



Upgrading the Agricultural Sector  
with Skills in Regenerative Agriculture



**Promoting  
the global transition  
to regenerative food, farming  
and land management**

# Vortrag 1

## Hintergrund, Kontext, Einblicke in die Regenerative Landwirtschaft

### Lektion 3

#### Erneuerbare Energien - Anwendungen in der Landwirtschaft

**Projekttitle:** Aufwertung des Agrarsektors durch Qualifizierung  
in regenerativer Landwirtschaft

**Projekt-Akronym:** RegAgri4Europe

**Projektnummer:** 2020-1-DE02-KA202-007660

**Erstellt:** Januar 2022



## Lektion 2: Erneuerbare Energien - Anwendungen in der Landwirtschaft

### 1. Einleitung

Die Landwirtschaft benötigt Energie als wichtigen Input für die Produktion und die landwirtschaftliche Verarbeitung zur Wertschöpfung. Der Energiebedarf in der Landwirtschaft wird in zwei Gruppen unterteilt: direkt und indirekt. Der direkte Einsatz von Kraftstoffen (einschließlich Diesel und Benzin) und Elektrizität wird hauptsächlich in landwirtschaftlichen Betrieben und auf Feldern benötigt. Direkter Energieverbrauch ist beispielsweise für den Betrieb von Maschinen für Feldarbeiten und die Pflanzenproduktion erforderlich, z. B. für die Aussaat, die Ernte, die Bodenbearbeitung, die Bewässerung und den Transport von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln und landwirtschaftlichen Erzeugnissen. Der direkte Energieverbrauch macht durchweg den größten Teil des Gesamtenergieverbrauchs bei landwirtschaftlichen Tätigkeiten aus [1.1]. Darüber hinaus wird Strom vor allem für Beleuchtung, Heizung und Kühlung in Häusern und Ställen verwendet. Die indirekte Energienutzung wird hauptsächlich für die Herstellung von Düngemitteln, Pestiziden und landwirtschaftlichen Maschinen verwendet. Indirekte Energie wird nicht direkt in der Landwirtschaft verwendet. Tabelle 3 enthält eine Liste der verschiedenen (direkten und indirekten) Energieverwendungen [1.2], [1.3].

Tabelle 3. Direkte und indirekte Nutzung von Energie

Direkte Nutzung von Energie	Kraftstoff
Bedienung von Landmaschinen und großen Lastkraftwagen	Diesel
Betrieb von Kleinfahrzeugen (landwirtschaftliche Tätigkeiten)	Benzin
Bedienung von Kleingeräten: - Bewässerungsanlagen - Trocknen von Getreide oder Obst - Entkörnung von Baumwolle - Trocknen von Tabak - Heizung für den Frostschutz in Obstanlagen und Obstgärten - Fackeln für die Ernte - Behandlung tierischer Abfälle	Diesel, Erdgas, Elektrizität
Allgemeine landwirtschaftliche Gemeinkosten - Beleuchtung für Schuppen und Scheunen - Strom für landwirtschaftliche Haushaltsgeräte	Elektrizität
Benutzerdefinierte Operationen - Arbeit vor Ort - Trocknen	Diesel, Benzin

Indirekte Nutzung von Energie	Einheit
Menschliche und tierische Arbeit	Stunden
Chemische Düngemittel	Naturgas
Pestizide	Erdöl

Wie man sieht, spielt die fossile Energie in der Landwirtschaft eine entscheidende Rolle. In der Literatur finden sich zahlreiche Berichte über Energieanalysen zum Energieverbrauch in der Landwirtschaft. Die Produktionsmittel der pflanzlichen Primärproduktion in der Weltlandwirtschaft sind in Tabelle 4 dargestellt (gemäß FAO-Datensatz). Eine Bewertung des Einsatzes fossiler Energie in der Primärproduktion von Kulturpflanzen ist in Tabelle 5 enthalten. Eine Bewertung des Einsatzes fossiler Energie in der Pflanzen- und Tierproduktion findet sich in Tabelle 6 [1.4].

Tabelle 4. Produktionsmittel der pflanzlichen Produktion

	Ackerland (Mha)	Arbeitsangebot (10 <sup>9</sup> h)	Bewässerung (Mha)	H&T (1000er)	Traktoren (1000er)	Stickstoff (Mt)	Phosphor (Mt)	Kalium (Mt)	Pestizide (Mt)
Asien	499	1886	187	1917	7079	43.9	12.6	2.5	0.9
Afrika	175	352	12	39	557	2.2	0.9	0.5	0.1
Europa	294	56	25	1222	11198	20.7	6.3	12.0	0.8
Nord-Amerika	222	6	22	794	5511	12.9	4.9	5.2	0.6
Lateinamerika	134	80	18	159	1587	4.5	3.2	3.1	0.2
Ozeanien	55	5	3	60	401	1	1.5	0.5	0.1

Tabelle 5. Fossiler Energieeinsatz in der pflanzlichen Primärproduktion

	Maschinenpark	Kraftstoff	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Bewässerung	Pestizide	Sonstige Eingaben
Asien	540	1200	3450	240	34	780	380	50
Afrika	35	70	170	20	7	60	40	0
Europa	995	1960	1600	110	164	100	340	300
Nord-Amerika	950	1400	1000	90	71	90	250	250
Lateinamerika	140	270	350	60	42	80	80	0
Ozeanien	70	100	80	30	7	20	40	50

Tabelle 6. Fossile Energie in der Nahrungsmittelproduktion ( $10^{18}$  J)

	Primärproduktion	Futtermittel	Pflanzliche Erzeugung	Tierische Erzeugung	Input für Lebensmittel
Welt	18.2	6.5	11.7	9.5	21.2
Entwickelt	10.3	4.8	5.5	7.3	12.9
Entwicklung von	7.8	1.7	6.1	2.1	8.3

#### Referenzen

- [1.1] Beckman, Jayson, Allison Borchers, und Carol Jones. "Angebot und Nachfrage der Landwirtschaft nach Energie und Energieprodukten". (2013).
- [1.2] Schnepf, Randall Dean. "Energienutzung in der Landwirtschaft: Background and issues." Kongressinformationsdienst, Bibliothek des Kongresses, 2004.
- [1.3] Omer, Abdeen Mustafa. "Grüne Energien und die Umwelt". Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, Nr. 7 (2008): 1789-1821.
- [1.4] Giampietro, Mario. "Energieeinsatz in der Landwirtschaft". e LS (2001).

## 2. RES für das Pumpen von Wasser

### 2.1 Fotovoltaikanlagen zur Wasserförderung

Photovoltaik (PV)-Systeme werden zur Wasserförderung aus Bohrlöchern, Brunnen, Seen und Flüssen mit Hilfe einer Tauchpumpe eingesetzt. Diese Wasserpumpensysteme sind die kostengünstigste Option für die Wasserförderung an Orten, an denen es kein Stromnetz gibt. Die Hauptvorteile von PV-Wasserpumpensystemen bestehen darin, dass sie wenig Wartung erfordern und dass die Größe und die Kosten eines PV-Wasserpumpensystems von der örtlichen Sonneneinstrahlung, der Pumptiefe und dem Wasserbedarf abhängen. Die heutigen Preise für PV-Paneele machen die Pumpensysteme zu einem der kosteneffektivsten Systemen für die Bewässerung von Feldfrüchten und die Wasserversorgung der Viehbestände.

In einem PV-Wasserpumpensystem kann die Tauchpumpe Strom direkt von den Photovoltaik-Paneele über eine Gleichstrompumpe oder über einen Wechselrichter verbrauchen, der den Strom von Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt, ohne Batterien zu verwenden. Diese Art von Pumpe wird als "Solarpumpe" bezeichnet und funktioniert, solange die Sonne scheint. Diese autonomen Systeme werden in der Regel mit einem Wasserspeicher kombiniert, um sie an Tagen ohne Sonnenschein zu nutzen. In Abbildung 1 sind zwei direkt angetriebene PV-Pumpensysteme (ohne Batteriespeicher) für die Wasserförderung dargestellt.

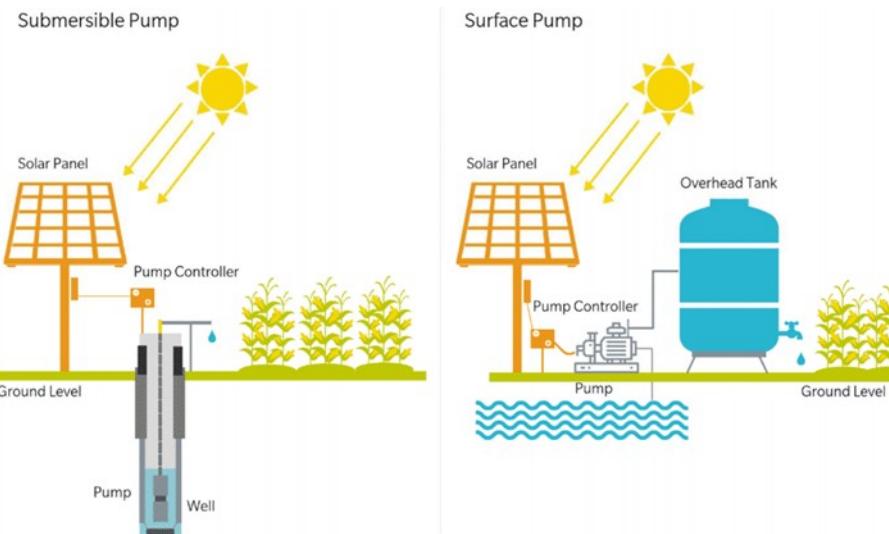


Abbildung 1. Autonomes photovoltaisches System zum Pumpen von Wasser [2.1]

Es gibt auch PV-Wasserpumpensysteme, die eine Batteriebank enthalten. Die PV-Paneele halten die Batteriebank geladen, damit sie die Pumpe bei Bedarf mit Strom versorgen kann. Bei diesen Systemen wird der Solarregler verwendet, um den Stromfluss vom PV-Modul entweder zur Pumpe oder zu den Batterien zu regeln. Ein PV-Wasserpumpensystem mit Batterien ist in Abbildung 2 [2.2] dargestellt.

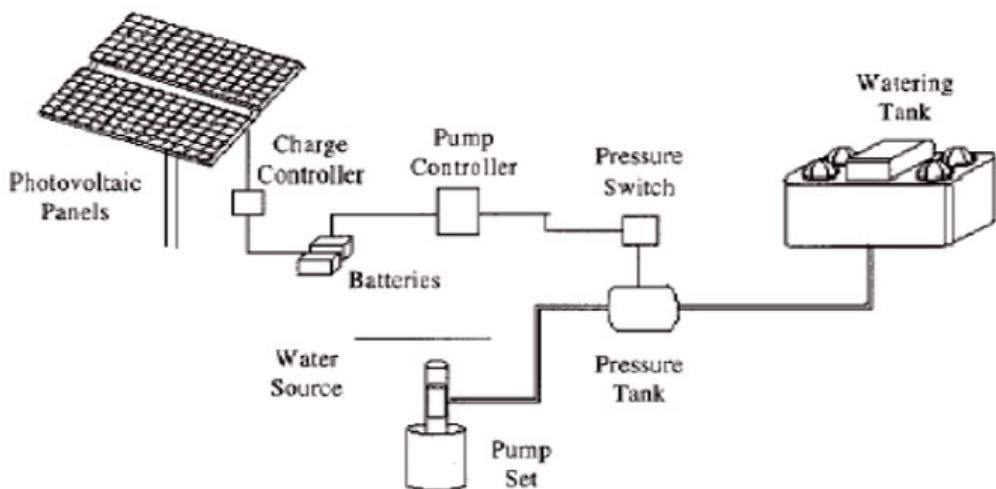


Abbildung 2. Ein PV-Batterie-Wasserpumpensystem [2.2]

Mehrere Systeme wurden in abgelegenen Gebieten installiert, um Wasser für die Bewässerung von Kulturen wie Kartoffeln, Tomaten und Sonnenblumen zu liefern [2.3]. Eine Liste der PV-Wasserpumpensysteme für den Hausgebrauch und für Bewässerungsanwendungen ist in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7. Beispiele für PV-Wasserpumpensysteme

	Land	Anmeldung
Pande et al. [2.4]	Indien	Anwendung der Bewässerung
Bhave [2.5]	Indien	Anwendung der Bewässerung
Mahmoud und Nather [2.6]	Ägypten	Anwendung der Tröpfchenbewässerung
Meah et al. [2.7], [2.8]	USA	Pumpen von Brauchwasser
Chandratilleke und Ho [2.9]	Singapur	Pumpen von Brauchwasser
Yu et al. [2.10]	China	Anwendung der Bewässerung
Hrayshat und Al-Soud [2.11]	Jordanien	Anwendung zum Pumpen von Wasser
Al Ali et al. [2.12]	Saudi-Arabien	Anwendung der Bewässerung
Mokeddem [2.13]	Algerien	Anwendung der Bewässerung
Hamidat [2.14]	Algerien	Anwendung der Bewässerung

## 2.2 Windenergie zum Pumpen von Wasser

Windmühlen wurden bis Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts häufig zum Pumpen von Wasser eingesetzt. Die Windmühlen auf der Lassithi-Hochebene sowie die genialen Windmühlen in den Niederlanden waren in erster Linie Wasserpumpen, die durch den Wind angetrieben wurden.

Ein großes Laufrad ist auf einem turmartigen Sockel montiert, so dass es sich in einer Höhe befindet, in der es keine Hindernisse im Windverlauf gibt. Außerdem richtet ein

Leitschaufelwerk die Position des Laufrads nach der Windrichtung aus. So hat das Laufrad zu jeder Zeit den besten Wirkungsgrad. In Abbildung 3 [2.15] ist ein Windrad zum Pumpen von Wasser dargestellt.

Die mechanische Energie der Drehung des Laufrads wird durch geeignete Pleuelstangen in eine Hin- und Herbewegung umgewandelt und bewegt eine Kolbenpumpe, die zum Pumpen von Wasser verwendet wird. Abbildung 4 zeigt das Funktionsprinzip der Kolbenpumpe. Der Pumpenkörper hat eine zylindrische Form, in der sich ein spezieller Kolben befindet, der sich frei bewegen kann. Er hat zwei Öffnungen mit Einlass- und Auslassventilen. Die Abdichtung erfolgt durch Flansche mit Dichtungsringen.

Wenn eine mechanische Kraft aufgebracht wird, bewegt sich der Kolben in die Kammer und erzeugt ein Vakuum, das die Wasseraufnahme gewährleistet. Dann bewegt er sich in die entgegengesetzte Richtung, der Druck wird erhöht, das Auslassventil der Flüssigkeit wird geöffnet und das Wasser tritt in den Kanal nach außen. Diese Vorgänge werden zyklisch wiederholt. Wichtig ist, dass sich am Pumpeneingang ein starres oder verstärktes Rohr befinden muss, da es sonst unter dem Einfluss der Saugkraft zusammenbrechen kann.



Abbildung 3. Windmühle zum Pumpen von Wasser [2.15]

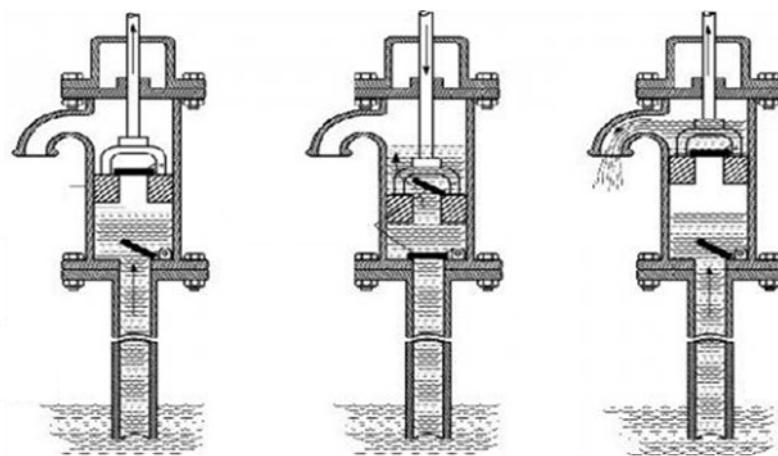


Abbildung 4. Funktionsprinzip einer Kolbenpumpe

Außerdem werden Windturbinen zur Umwandlung von Windenergie in elektrische Energie eingesetzt, wobei der windgetriebene Rotor mit einem Synchrongenerator mit Permanentmagneten gekoppelt ist. Asynchrongeneratoren werden in der Regel in großen Windkraftanlagen eingesetzt. Diese Systeme sind in der Regel so konzipiert, dass sie Batterien aufladen, die eine Kreiselpumpe zum Wasserpumpen antreiben [16]. Ein Windenergiesystem mit Batterien für Wasserpumpensysteme ist in Abbildung 5 dargestellt [2.16].

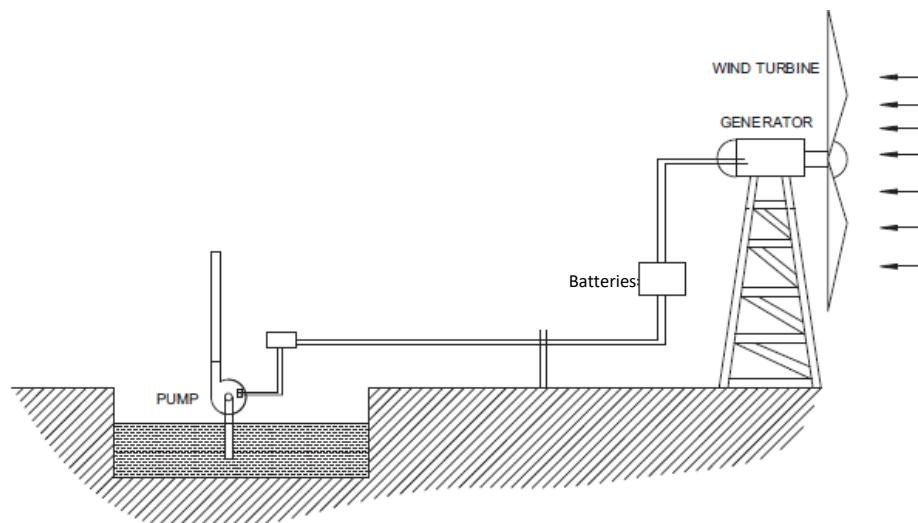


Abbildung 5. Windenergiesystem zum Pumpen von Wasser [2.16]

Eine Liste von Untersuchungen zu windenergiegestützten Wasserpumpensystemen ist in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8. Beispiele für Windenergie-Wasserpumpensysteme [2.15]

Referenz	Land
Panda et al. [2.17]	Indien
Parish und Bhattacharya [2.18]	Indien
Sinha und Kandpal [2.19]	Indien
Shi et al. [2.20]	China
Harries [2.21]	Kenia
Mohsen und Akash [2.22]	Jordanien
Suleimani und Rao [2.23]	Oman
Lara et al. [2.24]	Chile
Badran [2.25]	Jordanien

#### Referenzen

- [2.1] <https://solarmagazine.com/solar-water-pumps/>
- [2.2] Eker, B. "Solarbetriebene Wasserpumpensysteme". *Trakia Journal of Sciences* 3, Nr. 7 (2005): 7-11.
- [2.3] Boutelhig A, Bakelli Y, Mahammed IH, Arab AH. Leistungsstudie verschiedener PV-betriebener Gleichstrompumpenkonfigurationen für eine optimale Energiebilanz bei unterschiedlichen Förderhöhen unter den Außenbedingungen eines Wüstengebiets. *Energy* 2012; 39:33-9.
- [2.4] Pande PC, Singh AK, Ansari S, Vyas SK, Dave BK. Design, Entwicklung und Test eines auf PV-Pumpen basierenden Tropfsystems für Obstgärten. *Erneuerbare Energie* 2003; 28:385-96.
- [2.5] Bhave AG. Potenzial für solare Wasserpumpensysteme in Indien. *Angewandte Energie* 1994; 48:197-200.
- [2.6] Mahmoud E, Nather H. Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklungen in Ägypten: photovoltaische Wasserpumpen in abgelegenen Gebieten. *Angewandte Energie* 2003; 74:141-7.
- [2.7] Meah K, Fletcher S, Ula S. Solar-Photovoltaik-Wasserpumpen für abgelegene Standorte. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008; 12:472-87.
- [2.8] Meah K, Ula S, Barrett S. Solar Photovoltaic water pumping-opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008; 12:1162-75.
- [2.9] Chandratilleke TT, Ho JC. Eine Studie über eine photovoltaische Anlage zur Wasserförderung. *Solar & Wind Technology* 1986; 3:59-71.
- [2.10] Yu Y, Liu J, Wang H, Liu M. Assess the potential of solar irrigation systems for sustaining pasture lands in arid regions-a case study in Northwestern China. *Applied Energy* 2011; 88:3176-82.
- [2.11] Hrayshat ES, Al-Soud MS. Potenzial der Solarenergieentwicklung für die Wasserförderung in Jordanien. *Renewable Energy* 2004; 29:1393-9.

- [2.12] Al Ali AR, Rehman S, Al Agili S, Al-Omari MH, Al Fayezi M. Verwendung von Fotovoltaik in einem automatischen Bewässerungssystem. Erneuerbare Energie 2001; 23:17-26.
- [2.13] Mokeddem A, Midoun A, Kadri D, Hiadsi SS, Rajala. Performance of a directly-coupled PV water pumping system. Energy Conversion and Management 2011; 52:3089-95.
- [2.14] Hamidat A, Benyoucef B, Hartani T. Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions. Renewable Energy 2003; 28:1081-96.
- [2.15] <https://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/wind-water-pumping.html>
- [2.16] Gopal, C., M. Mohanraj, P. Chandramohan, und P. Chandrasekar. "Renewable energy source water pumping systems-A literature review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25 (2013): 351-370.
- [2.17] Panda RK, Sarkar TK, Bhattacharya AK. Cost estimate of chance-constrained windmill irrigation system. Energy in Agriculture 1988; 6:311-24.
- [2.18] Parikh MM, Bhattacharya AK. Winddatenanalyse zur Untersuchung der Machbarkeit des Einsatzes von Windmühlen für die Bewässerung. Energie in der Landwirtschaft 1984; 3:129-36.
- [2.19] Sinha CS, Kandpal TC. Windmill-irrigation in India. Energy 1991;16:867-74.
- [2.20] Shi J, Shen D, Wei J. The development of wind pumping technology in China. Biomasse 1989; 20:13-23.
- [2.21] Harries M. Disseminating wind pumps in rural Kenya-meeting rural water needs using locally manufactured wind pumps. Energiepolitik 2002; 30:1087-94.
- [2.22] Mohsen MS, Akash BA. Potenziale der Windenergieentwicklung für die Wasserförderung in Jordanien. Renewable Energy 1998; 14:441-6.
- [2.23] Suleimani ZAI, Rao NR. Windbetriebenes elektrisches Wasserpumpensystem an einem abgelegenen Ort. Applied Energy 2000; 65:339-47.
- [2.24] Lara DD, Merino GG, Pavez BJ, Tapia JA. Efficiency assessment of a wind pumping system. Energy Conversion and Management 2011; 52:795-803.
- [2.25] Badran O. Nutzung von Windturbinen für die Wasserförderung in Jordanien. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 2003; 91:1203-14.

### 3. Trocknen von Lebensmitteln und Gemüse durch erneuerbare Energiequellen

#### Einführung

Bei der Trocknung von Lebensmitteln wird ihnen Feuchtigkeit entzogen, so dass sie lange Zeit außerhalb des Kühlschranks aufbewahrt werden können, ohne zu verderben und zu verfaulen. Der Wassergehalt von getrockneten Lebensmitteln liegt je nach Art des Lebensmittels zwischen 5 und 25 %. Getrocknete Lebensmittel wiegen etwa 1/4 der frischen Lebensmittel und benötigen nur 1/3 bis 1/6 des ursprünglichen Lagerraums. Die Konservierung von frischen Lebensmitteln in Dosen erfordert normalerweise die Verwendung von chemischen Konservierungsmitteln. In den letzten Jahren, in denen die Menschen zunehmend über chemische Konservierungsmittel besorgt sind, scheint die traditionelle Trocknung von Lebensmitteln wieder an Boden zu gewinnen [3.1].

Die Trocknung erfolgt, indem die im Produkt vorhandene Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wärme verdampft und in ein trockenes Produkt umgewandelt wird. Diese Wärme wird entweder durch Leitfähigkeit (direkte Trocknung), durch Konvention (indirekte Trocknung) oder durch Strahlung bereitgestellt. Die wichtigste Methode ist die direkte Trocknung.

In der folgenden Tabelle 9 sind einige der getrockneten landwirtschaftlichen Erzeugnisse und ihre Trocknungsbedingungen aufgeführt.

Tabelle 9. Trocknungsbedingungen für einige landwirtschaftliche Erzeugnisse

Produkt	Anfangsfeuchtigkeit (%)	Endgültige Feuchtigkeit (%)	Temperatur der Trocknungsluft (° C)
Knoblauch	80	4	55
Reis	25	12	43
Weintrauben	74-78	18	50-60
Tobaco	85	12	35-70
Onions	80-85	8	50
Erdnüsse	45-50	13	35
Hafer	20-25	12-13	43-82

Weitere Produkte, die zum Trocknen angeboten werden, sind Pflaumen, Feigen, Tomaten, Aprikosen, Beeren, Walnüsse und andere Früchte, Gemüse, Kräuter und Nüsse.

Feste Lebensmittel enthalten zwei Arten von Feuchtigkeit: (a) freies Wasser, das sich wie reines Wasser verhält, und (b) gebundenes Wasser, das wie eine Lösung wirkt. Bei der ersten Art wird die Feuchtigkeit durch freie Verdunstung ausgeschieden. Bei der zweiten Art wird die Feuchtigkeit durch Erhitzen ausgeschieden.

Bei der Trocknung von Lebensmitteln ist vor allem darauf zu achten, dass die Feuchtigkeit aus den Lebensmitteln (so schnell wie möglich) bei einer Temperatur entweicht, die den Geschmack, die Textur und die Farbe der Lebensmittel nicht wesentlich beeinträchtigt.

## Natürliche Trocknung

Bei der natürlichen Trocknung wird die Sonne genutzt, um die Lebensmittel zu trocknen. Ein großer Vorteil des Trocknens von Lebensmitteln in der Sonne besteht darin, dass die Lebensmittel bei richtiger Temperaturkontrolle in den Trocknern viele ihrer Nährstoffe und ihren Geschmack behalten, die bei anderen energieintensiven Trocknungsmethoden teilweise verloren gehen. Außerdem werden keine Chemikalien oder zusätzlicher Zucker zugesetzt, und es wird nichts weiter als die Energie der Sonne benötigt.

Die Nachteile der natürlichen Trocknung sind:

- Mögliche Schäden durch Nagetiere, Vögel und Tiere.
- Witterungsbedingte Auswirkungen auf die Produktqualität.
- Verunreinigung durch Staub und Verschmutzung.
- Mögliche Schäden durch Insekten.
- Entwicklung von Mikroorganismen.
- Unzureichende und gleichmäßige Trocknung.
- Zum Trocknen wird eine große Fläche benötigt.

## Solar-Trockner

Solartrockner wurden für die Trocknung von Feldfrüchten und Getreide entwickelt und bieten Schutz vor Insekten, Nagetieren, Vögeln und schlechtem Wetter. Die fortschrittlichsten Solartrockner verringern die Verluste, trocknen schneller und erzeugen eine bessere Produktqualität. Ein einfacher Solartrockner besteht aus einem verglasten Kasten, abgeschirmten Trocknungsschalen und einem Solarkollektor. Die Sonnenenergie wird gesammelt, um die Luft im Inneren zu erwärmen, und dann wird die erwärmte Luft durch das Erntegut geleitet. Die Südseite des Gehäuses kann verglast werden, um das Sonnenlicht zum Trocknen des Materials zu nutzen.

Systeme mit Solartrocknern werden in passive und aktive Systeme unterschieden.

- Passive Solarsysteme: Diese Systeme arbeiten ohne mechanische Komponenten oder zusätzliche Energieversorgung und heizen und kühlen die Gebäude auf natürliche Weise.
- Aktive Solarsysteme: Diese Systeme sammeln die Sonnenstrahlung und geben sie in Form von Wärme an Wasser, Luft oder eine andere Flüssigkeit ab. Die angewandte Technologie ist relativ einfach und diese Systeme sind am weitesten verbreitet.

Für das Trocknen von Lebensmitteln mit Solartrocknern müssen folgende Regeln beachtet werden:

- Die Temperatur im Trockner muss so sein, dass die Feuchtigkeit der Lebensmittel verdampft, ohne dass sie "verbacken" (50 - 60 °C).
- Halten Sie ständig die trockene Luft, die Wasserdampf "absorbiert".
- Angemessene Zirkulation von Kalt- und Warmluft, die den Wasserdampf aus dem Trockner zieht.

Die Vorteile der solaren Trocknung sind:

- Die Produkte werden als qualitativ besser anerkannt als solche, die einer industriellen Trocknung unterzogen wurden,
- Gewährleistet die gewünschte Reduzierung des Feuchtigkeitsgehalts,
- Die Trocknungszeit kann im Vergleich zur natürlichen Trocknung verkürzt werden,
- Die Trocknungszeit wird durch aufeinanderfolgende Ernten verlängert,
- Es werden kleine Flächen benötigt.

Es gibt verschiedene Arten von Solartrocknern: (a) Direkter Solartrockner, (b) Solarkastentrockner, (c) Solarkabinentrockner, (d) Solarbühnentrockner, (e) Solartunneltrockner, (f) Indirekter Solartrockner, (g) Indirekter Solartrockner mit Schornstein und (h) Solartrockner mit Gewächshaus

### Solartrockner vom Typ Direkt

Das Prinzip der direkten solaren Getreidetrocknung ist in Abbildung 6 [3.2] dargestellt. Es besteht aus einer schwarz gestrichenen Holzkabine. Die Sonnenenergie fällt durch die schräge Glasfläche ein, die nach Süden ausgerichtet ist und eine Neigung von etwa 35° C aufweist.

Die zu trocknenden Produkte werden auf einer horizontalen Fläche im Inneren der Kammer platziert. Die kalte Luft tritt durch die Löcher an der Unterseite der Kammer ein, wird von der Sonne erwärmt, trocknet die Produkte und verlässt den oberen Teil der Kammer.

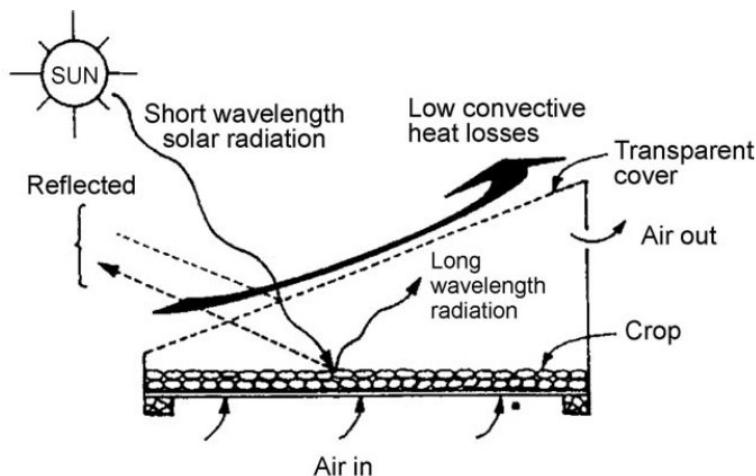


Abbildung 6. Ein direkter Solartrockner [3.2]

### Solar-Box-Trockner

Diese Trockner sind kleine tragbare Geräte für den Familiengebrauch. Sie bestehen aus einem Rahmen mit einer transparenten Abdeckung, in der das Produkt in Aluminiumscheiben eingelegt ist. Das Produkt wird direkt vom Sonnenlicht beschienen. Auf diese Weise erhöht sich die Temperatur im Inneren des Trockners, die durch die Vorderseite des Trockners eintretende Luft wird erwärmt und die Zirkulation wird erleichtert. Dieser Trockner ist besonders kostengünstig, leicht zu transportieren und relativ unabhängig von den Witterungsbedingungen. Der kastenförmige Solartrockner mit dem Prinzip der natürlichen Konvektion ist in Abbildung 7 [3.3] dargestellt.

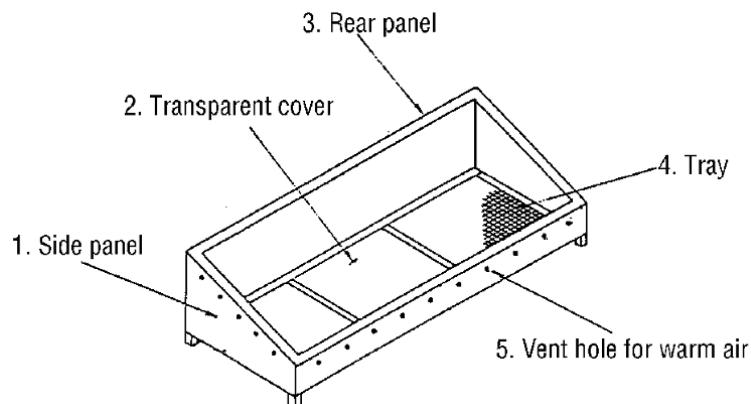


Abbildung 7. Ein Kastentrockner [3.3]

### Solar-Kabinentrockner

Sowohl der Kabinentrockner als auch der Kastentrockner sind kostengünstig, haben eine kleine Trocknungsfläche (1-2 m<sup>2</sup>) und sind für das Trocknen einer kleinen Menge von Produkten (10-20 kg) bestimmt. Sie sind in der Regel aus Holz gefertigt und mit einem transparenten Material, meist Glas, bedeckt. Die Produkte werden auf eine ebene Fläche gestellt. Die Sonnenstrahlung dringt direkt durch die transparente Fläche ein. Die übrigen Flächen sind undurchsichtig und isoliert, um die in das Innere des Trockners gelangende Sonnenstrahlung zu absorbieren. Die Luft wird erwärmt, zirkuliert durch das Produkt und tritt durch Öffnungen an der Oberseite der Kammer wieder aus. Die Höchsttemperatur in diesem Trockner erreicht 80 °C. Abbildung 8 zeigt einen passiven Solartrockner für Lebensmittel [3.4].

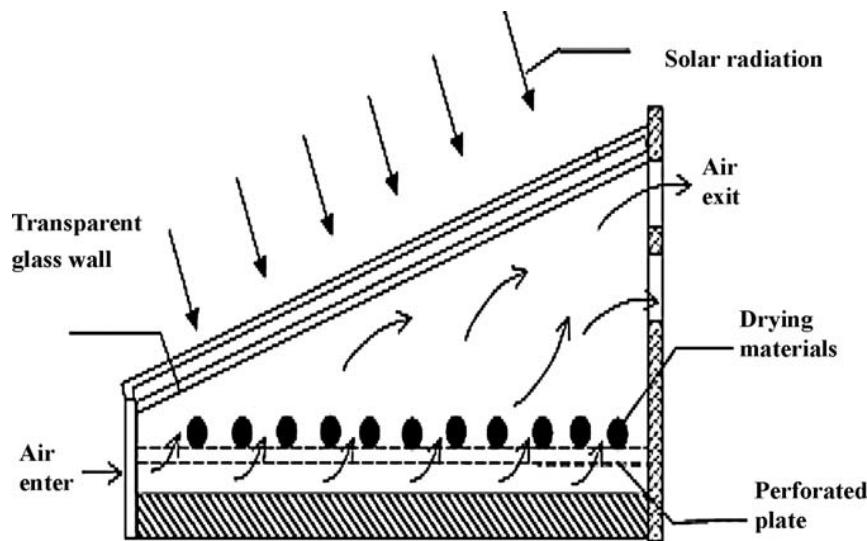


Abbildung 8. Solartrockner für Lebensmittel in einem Schrank [3.4].

### Solar-Stufentrockner

Dieser Trockner ist eine Variante des Kabinettrockners. Bei diesem Typ ist die Abdeckung das Hauptbauteil, sie besteht aus transparentem Material und hat die Form einer Bühne. Diese Trockner sind deutlich größer als die Kabinettrockner. Dieser Trockner verkürzt die Trocknungszeit im Vergleich zur natürlichen Trocknung um 25 %, hat aber den großen Nachteil, dass er durch sehr starke Winde leicht zerstört werden kann.

### Solar-Tunneltrockner

Dieser Trockner ist ähnlich aufgebaut wie der Bühnentrockner, hat aber eine größere Länge. Das Dach ist der Sonnenkollektor, sein Abstand zum Boden (mit dem Produkt) ist begrenzt, und die Luftzirkulation erfolgt mit Hilfe eines Ventilators. Die Luft strömt in diesem Fall über und nicht durch das Produkt, so dass die erforderliche Leistung gering ist. Ein solarer Tunnel trockner ist in Abbildung 9 [3.5] dargestellt.

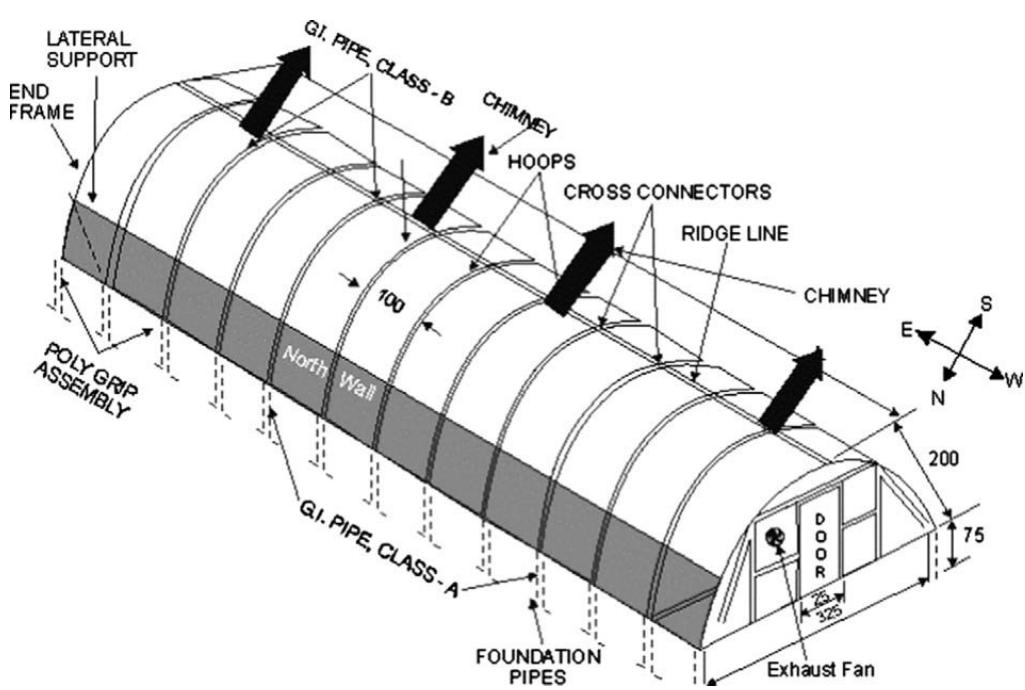


Abbildung 9. Eine Illustration des Solartunneltrockners mit natürlicher Konvektion [3.5].

### Indirekter Solartrockner

In früheren Trocknern wurde das Produkt direkt bestrahlt, und um größere Mengen zu trocknen, musste die Oberfläche des Kollektors vergrößert werden. In indirekten Trocknern wird das Produkt auf unabhängigen horizontalen Regalen gelagert und die notwendige Wärmeübertragung erfolgt durch Konvektion. Die Vorderseite des Trockners ist nach Süden ausgerichtet und besteht, wie die Oberseite, aus Glas. Die Rückwand ist isoliert. Die Luft wird auf einer Kollektorebene getrocknet, tritt von unten in die Trockenkammer ein und tritt durch eine Öffnung an der Oberseite aus und wird mittels eines Ventilators umgewälzt. In diesen Trocknern werden große Mengen an Produkten getrocknet und können Wärmemengen speichern. Ein indirektes solares Trocknungssystem ist in Abbildung 10 [3.1] dargestellt.

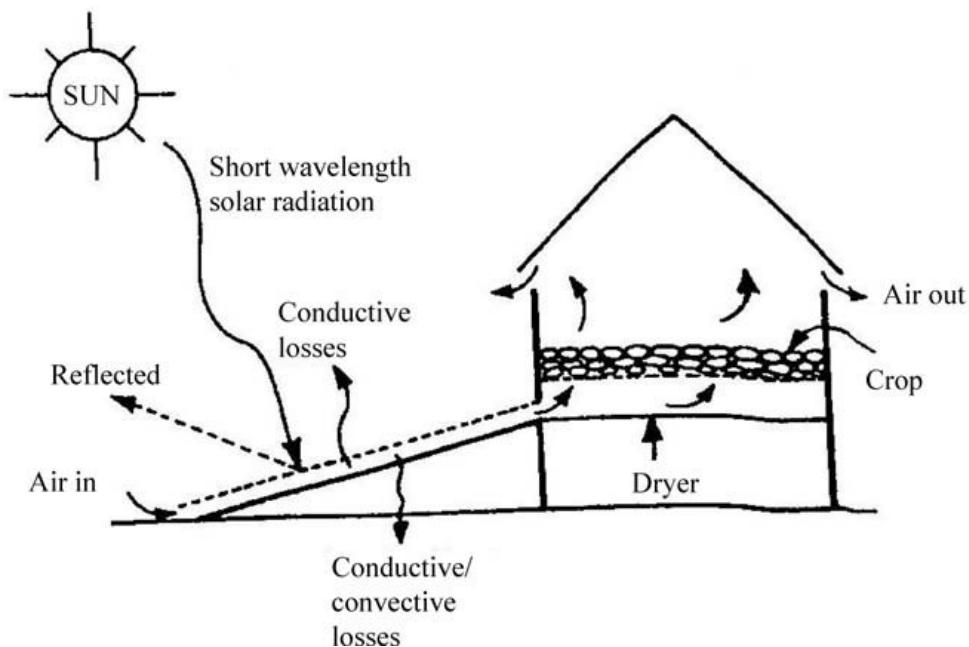


Abbildung 10. Ein indirektes solares Trocknungssystem [3.1]

Zum Trocknen großer Materialmengen wird an der Oberseite des indirekten Trockners ein Schornstein angeschlossen, der die Zirkulation der heißen Luft verstärkt, ohne dass ein Ventilator erforderlich ist. Der Vorteil dieser Trockner ist, dass sie nun auch in entlegenen Gebieten eingesetzt werden können, da sie keine zusätzliche Stromquelle benötigen. Ihr Nachteil ist die baulich bedingte Begrenzung der Schornsteinhöhe.

#### Solartrockner vom Typ Gewächshaus

Bei diesen Trocknern ist die Luft das einzige Mittel zur Übertragung von Wärme. Der Lufteinlass befindet sich auf der Nordseite, die ebenfalls wärmeisoliert ist. Sowohl die Oberseite als auch die Südseite sind mit transparentem Material bedeckt. Die Innenseite der Konstruktion ist schwarz gestrichen, und die Luftzirkulation im Inneren des Trockners wird durch einen kleinen elektrischen Ventilator erreicht, der an der Ost- oder Westseite angebracht ist. In Abbildung 11 [3.6] ist ein Gewächshaus-Solartrockner dargestellt.

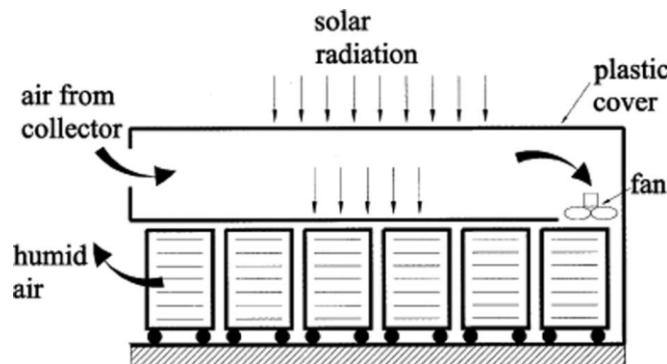


Abbildung 11. Solartrockner vom Typ Gewächshaus [3.6]

Referenzen

- [3.1] Prakash, Om, und Anil Kumar. "Historischer Rückblick und aktuelle Trends bei solaren Trocknungssystemen". International Journal of Green Energy 10, no. 7 (2013): 690-738.
- [3.2] Atul Sharma, C.R. Chen, Nguyen Vu Lan, "Solar-energy drying systems: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1185-1210
- [3.3] Patranon R. (1984) Solar thermal processes in Thailand: a study on natural convection cabinet drying, Abschlussbericht, USAID-Thai Renewable Non-Conventional Energy Cooperation Project, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok.
- [3.4] Grabowski S, Mujumdar AS. Solar-unterstützte osmotische Dehydrierung. In: Mujumdar AS, Suvachittanont S, editors. Developments in drying vol. 1: food dehydration. Bangkok: Kasetsart University Press; 2000. p. 142-78.
- [3.5] Rathore, N.S., und N.L. Panwar. 2010. Experimentelle Studien zum halbzylindrischen, begehbarer Solartunneltrockner für die Traubentrocknung. Angewandte Energie 87: 2764-7.
- [3.6] Condorí, M., und L. Saravia. 2003. Analytisches Modell für die Leistung des Gewächshaustrockners in Tunnelform. Erneuerbare Energie 28:467-85.

#### 4. Raumheizung und Warmwasserbereitung durch erneuerbare Energiequellen

Solare Warmwasserheizungssysteme nutzen die Sonne, um entweder Wasser oder eine Wärmeträgerflüssigkeit zu erhitzen. Ein einfaches System zur solaren Warmwasserbereitung ist in Abbildung 12 dargestellt [4.1]. Das Solarsystem besteht aus einem Speichertank und einer elektrischen Pumpe, die die Flüssigkeit durch die Kollektoren zirkulieren lässt [4.1].

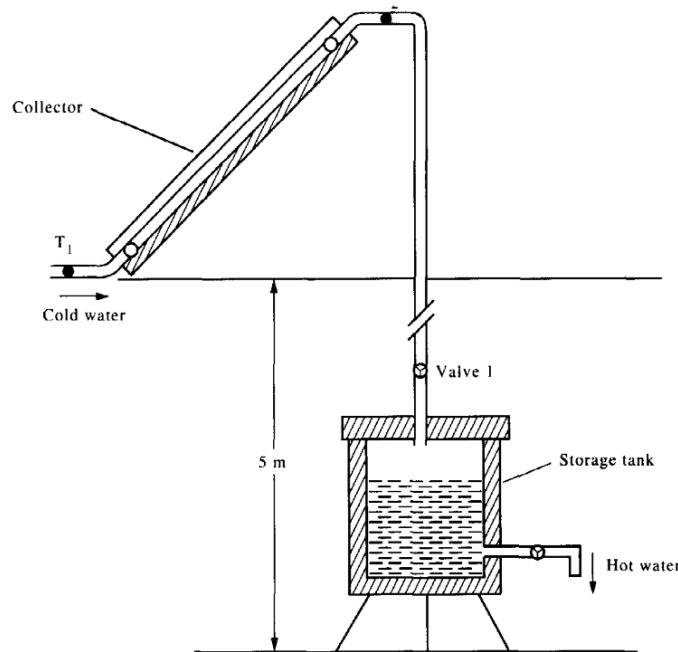


Abbildung 12. Solarer Warmwasserbereiter [4.1]

Typische solare Warmwasserbereitungsanlagen für die Landwirtschaft bestehen aus einem Absorber, einem Speicher, einer Isolierung, Rohrleitungen und einer transparenten Abdeckung. Die Sonnenenergie erwärmt die Absorberoberfläche, und die Wärmeträgerflüssigkeit (indirekt) oder das Wasser (direkt) fließen durch Rohre. Bei Verwendung einer Wärmeträgerflüssigkeit gibt es einen Wärmetauscher, der dann das Wasser erwärmt (siehe Abbildung 13). Anschließend wird das erwärmte Wasser in einen isolierten Speicherbehälter geleitet [4.2].

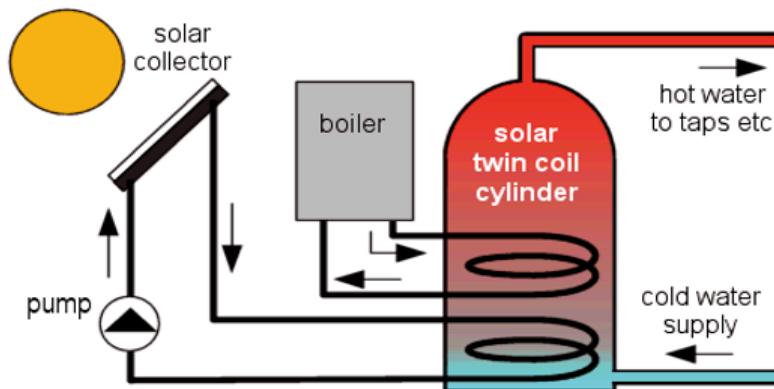


Abbildung 28. Solares Wassersystem für landwirtschaftliche Zwecke [4.2]

### **Heizung im Gewächshaus**

Das Gewächshaus ist ein geschützter und eingezäunter Raum, dessen Hauptzweck darin besteht, die Pflanzen vor Kälte zu schützen und die Sonneneinstrahlung effizient zu nutzen. In Gewächshäusern werden im Winter Pflanzen angebaut, die im Freiland nicht gedeihen können. In den letzten Jahren hat die Anbautechnik in Gewächshäusern stark zugenommen. So werden das ganze Jahr über Produkte wie Tomaten, Auberginen, Kürbisse usw. produziert. Außerdem werden in Gewächshäusern Blumen gezüchtet, die nur im Sommer gedeihen, oder Blumen aus tropischen Ländern, die in anderen Fällen nicht kultiviert werden können. Solche Blumen sind z. B. Orchideen, die eine Temperatur von über 28° C und eine hohe Luftfeuchtigkeit benötigen, also Bedingungen, die außerhalb von Gewächshäusern nicht erreicht werden können.

Die Hauptenergiequelle für die Beheizung des Gewächshauses während des Tages ist die Sonnenenergie. Wenn die Sonneneinstrahlung begrenzt ist und die Raumtemperatur unter den gewünschten Werten liegt, wird ein separates Heizsystem verwendet. Während der Nacht wird die gesamte Energie, die benötigt wird, um die Raumtemperatur auf dem gewünschten Niveau zu halten, vom Heizsystem geliefert. Die Beheizung eines Gewächshauses bietet die Möglichkeit, mehr Pflanzenarten anzubauen und die Produktion über das ganze Jahr hinweg zu programmieren. Außerdem wird die relative Luftfeuchtigkeit des Raumes besser reguliert und Pilzkrankheiten werden reduziert. Die Beheizung erfolgt durch Luft, Warmwasser, Dampf oder Strahlung. Ein Solargewächshaus reduziert auch den Bedarf an fossilen Brennstoffen für die Heizung. Die Heizungssysteme müssen vollautomatisch und so weit wie möglich unabhängig vom Rest der Struktur sein.

Je nach Art der Wärmeübertragung lassen sich die verschiedenen Heizsysteme in folgende Gruppen einteilen:

- a) Systeme, die den größten Teil der Wärme durch die Konvektion im Gewächshaus gewinnen. Dazu gehören alle Systeme, bei denen die Gewächshausluft zur Heizung geführt wird. Dann wird die Luft erwärmt und im Gewächshaus verteilt.
- b) Systeme, die den größten Teil der Wärme durch eine Kombination aus Strahlung und natürlicher Sinuskurve erzeugen. Dazu gehören alle Systeme, bei denen die Wärmeverteilung im Raum mit Heißwasser- oder Dampfrohren erfolgt. Das Verhältnis zwischen der durch Strahlung und Konvektion zugeführten Wärmemenge hängt von der Temperatur der Flüssigkeit und dem Durchmesser des Rohrs ab. Bei den üblichen (85 °C) Warmwasserbedingungen ist die durch Konvektion abgegebene Energie ungefähr gleich der Strahlungsenergie.
- c) Systeme, bei denen der größte Teil der Wärme durch Leitfähigkeit übertragen wird. Dazu gehören Fußbodenheizungen, bei denen die Wärme durch Leitfähigkeit auf den Boden übertragen wird und so die Töpfe und Wurzeln der Pflanzen erwärmt werden. Natürlich

erhalten die Pflanzen aber auch viel Energie durch Einstrahlung und Konvektion von unbedeckten Flächen.

d) Systeme, die Wärme durch eine Kombination aus Leitung, Konvektion und Strahlung abgeben. Dazu gehören Niedertemperatur-Wasserheizungssysteme, die in großflächigen Rohren, in der Regel aus Kunststoff, zirkulieren, die auf dem Gewächshausboden verlegt sind. Die Wärme wird durch natürliche Konvektion in die Luft, durch Wärmestrahlung auf die Blätter der Pflanzen und durch Konduktion auf den Boden übertragen.

### Solare Heizsysteme für Gewächshäuser

Solarenergie findet bei der Beheizung von Gewächshäusern mehrere Anwendungen. Das Gewächshaus selbst ist ein passives System zur Gewinnung von Sonnenenergie. Das häufigste Problem in diesem Fall ist, dass die Sonnenenergie nur tagsüber zur Verfügung steht und sich ihre Menge zu verschiedenen Zeiten des Jahres ändert (im Winter ist sie gering).

Es handelt sich um passive Solarsysteme, bei denen die Sonnenenergie direkt oder indirekt genutzt wird, ohne dass konventionelle Brennstoffe verwendet werden, und die ein mit konventioneller Energie betriebenes Hilfssystem umfassen. Passive Solargewächshäuser sind oft eine gute Wahl für kleine Landwirte, da sie eine kosteneffiziente Möglichkeit für Landwirte darstellen, die Anbausaison zu verlängern [4.3].

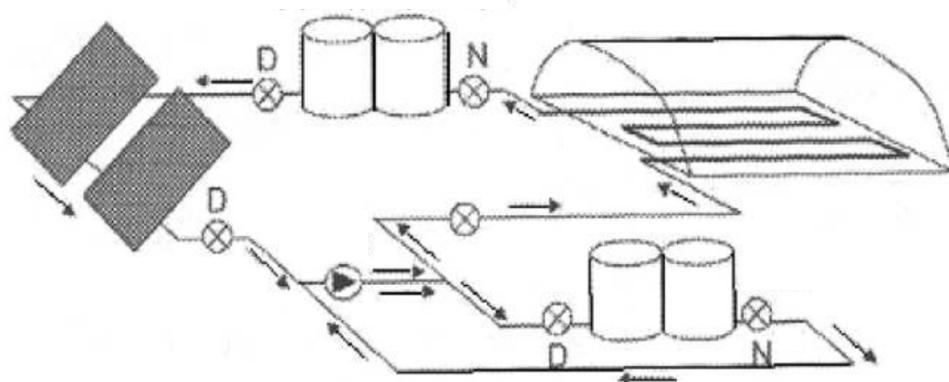


Abbildung 14. Gewächshaus mit externem Wasserkollektor [4.4]

Die tagsüber im Gewächshaus durch Sonnenenergie verfügbare überschüssige Wärme kann aufgefangen und gespeichert werden, so dass sie in der Nacht oder in den nächsten Tagen (an Tagen ohne Sonnenschein) genutzt werden kann. In Abbildung 14 ist ein typisches Heizsystem für Gewächshäuser mit einem externen Sonnenkollektor dargestellt [4.4].

Darüber hinaus kann geothermische Energie erfolgreich zur Beheizung von Gewächshäusern genutzt werden. Wenn die Temperaturen der geothermischen Flüssigkeit unter 55 °C liegen, können Kunststoffrohre verwendet werden, während bei höheren Temperaturen zum Schutz des Transportsystems ein Wärmetauscher eingesetzt wird [5].

#### Referenzen

- [4.1] Venkatesh A. (1994) Experimental observations on a continuous flow type domestic solar water heater, Energy Convers. Manage. 35, 1041-1048.
- [4.2] Passive und aktive solare Warmwassersysteme, North Carolina Solar Center, Technical Paper No. SC122, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, Juni 2002.
- [4.3] Santamouris M., Balaras C.A., Dascalaki E., Vallindras M. (1994) Passive solarbetriebene landwirtschaftliche Gewächshäuser: eine weltweite Klassifizierung und Bewertung von Technologien und Systemen für Heizzwecke, Solar Energy 53, 411-426.
- [4.4] Taki, M., Rohani, A., & Rahmati-Joneidabad, M. (2018). Solarthermische Simulation und Anwendungen im Gewächshaus. Information Processing in Agriculture, 5(1), 83-113.
- [4.5] Esen Mehmet, und Tahsin Yuksel. "Experimentelle Bewertung der Verwendung verschiedener erneuerbarer Energiequellen für die Beheizung eines Gewächshauses". Energy and Buildings 65 (2013): 340-351.

## 5. Fernversorgung mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen

Die Zunahme der menschlichen Bevölkerung, die Urbanisierung und die Modernisierung haben zu einem der wichtigsten Themen auf der weltweiten Agenda geführt, nämlich dem herausragenden Wachstum der globalen Energienachfrage. Laut dem International Energy Outlook 2016 wird der Gesamtenergieverbrauch bis 2040 um 48 % steigen, was auf den Anstieg des Verbrauchs fossiler Brennstoffe zurückzuführen ist. Trotz des erwarteten Anstiegs der Energienachfrage werden jedoch immer noch hundert Millionen Menschen ohne grundlegende Energiedienstleistungen auskommen müssen [5.1]. In Anbetracht der Tatsache, dass heute mehr als eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu Elektrizität haben, sowie des kontinuierlichen Anstiegs des Verbrauchs fossiler Brennstoffe, die erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben, ist die Erzeugung erneuerbarer Energie eine alternative, nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Lösung [5.2].

Erneuerbare Energiequellen, Energiespeichersysteme und Energieverbrauchseinheiten können in Nieder- oder Mittelspannungsnetze integriert werden. Wenn erneuerbare Energiequellen an das Stromnetz angeschlossen sind, speisen sie Strom in das Netz ein, um das Gleichgewicht zwischen Stromangebot und Lastnachfrage zu regulieren und den betrieblichen Nutzen zu maximieren [5.3]. In netzgekoppelten Systemen kann der von den erneuerbaren Energiequellen erzeugte Überschussstrom durch den Verkauf an das Netz zu Einnahmen führen. Je nach der Vereinbarung zwischen den Verbrauchern und dem örtlichen Energieversorgungsunternehmen muss der Verbraucher nur die Kosten für den verbrauchten Strom abzüglich des Wertes des erzeugten Stroms zahlen. Diese Zahl ist negativ, wenn mehr Strom erzeugt als verbraucht wird [5.4]. Ein typisches netzgebundenes Stromsystem mit erneuerbaren Energiequellen ist in Abbildung 15 dargestellt [5.5].

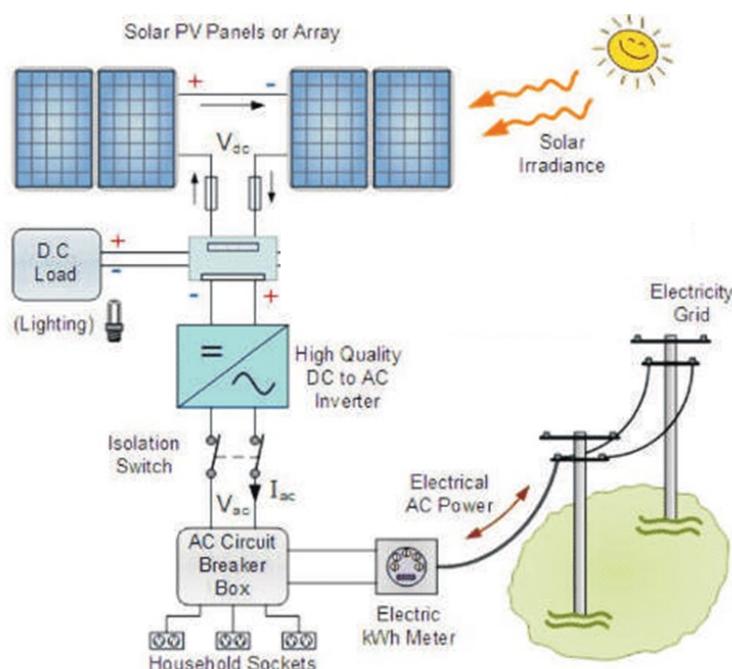


Abbildung 15. Netzgekoppelte PV-Anlage [5.5]

Erneuerbare Energiequellen können auch direkt an den Stromverbrauch angeschlossen werden. In diesem autonomen Modus arbeiten die Systeme für erneuerbare Energien autonom und versorgen die Kunden mit Strom, indem sie den elektrischen Austausch zwischen Erzeugung und Verbrauch stabil halten [5.6]. In diesen Systemen ist aufgrund der intermittierenden Energieerzeugung durch erneuerbare Energietechnologien die Integration von Teilsystemen zur Energiespeicherung erforderlich, um die Verlagerung der Energie von Zeiten geringer Nachfrage, in denen Energie gespeichert wird, zu Zeiten hoher Nachfrage, in denen Energie aus dem Speicher in das System eingespeist wird, zu gewährleisten (Abbildung 16) [5.7].

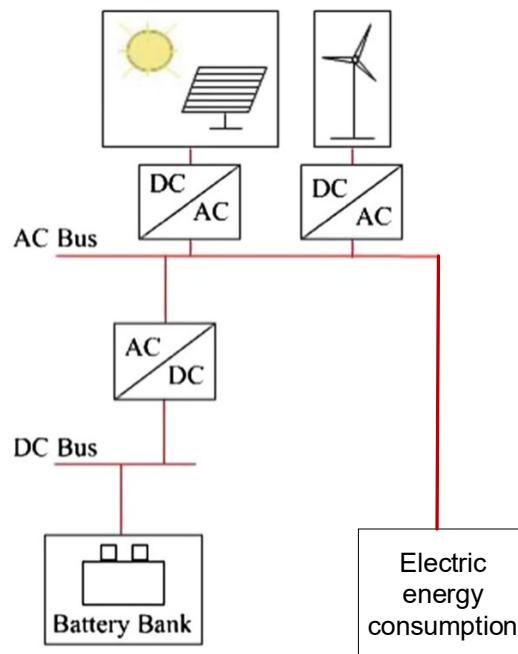


Abbildung 16. Autonomes hybrides Energiesystem. Der Strom wird sowohl von den PV-Anlagen als auch von der Windturbine erzeugt [5.7].

### Agrar-Photovoltaik

Unter dem Begriff Agrivoltaik oder Agrar-Photovoltaik (APV) versteht man den Einsatz von Photovoltaik auf landwirtschaftlichen Freilandkulturen und/oder die Verwendung von kristallinen Photovoltaik-Zellen oder anderen Arten von Photovoltaik-Materialien (z. B. Dünnschichten), die in die Abdeckung eines Gewächshauses eingebettet sind. Mit APV wird eine doppelte Flächennutzung erreicht und damit die Flächenproduktivität sowie das Einkommen des Landwirts erheblich gesteigert. APV hat das Potenzial, die Flächenkonkurrenz durch die Doppelnutzung des Bodens zu verringern. Die APV-Technologie

erzeugt erneuerbare Elektrizität, ohne Ackerland für die Nahrungsmittelproduktion wegzunehmen.

APV bietet die Möglichkeit, gleichzeitig den europäischen Green Deal zu verwirklichen, die Dekarbonisierungsziele der EU zu erreichen und die Ziele der Gemeinsamen Agrarpolitik zu verwirklichen. APV bietet eine innovative, effiziente und kostengünstige Lösung zur gleichzeitigen Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft und der sauberen Energiewende. APV reduziert die Flächenkonkurrenz zwischen Solaranlagen und Landwirtschaft unter Bedingungen, die die Effizienz, Nachhaltigkeit und Rentabilität beider Aktivitäten garantieren. Durch die Kombination von landwirtschaftlicher Infrastruktur und Solarenergie kann die EU die Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit ländlicher Gemeinden verbessern. Abbildung 17 zeigt eine Illustration eines APV-Systems [8].

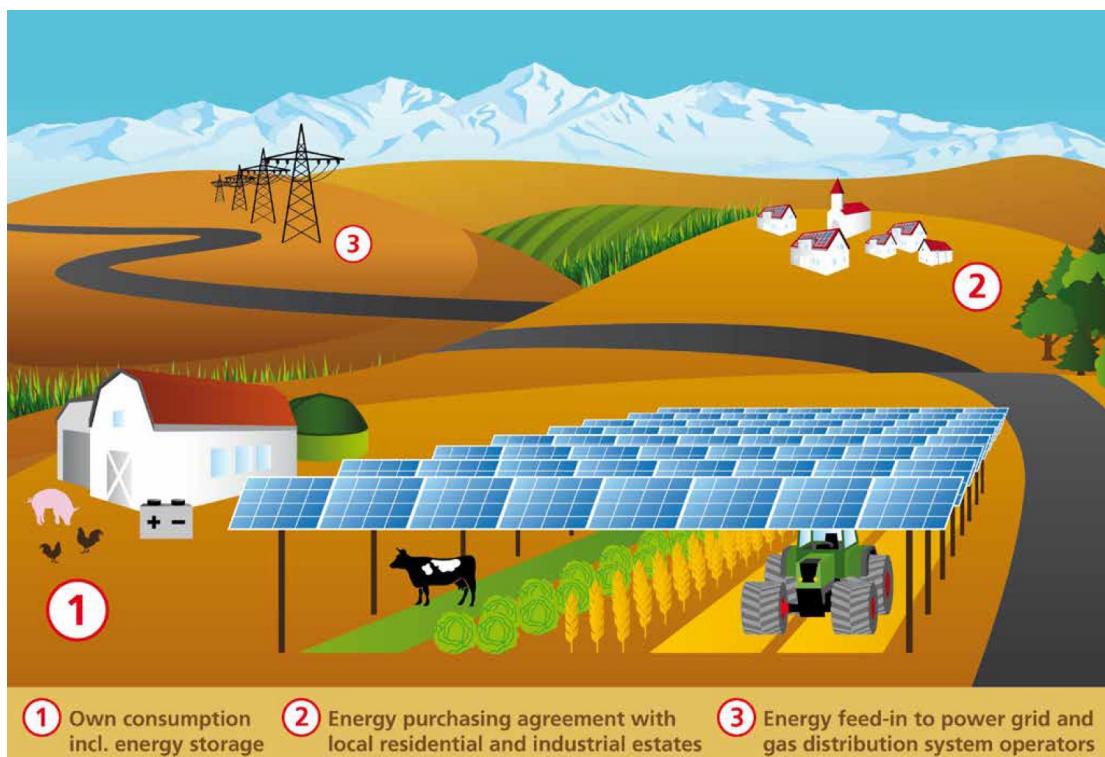


Abbildung 17. Illustration eines APV-Systems [5.8].

Das Potenzial für APV in der EU (und international) ist immens: Würde APV auf nur 1 % der europäischen Ackerfläche eingesetzt werden, läge die technische Kapazität bei über 700 GW. Schätzungen zufolge [5.9] könnte der Einsatz von Agri-PV auf nur 1 % der weltweiten Anbaufläche dazu beitragen, den gesamten weltweiten Energiebedarf zu decken. Davon betroffen sind vor allem Regionen, die aufgrund ihrer fruchtbaren Böden und ihres milden Klimas für die Landwirtschaft attraktiv sind und sich aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung für Freiland-Photovoltaikanlagen eignen. Die Erschließung dieses Potenzials würde die europäische Solarindustrie an die Spitze der weltweiten Solarinnovation bringen. Der Sektor ist in Europa bereits im Entstehen begriffen, wobei einige Mitgliedstaaten seine Entwicklung

aktiv unterstützen, was ein starkes Interesse von Schwellenländern ausgelöst hat, die mit den Herausforderungen von Dürren und klimabedingten Veränderungen konfrontiert sind.

Zu den Vorteilen von APV gehören die harmonische Kombination von PV-Freiflächenanlagen mit der Landwirtschaft; potenzieller Zusatznutzen für die Landwirtschaft, z. B. Schutz vor Schäden durch Hagel, Frost und Trockenheit; niedrigere Stromgestehungskosten (LCOE) im Vergleich zu kleinen PV-Aufdachanlagen; Diversifizierung der Einkommensquellen von landwirtschaftlichen Betrieben.

Tabelle 10 zeigt die möglichen Kombinationen von landwirtschaftlichen Infrastrukturen und Kulturen mit APV [5.10].

Tabelle 10. APV-Typen und landwirtschaftliche Tätigkeiten

AGRI-PV-TYP	ART DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN TÄTIGKEIT
Boden PV	Weidehaltung, Imkerei, Gartenarbeit
Vertikale PV-Anlage	Weiden oder Gartenarbeit
Feste Schattierungen (erhöht)	Feldfrüchte, Weinbau, Baumzucht, Züchtung, Weidehaltung
Dynamische Farbtöne (erhöht)	Weinbau, Baumzucht, Gartenarbeit, Gartenbau
PV-Gewächshäuser	Baumpflege, Gartenarbeit, Gartenbau
PV auf Gebäude	Züchtung, Fischzucht, Lagerung, Landmaschinen
Schwimmendes Kraftwerk	Fischzucht
Andere Agri-PV-Lösungen	Bewässerungsrampen, Maschinen

In den folgenden Abbildungen 18 bis 22 sind verschiedene Kombinationen und Konfigurationen von APV mit landwirtschaftlichen Nutzpflanzen dargestellt.



Abbildung 18. Kartoffeln, die unter einer APV-Anlage wachsen. Die Anlage wurde im Rahmen des Projekts APV RESOLA errichtet und befindet sich in Heggelbach, Landkreis Sigmaringen, Deutschland. Ihr Einsatz in der landwirtschaftlichen Produktion wird derzeit untersucht (Quelle: Universität Hohenheim) [5.11].



Abbildung 19. APV-Gemüsebau (links), APV-Gewächshaus (rechts) [5.10]



Abbildung 20. APV über Himbeeranbau [5.10]



Abbildung 21. APV und Fischzucht [5.10]



Abbildung 22. In die Glasabdeckung eines Gewächshauses eingebettete PV-Anlage [5.12].

## Referenzen

- [5.1] Karavas, Christos-Spyridon, Konstantinos Arvanitis, und George Papadakis. "A Game Theory Approach to Multi-Agent Decentralized Energy Management of Autonomous Polygeneration Microgrids." *Energies* 10, no. 11 (2017): 1756.
- [5.2] Chen, C.; Wang, J.; Qiu, F.; Zhao, D., Resilient distribution system by microgrids formation after natural disasters. *IEEE Transactions on smart grid* 2016, 7, (2), 958-966.
- [5.3] Jiang, Q.; Xue, M.; Geng, G., Energy management of microgrid in grid-connected and stand-alone modes. *IEEE transactions on power systems* 2013, 28, (3), 3380-3389.
- [5.4] Masters, Gilbert M. *Renewable and efficient electric power systems*. John Wiley & Sons, 2013.
- [5.5] Ferdous, S.M., Oninda, Mohammad, Maruf Md., Islam Md. Rahman Md. Beschränkungen der Energieeffizienz in photovoltaischen Stromerzeugungssystemen. *Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*. 2018; (3): 41-47.
- [5.6] Lidula, N. W. A.; Rajapakse, A. D., Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011, 15, (1), 186-202.
- [5.7] Karavas, C. S., Kyriakarakos, G., Arvanitis, K. G., & Papadakis, G. (2015). Ein dezentrales Multi-Agenten-Energiemanagementsystem auf der Grundlage von verteilter Intelligenz für die Planung und Steuerung von autonomen Polygeneration-Mikronetzen. *Energy Conversion and Management*, 103, 166-179.
- [5.8] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Agrivoltaik: Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende. Oktober 2020.
- [5.9] E. Adeh, S.P. Good, M. Calaf, & C.W. Higgins. Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands. *Scientific Reports* Band 9 (2019). Online. Verfügbar unter: [www.nature.com/articles/s41598-019-47803-3](http://www.nature.com/articles/s41598-019-47803-3).
- [5.10] Solarenergie Europa. Agri-PV: Wie die Solarenergie den Übergang zu sauberer Energie in ländlichen Gebieten ermöglicht. Briefing-Papier, September 2020. Verfügbar unter <https://resource-platform.eu/wp-content/uploads/files/statements/Agri-PV-How-Solar-Enables-the-Clean-Energy-Transition-in-Rural-Area.pdf>.
- [5.11] Axel Weselek, Andrea Ehmann, Sabine Zikeli, Iris Lewandowski, Stephan Schindele, Petra Högy. Agrophotovoltaiksysteme: Anwendungen, Herausforderungen und Möglichkeiten. A review. *Agrarwissenschaft für nachhaltige Entwicklung* (2019) 39: 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>.
- [5.12] <https://www.britesolar.com/>

Die folgenden zusätzlichen Ressourcen und Felder können von den interessierten Landwirten genutzt werden:

1. Für Maschinen und Anlagen: Zentrum für ökologische Technologie, [www.cetonline.org](http://www.cetonline.org).
2. Für Wassereinsparungen: Online-Tool zur Schätzung der Energieeinsparungen durch verschiedene Bewässerungsmethoden, <http://ipat.scegov.usda.gov>. Tipps zum Energiesparen bei der Bewässerung, <http://attra.ncat.org/publication.html>. Intelligente und nachhaltige Nutzung von Wasser in der Landwirtschaft, [www.sare.org/publications](http://www.sare.org/publications).
3. Für Gebäudeeffizienz: Verbesserung der Energieeffizienz in landwirtschaftlichen Gebäuden, <http://attra.ncat.org/attra-pub/agbuildings.html>.
4. Für Energieaudits: <http://ensave.com>