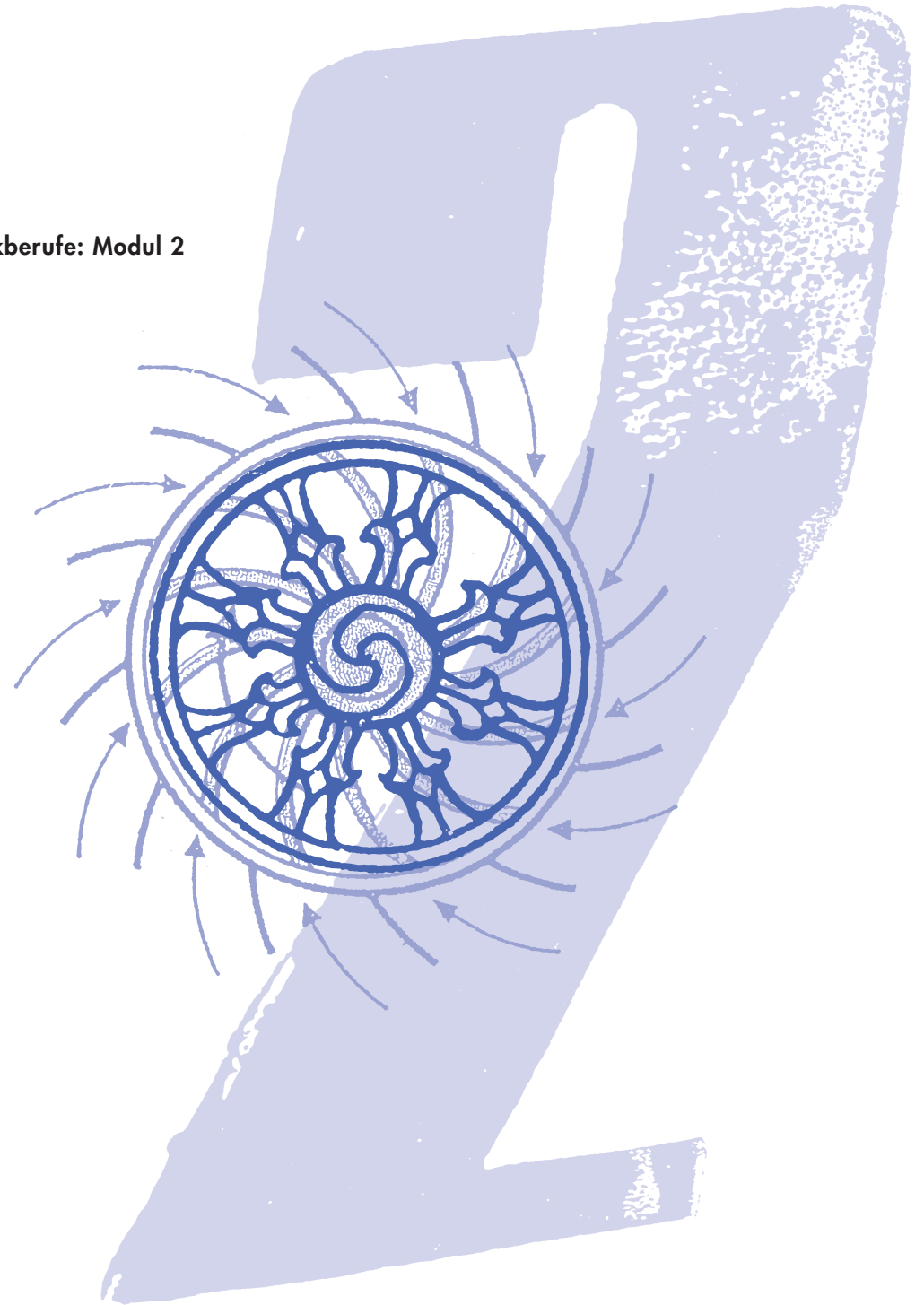


Solartechnik

Energie im Unterricht, Module für Maschinenbau-, Elektro- und Informatikberufe: Modul 2

- 1 Einführung: Worum geht es ?**
- 2 Lernziele**
- 3 Vorschläge für den Unterricht**
- 4 Fachinformation**
 - **Solarkonstante, Einstrahlung**
 - **Passive Sonnenenergienutzung**
 - **Indirekte Sonnenenergienutzung**
 - **Thermische Sonnenkollektoren**
 - **Fotovoltaik**
- 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge**
- 6 Weiterführende Literatur**
- 7 Bild- und Textnachweis**
- 8 Vorlagen**



1 Einführung: Worum geht es ?

Alle Energie kommt von der Sonne

Alle Energie kommt von der Sonne und wird dort durch Verschmelzung von Atomkernen freigesetzt. Wind, Wasserkraft, Wärme – ja sogar Öl, Erdgas und Kohle sind Umwandlungen der Sonnenenergie, welche teils schon vor Jahrmillionen gespeichert wurde. Die Sonne strahlt den gesamten Weltenergiebedarf eines Jahres in etwa einer halben Stunde ein. Heute wird davon nur ein kleiner Teil technisch genutzt.

Erneuerbare Energiequellen

Sonnenenergie

Die Sonne ist die wichtigste erneuerbare Energiequelle. Ihre Strahlungsenergie kann direkt genutzt werden, aber auch indirekt durch die Wärmeenergie der Umgebung.

Direkte Strahlungsnutzung

- Passive Nutzung der Sonnenstrahlung (südwärtsgerichtete Fenster, Wintergarten)
- Niedertemperatur-Kollektorsysteme zur Wassererzeugung und für Heizzwecke
- Fotovoltaikanlagen zur Stromerzeugung
- Solarthermische Kraftwerke (durch Sonnenenergie erzeugter Wasserdampf treibt über eine Dampfturbine einen Generator zur Stromerzeugung an)

Umgebungswärme

- Wärmepumpenanlagen für Heizzwecke und Warmwasser

Wasserkraft

- Wasserkraftwerke zur Stromerzeugung (früher auch für direkte Antriebe)

Wind

- Windenergieanlagen zur Stromerzeugung und für direkte Antriebe

Biomasse

- Biogasanlagen mit Gas aus Landwirtschaft, Kehrrichtdeponien, Kläranlagen usw. zur Wärme- und Stromerzeugung
- Holzfeuerungen zur Wärme- und Stromerzeugung

Erdwärme

Die Energie des heißen Erdinnern wird mittels Tiefenbohrungen z.B. für Heizzwecke nutzbar gemacht. Sie stammt grösstenteils aus natürlichen Kernzerfallsprozessen.

Ebbe und Flut

Aus der wechselnden Stellung von Erde, Mond und Sonne resultieren starke Anziehungskräfte, welche in Gezeitenkraftwerken in elektrische Energie umgewandelt werden.

Wer erstellt Sonnenenergieanlagen?

An der Planung und dem Bau sind die verschiedensten Berufsleute beteiligt. Für das Gelingen einer Anlage ist ein gutes Zusammenspiel zwischen den verschiedenen Berufsgruppen unerlässlich.

Hinweis: Für reine Warmwasseranlagen gibt es heute Kompaktsysteme, welche den Aufwand für Planung und Einbau stark reduzieren.

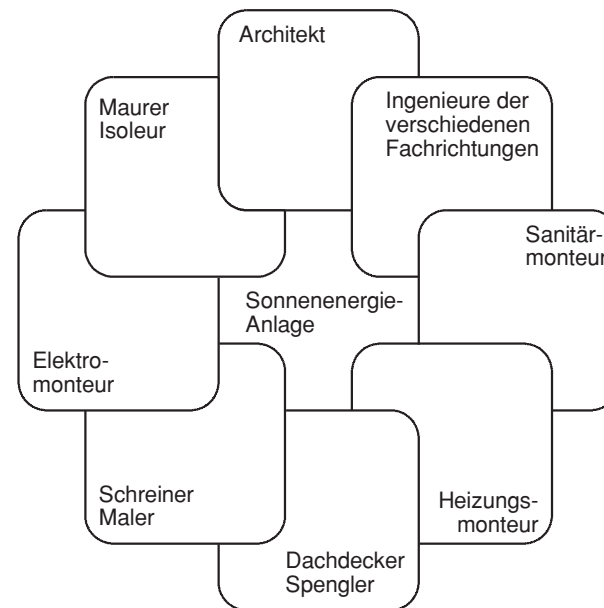


Abb. 1: Beteiligte an Planung und Bau von Sonnenenergieanlagen

2 Lernziele

Die Lernenden ...

- nennen Beispiele von erneuerbaren Energien
- zeigen Beispiele von passiver und aktiver Sonnenenergienutzung auf
- erläutern die Prinzipschemas von thermischen Solaranlagen
- kennen Funktionsprinzipien und Elemente einer Fotovoltaikanlage

Beispiele von Antworten:

Sonnenenergie
Biomasse (Holz)
Wasserkraft
Windenergie
Mit Wärmepumpen nutzbare Umgebungswärme
Erdwärme
Ebbe und Flut

passiv:

südwärts gerichtete Fenster, Wintergärten, transparente Wärmedämmung

aktiv:

Kollektoren, Fotovoltaikanlagen, Wärmepumpen, Biogasanlagen, Wasserkraftwerke, Windkraftwerke, Holzfeuerungen, sonnenbeheizte Dampfturbinen
Die Sonneneinstrahlung ist abhängig von der Ausrichtung der Kollektoren sowie von der Jahres-, bzw. Tageszeit.

Sonnenenergie heizt über Kollektoren Wasser auf, das für Heizzwecke und als Warmwasser eingesetzt wird.

Fotovoltaikmodule wandeln Sonnenenergie in Gleichstrom um. Bei Inselanlagen wird die Energie mittels Laderegler in einer Batterie gepuffert. Bei Netzverbundanlagen wird die Energie mittels Wechselrichter dem Wechselstrom in Spannung, Frequenz und Phasenlage angepasst und anschließend ins Netz eingespeisen.

- sind im Bild über die einschlägigen Installationsvorschriften und Normen

Nur fachkundige Installateure dürfen am elektrischen Teil einer Niederspannungsanlage arbeiten. Für Fotovoltaikanlagen, die mit dem Netz verbunden werden, braucht es eine Installationsbewilligung des Netzbetreibers (Elektrizitätswerk).

Es darf nur geeignetes Installationsmaterial verwendet werden:

- Die Fotovoltaik-Felder sind mit Dioden und Sicherungen voneinander zu trennen.
- Zur Sicherheit gegen Blitz dienen Überspannungsableiter und Erder.
- Dem Sonnenlicht ausgesetzte Kabel müssen UV-resistent sein.

- kennen die Grössenordnungen von Wirkungsgrad und Energieertrag

Fotovoltaik:

1 Wp → 1 kWh/a Ertrag

1 Wp → 0,01 m² Fläche

1 kWp → 10 m² Fläche

Thermisch:

1 m² → 500 kWh/a Ertrag (Kollektoren verglast)

1 m² → 300 kWh/a Ertrag (Kollektoren unverglast)

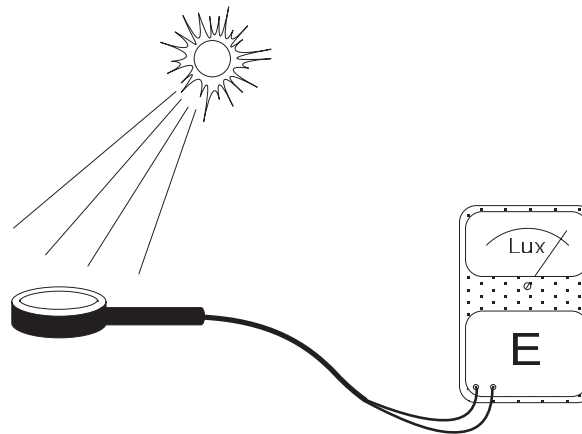
3 Vorschläge für den Unterricht

Video

Als Einstieg eignen sich die folgenden Videos

- Fotovoltaik:
Einführung für Architekten und Bauherren
- Warmwasser:
Solare Wassererwärmung, Heizung und Warmwasser
- Passive Nutzung:
Sonne und Architektur

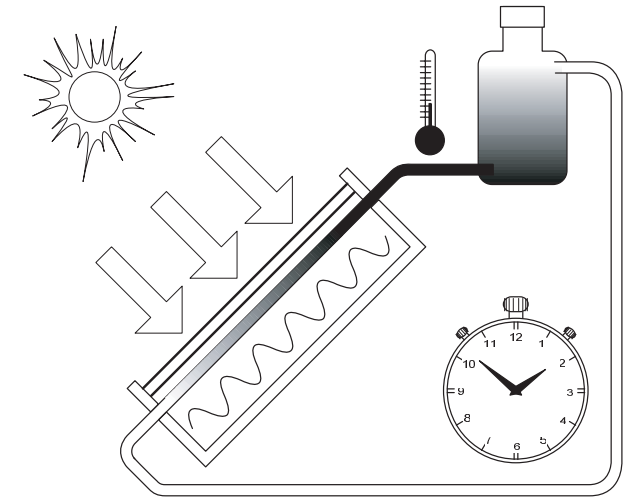
Beleuchtungsstärke



Als Vorbereitung auf das Thema können schon im voraus Lichtmessungen gemacht werden. Die Klasse misst mit einem Luxmeter die Beleuchtungsstärke im Freien. Allenfalls kann auch ein Fotoapparat mit eingebautem Belichtungsmesser verwendet werden.

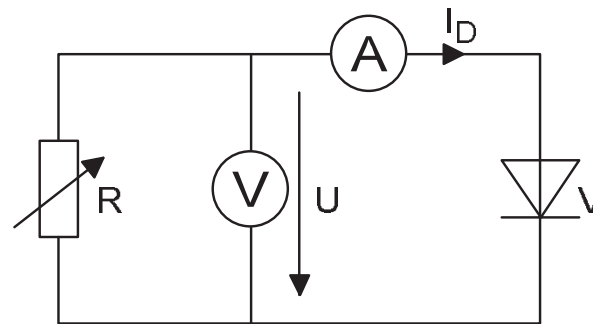
- Zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten
- Bei unterschiedlichem Wetter oder im Schatten
- In verschiedenen Himmelsrichtungen

Die Sonne erwärmt Wasser



Ein Wasserkollektor (z.B. der Metallarbeiterschule Winterthur) und ein Behälter werden mittels Schläuchen zu einem Kreislauf verbunden. Wird das Reservoir oberhalb des Kollektors befestigt, zirkuliert das Wasser durch Schwerkraft und erwärmt den Behälter. Mittels Messung der Kollektor- und der Behältertemperatur kann die Wirkung der Anlage gezeigt werden. Allenfalls lässt sich auch der Energieertrag pro Kollektorfläche berechnen.

Sonnenzellen wandeln Licht in elektrische Energie um



Ein Fotovoltaikmodul wird mit Sonnenlicht oder mit einem Halogenscheinwerfer angestrahlt. Mit Hilfe eines veränderlichen Widerstandes lässt sich die U-I-Charakteristik aufzeichnen. Allenfalls kann auch die Leistung bei unterschiedlicher Belastung berechnet werden. Hieraus lässt sich der optimale Arbeitspunkt bestimmen (Maximum Power Point).

Projekt Sonnenenergieanlage

Die Schüler sollen zu verschiedenen Warenhäusern und Händlern von Solarartikeln (Do it yourself, Baumarkt und Solarartikelvertreiber) gehen und sich fiktiv die Komponenten für eine Sonnenenergieanlage zusammenstellen.

- Inselanlage mit Solarmodulen, Akku, Ladegleichrichter, Beleuchtung
- Netzverbundanlage mit Solarmodulen und Wechselrichter
- Anlage zur solaren Wassererwärmung mit Sonnenkollektoren, Schläuchen, Pumpen und Wasserbehälter.

Hierbei sollen sie Fragen nach der Leistung, der benötigten Fläche und den Kosten beantworten. Als Zusatzfrage sind die Energiekosten abzuschätzen. Den Schülern können auch entsprechende Prospekte abgegeben werden. Daraus werden die benötigten Teile für die Solaranlage zusammengestellt. Die Schüler erhalten den Auftrag, ihr EW anzufragen, wie die Rücklieferung von Solarstrom geregelt ist. Hierbei sollen Fragen zur Messung, zur Vergütung und über die spezifischen Vorschriften gestellt werden.

4 Fachinformation

4.1 Solarkonstante, Einstrahlung

Die auf die Erdatmosphäre auftreffende Sonnenstrahlung besitzt eine Intensität von 1367 Watt pro Quadratmeter; sie wird als **Solarkonstante** bezeichnet. Davon treffen auf der Erdoberfläche bei schönem Wetter, im Schweizer Mittelland, etwa 1000 Watt pro Quadratmeter auf. Im Hochgebirge hingegen können, dank zusätzlicher Reflexionsstrahlung durch Schnee und Wolken, Spitzenwerte bis 1500 W/m² auftreten. Die auf die Erdoberfläche auftreffende Sonnenstrahlung bezeichnet man als Globalstrahlung. Diese setzt sich aus der Direktstrahlung und der Diffusstrahlung zusammen.

Wettereinfluss

Klarer blauer Himmel:	1000 W/m ²
Sonne bricht durch:	600 W/m ²
Sonne als weisse Scheibe erkennbar:	300 W/m ²
Trüber Wintertag:	100 W/m ²

Die mittlere jährliche Strahlungsenergie beträgt in der Schweiz etwa 1100 kWh/m².

Die Sonne strahlt etwa 200-mal soviel Energie in die Schweiz ab wie für den Gesamtverbrauch dieses Landes benötigt wird (250 Mrd. kWh pro Jahr). Die auf die horizontale Erdoberfläche treffende Globalstrahlung unterliegt infolge der Erdrotation täglichen Schwankungen. Infolge der Neigung der Äquatorebene um 23,5° gegenüber der Ebene der Erdbahn ergeben sich ausserdem jahreszeitliche Schwankungen.

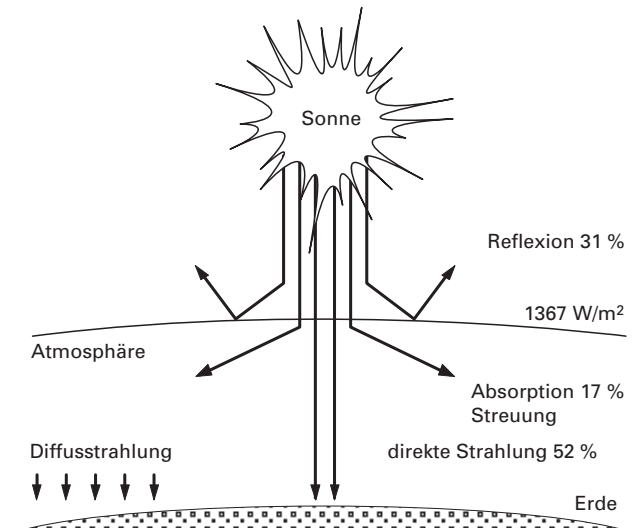


Abb. 2: Aufteilung der Sonnenstrahlung

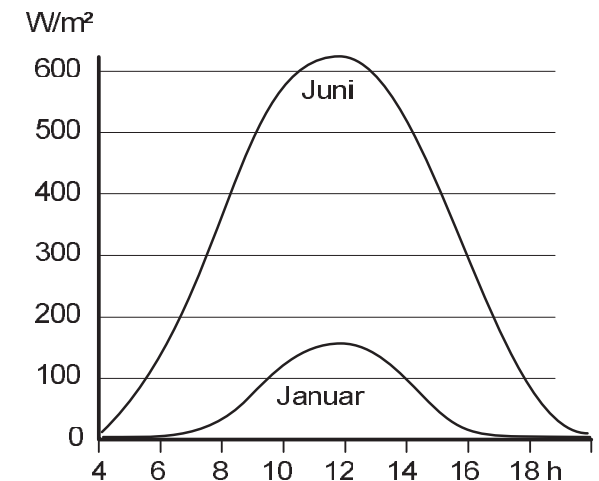


Abb. 3: Tageszyklus der mittleren Globalstrahlung in Zürich

Diese beiden Schwankungen wären an sich mathematisch berechenbar. Sie werden jedoch durch wetterbedingte Variationen der Einstrahlung überlagert. Solche Variationen lassen sich nur statistisch, durch umfangreiche Messreihen für möglichst viele Orte, erfassen. (P. Valko: Solardaten für die Schweiz, Schweizer Baudokumentation, 4249 Blauen)



Abb. 4: Durchschnittliche, jährliche globale Einstrahlung auf eine horizontale Fläche in der Schweiz

Ein Teil der Sonnenstrahlung geht in der Atmosphäre durch Reflexion, Absorption und Streuung verloren.

Die Durchlässigkeit der Atmosphäre (englisch Air Mass, AM) ist von deren Zusammensetzung und Dicke abhängig. AM1 bedeutet, dass das Sonnenlicht senkrecht durch die Atmosphäre tritt.

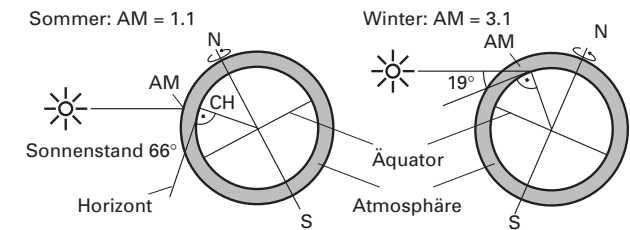


Abb. 5: Weg, den das Sonnenlicht für die Schweiz im Sommer (21. Juni) oder im Winter (21. Dezember) durch die Atmosphäre zurücklegt

4.2 Passive Sonnenenergienutzung

Bei der passiven Sonnenenergienutzung wird mit baulichen Massnahmen möglichst viel konventionelle Energie durch Sonnenenergie ersetzt. Dies geschieht in erster Linie mit nach Süden gerichteten, grossen, lichtdurchlässigen Flächen und im Innern des Gebäudes angebrachte Speichermassen (Wände, Böden).

1. Fenster

Die Sonne oder diffuse Strahlung erwärmen in der kälteren Jahreszeit durch die Fenster den Raum. Speziell dicke Böden und Wände wirken als Speichermasse. Auf diese Art können Wärmeverluste von 1 bis 2 Tagen ausgeglichen werden.

Im Sommer wirkt das Vordach als unerlässlicher Schattenspender. Nachts und bei schlechtem Wetter ist, ohne Vorkehrungen der Bewohner, mit Wärmeverlusten durch die Fenster zu rechnen, da diese, auch bei Wärmeverglasung, immer noch 3 bis 5 mal höhere U-Werte aufweisen als die Wände.

2. Wintergarten

Ein vorgelagerter Wintergarten wirkt als Wärmepuffer und nutzt auch die diffuse Strahlung. Die Wärmegewinne sind stark vom Benützerverhalten abhängig (Bedienung der Sonnenschutzelemente und Luftklappen).

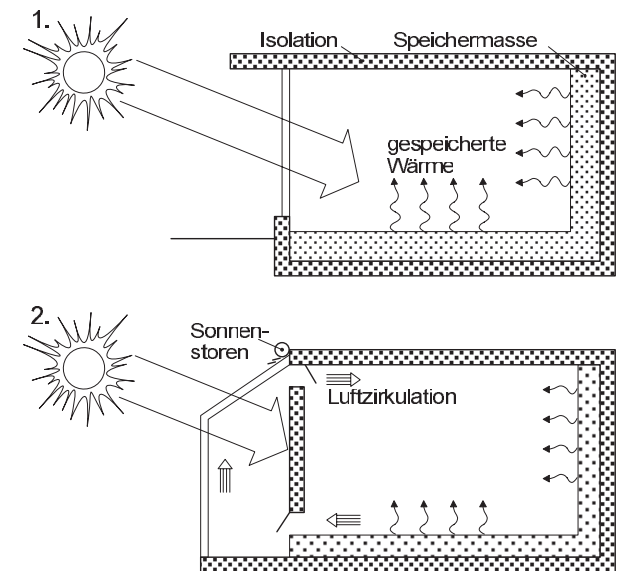


Abb. 6a: 1. und 2. Möglichkeit der passiven Sonnenenergienutzung.

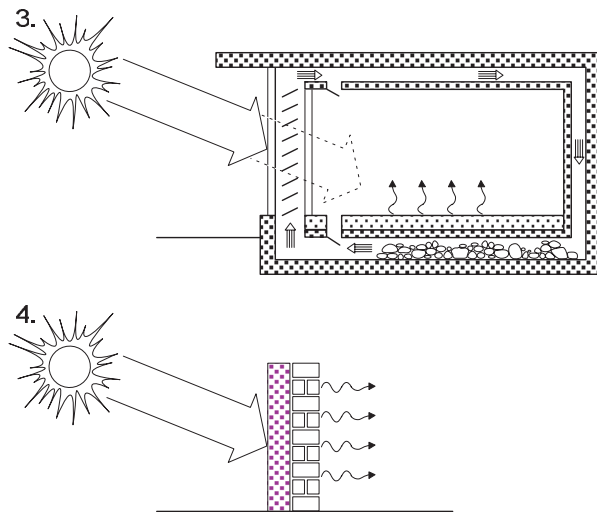


Abb. 6b: 3. und 4. Möglichkeit der passiven Sonnenenergienutzung.

3. Fensterkollektor

Der Fensterkollektor lässt direkte oder speicherbare Wärmegewinne im jeweils gewünschten Verhältnis zu. Wegen der Ventilatoren, der Regelung und des separaten Wärmespeichers (z.B. Kies) ist dieses System sehr aufwändig. Schlechtwetterperioden können während ca. 4 Tagen überbrückt werden.

4. Transparente Wärmedämmung

Die Transparente Wärmedämmung (TWD) eignet sich für alle nach Süden gerichteten Wände. Das transparente Isoliermaterial lässt am Tage die Sonnenstrahlen auf den Wärmespeicher (Mauer) scheinen. In der Nacht oder bei schlechtem Wetter verhindert die Wärmedämmung eine Abstrahlung der infraroten Strahlung nach aussen. Das Prinzip der TWD eignet sich auch für Fenster und Sonnenkollektoren. Zur Vermeidung von Überhitzung müssen im Hochsommer Wände mit TWD von aussen abgedeckt werden (Sonnenstoren).

Wärmedämmung

Die Ausbeute der passiven Sonnenenergie ist an die Wärmedämmung der Gebäudehülle gekoppelt. Eine der wichtigsten Energiesparmassnahmen ist daher die gute Wärmedämmung von Wänden, Decken und Fenstern. Es ist ausserdem sorgfältig darauf zu achten, dass keine Wärmebrücken gebildet werden.

Eine gut isolierte Aussenhaut ist somit unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche passive Sonnen-

energienutzung. Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) gibt über die Güte einer Wärmedämmung Auskunft.

Minergiehäuser mit guter Wärmedämmung brauchen für Raumwärme und Warmwasser max. 45 kWh/m² (der zugeführte Strom wird doppelt gewichtet).

U-Werte für	frühere Bauweise	geltende Vorschriften	Minergiehaus
Aussenwände	1,2	0,3	z.B. 0,20
Fenster	3,0	2,0	z.B. 1,10
Dach	0,8	0,3	z.B. 0,15
Kellerdecke	1,4	0,4	z.B. 0,20
Mittlerer U-Wert	1,2	0,4	z.B. 0,25

Abb. 7: Die Tabelle zeigt die Entwicklung der Anforderungen an den baulichen, energiesparenden Wärmeschutz (U-Werte in W/m²K).

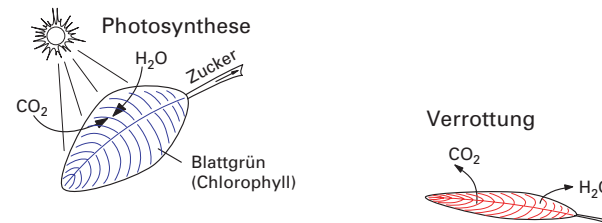
4.3 Indirekte Sonnenenergienutzung

Die eingestrahlte Sonnenenergie kann auf verschiedenste Weise genutzt werden:

Erscheinungsformen

CO₂-Kreislauf

Grüne Pflanzen sind in der Lage, mit Hilfe der Photosynthese, aus Sonnenlicht, H₂O und CO₂ biologische Substanz (Zucker) aufzubauen. Pflanzen haben somit die Möglichkeit, Sonnenenergie in Form von Materie zu speichern. Bei der Verrottung zerlegen Bakterien die organische Substanz wiederum vor allem in CO₂ und Wasser. Somit ist der Kreislauf geschlossen.



Wasserkreislauf

Durch die Sonneneinstrahlung verdunstet Wasser aus dem Boden, den Gewässern und Pflanzen. Der Wasserdampf in der Atmosphäre fällt später als Niederschlag auf die Erde, versickert teilweise im Boden oder fließt zum Meer zurück.

Nutzungssysteme

Biomasse

Biomasse kann in verschiedenen Formen genutzt werden: Holz, Dung, pflanzliche und tierische Abfälle, Klärgas, Biogas, Torf.

Auch fossile Brennstoffe (Öl, Gas, Kohle) sind im erweiterten Sinn zur Biomasse zu zählen.

Biomasse ist einfach und gefahrlos zu transportieren und zu lagern. Sie wird als Brennstoff oder Treibstoff genutzt.

Wasserkraftwerke

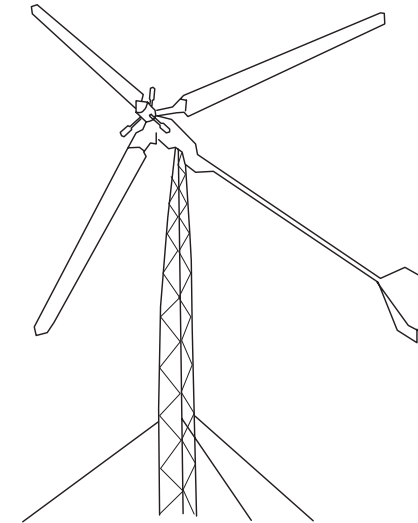
Speicherkraftwerke oder Flusskraftwerke. Das Wasser treibt die Turbinen-Generator-Gruppe für die Stromerzeugung an.

Winde

Die Strahlung der Sonne erwärmt die Erdoberfläche und die Atmosphäre. Daraus resultieren Temperatur- und davon abhängig Druckunterschiede. Dadurch entstehen die meteorologischen Geschehnisse in der Atmosphäre und insbesondere der Wind sowie die Wellenbewegung in den Gewässern.

Windkraftwerke

Segelschiffe, Windräder und Windmühlen. Bei Wellenkraftwerken treibt die Bewegungsenergie einen Mechanismus an, der mit einem Generator verbunden ist.



Gezeiten

Durch die Wirkung der Massenanziehungskräfte von Mond und Sonne auf die Erde werden rhythmische Schwankungen des Meeresspiegels verursacht. Die Gezeitenhöhen betragen auf offenem Meer etwa einen Meter; die Topographie der Küste kann aber Schwankungen von über 20 m bewirken.

Gezeitenkraftwerke

Die Höhendifferenz des Meeresspiegels zwischen Ebbe und Flut kann mit einem Staudamm und Wasserturbinen zur Stromproduktion genutzt werden.

4.4 Thermische Sonnenkollektoren

Sonnenkollektor

Die direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in Nutzenergie geschieht in erster Linie durch die Erwärmung von Wasser mittels Sonnenkollektoren. Der Sonnenkollektor ist eine Anlage, mit der Sonnenenergie absorbiert und die entwickelte Wärme mit einem relativ günstigen Wirkungsgrad (30 bis 50%) zur Wassererwärmung sowie zur Unterstützung der Heizung genutzt wird.

Mit solchen kombinierten Anlagen lassen sich im Schweizer Mittelland ca. 15 bis 25% des Wärmebedarfs eines Gebäudes decken.

Sonnenkollektoren werden in der Schweiz von Vorteil mit einer Neigung zwischen 30 bis 60° und einer Orientierung zwischen Südost bis Südwest installiert.

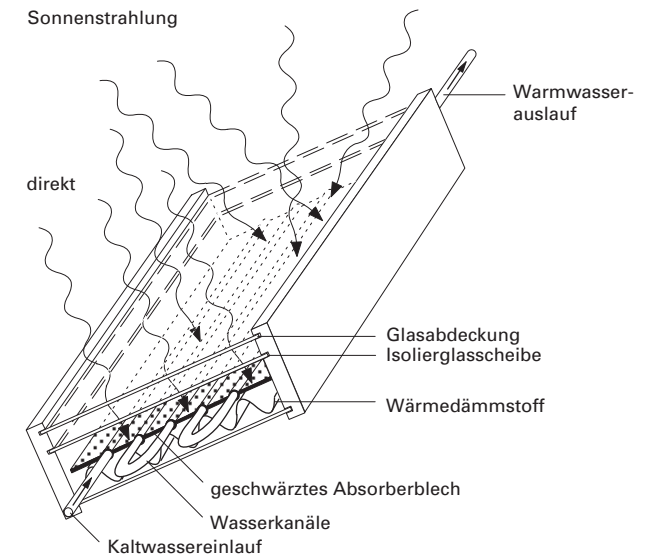


Abb. 8: Schnittdarstellung eines Sonnenkollektors für Wassererwärmung

Sonnenkollektoranlagen

Anlage für Warmwasser

Die in den Leitungen fließende Wärmeträgerflüssigkeit nimmt im Sonnenkollektor Wärme auf. Wenn die Temperatur im Kollektor höher ist als jene im Speicher, laufen die Pumpen an. Der Wärmeaustauscher gibt die Sonnenenergie an das Wasser ab. Die Pumpe schaltet aus, wenn die Temperatur im Kollektor tiefer ist als jene im Speicher auf der Höhe des Wärmeaustauschers. Reicht die Sonnenenergie nicht aus, erwärmt eine Zusatzheizung (Holz, Öl oder Elektroheizeinsatz) den oberen Teil des Wasserspeichers.

Anstelle der verglasten Sonnenkollektoren werden auch Kunststoffabsorbermatten für das direkte Aufheizen von Schwimmbädern verlegt. Da das Schwimmbeckenwasser in etwa die gleiche Temperatur hat wie die Aussenluft, entfällt die aufwändige Isolation der Verrohrung und der Kollektoren.

Kostenbeispiel :

Für einen Vier-Personen-Haushalt benötigt man einen 300 bis 400 l Warmwasserspeicher mit Zusatzheizung für die kalte Jahreszeit.

Kollektorfläche: 3 bis 4 m²

Kosten: etwa Fr. 12'000.–

Mit der Sonnenenergie kann man auf diese Weise etwa 50% des Warmwasserbedarfs abdecken (in Höhenlagen und auf der Alpensüdseite, mit Sonne auch im Winter, ist der solare Anteil grösser).

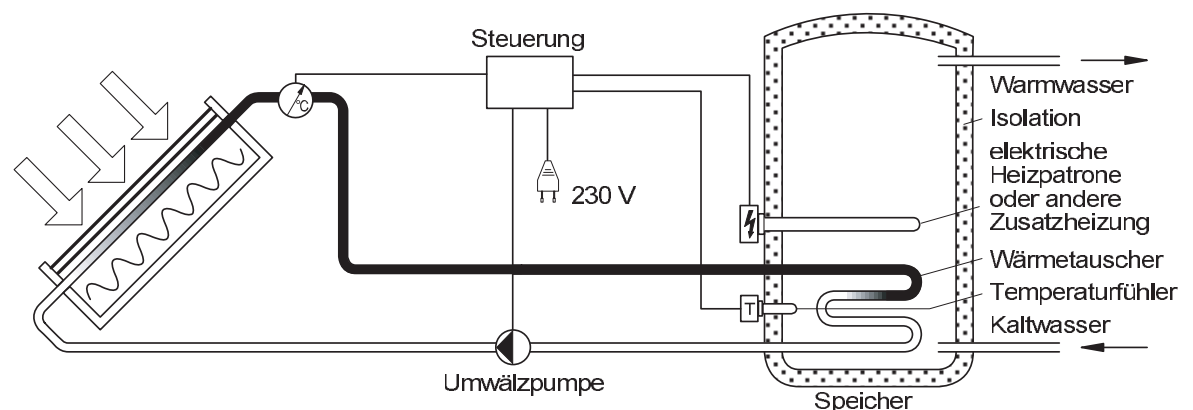


Abb. 9: Anlage für Warmwasser

Anlage für Warmwasser und Heizungsunterstützung

Soll eine Anlage zusätzlich das Heizungssystem unterstützen, braucht es eine 2 bis 3 mal grössere Kollektorfläche sowie einen 3 bis 4 mal grösseren Speicher mit eingebautem Warmwasser-Reservoir (sogenannter Kombispeicher). Im Mehrfamilienhaus beschränkt man sich aus Wirtschaftlichkeitsgründen meist auf die Vorwärmung.

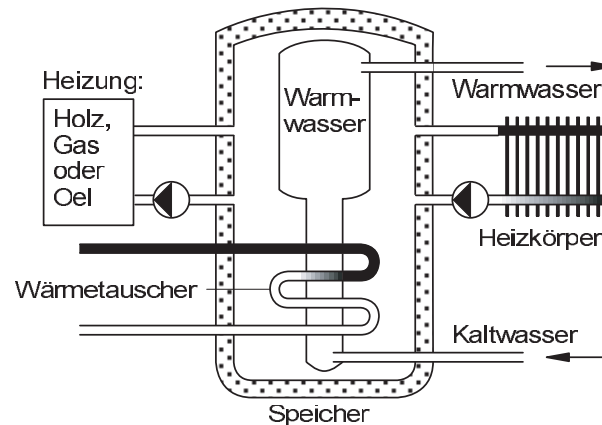


Abb. 10: Anlage für Warmwasser und Heizungsunterstützung

Kostenbeispiel

15 m² Kollektorfläche,
2000 l Kombispeicher, Pumpen und Steuerung.
Kosten etwa Fr. 20'000.-

Kompaktanlagen

Für reine Warmwasseranlagen gibt es heute Kompakt-Solaranlagen, welche den Aufwand für Planung und Einbau stark reduzieren. Kompaktanlagen ersetzen den konventionellen Boiler. Sie sind hocheffizient und ihre Lebensdauer und Betriebssicherheit entsprechen denjenigen konventioneller Warmwassererwärmer. Eine Kompaktanlage besteht aus einem ca. 3 bis 5 m² grossen Kollektorfeld, einem 300 bis 500 Liter grossen Speicher mit Nachheizung sowie Verrohrung, Ventilen, Umwälzpumpe und Steuerung.

Kostenbeispiel

Kompaktanlage, inklusive allen Zusatzleistungen (Montage etc.).

Kosten unter Fr. 12'000.-

4.5 Fotovoltaik

Für die Erzeugung von hochwertiger, elektrischer Energie werden Fotovoltaikzellen verwendet. Deren Wirkungsgrad ist jedoch wesentlich kleiner als bei thermischen Sonnenkollektoren.

Die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität mit Solarzellen (Fotovoltaik) ist eine der aussichtsreichsten Optionen, um langfristig von umweltbelastenden Energieträgern wegzukommen. Solarzellenanlagen sind einfach aufgebaut, ohne bewegliche Teile, praktisch wartungsfrei und damit äusserst langlebig.

Im Vergleich zu anderen Energiegewinnungsanlagen sind Solarzellenanlagen immer gut sichtbar: Weil die Sonnenstrahlung eine kleine Energiedichte aufweist, benötigen sie relativ grosse, der Sonne ausgesetzte Flächen. Deshalb spielen Aspekte der Ästhetik und der Eingliederung in bauliche Strukturen bei Fotovoltaikanlagen eine wichtige Rolle. Zur Zeit sind diese Anlagen bezüglich Wirtschaftlichkeit (noch) nicht konkurrenzfähig gegenüber anderen Stromerzeugern; wegen der wünschbaren Weiterentwicklung werden sie aber in vielen Fällen gefördert.

Die Solarzelle

Silizium-Solarzellen bestehen aus zwei elektrisch entgegengesetzt «dotierten» Schichten. An ihrer Grenzzone (n-p-Übergang) werden die durch Bestrahlung «ausgelösten» Elektronen und «Löcher» auseinandergetrieben, wodurch eine elektrische Spannung von etwa 0,6 V entsteht. Leitende Schicht-

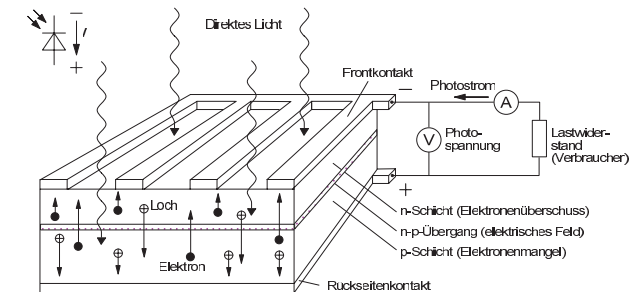


Abb. 11: Solarzelle mit Sperrschicht und Fotostrom

ten bzw. Kontaktstreifen an Rück- und Frontseite der Zelle erlauben, den Strom abzunehmen und zu nutzen. Solarzellen liefern eine Gleichspannung.

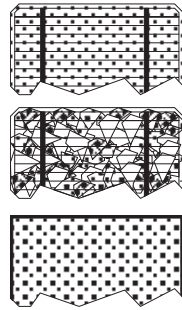
Es gelten folgende Eigenschaften:

- Die Spannung ist praktisch konstant und damit fast unabhängig von der Bestrahlungsstärke.
- Die elektrische Leistung nimmt proportional mit der Strahlungsleistung zu.

Arten von Solarzellen

Die Leistung von Solarzellen gibt man als Spitzenleistung in W_p (p =peak) an. Dieser Wert gibt an, welche Leistung das Solarzellenfeld maximal abgibt, wenn die Einstrahlung 1000 W/m^2 bei 25 °C Zelltemperatur beträgt.

Aufgrund theoretischer Überlegungen sollten im Labor Zellenwirkungsgrade von knapp 40% möglich sein. Die Praxis sieht noch anders aus.



Man unterscheidet:

- **Monokristalline Zellen**, mit gleichmässig blau-schwarzer Oberfläche, Wirkungsgrad 14 bis 18%. Sie werden durch Zersägen eines gezogenen Silizium-Kristalls hergestellt. Die Produktionsenergie (graue Energie) beträgt etwa 8 kWh/Wp.
- **Polykristalline Zellen**, schimmern perlmutterartig blau-grau, Wirkungsgrad 10 bis 14%. Die Herstellung erfolgt durch Zersägen eines gegossenen Kristalls.
- **Amorphe Zellen**, gleichmässig dunkle Oberfläche, für Stromversorgung von Kleingeräten wie Taschenrechner etc. Der Wirkungsgrad beträgt etwa 6 bis 10%. Die Herstellung erfolgt durch Auftragen dünner Schichten auf ein Trägermaterial. Die Produktionsenergie beträgt etwa 3 kWh/Wp.

Solargeneratoren

Solargeneratoren, aus mehreren Solarmodulen oder Panels zusammengestellt, sind betriebsbereite Einheiten. Ein Solarmodul besteht aus mehreren, elektrisch verbundenen Solarzellen. Durch Serie- oder Parallelschaltung von einzelnen Solarzellen lässt sich die gewünschte Betriebsspannung oder Stromstärke der Module erreichen. Die einzelnen Panels werden wiederum zu grösseren Einheiten, den Solarzellenfeldern, zusammengefasst und gemäss gewünschter Betriebsspannung und Leistung untereinander verdrahtet.

Eine Fotovoltaikanlage von 1 m² (Panelfläche) erzeugt eine Spitzenleistung von etwa 100 Wp und erbringt jährlich einen Energieertrag von etwa 60 bis 140 kWh. Der tiefe Wert gilt für Anlagen im Mittelland, bei nicht optimaler Orientierung, der hohe für optimal platzierte Anlagen in der Südschweiz oder den Alpen.

Inselanlagen

Inselanlagen, auch autonome Anlagen genannt, werden typischerweise dort gebaut, wo kein öffentlicher Stromanschluss besteht. Die Energie muss meist in Batterien gespeichert werden. Zur Zeit werden hauptsächlich Kleinanlagen angeboten für Gartenlampen, Strassenlampen oder auch Überwachungsaufgaben etc..

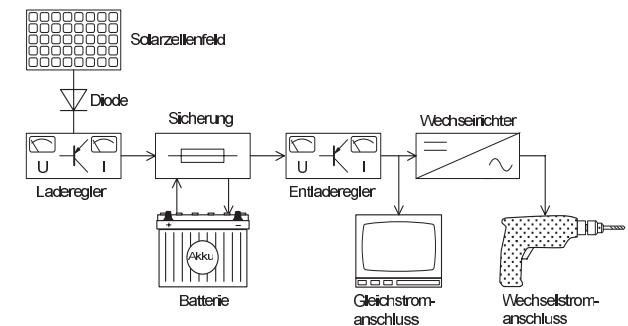


Abb. 12: Die wichtigsten Komponenten einer Fotovoltaik-Inselanlage

Ein dem Solarzellenfeld nachgeschalteter Laderegler verhindert das Überladen der Batterie. Die Batterie speichert die Energie für sonnenlose Stunden. Sie ist mit einer Sicherung vor Kurzschlüssen geschützt. Die normalerweise verwendeten Bleiakkumulatoren haben einen Energiewirkungsgrad von ca. 75%. Der Entladeregler verhindert ein übermässiges Entladen der Batterie durch die angeschlossenen Verbraucher. Solarzellen erzeugen Gleichstrom, deshalb verwendet man soweit als möglich Gleichstromgeräte.

Viele solcher Geräte sind im Handel erhältlich: Leuchten, Kühlschränke, Kühltruhen, TV- und Radioapparate, Pumpen, Bohrmaschinen etc..

Sind Wechselstromverbraucher vorgesehen, ist ein Wechselrichter notwendig.

Die Auslegung einer Anlage richtet sich nach den angeschlossenen Verbrauchern.

Folgende grundsätzliche Punkte sind sinnvollerweise zu Beginn der Planung abzuklären:

- Anzahl und Art der Verbraucher
- Dauer des Einsatzes der Verbraucher
- Systemautonomie: Dauer, während der die Verbraucher ohne Einstrahlung ab Batterie (Akku) betrieben werden können
- Standort der Anlage (zur Bestimmung der lokalen Strahlungswerte und Beschattungsverhältnisse)
- Wartungsintervalle des Bleiakkumulators.

Abgelegene Gebäude wie z.B. Alphütten oder Feriehäuser sind oft nicht ans öffentliche Netz angeschlossen. Den Kosten einer Fotovoltaikanlage stehen in diesen Fällen die meist viel höheren Kosten für den Anschluss ans Netz gegenüber.

Kostenbeispiel Bausatz

- Solargenerator $P = 53 \text{ W}$
Panelfläche = 0.4 m^2
- Lade-/Entladeregler 8 A
- Batterie $12 \text{ V}/110 \text{ Ah}$ mit Sicherung
- Zubehör mit Kabel und Befestigungsmaterial
- Verbraucher: Stromsparleuchten 5 W , $3 \times 11 \text{ W}$ und Leselampe Halogen 20 W

Preis etwa Fr. 1800.–

Netzverbundanlagen

Netzverbundanlagen sind mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt. Dieser Anlagentyp besitzt daher keine Batterie. Bei Solaranlagen über 1 kWp kann man Kosten sparen, indem man den Solargenerator über geeignete Wechselrichter direkt mit dem Netz koppelt. Die nicht im Haus gebrauchte Energie wird ins Netz eingespeist, von anderen Verbrauchern aufgenommen und entlastet daher die öffentliche Stromversorgung.

Das Solarzellenfeld ist mit einem Synchron-Wechselrichter gekoppelt, welcher den Gleichstrom in einen Wechselstrom von 230 Volt Spannung umrichtet. Die Einspeisung ins öffentliche Verbundnetz wird mit einem Zähler gemessen.

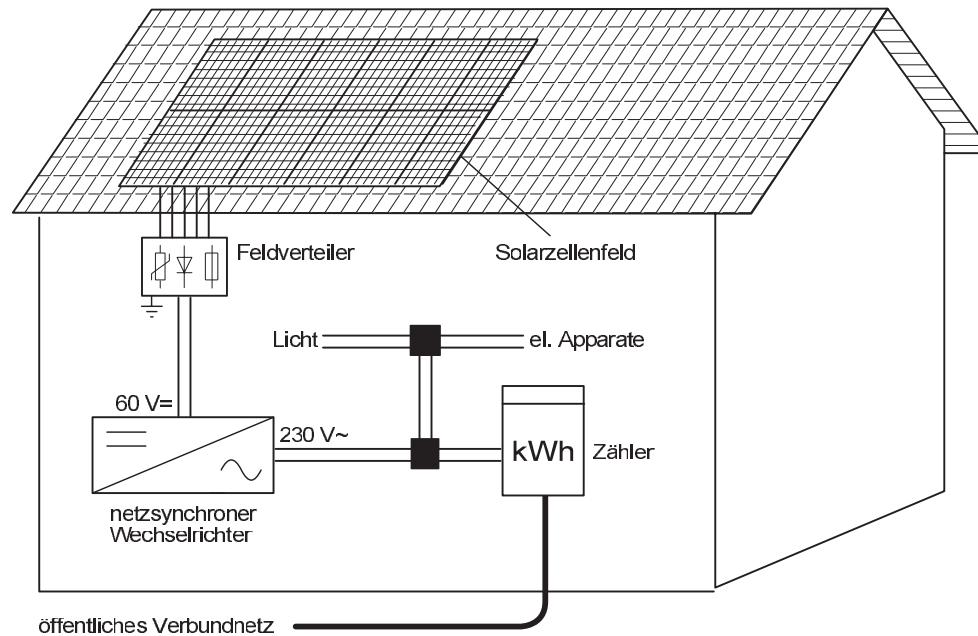


Abb. 13: Die wichtigsten Komponenten einer Fotovoltaik-Netzverbundanlage.

Kostenbeispiel Netzverbundanlage

Der durchschnittliche Stromverbrauch einer vierköpfigen Familie liegt bei jährlich ca. 4000 kWh. Mit einer Fotovoltaik-Anlage von 3 kW Nennleistung kann man in dieser Zeitspanne etwa 3000 kWh abdecken.

Paneelfläche: 24 m²

Preis: etwa Fr. 40'000.–

Produktionskosten für Netzverbundanlagen

0,8 bis 2 Fr./kWh

Für die weitere Verbreitung von Fotovoltaikanlagen ist der von den Elektrizitätswerken bezahlte Preis für eingespeisten Strom von grosser Bedeutung. Die Wahl der Grösse einer Anlage richtet sich meist nach den vertretbaren Gesamtkosten. Der Planungsaufwand ist wegen des modularen Aufbaus heute relativ gering. Wichtig ist eine genaue Leistungsabstimmung von Solarzellenfeld und Wechselrichter. Beim Anlagenbau ist die fachgerechte Montage insbesondere auf Dächern und bei den Elektroinstallationen zu gewährleisten.

Da sich auch grössere Anlagen problemlos in einzelne Felder aufgliedern lassen, sind verschiedenste Montageorte denkbar:

- Schrägdächer
- Flachdächer (auf Ständern)
- Fassaden (integriert, auch streifenweise, bzw. auf Sonnenblenden usw.)
- Infrastrukturanlagen, z.B. auf Schallschutzwänden an Verkehrswegen
- im Gelände (auf hohen Ständern zum Schutz vor Beschädigung...)

Netzgeführte Wechselrichter

Die Qualitätsanforderungen an diese Wechselrichter sind bedeutend grösser als bei Inselanlagen. Sie haben sicherzustellen:

- Synchronlauf mit dem Netz
- gleiche Spannung wie Netzspannung
- automatisches Abschalten bei Netzausfall
- selbständiges Ein- und Ausschalten der Solaranlage.

Beim Wechselrichter werden steuerbare Halbleiter verwendet, die mehrmals pro Sekunde den Gleichstrom vom Solarfeld ein- und ausschalten. Die zu erzeugende Sinuswelle wird durch verschieden breite Pulse gebildet (Pulsweitenmodulation). Durch die Verwendung einer hohen Schaltfrequenz von ca. 20 kHz kann die Sinuswelle recht genau nachgebildet werden. Für die positive Sinushalbwellen werden die Thyristoren V1 und V4 über die entsprechenden Gateeingänge G1 und G4 gezündet. Für die negative Halbwellen die Thyristoren V2 und V3, usw. Die

50 Hz Wechselspannung wird anschliessend mit dem Transformator T1 der Netzspannung angepasst und mit C2 zur Verminderung der Oberwellen geglättet.

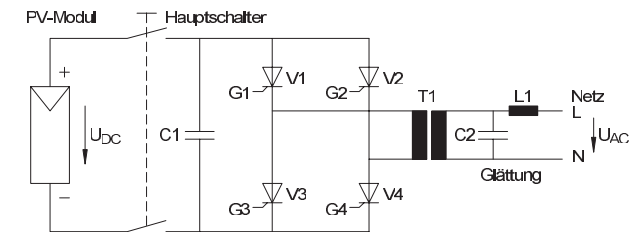


Abb. 14: Das Schema zeigt vereinfacht, wie ein FV-Modul über einen Wechselrichter mit dem Netz verbunden wird.

Aufgaben des Wechselrichters:

Amplitudenabgleich



Frequenzabgleich



Phasenlage anpassen



Oberwellenglättung

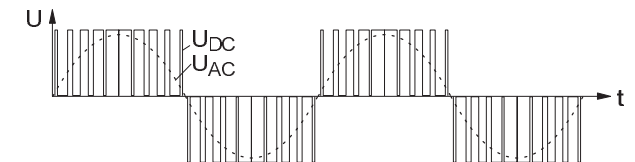
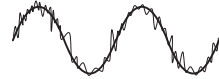
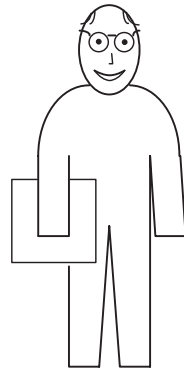


Abb. 15: Die Darstellung zeigt, wie eine sinusförmige Wechselspannung aus einzelnen Spannungspulsen zusammengesetzt wird.

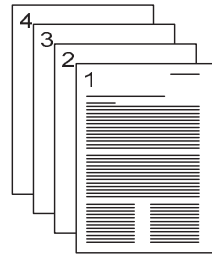


Installationsvorschriften

Der Ablauf des Bewilligungsverfahrens von Fotovoltaik-Anlagen wird bei den Elektrizitätswerken den Verfahren anderer Energieerzeugungsanlagen (EEA) gleichgestellt.

Gemäss NIV Art. 2 dürfen elektrische Installationen von Fotovoltaik-Anlagen nur von Personen und Unternehmen erstellt werden, die eine Installationsbewilligung der kontrollpflichtigen Unternehmung oder eine Anschlussbewilligung des eidgenössischen Starkstrominspektorats (ESTI) besitzen.

Ablauf



1. Vom Betreiber ist beim zuständigen Elektrizitätswerk ein Anschlussgesuch einzureichen.
2. Der künftige Anlagenbesitzer beauftragt einen Installateur mit der Ausführung, welcher vor Baubeginn dem energieliefernden Werk die nötige Installationsanzeige einreicht.
3. Das Elektrizitätswerk überprüft die eingereichte Installationsanzeige und gibt dem Installateur unter Umständen nähere Bestimmungen bekannt.
4. Nach der Fertigstellung ist die Anlage kontrollieren zu lassen.

Schutzeinrichtungen

Bei Netzausfall, Spannungsschwankungen (>10 %), Frequenzstörungen (>1 %) oder bei Störungen in der Steuerung muss die Fotovoltaik-Anlage automatisch vom Netz getrennt werden.

Der Wechselrichter darf das Rundsteuersignal des Elektrizitätswerks nicht beeinflussen.

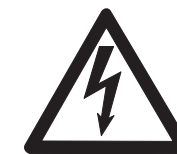
Der Kuppelschalter (z.B. Leitungsschutzschalter) muss eine thermische Auslösung als Überlastschutz und eine magnetische Auslösung als Kurzschlusschutz aufweisen. Er muss zudem in der Lage sein, netzseitig gespiesene Kurzschlussströme sicher abzuschalten.

Eine sichtbare Trennstelle muss abschliessbar sein. Bei Gefahr muss das Werkpersonal oder die Feuerwehr jederzeit Zugang haben.

Bei der Trennstelle der Fotovoltaik-Anlage zum Netz und beim Anschlussüberstrom-Unterbrecher ist mit Tafeln «Vorsicht Rücklieferungsanlage» zu warnen.

Vorsicht
Rücklieferungsanlage!

Sicherheitsmassnahmen



Bei Gleichstrominstallation ist erhöhte Vorsicht geboten: Die Paneele sind bei Licht unter Spannung. Die einzelnen Felder müssen durch Sicherungen und Dioden voneinander getrennt werden.

Die Paneel-Rahmen müssen mit der Blitzschutzanlage oder direkt mit einem Erder verbunden werden.

5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

Lernauftrag 1

Wieviel Prozent der Jahressumme (ungefähr) beträgt der Anteil Globalstrahlung im Winter?

Lösung 1

Aus der Zeichnung gemessen: **ca. 25 %**

Lernauftrag 2

Welche Fläche müsste für eine Fotovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 3 kWp aufgewendet werden? Welcher Anteil des jährlichen durchschnittlichen Stromverbrauchs eines Einfamilienhauses kann damit gedeckt werden?

Lösung 2

Eine handelsübliche Fotovoltaikanlage mit einer Solarzellenfläche von 25 bis 30 m² erbringt eine Spitzenleistung von etwa 3 kWp. Damit lassen sich jährlich bei guter Besonnung 2400 bis 4000 kWh erzeugen. Dies sind gut zwei Drittel des durchschnittlichen Stromverbrauchs (ohne Warmwasserversorgung) eines Einfamilienhauses.

Lernauftrag 3

Zählen Sie unterschiedliche Anlagen für die Nutzung der Sonnenenergie in den Formen a) bis e) auf.

a) Direkte Strahlungsnutzung

– passiv

– aktiv

b) Umgebungswärme

c) CO₂-Kreislauf

d) Wasserkraft

e) Wind

Lösung/Antworten Lernauftrag 3

a)

- Südwärtsgerichtete Fenster
- Wintergarten
- Transparente Wärmedämmung

- Kollektorsysteme
- Fotovoltaikanlagen
- Solarthermische Kraftwerke

b) Wärmepumpenanlagen für Heizzwecke und Warmwasser

c) Holzfeuerung zur Wärmeerzeugung
Biogasanlage zur Wärme- und Stromerzeugung

d) Wasserkraftwerke zur Stromerzeugung

e) Windenergieanlagen zur Stromerzeugung

6 Weiterführende Literatur

Videos

- Photovoltaik: Einführung für Architekten und Bauherren, PACER 724.241d, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1992 (vergriffen; wurde an alle Berufsschule ausgeliefert)
- Sonne und Architektur - Leitfaden für die Projektierung, PACER 724.211d, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1992
- Solare Wassererwärmung: Techniken von heute für eine Energie der Zukunft, PACER 724.214 d, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1992

Publikationen

- Bundesamt für Konjunkturfragen, Solare Wassererwärmung, PACER, 724.213 d, Bern, 1993
- Heinrich Häberlin, Photovoltaik, Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbundnetz, AT Verlag, Aarau, 1991 (vergriffen, Neuauflage Herbst 1997)
- Bundesamt für Konjunkturfragen, Kompetent antworten auf Energiefragen, RAVEL, EDMZ-Best. Nr. 724.386 d, Bern, 1994
- Bundesamt für Konjunkturfragen, Photovoltaik - Planungsunterlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen, PACER 724.243 d, Bern, 1992
- Bundesamt für Konjunkturfragen, Photovoltaik - Grundlagen, Montage und Einspeisung, PACER 724.242d, Bern, 1991
- Rudolf Weber, Energie + Umwelt, Fakten, Massnahmen, Zusammenhänge, Olyntus Verlag, Vaduz, 1992

- Bundesamt für Konjunkturfragen, Haustechnik heute, gemeinsames Wissen für Installateure, Haustechnikplaner und Architekten, Impulsprogramm Haustechnik, 724.601 d, Bern, 1987 (vergriffen)
- Walter Gille, Maja Messmer, Jürg Nipkow, Bernhard Liechti, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit, Handbuch für Lehrkräfte, Sauerländer, Aarau, 1999, Bezug: Walter Gille, Zürichbergstrasse 46a, 8044 Zürich

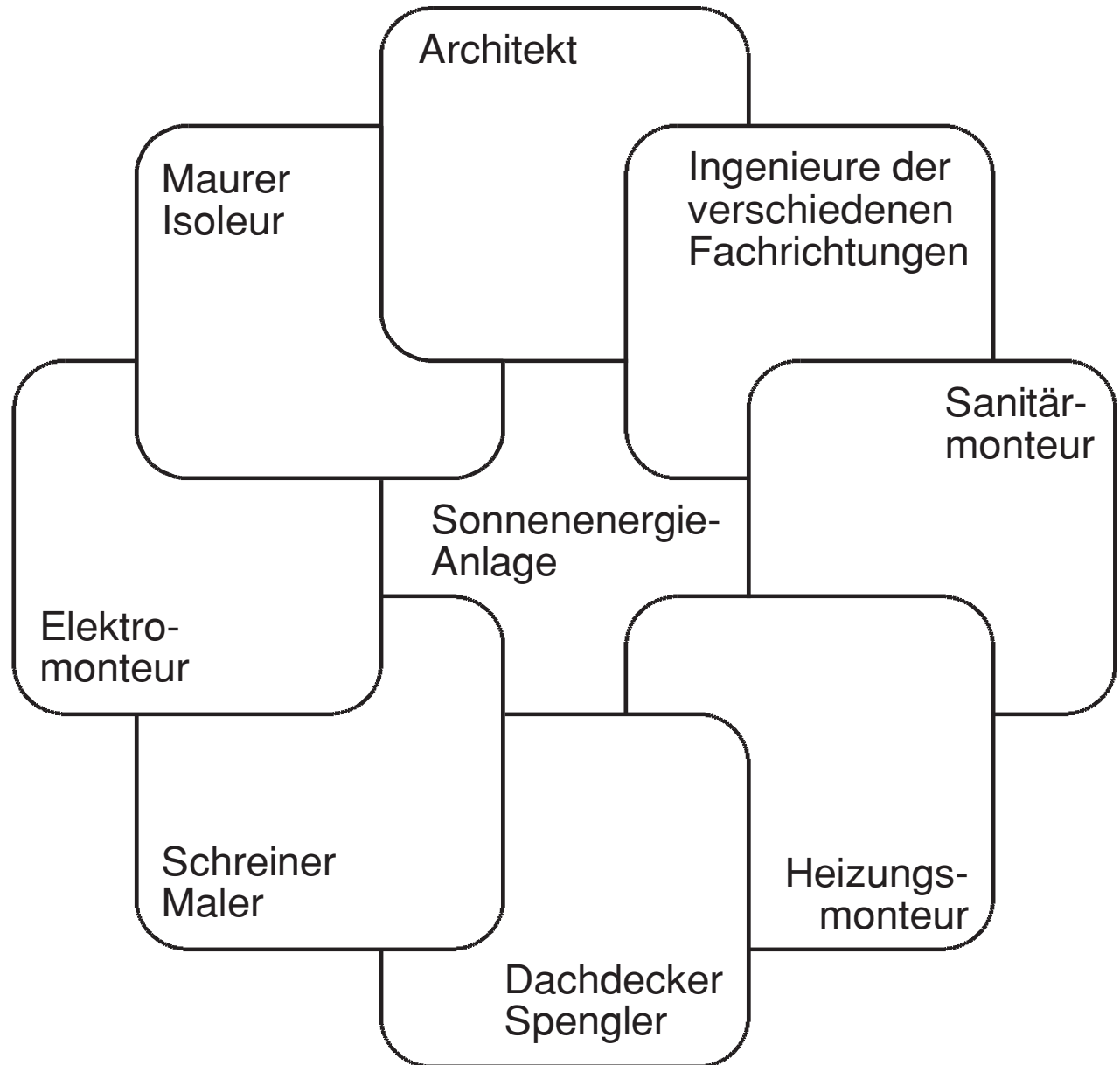
Hinweis:

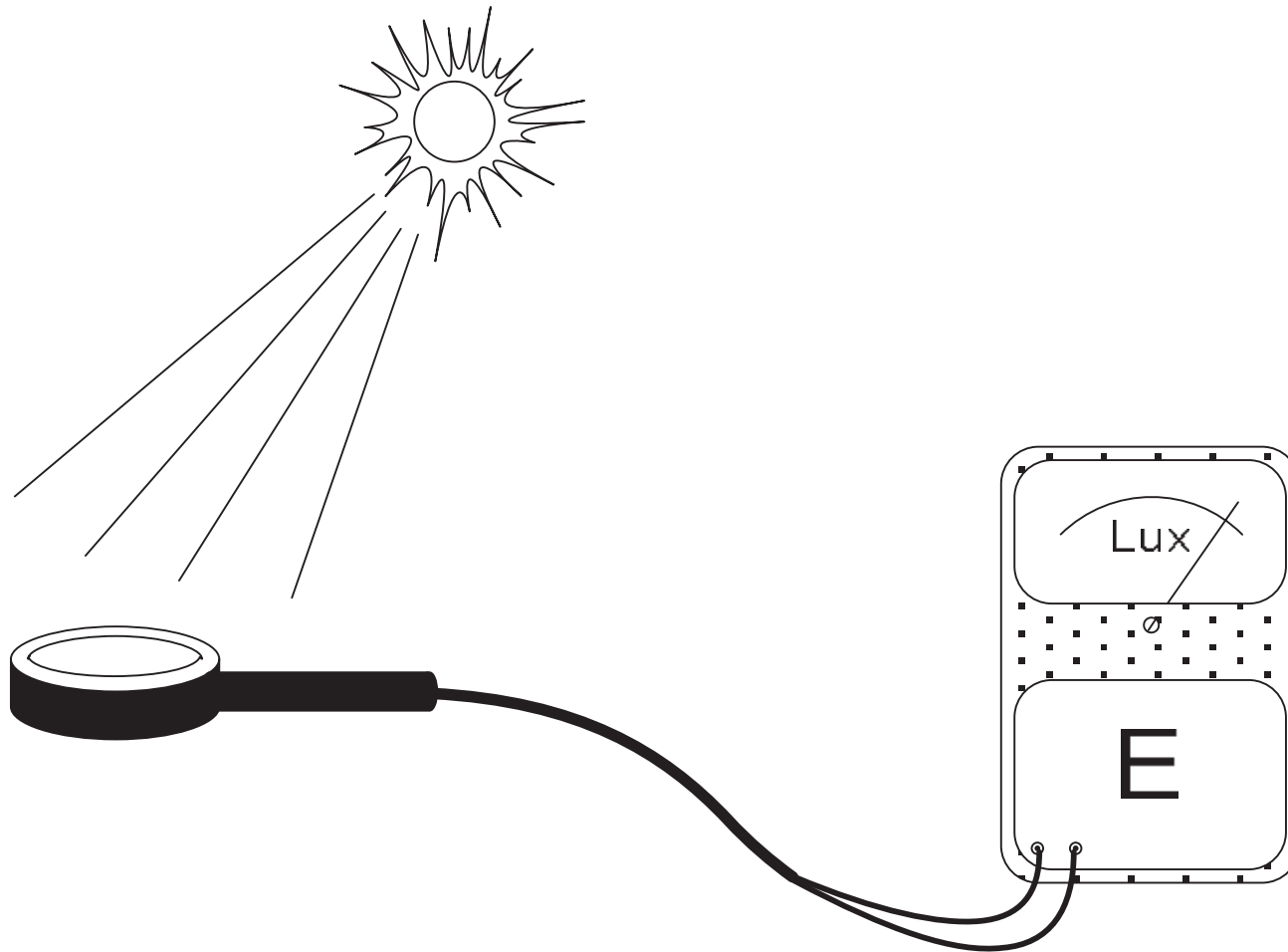
Die Publikationen des ehemaligen Bundesamtes für Konjunkturfragen sind erhältlich bei:
SIA, Generalsekretariat, Selnaustrasse 16,
Postfach, 8039 Zürich

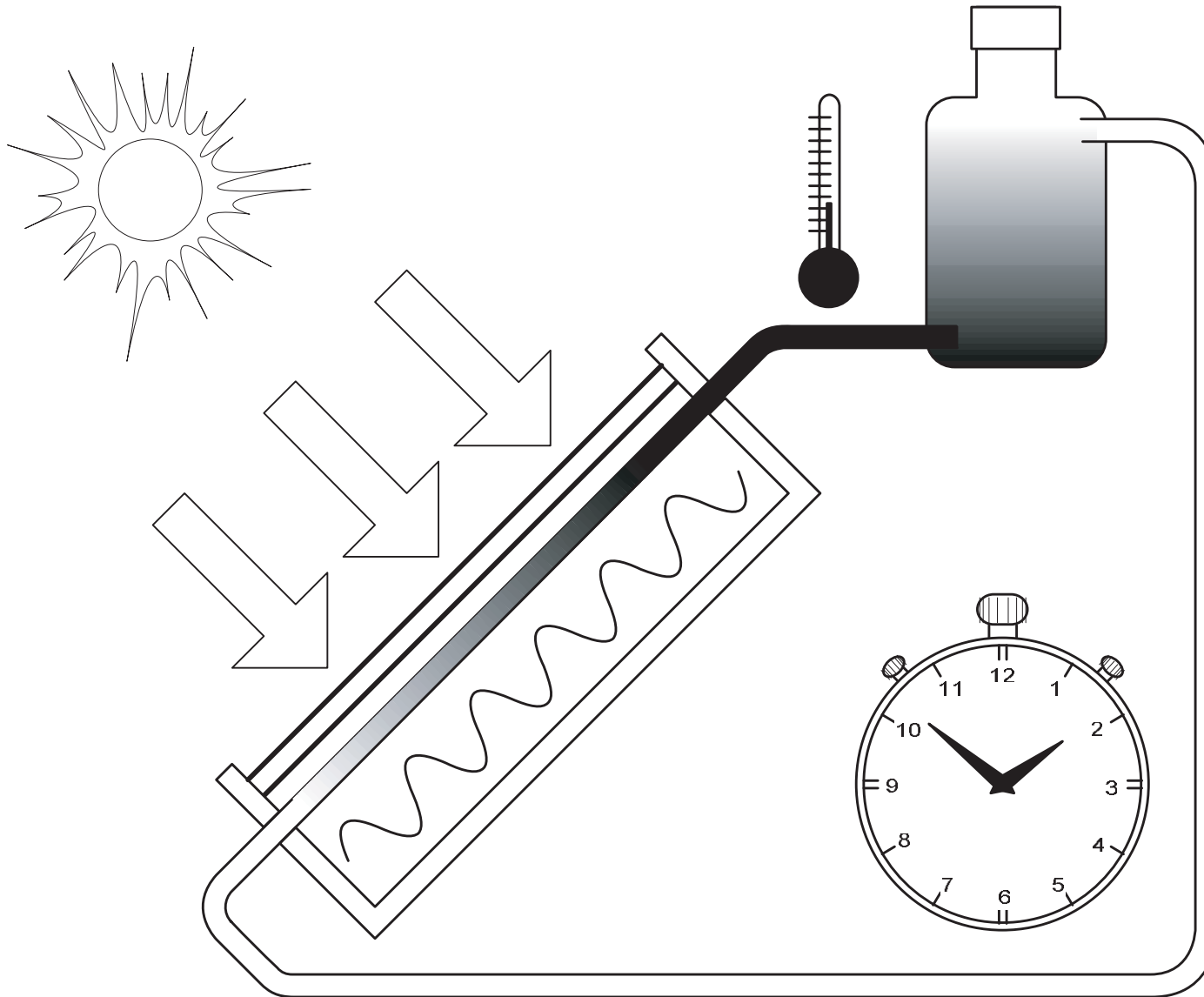
7 Bild- und Textnachweis

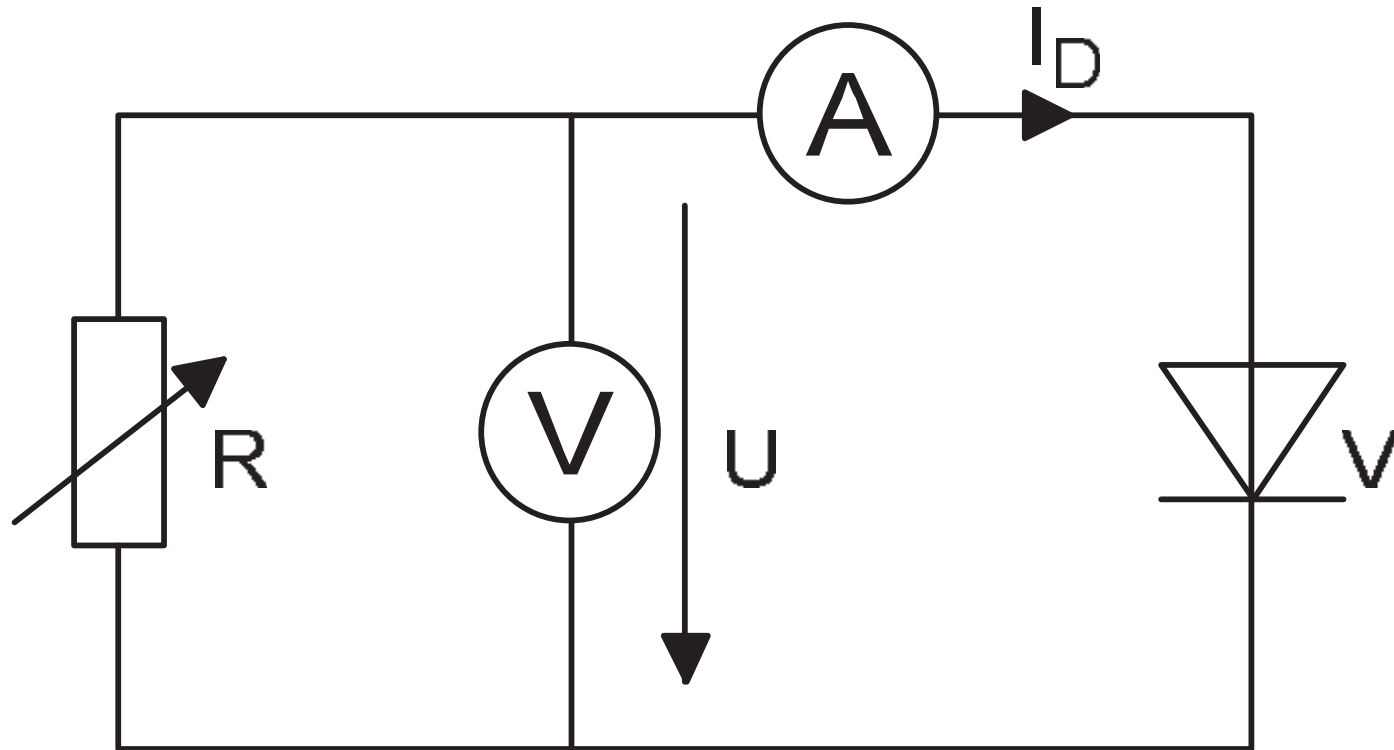
- Alle Abbildungen sind von Paul-Emile Müller gezeichnet, die Ideen hierzu sowie einzelne Textpassagen stammen zum Teil aus folgenden Quellen:
- Maja Messmer, Walter Gille, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit, ISBN 3-7941-4022-2, Aarau, 1996
 - Bundesamt für Konjunkturfragen, Solare Wasssererwärmung, PACER 724.213 d, Bern, 1993
 - Heinrich Häberlin, Photovoltaik, Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbundnetz, AT Verlag, Aarau, 1991 (vergriffen, Neuauflage Herbst 1997)
 - Bundesamt für Konjunkturfragen, Kompetent antworten auf Energiefragen, RAVEL, EDMZ-Best.Nr. 724.386 d, Bern, 1994
 - Rudolf Weber, Energie + Umwelt, Fakten, Massnahmen, Zusammenhänge, Olynthus Verlag, Vaduz, 1992
 - Bundesamt für Konjunkturfragen, Photovoltaik - Planungsunterlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen, PACER 724.243 d, Bern, 1992
 - Bundesamt für Konjunkturfragen, Photovoltaik - Grundlagen, Montage und Einspeisung, PACER 724.242 d, Bern, 1991
 - Othmar Humm, Niedrigenergiehäuser: Theorie und Praxis, ISBN 3-922964-51-6, Oekobuchverlag Staufen, Freiburg i.B., 1990
 - Bundesamt für Konjunkturfragen, Haustechnik heute, gemeinsames Wissen für Installateure, Haustechnikplaner und Architekten, Impulsprogramm Haustechnik, 724.601 d, Bern, 1987 (vergriffen)

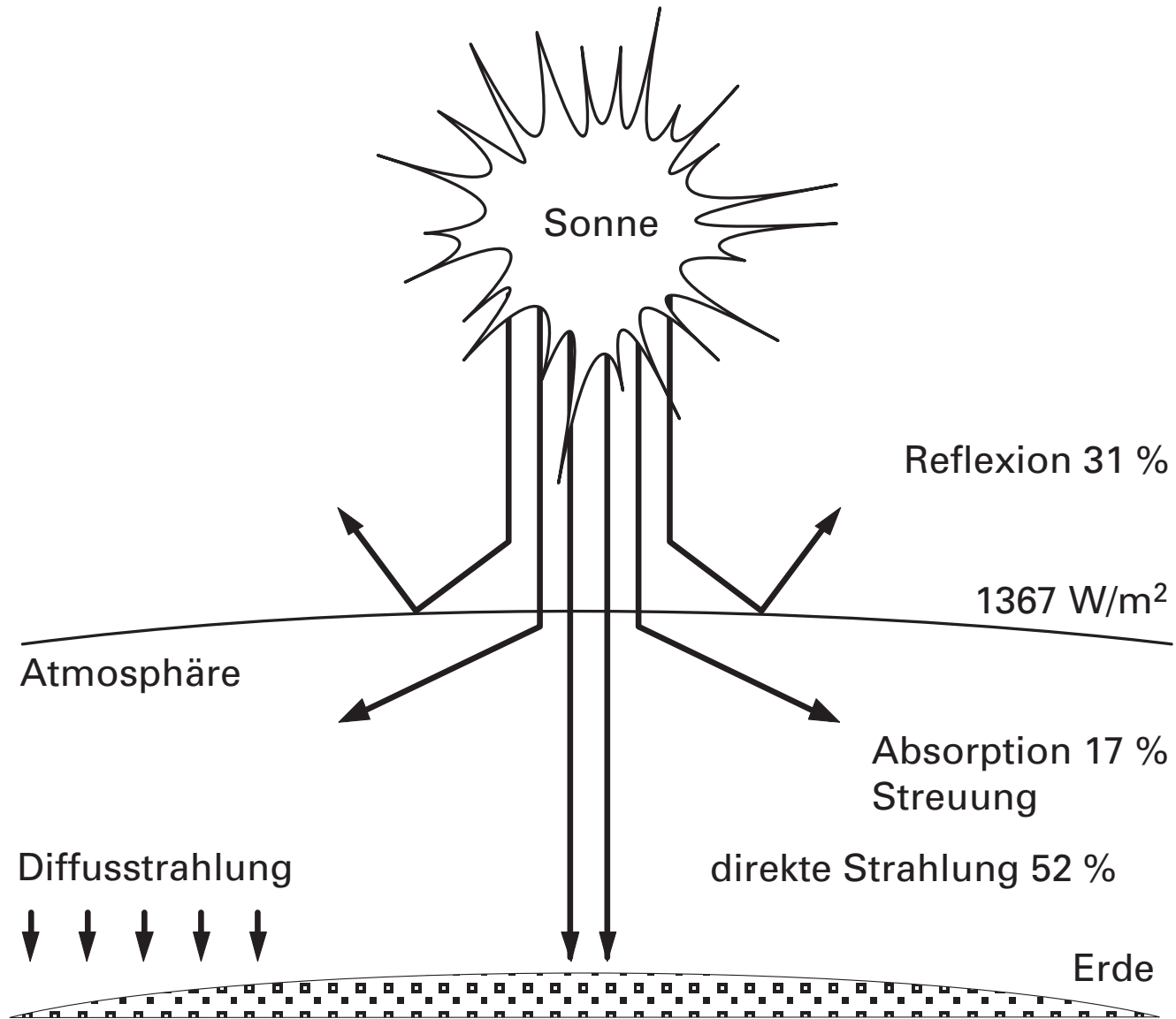
8 Vorlagen

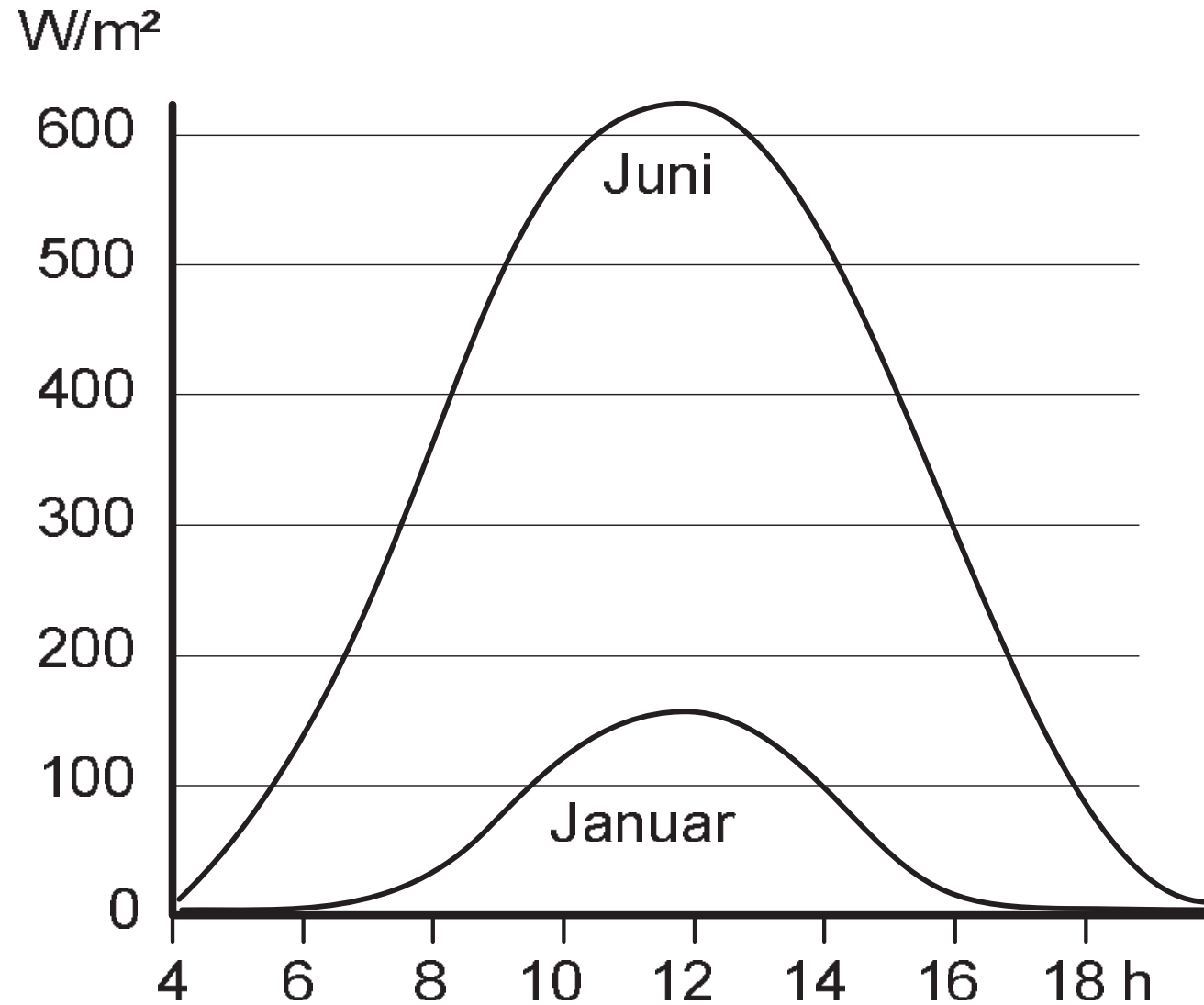


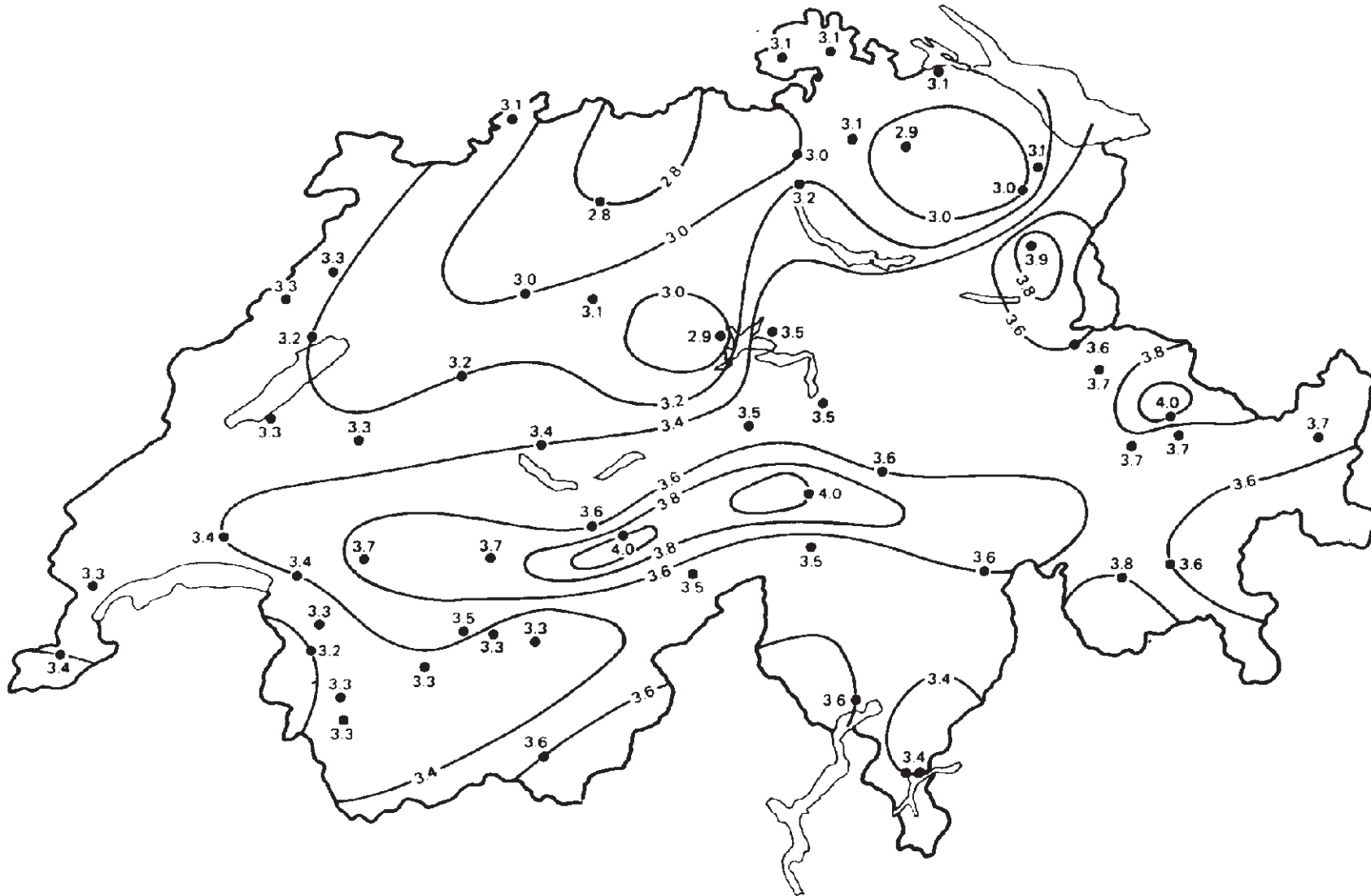




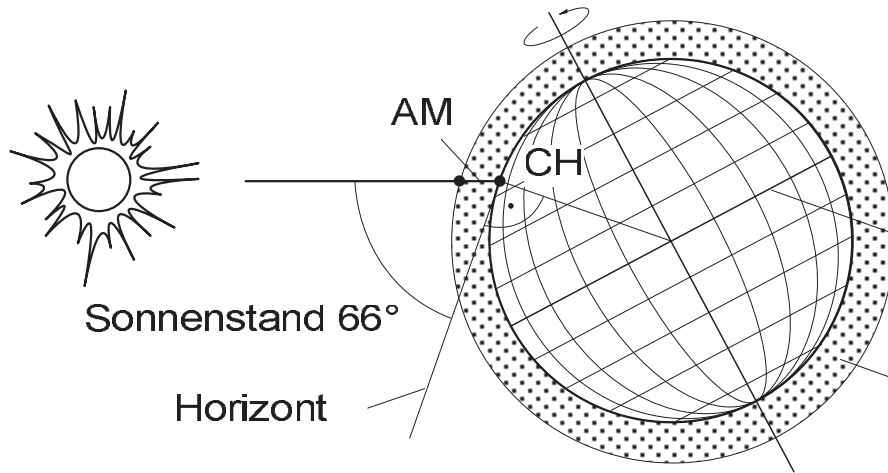




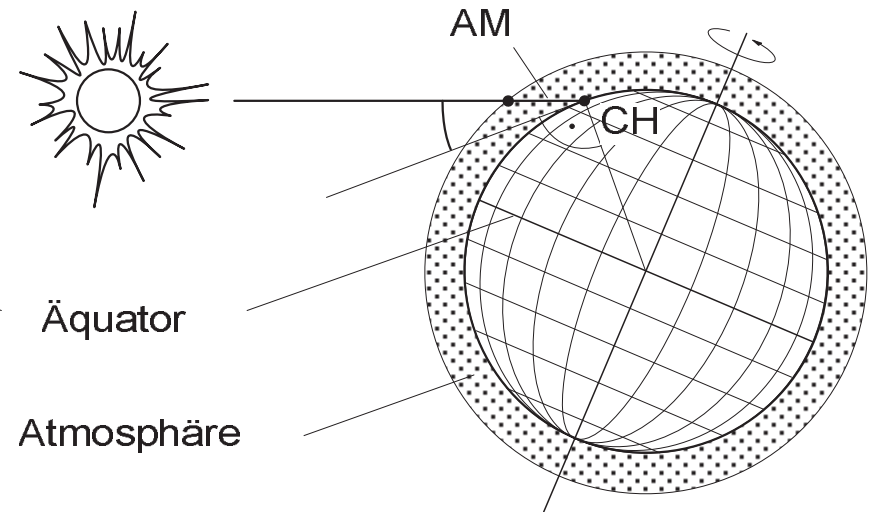


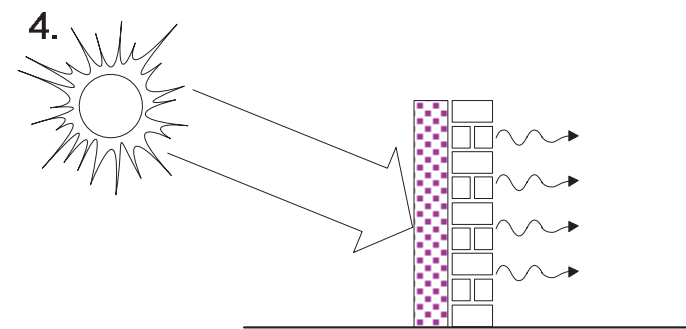
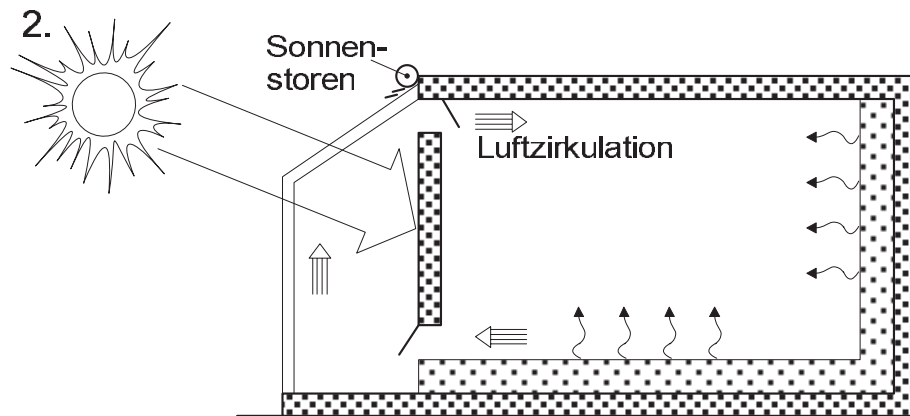
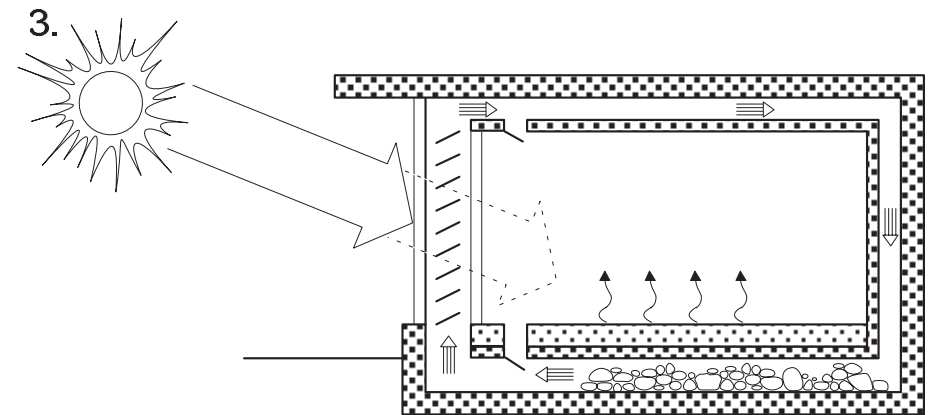
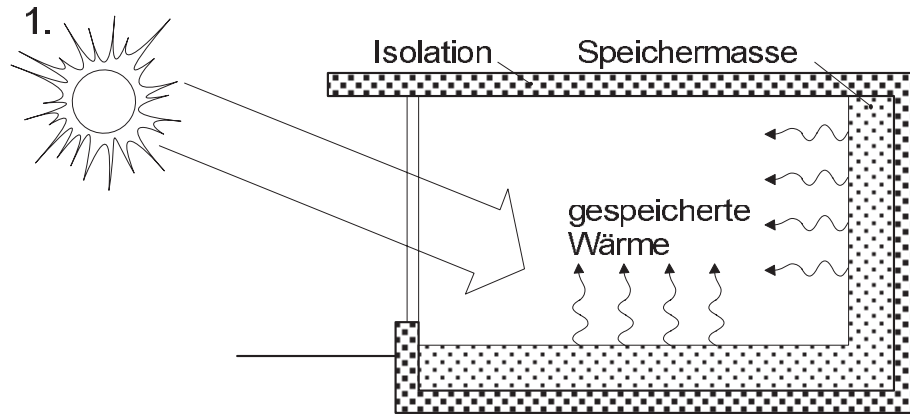


Sommer: AM = 1.1

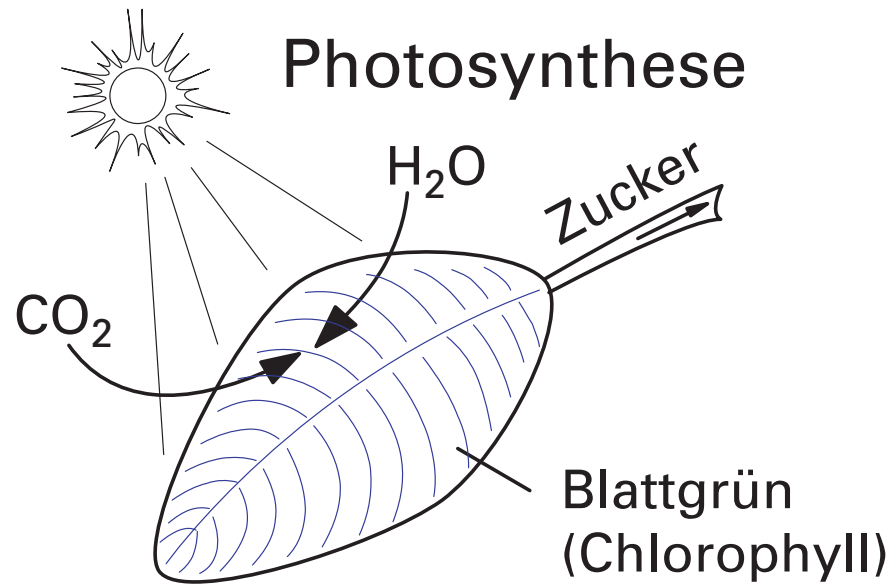


Winter: AM = 3.1

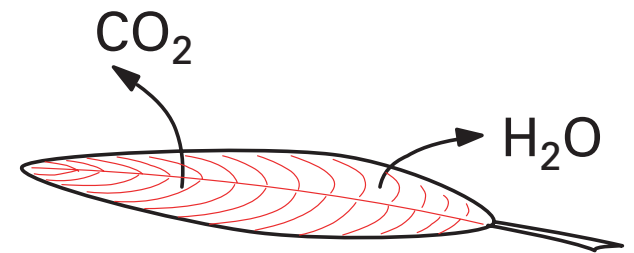


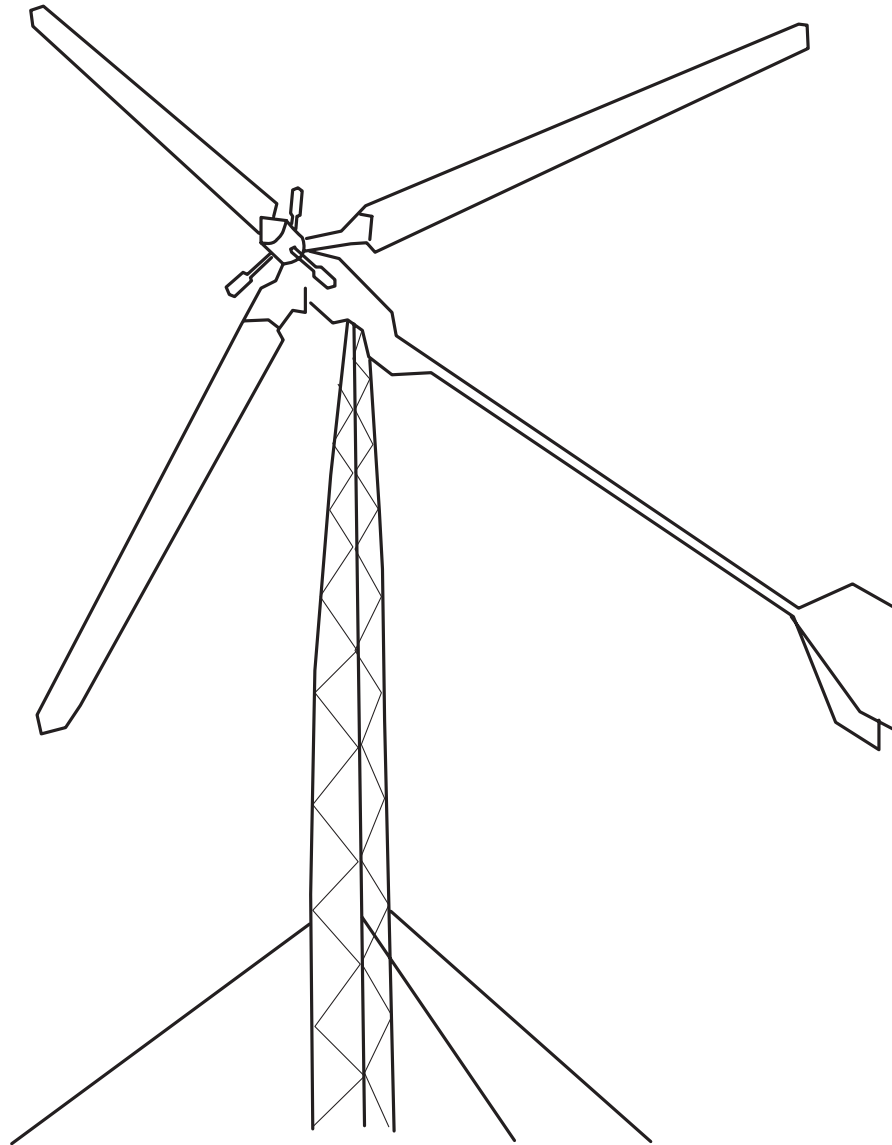


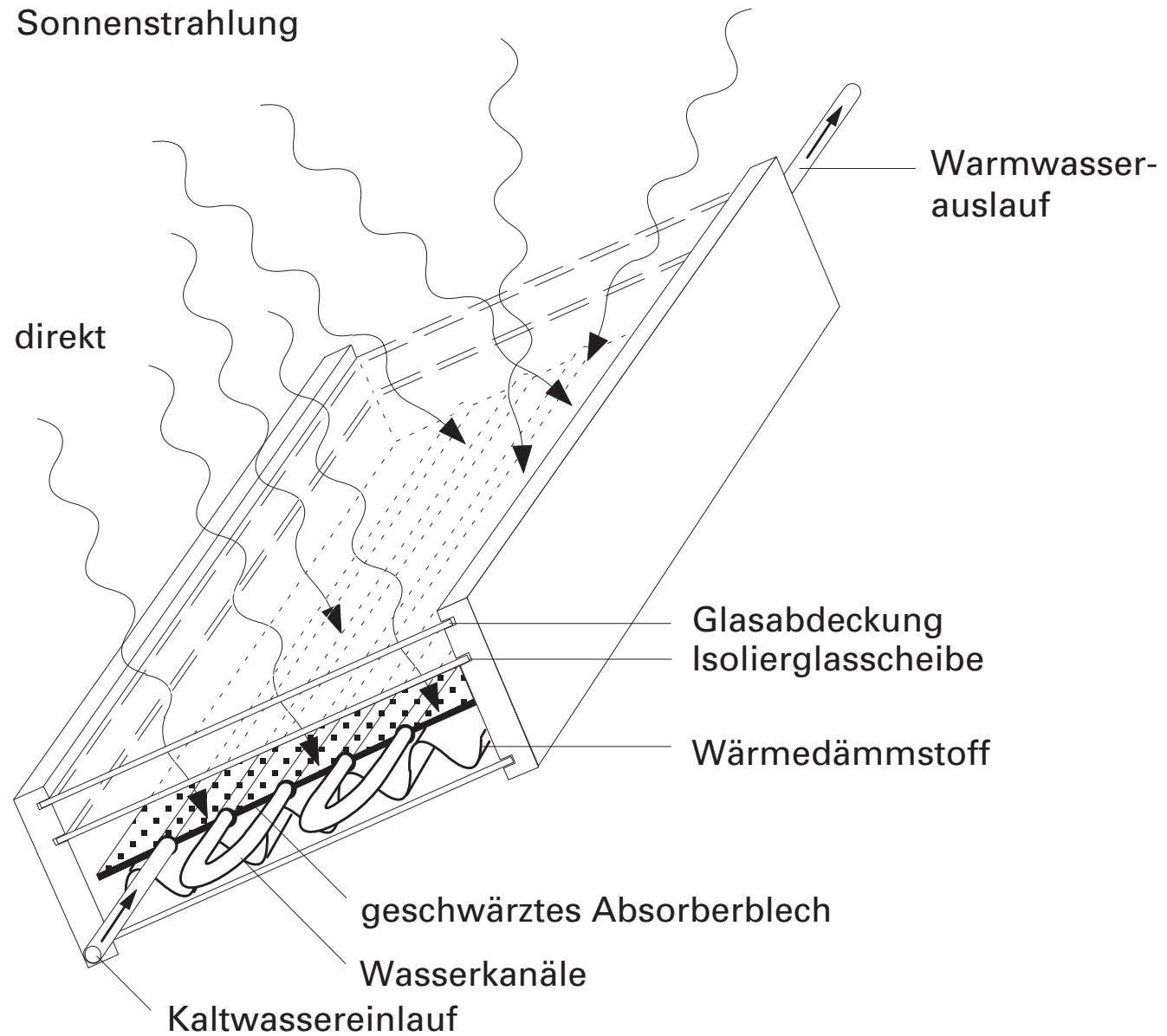
U-Werte für	frühere Bauweise	geltende Vorschriften	Minergiehaus
Aussenwände	1,2	0,3	z.B. 0,20
Fenster	3,0	2,0	z.B. 1,10
Dach	0,8	0,3	z.B. 0,15
Kellerdecke	1,4	0,4	z.B. 0,20
Mittlerer U-Wert	1,2	0,4	z.B. 0,25

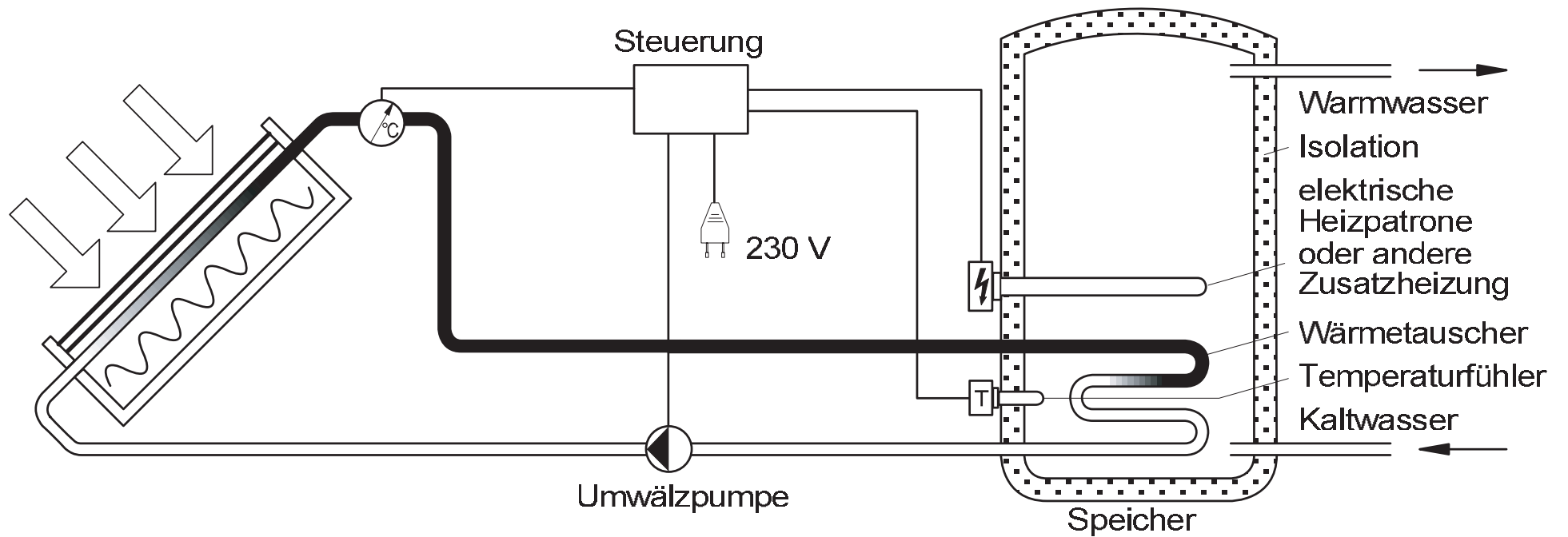


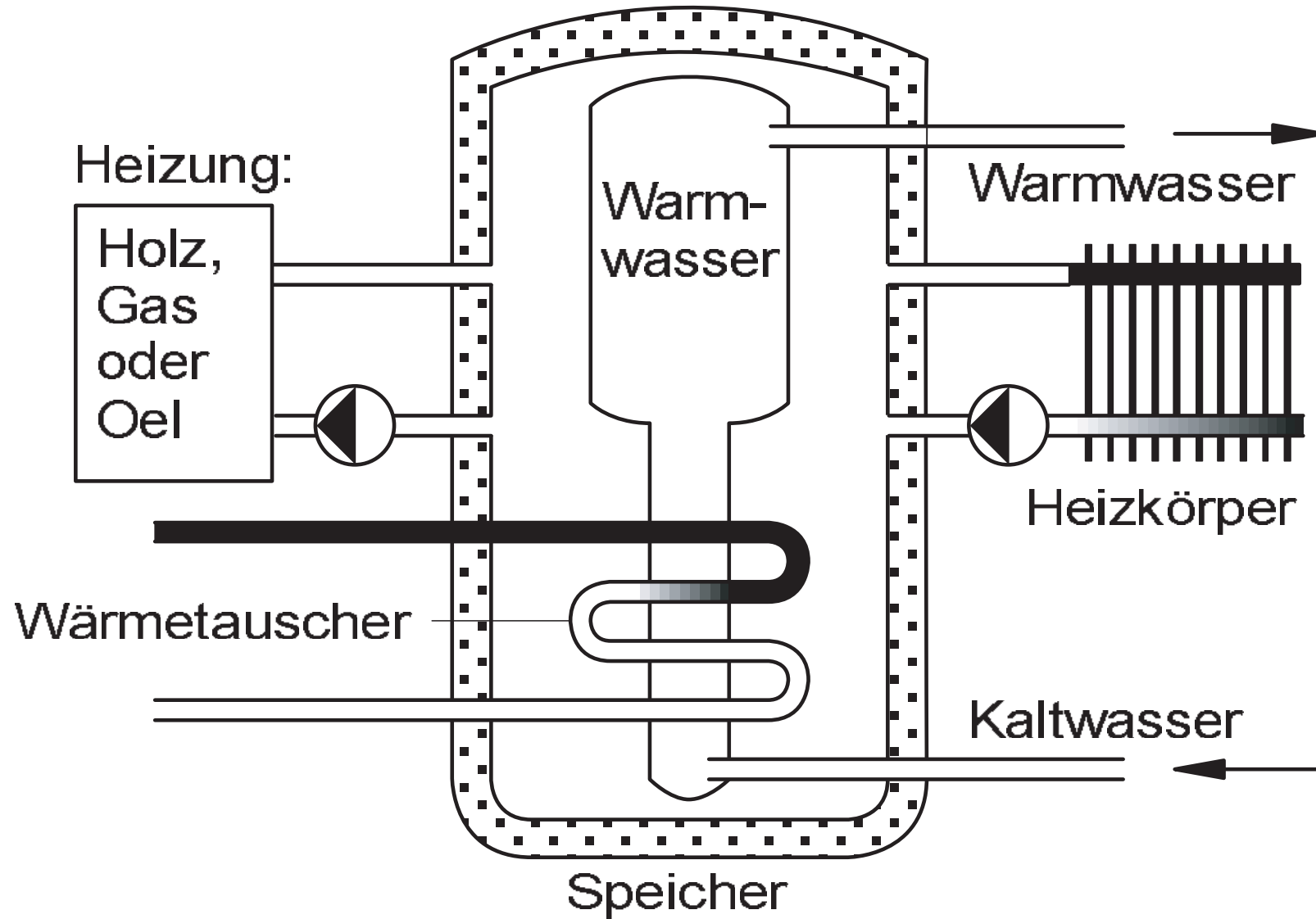
Verrottung

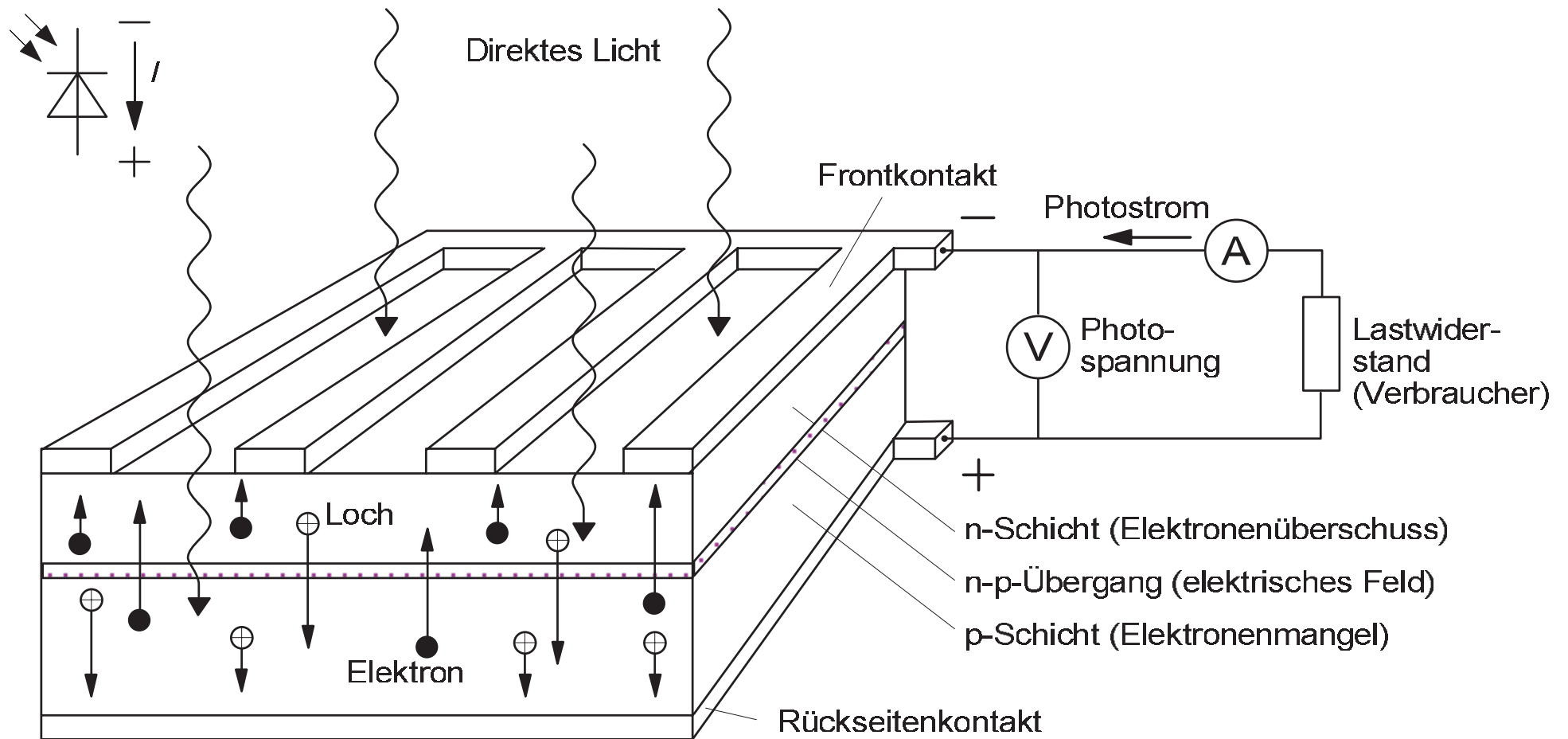


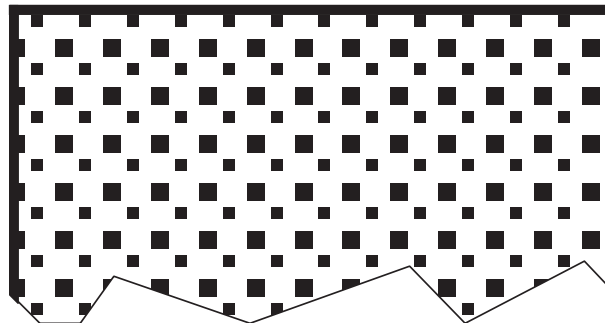
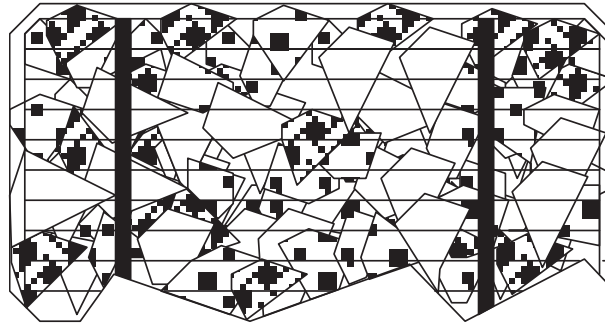
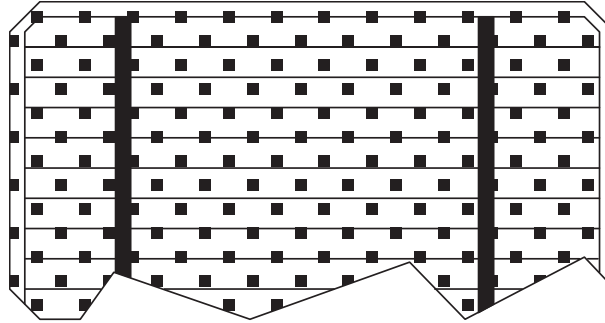


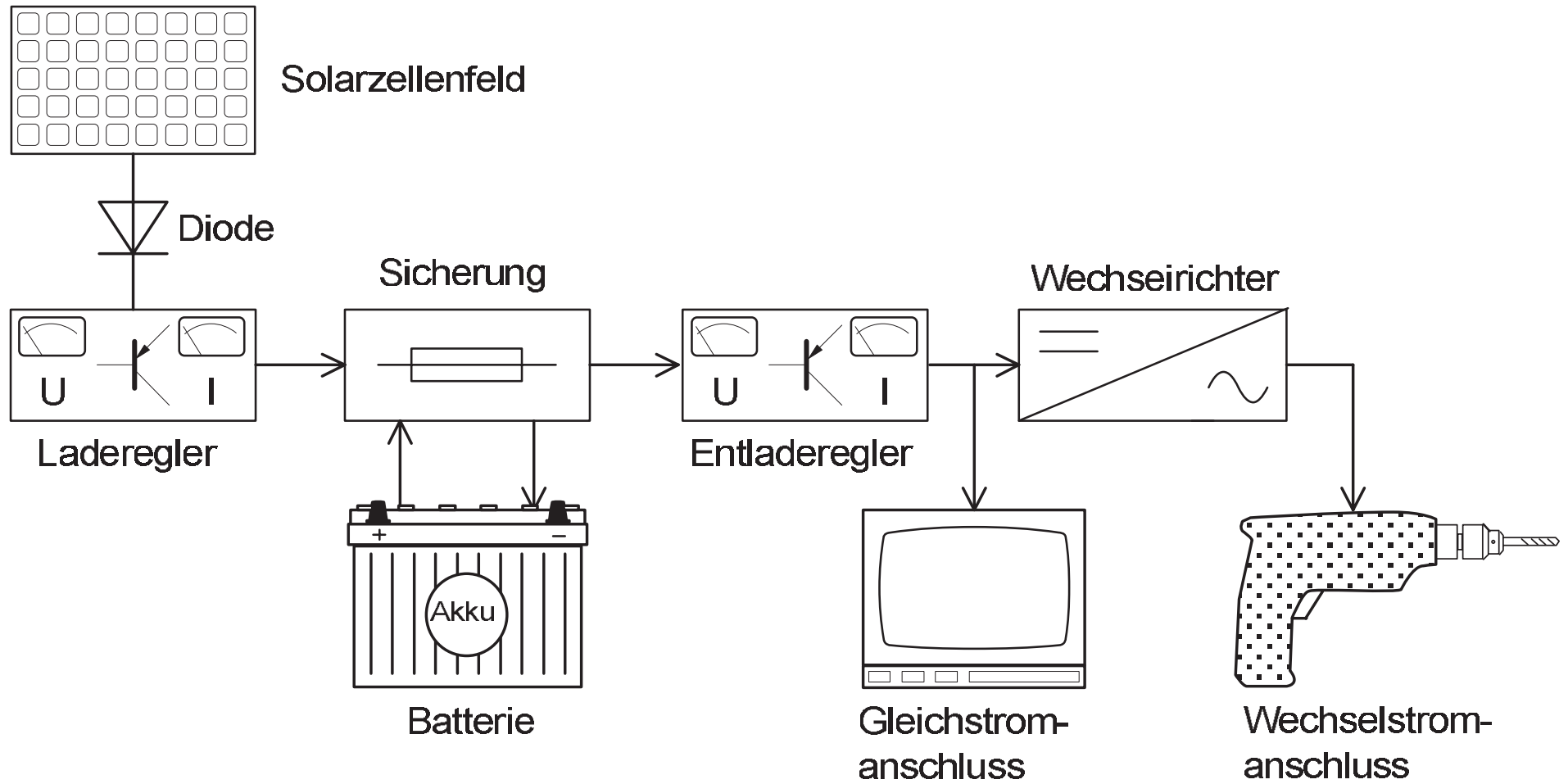


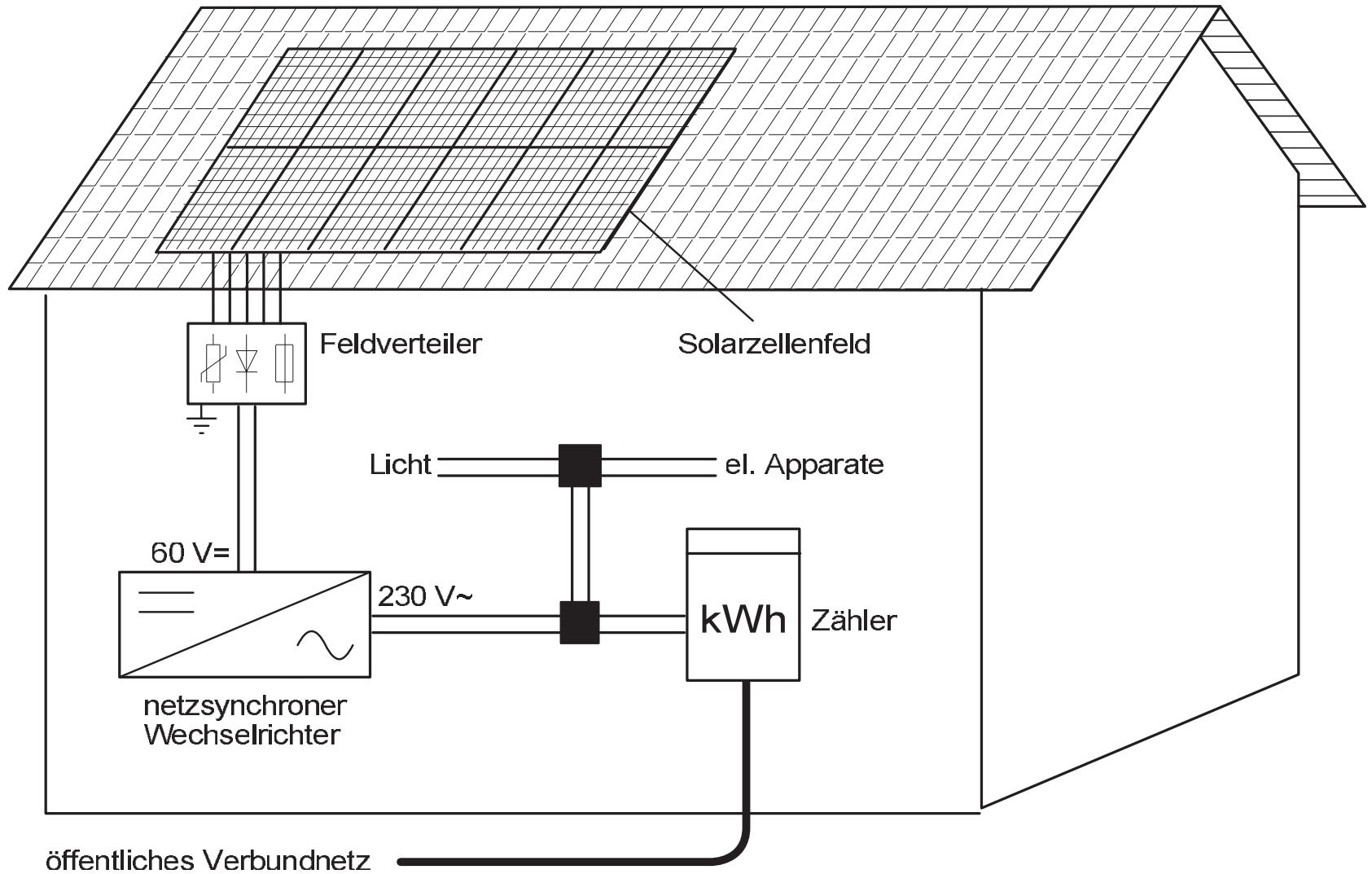




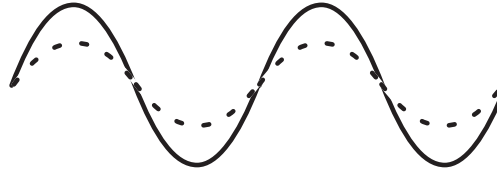








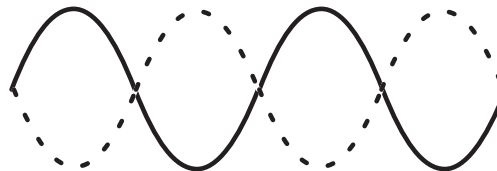
Amplitudenabgleich



Frequenzabgleich



Phasenlage anpassen



Oberwellenglättung

