumpen-Reglers

In der Kombination 3 des HL 320-Systems werden folgende Module zu einem System verbunden:

- HL 320.01 Wärmepumpe
- HL 320.07 Fußbodenheizung / Erdwärmeabsorber
- HL 320.08 Gebläseheizung / Luftwärmeübertrager

Diese Kombination ermöglicht grundlegende Versuche zum Betriebsverhalten der Wärmepumpe. Für weitergehende Versuche können z.B. ein Speichermodul (HL 320.05) und ein thermischer Solarkollektor eingebunden werden.

Zum Produkt:



Lernfelder

Speicher in Energiesystemen

Lernfelder

Produkte

Erneuerbare Energiesysteme produzieren je nach anfallender Windkraft oder der wechselnden Sonneneinstrahlung unterschiedlich viel Energie. Die Deckung z.B. des Energiebedarfs vom Abend bis in den Morgen erfordert daher eine geeignete Zwischenspeicherung der überschüssigen Energie vom Tag, wenn keine konstante Energiebereitstellung durch z.B. eine Biogasanlage erfolgen kann.

Für die Speicherung stehen bereits verschiedene Technologien zur Verfügung, die unterschiedliche Wirkungsgrade aufweisen. Als Stand der Technik sind z.B. die Pumpspeicherkraftwerke zu nennen, die bei zu viel Strom Wasser in einen höher gelegenen Speichersee pumpen. Wenn wieder mehr Energie benötigt wird, wird das Wasser abgelassen und mit Turbinen ein Generator angetrieben.

Im Bereich der Kältetechnik ist dies mit thermischen Speichern, z.B. einem Eisspeicher üblich. Die Kälteanlage wird im optimalen Arbeitspunkt gefahren und so ermöglicht die überschüssige Kälteleistung in der Nacht die Deckung des erhöhten Tagesbedarfs mit dem Eisspeicher.

Druckluftspeicher

ET 513
Einstufiger Kolbenverdichter

Wasserspeicher

HM 143
Instationäre Abflussvorgänge bei Speichern

Thermische Speicher

HL 320.05
Zentrales Speichermodul mit Regler

ET 420
Eisspeicher in der Kältetechnik

Elektrochemische Speicher

ET 255
Photovoltaiknutzung mit Hybridwechselrichter

ET 220
Energieumwandlung an einer Windkraftanlage

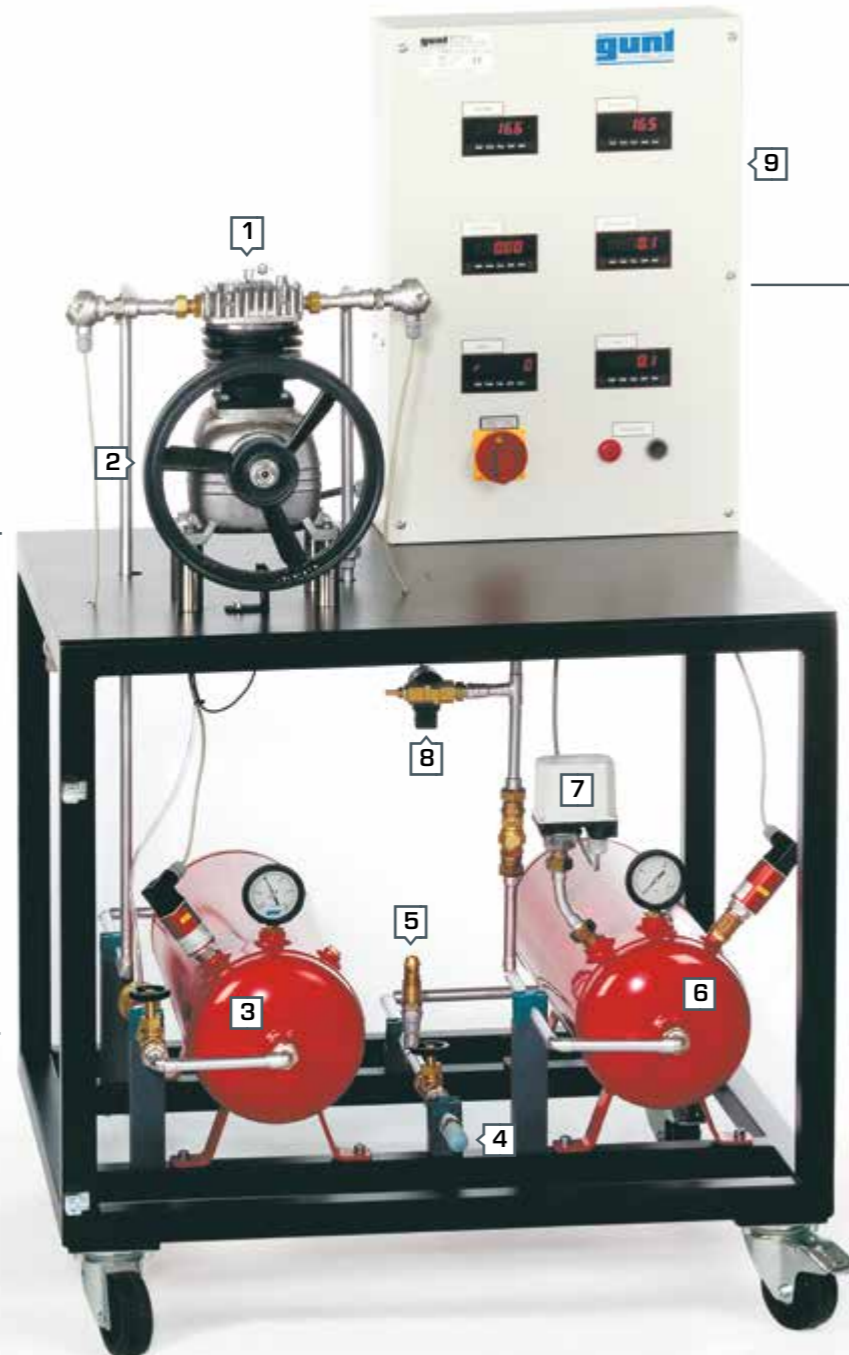
ET 220.01
Windkraftanlage

ET 513 Einstufiger Kolbenverdichter

Zur Erzeugung von Druckluft für Industrie und Gewerbe, in denen Druckluft als Energiequelle genutzt wird, kommen sogenannte Drucklufterzeugungsanlagen zum Einsatz. Ein zentraler Bestandteil dieser Anlagen ist der Verdichter. Seine Aufgabe ist es, mittels mechanischer Energie eine Druckerhöhung der Luft zu erzeugen. Drucklufterzeugungsanlagen werden zum Antrieb von Maschinen im Bergbau, für pneumatische Steuerungen in Montagebetrieben oder als Reifenfüllanlagen auf Tankstellen verwendet. Der einstufige Kolbenverdichter ET 513 bildet zusammen mit der universalen Brems- und Antriebseinheit HM 365

eine komplette Drucklufterzeugungsanlage. Die Antriebseinheit HM 365 treibt den Verdichter über einen Keilriemen an. Die Drehzahl des Verdichters wird an HM 365 eingestellt. Die Luft wird in den Ansaugbehälter gesaugt und dort beruhigt, bevor sie im Kolbenverdichter verdichtet wird. Die verdichtete Luft wird anschließend in einen Druckbehälter gedrückt und steht so als Arbeitsmedium zur Verfügung.

- 1 Verdichter
- 2 Riemenscheibe
- 3 Ansaugbehälter
- 4 Abblasventil mit Schalldämpfer
- 5 Sicherheitsventil
- 6 Druckbehälter
- 7 Druckschalter
- 8 Magnetventil
- 9 Schaltschrank mit digitalen Anzeigen



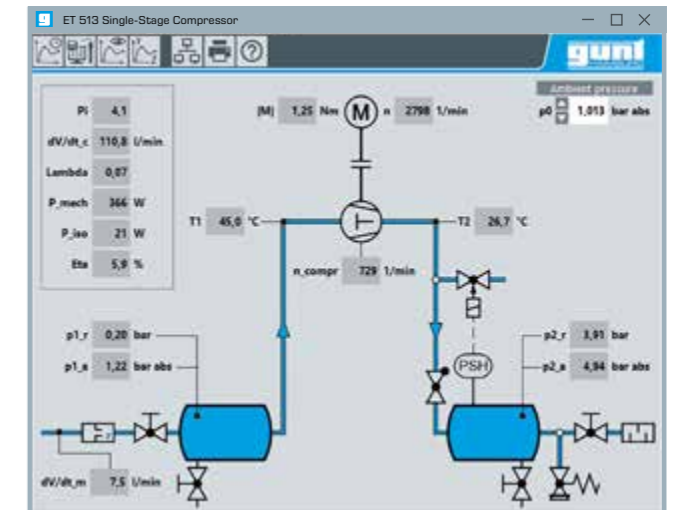
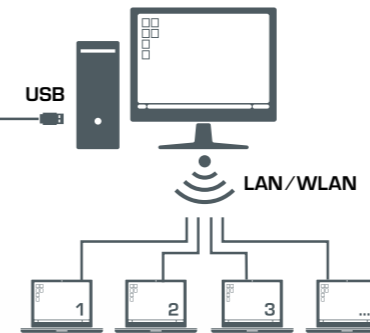
Die Software für ET 513 ermöglicht die Erfassung und die Berechnung der wichtigsten Größen

Erfassung von:

- Temperatur
- Druck
 - ▶ Vordruck
 - ▶ Speicherdruck
- Volumenstrom
- Drehzahl
- Drehmoment

Berechnung von:

- Volumenstrom
- Liefergrad
- mechanische Leistung
- isotherme Leistung
- Wirkungsgrad



Ein Druckschalter mit Magnetventil sowie ein Sicherheitsventil vervollständigen die Anlage. Mit einer Düse am Ansaugbehälter wird der Ansaugvolumenstrom bestimmt. Aufnehmer erfassen die Drücke und Temperaturen vor und nach dem Verdichter. Die Messwerte werden digital angezeigt und können gleichzeitig über USB direkt auf einen PC übertragen und dort mit Hilfe der mitgelieferten Software ausgewertet werden. Die Messung von Drehzahl- und Drehmoment ist in HM 365 integriert. Zusätzlich kann der Druck in den Behältern an Manometern abgelesen werden.

Ebenso wie Pumpspeicherkraftwerke können Druckluftspeicherkraftwerke mit Druckbehältern oder Kavernen als kurzfristiger Speicher für die Deckung von Spitzenlasten dienen. Besonders vorteilhaft ist die Lastregelung so eines Kraftwerkes. Die Anfahrtszeiten bis zur vollen Leistung betragen nur etwa 10 Minuten. Mit ET 513 können Sie zum einen den einstufigen Kolbenverdichter untersuchen und zum anderen die Eigenschaften eines Druckluftspeichers während der Be- und Entladung online verfolgen.



Kombination:
Aufbau einer vollständigen Verdichteranlage zusammen mit der universalen Brems- und Antriebseinheit HM 365.

Lerninhalte

- Messung von
 - ▶ Saug- und Förderdruck
 - ▶ Luftdurchsatz
 - ▶ Verdichterdrehzahl
 - ▶ Temperaturen
- Bestimmung des Liefergrads
- Bestimmung des isothermen Wirkungsgrads

Zum Produkt:



HM143 Instationäre Abflussvorgänge bei Speichern

Instationäre Abflussvorgänge werden bei der Dimensionierung von Wasserspeichern betrachtet. Die Vorgänge treten z.B. in Regenrückhaltebecken und Stauseen auf. Stauseen dienen als dauerhafte Speicher bei der Wasserversorgung bzw. Energieumwandlung oder im Hochwasserschutz. Das Wasser steigt an, bevor es über einen Überlauf abgeführt wird. Die Abflussvorgänge aus Speichern erfolgen u.a. über Rohrleitungen oder Stollen. Ein Wasserschloss soll Druckstöße in Rohrleitungen und Armaturen verhindern, wenn schnelle Durchflussänderungen auftreten.

Mit HM 143 können Sie instationäre Abflussvorgänge aus Speichern sowie die Funktion eines Wasserschlosses demonstrieren. Der Versuchsstand enthält ein Becken mit verstellbarem

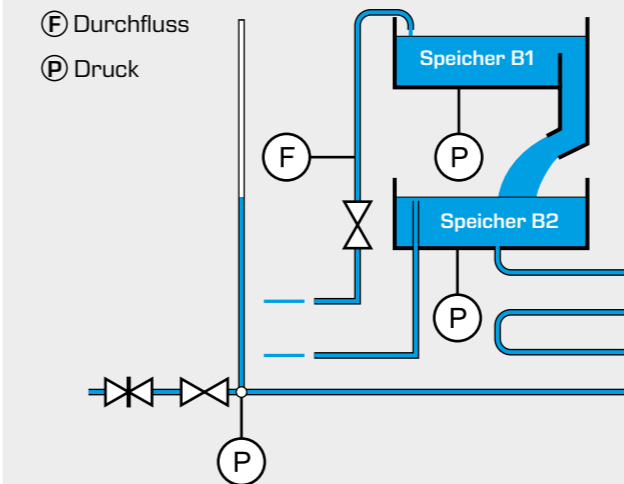
Wehr und ein zweites, tiefergelegenes Becken mit Überlauf und Abflussleitung. In der Abflussleitung ist ein Wasserschloss installiert. Im Versuch „Stauseen“ werden die instationären Abflussvorgänge bei langfristigen Speichern dargestellt. Im Versuch „Wasserschloss“ wird durch schnelles Schließen eines Schiebers in der Abflussleitung ein Druckstoß erzeugt. Die Schwingung wird als Pendeln des Wasserstands im Wasserschloss sichtbar.



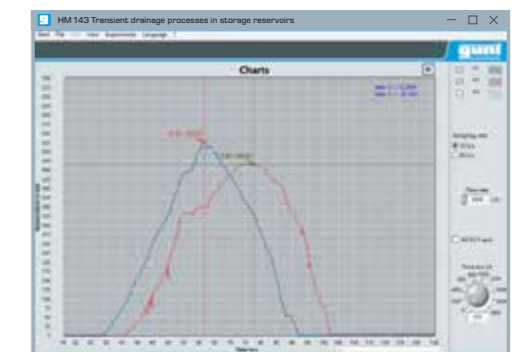
- 1 Speicher B1
- 2 Speicher B2
- 3 Überlaufleitung
- 4 Durchflussmesser
- 5 Wasserschloss
- 6 Schieber zur Erzeugung von Druckstößen
- 7 Druckaufnehmer

Versuch „Stauseen“

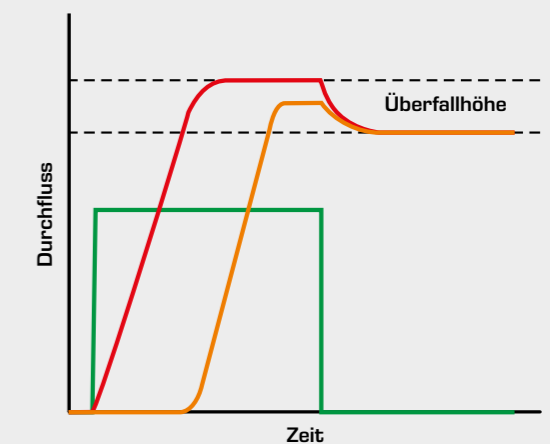
Stauseen dienen als langfristige Wasserspeicher. Bei der erstmaligen Flutung speist ein Fluss den ersten Stausee. Ist dessen Überlauf erreicht, so strömt das Wasser weiter in den zweiten, stromabwärts liegenden Stausee. Ist dieser ebenfalls gefüllt, fließt das Wasser weiter in den Vorfluter.



Software



Die Wasserstände in den Becken und im Wasserschloss werden über Druckaufnehmer erfasst und mit Hilfe der GUNT-Software dargestellt.



- Füllhöhe Speicher B1
- Füllhöhe Speicher B2
- Wasserzulauf

Lerninhalte

- instationäre Abflussvorgänge in zwei hintereinander liegenden Regenrückhaltebecken demonstrieren
- instationäre Abflussvorgänge in zwei hintereinander liegenden Stauseen demonstrieren
- Schwingungen des Wasserstands in einem Wasserschloss nach einem Druckstoß aufzeichnen
- Wasserstandsschwankungen aufnehmen und darstellen

Zum Produkt:



Basiswissen

Thermische Speicher

Thermische Speicher werden für Wärme und Kälte verwendet. Die Speicherung und Abgabe der Wärme bzw. Kälte kann dabei direkt und indirekt erfolgen. Die indirekten Speicher können mit den Aggregatzuständen des wärmespeichernden Mediums unterteilt werden.

Um den Platzbedarf gering zu halten, werden flüssige und feste Speichermedien verwendet. Eine besonders hohe Energiedichte wird bei thermischen Speichern mit Phasenwechsel, den so genannten Latentwärmespeichern, erreicht. Der erforderliche apparative Aufwand ist für Systeme mit Phasenwechsel deutlich erhöht. Als weiterer Vorteil ist die isotherme Be- und Entladungstemperatur eines Latentwärmespeichers zu nennen, die vor allem in der Prozesstechnik von Interesse ist.

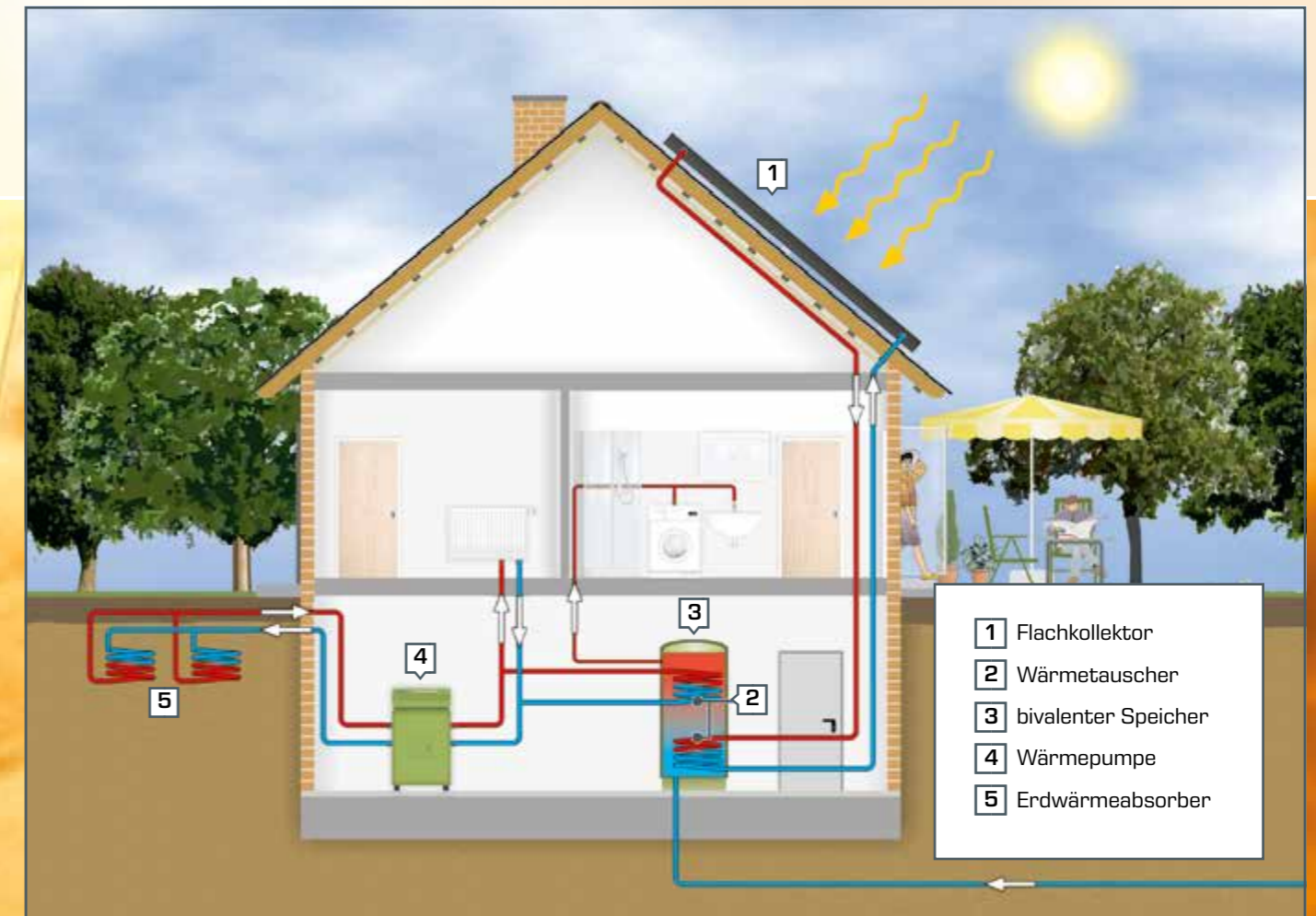
Thermische Speicher mit flüssigen und festen Materialien ohne Phasenwechsel werden auch sensible Speicher genannt. Das Konzept ist die Aufheizung und Abkühlung eines Materials mittels einem Wärmeträger. Dieser Wärmeträger kann z.B. ein Hydrauliköl oder eine Sole sein, der durch Umpumpen zwischen Quelle, Verbraucher und Speicher den gesamten indirekten Speichervorgang ermöglicht.

Je nach der gewünschten Anwendung sind unterschiedliche Speicher zu verwenden. Die Auswahlkriterien eines Speicherkonzeptes sind die Höhe und Konstanz des benötigten Temperaturniveaus, die gewünschte Speicherzeit, die auftretenden Verluste sowie der apparative Aufwand mit den damit verbundenen Kosten unter Berücksichtigung der Auslastung.

Beispiel: Wärme aus erneuerbaren Energien im Einfamilienhaus

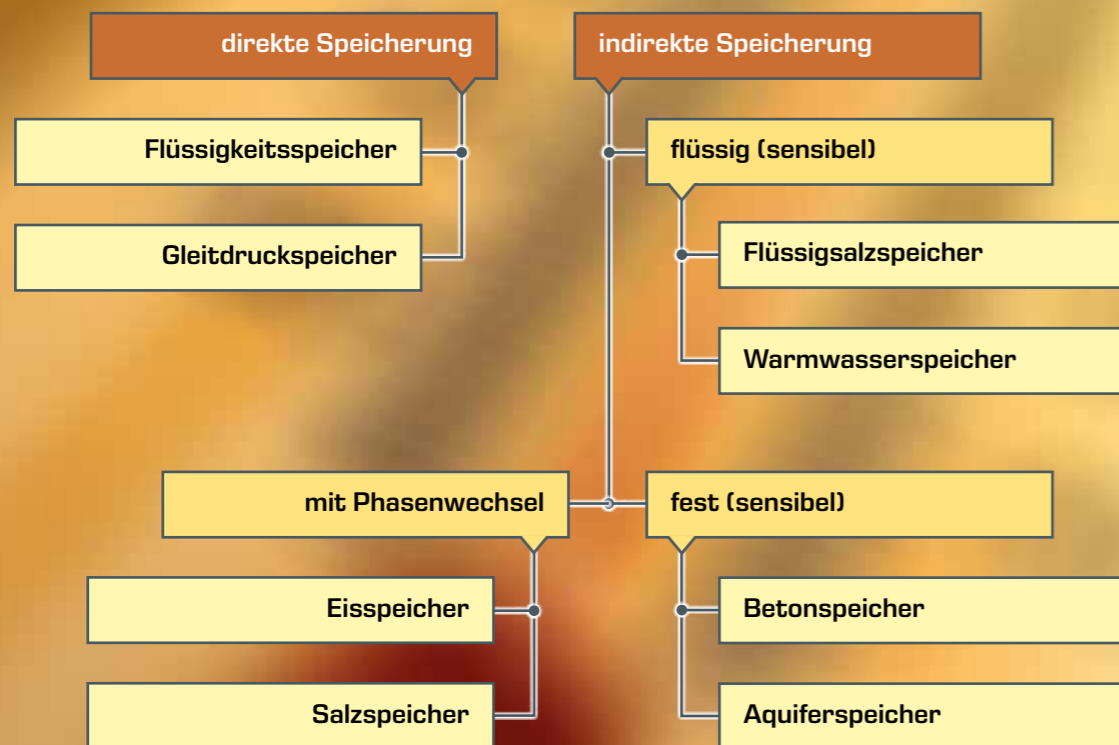
Für moderne Wohngebäude mit guter Wärmedämmung stellt der Verzicht auf eine konventionelle Heizung in vielen Fällen eine sinnvolle Alternative dar. Bei der Kombination von solarthermischen Kollektoren mit einer Wärmepumpe sind inzwischen sehr oft deutliche Einsparungen bei ganzjähriger Versorgungssicherheit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

Die Verwendung eines Wärmespeichers ermöglicht eine besonders gute Ausnutzung der Solarthermie. Tagsüber kann der Speicher mit überschüssiger Wärme geladen werden, um in den Abend- und Morgenstunden das Haus zu heizen oder Warmwasser für den täglichen Bedarf bereitzustellen.



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 die Erdwärmeabsorber (5). Der bivalente Speicher (3) ermöglicht die Einbindung verschiedener Wärmequellen und schafft einen Ausgleich zwischen Angebot und Bedarf an Wärme.

Thermische Speicherkonzepte



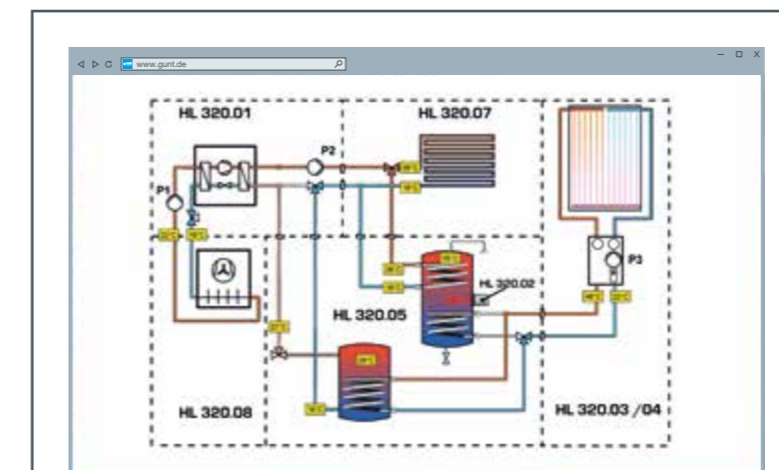
HL 320.05

Zentrales Speichermodul mit Regler



- 1 frei programmierbarer Heizungsregler mit Datenlogger
- 2 Buchsen für CAN-Bus und Netzwerk
- 3 Prozessschema
- 4 Pufferspeicher
- 5 Wärmeübertrager
- 6 3-Wege-Umschaltventil
- 7 Umwälzpumpe
- 8 bivalenter Speicher

Das Speichermodul HL 320.05 kann durch individuell zugängliche Zugänge und Abgänge auf verschiedene Weise in das Modulsystem HL 320 eingebunden werden. Für fünf vordefinierte Kombinationen sind Schemata und Reglerkonfigurationen vorbereitet. Zur Versuchsvorbereitung werden zunächst die bezeichneten Rohrleitungsverbindungen hergestellt. Anschließend wird eine Steuerverbindung und Datenverbindung (CAN-Bus) zu jedem Modul hergestellt. Der Versuch kann beginnen, sobald die vorbereitete Reglerkonfiguration aktiviert worden ist. Für den Regler bzw. Datenlogger sind verschiedene PC-Programme verfügbar, die bei Bedarf eine individuelle Anpassung der Konfiguration oder der jeweils gewünschten Datenaufzeichnungsoptionen ermöglichen.



Visualisierung im Webbrowser per LAN / WLAN

Steuerung und Datenerfassung des Reglers können über ein Netzwerkmodul an einem PC erfolgen. Die Anbindung kann über den integrierten Router per LAN oder drahtlos per WLAN erfolgen. Dabei können z. B. aktuelle Anlagendaten in einem Schema dargestellt werden. Diese Darstellung kann mit jedem aktuellen Webbrowser abgerufen werden.

Referenzen

Weltweit arbeiten viele Kunden bereits erfolgreich mit unserem HL 320 Modulsystem. Hier einige ausgewählte Referenzen:

- University College London (UCL), United Kingdom
- ROC Kop van Noord-Holland, Netherlands
- Politechnika Slaska w Gliwicach, Poland
- Universidad de Huelva (UHU), Spain
- Montanuniversität Leoben, Austria
- Hochschule Ansbach, Deutschland
- Hochschule Wismar, Deutschland
- IUT Amiens, France

Versuchsvorbereitung



Gesicherte Leitungskupplungen (1, 2) ermöglichen die gefahrlose Modifizierung der Leitungsführung. Aktuelle Anlagendaten können sowohl am Regler (3) als auch über eine Netzwerkverbindung (4) visualisiert werden.

Zum Produkt:



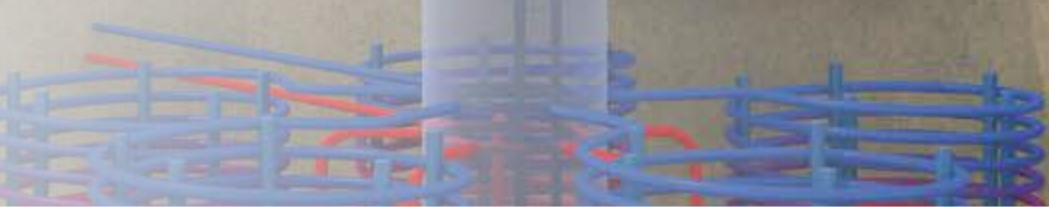
ET 420 Eisspeicher in der Kältetechnik

Mit zunehmender Dezentralisierung der Energieversorgung wird auch die Speicherung von Energie immer wichtiger. Die Speicherung thermischer Energie zur Brauchwassererwärmung wird in der Gebäudetechnik bereits seit Jahren erfolgreich eingesetzt. Der Einsatz von Eisspeichern, zur Kühlung von Gebäuden, ist hingegen noch immer eine Ausnahme.

Die abzuführende Wärme, zur Kühlung von Gebäuden, schwankt über den Tagesverlauf stark. Tagsüber ist der Kühlbedarf in der Regel deutlich höher als in der Nacht. Um Gebäude auch bei höchstmöglicher Lastanforderung kühlen zu können, werden Kälteanlagen auf die zu erwartende Spitzenlast ausgelegt. Das führt zur Überdimensionierung der Kältetechnik, so dass betroffene Anlagen im Teillastverhalten sehr ineffizient betrieben werden.

Eisspeicher können im Fall von besonders hohen Kühllasten die Kälteanlage unterstützen. Eisspeicher zur Unterstützung der Kälteanlage werden hauptsächlich in großen Nichtwohngebäuden eingesetzt. In Zeiten geringen Kältebedarfes, wird der Speicher über die Kälteanlage aufgeladen und kann im Fall von Lastspitzen wieder entladen werden, um die Kälteanlage zu unterstützen. Die Leistung der Kältetechnik kann somit kleiner dimensioniert werden. Der Einsatz kleinerer Kälteanlagen führt zur Einsparung von Betriebs- und Investitionskosten.


Zum Produkt:



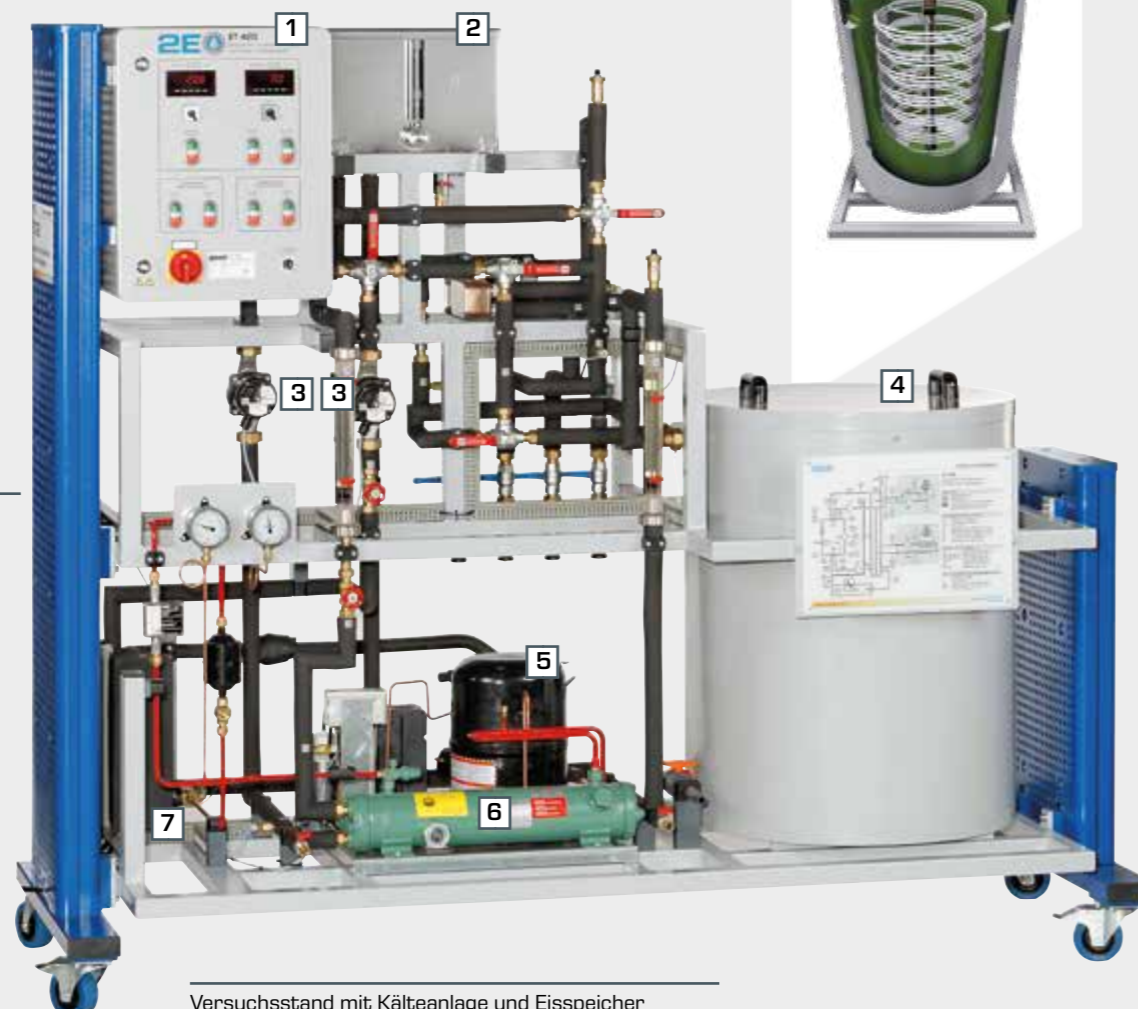
ET 420 bietet eine Kälteanlage mit Eisspeicher, die vollständig bedarfsorientiert betrieben werden kann. Das Anlagenkonzept beinhaltet einen Trockenkühlturm **9**, der während der Versuche den Wärmeübertrager im zu versorgenden Gebäude darstellt und einen Nasskühlturm **8**, der die Wärmeabgabe an die freie Umgebung darstellt. Der Eisspeicher ermöglicht diverse Betriebszustände, um den schwankenden Heiz- und Kühlbedarf eines Gebäudes effizient zu bedienen.

Folgende Betriebszustände sind über die Stellung der Ventile einstellbar:

- Eisspeicher laden
- Kühlen über Eisspeicher
- Kühlen über Kälteanlage
- Kühlen über Kälteanlage und Eisspeicher
- Heizen über Wärmepumpe
- Heizen über Wärmepumpe und Eisspeicher laden
- Wärmeabfuhr über Nasskühlturm

 Lerninhalte
<ul style="list-style-type: none"> ■ Aufbau und Funktion einer energieeffizienten Kälteanlage ■ Funktion und Betrieb eines Eisspeichers <ul style="list-style-type: none"> ▶ Beladen ▶ Entladen ■ Bilanzierung der Energieströme ■ Energietransport über verschiedene Medien ■ Kompressionskältekreisprozess im log p,h-Diagramm ■ Funktion und Leistung eines Nasskühlturms ■ Funktion und Leistung eines Trockenkühlturms

- 1 Schaltschrank,
- 2 Vorratsbehälter für Glykol,
- 3 Umwälzpumpen,
- 4 Eisspeicher,
- 5 Kältemittelverdichter,
- 6 Kältemittelverflüssiger,
- 7 Kältemittelverdampfer,
- 8 Nasskühlturm,
- 9 Trockenkühlturm



Versuchsstand mit Kälteanlage und Eisspeicher



Nasskühlturm



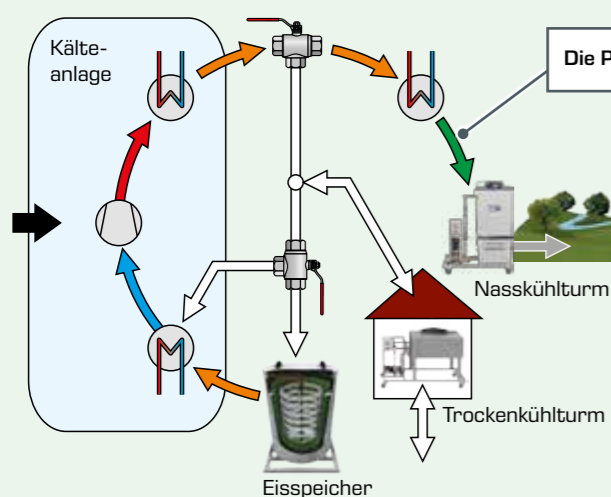
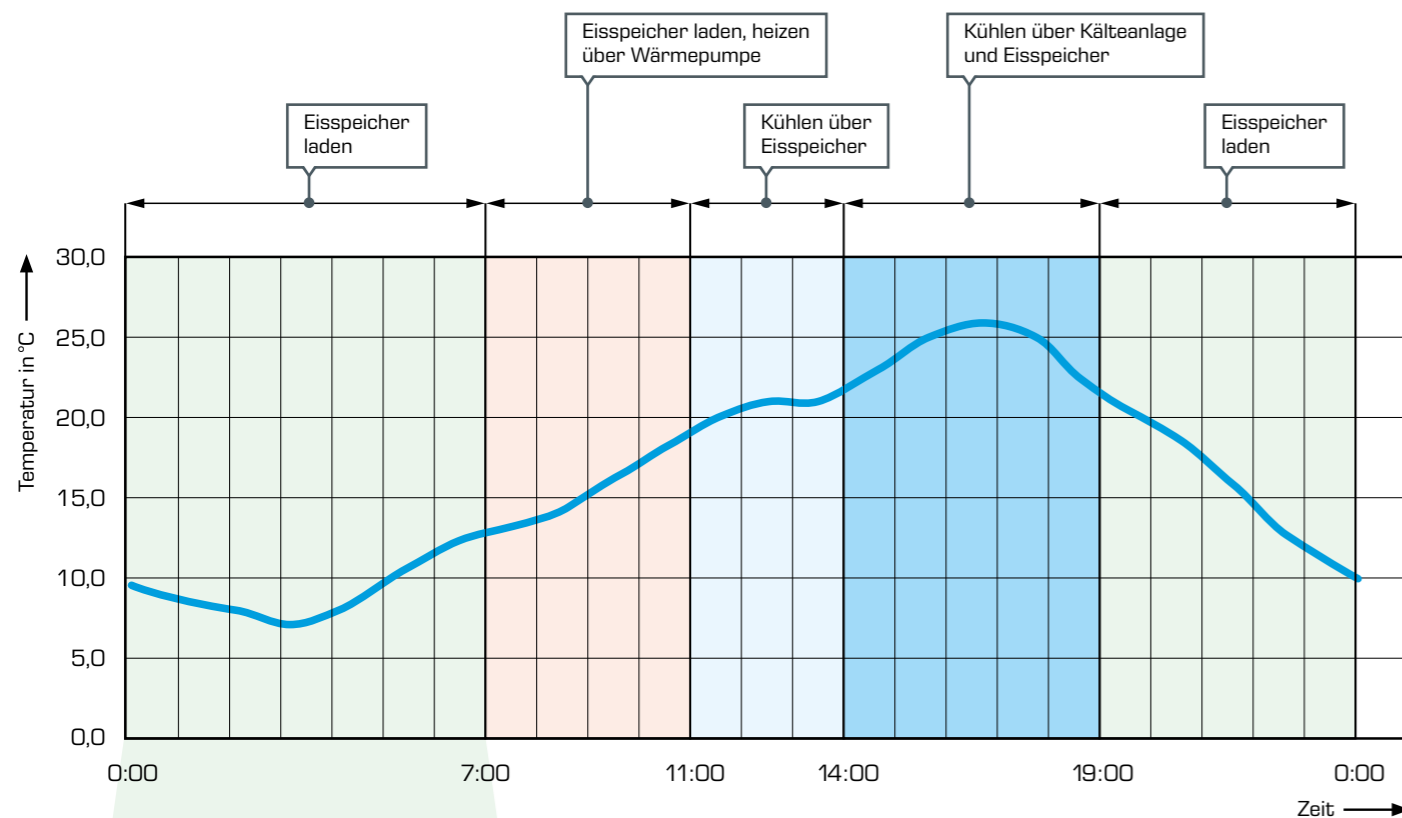
Trockenkühlturm

ET 420 Eisspeicher in der Kältetechnik - Betriebszustände

Thermische Versorgung eines Gebäudes am Beispiel der Betriebsmodi von ET 420

Im Folgenden ist zu sehen, wie eine bedarfsorientierte Versorgung mit thermischer Energie über eine Kälteanlage mit Eisspeicher in der Praxis funktioniert. Dabei wird exemplarisch das Lastprofil eines zu versorgenden Bürogebäudes betrachtet.

Der Betrieb des Eisspeichers erfolgt am Beispiel eines Tagesganges. Vorwiegend geht es darum, auf variable Kühl- und Heizlasten zu reagieren und über eine sinnvolle Folge der Betriebszustände eine effiziente Versorgung des Gebäudes zu erreichen.



Die Pfeile zeigen die Richtung des Wärmetransportes

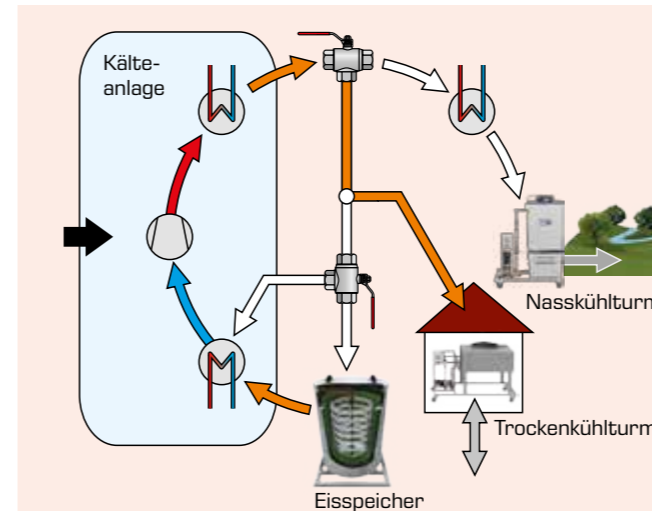
Eisspeicher laden

Im Zeitraum zwischen 00:00 und 07:00 sind keine Personen anwesend. Es besteht kein Bedarf zu Klimatisieren, der Eisspeicher wird geladen.

Dazu wird die Wärme aus dem Eisspeicher über den Verdampfer des Kältemittelkreislaufes abgeführt. (Diese Wärmeabfuhr bewirkt ein Gefrieren des Wassers im Eisspeicher, der Eisspeicher wird aufgeladen.)

Die Abwärme aus dem Kältemittelkreislauf wird über den Nasskühlturm an die Umgebung abgeführt.

■ Glykol, ■ Kältemittel LP, ■ Kältemittel HP, ■ Wasser, ■ Luft,
■ elektrische Leistung □ inaktiver Prozess

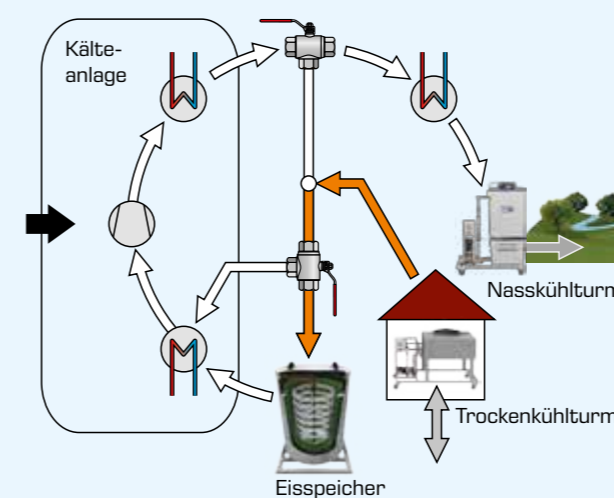


Eisspeicher laden und heizen über Abwärme

In den Morgenstunden zwischen 07:00 und 11:00 beträgt die Temperatur im Gebäude $< 20^\circ\text{C}$. Es besteht Heizbedarf.

Die Wärme, die während des Ladevorgangs des Eisspeichers anfällt, kann zum Heizen genutzt werden. Dazu wird die Wärme aus dem Eisspeicher über den Verdampfer des Kältemittelkreislaufes abgeführt. Durch diese Wärmeabfuhr wird der Eisspeicher aufgeladen.

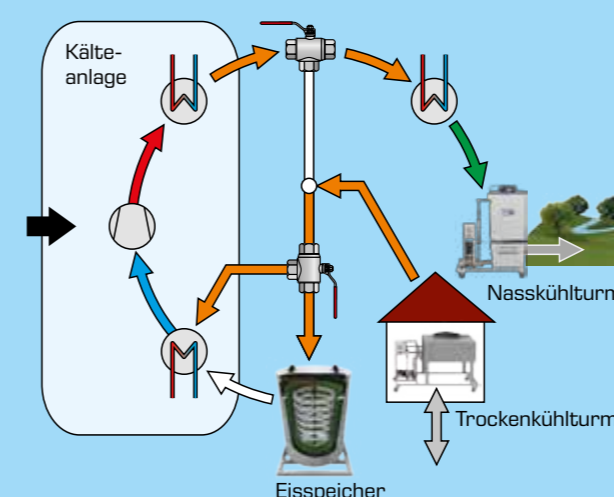
Die nutzbare Abwärme aus dem Kältemittelkreislauf wird über den Verflüssiger an den Trockenkühlturm übertragen und auf diese Weise das Gebäude beheizt. Das System arbeitet im Wärmepumpenbetrieb, bei gleichzeitiger Nutzung von Wärme und Kälte.



Kühlen über den Eisspeicher

Im Zeitraum zwischen 11:00 und 14:00 Uhr liegen die Temperaturen im Gebäude zwischen 20 und 23°C . Es herrscht relativ geringer Kühlbedarf, der über den Eisspeicher abgedeckt werden kann.

Das Eis im Eisspeicher schmilzt und nimmt dabei die Wärme aus dem Trockenkühlturm auf. Dabei wird der Trockenkühlturm abgekühlt. Auf diese Weise kommt es zur Abkühlung des Gebäudes. Die Kälteanlage muss nicht betrieben werden, um die Kühllast zu abzuführen.



Kühlen über Kälteanlage und Eisspeicher

Im Zeitraum zwischen 14:00 und 19:00 Uhr liegen die Temperaturen im Gebäude zwischen 23 und 27°C . Diese Lastspitze in der Kühllast wird über die kombinierte Kühlung von Eisspeicher und Kälteanlage abgedeckt.

Dazu wird die Wärme aus dem Trockenkühlturm abgeführt und auf diese Weise das Gebäude gekühlt. Ein Teil der Wärme wird an den Eisspeicher übertragen, das Eis im Eisspeicher schmilzt und nimmt dabei die Wärme aus dem Trockenkühlturm auf. Um die besonders hohe Kühllast abzuführen, wird zusätzlich die Kälteanlage betrieben, und führt einen Teil der Wärme aus dem Trockenkühlturm über den Verdampfer ab.

Die Abwärme aus dem Kältemittelkreislauf wird über den Nasskühlturm an die Umgebung abgegeben.

Eisspeicher laden

Ab 19:00 sind keine Personen im Gebäude anwesend. Es besteht kein Bedarf der Klimatisierung. In dieser Zeit wird der Eisspeicher über die Kälteanlage geladen.

Basiswissen

Elektrochemische Speicher

Elektrochemische Stromspeicherung durch Akkumulatoren

Die Nutzbarkeit von elektrischem Strom aus erneuerbaren Quellen im größeren Maßstab ist nicht zuletzt abhängig von der Einbindung effizienter Speicher, um die unvermeidbaren Schwankungen zwischen Angebot und Bedarf an elektrischer Leistung auszugleichen. Während die elektrochemische Stromspeicherung im Bereich kleiner Speicherkapazitäten gerade für

mobile Anwendungen (z.B. Autobatterien) seit langem verbreitet ist, steht die Entwicklung und Integration großer Speicher noch in der Anfangsphase. Für typische Anwendungen sind verlustarme, effiziente und ökonomische Akkumulatoren mit hoher Zyklenzahl und Langzeitstabilität gefragt.

Akkumulatortypen

Im Bereich der elektrochemischen Energiespeicher sind umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu verzeichnen. Neue Konzepte beruhen z.B. auf Hochtemperaturbatterien sowie auf der Trennung von elektrochemischem Wandler und Speicher (Brennstoffzelle, Redox-flow Batterie).

Unterschiedliche Anforderungen für die geforderten Eigenschaften der Akkumulatoren ergeben sich aus der jeweils vorgesehenen Anwendung. Während z.B. das spezifische Gewicht eines Akkumulators für den Bereich Elektromobilität entscheidend ist, überwiegen bei Integration großer elektrochemischer Speicherkapazitäten in moderne Stromnetze Wirtschaftlichkeit und Langzeitstabilität.

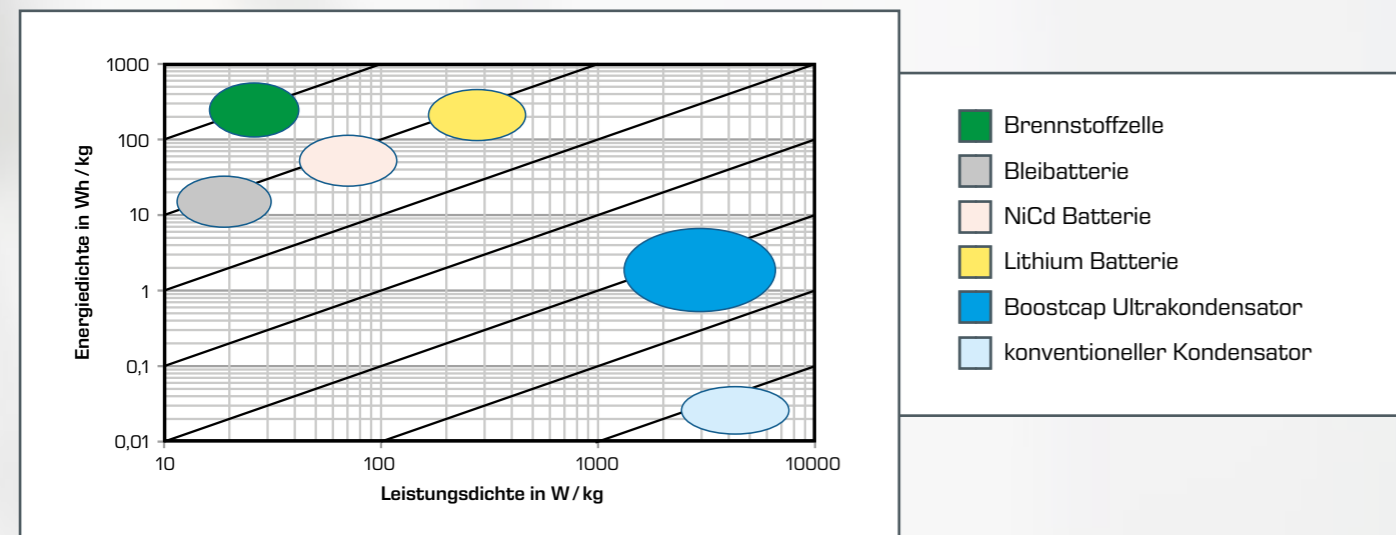
Nachfolgend aufgelistet sind die wichtigsten industriellen elektrochemischen Energiespeichersysteme, die derzeit von kommerzieller Bedeutung sind:

- Bleibatterien (Pb, als Nass- oder Trockenzelle)
- Nickelcadmium (NiCd, als Nass- oder Trockenzelle)
- Nickelmetallhydrid (NiMH, als Trockenzelle)
- Lithium-Ionen (LiMn₂O₄, LiCoO₂ oder LiFePO₄)

Energiedichte und Leistungsdichte

Zwei wesentliche Kriterien für elektrochemische Speicher sind die spezifische Energiedichte und die spezifische Leistungsdichte. Einen Überblick zu diesen Eigenschaften für verschiedene Speichertypen bietet der sogenannte Ragone Plot. Auf der

x-Achse ist die Leistungsdichte in Watt pro Kilogramm aufgetragen. Die y-Achse gibt die Energiedichte in Wattstunden pro Kilogramm an.

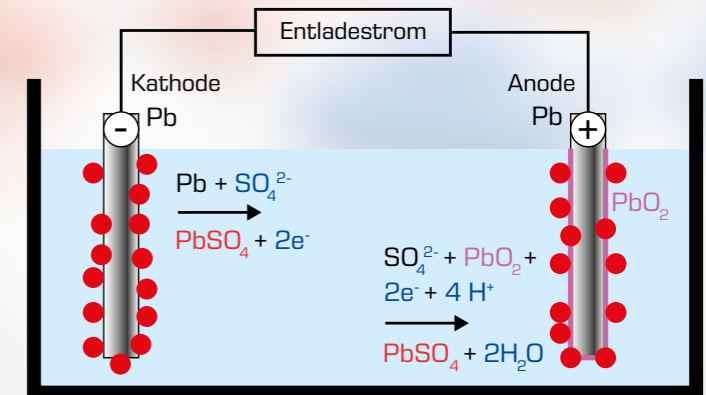


Stromspeicherung im Bleiakкумулятор

Grundlegender Vorgang bei der Be- und Entladung eines Akkumulators sind chemische Stoffumsätze an den beiden Elektroden. Während des Ladens bewirkt eine von außen anliegende Spannung eine Zunahme an chemischer Energie. Bei der Entladung wird die chemische Energie wieder als elektrische Energie verfügbar gemacht.

Am Beispiel des Bleiakкумуляtors kann dies im Detail veranschaulicht werden. Wesentlicher Bestandteil ist, neben der positiven und negativen Bleielektrode (Pb), ein Elektrolyt (H₂SO₄) um die zu Grunde liegenden Oxidations- und Reduktionsreaktionen zu ermöglichen.

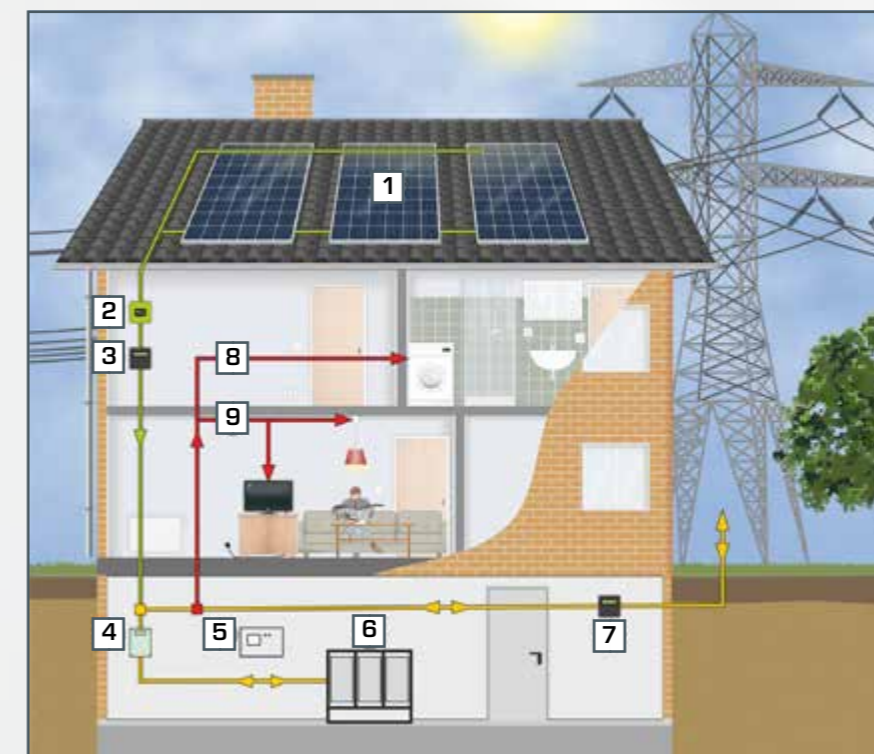
Im entladenen Zustand lagert sich an beiden Elektroden eine Schicht aus Bleisulfat (PbSO₄) an. Im aufgeladenen Zustand ist die positive Elektrode mit Bleioxid (PbO₂) überzogen, während die negative Elektrode aus reinem (porösem) Blei besteht.



Die Abbildung zeigt die Teilreaktionen während der Entladung eines Bleiakкумуляtors.

Die Gesamtreaktion lautet:
 $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{elektrische Energie}$

Beispiel einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher



Auch für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen werden zunehmend größere Batteriespeicher eingeplant. Dadurch ist es möglich, den Eigenverbrauch zu erhöhen und die Abnahme von Strom aus dem Netz zu verringern.

- 1 Photovoltaikmodule
- 2 Wechselrichter
- 3 Ertragszähler
- 4 Batterieladeregler
- 5 Anlagensteuerung
- 6 Batteriespeicher
- 7 Zweirichtungszähler
- 8 gesteuerte Verbraucher
- 9 nicht gesteuerte Verbraucher

Übersicht

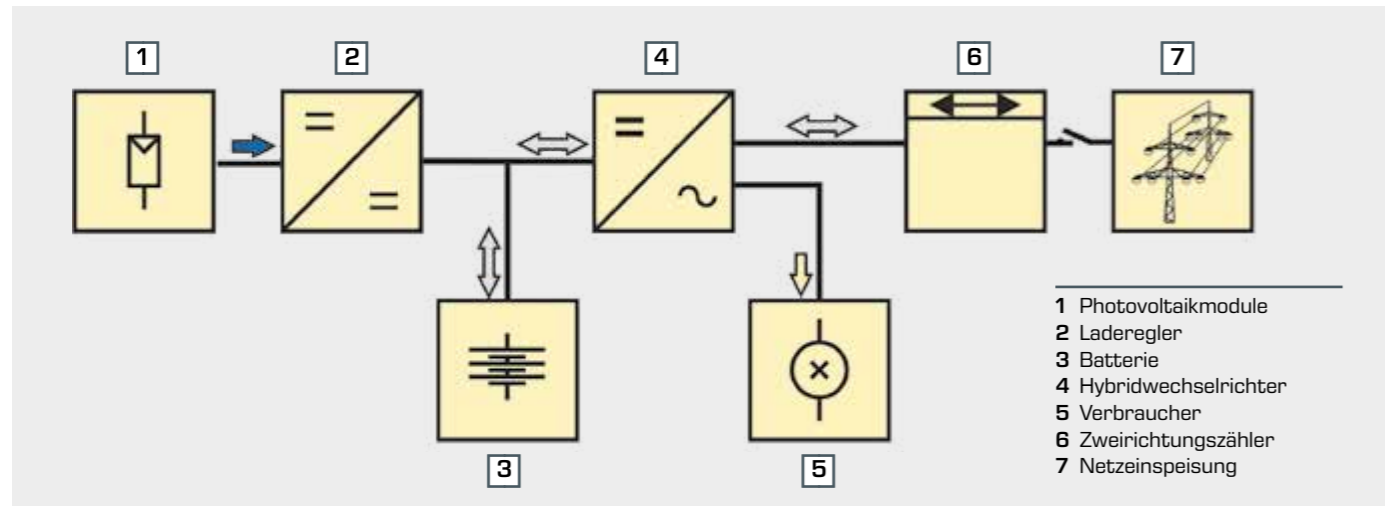
ET 255 Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme

Photovoltaischer Solarstrom kann sowohl für den direkten lokalen Verbrauch als auch für die Einspeisung in ein öffentliches Stromnetz genutzt werden. Dabei können sogenannte Hybridwechselrichter eingesetzt werden, durch die es möglich ist, den lokalen Strombedarf sowohl aus der Photovoltaikanlage als auch aus dem Netz zu decken. Die Eigennutzung des Solarstroms wird

inzwischen politisch unterstützt, um das öffentliche Netz zu entlasten und eine gleichmäßigere Versorgung zu gewährleisten.

Wesentliche Komponenten einer Anlage für ein typisches Einfamilienhaus sind im folgenden vereinfachten Anlagenschema dargestellt.

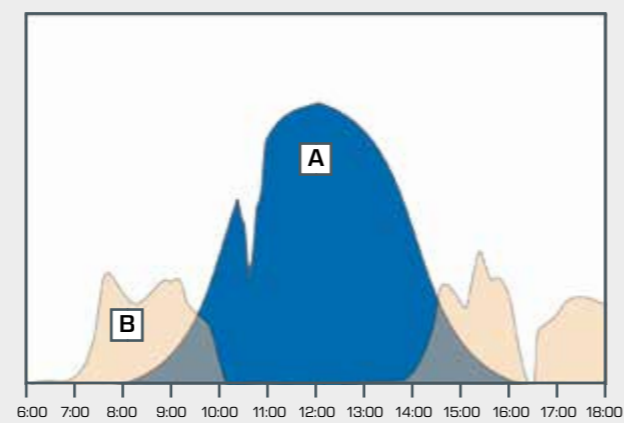
Anlagenkomponenten zur Solarstromnutzung



Solarstrom und Strombedarf in einem Wohngebäude

Typische Messdaten für den erzeugten Solarstrom und den Strombedarf eines Wohngebäudes während eines Tages zeigen den Bedarf für gespeicherten Strom aus Batterien. Erst durch Batterien wird es möglich, den Bedarf in den Morgen- und Abendstunden zu decken.

Zur Orientierung sind die Energieströme aus den Photovoltaikmodulen und der Batterie farblich markiert und können auch im Anlagenschema zugeordnet werden.



A Stromerzeugung durch Photovoltaikmodule
B Deckung des Strombedarfs durch Batterien

Für Regionen mit unsicherer Netzverfügbarkeit bieten viele Hybridwechselrichter eine Notstromfunktion, um die lokale Stromversorgung bei Netzausfall zu gewährleisten. Zugleich wird während des Netzausfalls die Einspeisung aus der Photovoltaikanlage in das öffentliche Netz unterbunden.

Versuche mit Photovoltaiksimulator und aktuellen Anlagenkomponenten

Bei der praktischen Realisierung einer Anlage zur Photovoltaiknutzung sind insbesondere bei Netzanbindung die regionalen Vorgaben und Sicherheitsauflagen der jeweiligen Netzbetreiber zu berücksichtigen.

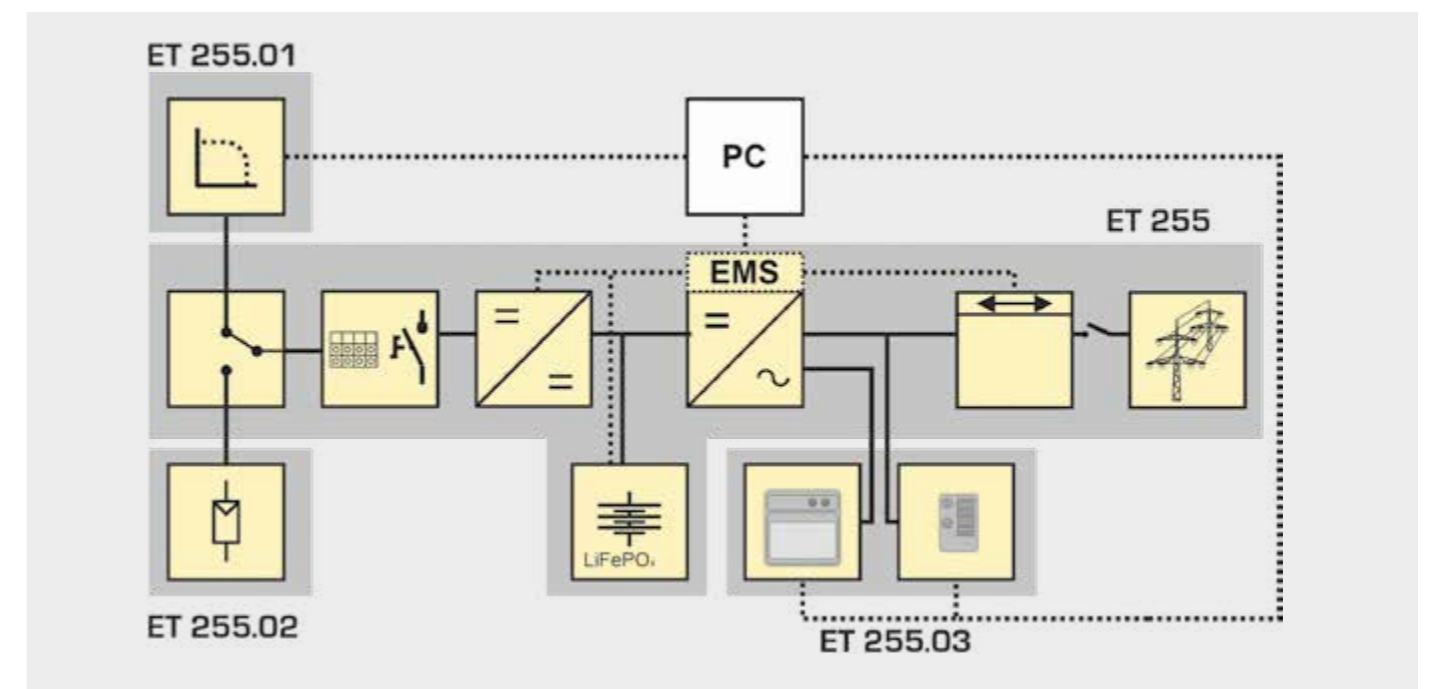
Um auch anspruchsvollere Versuche mit aktuellen Komponenten aus der Photovoltaik-Praxis zu ermöglichen, bieten wir ein überarbeitetes System aus aufeinander abgestimmten

Versuchsmodulen an. Im zentralen Modul ET 255 sind ein Netzwechselrichter, eine Lithium-Eisenphosphat-Batterie mit Laderegler sowie ein Zweirichtungszähler enthalten. Ein Energiemanagementsystem (EMS) erfasst die Energieströme und steuert einzelne Komponenten.

Aufbau der Geräteserie ET 255

Zur Versorgung von ET 255 können der Photovoltaiksimulator (ET 255.01) oder reale Photovoltaikmodule (ET 255.02) eingesetzt werden. Durch das EMS können Verbraucher unterschiedlicher Priorität angesteuert werden, die auf dem Versuchsmodul ET 255.03 enthalten sind.

Über die GUNT-Software auf einem externen PC erfolgt die Parametrierung und Bedienung für den Photovoltaiksimulator sowie die Erfassung und Darstellung der Messwerte. Zudem können Versuchsabläufe mit definierten Verbrauchsprofilen gesteuert werden.



Aufbau der Geräteserie ET 255

ET 255
Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme

ET 255.01
Photovoltaiksimulator

ET 255.02
Photovoltaikmodule

ET 255.03
Verbraucher für Photovoltaikanlagen



Lerninhalte

- moderne Photovoltaiknutzung mit Eigenverbrauch und Speicher
- Leistungsoptimierung durch Maximum-Power-Point-Tracking
- Wirkungsgrad und dynamisches Verhalten von Anlagenkomponenten
- Energiemanagementsysteme (EMS)
- Simulation von Tagesgängen (meteorologische Daten und Verbrauchsprofile)
- Anlagenbetrieb bei Netzausfall

ET 220 Energieumwandlung an einer Windkraftanlage

Mit ET 220 können Sie die einzelnen Stufen von der Umwandlung der Windströmung in Rotationsenergie bis zur Speicherung der elektrischen Energie in Akkumulatoren in anschaulichen Schritten unterrichten.

An das Bediengerät von ET 220 lassen sich wahlweise der Windkanal von ET 220 oder die Windkraftanlage ET 220.01 zur Außenaufstellung anschließen.



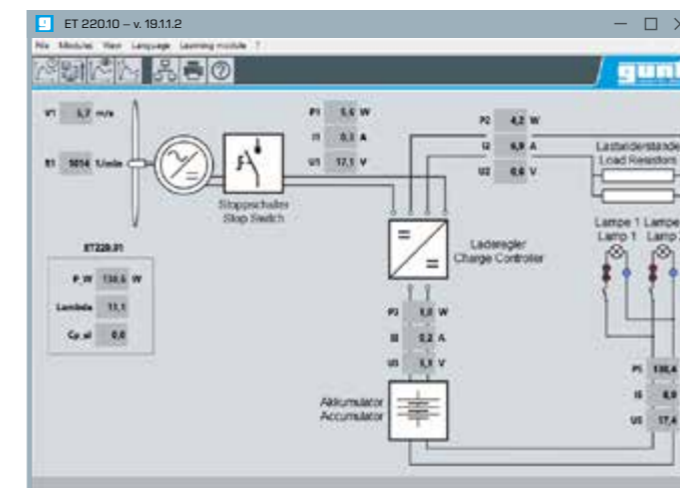
Der Lieferumfang von ET 220.01 umfasst einen Akkumulator geeigneter Kapazität, der über den Laderegler des gesonderten Bediengeräts be- und entladen werden kann.

Zum Produkt:



ET 220.01 Windkraftanlage

Der Ertrag einer Windkraftanlage ist von den vorhandenen Windgeschwindigkeiten und der Nutzbarkeit des erzeugten Stroms abhängig. Um den Betrieb einer Windkraftanlage unter realen Wetterbedingungen zu untersuchen, wurde ET 220.01 als Erweiterung für den Versuchsstand ET 220 entwickelt.



Die erzeugte elektrische Energie wird an das Bediengerät von ET 220 oder das gesonderte Bediengerät ET 220.10 übertragen und kann zur Ladung von Akkumulatoren oder für den direkten Verbrauch eingesetzt werden.

Zum Produkt:



🎓	Lerninhalte
■	Umwandlung von kinetischer Windenergie in elektrische Energie
■	Aufbau und Funktion einer Windkraftanlage im Inselbetrieb
■	Energiebilanz einer Windkraftanlage unter realen Windbedingungen

Einführung

Basiswissen Energieeffizienz in der Gebäudetechnik	202
--	-----

Wärmeversorgung und Klimatisierung

Lernfelder Wärmeversorgung und Klimatisierung	204
Basiswissen Wärmedämmung und Wärmerückgewinnung	206
WL 376 Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen	208
Übersicht WL 110 Geräteserie	210
Basiswissen Effiziente Heizungstechnik	212
HL 305 Übungsstand hydraulischer Abgleich	214
HM 283 Versuche an einer Kreiselpumpe	216
HL 630 Effizienz in der Heizungstechnik	217
ET 630 Klima-Splitgerät	218

Einbindung erneuerbarer Energien

Lernfelder Einbindung erneuerbarer Energien	220
Übersicht HL 320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe	222
HL 320.01 Wärmepumpe	224
HL 320.02 Konventionelle Heizung	226
HL 320.03 Flachkollektor	227
HL 320.04 Vakuumröhrenkollektor	228
HL 320.05 Zentrales Speichermodul mit Regler	229
HL 320.07 Fußbodenheizung/Erdwärmeabsorber	232
HL 320.08 Gebläseheizung/Luftwärmeübertrager	233

Energieeffizienz in Gewerbe und Industrie

Lernfelder Energieeffizienz in Gewerbe und Industrie	234
Basiswissen Energieeffizienz in der Kältetechnik	236
ET 420 Eisspeicher in der Kältetechnik	238
ET 428 Energieeffizienz in Kälteanlagen	240
Basiswissen Prozesstechnik und Gebäudetechnik	242
RT 682 Mehrgrößenregelung im Rührbehälter	244
RT 396 Pumpen- und Armaturen-Prüfstand	246

Basiswissen

Energieeffizienz in der Gebäudetechnik

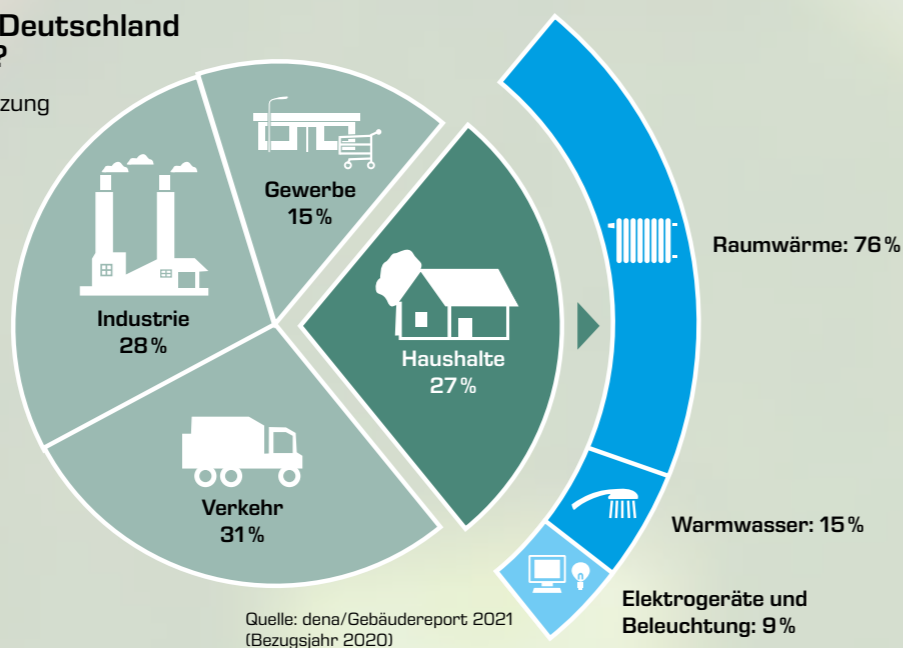
Klimaschutz durch mehr Energieeffizienz in der Gebäudetechnik

Die Bemühungen den Klimaschutz durch den Einsatz erneuerbarer Energien zu fördern können nur erfolgreich sein, wenn zugleich alle Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz konsequent genutzt werden. Da der wesentliche Anteil weltweit verbrauchter Energie die Versorgung von Gebäuden betrifft, bietet gerade dieser Bereich ein enormes Potenzial, durch Effizienzsteigerungen einen wesentlichen Beitrag zu Reduzierung des Primärenergieeinsatzes zu liefern.

Die Maßnahmen, die zu einer Steigerung der Effizienz bei der Energienutzung von Gebäuden führen, betreffen nahezu alle Bereiche der modernen Gebäudetechnik. Dazu gehören neben dem Verbrauch durch Elektrogeräte, Beleuchtung und Warmwasserbereitung insbesondere der Verbrauch durch Wärmeversorgung und Klimatisierung. Wie aus dem gezeigten Diagramm am Beispiel Deutschland zu erkennen ist, stellt der Bereich der Wärmeversorgung für Gebäude einen wesentlichen Energieverbraucher dar.

Wer verbraucht in Deutschland die meiste Energie?

Energieverbrauch der Heizung oftmals unterschätzt



Basierend auf unserem Energie-Curriculum bieten wir Ihnen zum Schwerpunkt Energieeffizienz in der Gebäudetechnik Lehrsysteme aus den folgenden Themenbereichen an:

Wärmeversorgung
und Klimatisierung

Einbindung erneuerbarer
Energien

Energieeffizienz in
Gewerbe und Industrie

Wir halten die Kenntnisse in diesen Themenbereichen für angehende Ingenieure und Fachkräfte im Bereich der Gebäudetechnik für unverzichtbar, um nachhaltige und energieeffiziente Gebäude zu realisieren bzw. bestehende Gebäude energieeffizient umzugestalten.



Ressourcenschonung durch bauliche und technische Maßnahmen

Zur Senkung des Primärenergiebedarfs von Gebäuden sind bauliche und technische Maßnahmen erforderlich. Zu den baulichen Maßnahmen gehören beispielsweise die Wärmedämmung und der Einsatz von transparenten Fassaden. Dieser Bereich gewinnt gerade für die Ausbildung von Architekten, Stadtplanern und Bauingenieuren immer größere Bedeutung.

Effiziente Komponenten und Anlagen, die mit Hilfe moderner Gebäudeleittechnik gesteuert werden, stehen im Mittelpunkt von technischen Maßnahmen zur Heizungsoptimierung. Unter Berücksichtigung moderner Konzepte für Wärmekraftkopplung, dezentrale Versorgungsnetze und Energiespeicherung kann hier eine optimal an den Bedarf angepasste Energieerzeugung und -verteilung erreicht werden.

Standards für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik

Vom europäischen Parlament wurden Richtlinien zur Energieeffizienz in Gebäuden verabschiedet. Nachfolgend ein Ausschnitt der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden:

[...] (3) Auf Gebäude entfallen 40% des Gesamtenergieverbrauchs der Union. Der Sektor expandiert, wodurch sich sein Energieverbrauch weiter erhöhen wird. Daher sind die Senkung des Energieverbrauchs und die Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen im Gebäudesektor wesentliche Maßnahmen, die zur Verringerung der Energieabhängigkeit der Union und der Treibhausgasemissionen benötigt werden. Zusammen mit einer verstärkten Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen würden Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs in der Union es der Union ermöglichen, das Kyoto-Protokoll zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) einzuhalten. [...]

Zur Umsetzung der EU-Richtlinie wird die Energieeffizienz von Gebäuden in Deutschland in einem Energieausweis nach der Energieeffizienzverordnung (EnEV) in die Energieeffizienzklassen A+ bis H eingestuft. Die Einstufung erfolgt entsprechend dem spezifischen Primär- und Endenergiebedarf. Für hocheffiziente Passivhäuser liegt der jährliche Energiebedarf deutlich unterhalb von 50 kWh/m².



Lernfelder

Wärmeversorgung und Klimatisierung

Bereits durch einfache Maßnahmen und den bewussteren Umgang mit Energie können oft deutliche Einsparungen erzielt werden. Im Bereich der Gebäudeheizung kann die benötigte Energie durch eine Kombination von Maßnahmen zum Teil um mehr als 80% reduziert werden. Dazu gehören verbesserte Dämmstoffe, ein optimierter hydraulischer Abgleich der Heizkreise sowie der Einsatz moderner, geregelter Umwälzpumpen.

Da in wärmeren Regionen der Erde und bei generell steigenden Durchschnittstemperaturen auch der Energieverbrauch für die Kühlung von Gebäuden eine immer größere Rolle spielt, ist auch dieser Bereich in unseren Lernfeldern der Gebäudetechnik enthalten. Um Sie bei Ihren Bemühungen für eine ansprechende Vermittlung technischer Grundlagen bestmöglich zu unterstützen, wurde speziell bei unserer vollständig überarbeiteten WL110 Geräteserie besonderes Augenmerk auf eine intuitive Bedienbarkeit der Versuche gelegt.

 Lernfelder

Produkte

Wärmedämmung und
Wärmerückgewinnung**WL 376**
Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen**WL 110**
Versuche zu Grundlagen der Wärmeübertragung

Effiziente Heizungstechnik

HL 305
Übungsstand hydraulischer Abgleich**HM 283**
Versuche an einer Kreislumpumpe**HL 630**
Effizienz in der Heizungstechnik

Klimatisierung

WL 110.05
Rippenrohr-Wärmeübertrager**ET 630**
Klima-Splitgerät

Basiswissen

Wärmedämmung und Wärmerückgewinnung



Die Verbesserung der Wärmedämmung von Wänden und Dächern stellt nur eine mögliche Maßnahme zur Energieeinsparung in Gebäuden dar. Zur wirtschaftlichen Bewertung sollte für jeden Einzelfall eine Analyse der zu erwartenden Einsparungen durch reduzierte Wärmeverluste durchgeführt werden.



Mangelnde Isolation in Altbauten kann zu Wärmelecks führen. Diese Problemstellen können mittels empfindlicher Infrarotkameras anhand der abgegebenen Wärmestrahlung aufgespürt werden. Nicht nur die Wärmeleitung der Materialien, sondern auch die Verarbeitung entscheiden über die Wirksamkeit der Wärmedämmung an Fassaden und Wärmeträgerleitungen.

Wärmetransport

Infolge von Temperaturdifferenzen kommt es zum Transport thermischer Energie. Der Transport erfolgt in Richtung der niedrigeren Temperatur. Unterschieden werden drei Wärmetransportvorgänge:

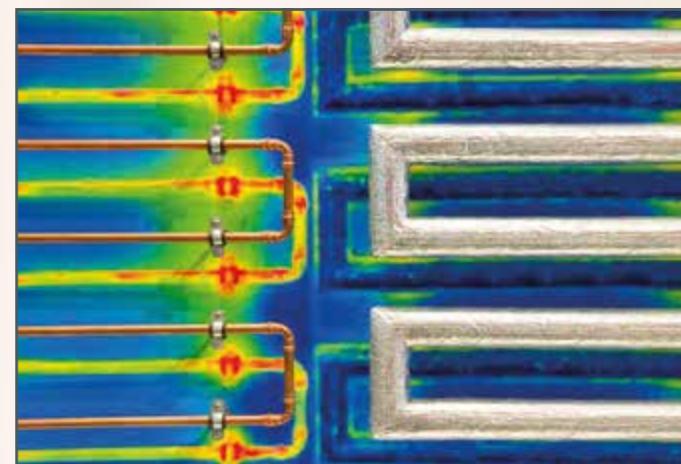
- Wärmeleitung
- Konvektion
- Wärmestrahlung

Für eine effiziente Wärmeversorgung von Gebäuden ist es entscheidend, den Wärmetransport entweder möglichst ungehindert zu ermöglichen oder zu unterdrücken.

Wird ein Wärmeträgermedium zum Wärmetransport eingesetzt (erzwungene Konvektion), sind eine ungehinderte Aufnahme an der Wärmequelle und eine ungehinderte Wärmeabgabe am Ort der Nutzung gefragt. Während des Transports soll die Wärmeabgabe dagegen möglichst unterbunden werden.

Auch bei der Raumheizung soll die Wärmeabgabe aus dem genutzten Raum an außerhalb liegende Bereiche unterbunden werden. Für die möglichst ungehinderte Wärmeübertragung ist neben der übertragenden Fläche die Wärmeleitung des Wärmeübertragermaterials entscheidend. Sie wird typischerweise als Wärmeleitfähigkeit angegeben.

Dagegen erfolgt z.B. bei Baustoffen zur Unterdrückung der Wärmeabgabe die Beschreibung typischerweise mit Hilfe des sogenannten Wärmedurchgangskoeffizienten. Dieser beinhaltet auch den Wärmeübergangswiderstand der angrenzenden Luftschichten.



Auch die Isolierung von Wärmeträgerleitungen liefert einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz.

Wärmerückgewinnung

Als Wärmerückgewinnung bezeichnet werden Verfahren, bei denen die Restwärme eines Massenstromes nach seiner Hauptverwendung genutzt wird. Die hierbei gewonnene Wärme bliebe ohne Wärmerückgewinnung ansonsten ungenutzt.

Das größte Energieeinsparpotenzial liegt bei der Wärmerückgewinnung in Heizungs- und Lüftungssystemen. Darüber hinaus sind Systeme zur Wärmerückgewinnung prinzipiell in vielen weiteren Ver- und Entsorgungsvorgängen der Gebäudetechnik vorstellbar.

Wärmebedarf eines Passivhauses

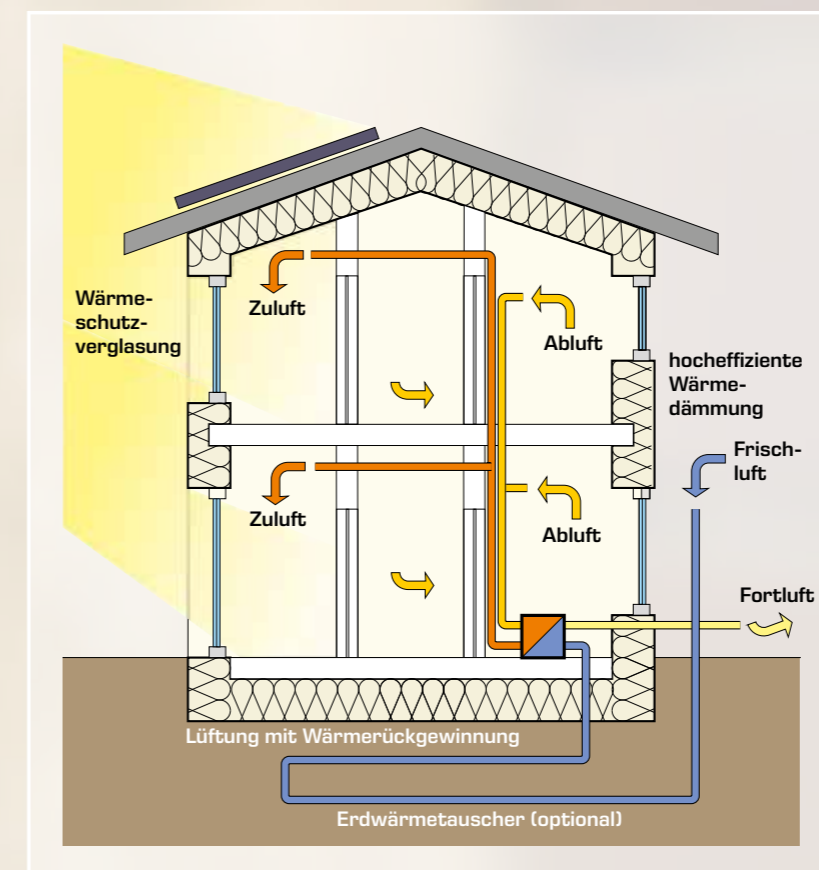
In sogenannten Passivhäusern wird der Wärmebedarf durch Wärmedämmung und Wärmerückgewinnung um bis zu 90% gegenüber typischen Häusern des Baubestandes reduziert. Im Passivhaus werden z.B. hocheffektive Dämmmaterialien und Dreifachverglasung eingesetzt. Eine besonders effiziente Maßnahme stellt die Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Lüftungsanlage dar.



Oft ergeben sich speziell in größeren Gebäuden durch Optimierung der Lüftungstechnik große Einsparmöglichkeiten im ganzjährigen Energiebedarf für Heizung und Klimatisierung.



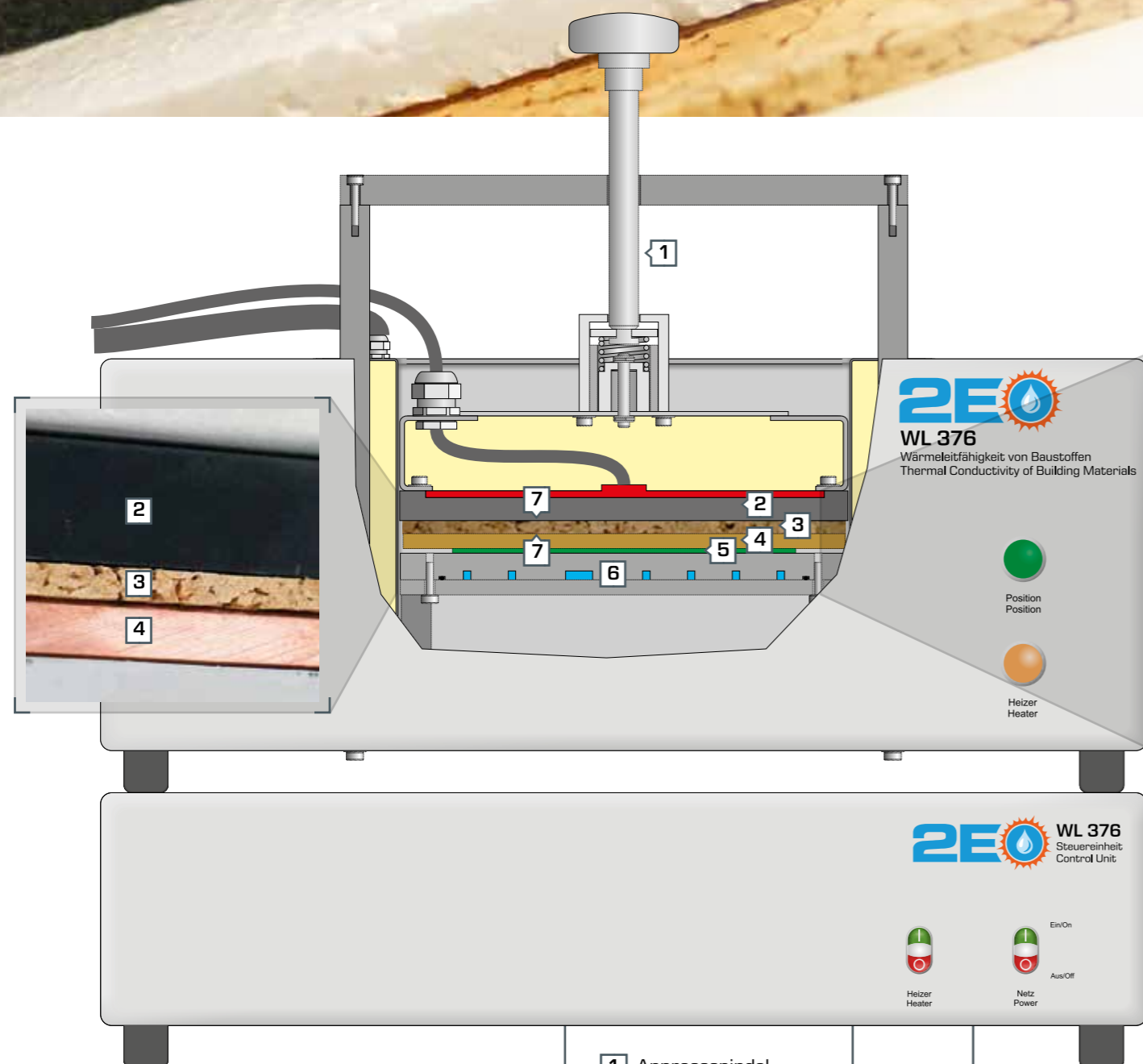
In sogenannten Kreislaufverbundsystemen werden zwei getrennte Luft/Wasser-Wärmeübertrager eingesetzt, um die in der Abluft enthaltene Wärme für die Erwärmung der Zuluft zu nutzen.



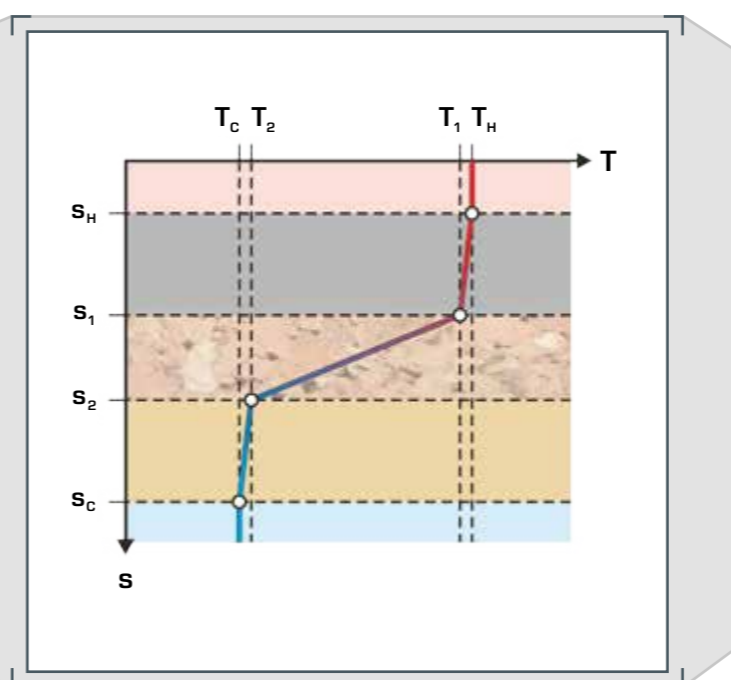
WL 376 Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen

Dieses Versuchsgerät ermöglicht Ihnen Versuche zur stationären Wärmeleitung in nichtmetallischen Materialien, wie Styropor, PMMA, Kork oder Gips, nach DIN 52612. Sie können flache Proben zwischen einer Heizplatte und einer wassergekühlten Platte einsetzen

und mit der Anpressspindel reproduzierbare Spannkkräfte aufbringen und Wärmkontakte einstellen. Mit dem speziellen Wärmestromaufnehmer messen Sie den aktuellen Wärmestrom und regeln die Temperaturen von Heiz- und Kühlplatte mittels der integrierten Softwareregler.



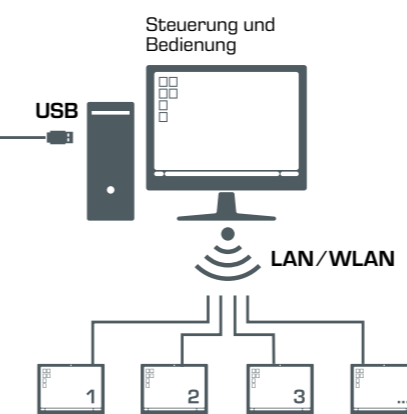
- 1 Anpressspindel
- 2 Heizplatte
- 3 Probe
- 4 Spannplatte
- 5 Wärmestromsensor
- 6 Kühlplatte
- 7 Temperatursensor



Die Auswertung der Versuchsdaten zeigt deutlich den Temperaturgradienten über das Material Kork. Die Heizplatte, Spannplatte und Kühlplatte weisen aufgrund der wesentlich höheren Wärmeleitfähigkeit von Kupfer nur sehr geringer Temperaturgradienten auf.

Software

Die GUNT-Software für WL 376 erfasst die Messdaten via USB und bietet umfangreiche Möglichkeiten zur Darstellung und Auswertung der Ergebnisse.



Zum Produkt:



Lerninhalte

- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit λ unterschiedlicher Materialien
- Ermittlung des Wärmewiderstands
- Wärmeleitfähigkeit λ bei Reihenschaltung mehrerer Proben (bis zu einer Dicke von 50 mm)

Übersicht

WL 110 Geräteserie – Versuche zu Grundlagen der Wärmeübertragung

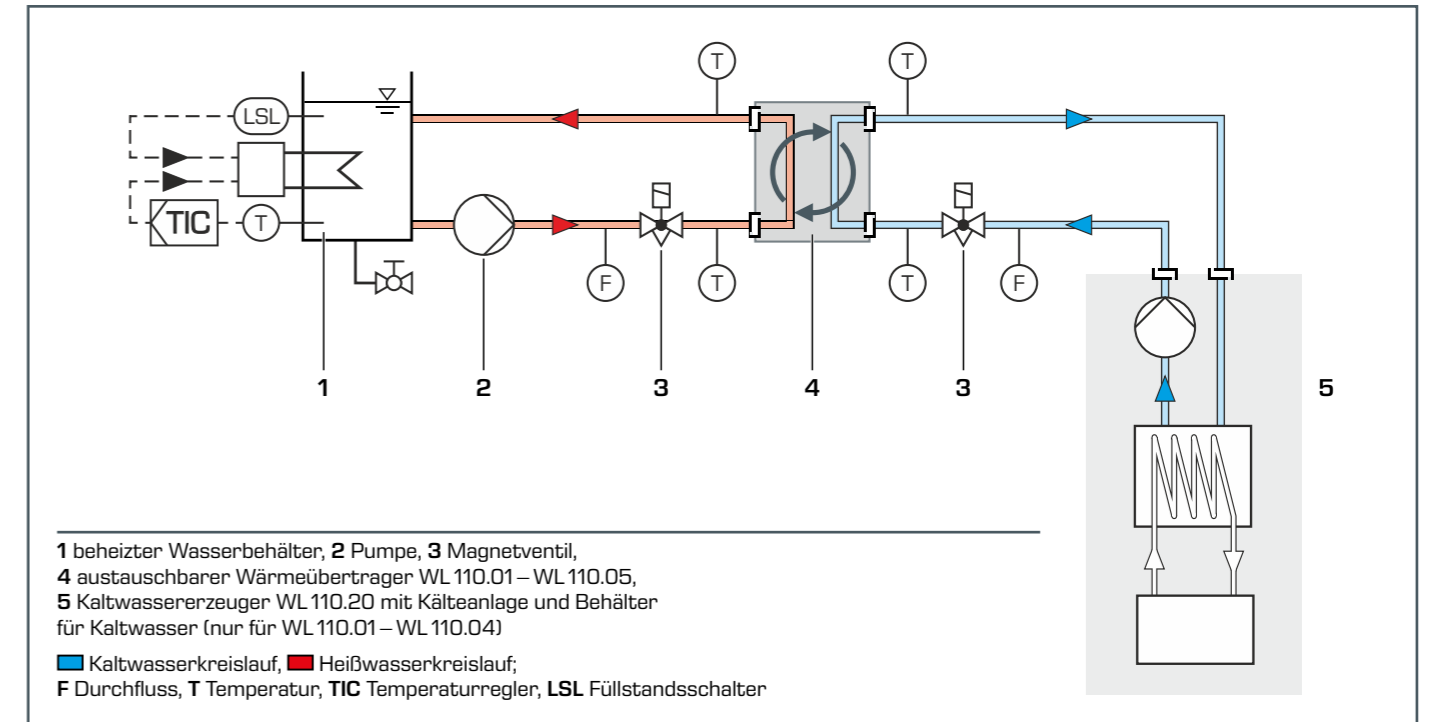
**WL 110
Versorgungseinheit**

Die Versorgungseinheit erzeugt Heißwasser. Alle Messwerte werden am Touchscreen des Gerätes angezeigt und können über eine LAN/WLAN-Verbindung übertragen werden.

**WL 110.20
Kaltwassererzeuger**

Mit dem optional erhältlichen Kaltwassererzeuger können die Wärmeübertrager bei geeigneten Versuchsbedingungen betrieben werden.

- automatische Erkennung des Zubehörs über RFID-Technologie
- energie- und wassersparende Technik, platzsparender Aufbau



Zum Produkt:

**WL 110.01****Doppelrohr-Wärmeübertrager**

- einfache Bauform
- transparentes Außenrohr bietet einsehbaren Strömungsraum
- Gleich- oder Gegenstrombetrieb möglich

**WL 110.02****Platten-Wärmeübertrager**

- kompakte Bauform
- Gleich- oder Gegenstrombetrieb möglich

**WL 110.03****Rohrbündel-Wärmeübertrager**

- transparentes Mantelrohr
- Medien strömen im Kreuzgegen- und Kreuzgleichstrom

**WL 110.04****Rührbehälter mit Doppelmantel und Rohrschlange**

- Heizen mit Mantel oder mit Rohrschlange
- Rührwerk zur besseren Vermischung des Mediums

**WL 110.05****Rippenrohr-Wärmeübertrager**

- Wärmeübertragung zwischen Wasser und Luft im Kreuzstrom
- Vergrößerung der wärmeübertragenden Oberfläche durch Rippen auf den Rohren

Basiswissen

Effiziente Heizungstechnik



Ohne jede Reduzierung des Komforts sind in modernen Heizungsanlagen oft beträchtliche Einsparmöglichkeiten durch effizientere Komponenten und eine bedarfsgerechte Wärmeversorgung möglich.



Hocheffiziente Heizungsumwälzpumpen erbringen die gleiche Leistung wie herkömmliche Pumpen bei bis zu 80% geringerem Stromverbrauch.

Wesentliche Effizienzsteigerungen können in der Heizungstechnik z. B. durch moderne Umwälzpumpen oder durch den hydraulischen Abgleich der installierten Heizungsanlagen erreicht werden. Mit unseren Ausbildungsgeräten zum Thema Heizungstechnik möchten wir die erforderlichen Detailkenntnisse vermitteln, um durch eine geeignete Kombination verschiedener Maßnahmen eine deutliche Energieeinsparung erzielen zu können.

Energieeffiziente Umwälzpumpen

Eine Heizungspumpe garantiert, dass jeder Heizkörper mit heißem Wasser versorgt wird. Auch in neueren Gebäuden sind oftmals noch Standardpumpen mit einer elektrischen Leistung von 45 bis 90 Watt im Einsatz. Diese Umwälzpumpen werden nach der Menge des Wassers in der Heizungsanlage voreingestellt – unabhängig vom tatsächlichen Heizbedarf. Dies ist sehr ineffizient und verbraucht unnötig viel Strom. Moderne Umwälzpumpen werden dagegen an Hand des Differenzdrucks bedarfsgerecht geregelt und sparen dadurch bis zu 80% der heizungseigenen Stromkosten.

Optimierung durch hydraulischen Abgleich

Ein hydraulischer Abgleich stellt die Durchflüsse des Warmwassers durch alle Heizkörper oder Heizkreise einer Flächenheizung auf einen bestimmten Wert ein. Damit wird bei einer bestimmten Vorlauftemperatur als Arbeitspunkt der Heizungsanlage jeder Raum mit der Wärmemenge versorgt, die benötigt wird, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. Durch einen hydraulischen Abgleich wird ferner sichergestellt, dass die Rückläufe aller Heizkörper die gleichen Temperaturen haben.

Thermostatventile für bedarfsgerechte Raumheizung

Vor der flächendeckenden Einführung von Thermostatventilen gab es oft nur die Möglichkeit, die Temperaturen einzelner Räume z.B. durch Öffnen der Fenster anzupassen. Dieses Vorgehen war natürlich mit beträchtlichen Energieverlusten verbunden. Inzwischen sind Thermostatventile jedoch weit verbreitet und ermöglichen die bedarfsgerechte Anpassung der Wärmeversorgung.

Thermostatventile sind mechanische Temperaturregler, die den Durchfluss einer Wärmeträgerflüssigkeit abhängig von der Umgebungstemperatur zulassen. Dabei wird über ein Ventil ein niedrigerer oder höherer Durchfluss gewährt, um die Temperatur des umgebenden Raumes konstant zu halten.

Auslegung der Heizungsanlage

Bei der Auslegung von Heizungsanlagen ist darauf zu achten, dass die eingesetzten Komponenten gut aufeinander abgestimmt sind. Dabei helfen typische Kennlinien der Pumpe und des Rohrleitungssystems. Im Diagramm ist dies exemplarisch dargestellt. Zudem ist der Wirkungsgrad der Pumpe (C) eingezeichnet. Der Arbeitspunkt einer Anlage ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Pumpenkennlinie (A) und der Anlagenkennlinie (B). Der Arbeitspunkt sollte sich möglichst im mittleren Bereich der Pumpenkennlinie befinden, um einen guten Wirkungsgrad zu gewährleisten.

Betrieb der Heizungsanlage bei wechselndem Wärmebedarf

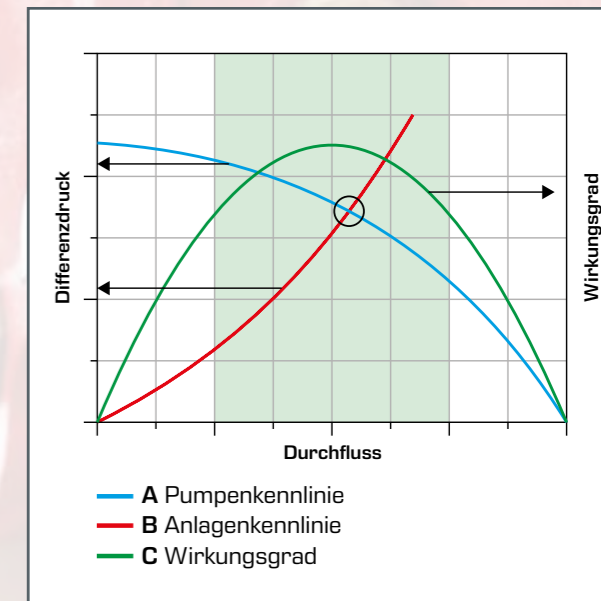
Naturgemäß sollte die Leistungsfähigkeit einer Heizungsanlage den maximalen Wärmebedarf aus Raumheizung und Warmwasserversorgung im Winter abdecken. Um trotzdem den ganzjährigen Energiebedarf möglichst gering zu halten, ist es entscheidend, anpassungsfähige Heizungsanlagen auch für einen stark wechselnden Energiebedarf zu realisieren. Neben einer intelligenten Regelung gehören dazu ausreichend dimensionierte Speicher, sowie möglichst eine geeignete Mischung aus regenerativen Wärmequellen.

Heizungsregler

Zentrales Element moderner Heizungsanlagen ist der Heizungsregler. Der Heizungsregler misst die Außentemperatur und Raumtemperatur und berechnet hieraus an Hand der Heizkurve den Wärmebedarf des Hauses. Die zur Deckung des Wärmebedarfs notwendige Vorlauftemperatur wird durch die Fördermenge der Umwälzpumpe bzw. die Stellung des Mischventils eingestellt.

Zumeist wird die Warmwasserversorgung ebenso über den Kessel mit Heizenergie versorgt. Hierzu schaltet der Regler nach Bedarf die Ladepumpe ein.

Neben der Verwendung effizienter Komponenten und der Optimierung der Anlagen ist die regelmäßige Kontrolle der ordnungsgemäßen Funktion entscheidend für die langfristige Senkung des Energiebedarfs. Eine große Erleichterung in der Anlagenüberwachung ist inzwischen durch moderne und vernetzbare Heizungsregler gegeben.



Idealer Arbeitspunkt einer Heizungsanlage



Kontrolle der Anlagenkomponenten



3

Thermische
Energietechnik» Thermische
Energietechnik

Zu vielen grundlegenden Themen der Heizungstechnik finden Sie auch in unserem Programmbereich 3 eine große Auswahl von Lehrsystemen.

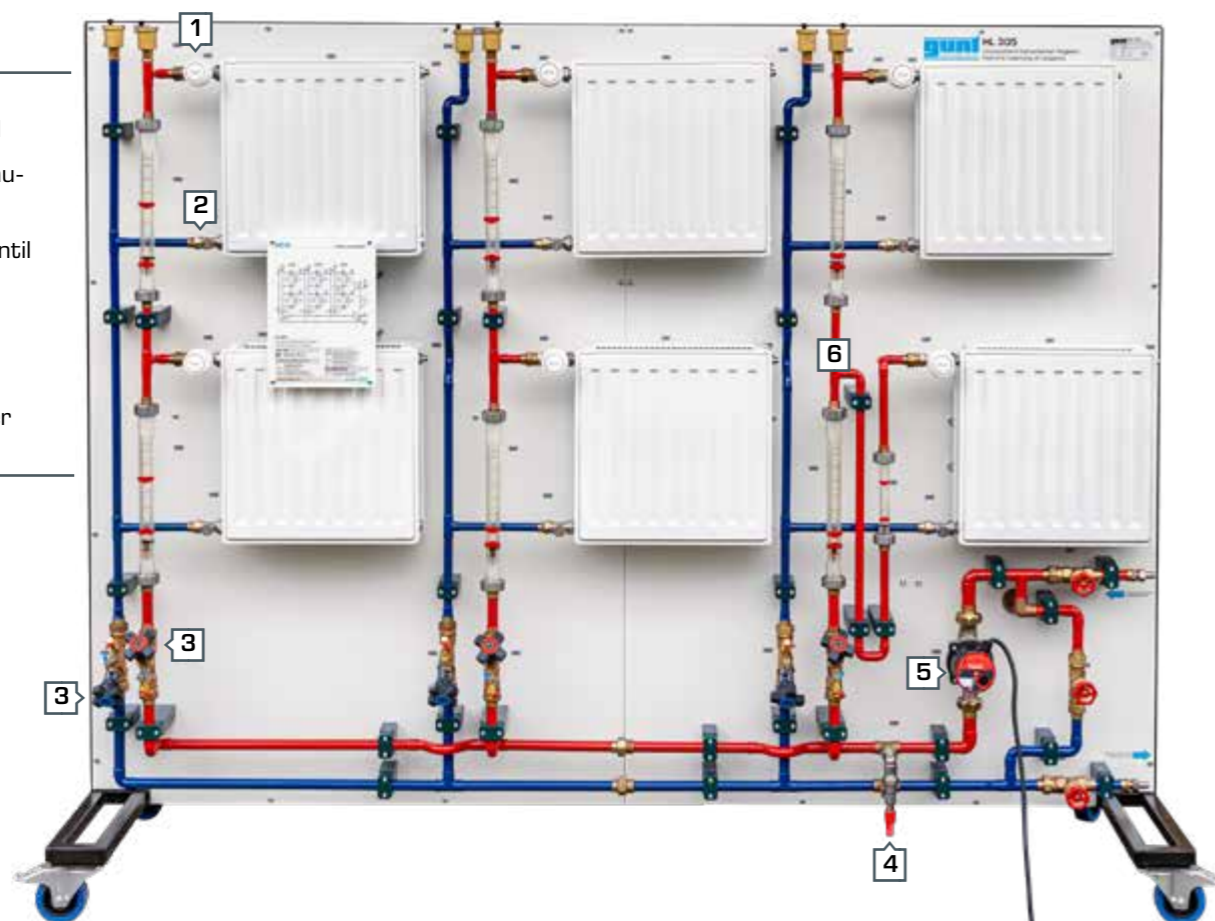
HL 305 Übungsstand hydraulischer Abgleich

Typische Heizungsprobleme, die zumeist auf einem unzureichenden hydraulischen Abgleich beruhen, werden bisweilen selbst von Fachleuten falsch bearbeitet. Zu den oft angewendeten aber zumeist nicht zielführenden Maßnahmen gehören:

- Erhöhung der Vorlauftemperatur
- Steigerung der Pumpenleistung
- Vorverlegung des Wiederaufheizzeitpunktes.

Diese Maßnahmen sind mit zusätzlichen Energieverlusten verbunden und verschlechtern damit die Effizienz der Heizungsanlage beträchtlich. Man schätzt, dass in Deutschland bis zu 90% aller Heizungsanlagen unzureichend hydraulisch abgeglichen sind. Das sich hieraus ergebende Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz ist also beträchtlich.

Mit diesem Übungsstand können Sie wesentliche heizungstechnische Grundlagen für die energieeffiziente Raumheizung unterrichten. Der Übungsstand enthält handelsübliche Komponenten und besteht aus drei Heizsträngen mit Heizkörpern, Thermostatventilen und einer Umwälzpumpe. Die Durchflüsse in allen drei Strängen sind separat einstellbar. Dadurch ist ein hydraulischer Abgleich der Teilstränge untereinander möglich. Innerhalb eines Strangs ermöglichen Rücklaufverschraubungen den Abgleich der einzelnen Heizkörper. Ein Differenzdruck-Überströmventil ist parallel zur Umwälzpumpe in den Kreislauf integriert und begrenzt den Druckabfall über das Rohrleitungssystem auf einen vorgegebenen Bereich.

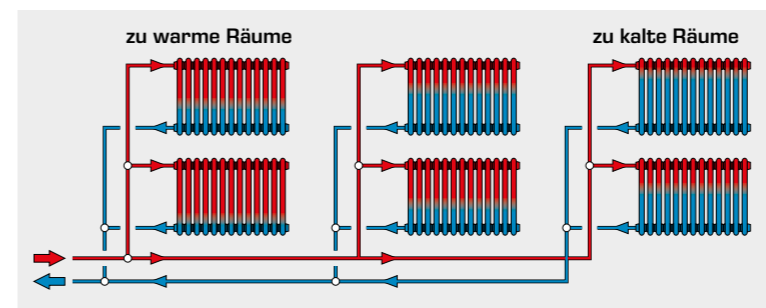


- 1 Thermostatventil
- 2 Rücklaufverschraubung
- 3 Strangreguliertventil
- 4 Differenzdruck-Überströmventil
- 5 Pumpe
- 6 Durchflussmesser

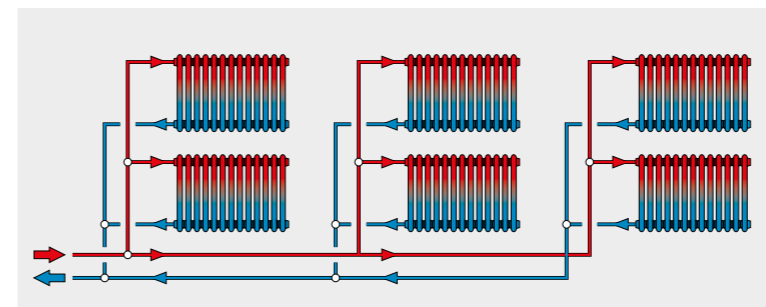
Zum Produkt:



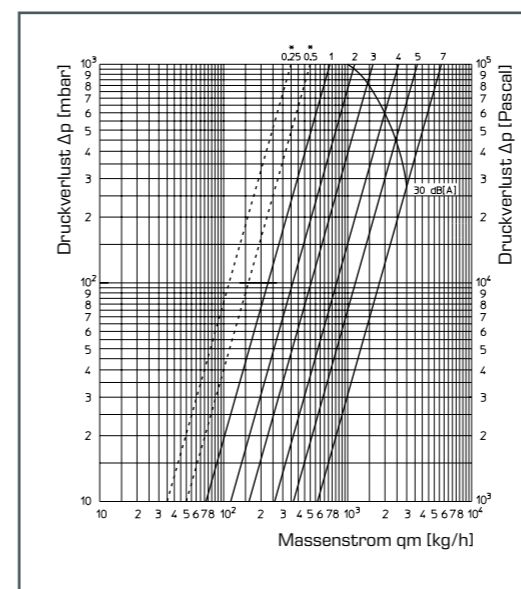
Der hydraulische Abgleich dient der Begrenzung der Wassermenge, die innerhalb einer Heizungsanlage für jeden Heizkörper verfügbar ist. Damit soll erreicht werden, dass bei einem bestimmten Arbeitspunkt der Heizungsanlage jeder Raum genau mit der Wärmemenge versorgt wird, die benötigt wird, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. In der nachfolgenden Abbildung ist die Wärmeverteilung in einer Heizungsanlage vor und nach dem hydraulischen Abgleich schematisch dargestellt.



Temperaturverteilung in Heizkörpern ohne hydraulischen Abgleich



Temperaturverteilung in Heizkörpern mit hydraulischem Abgleich führt zu gleichmäßigen Raumtemperaturen



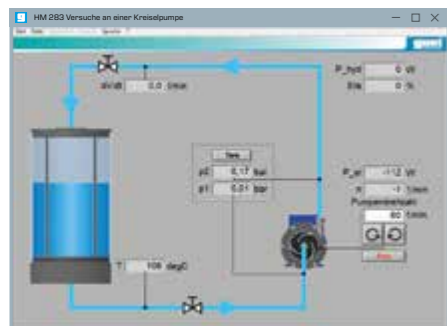
Unser didaktisches Begleitmaterial enthält alle wesentlichen Informationen zum Übungsstand HL 305. Anhand der enthaltenen Ventilkapazitätsdiagramme ist es möglich, die erforderlichen Einstellungen für den hydraulischen Abgleich zu bestimmen und durchzuführen.

Lerninhalte

- Optimierung der Wärmeverteilung in Heizungssystemen
- Auswirkungen veränderlicher Rohrnetzwidestände
- Nutzung von:
 - ▶ Strangreguliertventilen
 - ▶ voreinstellbaren Thermostatventilen
 - ▶ Differenzdrucküberströmventilen

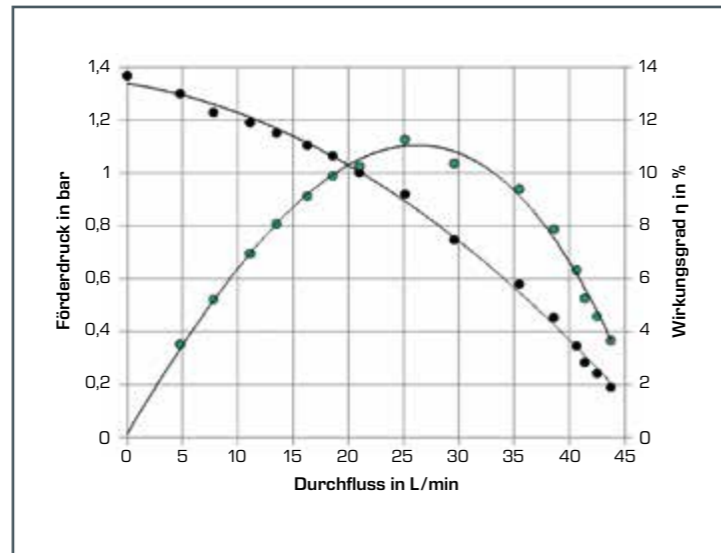
HM 283 Versuche an einer Kreiselpumpe

Kreiselpumpen werden in vielen modernen Heizungssystemen als Umwälzpumpen eingesetzt und können daher einen bedeutenden Beitrag zur Energieeinsparung leisten. Die Effizienz einer Kreiselpumpe ist durch das Verhältnis der erzielten hydraulischen Leistung im jeweiligen Arbeitspunkt zur eingesetzten elektrischen Leistung gegeben. Mit HM 283 können Sie die grundlegenden Einflussgrößen für den Betrieb einer Kreiselpumpe untersuchen. Sowohl das Betriebsverhalten bei wechselnden Durchflüssen und Druckdifferenzen als auch die Leistungsbilanzierung liegen im Fokus der Versuche.



Software

Die übersichtliche Software von HM 283 zeigt die wesentlichen Messgrößen kontinuierlich an. Die erfassten Messwerte können für die Auswertung gespeichert werden. Dies unterstützt Sie optimal bei der Durchführung der Versuche.



Die Energiebilanz ergibt im vorliegenden Fall einen maximalen Wirkungsgrad bei einem Durchfluss von 25 L/min

Zum Produkt:



Lerninhalte

- Funktionsprinzip einer Kreiselpumpe
- Zusammenhänge zwischen Förderhöhe, Förderstrom und Drehzahl
- Aufnahme von Pumpenkennlinien und Bestimmung des Pumpenwirkungsgrades

HL 630 Effizienz in der Heizungstechnik

HL 630 ermöglicht weiterführende Versuche zur Energieeffizienz in der Heizungstechnik. Mit HL 630 verfügen Sie über einen Versuchsstand mit einem vollständigen Heizungskreislauf. Neben der Umwälzpumpe, einer Wärmequelle und einer Wärmesenke, gehören auch verschiedene Rohrstrecken, Armaturen und Sicherheitselemente dazu.



Software

Die Software von HL 630 zeigt die Temperaturen, Druckdifferenzen und die elektrischen Leistungsaufnahmen der Pumpen im Prozessschema an.

Damit ist es möglich, sowohl den Einfluss moderner, hocheffizienter Pumpen als auch die Nachteile falsch dimensionierter Rohrstrecken anschaulich zu unterrichten.



Ungeregelte Umwälzpumpe mit wählbarer Drehzahl (Effizienzklasse C)



Energieeffiziente Umwälzpumpe mit einstellbarer Differenzdruck-Regelung (Effizienzklasse A)

Lerninhalte

- Vergleich von konventionellen und differenzdruckgeregelten Umwälzpumpen
- Bestimmung der Pumpeneffizienz
- Aufnahme von Anlagen- und Pumpenkennlinien
- Druckverluste an verschiedenen Rohrquerschnitten und Armaturen

Zum Produkt:



ET 630 Klima-Splitgerät

Der Energieaufwand für die Raumklimatisierung ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Um den Aufbau und die Funktion von Klimageräten praxisnah zu unterrichten, enthält ET 630 alle erforderlichen Komponenten.

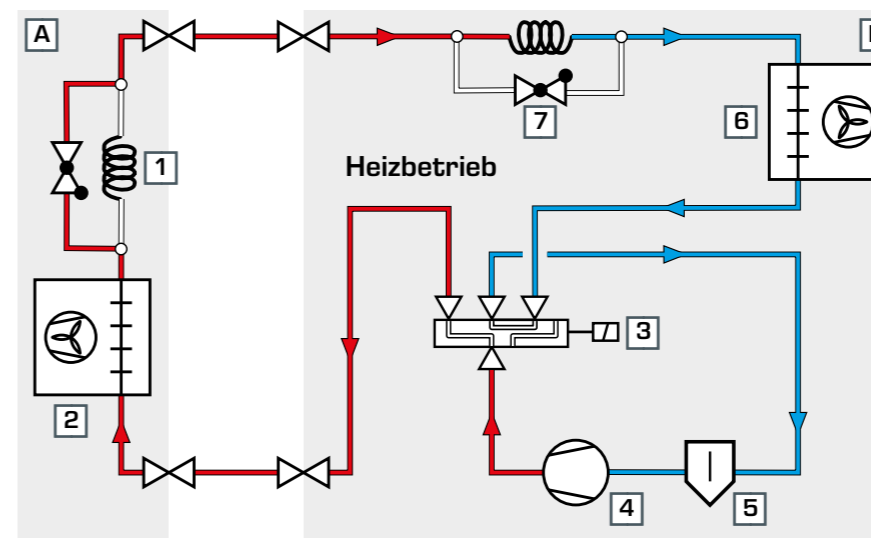
Das Gerät besteht aus einer Inneneinheit und einer Außeneinheit. Auf der Inneneinheit befindet sich ein Wärmeübertrager mit Gebläse, der im Kühlbetrieb als Verdampfer im Kältekreislauf fungiert. Beim Heizbetrieb arbeitet der Wärmeübertrager hingegen als Verflüssiger. Die Außeneinheit enthält Verdichter, einen weiteren Wärmeübertrager, ein Expansionsventil und einen Umschalter für die Betriebsweise (Kühlen/Heizen).



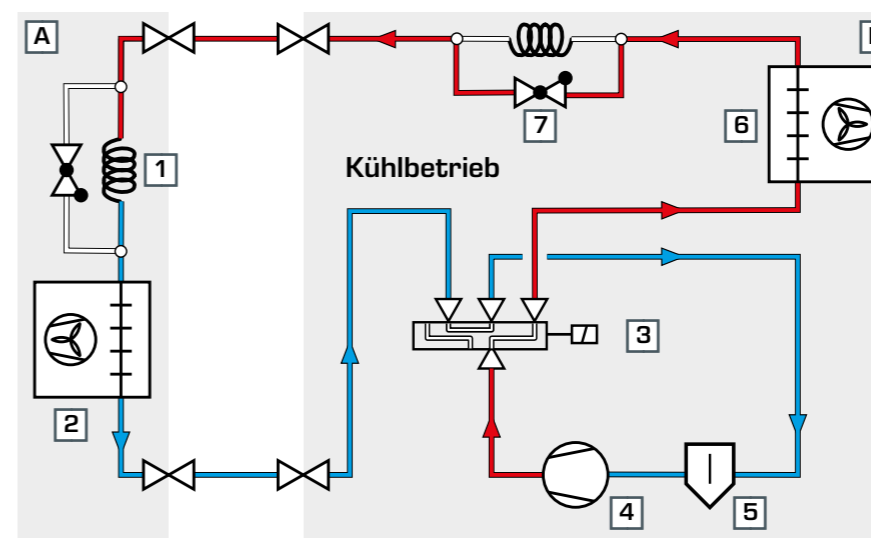
Wärmestrom im Kühlbetrieb

Betriebsart, Gebläsestufe der Inneneinheit und die gewünschte Raumtemperatur werden über die Gerätesteuerung per Fernbedienung ausgewählt. Im Automatikbetrieb wird die reale Raumtemperatur erfasst und automatisch eine Betriebsweise gewählt, um die vorgegebene Raumtemperatur zu erreichen.

Wählbare Betriebsart als Kühlung oder Wärmepumpenheizung



Im Heizbetrieb arbeitet der Wärmeübertrager der Inneneinheit als Verflüssiger



Im Kühlbetrieb arbeitet der Wärmeübertrager der Inneneinheit als Verdampfer

- A** Inneneinheit
- B** Außeneinheit
- 1** Kapillare
- 2** Wärmeübertrager innen
- 3** Vierwegeumschaltventil
- 4** Verdichter
- 5** Flüssigkeitsabscheider
- 6** Wärmeübertrager außen
- 7** Rückschlagventil
- ← Kältemittel/Hochdruck
- Kältemittel/Niederdruck

Lerninhalte

- Aufbau und Funktion eines Klima-Splitgeräts
- grundlegende Betriebsarten: Kühlen, Entfeuchten, Heizen, Lüften, Automatik
- zusätzliche Funktionen: Abschaltung nach einigen Stunden, Lamellenstellung am Luftauslass, Zeitschaltuhr für Ein- und Ausschaltung
- Anlagensteuerung per Fernbedienung

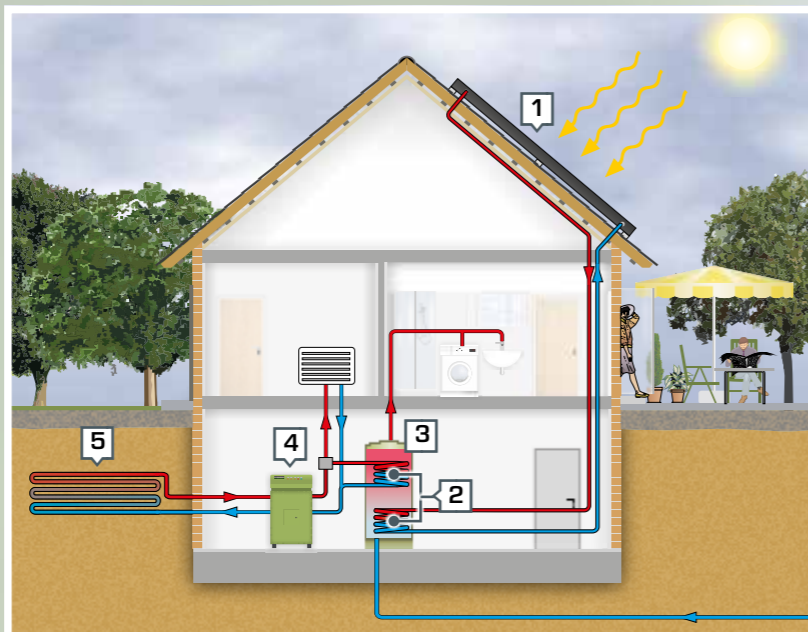
Zum Produkt:



Lernfelder

Einbindung erneuerbarer Energien

Mit unserem Modulsystem HL 320 werden wesentliche Lernfelder aus dem Bereich der Nutzung erneuerbarer Energien in der Gebäudetechnik abgedeckt. Das Modulsystem HL 320 ermöglicht es Ihnen, Heizungssysteme mit verschiedenen erneuerbaren und konventionellen Energiequellen zu untersuchen. Solarthermie kann mit Wärmeerzeugung aus Wärmepumpen kombiniert werden. Das modulare Konzept des HL 320-Systems erlaubt es Ihnen, verschiedene Konfigurationen zu realisieren.



Komponenten für die kombinierte Nutzung erneuerbarer Wärmequellen in der Hausversorgung:

- 1** Flachkollektor
- 2** Wärmetauscher
- 3** bivalenter Speicher
- 4** Wärmepumpe
- 5** Erdwärmeabsorber

 Lernfelder

Produkte

Einsatzmöglichkeiten moderner Wärmepumpen

HL 320.01
Wärmepumpe

Kombination regenerativer und konventioneller Wärmequellen

HL 320.02
Konventionelle Heizung

Solarthermische Wärmeerzeugung

HL 320.03
Flachkollektor
HL 320.04
Vakuumröhrenkollektor

Speicher in regenerativen Heizungsanlagen

HL 320.05
Zentrales Speichermodul mit Regler

Wärmequellen und Wärmesenken

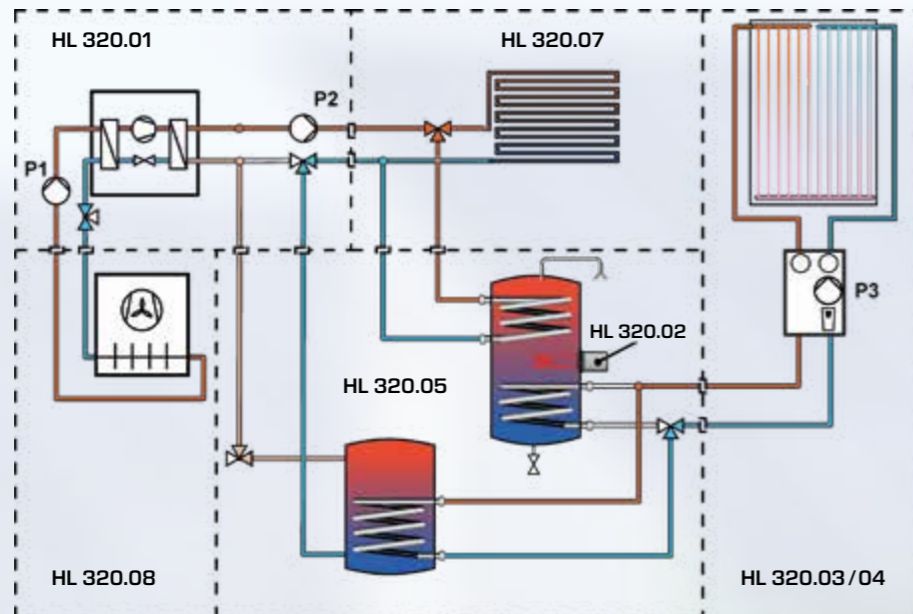
HL 320.07
Fußbodenheizung / Erdwärmeabsorber
HL 320.08
Gebläseheizung / Luftwärmeübertrager

Übersicht

HL 320 Modulsystem Solarthermie und Wärmepumpe

Für jede Anwendung die passende Konfiguration

In der Heizungstechnik ist sowohl die passende Zusammenstellung der benötigten Komponenten als auch die Optimierung des Leitungsverlaufs und der Reglereinstellungen von örtlichen Gegebenheiten abhängig. Wir haben für eine Auswahl von relevanten Modulkombinationen Versuche entwickelt, um die dazugehörigen Lernziele in ausgewogenen Schritten unterrichten zu können. Zusätzlich können Sie natürlich auch eigene Anlagenkonfigurationen realisieren, um weitere Fragestellungen aus der „regenerativen Heizungstechnik“ zu untersuchen.



Beispiel für ein Anlagenschema zur Heizungsunterstützung und Brauchwassererwärmung mit einem solarthermischen Kollektor und einer Wärmepumpe (Kombination 5)



Empfohlene Kombinationen für das Modulsystem HL 320

Kombi- nation ▶	1	2	3	4	5
HL 320.01 Wärmepumpe					
HL 320.02 Konventionelle Heizung					
HL 320.03 Flachkollektor					
HL 320.04 Vakuumröhren- kollektor					
HL 320.05 Zentrales Speichermodul mit Regler					
HL 320.07 Fußbodenheizung / Erdwärmeabsorber					
HL 320.08 Gebläseheizung / Luftwärmeübertrager					

Lerninhalte und Versuche

Kombination 1

- Funktion einer solarthermischen Heizungsanlage
- Inbetriebnahme
- Wirkungsgrad des Kollektors und Verluste

Kombination 2

- kombinierte Nutzung konventioneller und solarthermischer Energie
- effiziente Raumheizung mit Fußbodenheizungen

Kombination 3

- Funktion und Aufbau einer Wärmepumpe
- Parametrierung eines Wärmepumpen-Reglers
- Einflussgrößen für den COP (Coefficient of Performance)

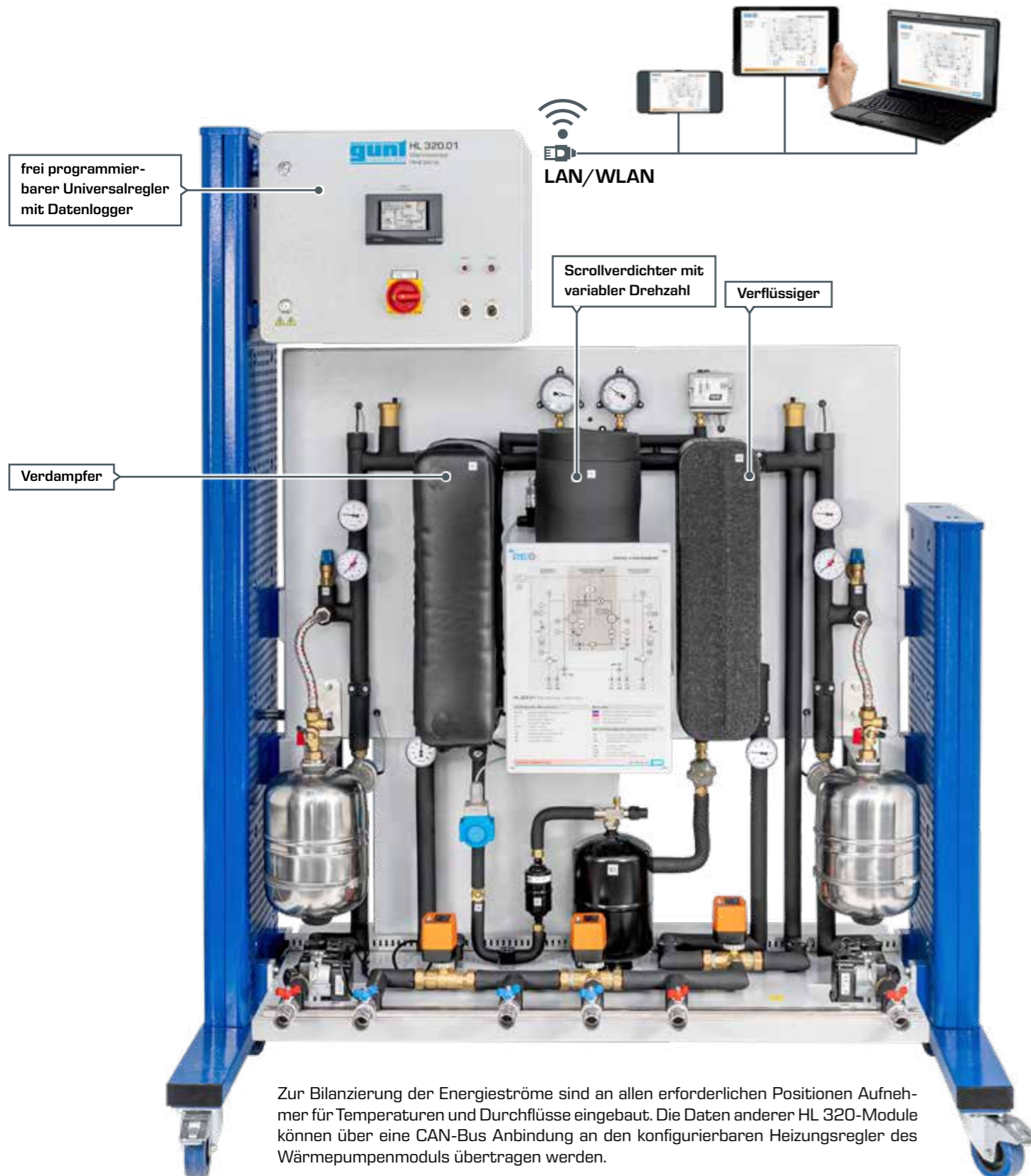
Kombination 4

- effizienter Einsatz von solarthermischer und geothermischer Energie
- Strategien für die Wärmeversorgung bei verschiedenen Verbrauchsprofilen

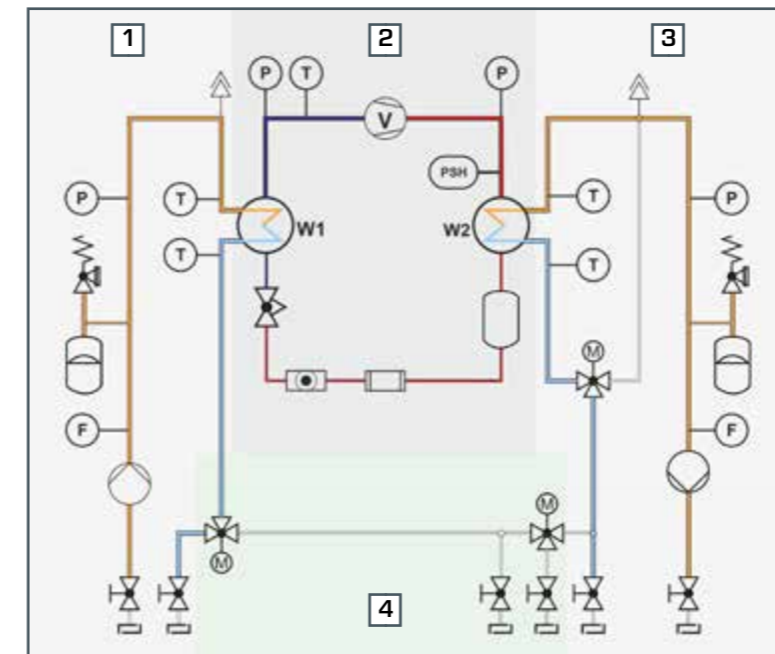
Kombination 5

- Nutzung erneuerbarer und fossiler Quellen für Heizung und Warmwasser
- bivalent paralleler und bivalent alternativer Wärmepumpen-Betrieb

HL 320.01 Wärmepumpe



Die Wärmepumpe HL 320.01 ist Teil des Modulsystems HL 320 und ermöglicht Ihnen unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten von Erdwärme und Solarthermie in einem modernen Heizungssystem. Die Wärmepumpe wird durch einen drehzahlvariablen Scrollverdichter angetrieben. Dadurch ist es möglich, die Heizleistung der Wärmepumpe an den aktuellen Bedarf der Heizungsanlage anzupassen.



Prozessschema des Moduls HL 320.01 Wärmepumpe

- 1 Anschlüsse Quellkreis
- 2 Kältekreis
- 3 Anschlüsse Heizungskreis
- 4 zusätzliche Möglichkeiten für Einbindung von HL 320-Modulen



🎓	Lerninhalte
■	Funktion und Aufbau einer Wärmepumpe
■	Unterscheidung verschiedener Betriebszustände
■	Einflussgrößen für den COP (Coefficient of Performance)
■	Parametrierung eines Wärmepumpen-Reglers

In der Kombination 3 des HL 320-Systems werden folgende Module zu einem System verbunden:

- HL 320.01 Wärmepumpe
- HL 320.07 Fußbodenheizung / Erdwärmeabsorber
- HL 320.08 Gebläseheizung / Luftwärmeübertrager

Diese Kombination ermöglicht grundlegende Versuche zum Betriebsverhalten der Wärmepumpe. Für weitergehende Versuche können z.B. ein Speichermodul (HL 320.05) und ein thermischer Solarkollektor eingebunden werden.

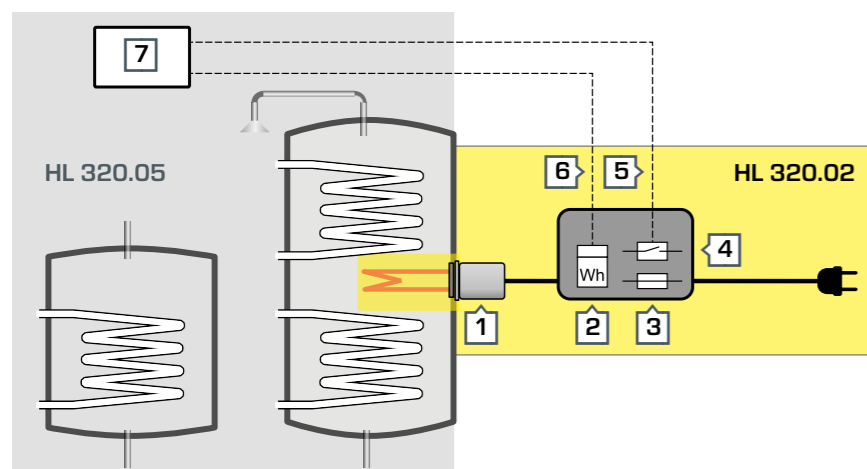
Zum Produkt:



HL 320.02 Konventionelle Heizung

In Heizungsanlagen, die verschiedene regenerative Wärmequellen nutzen, kann es ökonomisch sinnvoll sein, den Spitzenbedarf durch eine konventionelle Heizung abzudecken. Um diesen Aspekt im Modulsystem HL 320 untersuchen zu können, ist mit dem Modul HL 320.02 eine Zusatzheizung verfügbar, die leicht in verschiedene Konfigurationen der Anlage integriert werden kann.

Für Ihre Versuche bleibt der praktische Aufwand für den Betrieb dieser Heizung gering, da ein elektrisch betriebener Heizstab eingesetzt wird. Der Heizstab wird in den Speicherbehälter des Speichermoduls HL 320.05 eingesetzt und kann per CAN-Bus vom Regler des Speichermoduls gesteuert werden. Ein integrierter Zähler erfasst die verbrauchte Strommenge. Die Daten des Zählers können für die Erfassung mittels Datenlogger über die CAN-Bus Verbindung an den Regler des Speichermoduls HL 320.05 übertragen werden.



- 1 Heizstab
- 2 Energiezähler
- 3 Sicherung
- 4 Schaltkasten
- 5 Verbindung zwischen Leistungsschutz und Reglerausgang
- 6 Verbindung zwischen Energiezähler und Reglereingang
- 7 Regler des Moduls HL 320.05



Zur Versuchsvorbereitung wird der Speicherbehälter entleert. Anschließend kann die Zusatzheizung mit wenigen Handgriffen leicht eingesetzt werden.

Lerninhalte
<ul style="list-style-type: none"> ■ Heizungsunterstützung und/oder Brauchwassererwärmung durch konventionelle Zusatzheizung ■ Bivalenzpunkt und Heizlast ■ Regelstrategien für die Heizungsunterstützung

Zum Produkt:



HL 320.03 Flachkollektor

Am Flachkollektor HL 320.03 können Sie in Verbindung mit anderen Modulen von HL 320 verschiedene Versuche zur solarthermischen Brauchwassererwärmung durchführen. Von besonderem Praxisbezug ist die Regelungstechnik für die kombinierte Erzeugung von Brauchwasser und Heizwärme. Dabei erfolgt die Regelung und Datenaufnahme per CAN-Bus über das Speichermodul HL 320.05.

Die Verbindung der Module erfolgt sehr einfach mit Schläuchen und Schnellkupplungen. In Verbindung mit anderen Modulen des HL 320-Systems können verschiedene Kombinationsmöglichkeiten für regenerative Wärmequellen erprobt und optimiert werden.



Zum Produkt:

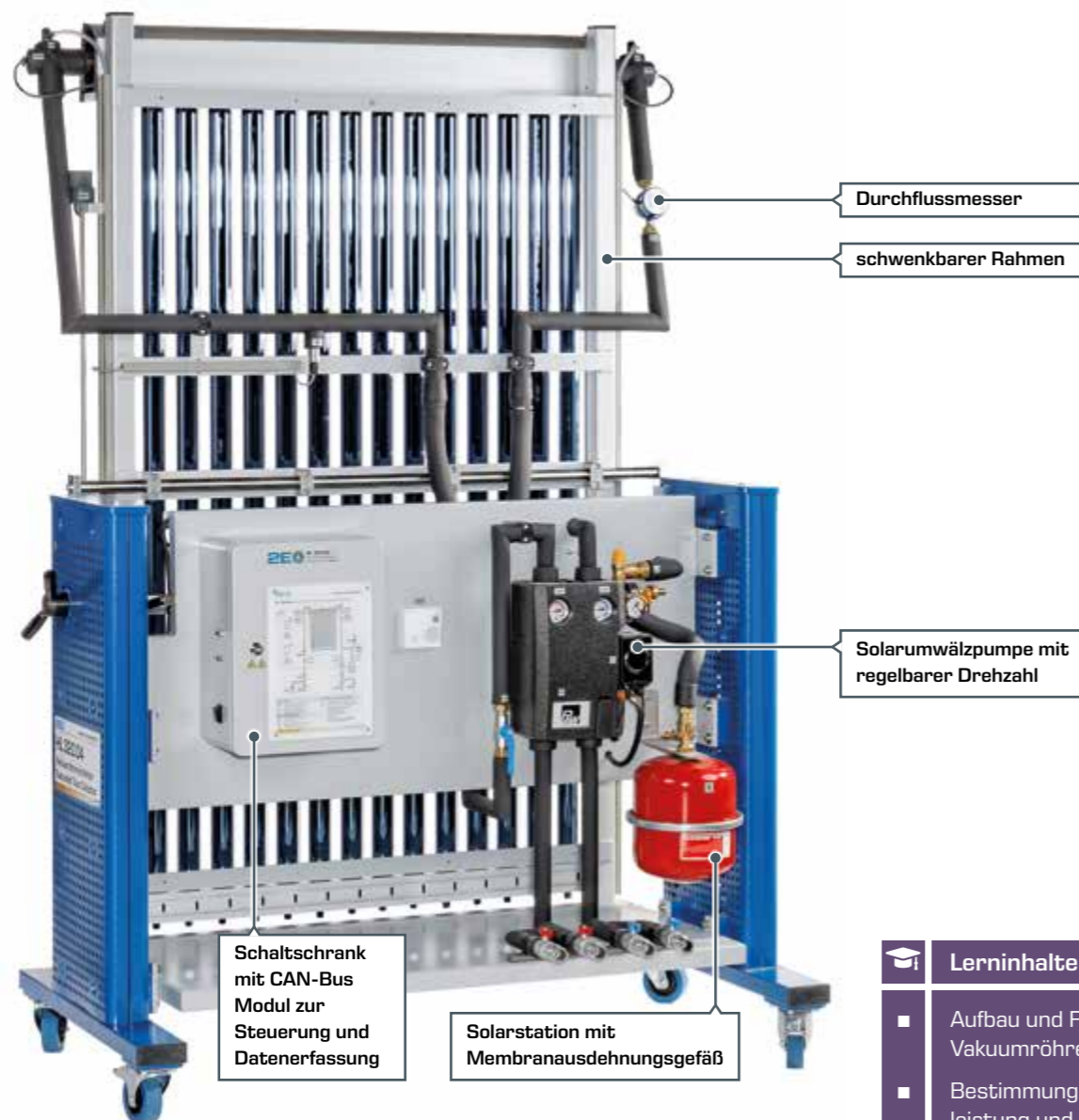


Lerninhalte
<ul style="list-style-type: none"> ■ Bestimmung der Nutzleistung ■ Einfluss von Temperatur, Beleuchtungsstärke und Einstrahlwinkel auf den Kollektorwirkungsgrad ■ Einbindung eines Flachkollektors in ein modernes Heizungssystem ■ hydraulische und regelungstechnische Betriebsbedingungen ■ Energiebilanzen ■ Optimierung der Betriebsbedingungen für verschiedene Nutzungsarten

HL 320.04 Vakuurröhrenkollektor

Mit HL 320.04 verfügen Sie über einen Vakuurröhrenkollektor moderner Bauart. Aufgrund der geringeren Wärmeverluste erreichen Vakuurröhrenkollektoren gegenüber einfachen Flachkollektoren deutlich höhere Arbeitstemperaturen. In der Praxis werden Vakuurröhrenkollektoren z. B. bei eingeschränkter Aufstellfläche eingesetzt. Im ganzjährigen Heizungsbetrieb ermöglichen es Vakuurröhrenkollektoren, den saisonalen Bedarf an einer konventionellen Zusatzheizung zu verringern. HL 320.04 ist ein Modul des Modulsystems HL 320 Solarthermie und Wär-

mepumpe. Das Versuchsmodul kann auf verschiedene Weise in das Modulsystem eingebunden werden. Möglich ist sowohl die Nutzung zur Erzeugung von erwärmtem Brauchwasser als auch zur kombinierten Erzeugung von Brauchwasser und Heizwärme. Leitungsverbindungen für die Wärmeträgerflüssigkeit können durch Schnellkupplungen mit geringem Aufwand hergestellt und verändert werden.



🎓	Lerninhalte
■	Aufbau und Funktion des Vakuurröhrenkollektors
■	Bestimmung der Nutzleistung und Einflussgrößen auf den Kollektorwirkungsgrad
■	Einbindung eines Vakuurröhrenkollektors in ein modernes Heizungssystem

HL 320.05 Zentrales Speichermodul mit Regler

Das Speichermodul HL 320.05 wurde für Ihre Versuche als ein zentraler Bestandteil des Modulsystems HL 320 entwickelt. HL 320.05 enthält zwei unterschiedliche Wärmespeicher, Rohrleitungen, eine Pumpe, zwei motorisierte 3-Wege-Ventile und Sicherheitseinrichtungen. Schnellkupplungen auf der Vorderseite des Moduls ermöglichen den hydraulischen Anschluss an andere Module des Modulsystems. Zudem enthält HL 320.05 einen frei programmierbaren Heizungsregler, der über Steuer- bzw. Datenleitungen (CAN-Bus) mit den jeweils eingebundenen Modulen verbunden wird. Mit diesem Regler können alle vorgeesehenen Modulkombinationen betrieben und untersucht werden.



🎓	Lerninhalte
■	Grundlagen und Inbetriebnahme von Heizungsanlagen mit Solarthermie und Wärmepumpe
■	Eigenschaften verschiedener Wärmespeicher
■	elektrische, hydraulische und regelungstechnische Betriebsbedingungen
■	Energiebilanzen für verschiedene Anlagenkonfigurationen
■	Optimierung von Regelstrategien für verschiedene Betriebsarten

Zum Produkt:



Zum Produkt:



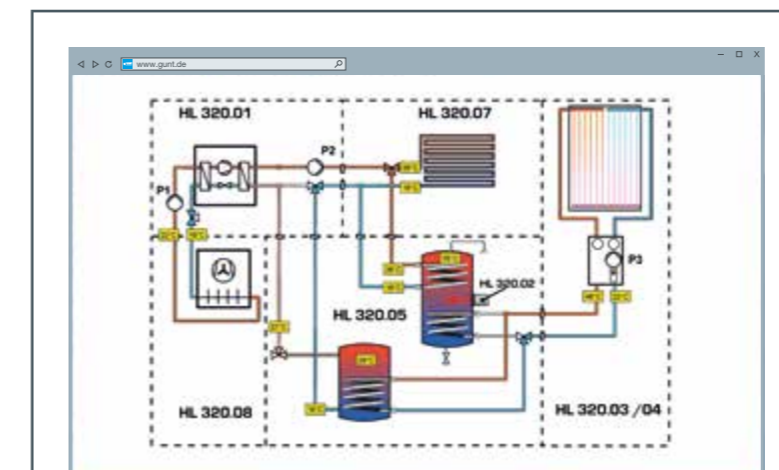
HL 320.05

Zentrales Speichermodul mit Regler



- 1 frei programmierbarer Heizungsregler mit Datenlogger
- 2 Buchsen für CAN-Bus und Netzwerk
- 3 Prozessschema
- 4 Pufferspeicher
- 5 Wärmeübertrager
- 6 3-Wege-Umschaltventil
- 7 Umwälzpumpe
- 8 bivalenter Speicher

Das Speichermodul HL 320.05 kann durch individuell zugängliche Zugänge und Abgänge auf verschiedene Weise in das Modulsystem HL 320 eingebunden werden. Für fünf vordefinierte Kombinationen sind Schemata und Reglerkonfigurationen vorbereitet. Zur Versuchsvorbereitung werden zunächst die bezeichneten Rohrleitungsverbindungen hergestellt. Anschließend wird eine Steuerverbindung und Datenverbindung (CAN-Bus) zu jedem Modul hergestellt. Der Versuch kann beginnen, sobald die vorbereitete Reglerkonfiguration aktiviert worden ist. Für den Regler bzw. Datenlogger sind verschiedene PC-Programme verfügbar, die bei Bedarf eine individuelle Anpassung der Konfiguration oder der jeweils gewünschten Datenaufzeichnungsoptionen ermöglichen.



Visualisierung im Webbrowser per LAN / WLAN

Steuerung und Datenerfassung des Reglers können über ein Netzwerkmodul an einem PC erfolgen. Die Anbindung kann über den integrierten Router per LAN oder drahtlos per WLAN erfolgen. Dabei können z. B. aktuelle Anlagendaten in einem Schema dargestellt werden. Diese Darstellung kann mit jedem aktuellen Webbrowser abgerufen werden.

Referenzen

Weltweit arbeiten viele Kunden bereits erfolgreich mit unserem HL 320 Modulsystem. Hier einige ausgewählte Referenzen:

- University College London (UCL), United Kingdom
- ROC Kop van Noord-Holland, Netherlands
- Politechnika Slaska w Gliwicach, Poland
- Universidad de Huelva (UHU), Spain
- Montanuniversität Leoben, Austria
- Hochschule Ansbach, Deutschland
- Hochschule Wismar, Deutschland
- IUT Amiens, France

Versuchsvorbereitung



Gesicherte Leitungskupplungen (1, 2) ermöglichen die gefahrlose Modifizierung der Leitungsführung. Aktuelle Anlagendaten können sowohl am Regler (3) als auch über eine Netzwerkverbindung (4) visualisiert werden.

Zum Produkt:



HL 320.07 Fußbodenheizung/Erdwärmeabsorber

Fußbodenheizungen übertragen Wärme durch spiralförmig oder mäanderförmig angeordnete Rohrleitungssysteme unterhalb des Bodenbelags. Für den Betrieb von Fußbodenheizungen sind deutlich geringere Vorlauftemperaturen als z.B. für konventionelle Radiatoren erforderlich. Im Modulsystem HL 320 kann HL 320.07 neben seiner Funktion als Wärmesenke einer Fußbodenheizung auch als Wärmequelle für eine Wärmepumpe eingesetzt werden. In diesem Fall kehrt sich die Richtung des Wärmetransports um. HL 320.07 ist mit drei separat wählbaren Rohrleitungssystemen unterschiedlicher Länge ausgestattet. Die Rohrleitungen sind von einem Behälter umgeben der mit Wasser befüllt werden kann.

Am Rohrleitungssystem sind Aufnehmer zur Erfassung der Temperaturen an Vorlauf und Rücklauf angebracht. Gemeinsam mit den Messdaten des integrierten Durchflussmessers können Wärmemengen und Energiebilanzen berechnet werden. Die Daten werden über die CAN-Bus-Verbindung an den Regler des jeweils erforderlichen Hauptmoduls (HL 320.01 oder HL 320.05) übertragen. Über die CAN-Bus-Verbindung kann zudem das integrierte 3-Wege-Mischventil vom Regler angesteuert werden.



Lerninhalte

- Energiebilanz in kombinierten Heizungssystemen für Brauchwassererwärmung und Raumheizung
- Wärmeübertragung in einer Fußbodenheizung
- Nutzung von Wärmequellen für Wärmepumpensysteme

Zum Produkt:



HL 320.08 Gebläseheizung/Luftwärmeübertrager

Bei der Raumheizung bieten Gebläseheizungen gegenüber klassischen Heizungsradiatoren die Möglichkeit, auch bei kleinen Abmessungen eine vergleichsweise gute Wärmeübertragung an die Raumluft zu erreichen. In Verbindung mit einer Wärmepumpe stellt die Gebläseheizung speziell für die Heizungserneuerung in Altbauten oft eine energetisch und ökonomisch vorteilhafte Anwendung dar. Das Versuchsmodul HL 320.08 vervollständigt Ihr Modulsystem HL 320. Auch dieses Modul

kann als Wärmesenke oder als Wärmequelle für eine Wärmepumpe betrieben werden. Ebenfalls sind Aufnehmer für Temperatur und Durchfluss zur Erstellung von Energiebilanzen verfügbar. Die Daten werden über die CAN-Bus-Verbindung an den Regler des jeweils erforderlichen Hauptmoduls (HL 320.01 oder HL 320.05) übertragen.



Lerninhalte

- Einfluss der Temperaturdifferenz zwischen Heizungsvor- und -rücklauf auf die Gesamteffizienz einer Heizungsanlage
- Betriebsbedingungen beim Einsatz als Luftwärmeübertrager in einem Wärmepumpensystem
- Vergleich eines Luftwärmeübertragers mit anderen Wärmequellen eines Wärmepumpensystems

Zum Produkt:



Lernfelder

Energieeffizienz in Gewerbe und Industrie

 Lernfelder

Produkte

In Gewerbe und Industrie sind Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sowohl mit der Optimierung der Gebäudetechnik als auch mit Prozessen der betreffenden Wertschöpfung verbunden. Oft ergeben sich aus der engeren Verzahnung beider Bereiche neuartige Ansätze zur Steigerung der Energieeffizienz. So kann z.B. die Abwärme von Kühleinrichtungen im Lebensmittelhandel zur Klimatisierung der Verkaufsräume genutzt werden. Im industriellen Umfeld ist die Nutzung prozesstechnischer Abwärme ein gutes Beispiel für effizientere Maßnahmen.

Wir haben für Sie hier nur eine sehr kleine Auswahl von Geräten zu dieser Thematik zusammengestellt. Der grundsätzliche Ansatz, Energieströme in vorgegebenen Anwendungsumgebungen zu analysieren, um eine Verringerung des Primärenergieeinsatzes zu erreichen, lässt sich neben unseren Geräten aus dem Produktbereich Energie auch an vielen Geräten des übrigen Produktprogramms von GUNT zeigen.

Energieeffizienz in der Kältetechnik

Ausblick:
Energieeffizienz in der Prozesstechnik**ET 420**
Eisspeicher in der Kältetechnik**ET 428**
Energieeffizienz in Kälteanlagen**RT 682**
Mehrgrößenregelung im Rührbehälter**RT 396**
Pumpen- und Armaturen-Prüfstand

Basiswissen

Energieeffizienz in der Kältetechnik



Typische Anwendung für kältetechnische Anlagen: Verkaufstheken im Supermarkt werden im Bereich der sogenannten Normalkühlung betrieben.



Verflüssiger in einem Kältemittelnetz

Kälteanlagen in der Gebäudetechnik

Kälteanlagen bestehen aus verschiedenen Komponenten, in denen jeweils Energie übertragen wird. Alle diese Komponenten sind mit unterschiedlichen Wirkungsgraden behaftet und können daher als potenzielle Stellschrauben für eine Optimierung betrachtet werden. Speziell in der Gebäudetechnik bietet sich darüber hinaus die Möglichkeit, z.B. durch die Nutzung der Abwärme einer Kälteanlage zur Gebäudeheizung, die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems deutlich zu steigern. Ein weiteres interessantes Konzept für den vernetzten Betrieb von Wärmequellen und Wärmesenken besteht z.B. in der Nutzung von Abwärme zur Kälteerzeugung in Absorptionskälteanlagen.

Kältemittelnetze zur Gebäudeversorgung

Bei größeren Kälteanlagen sind Kälteerzeuger und Kühlstellen oft räumlich voneinander getrennt. Dabei werden zum Teil mehrere Kühlstellen an verschiedenen Orten von einer zentralen Anlage versorgt. Hier gibt es an den Kühlstellen (z.B. den Verkaufstresen) oft nicht genügend Platz für die Aufstellung einer Kältemaschine. Für die Anlagenplanung ist dabei zudem entscheidend, dass die Abwärme an die Außenluft oder an die Gebäudeversorgung abgegeben werden soll. Prinzipiell ist es die Aufgabe von Kältemittelnetzen, Kältemittel von der Kältemaschine zur Kühlstelle und zurück zu transportieren.

Temperaturbereiche in der Kältetechnik

Bei der Einbindung der Kältetechnik in die Gebäudetechnik ist zunächst der Temperaturbereich der Anwendung zu beachten. Folgende Bereiche werden typischerweise unterschieden:

- Klimatisierung +25°C ... +15°C
- Normalkühlung +10°C ... -5°C
- Tiefkühlung -15°C ... -30°C
- Schockgefrierung -35°C ... -50°C

Maßnahmen zur Steigerung Energieeffizienz in der Kältetechnik

Die Umsetzung von energieeffizienten Konzepten für Kälteanlagen ist oft mit erhöhten Investitionskosten verbunden. Dagegen werden erzielbare Einsparungen und wirtschaftliche Vorteile für einige Lösungen erst bei der Betrachtung über die gesamte Lebensdauer der Anlage deutlich. Deshalb kann es sinnvoll sein, für spezielle Anwendungsfälle oder Technologien wirtschaftliche Anreize zu schaffen, um insbesondere in der Anfangsphase die Risiken für neuartige Anlagen zu verringern.

In Deutschland verbrauchen Kälte- und Klimageräte bisher ca. 15% der elektrischen Energie. Im Rahmen von EU-Vorgaben wurden von der deutschen Bundesregierung spezielle Förderprogramme zur Effizienzsteigerung in diesem Bereich eingerichtet, um die geplanten Einsparziele bis 2025 zu erreichen.

Energieeffizienz bei wechselndem Kältebedarf

Naturgemäß sollte die Leistungsfähigkeit einer Kälteanlage den maximalen Bedarf aller Kälteabnehmer zu Spitzenzeiten abdecken. Um den Energiebedarf bei stark wechselndem Kältebedarf möglichst gering zu halten, können anpassungsfähige Kälteaggregate eingesetzt werden. Hierzu gehören z.B. drehzahlgesteuerte oder mehrstufige Verdichter sowie elektronische Expansionsventile. Durch eine effiziente Anlagensteuerung werden häufige Ein- und Ausschaltvorgänge vermieden. Bedingung dafür ist aber auch ein ausreichend dimensionierter Kältespeicher. Neben einer intelligenten Regelung ist insbesondere die Einbindung in das Energiemanagementsystem des gesamten Gebäudes zu berücksichtigen.

Anlagenüberwachung durch Energiemanagementsysteme

Neben der Umsetzung effizienter Anlagenkonzepte und der Nutzung optimierter Komponenten ist die regelmäßige Kontrolle aller Betriebsparameter entscheidend für die langfristige Senkung des Energiebedarfs. Von zunehmender Bedeutung für die Anlagenüberwachung sind vernetzbare Kühlstellenregler, deren Daten durch ein modernes Energiemanagementsystem für das gesamte Gebäude erfasst werden.



In der Lebensmittelproduktion sind für einzelne Produktionsschritte oft sehr genau vorgegebene Temperaturen erforderlich. Eine besondere Herausforderung für die Planung der Produktionsanlagen stellt die energieeffiziente Einbindung der erforderlichen Kälteanlagen in die übrige Gebäudeversorgung dar.



Nicht nur im Lebensmittelbereich müssen Waren oft über lange Zeiträume gekühlt gelagert werden. Aufgrund des erforderlichen Dauerbetriebs der Kühlanlagen sind hier auch bereits durch geringe Effizienzsteigerungen beträchtliche Einsparungen im Energieverbrauch möglich.



Thermische Energietechnik



» Thermische Energietechnik

Zu vielen grundlegenden Themen der Heizungstechnik finden Sie auch in unserem Programmbereich 3 eine große Auswahl von Lehrsystemen.

ET 420 Eisspeicher in der Kältetechnik

Mit zunehmender Dezentralisierung der Energieversorgung wird auch die Speicherung von Energie immer wichtiger. Die Speicherung thermischer Energie zur Brauchwassererwärmung wird in der Gebäudetechnik bereits seit Jahren erfolgreich eingesetzt. Der Einsatz von Eisspeichern, zur Kühlung von Gebäuden, ist hingegen noch immer eine Ausnahme.

Die abzuführende Wärme, zur Kühlung von Gebäuden, schwankt über den Tagesverlauf stark. Tagsüber ist der Kühlbedarf in der Regel deutlich höher als in der Nacht. Um Gebäude auch bei höchstmöglicher Lastanforderung kühlen zu können, werden Kälteanlagen auf die zu erwartende Spitzenlast ausgelegt. Das führt zur Überdimensionierung der Kältetechnik, so dass betroffene Anlagen im Teillastverhalten sehr ineffizient betrieben werden.

Eisspeicher können im Fall von besonders hohen Kühllasten die Kälteanlage unterstützen. Eisspeicher zur Unterstützung der Kälteanlage werden hauptsächlich in großen Nichtwohngebäuden eingesetzt. In Zeiten geringen Kältebedarfes, wird der Speicher über die Kälteanlage aufgeladen und kann im Fall von Lastspitzen wieder entladen werden, um die Kälteanlage zu unterstützen. Die Leistung der Kältetechnik kann somit kleiner dimensioniert werden. Der Einsatz kleinerer Kälteanlagen führt zur Einsparung von Betriebs- und Investitionskosten.

Zum Produkt:



ET 420 bietet eine Kälteanlage mit Eisspeicher, die vollständig bedarfsorientiert betrieben werden kann. Das Anlagenkonzept beinhaltet einen Trockenkühlturm **9**, der während der Versuche den Wärmeübertrager im zu versorgenden Gebäude darstellt und einen Nasskühlturm **8**, der die Wärmeabgabe an die freie Umgebung darstellt. Der Eisspeicher ermöglicht diverse Betriebszustände, um den schwankenden Heiz- und Kühlbedarf eines Gebäudes effizient zu bedienen.

Folgende Betriebszustände sind über die Stellung der Ventile einstellbar:

- Eisspeicher laden
- Kühlen über Eisspeicher
- Kühlen über Kälteanlage
- Kühlen über Kälteanlage und Eisspeicher
- Heizen über Wärmepumpe
- Heizen über Wärmepumpe und Eisspeicher laden
- Wärmeabfuhr über Nasskühlturm

🎓	Lerninhalte
■	Aufbau und Funktion einer energieeffizienten Kälteanlage
■	Funktion und Betrieb eines Eisspeichers <ul style="list-style-type: none"> ▶ Beladen ▶ Entladen
■	Bilanzierung der Energieströme
■	Energietransport über verschiedene Medien
■	Kompressionskältekreisprozess im log p,h-Diagramm
■	Funktion und Leistung eines Nasskühlturms
■	Funktion und Leistung eines Trockenkühlturms

- 1 Schaltschrank,
- 2 Vorratsbehälter für Glykol,
- 3 Umwälzpumpen,
- 4 Eisspeicher,
- 5 Kältemittelverdichter,
- 6 Kältemittelverflüssiger,
- 7 Kältemittelverdampfer,
- 8 Nasskühlturm,
- 9 Trockenkühlturm



Versuchsstand mit Kälteanlage und Eisspeicher



Nasskühlturm



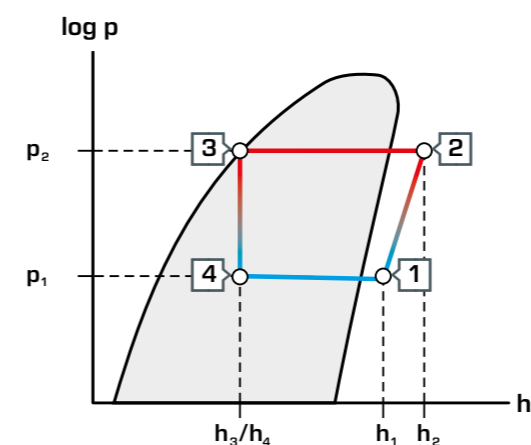
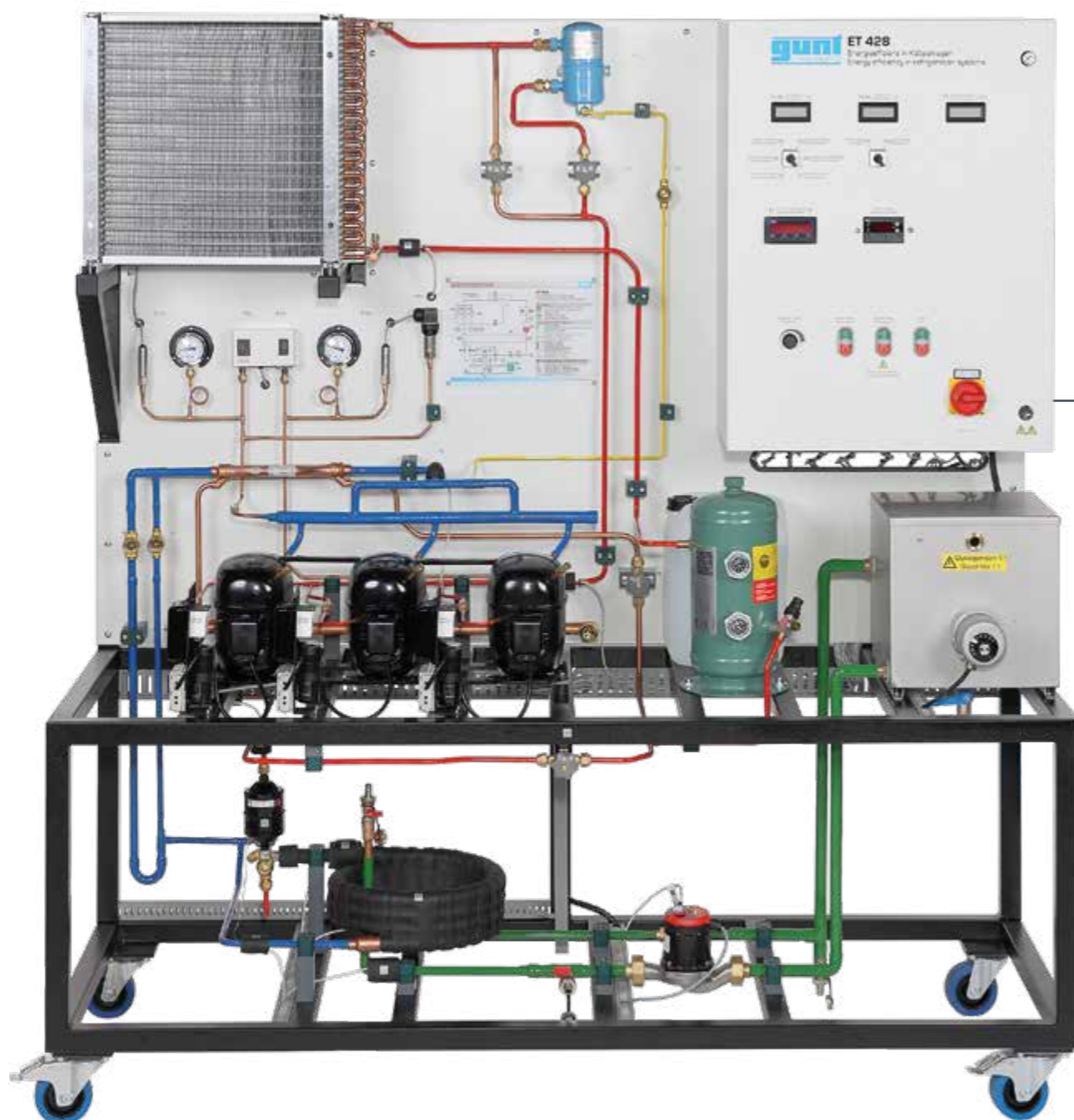
Trockenkühlturm

ET 428 Energieeffizienz in Kälteanlagen

Der effiziente Einsatz von Energie in der Kältetechnik ist ein wichtiger Beitrag für die nachhaltige Energieversorgung. Um auch bei höherem Leistungsbedarf einen energieeffizienten Betrieb zu gewährleisten, werden in der Industrie kleine Verdichter parallel geschaltet. Die optimale Anpassung an den Leistungsbedarf wird durch Zu- und Abschaltung von Verdichtern erreicht. Mit dem Versuchsstand ET 428 erhalten Sie drei parallel geschaltete Verdichter, die über einen Regler zu- oder abgeschaltet werden. Die Komponenten des Kältekreislaufes mit den drei Verdichtern sind für Sie übersichtlich auf dem Versuchsstand angeordnet.

Der Glykol-Wasser-Kreislauf mit Pumpe und Behälter mit Heizer dient als Kühllast am Verdampfer. Ein innerer Wärmeübertrager im Kältekreislauf ermöglicht es Ihnen, den Einfluss der Kältemittelunterkühlung auf die Effizienz des Prozesses zu untersuchen. Die quantitative Beurteilung der Effizienz können Sie über eine Energiebilanz am Glykol-Wasser-Kreislauf und durch Messung der elektrischen Leistung der Verdichter vornehmen.

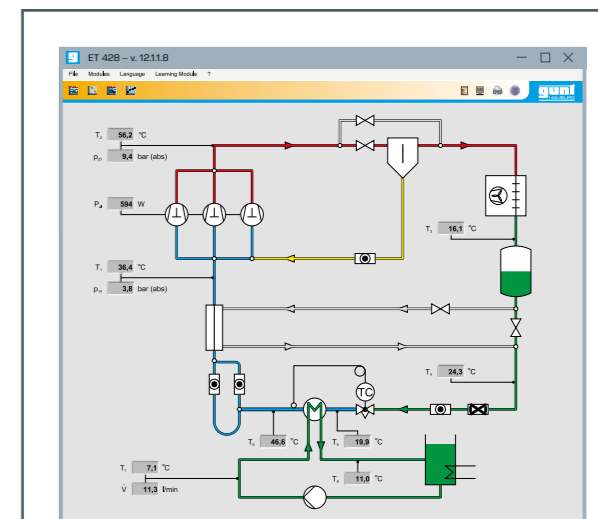
Zum Schutz der drei Verdichter ist der Kältekreislauf mit einem kombinierten Druckschalter für Druck- und Saugseite ausgerüstet. Um eine sichere Ölversorgung der drei Verdichter zu gewährleisten, befindet sich auf der Druckseite der Verdichter ein Ölabscheider. Das abgeschiedene Öl wird den Verdichtern auf der Saugseite wieder zugeführt.



- 1 → 2 Verdichtung
- 2 → 3 Kondensation
- 3 → 4 Expansion
- 4 → 1 Verdampfung

p Druck,
h Enthalpie

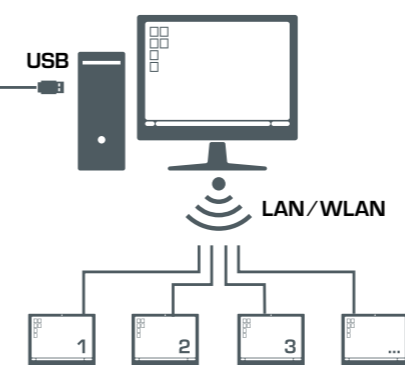
Die Darstellung des Prozesses im log p, h Diagramm ist ein Standard für die Verdeutlichung der Kreisprozesse in Kälteanlagen. ET 428 bietet Ihnen darüber hinaus die online-Ansicht des Kreisprozesses mit den aktuellen Messwerten.



Software

Die GUNT-Software für ET 428 ermöglicht die Erfassung, Speicherung und Darstellung aller relevanten Messgrößen.

Zum Produkt:



Lerninhalte

- Einflussgrößen auf die Energieeffizienz
 - ▶ Reglerparameter
 - ▶ Kältemittelunterkühlung
- Verbundbetrieb von Verdichtern
- Funktion eines Verbundreglers
- Methoden der Ölrückführung in einer Verbundanlage
- Darstellung des thermodynamischen Kreisprozesses im log p, h-Diagramm

Basiswissen

Prozesstechnik und Gebäudetechnik



Deutlich erleichtert wird die Umsetzung energieeffizienter Konzepte, wenn sie frühzeitig in die Planung von Produktionsstätten einfließen können.

Ressourcenschonende Produktionsstätten

Wie sich am Beispiel einer ressourcenschonenden Versorgung mit Rohstoffen und Energie zeigt, ist heutzutage eine interdisziplinäre Betrachtungsweise erforderlich. Dabei müssen verschiedene Aspekte aus den Bereichen Energietechnik, Gebäudetechnik und Prozesstechnik bedacht werden. Auf dieser Erkenntnis beruht die Zusammenführung der ansonsten zumeist eigenständig behandelten Themenbereiche Gebäudetechnik und Prozesstechnik. Die Verknüpfung dieser beiden Themenbereiche muss bereits im Rahmen einer zukunftsorientierten Ausbildung erfolgen. Dadurch wird gewährleistet, dass man den Herausforderungen bei der Planung energieeffizienter Produktionsstätten auch zukünftig gerecht wird.

Kopplung von Teilsystemen

Beim Neubau bzw. bei der Modernisierung vieler industrieller und gewerblicher Gebäude wurde die gemeinsame Betrachtungsweise von Gebäudetechnik und Prozesstechnik bereits erfolgreich umgesetzt. Diesbezüglich ist inzwischen eine deutliche Zunahme zu verzeichnen. Die Bereitschaft, den damit verbundenen höheren Aufwand in Kauf zu nehmen, ist durch die positiven Erfahrungen aus bereits umgesetzten Projekten deutlich gestiegen. Unterstützt wird dieser Trend durch staatliche Förderprogramme. Die wertvollen Erkenntnisse aus dem Betrieb gekoppelter Anlagen fließen z.B. in die Weiterentwicklung einzelner Komponenten und energieeffizienter Leitsystemen ein.

Energieoptimierte Anlagensteuerung

Für die energetische Optimierung prozesstechnischer Anlagen ist zunächst zu prüfen, welche Teilprozesse oder Komponenten mit Energieverlusten behaftet sind. In bestehenden Anlagen sind dafür oft zusätzliche Komponenten und Messeinrichtungen zu installieren. Danach sollte es möglich sein, alle relevanten Energieströme der Anlage zu erfassen. Um Einsparpotenziale zu identifizieren, müssen die Messdaten zunächst analysiert und die einzelnen Prozessschritte bilanziert werden. Durch eine Optimierung der Anlagensteuerung können diese Einsparpotenziale dann ausgeschöpft werden. Um gleichzeitig aber auch die Qualität der Produkte konstant zu halten, sind in der Regel umfangreiche Versuche erforderlich.

Wärmerückgewinnung in der Lebensmittelproduktion

Bei der Herstellung von Lebensmitteln wird viel Energie in Form von Warmwasser, Prozesswärme, Kühlung und Heizung verwendet. Als Beispiel für Prozesstechnik aus diesem Bereich kann die Verwendung eines temperierbaren Rührbehälters gesehen werden. Typische Anforderungen für eine derartige Anlage sind:

- schnelles Aufheizen der zu verarbeitenden Komponenten vor dem Eintritt in den Behälter
- konstante Temperatur während der Verarbeitung im Behälter
- schnelles Abkühlen der erzeugten Produkte nach der Verarbeitung
- energieeffizienter Betrieb der Anlage

Um alle Anforderungen zu erfüllen, sind neben einer Möglichkeit zur Wärmerückgewinnung auch effiziente Regelsysteme erforderlich. Welche Effekte, z.B. bei Veränderungen der Regelparameter, möglich sind, lässt sich an unserem Versuchsstand RT 682 untersuchen.



Rührbehälter im großtechnischen Maßstab



Die Erfassung der Energieströme stellt eine Grundvoraussetzung für Optimierung bestehender Anlagen dar.



» Prozesstechnik

Zu vielen grundlegenden Themen der Prozesstechnik finden Sie auch in unserem Programmbereich 5 eine große Auswahl von Lehrsystemen.



Armaturen einer großtechnischen Verteilerstation

Armaturen in der Prozesstechnik

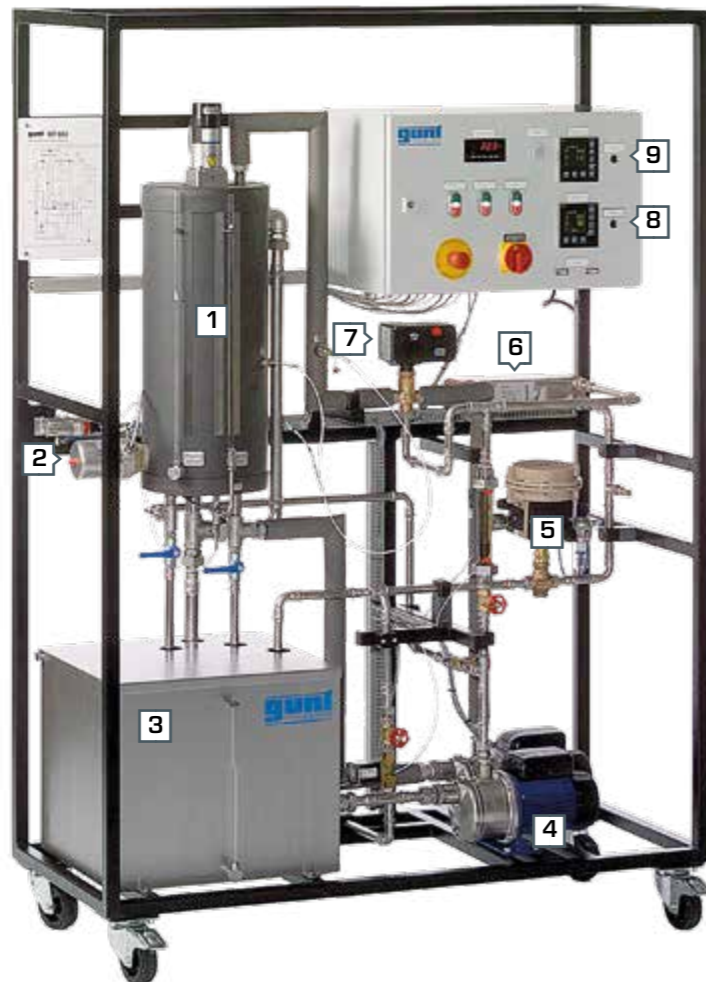
Einstellbare Armaturen werden in der Prozesstechnik eingesetzt, wenn fließfähige Stoffe in Rohrleitungssystemen transportiert werden müssen. Ihre Aufgabe ist es, den Durchfluss auf einen bestimmten Wert zu begrenzen.

Naturngemäß ist die Begrenzung eines gegebenen Durchflusses durch eine Armatur mit einem Druckabfall und somit mit einem Verlust an hydraulischer Leistung verbunden. Soll ausschließlich der Durchfluss durch eine Hauptleitung eingestellt werden, ist es energieeffizienter, z.B. eine Pumpe mit einstellbarer Förderleistung zu verwenden. In verzweigten Rohrleitungssystemen ist dies jedoch nicht immer möglich oder wirtschaftlich. Hier kommen daher oft einstellbare Armaturen zum Einsatz.

Bei der Auswahl geeigneter Armaturen sind neben den speziellen Anforderungen der vorgesehenen Anwendung auch grundlegende Fragen der Auslegung zu beachten, um einen verlustarmen Betrieb zu gewährleisten. Für Versuche aus diesem Themenbereich der Prozesstechnik empfehlen wir Ihnen daher unseren Pumpen- und Armaturen-Prüfstand RT 396.

RT 682 Mehrgrößenregelung im Rührbehälter

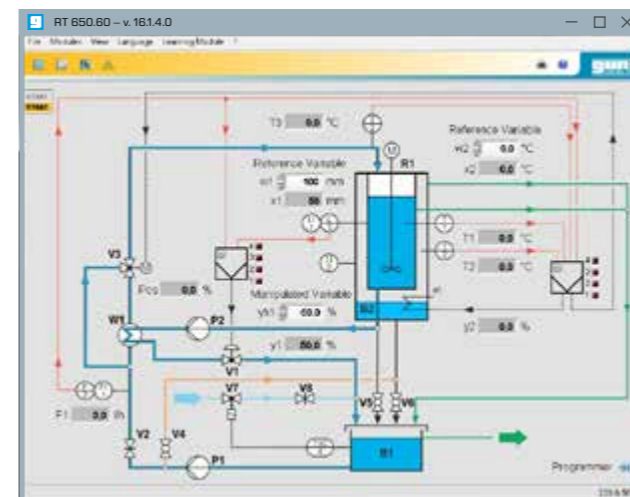
- 1 Rührbehälter
- 2 Heizer
- 3 Sammelbehälter
- 4 Pumpen
- 5 Regelventil Füllstand
- 6 Wärmeübertrager
- 7 3-Wege-Motorventil
- 8 Regler Füllstand
- 9 Regler Temperatur



In der Prozesstechnik ist der energieeffiziente Betrieb der einzelnen Komponenten ebenfalls von großer Bedeutung. Je weniger Energie für die Herstellung der Produkte erforderlich ist, desto günstiger ist die Produktion, so dass die Produkte günstiger angeboten werden können. Hierbei müssen auch die Kosten zur Unterhaltung des Produktionsgebäudes, der Leitwarte und der Bürogebäude berücksichtigt werden. Die bei der Produktion anfallende Abwärme kann z.B. zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden, wodurch sich die Betriebskosten senken lassen. Hierfür ist eine Automatisierung und Überwachung der einzelnen Ströme und Temperaturen erforderlich.

Eine weitere Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz ist die prozessinterne Wärmerückgewinnung. Dies könnte z.B. mit einer Vorwärmung der Eingangsstoffe durch die noch warmen Produkte erfolgen. Das dadurch geänderte Anlagenverhalten ist für den Herstellungsprozess mit den Regelparametern anzupassen.

Mit RT 682 können Sie die komplexen Zusammenhänge einer Mehrgrößenregelung praxisnah erlernen und das Anlagenverhalten mit Wärmerückgewinnung darstellen und vergleichen.



Software

Die speziell für RT 681 und RT 682 entwickelte Prozessleitsoftware ermöglicht es Ihnen, beide Versuchsstände gleichzeitig anzuschließen, zu überwachen und zu regeln. Die Software bietet Ihnen folgende Möglichkeiten:

- Prozessschemata mit Anzeige aller Messwerte
- Alarmfunktion mit Protokollierung
- Parametrierung der Regler
- Hand- oder Automatikbetrieb der Regler
- Funktionsweise eines Programmgebers
- Netzwerkbetrieb mit Server / Client
- Leitwartenfunktion bei Anschluss beider Versuchsstände

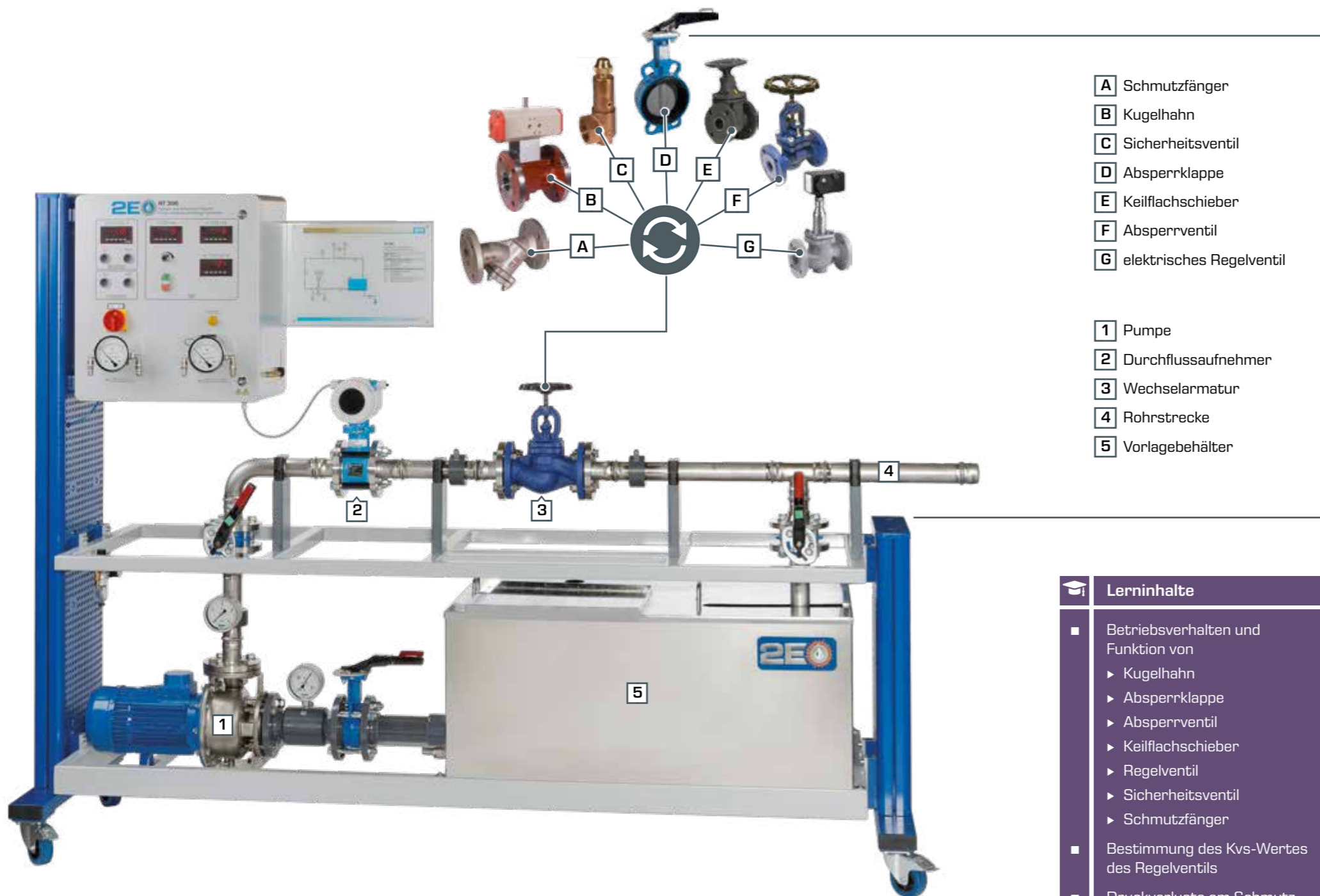
Zum Produkt:



Lerninhalte

- gekoppelte Füllstands- und Temperaturregelung
- Füllstandsregelung mit
 - ▶ PI-Regler
 - ▶ Störgrößenaufschaltung
- Temperaturregelung
 - ▶ mit Zweipunktregler
 - ▶ mit Dreipunktregler (split range)
 - ▶ mit Begrenzungsregelung (override control)
 - ▶ über Motorventil mit Stellungsrückmeldung
- Aufnahme von Sprungantworten

RT 396 Pumpen- und Armaturen-Prüfstand



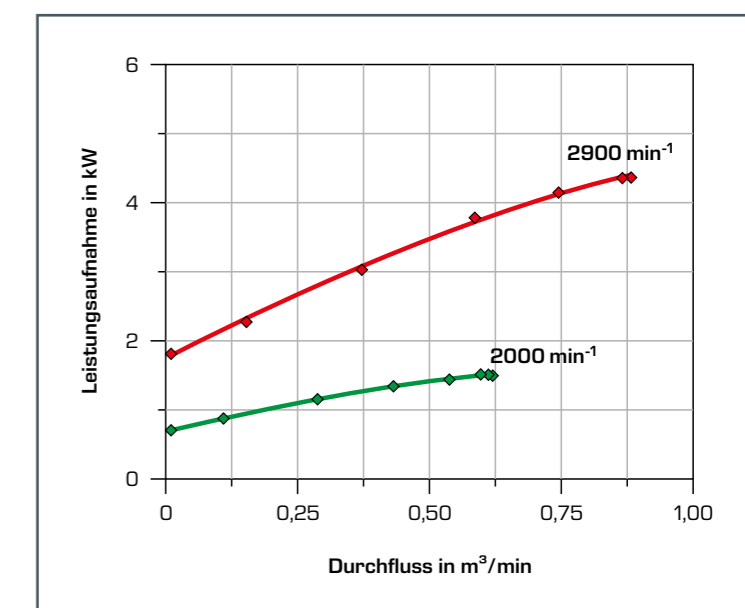
- A** Schmutzfänger
- B** Kugelhahn
- C** Sicherheitsventil
- D** Absperrklappe
- E** Keilflachschieber
- F** Absperrventil
- G** elektrisches Regelventil

- 1** Pumpe
- 2** Durchflussaufnehmer
- 3** Wechselarmatur
- 4** Rohrstrecke
- 5** Vorlagebehälter

Lerninhalte

- Betriebsverhalten und Funktion von
 - ▶ Kugelhahn
 - ▶ Absperrklappe
 - ▶ Absperrventil
 - ▶ Keilflachschieber
 - ▶ Regelventil
 - ▶ Sicherheitsventil
 - ▶ Schmutzfänger
- Bestimmung des Kvs-Wertes des Regelventils
- Druckverluste am Schmutzfänger in Abhängigkeit des Filters
- technische Zeichnungen und Betriebsanleitungen lesen und verstehen

Mit dem Versuchsstand RT 396 erhalten Sie einen Prüfstand für Pumpen und Armaturen. Mit dem Prüfstand können Sie insgesamt sieben Armaturen hinsichtlich des Funktionsprinzips und der Kennlinie untersuchen. Ferner können Sie die Pumpenkennlinie und den Leistungsbedarf der installierten Kreiselpumpe aufnehmen, sowie den Leistungsbedarf der in Reihe geschalteten Kreiselpumpe und Armatur für verschiedene Durchflüsse ermitteln. Der Vergleich mit dem Leistungsbedarf ohne Armatur und den auftretenden Drücken ermöglicht es Ihnen darüber hinaus, die Durchflusskennwerte der verschiedenen Armaturen zu bestimmen.



Leistungsaufnahme der Kreiselpumpe bei unterschiedlichen Drehzahlen

Zum Produkt:



Das GUNT-Gesamtprogramm – Systeme für die Technische Ausbildung



Technische Mechanik und Konstruktionslehre

- Statik
- Festigkeitslehre
- Dynamik
- Maschinendynamik
- Konstruktionslehre
- Werkstoffprüfung



Mechatronik

- Technisches Zeichnen
- Schnittmodelle
- Längenprüftechnik
- Maschinen- und Geräte-
technik
- Fertigungstechnik
- Montagetechnik
- Instandhaltung
- Maschinenzustands-
überwachung
- Automatisierung und
Regelungstechnik



Thermische Energietechnik

- Thermodynamische
Grundlagen
- Thermodynamische
Anwendungen in der
Versorgungstechnik
- Regenerative Energien
- Thermische Fluid-
energiemaschinen
- Kälte- und Klimatechnik



Technische Strömungsmechanik

- Stationäre Strömung
- Instationäre Strömung
- Umströmung von Körpern
- Fluidenergiemaschinen
- Elemente aus dem Rohr-
leitungs- und Anlagenbau
- Wasserbau



Prozesstechnik

- Mechanische
Verfahrenstechnik
- Thermische
Verfahrenstechnik
- Chemische
Verfahrenstechnik
- Biologische
Verfahrenstechnik
- Pilotanlagen



2E Energy & Environment

- Energy**
 - Solarenergie
 - Wasserkraft und
Meeresenergie
 - Windkraft
 - Biomasse
 - Geothermie
 - Energiesysteme
 - Energieeffizienz in der
Gebäudetechnik
- Environment**
 - Wasser
 - Luft
 - Boden
 - Abfall

Planung und Beratung · Technischer Service
Inbetriebnahme und Schulung

Produktübersicht

AT		
AT200	Wirkungsgradbestimmung von Getrieben	094
CE		
CE640	Biotechnische Herstellung von Ethanol	112
CE642	Biogasanlage	118
CE650	Biodieselanlage	123
ET		
ET101	Einfacher Kompressionskältekreislauf	146
ET102	Wärmepumpe	176
ET202	Grundlagen Solarthermie	030
ET202.01	Parabolrinnenkollektor	032
ET203	Parabolrinnenkollektor mit Sonnennachführung	044
ET210	Grundlagen Windkraftanlagen	088
ET220	Energieumwandlung an einer Windkraftanlage	090, 198
ET220.01	Windkraftanlage	092, 199
ET220.10	Bediengerät für Windkraftanlage ET 220.01	092
ET222	Windkraft-Antriebsstrang	096
ET224	Betriebsverhalten von Windkraftanlagen	098
ET250	Messen an Solarmodulen	018
ET250.01	Photovoltaik im Netzbetrieb	020
ET250.02	Photovoltaik im Inselbetrieb	021
ET252	Messen an Solarzellen	022
ET255	Betriebsoptionen modularer Solarstromsysteme	024, 196
ET256	Kühlen mit Solarstrom	048
ET262	Erdwärmesonde mit Heatpipe-Prinzip	148
ET264	Erdwärmennutzung mit Zwei-Brunnensystem	150
ET270	Wellenkraftwerk	072
ET292	Brennstoffzellensystem	170
ET352.01	Solare Wärme zur Kälteerzeugung	050
ET420	Eisspeicher in der Kältetechnik	190, 238
ET428	Energieeffizienz in Kälteanlagen	240
ET513	Einstufiger Kolbenverdichter	182
ET630	Klima-Splitgerät	218
ET794	Gasturbine mit Nutzturbine	172
ET850	Dampferzeuger	158
ET851	Axiale Dampfturbine	160

HL		
HL305	Übungsstand hydraulischer Abgleich	214
HL313	Brauchwassererwärmung mit Flachkollektor	036
HL313.01	Künstliche Lichtquelle	035
HL314	Brauchwassererwärmung mit Vakuumröhrenkollektor	038
HL320.01	Wärmepumpe	178, 224
HL320.02	Konventionelle Heizung	226
HL320.03	Flachkollektor	042, 227
HL320.04	Vakuumröhrenkollektor	043, 228
HL320.05	Zentrales Speichermodul mit Regler	188, 229
HL320.07	Fußbodenheizung/Erdwärmeabsorber	232
HL320.08	Gebälseheizung/Luftwärmeübertrager	233
HL630	Effizienz in der Heizungstechnik	217

HM		
HM143	Instationäre Abflussvorgänge bei Speichern	184
HM150.19	Funktionsprinzip einer Peltonturbine	058
HM150.20	Funktionsprinzip einer Francisturbine	059
HM170	Offener Windkanal	082
HM170.09	Auftriebskörper Tragfläche NACA 0015	084
HM170.22	Druckverteilung an einer Tragfläche NACA 0015	085
HM170.70	Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung	086
HM226	Windkanal zur Visualisierung von Stromlinien	080
HM283	Versuche an einer Kreiselpumpe	216
HM365.31	Pelton- und Francisturbine	066
HM421	Versuchsstand Propellerturbine	064
HM430C	Versuchsstand Francisturbine	068
HM450C	Kenngroßen hydraulischer Strömungsmaschinen	060
HM450.01	Peltonturbine	062
HM450.02	Francisturbine	062
HM450.03	Propellerturbine	063
HM450.04	Kaplanturbine	063

PT		
PT500	System zur Maschinendiagnose, Basiseinheit	102
PT500.11	Zubehörsatz Riss in der Welle	104
PT500.15	Zubehörsatz Schäden an Getrieben	105

RT		
RT396	Pumpen- und Armaturen-Prüfstand	246
RT682	Mehrgrößenregelung im Rührbehälter	244

WL		
WL110	Versorgungseinheit Wärmeübertrager	136
WL110.01	Doppelrohr-Wärmeübertrager	138
WL110.02	Platten-Wärmeübertrager	139
WL110.03	Rohrbündel-Wärmeübertrager	140
WL110.05	Rippenrohr-Wärmeübertrager	141
WL315C	Vergleich von verschiedenen Wärmeübertragern	142
WL376	Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen	208
WL377	Konvektion und Strahlung	034



Kontakt

G.U.N.T. Gerätebau GmbH
Hanskampring 15 -17
22885 Barsbüttel
+49 40 67 08 54 -0
sales@gunt.de
www.gunt.de



Besuchen Sie uns
im Internet unter
www.gunt.de

